สรุปเข้ม + ข้อสอบ ฉบับสมบูรณ์

INFOPRESS

ชีววิทยา ม.ปลาย

มั่นใจเต็ม 100

ออกแบบมาให้เหมาะสำหรับ
นักเรียนชั้น ม.4-5-6
ใช้ทบทวนเนื้อหาชีววิทยาแบบเข้ม
ครบทั้ง 6 เทอม ในเวลาจำกัด
อัดแน่นด้วยรูปภาพและไดอะแกรม
ที่มีสีสันสวยงาม จึงจำง่าย
พร้อมแนวข้อสอบท้ายเล่ม
เพื่อให้มั่นใจสอบทุกสนาม
ทั้ง O-NET, PAT 2, TCAS,
9 วิชาสามัญ และ กสพท

- Part 1 : พื้นฐานทางชีววิทยา
- Part 2 : กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของสัตว์
- Part 3 : กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของพืช
- Part 4 : พันธุศาสตร์
- Part 5 : ระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ

โรงเรียนวัดโรงวิทยา
63808

อัดเต็ม เข้มข้นกว่า

- สรุปเนื้อหา ครบ แน่น เน้นออกสอบ
- ภาพสี ชัดเต็มตา เข้าใจง่ายกว่า
- แนวข้อสอบ ครบทุกสนาม

พิเศษ : เข้าใจได้มากกว่า ทบทวนได้ทุกเวลาที่ต้องการ
ดูคลิปวิดีโอเสริมเนื้อหาเชื่อมโยงสิ่งที่อ่าน เห็นกระบวนการครบ
เปิดดูผ่าน QR code ได้ทุกที่ ทุกเวลา ทุกอุปกรณ์

63808
ชีววิทยา-- ข้อสรุปและเฉลย
ห้องสมุดโรงเรียนวัดไร่ขิงวิทยา
วัน เดือน ปี 15 พ.ย. 2564
เลขทะเบียน 63808
เลขเรียกหนังสือ 578 น-ส

IDC
PREMIER

มีเพียง "ความรู้" เท่านั้นที่มนุษย์ใช้พลิก "โลก" และเปลี่ยน "ชีวิต"
เราจึงสร้างสรรค์ และส่งมอบ "ความรู้" ในรูปแบบที่ดีกว่า
เพื่อให้คนไทย "เรียนรู้" ได้ตลอดชีวิต

578
น-ส
โรงเรียนวัดไร่ขิงวิทยา
63808
สรุปเข้มข้อสอบชีววิทยา ม.ปล

Think Beyond

สรุปเข้ม + ข้อสอบ ชีววิทยา ม.ปลาย ฉบับสมบูรณ์ มั่นใจเต็ม 100

AUTHORS

นพคุณ สุขสวัสดิ์ nop808@hotmail.com

ดร.ปรินทร์ จิระภัทรศิลป parin_ohayo@hotmail.com

EDITORIAL

ศิริกาญจน์ วงศ์เศวตศิลา

sirikarn_r@idcpremier.com

GRAPHIC DESIGNER

ยุทธนา เกิดประดิษฐ์

PAGE LAYOUT

วุฒิพันธ์ สมพระเมฆ

PROOFREADER

สุนทรี บรรลือศักดิ์

PUBLISHING COORDINATORS

วรพล ณธิกุล, สุพัตรา อาจปรุ, วัชรพงศ์ ยงปัญญาสกุล

PUBLISHED AND DISTRIBUTED BY

IDC PREMIER

บริษัท ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด

200 หมู่ 4 ชั้น 19 ห้อง 1901

อาคารจัสมินอินเตอร์เนชั่นแนลทาวเวอร์

ถ.แจ้งวัฒนะ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

โทรศัพท์ 0-2962-1081 (อัตโนมัติ 10 คู่สาย)

โทรสาร 0-2962-1084

สมาชิกสัมพันธ์

โทรศัพท์ 0-2962-1081-3 ต่อ 121 โทรสาร 0-2962-1084

ร้านค้าและตัวแทนจำหน่าย

โทรศัพท์ 0-2962-1081-3 ต่อ 112-114 โทรสาร 0-2962-1084

พิมพ์ครั้งที่ 1 กันยายน 2563

ข้อมูลทางบรรณานุกรม

นพคุณ สุขสวัสดิ์

สรุปเข้ม + ข้อสอบ ชีววิทยา ม.ปลาย ฉบับสมบูรณ์ มั่นใจเต็ม 100

นนทบุรี : ไอดีซีฯ, 2563

588 หน้า

1. วิชาชีววิทยา

I ดร.ปรินทร์ จิระภัทรศิลป (ผู้แต่งร่วม)

II ชื่อเรื่อง

578

ISBN 978-616-487-150-2

เครื่องหมายการค้าอื่นๆ ที่อ้างถึงเป็นของบริษัทนั้นๆ

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยบริษัท ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด ห้ามลอกเลียนไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้จัดพิมพ์เท่านั้น

บริษัท ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด จัดตั้งขึ้นเพื่อเผยแพร่ความรู้ที่มีคุณภาพสู่ผู้อ่านชาวไทย เรายินดีรับงานเขียนของนักวิชาการและนักเขียนทุกท่าน ท่านผู้สนใจกรุณาติดต่อผ่านทางอีเมลที่ infopress@idcpremier.com หรือทางโทรศัพท์หมายเลข 0-2962-1081 (อัตโนมัติ 10 คู่สาย) โทรสาร 0-2962-1084

ราคา 495 บาท

คำนำ

สรุปเข้ม + ข้อสอบ ชีววิทยา ม.ปลาย ฉบับสมบูรณ์ มั่นใจเต็ม 100 เล่มนี้ เป็นการสรุปเนื้อหาวิชาชีววิทยาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4-5-6) มีทั้งหมด 22 บท แบ่งออกเป็น 5 PART ใหญ่ คือ PART 1 พื้นฐานทางชีววิทยา, PART 2 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของสัตว์, PART 3 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของพืช, PART 4 พันธุศาสตร์ และ PART 5 ระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ พร้อมแนวข้อสอบแต่ละเรื่องแต่ละสนามสอบ เพื่อฝึกการวิเคราะห์โจทย์ สำหรับใช้อ่านเตรียมตัวสอบกลางภาค ปลายภาค ในระดับโรงเรียน อ่านสอบเพื่อคะแนนที่สูงกว่า, O-NET, 9 วิชาสามัญ, PAT2, กสพท ฯลฯ ในระดับประเทศ สำหรับการยื่นเข้าศึกษาต่อระดับมหาวิทยาลัย

ทั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ของอาจารย์ผู้ตรวจสอบทางวิชาการในแต่ละสาขาวิชาทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่า มาช่วยตรวจทานความถูกต้องของเนื้อหาของหนังสือเตรียมสอบชีววิทยาเล่มนี้ เพื่อทำให้หนังสือมีคุณภาพ และเกิดประโยชน์ต่อผู้อ่านสูงสุด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สพญ.ดร.นลินา ประไพรักษ์สิทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันยา อนุกูลธนากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิษฐาน ศรีนวล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพร ภัทรดิลกรัตน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย จิรัฏฐิติกุล
อาจารย์ ดร.ธนิต ศิริบุญ
อาจารย์ ดร.พัชร ดนัยสวัสดิ์
ดร.ชัยศาสตร์ คเชนทร์สุวรรณ
เจนนี่ เจา (นักศึกษาปริญญาเอก)
พสธร หน่อพันธ์ (นักศึกษาปริญญาโท)

สุดท้ายนี้ หากผู้อ่านมีความสงสัย ต้องการสอบถามเกี่ยวกับหนังสือ ทางคณะผู้จัดทำยินดีน้อมรับในคำติชมและข้อเสนอแนะของท่าน เพื่อพัฒนาหนังสือให้มีคุณภาพ สมบูรณ์ตรงกับความต้องการของท่านผู้อ่านมากที่สุด

คณะผู้จัดทำ

จากใจนักเขียน

พอได้ยินชื่อวิชาชีววิทยาปุ๊บ นักเรียนหลายๆ คนต่างก็ส่ายหน้าหนี ขึ้นชื่อว่าเป็นวิชาท่องจำมหาโหด ศัพท์แสงภาษาอังกฤษสับสนวุ่นวาย เรียนตั้งแต่มดตัวเล็กยันป่าผืนใหญ่ หลายๆ คนคงสงสัยว่าจะเรียนอะไรกันนักหนา แต่เชื่อไหมว่า วิชาชีววิทยา ทำให้เราเข้าใจในความมหัศจรรย์ของสิ่งมีชีวิต โดยสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นมาเป็นร้อยล้านปี ดำรงอาศัยอยู่ร่วมกันเป็นสายใยเชื่อมโยงกันไปหมด และความเชื่อมโยงนี้แหละที่เป็นแก่นแท้ของวิชาชีววิทยา ความเชื่อมโยงที่พบได้ทุกระดับตั้งแต่เซลล์ที่ทำงานเชื่อมโยงกัน ระบบอวัยวะในร่างกายมนุษย์ที่ต้องทำงานเชื่อมโยงกัน ไปสู่สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศที่มีบทบาทเชื่อมโยงกัน ขาดตัวใดตัวหนึ่งไปไม่ได้ หากน้องๆ มองเห็นถึงความเชื่อมโยงเหล่านี้ได้ เชื่อว่าน้องๆ จะตื่นเต้นและอิ่งที่งไปกับสิ่งมีชีวิตที่เจอในบทเรียนชีววิทยาอย่างแน่นอน

ในหนังสือเล่มนี้ พี่ๆ ได้ใส่เคล็ดลับช่วยจำ เน้นรูปภาพเป็นหลัก สรุปเนื้อหาเป็นตารางและแผนผัง และพยายามอธิบายให้ง่ายที่สุด ก็หวังว่าจะทำให้น้องๆ อ่านแล้วเข้าใจเนื้อหามากยิ่งขึ้น หันมารักวิชาชีววิทยา หรืออย่างน้อยก็ไม่เกลียดไปมากกว่านี้ละกัน

พี่แบงค์

".....จากประสบการณ์สอน พี่อยากจะบอกว่า 3 สิ่งที่จะทำให้น้องเรียนชีววิทยาแล้วรุ่ง ประสบความสำเร็จ คือ

1. Concept น้องต้องเห็นภาพรวมของแต่ละบทเสียก่อนว่า มีขอบเขตเนื้อหาแค่ไหน จัดระบบความคิดด้วย mind mapping จะช่วยได้มากหาที่สุดมิได้
2. รากศัพท์และคำศัพท์ จะช่วยน้องในการจำและเข้าใจชีววิทยาไปได้เกือบครึ่งเลยทีเดียว
3. รูปภาพ วิชาที่ว่าด้วยชีวิตและสิ่งที่มองเห็นได้มากที่สุดในบรรดาวิชาวิทย์ ดังนั้น ภาพ 1 ภาพอธิบายคำเป็นร้อยคำ

ในหนังสือเล่มนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนนี้ และที่สำคัญมีวิดีโอและบทเรียนโดยพวกพี่ๆ ให้น้องได้อ่านและได้ชมทุกวิธีและกระบวนการเราจัดเต็มให้น้องอย่างไม่กั๊กแม้แต่น้อย... ขอให้น้องๆ อดทน ขยัน และมุ่งมานะนะครับ... ปลายทางของความอดทนและขยัน งดงามเสมอ... เราอาจจะไม่รู้จักกัน แต่เพียงน้องได้อ่านหนังสือของพวกพี่ เราก็รู้จักกันแล้ว ขอให้สนุกกับชีววิทยาครับ ^.^".....

พี่นพคุณ

สารบัญ

Part 1 พื้นฐานทางชีววิทยา (Basic Biology) 1

บทที่ 1 ธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต 3

บทที่ 2 เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต 7

2.1 สารอนินทรีย์ 7

2.1.1 น้ำ (H_2O) 7

2.1.2 แร่ธาตุ (minerals) 9

2.2 สารอินทรีย์ 10

2.2.1 คาร์โบไฮเดรต 11

2.2.2 โปรตีน 15

2.2.3 ลิพิด 18

2.2.4 กรดนิวคลีอิก 21

2.2.5 วิตามิน 25

2.3 ปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ 27

บทที่ 3 เซลล์ของสิ่งมีชีวิต 33

3.1 กล้องจุลทรรศน์ (microscope) 33

3.2 โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ 37

3.2.1 ส่วนห่อหุ้มเซลล์ 40

3.2.2 โพรโทพลาซึม (protoplasm) 42

3.3 การลำเลียงสาร 52
3.3.1 การลำเลียงสารแบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ 52
3.3.2 การลำเลียงสารแบบสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์ 54
3.3.3 การเชื่อมต่อกันของเซลล์ (cell junction) 55
3.4 การแบ่งเซลล์ 57
3.4.1 การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis) 59
3.4.2 การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) 65

Part 2 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของสัตว์ (Anatomy and Physiology of Animals) 75

บทที่ 4 ระบบย่อยอาหาร 77
4.1 การย่อยอาหารของสัตว์ 77
4.2 การย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต 78
4.3 ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ 86
4.4 การสลายโมเลกุลของอาหารระดับเซลล์ 93

บทที่ 5 ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต 103
5.1 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) 104
5.2 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) 105
5.3 การสืบพันธุ์ของคน 106
5.3.1 ระบบสืบพันธุ์ของเพศชาย 108
5.3.2 ระบบสืบพันธุ์ของเพศหญิง 110
5.4 การปฏิสนธิ 112
5.5 การตั้งครรภ์ 113
5.6 การเจริญเติบโตของสัตว์ (animal development) 113

5.7 การแก้ไขภาวะมีบุตรยาก 119
5.8 เมทามอร์โฟซิส (metamorphosis) 119
5.9 กราฟของการเจริญเติบโต (growth curve) 120
บทที่ 6 การรักษาดุลยภาพในร่างกาย 123
6.1 ระบบหมุนเวียนเลือด (circulatory system) 123
6.1.1 การลำเลียงสารในสิ่งมีชีวิตที่ยังไม่มีระบบหมุนเวียนเลือด 123
6.1.2 การลำเลียงสารของสิ่งมีชีวิตที่มีระบบเลือดเปิด (open circulatory system) 124
6.1.3 การลำเลียงสารของสิ่งมีชีวิตที่มีระบบเลือดปิด (closed circulatory system) 125
6.1.4 ระบบหมุนเวียนเลือดของมนุษย์ 129
6.2 ระบบภูมิคุ้มกัน (immune system) 141
6.3 ระบบหายใจ (respiratory system) และการแลกเปลี่ยนแก๊ส (gas exchange) 146
6.3.1 โครงสร้างที่ช่วยในการแลกเปลี่ยนแก๊สในสิ่งมีชีวิต 146
6.3.2 การหายใจของคน 148
6.4 ระบบขับถ่าย (excretory system) 151
6.4.1 การขับถ่ายในสิ่งมีชีวิต 152
6.4.2 ระบบขับถ่ายของมนุษย์ 153
6.5 การรักษาดุลยภาพของกรด-เบสในร่างกาย 158
6.6 การรักษาดุลยภาพของอุณหภูมิในร่างกาย 158
บทที่ 7 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต 161
7.1 การเคลื่อนที่ของโพรทิสต์ 162
7.2 การเคลื่อนที่ของสัตว์ 164
7.2.1 การเคลื่อนที่ของสัตว์แบบไม่อาศัย antagonism 164
7.2.2 การเคลื่อนที่ของสัตว์โดยอาศัย antagonism 165
7.3 การเคลื่อนที่ของมนุษย์ 169

บทที่ 8 การรับรู้และการตอบสนอง 177

8.1 การรับรู้และการตอบสนอง 177

8.2 เซลล์ประสาทและเซลล์ค้ำจุน (neuron and neuroglia) 178

8.2.1 เซลล์ประสาท (neuron) 178

8.2.2 เซลล์ค้ำจุน (glial cell หรือ neuroglia) 179

8.3 การทำงานของเซลล์ประสาท 180

8.4 การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท (synapse) 185

8.5 ระบบประสาทของสิ่งมีชีวิตต่างๆ 187

8.6 ระบบประสาทของมนุษย์ 190

8.7 ระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) 190

8.7.1 สมอง (brain) 191

8.7.2 ไขสันหลัง (spinal cord) 194

8.8 ระบบประสาทรอบนอก (peripheral nervous system : PNS) 195

8.9 ระบบประสาทโซมาติก (somatic nervous system : SNS) 197

8.10 ระบบประสาทแบบอัตโนวัติ (autonomic nervous system : ANS) 198

8.11 อวัยวะรับสัมผัส (sensory organ) 200

8.11.1 ตา 200

8.11.2 หู 204

8.11.3 จมูก 205

8.11.4 ลิ้น 205

8.11.5 ผิวหนัง 206

บทที่ 9 ระบบต่อมไร้ท่อ 209
9.1 ระบบต่อมไร้ท่อ 209
9.2 ฮอร์โมน 211
9.2.1 การทำงานของฮอร์โมนชนิดต่างๆ 214
9.2.2 กลุ่มอาการของความผิดปกติของการหลั่งฮอร์โมน 221
บทที่ 10 พฤติกรรมของสัตว์ 225
10.1 รูปแบบของพฤติกรรม 226
10.2 การสื่อสารระหว่างสัตว์ 231
Part 3 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของพืช (Anatomy and Physiology of Plants) 233
บทที่ 11 โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก 235
11.1 เนื้อเยื่อพืช (plant tissue) 235
11.2 โครงสร้างและหน้าที่ของราก 241
11.3 โครงสร้างและหน้าที่ของลำต้น 247
11.4 โครงสร้างและหน้าที่ของใบ 253
11.5 การลำเลียงสารในพืช 256
บทที่ 12 การสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) 263
12.1 การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง 263
12.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง 267
12.2.1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ 267
12.2.2 สารสีในปฏิกิริยาแสง 267
12.2.3 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง 271

12.3 การหายใจแสง (photorespiration) 279
12.4 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง 280

บทที่ 13 การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของพืชดอก 283

13.1 วัฏจักรชีวิตและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก 283
13.2 โครงสร้างของดอก 284
13.3 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของพืชดอก 289
13.4 การถ่ายละอองเรณูและการปฏิสนธิคู่ 291
13.5 ผล 292
13.6 เมล็ดและการเจริญหลังการปฏิสนธิคู่ 294
13.7 การงอกของเมล็ด 296
13.8 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการขยายพันธุ์พืชดอก 299
13.9 การวัดการเจริญเติบโตของพืช 300

บทที่ 14 การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช 303

14.1 ฮอร์โมนพืช 303
14.2 การตอบสนองของพืชต่อสิ่งแวดล้อม 310

Part 4 พันธุศาสตร์ (Genetics) 315

บทที่ 15 การถ่ายทอดทางพันธุกรรม 317

15.1 การศึกษาพันธุศาสตร์ 317
15.2 ความน่าจะเป็น 318
15.3 การถ่ายทอดพันธุกรรมตามแบบเมนเดล (Mendelian inheritance) 319
15.4 การถ่ายทอดพันธุกรรมนอกเหนือกฎของเมนเดล (non-Mendelian inheritance) 325
15.5 การถ่ายทอดพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับเพศ 331

บทที่ 16 ยีนและโครโมโซม 339

16.1 ทฤษฎีโครโมโซมในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม (chromosome theory of inheritance) 339

16.2 การค้นพบสารพันธุกรรม 340

16.3 โครโมโซม 341

16.4 องค์ประกอบทางเคมีของดีเอ็นเอ 343

16.5 โครงสร้างของดีเอ็นเอ 344

16.6 การจำลองดีเอ็นเอ (DNA replication) 345

16.7 การถอดรหัสดีเอ็นเอ (transcription) 346

16.8 รหัสพันธุกรรม (genetic code) 349

16.9 การแปลรหัส (translation) 350

16.10 การกลายพันธุ์หรือมิวเทชัน (mutation) 353

16.10.1 การกลายพันธุ์ระดับยีน (gene mutation) 353

16.10.2 การกลายพันธุ์ระดับโครโมโซม (chromosomal mutation) 356

บทที่ 17 พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ 365

17.1 เทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology) 365

17.2 พันธุวิศวกรรม (genetic engineering) 366

17.3 การโคลนยีน (gene cloning) โดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย 367

17.4 เทคนิคพอลิเมอเรสเชนรีแอคชัน หรือพีซีอาร์ (polymerase chain reaction; PCR) 368

17.5 การวิเคราะห์ดีเอ็นเอด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟริซิส (gel electrophoresis) 369

17.6 การศึกษาความแตกต่างของจีโนม 370

17.7 การประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์ 370

17.8 การประยุกต์ใช้ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ 372

17.9 การประยุกต์ใช้ทางด้านเกษตรกรรม 372

17.10 ชีวสารสนเทศ 374
17.11 ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ และมุมมองทางสังคมและจริยธรรม 374

บทที่ 18 วิวัฒนาการ 377

18.1 หลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต 377
18.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต 381
18.3 พันธุศาสตร์ประชากร (population genetics) 385
18.4 วิวัฒนาการระดับจุลภาค (microevolution) 389
18.5 วิวัฒนาการระดับมหภาค (macroevolution) 393
18.6 วิวัฒนาการของมนุษย์ (human evolution) 397

Part 5 ระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ (Ecology and Biodiversity) 401

บทที่ 19 ความหลากหลายทางชีวภาพ 403

19.1 ตารางธรณีกาล (geological time scale) 403
19.2 อนุกรมวิธาน (taxonomy) 405
19.3 กำเนิดของชีวิต (origin of life) 407
19.4 อาณาจักรของสิ่งมีชีวิต 410
19.5 อาณาจักรมอเนอรา 412
19.6 อาณาจักรโพรทิสตา 414
19.7 อาณาจักรพืช 415
กลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียง (non vascular plant) 416
กลุ่มพืชที่มีท่อลำเลียง (vascular plant) 418
19.8 อาณาจักรฟังไจ 426
วิวัฒนาการของฟังไจ 427

19.9 อาณาจักรสัตว์ 431
วิวัฒนาการของอาณาจักรสัตว์ 431
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง 434
สัตว์มีกระดูกสันหลัง 442

บทที่ 20 ระบบนิเวศ 457

20.1 นิเวศวิทยา 457
20.2 นิเวศวิทยาเชิงสรีรวิทยา (organismal ecology) 458
20.3 นิเวศวิทยาเชิงกลุ่มสิ่งมีชีวิต (community ecology) 459
20.4 นิเวศวิทยาเชิงระบบนิเวศ (ecosystem ecology) 461
20.5 ชีวนิเวศ (biome) 475

บทที่ 21 ประชากร 479

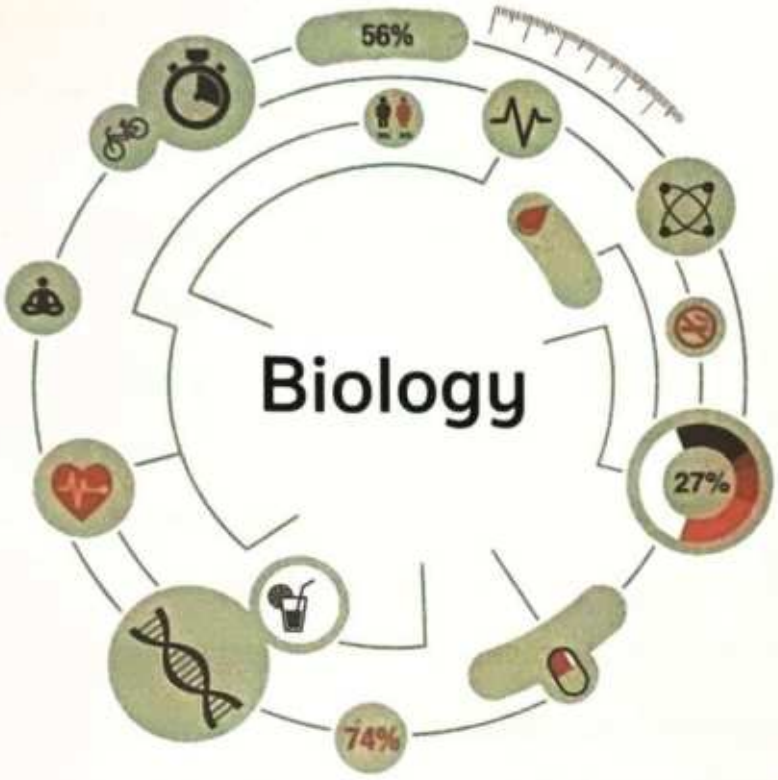
21.1 นิเวศวิทยาประชากร (population ecology) 479
21.2 รูปแบบการแพร่กระจายของประชากร (population distribution) 480
21.3 รูปแบบการเพิ่มของประชากร (population growth) 481
21.4 กราฟการรอดชีวิตของประชากร (survivorship curve) 483
21.5 ประชากรมนุษย์ 483

บทที่ 22 มนุษย์กับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม 485

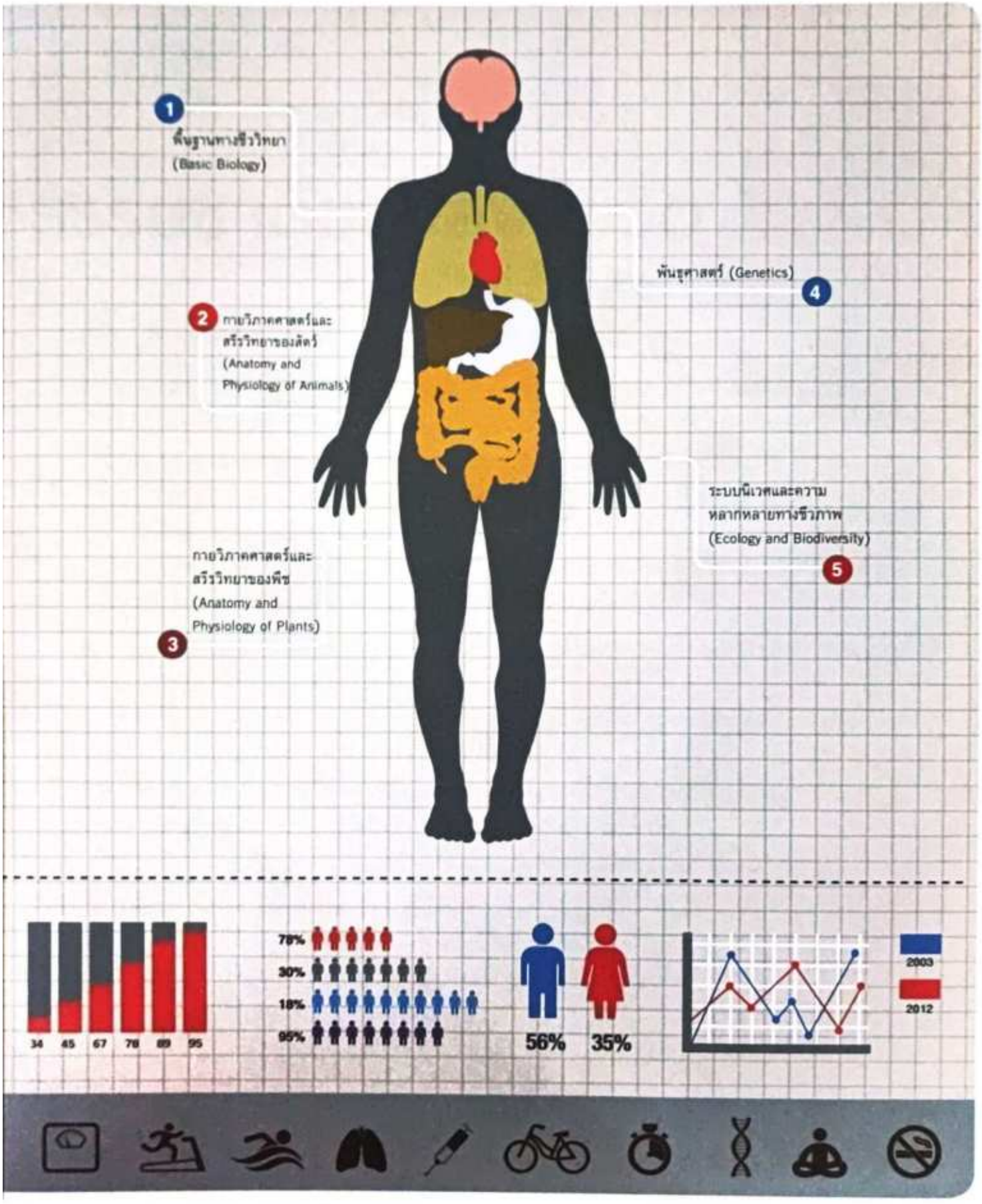
22.1 ทรัพยากรธรรมชาติ (natural resources) 485
22.2 ทรัพยากรน้ำ (water resources) 486
22.3 ทรัพยากรดิน (soil resources) 488
22.4 ทรัพยากรอากาศ (air resources) 490
22.5 ทรัพยากรป่าไม้ (forest resources) 494
22.6 ทรัพยากรสัตว์ป่า (wildlife resources) 496

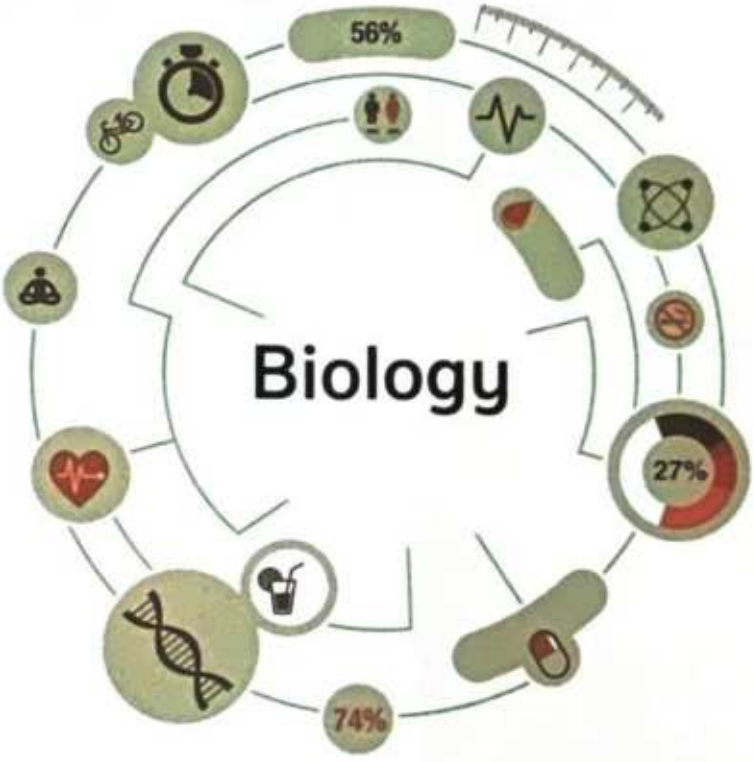
22.7 หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ....497
22.8 ชนิดพันธุ์ต่างถิ่น....498
วัดฝีมือ ตะลุยโจทย์....499
บทที่ 2 เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต....499
บทที่ 3 เซลล์ของสิ่งมีชีวิต....501
บทที่ 4 ระบบย่อยอาหาร....505
บทที่ 5 ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต....507
บทที่ 6 การรักษาดุลยภาพในร่างกาย....508
บทที่ 7 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต....510
บทที่ 8 การรับรู้และการตอบสนอง....511
บทที่ 9 ระบบต่อมไร้ท่อ....512
บทที่ 10 พฤติกรรมของสัตว์....514
บทที่ 11 โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก....515
บทที่ 12 การสังเคราะห์ด้วยแสง....517
บทที่ 13 การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของพืชดอก....519
บทที่ 14 การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช....521
บทที่ 15 การถ่ายทอดทางพันธุกรรม....524
บทที่ 16 ยีนและโครโมโซม....526
บทที่ 17 พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ....528
บทที่ 18 วิวัฒนาการ....530
บทที่ 19 ความหลากหลายทางชีวภาพ....532
บทที่ 20 ระบบนิเวศ....535
บทที่ 21 ประชากร....538
บทที่ 22 มนุษย์กับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม....540

เฉลยวัดฝีมือ ตะลุยโจทย์ 542
บทที่ 2 เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต 542
บทที่ 3 เซลล์ของสิ่งมีชีวิต 544
บทที่ 4 ระบบย่อยอาหาร 546
บทที่ 5 ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต 546
บทที่ 6 การรักษาดุลยภาพในร่างกาย 547
บทที่ 7 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต 548
บทที่ 8 การรับรู้และการตอบสนอง 549
บทที่ 9 ระบบต่อมไร้ท่อ 550
บทที่ 10 พฤติกรรมของสัตว์ 551
บทที่ 11 โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก 551
บทที่ 12 การสังเคราะห์ด้วยแสง 553
บทที่ 13 การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของพืชดอก 555
บทที่ 14 การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช 556
บทที่ 15 การถ่ายทอดทางพันธุกรรม 557
บทที่ 16 ยีนและโครโมโซม 559
บทที่ 17 พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ 560
บทที่ 18 วิวัฒนาการ 561
บทที่ 19 ความหลากหลายทางชีวภาพ 563
บทที่ 20 ระบบนิเวศ 566
บทที่ 21 ประชากร 567
บทที่ 22 มนุษย์กับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม 568


56%
Biology
27%
74%

Part 01 พื้นฐานทางชีววิทยา (Basic Biology)




56%
Biology
27%
74%

บทที่ 01

ธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิตมีคุณสมบัติอย่างไร

1. มีความสามารถในการสืบพันธุ์ (reproduction) เพื่อเพิ่มจำนวนทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงเผ่าพันธุ์ไว้ ได้แก่
   - การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) ลูกที่เกิดจากผู้ให้กำเนิดเพียงตัวเดียว ไม่มีการรวมตัวกันของเซลล์สืบพันธุ์ (ทำให้ลูกมีลักษณะเหมือนกับผู้ให้กำเนิดทุกประการ) มีการแบ่งเซลล์แบบ mitosis เช่น การแตกหน่อของไฮดรา (budding) การแยกเป็นส่วนๆ (fragmentation) และการงอกใหม่ (regeneration) ของพลานาเรีย
   - การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) ลูกที่เกิดจากการรวมตัวกันของเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) ของพ่อและแม่ เช่น การสืบพันธุ์ของคน สุนัข แมว (เชื่อมโยงบทที่ 5)
2. ต้องการสารอาหารและพลังงาน โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเรียกว่า เมแทบอลิซึม (metabolism) แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ
   - catabolism คือ การสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก และมักจะได้พลังงานและความร้อนออกมา เช่น การย่อยสลายสารอาหาร การหายใจระดับเซลล์
   - anabolism คือ การสร้างสารที่มีโมเลกุลเล็กให้เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ โดยมีการเก็บพลังงานไว้ในโมเลกุลใหญ่นั้นด้วย เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง การสังเคราะห์โปรตีน
3. มีการเจริญเติบโต อายุขัยและขนาดจำกัด การเจริญเติบโตมีกระบวนการที่สำคัญ คือ
   - มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ (cell multiplication)
   - มีการเจริญเติบโต (growth and development) เช่น การเพิ่มของโพรโทพลาซึม การขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้น
   - การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เพื่อไปทำหน้าที่ต่างๆ (cell differentiation)
   - การเกิดรูปร่างที่แน่นอน (morphogenesis)
4. มีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น การหลบร้อน การหลบหนาว การเบนเข้าหาแสงของพืช
5. มีการรักษาดุลยภาพของร่างกาย เพื่อให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตให้เป็นปกติ เรียก ภาวะธำรงดุล (homeostasis) เช่น การรักษาสมดุลน้ำโดยการคายน้ำของปากใบ การขับถ่ายในสัตว์

6. มีลักษณะจำเพาะ เช่น การมีเข็มพิษของแมงกะพรุน การมีขนแบบแผงของนก การมีเขาแตกกิ่งของกวาง
7. มีการจัดระบบจากเล็กไปใหญ่ คือ อะตอม → โมเลกุล → ออร์แกเนลล์ → เซลล์ → เนื้อเยื่อ → อวัยวะ → ระบบอวัยวะ → สิ่งมีชีวิต → ประชากร (population = สปีชีส์เดียว) → สังคมสิ่งมีชีวิต (community = หลายๆ สปีชีส์อยู่รวมกัน) → ระบบนิเวศ (ecosystem = สิ่งมีชีวิต + สิ่งแวดล้อม) → โลกของสิ่งมีชีวิต หรือ ชีวาลัย (biosphere)

ชีววิทยา (biology) คืออะไร

รากศัพท์ภาษากรีกของคำว่า biology คือ bios (ชีวิต) + logos (การศึกษาอย่างมีเหตุมีผล) ดังนั้น ชีววิทยา หมายถึง การศึกษาที่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตอย่างมีเหตุผล มีระเบียบและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือได้ โดยการศึกษาทางชีววิทยามีหลายสาขาด้วยกัน ดังนี้

การศึกษาทางชีววิทยา

การศึกษาความเป็นไปและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

- อนุกรมวิธาน (taxonomy) การจัดหมวดหมู่ของสิ่งมีชีวิต
- บรรพชีวินวิทยา (paleontology) การศึกษาเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์
- วิวัฒนาการ (evolution)

การศึกษาสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่างๆ	การศึกษาโครงสร้างหน้าที่และการทำงานของสิ่งมีชีวิต
▸ สัตววิทยา (zoology) • วิทยาสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (invertebrate zoology) • วิทยาสัตว์มีกระดูกสันหลัง (vertebrate zoology) • มีนวิทยา (icthyology) เกี่ยวกับปลา • สังขวิทยา (malacology) เกี่ยวกับหอย • ปักษีวิทยา (ornithology) เกี่ยวกับนก • วิทยาสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (mammalogy) • กีฏวิทยา (entomology) เกี่ยวกับแมลง • วิทยาเห็บไร (acarology) • ปรสิตวิทยา (parasitology) ▸ พฤกษศาสตร์ (botany) ▸ จุลชีววิทยา (microbiology) • วิทยาแบคทีเรีย (bacteriology) • ไวรัสวิทยา (virology) • ราวิทยา (mycology) • วิทยาโพรโทซัว (protozoology)	• กายวิภาคศาสตร์ (anatomy) • สรีรวิทยา (physiology) • พันธุศาสตร์ (genetics) • เทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology) • พันธุวิศวกรรม (genetic engineering) • สัณฐานวิทยา (morphology) • มิญชยวิทยา (histology) เกี่ยวกับเนื้อเยื่อ • คัพภะวิทยา หรือวิทยาเอ็มบริโอ (embryology) • วิทยาของเซลล์ (cytology) • พฤติกรรมวิทยา (ethology) • วิทยาต่อมไร้ท่อ (endocrinology) • ชีวเคมี (biochemistry) • นิเวศวิทยา (ecology)

ชีวจริยธรรม

การทำงานทางด้านชีววิทยาเป็นการศึกษาสิ่งมีชีวิต โดยชีววิทยาเป็นส่วนหนึ่งของสังคมที่ช่วยพัฒนาสังคม มนุษย์ และสิ่งมีชีวิตให้มีคุณภาพชีวิตที่สมบูรณ์โดยต้องคำนึงถึงศีลธรรม ขนบธรรมเนียม ประเพณี กฎหมายของสังคม ประเด็นที่เป็นข้อถกเถียงในเรื่องนี้ เช่น

- การโคลนมนุษย์
- การผลิตอาวุธชีวภาพ
- การใช้สัตว์ทดลอง
- การทำแท้ง
- การสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (จีเอ็มโอ)

การศึกษาทางชีววิทยา

1. การสังเกตและตั้งปัญหา	การสังเกต คือ การใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ในการสำรวจข้อเท็จจริง (fact) ที่ปรากฏโดยไม่ใส่ความเห็นของผู้สังเกตลงไป เช่น "ใบมะม่วงมีสีเขียว" แต่ถ้าพูดว่า "ใบมะม่วงมีสีเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์" จะไม่ใช่การสังเกต เพราะมีการใส่ความเห็นของผู้สังเกตลงไป การตั้งปัญหาจะทำให้ทราบขอบเขตของปัญหาของสิ่งที่ต้องการจะศึกษา มี 2 ประเด็นที่สำคัญคือ 1. ตัวแปร (สิ่งที่สนใจจะศึกษา) 2. ประชากร (กลุ่มที่ผู้วิจัยสนใจจะอธิบาย) เช่น ปริมาณ CO_2 มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่ (ตัวแปร คือ ปริมาณ CO_2, การเจริญเติบโตของพืช) ประชากร คือ พืช (อาจเป็นชนิดใดชนิดหนึ่งที่สนใจ)
2. การรวบรวมข้อมูล (ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา)	โดยการศึกษาเอกสาร ตำรา หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ผู้วิจัยตั้งขึ้น เช่น เมื่อศึกษาเอกสารและงานวิจัยพบว่า พืชใช้ CO_2 ในการสังเคราะห์ด้วยแสง และการเจริญเติบโตของพืช เช่น การมีน้ำหนักมากขึ้น การเจริญของลำต้น ราก ใบ เป็นผลมาจากการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้น จึงได้ข้อมูลที่ว่า ปริมาณ CO_2 มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช
3. การตั้งสมมติฐาน	สมมติฐาน คือ การคาดคะเนคำตอบของปัญหาอย่างมีเหตุผล ย้ำว่าอย่างมีเหตุผล โดยต้องสอดคล้องกับข้อเท็จจริงที่พบและข้อมูลที่เรามีจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง พูดง่ายๆ สมมติฐานจะเป็นประโยคที่เป็น future tense เช่น ถ้า CO_2 มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ดังนั้น บริเวณที่มี CO_2 มากน่าจะทำให้พืชสังเคราะห์ด้วยแสงมาก (อาจมีคำว่า ถ้า... ดังนั้น...)
4. การตรวจสอบสมมติฐาน	การตรวจสอบสมมติฐานสามารถทำได้โดย 1. การสังเกตและรวบรวมข้อเท็จจริงต่างๆ เช่น การสร้างทฤษฎีการคัดเลือกทางธรรมชาติของชาร์ลส์ ดาร์วิน โดยการรวบรวมหลักฐานต่างๆ ที่ได้จากการเดินเรือบีเกิ้ลและการสำรวจหมู่เกาะกาลาปากอส 2. การทดลอง โดยมีการกำหนดตัวแปรต้น (ตัวแปรอิสระ) ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม ให้ชัดเจน และมีการออกแบบการทดลองที่ดี
5. การบันทึกผลและการแปลผล	มีการวิเคราะห์ข้อมูล อาจอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการประมวลผล หรือผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้นๆ หาความสัมพันธ์ของข้อมูล การบันทึกผลต้องบันทึกตามความจริง ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูล (data) ออกมา
6. การสรุปผล	ผลการทดลองที่ได้ 1. เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้โดยสอดคล้องกับกฎหรือทฤษฎีหรือไม่ ทั้งนี้อาจทำให้ได้ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์ 2. ไม่เป็นไปตามสมมติฐาน นักวิจัยต้องคิดว่าเพราะเหตุใดถึงเป็นเช่นนั้น อาจมีการทดสอบใหม่หรือมีการเปลี่ยนสมมติฐาน ทั้งนี้งานวิจัยที่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานสามารถตีพิมพ์และรายงานสิ่งที่เป็นไปได้
7. การเผยแพร่ผลงาน	เป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ทันสมัย ถูกต้อง มีการตรวจสอบที่ชัดเจนและมีระเบียบของการวิจัยที่ถูกต้อง ทำให้ทราบความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ก่อเกิดการต่อยอดทางความรู้ต่อไป

คำศัพท์ที่ควรรู้

- ข้อเท็จจริง (fact) คือ สิ่งที่ปรากฏอยู่ตามธรรมชาติหรือปรากฏการณ์ที่มีอยู่จริง สามารถใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ในการสังเกตได้
- ข้อมูล (data) คือ ข้อเท็จจริงที่รวบรวมได้จากการสังเกตปรากฏการณ์หรือสิ่งที่มีอยู่ มีการจัดกระทำข้อมูล โดยมีทั้งข้อมูลเชิงปริมาณ (เช่น มดดำ 3 ตัว แมวหนัก 10 กิโลกรัม) และข้อมูลเชิงคุณภาพ (สี เพศ ลักษณะเมล็ด ลักษณะดอก)
- ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (independent variable) คือ ตัวแปรที่เป็นเหตุทำให้เกิดผลหรือทำให้เกิดตัวแปรตาม ตัวแปรอิสระจะเป็นตัวแปรที่ไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น โดยตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรที่ผู้ทดลองสามารถกำหนดค่าได้
- ตัวแปรตาม (dependent variable) คือ ผลที่มาจากอิทธิพลของตัวแปรต้น ซึ่งเมื่อตัวแปรต้นเปลี่ยนแปลงก็ส่งผลต่อตัวแปรตามด้วย
- ตัวแปรควบคุม (controlled variable) คือ ตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม โดยเป็นตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในขอบข่ายที่จะศึกษาแต่ต้องควบคุมให้คงที่เพื่อไม่ให้การสรุปผลวิจัยมีความคลาดเคลื่อนได้
- การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (operational definition) คือ การให้ความหมายของตัวแปรที่สำคัญหรือคำต่างๆ โดยจะต้องนิยามให้สามารถสังเกตได้และวัดได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด เช่น การเจริญเติบโตของต้นหญ้า คือ การเพิ่มจำนวนเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ โดยวัดจากการที่ต้นหญ้ามีความสูงเพิ่มขึ้น เป็นต้น จากตัวอย่าง คำว่า "การเจริญเติบโต" มีได้หลายความหมายอาจหมายถึงการมีจำนวนรากมากขึ้น มีใบมากขึ้น แต่ในที่นี้เราจะดูจากความสูงของต้นหญ้า ดังนั้น การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการจะทำให้ผู้วิจัยมีเป้าหมายในการวัดตัวแปรที่ชัดเจน เข้าใจตรงกันสำหรับผู้ศึกษานั้นๆ

ตัวอย่าง

ข้อเท็จจริง : ต้นหญ้าที่อยู่ใต้เงาต้นไม้ใหญ่ไม่เจริญเติบโต, ต้นหญ้าที่ได้รับแสงมีการเจริญเติบโต

ปัญหา : แสงสว่างมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นหญ้าหรือไม่

สมมติฐาน : ถ้าแสงสว่างมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นหญ้า ดังนั้น ในที่มีแสงสว่าง ต้นหญ้าจะเจริญเติบโต และในที่ที่ไม่มีแสงสว่างต้นหญ้าจะไม่เจริญเติบโต

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรต้น : แสงสว่าง

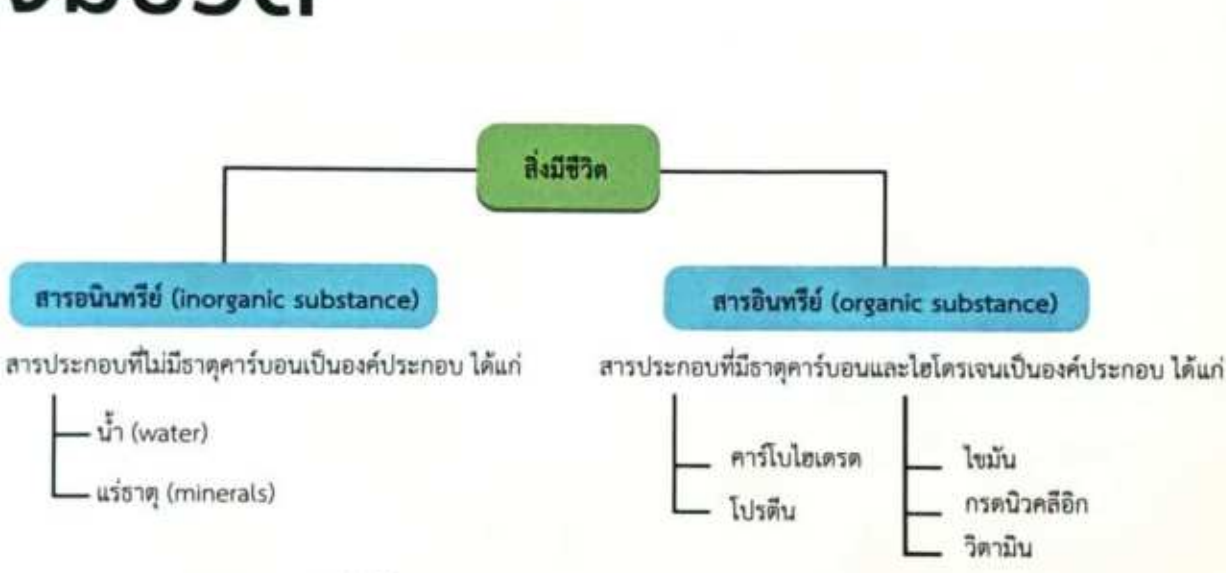
ตัวแปรตาม : การเจริญเติบโตของต้นหญ้า

ตัวแปรควบคุม : ชนิดของต้นหญ้า ชนิดของดิน ปริมาณน้ำที่รด ฯลฯ

- ทฤษฎี (theory) คือ คำอธิบายที่เป็นสมมติฐานที่ผ่านการทดสอบมาแล้วหลายครั้ง สามารถใช้อ้างอิงหรือทำนายข้อเท็จจริงต่างๆ ได้กว้างขวาง ทั้งนี้เมื่อมีข้อเท็จจริงใหม่ๆ อาจทำให้ทฤษฎีเหล่านั้นเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ทฤษฎีแบบจำลองอะตอมของดอลตันได้รับการยอมรับอยู่พักหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปมีการค้นพบข้อเท็จจริงมากขึ้นก่อเกิดทฤษฎีแบบจำลองอะตอมของทอมสัน สอดคล้องกับข้อเท็จจริงและความรู้ใหม่ๆ มากกว่า ทฤษฎีแบบจำลองอะตอมของดอลตันจึงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นผลทำให้วิทยาศาสตร์ก้าวหน้าต่อไป
- กฎ (law) คือ ความจริงหลักอย่างหนึ่งบรรยายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ โดยเน้นไปทางความสัมพันธ์ของเหตุและผล มักเขียนให้อยู่ในรูปของสมการที่มีตัวแปรต่างๆ ทั้งนี้กฎไม่สามารถอธิบายสาเหตุหรือที่มาของความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ได้ สิ่งที่อธิบายความสัมพันธ์ในกฎได้คือทฤษฎีนั่นเอง เช่น กฎของเมนเดล กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เป็นต้น

บทที่ 02

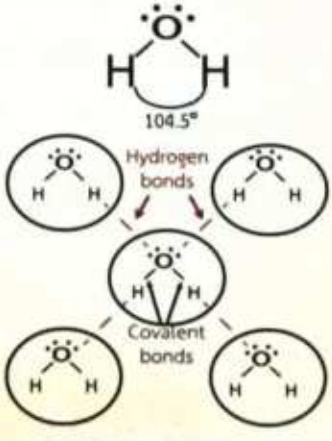
เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต



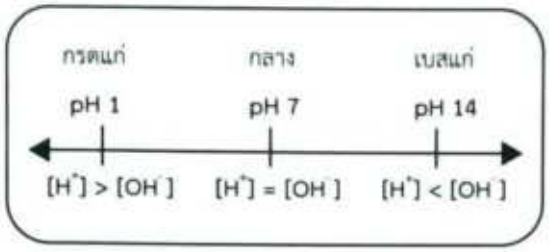
2.1 สารอนินทรีย์

สารอนินทรีย์ (inorganic substance) คือ สารประกอบที่ไม่มีธาตุ C เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ น้ำและแร่ธาตุต่างๆ

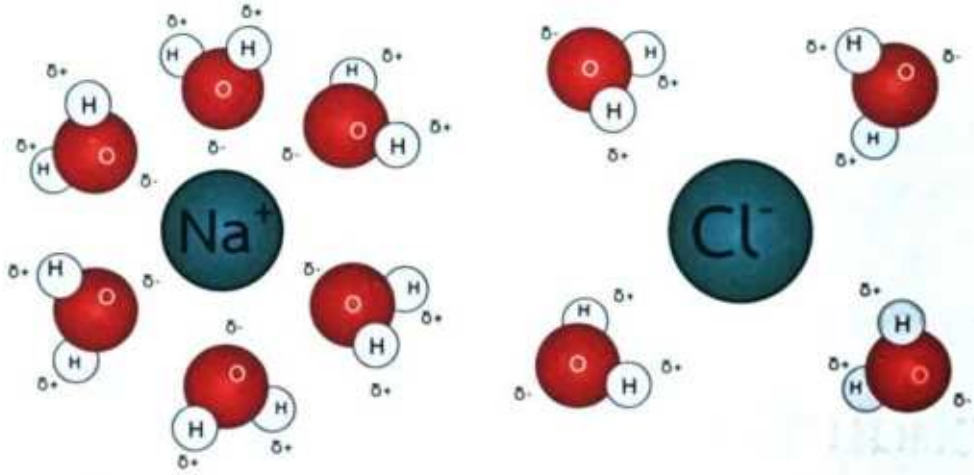
2.1.1 น้ำ (H_2O)



- น้ำเป็นสารที่มีมากที่สุดในร่างกาย
- โมเลกุลของน้ำประกอบด้วย H 2 อะตอม ทำมุมกับ O 1 อะตอม โดยมุมพันธะของ H-O-H เท่ากับ 104.5° ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ อะตอมของออกซิเจนมีสภาพไฟฟ้าเป็นลบและไฮโดรเจนมีสภาพไฟฟ้าเป็นบวก จึงทำให้น้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว (polar) เพราะอะตอมออกซิเจนมีความเป็นขั้วสูง
- จากสภาพขั้วดังกล่าวจึงทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกันเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันด้วยพันธะไฮโดรเจน
- น้ำ 1 โมเลกุลสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำโมเลกุลข้างเคียงได้ 4 โมเลกุล
- สารที่ละลายในน้ำได้เรียก hydrophilic (hydro- = น้ำ, phil = ชอบ) เช่น เกลือ น้ำตาล ส่วนสารที่ละลายในน้ำไม่ได้เรียก hydrophobic (phobos = กลัว) เช่น ไขมัน น้ำมัน



- สมบัติความเป็นกรด-เบสของน้ำ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำแตกตัวได้เป็นไฮโดรเจนไอออน ซึ่งแสดงความเป็นกรด และไฮดรอกซิลไอออน ซึ่งแสดงความเป็นเบส



น้ำสามารถละลาย NaCl โดยหันประจุที่ตรงข้ามกัน
เข้าหากันทำให้เกิดชั้นของน้ำล้อมรอบ Na^+ และ Cl^-

- ความสำคัญของน้ำ คือ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา **เป็นตัวทำละลายที่ดี** ช่วยลำเลียงสารในร่างกาย ควบคุมอุณหภูมิ ช่วยในการขับถ่ายของเสีย ฯลฯ

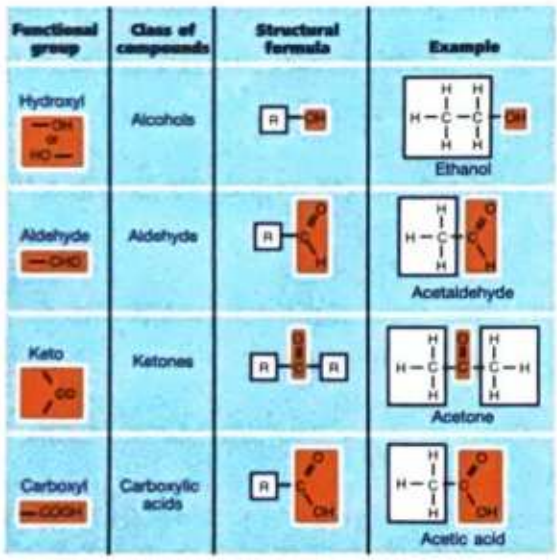
2.1.2 แร่ธาตุ (minerals)

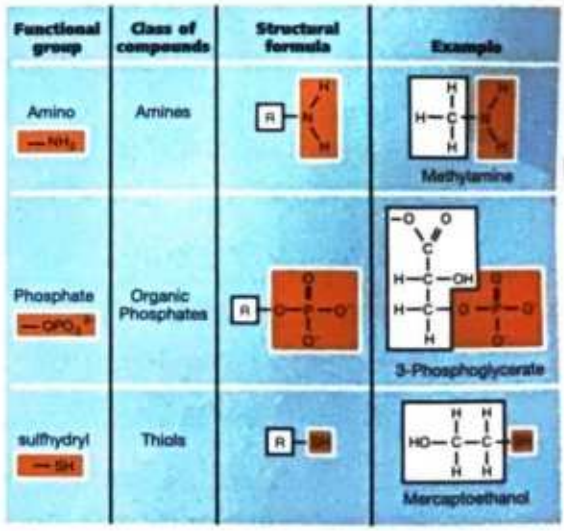
แร่ธาตุ	หน้าที่	แหล่งที่พบ	อาการเมื่อขาดแร่ธาตุ
ฟอสฟอรัส P	▸ ช่วยเสริมสร้างกระดูกและฟัน ▸ เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก DNA, RNA, ATP, NAD^+, $NADP^+$, FAD, ฟอสโฟลิพิดที่อยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์ ▸ เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์ ▸ มีความต้องการ 100 mg/วัน	เนื้อสัตว์ ไข่ นม ผักสีเขียว	กระดูกเปราะหักง่าย เจริญเติบโตช้า
แคลเซียม Ca	▸ ส่วนประกอบของกระดูก ▸ ช่วยในการแข็งตัวของเลือด ▸ ช่วยในการทำงานของประสาทและการหดตัวของกล้ามเนื้อ ▸ มีความต้องการ 100 mg/วัน	นม ผักสีเขียว งาดำ ปลาซาร์ดีน หอยนางรม เนื้อสัตว์ ไข่	เจริญเติบโตช้า ในเด็กเป็นโรคกระดูกอ่อน ถ้าภาวะแคลเซียมต่ำมากๆ จะเกิดอาการชักเกร็ง
แมกนีเซียม Mg	▸ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ▸ ยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อ ▸ มีความต้องการ 100 mg/วัน	ถั่ว ธัญพืช ผักสีเขียว เนื้อสัตว์ นม ไข่ อาหารทะเล	อ่อนเพลีย มือสั่น ชักกระตุก การเจริญเติบโตช้า
โซเดียม Na	▸ รักษาสมดุลน้ำในร่างกาย ความดันออสโมติกของเซลล์ ▸ รักษาความเป็นกรด-เบสในร่างกาย ▸ เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อและระบบประสาท ▸ มีความต้องการ 100 mg/วัน	นม เนื้อสัตว์ ผลไม้ อาหารกระป๋อง ผงชูรส	อ่อนเพลีย วิงเวียน หน้ามืด เป็นลม น้ำหนักลด
โพแทสเซียม K	▸ ร่วมกับโซเดียมในการรักษาสมดุลน้ำในร่างกาย ความดันออสโมติกของเซลล์ ▸ เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท ▸ มีความต้องการ 100 mg/วัน	เนื้อสัตว์ ส้ม กล้วย สับปะรด มะเขือเทศ เห็ด ไข่	กล้ามเนื้อและระบบประสาททำงานผิดปกติ
เหล็ก Fe	▸ เป็นส่วนประกอบในฮีโมโกลบินอยู่กับฮีม ▸ เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์บางชนิด ▸ มีความต้องการ 2-3 mg/วัน	ตับ เครื่องในสัตว์ เนื้อสัตว์ กระเทียม ถั่ว ผักใบเขียว มะเขือเทศ	เกิดโรคโลหิตจาง
ไอโอดีน I	▸ เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนไทรอกซินที่ผลิตจากต่อมไทรอยด์ ▸ มีความต้องการ 2-3 mg/วัน	อาหารทะเล เกลือ	▸ ขาดในเด็กเป็นโรคเอ๋อ (cretinism) เตี้ยแคระ แขนสั้น ขาสั้น ปัญญาอ่อน ▸ ขาดในผู้ใหญ่เป็นโรค myxedema น้ำหนักขึ้น บวมน้ำ หน้าบวม สมองเชื่องช้า

แร่ธาตุ	หน้าที่	แหล่งที่พบ	อาการเมื่อขาดแร่ธาตุ
ฟลูออรีน F	▸ เสริมสร้างกระดูกและฟัน ป้องกันโรคกระดูกพรุนในผู้ใหญ่ ▸ ช่วยในการดูดซึมธาตุเหล็ก ▸ เกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์ ▸ มีความต้องการ 2-3 mg/วัน	ชา อาหารทะเล น้ำจากบ่อน้ำธรรมชาติ ผักผลไม้บางชนิด	เกิดความผิดปกติของกระดูกฟันผุง่าย
กำมะถัน S	▸ เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน ▸ เป็นส่วนประกอบของผม เล็บ กระดูก กระดูกอ่อน ▸ มีความต้องการ 100 mg/วัน	เนื้อ นม ไข่	-
คลอรีน Cl	▸ เป็นส่วนประกอบของกรด HCl ที่สร้างจากกระเพาะอาหาร ▸ รักษาสมดุลกรดเบสในร่างกาย ▸ รักษาสมดุลน้ำในร่างกาย ▸ มีความต้องการ 100 mg/วัน	เกลือ ซอสถั่วเหลือง	ร่างกายเกิดภาวะสมดุลไม่ปกติ การย่อยโปรตีนในกระเพาะอาจเกิดความผิดปกติ

2.2 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์ (organic substance) สารที่พบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีธาตุอื่นๆ เป็นองค์ประกอบร่วมด้วย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด กรดนิวคลีอิก และวิตามิน





หมู่ฟังก์ชัน (functional group) คือกลุ่มของอะตอมที่อยู่ในโมเลกุลของสารอินทรีย์ เกิดเป็นลักษณะเฉพาะตัวของสาร สารที่มีหมู่ฟังก์ชันเหมือนกันมักจะทำปฏิกิริยาเคมีคล้ายๆ กัน

2.2.1 คาร์โบไฮเดรต

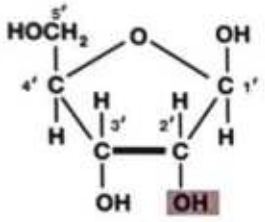
คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate = คาร์บอนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ)

น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) คาร์โบไฮเดรตขนาดเล็กสุด ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้เลย มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ 3-7 อะตอมขึ้นไปสูตรทั่วไปคือ $(CH_2O)_n$

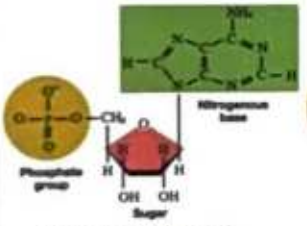
- C = 3 น้ำตาลไตรโอส (triose = $C_3H_6O_3$) เช่น ไดไฮดรอกซีอะซีโตน, กลีเซอรัลดีไฮด์
- C = 4 น้ำตาลเทโทรส (tetrose = $C_4H_8O_4$) เช่น เอริทรูโลส, เอริโทรส
- C = 5 น้ำตาลเพนโทส (pentose) เช่น ดีออกซีไรโบส ($C_5H_{10}O_4$), ไรโบส ($C_5H_{10}O_5$)
- C = 6 น้ำตาลเฮกโซส (hexose = $C_6H_{12}O_6$) เช่น กลูโคส, ฟรักโทส, กาแลกโทส
- C = 7 น้ำตาลเฮพโทส (heptose = $C_7H_{14}O_7$) เช่น ซีโดเฮฟทูโลส

น้ำตาล 5 คาร์บอน (pentose)

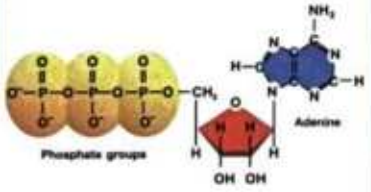
น้ำตาลไรโบส (ribose) : $C_5H_{10}O_5$



น้ำตาลไรโบสคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะมีออกซิเจน พบใน RNA, ATP, NAD^+

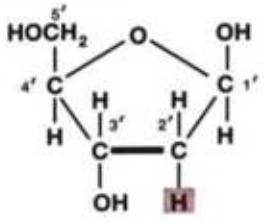


RNA :Ribonucleic Acid

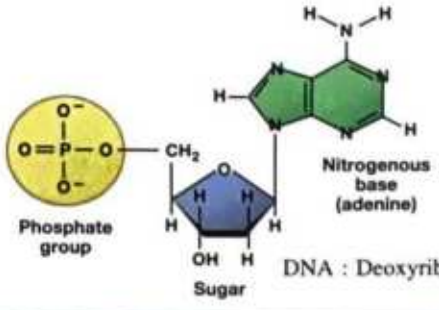


ATP :Adenosine Triphosphate
(มี 3 หมู่ฟอสเฟต)

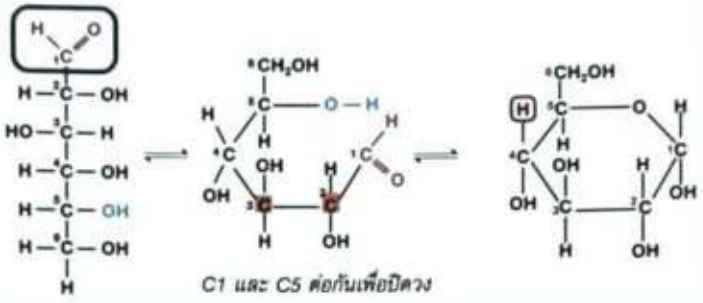
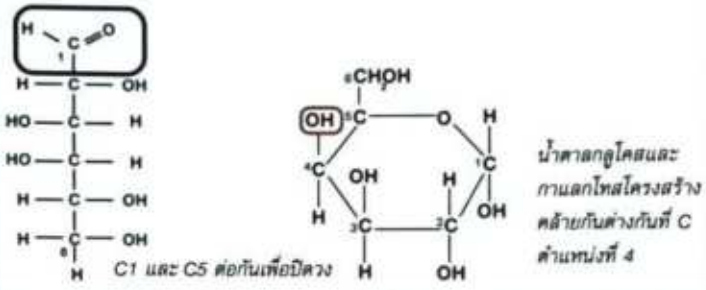
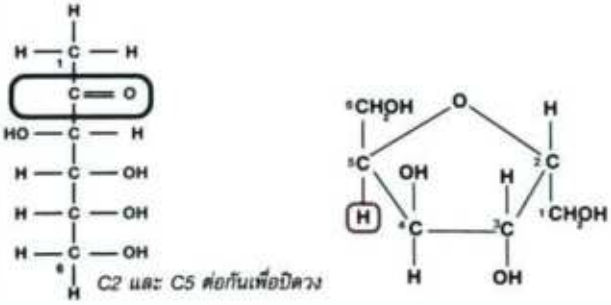
น้ำตาลดีออกซีไรโบส (deoxyribose) : $C_5H_{10}O_4$



น้ำตาลดีออกซีไรโบส (deoxyribose) คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ไม่มีออกซิเจน (ศัพท์ควรรู้ 1. de- อยู่หน้าคำไหนแปลว่า ลดลง เช่น delete (ลบ) delay (ล่าช้า) 2. oxy- หมายถึง ธาตุออกซิเจน ดังนั้น deoxy- จึงหมายถึงสารที่ลดธาตุออกซิเจนออกไป)



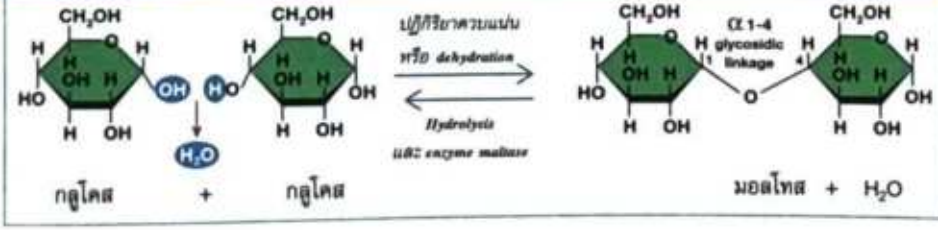
DNA : Deoxyribonucleic acid

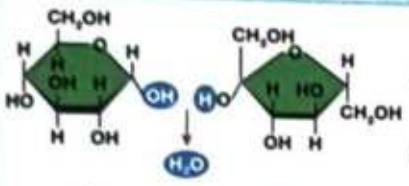
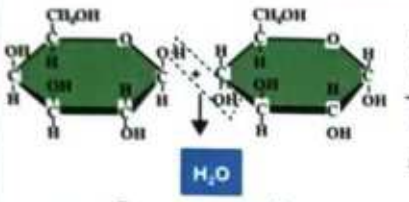
น้ำตาล 6 คาร์บอน (hexose) : $C_6H_{12}O_6$		
ชนิดของน้ำตาล	**ตัวอย่าง**	**แหล่งที่พบ**
น้ำตาลแอลโดส (aldose) เป็นน้ำตาลที่มีหมู่ฟังก์ชันแอลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบ (สังเกตที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของโซ่ตรง)	1. น้ำตาลกลูโคส (glucose)  C1 และ C5 ต่อกันเพื่อปิดวง	พบมากในผลไม้และผัก เช่น องุ่น อ้อย น้ำผึ้ง เป็นต้น
	2. น้ำตาลกาแลกโทส (galactose)  C1 และ C5 ต่อกันเพื่อปิดวง น้ำตาลกลูโคสและกาแลกโทสโครงสร้างคล้ายกันต่างกันที่ C ตำแหน่งที่ 4	พบในน้ำนม
น้ำตาลคีโทส (ketose) เป็นน้ำตาลที่มีหมู่ฟังก์ชันคีโตนเป็นองค์ประกอบ	3. น้ำตาลฟรักโทส (fructose)  C2 และ C5 ต่อกันเพื่อปิดวง	พบในน้ำผึ้ง ผลไม้สายรกเด็ก น้ำเชื้ออสุจิ เป็นต้น

* ทั้ง 3 น้ำตาลมีสูตรเคมีเหมือนกันแต่มีโครงสร้างและสมบัติทางเคมีต่างกันจึงเรียกว่าเป็น isomer กัน *

โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) คาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตั้งแต่ 2-15 หน่วย เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond)

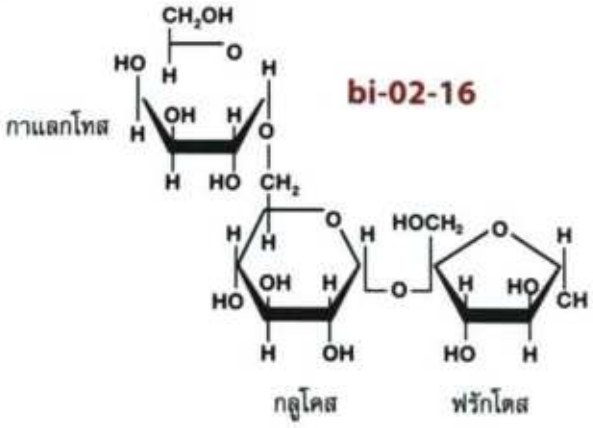
น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) เกิดจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุลรวมตัวกัน ได้แก่

$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$	แหล่งที่พบ
 ปฏิกิริยาควบแน่น หรือ dehydration Hydrolysis และ enzyme maltase กลูโคส + กลูโคส	α 1-4 glycosidic linkage มอลโทส + H_2O	มอลโทส พบในข้าวชนิดต่างๆ เช่น ข้าวมอลต์ ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว

$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$	แหล่งที่พบ
		ซูโครส พบในพืช เช่น น้ำตาลอ้อย (ทำน้ำตาลทราย) น้ำตาลหัวบีท
		แลกโทส พบมากในน้ำนมสัตว์ และปัสสาวะของหญิงตั้งครรภ์

ศัพท์ชีวะ

1. dehydration (de- แปลว่า ลดลง, hydro- แปลว่า น้ำ) หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของ 2 โมเลกุลโดยพันธะโคเวเลนต์ และมีการสูญเสียน้ำออก
2. hydrolysis (hydro- แปลว่า น้ำ, -lysis แปลว่า สลาย) หมายถึง การสลายพันธะโดยใช้น้ำ (รากศัพท์คำว่า –lysis ที่พบ เช่น lysosome, plasmolysis, hemolysis)
   - ไตรแซ็กคาไรด์ (trisaccharide) น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 โมเลกุล เช่น ราฟฟิโนส (raffinose) เกิดจาก กาแลกโทส + กลูโคส + ฟรักโทส



$$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 \longrightarrow C_{18}H_{32}O_{16} + 2\,H_2O$$

กาแลกโทส กลูโคส ฟรักโทส ราฟฟิโนส

ลำดับความหวานของน้ำตาลจากมากไปน้อย

น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ฟรักโทส > กลูโคส > กาแลกโทส

น้ำตาลโมเลกุลคู่ ซูโครส > มอลโทส > แลกโทส

มุขช่วยจำน้ำตาลไดแซกคาไรด์

กลู + กลู = มอล กลู + ฟรัก = ซู กลู + กา = แลก

Quiz Yourself

1) โอลิโกแซกคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส 8 โมเลกุล จะมีสูตรโมเลกุลแบบใด

1. $C_{40}H_{80}O_{48}$ 2. $C_{48}H_{80}O_{40}$ 3. $C_{48}H_{82}O_{41}$ 4. $C_{48}H_{96}O_{48}$

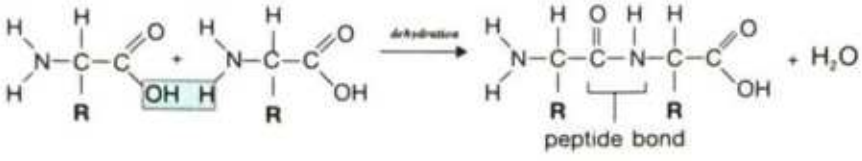
คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ (polysaccharide) คาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตั้งแต่ 10 โมเลกุลขึ้นไป มารวมตัวกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ได้แก่ (ออกสอบ !!)

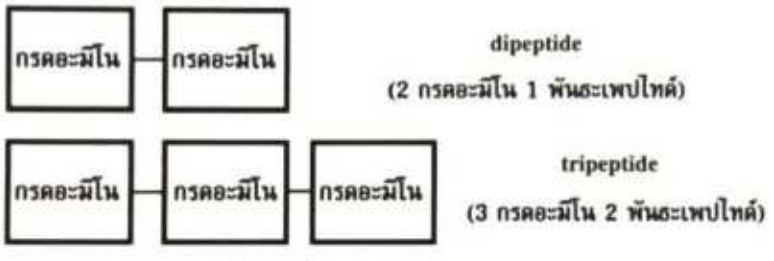
ชนิด	พอลิแซกคาไรด์	หน่วยย่อย	โครงสร้าง	แหล่งที่พบ
พอลิแซกคาไรด์สะสม (storage polysaccharide)	แป้ง มี 2 ส่วน คือ			
	▸ อะไมโลส (amylose)	กลูโคส	▸ กลูโคสหลายโมเลกุลจับกันสายตรงยาวด้วยพันธะ α 1-4 glycosidic bond ไม่แตกแขนง	ข้าวเจ้า ข้าวโพด
	▸ อะไมโลเพกทิน (amylopectin)	กลูโคส	▸ กลูโคสหลายโมเลกุลจับกันเป็นโซ่แตกแขนง โดยสายตรงยาวต่อกันด้วย α 1-4 glycosidic bond ส่วนโซ่กิ่งต่อกันด้วยพันธะ α 1-6 glycosidic bond	ข้าวเหนียว ข้าวญี่ปุ่น
	ไกลโคเจน (glycogen)	กลูโคส	▸ กลูโคสหลายโมเลกุลต่อกันเป็นโซ่กิ่งที่แตกแขนงมากกว่าอะไมโลเพกทิน โดยสายตรงยาวต่อกันด้วย α 1-4 glycosidic bond ส่วนโซ่กิ่งต่อกันด้วยพันธะ α 1-6 glycosidic bond	สะสมในตับและกล้ามเนื้อลาย
	อินูลิน (inulin)	ฟรักโทส	▸ ฟรักโทสหลายโมเลกุลต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ β 2-1 glycosidic bond	ส่วนมากอยู่ในส่วนหัวและรากของพืช เช่น หอม กระเทียม กะหล่ำปลี รักเร่ แก่นตะวัน หน่อไม้ฝรั่ง
พอลิแซกคาไรด์โครงสร้าง structure polysaccharide	เซลลูโลส (cellulose)	กลูโคส	▸ กลูโคสหลายโมเลกุลจับกันสายตรงยาวด้วยพันธะ β 1-4 glycosidic bond (เอนไซม์อะไมเลสย่อยพันธะนี้ไม่ได้) เรียงเป็นเส้นขนานกัน	ผนังเซลล์ของพืช พบมากในฝ้ายหรือสำลี และไม้
	ไคทิน (chitin)	N – acetyl glucosamine	▸ N – acetyl glucosamine เรียงต่อกันเป็นเส้นขนานคล้ายเซลลูโลส ไม่ละลายน้ำ ไคทินนำมาประยุกต์ทำไหมเย็บแผลแบบละลายได้ สารเคลือบผลไม้ ใช้ผสมชอสเจลใส่ผม ลดโลหะหนักในน้ำ	เปลือกของแมลง กุ้ง กระดองปู เขาสัตว์ และผนังเซลล์ของฟังไจ
	วุ้น (agar)	กาแลกโทส	▸ กาแลกโทสหลายโมเลกุลเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก	เซลล์ของสาหร่ายสีแดงชนิด *Gracilaria* หรือสาหร่ายผมนาง

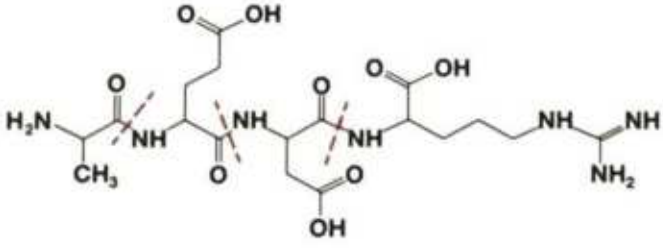
2.2.2 โปรตีน

โปรตีน (protein) โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในสิ่งมีชีวิต เช่น เอนไซม์ ฮอร์โมน ภูมิคุ้มกัน เส้นผม คอลลาเจน เส้นไหม ไขแมงมุม ฮีโมโกลบิน เนื้อสัตว์ โปรตีนแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยหน่วยย่อย (monomer) คือ กรดอะมิโนหลายๆ หน่วยมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) สูตรทั่วไปของกรดอะมิโนเป็นดังภาพ

- การเกิดพันธะเพปไทด์







จากโครงสร้างดังกล่าว มีพันธะเพปไทด์ 3 พันธะ
และมีกรดอะมิโน 4 โมเลกุล

*สังเกตพันธะเพปไทด์โดยดูที่ตำแหน่งดังกล่าว

จำนวนพันธะเพปไทด์ = จำนวนกรดอะมิโน – 1
เช่น กรดอะมิโน 100 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วย 99 พันธะเพปไทด์

- ชนิดของกรดอะมิโน แบ่งตามการสร้างของร่างกาย คือ
  - กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid) ที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นเองไม่ได้
    - วัยผู้ใหญ่มี 8 ชนิด คือ ลิวซีน ไอโซลิวซีน ไลซีน เมไทโอนีน ทรีโอนีน ฟีนิลอะลานีน ทริปโตเฟน วาลีน
    - วัยเด็กมี 10 ชนิด คือ 8 ชนิดในผู้ใหญ่ + อาร์จินีน + ฮิสทิดีน
  - กรดอะมิโนไม่จำเป็น (non essential amino acid) ที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นเองได้มี 11 ชนิด

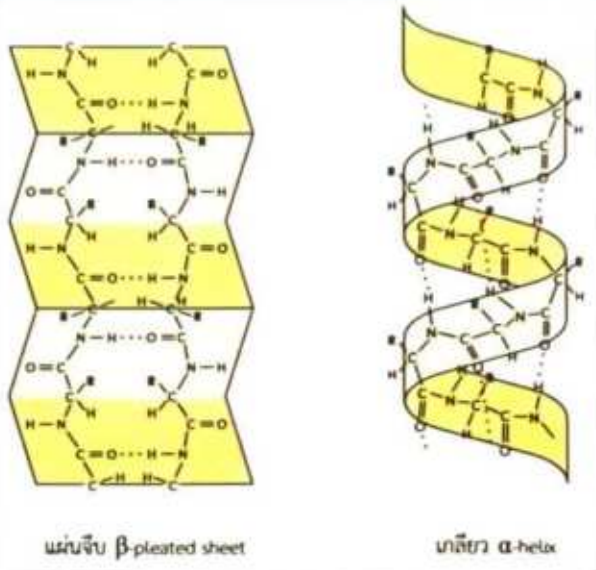
กรดอะมิโนจำเป็น 9 ชนิด	กรดอะมิโนไม่จำเป็น 11 ชนิด
ฮิสทิดีน (histidine) His *	อะลานีน (alanine) Ala
ไอโซลิวซีน (isoleucine) Ile	อาร์จินีน (arginine) Arg *
ลิวซีน (leucine) Leu	แอสพาราจีน (asparagine) Asn
ไลซีน (lysine) Lys	กรดแอสพาร์ติก (aspartic acid) Asp
เมไทโอนีน (methionine) Met	ซีสเทอีน (cysteine) Cys
ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) Phe	กรดกลูตามิก (glutamic acid) Glu
ทรีโอนีน (threonine) Thr	กลูตามีน (glutamine) Gln
ทริปโตเฟน (tryptophan) Trp	ไกลซีน (glycine) Gly
วาลีน (valine) Val	โพรลีน (proline) Pro
ฮิสทิดีน และอาร์จินีนจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเด็ก	ซีรีน (serine) Ser
	ไทโรซีน (thyrosine) Tyr

กรดอะมิโนจำเป็น 9 ชนิด :

	ทริปโตเฟน	ฟีนิลอะลานีน	ทรีโอนีน	เมไทโอนีน	วาลีน	ลิวซีน	ไอโซลิวซีน	ไลซีน	ฮิสทิดีน
มุขจำ	ทริป	ฟี	ทรี	เม็ด	เว - ลา	ไอ	แล้ว	หาย	ดี

- ประเภทของโปรตีนจำแนกตามโครงสร้างของโปรตีน มี 4 ระดับ คือ

โครงสร้างของโปรตีน	ภาพประกอบ
▸ โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure) เป็นโครงสร้างที่แสดงการจัดลำดับชนิดและจำนวนโมเลกุลของกรดอะมิโนในสายพอลิเมอร์โซ่ยาว ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดจะมีลำดับของชนิดและจำนวนโมเลกุลของกรดอะมิโนที่แน่นอน เช่น พบในอินซูลิน	

โครงสร้างของโปรตีน	ภาพประกอบ
▸ โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการขดหรือม้วนตัวของโครงสร้างปฐมภูมิ มี 2 แบบ • เกลียวแอลฟา (α - helix) สายพอลิเพปไทด์บิดเป็นเกลียว พบในไมโอซินที่กล้ามเนื้อและโปรตีนเคอราทิน (keratin) ในเส้นผม • แผ่นจีบบีตา (β - pleated sheet) พอลิเพปไทด์หลายสายเรียงขนานกันคล้ายแผ่นจีบ พบในโปรตีนไฟโบรอินในเส้นไหมและใยแมงมุม	 แผ่นจีบ β-pleated sheet เกลียว α-helix
▸ โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) เป็นโครงสร้างทุติยภูมิที่ขดเป็นเกลียวหลายตำแหน่ง บางช่วงม้วนพับเป็นก้อนกลมและบางช่วงเป็นโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ เช่น โปรตีนที่หุ้มไวรัสบางชนิด ไมโอโกลบินเป็นโปรตีนก้อนกลมที่พบในเนื้อสัตว์ • เป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่ได้	
▸ โครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure) เป็นพอลิเพปไทด์มากกว่า 1 สายมารวมกัน เมื่อรวมตัวกันจนเกิดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ก้อนกลม เช่น **ฮีโมโกลบิน** ประกอบด้วยพอลิเพปไทด์ 4 หน่วยย่อย คือ แอลฟา 2 หน่วยและบีตา 2 หน่วย แต่ละหน่วยย่อยมีฮีม (heme) เกาะอยู่ 1 หมู่ ซึ่งเหล็ก Fe ในฮีมทำหน้าที่จับกับออกซิเจน (เหมือนเอาเหล็กมาวางไว้นอกบ้านแล้วเกิดสนิม แสดงว่าเหล็กมีคุณสมบัติจับกับออกซิเจน ซึ่งในเลือดเราจึงพบเหล็ก) 1 ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วย 4 ฮีม และ 4 Fe ดังนั้น 1 ฮีโมโกลบินจึงจับออกซิเจนได้ 4 โมเลกุล และอาจจะพบโครงสร้างจตุรภูมิเป็นสาย เช่น **คอลลาเจน** ประกอบด้วยพอลิเพปไทด์ 3 สาย บิดเป็นเกลียว พบในเอ็น พังผืด ผนังมดลูก กระดูกอ่อน ผนังหลอดเลือด เป็นต้น	

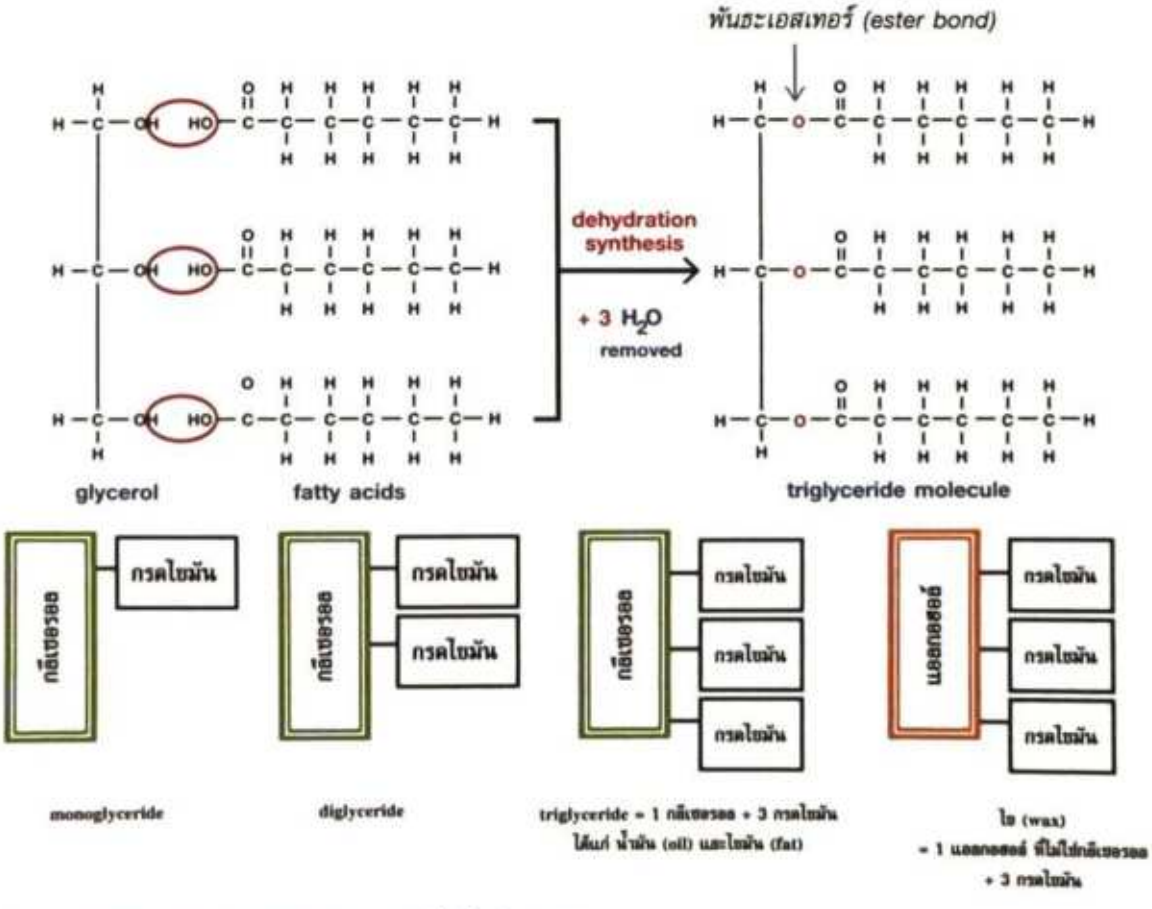
- ▸ จำแนกตามความสามารถในการละลาย (solubility)
  - โปรตีนก้อนกลม (globular protein) ละลายน้ำได้ เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่มีขั้วเป็นองค์ประกอบ เช่น เอนไซม์ โปรตีนที่พบในเยื่อหุ้มเซลล์ พลาสมาโปรตีน
  - โปรตีนเส้นใย (fibrous protein) ไม่ละลายน้ำ เป็นเส้นใยแข็งแรง เช่น คอลลาเจน อีลาสทิน เคอราทิน ไมโอซิน และไฟบรินในกล้ามเนื้อ

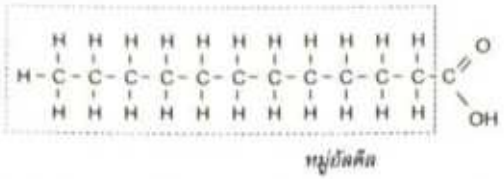
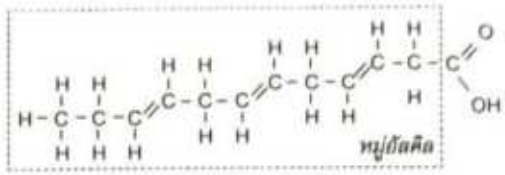
- จำแนกตามหน้าที่
  - โปรตีนเร่งปฏิกิริยาเคมี : เอนไซม์
  - โปรตีนโครงสร้าง : คอลลาเจน อีลาสทินในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เคอราทินในผิวหนัง ผม เล็บ
  - โปรตีนทำหน้าที่ป้องกัน : ไฟบริโนเจน ในเลือดเกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด อิมมูโนโกลบูลิน ต่อสู้สิ่งแปลกปลอม
  - โปรตีนทำหน้าที่ลำเลียง : ฮีโมโกลบินและไมโอโกลบินในเลือด ทำหน้าที่ลำเลียง, แอลบูมินลำเลียงกรดไขมัน
  - โปรตีนเกี่ยวกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ : แอกทินและไมโอซิน
- โปรตีนที่ประกอบด้วยการเรียงตัวของกรดอะมิโนร่วมกับสารอื่นๆ
  - ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ประกอบด้วยโปรตีน + คาร์โบไฮเดรต พบในเยื่อหุ้มเซลล์ คอลลาเจน อิมมูโนโกลบูลิน
  - ลิโพโปรตีน (lipoprotein) ประกอบด้วยโปรตีน + ไขมัน พบในเลือด
  - นิวคลีโอโปรตีน (nucleoprotein) ประกอบด้วยโปรตีน + กรดนิวคลีอิก พบในโครโมโซมและไวรัส
  - ฮีมโปรตีนหรือโครโมโปรตีน (hemeprotein/chromoprotein) ประกอบด้วยโปรตีน + หมู่ฮีม พบในฮีโมโกลบิน ไมโอโกลบิน ไซโทโครม

2.2.3 ลิพิด

ลิพิด (lipid) มีธาตุ C, H และ O เหมือนคาร์โบไฮเดรตแต่มีอัตราส่วน C ต่อ O ไม่แน่นอน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อีเทอร์ เบนซิน ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)

1. **ลิพิดเชิงเดี่ยว (simple lipid)** ประกอบด้วยกรดไขมัน และแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ (ส่วนมากเป็นกลีเซอรอล) ได้แก่ น้ำมัน (oil) ที่อุณหภูมิปกติเป็นของเหลว, ไขมัน (fat) ที่อุณหภูมิปกติเป็นของแข็ง และ ไข (wax) เป็นกรดไขมันโมเลกุลใหญ่รวมกับแอลกอฮอล์ เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ ไขจะเคลือบที่ผิวใบไม้และผิวผลไม้บางชนิด ป้องกันการสูญเสียน้ำ พบในขี้ผึ้ง ไขวาฬที่หัวของวาฬ ไขลาโนลินพบที่ขนสัตว์



ข้อเปรียบเทียบ	กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid)	กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)
โครงสร้าง	▸ คาร์บอนต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด  	▸ คาร์บอนต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ 
การเหม็นหืน	▸ เหม็นหืนยากกว่า	▸ เหม็นหืนง่าย เพราะออกซิเจนสามารถทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ (ออกซิเดชัน) แก้ไขโดยใส่สาร antioxidant ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเติมวิตามินซีหรือวิตามินอี
จำนวน C:H	▸ มีจำนวนมากกว่า	▸ มีจำนวนน้อยกว่า
จุดเดือด จุดหลอมเหลว	▸ สูงกว่า เพราะเมื่อเทียบในจำนวนคาร์บอนที่เท่ากัน กรดไขมันอิ่มตัวจะมีจำนวนไฮโดรเจนมากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุล	▸ ต่ำกว่า ▸ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากันแต่จำนวนพันธะคู่ไม่เท่ากัน ยิ่งจำนวนพันธะคู่มาก จุดเดือดจุดหลอมเหลวยิ่งลดลงตามลำดับ
แหล่งที่พบ	▸ ไขมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ▸ น้ำมันมะพร้าว ▸ น้ำมันปาล์ม	▸ ไขมันจากพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง

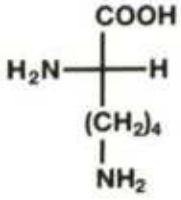
เพิ่มเติม การดูสูตรโมเลกุลเพื่อบอกว่าเป็นกรดไขมันอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัว ดูจากหมู่อัลคิลที่ต่อกับ –COOH

- หมู่อัลคิลของกรดไขมันอิ่มตัวจะเป็น $C_nH_{2n+1}COOH$ เช่น กรดปาล์มิติก ($C_{15}H_{31}COOH$) กรดสเตียริก ($C_{17}H_{35}COOH$)
- หมู่อัลคิลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ในโมเลกุล ดังนั้น 1 พันธะคู่ ไฮโดรเจนจะหายไป 2 อะตอม เมื่อใช้สูตร $C_nH_{2n+1}COOH$ แล้วให้พิจารณาดูว่าไฮโดรเจนหายไปเท่าไร ก็จะบอกได้ว่าโมเลกุลนี้มีพันธะคู่กี่ตำแหน่ง (H หาย 2 อะตอม = มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง, H หาย 4 อะตอม = มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง ...) เช่น กรดปาล์มิโตเลอิก ($C_{15}H_{29}COOH$ จริงๆ แล้วเมื่อเข้าสูตร $C_nH_{2n+1}COOH$ มี C 15 อะตอม ต้องมี H 31 อะตอม แต่จากสูตรเคมีพบว่ามี H 29 อะตอม แสดงว่า H หายไป 2 อะตอมเพื่อสร้างพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง ดังนั้น กรดปาล์มิโตเลอิก เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง) หรือกรดอะแรคไคโดนิก $C_{19}H_{31}COOH$ มี H หายไป 8 อะตอม กรดอะแรคไคโดนิกจึงมีพันธะคู่ 4 ตำแหน่ง

▸ ความสำคัญของลิพิดต่อสิ่งมีชีวิต

1. ให้พลังงานแก่สิ่งมีชีวิต
2. เป็นโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์
3. เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินดี และฮอร์โมนอื่นๆ
4. เป็นองค์ประกอบในเซลล์ประสาทและสมอง
5. เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตทางเพศ (ฮอร์โมนเพศ)

Quiz Yourself



2) สารเคมีดังกล่าวจะพบเป็นองค์ประกอบของสารชีวโมเลกุลใด

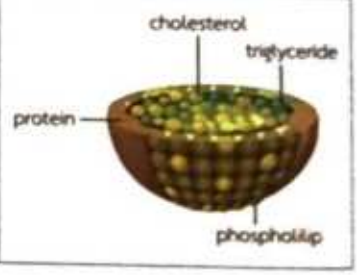
1. เซลลูโลส 2. อะไมโลส 3. เซลลูเลส 4. อะไมโลเพกทิน

2. **ลิพิดเชิงประกอบ (compound lipid)** เป็นลิพิดที่ประกอบด้วยไขมันธรรมดารวมกับสารอื่นๆ เช่น

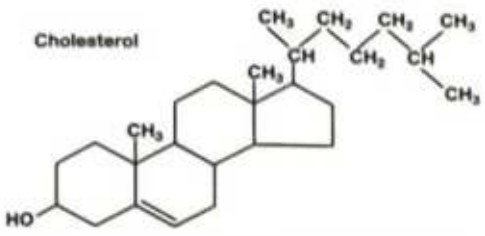
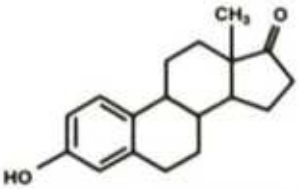
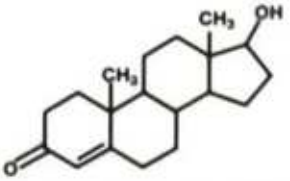
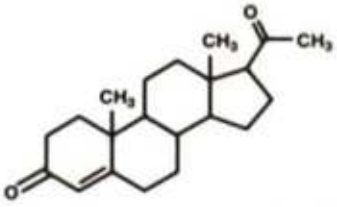
▸ ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) สังเกตจากชื่อแสดงว่าเป็นไขมันที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย พบในเยื่อหุ้มเซลล์ เนื้อเยื่อประสาท สมอง น้ำเลือดและไข่แดง ที่เยื่อหุ้มเซลล์ฟอสโฟลิพิดจะเรียงตัวเป็น 2 ชั้น เรียก phospholipid bilayer โดยส่วนหัวคือส่วนที่หมู่ฟอสเฟตที่มีขั้วอยู่ ส่วนหัวจึงชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนหางเป็นส่วนที่เป็นกรดไขมัน ส่วนหางจึงไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ฟอสโฟลิพิดประกอบด้วย 1 กลีเซอรอล + 2 กรดไขมัน + 1 หมู่ฟอสเฟต

▸ ไกลโคลิพิด (glycolipid) (คำว่า glyco- แปลว่า น้ำตาล) ไขมันที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย พบมากในเยื่อหุ้มเซลล์ของสมองและเส้นประสาทเป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อไมอีลินที่หุ้มเซลล์ประสาท ทำให้ส่งกระแสประสาทเร็วขึ้น เช่น เซเรโบรไซด์ กาแลกโทลิพิด โดย ไกลโคลิพิด ประกอบด้วย 1 กลีเซอรอล + 2 กรดไขมัน + 1 คาร์โบไฮเดรต

▸ ลิโพโปรตีน (lipoprotein) เป็นไขมันที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย พบในน้ำเลือด ทำหน้าที่เป็นตัวลำเลียงไขมันในเลือดไปทั่วร่างกาย และเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ ลิโพโปรตีน ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ + โปรตีน + ฟอสโฟลิพิด + คอเลสเทอรอล

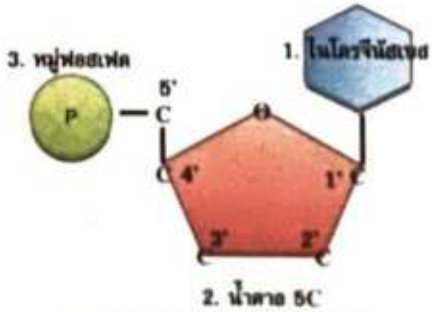


3. **อนุพันธ์ของลิพิด (derived lipid)** เกิดจากการสลายตัวของลิพิดธรรมดาและลิพิดเชิงประกอบ ได้แก่ กรดไขมัน และสเตอรอยด์
   - สเตอรอยด์ (steroid) ประกอบด้วยวงแหวน 4 วงต่อกัน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในลิพิดและตัวทำละลายอินทรีย์ พบในสัตว์และพืช แต่ไม่พบในแบคทีเรีย ตัวอย่างเช่น คอเลสเทอรอล ฮอร์โมนเพศชายและหญิง ฮอร์โมนจากต่อมหมวกไต (**ออกสอบ!!**) (ถ้าฮอร์โมนทั่วๆ ไปตัวอื่นจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ)

อนุพันธ์ของลิพิด	หน้าที่
คอลเลสเทอรอล (cholesterol) 	เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินดี น้ำดี และสเตอรอยด์ฮอร์โมนชนิดต่างๆ ทั้งนี้ยังเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยฝังตัวอยู่ในชั้น lipid bilayer ทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อหุ้มเซลล์มีสภาพยืดหยุ่นได้อย่างเหมาะสม หากเลือดมีคอลเลสเทอรอลมากกว่า 200 มิลลิกรัม/เดซิลิตร จะเกิดภาวะไขมันในเลือดสูง หรือคอลเลสเทอรอลสูง เสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจตีบตัน
ฮอร์โมนอีสโทรเจน (estrogen) 	เป็นฮอร์โมนเพศหญิง ก่อนไข่ตกสร้างมาจาก follicle cell (กลุ่มเซลล์ที่อยู่รอบไข่) และหลังไข่ตกสร้างมาจาก corpus luteum ควบคุมลักษณะของเพศหญิง เช่น การมีหน้าอก สะโพกผาย เสียงแหลม มีขนที่อวัยวะเพศ การเจริญของอวัยวะเพศ และควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเยื่อบุผนังมดลูกทั้งก่อน-หลังการมีประจำเดือน
ฮอร์โมนโพสเจสเทอโรน (progesterone) 	เป็นฮอร์โมนเพศหญิง สร้างจาก corpus luteum และจะสร้างมากหลังไข่ตก ทำหน้าที่ควบคุมเยื่อบุผนังมดลูกให้หนาตัวขึ้นหลังไข่ตก เพื่อรองรับไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิ ทั้งนี้ยังช่วยควบคุมเยื่อบุผนังมดลูกขณะตั้งครรภ์ด้วย
ฮอร์โมนเทสโทสเทอโรน (testosterone) 	เป็นฮอร์โมนเพศชาย สร้างจาก Leydig's cell หรือ interstitial cell ในหลอดสร้างอสุจิที่อัณฑะ ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะของเพศชาย เช่น การเจริญของอวัยวะเพศ การพัฒนากล้ามเนื้อ เสียงของเพศชาย ขนตามที่ต่างๆ เป็นต้น

2.2.4 กรดนิวคลีอิก

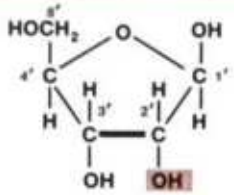
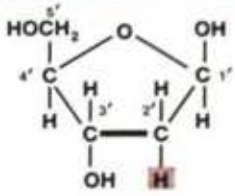
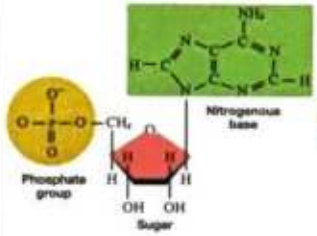
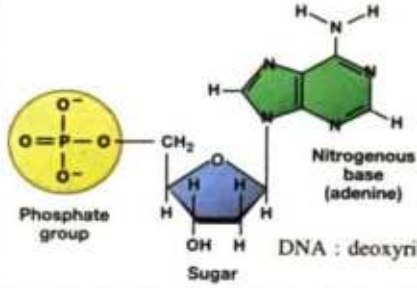
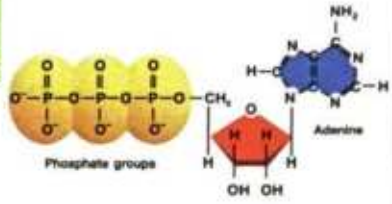
กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ แต่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดสารพันธุกรรมและการสังเคราะห์โปรตีน ได้แก่ DNA และ RNA กรดนิวคลีอิกบางชนิดยังเป็นสารพลังงานสูง เช่น ATP ADP และ AMP และบางชนิดเป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) คือ สารประกอบที่เกาะกับเอนไซม์ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เช่น NAD^+, FAD, $NADP^+$



▲ หน่วยย่อยของนิวคลีโอไทด์

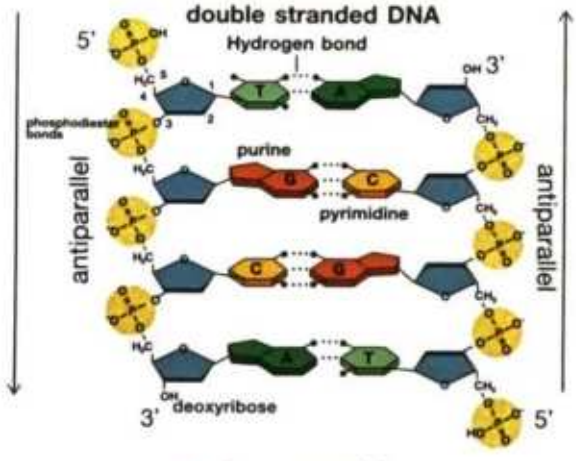
หน่วยย่อย (monomer) ของกรดนิวคลีอิก คือ นิวคลีโอไทด์ (nucleotide)

- ไนโตรจีนัสเบส (nitrogenous base) จากชื่อแสดงว่ามีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ
  - เบสพิวรีน (purine) เป็นเบสวงแหวน 2 วง ได้แก่ เบสอะดีนีน (adenine : A) และเบสกวานีน (guanine : G)
  - เบสไพริมิดีน (pyrimidine) เป็นเบสวงแหวน 1 วง ได้แก่ เบสไซโทซีน (cytosine : C) เบสยูราซิล (uracil : U พบใน RNA) เบสไทมีน (thymine : T พบใน DNA) **(มุขจำ... ให้จำว่า ไพริมิดีน CUT (คัท)**
- น้ำตาล 5 คาร์บอน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. น้ำตาลไรโบส (ribose) :	2. น้ำตาลดีออกซีไรโบส (deoxyribose) :
	
น้ำตาลไรโบสคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะมีออกซิเจน พบใน RNA, ATP, NAD^+, FAD^+	น้ำตาลดีออกซีไรโบส (deoxyribose) คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ไม่มีออกซิเจน (ศัพท์ควรรู้ 1. de- อยู่หน้าคำไหนแปลว่า ลดลง เช่น delete (ลบ) delay (ล่าช้า) 2. oxy- หมายถึง ธาตุออกซิเจน ดังนั้น deoxy- จึงหมายถึง สารที่ลดธาตุออกซิเจนออกไป
 RNA :ribonucleic acid	 DNA : deoxyribonucleic acid
 ATP :adenosine triphosphate (มี 3 หมู่ฟอสเฟต)	

โครงสร้างของ DNA (deoxyribonucleic acid)

- DNA เป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์ (polynucleotide) 2 สายเชื่อมต่อกัน (double strand) และบิดเป็นเกลียวเวียนขวาคล้ายบันไดเวียน

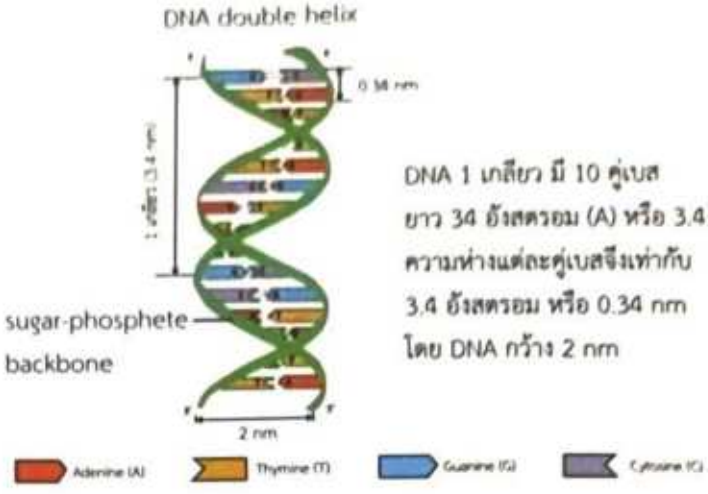


▲ (cr.cuny.edu)

▲ (Cr. MITx Bio)

- DNA มีการจับกันของเบสคู่สมกัน (complementary base pair) ด้วยพันธะไฮโดรเจน

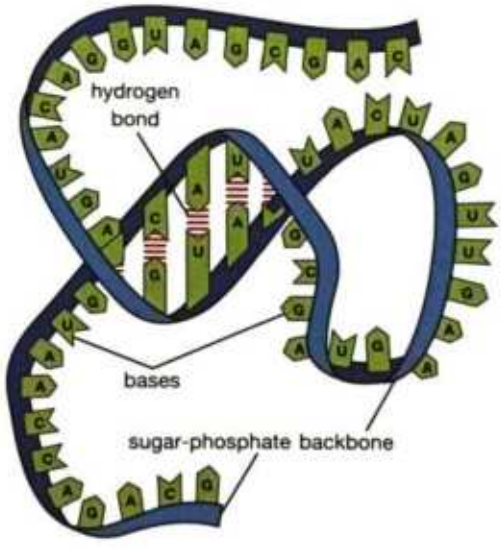
เบสพิวรีน	จับกับ	เบสไพริมิดีน
A	=	T
G	≡	C



DNA 1 เกลียว มี 10 คู่เบส
ยาว 34 อังสตรอม (A) หรือ 3.4 nm
ความห่างแต่ละคู่เบสจึงเท่ากับ
3.4 อังสตรอม หรือ 0.34 nm
โดย DNA กว้าง 2 nm

- นิวคลีโอไทด์หนึ่งต่อกับอีกนิวคลีโอไทด์หนึ่งที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กับหมู่ฟอสเฟตด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (ซึ่งเปรียบได้กับส่วนของราวบันได (backbone))
- นิวคลีโอไทด์ 2 สายเรียงตัวขนานกัน โดยสลับด้านกัน เรียก antiparallel ข้างหนึ่งทิศจาก 5' ⟶ 3' และอีกข้างหนึ่งทิศจาก 3' ⟵ 5' (5' อ่านว่า 5 ไพร์ม หรือคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ของน้ำตาล)

โครงสร้างของ RNA (ribonucleic acid)



▲ (cr.sunyocc.edu)

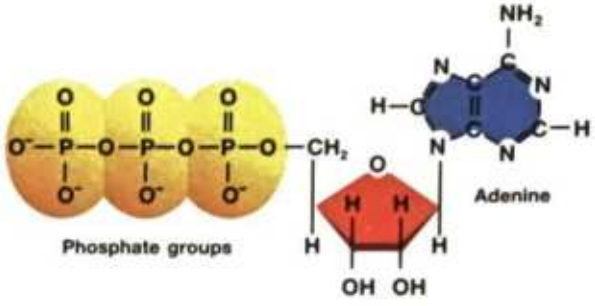
- RNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 1 สาย (single strand) ซึ่งอาจมีการโค้งหรือบิดของสายพอลินิวคลีโอไทด์ได้
- สาย RNA ที่มีการบิดโค้งงอ ทำให้เกิดการจับกันของเบสสายเดี่ยวนี้ด้วยพันธะไฮโดรเจน

เบสพิวรีน	จับกับ	เบสไพริมิดีน	
A	=	U *	(ต่างกับ DNA)
G	≡	C	

- RNA พบในสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน พบในนิวเคลียส ไซโทพลาซึม ไรโบโซม, ไมโทคอนเดรีย คลอโรพลาสต์ เป็นต้น RNA มี 3 ชนิด คือ
  1. tRNA (transfer RNA) เป็นตัวนำกรดอะมิโนไปที่ไรโบโซมเพื่อสังเคราะห์โปรตีน
  2. rRNA (ribosomal RNA) เป็นส่วนหนึ่งของไรโบโซม เกี่ยวข้องกับการแปลรหัสเพื่อสังเคราะห์โปรตีน
  3. mRNA (messenger RNA) นำคำสั่งจาก DNA ไปควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน

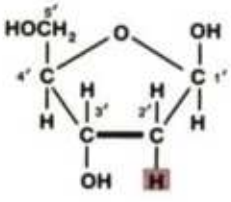
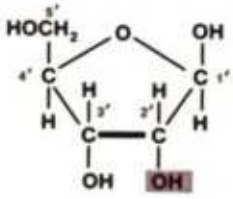
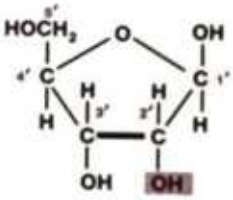
โครงสร้าง ATP (adenosine triphosphate) ประกอบด้วย

1. น้ำตาลไรโบส
2. เบสอะดีนีน (A)
3. หมู่ฟอสเฟต 3 หมู่ (ตามชื่อ) เป็นสารพลังงานสูง



▲ (cr.wikimedia.org)

ในสิ่งมีชีวิต สมการปลดปล่อยพลังงาน คือ $ATP + H_2O \longrightarrow ADP + Pi +$ พลังงาน 7.3 กิโลแคลอรี/โมล

สิ่งเปรียบเทียบ	ดีเอ็นเอ (DNA)	อาร์เอ็นเอ (RNA)	เอทีพี (ATP)
ย่อมาจาก	deoxyribonucleic acid	ribonucleic acid	adenosine triphosphate
หน้าที่	เก็บข้อมูลทางพันธุกรรม และถ่ายทอดไปยังเซลล์ใหม่	เป็นตัวกลางที่ถ่ายทอดข้อมูลจากดีเอ็นเอไปให้ไรโบโซมสังเคราะห์โปรตีน	สารพลังงานสูงในเซลล์ ทำให้ได้พลังงานไปใช้ในสิ่งมีชีวิต
โครงสร้าง	สองสายพันเป็นเกลียวคู่สายยาว	มักเป็นเกลียวสายเดี่ยวที่สั้นกว่า	-
ชนิดน้ำตาล เพนโทส	น้ำตาลดีออกซีไรโบส  C ตำแหน่งที่ 2 ไม่มี O (-H)	น้ำตาลไรโบส  C ตำแหน่งที่ 2 มี O (-OH)	น้ำตาลไรโบส  C ตำแหน่งที่ 2 มี O (-OH)
จำนวนหมู่ฟอสเฟต	1 หมู่	1 หมู่	3 หมู่
การจับคู่ของเบส	A-T, C-G (มี T)	A-U, C-G (มี U)	ไม่มีการจับคู่ของเบส (มีเพียงเบสอะดีนีนในโมเลกุลเท่านั้น)
กระบวนการในสิ่งมีชีวิต	การจำลองดีเอ็นเอ	การถอดรหัสและการแปลรหัส	การหายใจระดับเซลล์

2.2.5 วิตามิน

วิตามิน (vitamin) วิตามินเป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงานแต่ร่างกายขาดไม่ได้ หากขาดแล้วจะทำให้เกิดโรคต่างๆ วิตามินกลุ่มที่ละลายน้ำได้ คือ วิตามิน B และ C ส่วนวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน คือ วิตามิน A D E และ K

ชนิดของวิตามิน	แหล่งที่พบ	ความสำคัญ	อาการเมื่อขาดหรือได้รับวิตามินมากเกินไป
A (retinol)	ตับ ไข่แดง นม น้ำมันตับปลา มะละกอสุก มันเทศ มะม่วงสุก (ผลไม้สีเหลือง)	▸ เกี่ยวกับการมองเห็นในที่สลัว ▸ รักษาสภาพเยื่อบุผิว (epithelial tissue) ▸ ช่วยการเจริญเติบโตในเด็ก มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน	▸ ถ้าขาดจะไม่สามารถมองเห็นที่สลัวๆ หรือเรียกอาการตาบอดกลางคืน (night blindness) ▸ ในเด็กถ้ารับไม่เพียงพอจะทำให้การสร้างเนื้อเยื่อ กระดูก เอ็นผิดปกติไป ▸ ได้รับมากไปจะทำให้ปวดหัวอาเจียน ผมร่วง
D (calciferol)	เนื้อ ตับ น้ำมันตับปลา ไข่แดง นม	▸ ช่วยรักษาระดับแคลเซียมและฟอสเฟตในร่างกาย และช่วยดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสเพื่อสร้างกระดูกและฟัน	▸ ถ้าขาดอาจเกิดโรคกระดูกอ่อน ฟันผุง่าย ▸ ถ้าขาดอาจเกิดอาการภาวะชัก
E (tocopherol)	ผักใบเขียว น้ำมันพืช นม ไข่ ถั่วชนิดต่างๆ	▸ ช่วยสังเคราะห์ฮีมซึ่งเป็นองค์ประกอบของเม็ดเลือดแดง ▸ ป้องกันไม่ให้เยื่อหุ้มเซลล์แตกง่าย ▸ เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ต้านอนุมูลอิสระ	▸ ถ้าขาดจะทำให้กล้ามเนื้อลีบ ▸ มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ทำให้ผู้ชายอาจเป็นหมัน ผู้หญิงอาจจะเกิดการสลายตัวอ่อนในมดลูก ▸ เม็ดเลือดแดงแตกง่าย
K (quinones)	ผักโขม ดอกกะหล่ำ กะหล่ำปลี ถั่วเหลือง เนื้อไก่ ตับ ไข่	▸ แบคทีเรียในลำไส้สามารถสังเคราะห์ได้ ▸ เร่งการสร้างโพรทรอมบินที่ตับช่วยให้เลือดแข็งตัว ▸ เป็นตัวช่วยในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในการหายใจระดับเซลล์	▸ ถ้าขาดทำให้ภาวะเลือดแข็งตัวยาก อาจทำให้เลือดไหลไม่หยุด
C (ascorbic acid)	ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว ผักสีเขียว	▸ ช่วยสร้างเส้นใยคอลลาเจน ▸ ช่วยเสริมให้หลอดเลือดแข็งแรง ▸ บำรุงฟันและเหงือก	▸ ถ้าขาดทำให้เลือดออกตามไรฟัน (ลักปิดลักเปิด) ▸ เส้นเลือดเปราะแตกง่าย ▸ อ่อนเพลีย กระดูกเปราะ ฟันผุ เหงือกบวม
B_1 (thiamine)	รำข้าว ยีสต์ ข้าวซ้อมมือ นม ตับ หัวใจ ถั่วต่างๆ	▸ บำรุงระบบประสาทและการทำงานของหัวใจ	▸ ถ้าขาดอาจทำให้เกิดโรคเหน็บชา
B_2 (riboflavin)	นม เนื้อสัตว์ ตับ ปลาทู ถั่วดำ ถั่วเหลือง	▸ การเจริญเติบโตเป็นปกติ บำรุงผิวหนัง ลิ้น ตา	▸ ถ้าขาดเป็นปากนกกระจอก ผิวหนังแห้งแตก ลิ้นเป็นแผล

ชนิดของวิตามิน	แหล่งที่พบ	ความสำคัญ	อาการเมื่อขาดหรือได้รับวิตามินมากเกินไป
B_3 (niacin)	เนื้อสัตว์ ตับ ถั่ว ยีสต์ ผักสด	▸ เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์ ▸ เป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์	▸ ถ้าขาดลิ้นบวม ผิวหนังหยาบแห้ง มีสีคล้ำ ระบบย่อยผิดปกติ
B_6 (pyridoxine)	นม ไข่ เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์ ยีสต์ ข้าวซ้อมมือ	▸ เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและกรดไขมันในการสร้างฮีม ▸ เกี่ยวข้องกับการสร้างภูมิคุ้มกัน	▸ ถ้าขาดทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ▸ มีอาการบวมและคันตามผิวหนัง
B_{12} (cyanoco balamin)	นม ไข่ ปลา ตับ เนื้อสัตว์ เนื้อปู ไข่แดง	▸ ช่วยในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ▸ ช่วยในการสร้างเม็ดเลือดแดงและไขกระดูก ▸ ช่วยในการทำงานของระบบประสาท	▸ ถ้าขาดอาจเกิดโรคโลหิตจางฮีโมโกลบินน้อย

Quiz Yourself

3) คอลเลสเทอรอล ไกลโคเจน และไคทิน จัดเป็นสารอินทรีย์ประเภทใด ตามลำดับ

1. คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน
2. คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด
3. ลิพิด คาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรต
4. ลิพิด คาร์โบไฮเดรต ลิพิด

4) สารสีในดอกดาวเรืองที่นำมาผสมกับอาหารสัตว์ปีกช่วยให้ไข่แดงมีสีเข้มขึ้น สามารถเปลี่ยนไปเป็นวิตามินชนิดใด

1. วิตามินเอ
2. วิตามินบี
3. วิตามินซี
4. วิตามินดี

▸ ตารางสรุปการทดสอบสารอาหาร

สารอาหาร	สารที่ใช้ทดสอบ	ผลการทดสอบ
น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และน้ำตาลโมเลกุลคู่ ยกเว้น ซูโครส	สารละลายเบเนดิกต์ (สีฟ้า) + ต้ม	สารสีฟ้า ⟶ เกิดตะกอนสีแดงอิฐ
น้ำตาลซูโครส	ต้มกับกรดอ่อนๆ ก่อน + ใส่สารละลายเบเนดิกต์	สารสีฟ้า ⟶ เกิดตะกอนสีแดงอิฐ
	ใส่เอนไซม์ซูเครสก่อน + ใส่สารละลายเบเนดิกต์	สารสีฟ้า ⟶ เกิดตะกอนสีแดงอิฐ
แป้ง (อะไมโลส โดยเฉพาะโมเลกุลที่บิดเป็นเกลียวมาก)	สารละลายไอโอดีน (สีน้ำตาล)	สารสีน้ำตาล ⟶ สารสีน้ำเงิน
แป้ง (อะไมโลเพกทิน)	สารละลายไอโอดีน (สีน้ำตาล)	สารสีน้ำตาล ⟶ สารสีม่วงแดงหรือน้ำตาลแดง

ห้องสมุดโรงเรียนวัดไร่ขิงวิทยา
อ.สามพราน จ.นครปฐม

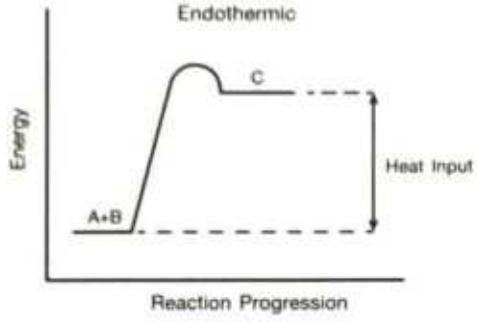
สารอาหาร	สารที่ใช้ทดสอบ	ผลการทดสอบ
เซลลูโลส	สารละลายไอโอดีน (สีน้ำตาล)	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
	1. ต้มกับกรดแก่ จะได้น้ำตาลโมเลกุลเล็ก 2. ใส่สารละลายเบเนดิกต์ (สีฟ้า) + ต้ม	สารสีฟ้า ⟶ เกิดตะกอนสีแดงอิฐ
ไกลโคเจน	สารละลายไอโอดีน (สีน้ำตาล)	สารสีน้ำตาล ⟶ สารสีม่วงแดง
โปรตีน (พันธะเพปไทด์ 2 พันธะขึ้นไป)	สารละลายไบยูเร็ต (สีฟ้า)	สารสีฟ้า ⟶ สารสีม่วงหรือน้ำเงินปนม่วง
ไขมัน	ต้มกับเบส เช่น NaOH ($NaOH + CuSO_4$)	เกิดกลีเซอรอล + เกลือโซเดียมของกรดไขมัน (สบู่) จะลื่นมือ มีฟอง
	ทดสอบกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยการฟอกจางสีของสารละลายไอโอดีน สีน้ำตาล หรือสารละลายโบรมีน สีส้ม	ทั้งสารละลายไอโอดีนและโบรมีน จะเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ แสดงว่า ถ้ามีการใช้สารละลายมากในการฟอกจางสี แสดงว่ามีพันธะคู่มาก (เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก)
	หยดลงบนกระดาษขาว	กระดาษโปร่งแสง (นึกถึงตอนซื้อกล้วยทอดที่ห่อกระดาษมา)

โรงเรียนวัดไร่ขิงวิทยา
63808
สรุปเข้มข้อสอบชีววิทยา ม.ปลาย

2.3 ปฏิกิริยาเคมีในเซลล์

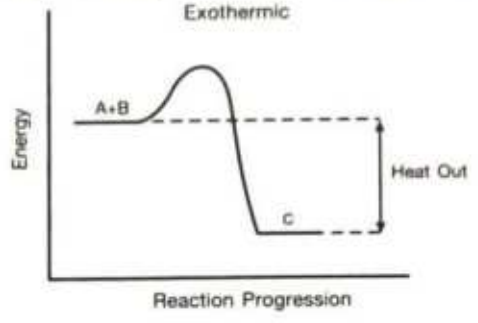
ปฏิกิริยาดูดพลังงาน

A + B + พลังงานความร้อน ⟶ C



ปฏิกิริยาคายพลังงาน

A + B ⟶ C + พลังงานความร้อน



มุขจำ... ดูดเพื่อสลาย คายเพื่อสร้าง ดูดแล้วเย็น คายแล้วร้อน

เอนไซม์และการทำงานของเอนไซม์

- เอนไซม์เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยพอลิเพปไทด์ม้วนตัวเป็นก้อน อาจมีทั้งแบบสายเดี่ยวหรือหลายสายม้วนรวมตัวกัน
- เอนไซม์บางชนิดไม่ใช่โปรตีนบริสุทธิ์ แต่จะมีส่วนประกอบอื่นที่ไม่ใช่โปรตีนรวมอยู่ด้วยเรียก โฮโลเอนไซม์

โฮโลเอนไซม์ (holoenzyme) = **แอโพเอนไซม์ (apoenzyme)** + **โคแฟกเตอร์ (cofactor)**

(ส่วนของโปรตีนที่ต้องอาศัยสารอื่นช่วยทำงาน) (ส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนแต่ช่วยเอนไซม์ทำงาน)

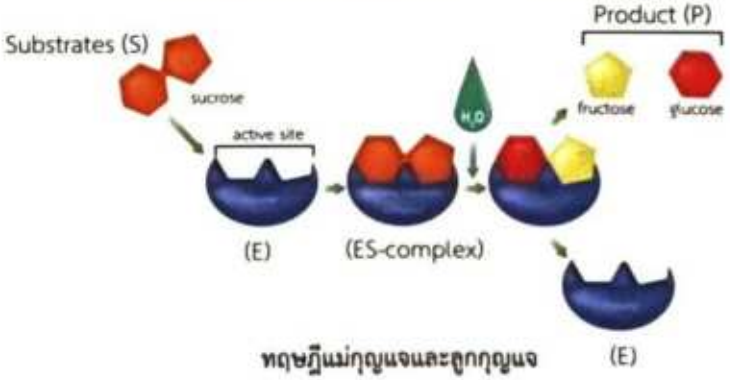
โคเอนไซม์ (coenzyme) เป็นสารอินทรีย์ที่จับแน่นกับโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกวิตามิน เช่น NAD^+ (เปลี่ยนมาจากวิตามินบี 3) กับ FAD (เปลี่ยนมาจากวิตามินบี 2) ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ และ $NADP^+$ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งสารพวกนี้จะทำหน้าที่รับ e^- และ H^+ ในปฏิกิริยาดังกล่าว

หมู่พรอสทีติก (prosthetic group) เป็นสารอนินทรีย์ที่จับกับโปรตีน เช่น ไอออนของโลหะ Zn^{2+}, Fe^{2+} Fe^{3+}, Mg^{2+}, Na เป็นต้น

การทำงานของเอนไซม์

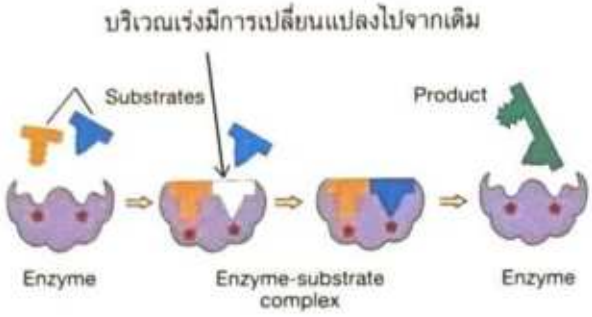
- ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ (lock and key theory) มีแนวคิดว่า เอนไซม์เปรียบเสมือนแม่กุญแจ และสารตั้งต้นเปรียบเสมือนลูกกุญแจ ซึ่งสารตั้งต้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ที่บริเวณเร่งได้พอดี เหมือนลูกกุญแจและแม่กุญแจที่เข้าคู่กันพอดี โดยก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยา เอนไซม์จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (E คงที่ทุกขั้นตอน)

$E + S \rightleftharpoons ES\text{-complex} \rightleftharpoons E + P$



ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ

- ทฤษฎีเหนี่ยวนำให้พอดี (induced fit theory) มีแนวคิดว่าสารตั้งต้นจะเหนี่ยวให้บริเวณเร่งของเอนไซม์เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้เข้ามาทำปฏิกิริยากันพอดี (ต่างกับทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ เพราะเอนไซม์และบริเวณเร่งคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม) เหมือนกับการสวมถุงมือยางของหมอที่ถุงมือจะยืดขยายได้ตามขนาดของมือนั่นเอง (E ก่อนและหลังเกิดปฏิกิริยาคงที่ แต่ E จะเปลี่ยนแปลงชั่วขณะเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น) ปัจจุบันทฤษฎีนี้ได้รับการยอมรับมากกว่า

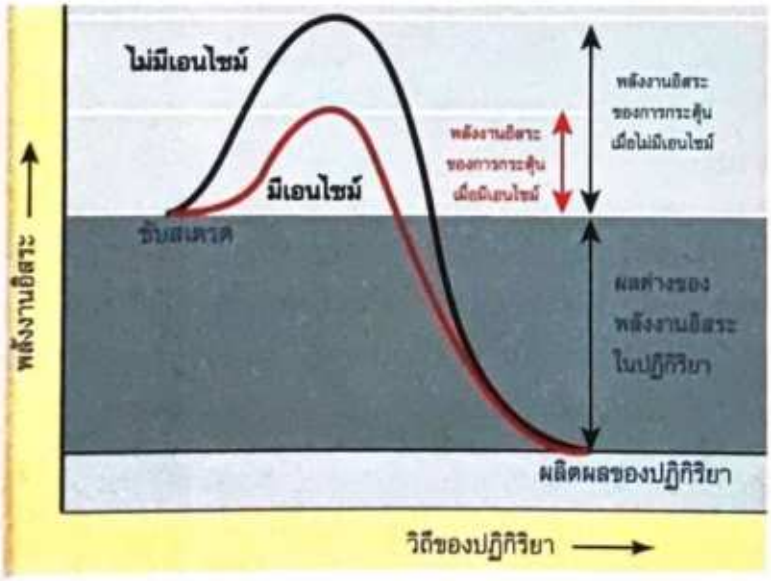


ทฤษฎีเหนี่ยวนำให้พอดี

Substrate (S) : สารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์
Enzyme (E) : เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาของสารตั้งต้น
Enzyme substrate complex (ES) : สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเอนไซม์และสารตั้งต้น
Product (P) : ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา
Active site (บริเวณเร่ง) : บริเวณที่เอนไซม์เข้าจับกับสารตั้งต้น

กลไกการทำงานของเอนไซม์

เอนไซม์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีให้เกิดเร็วขึ้น โดยการไปลดพลังงานกระตุ้น (activation energy) ของปฏิกิริยานั้นเหมือนคนเข็นครกขึ้นภูเขา ภูเขาสูงชัน (ไม่มีเอนไซม์) ก็จะเข็นขึ้นยากและเหนื่อย ในทางกลับกันถ้าเป็นภูเขาเตี้ยๆ (มีเอนไซม์) จะเข็นได้ง่ายกว่าและเหนื่อยน้อยกว่า

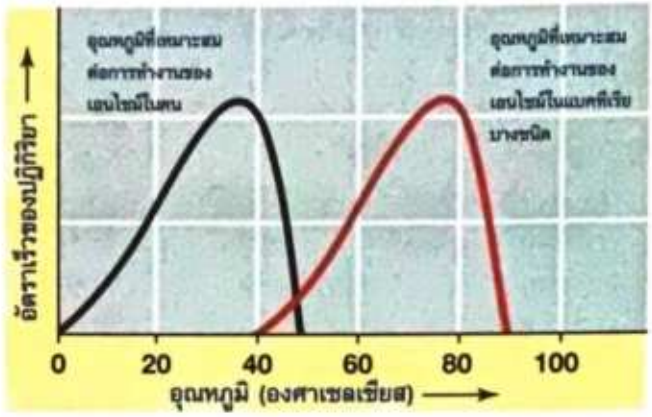


การทำงานของเอนไซม์

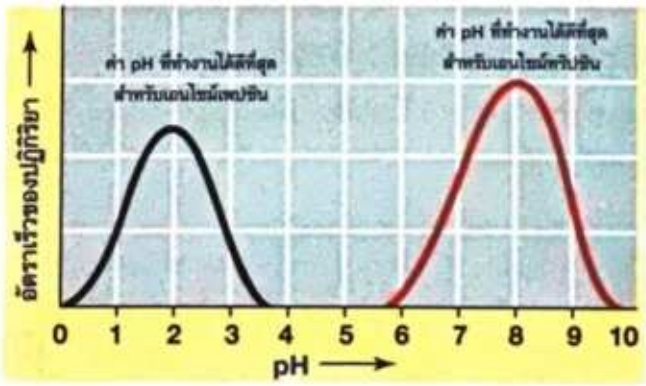
▲ (Cr. RicochetScience)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

- อุณหภูมิ เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) ของการทำปฏิกิริยา
  - โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 25-40°C
  - การเพิ่มอุณหภูมิช่วยให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น
  - แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เอนไซม์ (โปรตีน) เสียสภาพได้ จึงไม่ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น



- ความเป็นกรดเป็นเบส (pH) เอนไซม์แต่ละชนิดทำงานได้ดีในสภาวะความเป็นกรดเบสที่แตกต่างกัน
  - pepsin ที่สร้างจากกระเพาะอาหารทำงานได้ดีในสภาพเป็นกรด (ในกระเพาะมีสภาพเป็นกรดเนื่องจากมี HCl)
  - trypsin จากตับอ่อนทำงานได้ดีในสภาพเป็นเบสที่ลำไส้เล็ก
  - lipase ที่สร้างจากกระเพาะอาหาร จะไม่ทำงานที่กระเพาะอาหาร เพราะในกระเพาะมีสภาพเป็นกรด แต่จะทำงานได้ดีในสภาพเป็นเบส



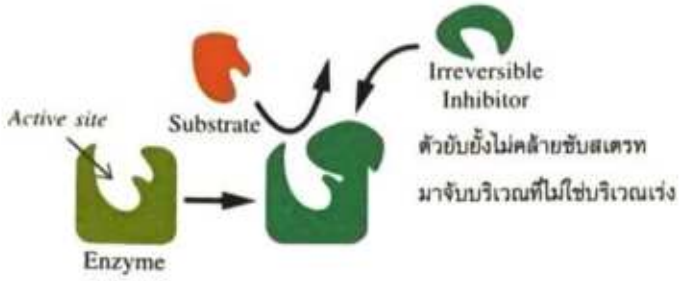
- ความเข้มข้นของเอนไซม์ ถ้าความเข้มข้นเอนไซม์เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น แต่ถ้ามีความเข้มข้นเอนไซม์มากเกินพอความเร็วของปฏิกิริยาจะไม่เพิ่มขึ้น เพราะไม่มีสารตั้งต้นเหลือพอเข้าทำปฏิกิริยา
- ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น แต่ถ้ามีความเข้มข้นสารตั้งต้นมากเกินไปความเร็วของปฏิกิริยาจะไม่เพิ่มขึ้น เพราะปริมาณเอนไซม์มีไม่เพียงพอ

ตัวยับยั้ง (inhibitor : I) คือ สารที่ทำให้ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกิดขึ้นช้าลงหรือหยุดการทำงานลง มี 2 ประเภท คือ

(1) การยับยั้งแบบถาวร (irreversible inhibitor)

- ตัวยับยั้งโครงสร้างไม่คล้ายซับสเตรท แต่ตัวยับยั้งเข้าจับเอนไซม์ด้วยพันธะโคเวเลนต์อย่างเหนียวแน่น แต่เป็นคนละบริเวณกับที่ซับสเตรทเข้าจับกับเอนไซม์ ผลคือ ทำให้เอนไซม์หมดสภาพอย่างถาวร

- ส่วนใหญ่สารที่เข้าจับกับเอนไซม์นี้จะเป็นสารพิษ เช่น แก๊สประสาท (DEP), สารจากยาฆ่าแมลง (พาราไทออน, มาลาไทออน) สารนี้จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการสร้างสารสื่อประสาท เมื่อคนได้รับสารพิษนี้จะเกิดอาการหน้ามืด คอแห้ง มึนงง ปวดหัว และอาจตายได้



การยับยั้งแบบถาวร

Quiz Yourself

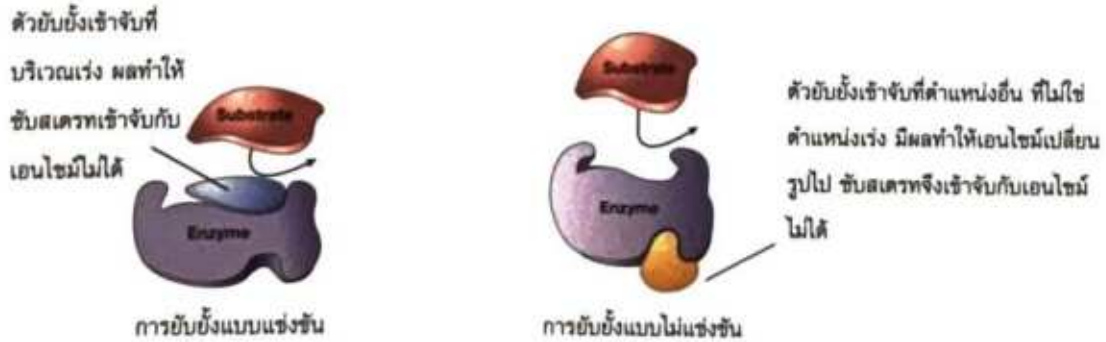
5) พันธะเพปไทด์เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างหมู่ฟังก์ชันใด

1. ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิล
2. คาร์บอกซิลและคาร์บอนิล
3. คาร์บอกซิลและอะมิโน
4. คาร์บอนิลและอะมิโน
5. ไฮดรอกซิลและอะมิโน

(2) การยับยั้งแบบไม่ถาวร (reversible inhibition) ตัวยับยั้งโครงสร้างคล้ายซับสเตรท สามารถเข้าจับเอนไซม์ที่บริเวณเดียวกับซับสเตรทได้ และสามารถหลุดออกจากเอนไซม์ได้ ผลคือ เอนไซม์จะยังคงมีสภาพตามเดิม เมื่อหลุดจากตัวยับยั้ง มี 2 แบบ คือ

1) การยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibition)
   - ตัวยับยั้งโครงสร้างคล้ายซับสเตรทเข้าจับกับเอนไซม์ที่บริเวณเร่ง
   - ผลคือ ซับสเตรทเข้ามาจับกับเอนไซม์ไม่ได้ เช่น ยาเพนิซิลินเข้าไปจับกับเอนไซม์ที่สร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรีย กรดมาโลนิก และกรดออกซาโลอะซิติก เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ซักซินิกดีไฮโดรจีเนส โดยมีกรดซักซินิกเป็นสารตั้งต้น (ปฏิกิริยาการเปลี่ยนจากกรดซักซินิกเป็นกรดฟูมาริกในวัฏจักรเครบส์จะไม่เกิด), ยาซัลฟานิลาไมด์ยับยั้งการสร้างกรดโฟลิกในแบคทีเรีย

2) การยับยั้งแบบไม่แข่งขัน (non- competitive inhibition)
   - ตัวยับยั้งจะเข้าจับกับเอนไซม์ที่ตำแหน่งอื่นที่ไม่ใช่บริเวณเร่ง
   - ผลทำให้เอนไซม์เปลี่ยนแปลงรูปร่างไป จนกระทั่งซับสเตรทไม่สามารถจับกับเอนไซม์บริเวณเร่งได้



▲ (Cr. tokresource.org)

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 3.** เพราะการรวมตัวกันของน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล จะมีการเสียน้ำออกมา 1 โมเลกุล ดังนั้น กลูโคส 8 โมเลกุลที่เรียงต่อกัน จะสร้างพันธะไกลโคซิดิกทั้งหมด 7 พันธะ จึงมีการสูญเสียน้ำออก 7 โมเลกุลเมื่อคำนวณจึงได้ว่า $8[C_6H_{12}O_6] - 7H_2O$ จะได้ $C_{48}H_{82}O_{41}$

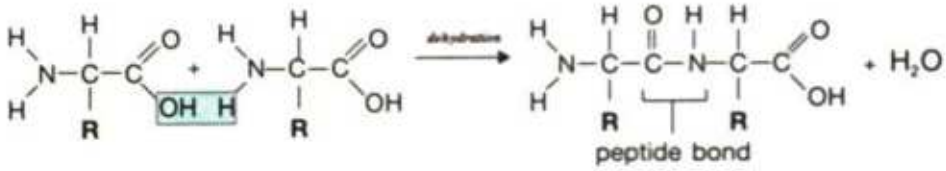
2) **ตอบ 3.** เพราะจากโมเลกุลมีหมู่ฟังก์ชันอะมิโน และคาร์บอกซิลอยู่ในโมเลกุล แสดงว่าเป็นกรดอะมิโน จึงเซลลูเลสคือเอนไซม์ (โปรตีน) ที่ย่อยเซลลูโลส ส่วนตัวเลือกที่เหลือเป็นพอลิแซกคาไรด์ทั้งหมด

3) **ตอบ 3.** เพราะคอลเลสเทอรอลคือไขมัน (สเตอรอยด์) ไกลโคเจนคือพอลิแซกคาไรด์ที่สะสมในตับและกล้ามเนื้อ ส่วนไคทินคือพอลิแซกคาไรด์เช่นกัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกแมลง เปลือกกุ้ง กระดองปู และพบในผนังเซลล์ของฟังไจ

4) **ตอบ 1.** เพราะสารสีในดอกดาวเรืองคือ แคโรทีนอยด์ซึ่งให้สีส้ม โดยแคโรทีนอยด์จะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ ดังนั้น การบริโภคผลไม้สุกหรือผลไม้ที่มีสีเหลือง เช่น มะละกอสุก มะม่วงสุก เราจะได้รับวิตามินเอเข้าไปด้วย

5) **ตอบ 3.** เพราะพันธะเพปไทด์เกิดจากการจับกันของหมู่คาร์บอกซิล และหมู่อะมิโน แล้วมีการสูญเสียน้ำออก (dehydration)

การเกิดพันธะเพปไทด์



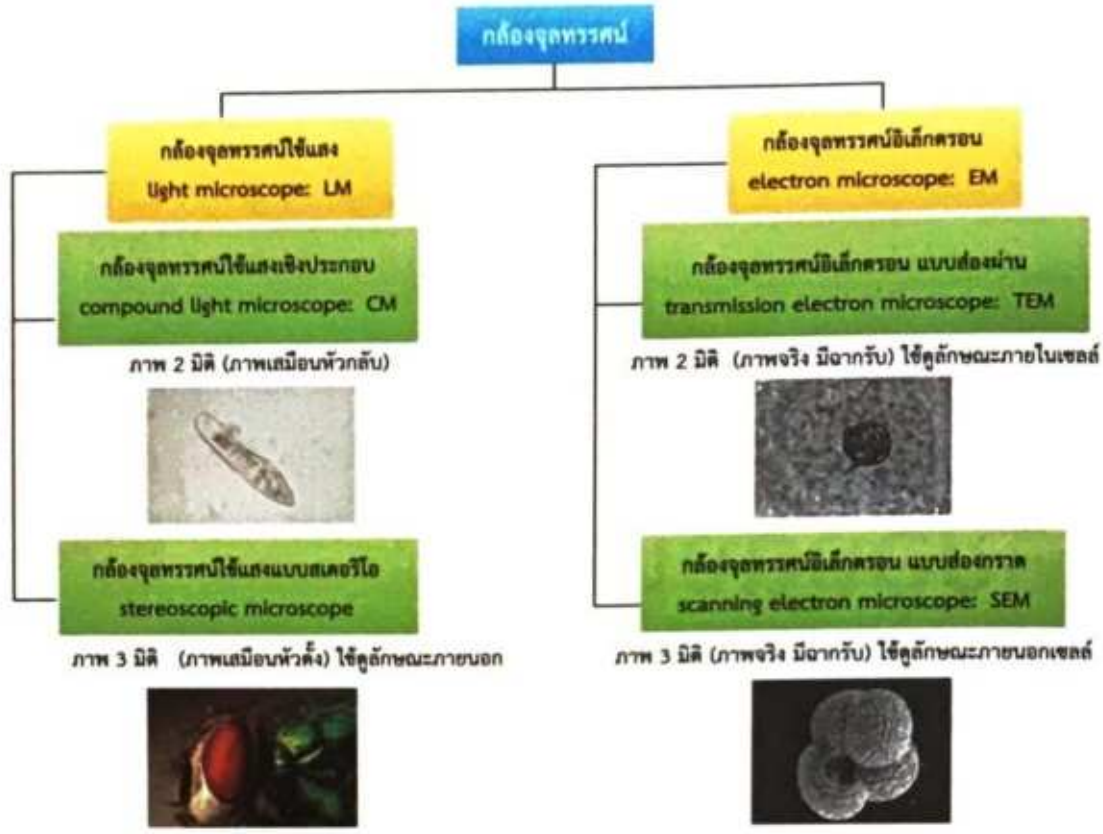
บทที่
03

เซลล์ของสิ่งมีชีวิต

3.1 กล้องจุลทรรศน์ (microscope)

(micro- = ขนาดเล็ก)

ค.ศ. 1590	พี่น้องตระกูล Janssen ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบที่ทำจากแว่นขยาย 2 อัน
ค.ศ. 1665	โรเบิร์ต ฮุค ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ (compound microscope) และเป็นคนแรกที่ใช้คำว่า เซลล์ (cell) แปลว่า ห้องว่างเล็กๆ เนื่องจากเขาได้ส่องดูชิ้นไม้คอร์กที่เฉือนบางๆ แล้วเห็นเป็นลักษณะช่องเล็กๆ มากมาย
ค.ศ. 1672	เลเวนฮุค ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์เดี่ยวขนาดเล็กกำลังขยาย 270 เท่า เขาใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจดูหยดน้ำจากบึง แม่น้ำ และจากน้ำฝนที่รองเก็บไว้ เขาเห็นสิ่งมีชีวิตเล็กๆ มากมาย เมื่อเขาพบสิ่งเหล่านี้ เขารายงานไปยังราชสมาคมแห่งกรุงลอนดอน จึงได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์คนแรก (ถือว่าเป็นบุคคลแรกที่พบจุลินทรีย์ด้วย)
ค.ศ. 1831	โรเบิร์ต บราวน์ นักพฤกษศาสตร์ชาวอังกฤษ เป็นคนแรกที่พบว่าเซลล์และพืชมีนิวเคลียสเป็นก้อนกลมๆ อยู่ภายในเซลล์
ค.ศ. 1839	ชไลเดนและชวันน์ ร่วมกันตั้งทฤษฎีเซลล์ ซึ่งมีใจความสรุปได้ว่า "สิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบไปด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์จากเซลล์"
ค.ศ. 1932	แมกซ์ นอลล์ และเอิร์นท์ รุสกา ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



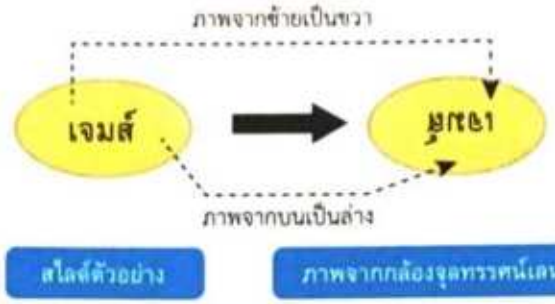
อย่าสับสนระหว่าง SEM และ TEM _ กล้อง SEM ขึ้นชื่อว่า scanning ให้นึกถึงเครื่องสแกนภาพ เมื่อเราสแกนปกหนังสือก็จะได้ภาพปกหรือภาพผิวภายนอกของหนังสือเท่านั้น เหมือนกับกล้อง SEM ที่เห็นแต่ภายนอกของสิ่งที่เราต้องการศึกษา ไม่ทะลุผ่านเห็นข้างในแบบกล้อง TEM

ข้อเปรียบเทียบ	กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
คลื่นที่ส่องผ่านวัตถุ	ลำแสงธรรมดา	ลำอิเล็กตรอนคลื่นความถี่สูง
เลนส์ในกล้อง	เลนส์แก้ว	เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า
ตัวกล้อง	มีอากาศ	สุญญากาศ
ภาพที่ได้	ภาพเสมือนหัวกลับ	ภาพจริงปรากฏบนจอรับภาพ
ลักษณะภาพ	เป็นภาพสีธรรมชาติหรือจากสีย้อม	เป็นภาพขาวดำ
ลักษณะตัวอย่างที่ศึกษา	มีหรือไม่มีชีวิต	ไม่มีชีวิต
กำลังขยายสูงสุด	1,000-1,500 เท่า	400,000 เท่า (SEM) 1 ล้านเท่า (TEM)
ขนาดวัตถุเล็กสุดที่ส่องได้	0.2 ไมโครเมตร	0.0005 ไมโครเมตร

กล้อง TEM ต้องตัดตัวอย่างบางมากๆ และย้อมด้วยสารประกอบโลหะ ส่วน SEM การเตรียมสไลด์ตัวอย่างต้องเคลือบผิวตัวอย่างด้วยโลหะ

กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ ใช้ศึกษาวัตถุโปร่งแสงหรือทึบแสงที่ต้องการดูลักษณะภายนอกอาจยังมีชีวิต (มีการใส่ยาสลบไว้) หรืออาจไม่มีชีวิตแล้ว กำลังขยาย 10-50 เท่า

กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ ภาพที่เห็นกลับจากซ้าย ⟶ ขวา, ขวา ⟶ ซ้าย, ล่าง ⟶ บน, บน ⟶ ล่าง



ให้หมุนภาพตัวอย่างจากกล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบไปทางขวา 180° จะได้ภาพเสมือนหัวกลับ

90° 180°

F ⟶ ⟶ Ⅎ

ภาพตัวอย่าง ภาพเสมือนหัวกลับ

▸ ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

▲ (Cr. Huasuea Channel)

- เลนส์รวมแสงทำหน้าที่รวมแสงให้เข้มขึ้นเพื่อส่งไปยังวัตถุที่ศึกษา
- ไดอะแฟรม ทำหน้าที่ปรับปริมาณแสงมากหรือน้อยให้เข้าสู่เลนส์เหมือนม่านตา (iris) ของคน
- เลนส์ใกล้วัตถุให้ภาพจริงหัวกลับ มีกำลังขยาย 4x 10x 40x 100x
- การใช้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยาย 100x เลนส์จะอยู่ชิดกับสไลด์ตัวอย่างมาก จึงต้องหยดน้ำมัน (cedar oil) ลงบนสไลด์ ซึ่งจะทำให้น้ำมันและแก้วสไลด์มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกัน แสงจึงไม่หักเหออกนอกเลนส์วัตถุ จึงเห็นภาพชัดเจนมีรายละเอียดมากขึ้นเหมาะกับการศึกษาจุลินทรีย์
- เลนส์ใกล้ตาให้ภาพเสมือนหัวกลับ (ภาพสุดท้ายที่เราเห็น) มีกำลังขยาย 10x หรือ 15x

- การคำนวณเรื่องกล้องจุลทรรศน์

$$\text{กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์} = \text{กำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา} \times \text{กำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ}$$

$$\text{ขนาดจริงของวัตถุ} = \frac{\text{ขนาดภาพที่ปรากฏจากกล้องจุลทรรศน์}}{\text{กำลังขยายของกล้อง}}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ (ขณะศึกษา)} = \frac{\text{กำลังขยายของเลนส์ต่ำสุด} \times \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพต่ำสุด}}{\text{กำลังขยายของกล้อง}}$$

- การเปลี่ยนหน่วย 1 cm = 10^{-2} m, 1 μm = 10^{-6} m, 1 nm = 10^{-9} m, 1 A° = 10^{-10} m
- การเปลี่ยนจากมิลลิเมตร (mm) ไปเป็น ไมโครเมตร (μm) ให้คูณด้วย 10^{3} เช่น 1.6 mm = 1,600 μm
- การเปลี่ยนจาก ไมโครเมตร (μm) ไปเป็นมิลลิเมตร (mm) ให้คูณด้วย 10^{-3} เช่น 2.2 μm = 2.2×10^{-3} mm**

ตัวอย่าง กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า ส่องไม้บรรทัดพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพยาว 1.6 mm เมื่อส่องพารามีเซียมกำลังขยาย 400 เท่า พารามีเซียมยาวเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพนั้น พารามีเซียมมีความยาวจริงกี่ไมโครเมตร

วิธีทำ จากโจทย์บอกกำลังขยายต่ำสุด คือ 100 เท่า และกำลังขยายของเลนส์ขณะศึกษา คือ 400 เท่า

บอกเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพของเลนส์ต่ำสุด (100 เท่า) คือ 1.6 mm = 1,600 μm

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ (ขณะศึกษา)} = \frac{\text{กำลังขยายของเลนส์ต่ำสุด} \times \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพต่ำสุด}}{\text{กำลังขยายของกล้อง}}$$

$$\text{แทนค่า} = \frac{100 \times 1,600}{400}$$

จะได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ (ขณะศึกษาด้วยกำลังขยาย 400 เท่า) = 400 μm

ตอบ พารามีเซียมยาวเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลาง จะได้ว่า $\frac{400}{2}$ = 200 μm

ตัวอย่าง กล้องจุลทรรศน์ส่องโพรโทซัวชนิดหนึ่งโดยใช้เลนส์ใกล้ตากำลังขยาย 20 เท่า เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า สามารถเห็นโพรโทซัวยาว 100 ไมโครเมตร จงหาว่าโพรโทซัวชนิดนี้มีขนาดจริงเท่าใด

วิธีทำ จากโจทย์ถามขนาดจริงของวัตถุ และให้ขนาดภาพที่ปรากฏจากกล้องจุลทรรศน์ คือ 100 μm

กำลังขยายของกล้อง = กำลังขยายเลนส์ใกล้ตา × กำลังขยายเลนส์ใกล้วัตถุ

= 20 × 100 = 2,000 เท่า

$$\text{ขนาดจริงของวัตถุ} = \frac{\text{ขนาดภาพที่ปรากฏจากกล้องจุลทรรศน์}}{\text{กำลังขยายของกล้อง}}$$

$$= \frac{100}{2,000}$$

= 0.05 μm

การคำนวณเรื่องกล้องจุลทรรศน์มักจะออกข้อสอบ 9 วิชาสามัญ ชีววิทยา เกือบทุกปี

3.2 โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์

- เซลล์
  - ส่วนห่อหุ้มเซลล์
    - เยื่อหุ้มเซลล์ — พบใน prokaryote และ eukaryote
    - ผนังเซลล์ — พบที่
      - เซลล์พืชและสาหร่ายบางชนิด ประกอบขึ้นจากเซลลูโลส (cellulose)
      - เซลล์ของกลุ่มฟังไจ (เห็ด รา ยีสต์) ประกอบขึ้นจากไคทิน (chitin)
      - เซลล์ของกลุ่มแบคทีเรีย ประกอบขึ้นจากเพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan)
  - โพรโทพลาซึม
    - นิวเคลียส
      - เยื่อหุ้มนิวเคลียส (พบใน eukaryote เท่านั้น)
      - นิวคลีโอพลาซึม
        - นิวคลีโอลัส
        - โครโมโซม
    - ไซโทพลาซึม
      - อินคลูชัน สารต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์
      - ออร์แกเนลล์
        - มีเยื่อหุ้ม
          - เยื่อหุ้ม 1 ชั้น
            - ร่างแหเอนโดพลาซึม (endoplasmic reticulum : ER)
              - ชนิดเรียบ SER : smooth ER
              - ชนิดขรุขระ RER : rough ER
            - กอลจิบอดี (Golgi body)
            - ไลโซโซม (lysosome)
            - เพอรอกซิโซม (peroxisome)
            - แวคิวโอล (vacuole)
              - ฟูดแวคิวโอล (food vacuole) พบในโพรโทซัวบางชนิด เม็ดเลือดขาว
              - แซบแวคิวโอล (sap vacuole) พบในเซลล์พืช
              - คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (contractile vacuole) พบในโพรโทซัวน้ำจืด
          - เยื่อหุ้ม 2 ชั้น
            - ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)
            - พลาสติด (plastid)
              - คลอโรพลาสต์ (chloroplast)
              - โครโมพลาสต์ (chromoplast)
              - ลิวโคพลาสต์ (leucoplast)
        - ไม่มีเยื่อหุ้ม
          - ไรโบโซม (ribosome)
            - prokaryote ขนาด 70S
            - eukaryote ขนาด 80S
          - เซนทริโอล (centriole)
          - ไซโทสเกเลตอน (cytoskeleton)

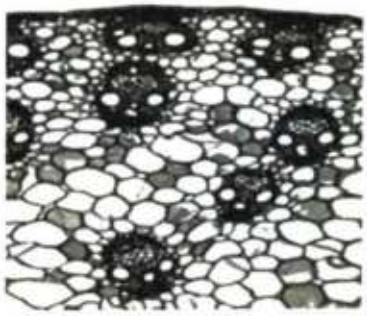
▲ (Cr. นพคุณ สุขสวัสดิ์)

Quiz Yourself

1) ภาพจากกล้องชนิดใดให้ภาพ 3 มิติ เช่นเดียวกับที่เห็นจากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

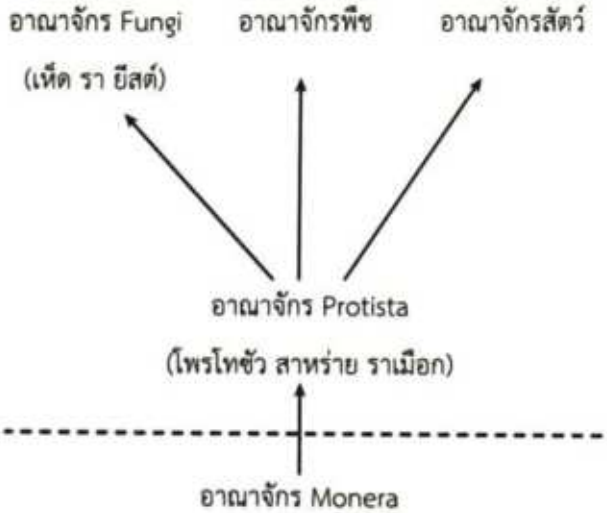
1. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบฟลูออเรสเซนต์
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2) ข้อใดเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ศึกษาโครงสร้างของพืชดังภาพ



1. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

prokaryote กับ eukaryote (เชื่อมโยงเรื่องวิวัฒนาการ)



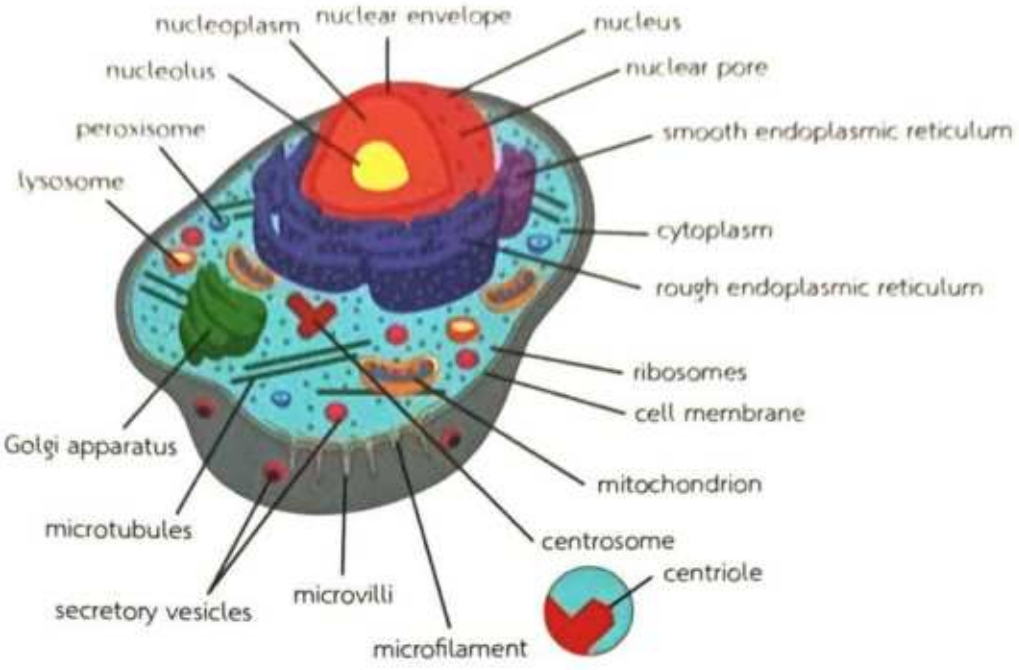
Eukaryote

*Eu- แปลว่า แท้จริง, karyon แปลว่า นิวเคลียส
(เมื่อรวมศัพท์จึงหมายถึง สิ่งมีชีวิตที่มีนิวเคลียสที่แท้จริง โดยมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสแล้ว)

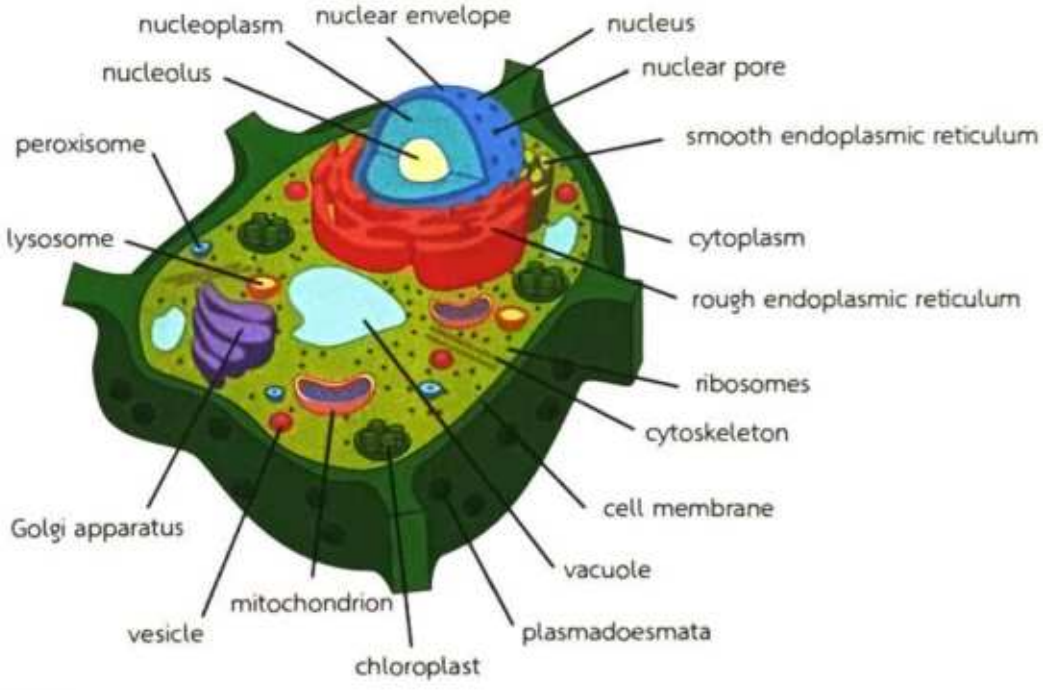
Prokaryote

*Pro- แปลว่า ก่อน, karyon แปลว่า นิวเคลียส
(พูดง่ายๆ คือ สิ่งมีชีวิตก่อนมีนิวเคลียสที่แท้จริง หรือคือสิ่งมีชีวิตที่ยังไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส หรือไม่มีนิวเคลียส เพราะเกิดก่อนใครและโบราณสุดๆ นั่นเอง)

เซลล์สัตว์



เซลล์พืช



เซลล์ของพวกโพรคาริโอตไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ดังนั้น บริเวณที่มีสารพันธุกรรม (DNA) เรียกว่า nucleoid อยู่ภายในไซโทพลาซึม แต่ของพวกยูคาริโอตมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสสารพันธุกรรม (DNA) จะอยู่ในนิวเคลียส

3.2.1 ส่วนห่อหุ้มเซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane หรือ plasma membrane)

... **กำแพงเมือง** พบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด **ยกเว้น** ไวรัส ไวรอยด์

- แบบจำลองเยื่อหุ้มเซลล์ที่ยังคงยอมรับในปัจจุบัน คือ **แบบจำลองฟลูอิด-โมเซอิก (fluid-mosaic model)**

องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์มี 3 ส่วนคือ

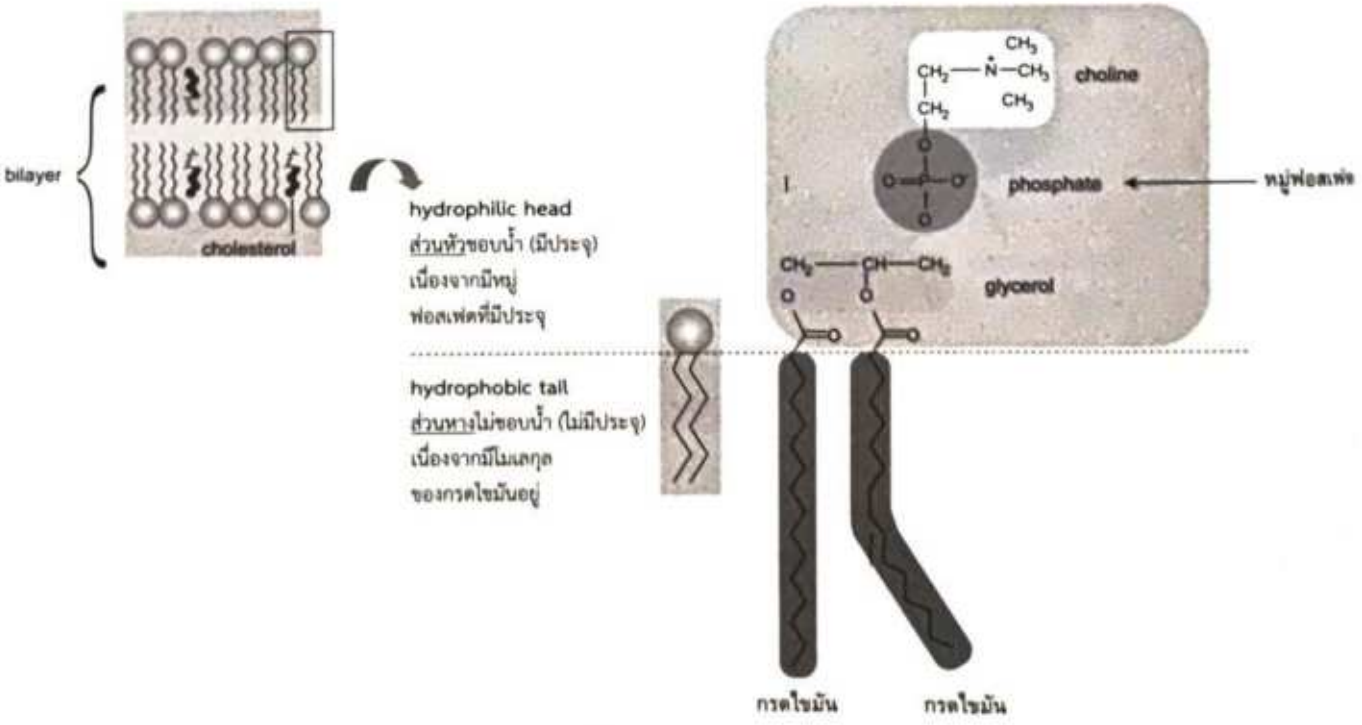
1. ส่วนของไขมันจะเรียงเป็น 2 ชั้น เรียก phospholipid bilayer โดยจะหันส่วนที่ชอบน้ำ (มีประจุ) ออกข้างนอก (hydrophilic head) และหันด้านที่ไม่ชอบน้ำ (ไม่มีประจุ) เข้าข้างใน (hydrophobic tail) เหล่านี้จะเคลื่อนที่อย่างอิสระภายในชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์ และยังมีคอเลสเทอรอล (cholesterol) แทรกตัวอยู่เพื่อช่วยให้ชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์คงตัวด้วย
2. ส่วนของโปรตีนแทรกอยู่ในชั้นของไขมันหรืออยู่ที่ขอบของไขมัน

หน้าที่

- ทำให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์คงรูปได้
- เป็นตัวขนส่งสารโดยมีช่องลำเลียงสาร (transport channels) ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) เช่น การนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์
- โปรตีนบางชนิดที่เยื่อหุ้มเซลล์เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึม
- ทำให้เกิดการเกาะติดกันของเซลล์ (cell adhesion)

ทั้งนี้วิธีการลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่จำเป็นต้องใช้โปรตีนที่มีความจำเพาะเจาะจงกับสาร คือ การแพร่แบบอาศัยตัวพา (facilitated diffusion) และการลำเลียงสารแบบใช้พลังงาน (active transport) **ออกสอบ**

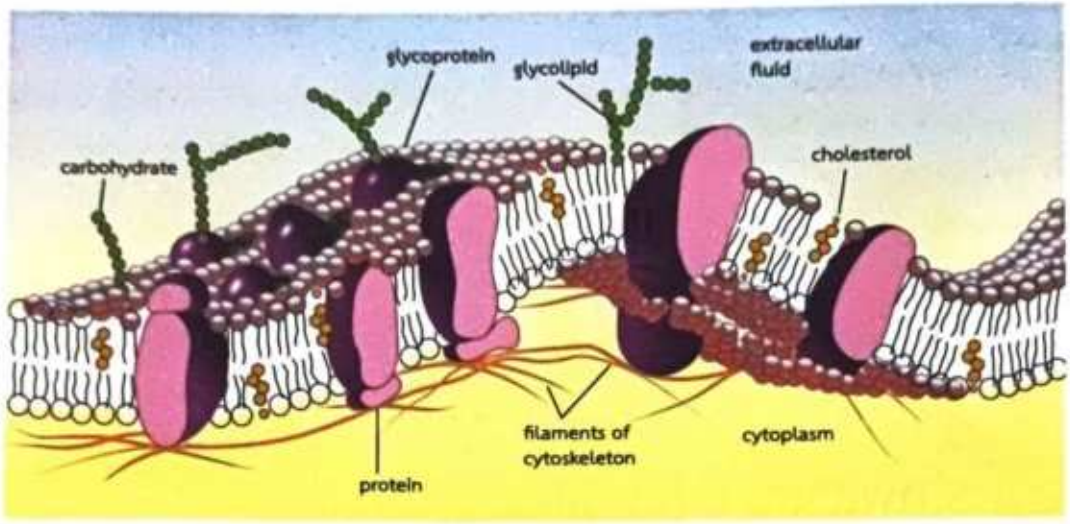
3. ส่วนของคาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นพวกไกลโคโปรตีน (glycoprotein คาร์โบไฮเดรตที่เกาะกับโปรตีน) และไกลโคลิพิด (glycolipid คาร์โบไฮเดรตที่เกาะกับไขมัน) คาร์โบไฮเดรตเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาภายในเซลล์ เกี่ยวข้องกับการจดจำเซลล์ (ไกลโคโปรตีน) และเกี่ยวข้องกับการเกิดหมู่เลือด ABO และ MN



▲ (Cr. shmoop.com)

- phospholipid bilayer มีคำว่า phospho- แสดงว่าต้องมีหมู่ฟอสเฟตเกี่ยวข้องซึ่งอยู่ส่วนหัวที่ชอบน้ำนั่นเอง (bi- = สอง) ชั้นไขมันเรียงตัวกันสองชั้น
- เจอคำว่า hydro- ที่ไหนในชีวะแสดงว่าต้องเกี่ยวกับน้ำ เช่น hydrolysis การสลายโมเลกุลด้วยน้ำ

สรุปหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์



▲ (Cr. muhs.edu)

- กำหนดขอบเขตของเซลล์และออร์แกเนลล์
- ขนส่งสารเข้าออกเซลล์มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน
- เกี่ยวข้องกับการรับสัญญาณจากฮอร์โมนและสารเคมี
- เกี่ยวข้องกับการจดจำเซลล์
- เกี่ยวข้องกับการลำเลียงสารทั้งแบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และแบบการสร้างเป็นถุง

ผนังเซลล์ (cell wall)

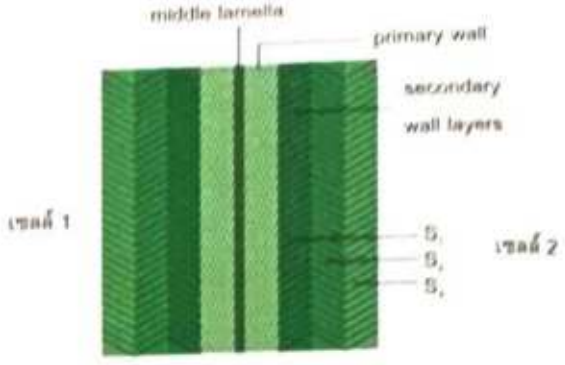
- ทำหน้าที่ค้ำจุนเซลล์และให้ความแข็งแรงกับพืชเป็นหลัก
- เป็นส่วนที่ไม่มีชีวิต พบได้ใน
  - เซลล์พืชและสาหร่ายบางชนิด ประกอบขึ้นจาก**เซลลูโลส** (cellulose)
  - เซลล์ของกลุ่มฟังไจ (เห็ด รา ยีสต์) ประกอบขึ้นจาก**ไคทิน** (chitin)
  - เซลล์ของกลุ่มแบคทีเรีย ประกอบขึ้นจาก**เพปทิโดไกลแคน** (peptidoglycan)

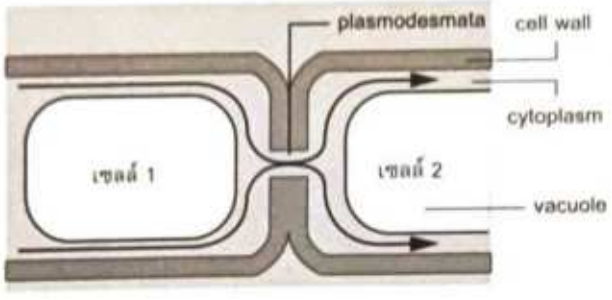
ไม่พบผนังเซลล์ที่เซลล์สัตว์ทุกชนิด โพรโทซัวและราเมือก

ผนังเซลล์ของเซลล์พืช

- ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary wall) เกิดขึ้นครั้งแรกขณะที่เซลล์มีการแบ่งเซลล์ ประกอบด้วยสารพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกทิน และโปรตีน
- ผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary wall) เกิดขึ้นภายหลังที่เซลล์หยุดการเจริญแล้วโดยจะพอกสารทับผนังเซลล์ปฐมภูมิเข้ามาด้านในและดันผนังเซลล์ปฐมภูมิออกด้านนอกทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงขึ้น ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบที่เซลล์ไฟเบอร์ เทรคีด สเคลอรีด เวสเซล เป็นต้น โดยผนังชั้นนี้จะย้อมติดสีแดงของสารซาฟรานิน

ระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิของเซลล์พืชแต่ละเซลล์จะมี **middle lamella** ทำหน้าที่เหมือนกาวเชื่อมยึดติดเซลล์ไล่ลำดับขั้นจากนอกสุด **middle lamella** → **primary wall** → **secondary wall** (อาจมีหลายชั้น ดังภาพ)





▲ (Cr.wikimedia.org)

การลำเลียงสารระหว่างเซลล์พืช 2 เซลล์จะผ่านแถบไซโทพลาซึมที่ผนังเซลล์ เรียกช่อง plasmodesmata (เทียบได้กับ gap junction ในเซลล์สัตว์)

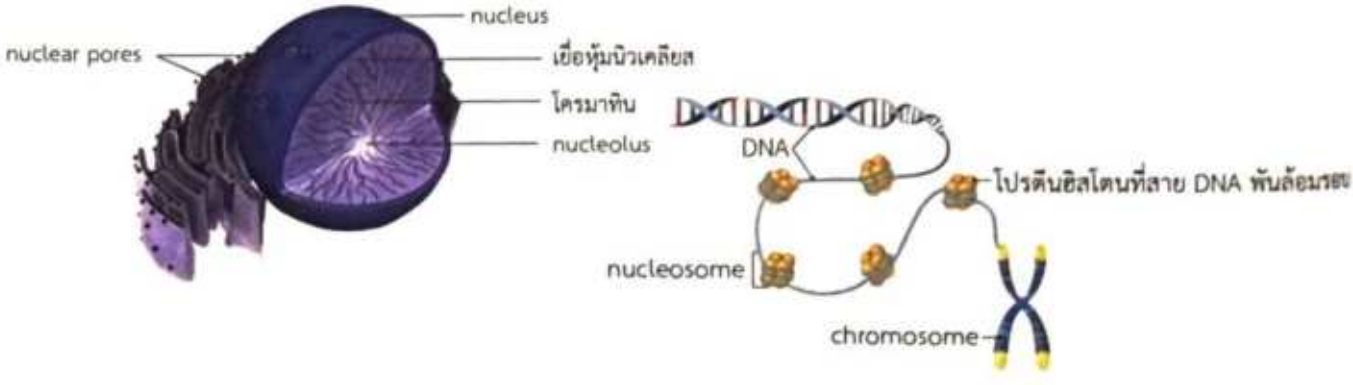
3.2.2 โพรโทพลาซึม (protoplasm)

นิวเคลียส (nucleus)

... **สมองของเซลล์** นิวเคลียสมีในเซลล์เกือบทุกเซลล์ ยกเว้น สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรมอเนรา (แบคทีเรีย ไซยาโนแบคทีเรีย), sieve tube ของพืช และเซลล์เม็ดเลือดแดงของคนที่โตเต็มที่ไม่มีนิวเคลียส **ออกสอบ**

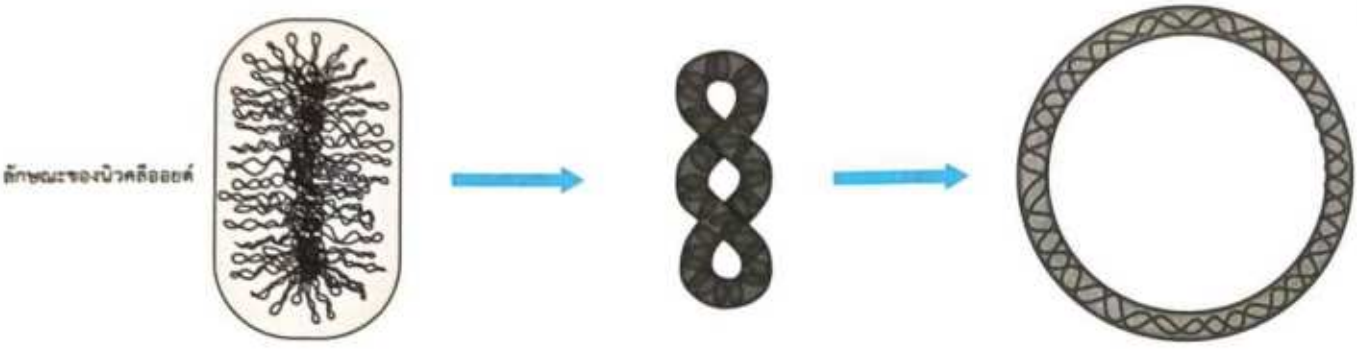
นิวเคลียส

- เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) มี 2 ชั้น มีรูเล็กๆ เรียก nuclear pore ซึ่งเป็นช่องทางผ่านของสารจากนิวเคลียสสู่ไซโทพลาซึม เช่น RNA ไรโบโซม เยื่อหุ้มนิวเคลียสพบในยูคาริโอต ไม่พบในโพรคาริโอต **ออกสอบ**
- นิวคลีโอพลาซึม (nucleoplasm) คือ ส่วนประกอบต่างๆ ภายในนิวเคลียส
  - นิวคลีโอลัส (nucleolus) ก้อนกลมภายในนิวเคลียส เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ RNA รวมกับ โปรตีน ประกอบเป็นไรโบโซม
  - โครมาทิน (chromatin) คือ เส้นใยที่ประกอบด้วย DNA และโปรตีน ที่ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและการแสดงออก (ยีน) ขณะแบ่งเซลล์มีการหดสั้นหนาขึ้นของเส้นใยโครมาทินจนเห็นเป็นแท่งคล้ายปาท่องโก๋ เรียก **โครโมโซม (chromosome)**



สารพันธุกรรมของพวกโพรคาริโอต เช่น แบคทีเรีย และไซยาโนแบคทีเรีย เนื่องจากเป็น**พวกที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส** จึงทำให้สารพันธุกรรมอยู่ในไซโทพลาซึม เรียกบริเวณที่มีสารพันธุกรรมนี้ว่า **นิวคลีออยด์ (nucleoid)** หรือเรียกโครโมโซมแบคทีเรีย (bacterial chromosome) ซึ่งประกอบด้วย DNA เกลียวคู่ที่ขดเป็นวงกลม (circular chromosome) ไม่พบโปรตีนฮิสโตนเหมือนในยูคาริโอต มีเบสประมาณ 4.5×10^6 คู่

ถึงแม้ยีนส่วนใหญ่จะอยู่ที่นิวคลีออยด์ แต่อาจพบอยู่นอกนิวคลีออยด์ได้ เรียกว่า พลาสมิด (plasmid) ซึ่งเป็น DNA เกลียวคู่วงกลม อยู่นอกนิวคลีออยด์ มีเบสประมาณ 1.0×10^3 คู่ พลาสมิดจะจำลองตัวเองได้อย่างอิสระ มักมียีนที่ต้านยาปฏิชีวนะ เรานำพลาสมิดมาใช้ในงานพันธุวิศวกรรม เช่นการสร้างแบคทีเรียที่ผลิตฮอร์โมนอินซูลิน ซึ่งถือเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมหรือ GMOs



ไซโทพลาซึม (cytoplasm)

ออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม

- ไรโบโซม (ribosome) โรงงานสังเคราะห์โปรตีน มีขนาดเล็กสุดและมีจำนวนมากที่สุด เป็นออร์แกเนลล์ที่สำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนภายในเซลล์ มีบทบาทสำคัญต่อการแปลรหัสพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต (translation) (เชื่อมโยงกับบทที่ 16) ไรโบโซมประกอบด้วยหน่วยย่อย 2 หน่วย คือ หน่วยย่อยขนาดใหญ่ และหน่วยย่อยขนาดเล็ก ไรโบโซมในสิ่งมีชีวิตมี 2 แบบ คือ **(ออกสอบ!!..)**
  - ขนาด 70S ประกอบด้วยหน่วยย่อยขนาดใหญ่ 50S และหน่วยย่อยขนาดเล็ก 30S พบในพวกโพรคาริโอต
  - ขนาด 80S ประกอบด้วยหน่วยย่อยขนาดใหญ่ 60S และหน่วยย่อยขนาดเล็ก 40S พบในพวกยูคาริโอต

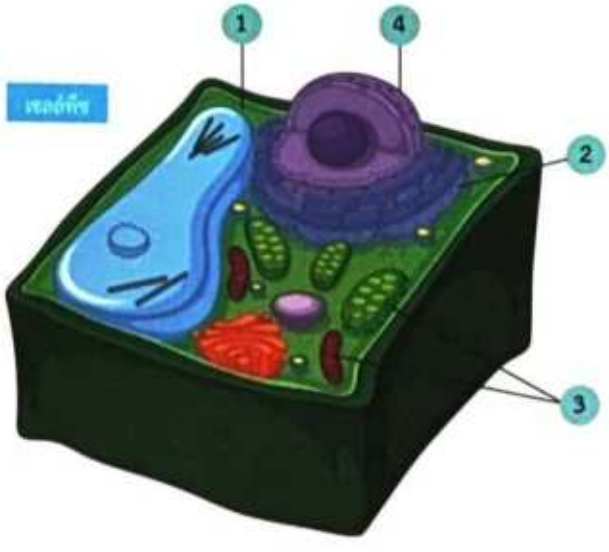
ตำแหน่งที่พบไรโบโซมในเซลล์ มี 4 ตำแหน่ง คือ

① ไรโบโซมที่เป็นอิสระลอยอยู่ในไซโทพลาซึม ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนเก็บไว้ในเซลล์

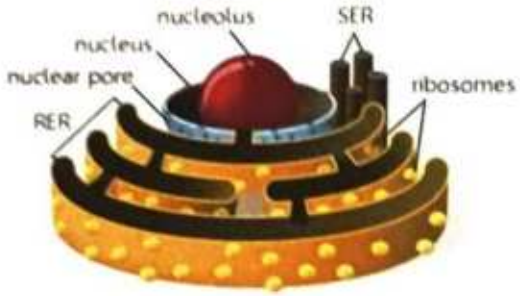
② ไรโบโซมที่เกาะติดกับ endoplasmic reticulum เรียกว่า RER จะสังเคราะห์โปรตีนออกนอกเซลล์

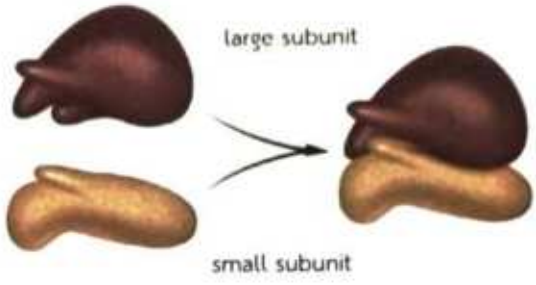
③ ไรโบโซมในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ สังเคราะห์โปรตีนเก็บไว้ในเซลล์

④ ไรโบโซมที่เกาะกับเยื่อหุ้มนิวเคลียส สังเคราะห์โปรตีนเพื่อส่งไปใช้ในนิวเคลียส

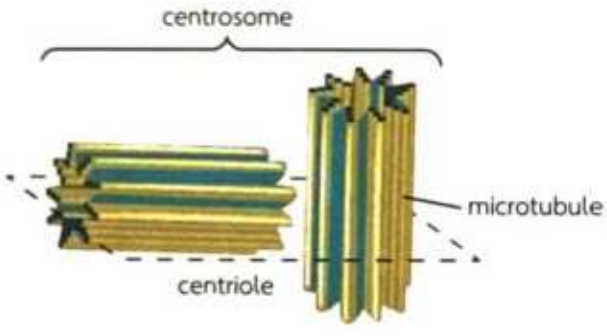


ที่กล่าวว่าไรโบโซมขนาด 70S หรือ 80S ... ตัวอักษร S (เอส) เป็นหน่วยที่ใช้วัดค่าความเร็วในการตกตะกอนของไรโบโซม หน่วยสเวดเบิร์ก (Svedberg unit, S)





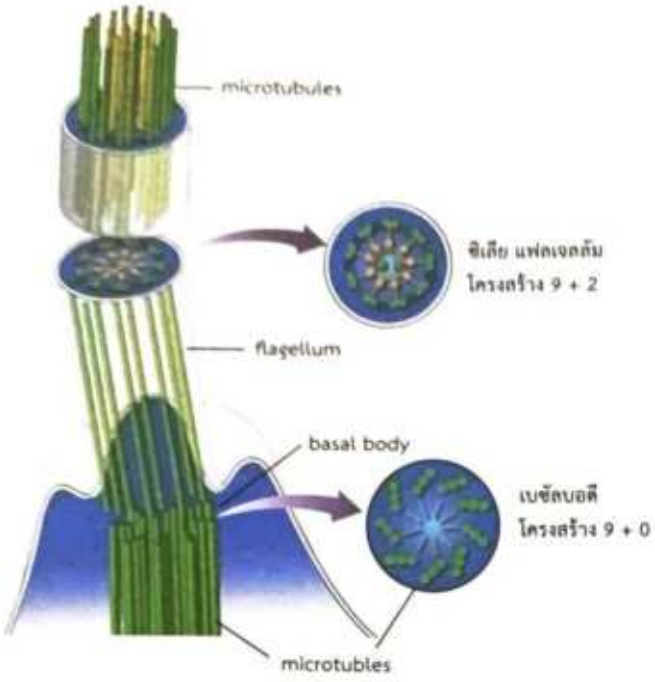
- เซนทริโอล (centriole) พบในเซลล์ของสัตว์เท่านั้น ประกอบด้วยหลอดโปรตีน**ไมโครทิวบูล (microtubule)** เรียงกันตั้งฉากเป็นรูปตัวที โดยมีสูตร**การเรียงตัวแบบ 9 + 0** (ไมโครทิวบูลเรียงตัวเป็น 9 กลุ่ม กลุ่มละ 3 หลอด) รวมเท่ากับ 27 ไมโครทิวบูล (+ 0 (บวกศูนย์) คือ ตรงกลางไม่มีหลอดไมโครทิวบูล) และเรียกบริเวณไซโทพลาซึมที่มีเซนทริโอลอยู่ว่า **เซนโทรโซม (centrosome)**



เซนทริโอล
โครงสร้าง 9 + 0

ทำหน้าที่

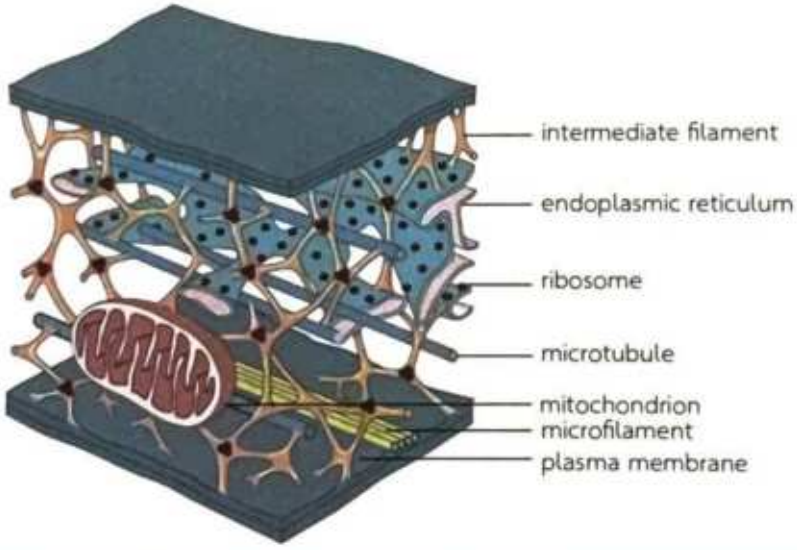
1. ควบคุมการสร้างเส้นใยสปินเดิล (spindle fiber) เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโครโมโซมขณะแบ่งเซลล์ของเซลล์สัตว์ *ในพืชไม่มีเซนทริโอลแต่มีโพลาร์แคพ (polar cap) ในการสร้างเส้นใยสปินเดิล*
2. เกี่ยวข้องกับการสร้างซิเลีย และแฟลเจลลัมของโพรโทซัวช่วยในการเคลื่อนที่และพัดโบกอาหารเข้าร่างกาย
   - ซิเลียและแฟลเจลลัม ไมโครทิวบูลเรียงแบบ 9 + 2 (ไมโครทิวบูลเรียงตัวเป็น 9 กลุ่ม กลุ่มละ 2 อัน และบวก 2 ไมโครทิวบูลตรงกลาง รวมเท่ากับ 20 ไมโครทิวบูล)
   - แต่ถ้าเป็นที่ฐานของซิเลียและแฟลเจลลัม เรียกเบซัลบอดี (basal body) จะเรียงแบบ 9 + 0
   - ซิเลีย (cilia) มีจำนวนมาก ขนาดสั้นๆ พบใน พารามีเซียม ปีกมดลูก
   - แฟลเจลลัม (flagellum) มี 1-2 เส้นแต่ยาว พบในยูกลีนา หางอสุจิ

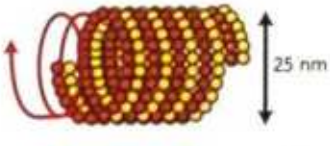


▲ (Cr. utexas.edu)

▲ Cr. JAYA PURUSHOTHAM

- ไซโทสเกเลตอน (cytoskeleton)..... เสมือนโครงกระดูกของเซลล์ (cyto – = เกี่ยวกับเซลล์, skeleton = โครงกระดูก) ทำหน้าที่เกี่ยวกับค้ำจุนเซลล์ให้คงรูปร่างและเป็นที่ยึดเกาะของออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ มี 3 ชนิด แบ่งตามชนิดของหน่วยย่อยที่เป็นองค์ประกอบคือ

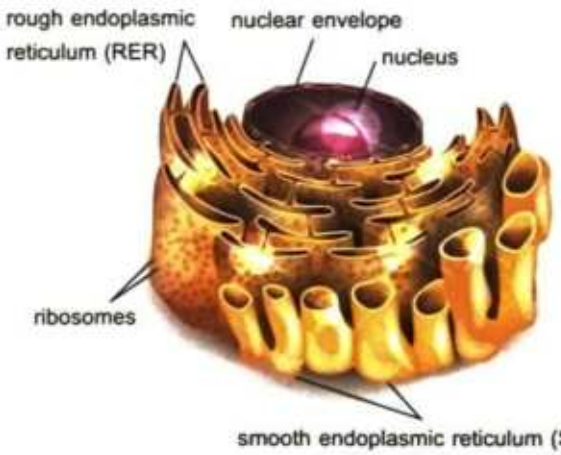


ข้อเปรียบเทียบ	ไมโครทิวบูล	อินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนต์	ไมโครฟิลาเมนต์
1. เส้นผ่านศูนย์กลาง	25 nm (ใหญ่สุด)	8-12 nm (ปานกลาง)	7 nm (เล็กสุด)
2. โครงสร้าง	ท่อกลวงประกอบด้วยโปรตีนทิวบูลิน  ▲ (Cr. mhhe.com)	ไฟบรัสโปรตีนบิดพันเป็นเกลียว ▲ (Cr. mhhe.com)	โปรตีนแอกทิน 2 สายบิดเป็นเกลียว ▲ (Cr. mhhe.com)

ข้อเปรียบเทียบ	ไมโครทิวบูล	อินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนต์	ไมโครฟิลาเมนต์
3. หน้าที่สำคัญ	▸ ทำให้เซลล์คงรูปร่าง ▸ ส่วนประกอบของซิเลีย แฟลเจลลัม (9 + 2) และเซนทริโอล (9 + 0) ▸ เป็นโครงสร้างของ spindle fiber ในการแบ่งเซลล์ ▸ ทำหน้าที่ยึดออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ ▸ ช่วยในการไหลเวียนของไซโทพลาซึม (cyclosis)	▸ ทำให้เซลล์คงรูปร่าง ▸ เป็นองค์ประกอบของแขนงประสาทแอกซอน ▸ เป็นส่วนประกอบของขนผมเลี้ยบ ▸ ตรึงยึดออร์แกเนลล์ต่างๆ ในเซลล์ให้อยู่กับที่	▸ ทำให้เซลล์คงรูปร่าง ▸ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ pseudopodium หรือเท้าเทียม พบในการเคลื่อนที่ของอะมีบาและเม็ดเลือดขาว (เรียกการเคลื่อนที่แบบ amoeboid movement) ▸ ทำให้เกิด cytokinesis คือ การแบ่งไซโทพลาซึมขณะแบ่งเซลล์ ▸ มีบทบาทเกี่ยวกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยแอกทินและไมโอซิน ▸ ทำให้เกิดการไหลเวียนของไซโทพลาซึม (cyclosis)

ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น

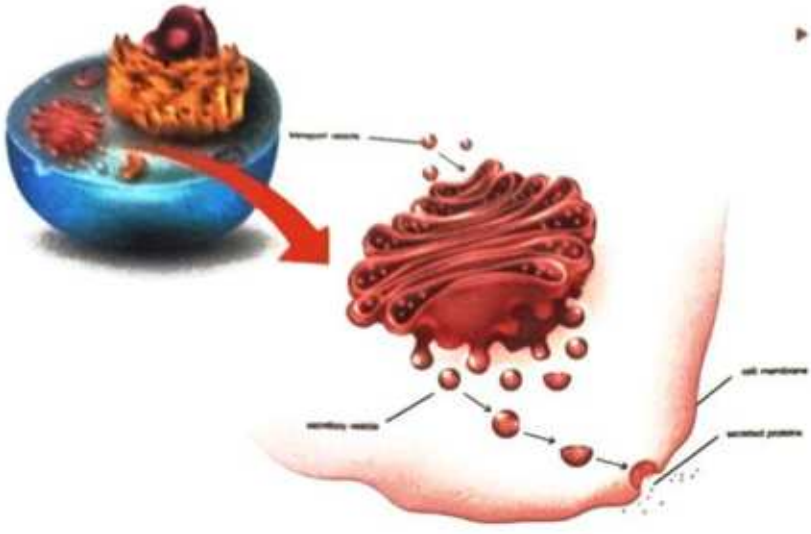
- ร่างแหเอนโดพลาซึม (endoplasmic reticulum: ER) พบในเซลล์ยูคาริโอต เป็นร่างแหที่พับซ้อนกัน มีลักษณะเป็นท่อแบน บางบริเวณโป่งออกเป็นถุงเยื่อหุ้มชั้นเดียว ภายในบรรจุของเหลว อยู่ล้อมรอบนิวเคลียส มี 2 ชนิด คือ



1. ร่างแหเอนโดพลาซึมชนิดขรุขระ (rough endoplasmic reticulum หรือ RER) เป็น ER ที่มีไรโบโซมมาเกาะอยู่จำนวนมาก ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนส่งออกนอกเซลล์แบบ exocytosis พบมากที่ตับอ่อน (ตับอ่อนสร้างเอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์มีองค์ประกอบของโปรตีน), ลำไส้เล็ก (สร้างเอนไซม์เช่นกัน), ต่อมใต้สมอง (สร้างฮอร์โมน ซึ่งมีองค์ประกอบของโปรตีนเช่นกัน)

(คำว่า endo- แปลว่าข้างใน ดังนั้น ER หรือ endoplasmic reticulum จึงอยู่ข้างในติดกับนิวเคลียสนั่นเอง)

2. ร่างแหเอนโดพลาซึมชนิดเรียบ (smooth endoplasmic reticulum หรือ SER) เป็น ER ที่ไม่มีไรโบโซมเกาะ จึงมีผิวเรียบ ทำหน้าที่สังเคราะห์ไขมันและสารสเตอรอยด์ (พวกฮอร์โมนเพศ : progesterone, estrogen, testosterone ถือเป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมน) ออกนอกเซลล์ และกำจัดสารพิษ พบมากที่เซลล์ตับ, Leydig cell ของอัณฑะ, ใน corpus luteum ของรังไข่ ต่อมหมวกไตชั้นนอกและยังทำหน้าที่สะสมแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ในเซลล์กล้ามเนื้อ RER พบที่ตับอ่อน สร้างโปรตีน, SER พบที่ตับ สร้างไขมัน สเตอรอยด์ **(ออกข้อสอบบ่อย)**



- กอลจิบอดี (Golgi body, Golgi complex) โกดังรวบรวมสาร และส่งสารออกนอกเซลล์ (Camillo Golgi ค้นพบคนแรก) มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว มักอยู่ใกล้กับ RER ทำงานร่วมกัน โดยมีลักษณะเป็นถุงแบนขนาดใหญ่เรียงกันหลายๆ ชั้น บริเวณขอบโป่งออกเป็นถุงเวสิเคิล (vesicle) เพื่อส่งสารออกนอกเซลล์ เมื่อ RER สร้างโปรตีนและ SER สร้างไขมันจะมาเก็บไว้ที่ Golgi body พบมากที่ต่อมน้ำนม ต่อมน้ำตา ต่อมน้ำเมือก ต่อมน้ำลาย

Quiz Yourself

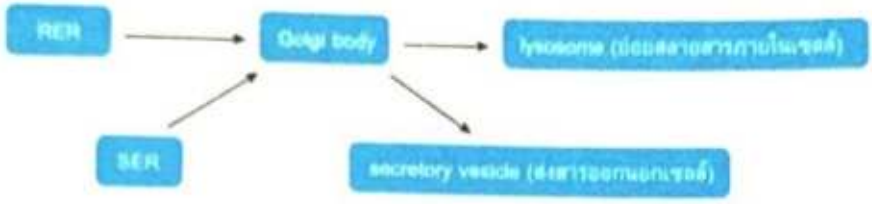
3) โครงสร้างข้อใดที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ pepsinogen จนสมบูรณ์ในเซลล์กระเพาะอาหาร

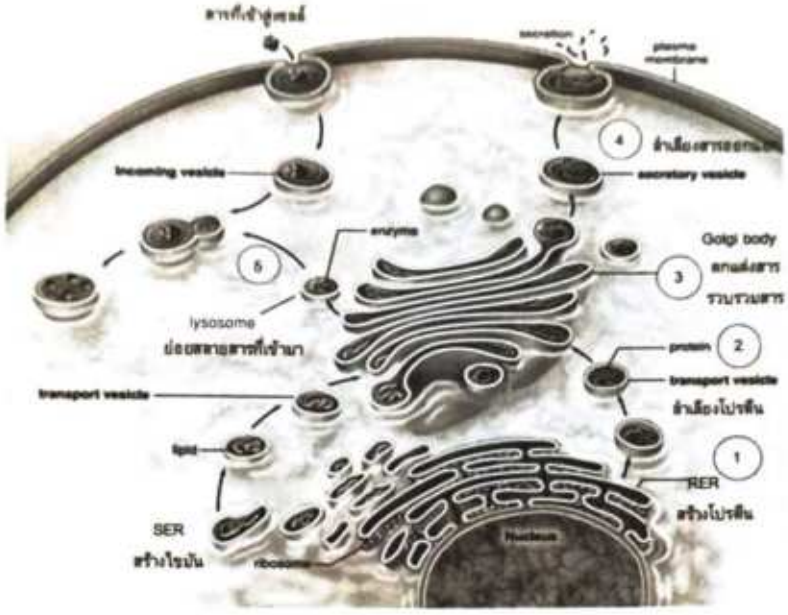
1. RER และ SER
2. Golgi body และ lysosome
3. SER และ Golgi body
4. RER และ Golgi body
5. SER และ lysosome

หน้าที่กอลจิบอดี

1. กอลจิบอดีเป็นแหล่งรวบรวมสารเพื่อแปรรูปสาร เช่น การเติมหมู่คาร์โบไฮเดรตเข้าไปในโปรตีนจาก RER เกิดสารเรียกว่า glycoprotein
2. รวบรวมสาร เช่น ลิพิด เอนไซม์ ฮอร์โมน น้ำเมือก เพื่อส่งออกนอกเซลล์โดยสร้างถุงบรรจุสารเรียก secretory vesicle โดยถุงนี้จะเคลื่อนไปที่เยื่อหุ้มเซลล์และส่งสารออกนอกเซลล์ด้วยวิธีการ exocytosis และถุงสารบางส่วนเก็บไว้ใช้ภายในเซลล์
3. ทำหน้าที่สร้างไลโซโซม (lysosome) เป็นถุงที่ภายในมีเอนไซม์ทำหน้าที่เกี่ยวกับการย่อยสลายสารภายในเซลล์หรือออร์แกเนลล์ที่หมดอายุแล้ว และสร้าง peroxisome
4. สร้างเมือกที่หมวกราก เพื่อให้รากชอนไชไปในดินได้สะดวกขึ้น สร้างสารเคลือบฟัน (enamel) สร้างเข็มพิษ (nematocyst) ของไฮดรา และแมงกะพรุน สร้างอะโครโซม (acrosome) ที่อยู่ที่ส่วนหัวของอสุจิซึ่งภายในมีเอนไซม์ย่อยสลายเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ และเกี่ยวข้องกับการสร้าง cell plate ในช่วงปลายของการแบ่งเซลล์ของเซลล์พืช

การทำงานร่วมกันของ E.R. Golgi body, lysosome เรียก endomembrane system





▲ (Cr. design4evolution.net)

- ไลโซโซม (lysosome) พบในเซลล์สัตว์และพืชบางชนิด หางลูกอ๊อด เม็ดเลือดขาว มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว ลักษณะเป็นถุงกลม ภายในมีเอนไซม์พวก hydrolytic enzyme (acid hydrolase)

  ทำหน้าที่

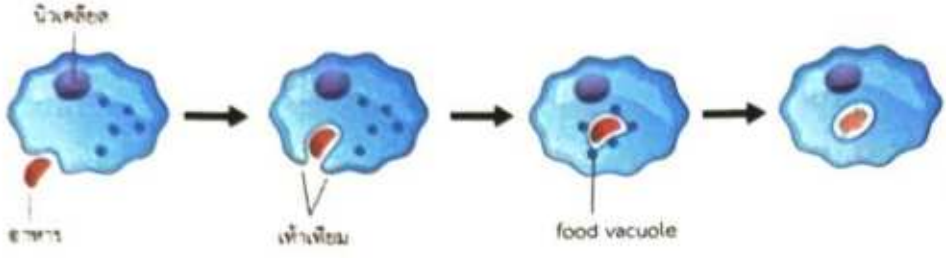
  - ย่อยสลายสารภายในเซลล์ เช่น ในโพรโทซัวบางชนิด
  - ย่อยสลายออร์แกเนลล์ที่หมดอายุแล้ว เรียกกระบวนการนี้ว่า autophagy
  - อยู่ในเม็ดเลือดขาวพวกนิวโทรฟิลและแมโครฟาจ ทำหน้าที่กำจัดและย่อยสลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกายที่เข้ามาโดยวิธี endocytosis เรียกกระบวนการนี้ว่า heterophagy
  - ย่อยสลายเซลล์ของตัวเอง เช่น เซลล์ที่ชรา เสื่อมสภาพ หรือการเกิดเมทามอร์โฟซิส (metamorphosis) ที่หางลูกอ๊อดค่อยๆ หายไป เรียกกระบวนการนี้ว่า autolysis (auto- ตัวเอง) (ศัพท์คำว่า lysis- เจอที่ไหนแปลว่าการสลาย เช่น hydrolysis- การสลายโมเลกุลด้วยน้ำ, lysosome- ออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสาร, photolysis- การสลายโมเลกุลของน้ำด้วยแสงในพืช)

- เพอรอกซิโซม (peroxisome) มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว เป็นถุงค่อนข้างกลม ภายในบรรจุเอนไซม์ peroxidase หรือ catalase สร้างมาจาก Golgi body

  ทำหน้าที่

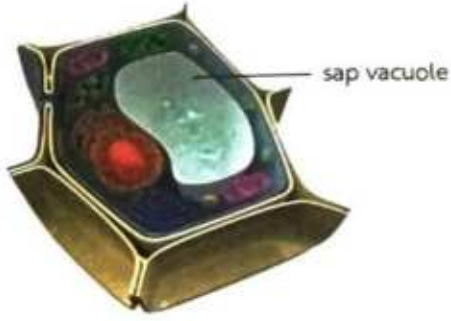
  - กำจัดสารพิษพวกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ได้เป็นน้ำและออกซิเจนซึ่งไม่เป็นพิษต่อเซลล์
  - เกี่ยวข้องกับการกำจัดแอลกอฮอล์ส่วนเกินที่ร่างกายได้รับ พบในเซลล์ตับ
  - เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการหายใจแสงของพืช (photorespiration) *เชื่อมโยงบทที่ 12
  - เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยและสังเคราะห์ไขมัน

- แวคิวโอล (vacuole) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด
  - food vacuole พบในโพรโทซัว และเซลล์เม็ดเลือดขาว ทำหน้าที่เก็บรวบรวมอาหารที่ได้จากการกิน และสร้าง เป็นถุงอาหารภายในเซลล์ จากนั้นให้ lysosome ย่อยสลายต่อไป

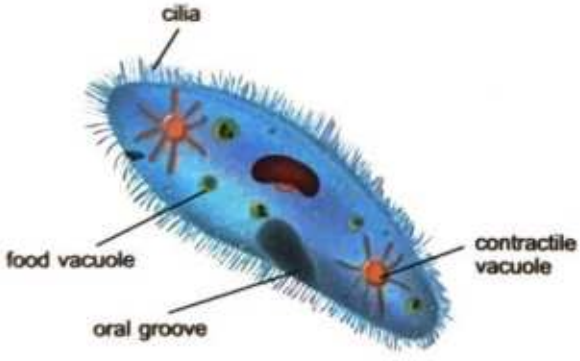


▲ (Cr. olivtitia)

  - central vacuole หรือ sap vacuole พบในพืชและสาหร่าย ทำหน้าที่เก็บน้ำ สารละลายต่างๆ เกลือ สารสี หรือสารพิษ รักษาแรงดันเต่งในพืช ไม่ให้เซลล์เหี่ยว มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้นเรียก tonoplast



  - contractile vacuole พบในโพรโทซัวน้ำจืด (อะมีบา พารามีเซียม ยูกลีนา) ทำหน้าที่รักษาสมดุลน้ำในเซลล์ (เทียบได้กับไตของคน)



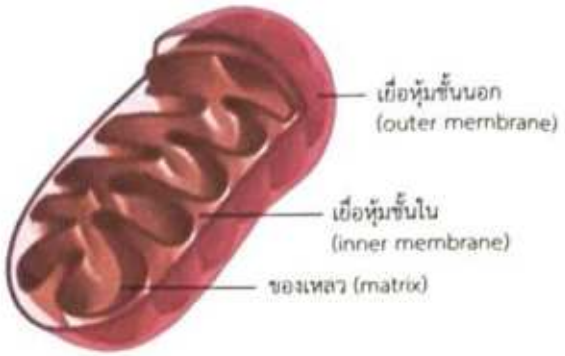
▲ (Cr. Craig Smith)

คำศัพท์ชีวะน่ารู้ (เข้าใจศัพท์ จะทำให้เรียนชีวะง่ายขึ้นมาก)

1. cyto - = cell เช่น cytoplasm cytoskeleton
2. endo - = ข้างใน เช่น endocytosis (การลำเลียงสารเข้า)
3. exo - = ข้างนอก เช่น exocytosis (การลำเลียงสารออก)
4. glyco- = น้ำตาล เช่น glycoprotein (น้ำตาลต่อกับโปรตีน)
5. eu- = แท้จริง เช่น eukaryote (สิ่งมีชีวิตที่มีนิวเคลียสแท้จริง)
6. pro- = ก่อน เช่น = prokaryote (สิ่งมีชีวิตที่ไม่มีนิวเคลียส)
7. vacu- = ช่องว่าง เช่น ถุง food vacuole

ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น

- ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)
  - รูปท่อนกลมรี เยื่อชั้นในพับคล้ายนิ้วมือยื่นเข้าไปด้านในเรียก คริสตี (cristae) พบในเซลล์ยูคาริโอต ตับ สมอง กล้ามเนื้อลาย อสุจิ ยกเว้นเม็ดเลือดแดงที่โตเต็มที่

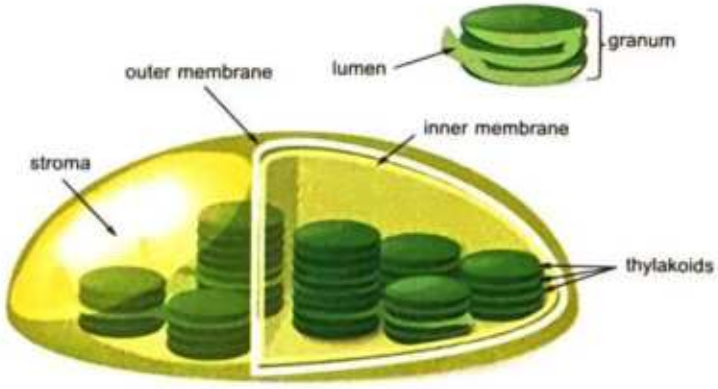


  - มี DNA และไรโบโซม ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนเองได้ (**ออกสอบ!!**)
  - มีของเหลวใสภายใน เรียก matrix (เทียบได้กับของเหลวในคลอโรพลาสต์ เรียก stroma) และมีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือ
    - ชั้นนอก (outer membrane) ทำหน้าที่ควบคุมชนิดและปริมาณสารเข้าออกในไมโทคอนเดรีย
    - ชั้นใน (inner membrane) ขดไปมาเป็นบริเวณที่เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในการหายใจระดับเซลล์ เพื่อสร้างพลังงาน ATP

<u>หน้าที่</u>

- เป็นแหล่งสร้างพลังงาน ATP ให้กับเซลล์โดยปฏิกิริยา oxidative phosphorylation โดยการสลายโมเลกุลของอาหารในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เชื่อมโยงเรื่องการหายใจระดับเซลล์ กับโครงสร้างไมโทคอนเดรีย

- พลาสติด (plastid) เป็นออร์แกเนลล์เม็ดสีที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้นที่พบในพืชและสาหร่าย (ไม่พบในเซลล์สัตว์ เห็ดรา แบคทีเรีย) มี 3 ชนิด คือ
  - ลิวโคพลาสต์ (leucoplast) เป็นพลาสติดที่มีสีขาว พบในเซลล์สะสมอาหารจำพวกแป้งและโปรตีนใต้ดิน เช่น หัวเผือก หัวผักกาด
  - โครโมพลาสต์ (chromoplast) เป็นพลาสติดที่ประกอบด้วยรงควัตถุสีต่างๆ เช่น แคโรทีนอยด์ ให้สีส้ม สีแดง สีเหลือง สีน้ำตาล พบในกลีบดอกและใบไม้ที่มีสีต่างๆ หรือผลไม้สุก เช่น มะละกอ มะเขือเทศ สตรอว์เบอร์รี่
  - คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ภายในมีรงควัตถุสีเขียว คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ภายในมี DNA สามารถจำลองตัวเองได้ มีไรโบโซม และมีของเหลวภายในเรียก stroma (บริเวณเกิดวัฏจักรคัลวิน) เยื่อชั้นในซ้อนเป็นชั้นๆ หลายชั้น เรียกรวมว่า granum ชั้นแต่ละชั้นที่ซ้อนกันเรียก thylakoid (เกิดปฏิกิริยาแสง) ภายในชั้น thylakoid มีช่องว่างเรียก lumen (ไซยาโนแบคทีเรีย ไม่มีคลอโรพลาสต์แต่มีคลอโรฟิลล์ทำให้สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้)



เปรียบเทียบ prokaryote กับ eukaryote

สิ่งเปรียบเทียบ	prokaryotic cell	eukaryotic cell
1. ขนาดเซลล์	เล็ก 1-10 μm	ใหญ่ 10-100 μm
2. สารพันธุกรรม	DNA ไม่มีโปรตีน	DNA พันรอบโปรตีนฮิสโตน
3. ลักษณะ DNA	วงแหวนเกลียวคู่	เกลียวคู่
4. ขนาดไรโบโซม	70S (50S กับ 30S)	80S (60S กับ 40S)
5. การหายใจ	ส่วนใหญ่หายใจแบบไม่ใช้ O_2	ส่วนใหญ่หายใจแบบใช้ O_2

	สิ่งเปรียบเทียบ	prokaryotic cell	eukaryotic cell	
			เซลล์พืช	เซลล์สัตว์
	1. เยื่อหุ้มเซลล์	✓	✓	✓
	2. เยื่อหุ้มนิวเคลียส	-	✓	✓
	3. ผนังเซลล์	✓	✓	-
	4. โครโมโซม	✓	✓	✓
ไม่มีเยื่อหุ้ม	5. ribosome	✓	✓	✓
ไม่มีเยื่อหุ้ม	6. centriole	-	-	✓
ไม่มีเยื่อหุ้ม	7. cytoskeleton	-	✓	✓
เยื่อหุ้ม 1 ชั้น	8. ER	-	✓	✓
เยื่อหุ้ม 1 ชั้น	9. Golgi body	-	✓	✓
เยื่อหุ้ม 1 ชั้น	10. lysosome	-	พบบางชนิด	✓
เยื่อหุ้ม 1 ชั้น	11. peroxisome	-	✓	✓
เยื่อหุ้ม 1 ชั้น	12. vacuole	-	✓	พบบางชนิด
เยื่อหุ้ม 2 ชั้น	13. mitochondria	-	✓	✓
เยื่อหุ้ม 2 ชั้น	14. chloroplast	-	✓	-

3.3 การลำเลียงสาร

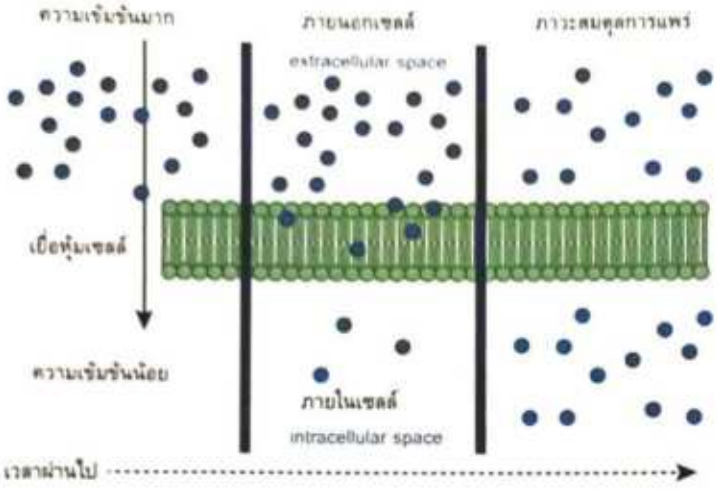
3.3.1 การลำเลียงสารแบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

แบบไม่ใช้พลังงาน (passive transport)

- การแพร่แบบธรรมดา (simple diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากบริเวณสารที่มีความเข้มข้นมาก ไปยังบริเวณสารที่มีความเข้มข้นน้อย จนความเข้มข้นของสารละลายทั้งหมดเท่ากันเข้าสู่ภาวะสมดุลการแพร่ (dynamic equilibrium) ตัวอย่างเช่น
  - การแพร่ของน้ำตาลหรือเกลือในน้ำ
  - การฉีดสเปรย์ และการแพร่ของน้ำหอมในอากาศ
  - การแพร่แก๊สที่หลอดเลือดฝอยในถุงลม
  - การนำ CO_2 เข้า และปล่อย O_2 ที่ปากใบพืช

ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการแพร่

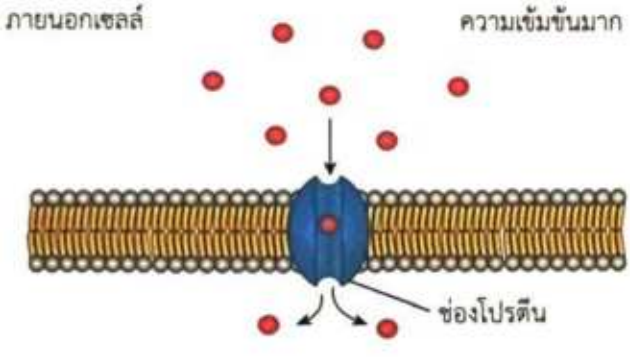
1. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการแพร่เพิ่มขึ้น
2. สารที่มีความสามารถในการละลายได้ดี อัตราการแพร่จะสูง
3. ถ้าความเข้มข้นของสารสองสารแตกต่างกันมากจะทำให้การแพร่เกิดเร็ว
4. สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะเกิดการแพร่เร็วกว่าสารขนาดใหญ่



การแพร่แบบธรรมดา

▲ (Cr. Patricia Vanleerberghe)

- การแพร่แบบอาศัยตัวพา (facilitated diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากบริเวณสารที่ความเข้มข้นมากไปยังบริเวณสารที่มีความเข้มข้นน้อย โดยอาศัยช่องโปรตีนหรือโปรตีนตัวพาที่มีความจำเพาะที่เยื่อหุ้มเซลล์เป็นตัวพาหรือขนส่งสาร เช่น การลำเลียงกลูโคสและกรดอะมิโนเข้าเซลล์



การแพร่แบบอาศัยตัวพา

▲ (Cr. AHMED ALDANAF)

- ออสโมซิส (osmosis) เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำ (ตัวทำละลาย) จากบริเวณที่สารมีความเข้มข้นน้อยไปยังบริเวณสารที่มีความเข้มข้นมาก เช่น การดูดน้ำของราก

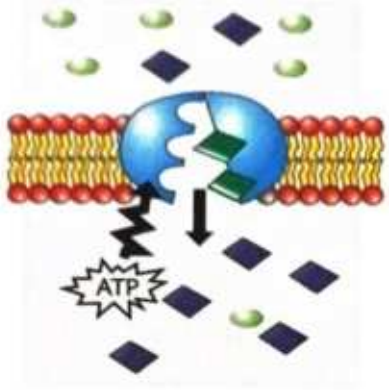
isotonic solution (iso- เท่ากัน)	hypotonic solution (hypo- ต่ำกว่า)	hypertonic Solution (hyper- มากกว่า)
ความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเซลล์เท่ากับสารละลายภายในเซลล์ **ผลลัพธ์** น้ำจะเข้าและออกเซลล์ในอัตราที่เท่ากัน เซลล์ไม่เปลี่ยนแปลง 	ความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเซลล์น้อยกว่าสารละลายภายในเซลล์ **ผลลัพธ์** น้ำภายนอกเซลล์จะออสโมซิสเข้าในเซลล์จนเซลล์เต่ง 	ความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเซลล์ มากกว่า สารละลายภายในเซลล์ **ผลลัพธ์** น้ำภายในเซลล์จะออสโมซิสออกนอกเซลล์จนเซลล์เหี่ยว

▲ (Cr. kctcs.edu)

แรงดันออสโมติก คือ แรงดันที่ทำให้เกิดการออสโมซิสเพื่อต้านการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

แบบใช้พลังงาน (active transport)

เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากบริเวณสารที่มีความเข้มข้นน้อยไปยังบริเวณสารที่มีความเข้มข้นมาก โดยอาศัยพลังงานในรูป ATP จากเซลล์ และตัวพา (โปรตีน) ในการลำเลียงสารเข้าสู่เซลล์ ตัวอย่างเช่น การดูดเกลือแร่จากดินในรากพืช การดูดซึมน้ำตาลกลูโคสที่ลำไส้เล็ก กระบวนการแลกเปลี่ยนโซเดียมและโพแทสเซียม (sodium potassium pump) ในเซลล์เม็ดเลือดแดงและเซลล์ประสาท



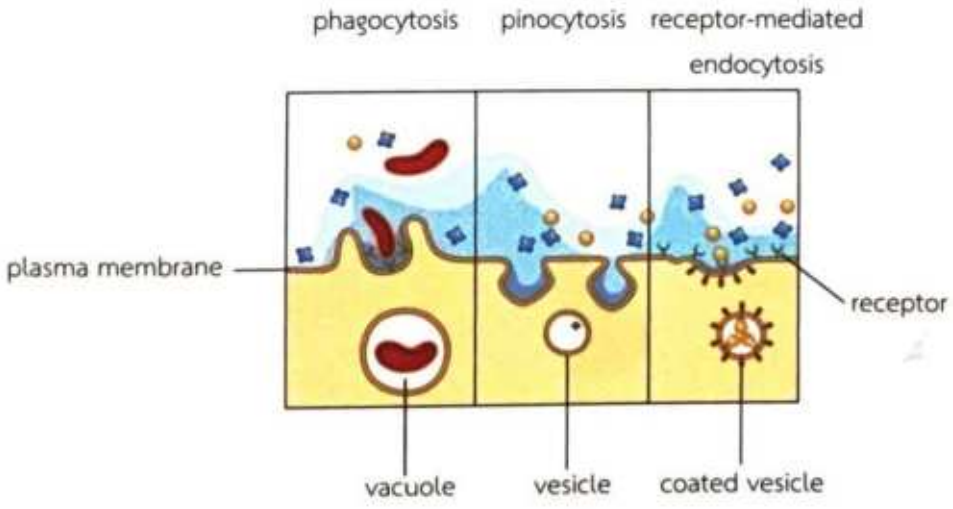
การลำเลียงสารแบบใช้พลังงาน
จะถูกยับยั้งเมื่อเซลล์อยู่ในสภาพที่
อุณหภูมิต่ำ 2-4 °C หรือมีพิษไซยาไนด์
และไม่มีการสร้างพลังงาน

3.3.2 การลำเลียงสารแบบสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์

การลำเลียงสารเข้าเซลล์ (endocytosis)

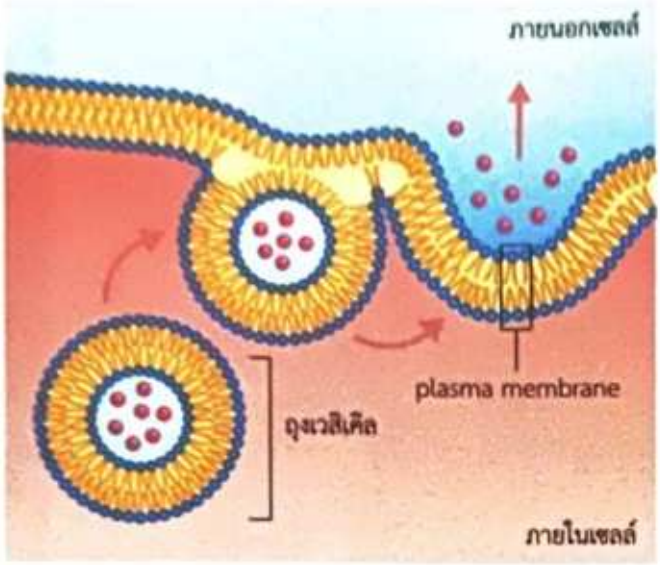
endo – ภายใน, cyto- เซลล์ มี 3 รูปแบบ คือ

- phagocytosis : การกินของเซลล์ (cell eating) เป็นการยื่นส่วนที่เรียกว่าเท้าเทียม (pseudopodium) ไปโอบจับกินอาหาร และนำเข้าเซลล์ในรูปถุงเวสิเคิล จากนั้นให้ lysosome ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ส่วนใหญ่สารที่นำเข้าเป็นของแข็ง เช่น การกินอาหารของอะมีบาและจับเชื้อโรคของเม็ดเลือดขาว
- pinocytosis: การดื่มของเซลล์ (cell drinking) เป็นการนำสารที่เป็นของเหลวเข้าเซลล์ โดยการเว้าเยื่อหุ้มเซลล์ทีละเล็กน้อยจนเป็นถุงเวสิเคิล เช่น การนำสารเข้าเซลล์ที่หน่วยไต การนำไขมันเข้าเซลล์ที่เยื่อบุลำไส้เล็ก
- receptor-mediated endocytosis เป็นการนำสารเข้าเซลล์โดยอาศัยตัวรับจำเพาะ (receptor) ซึ่งเป็นโปรตีนที่แทรกอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ เช่น การนำฮอร์โมน แอนติบอดีบางชนิด สารพิษเข้าเซลล์



การลำเลียงสารออกจากเซลล์ (exocytosis)

exocytosis (exo – ข้างนอก, cyto – เซลล์) เป็นการลำเลียงสารขนาดใหญ่ออกจากเซลล์โดยการบรรจุเป็นถุงเวสิเคิล (vesicle) เมื่อถุงเวสิเคิลเคลื่อนที่มารวมตัวกับเยื่อหุ้มเซลล์สารจะถูกปล่อยออกนอกเซลล์ เช่น การกำจัดกากอาหารที่เหลือจากการย่อยของเซลล์ การหลั่งเอนไซม์ ฮอร์โมน สารเมือกออกนอกเซลล์



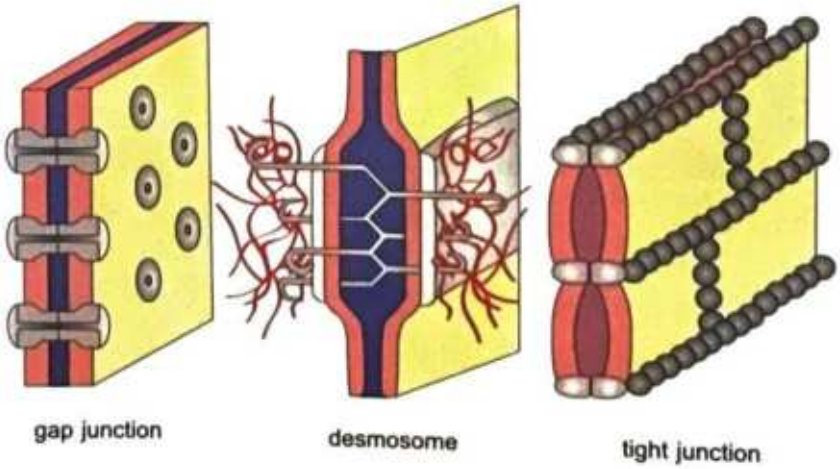
▲ Cr. Fusion Medial Animation

คำศัพท์ชีวะน่ารู้

- pseudo – ของเทียม เช่น pseudoheart (หัวใจเทียม) ในไส้เดือนดิน pseudocoelom (ช่องว่างเทียม)
- podium เท้า เช่น pseudopodium (เท้าเทียม), arthropoda (สัตว์ที่มีขาเป็นปล้อง)

3.3.3 การเชื่อมต่อกันของเซลล์ (cell junction)

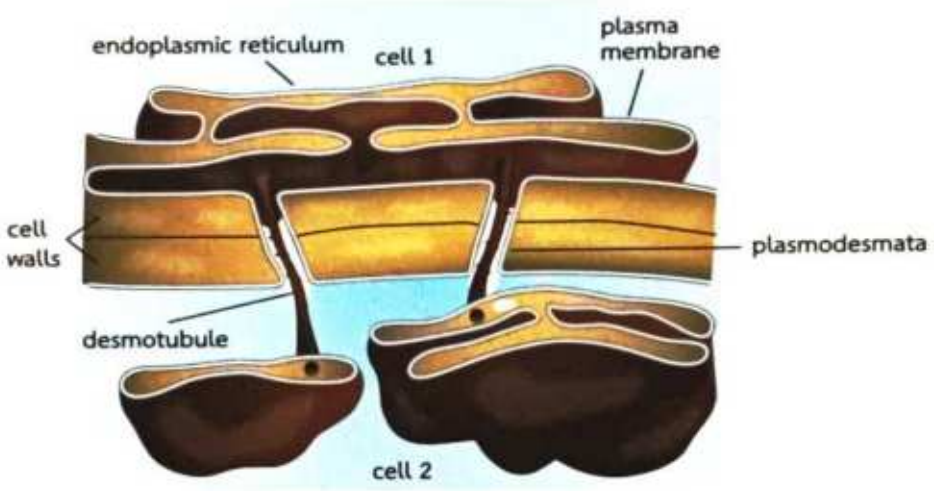
ในเซลล์สัตว์จะมีโครงสร้างพิเศษที่ทำหน้าที่ยึดให้เซลล์ติดกัน ตลอดจนมีการแลกเปลี่ยนสารระหว่างเซลล์ 2 เซลล์ เรียก cell junction ในเซลล์สัตว์ประกอบด้วย 3 ชนิด คือ



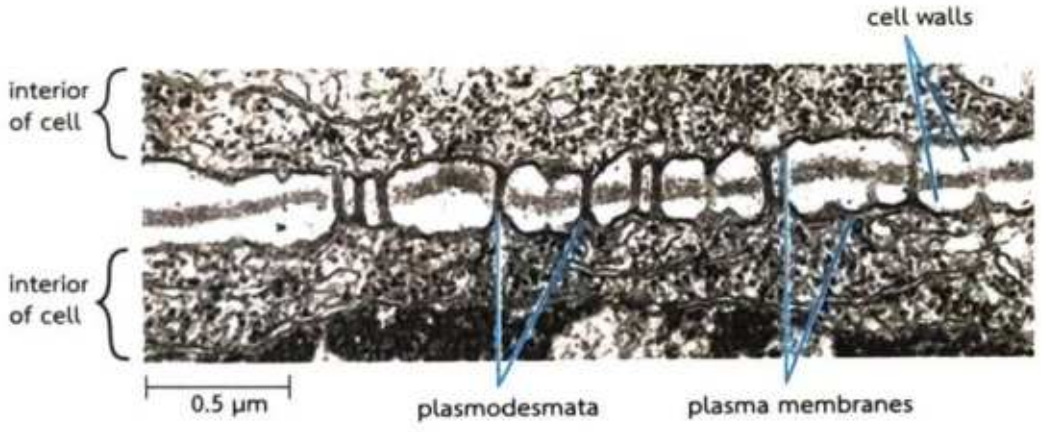
▲ (Cr. wikipedia.org)

- gap junction ช่องเล็กๆ ระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกัน เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 nm ช่วยในการสื่อสารกันระหว่างเซลล์ ช่วยให้ความแข็งแรงแก่เซลล์และยอมให้ไมเลกุลเล็กๆ และไอออนผ่านเข้า-ออก ซึ่งมีความสำคัญในกล้ามเนื้อหัวใจ (เกี่ยวข้องกับการเกิดไซแนปส์ทางไฟฟ้า) และกล้ามเนื้อเรียบในร่างกาย
- tight junction เป็นการยึดติดกันของเซลล์ 2 เซลล์ที่มีการเชื่อมกันสนิทคล้ายกำแพงที่ฉาบปูนแน่น ป้องกันไม่ให้สารไหลผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ พบภายในลำไส้เล็ก เซลล์บุท่อไต และกระเพาะปัสสาวะ
- adhering junction (desmosome) เป็นการยึดเซลล์โดยการเชื่อมต่อกับไซโทสเกเลตอน เชื่อมเยื่อหุ้มเพื่อให้เกิดความแข็งแรงบริเวณเนื้อเยื่อที่ต้องยึดติดกัน เช่น ผิวหนัง

ในเซลล์พืชการเชื่อมต่อกันของเซลล์อาศัย plasmodesmata ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเชื่อมต่อระหว่างโพรโทพลาซึมของเซลล์ข้างเคียง มีลักษณะเป็นช่องแคบๆ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-60 nm



▲ (Cr. biology-forums.com)

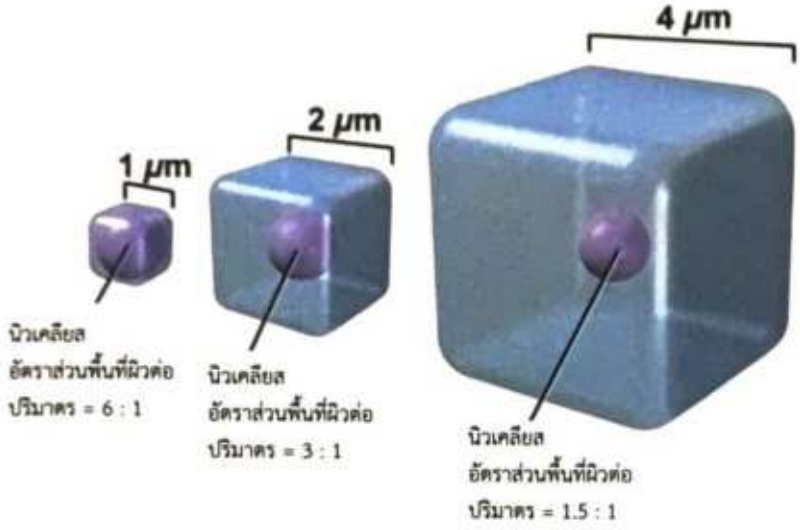


▲ (Cr. nicerweb.int)

3.4 การแบ่งเซลล์

ทำไมจึงต้องแบ่งเซลล์

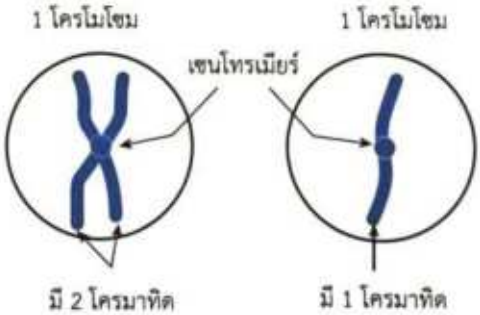
หลังจากปฏิสนธิ ไข่ + อสุจิ → ไซโกต (1 เซลล์) → แบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ → เซลล์เติบโตและมีขนาดใหญ่ขึ้น → แบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์และลดขนาดเซลล์ลง → เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่เฉพาะ → ตัวอ่อน (เอ็มบริโอ) → แบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตและขยายขนาดของสิ่งมีชีวิต



ยิ่งเซลล์มีขนาดเล็กยิ่งทำให้เซลล์มี **อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร**มากขึ้น ทำให้เกิดการขนส่งสาร (สารอาหาร ของเสีย แก๊ส) เข้าออกเซลล์อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

▲ (Cr. emaza.com)

ทบทวนรูปร่างและประเภทของโครโมโซม



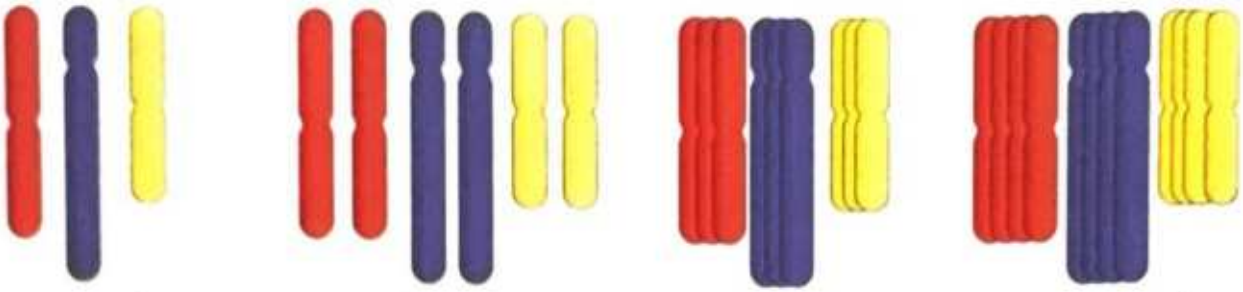
***1 โครโมโซม มี 1 เซนโทรเมียร์

โครโมโซม (chromosome) คือ ดีเอ็นเอที่พันกันกับโปรตีนฮิสโตน ขดสั้นและหนาขึ้นจนเห็นเป็นแท่งได้ชัดในระยะเมทาเฟส (metaphase)

โครมาทิด (chromatid) คือ ข้างหนึ่งของโครโมโซม หากโครโมโซมมี 2 โครมาทิดจะติดกันที่บริเวณเซนโทรเมียร์

เซนโทรเมียร์ (centromere) คือ บริเวณคอคอดของโครโมโซมที่โครมาทิดสองแท่งมาติดกัน มีโปรตีนไคนีโทคอร์ (kinetochore) ที่จับกับเส้นใยสปินเดิลในระยะแอนาเฟสเพื่อดึงโครมาทิดทั้ง 2 ออกจากกัน

จำนวนชุดของโครโมโซม



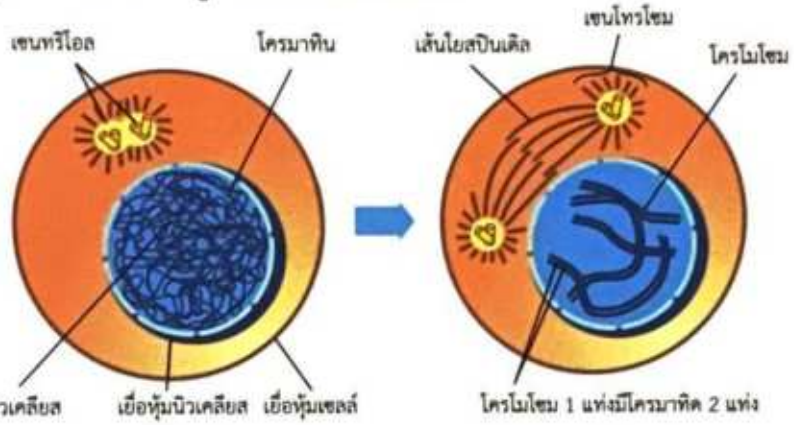
แฮพลอยด์
(haploid) n
มีโครโมโซม 1 ชุด พบใน เซลล์สืบพันธุ์ เซลล์ของผึ้ง มด ต่อ แตนเพศผู้ เส้นใยเห็ดรา สาหร่ายชั้นต่ำ แกมีโทไฟต์มอส

ดิพลอยด์
(diploid) 2n
มีโครโมโซม 2 ชุด พบในเซลล์ร่างกาย (somatic cell) สิ่งมีชีวิตทั่วไป ผึ้ง มด ต่อ แตน เพศเมีย

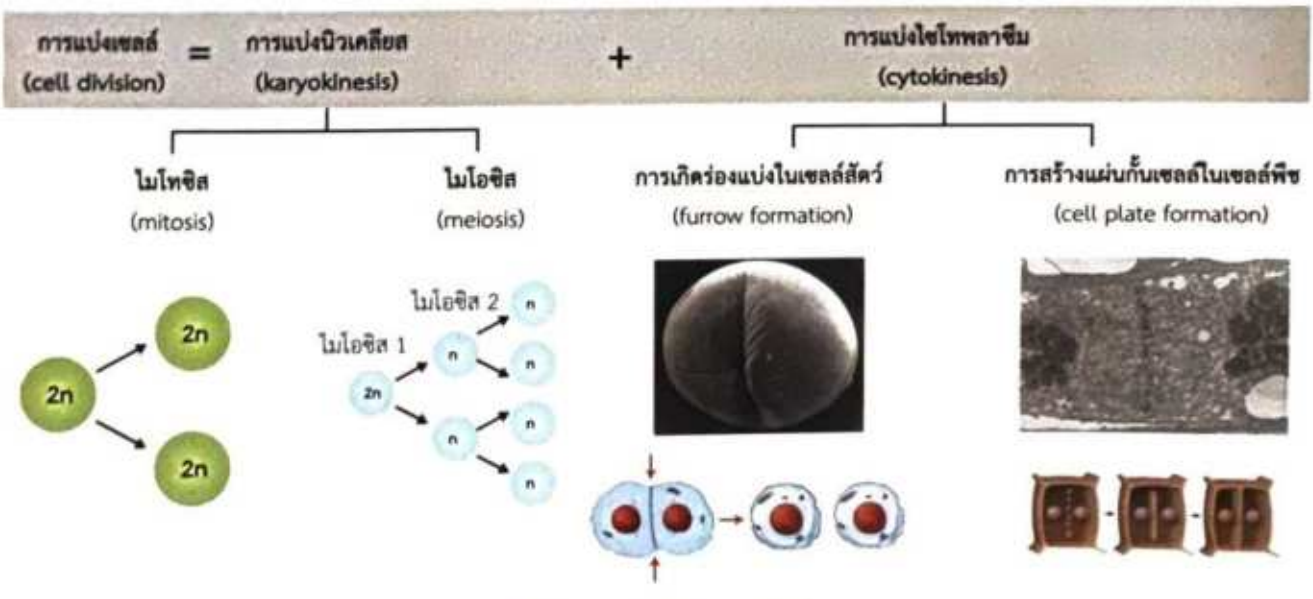
ทริพลอยด์
(triploid) 3n
มีโครโมโซม 3 ชุด

เทตราพลอยด์
(tetraploid) 4n
มีโครโมโซม 4 ชุด

องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ที่ควรรู้เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์



เซนโทรโซม (centrosome) คือ ออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่สร้างไมโครทิวบูลเรียกว่า เส้นใยสปินเดิล (spindle fiber) ใช้ยึดจับบริเวณเซนโทรเมียร์และดึงโครมาทิดให้ขาดออกจากกันในระยะแอนาเฟส เซนโทรโซมประกอบไปด้วยเซนทริโอล (centriole) ซึ่งสร้างจากเส้นใยไมโครทิวบูลเรียงกันแบบ 9+0 ในเซลล์พืชเซนโทรโซมไม่มีเซนทริโอล



▲ (Cr. amazonaws.com)

3.4.1 การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis)

เป็นการแบ่งของเซลล์ร่างกาย (somatic cell) เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์นำไปสู่การเจริญเติบโตของร่างกาย โดยแบ่งจาก 1 เซลล์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เซลล์เสมอ เซลล์แต่ละชนิดในร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีความสามารถในการแบ่งเซลล์ที่ไม่เท่ากัน

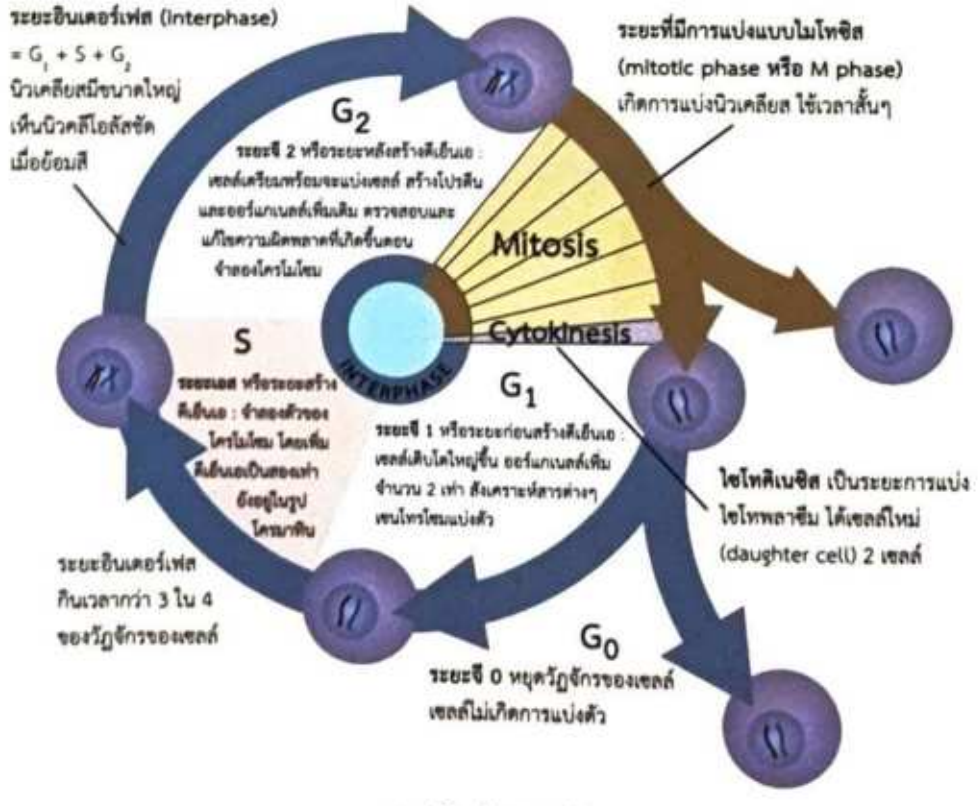
เซลล์ที่มีการแบ่งตัวตลอดเวลาเพื่อทดแทนเซลล์ที่ตายไป	เซลล์ไขกระดูก เซลล์ผิวหนัง เซลล์ในเนื้อเยื่อเจริญของพืช เช่น บริเวณปลายยอดและปลายราก
เซลล์ที่ได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสมจึงแบ่งเซลล์ได้อีก	เซลล์ตับ เซลล์ต่อมต่างๆ เซลล์ในอวัยวะทั่วไป
เซลล์ที่มีการพัฒนาเป็นรูปร่างพิเศษแล้วจึงไม่แบ่งตัวอีก	เซลล์ประสาท เซลล์กล้ามเนื้อยึดกระดูก เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ เซลล์ในเนื้อเยื่อถาวรของพืช

Quiz Yourself

4) การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของคนเกิดจากการแบ่งเซลล์แบบใด
   1. ไมโทซิสที่มีการลดจำนวนโครโมโซม
   2. ไมโทซิสไม่มีการลดจำนวนโครโมโซม
   3. ไมโอซิสที่มีการลดจำนวนโครโมโซม
   4. ไมโอซิสที่ไม่มีการลดจำนวนโครโมโซม

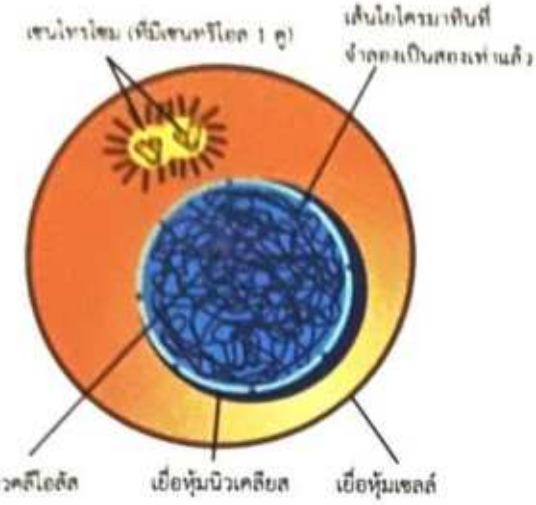
5) คนมีจำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกาย 46 แท่ง ระหว่างการแบ่งเซลล์ แต่ละโครโมโซมประกอบด้วยกี่โครมาทิด
   1. 2 โครมาทิด
   2. 23 โครมาทิด
   3. 46 โครมาทิด
   4. 92 โครมาทิด

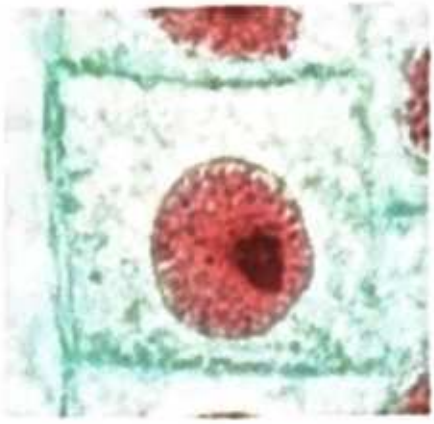
ช่วงเวลาทั้งหมดที่รวมการเตรียมพร้อมก่อนการแบ่งเซลล์จนถึงการแบ่งเซลล์ เรียกว่า วัฏจักรของเซลล์ (cell cycle)



▲ (Cr. le.ac.uk)

ระยะอินเตอร์เฟส (interphase)




เซลล์รากหอมในระยะอินเตอร์เฟส

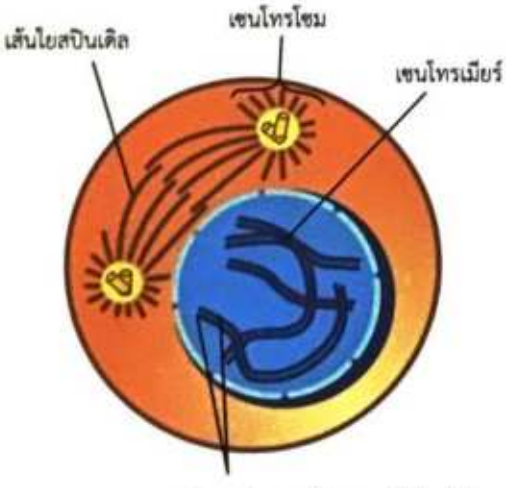
▲ (Cr. wisc.edu)

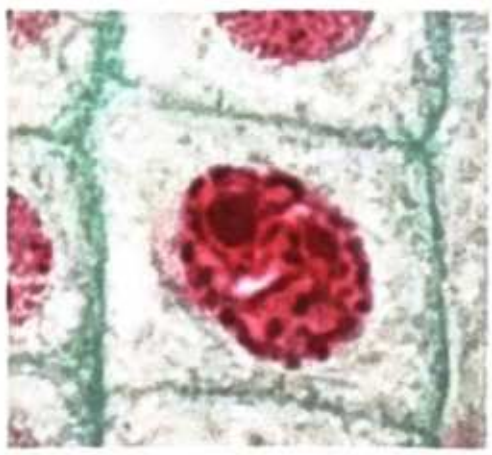
- ระยะที่เซลล์เตรียมตัวให้พร้อมก่อนการแบ่งนิวเคลียสและไซโทพลาซึม สายดีเอ็นเอยังเป็นเพียงเส้นใยหรือร่างแหบางๆ ยาวขดไปมา เรียกว่า โครมาทิน (chromatin)
- แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะ G_1 ระยะ S และระยะ G_2

ระยะที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis phase) แบ่งเป็นขั้นย่อยดังนี้

มุขจำ ระยะการแบ่งเซลล์ โปรด ⟶ เมตตา ⟶ แอนนา ⟶ ที โพรเฟส เมทาเฟส แอนาเฟส เทโลเฟส

ระยะโพรเฟส (prophase)

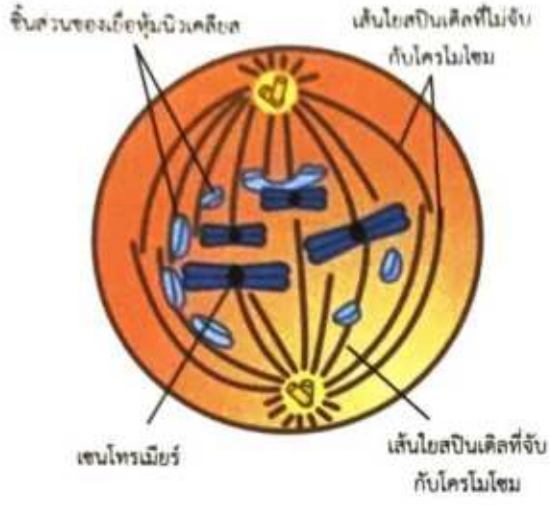



เซลล์รากหอมในระยะโพรเฟส

▲ (Cr. wisc.edu)

- ยังเห็นนิวเคลียสชัดเจนและยังมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสอยู่
- นิวคลีโอลัสสลายตัวไป โครมาทินเริ่มขดตัวโดยการบิดเกลียว ทำให้เห็นโครโมโซมสั้นลงและขนาดใหญ่ขึ้น
- เซนโทรโซมเริ่มเคลื่อนห่างออกจากกันและย้ายไปอยู่คนละด้านของเซลล์ และสร้างเส้นใยสปินเดิล (spindle fiber)

ระยะโพรเฟสตอนปลาย (late prophase) หรือระยะโพรเมทาเฟส (prometaphase)



เซลล์รากหอมในระยะโพรเฟสตอนปลาย

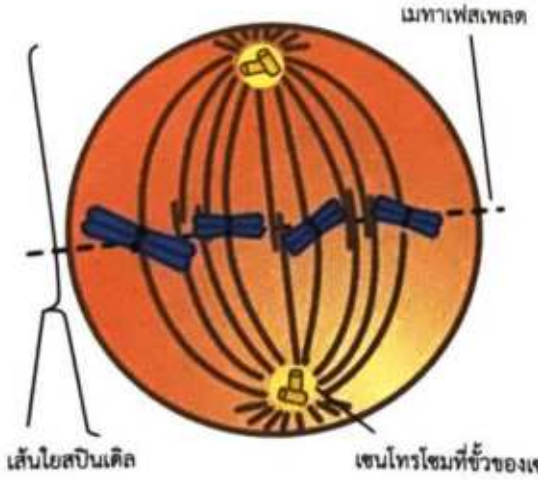
▲ (Cr. wisc.edu)

- เยื่อหุ้มนิวเคลียสเริ่มสลาย
- โครโมโซมสั้นลงและขนาดใหญ่ขึ้น
- เซนโทรโซมอยู่คนละด้านของเซลล์ และสร้างเส้นใยสปินเดิล โดยบางเส้นเข้าจับกับโปรตีนไคเนโทคอร์ (kinetochore) ที่บริเวณเซนโทรเมียร์ของโครโมโซม บางเส้นโยงระหว่างเซนโทรโซมที่สองขั้วของเซลล์

Quiz Yourself

6) ในการแบ่งนิวเคลียส ข้อใดเป็นเหตุการณ์ที่พบเฉพาะในไมโทซิส
   1. เส้นใยโครมาทินขดตัวสั้นลงและหนาขึ้น
   2. เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสสลายตัว
   3. โครมาทิดของแต่ละโครโมโซมแยกออกจากกัน
   4. ฮอมอโลกัสโครโมโซมเคลื่อนที่ไปสู่ขั้วเดียวกันของเซลล์
   5. โครโมโซมจัดเรียงอยู่ตรงกึ่งกลางเซลล์ในแนวระนาบเดียวกัน

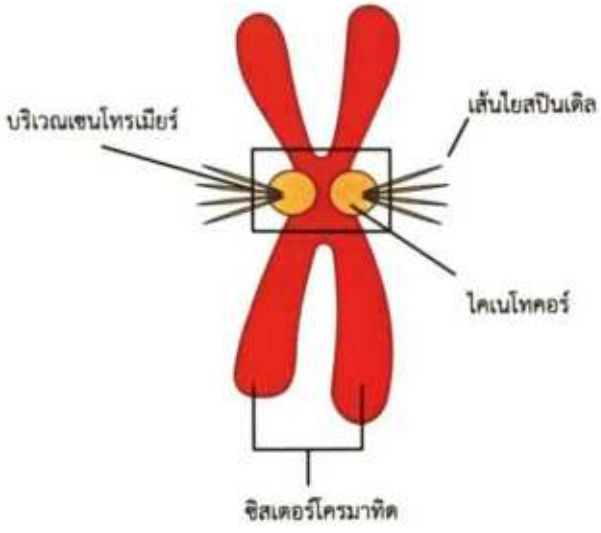
ระยะเมทาเฟส (metaphase)



เซลล์รากหอมในระยะเมทาเฟส

▲ (Cr. botit.botany.wisc.edu)

- เยื่อหุ้มเซลล์สลายตัวจนหมด
- โครโมโซมมีการขดตัวทำให้สั้นลงและมีขนาดใหญ่ที่สุดในระยะนี้ และเห็นชัดที่สุดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
- เป็นระยะที่เหมาะกับการศึกษาคาริโอไทป์ (karyotype) เพื่อนับจำนวนและดูความผิดปกติของโครโมโซม
- เส้นใยสปินเดิลที่จับกับโครโมโซม ดึงโครโมโซมมาจัดเรียงอยู่ตรงกึ่งกลางเซลล์ในแนวระนาบเดียวกัน เรียกว่า **เมทาเฟสเพลต (metaphase plate)**



▲ (Cr. cnx.org)

ระยะแอนาเฟส (anaphase)

เซลล์รากหอมในระยะแอนาเฟสตอนต้น

เซลล์รากหอมในระยะแอนาเฟสตอนปลาย

▲ (Cr. wisc.edu)

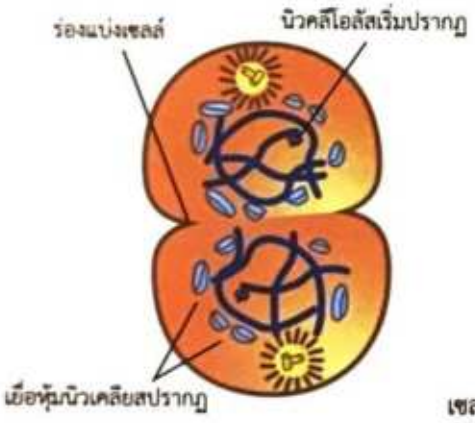
- เป็นระยะที่ใช้เวลาน้อยที่สุด เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจึงสังเกตได้ยาก
- ซิสเตอร์โครมาทิดของโครโมโซมแต่ละแท่งจะถูกดึงแยกออกจากกันไปที่ขั้วเซลล์ โดยการหดสั้นลงของเส้นใยสปินเดิล โครโมโซมเคลื่อนที่ไปในลักษณะเป็นตัว V โดยหันตำแหน่งเซนโทรเมียร์ไปที่ขั้วเซลล์
- โครมาทิดแต่ละแท่งกลายเป็นโครโมโซมแท่งใหม่ คู่ที่ถูกแยกออกจากกันเรียกว่า ซิสเตอร์โครโมโซม (sister chromosome) และโครโมโซมแท่งใหม่ที่เกิดขึ้นมีโครมาทิดเพียงหนึ่งแท่งเท่านั้น
- เป็นระยะที่มีจำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จากรูปคือมีโครโมโซมทั้งหมด 8 แท่ง

Quiz Yourself

7) ในการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส โครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) จะเริ่มจับคู่กันในระยะใด

1. interphase I
2. prophase I
3. metaphase I
4. prophase II
5. metaphase II

ระยะเทโลเฟส (telophase)



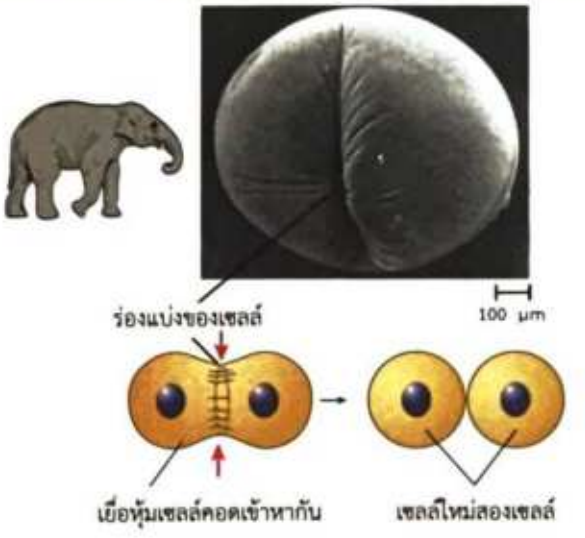
เซลล์รากหอมในระยะเทโลเฟสตอนต้น

เซลล์รากหอมในระยะเทโลเฟสตอนปลาย

▲ (Cr. wisc.edu)

- โครโมโซมแต่ละชุดที่ไปยังแต่ละขั้วของเซลล์หยุดเคลื่อนที่ และเริ่มคลายเกลียวออกยืดตัวเป็นเส้นใยโครมาทินที่มีขนาดเล็กลง
- เส้นใยสปินเดิลสลายตัว
- เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสสร้างใหม่

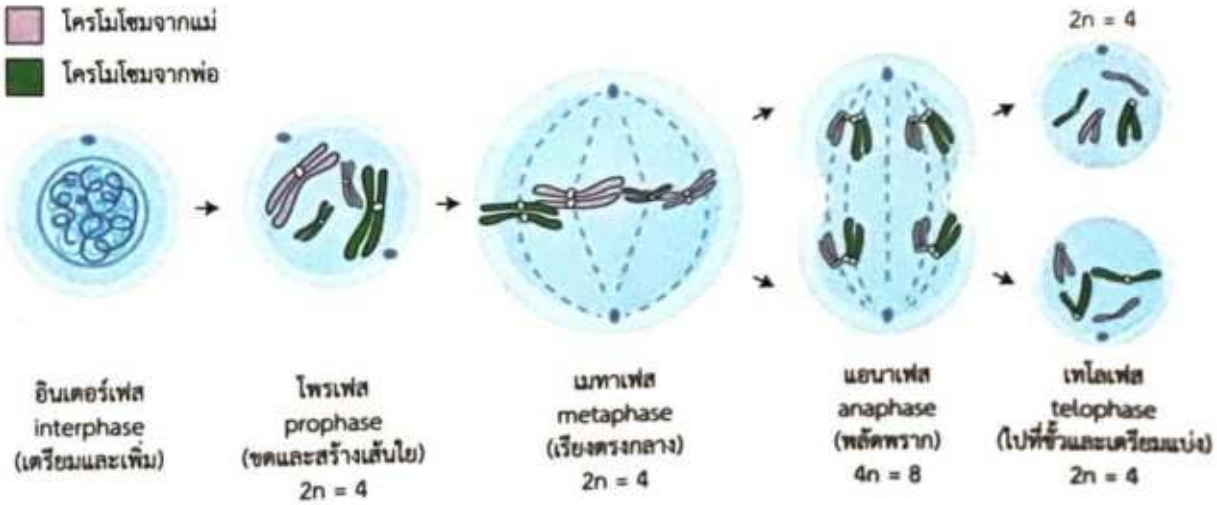
ระยะการแบ่งไซโทพลาซึม หรือไซโทคิเนซิส (cytokinesis)

ในเซลล์สัตว์เกิดร่องแบ่งของเซลล์ (cleavage furrow)	ในเซลล์พืชสร้างแผ่นกั้นเซลล์ (cell plate)
 ▲ (Cr. amazonaws.com)	▲ (Cr. amazonaws.com)

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

▲ (Cr. tas11244)

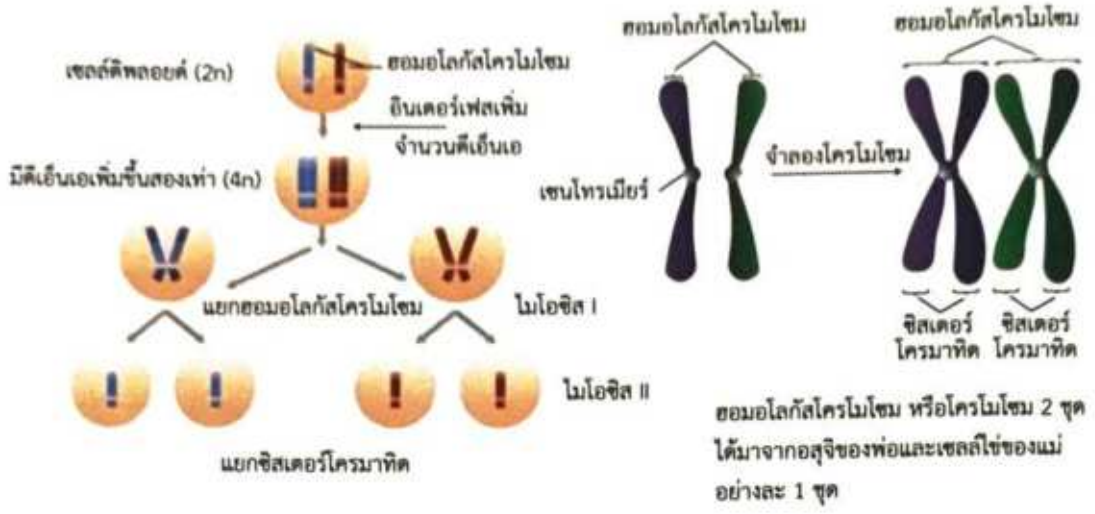
สรุปการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส



▲ (Cr. purdue.edu)

3.4.2 การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis)

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) เป็นการแบ่งเพื่อให้ได้เซลล์สืบพันธุ์ (gamete cell) และจำนวนชุดโครโมโซมจะลดลงครึ่งหนึ่ง โดยแบ่งจาก 1 เซลล์เพิ่มขึ้นเป็น 4 เซลล์



▲ (Cr. imgur.com)

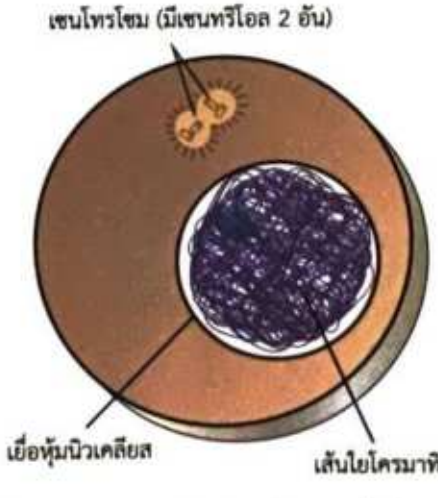
ในเซลล์ต้นกำเนิดที่มีโครโมโซม 2 ชุดหรือ**เซลล์ดิพลอยด์ (diploid cell)** โครโมโซมที่มีรูปร่างลักษณะเหมือนกันและมียีนที่คุมลักษณะเดียวกันอยู่ตำแหน่งตรงกัน จะอยู่เป็นคู่เรียกว่า **ฮอมอโลกัสโครโมโซม (homologous chromosome)** ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส จะแยกฮอมอโลกัสโครโมโซมออกจากกันไปยังเซลล์ใหม่ ทำให้เซลล์ใหม่เหลือโครโมโซมชุดเดียวหรือเป็น**เซลล์แฮพลอยด์ (haploid cell)**

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เกิดการแบ่งนิวเคลียส 2 รอบ จะใช้เลขโรมัน I และ II เพื่อระบุว่าเป็นรอบใด และแบ่งเป็นขั้นย่อยดังนี้

ไมโอซิส I (meiosis I)

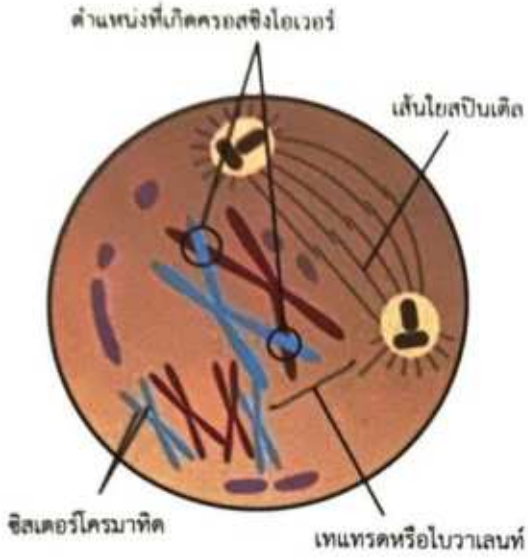
แบ่งจาก 1 เซลล์เป็น 2 เซลล์ แยกฮอมอโลกัสโครโมโซมออกจากกัน เซลล์ใหม่ที่ได้เป็นเซลล์แฮพลอยด์ (haploid cell)

ระยะอินเตอร์เฟส I (interphase I)



- ระยะที่เซลล์เตรียมตัวให้พร้อมก่อนการแบ่งนิวเคลียสและไซโทพลาซึม สายดีเอ็นเอยังเป็นเพียงเส้นใยหรือร่างแหเหมือนกับอินเตอร์เฟสของไมโทซิส

ระยะโพรเฟส I (prophase I)

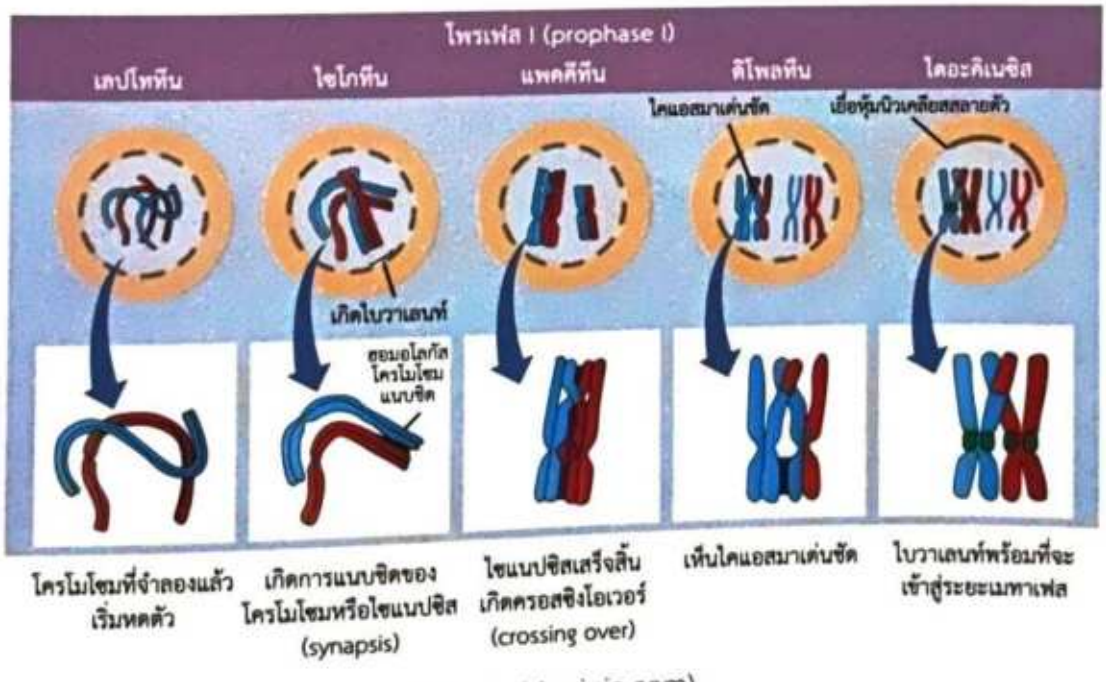


เซลล์ในระยะโพรเฟส I ตอนปลาย

▲ (Cr. utexas.edu)

- โครมาทินขดตัวสั้นลงและมีขนาดใหญ่ขึ้น
- เซนโทรโซมเคลื่อนห่างจากกันไปยังอีกฝั่งของเซลล์
- เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสเริ่มสลายตัว
- ฮอมอโลกัสโครโมโซมมาแนบชิดกัน เรียกว่า **เทแทรด (tetrad) หรือไบวาเลนท์ (bivalent)** การแนบชิดกันเรียกว่า**ไซแนปซิส (synapsis)**
- เกิดการไขว้กันของโครมาทิดที่อยู่ต่างฮอมอโลกัสโครโมโซมเรียกว่า **ครอสซิงโอเวอร์ (crossing over)** ตำแหน่งที่ไขว้กันเรียกว่า **ไคแอสมา (chiasma)** ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมบนชิ้นส่วนของโครมาทิดต่างเส้นที่อยู่ชิดกัน เป็นผลให้เซลล์สืบพันธุ์ที่ได้มีความแตกต่างกันนำไปสู่ความหลากหลายทางพันธุกรรม (ออกสอบ)

ขั้นย่อยของระยะโพรเฟส I (prophase I)



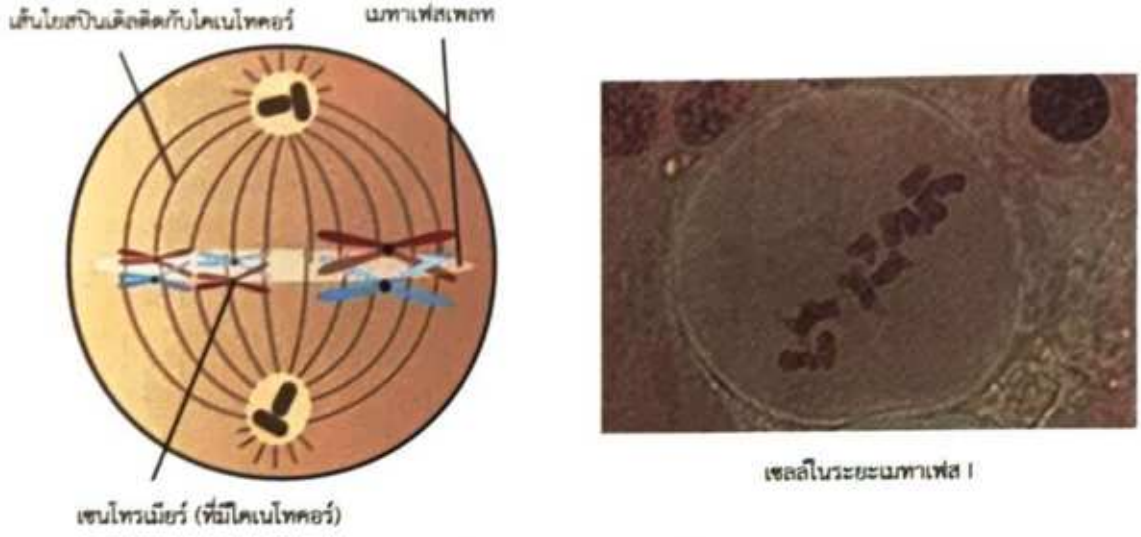
▲ (Cr. bioninja.com)

Quiz Yourself

8) ในการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส ระยะใดที่เห็นไคแอสมา (chiasma) และระยะใดที่ไคแอสมาหายไป ตามลำดับ

1. prophase I และ metaphase I
2. prophase I และ anaphase I
3. metaphase I และ telophase I
4. prophase II และ anaphase II
5. anaphase I และ anaphase II

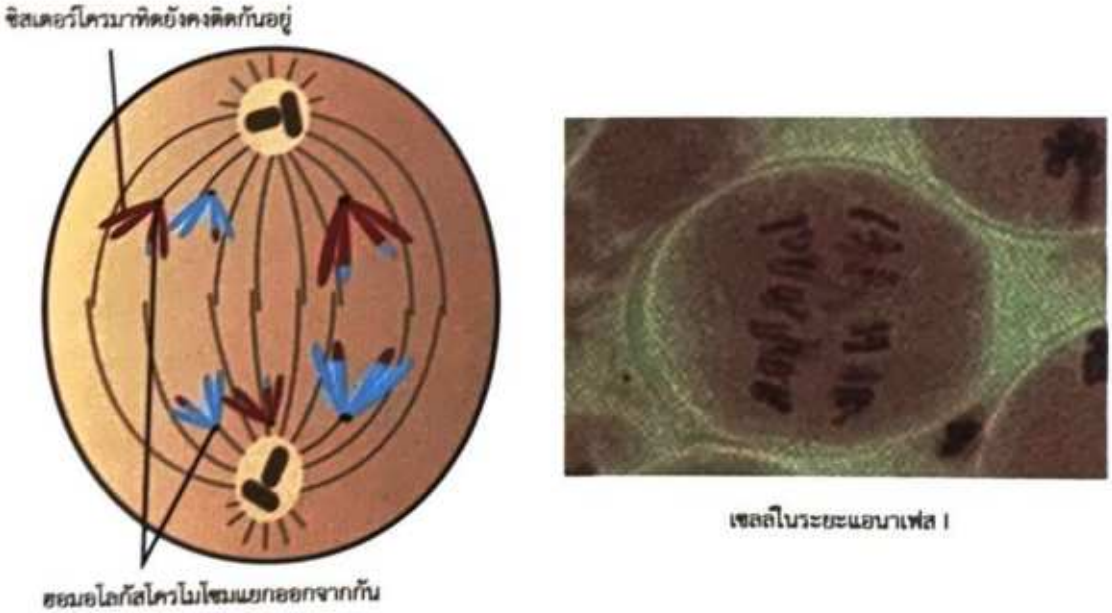
ระยะเมทาเฟส I (metaphase I)



▲ (Cr. utexas.edu)

- เส้นใยสปินเดิลที่ยึดกับฮอมอโลกัสโครโมโซมจะดึงให้โครโมโซมมาเรียงตัวกันเป็นคู่ๆ อยู่กลางเซลล์ เป็นระนาบที่เรียกว่า เมทาเฟสเพลท (metaphase plate)

ระยะแอนาเฟส I (anaphase I)



▲ (Cr. utexas.edu)

- เส้นใยสปินเดิลจะดึงและแยกคู่ของฮอมอโลกัสโครโมโซมออกจากกัน (ต่างจากไมโทซิสที่จะดึงซิสเตอร์โครมาทิดออกจากกัน)
- โครโมโซมที่แยกออกยังคงมีซิสเตอร์โครมาทิด 2 แท่ง

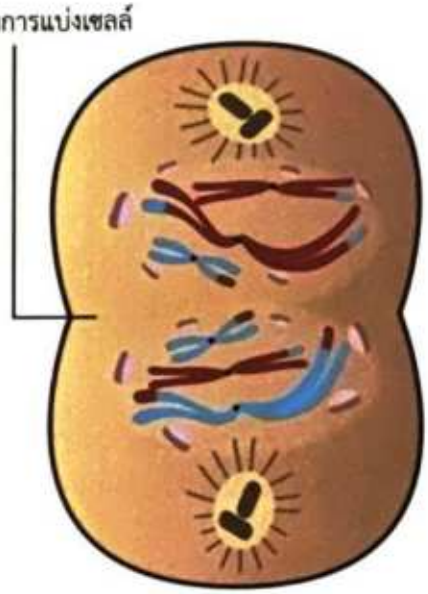
Quiz Yourself

9) การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสระยะใดมีโอกาสผิดพลาดและทำให้เกิดวิวัฒนาการได้น้อยที่สุด

1. เมทาเฟส I
2. แอนาเฟส I
3. เมทาเฟส II
4. แอนาเฟส II

ระยะเทโลเฟส I (telophase I) และไซโทคิเนซิส (cytokinesis)

- โครโมโซมแต่ละชุดเคลื่อนไปยังขั้วของเซลล์ และเริ่มคลายเกลียวออกยืดตัวเป็นเส้นใยโครมาทินที่มีขนาดเล็กลง
- เส้นใยสปินเดิลสลายตัว
- เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสสร้างใหม่ ได้นิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส ซึ่ง**จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง** หรือจาก $2n \longrightarrow n$
- การแบ่งไซโทพลาซึมเกิดขึ้นเหมือนในไมโทซิส โดยในเซลล์สัตว์เกิดร่องแบ่งของเซลล์และในเซลล์พืชสร้างแผ่นกั้นเซลล์



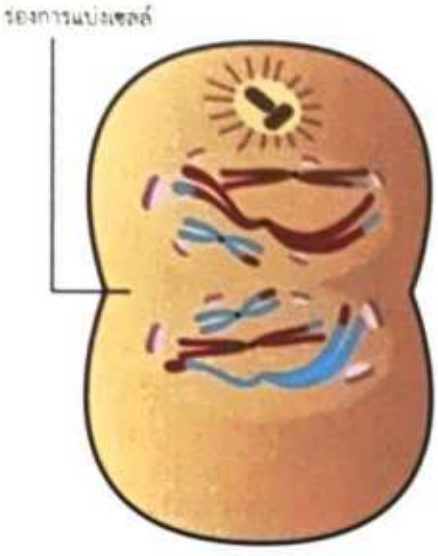
ไมโอซิส II (meiosis II)

แบ่งจาก 2 เซลล์เป็น 4 เซลล์ แยก**ซิสเตอร์โครมาทิด** (sister chromatid) ออกจากกัน ยังคงเป็นเซลล์แฮพลอยด์ (haploid cell) แต่มีจำนวนดีเอ็นเอลดลงครึ่งหนึ่ง

ระยะอินเตอร์เฟส II (interphase II)

ไม่มีการจำลองโครโมโซม เพราะได้จำลองตั้งแต่อินเตอร์เฟส I และโครโมโซมมี 2 โครมาทิดอยู่แล้ว การแบ่งนิวเคลียสรอบที่ 2 มีรายละเอียดเหมือนไมโทซิสทุกประการ

▲ (Cr. tas11244)



เซลล์ในระยะอินเตอร์เฟส II

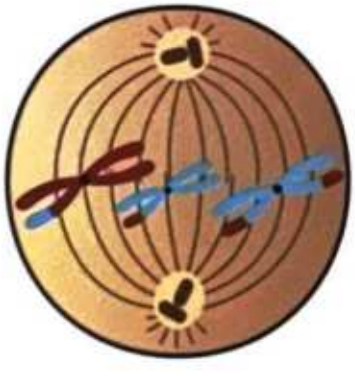
เซลล์ในระยะโพรเฟส II

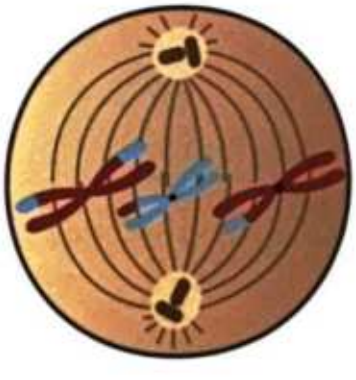
▲ (Cr. utexas.edu)

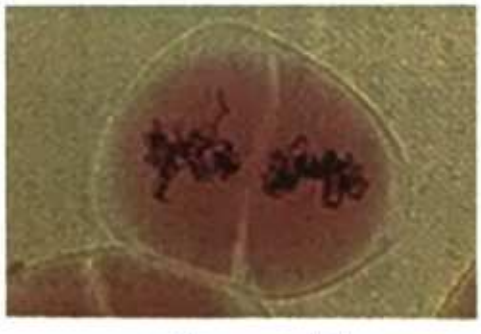
ระยะโพรเฟส II (prophase II)

- เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสเริ่มสลาย โครโมโซมสั้นลงและขนาดใหญ่ขึ้น เส้นใยสปินเดิลจับกับโครโมโซม

ระยะเมทาเฟส II (metaphase II)



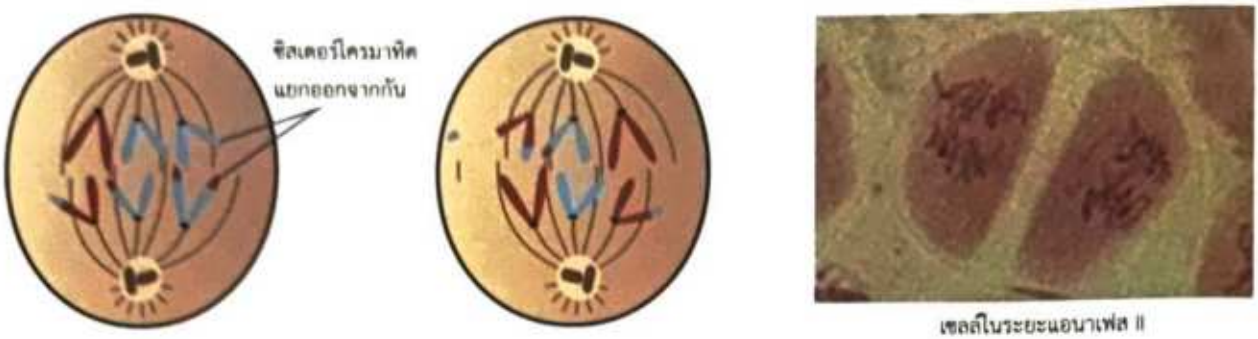



เซลล์ในระยะเมทาเฟส II

▲ (Cr. utexas.edu)

- เยื่อหุ้มเซลล์สลายตัวจนหมด
- โครโมโซมมีการขดตัวทำให้สั้นลงและมีขนาดใหญ่ที่สุด
- เส้นใยสปินเดิล ดึงโครโมโซมมาจัดเรียงอยู่ตรงกึ่งกลางเซลล์ในแนวระนาบเดียวกันเป็นเมทาเฟสเพลต (metaphase plate)

ระยะแอนาเฟส II (anaphase II)

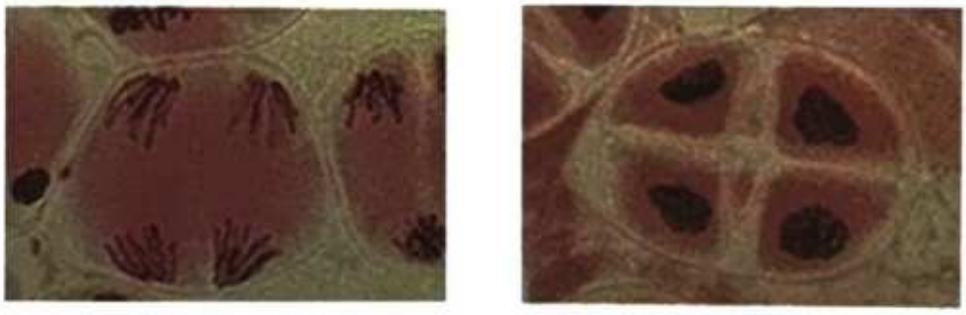


เซลล์ในระยะแอนาเฟส II

▲ (Cr. utexas.edu)

- ซิสเตอร์โครมาทิดของโครโมโซมแต่ละแท่งจะถูกดึงแยกออกจากกันไปที่ขั้วเซลล์ โดยการหดสั้นลงของเส้นใยสปินเดิล
- โครมาทิดแต่ละแท่งกลายเป็นโครโมโซมแท่งใหม่ และโครโมโซมแท่งใหม่ที่เกิดขึ้นมีโครมาทิดเพียงหนึ่งแท่งเท่านั้น

ระยะเทโลเฟส II (telophase II) และไซโทคิเนซิส (cytokinesis)



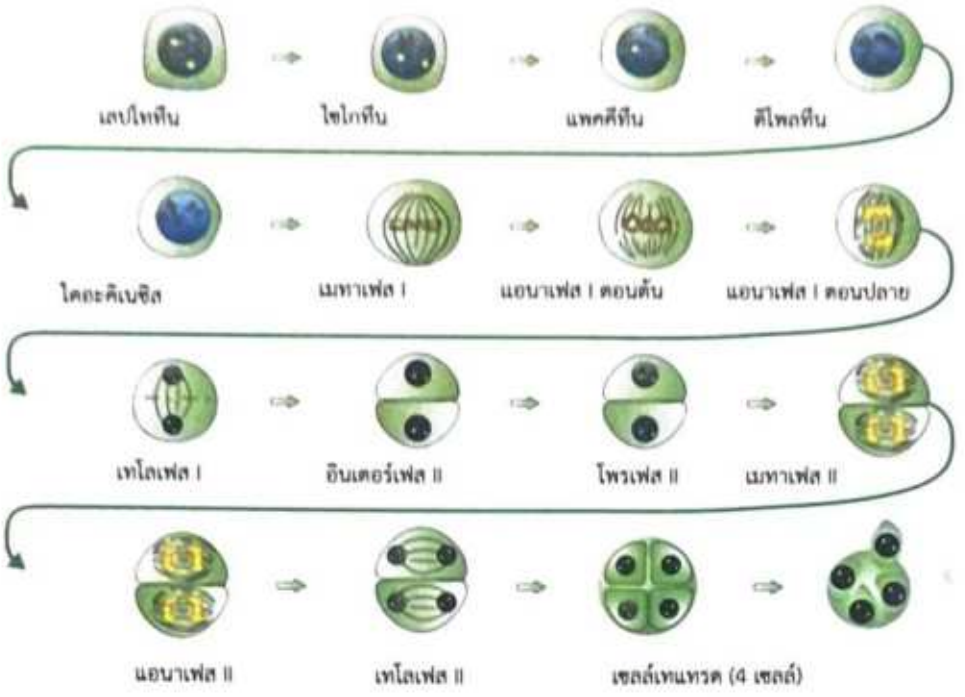
เซลล์ในระยะเทโลเฟส II

เซลล์ในระยะไซโทคิเนซิส

▲ (Cr. utexas.edu)

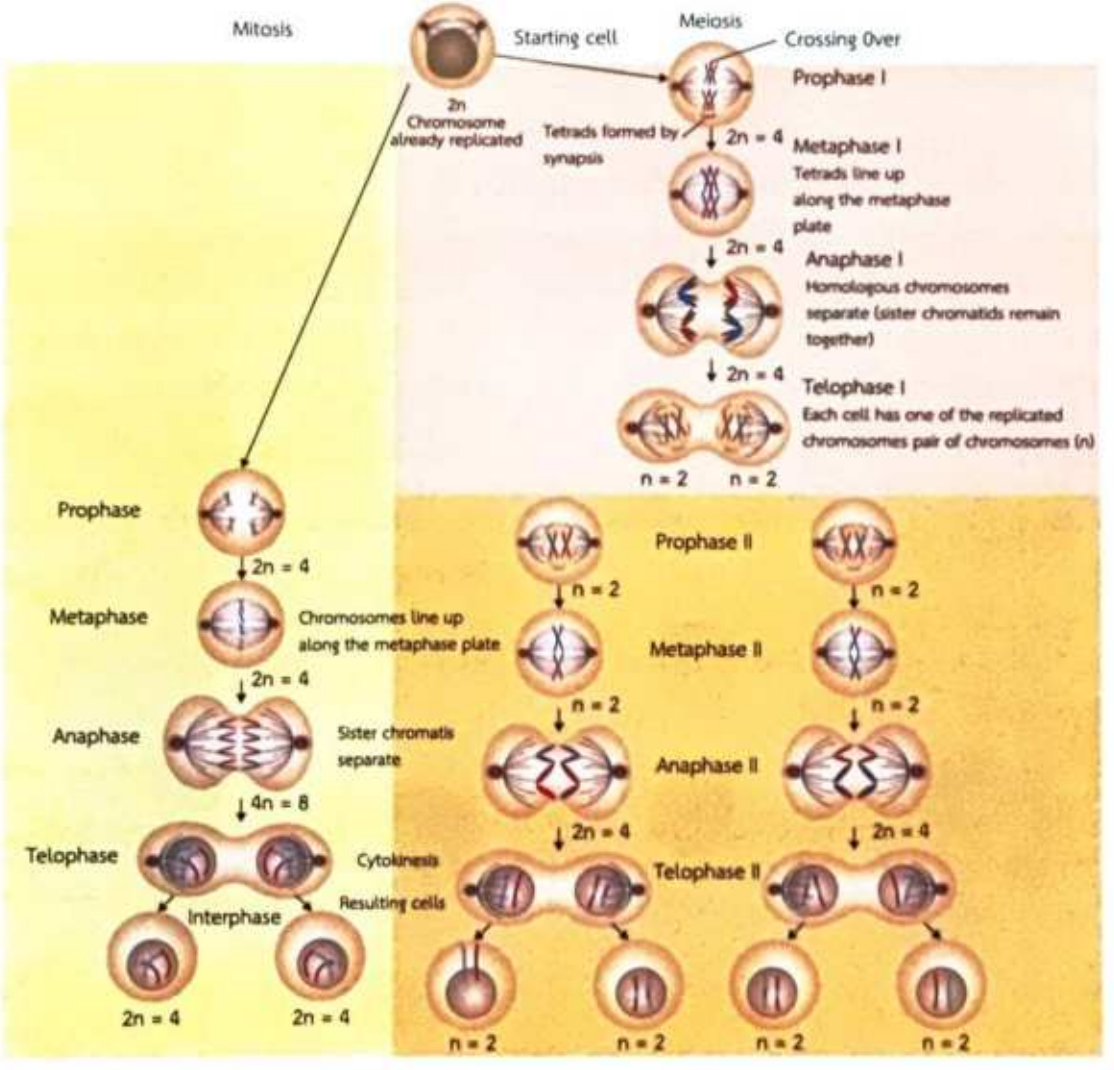
- โครโมโซมแต่ละชุดที่ไปยังแต่ละขั้วของเซลล์หยุดเคลื่อนที่ และเริ่มคลายเกลียวออกยืดตัวเป็นเส้นใยโครมาทินที่มีขนาดเล็กลง เส้นใยสปินเดิลสลายตัว เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสสร้างใหม่
- การแบ่งไซโทพลาซึมเกิดขึ้นเหมือนในไมโทซิส โดยในเซลล์สัตว์เกิดร่องแบ่งของเซลล์ ในเซลล์พืชสร้างแผ่นกั้นเซลล์

สรุปการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส



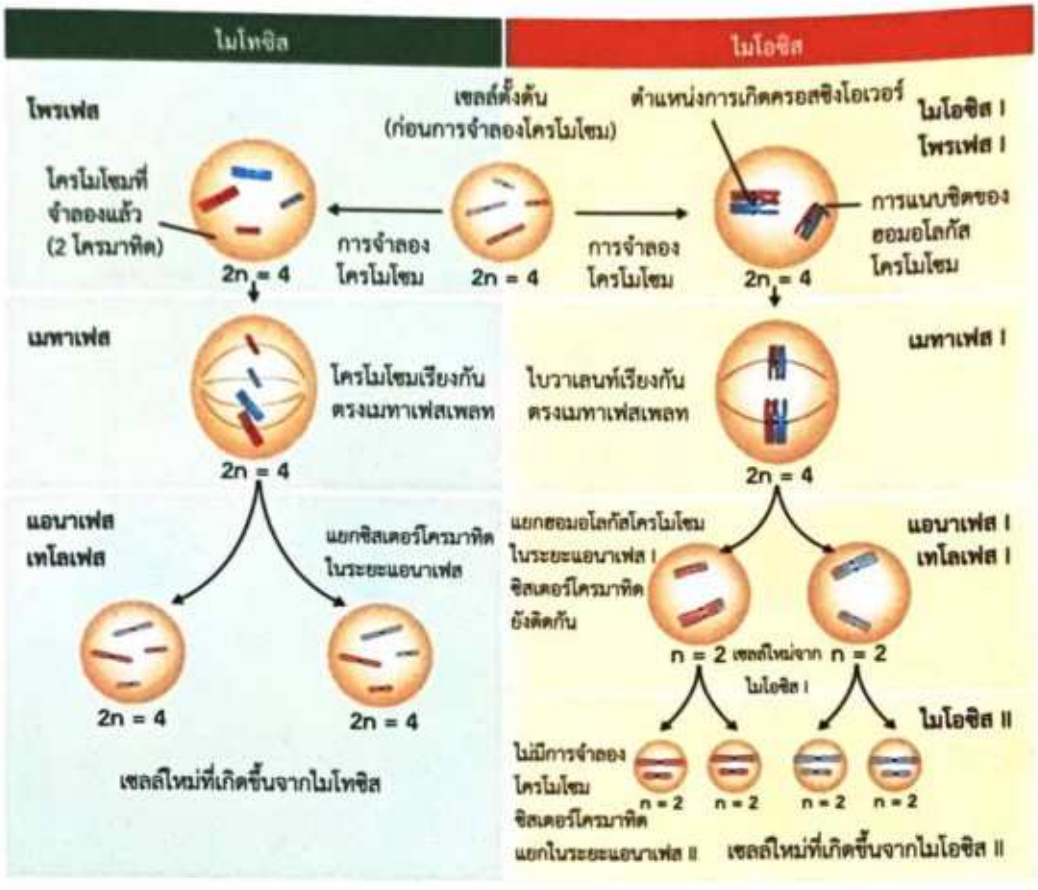
▲ (Cr. bio.miami.edu)

ภาพเปรียบเทียบจำนวนชุดโครโมโซมระหว่างไมโทซิส (mitosis) และไมโอซิส (meiosis)



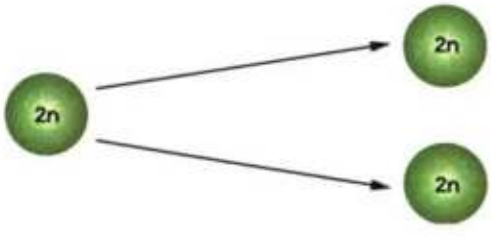
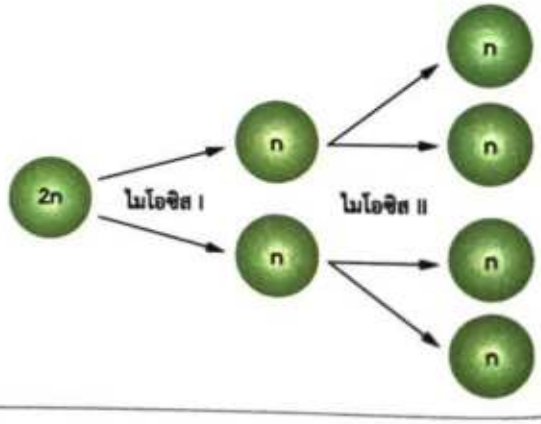
▲ (Cr. imgur.com)

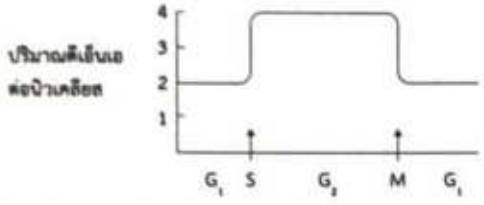
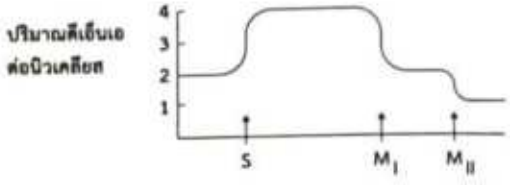
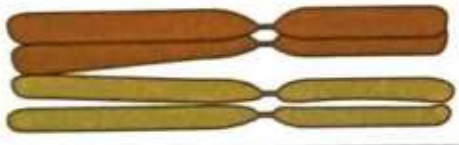
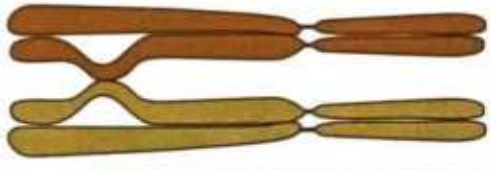
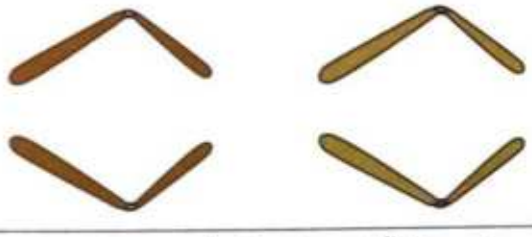
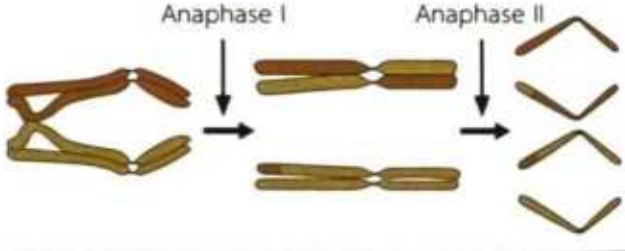
เปรียบเทียบการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis) และไมโอซิส (meiosis)



▲ (Cr. wikispaces.com)

ตารางเปรียบเทียบการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส

ไมโทซิส (mitosis)	ไมโอซิส (meiosis)
1. เกิดในเซลล์ร่างกาย (somatic cells) แบ่งเซลล์เพื่อการเจริญเติบโตและการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ	1. เกิดในอวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ เช่น อัณฑะ รังไข่ เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์คืออสุจิและไข่
2. แบ่งแล้วได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์	2. แบ่งแล้วได้เซลล์ใหม่ 4 เซลล์
3. จำนวนโครโมโซมเท่าเดิม (เซลล์ดิพลอยด์แบ่งได้เซลล์ดิพลอยด์) 	3. จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง (เซลล์ดิพลอยด์แบ่งได้เซลล์แฮพลอยด์) 

ไมโทซิส (mitosis)	ไมโอซิส (meiosis)
4. มีการเพิ่มดีเอ็นเอหนึ่งครั้งต่อการแบ่งเซลล์หนึ่งครั้ง 	4. มีการเพิ่มดีเอ็นเอหนึ่งครั้งก่อนไมโอซิสทั้งสองครั้ง 
5. มีการแบ่งนิวเคลียสเพียงครั้งเดียว	5. มีการแบ่งนิวเคลียส 2 ครั้ง ครั้งแรก เพื่อแยกฮอมอโลกัสโครโมโซม ครั้งที่สอง เพื่อแยกซิสเตอร์โครมาทิดออกจากกัน
6. ไม่มีการจับคู่กันของฮอมอโลกัสโครโมโซม	6. เกิดไซแนปซิสเข้าคู่กันของฮอมอโลกัสโครโมโซมในระยะโพรเฟส I 
7. ไม่มีการเกิดครอสซิงโอเวอร์	7. เกิดครอสซิงโอเวอร์อย่างน้อยหนึ่งตำแหน่งต่อคู่ฮอมอโลกัสโครโมโซม 
8. เซนโทรเมียร์แยกออกจากกันที่ระยะแอนาเฟส 	8. เซนโทรเมียร์ยังไม่แยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส I แต่แยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส II 
9. เซลล์ลูกมีพันธุกรรมที่เหมือนกับเซลล์ตั้งต้นทุกประการ	9. ครอสซิงโอเวอร์ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนพันธุกรรมระหว่างฮอมอโลกัสโครโมโซม ทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างเซลล์สืบพันธุ์
10. เกิดกับเซลล์ดิพลอยด์หรือแฮพลอยด์ก็ได้	10. เกิดกับเซลล์ดิพลอยด์เท่านั้น

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 4.** ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะทำให้ได้ภาพ 3 มิติเช่นเดียวกับที่เห็นจาก กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

2) **ตอบ 1.** ภาพดังกล่าวเป็นภาพตัดตามขวางของลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ที่เห็นได้จากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง เชิงประกอบ

3) **ตอบ 4.** pepsinogen เป็นเอนไซม์ที่ยังไม่พร้อมทำงานสร้างที่กระเพาะอาหาร โดยมีองค์ประกอบของโปรตีน เป็นหลัก ดังนั้น RER จึงทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน และส่งไปรวบรวมเก็บที่ Golgi body จากนั้นมีการตกแต่งสาร ก่อนที่ Golgi body จะส่งสารนี้ออกภายนอกเซลล์

4) **ตอบ 3.** เพราะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสที่มีการลดจำนวนโครโมโซม

5) **ตอบ 1.** ระหว่างการแบ่งเซลล์แต่ละโครโมโซมจะมี 2 โครมาทิด

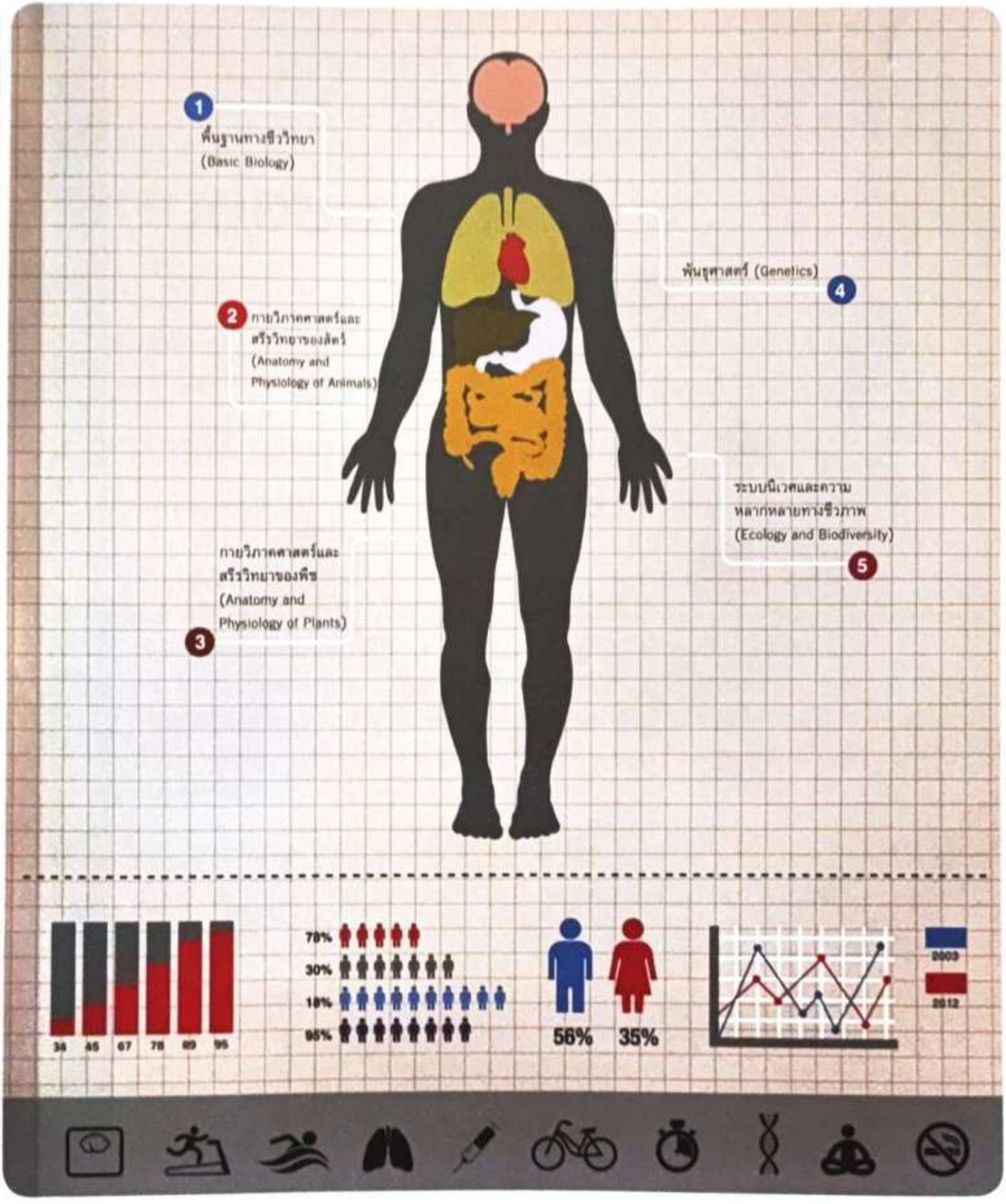
6) **ตอบ 4.** เพราะในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสไม่ได้มีการแยกฮอมอโลกัสโครโมโซม ทำให้คู่ฮอมอโลกัสโครโมโซม เดียวกันยังคงเคลื่อนไปสู่ขั้วเดียวกันของเซลล์
ตัวเลือก 1., 2., 3., และ 5. ล้วนเกิดขึ้นทั้งในไมโทซิสและไมโอซิส

7) **ตอบ 2.** การจับคู่ของฮอมอโลกัสโครโมโซมเกิดขึ้นในระยะโพรเฟส I ของไมโอซิส I

8) **ตอบ 2.** ระยะที่เห็นไคแอสมาคือระยะโพรเฟส I เห็นเมื่อเกิดครอสซิงโอเวอร์ ส่วนระยะที่ไคแอสมาหายไปคือ ระยะแอนาเฟส I หายไปเพราะฮอมอโลกัสโครโมโซมถูกแยกออกจากกัน

9) **ตอบ 3.** ระยะเมทาเฟส II เพราะ 3 ระยะที่เหลือมีโอกาสผิดพลาดและนำไปสู่การเกิดการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม คือ
ระยะเมทาเฟส I อาจผิดพลาดจากการเกิดครอสซิงโอเวอร์ที่เกิดต่อจากระยะโพรเฟส I ได้
ระยะแอนาเฟส I อาจผิดพลาดจากการดึงฮอมอโลกัสโครโมโซมให้แยกออกจากกัน
ระยะแอนาเฟส II อาจผิดพลาดจากการดึงซิสเตอร์โครมาทิดให้แยกออกจากกัน

Part 02 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของสัตว์ (Anatomy and Physiology of Animals)



บทที่ 04

ระบบย่อยอาหาร

การย่อยอาหาร (digestion) คือ กระบวนการสลายสารอาหารโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กจนร่างกายสามารถดูดซึมเพื่อไปใช้งานในเซลล์ได้

4.1 การย่อยอาหารของสัตว์

ตำแหน่งการย่อยอาหารของสัตว์

- การย่อยภายในเซลล์ (intracellular digestion) คือ การที่เซลล์นำสารอาหารหรืออาหารเข้าไปภายในจนทำให้เกิดถุงอาหาร (food vacuole) แล้วให้ lysosome ย่อยอาหารภายในเซลล์นั้น กระบวนการที่นำสารอาหารเข้าเซลล์ (endocytosis) เช่น phagocytosis (ใช้เท้าเทียม) pinocytosis (การเว้าของเยื่อหุ้มเซลล์) พบในฟองน้ำ (Phylum Porifera) ไฮดรา (Phylum Cnidaria) โพรโทซัว (อะมีบา พารามีเซียม)
- การย่อยภายนอกเซลล์ (extracellular digestion) คือ การที่เซลล์สร้างสารออกมาย่อยอาหารภายนอกเซลล์จนกลายเป็นโมเลกุลเล็กๆ แล้วดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น อาณาจักรสัตว์ตั้งแต่ Phylum Cnidaria (ไฮดราขับเอนไซม์ออกมาย่อยที่ช่องกลางลำตัว) จนถึง Phylum Chordata (สัตว์มีกระดูกสันหลัง) เห็ด รา แบคทีเรีย (ผู้ย่อยสลาย)

- **ไฮดรามีการย่อยอาหารทั้งภายในเซลล์และภายนอกเซลล์**
- **ฟองน้ำจัดเป็นสัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร เพราะยังไม่มีเนื้อเยื่อที่แท้จริง อาหารเข้าทางรูพรุนข้างลำตัวมากมายและออกทางโพรงกลางลำตัว**

ระบบทางเดินอาหารของสัตว์

- **ทางเดินอาหารสมบูรณ์** (complete digestive tract) ประกอบด้วยช่องเปิด 2 ช่องทำหน้าที่เป็นปากและทวารหนักตามลำดับ (อาหารเข้าปากออกทวาร) ได้แก่ Phylum Nematoda (หนอนตัวกลม) เป็นต้นไป จนถึง Phylum Chordata (สัตว์มีกระดูกสันหลัง) เช่น พยาธิปากขอ พยาธิไส้เดือน ไส้เดือนดิน แมลง กุ้ง ปู หอย หมึก ดาวทะเล ปลิงทะเล เม่นทะเล สุนัข คน เป็นต้น

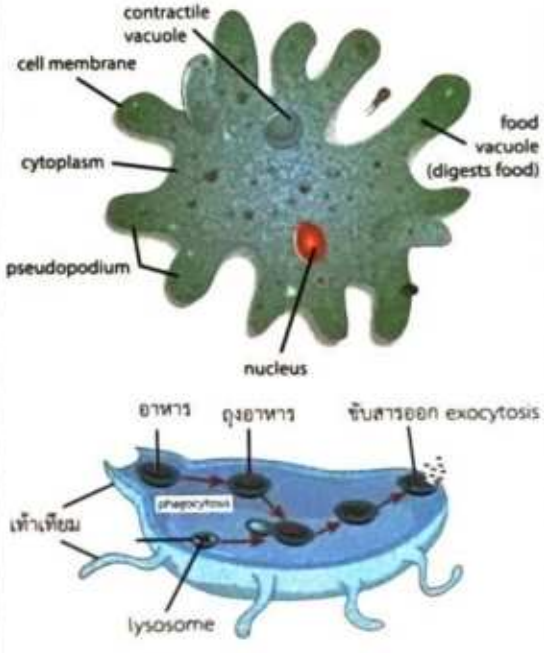
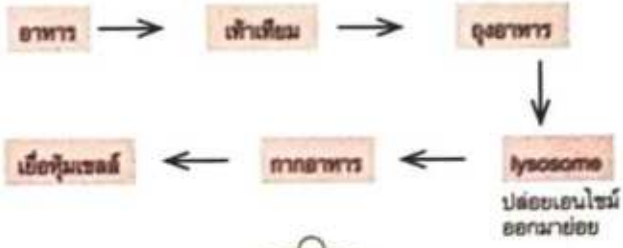
- ทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ (incomplete digestive tract) ประกอบด้วยช่องเปิดเพียง 1 ช่อง คือ อาหารเข้าทางปาก และกากอาหารออกทางเดียวกัน หรืออาหารเข้าทางปากออกทางรูข้างลำตัว (ไม่จัดเป็นทวารหนัก) ได้แก่ ไฮดรา (Phylum Cnidaria) และพลานาเรีย พยาธิใบไม้ (Phylum Platyhelminthes)

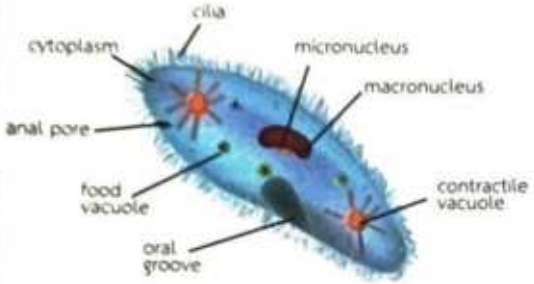
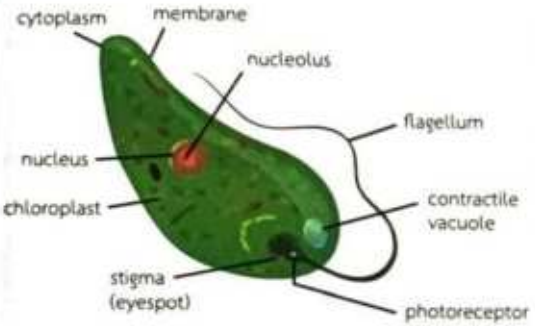
ประเภทของการย่อยอาหาร

- การย่อยเชิงกล (mechanical digestion) กระบวนการที่ทำให้อาหารเล็กลง โดยการบดเคี้ยวและบีบตัวเพื่อให้อาหารมีขนาดเล็กลงทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวมากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในการย่อยเร็วขึ้น กระบวนการที่สำคัญ เช่น
  - การบดเคี้ยวอาหารโดยฟันหรือกึ๋น (gizzard) ซึ่งพบในไส้เดือนดิน แมลง และสัตว์ปีก
  - การหดคลายเป็นระลอกคลื่นของกล้ามเนื้อเรียบ เรียก peristalsis เกิดที่หลอดอาหาร ลำไส้ กระเพาะอาหาร
  - การแตกโมเลกุลไขมันโดยใช้น้ำดี (น้ำดีไม่ใช่เอนไซม์เพราะไม่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ) จึงไม่ใช่การย่อยเชิงเคมี
- การย่อยเชิงเคมี (chemical digestion) โดยการใช้น้ำย่อยหรือเอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับอาหาร ทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงจนเป็นโมเลกุลเดี่ยว ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ ปฏิกิริยาของการย่อยจะเกิดขึ้นได้ต้องมีน้ำเข้าร่วม เรียก hydrolysis โดยมีเอนไซม์ช่วยเร่งปฏิกิริยา

4.2 การย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

การย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (อาณาจักรโพรทิสตา)

ภาพประกอบของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว	การย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว
 ▲ (Cr. ucdavis.edu)	อะมีบาจับกินอาหารเข้าสู่เซลล์โดยใช้เท้าเทียม (pseudopodium) ยื่นไปโอบรอบอาหารแล้วสร้างให้เป็นถุงอาหาร (food vacuole) ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า phagocytosis  ▲ (Cr. นพคุณ สุขสวัสดิ์)

ภาพประกอบของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว	การย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว
	พารามีเซียมมีร่องปาก (oral groove) ที่มีซิเลียคอยพัดโบกอาหารเข้ามายังส่วนปาก (cytostome) แล้วนำอาหารเข้าเซลล์ สร้างเป็นถุงอาหาร จากนั้นถุงอาหารจะเคลื่อนที่ตามการไหลเวียนของไซโทพลาซึม มีการส่งเอนไซม์ออกมาย่อยสารอาหาร จากนั้นขับกากอาหารออกทางช่อง anal pore อาหาร → oral groove → cytostome → ถุงอาหาร → lysosome (ปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อย) → กากอาหาร → anal pore
	ยูกลีนาสามารถสร้างอาหารได้ด้วยตัวเอง (autotroph) เพราะมีคลอโรพลาสต์ในตัวเอง ในสภาวะไม่เหมาะสมจะเป็น heterotroph อาหารจะเข้าทางช่องคอคอดเล็กๆ เรียก gullet หรือ cytopharynx แล้วสร้างเป็น food vacuole ถัดมา lysosome หลั่งเอนไซม์ออกมาย่อย และของเสียจะออกทางช่องปาก (cytostome) ซึ่งติดต่อกับ contractile vacuole สำหรับกำจัดน้ำและของเสียออกทางร่างกาย เมื่อยูกลีนามีการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเก็บสะสมแป้งในรูปของ paramylon อาหาร → gullet → ถุงอาหาร → lysosome → cytostome

การย่อยอาหารของฟังไจ

▲ (Cr. mcdaniel.edu และ medical-labs.net)

ฟังไจ (เห็ด รา ยีสต์) จะมีเส้นใยไฮฟารวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า ไมซีเลียม (mycelium) ทำหน้าที่ยึดเกาะและส่งเอนไซม์ไปสลายอาหารภายนอกเซลล์ และดูดซับสารอาหารเข้าสู่เซลล์

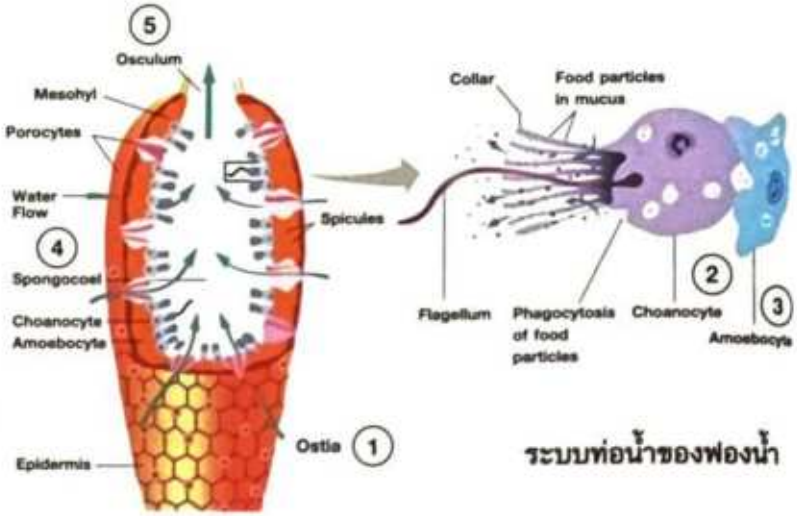
Quiz Yourself

1) สัตว์ในข้อใดมีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์

ก. แมงกะพรุน	ข. พยาธิใบไม้	ค. ปลิงทะเล	ง. หอยทาก
1. ก และ ข	2. ข และ ค	3. ค และ ง	4. ก และ ง

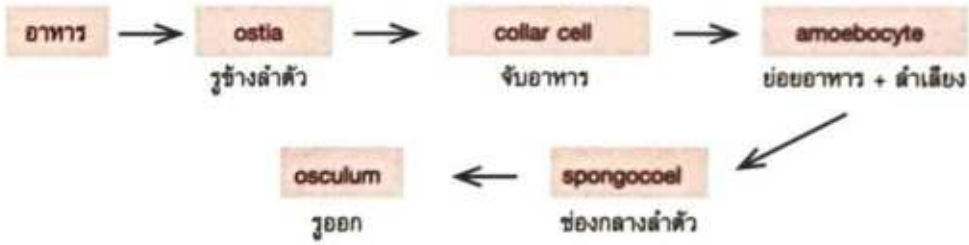
สัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร ได้แก่ Phylum Porifera (ฟองน้ำ)

ฟองน้ำ (Phylum Porifera : pori (pore) = รูพรุน, fera = มี ถืออยู่) ① เป็นสัตว์ที่นำอาหารและน้ำเข้าทางรูพรุนรอบตัว (Ostia) ② จากนั้นจะใช้เซลล์ปลอกคอ (collar cell หรือ choanocyte) ซึ่งมีแฟลเจลลัมทำหน้าที่จับอาหารที่ไหลมากับน้ำและสร้างเป็นถุงอาหาร ③ อาหารถูกส่งไปยังเซลล์ที่เรียกว่า amoebocyte ซึ่งมีเอนไซม์ภายในเซลล์ย่อยอาหารและขนส่งอาหารไปยังเซลล์ต่างๆ ④ ส่วนกากอาหารที่ไม่ถูกย่อยจะถูกส่งมาที่ spongocoel ⑤ กากอาหารจะถูกนำออกทางช่อง osculum



ระบบท่อน้ำของฟองน้ำ

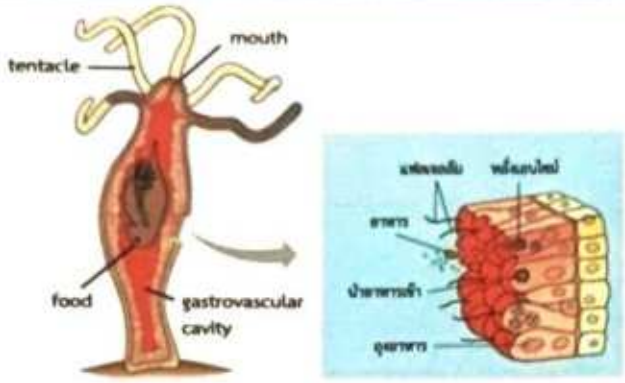
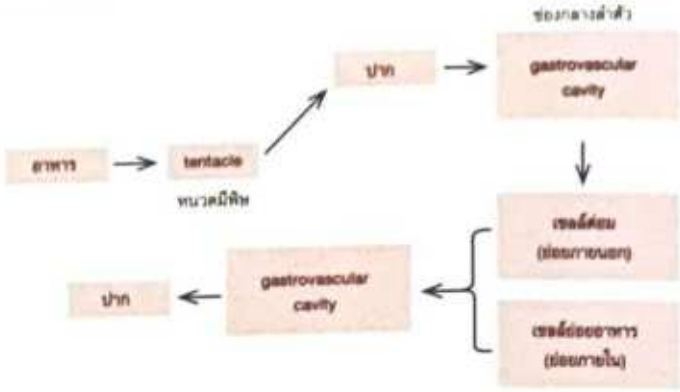
▲ (Cr. wikispace.com)



สัตว์ที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ ได้แก่ Phylum Cnidaria (ไฮดรา แมงกะพรุน ดอกไม้ทะเล) และ Phylum Platyhelminthes (หนอนตัวแบน พลานาเรีย พยาธิใบไม้)

- Phylum Cnidaria (สัตว์ในกลุ่มนี้มีถุงเข็มพิษบริเวณหนวดที่เรียกว่า cnidocyte ความเด่นตรงนี้จึงนำมาตั้งเป็นชื่อไฟลัม) เช่น ไฮดรา ใช้หนวด (tentacle) ที่มีพิษจับอาหารเข้ามาที่ช่องปาก จากนั้นส่งอาหารไปยังช่องกลางลำตัวที่เรียกว่า gastrovascular cavity ไฮดรามีการย่อย 2 แบบ คือ

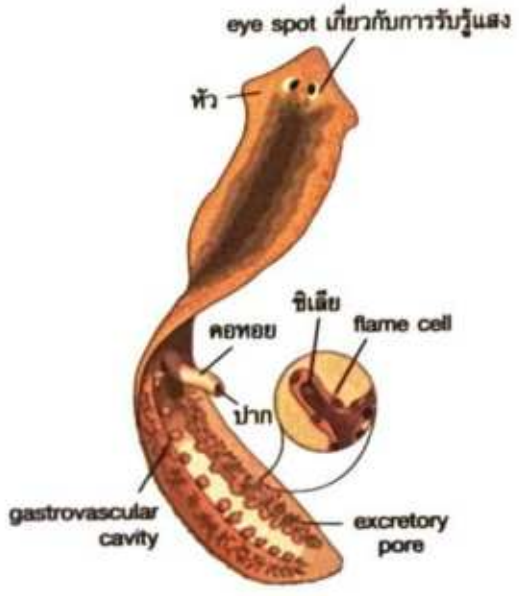
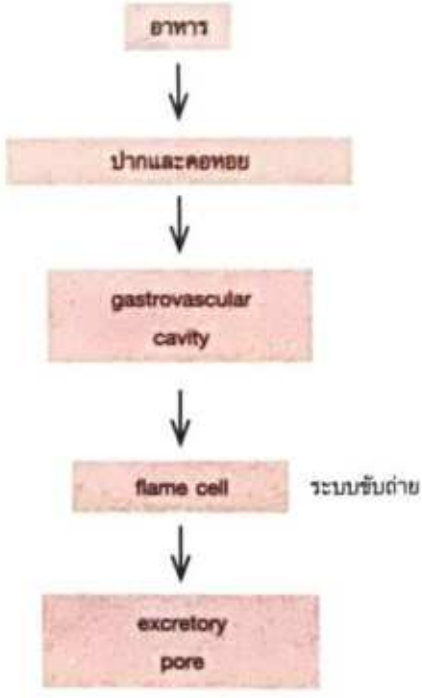
1. การย่อยภายนอกเซลล์ อาศัยเซลล์ต่อม (gland cell) หลั่งเอนไซม์ออกมาย่อยที่ช่องกลางลำตัวและส่งกากอาหารออกทางปาก
2. การย่อยภายในเซลล์ อาศัยเซลล์ย่อยอาหาร (nutritive หรือ digestive cell) จับอาหารขนาดเล็กเข้ามาสร้างเป็นถุงอาหารแล้วเกิดการย่อยภายในเซลล์

ภาพประกอบของไฮดรา	แผนผังการย่อยอาหารของไฮดรา
 ▲ (Cr. quizlet.com)	

Phylum Platyhelminthes (หนอนตัวแบน)

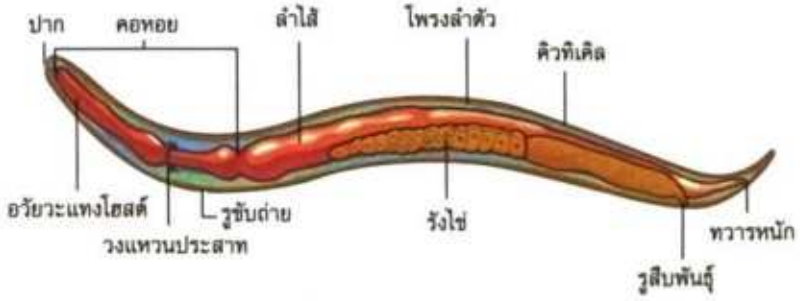
- พลานาเรีย มีปากกลางลำตัวและมีคอหอย (pharynx) ที่สามารถยื่นออกมาเป็นงวง เรียก proboscis อาหารจะถูกส่งมาที่ช่องกลางลำตัว (gastrovascular cavity) ที่แตกแขนงไปทั่วร่างกาย และมี protonephridia หรือ flame cell รับของเสียเพื่อส่งออกรูข้างลำตัว (excretory pore)
- พยาธิใบไม้ มีปาก (oral sucker) และคอหอยที่ทำหน้าที่ดูดของเหลวในเนื้อเยื่อของโฮสต์ (host) ทางเดินอาหารเจริญดีแยกออกเป็น 2 แขนงยาว (คล้ายตัว Y) ไม่แตกแขนงมากเหมือนพลานาเรีย flame cell รับของเสียเพื่อส่งออกรู excretory pore

พยาธิตัวตืดอยู่ในไฟลัมนี้ เป็นสัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหารแต่จะดูดซึมอาหารโดยการแพร่ผ่านผิวหนังของตัวเองได้เลย

ภาพประกอบของพลานาเรีย	แผนผังทางเดินอาหารของพลานาเรีย
 ▲ (Cr. livejournal.com)	

สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ ได้แก่ สัตว์ใน Phylum Nematoda (หนอนตัวกลม) เป็นต้นไป

- Phylum Nematoda หนอนตัวกลม (มุขจำคือ ขอ เดือน ด้าย จี๊ด) ได้แก่ พยาธิปากขอ พยาธิไส้เดือน พยาธิเส้นด้าย พยาธิตัวจี๊ด ส่วนใหญ่เป็นปรสิต
  - เป็นสัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์พวกแรก คือ มีปากและทวารหนัก มีการหลั่งน้ำย่อยออกมาภายนอก แล้วดูดซึมสารอาหารกลับเข้าร่างกาย (การย่อยภายนอกเซลล์)
  - ตัวเมียจะมีทวารหนัก (anus) ที่ขับของเสียออกเท่านั้น ส่วนตัวผู้จะมีโคลเอกา (cloaca) เพราะเป็นทั้งทางออกของของเสียและทางออกของสเปิร์มด้วย

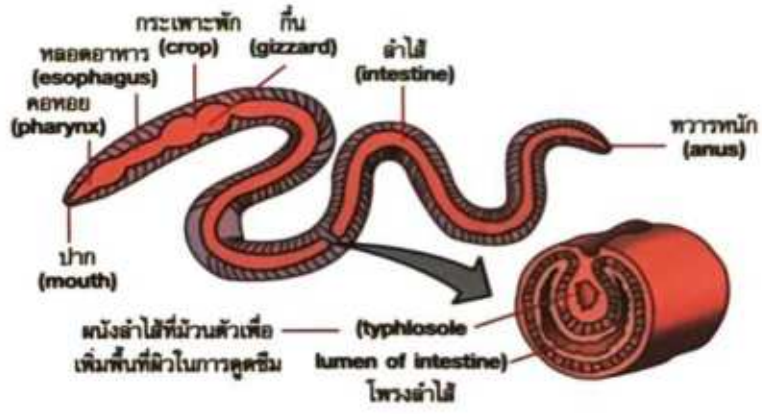


▲ (Cr. uic.edu)

- หนอนตัวกลม มีลำดับทางเดินอาหาร ดังนี้

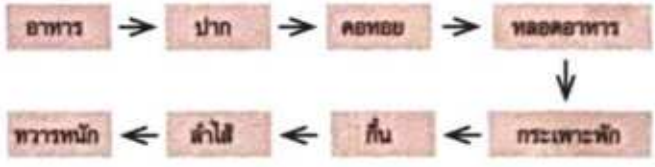
อาหาร → ปาก → คอหอย → ลำไส้ → ทวารหนัก

- Phylum Annelida หนอนปล้อง ได้แก่ ไส้เดือนดิน แม่เพรียง ปลิงน้ำจืด ทากดูดเลือด



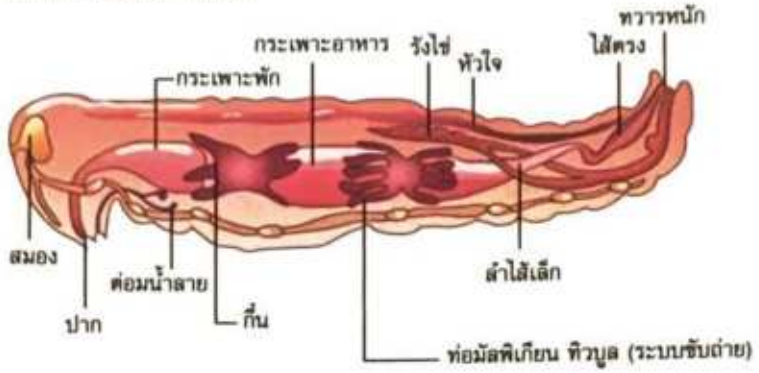
▲ (Cr. nicerweb.com)

- ไส้เดือนดิน มีลำดับทางเดินอาหารดังนี้



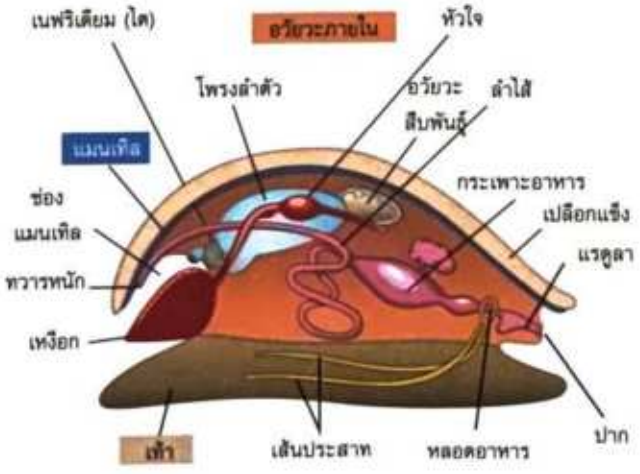
กึ๋นของไส้เดือนดินมีกล้ามเนื้อหนามากทำหน้าที่ช่วยบดอาหารให้เป็นชิ้นเล็กๆ (ไส้เดือนดินไม่มีฟันจึงใช้กึ๋นบด)

- Phylum Arthropoda (arthro = ข้อปล้อง, poda = เท้า) สัตว์มีขาเป็นข้อ ได้แก่ แมลง แมง กุ้ง กั้ง ปู แมงดาทะเล ตะขาบ ยุง ฯลฯ
  - กุ้ง กระเพาะอาหารอยู่บริเวณส่วนหัวและอก มีอวัยวะสร้างน้ำย่อยเรียกว่า เฮพาโทแพนเครียส (hepatopancreas) หรือเรียกว่าตับหรือมันกุ้งที่เรากินกัน มีสีเหลืองอ่อนและสีส้ม (**ออกข้อสอบ**)
  - แมลง มีลำดับทางเดินอาหาร ดังนี้



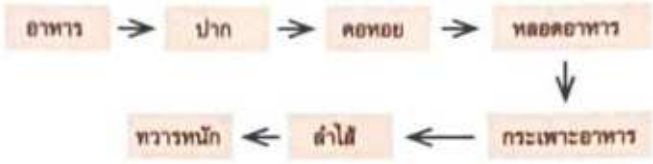
▲ (Cr. tutorvista.com)

- Phylum Mollusca (mollusc = นิ่ม) สัตว์ที่มีลำตัวอ่อนนุ่ม ได้แก่ หอยและหมึก
  - หอยฝาเดียว เช่น หอยทาก จะมีฟันเลื่อยเล็กๆ ที่เรียกว่า radula ทำหน้าที่ขูดอาหารเป็นชิ้นเล็กๆ
  - หอยสองฝา เช่น หอยแครง หอยแมลงภู่ ไม่มี radula มีการย่อยภายในเซลล์โดยใช้เซลล์ต่อมน้ำย่อย (digestive gland) และมีการย่อยภายนอกเซลล์ โดยน้ำย่อยจากกระเพาะอาหาร
  - หมึกมี radula ขนาดเล็กมีเขี้ยวรูปร่างคล้ายปากนกแก้ว ต่อมน้ำลาย 1 คู่ สร้างพิษได้ ที่ลำไส้มีถุงหมึก (ink sac) เพื่อพ่นน้ำหมึกออกทางทวารเพื่อป้องกันศัตรู

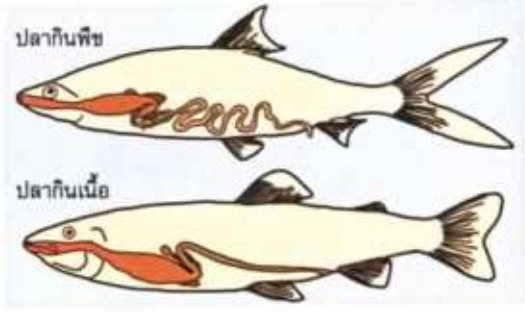


▲ (Cr. kennesaw.edu)

- หอย มีลำดับทางเดินอาหาร ดังนี้



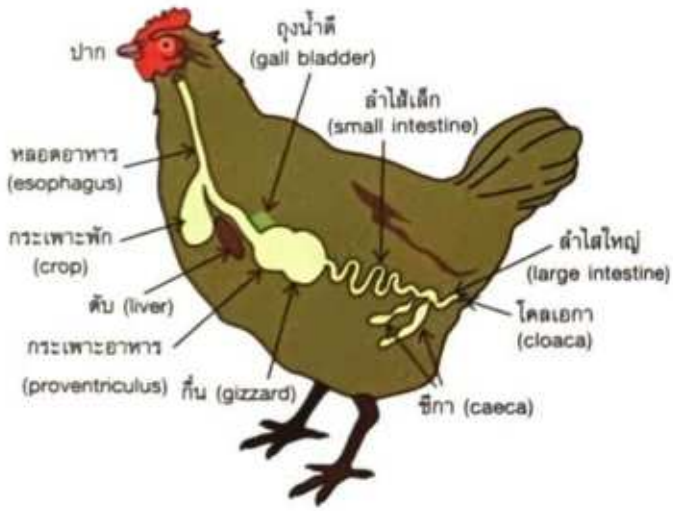
- Phylum Chordata สัตว์มีกระดูกสันหลัง
  - ปลากินพืช เช่น ปลานิล ปลาตะเพียน ปลาทับทิม จะมีฟันขนาดเล็ก มีกระเพาะอาหารขนาดเล็ก แต่ลำไส้ยาวมากและผนังบาง ส่วนปลากินเนื้อ เช่น ปลาดุก ปลาช่อน มีฟันแหลมคม ขากรรไกรแข็งแรง กระเพาะอาหารใหญ่แต่ลำไส้สั้น ผนังหนา



▲ (Cr. animaldiversity.org)

  - ปลา มีลำดับทางเดินอาหาร ดังนี้

  - สัตว์ปีก ไม่มีฟันจึงมีกึ๋นสำหรับบดอาหาร และมีกระเพาะพักอาหาร (เวลาแม่นกบินไปหาปลาแล้วกลืนลงคอ เก็บที่กระเพาะพัก จากนั้นสำรอกออกมาให้ลูกนกที่รังกิน)

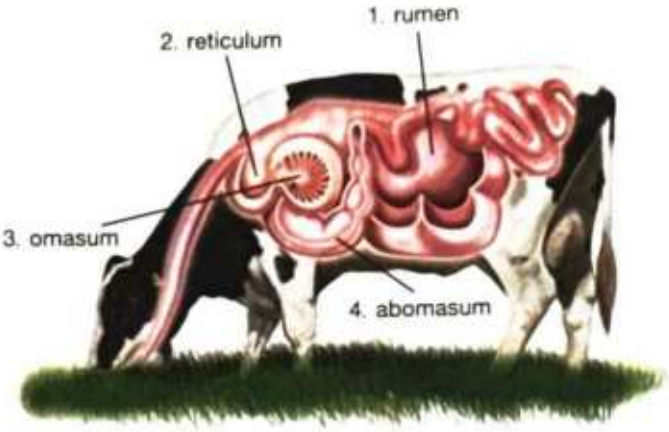


  - สัตว์ปีก มีลำดับทางเดินอาหาร ดังนี้

  - สัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว ควาย จะมี 4 กระเพาะและสามารถสำรอกอาหารออกมาเคี้ยวได้อีก คือ
    1. rumen (ผ้าขี้ริ้ว) จำว่า... ผ้าขี้ริ้วถูพื้นสกปรก... จึงเป็นบริเวณที่มีแบคทีเรียและโพรโทซัวที่หลั่งเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ย่อยเซลลูโลสในพืชได้ จุลินทรีย์ยังเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นกรดไขมัน สังเคราะห์กรดไขมันจากคาร์โบไฮเดรต สังเคราะห์กรดอะมิโนจากยูเรียและแอมโมเนียที่เกิดจากการหมักในกระเพาะส่วนนี้ และยังสังเคราะห์วิตามินบี 12 อีกด้วย

2. reticulum (รังผึ้ง) ทำหน้าที่บดผสมอาหาร
3. omasum (สามสิบกลีบ) ทำหน้าที่บดผสมอาหาร
4. abomasum (กระเพาะจริง) หลั่งเอนไซม์ออกมาย่อย มีตับช่วยหลั่งน้ำดี และตับอ่อนช่วยหลั่งเอนไซม์

*กระเพาะอาหาร 1.-3. เป็นส่วนของหลอดอาหารที่ขยายตัว



Quiz Yourself

2) กึ่นของไส้เดือนดินทำหน้าที่คล้ายกับโครงสร้างใด

ก. ฟัน
ข. กระเพาะอาหาร
ค. ลำไส้

1. ก.
2. ก., ข
3. ข., ค
4. ก., ข. และ ค.

3) ข้อใดไม่มีความสัมพันธ์กัน

1. อะมีบา – oral groove
2. พารามีเซียม – lysosome
3. ฟองน้ำ – choanocyte
4. ไฮดรา – ย่อยภายในเซลล์
5. พลานาเรีย – ย่อยภายนอกเซลล์

4) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนใดไม่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารเชิงเคมี

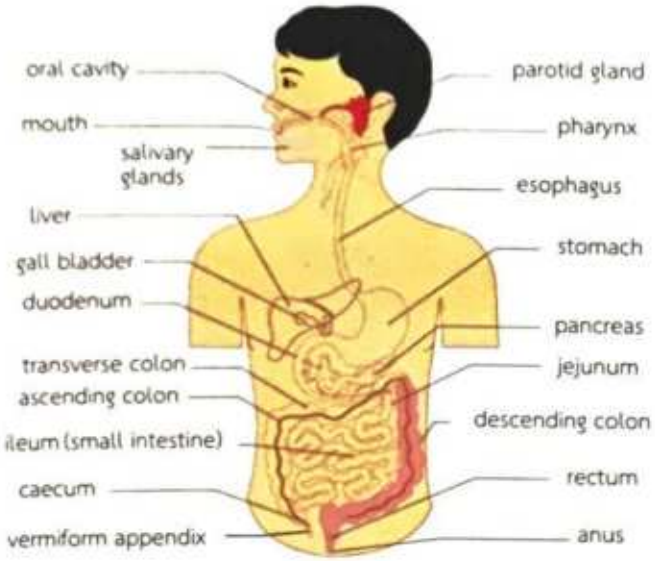
ก. rumen ข. omasum ค. reticulum ง. abomasum

1. ก., ข.
2. ก., ข., ค.
3. ก., ข., ง.
4. ก., ค., ง

5) จุลินทรีย์ใน rumen ของวัวไม่สามารถทำกิจกรรมในข้อใดได้

1. สังเคราะห์วิตามินเอและบี 1
2. สังเคราะห์กรดไขมันจากคาร์โบไฮเดรต
3. ให้กรดไขมันจากกระบวนการหมัก
4. สังเคราะห์กรดอะมิโนจากแอมโมเนียและยูเรีย

4.3 ระบบย่อยอาหารของมนุษย์



ระบบย่อยอาหารของมนุษย์

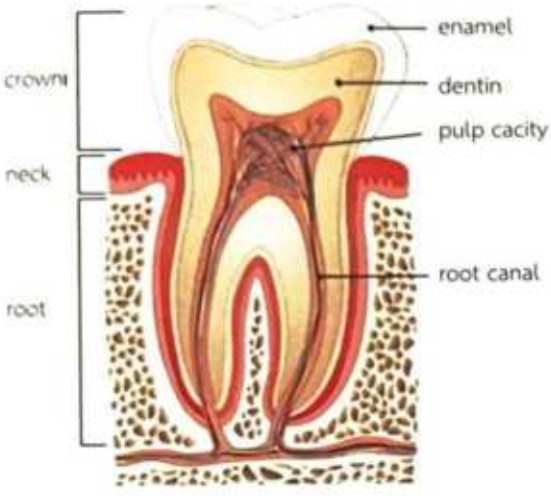
▲ (Cr. นพคุณ สุขสวัสดิ์)

ฟัน ประกอบด้วย 4 ชนิด คือ

- ฟันตัด (incisor : I) 8 ซี่ ถ้าอยู่ด้านบนเราเรียกกันว่าฟันกระต่าย เจริญดีในสัตว์ฟันแทะ เช่น กระต่าย กระรอก
- ฟันฉีกหรือเขี้ยว (canine : C) 4 ซี่ ทำหน้าที่ตัดหรือฉีกอาหาร เจริญดีในสัตว์กินเนื้อ เช่น เสือ แมว
- ฟันกรามหน้า (premolar : P) 8 ซี่ ทำหน้าที่ตัดและฉีกอาหาร
- ฟันกรามหลัง (molar : M) 12 ซี่ ทำหน้าที่บดอาหาร ซี่สุดท้ายบางคนไม่โผล่พ้นเหงือกแต่รากฟันยาวเกิดเป็นฟันคุด

ฟันแท้	ฟันน้ำนม
ฟันแท้ (permanent teeth) มี 32 ซี่ ปรากฏหลังฟันน้ำนม มีครบตอนประมาณอายุ 21 ปี	ฟันน้ำนม (deciduous teeth) มี 20 ซี่ ปรากฏประมาณอายุ 6 เดือน เริ่มหักตอน 6 ปี
สูตรฟันแท้คือ 2 1 2 3 I. C. P. M. หรือจะแบ่งเป็น 4 ส่วน 3212 | 2123 3212 | 2123	สูตรฟันน้ำนมคือ 2 1 0 2 I. C. P. M. หรือจะแบ่งเป็น 4 ส่วน 2012 | 2102 2012 | 2102 *ฟันน้ำนมไม่มีฟันกรามหน้า*

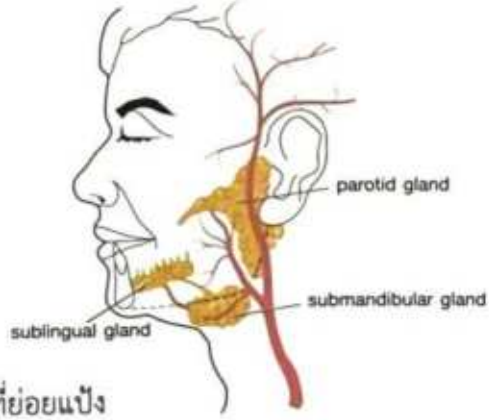
▸ โครงสร้างของฟัน



- ตัวฟัน (crown) โผล่พ้นเหงือก มีสารเคลือบฟันเรียก enamel ช่วยป้องกันฟันผุ ถัดลงมาเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่หนามาก มีหินปูนเป็นองค์ประกอบเรียก dentin แกนกลางตัวฟันเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อ่อนนุ่มเรียก pulp ภายในมีหลอดเลือดและปลายประสาทของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5
- คอฟัน (neck) ฝังในเหงือก
- รากฟัน (root) มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่แข็งแรง

ต่อมน้ำลายมี 3 คู่ คือ

1. parotid gland (ข้างกกหู) ถ้าติดเชื้อไวรัสอาจบวมแดงเกิดโรคคางทูมได้
2. sublingual gland (ใต้ลิ้น)
3. submandibular gland (ใต้ขากรรไกร)

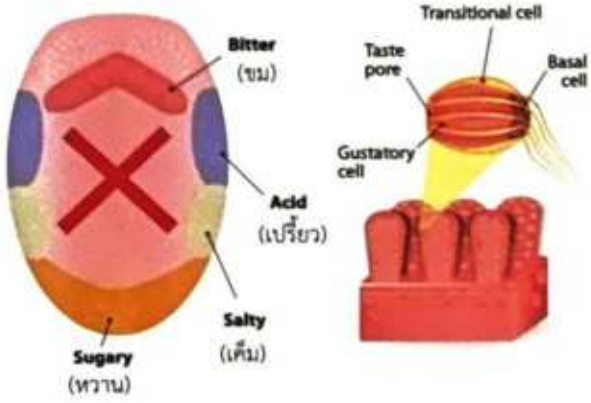


น้ำลายมีเอนไซม์อะไมเลส (amylase) หรือไทยาลิน (ptyalin) ทำหน้าที่ย่อยแป้ง

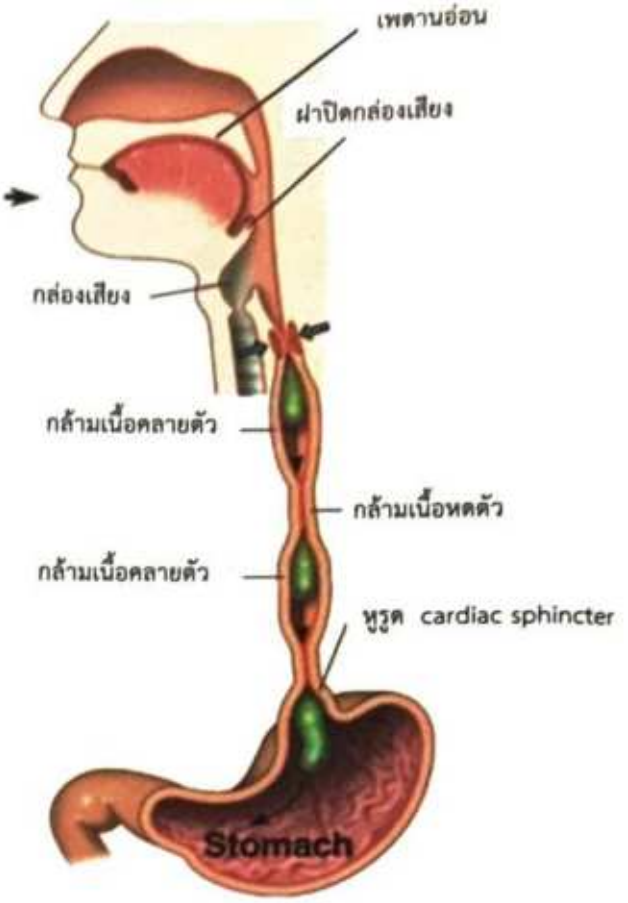
ลิ้น

เดิมที่เราเชื่อว่าลิ้นรับรสต่างๆ ได้ตามแผนที่ลิ้น ดังภาพ แต่สิบกว่าปีที่ผ่านมาได้มีการพิสูจน์แล้วว่าลิ้นทุกส่วนสามารถรับรู้รสได้ทั้ง 5 รสได้เท่าๆ กัน ที่ลิ้นจะมีตุ่มลิ้น (papilla) ประกอบด้วยตุ่มรับรสเรียกว่า taste bud ซึ่งมีอยู่ 5 ชนิด ตุ่มรับรสขม เปรี้ยว เค็ม หวาน และอูมามิ

เซลล์รับรสในตุ่มเซลล์รับรสเมื่อได้รับการกระตุ้นจะส่งกระแสประสาทไปยังเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 และ 9 ส่งไปยังศูนย์กลางรับรสในสมองส่วนซีรีบรัม (cerebrum)



อาการเผ็ดเนื่องจากกินพริก ไม่ใช่รสชาติแต่เป็นการระคายเคืองที่เกิดขึ้นกับลิ้นนั่นเอง



▲ (Cr. proprofs.com)

คอหอย เป็นบริเวณที่ไม่มีการย่อยใดๆ เกิดขึ้น เป็นทางผ่านของอากาศที่เข้ามาทางจมูกและเป็นทางผ่านของอาหารที่เข้ามาทางปาก

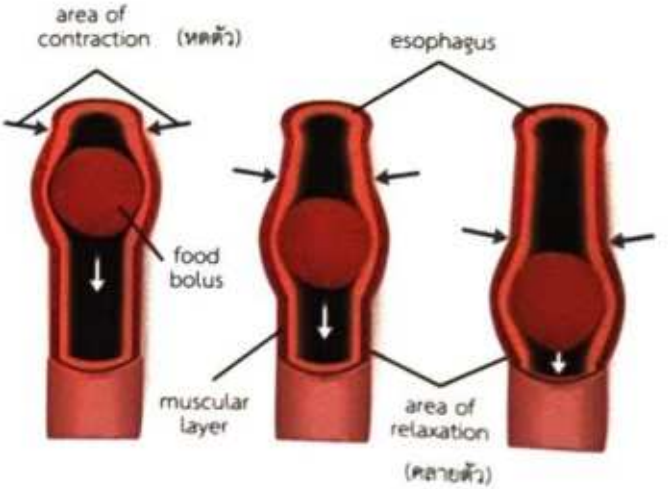
▲ Cr. Alila Medical Media

การกลืน

- เพดานอ่อน (soft palate) ยกขึ้น ป้องกันไม่ให้อาหารเข้าจมูก
- ฝาปิดกล่องเสียง (epiglottis) เคลื่อนลงมาปิดและส่วนบนหลอดลมเคลื่อนที่ขึ้น ทำให้ฝาปิดสนิท อาหารไม่ลงไปที่หลอดลม

คนเรากลืนอาหารพร้อมหายใจไม่ได้เพราะขณะกลืนฝาปิดกล่องเสียงเคลื่อนที่มาปิดกล่องเสียงไว้ เพื่อป้องกันอาหารลงไปในหลอดอาหาร ทำให้หายใจไม่ได้ชั่วขณะ

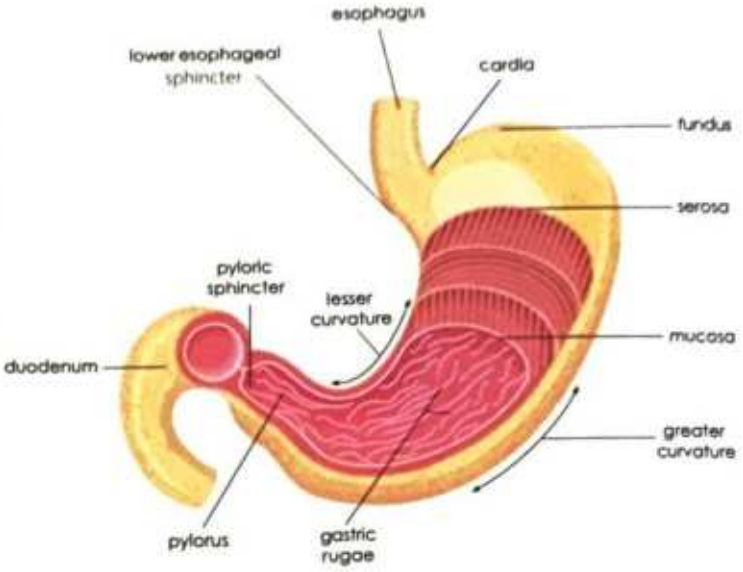
หลอดอาหาร อาหารจะเคลื่อนที่โดยวิธีที่เรียกว่า peristalsis คือ การหด-คลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบคล้ายระลอกคลื่นของหลอดอาหารเพื่อส่งก้อนอาหารที่กลืนมาเรียกว่า โบลัส (bolus) ไปยังกระเพาะอาหาร โดยก่อนจะถึงกระเพาะอาหารจะมีหูรูดกระเพาะอาหาร (cardiac sphincter) หูรูดป้องกันไม่ให้อาหารที่อยู่ในกระเพาะย้อนกลับมาที่หลอดอาหารได้



กระเพาะอาหาร

ภายในกระเพาะมีกลุ่มเซลล์ต่อม 3 ชนิด คือ

1. mucous cell สร้างเมือก (เบส) เคลือบกระเพาะป้องกันกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
2. parietal cell สร้างกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
3. chief cell สร้าง pepsinogen และ prorenin ซึ่งทั้งสองยังเป็นเอนไซม์ที่ยังไม่พร้อมทำงาน



▲ Cr. Oxford University

กระเพาะอาหารมีการสร้างฮอร์โมนแกสตริน (gastrin) ทำหน้าที่กระตุ้นให้มีการหลั่ง HCl ออกมาในกระเพาะอาหาร

▸ การย่อยทางเคมีภายในกระเพาะสร้าง 3 เอนไซม์ (ไม่ทำงาน 1 เอนไซม์)

เอนไซม์ไม่พร้อมทำงาน	เอนไซม์ที่ทำงานได้	สารที่ย่อย	ผลที่ได้
pepsinogen	$\xrightarrow{HCl}$ pepsin	โปรตีน	เพปไทด์สายสั้นๆ
prorenin	$\xrightarrow{HCl}$ renin	โปรตีนในน้ำนมเรียกว่า เคซีน	เปลี่ยนเคซีนเป็นพาราเคซีน (ลิ่มๆ)
lipase ปกติย่อยไขมันแต่ในกระเพาะจะไม่ทำงาน เพราะถูกทำลายโดย HCl ในกระเพาะอาหาร		-	-

ลำไส้เล็ก

ลำไส้เล็กมี 3 ส่วนคือ (มุขจำ... ดี เจ ไอซ์) ดี (D), เจ (J), ไอ (I)

- ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) เป็นตำแหน่งที่มีการย่อยเกิดขึ้นมากที่สุด เพราะมีน้ำย่อยจากตับอ่อน และน้ำดีจากตับส่งมาที่บริเวณนี้
- ลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) เป็นตำแหน่งที่มีการดูดซึมมากที่สุด เนื่องจากมีวิลลัสหนาแน่น
- ลำไส้เล็กส่วนท้าย (ileum) เป็นส่วนที่ยาวที่สุดปลายสุดต่อกับลำไส้ใหญ่

- การย่อยเชิงเคมีภายในลำไส้เล็ก

  สร้าง 8 เอนไซม์ + เอนไซม์ที่ไม่ได้ทำหน้าที่ย่อยอาหารโดยตรง

  - เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต

    maltose + H_2O $\xrightarrow{1\ \text{maltase}}$ กลูโคส + กลูโคส

    sucrose + H_2O $\xrightarrow{2\ \text{sucrase}}$ กลูโคส + ฟรักโทส

    lactose + H_2O $\xrightarrow{3\ \text{lactase}}$ กลูโคส + กาแลกโทส

  - เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน

    dipeptide + H_2O $\xrightarrow{4\ \text{dipeptidase}}$ 2 กรดอะมิโน

    tripeptide + H_2O $\xrightarrow{5\ \text{tripeptidase}}$ กรดอะมิโน + dipeptide

    polypeptide + H_2O $\xrightarrow{6\ \text{carboxypeptidase}}$ กรดอะมิโน + peptide สายสั้น

    polypeptide + H_2O $\xrightarrow{7\ \text{aminopeptidase}}$ กรดอะมิโน + peptide สายสั้น

  - เอนไซม์ที่ย่อยไขมัน

    ไขมัน $\xrightarrow{8\ \text{น้ำดีจากตับ}}$ หยดไขมัน $\xrightarrow{\text{lipase}}$ กลีเซอรอล + กรดไขมัน

  - เอนไซม์ enterokinase ไม่ได้ทำหน้าที่ย่อยอาหารแต่ทำหน้าที่เปลี่ยนเอนไซม์ trypsinogen จากตับอ่อนซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ยังไม่พร้อมทำงาน ให้เป็นเอนไซม์ที่พร้อมทำงานเรียกว่า trypsin

ลำไส้เล็กมีการหลั่งฮอร์โมน 2 ชนิด คือ

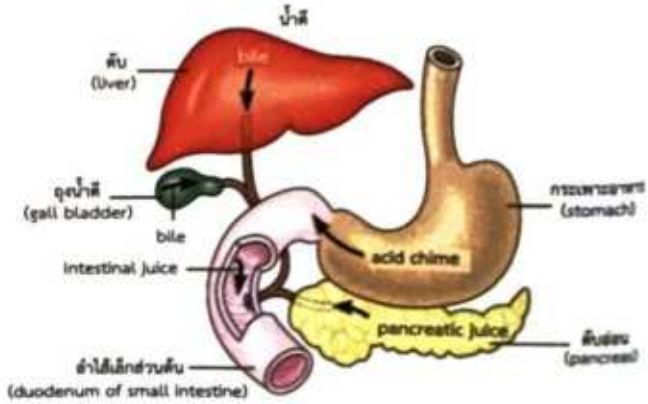
1. secretin กระตุ้นตับอ่อนหลั่ง bicarbonate เพื่อปรับความเป็นกรด-เบสในลำไส้เล็ก
2. CCK (cholecystokinin) กระตุ้นการหลั่งน้ำดีออกจากถุงน้ำดี และกระตุ้นเอนไซม์จากตับอ่อน

- **เอนไซม์ aminopeptidase สลายพันธะเพปไทด์ด้านหมู่อะมิโนของพอลิเพปไทด์**
- **เอนไซม์ carboxypeptidase สลายพันธะเพปไทด์ด้านหมู่คาร์บอกซิลของพอลิเพปไทด์**

- การเคลื่อนที่ของอาหารภายในลำไส้เล็กมีการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ
  - peristalsis คือ การหดของกล้ามเนื้อลำไส้เล็กเป็นช่วงๆ ต่อกัน เพื่อผลักอาหารให้เคลื่อนที่
  - การหดตัวเป็นจังหวะ (rhythmical segmentation) การหดตัวเป็นจังหวะเพื่อคลุกเคล้าและบีบอาหารให้ส่งต่อไปตลอดลำไส้เล็ก

ตับ มีหน้าที่ดังนี้

- สร้างน้ำดี (bile) เก็บไว้ที่ถุงน้ำดี น้ำดีประกอบด้วยเกลือน้ำดี (bile salt) ทำหน้าที่ตีไขมันให้แตกตัวเป็นหยดเล็กๆ เรียก emulsion ก่อนส่งให้ลิเพสย่อยต่อ และรงควัตถุน้ำดี (bile pigment) เกิดจากการสลายตัวของฮีโมโกลบินในตับ ตับกำจัดฮีโมโกลบินออกจากเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุ และรวมตัวกับบิลิรูบิน (bilirubin) มีสีเขียวอ่อน และถูกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เกิดเป็นสีของอุจจาระ



▲ (Cr. pathwayz.org)

- เก็บสะสมอาหารในรูปของไกลโคเจน (พอลิแซกคาไรด์) และแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานให้แก่เซลล์ได้
- กำจัดสารพิษ เช่น แอลกอฮอล์

- ขณะทารกอยู่ในครรภ์เป็นแหล่งสร้างเม็ดเลือดแดง แต่ภายหลังคลอดทำหน้าที่ทำลายเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุ
- เป็นแหล่งสะสมวิตามิน A, B และ D

ตับอ่อน ทำหน้าที่หลั่งเอนไซม์ย่อยสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน นอกจากนี้ตับอ่อนยังมีกลุ่มเนื้อเยื่อไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ (islet of Langerhans) ทำหน้าที่หลัง 2 ฮอร์โมนที่สำคัญ คือ

- glucagon ทำหน้าที่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด โดยการเปลี่ยนไกลโคเจนที่ตับให้เป็นกลูโคส
- insulin ทำหน้าที่ลดระดับน้ำตาลในเลือด โดยการเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นไกลโคเจนสะสมที่ตับ

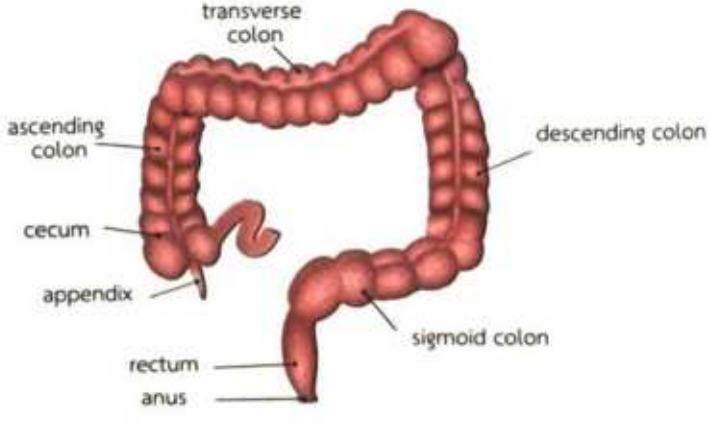
การหลั่งน้ำดีจากตับและเอนไซม์จากตับอ่อนเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนจากลำไส้เล็ก คือ secretin และ CCK

- การหลั่งเอนไซม์ที่ตับอ่อน สร้าง 5 เอนไซม์ คือ

เอนไซม์ไม่พร้อมทำงาน	เอนไซม์ที่ทำงานได้	สารที่ย่อย/ผลที่ได้
	amylase	แป้ง $\xrightarrow{\text{amylase}}$ เดกซ์ทริน $\xrightarrow{\text{amylase}}$ มอลโทส
trypsinogen $\xrightarrow{\text{enterokinase}}$	trypsin	พอลิเพปไทด์ $\xrightarrow{\text{trypsin}}$ เพปไทด์สายสั้นๆ
chymotrysinogen $\xrightarrow{\text{trypsin}}$	chymotrypsin	พอลิเพปไทด์ $\xrightarrow{\text{chymotrypsin}}$ เพปไทด์สายสั้นๆ
procarboxypeptidase $\xrightarrow{\text{trypsin}}$	carboxypeptidase	พอลิเพปไทด์ $\xrightarrow{\text{carboxypeptidase}}$ กรดอะมิโน + เพปไทด์สายสั้นๆ
	lipase	ไขมัน $\xrightarrow{\text{น้ำดีจากตับ}}$ หยดไขมัน $\xrightarrow[\text{จากตับอ่อน}]{\text{lipase}}$ กลีเซอรอล + กรดไขมัน

ลำไส้ใหญ่

- หน้าที่ของลำไส้ใหญ่
  1. ดูดน้ำ เกลือแร่ วิตามิน กลูโคส ออกจากกากอาหารกลับคืนร่างกาย
  2. ไม่มีวิลลัส และต่อมสร้างน้ำย่อยใดๆ ลำไส้ใหญ่จึงไม่มีการย่อยใดๆ จะมีเพียงต่อมหลั่งน้ำเมือกออกมาเคลือบกากอาหารเพื่อให้ขับถ่ายสะดวก
  3. มีแบคทีเรีย *E. coli* ช่วยย่อยสลายกากอาหาร ได้วิตามิน B_7, B_9, B_{12} และ K



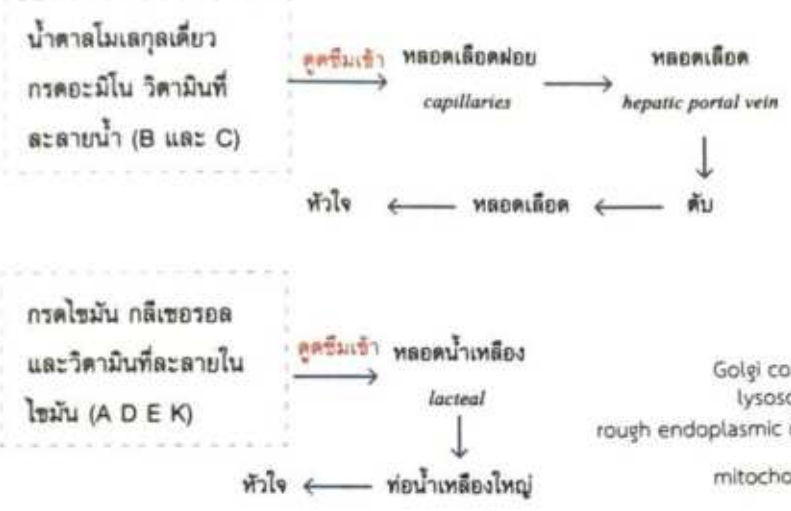
กระเพาะอาหารสามารถดูดซึมแอลกอฮอล์ได้ เนื่องจากมีโมเลกุลขนาดเล็ก จึงไม่ควรดื่มสุราขณะท้องว่าง อาจทำให้เมาเร็วได้

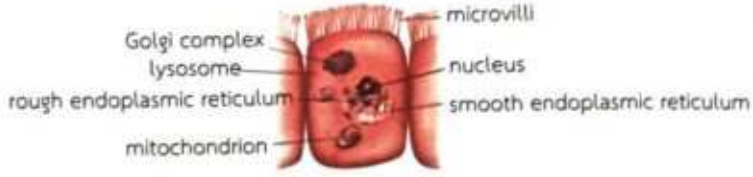
สรุปการทำงานของเอนไซม์ในระบบย่อย

อวัยวะ	สารเคมี	เอนไซม์ที่สร้าง	สารอาหารที่ย่อย	ผลลัพธ์
ปาก	น้ำลาย	amylase	คาร์โบไฮเดรต (แป้ง)	เดกซ์ทรินและมอลโทส
กระเพาะอาหาร	gastric juice HCl	pepsinogen $\xrightarrow{HCl}$ pepsin prorenin $\xrightarrow{HCl}$ renin lipase (ไม่ทำงาน)	โปรตีน โปรตีนในน้ำนม (เคซีน)	เพปไทด์
ตับอ่อน (5 เอนไซม์) **ย่อยทุกประเภท**	pancreatic juice	amylase	แป้ง	มอลโทส
		trypsinogen $\xrightarrow{enterokinase}$ trypsin chymotrypsinogen $\xrightarrow{trypsin}$ chymotrypsin procarboxypeptidase $\xrightarrow{trypsin}$ carboxy-peptidase	พอลิเพปไทด์ พอลิเพปไทด์ เพปไทด์	เพปไทด์สายสั้นๆ เพปไทด์สายสั้นๆ กรดอะมิโน
		lipase	ไขมัน	กรดไขมัน + กลีเซอรอล
ลำไส้เล็ก (8 เอนไซม์ +1) **ย่อยทุกประเภท**	น้ำย่อยในลำไส้	maltase sucrase lactase	มอลโทส ซูโครส แลกโทส	กลูโคส + กลูโคส กลูโคส + ฟรักโทส กลูโคส + กาแลกโทส
		aminopeptidase carboxypeptidase dipeptidase tripeptidase	เพปไทด์ (ตรงหมู่อะมิโน) เพปไทด์ (ตรงหมู่คาร์บอกซิล) ไดเพปไทด์ ไตรเพปไทด์	ได้กรดอะมิโนทั้ง 3 เอนไซม์
		lipase	ไขมัน	กรดไขมัน + กลีเซอรอล
		enterokinase	-	เปลี่ยน trypsinogen จากตับอ่อน เป็น trypsin
ตับ	เกลือน้ำดี (bile salt)	เกลือน้ำดีไม่ใช่เอนไซม์ เป็นการย่อยเชิงกล	ดีไขมันให้แตก (แล้วให้ lipase ย่อยต่อ)	หยดไขมันเล็กๆ

การดูดซึมสารอาหาร

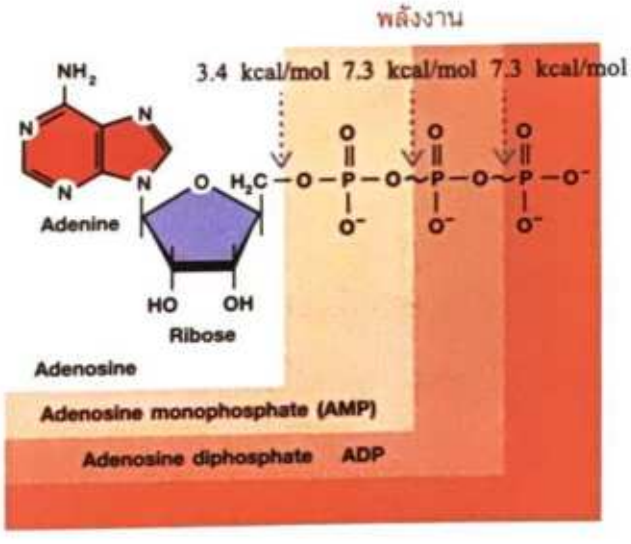
อาหารเกือบทั้งหมดถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก โดยจะมีโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายนิ้วมือเป็นจำนวนมากเรียกว่า วิลลัส (villus) และในแต่ละเซลล์ของวิลลัสยังมีส่วนที่ยื่นออกจากเยื่อหุ้มเซลล์อีกเรียกว่า ไมโครวิลลัส (microvillus)





4.4 การสลายโมเลกุลของอาหารระดับเซลล์

การสลายโมเลกุลของอาหารให้เล็กลงแล้วมีการปลดปล่อยพลังงานออกมานั้น เป็นกระบวนการแคแทบอลิซึม (catabolism) โดยพลังงานที่ออกมาจะเก็บสะสมในรูปสารประกอบ ATP (adenosine triphosphate) องค์ประกอบคือ น้ำตาลไรโบส ไนโตรจีนัสเบส (เบสอะดีนีน : A) และหมู่ฟอสเฟต 3 หมู่ โดยพันธะระหว่างหมู่ฟอสเฟตกับหมู่ฟอสเฟตถือว่าเป็นพันธะพลังงานสูง แต่ถูกสลายได้ด้วยน้ำ (hydrolysis)



$ATP + H_2O \rightarrow ADP + Pi$ (หมู่ฟอสเฟต) + 7.3 kcal/mol

$ADP + H_2O \rightarrow AMP + Pi$ (หมู่ฟอสเฟต) + 7.3 kcal/mol

$AMP + H_2O \rightarrow$ เบสอะดีนีน + Pi (หมู่ฟอสเฟต) + 3.4 kcal/mol

พลังงานที่เซลล์ได้รับนอกจากได้จาก ATP แล้ว ยังมีพลังงานที่เก็บอยู่ที่อิเล็กตรอนอีกด้วย จึงจำเป็นต้องมีตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา โดยอาศัยโคเอนไซม์ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ

- NAD^+ (Nicotinamide Adenine Dinucleotide) รับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนอะตอม ($H^+ + e^-$) ได้ทีละ 2 อิเล็กตรอน

  $NAD^+ + 2H\ (2H^+ + 2e^-) \rightarrow NADH + H^+$ (มุขจำ.... จำว่า น้องแนท เป็นผู้มารับอิเล็กตรอน)
- FAD (Flavin Adenine Dinucleotide) รับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนอะตอม ได้ทีละ 2 อิเล็กตรอน

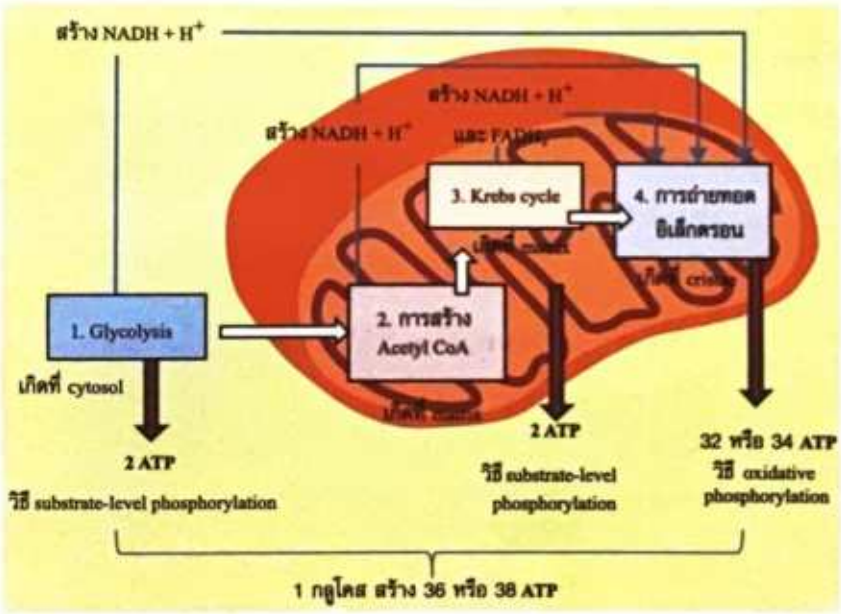
  $FAD + 2H\ (2H^+ + 2e^-) \rightarrow FADH_2$

  มุขจำ.... จำว่า น้องแนท (NAD^+) และน้องแฟด (FAD) เป็นผู้มารับอิเล็กตรอน ไปหาคิตตี้ ** (cristae หรือบริเวณเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

การหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration)

- การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) (คำว่า aer- แปลว่า อากาศ) เป็นการอาศัยออกซิเจนเข้าร่วมสลายอาหาร ทำให้เกิดการสลายอาหารที่สมบูรณ์ โดยกลูโคส 1 โมเลกุลจะให้พลังงาน 36 หรือ 38 ATP ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน เกิดขึ้นในไซโทพลาซึมและไมโทคอนเดรีย
  - สมการการสลายน้ำตาล (แบบใช้ O_2)

    $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12H_2O$ + 36 หรือ 38 ATP



▲ (Cr. wikispaces.com)

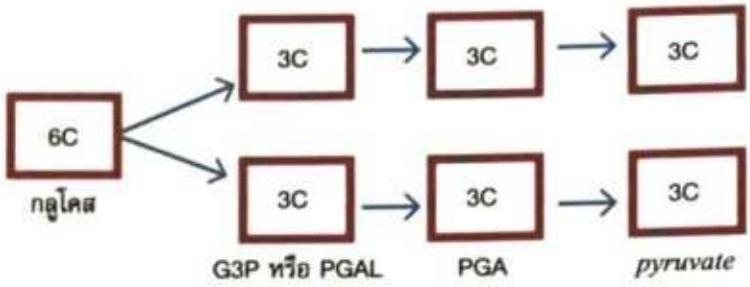
กระบวนการสังเคราะห์ ATP (phosphorylation) ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ มี 2 วิธี คือ

- วิธี substrate-level phosphorylation คือ การสังเคราะห์ ATP โดยการเติมหมู่ฟอสเฟตจากสารที่เกิดในปฏิกิริยาย่อยสลาย ให้กับ ADP (เกิดขึ้นขณะที่สารเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์และมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นโดยตรง)
- วิธี oxidative phosphorylation คือ การสังเคราะห์ ATP จาก ADP + Pi โดยเอนไซม์ ATP synthase ที่ถูกผลักดันให้เกิดขึ้นโดยพลังงานที่ได้จากการขนส่งอิเล็กตรอนจากซับสเตรทต่างๆ

การหายใจระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน มี 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ไกลโคลิซิส (glycolysis)

- กระบวนการเกิดที่ cytosol (ของเหลวในไซโทพลาซึม)
- เกิดทั้งในกระบวนการหายใจแบบใช้ O_2 และไม่ใช้ O_2
- ภาพรวมคือ



- ผลผลิตที่ได้

  2 ATP (สร้าง 4 ATP ใช้ไป 2 ATP)

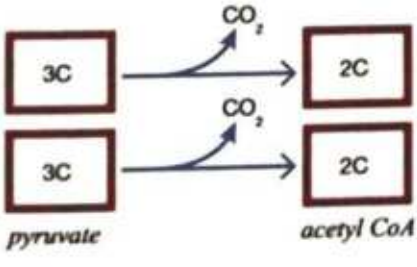
  2 NADH + H^+ (เข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป)

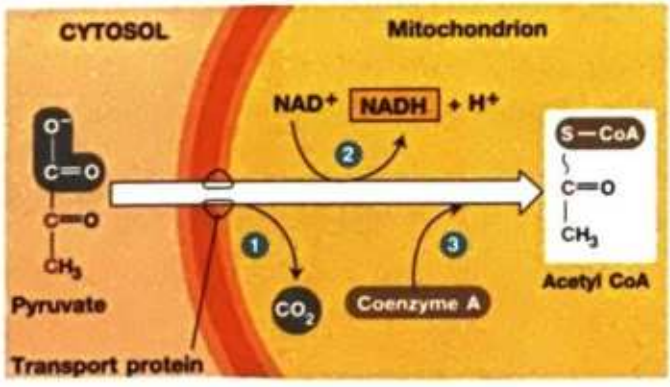
  2 pyruvate (เข้าสู่การสร้าง acetyl CoA)

- **การหายใจระดับเซลล์คือการเปลี่ยน PGAL → PGA แต่การสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชคือการเปลี่ยน PGA → PGAL**
- **ระดับ ม.ปลายไม่จำเป็นต้องจำชื่อสารทุกชนิด แต่ควรเข้าใจสาระสำคัญๆ ของการเปลี่ยนแปลงแต่ละขั้นตอน ตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตที่ได้แต่ละขั้นตอน**

ขั้นตอนที่ 2 การสร้าง acetyl CoA

- กระบวนการเกิดที่ matrix หรือของเหลวในไมโทคอนเดรีย
- pyruvate (3C) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ coenzyme A กลายเป็น acetyl CoA (2C) โดยมีการปล่อย CO_2 ออกมา
- ขั้นตอนนี้จะไม่มีการสร้าง ATP อิสระออกมา
- NADH จะลำเลียงอิเล็กตรอนไปสู่การถ่ายทอดอิเล็กตรอนเพื่อสร้าง ATP
- ภาพรวมคือ





▲ (Cr. adapaproject.org)

- ผลผลิตที่ได้ (เมื่อ pyruvate 2 โมเลกุล เข้าทำปฏิกิริยา)

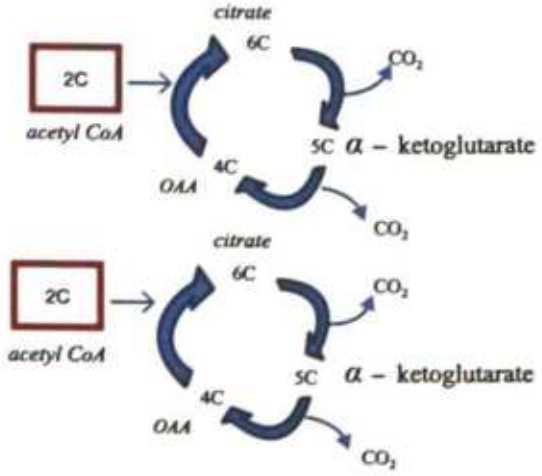
  2 CO_2 (ออกมากับการหายใจออก)

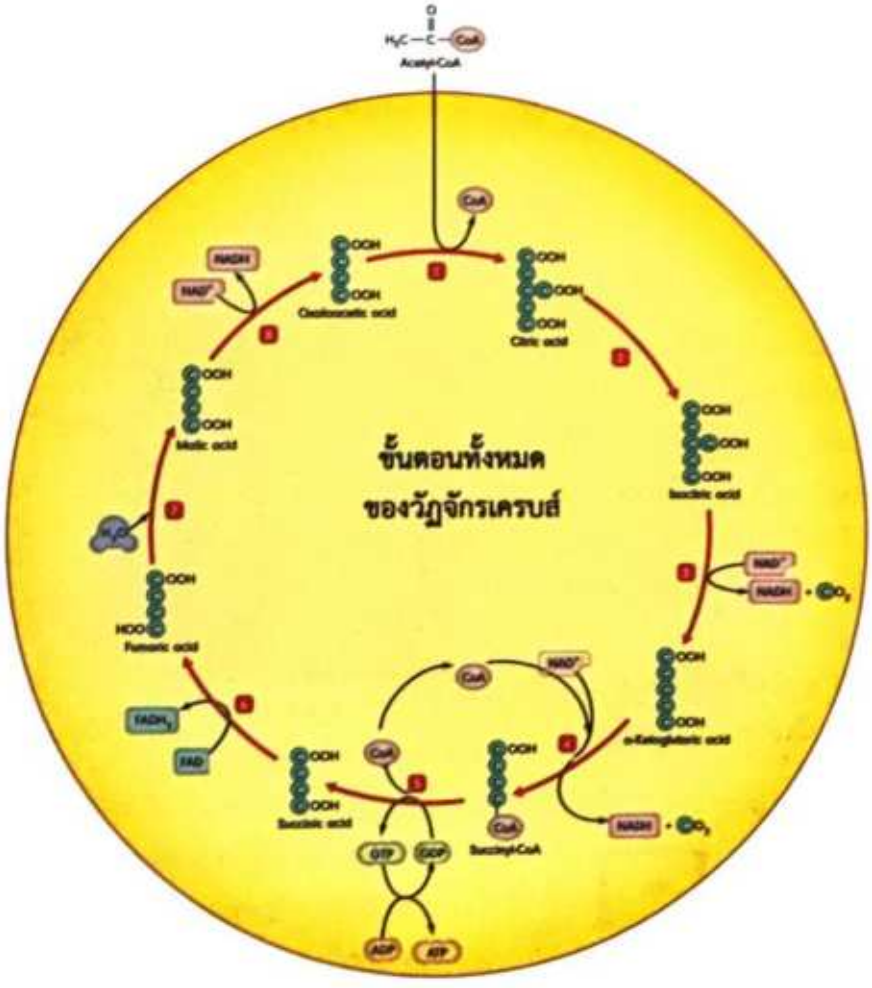
  2 NADH + H^+ (เข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป)

  2 acetyl CoA (เข้าสู่วัฏจักรเครบส์)

ขั้นตอนที่ 3 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) หรือวัฏจักรของกรดซิตริก (citric acid cycle) หรือวัฏจักรของกรดไตรคาร์บอกซิลิก (tricarboxylic acid cycle = TCA cycle)

- กระบวนการเกิดที่ matrix ของเหลวในไมโทคอนเดรีย
- acetyl CoA (2C) แต่ละโมเลกุลจะเข้ารวมกับกรดออกซาโลแอซิติก (oxaloacetic acid: OAA) ซึ่งเป็นสาร 4C เมื่อรวมกันจึงได้สาร 6C เรียกกรดซิตริก (citric acid) และสาร 6C จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสาร 5C ที่เรียกว่า α- ketoglutarate และในที่สุดจะเปลี่ยนเป็น OAA (4C) ตามเดิม
- ภาพรวม คือ





▲ (Cr. uic.edu)

- ผลผลิตที่ได้ (เมื่อ 2 acetyl CoA เข้าทำปฏิกิริยา)

  2 ATP

  6 $NADH + H^+$ (เข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป)

  2 $FADH_2$ (เข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป)

  4 CO_2 (ออกมากับการหายใจออก)

ไกลโคลิซิสและวัฏจักรเครบส์มีการสร้าง ATP อิสระออกมา

ขั้นตอนที่ 4 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain : ETC)

- กระบวนการเกิดที่ cristae เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย
- อิเล็กตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาต่างๆ จะมี NAD^+ และ FAD คอยรับ ($2H^+$, $2e^-$) กลายเป็น $NADH + H^+$ และ $FADH_2$ ตามลำดับ
- อิเล็กตรอน (e) จะถูกส่งไปบนเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย (inner membrane) โดยมีตัวรับดังนี้

  Complex I: NADH dehydrogenase complex ประกอบด้วย FMN และ Coenzyme Q

  Complex II: Succinase dehydrogenase

  Complex III: Cytochrome reductase complex ประกอบด้วย Cytochrome b, c และ c_1

  Complex IV: Cytochrome oxidase complex ประกอบด้วย Cytochrome a และ a_3

ไซโทโครม (cytochrome) เป็นโปรตีนขนาดใหญ่ที่มีธาตุเหล็ก (Fe) ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน

- อิเล็กตรอนจะถูกส่งไปตามตัวรับอิเล็กตรอนชนิดต่างๆ จนมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเกิดเป็นน้ำ **(ออกสอบ!!)** สมการ $2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$ ซึ่งเมื่อเริ่มจากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล จะได้อิเล็กตรอนทั้งสิ้น 24 อิเล็กตรอน จึงสร้างน้ำได้ 12 โมเลกุล (แต่มีการใช้น้ำในการเปลี่ยนโมเลกุลต่างๆ ด้วย 6 โมเลกุล ดังนั้น จึงสร้างน้ำสุทธิ คือ 6 โมเลกุล)
- ส่วนโปรตอน (H^+) จะถูกปั๊มออกไปยังช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในและชั้นนอกของไมโทคอนเดรีย (intermembrane space) ทำให้เกิดผลต่างความเข้มของโปรตอน (proton grandient) โดยที่ intermembrane space จะมีโปรตอนมากกว่า (pH ต่ำ) และ matrix จะมีโปรตอนต่ำกว่า (pH สูง) จากนั้นจะมีการไหลกลับของโปรตอนจาก intermembrane space สู่ matrix โดยไหลผ่านเอนไซม์ ATP synthase (ATPase) และ ADP + Pi จะดึงพลังงานจากการไหลของโปรตอนนี้ซึ่งจะทำให้เกิดการสร้าง ATP ในที่สุด เรียกกระบวนการนี้ว่า chemiosmosis

กระบวนการสร้าง ATP แบบ oxidative phosphorylation = electron transport chain + chemiosmosis

กระบวนการสร้าง ATP แบบ oxidative phosphorylation ทำให้ 1 NADH ผลิตได้ 3 ATP และ $FADH_2$ 1 โมเลกุล ผลิตได้ 2 ATP

ดังนั้น เมื่อคำนวณพลังงานที่ได้จากกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จะได้ว่า

ไกลโคลิซิส

- สร้าง 2 NADH มีระบบลำเลียง (shuttle system) ที่จะนำ NADH เข้าสู่ไมโทคอนเดรีย 2 ระบบ
  - ระบบ glycerol phosphate shuttle จะมี FAD ในไมโทคอนเดรียมารับ เมื่อผ่านการถ่ายทอดอิเล็กตรอน 1 NADH จะให้เพียง 2 ATP เท่านั้น เกิดที่เซลล์ประสาทและกล้ามเนื้อลาย
  - ระบบ malate aspartate shuttle จะมี NAD ในไมโทคอนเดรียเป็นตัวรับ เมื่อผ่านการถ่ายทอดอิเล็กตรอน 1 NADH จะให้ 3 ATP (ปกติ) เกิดที่ตับ ไต และหัวใจ

ดังนั้น การสร้าง ATP โดยถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก 2 NADH ที่ได้จากกระบวนการไกลโคลิซิสจึงมี 2 กรณี คือ

2 NADH = 2 × 3 = 6 ATP (ตับ ไต หัวใจ) หรือ

2 NADH = 2 × 2 = 4 ATP (เซลล์ประสาท กล้ามเนื้อลาย)

การสร้าง acetyl CoA

สร้าง 2 NADH = 2 × 3 = 6 ATP

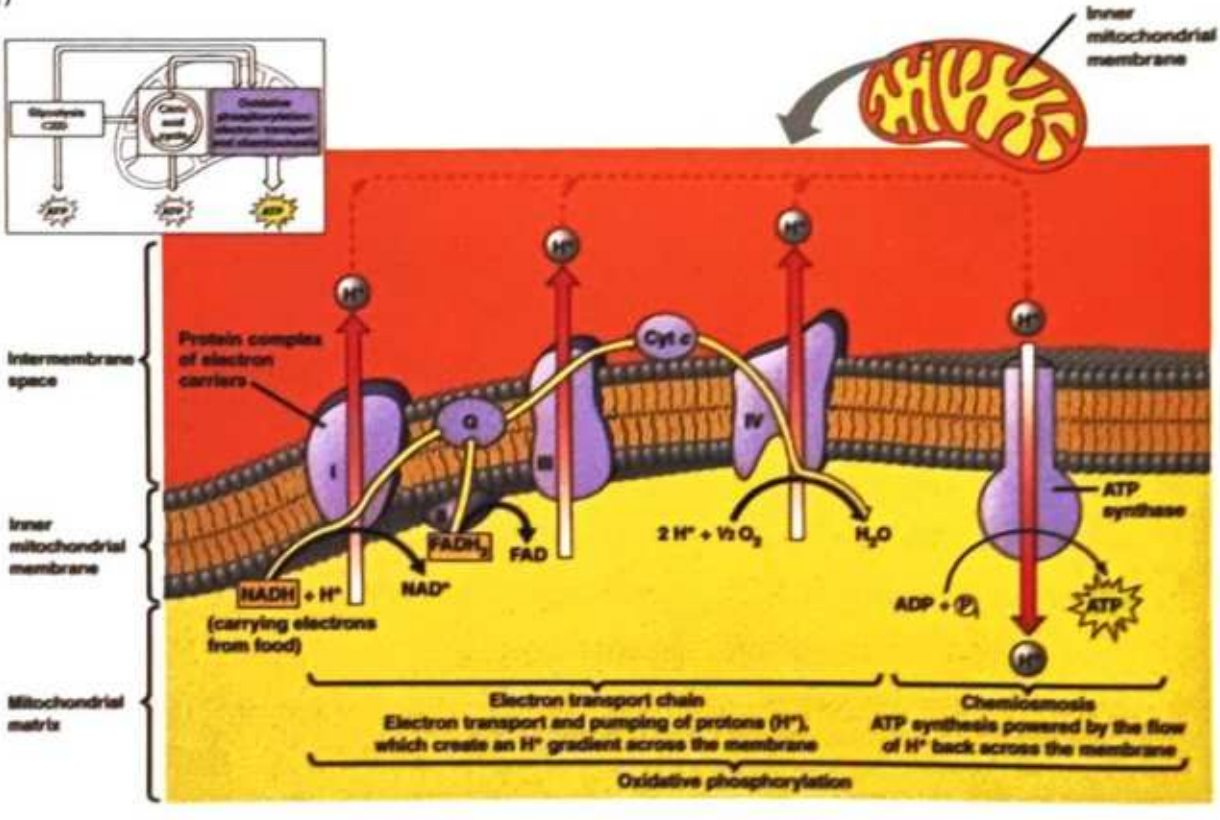
วัฏจักรเครบส์

สร้าง 6 NADH = 6 × 3 = 18 ATP

2 $FADH_2$ = 2 × 2 = 4 ATP

- สรุป เมื่อสิ้นสุดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะเกิดพลังงานทั้งหมด 32 ATP (เซลล์ประสาท กล้ามเนื้อลาย) หรือ 34 ATP (ตับ ไต หัวใจ)
- แต่อย่าลืมว่ามีการสร้าง ATP อิสระ มา 4 ATP (ไกลโคลิซิส 2 ATP และวัฏจักรเครบส์ 2 ATP)

ดังนั้น การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล จะได้พลังงาน 36 ATP (เซลล์ประสาท กล้ามเนื้อลาย) หรือ 38 ATP (ตับ ไต หัวใจ)

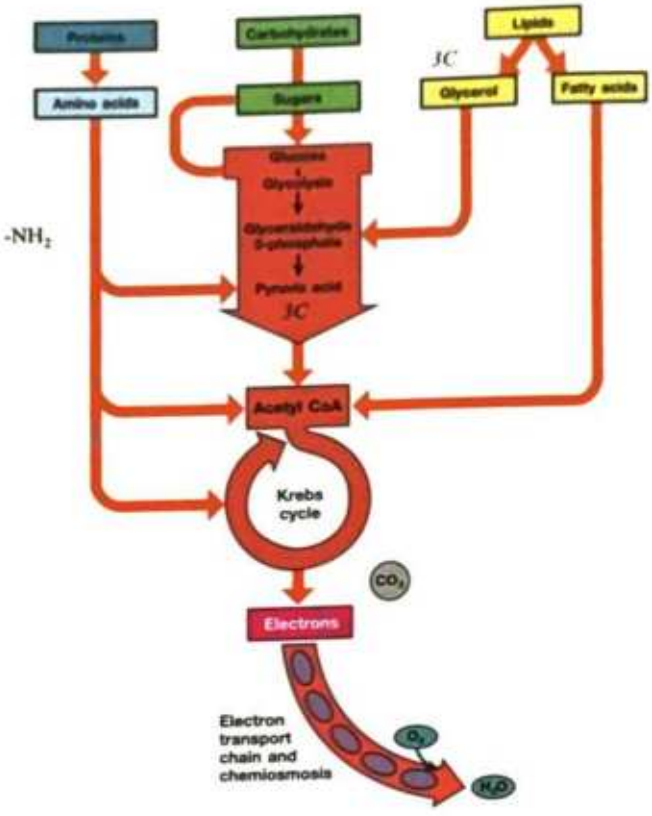


▲ (Cr. amazonaws.com)

- การสลายโปรตีนและไขมัน

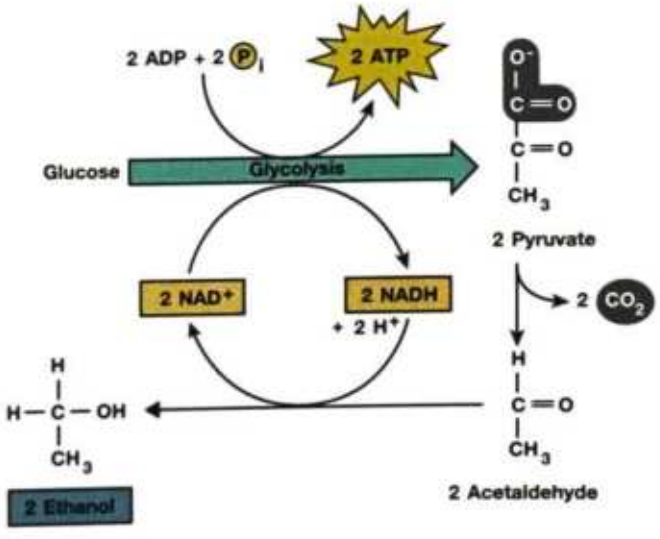
โปรตีน จะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโนและมีการดึงหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ออกมารวมตัวกับไฮโดรเจนกลายเป็นแอมโมเนีย ($-NH_3$) และขับออกจากร่างกายในรูปของยูเรียหรือกรดยูริก อาจออกมากับปัสสาวะ และส่วนที่เหลืออาจเข้าสู่กระบวนการไกลโคลิซิส หรือการสร้าง acetyl CoA หรือวัฏจักรเครบส์ต่อไป

ไขมัน จะถูกย่อยได้กลีเซอรอลและกรดไขมัน โดยกลีเซอรอลจะเข้าสู่ไกลโคลิซิสที่ glyceraldehyde 3-phosphate และกรดไขมันจะเข้ารวมตัวกับ acetyl CoA



▲ (Cr. amazonaws.com)

- การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เป็นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเข้าร่วมสลายอาหาร ทำให้เกิดการสลายอาหารได้ไม่สมบูรณ์ โดย 1 กลูโคสจะให้พลังงานเพียง 2 ATP และเกิดแค่กระบวนการไกลโคลิซิสที่ไซโทพลาซึมเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย 2 รูปแบบ คือ
  - การหมักแอลกอฮอล์ (alcohol fermentation)
    - เกิดขึ้นในพวกฟังไจ (รา ยีสต์) หรือเมล็ดพืช
    - ภาพรวมคือ



▲ (Cr. course-notes.org)

- ผลผลิตที่ได้

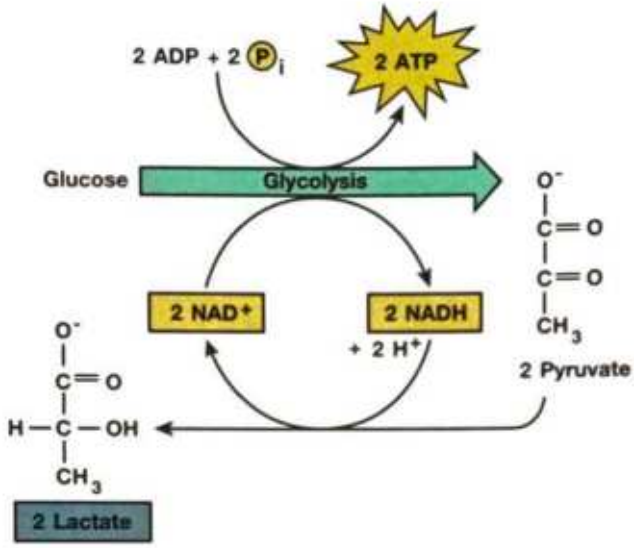
  2 ATP

  2 CO_2

  2 ethanol (2C)

- กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ใช้ประโยชน์ในการผลิตเหล้า เบียร์ ไวน์ การผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล

- การหมักกรดแลกติก (lactic fermentation)
  - เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อลาย พยาธิตัวตืด ฟังไจ และแบคทีเรียบางชนิด
  - ผลผลิตที่ได้ 2 ATP, 2 lactic acid (3C)



▲ (Cr. course-notes.org)

- เมื่อกล้ามเนื้อขาดออกซิเจน (เช่น ตอนออกกำลังกายหนักๆ) เซลล์จะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อสร้าง ATP แทน จึงทำให้เกิดการสะสมกรดแลกติก สารดังกล่าวถือว่าเป็นของเสียที่จะทำให้กล้ามเนื้อเมื่อยล้า เมื่อสะสมมากๆ จะทำให้เป็นตะคริวและเจ็บปวด สารดังกล่าวจะถูกกำจัดโดยเลือดส่งไปที่ตับ จากนั้นกรดแลกติกจะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็น pyruvate
- จุลินทรีย์บางชนิดมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน แล้วเกิดกรดแลกติก ซึ่งนำไปใช้ผลิตอาหารบางชนิดได้ เช่น การดองผักผลไม้ ทำนมเปรี้ยว โยเกิร์ต หรือเนยแข็ง

การเปรียบเทียบการหายใจแบบใช้ออกซิเจนและการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การหายใจแบบใช้ออกซิเจน	การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน
1. สร้าง 36 หรือ 38 ATP ต่อ 1 กลูโคส	1. สร้าง 2 ATP ต่อ 1 กลูโคส
2. เกิดใน cytoplasm และ mitochondria	2. เกิดใน cytoplasm
3. ผลผลิตได้ ATP, CO_2 และ H_2O	3. ผลผลิตที่ได้ • การหมักแอลกอฮอล์ : ATP, CO_2, ethanol • การหมักกรดแลกติก : ATP, lactic acid

Quiz Yourself

6) เมื่อกลูโคส 1 โมเลกุลผ่านกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดผลผลิตใด
   1. กรดแลกติก 2 โมเลกุล + 2 ATP
   2. กรดแลกติก 2 โมเลกุล + 1 ATP
   3. กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล + 2 ATP
   4. กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล + 1 ATP
   5. กรดไพรูวิก 1 โมเลกุล + กรดแลกติก 1 โมเลกุล + 1 ATP

7) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์
   1. มีการสร้าง NADH ในไซโทพลาซึม
   2. มีการสร้าง acetyl CoA ในไซโทพลาซึม
   3. NAD^+ สร้างที่ inner membrane ของไมโทคอนเดรีย
   4. FAD สร้างที่ outer membrane ของไมโทคอนเดรีย
   5. ออกซิเจนถูกรีดิวซ์ที่ intermembrane space ของไมโทคอนเดรีย

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 1.** เพราะสัตว์ใน Phylum Cnidaria ได้แก่ แมงกะพรุน ไฮดรา และ Phylum Platyhelminthes ได้แก่ กลุ่มหนอนตัวแบน พลานาเรีย พยาธิใบไม้ มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ ประกอบด้วยช่องเปิดเพียง 1 ช่อง คือ อาหารเข้าทางปาก และกากอาหารออกทางเดียวกัน หรืออาหารเข้าทางปากออกทางรูข้างลำตัว (ไม่จัดเป็นทวารหนัก)

2) **ตอบ 1.** เพราะกึ๋นของไส้เดือนดินมีกล้ามเนื้อหนามากทำหน้าที่ช่วยบดอาหารให้เป็นชิ้นเล็กๆ (ไส้เดือนดินไม่มีฟันจึงใช้กึ๋นบด) ซึ่งเป็นการย่อยอาหารเชิงกลเช่นเดียวกับฟันของคน

3) **ตอบ 1.** เพราะอะมีบาไม่มี oral groove โดย oral groove พบในพารามีเซียม

4) **ตอบ 2.** เพราะกระเพาะอาหารของวัวมี 4 กระเพาะ โดย 3 กระเพาะแรก ได้แก่ rumen, reticulum และ omasum ไม่ได้มีการหลั่งเอนไซม์เพื่อมาย่อยอาหารแต่อย่างใด ซึ่งกระเพาะอาหารที่หลั่งเอนไซม์ออกมาที่แท้จริงคือ abomasum

5) **ตอบ 1.** เพราะจุลินทรีย์ในรูเมนของวัวทำหน้าที่เปลี่ยนเซลลูโลสเป็นกรดไขมัน สังเคราะห์กรดไขมันจากคาร์โบไฮเดรต สังเคราะห์กรดอะมิโนจากยูเรียและแอมโมเนียที่เกิดจากการหมักในกระเพาะส่วนนี้ และยังสังเคราะห์วิตามินบี 12 เท่านั้น

6) **ตอบ 1.** เพราะการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยการหมักกรดแลกติกผลผลิตที่ได้คือ กรดแลกติก 2 โมเลกุล และ 2 ATP

7) **ตอบ 1.** เพราะ NADH สามารถสร้างขึ้นได้ที่ไซโทพลาซึมจากกระบวนการไกลโคลิซิส

▲ (Cr. Pichit Ngamwannagul)

บทที่ 05

ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต

การสืบพันธุ์ (reproduction) เป็นการเพิ่มจำนวนของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตที่จะใช้ในการดำรงเผ่าพันธุ์ของตัวเองให้คงอยู่ต่อไป การสืบพันธุ์มี 2 ลักษณะ คือ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) และการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction)

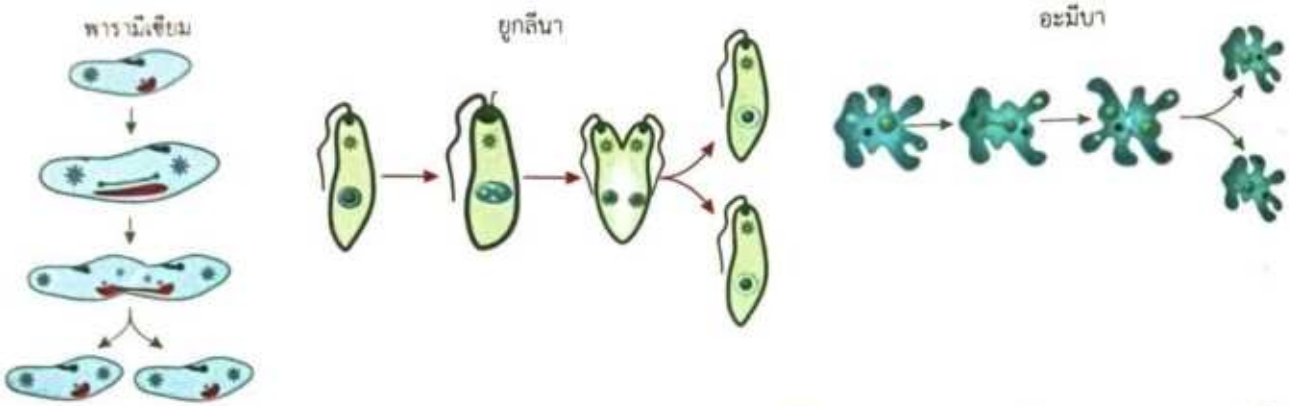
ข้อเปรียบเทียบ	การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ	การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ
1. ผู้ที่ให้กำเนิด	พ่อ หรือแม่เพียงตัวเดียว	พ่อและแม่ทั้งคู่
2. การปฏิสนธิ	ไม่มี	มี
3. ลักษณะทางพันธุกรรมของลูก	เหมือนผู้ที่ให้กำเนิด ไม่มีการกลายพันธุ์ (no variation)	มีความแปรผันและเกิดความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic variation)
4. กระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์	ไม่มี (แบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวนเท่านั้น)	มี (มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์
5. ข้อดีและข้อเสีย	สามารถเพิ่มจำนวนลูกหลานได้รวดเร็ว แต่ทนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงมากได้ไม่ดี	ต้องใช้พลังงานในกระบวนการสืบพันธุ์มาก แต่ลูกสามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี

5.1 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction)

การแบ่งออกเป็นสองส่วน (binary fission)

คำว่า bi- แปลว่า สอง เป็นการแบ่งเซลล์จากเซลล์เดิม ออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน

- การแบ่งตามขวาง (transverse binary fission) ได้แก่ พารามีเซียม แบคทีเรีย
- การแบ่งตามยาว (longitudinal binary fission) ได้แก่ ยูกลีนา (จำว่า ยาว—ยูกลีนา)
- การแบ่งแบบไม่สมมาตร (asymmetry) ได้แก่ อะมีบา



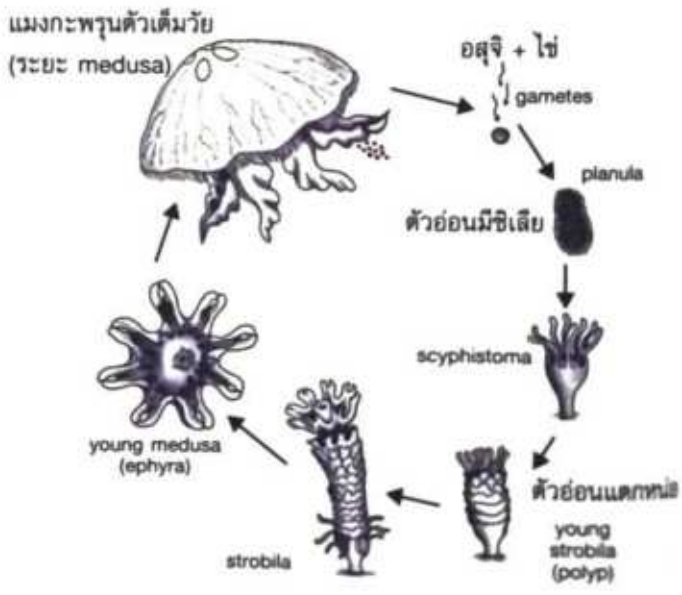
การแตกหน่อ (budding) เป็นการแบ่งเซลล์จากเซลล์เมโดยการแตกหน่อ หน่อที่งอกออกมาเจริญเป็นสิ่งมีชีวิตใหม่ แต่มีขนาดเล็กกว่า

- การแตกหน่อภายนอก เป็นการแตกหน่อที่เห็นชัดเจนจากภายนอกของสิ่งมีชีวิต เช่น ไฮดรา ดอกไม้ทะเล ยีสต์ และแมงกะพรุน

การแตกหน่อของไฮดรา

แมงกะพรุนมีวงชีวิตแบบสลับ (metagenesis) คือ ในช่วงชีวิตมีทั้งการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ และแบบไม่อาศัยเพศ โดยวงชีวิตของแมงกะพรุนมี 2 รูปร่าง คือ

1. ระยะเมดูซา (medusa) รูปร่างแบบระฆังคว่ำ เป็นช่วงตัวเต็มวัย สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ
2. ระยะโพลิป (polyp) รูปร่างทรงแจกัน เป็นช่วงตัวอ่อน สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อตามขวางออกเป็นชั้นๆ แต่ละหน่อคือแมงกะพรุน 1 ตัว



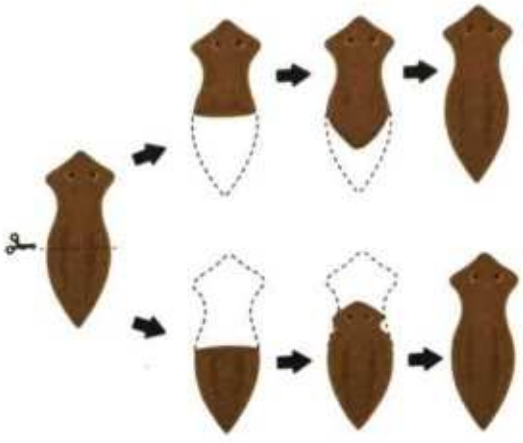
การสืบพันธุ์ของแมงกะพรุน

▲ (Cr. Super Sea Monkey)

- การแตกหน่อภายใน เช่น ฟองน้ำ หน่อของฟองน้ำเรียก เจมมูล (gemmule) ซึ่งเจริญภายในร่างกาย ภายในเจมมูลมีเซลล์ที่พร้อมจะเจริญเป็นสิ่งมีชีวิตอยู่มากมาย และเมื่อผู้ให้กำเนิดตายเจมมูลจะหลุดออกมา เจริญเป็นสิ่งมีชีวิตตัวใหม่

การงอกใหม่ (regeneration)

- กรณีจัดเป็นการสืบพันธุ์ เช่น พลานาเรีย ดาวทะเล ดอกไม้ทะเล เป็นการงอกอวัยวะขึ้นทดแทนอวัยวะที่ได้รับความเสียหายหรือหดหายไป และได้เป็นตัวใหม่ขึ้นมา
- กรณีที่ไม่จัดเป็นการสืบพันธุ์ เช่น การงอกใหม่ของหางจิ้งจก จิ้งจกน้ำ ซาลาแมนเดอร์ เมื่ออวัยวะได้รับความเสียหายจะงอกใหม่ขึ้นมาทดแทนส่วนที่ขาดหายบนตัวเดิมเท่านั้น



การแตกสปอร์ (sporulation) พบในพวกฟังไจเป็นการสืบพันธุ์ที่เกิดจากการแบ่งนิวเคลียสหลายๆ ครั้ง แล้วค่อยแบ่งไซโทพลาซึมภายหลัง จากนั้นสิ่งมีชีวิตจะมีการสร้างเยื่อกั้นเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนจะมีนิวเคลียส 1 อัน เรียกว่า สปอร์ (spore)

5.2 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction)

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction)

การปฏิสนธิภายนอก (external fertilization)

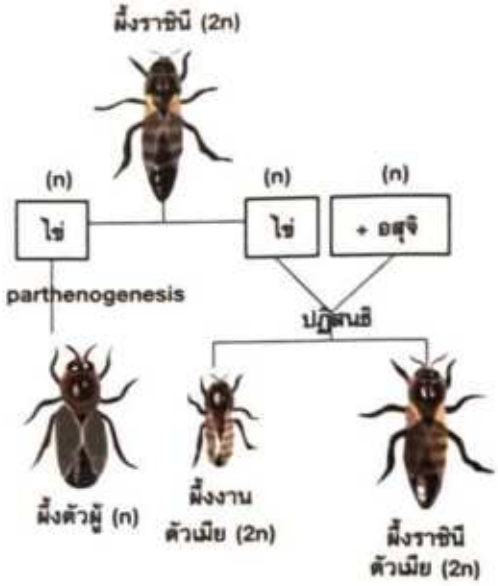
- เซลล์สืบพันธุ์ปฏิสนธิภายนอกตัวเมีย
- สัตว์น้ำส่วนใหญ่ เช่น ปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น ฟองน้ำ ไส้เดือนดิน กุ้ง หอย ปู และสัตว์มีกระดูกสันหลัง เช่น กบ
- ออกลูกเป็นไข่ เรียก oviparous

การปฏิสนธิภายใน (internal fertilization)

- เซลล์สืบพันธุ์ปฏิสนธิภายในตัวเมีย
- ออกลูกเป็นไข่ เรียก oviparous ไซโกตเจริญเป็นตัวอ่อนนอกตัวแม่ เช่น สัตว์ปีก ตุ่นปากเป็ด สัตว์เลื้อยคลาน
- ออกลูกเป็นตัว ตัวอ่อนเจริญภายในตัวแม่ แต่ตัวอ่อนอาศัยอาหารที่สะสมไว้ในไข่ เรียก ovoviviparous เช่น ฉลาม กระเบน ปลาหางนกยูง
- ออกลูกเป็นตัว ตัวอ่อนเจริญภายในตัวเมีย และตัวอ่อนอาศัยอาหารจากแม่ เรียก viviparous เช่น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

oviparous = ปฏิสนธิภายในหรือภายนอก ออกลูกเป็นไข่ เช่น นก ไก่ ปลา กบ
ovoviviparous = ปฏิสนธิภายใน ออกลูกเป็นตัว ตัวอ่อนอาศัยอาหารที่สะสมในไข่ เช่น ปลาหางนกยูง ฉลาม
viviparous = ปฏิสนธิภายใน ออกลูกเป็นตัว ตัวอ่อนอาศัยอาหารที่ได้จากแม่ เช่น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

การสืบพันธุ์ด้วยวิธีพาร์ทิโนเจเนซิส (parthenogenesis) คือ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่ไข่เพศเมียไม่ได้ปฏิสนธิกับอสุจิของเพศผู้ หรือไม่ได้รับสารพันธุกรรมจากเพศผู้ (ไข่สามารถพัฒนาเป็นตัวอ่อนได้เลยโดยไม่ต้องปฏิสนธิกับอสุจิ) เช่น ผึ้ง มด ต่อ ตั๊กแตนใบไม้ เพลี้ย จิ้งเหลนหางแส้ มังกรโคโมโด เป็นต้น



- ถ้าไข่เกิดพาร์ทิโนเจเนซิส สามารถพัฒนาเป็นตัวอ่อนเพศผู้ เช่น ผึ้ง มด ต่อ
- ถ้าไข่เกิดพาร์ทิโนเจเนซิส สามารถพัฒนาเป็นตัวอ่อนเมีย เช่น เพลี้ย ตั๊กแตนกิ่งไม้ ไรน้ำ
- ทั้งนี้ไข่ที่เจริญเป็นตัวอ่อนจะไม่เหมือนผู้ให้กำเนิด เพราะกระบวนการสร้างไข่เกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ซึ่งมีกระบวนการ crossing over ทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมของลูกที่เกิดมา

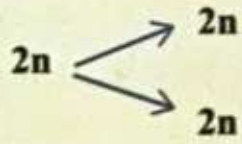
5.3 การสืบพันธุ์ของคน

การสร้างเซลล์สืบพันธุ์

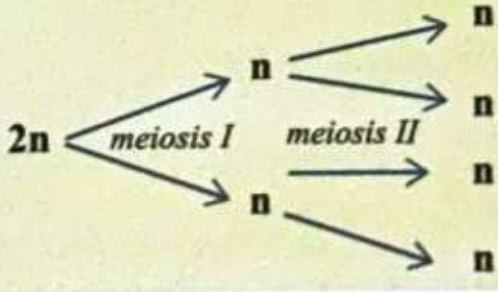
- เพศชาย อสุจิสร้างที่อัณฑะซึ่งภายในมีหลอดสร้างอสุจิ (seminiferous tubule) โดยมีเซลล์ต้นกำเนิดที่เรียกว่า primordial germ cell (2n)
- เพศหญิง ไข่สร้างที่รังไข่ โดยมีเซลล์ต้นกำเนิดที่เรียกว่า primordial germ cell (2n)

ทบทวนเรื่องการแบ่งเซลล์

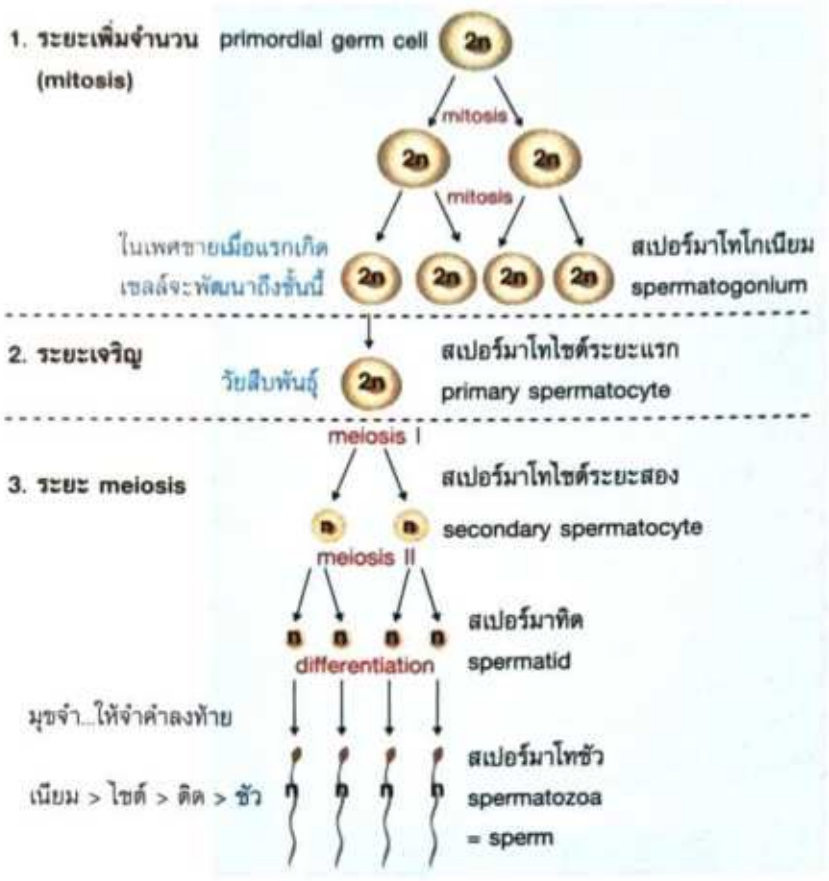
- **การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis) คือ การแบ่งเซลล์ร่างกายเพื่อการเจริญเติบโต เพิ่มจำนวนเซลล์ และซ่อมแซมส่วนที่เสียหาย โดยเป็นการแบ่งเซลล์จาก 1 เซลล์ เป็น 2 เซลล์ โดยมีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม**



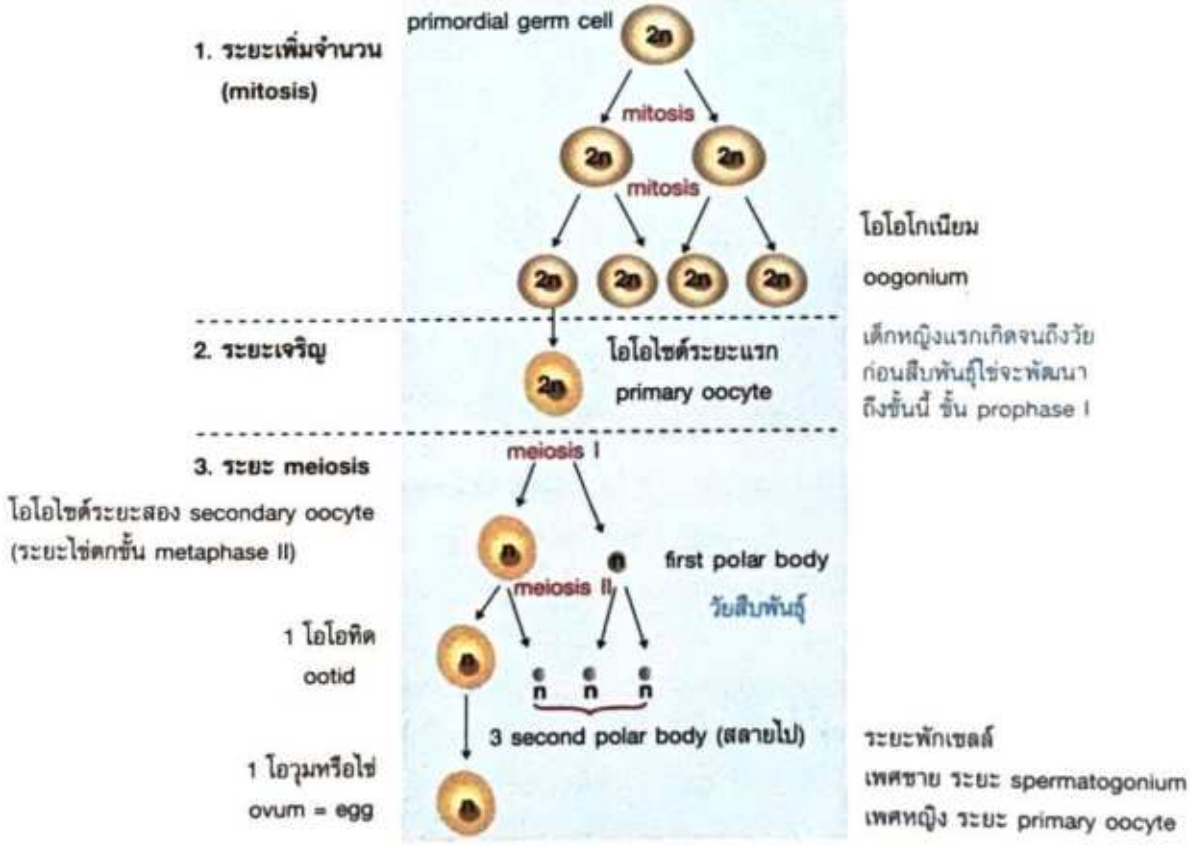
- **การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) คือ การแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (อสุจิ หรือไข่) โดยเป็นการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ จาก 1 เซลล์เป็น 4 เซลล์ ซึ่งทำให้จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง**



กระบวนการสร้างอสุจิ (spermatogenesis)



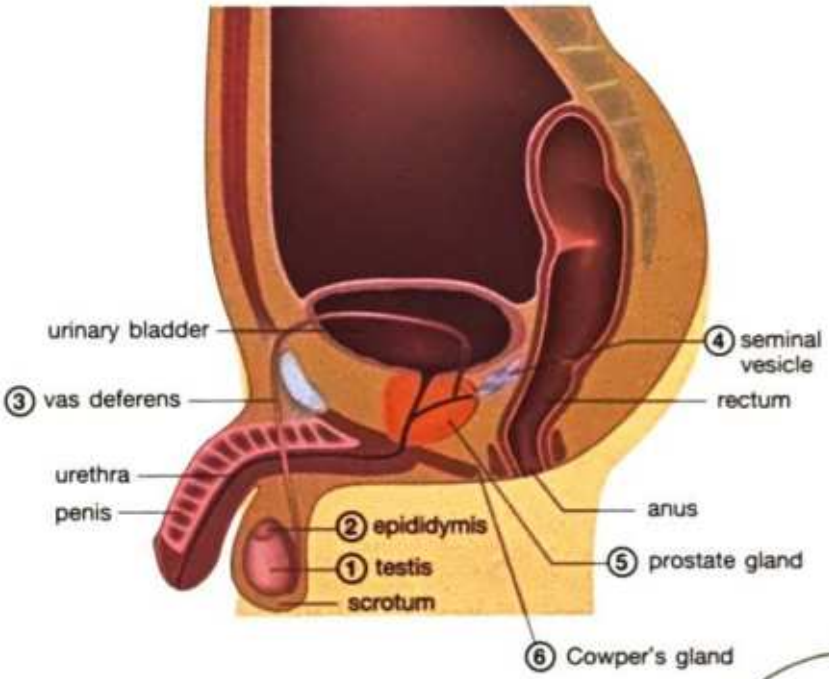
กระบวนการสร้างไข่ (oogenesis)



- สรุปกระบวนการสร้างอสุจิ (spermatogenesis) และกระบวนการสร้างไข่ (oogenesis)

กระบวนการสร้างอสุจิ (spermatogenesis)	กระบวนการสร้างไข่ (oogenesis)
▸ เซลล์ต้นกำเนิด (primordial germ cell : 2n) แบ่งเซลล์แบบไมโทซิสหลายๆ ครั้ง จนได้เซลล์ที่เรียกว่า spermatogonium (2n) จากนั้นแต่ละเซลล์จะเจริญเป็น primary spermatocyte (2n) และมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I ได้เป็น secondary spermatocyte (n) ▸ จากนั้นแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II ได้เป็น spermatid (n) โดย spermatid จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (differentiation) โดยทำให้นิวเคลียสเล็กลงมีการสลัดไซโทพลาซึมออกเกือบหมด กอลจิบอดีกลายเป็นอะโครโซม (acrosome) เพื่อสร้างเอนไซม์ในการย่อยสลายเยื่อหุ้มฟอลลิเคิล และ centriole มีการสร้างหางอสุจิ จนเรียกเซลล์นี้ว่า sperm หรือ spermatozoa (n)	▸ เซลล์ต้นกำเนิด (primordial germ cell : 2n) แบ่งเซลล์แบบไมโทซิสหลายๆ ครั้ง จนได้เซลล์ที่เรียกว่า oogonium (2n) จากนั้นจะเจริญเป็น primary oocyte (2n) ซึ่งในเด็กแรกเกิดจนถึงอายุประมาณ 12 ปี ไข่จะพัฒนาถึงขั้นนี้ ▸ เมื่อเข้าสู่วัยรุ่นจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I ได้เป็น เซลล์ขนาดใหญ่เรียก secondary oocyte (n) ซึ่งเป็นระยะไข่ตก (**ออกสอบ!!**) และเซลล์ขนาดเล็กเรียกว่า first polar body (n) ▸ จากนั้น secondary oocyte (n) แบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II ได้เป็นเซลล์ใหญ่เรียก ootid (n) และ เซลล์ขนาดเล็กเรียก second polar body (n) โดย ootid (n) มีการพัฒนาเป็นเซลล์ที่เรียกว่า ovum หรือเซลล์ไข่ (egg ; n) ▸ ส่วน first polar body (n) ก็จะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II เช่นกัน ได้เป็น second polar body (n) และสลายหายไป

5.3.1 ระบบสืบพันธุ์ของเพศชาย



การเคลื่อนที่ของอสุจิ

▲ (Cr. Sci-Inspi)

▸ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอสุจิผ่านส่วนต่างๆ จากภายในสู่ภายนอก

1. อัณฑะ (testis) อยู่ในถุงหุ้มอัณฑะ 2 ข้าง ภายในมี

- หลอดสร้างอสุจิ (seminiferous tubule) เป็นหลอดที่ขดไปมา ทำหน้าที่สร้างอสุจิ ภายในหลอดสร้างอสุจิจะมีเซลล์พี่เลี้ยง (Sertoil cell) ทำหน้าที่ให้อาหารอสุจิขณะเติบโต
- Leydig cell หรือ interstitial cell เป็นเซลล์ที่อยู่ระหว่างหลอดสร้างอสุจิทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนเพศชายคือ testosterone

2. หลอดเก็บอสุจิ (epididymis) ทำหน้าที่เก็บอสุจิจนกว่าจะเจริญเติบโตเต็มที่ หรือเป็นที่พักอสุจิ อาจได้นานถึง 6 สัปดาห์ ก่อนจะเจริญเต็มที่พร้อมที่จะขับออกไป

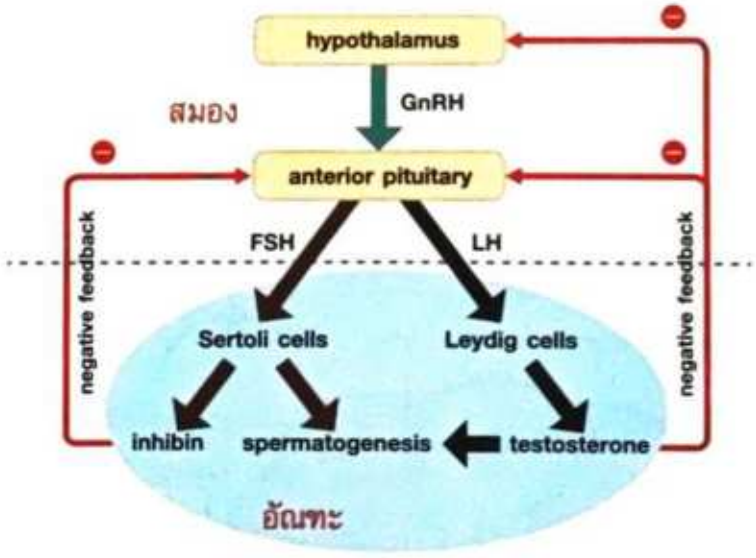
3. ท่อนำอสุจิ (vas deferens) ท่อทางผ่านอสุจิ เป็นบริเวณที่มี "การทำหมันถาวรชาย"

4. ต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ (seminal vesicle) สร้างอาหารมาเลี้ยงอสุจิ ประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทส วิตามินซี สารเมือก โปรตีนโกลบูลิน ทำให้เกิดสีของอสุจิที่มีลักษณะขาวขุ่น

5. ต่อมลูกหมาก (prostate gland) ทำหน้าที่หลั่งสารเป็นเบสอ่อน เพื่อลดความเป็นกรด (จากน้ำปัสสาวะ) ในท่อปัสสาวะและในช่องคลอดผู้หญิง ต่อมนี้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุ ซึ่งอาจจะบีบท่อปัสสาวะ เกิดการขับปัสสาวะติดขัดจึงต้องตัดออก (ถ้าจำเป็น)

6. ต่อมคาวเปอร์ (Cowper's gland) หรือต่อมบัลโบยูรีทัล (bulbourethal gland) มุขจำ จำว่าต่อมวัวคึก (cow) ทำหน้าที่หลั่งสารเบสเข้าท่อปัสสาวะ และหลั่งสารหล่อลื่นขณะมีการตื่นตัวทางเพศ (ขณะคึกนั่นเอง)

▸ ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์เพศชาย

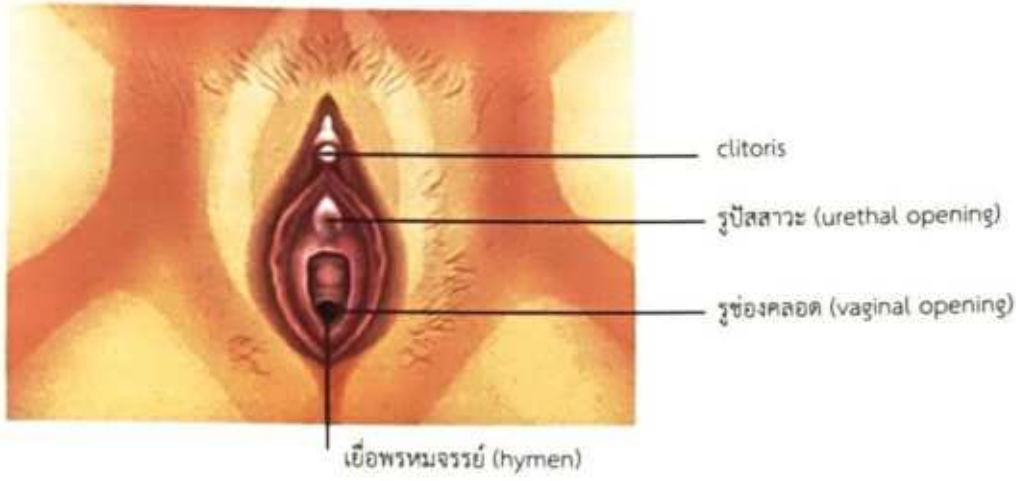


สมองส่วนไฮโพทาลามัส หลั่งโกนาโดโทรพิน รีลิสซิง ฮอร์โมน (gonadotropin releasing hormone : GnRH) กระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้า (anterior pituitary) หลั่งฮอร์โมน 2 ชนิด

- follicle stimulating hormone (FSH) กระตุ้น Sertoli cell เซลล์พี่เลี้ยงนำอาหารมาเลี้ยงอสุจิให้เจริญเติบโต
- luteinizing hormone (LH)
  - กระตุ้น Leydig cell ที่อัณฑะสร้าง testosterone คุมลักษณะขั้นที่ 2 ของเพศชาย เช่น การมีขนตามที่ต่างๆ เสียงแตก มีลูกกระเดือก อวัยวะเพศมีขนาดใหญ่ขึ้น ร่างกายกำยำ

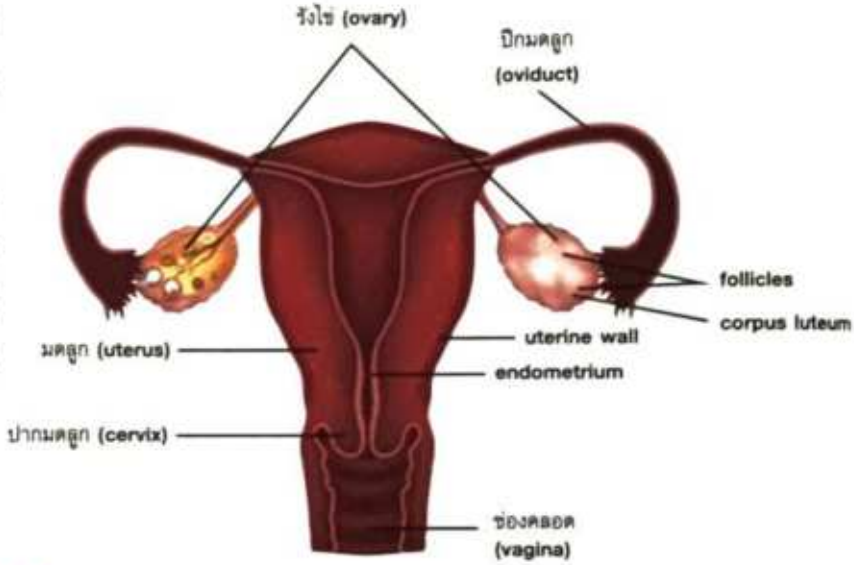
ถ้าร่างกายมี testosterone มากเกินไป testosterone จะย้อนกลับไปยับยั้งอวัยวะที่ควบคุมสร้าง testosterone เราเรียกวิธีการย้อนกลับไปยับยั้งของฮอร์โมนนี้ว่า negative feedback

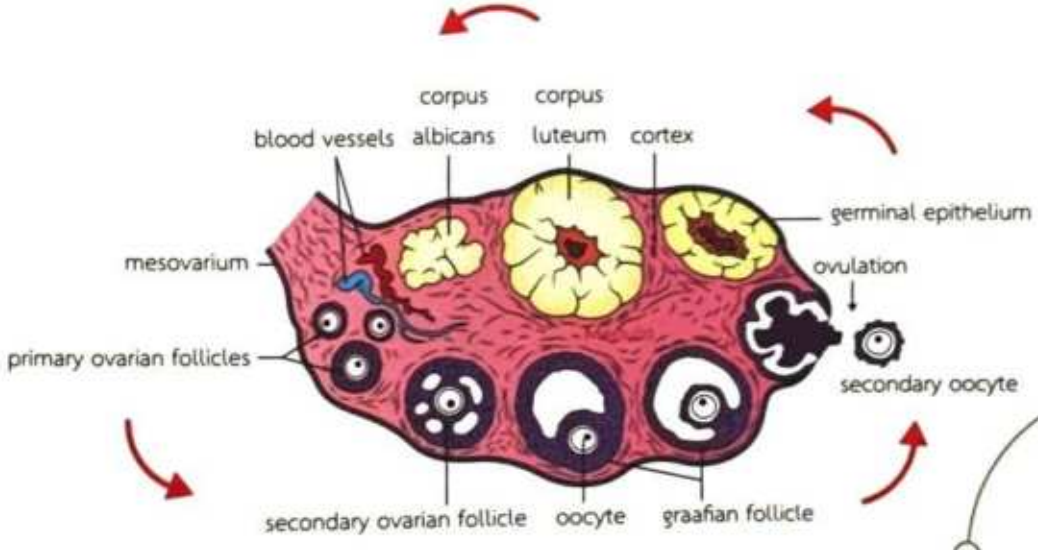
5.3.2 ระบบสืบพันธุ์ของเพศหญิง



รังไข่ (ovary) ทำหน้าที่สร้างไข่ (oogenesis) และฮอร์โมนเพศ เป็นบริเวณที่เกิดการตกไข่ (ovulation)

ท่อนำไข่ (fallopian tube หรือ oviduct) เป็นท่อที่รับไข่ที่ตก (ระยะ secondary oocyte) ที่สร้างมาจากรังไข่ และเป็นบริเวณที่เกิดการปฏิสนธิระหว่างอสุจิและไข่กลายเป็นไซโกต (zygote)





การตกไข่

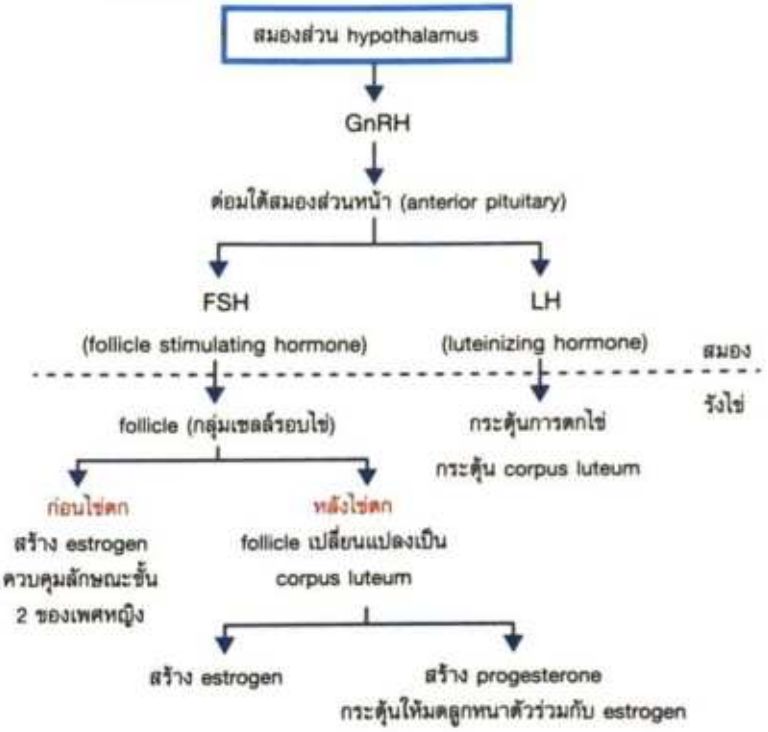
▲ (Cr. Nucleus Medical Media)

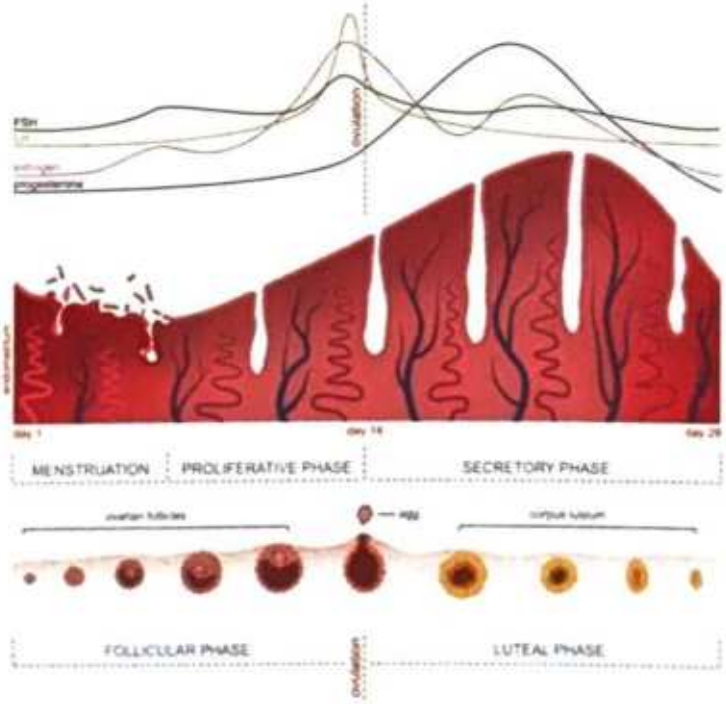
มดลูก (uterus) เป็นบริเวณที่ฝังตัวของเอ็มบริโอ มีผนังมดลูกลักษณะเป็นชั้นๆ 3 ชั้น คือ

- ชั้นในสุด (endometrium) ลักษณะคล้ายฟองน้ำและมีหลอดเลือดมาเลี้ยงมาก ถ้ามีการฝังตัวของเอ็มบริโอชั้นนี้จะเป็นที่แลกเปลี่ยนแก๊ส และส่งอาหารเลี้ยงเอ็มบริโอ หากไข่ไม่ได้รับการปฏิสนธิผนังมดลูกชั้นนี้จะหลุดสลายกลายเป็นประจำเดือน
- ชั้นกลาง (myometrium) เป็นกล้ามเนื้อเรียบ แข็งแรงและยืดหยุ่นได้ดีมาก สามารถขยายตัวได้หลายเท่าและบีบตัวให้ทารกคลอดออกมาได้
- ชั้นนอกสุด perimetrium หรือซีโรซา (serosa) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

ช่องคลอด (vagina) เป็นบริเวณทางเข้าของอวัยวะสืบพันธุ์เพศชายขณะมีเพศสัมพันธ์ ในเด็กหญิงจะพบเยื่อพรหมจรรย์ (hymen) ภายในมีเมือกและกล้ามเนื้อเรียบที่ขยายตัวได้หลายเท่าโดยเฉพาะตอนคลอดลูก

▸ สรุปฮอร์โมนในเพศหญิง **(ออกสอบบ่อย!!)**





- การทำงานของฮอร์โมน estrogen และ progesterone ในเพศหญิง

	ผลต่อระบบสืบพันธุ์	ผลต่ออวัยวะอื่นๆ
estrogen	กระตุ้นลักษณะขั้น 2 ของเพศหญิง เช่น การขยายของเต้านม สะโพกผาย เสียงเล็กแหลม อวัยวะเพศขยายใหญ่ มีขนตามอวัยวะเพศ, รักแร้ มีการเปลี่ยนแปลงที่รังไข่และเยื่อบุมดลูก	▸ กระตุ้นการสะสมไขมันตามที่ต่างๆ เช่น ต้นขา สะโพก ▸ กระตุ้นการเจริญของกระดูก ▸ ขัดขวางการทำงานของฮอร์โมนแอนโดรเจน เป็นฮอร์โมนในกลุ่มเพศชาย (ยับยั้ง)
progesterone	▸ กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของเยื่อบุมดลูกชั้นในให้เจริญพร้อมที่จะให้ตัวอ่อนฝังตัว ▸ ทำงานร่วมกับอีสโทรเจน โดยกลับไปยับยั้ง FSH และ LH เพื่อไม่ให้มีไข่ตกซ้อน	▸ กระตุ้นการเจริญของต่อมน้ำนม และกระตุ้นการสร้างน้ำนม ▸ กระตุ้นกล้ามเนื้อเรียบที่หลอดเลือด ทางเดินอาหาร คลายตัว

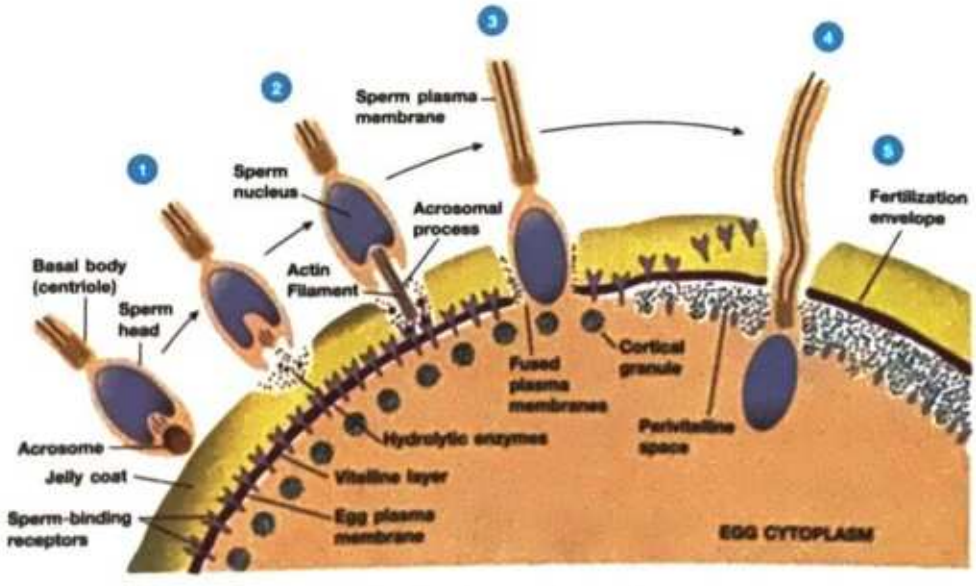
Quiz Yourself

1) ฮอร์โมนใดกระตุ้นการทำงานของ corpus luteum ในเพศหญิง และ Leydig cell ในเพศชาย
   1. LH
   2. FSH
   3. HCG
   4. Prolactin
   5. Estrogen

2) ข้อใดเป็นแหล่งผลิตฟรักโทสสำหรับเป็นสารให้พลังงานสำคัญของอสุจิ
   1. seminiferous tubule
   2. epididymis
   3. prostate gland
   4. seminal vesicle
   5. bulbourethal gland

5.4 การปฏิสนธิ

การปฏิสนธิของเซลล์ไข่และสเปิร์มของเม่นทะเล



▲ (Cr. nicerweb.com)

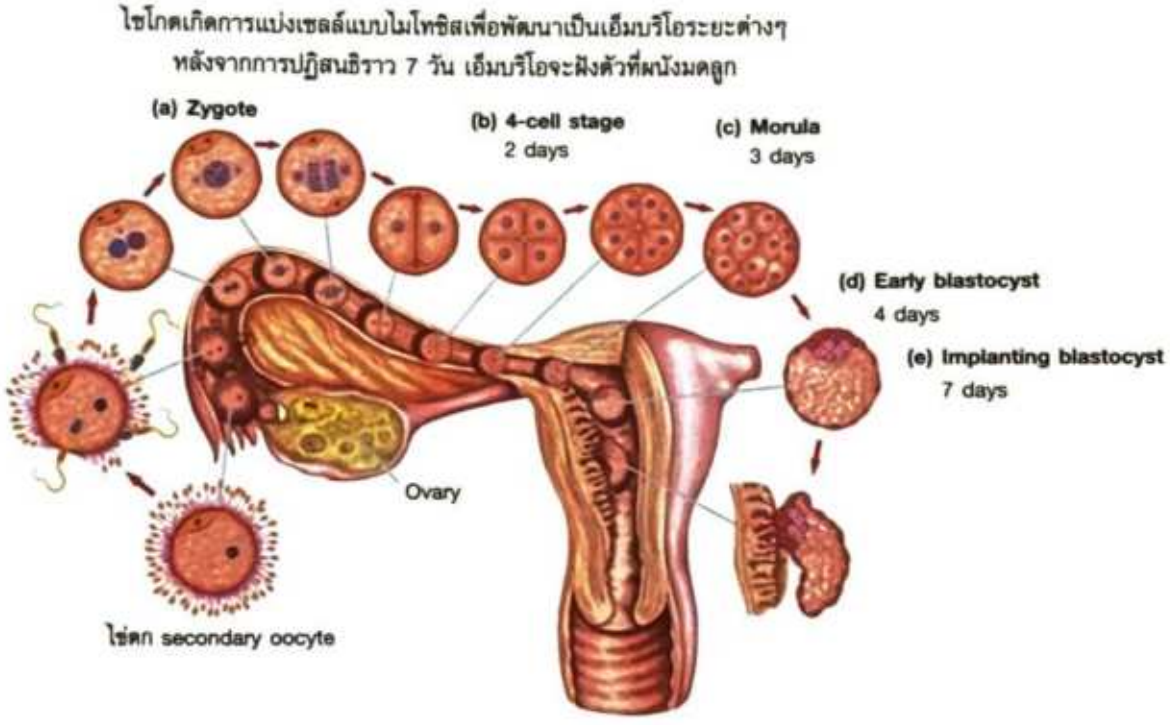
① อสุจิสัมผัสกับไข่ เกิดปฏิกิริยาอะโครโซม (acrosome reaction) คือ ถุงอะโครโซมที่ส่วนหัวของอสุจิปล่อยเอนไซม์หลายชนิดออกมาย่อยวุ้นหุ้มไข่ (jelly coat)

② อะโครโซมยื่นอะโครโซมัล โพรเซสส์ (acrosomal process) ซึ่งมีโปรตีนจับกับหน่วยรับที่ชั้นวิเทลลีน (vitelline layer) ของเซลล์ไข่

③ เยื่อหุ้มเซลล์ของอสุจิและเยื่อหุ้มเซลล์ของไข่เชื่อมกัน

④-⑤ นิวเคลียสของอสุจิเข้าสู่ไข่ ทำให้คอร์ทิคัล แกรนูล (cortical granule) ถูกกระตุ้นเกิดการหลั่งสารที่ทำให้ชั้นวิเทลลีนหนาตัวขึ้น เกิดเป็นเยื่อปฏิสนธิ (fertilization membrane) เพื่อป้องกันไม่ให้อสุจิตัวอื่นเข้ามาอีก

5.5 การตั้งครรภ์



ระยะที่เอ็มบริโอฝังตัวที่มดลูกคือ ระยะ blastocyst ภายใน ประกอบด้วย

- inner cell mass อยู่ภายในจะพัฒนากลายเป็นตัวอ่อนต่อไป
- trophoblast อยู่รอบนอกจะเข้าฝังตัวกับผนังมดลูกชั้น endometrium และเกิดการสร้างเป็นรกในที่สุด

5.6 การเจริญเติบโตของสัตว์ (animal development)

การเจริญเติบโตเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงของร่างกายสิ่งมีชีวิต โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์ (cell multiplication) การเพิ่มจำนวนโพรโทพลาซึม เพิ่มขนาดของเซลล์ และมีการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ไปเป็นเนื้อเยื่อหรืออวัยวะบางอย่าง

ชนิดของไข่แดงที่สะสมในเอ็มบริโอ

ไข่แดงเป็นอาหารเลี้ยงตัวอ่อนขณะที่มีการเจริญเติบโต มี 4 แบบ

- พวกไข่แดงน้อย และไม่มี (microlecithal egg และ alecithal egg) มีการกระจายตัวของไข่แดงสม่ำเสมอ ตัวอ่อนไม่จำเป็นต้องใช้ไข่แดงในการเจริญเติบโตมาก เพราะได้รับอาหารจากแม่ พบใน แม่นทะเล ดาวทะเล แอมฟิออกซัส สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

- พวกไข่แดงปานกลาง (mesolecithal egg) อาจมีการสะสมไข่แดงที่ด้านล่างของเซลล์ (vegetal pole) ทำให้แบ่งเซลล์ช้ากว่า (ไข่แดงขัดขวางการแบ่งเซลล์) เซลล์ด้านล่างจึงมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ด้านบน (animal pole) ซึ่งแบ่งตัวเร็วกว่า พบในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก

การแบ่งเซลล์ของพวกไข่แดงน้อย หรือไม่มี
(microlecithal egg และ alecithal egg)

การแบ่งเซลล์ของพวกไข่แดงปานกลาง
(mesolecithal egg)

▲ (Cr. kenyon.edu)

- พวกไข่แดงมาก (polylecithal และ macrolecithal egg) ไข่แดงสะสมอยู่ด้านล่างของเซลล์มากทำให้ไม่เกิดการแบ่งเซลล์ และจะพบการแบ่งเซลล์เฉพาะด้านบน ได้แก่ พวกสัตว์ปีก สัตว์เลื้อยคลานและพวกปลาบางชนิด
- พวกไข่แดงอยู่ตรงกลางเซลล์ (centrolecithal egg) ได้แก่ ไข่ของพวกแมลงต่างๆ

ขั้นตอนการเจริญเติบโตในเอ็มบริโอของสัตว์

- ขั้นตอนที่ 1 cleavage

ระยะคลีเวจ (cleavage) เป็นการเพิ่มจำนวนเซลล์โดยการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

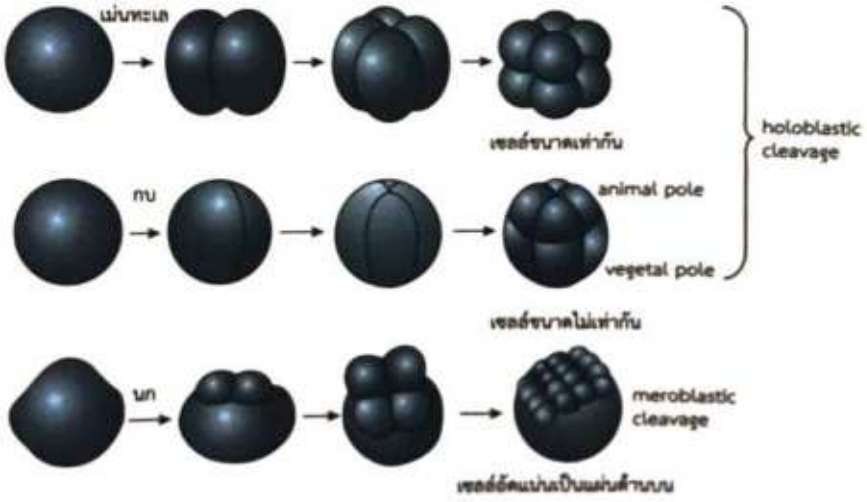
- ตัวอ่อนระยะนี้แบ่งเซลล์เป็นทรงกลมตันคล้ายลูกน้อยหน่าเรียกว่า มอรูลา (morula)
- เซลล์เล็กๆ ที่เกิดขึ้นใหม่เรียก บลาสโตเมียร์ (blastomere)

โฮโลบลาสติก คลีเวจ (holoblastic cleavage) เป็นการเจริญของเอ็มบริโอในระยะคลีเวจที่เกิดการแบ่งตลอดทั้งเซลล์ พบในสัตว์พวกไข่แดงน้อย และไข่แดงปานกลาง

- โฮโลบลาสติก คลีเวจ ที่ได้เซลล์ขนาดเท่ากัน พบในสัตว์พวกไข่แดงน้อย เช่น แม่นทะเล ดาวทะเล
- โฮโลบลาสติก คลีเวจ ที่ได้เซลล์ขนาดไม่เท่ากัน พบในสัตว์พวกไข่แดงปานกลาง เช่น กบ คางคก เซลล์ใหม่ด้านบน (animal pole) จะมีขนาดเล็กกว่าเซลล์ใหม่ด้านล่าง (vegetal pole) เพราะบริเวณด้านล่างมีไข่แดงสะสม ซึ่งขัดขวางการแบ่งเซลล์

เมอโรบลาสติก คลีเวจ (meroblastic cleavage) เป็นการเจริญของเอ็มบริโอในระยะคลีเวจที่เกิดการแบ่งเซลล์บางส่วนเท่านั้น พบในพวกสัตว์ที่มีไข่แดงมาก เช่น ปลา สัตว์ปีก สัตว์เลื้อยคลาน

- คลีเวจเกิดขึ้นที่บริเวณเจอร์มินัล ดิสก์ (germinal disc) ด้านบนมีการแบ่งเซลล์เพราะไม่มีไข่แดง ส่วนด้านล่างมีไข่แดงสะสมมากจะไม่เกิดการแบ่งเซลล์ (ไข่แดงขัดขวางการแบ่งเซลล์)
- เมื่อเกิดการแบ่งเซลล์หลายๆ ครั้งจะได้บลาสโทเมียร์ที่อัดแน่นเป็นแผ่นเรียกว่า บลาสโทดิสก์ (blastodisc)



- ขั้นตอนที่ 2 blastulation

  ระยะบลาสทูเลชัน (blastulation) กระบวนการสำคัญคือเกิดช่องว่างภายในเอ็มบริโอ เรียกบลาสโทซีล (blastocoel)
  - ตัวอ่อนระยะนี้เรียกว่า บลาสทูลา (blastula)
  - ในไก่เรียกกลุ่มเซลล์ที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ระยะนี้ว่า บลาสโทเดิร์ม (blastoderm) หรือบลาสโทดิสก์ (blastodisc)
  - ในคนเรียกตัวอ่อนระยะนี้ว่า บลาสโทซีสต์ (blastocyst) เกิดกลุ่มเซลล์ inner cell mass อยู่ด้านใน พัฒนากลายเป็นตัวอ่อน และกลุ่มเซลล์ trophoblast ด้านนอกจะเข้าฝังตัวที่ผนังมดลูกชั้นใน เกิดการพัฒนาของรกต่อไป
- ขั้นตอนที่ 3 gastrulation

  ระยะแกสทรูเลชัน (gastrulation) เกิดช่องว่างใหม่เรียกว่า แกสโทรซีล (gastrocoel) หรืออาเคนเทอรอน (archenteron)
  - ตัวอ่อนระยะนี้เรียก gastrula
  - กระบวนการสำคัญคือเกิดรูแรกของชีวิต คือ บลาสโทพอร์ (blastopore)
    - ถ้าบลาสโทพอร์พัฒนาเป็นปาก เรียกว่า พวกปากเกิดก่อนทวาร (protostome) (..pro = ก่อน ...stoma = ปาก) ได้แก่ พวกหนอนตัวแบน หนอนตัวกลม หนอนปล้อง แมลง หอย หมึก
    - ถ้าบลาสโทพอร์พัฒนาเป็นทวาร เรียกว่า พวกทวารเกิดก่อนปาก (deuterostome) (..deu = 2 ...stoma = ปาก) ได้แก่ พวกเอกไคโนเดิร์ม (เม่นทะเล ดาวทะเล) สัตว์มีกระดูกสันหลัง
  - เมื่อเกิดบลาสโทพอร์ ทำให้มีการดันเซลล์ที่แบ่งใหม่เข้าไปในตัวอ่อน เกิดเนื้อเยื่อของตัวอ่อน 3 ชั้น คือ ชั้นนอก (ectoderm) ชั้นกลาง (mesoderm) และชั้นใน (endoderm)
- ขั้นตอนที่ 4 organogenesis

  ระยะออร์แกโนเจเนซิส (organogenesis) กระบวนการเกิดอวัยวะต่างๆ โดยการพัฒนาของเนื้อเยื่อ 3 ชั้น

การเจริญของเอ็มบริโอกบ

▲ (Cr. Jordy)

การเจริญของเอ็มบริโอมนุษย์

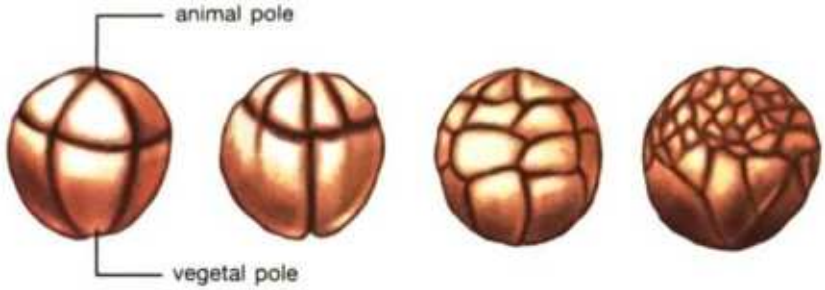
▲ Cr. Vitrolife

การเจริญของเอ็มบริโอไก่

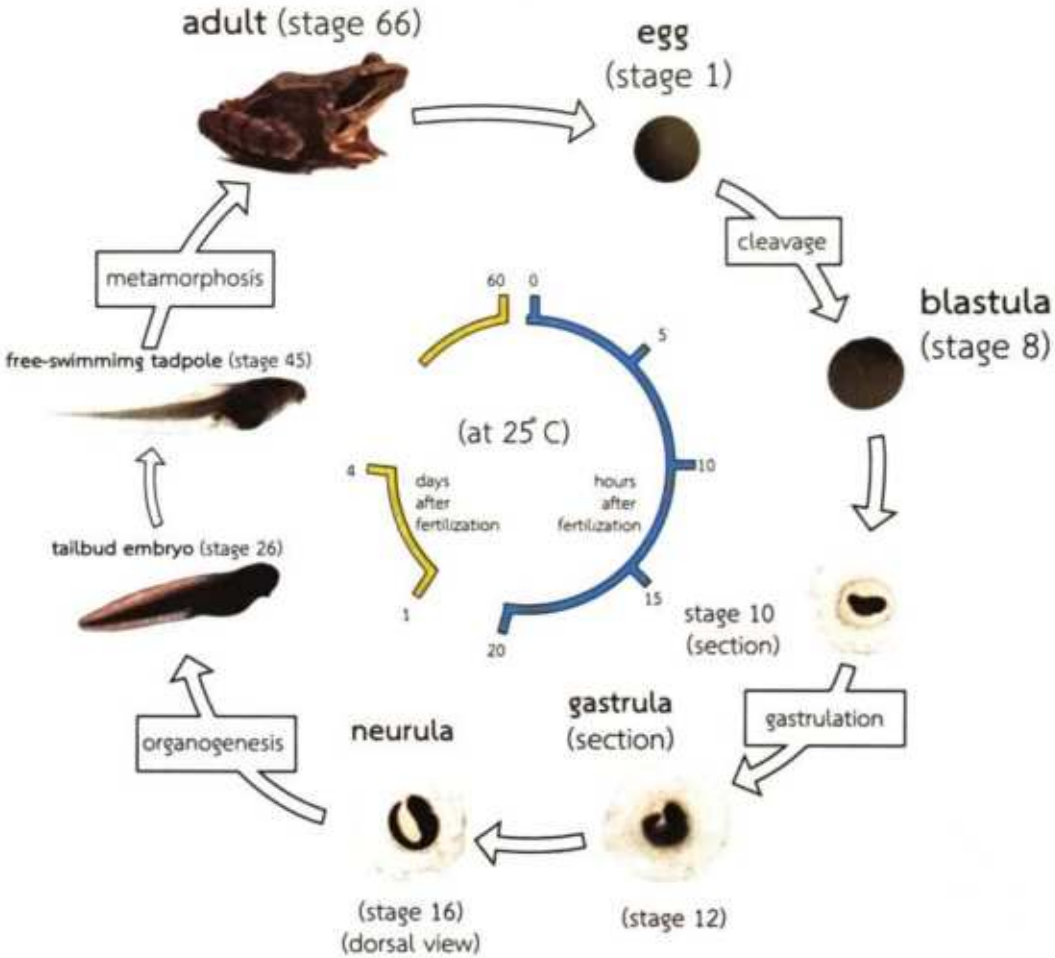
▲ (Cr. AXS Biomedical Animation Studio Inc.)

การเจริญเติบโตของกบ

- กบมีไข่แดงสะสมปานกลาง (mesolecithal egg)
- คลีเวจแบบแบ่งทั้งเซลล์ (holoblastic cleavage) เมื่อแบ่งแล้วจะได้เซลล์ที่มีขนาดไม่เท่ากัน ส่วนบนเรียก animal pole ไม่มีไข่แดงมาขัดขวางการแบ่งเซลล์จึงทำให้เกิดการแบ่งเซลล์มากได้เซลล์มีขนาดเล็ก ส่วนด้านล่างเรียก vegetal pole มีไข่แดงสะสมอยู่จึงขัดขวางการแบ่งเซลล์ทำให้เกิดการแบ่งเซลล์ได้น้อย เซลล์จึงมีขนาดใหญ่

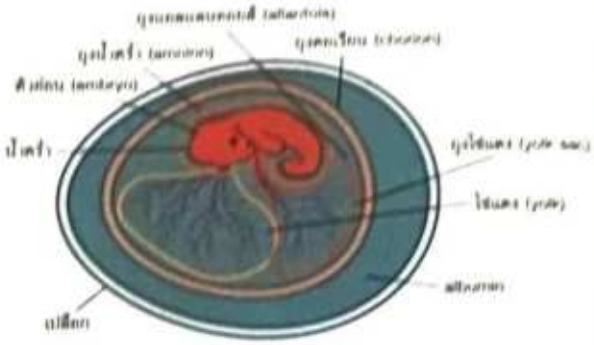


- การเจริญระยะหลังเอ็มบริโอของกบจะเกิดกระบวนการเมทามอร์โฟซิส (metamorphosis) คือ กระบวนการที่ตัวอ่อน (larva) มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทีละเล็กทีละน้อยจนไปเป็นตัวเต็มวัย โดยมีฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ของกบ คือ ฮอร์โมนไทรอกซิน กระตุ้นการเกิดเมทามอร์โฟซิส



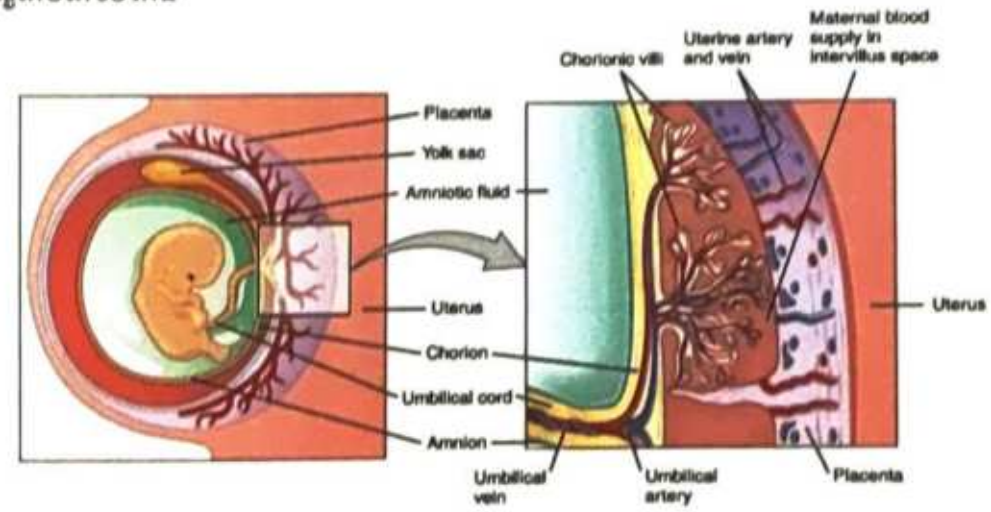
▲ (Cr. tumblr.com)

การเจริญเติบโตของไก่



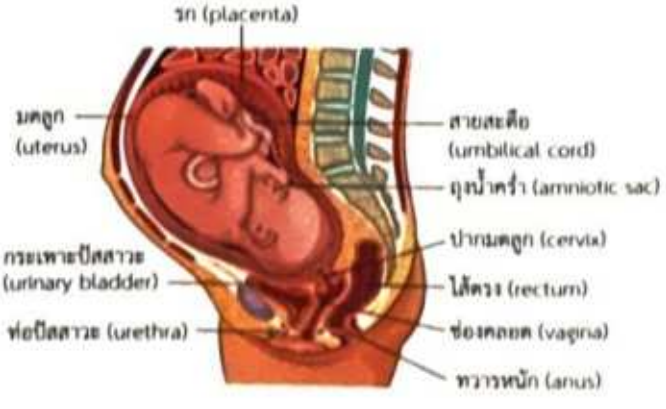
- ไก่มีไข่แดงสะสมมาก (macrolecithal egg)
- คลีเวจแบบแบ่งไม่ทั้งเซลล์ (meroblastic cleavage) โดยด้านล่างมีไข่แดงสะสมอยู่มากซึ่งขัดขวางการแบ่งเซลล์ จึงมีการแบ่งเซลล์เฉพาะส่วนด้านบนเท่านั้น เรียกบริเวณนั้นว่า germinal disc กลุ่มเซลล์ที่แบ่งตัวเรียก บลาสโทเดิร์ม (blastoderm) หรือบลาสโทดิสก์ (blastodisc)
- ระยะบลาสทูลา บลาสโทเดิร์มจะยกตัวขึ้นจากชั้นของไข่แดงเกิดช่องว่างบลาสโทซีล
- องค์ประกอบภายในไข่ไก่
  1. ถุงคอเรียน (chorion) อยู่นอกสุดติดกับเปลือกไข่ ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส
  2. ถุงน้ำคร่ำ (amnion) ภายในมีน้ำคร่ำป้องกันการกระทบกระเทือนของเอ็มบริโอ
  3. ถุงแอลแลนทอยส์ (allantois) มีหลอดเลือดฝอยรอบทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊สและเก็บสะสมของเสียพวกกรดยูริก
  4. ถุงไข่แดง (yolk sac) เป็นอาหารเลี้ยงเอ็มบริโอ

การเจริญเติบโตของคน



▲ (Cr. wikimedia.org)

สายสะดือ (umbilical cord) มีเส้นเลือด 3 เส้น ประกอบด้วย



1. umbilical vein นำเลือดที่มีออกซิเจนและสารอาหารจากรกของแม่ส่งมาเข้าหัวใจของตัวอ่อน มี 1 เส้น
2. umbilical artery นำเลือดที่มีออกซิเจนต่ำและของเสียจากตัวอ่อนส่งมาแลกเปลี่ยนแก๊สที่รกแม่ มี 2 เส้น

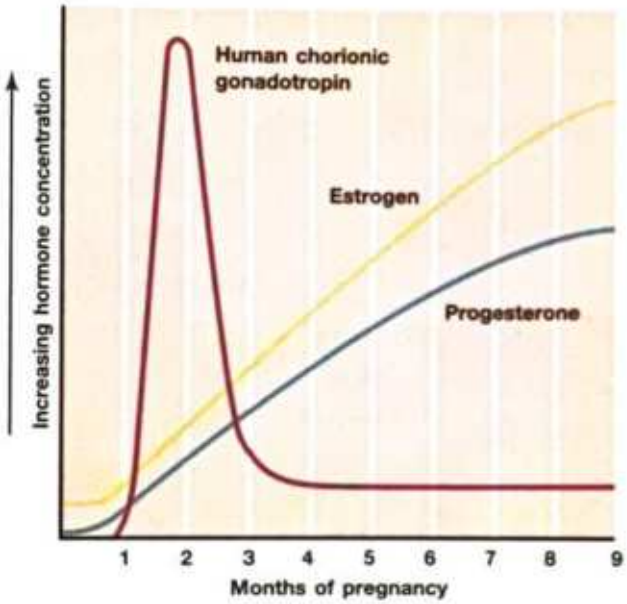
รก (placenta) เป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนแก๊สและอาหารระหว่างตัวอ่อนกับแม่ ใน 4 เดือนแรกรกจะสร้างฮอร์โมน HCG (human chorionic gonadotropin) สูง ซึ่งขับออกมากับปัสสาวะ จึงใช้ HCG ในการตรวจสอบการตั้งครรภ์ได้

ถุงน้ำคร่ำ (amnion) ภายในมีน้ำคร่ำป้องกันการกระทบกระเทือนของเอ็มบริโอ

ถุงไข่แดง (yolk sac) มีขนาดเล็กมาก ทำหน้าที่ช่วยสร้างเม็ดเลือดในระยะแรกๆ

- คนมีไข่แดงสะสมน้อย (microlecithal egg)
- คลีเวจแบบแบ่งทั้งเซลล์ (holoblastic cleavage)
- ระยะบลาสทูลาเกิดการสร้างตัวอ่อนเรียกบลาสโทซีสต์ (blastocyst) มีช่องว่างภายในเรียก บลาสโทซีล (blastocoel) ตัวอ่อนระยะนี้เป็นตัวอ่อนที่ฝังตัวที่ผนังมดลูกชั้นใน โดยมีกลุ่มเซลล์ด้านในเรียก inner cell mass จะพัฒนากลายเป็นตัวอ่อนต่อไป ส่วนกลุ่มเซลล์ข้างนอกเรียก trophoblast ซึ่งจะพัฒนาเป็นรกต่อไป
- เมื่อผ่านไป 2 เดือน (8 สัปดาห์) อวัยวะต่างๆ จะเจริญครบถ้วน ซึ่งเป็นระยะสิ้นสุดของเอ็มบริโอ หลังจากนี้เราจะเรียกตัวอ่อนว่า ฟีตัส (fetus) และเมื่อถึงอายุครรภ์ประมาณ 280 วัน หรือ 9 เดือน ทารกจะคลอดออกมา

▸ ระดับฮอร์โมนขณะตั้งครรภ์



▲ (Cr. wikispaces.com)

เทคนิคการตรวจน้ำคร่ำ (amniocentesis) โดยการเจาะที่หน้าท้องของแม่เข้าไป การตรวจน้ำคร่ำเพื่อศึกษาความผิดปกติและจำนวนโครโมโซมของทารกในครรภ์ และทำให้ทราบเพศของทารกด้วย

Quiz Yourself

3) ข้อใดเป็นอวัยวะที่เจริญมาจาก ectoderm, mesoderm และ endoderm ตามลำดับ

1. เลนส์ตา รังไข่ ตับ
2. อัณฑะ ไต ตับอ่อน
3. เลนส์ตา ไขสันหลัง รังไข่
4. ตับ อัณฑะ ไต
5. ตับอ่อน หัวใจ ไขสันหลัง

5.7 การแก้ไขภาวะมีบุตรยาก

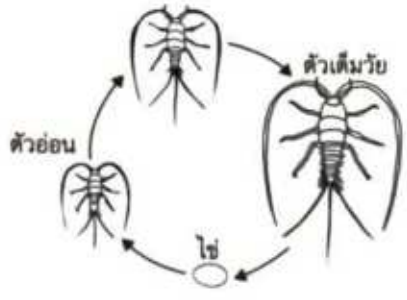
สาเหตุของการมีบุตรยากเกิดได้ทั้งในเพศชายและเพศหญิง กรณีผิดปกติที่เพศหญิง เช่น ผิดปกติที่ท่อนำไข่ ไข่ไม่ตก โพรเจสเทอโรนมีการหลั่งผิดปกติ ความผิดปกติที่มดลูก เป็นต้น กรณีผิดปกติในเพศชาย เช่น จำนวนอสุจิน้อยต่อการหลั่ง 1 ครั้ง อสุจิมีรูปร่างผิดปกติ อัณฑะติดเชื้อ เป็นต้น วิธีช่วยทำให้มีบุตรสามารถทำได้ดังนี้

วิธีการ	การปฏิสนธิ/ระยะนำเข้าร่างกาย	รายละเอียด
1. ทารกหลอดแก้ว (test tube babies หรือ *In-Vitro* Fertilization : IVF)	ภายนอก/นำเข้าระยะเอ็มบริโอที่โพรงมดลูก	▸ ผสมอสุจิ + ไข่ ที่หลอดทดลอง เมื่อเกิดการปฏิสนธิจะเลี้ยงเอ็มบริโอในน้ำยาและปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม ก่อนนำเข้าโพรงมดลูก
2. การทำซิฟท์ (ZIFT = Zygote Intrafallopian Transfer)	ภายนอก/นำเข้าระยะไซโกต (จากชื่อ) แล้วนำเข้าที่ท่อนำไข่ (fallopian tube : จากชื่อ)	▸ ใช้ในกรณีที่ผู้ชายอสุจิน้อยหรือเคลื่อนที่ไม่ดี ▸ ผสมอสุจิ + ไข่ จนได้ระยะไซโกต นำไซโกตระยะ 4 เซลล์ เข้าไปให้เกิดการฝังตัวเองตามธรรมชาติ โอกาสสำเร็จน้อย
3. การทำกิฟต์ (GIFT = Gamete Intrafallopian Transfer)	ภายใน/นำไข่และตัวอสุจิ ออกมานอกร่างกายแล้วฉีดเข้าไปที่ท่อนำไข่	▸ มีการกระตุ้นให้เกิดการตกไข่ และมีการคัดเลือกอสุจิภายนอก ▸ ไข่ที่ถูกเลือกไว้แล้วจะถูกดูดเข้ามาในสายยางที่ใช้สำหรับการย้ายเซลล์สืบพันธุ์เข้าท่อนำไข่ รวมกับเชื้ออสุจิที่เตรียมไว้ แล้วนำมาที่ท่อนำไข่ จากนั้นจึงฉีดไข่และอสุจิที่เตรียมไว้เข้าท่อนำไข่โดยตรง (วิธีการนี้มีการเจาะท้องส่องกล้อง)
4. การทำอิกซี่ (ICSI : Intracytoplasmic Sperm Injection)	ภายนอก/นำไข่และอสุจิออกมาข้างนอก แล้วฉีดเชื้ออสุจิเข้าไปในเซลล์ไข่โดยตรง แล้วนำเข้าที่โพรงมดลูก	▸ ฉีดอสุจิเข้าไปในไข่เลย แตกต่างกับเด็กหลอดแก้วที่ปล่อยให้อสุจิผสมกับไข่เองตามธรรมชาติ

5.8 เมทามอร์โฟซิส (metamorphosis)

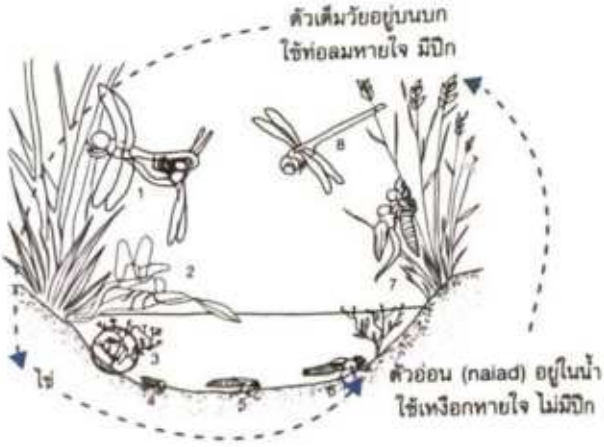
เมทามอร์โฟซิส (metamorphosis) คือ การเจริญเติบโตที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังระยะเอ็มบริโอ ส่วนใหญ่เกิดในแมลง มี 4 รูปแบบ คือ

- แบบ ametabolous พวกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แต่เปลี่ยนแปลงที่ขนาดเท่านั้น กล่าวคือลูกหน้าตาเหมือนพ่อแม่ (ตัวเต็มวัย) แต่ขนาดเล็กกว่า ได้แก่ ตัวสองง่าม ตัวสามง่าม แมลงหางดีด

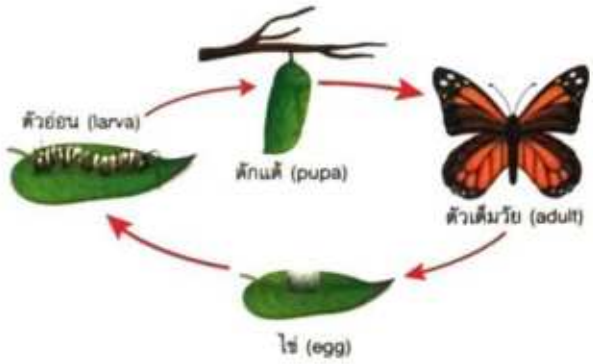


- แบบ gradual metamorphosis พวกที่มีการเปลี่ยนแปลงทีละเล็กน้อย ตัวอ่อนต่างจากตัวเต็มวัยเล็กน้อย ได้แก่ ตั๊กแตน แมลงสาบ จิ้งหรีด เรือด ปลวก จักจั่น มวน เพลี้ยอ่อน

- แบบ incomplete metamorphosis พวกที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไม่สมบูรณ์ ตัวอ่อนอยู่ในน้ำ (naiad) มีลักษณะไม่เหมือนตัวเต็มวัย เช่น ตัวชีปะขาว แมลงปอเข็ม

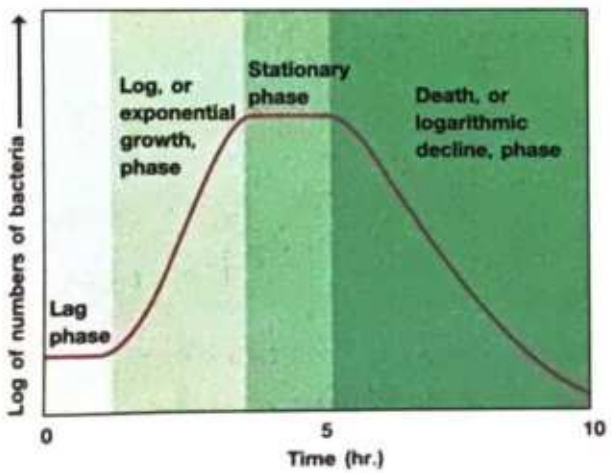


- แบบ complete metamorphosis มีการเปลี่ยนร่างกายแบบสมบูรณ์ กล่าวคือ ไข่ ตัวอ่อน ดักแด้ ตัวเต็มวัย มีรูปร่างไม่เหมือนกัน ได้แก่ ผีเสื้อ แมลงวันต่อ แตน มด ผึ้ง ยุง ด้วงปีกแข็ง



5.9 กราฟของการเจริญเติบโต (growth curve)

กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย



จากกราฟสามารถอธิบายได้ว่า

- lag phase ความชันต่ำการเจริญเติบโตน้อย หรือเติบโตช้าๆ
- log phase กราฟชันมากขึ้น มีการเจริญเติบโตมาก
- stationary phase กราฟขนานกับแกน X ไม่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นถึงจุดโตเต็มที่
- death phase กราฟลงต่ำ มีการตายของเซลล์เกิดขึ้น

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 1.** เพราะ LH เป็นฮอร์โมนที่หลั่งจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้ออกฤทธิ์ที่รังไข่หรืออัณฑะ หน้าที่คือ กระตุ้นการเจริญของไข่ กระตุ้นการตกไข่ ทำให้ corpus luteum ในรังไข่ซึ่งทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนเพศหญิง ในเพศชาย LH กระตุ้น Leydig cell ให้สร้างฮอร์โมนเพศชาย

2) **ตอบ 4.** เพราะ seminal vesicle หรือถุงสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ สร้างอาหารมาเลี้ยงอสุจิ ประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทส วิตามินซี สารเมือก โปรตีนโกลบูลิน ทำให้เกิดสีของอสุจิที่มีลักษณะขาวขุ่น

3) **ตอบ 1.** เพราะระยะออร์แกโนเจเนซิส (organogenesis) คือ กระบวนการเกิดอวัยวะต่างๆ โดยการพัฒนาของเนื้อเยื่อ 3 ชั้น

การทำ ICSI

▲ Cr. Penn Medicine

การคลอดลูก

▲ (Cr. Weerachai Jansook)

การเมทามอร์โฟซิส ของผีเสื้อ

▲ (Cr. Duncan Scott Productions)

การงอกใหม่ของ พลานาเรีย

▲ (Cr. rinrinranran5510)

binary fission ของพารามีเซียม

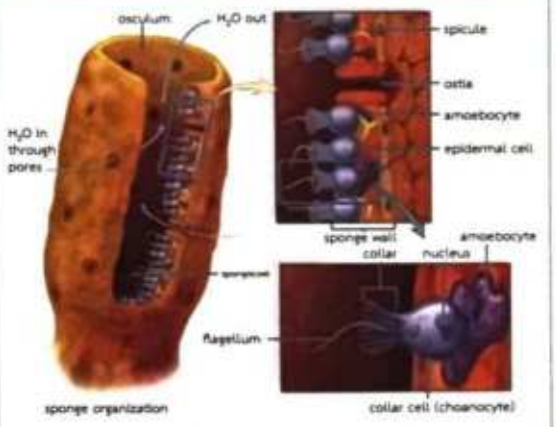
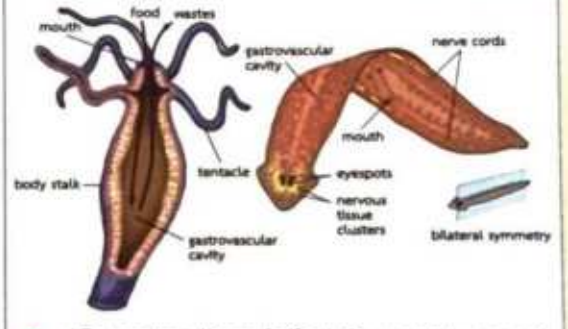
▲ (Cr. MICROinACTION)

บทที่ 06

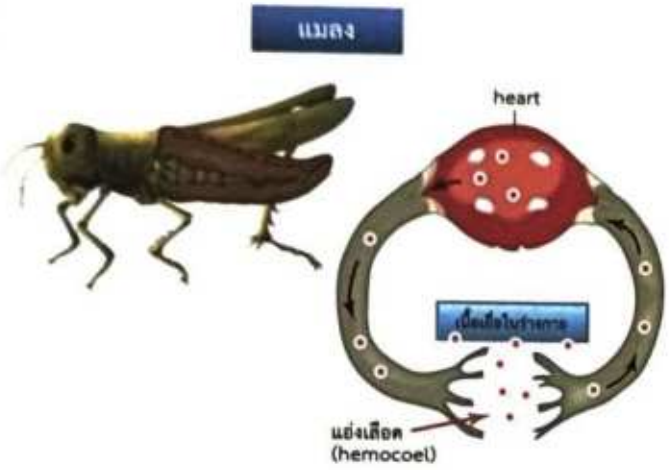
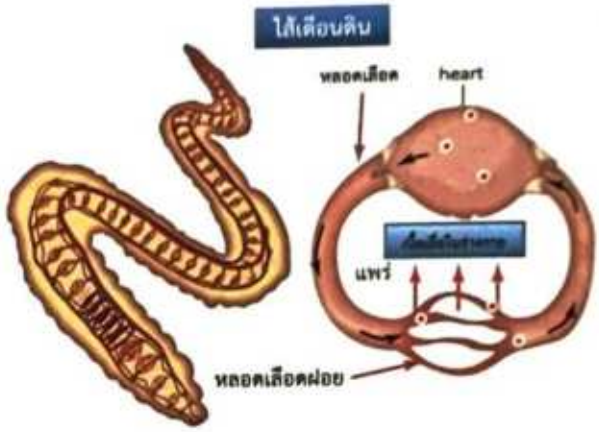
การรักษาดุลยภาพในร่างกาย

6.1 ระบบหมุนเวียนเลือด (circulatory system)

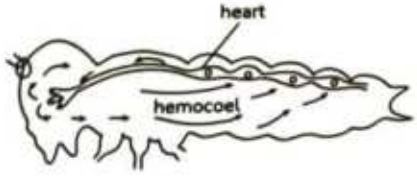
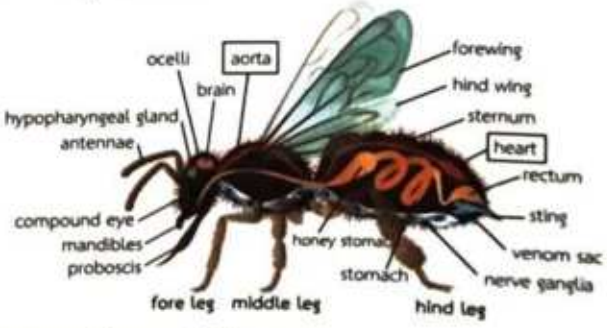
6.1.1 การลำเลียงสารในสิ่งมีชีวิตที่ยังไม่มีระบบหมุนเวียนเลือด

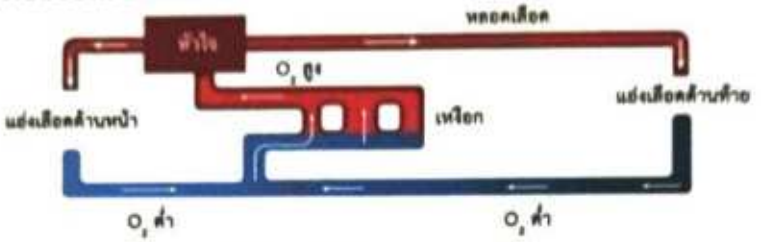
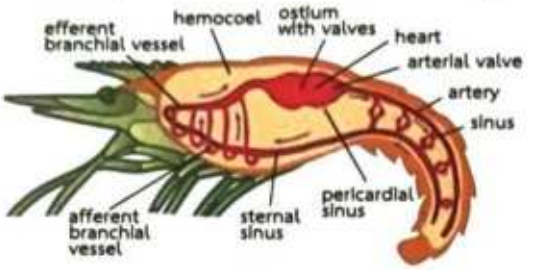
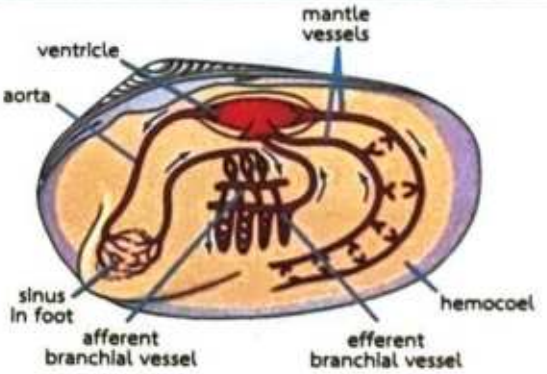
ชนิด	วิธีการ	รูปประกอบ
1. ฟองน้ำ	▸ มีรูพรุนรอบตัวและกลุ่มเซลล์ยังไม่รวมเป็นเนื้อเยื่อที่แท้จริง ▸ น้ำพัดพาอาหารเข้าที่รูพรุนข้างลำตัว มีทิศทางการลำเลียงสารดังนี้ อาหาร → ostia (รูข้างลำตัว) → collar cell (จับอาหาร) → amoebocyte (ย่อยอาหารและลำเลียงสาร) amoebocyte → spongocoel (ช่องกลางลำตัว) → osculum (รูออก)	 ▲ (Cr. wikispaces.com)
2. ไฮดราและพลานาเรีย	▸ ใช้ช่องกลางลำตัวที่เรียกว่า โพรงแกสโทรวาสคิวลาร์ (gastrovascular cavity) เป็นทั้งทางเดินอาหารและลำเลียงสารเข้าเซลล์ สารจะแพร่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งทั่วร่างกาย	 ▲ (Cr. schoolbag.info และ weebly.com)

การลำเลียงสารในสิ่งมีชีวิตที่มีระบบหมุนเวียนเลือด โดยระบบเลือดมี 2 ระบบ คือ

ระบบเลือดเปิด (open circulatory system)	ระบบเลือดปิด (closed circulatory system)
▸ เลือดไหลผ่านหัวใจไปตามหลอดเลือดแล้วสามารถไหลออกนอกหลอดเลือด เข้าไปที่แอ่งรับเลือดหรือฮีโมซิล (hemocoel) ก่อนที่จะเข้าสู่เนื้อเยื่อได้โดยตรง ▸ เลือดและน้ำเหลืองของสัตว์พวกนี้จะไหลปนกัน และมีส่วนประกอบเหมือนกันรวมเรียกว่า ฮีโมลิมฟ์ (hemolymph) ▸ ตัวอย่างเช่น แมลง หอย กุ้ง ปู  ▲ (Cr. sridiant.com)	▸ เลือดไหลผ่านหัวใจไปแล้วลำเลียงตามหลอดเลือดขนาดใหญ่จนถึงหลอดเลือดฝอย เกิดการแพร่ของสารส่งไปยังเนื้อเยื่อ โดยเลือดไม่สัมผัสกับเนื้อเยื่อโดยตรง และเลือดไหลอยู่ในหลอดเลือดตลอด ▸ ตัวอย่างเช่น ไส้เดือนดิน หมึก สัตว์มีกระดูกสันหลัง  ▲ (Cr. sridiant.com) *ไส้เดือนดิน (Phylum Annelida) หรือพวกหนอนปล้อง ถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตพวกแรกที่มีระบบเลือด.....**ออกสอบ!!***

6.1.2 การลำเลียงสารของสิ่งมีชีวิตที่มีระบบเลือดเปิด (open circulatory system)

ชนิด	วิธีการ
1. แมลง	▸ หัวใจของแมลงพองออกเป็นตอนๆ และมีหลอดเลือดอยู่ด้านบนยาวไปตามตัว เรียก dorsal vessel เป็นหลอดเลือดขนาดใหญ่อยู่กลางหลังยาวตลอดลำตัว ที่ตอนท้ายลำตัวจะพองออกเป็นหัวใจ (heart) (บางตำราเรียกหัวใจเทียม) มีรูเปิดเรียก ออสเทีย (ostia) เป็นช่วงๆ ▸ เลือดจะออกนอกหลอดเลือดไปยังแอ่งรับเลือด (hemocoel) ซึ่งกระจายอยู่ทั่วร่างกาย โดยเลือดสัมผัสกับเนื้อเยื่อโดยตรง เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สและการหมุนเวียนสาร   ▸ เลือดของแมลงเป็นของเหลวใสไม่มีสีหรือสีฟ้าอ่อน เนื่องจากมีฮีโมไซยานิน (hemocyanin) ที่มีธาตุทองแดง (Cu) เป็นองค์ประกอบ ส่วนเม็ดเลือดไม่มีสี

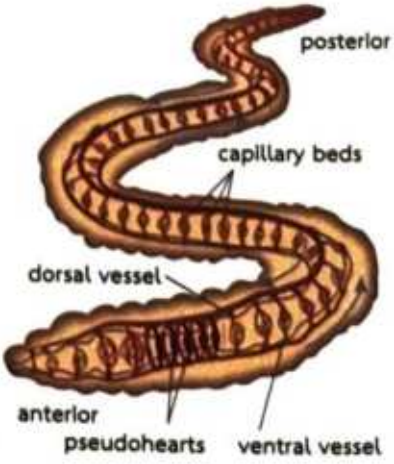
ชนิด	วิธีการ
2. กุ้ง	▸ มีเยื่อหุ้มหัวใจ (pericardium) หัวใจอยู่ด้านหลังส่วนอก มีรูออสเทีย ▸ ลักษณะเลือดของกุ้งเหมือนของแมลง คือ ประกอบด้วยฮีโมไซยานิน (hemocyanin) ▸ ทิศทางการไหลเวียนของเลือด ดังภาพ   ▲ (Cr. miami.edu)
3. หอยกาบ	▸ มีเยื่อหุ้มหัวใจบางๆ เส้นเลือดนำเลือดไปเลี้ยงอวัยวะภายใน เช่น กระเพาะอาหาร ลำไส้ และมีหลอดเลือดนำเลือดไปที่เท้าโดยในร่างกายหอยจะมีแอ่งเลือดอยู่ ▸ ลักษณะเลือดของหอยกาบเหมือนของแมลง  ▲ (Cr. miami.edu)

6.1.3 การลำเลียงสารของสิ่งมีชีวิตที่มีระบบเลือดปิด (closed circulatory system)

การลำเลียงสารของสิ่งมีชีวิตที่มีระบบเลือดปิด (closed circulatory system) ได้แก่ พวกไส้เดือนดิน หมึก สัตว์มีกระดูกสันหลัง

ไส้เดือนดิน มีองค์ประกอบในระบบหมุนเวียนเลือดดังนี้

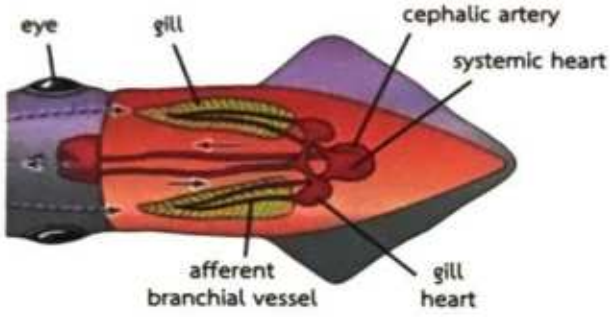
1. เลือดมีสีแดงเนื่องจากมีฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ซึ่งมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ
2. หัวใจเทียม (pseudoheart) เป็นห่วงของหลอดเลือด 4-5 ห่วง พองล้อมรอบหลอดอาหาร ทำหน้าที่ปั๊มเลือดไปทั่วร่างกาย
3. หลอดเลือด (blood vessel) มี 3 หลอดเลือด คือ 1. หลอดเลือดด้านบน (dorsal blood vessel) 2. หลอดเลือดด้านล่าง (ventral blood vessel) และ 3. หลอดเลือดฝอย (capillary) ในแต่ละปล้อง



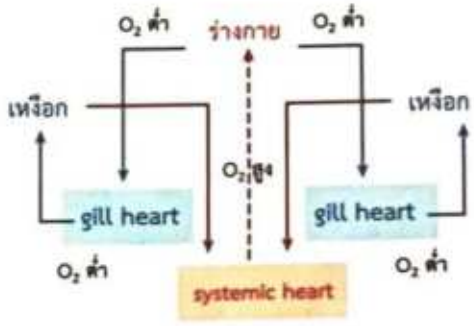
▲ (Cr. arizona.edu)

หมึก มีฮีโมไซยานินเป็นองค์ประกอบของเลือด มีเหงือก 1 คู่ และมีหัวใจ 2 ชนิด คือ

1. แบรงเคียลฮาร์ท (branchial heart) หรือกิลล์ฮาร์ท (gill heart) ทำหน้าที่ปั๊มเลือดที่มีออกซิเจนต่ำไปฟอกที่เหงือก (gill)
2. ซิสเทมิกฮาร์ท (systemic heart) อยู่กลางลำตัว ทำหน้าที่นำเลือดจากเหงือกที่ฟอกแล้วมีออกซิเจนสูงส่งไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย

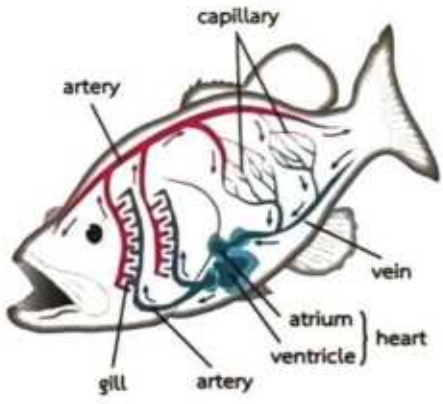


▲ (Cr. miami.edu)



ปลา

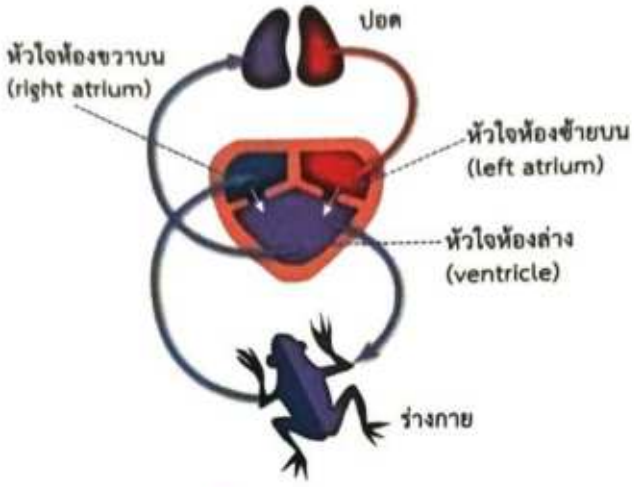
- มีหัวใจ 2 ห้อง คือ ห้องบน (atrium) และห้องล่าง (ventricle)
- เลือดที่ไหลผ่านหัวใจปลาเป็นเลือดที่มีออกซิเจนต่ำ จึงต้องนำไปที่เหงือกเพื่อเพิ่มออกซิเจนก่อนส่งไปทั่วร่างกาย



▲ (Cr. hicksvilleschools.org)

- สัตว์มีกระดูกสันหลัง (artery นำเลือดออกจากหัวใจ, vein นำเลือดเข้าหัวใจ) อาร์ = ออก
- ข้อควรรู้ สีน้ำเงิน = เลือดที่มี O_2 ต่ำ และสีแดง = เลือดที่มี O_2 สูง
- มุขจำการไหลเวียนเลือด เลือดจะเข้าหัวใจห้องบน (atrium) และลงหัวใจห้องล่าง (ventricle) จำว่าในภาษาอังกฤษ a มาก่อน v

สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก เช่น กบ เขียด ปาด นิวท์ จิ้งจกน้ำ

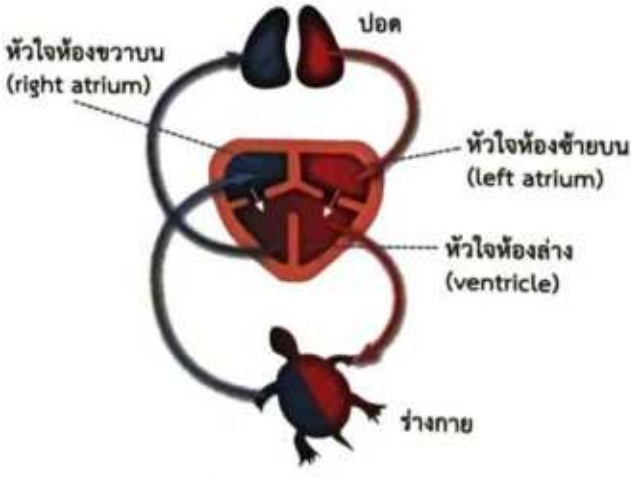


▲ (Cr. nsf.gov)

- มีหัวใจ 3 ห้อง คือ หัวใจห้องบน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องขวาบน (right atrium) และห้องซ้ายบน (left atrium) และหัวใจห้องล่าง (ventricle) 1 ห้อง
- เมื่อเลือดไหลสู่หัวใจห้องล่างจะมีเลือดบางส่วนที่ปะปนกันระหว่างเลือดที่มีออกซิเจนต่ำกับเลือดที่มีออกซิเจนสูง กบจึงมีการใช้ผิวหนังช่วยในการแลกเปลี่ยนนำออกซิเจนเข้าสู่เลือดด้วย

ทิศทางการหมุนเวียนเลือด

สัตว์เลื้อยคลาน เช่น งู เต่า

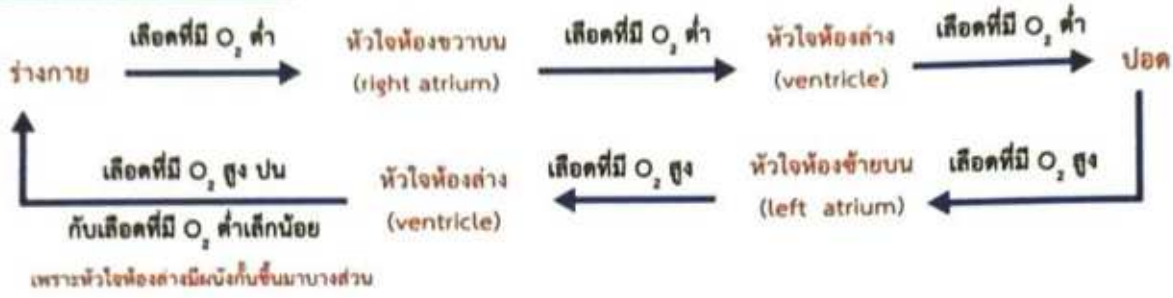


▲ (Cr. nsf.gov)

- มีหัวใจ 3 ห้อง คือ หัวใจห้องบน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องขวาบน (right atrium) และห้องซ้ายบน (left atrium) และหัวใจห้องล่าง (ventricle) 1 ห้อง แต่ที่หัวใจห้องล่างมีผนังกั้นขึ้นมาแต่ยังไม่สมบูรณ์ บางตำราอาจกล่าวว่ามีหัวใจ 4 ห้องไม่สมบูรณ์ **ยกเว้นจระเข้ที่ผนังกั้นหัวใจห้องล่างสมบูรณ์จึงมีหัวใจ 4 ห้อง**

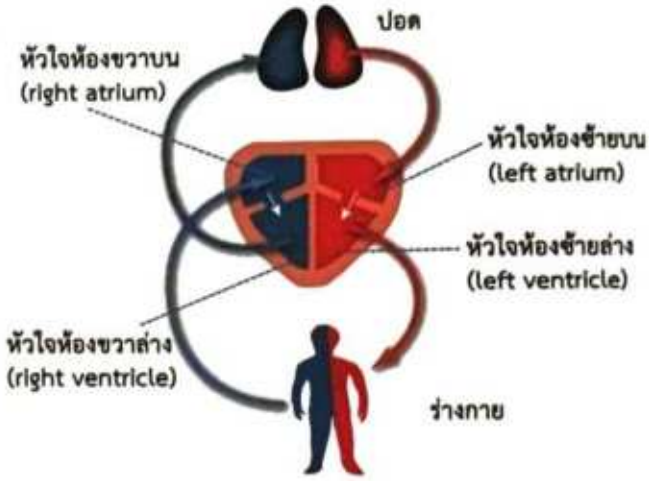
- เมื่อเลือดไหลสู่หัวใจห้องล่างจะมีเลือดบางส่วนที่ปะปนกัน ระหว่างเลือดที่มีออกซิเจนต่ำกับเลือดที่มีออกซิเจนสูงแต่น้อยกว่าสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก

ทิศทางการหมุนเวียนเลือด



นกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

- มีหัวใจ 4 ห้อง คือ หัวใจห้องบน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องขวาบน (right atrium) และห้องซ้ายบน (left atrium) และหัวใจห้องล่าง 2 ห้อง ได้แก่ ห้องขวาล่าง (right ventricle) และห้องซ้ายล่าง (left ventricle)
- ทั้งนี้ในแต่ละห้องจะมีลิ้นหัวใจ ทำหน้าที่กั้นไม่ให้เลือดไหลย้อนกลับ (รายละเอียดอ่านในการหมุนเวียนเลือดของมนุษย์เพิ่มเติม)



▲ (Cr. nsf.gov)

ทิศทางการหมุนเวียนเลือด

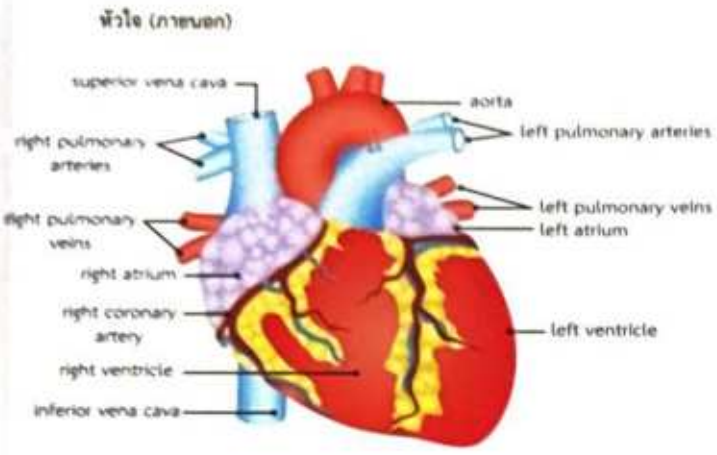
การสูบฉีดเลือดของหัวใจ

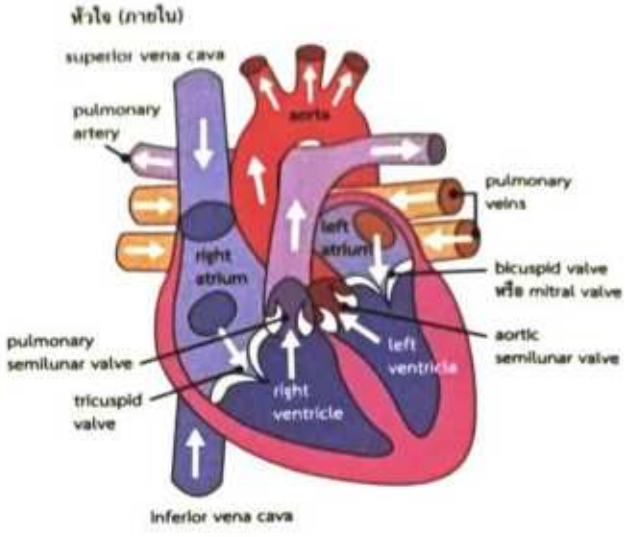
▲ (Cr. Mayo Clinic)

6.1.4 ระบบหมุนเวียนเลือดของมนุษย์

ระบบหมุนเวียนเลือดของมนุษย์มีองค์ประกอบสำคัญ 3 เรื่อง คือ 1. หัวใจ 2. หลอดเลือด และ 3. เลือด

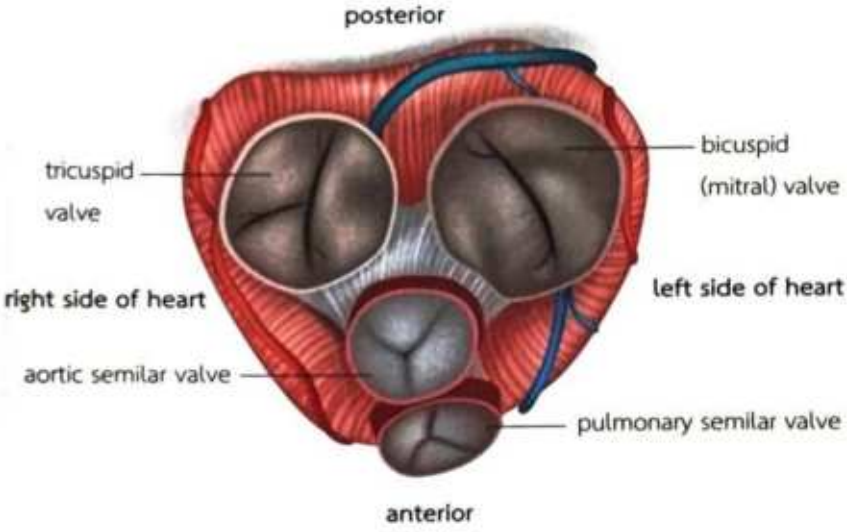
1. หัวใจ





หัวใจ

- มีเยื่อหุ้มที่เรียกว่า เยื่อเพอริคาร์เดียม (pericardium) หุ้มอยู่
- หัวใจมนุษย์มี 4 ห้อง คือ หัวใจห้องบน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องขวาบน (right atrium) และห้องซ้ายบน (left atrium) และหัวใจห้องล่าง 2 ห้อง ได้แก่ ห้องขวาล่าง (right ventricle) และห้องซ้ายล่าง (left ventricle)



การทำงานของลิ้นหัวใจ

▲ (Cr. HCL Learning)

ลิ้นหัวใจเป็นโครงสร้างที่ป้องกันเลือดไม่ให้ไหลย้อนกลับ มี 4 ตำแหน่ง คือ

① ลิ้นหัวใจระหว่างหัวใจห้องขวาบนและหัวใจห้องขวาล่างเรียกว่า **tricuspid valve** มีลักษณะมองเห็นเป็น 3 แฉก (tri=3)

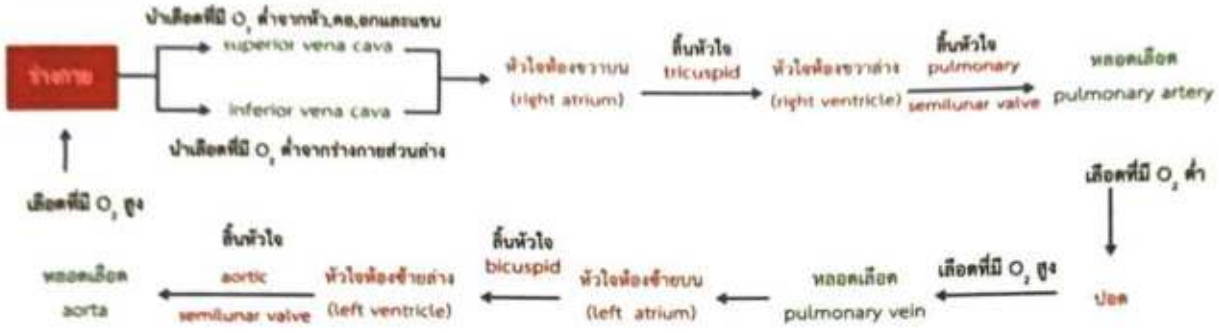
② ลิ้นหัวใจบริเวณหัวใจห้องขวาล่างกับหลอดเลือด pulmonary artery **เรียกว่า pulmonary semilunar valve** (semi- ครึ่งหนึ่ง, lunar- พระจันทร์ ลิ้นหัวใจนี้จึงเหมือนพระจันทร์ครึ่งเสี้ยว 3 อันมาบรรจบกัน)

③ ลิ้นหัวใจระหว่างหัวใจห้องซ้ายบนและหัวใจห้องซ้ายล่างเรียกว่า **bicuspid valve** มีลักษณะมองเห็นเป็น 2 แฉก (bi=2)

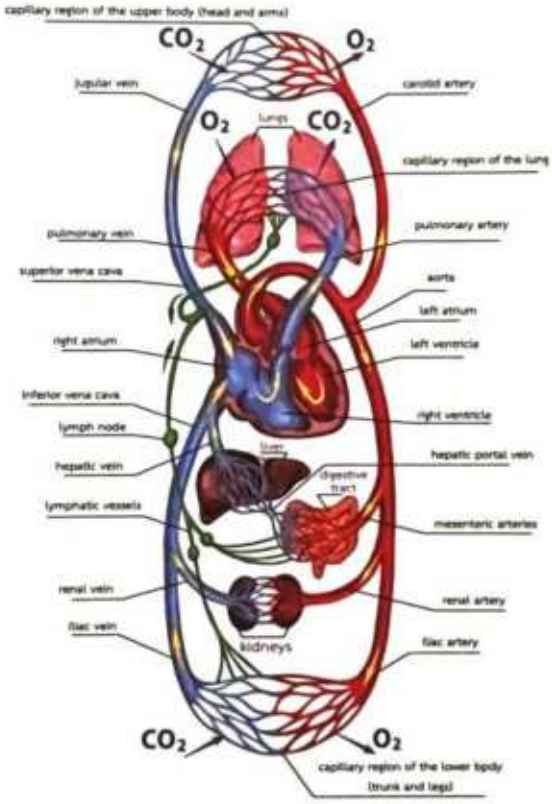
④ ลิ้นหัวใจบริเวณหัวใจห้องซ้ายล่างกับหลอดเลือด aorta เรียกว่า **aortic semilunar valve**

หลอดเลือดที่ชื่อว่า coronary ทำหน้าที่นำเลือดไปเลี้ยงหัวใจ โดยมักเกิดอาการหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจตีบ ทำให้เลือดไปเลี้ยงหัวใจไม่พอ จึงต้องทำบอลลูนเพื่อขยายหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจ

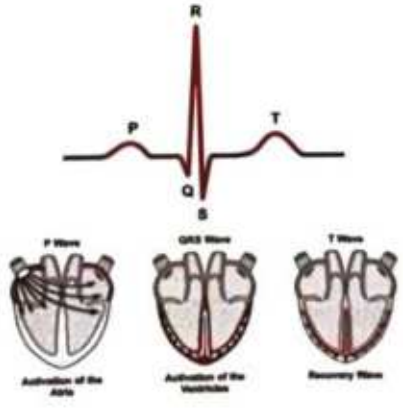
ทิศทางการหมุนเวียนเลือด



- การหมุนเวียนเลือดไปตามหลอดเลือดเพื่อส่งไปยังส่วนต่างๆ



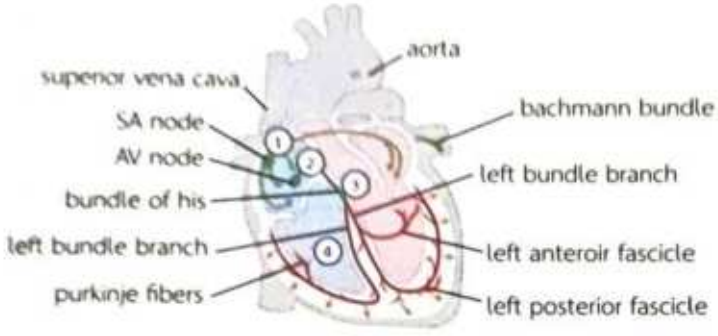
- คลื่นไฟฟ้าหัวใจ



กล้ามเนื้อหัวใจหดและคลายตัวนั้นสามารถชักนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งสามารถบันทึกได้ด้วยเครื่องตรวจ **คลื่นไฟฟ้าหัวใจ** (electrocardiograph) ส่วนภาพที่บันทึกได้เรียกว่า คลื่นหัวใจ (electrocardiogram, ECG หรือ EKG)

▸ การควบคุมการเต้นของหัวใจ

หัวใจในสภาวะปกติเต้นประมาณ 72 ครั้ง/นาที ถูกควบคุมโดยสมองส่วนหลังที่เรียกว่า เมดัลลาออบลองกาตา (medulla oblongata) เป็นหลัก



▲ (Cr. rutgers.edu)

▲ (Cr. Alila Medical Media)

<u>วิธีการ</u> (ดูภาพประกอบตาม)

① บริเวณหัวใจห้องบนขวามีกลุ่มเนื้อเยื่อของหัวใจที่ทำหน้าเป็นผู้เริ่มทำให้หัวใจหดตัวเรียกว่า SA node (sinoatrial node) ซึ่งเป็นผู้ให้จังหวะในการหดตัวเรียกว่า pacemaker

② สัญญาณแพร่ไปถึงบริเวณ AV node (atrioventricular node) ซึ่งอยู่บริเวณหัวใจห้องขวาบนใกล้ๆ ลิ้น tricuspid

③ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งมายังใยประสาทที่เรียกว่า AV bundle หรือ bundle of His

④ สัญญาณจะแยกไปยังหัวใจห้องล่างซ้ายและขวา ผ่านทางเส้นใยประสาทที่เรียกว่า Purkinje fibers นำคลื่นไฟฟ้าเข้าสู่ผนังหัวใจ

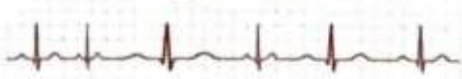
ตัวอย่างคลื่นหัวใจไฟฟ้า

normal heartbeat

fast heartbeat

slow heartbeat

irregular heartbeat

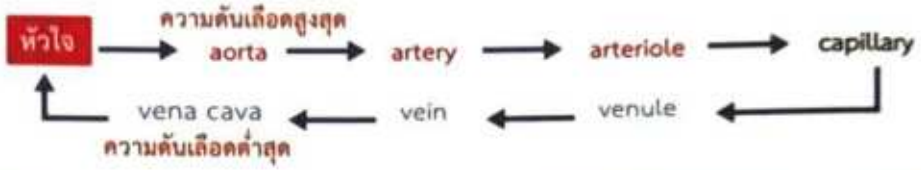


2. หลอดเลือด (blood vessel)

หลอดเลือดประกอบด้วย

- ระบบหลอดเลือดอาร์เทอรี (arterial system) เป็นระบบหลอดเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจไปยังปอดและส่วนต่างๆ ของร่างกาย **(มุขจำ... อาร์เทอรี ขึ้นต้นด้วย อ.อ่าง จึงนำเลือดออกจากหัวใจ)**
- ระบบหลอดเลือดเวน (venous system) เป็นระบบหลอดเลือดที่นำเลือดจากปอดและส่วนต่างๆ ของร่างกายเข้าสู่หัวใจ **(มุขจำ... จำว่าทหารเข้าเวน หลอดเลือดเวนจึงนำเลือดเข้าหัวใจ)**
- ระบบหลอดเลือดฝอย (capillarial system) อยู่ระหว่างระบบหลอดเลือดอาร์เทอรีและระบบหลอดเลือดเวน ซึ่งแทรกอยู่ตามเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย

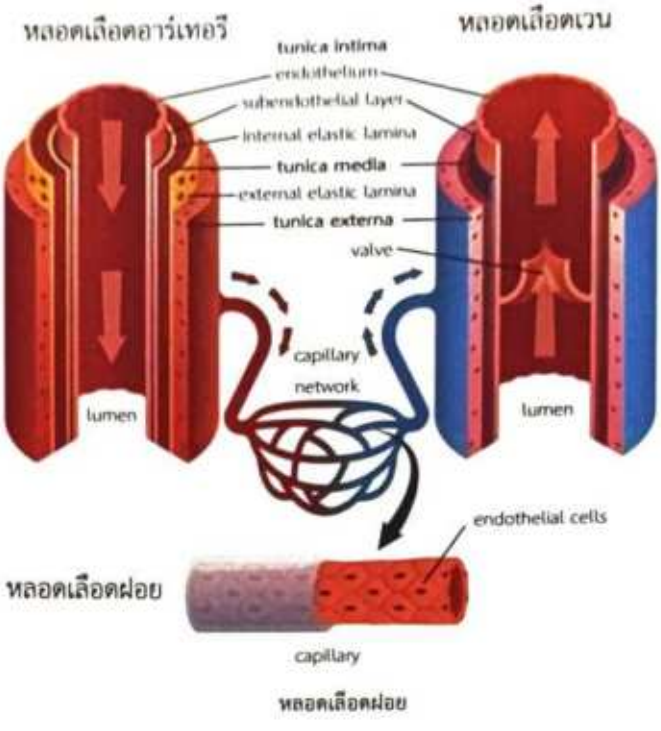
ทิศทางการไหลของเลือดในหลอดเลือด



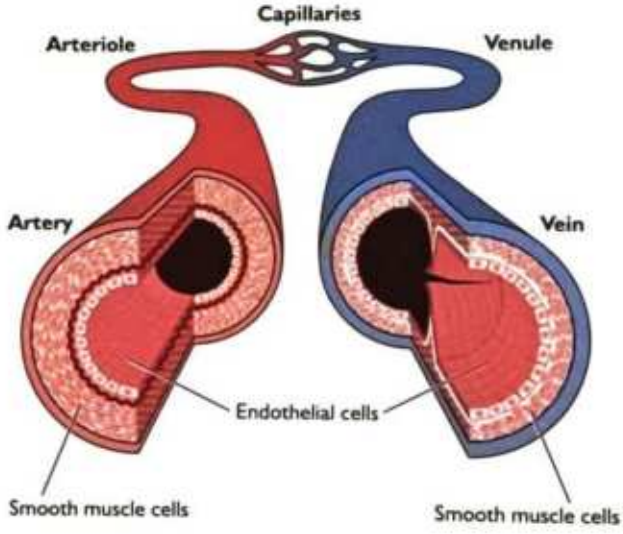
สิ่งเปรียบเทียบ	หลอดเลือดอาร์เทอรี (artery)	หลอดเลือดเวน (vein)	หลอดเลือดฝอย (capillary)
ทิศทาง	นำเลือดออกจากหัวใจ	นำเลือดจากปอดและส่วนต่างๆ เข้าสู่หัวใจ	รับเลือดจากหลอดเลือดอาร์เทอรีแล้วส่งไปหลอดเลือดเวน
เส้นผ่านศูนย์กลาง	ปานกลาง	กว้างมากสุด	น้อยสุด
ความหนาของผนังหลอดเลือด	หนาที่สุด	ปานกลาง	บางสุด
ปริมาณเลือดในหลอดเลือด	ปานกลาง	มากสุด	น้อยสุด
ความเร็วในกระแสเลือด	เร็วสุด	ปานกลาง	ช้าสุด
การไหลของเลือดในหลอดเลือด	อาศัยการบีบตัวของหัวใจ	▸ อาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อลายรอบๆ ▸ มีลิ้น (valve) กั้นเป็นระยะๆ ยกเว้น pulmonary vein ไม่มีลิ้นกั้น	อาศัยการบีบตัวของหัวใจ

▲ (Cr. Nucleus Medical Media)

▲ (Cr. nagaraj kumar pallapinti)



หลอดเลือดฝอย



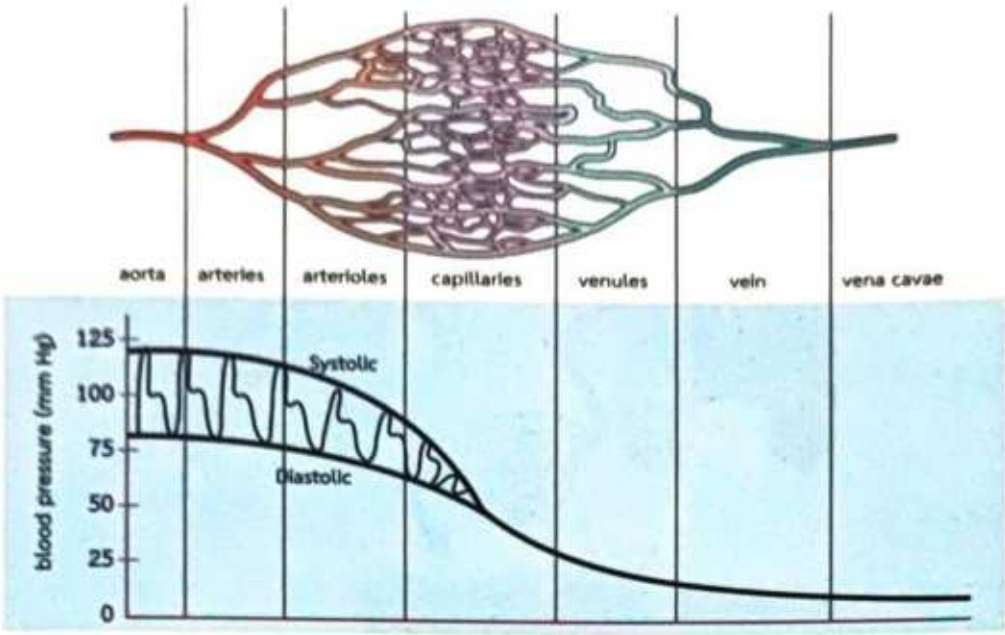
- ความดันเลือด (blood pressure)

ค่าความดันเลือดวัดจากหลอดเลือดอาร์เทอรี ซึ่งเกิดจากแรงบีบของหัวใจห้องล่าง หลอดเลือดอาร์เทอรีมีผนังหนาและยืดหยุ่นจึงช่วยรักษาความดันเลือดได้ดี ความดันเลือดสูงสุดที่หลอดเลือดที่ใกล้หัวใจคือเอออร์ตา และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อห่างหัวใจ ดังนั้น ความดันต่ำสุดคือ หลอดเลือดเวนาคาวา (ดูทิศทางเลือดจากหัวข้อหลอดเลือด) เครื่องมือที่ใช้วัดความดันเลือดเรียกว่า สฟิกโมมาโนมิเตอร์ (sphygmomanometer)

ค่าความดันปกติ 120 / 80 mmHg

ค่าแรก คือ ค่าความดันเลือดสูงสุดขณะหัวใจหดตัว (systolic blood pressure)

ค่าสอง คือ ค่าความดันเลือดขณะหัวใจคลายตัว (diastolic blood pressure)



▲ กราฟแสดงความดันเลือดในหลอดเลือดชนิดต่างๆ

▸ ความดันเลือดขึ้นอยู่กับ

1. อายุ (เด็ก < ผู้ใหญ่)
2. ความอ้วน (คนอ้วน > คนผอม)
3. อารมณ์ (ความเครียดทำให้ความดันสูง)
4. เพศ (หญิง < ชาย, ถ้าอายุ 45 ปีขึ้นไป หญิง > ชาย)
5. ท่าทางร่างกาย (ท่านอนความดันเท่ากันทุกส่วน, ท่ายืนที่ขา > ที่หัว)
6. โรคต่างๆ เช่น ไต เบาหวาน

▸ ชีพจร (pulse)

ชีพจรเกิดจากการขยายตัวและหดตัวสลับกันของเส้นเลือด เนื่องจากการบีบตัวของหัวใจ ทำให้เกิดความดันในหลอดเลือด ซึ่งความดันนี้จะไปดันผนังของอาร์เทอรีให้ขยายตัวออกเป็นจังหวะ ส่วนใหญ่เราจะจับชีพจรที่หลอดเลือดแดง (ออกข้อสอบ) อัตราการเต้นทั่วไปคือ 72-80 ครั้งต่อนาที อาการโรคหัวใจ มีไข้ ภาวะตื่นเต้น กังวล ตกใจ ออกกำลังกาย จะทำให้ชีพจรเต้นเร็วกว่าปกติ เราสามารถวัดชีพจรได้จากหลอดเลือดแดงที่ใกล้ผิวหนัง เช่น ที่ข้อมือและลำคอ

Quiz Yourself

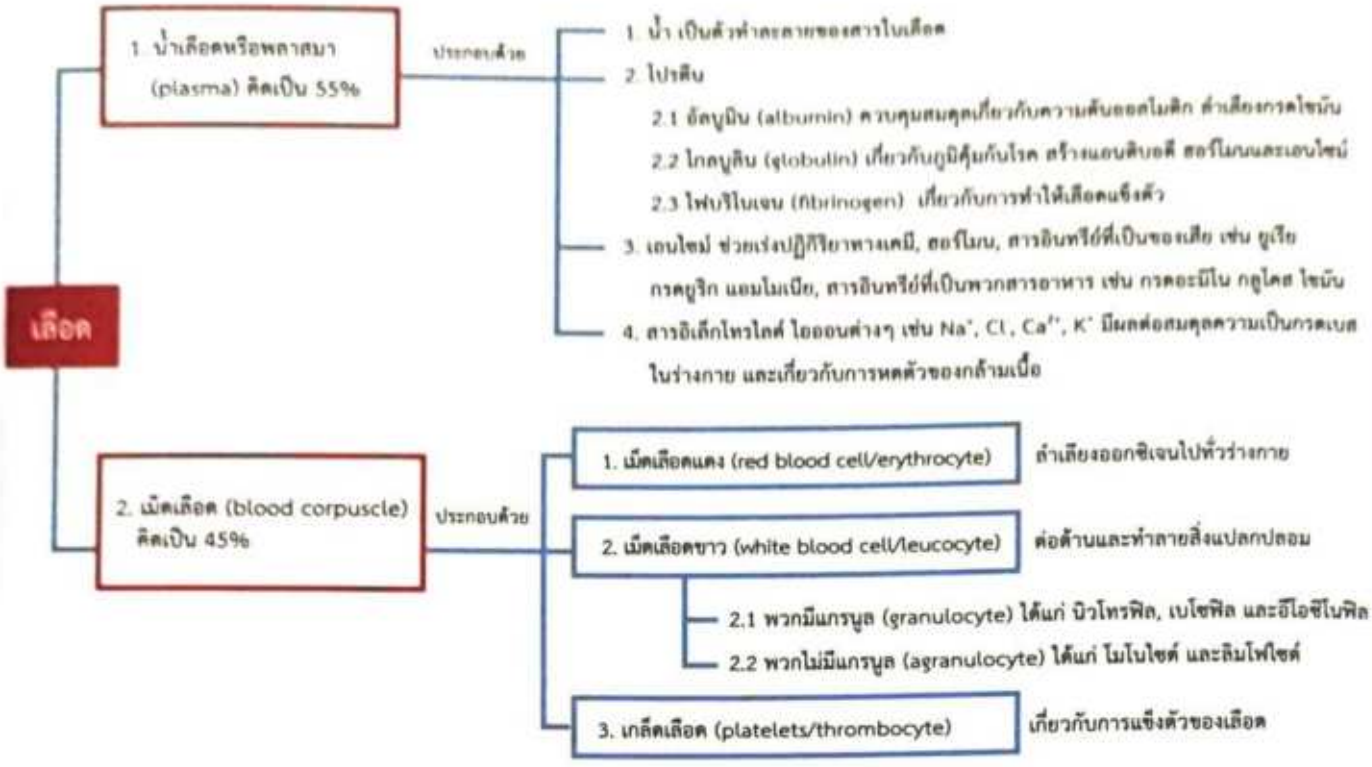
1) คาร์บอนไดออกไซด์จากเนื้อเยื่อเมื่อถูกลำเลียงไปในกระแสเลือดและออกจากจมูกจะไม่ผ่านโครงสร้างใด

1. superior vena cava
2. alveoli
3. right ventricle
4. pulmonary vein

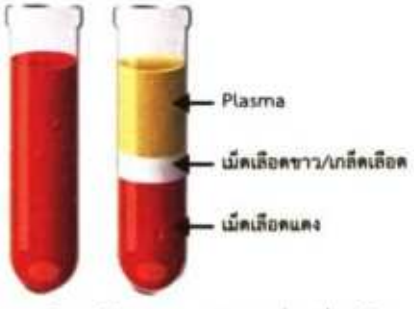
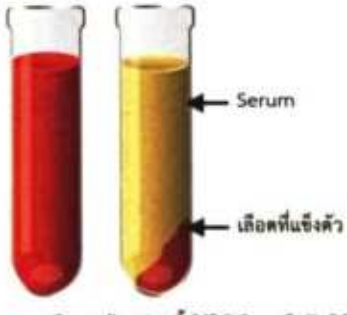
2) bicuspid valve ทำหน้าที่กั้นห้องหัวใจระหว่างห้องใด

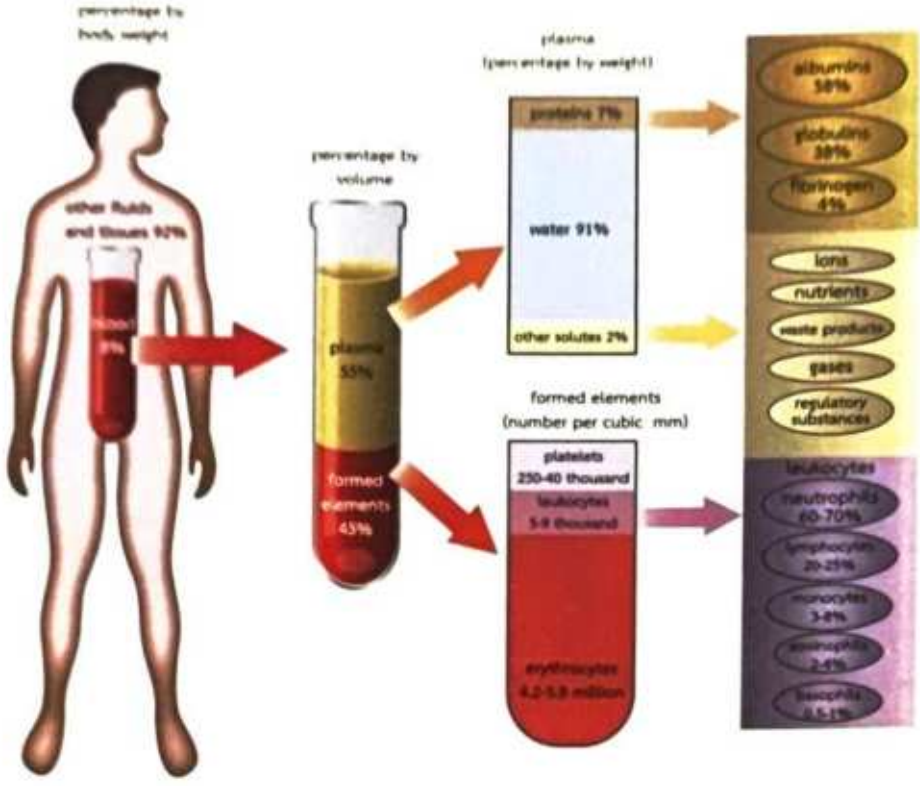
1. aorta และ left ventricle
2. left atrium และ left ventricle
3. right atrium และ right ventricle
4. right ventricle และ left ventricle
5. pulmonary artery และ right ventricle

3. เลือด



- ข้อแตกต่างระหว่างพลาสมา (plasma) กับซีรัม (serum)

พลาสมา (plasma)	ซีรัม (serum)
พลาสมา มีโปรตีนอัลบูมิน โกลบูลิน ไฟบริโนเจน เป็นองค์ประกอบ ไม่มีลิ่มเลือด ซึ่งการได้มาซึ่งพลาสมาจะมีการใส่สารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (anticoagulant) เช่น EDTA, sodium citrate, heparin, hirudin (ในปลิงดูดเลือด)	ซีรัม เมื่อเจาะเลือดแล้วทิ้งไว้สักพักเลือดจะแข็งตัว และได้สารสีเหลืองเรียกว่า ซีรัมจะไม่มีไฟบริโนเจนอยู่** มีเพียงอัลบูมิน และโกลบูลิน โดยเลือดที่แข็งตัวมี fibrin อยู่
 เจาะเลือด + ใส่ Anticoagulant + ปั่นเหวี่ยง ได้ พลาสมา	ซีรัม = พลาสมา - ไฟบริโนเจน  เจาะเลือด แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เลือดแข็งตัว ได้ ซีรัม



ภาพแสดงองค์ประกอบของเลือด

▲ (Cr. tdmu.edu)

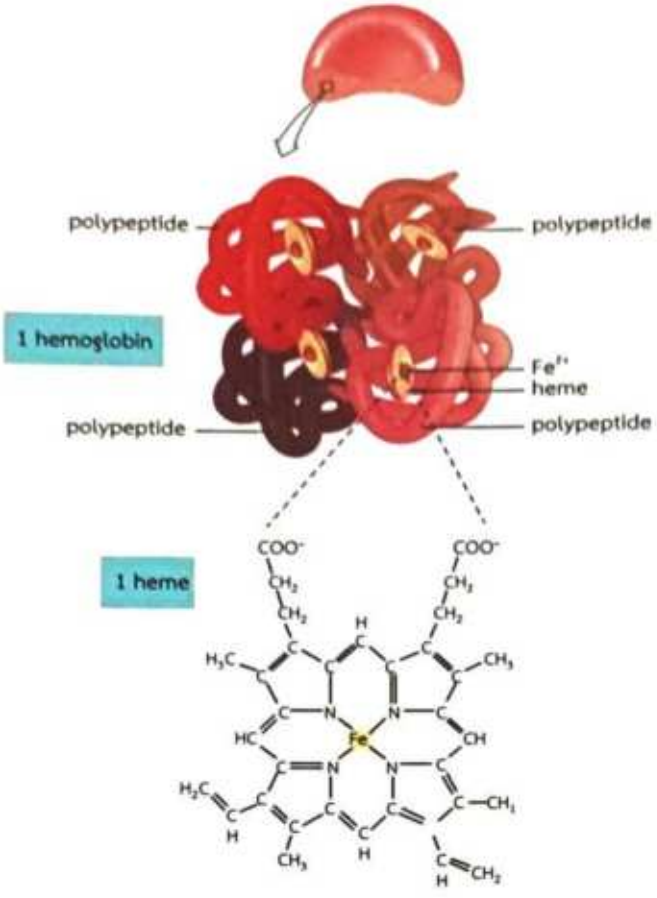
Quiz Yourself

3) ซีรัม (serum) ต่างจากพลาสมา (plasma) ในข้อใด

1. พลาสมามีเม็ดเลือด ซีรัมไม่มี
2. พลาสมามีไฟบริโนเจน แต่ซีรัมไม่มี
3. พลาสมามีแอนติบอดีน้อยกว่าซีรัม
4. 1 และ 2
5. 2 และ 3

องค์ประกอบของเลือด

- เม็ดเลือดแดง (red blood cell/erythrocyte)
  - อายุประมาณ 120 วัน ในระยะเอ็มบริโอสร้างจากตับ ม้าม และไขกระดูก เมื่อคลอดแล้วสร้างที่ไขกระดูกเท่านั้น
  - เมื่อหมดอายุแล้วถูกทำลายที่ตับและม้าม
  - เมื่อแรกสร้างเม็ดเลือดแดงยังมีนิวเคลียสจนเจริญเต็มที่จะไม่มีนิวเคลียส ไม่มี ER และไม่มีไมโทคอนเดรีย ทำให้รูปร่างแบนเว้าตรงกลาง เพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนแก๊ส
  - เม็ดเลือดแดงประกอบด้วยฮีโมโกลบิน (hemoglobin/ศัพท์ชีวะ hemo- เลือด) แต่ละฮีโมโกลบินประกอบด้วยฮีม (heme) มีสีแดงและมี Fe เพื่อจับออกซิเจนได้ 1 โมเลกุล ดังนั้น 1 ฮีโมโกลบินประกอบด้วย 4 ฮีม, 4 พอลิเพปไทด์และ $4Fe^{2+}$ ซึ่งจะจับ O_2 ได้ทั้งหมด 4 โมเลกุล
  - เม็ดเลือดแดงทำหน้าที่ลำเลียงแก๊สต่างๆ ไปยังเนื้อเยื่อของร่างกาย
  - เม็ดเลือดแดงเมื่อถูกทำลาย ฮีมสลายตัวเป็นรงควัตถุของน้ำดีที่ตับ และรงควัตถุของน้ำดีนี้จะถูกขับออกมากับปัสสาวะและอุจจาระ (ซึ่งมีสีเหลืองทำให้ปัสสาวะและอุจจาระมีสีเหลือง)

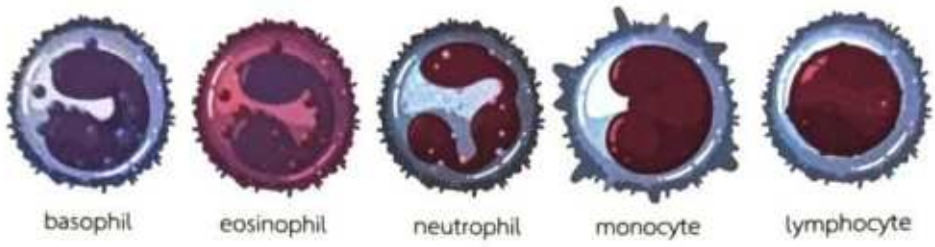


- เม็ดเลือดขาว (white blood cell/leucocyte)
  - อายุประมาณ 3-12 วัน สร้างจากไขกระดูก มีนิวเคลียส และมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดเลือดแดง
  - ทำหน้าที่ต่อต้านและทำลายสิ่งแปลกปลอม (เหมือนทหาร)
  - การศึกษาเม็ดเลือดขาวจะทำโดยใช้สี Wright's stain จากนั้นสังเกตการติดสีเพื่อจำแนก

พวกมีแกรนูล (granulocyte) จะลงท้ายด้วย -ฟิล (-phil)	พวกไม่มีแกรนูล (agranulocyte) จะลงท้ายด้วย -ไซต์ (-cyte)
▸ นิวโทรฟิล (neutrophil) neutro-เป็นกลาง (พบมากสุด) • ย้อมติดสีทั้งกรดและเบส เห็นเป็นสีม่วง เห็นนิวเคลียส 2-5 พู • มีเอนไซม์หลายชนิดทำลายเชื้อโรควิธี phagocytosis (เก่งสุด) • นิวโทรฟิลเมื่อแทรกตัวออกจากหลอดเลือดฝอยไปตามเนื้อเยื่อจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นไมโครฟาจ (microphage)	▸ มอนอไซต์ (monocyte) (ขนาดใหญ่สุด) • นิวเคลียสค่อนข้างกลมเห็นเป็นรูปไต • หน้าที่หลักคือทำลายเชื้อโรควิธี phagocytosis เมื่อ monocyte แทรกตัวออกจากหลอดเลือดฝอยไปที่เนื้อเยื่อจะพัฒนาเป็นแมโครฟาจ (macrophage)
▸ เบโซฟิล (basophil) baso- เป็นเบส • ย้อมติดสีส่วนที่เป็นเบส เห็นเป็นสีน้ำเงิน เห็นนิวเคลียสรูปตัว S • หลั่งสารฮิสตามีน (histamine) ตอบสนองต่ออาการแพ้ของเนื้อเยื่อที่ได้รับบาดเจ็บอักเสบ ช่วยขยายผนังหลอดเลือด • หลั่งเฮพาริน (heparin) ป้องกันการแข็งตัวของเลือด	▸ ลิมโฟไซต์ (lymphocyte) อยู่ทั้งในน้ำเลือดและต่อมน้ำเหลือง แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ • ลิมโฟไซต์ชนิดที (T-lymphocyte หรือ T-cell) สร้างจากไขกระดูก แต่เจริญที่ต่อมไทมัสเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน • ลิมโฟไซต์ชนิดบี (B-lymphocyte หรือ B-cell) สร้างจากไขกระดูก และเจริญอยู่ในไขกระดูก (bone marrow) สร้างแอนติบอดี

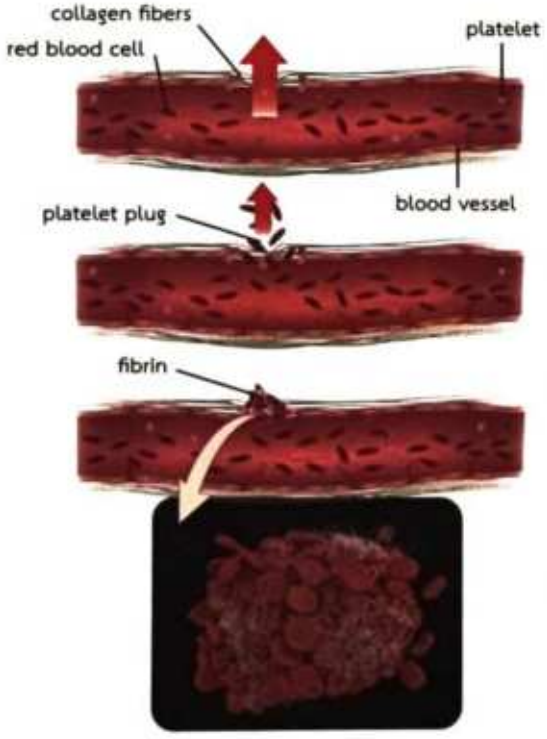
พวกมีแกรนูล (granulocyte)
จะลงท้ายด้วย -ฟิล (-phil)

- อีโอซิโนฟิล (eosinophil)
  - ย้อมติดสีส่วนที่เป็นกรด เห็นเป็นสีแดง เห็นนิวเคลียส 2 พู
  - กำจัดปรสิตขนาดใหญ่ เช่น พยาธิใบไม้ในเลือด **(มุขจำ.. ให้จำว่า อีโอซิโนฟิล อ. อ่างคือ อี๋ยยยยยยย พบในคนที่เป็นพยาธิ ...อี๋ยๆ)**
  - ทำลายสารพิษที่ทำให้เกิดอาการแพ้ เช่น โปรตีน เกสรดอกไม้ ฝุ่น



- กรณีแบ่งตามหน้าที่การทำงาน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ
  1. เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์ ได้แก่ นิวโทรฟิล, เบโซฟิล, อีโอซิโนฟิล และมอนอไซต์ กลุ่มที่สามารถต่อสู้กับเชื้อโรคโดยการจับกินแบบ phagocytosis ได้
  2. เม็ดเลือดขาวกลุ่มลิมโฟไซต์ ได้แก่ ลิมโฟไซต์ที่ต่อสู้กับเชื้อโรคโดยการสร้างแอนติบอดีมาทำลายเชื้อโรค

- เกล็ดเลือด (platelets/thrombocyte)
  - ขนาดเล็ก 2-5 ไมโครเมตร รูปร่างไม่แน่นอน อายุประมาณ 3-4 วัน
  - หน้าที่สำคัญช่วยให้เลือดแข็งตัว (blood clotting) เมื่อเกิดบาดแผล



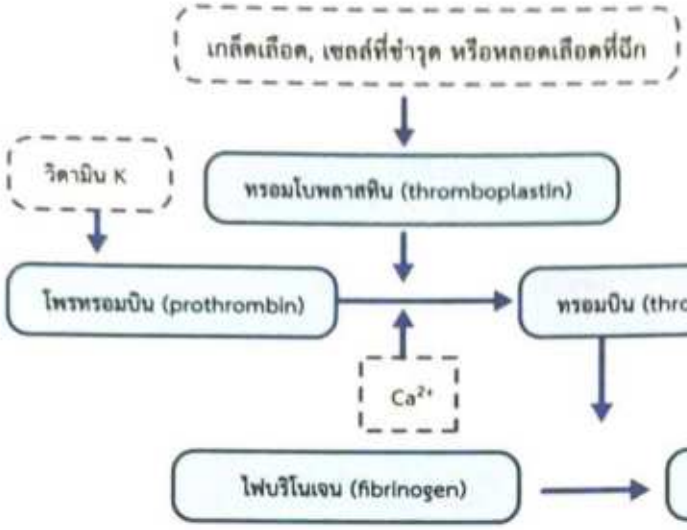
1. หลอดเลือดเสียหาย และเนื้อเยื่อได้รับบาดเจ็บ ทำให้เลือดไหลออกมาก

2. เกล็ดเลือด มาอุดที่แผล ทำให้เลือดไหลน้อยลง

3. เกิดการสร้างเส้นใยไฟบริน สานเป็นร่างแหอุดแผลกักเลือดเอาไว้ และเลือดแข็งตัว

สารเฮพาริน ในเลือด และไฮรูดิน (hirudin) ในปลิงดูดเลือด ป้องกันการแข็งตัวของเลือด

▸ กระบวนการแข็งตัวของเลือด สรุปได้ดังนี้



▲ (Cr. ImmiflexImmuneSystem)

▲ (Cr. Thrombosis Adviser)

▲ (Cr. Chirurgie Cardiaque CHU Grenoble)

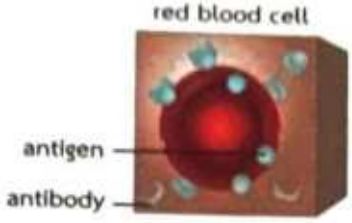
▸ หมู่เลือดและการให้เลือด (ออกสอบบ่อย!!)

เราสามารถจำแนกหมู่เลือดในระบบต่างๆ ได้ โดยดูจากชนิดของแอนติเจนที่เยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง และชนิดของแอนติบอดีในพลาสมา

หมู่เลือด	antigen (Ag) บนเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง	antibody (Ab) ในพลาสมา	การทำปฏิกิริยากับน้ำยาตรวจหมู่เลือด (หยด antibody)	
			antibody-A	antibody-B
A	A	B	ตกตะกอน	ไม่ตกตะกอน
B	B	A	ไม่ตกตะกอน	ตกตะกอน
AB	A และ B	-	ตกตะกอน	ตกตะกอน
O	-	A และ B	ไม่ตกตะกอน	ไม่ตกตะกอน

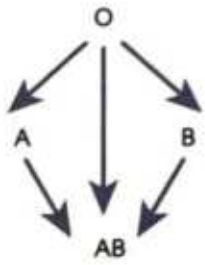
- ระบบหมู่เลือด ABO

หลักการให้เลือด ให้ยึดหลักว่า ผู้ให้และผู้รับควรมีหมู่เลือดเดียวกันหรืออาจยึดหลักว่า Ag ของผู้ให้ต้องไม่ตรงกับ Ab ของผู้รับ ถ้า Ag ของผู้ให้ตรงกับ Ab ของผู้รับจะทำให้เลือดตกตะกอนในหลอดเลือดเป็นอันตรายต่อผู้รับเลือด



หมู่เลือดของผู้ให้	หมู่เลือดของผู้รับ: A	B	AB	O
A	✓	×	✓	×
B	×	✓	✓	×
AB	×	×	✓	×
O	✓	✓	✓	✓

แผนผังการให้เลือด



หมู่เลือด O เป็นผู้ให้สากล สามารถให้เลือดกับทุกหมู่เลือดได้แต่รับจากใครไม่ได้ และหมู่เลือด AB เป็นผู้รับสากลสามารถรับเลือดได้จากทุกคนแต่ให้ใครไม่ได้ ทั้งนี้ยังต้องคำนึงถึงระบบหมู่เลือดอื่นๆ ด้วย เช่น ระบบหมู่เลือด Rh เป็นต้น

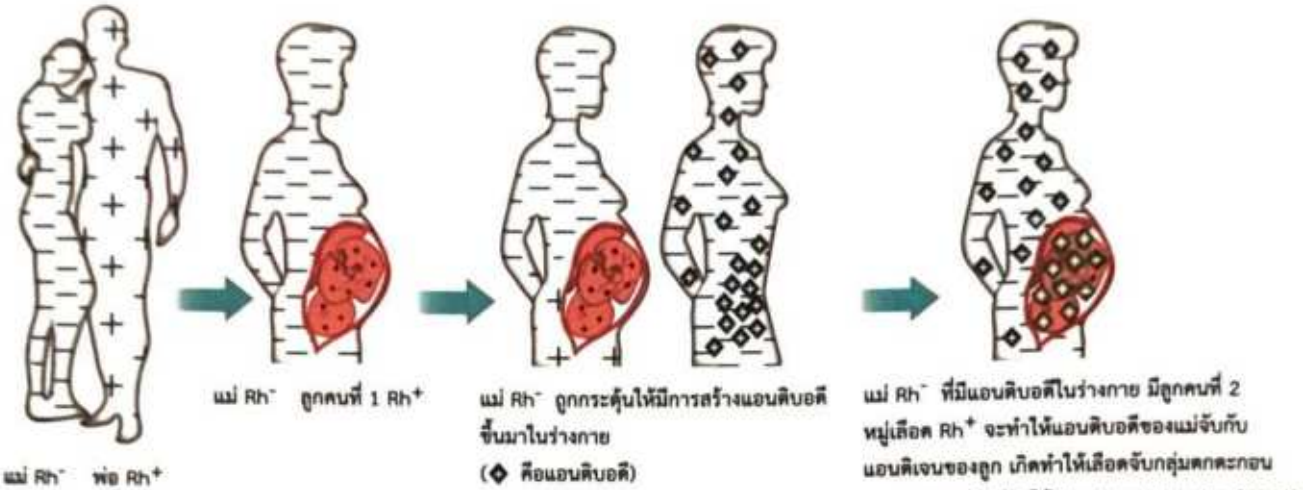
- ระบบหมู่เลือด Rh แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ
  - คนที่มีหมู่เลือด Rh^+ จะมีแอนติเจน Rh ที่ผิวเม็ดเลือดแดงแต่ไม่มีแอนติบอดี Rh ในพลาสมา
  - คนที่มีหมู่เลือด Rh^- จะไม่มีแอนติเจน Rh ที่ผิวเม็ดเลือดแดง และไม่มีแอนติบอดี Rh ในพลาสมา (Rh^- ให้จำว่าชีวิตติดลบ ไม่มีอะไรเลย) แต่ทั้งนี้คนที่มีหมู่เลือด Rh^- สามารถสร้างแอนติบอดี Rh ในพลาสมาได้เมื่อได้รับแอนติเจน Rh จากหมู่ Rh^+

กรณีให้เลือด

- คนหมู่เลือด Rh^+ รับเลือดได้ทั้ง Rh^+ หรือ Rh^- กี่ครั้งก็ได้ไม่เป็นอันตราย
- คนหมู่เลือด Rh^- รับเลือด Rh^+ (มีแอนติเจน Rh) ได้ในครั้งแรก ซึ่งจะกระตุ้นให้คนหมู่เลือด Rh^- สร้างแอนติบอดี Rh ถ้าได้รับเลือดครั้งที่ 2 จากคนหมู่เลือด Rh^+ ซึ่งมีแอนติเจน Rh อยู่ จะทำให้แอนติบอดี Rh จับกับแอนติเจน Rh ทำให้อาจเสียชีวิตได้ (สรุป Rh^- รับ Rh^+ ได้ 1 ครั้ง)

กรณีแม่ท้องลูก

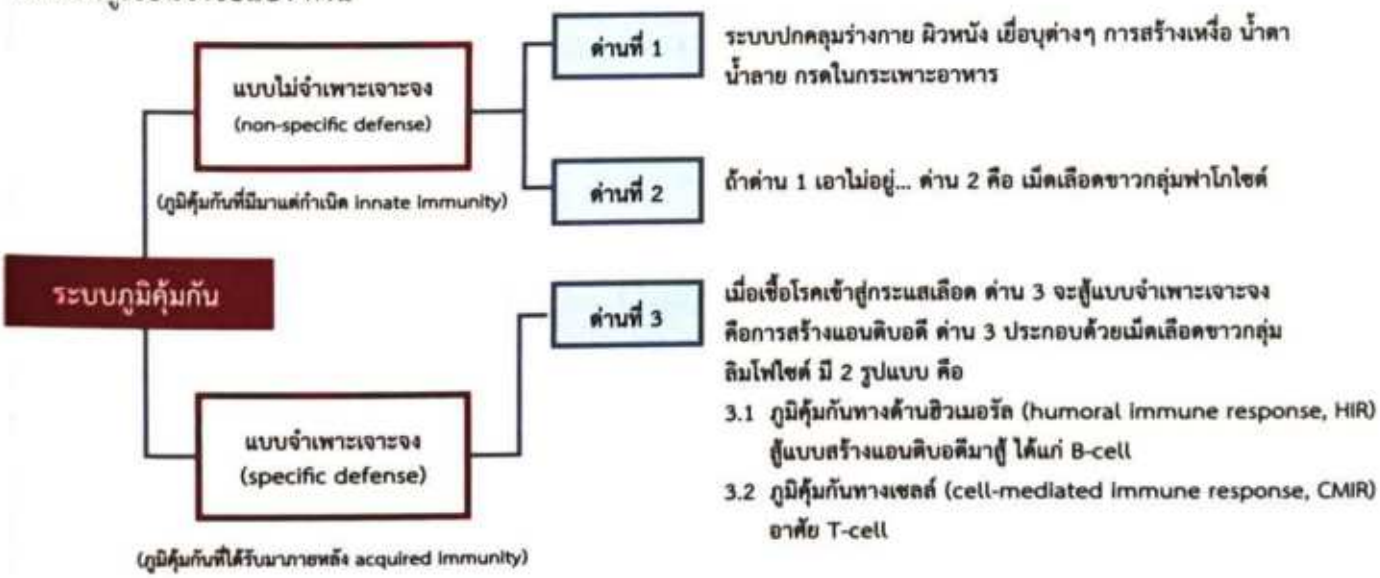
- แม่ Rh^+ จะมีลูก Rh^+ หรือ Rh^- ก็คนก็ได้ไม่เป็นอันตราย
- แม่ Rh^- แต่งงานกับพ่อ Rh^+ จนมีลูกคนที่ 1 เป็น Rh^+ จะทำให้แอนติเจน Rh ของลูกกระตุ้นให้แม่สร้างแอนติบอดี Rh ในร่างกาย แต่แอนติบอดีของแม่ยังไม่มากพอ จึงทำให้ลูกคนที่ 1 รอดปกติ แต่ถ้าแม่ Rh^- (ที่มีแอนติบอดีอยู่) มีลูกคนที่ 2 หมู่เลือด Rh^+ (มีแอนติเจน Rh) จะทำให้แอนติบอดีของแม่จับกับแอนติเจนของลูก ทำให้เม็ดเลือดแดงของทารกจับกลุ่มตกตะกอน ทารกอาจเสียชีวิต เรียกภาวะนี้ว่า **อีรีโทรบลาสโทซิสฟีทาลิส** (erythroblastosis fetalis) **.....ออกสอบบ่อยมาก!!**



▲ (Cr. kctcs.edu)

6.2 ระบบภูมิคุ้มกัน (immune system)

ระบบภูมิคุ้มกันเป็นระบบที่คอยกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกายด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นผู้เขียนจึงขอแบ่ง ดังนี้



- แอนติเจน (antigen) คือ สิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย เช่น แบคทีเรีย เชื้อโรค พยาธิ ไวรัส ฝุ่น สารเคมี อวัยวะปลูกถ่าย
- แอนติบอดี (antibody) คือ โปรตีนในเลือดที่ร่างกายสร้างขึ้นเพื่อต่อสู้กับแอนติเจน

ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเจาะจง (non-specific defense)

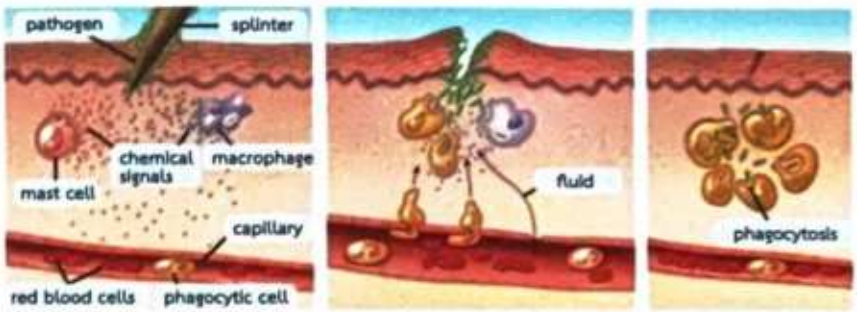
- เป็นภูมิคุ้มกันที่มีมาแต่กำเนิดสามารถตอบสนองได้ทันที

▸ ด่านที่ 1

- ระบบปกคลุมร่างกาย ผิวหนัง เมือกในทางเดินหายใจ ทางเดินปัสสาวะ ทางเดินอาหาร คอยดักจับสิ่งแปลกปลอม
- การไอ จาม หลั่งน้ำตาเป็นการขจัดสิ่งแปลกปลอม
- สารเคมีในร่างกาย เช่น กรด HCl ในกระเพาะอาหาร ไลโซไซม์ (lysozyme) ที่พบในน้ำตา สามารถย่อยผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้

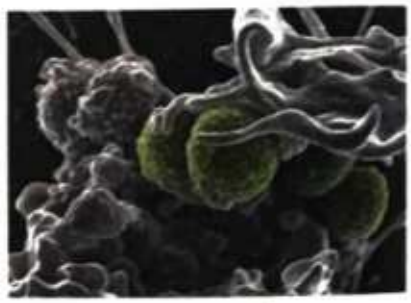
▸ ด่านที่ 2

- เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์ เช่น นิวโทรฟิลล์และมอนอไซต์จะจับกินเชื้อโรคโดย phagocytosis
- การตอบสนองโดยการอักเสบ จะตอบสนองเมื่อร่างกายได้รับการบาดเจ็บ ติดเชื้อ เช่น การหลั่งฮิสตามีนกระตุ้นการหดตัวของหลอดเลือด การหลั่งไซโทไคน์ (cytokine) จากนิวโทรฟิลและแมโครฟาจ ทำให้เลือดไหลเวียนมากขึ้นเกิดการบวมแดง และร้อนบริเวณแผล บางครั้งหลั่งสารไปกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการไข้ได้
- คอมพลีเมนต์ (complement) โปรตีนในน้ำเลือด ช่วยย่อยสลายจุลินทรีย์ ช่วยทำให้ไวรัสเป็นกลาง ช่วยให้เกิด phagocytosis ได้ดีขึ้น



1. ด่าน 1 เมื่อผิวหนังได้รับบาดเจ็บ ด่าน 2 mast cell และ macrophage หลั่งสารเคมีมากระตุ้นที่หลอดเลือดที่หดตัวอยู่
2. หลอดเลือดหดตัว เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์ได้รับสัญญาณและออกมาจับกินเชื้อโรคแบบ phagocytosis
3. มีการสะสมของฟาโกไซต์ เม็ดเลือดขาว รวมทั้งเนื้อเยื่อที่ตายแล้ว เกิดเป็นหนอง จากบริเวณที่ได้รับการบาดเจ็บ

▲ (Cr. nicerweb.com)



ภาพจากกล้อง SEM แสดงการจับกินเชื้อโรคแบบ phagocytosis ของเม็ดเลือดขาว

▲ (Cr. wikimedia.org)

ภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะเจาะจง (specific defense)

เป็นภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นภายหลังโดยการสร้างแอนติบอดีมาทำลายเชื้อโรคแบบจำเพาะเจาะจง มี 2 แบบ

1. ภูมิคุ้มกันทางด้านฮิวเมอรัล (humoral immune response, HIR) สู้แบบสร้างแอนติบอดีมาสู้ ได้แก่ B-cell เมื่อเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์จะเข้าจับกินก่อนจากนั้นส่งสัญญาณไปที่ helper T cell แล้วส่งสัญญาณมาที่ B-cell เพื่อสร้างแอนติบอดีมาสู้

   B-Cell ประกอบด้วย

   - plasma cell ทำหน้าที่สร้างแอนติบอดี
   - memory cell ทำหน้าที่จดจำเชื้อโรคไว้ หากพบเชื้อโรคชนิดเดิมเข้ามาในร่างกายจะสามารถตอบสนองได้ทันที

2. ภูมิคุ้มกันทางเซลล์ (cell mediated immune response, CMIR) อาศัย T-cell โดย T-cell แบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามการทำงาน คือ
   - เซลล์ที่ผู้ช่วย (helper T-cell หรือ CD^{4+}) กระตุ้นภูมิคุ้มกันที่มีมาแต่กำเนิด กระตุ้น B-cell กระตุ้น memory cell กระตุ้น CD^{8+} ให้แบ่งเซลล์ ทั้งนี้คนที่ติดเชื้อ HIV พบว่าจะมี CD^{4+} ต่ำมาก **(ออกสอบ)**
   - เซลล์ที่นักฆ่า (killer T-cell หรือ cytotoxic T-cell หรือ CD^{8+}) เข้าทำลายเซลล์มะเร็ง เซลล์ติดเชื้อไวรัส
   - ซัปเพรสเซอร์เซลล์ที่ (suppressor T-cell) ยับยั้งหรือกดการทำงานของ CD^{4+} และ CD^{8+} ไม่ให้ตอบสนองมากเกินไป

▲ (Cr. นพคุณ สุขสวัสดิ์)

▲ (Cr. Nucleus Medical Media)

▲ (Cr. NPR)

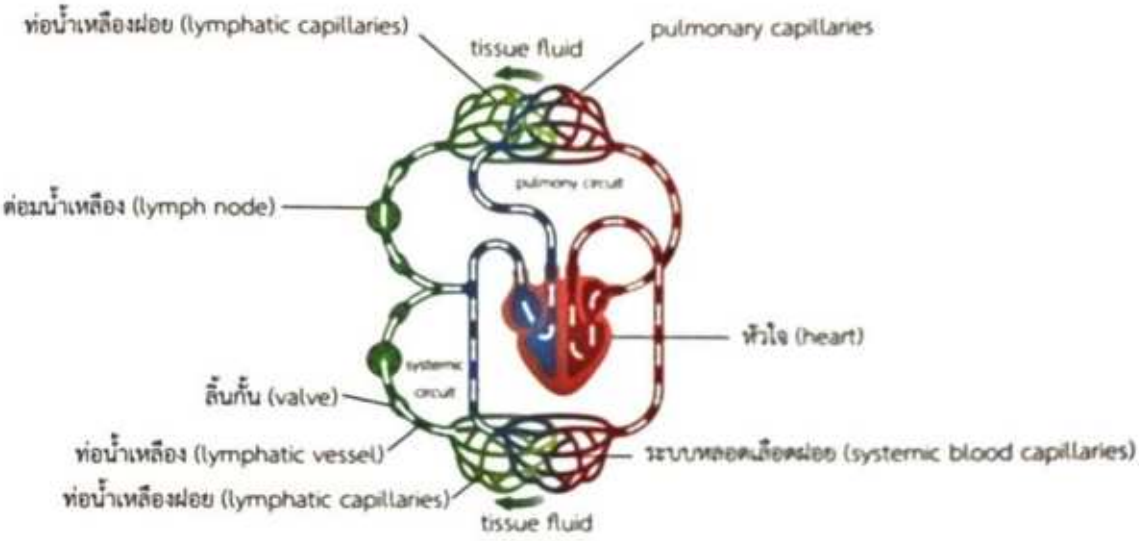
การสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ภูมิคุ้มกันแบบก่อเอง (active immunization)	2. ภูมิคุ้มกันแบบรับมา (passive immunization)
▸ ภูมิคุ้มกันที่ร่างกายได้รับแอนติเจนเข้ามาโดยตรงแล้วร่างกายมีการสร้างแอนติบอดีเองโดยตรง	▸ ภูมิคุ้มกันที่ร่างกายได้รับแอนติบอดีเข้ามาในร่างกายโดยตรง
▸ ภูมิคุ้มกันแบบนี้สร้างได้ช้าแต่อยู่ในร่างกายนาน	▸ ภูมิคุ้มกันแบบสร้างได้เร็วให้ผลทันที แต่อยู่ในร่างกายได้ไม่นาน
มี 2 แบบ คือ 1. ภูมิคุ้มกันแบบเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (natural active immunity) ภูมิคุ้มกันที่ร่างกายได้รับแอนติเจน (เชื้อโรค) เข้าสู่ร่างกาย แล้วร่างกายสร้างแอนติบอดีเข้าต่อสู้เองโดยตรง เช่น โรคหัด คางทูม อีสุกอีใส 2. ภูมิคุ้มกันแบบไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (artificial active immunity) ภูมิคุ้มกันที่ได้รับแอนติเจนเข้ามาจากการฉีดเข้าร่างกาย • วัคซีน (vaccine) เป็นการทำให้เชื้อโรคอ่อนกำลังหรือตายแล้วจนไม่สามารถก่อโรคได้ จากนั้นฉีดวัคซีน (ฉีดแอนติเจน) เข้าร่างกายเพื่อกระตุ้นการสร้างแอนติบอดีในการต่อสู้กับโรคนั้นๆ เช่น วัคซีนโปลิโอ ไอกรน หัด คางทูม ไข้หวัดใหญ่ • ทอกซอยด์ (toxiod) มาจากคำว่า toxin ที่แปลว่าสารพิษ เช่น สารพิษจากโรคคอตีบ บาดทะยัก	มี 2 แบบ คือ 1. ภูมิคุ้มกันแบบรับเองตามธรรมชาติ (natural passive immunity) ภูมิคุ้มกันที่ส่งผ่านจากแม่ไปยังทารกโดยผ่านทางรก หรืออาศัยน้ำนมของแม่ (มีแอนติบอดี) ภูมิคุ้มกันนี้อยู่กับทารกประมาณ 6-7 เดือน 2. ภูมิคุ้มกันแบบได้รับเข้ามา (artificial passive immunity) ภูมิคุ้มกันที่ได้รับแอนติบอดีเข้าสู่ร่างกายโดยการฉีดเข้าไป • ซีรัม (serum) เป็นส่วนน้ำใสของเลือดที่สกัดได้จากเลือดของม้าหรือกระต่ายที่ได้รับการกระตุ้นให้สร้างแอนติบอดี มาฉีดให้กับคนที่ป่วยเมื่อได้รับเชื้อโรค (แอนติเจน) นั้นๆ เพื่อรักษาโดยทันที เช่น ซีรัมแก้พิษงู พิษสุนัขบ้า

ความผิดปกติเนื่องจากภูมิคุ้มกัน

- โรคภูมิแพ้เกิดเนื่องจากพันธุกรรม เป็นผลมาจากความผิดปกติของการสร้างแอนติบอดีในการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมที่แพ้ เช่น แพ้ละอองเกสร ฝุ่นละออง สารเคมี อาหารทะเล ยา เป็นต้น
- โรคสร้างภูมิคุ้มกันต่อต้านเนื้อเยื่อตัวเอง (SLE) หรือโรคพุ่มพวง โดยคนที่ป่วยเป็นโรคนี้จะมีการสร้างแอนติบอดีขึ้นมาทำลายเนื้อเยื่อของตนเอง แทนที่จะทำลายแอนติเจน อาการทั่วไปมีไข้ อ่อนเพลีย ปวดหัว ปวดข้อ อาจเกิดภาวะไตอักเสบ เยื่อหุ้มหัวใจอักเสบได้
- โรคเอดส์ (AIDS) ภูมิคุ้มกันบกพร่องเนื่องจากได้รับเชื้อ HIV มีผลให้ระดับ CD^{4+} ลดลงต่ำ ทำให้เกิดภาวะโรคฉวยโอกาสมีโรคอื่นแทรกซ้อนมา สามารถติดต่อได้ทางเพศสัมพันธ์ การรับเลือด และติดจากแม่สู่ลูก แพทย์จะรักษาตามอาการของโรคที่แทรกซ้อน (ติดเชื้อ HIV ไม่จำเป็นต้องเป็น AIDS เสมอไป)

ระบบน้ำเหลือง (lymphatic system)



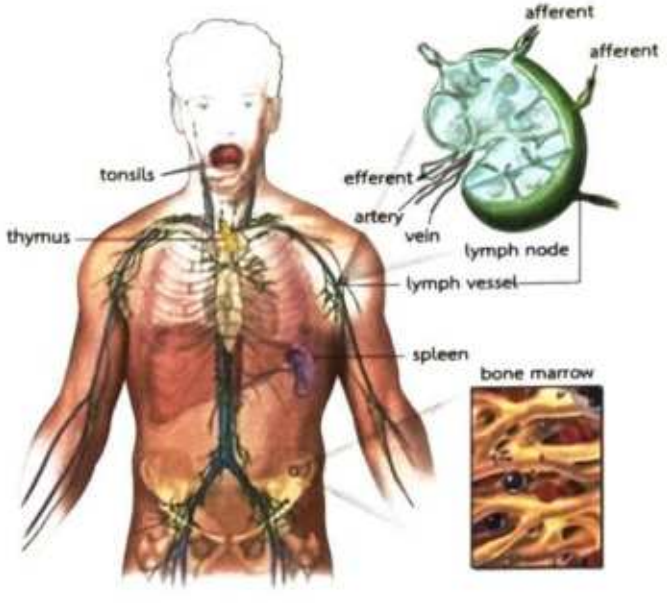
- น้ำเหลือง (lymph) คือ ของเหลวในท่อน้ำเหลือง (lymphatic vessel) เกิดจากการที่ของเหลวในเลือดไหลซึมออกมาจากหลอดเลือดฝอยมาอยู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อเพื่อหล่อเลี้ยงเซลล์ไว้ เรียกของเหลวนี้ว่า tissue fluid จากนั้นของเหลวนี้จะไหลเข้าสู่ท่อน้ำเหลืองกลายเป็นน้ำเหลือง น้ำเหลืองจึงประกอบด้วยสารโมเลกุลเล็กที่สามารถออกมานอกหลอดเลือดฝอยได้ เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ฮอร์โมน เอนไซม์ เม็ดเลือดขาว โดยสารโมเลกุลใหญ่จะผ่านมาไม่ได้ เช่น เม็ดเลือดแดง น้ำเหลืองจึงไม่มีเม็ดเลือดแดง

น้ำเหลืองต่างจากเลือด คือ ไม่มีเม็ดเลือดแดง ไม่มี thrombocyte และมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า

- ท่อน้ำเหลือง (lymph vessel) เป็นท่อปลายปิดและมีลิ้นกั้นป้องกันการไหลย้อนกลับ (คล้ายกับหลอดเลือด เว้นที่มีลิ้นกั้น) น้ำเหลืองในท่อน้ำเหลืองเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบรอบๆ ท่อน้ำเหลือง โดยจะมีท่อน้ำเหลืองฝอย (lymphatic capillary) แตกแขนงทั่วร่างกาย โดยท่อน้ำเหลืองจะส่งน้ำเหลือง **เข้าหัวใจทิศเดียวเท่านั้น** ระหว่างทางจะพบจุดรวมของท่อน้ำเหลืองเรียกว่า ต่อมน้ำเหลือง (lymph node)

- ต่อมน้ำเหลือง (lymph node) เป็นศูนย์รวมของท่อน้ำเหลืองที่มาจากทั่วร่างกาย ต่อมน้ำเหลืองจะอยู่ตามจุดต่างๆ ทั่วร่างกาย เช่น รักแร้ ขาหนีบ โดยต่อมน้ำเหลืองขนาดใหญ่จะเกิดการสร้างเป็นอวัยวะน้ำเหลือง (lymph organ) ประกอบด้วย

อวัยวะน้ำเหลือง	ลักษณะ/ตำแหน่งที่พบ	หน้าที่
1. ต่อมทอนซิล (tonsil)	▸ มี 3 คู่ (หลังโพรงจมูก ข้างเพดานอ่อน โคนลิ้น) ▸ เป็นต่อมเล็กๆ ที่มีลิมโฟไซต์	ช่วยทำลายเชื้อโรคที่มากับอากาศและอาหาร ไม่ให้เข้าหลอดอาหารและกล่องเสียง บางคนทำงานดีเกินไปจะเกิดการอักเสบได้ง่าย เป็นต่อมทอนซิลอักเสบ
2. ต่อมไทมัส (thymus)	▸ เป็นต่อมไร้ท่ออยู่บริเวณทรวงอก รอบหลอดเลือดใหญ่ของหัวใจ	สร้างลิมโฟไซต์ชนิดทีและยังสร้างฮอร์โมน thymocin ด้วย
3. ม้าม (spleen)	▸ อวัยวะน้ำเหลืองที่ใหญ่ที่สุด **(เคยออกสอบ)** ▸ ลักษณะคล้ายเม็ดถั่ว อยู่ใต้กะบังลมด้านซ้าย	ทำลายเชื้อโรคที่เข้ากระแสเลือด ทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดงและเกล็ดเลือดที่หมดอายุ



▲ (Cr. cancer.org)

Quiz Yourself

4) เซลล์ HIV มีผลโดยตรงต่อเซลล์ใดจึงทำให้เกิดโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง

1. helper T-cell
2. B-cell
3. cytotoxic T-cell
4. plasma cell
5. memory cell

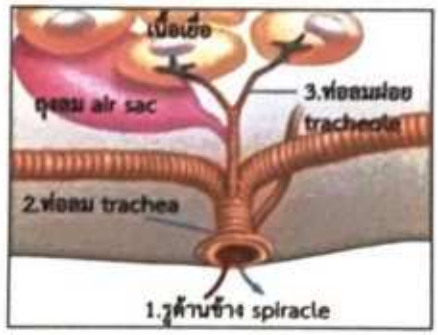
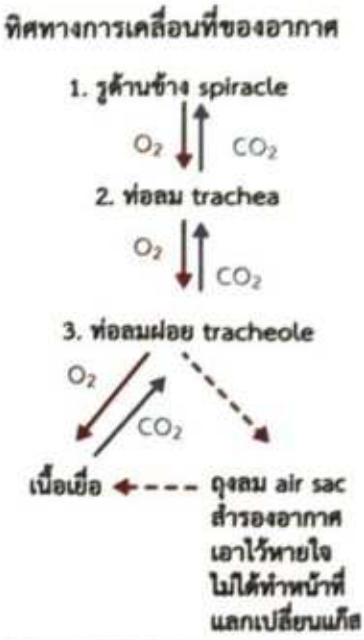
5) ถ้าตรวจเลือดแล้วพบเม็ดเลือดขาวมากกว่าปกติแสดงว่าเป็นโรคใด

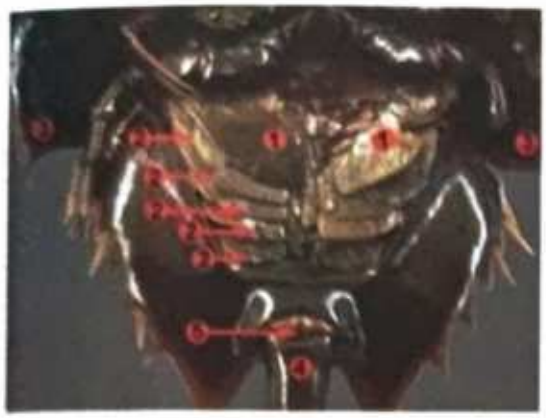
1. เอดส์
2. ติดเชื้อ
3. โลหิตจาง
4. ทาลัสซีเมีย

6.3 ระบบหายใจ (respiratory system) และการแลกเปลี่ยนแก๊ส (gas exchange)

สิ่งมีชีวิตจะมีการลำเลียงแก๊สออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่ร่างกาย เพื่อนำไปใช้ในการหายใจระดับเซลล์และสร้างพลังงานให้กับร่างกาย ทั้งนี้กระบวนการหายใจระดับเซลล์มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย จึงต้องมีการกำจัดออกด้วยเช่นกัน

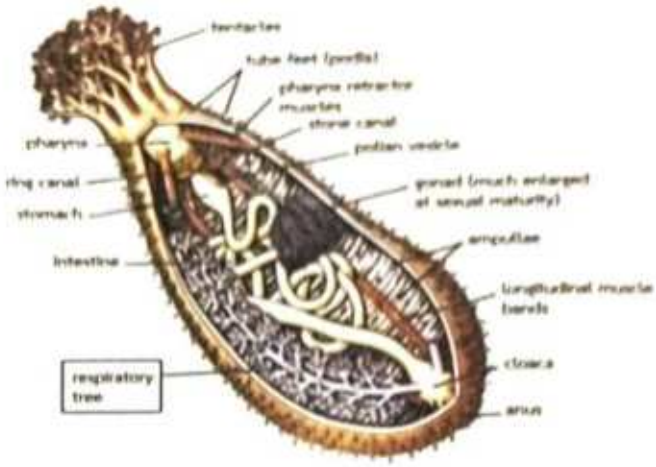
6.3.1 โครงสร้างที่ช่วยในการแลกเปลี่ยนแก๊สในสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิต	โครงสร้างในการแลกเปลี่ยนแก๊ส
โพรโทซัว อะมีบา พารามีเซียม	แลกเปลี่ยนแก๊สที่เยื่อหุ้มเซลล์
ฟองน้ำ ไฮดรา แมงกะพรุน พลานาเรีย	ใช้ผิวด้านนอกของตัว
ไส้เดือนดิน สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก	ใช้ผิวหนัง
กลุ่มอาร์โทรพอด (Phylum Arthropoda) Class Insecta (พวกแมลง มด เหา หมัด) Class Chilopoda (ตะขาบ) Class Diplopoda (กิ้งกือ)	ใช้ระบบท่อลม (tracheal system)  
แมงมุม	แผงปอด (book lung)
แมงดาทะเล	แผงเหงือก (book gill)
ปลิงทะเล (Phylum Echinodermata)	ใช้ respiratory tree แตกแขนงคล้ายกิ่งไม้ มีน้ำไหลเวียนภายใน
กุ้ง ปู ปลา ตัวอ่อนสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก	เหงือก (gill)
สัตว์ปีก สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์เลื้อยคลาน หอยทาก ปลามีปอด	ปอด (lung)



ภาพ book gill ของแมงดาทะเล (ตำแหน่งหมายเลข 2)

▲ (Cr. uwlax.edu)

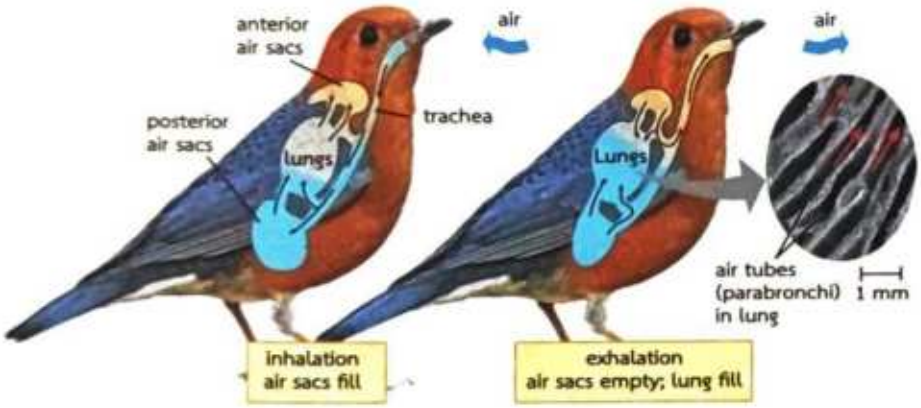


ภาพ respiratory tree ของปลิงทะเล

▲ (Cr. uottawa.ca)

การแลกเปลี่ยนแก๊สของนก มีการปรับตัวเพื่อให้เหมาะกับการบิน ดังนี้

- ทำให้ตัวเบา โดยกระดูกจะเบา มีโพรงด้านใน
- มีถุงลม 8-9 ถุงทั่วร่างกาย ทำหน้าที่สำรองอากาศ แต่ไม่ได้ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส (ออกสอบ) ทั้งนี้ช่วยระบายความร้อนและทำให้ตัวเบา
- การสูดลมหายใจเข้าออกแต่ละครั้ง ปอดจะสามารถแลกเปลี่ยนแก๊สได้ 2 ครั้ง

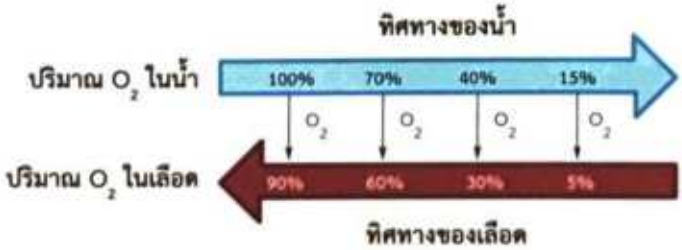


▲ (Cr. scienceforums.net)

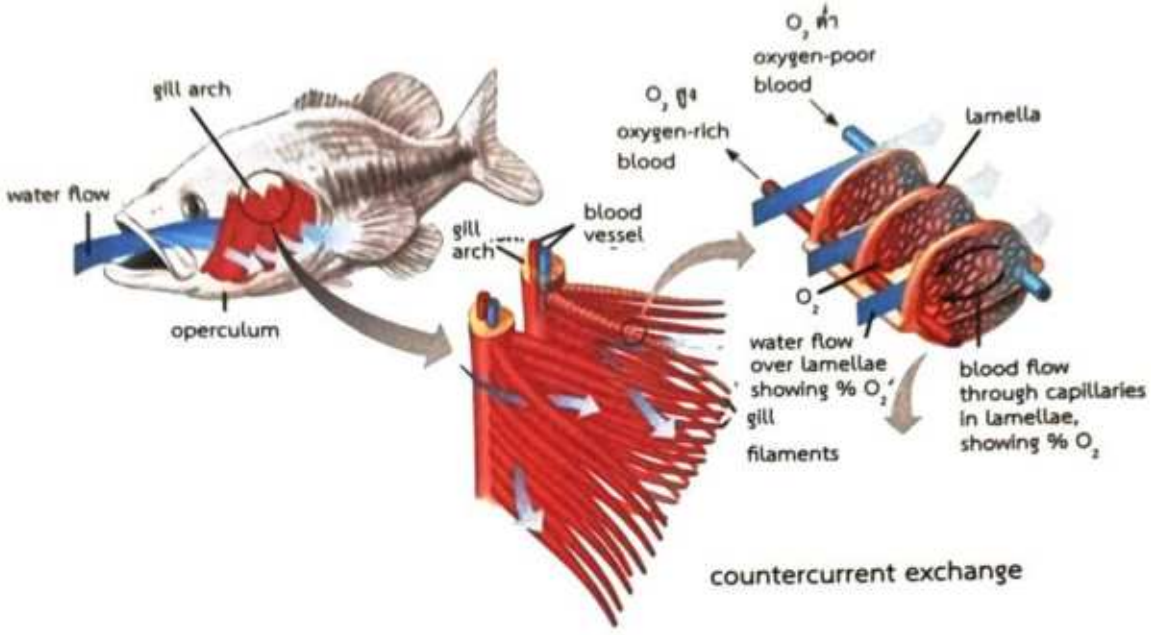
การหายใจของนก

▲ (Cr. Kelly Kage)

การแลกเปลี่ยนแก๊สของปลา



อาศัยการไหลสวนทางกันของน้ำกับเลือด เรียกวิธีการนี้ว่า การแลกเปลี่ยนแก๊สแบบทวนกระแส (counter-current exchange) จะทำให้เหงือกสามารถรับออกซิเจนได้มาก



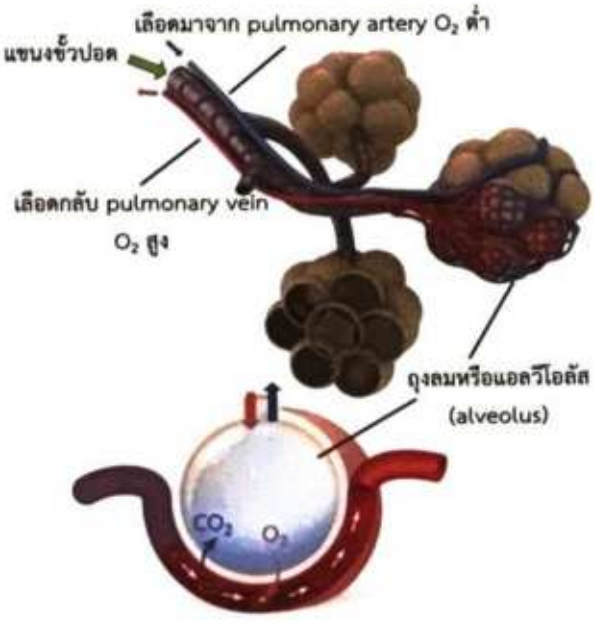
▲ (Cr. aknews.it)

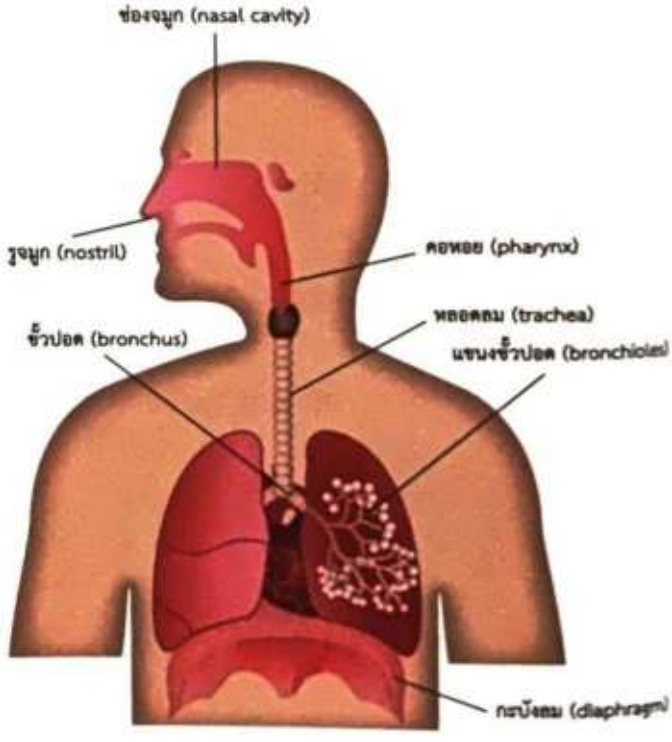
6.3.2 การหายใจของคน

- ทางเดินหายใจ

O_2 → รูจมูก (nostril) → ช่องจมูก (nasal cavity) → คอหอย (pharynx) → หลอดลม (trachea) → ขั้วปอด (bronchus) → แขนงขั้วปอด (bronchioles) → ถุงลมหรือแอลวีโอลัส (alveolus) → หลอดเลือดฝอย (capillary)

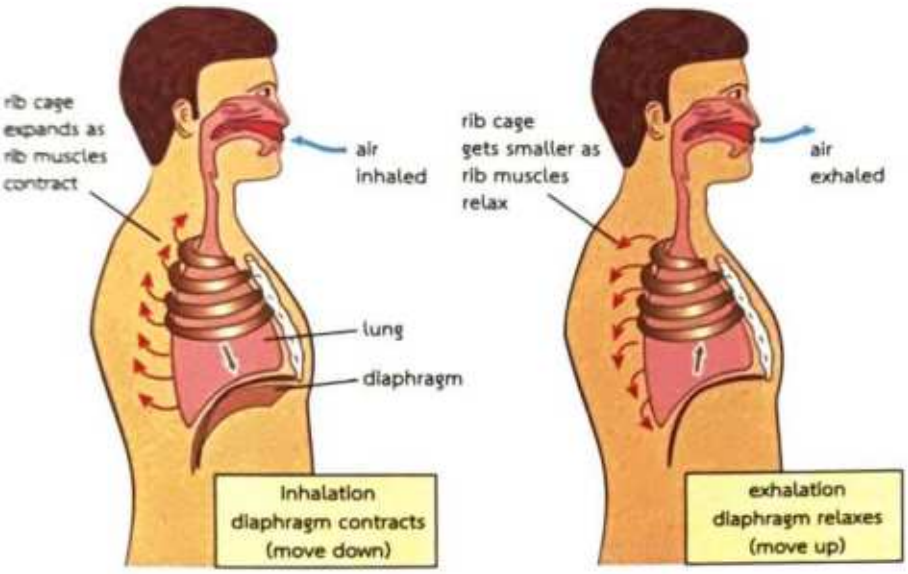
- การแลกเปลี่ยนแก๊สของคนเกิดที่ถุงลม โดยถุงลมมีประมาณ 700 ล้านถุง มีพื้นที่ผิวประมาณ 90 m^2 บาง และมีหลอดเลือดฝอยจำนวนมาก





- การหายใจเข้าและการหายใจออก (จำแค่หายใจเข้า เพราะหายใจออกก็ตรงข้ามกัน) **ออกสอบบ่อยมาก**

ข้อเปรียบเทียบ	การหายใจเข้า (inhalation)	การหายใจออก (exhalation)
1. กระดูกซี่โครง	ยกขึ้น	เลื่อนลง
2. กะบังลม	หดตัว ลงต่ำ	คลายตัว ยกขึ้น
3. กล้ามเนื้อซี่โครงแถบนอก	หดตัว	คลายตัว
4. กล้ามเนื้อหน้าท้อง	คลายตัว (ท้องป่อง)	หดตัว (ท้องยุบ)
5. ปริมาตรช่องอก	เพิ่มขึ้น	ลดลง
6. ความดันช่องอก	ลดลง (อากาศจากภายนอกซึ่งมีความดันสูงมากกว่าจึงไหลเข้ามาในปอด)	เพิ่มขึ้น (อากาศภายในปอดซึ่งมีความดันสูงจึงไหลออกไปภายนอกซึ่งมีความดันน้อยกว่า)



การหายใจของมนุษย์

▲ (Cr. Designmate Pvt. Ltd)

การควบคุมการหายใจ มี 2 แบบ ดังนี้

1. การควบคุมแบบอัตโนมัติ เป็นการที่เราไม่สามารถควบคุมการหายใจได้ ศูนย์กลางอยู่ที่สมองส่วนเมดัลลาออบลองกาตา และพอนส์
2. การควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ คือ การควบคุมที่เราสามารถบังคับการหายใจสั้นยาวได้ ศูนย์ควบคุมอยู่ที่เซรีบรัลคอร์เทกซ์ ไฮโพทาลามัส และซีรีเบลลัม เช่น การร้องเพลง การดำน้ำ การเป่าเครื่องดนตรี เป็นต้น

กลไกการแลกเปลี่ยนแก๊ส

การแลกเปลี่ยนแก๊สภายในร่างกายคนเกิด 2 แห่ง คือ

- ปอด เป็นการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างถุงลมกับหลอดเลือดฝอย
- ที่เนื้อเยื่อ เป็นการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างหลอดเลือดฝอยกับเนื้อเยื่อ

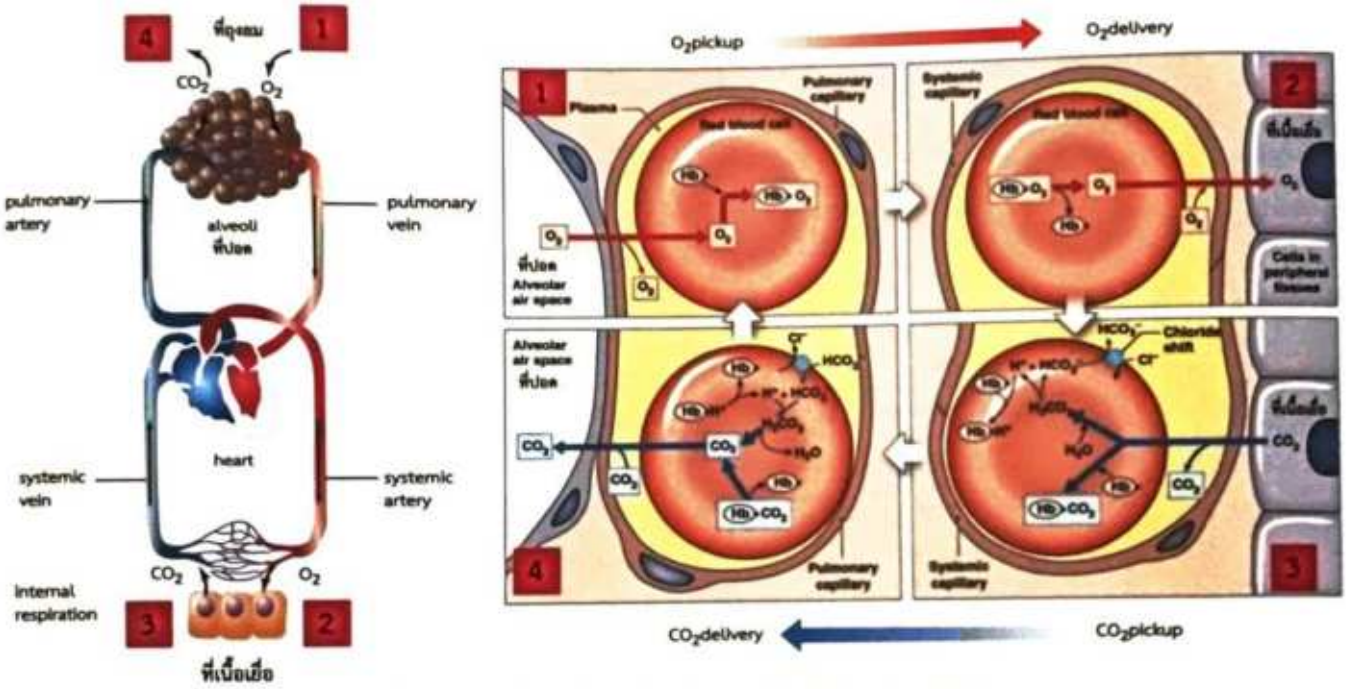
- การแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจน โดย O_2 จะรวมตัวกับฮีโมโกลบิน (hemoglobin (Hb)) ที่เม็ดเลือดแดง กลายเป็น oxyhemoglobin (HbO_2) ที่ปอด จากนั้น HbO_2 จะถูกลำเลียงไปทั่วร่างกาย ต่อมาจะแตกตัวกลับมาเป็น O_2 + ฮีโมโกลบิน และแก๊ส O_2 ก็จะเข้าสู่เซลล์ของเนื้อเยื่อ

$$Hb + O_2 \underset{\text{เนื้อเยื่อ}}{\overset{\text{ปอด}}{\rightleftharpoons}} HbO_2$$

- การแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเกิดการหายใจระดับเซลล์ที่เซลล์ของเนื้อเยื่อจะมีการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 ออกมาจับกับฮีโมโกลบิน (Hb) ได้น้อย จึงละลายกับน้ำในพลาสมา ทำให้เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ในภาวะที่เราออกกำลังกายหนักๆ ร่างกายจะใช้ออกซิเจนในการหายใจระดับเซลล์เพื่อสร้างพลังงาน และปลดปล่อย CO_2 มาจำนวนมาก เมื่อ CO_2 จับกับ H_2O มากขึ้นเลือดจึงเป็นกรดสูงขึ้น เนื่องจาก $CO_2 + H_2O$ ได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) และกรดคาร์บอนิกแตกประจุให้ H^+ (จำนวนมาก) + HCO_3^- ร่างกายจึงปรับสมดุลโดยสมองส่วนเมดัลลาออบลองกาตาและพอนส์สั่งให้เราหายใจออกมากขึ้น (เอา CO_2 ออกไป) การกลั้นหายใจก็ทำให้เลือดเป็นกรดเช่นกัน

$$H_2O + CO_2 \underset{\text{ปอด}}{\overset{\text{เนื้อเยื่อ}}{\rightleftharpoons}} H_2CO_3 \underset{\text{ในเม็ดเลือดแดง}}{\overset{\text{ในเม็ดเลือดแดง}}{\rightleftharpoons}} H^+ + HCO_3^-$$

สรุปกลไกการแลกเปลี่ยนแก๊ส



▲ (Cr. midlandstech.edu และ highalands.edu)

ทั้งนี้อัตราการจับแก๊สของฮีโมโกลบินจากมากไปน้อย คือ CO (จับได้ง่ายสุด) > O_2 > CO_2

- ปัจจัยที่มีผลต่อการจับกันของฮีโมโกลบินกับออกซิเจน
  - อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น Hb จับกับ O_2 น้อยลง ขณะออกกำลังกายอุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น Hb จับกับ O_2 น้อยลง เพื่อให้ร่างกายนำ O_2 ไปใช้ในเซลล์เพื่อสร้างพลังงานได้มากขึ้น
  - ค่า pH ถ้าเลือด pH ลดลง (เป็นกรดเพิ่มขึ้น) จะทำให้ Hb จับกับ O_2 น้อยลง ขณะออกกำลังกายเลือดมีความเป็นกรด เนื่องจาก $CO_2 + H_2O$ ได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) จึงทำให้ Hb จับกับ O_2 น้อยลง เพื่อนำไปใช้ได้มากขึ้น
- เหตุการณ์ที่เกี่ยวกับการหายใจในชีวิตประจำวัน
  - การหาว เกิดเนื่องจากมี CO_2 ในเลือดมากเกินไป เพราะร่างกายอ่อนเพลีย ร่างกายจึงตอบสนองโดยการหายใจเข้ายาวและลึก

- การสะอึก เกิดจากการที่กะบังลมหดตัวอย่างเร็ว ทำให้หายใจเข้าทันที และฝาปิดกล่องเสียงดันลงมาปิดทันที ลมจึงดันทำให้เกิดเสียงสะอึก ทั้งนี้เนื่องจากมีการระคายเคืองที่กระเพาะอาหาร
- การจาม เกิดจากการหายใจเข้าลึกๆ และหายใจออกทันที เนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมเข้ามาที่จมูก
- การไอ เป็นการหายใจอย่างรุนแรง เนื่องจากมีบางอย่างเข้าไปในกล่องเสียงและหลอดลม
- การกรน คือ การหายใจออกทางปาก เนื่องจากมีบางอย่างกีดขวางทางเดินหายใจ เสียงกรนเกิดเนื่องจากเมื่อลมหายใจออกทางปากผ่านเพดานอ่อนจะทำให้เพดานอ่อนสั่นจึงเกิดเสียงกรน

Quiz Yourself

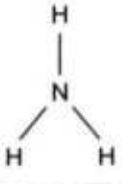
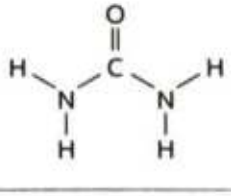
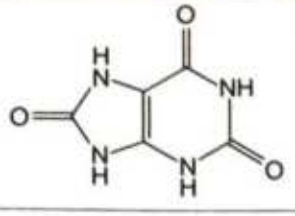
6) การหายใจออกเต็มที่กล้ามเนื้อคู่ใดหดตัว
1. กล้ามเนื้อหน้าท้อง กล้ามเนื้อกะบังลม
2. กล้ามเนื้อกะบังลม กล้ามเนื้อซี่โครงแถบใน
3. กล้ามเนื้อกะบังลม กล้ามเนื้อซี่โครงแถบนอก
4. กล้ามเนื้อหน้าท้อง กล้ามเนื้อซี่โครงแถบใน
5. กล้ามเนื้อหน้าท้อง กล้ามเนื้อซี่โครงแถบนอก

7) ถ้านกมีปอดเหมือนคน จะเกิดปัญหาอะไรกับนก
1. ไม่สามารถบินได้ เพราะไม่มีถุงลมสำรองอากาศ
2. ไม่สามารถบินได้ เพราะไม่มีถุงลมแลกเปลี่ยนแก๊ส
3. บินได้ แต่ไม่นาน เพราะไม่มีถุงลมสำรองอากาศ
4. บินได้ แต่ไม่นานเพราะไม่มีถุงลมแลกเปลี่ยนแก๊ส

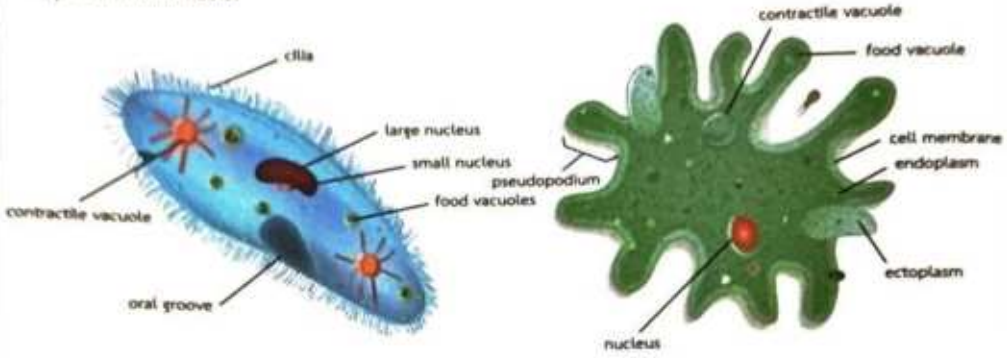
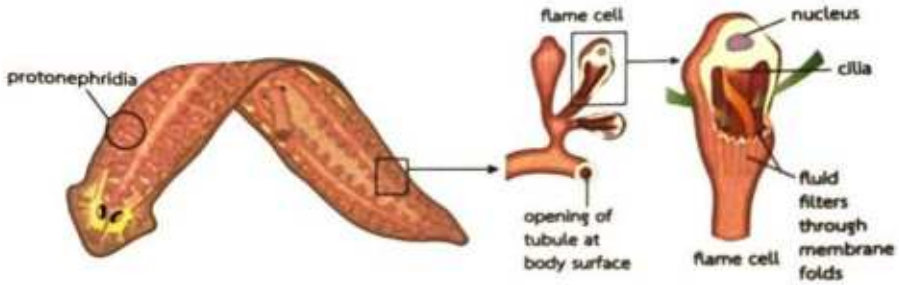
6.4 ระบบขับถ่าย (excretory system)

การขับถ่ายเป็นกระบวนการกำจัดของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น สารพวกแอมโมเนีย ยูเรีย กรดยูริก และเพื่อรักษาสมดุลของร่างกายให้เป็นปกติ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม ได้แก่

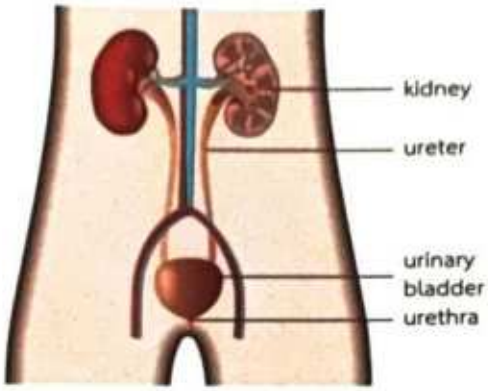
- CO_2 เป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการสลายอาหารระดับเซลล์จะถูกขับออกทางลมหายใจ
- สารประกอบไนโตรเจน เป็นของเสียที่เกิดจากการสลายโปรตีนและกรดนิวคลีอิก เรียกของเสียนี้ว่า ของเสียไนโตรเจน (nitrogenous waste) แบ่งออกเป็น แอมโมเนีย ยูเรียและกรดยูริก

ข้อเปรียบเทียบ	แอมโมเนีย	ยูเรีย	กรดยูริก
โครงสร้างทางเคมี			
ความสามารถในการละลายน้ำ	ดีที่สุด	ปานกลาง	น้อยที่สุด
ความเป็นพิษ	มากที่สุด	ปานกลาง	น้อยที่สุด
พลังงานที่ใช้ในการสร้างสาร	น้อยที่สุด	ปานกลาง	มากที่สุด
ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่ขับถ่ายสารประกอบไนโตรเจนดังกล่าว	▸ สัตว์น้ำส่วนใหญ่ ▸ ปลาส่วนใหญ่	▸ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ▸ สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก ▸ เต่าทะเล ฉลาม กระเบน	▸ นก ▸ แมลง, หอยทาก ▸ สัตว์เลื้อยคลานบางชนิด

6.4.1 การขับถ่ายในสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิต	โครงสร้างในการขับถ่าย
โพรโทซัว อะมีบา พารามีเซียม	แพร่ CO_2 ออกที่เยื่อหุ้มเซลล์ และมีคอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (contractile vacuole) รักษาสมดุลน้ำภายในเซลล์ 
ฟองน้ำ ไฮดรา แมงกะพรุน	ขับแอมโมเนียโดยผ่านการแพร่ผ่านที่เยื่อหุ้มเซลล์หรือผนังลำตัว
พลานาเรีย	▸ ใช้โครงสร้างที่เรียกว่า เฟลมเซลล์ (flame cell) ในการกำจัดน้ำส่วนเกินออกจากร่างกาย ▸ เฟลมเซลล์จะมีขนซิเลียพัดโบกน้ำและอาหารไปตามท่อขับถ่าย (excretory duct) ทิศทาง น้ำส่วนเกิน + ของเสีย ⟶ เฟลมเซลล์ ⟶ ท่อขับถ่าย  ▲ (Cr. typepad.com)
ไส้เดือนดิน	ใช้ท่อเนฟริเดียม (nephridium) ปล้องละ 1 คู่ ลักษณะเป็นท่อขดไปมา โดยของเหลวจากช่องลำตัวจะเข้าทางปากแตรที่เรียกว่า เนโฟรสโตม (nephrostome) ที่ปากแตรมีซิเลียพัดโบกของเสียจากช่องว่างลำตัว จากนั้นของเสียถูกส่งไปยังถุงพัก (bladder) และส่งออกที่ช่องเปิดทางผิวหนังที่เรียกว่า เนฟริดิโอพอร์ (nephridipore) ทิศทาง **ของเสีย (แอมโมเนีย + ยูเรีย) จากช่องว่างลำตัว ⟶ เนโฟรสโตม (เข้า) ⟶ ท่อเนฟริเดียม กำจัดแอมโมเนียและยูเรีย และดูดกลับน้ำและเกลือแร่เข้าสู่เส้นเลือด ⟵ ถุงพัก ⟵ เนฟริดิโอพอร์ (ออก)**
แมลง	ใช้ท่อมัลพิเกียน (Malpighian tubule) ลักษณะเป็นท่อเล็กๆ ที่คล้ายกับถุงจำนวนมากยื่นออกมาจากทางเดินอาหาร ซึ่งอยู่ระหว่างรอยต่อของกระเพาะอาหารกับลำไส้
กุ้ง	ใช้ต่อมเขียว (green gland) หรือต่อมแอนเทนนัล (antennal gland) ที่อยู่ส่วนหัวของกุ้งขับของเสียในรูปของแอมโมเนีย
สัตว์ปีกและสัตว์เลื้อยคลาน	ใช้ไต (kidney) 1 คู่ ในการควบคุมความเข้มข้นของสาร และขับถ่ายของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

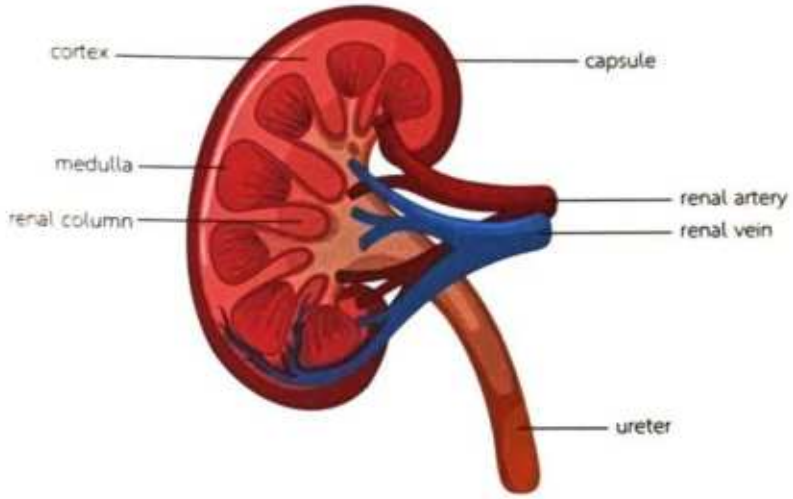
6.4.2 ระบบขับถ่ายของมนุษย์



อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการขับถ่ายของคน

- ไต (kidney) รูปร่างคล้ายเม็ดถั่ว ยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร ทำหน้าที่กรองของเสียที่ได้จากการเผาผลาญอาหารออกจากระบบหมุนเวียนเลือด และสร้างเป็นน้ำปัสสาวะ
- ท่อไต (ureter) ทำหน้าที่ลำเลียงปัสสาวะจากไตไปยังกระเพาะปัสสาวะ
- กระเพาะปัสสาวะ (urinary bladder) ทำหน้าที่กักเก็บน้ำปัสสาวะ
- ท่อปัสสาวะ (urethra) ใช้ขับปัสสาวะออกนอกร่างกาย

▸ โครงสร้างของไต ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น คือ

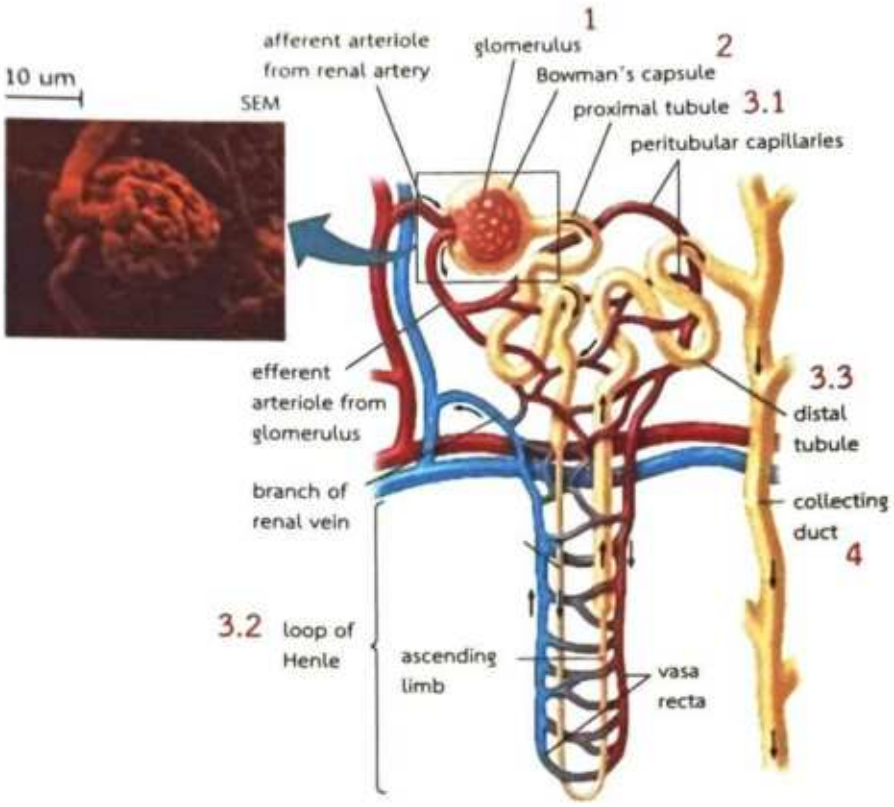


▲ (Cr. นพคุณ สุขสวัสดิ์)

- ชั้นคอร์เท็กซ์ (cortex) เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก มีสีน้ำตาลแดง จะเห็นจุดสีแดงคือ หน่วยไต (nephron) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการกรองของเสีย ชั้นคอร์เท็กซ์พบว่ามีโกลเมอรูลัส โบว์แมนแคปซูล ท่อขดส่วนต้นและท่อขดส่วนปลายที่ชั้นนี้
- ชั้นเมดัลลา (medulla) เป็นเนื้อเยื่อชั้นใน จะเห็นโครงสร้างคล้ายพีระมิด และเห็นโพรงที่เรียกว่า กรวยไต (renal pelvis) ชั้นเมดัลลาพบว่ามีห่วงเฮนเลและท่อรวมที่ชั้นนี้

- **หลอดเลือดที่นำเลือดที่มีของเสียอยู่มาก (แต่มีปริมาณออกซิเจนสูง) เข้าไปกรองที่ไตคือ renal artery**
- **หลอดเลือดที่นำเลือดที่ผ่านการกรองของเสียออกแล้ว (มีปริมาณออกซิเจนน้อย) ออกจากไต คือ renal vein**

องค์ประกอบของหน่วยไต (nephron) มีดังนี้ ไล่ตั้งแต่เลือดพาของเสียเข้ามาตามลำดับ



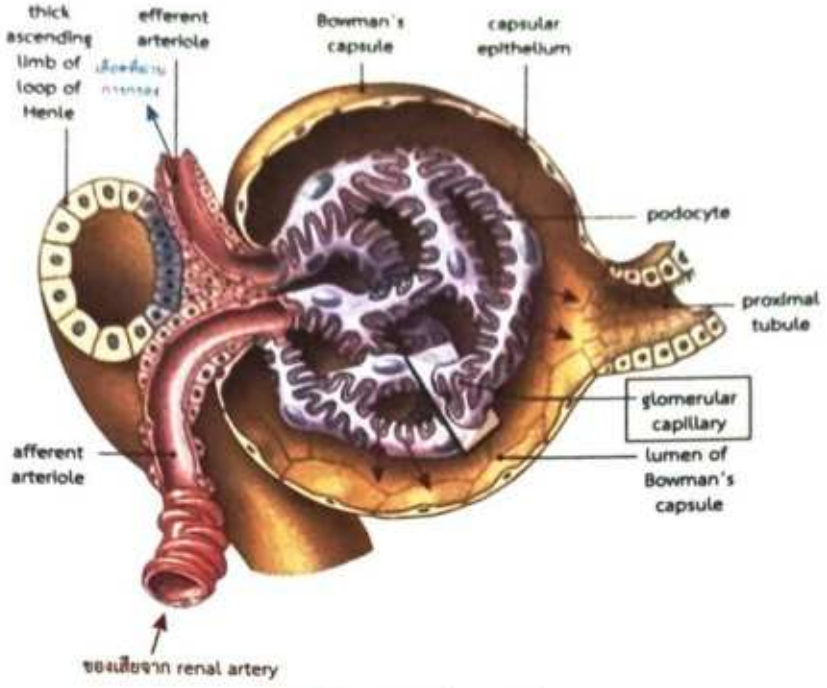
▲ (Cr. pinimg.com)

1. โกลเมอรูลัส (glomerulus) เป็นกลุ่มหลอดเลือดฝอย ทำหน้าที่กรองสารออกจากเลือด ผ่านเข้ามายังโบว์แมนส์แคปซูล
2. โบว์แมนส์แคปซูล (Bowman's capsule) เป็นกระเปาะหุ้มโกลเมอรูลัสเอาไว้ ทำหน้าที่รับสารที่กรองแล้วจากโกลเมอรูลัส
3. ท่อหน่วยไต มี 3 ส่วน คือ
   - 3.1 ท่อขดส่วนต้น (proximal tubule) เป็นที่ดูดกลับสารมากที่สุด
   - 3.2 ห่วงเฮนเล (loop of Henle) เป็นที่ดูดกลับน้ำมากที่สุด
   - 3.3 ท่อขดส่วนปลาย (distal tubule) ท่อขดไปมาอยู่ส่วนท้าย
4. ท่อรวม (collecting duct) บริเวณที่รับของเสียจากท่อหน่วยไตอื่นๆ แล้วส่งไปยังกรวยไต

▸ การทำงานของไต มี 3 ขั้นตอน คือ...ออกสอบบ่อย

ขั้นตอนที่ 1 การกรองของเสีย (filtration)

สาระสำคัญคือ เป็นการเลือกสารโมเลกุลเล็กให้ผ่านไปได้ และไม่ให้สารโมเลกุลใหญ่ผ่านไป ให้นึกถึงตะแกรงที่ลวกก๋วยเตี๋ยวในหม้อ เส้นและลูกชิ้นจะผ่านไปไม่ได้แต่น้ำร้อนจะผ่านลงมาได้

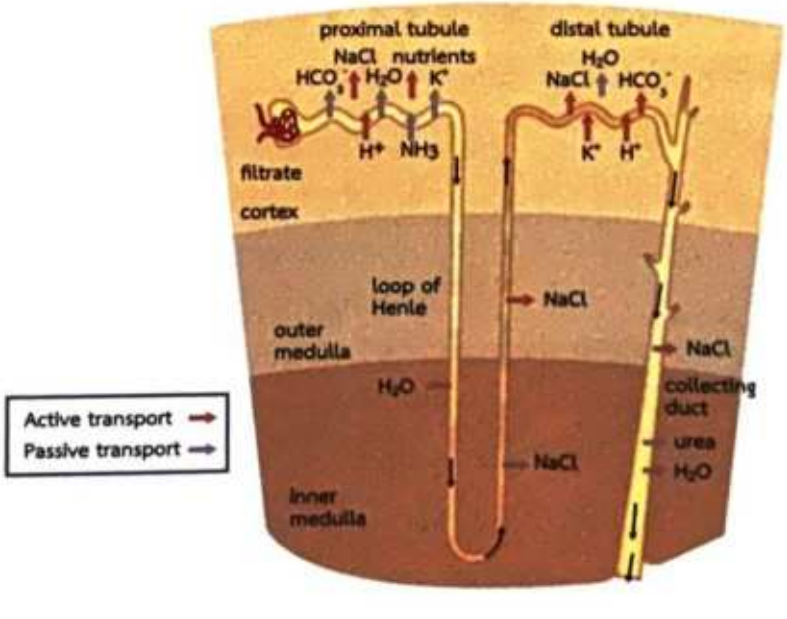


▲ (Cr. memrise.com)

- การกรองเกิดที่โกลเมอรูลัส ซึ่งเป็นหลอดเลือดฝอยและมีเยื่อบุเป็นตัวกรองของเหลวออกจากเลือด
- ที่เยื่อบุจะยอมให้สารโมเลกุลเล็กผ่านไปได้ เช่น น้ำ กลูโคส กรดอะมิโน วิตามิน เกลือแร่ ยูเรีย แต่จะไม่ยอมให้โมเลกุลขนาดใหญ่ผ่านไปได้ เช่น โปรตีน ไขมัน และเม็ดเลือดแดง
- ของเหลวที่กรองผ่านโกลเมอรูลัสแล้วเรียก ของเหลวที่กรองได้ (glomerular filtration) ซึ่งมีองค์ประกอบคล้ายพลาสมาของเลือด แต่ไม่มีเม็ดเลือด โปรตีนและไขมัน จากนั้นโบว์แมนส์แคปซูล ทำหน้าที่รับสารที่กรองแล้วจากโกลเมอรูลัส
- หลอดเลือดที่นำเข้าเลือดไปกรองที่โกลเมอรูลัสเรียก afferent arteriole และหลอดเลือดที่นำเลือดที่ผ่านการกรองออกไปเรียก efferent arteriole

ขั้นตอนที่ 2 การดูดกลับสาร (reabsorption)

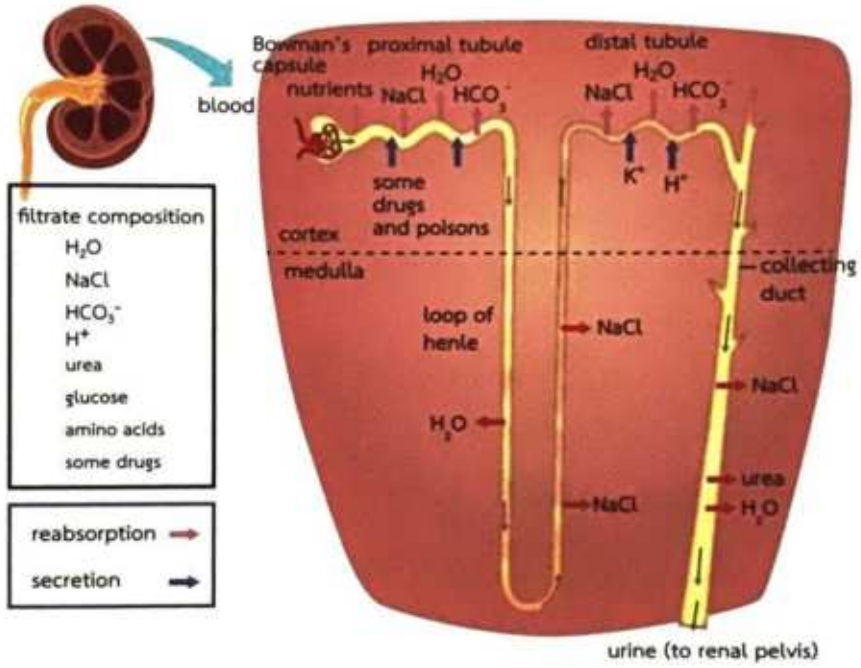
สาระสำคัญคือ ของดีดูดกลับ และของเสียก็ขับทิ้งไป เพื่อปรับสมดุลในร่างกาย



- การดูดกลับสารเกิดที่ท่อหน่วยไต ทั้งนี้สารที่ถูกดูดกลับจะเข้าสู่หลอดเลือดที่ขนานไปกับท่อหน่วยไต โดยการดูดกลับสารส่วนใหญ่ใช้วิธี active transport แต่การดูดกลับน้ำจะใช้ passive transport
- ท่อขดส่วนต้น (proximal tubule) เป็นที่ดูดกลับสารมากที่สุด
- ห่วงเฮนเล (loop of Henle) เป็นบริเวณที่มีการดูดกลับน้ำมากที่สุด
- กลูโคสและโปรตีนจะถูกดูดกลับหมด
- สารที่ถูกดูดกลับน้อยมาก ได้แก่ ยูเรีย ซัลเฟต ฟอสเฟต
- ของเหลวที่กรองผ่านโกลเมอรูลัสในแต่ละวันมีปริมาณ 180 ลิตร แต่ร่างกายขับปัสสาวะวันละ 1.5 ลิตร แสดงว่าไตมีการดูดกลับสารไปวันละประมาณ 178.5 ลิตร

ขั้นตอนที่ 3 การหลั่งสาร (secretion)

- การหลั่งสาร ส่วนใหญ่เกิดที่ท่อขดส่วนต้นและท่อขดส่วนปลาย และเป็นการหลั่งสารโดยอาศัยกระบวนการ active transport
- สารที่หลั่ง เช่น H^+, K^+, NH_3 สารพิษและยาที่เซลล์เยื่อบุได้รับจากตับ ซึ่งมีผลต่อการปรับ pH ของน้ำปัสสาวะ ทำให้ปัสสาวะมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ หรือเป็นกลาง



▸ ตารางปริมาณสารที่ดูดกลับและปริมาณสารในน้ำปัสสาวะ

สาร	พลาสมา (กรัม/100 cm^3)	ของเหลวที่กรองผ่านโกลเมอรูลัส (กรัม/100 cm^3)	ปัสสาวะ (กรัม/100 cm^3)
น้ำ	92	90-93	95
โปรตีน	6.0-8.4	0.01-0.02	0
ยูเรีย	0.0008-0.25	0.03	2
กรดยูริก	0.003-0.007	0.003	0.05
แอมโมเนีย	0.0001	0.0001	0.05
กลูโคส	0.07-0.11	0.1	0

สาร	พลาสมา (กรัม/100 cm^3)	ของเหลวที่กรองผ่านโกลเมอรูลัส (กรัม/100 cm^3)	ปัสสาวะ (กรัม/100 cm^3)
โซเดียมไอออน	0.31-0.33	0.32	0.6
คลอไรด์ไอออน	0.35-0.40	0.37	0.6

จากตารางแสดงให้เห็นว่าในน้ำปัสสาวะไม่ควรพบ 3 สิ่งนี้คือ

- เม็ดเลือด (กรองไม่ผ่านโกลเมอรูลัส)
- กลูโคส (ถ้าพบแสดงว่ามีน้ำตาลในเลือดสูง ไตดูดกลับได้ไม่หมด กลูโคสจึงออกมากับน้ำปัสสาวะ อาจเป็นโรคเบาหวาน)
- โปรตีน (ถ้าพบโปรตีนในน้ำปัสสาวะ ปัสสาวะจะมีสีขาวขุ่น)

▸ ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการรักษาดุลยภาพของน้ำและเกลือแร่ในร่างกาย

แหล่งผลิต : ต่อมใต้สมองส่วนหลัง (posterior pituitary gland)		
ชนิดฮอร์โมน	**อวัยวะเป้าหมาย**	**หน้าที่**
ADH (antidiuretic hormone) หรือวาโซเพรสซิน (vasopressin) alcohol มีผลต่อการยับยั้งการหลั่ง ADH ทำให้ไตไม่ดูดน้ำกลับ จึงขับทิ้งออกมา ขณะดื่มเหล้าจึงปัสสาวะบ่อย	ท่อหน่วยไต	กระตุ้นให้ท่อหน่วยไตดูดน้ำกลับ จะหลั่งออกมาเมื่อเกิดการกระหายน้ำ การขาดน้ำ ร่างกายขาดน้ำ → เลือดเข้มข้น มีแรงดันออสโมติกสูง ดื่มน้ำมากๆ → เลือดเจือจาง มีแรงดันออสโมติกต่ำ → ไฮโพทาลามัส → ต่อมใต้สมองส่วนหลัง → กระตุ้นให้หลั่ง ADH เพื่อดูดน้ำกลับที่ท่อหน่วยไต ผลทำให้ปัสสาวะเข้มข้น (น้ำน้อย) และขับออกมาปริมาณน้อย → ยับยั้งการหลั่ง ADH ไม่เกิดการดูดน้ำกลับที่ท่อหน่วยไต ผลทำให้ปัสสาวะเจือจาง (น้ำออกมามาก) และขับปัสสาวะออกมาปริมาณมาก
แหล่งผลิต : ต่อมหมวกไตชั้นนอก (adrenal cortex)		
ชนิดฮอร์โมน	**อวัยวะเป้าหมาย**	**หน้าที่**
aldosterone เป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมน	ไต	▸ เพิ่มการดูดกลับโซเดียมและขับโพแทสเซียมที่ไต ▸ เพิ่มการขนส่งโซเดียมจากเลือดเข้าสู่เซลล์

▸ การรักษาดุลยภาพน้ำของสัตว์ในสิ่งแวดล้อมพิเศษ

- หนูในทะเลทราย เช่น หนูแกงการู ประสบปัญหาคือ ร่างกายขาดน้ำ **การปรับตัว คือ** ไตมีประสิทธิภาพในการดูดน้ำกลับมากเพราะมี loop of Henle ที่ยาว ปัสสาวะจึงน้อยและเข้มข้นมาก หากินกลางคืนและหลบซ่อนในรูที่ชื้นและเย็นเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากร่างกาย
- อูฐในทะเลทรายประสบปัญหาคือ ขาดน้ำและอากาศร้อน **การปรับตัว คือ** ดื่มน้ำครั้งละมากๆ (ราว 100 ลิตร ในเวลา 10 นาที) และมีความสามารถในการปรับอุณหภูมิร่างกายในช่วงที่กว้างกว่าคน และใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อมจึงเสียเหงื่อน้อย

- สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในน้ำเค็ม เช่น วาฬ ประสบปัญหาคือร่างกายขาดน้ำจืด **การปรับตัว** คือ กินปลาซึ่งมีน้ำในเนื้อเยื่อ ขับปัสสาวะเป็นยูเรียที่มีความเข้มข้นสูง
- นกทะเล เช่น นกนางนวล และเต่าทะเล ประสบปัญหา คือ มีเกลือในร่างกายมากเกินไป เพราะกินอาหารที่อยู่ในทะเล **การปรับตัว** คือ มีต่อมขับเกลือ (salt gland) ในการขับเกลือส่วนเกินออกจากร่างกาย

6.5 การรักษาดุลยภาพของกรด-เบสในร่างกาย

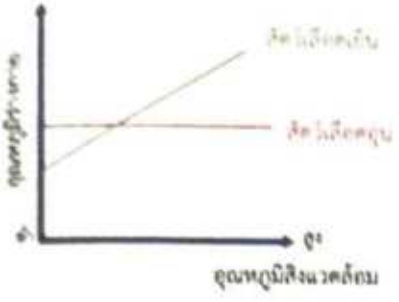
- การควบคุมสมดุลกรด-เบส หรือ pH ในร่างกาย มี 3 วิธี คือ

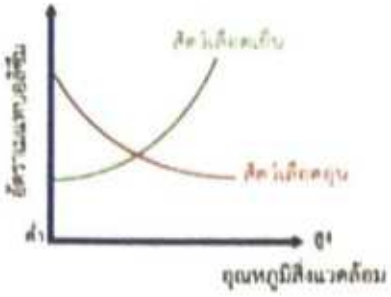
ข้อเปรียบเทียบ	ไต	ระบบหายใจ	ระบบบัฟเฟอร์
กระบวนการ	▸ ถ้าหากเลือดในร่างกายเป็นกรด จะมีการขับ H^+ ออกมามากขึ้น ▸ ถ้าหากร่างกายเป็นเบส จะมีการขับ HCO_3^- ออกมามากขึ้น	▸ การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ โดยมีสมองส่วนเมดัลลาออบลองกาตาและพอนส์ ควบคุมปริมาณ CO_2 $H_2O + CO_2 \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$ ▸ ในภาวะที่เราออกกำลังกายหนักๆ ร่างกายจะปลดปล่อย CO_2 มาจำนวนมาก เมื่อ CO_2 จับกับ H_2O มากขึ้น**เลือดจึงเป็นกรด**สูงขึ้น เนื่องจาก $H_2O + CO_2$ ได้กรดคาร์บอกนิก (H_2CO_3) และกรดคาร์บอกนิกแตกประจุให้ H^+ (จำนวนมาก) + HCO_3^- ร่างกายจึงปรับสมดุลโดยสมองส่วนเมดัลลาออบลองกาตาและพอนส์สั่งให้เราหายใจออกมากขึ้น (เพื่อเอา CO_2 ออกไป)	▸ เป็นระบบทางเคมี โดยเลือดจะมีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ คือ ช่วยทำให้สารละลายใดๆ มีค่าความเป็นกรด-เบสเกือบคงที่ แม้จะมีการเพิ่มกรดหรือเบสลงไปปริมาณหนึ่ง เช่น ดื่มน้ำมะนาวที่มีรสเปรี้ยวและเป็นกรดสูงเข้าไป เมื่อดูดซึมเข้าเลือด เลือดจะเป็นบัฟเฟอร์ทำให้เลือดมี pH คงที่ ไม่ทำให้เลือดเป็นกรดตามไปด้วย
กำลังการปรับสมดุลกรด-เบส	มากที่สุด (ปัสสาวะครั้งหนึ่งค่อนข้างมาก)	ปานกลาง	น้อย
ความเร็วในการปรับสมดุลกรด-เบส	ช้าที่สุด ใช้เวลาเป็นชั่วโมงกว่าจะขับปัสสาวะ	ปานกลาง ใช้เวลาเป็นนาที	เร็วที่สุด ใช้เวลาเป็นวินาที

6.6 การรักษาดุลยภาพของอุณหภูมิในร่างกาย

สัตว์สามารถแบ่งโดยยึดการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายมี 2 ลักษณะ คือ

สัตว์เลือดอุ่น (homeothermic animal)	สัตว์เลือดเย็น (poikilothermic animal)
▸ สัตว์ที่รักษาอุณหภูมิร่างกายให้ค่อนข้างคงที่ แม้ว่าสิ่งแวดล้อมจะมีการเปลี่ยนแปลงไปแค่ไหนก็ตาม เช่น มนุษย์ ต่อให้สภาพอากาศติดลบ ร่างกายของมนุษย์ยังคงมีอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส ▸ สัตว์เลือดอุ่น ได้แก่ นก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	▸ สัตว์ที่อุณหภูมิของร่างกายเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม (แต่มีขีดจำกัด) ▸ สัตว์เลือดเย็น ได้แก่ ปลา สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก พวกสัตว์เลื้อยคลาน





"การเย็นของสัตว์ เป็นการลดเมแทบอลิซึมของร่างกาย ลดอัตราการหายใจและการเต้นของหัวใจ เพื่อให้ใช้พลังงานน้อยลงด้วย"

- การตอบสนองต่ออุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ถูกควบคุมโดยสมองส่วนไฮโพทาลามัส มีการปรับตัวต่ออากาศภายนอก ดังนี้

อากาศหนาว	อากาศร้อน
ขนลุก	ขนเอนราบ
เหงื่อน้อย	หลั่งเหงื่อ ความร้อนถูกระบายออก
หลอดเลือดตามผิวหนังบีบตัว	หลอดเลือดตามผิวหนังคลายตัว
เพิ่มเมแทบอลิซึม	ลดเมแทบอลิซึม

- การรักษาดุลยภาพของอุณหภูมิในร่างกายสัตว์ มีดังนี้
  - สุนัข ควาย วัว แพะ มีการระบายความร้อนโดยการหอบ แลบลิ้นออกมาเพื่อระบายความร้อน
  - แมว กระต่าย จิงโจ้ ระบายความร้อนโดยการเลียอุ้งเท้า
  - นก ระบายความร้อนโดยใช้ถุงลม

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 4.** เพราะ pulmonary vein เป็นหลอดเลือดที่นำเลือดที่ฟอกจากปอดมายังหัวใจห้องซ้ายบน ดังนั้น คาร์บอนไดออกไซด์จากเนื้อเยื่อที่ถูกลำเลียงมาถูกส่งออกไปแล้วที่หลอดเลือดฝอยที่ปอด

2) **ตอบ 2.**

3) **ตอบ 2.**

4) **ตอบ 1.**

5) **ตอบ 2.** เพราะถ้าตรวจพบเม็ดเลือดขาวมากแสดงว่ามีการติดเชื้อ นั่นคือเม็ดเลือดขาวกำลังทำงานต่อสู้กับเชื้อโรคอยู่

6) **ตอบ 4.**

7) **ตอบ 3.** เพราะถ้านกมีปอดเหมือนคนจะบินได้แต่ไม่นาน เพราะไม่มีถุงลมสำรองอากาศ นกปกติจะใช้ถุงลมในการสำรองอากาศขณะบิน

บทที่

07

การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต

ลักษณะโครงร่างค้ำจุน

โครงร่างค้ำจุน	ลักษณะโครงร่างค้ำจุน
hydrostatic skeleton	โครงร่างเป็นของเหลว คือ สัตว์ที่มีโครงร่างภายในลำตัวเป็นของเหลว ทำหน้าที่พยุงหรือค้ำจุนร่างกาย รวมทั้งช่วยในการเคลื่อนที่ของสัตว์บางชนิด มักพบในสัตว์ที่มีลำตัวอ่อนนุ่ม เช่น พลานาเรีย แมงกะพรุน และอาจพบในสัตว์กลุ่มหนอนตัวกลม ไส้เดือนดิน เป็นต้น
exoskeleton	โครงร่างแข็งภายนอก คือ สัตว์ที่มีโครงร่างแข็งภายนอกลำตัว เช่น เปลือกกุ้งปู เปลือกแมลงของสัตว์ในไฟล้มอาร์โทรโพดา ซึ่งสารสะสมส่วนใหญ่เป็นไคทิน และสัตว์จำพวกหอยฝาเดียว หอยสองฝา ในไฟล้มมอลล์สคา มีสารสะสมเป็นหินปูน
endoskeleton	โครงร่างแข็งภายใน คือ สัตว์ที่มีโครงร่างแข็งภายในยึดติดกับกล้ามเนื้อ เช่น กระดูกของสัตว์มีกระดูกสันหลังที่ช่วยพยุงลำตัวและช่วยในการเคลื่อนที่ กลุ่มดาวทะเล และหมึก

7.1 การเคลื่อนที่ของโพรทิสต์

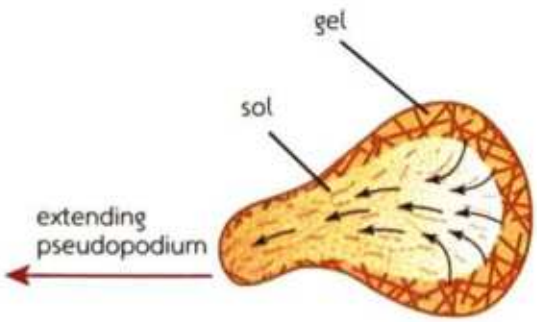
การเคลื่อนที่แบบอะมีบอยด์ (amoeboid movement)

การเคลื่อนที่แบบอะมีบอยด์ เป็นการเคลื่อนที่โดยอาศัยการไหลของไซโทพลาซึมทำให้เกิดการเคลื่อนที่ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

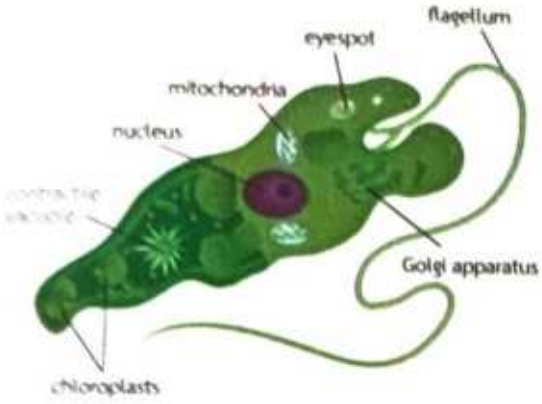
- ectoplasm (ecto- ข้างนอก) เป็นส่วนนอกค่อนข้างแข็งตัว ข้นเหนียวมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว เรียกว่า เจล (gel)
- endoplasm (endo- ข้างใน) ส่วนชั้นในมีสภาพเป็นของเหลวมากกว่าและไหลได้มากกว่า เรียกว่า โซล (sol)

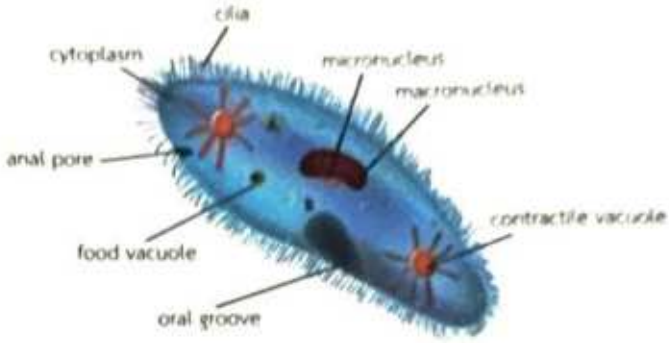
เนื่องจากการรวมตัวของโปรตีนแอกทินเกิดเป็นไมโครฟิลาเมนต์ (microfilament) จำนวนมาก ทำให้คุณสมบัติของไซโทพลาซึมเปลี่ยนจาก gel → sol และเปลี่ยนจาก sol → gel เกิดการไหลของไซโทพลาซึมและดันเยื่อหุ้มเซลล์ส่วนนั้นให้โป่งออกมาเป็นเท้าเทียม (pseudopodium)

จากนั้นไซโทพลาซึมที่เหลือจะเคลื่อนที่ตามมาในทิศทางเดียวกับเท้าเทียม ทำให้อะมีบาเคลื่อนที่ไปได้ เรียกการเคลื่อนไหวแบบอะมีบาหรือแบบอะมีบอยด์ (amoeboid movement)

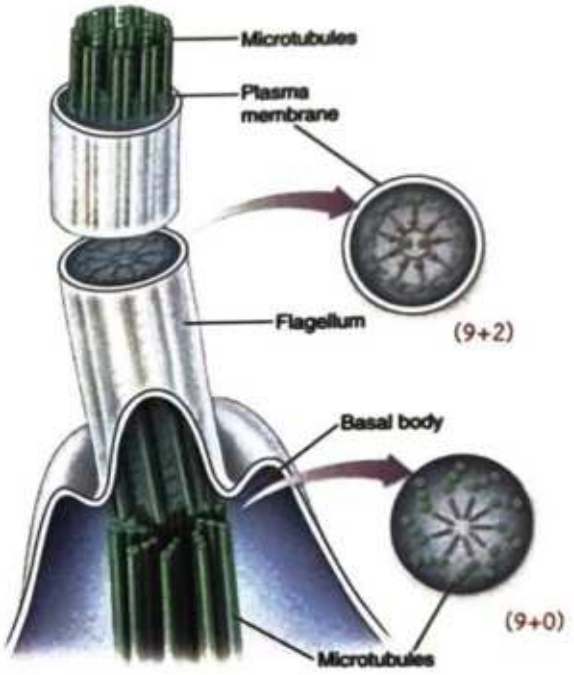


การเคลื่อนที่โดยใช้ซิเลียและแฟลเจลลัม (cilia & flagellum)





- ออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่สร้างซิเลียและแฟลเจลลัม คือ เซนทริโอล (centriole)
- โดยซิเลียและแฟลเจลลัมเป็นการรวมตัวกันของไมโครทิวบูลแบบ 9+2 (เรียงตัวเป็น 9 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ไมโครทิวบูล และมี 2 ไมโครทิวบูลอยู่ตรงกลาง) รวมมี 20 ไมโครทิวบูล ทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ ระหว่างไมโครทิวบูลมีโปรตีนเรียกว่า ไดนีน (dynein) เป็นเสมือนแขนที่ใช้เกาะกับไมโครทิวบูล เรียกว่า ไดนีนอาร์ม (dynein arm) ทำให้ซิเลียและแฟลเจลลัมโค้งงอพัดโบกได้
- ทั้งนี้ที่ฐานของซิเลียแฟลเจลลัม (basal body) จะมีการเรียงของไมโครทิวบูลแบบเป็น 9+0 (เรียงตัวเป็น 9 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ไมโครทิวบูล และตรงกลางไม่มีไมโครทิวบูล) รวมมี 27 ไมโครทิวบูล



▲ (Cr. utexas.edu)

แฟลเจลลัมของยูกลีนา

▲ (Cr. TheMicrobiology09)

ซิเลียของพารามีเซียม

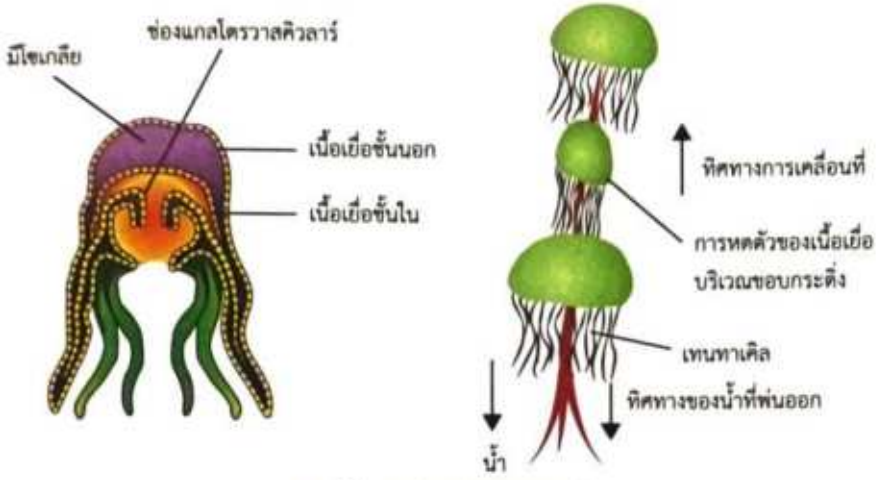
▲ (Cr. Vinzenz Ondrak)

7.2 การเคลื่อนที่ของสัตว์

7.2.1 การเคลื่อนที่ของสัตว์แบบไม่อาศัย antagonism

การเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงดันน้ำ (hydrostatic pressure)

- แมงกะพรุน (jellyfish) เป็นสัตว์ที่มีโครงร่างเป็นของเหลว (hydroskeleton) โดยภายในลำตัวมีของเหลวปริมาณคงที่และอัดแน่น ชั้นคล้ายเจลาตินในแมงกะพรุน เรียกว่า มีโซเกลีย (mesoglea) แทรกอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อชั้นนอกกับชั้นใน
  - การเคลื่อนไหวเกิดจากการหดตัวของเนื้อเยื่อบริเวณขอบกระดิ่งและที่ผนังลำตัวสลับกันทำให้เกิดแรงดันน้ำผลักดันตัวแมงกะพรุนเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทิศที่พ่นน้ำออกมา

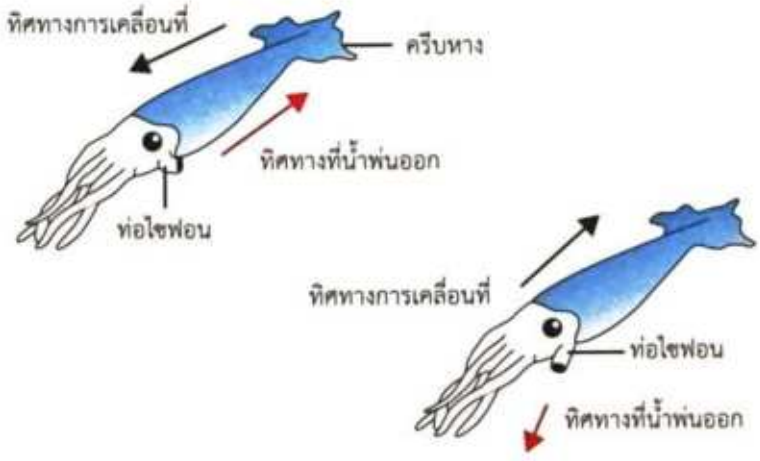


▲ (Cr. vcharkarn.com)

การเคลื่อนที่ของแมงกะพรุน

▲ (Cr. HDNationalGeographic)

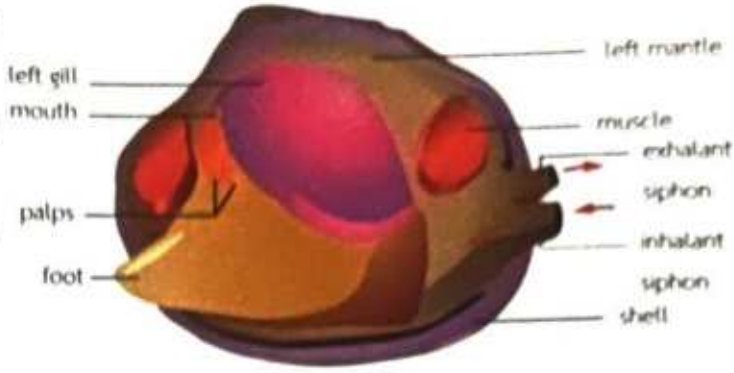
- หมึก เป็นสัตว์จำพวกมอลลัสที่ไม่มีเปลือกแข็งหุ้มภายนอก บางชนิดมีการลดรูปของเปลือกเข้าไปเป็นโครงร่างแข็งข้างในเรียก endoskeleton (พลาสติกใสๆ ในตัวหมึกกล้วย แต่ในหมึก octopus เปลือกจะหายไปเลย) ลำตัวเป็นรูปกรวย รอบๆ คอมีขอบอิสระของแมนเทิล (mantle) ประกอบเป็นปลอกคอ ส่วนด้านล่างเป็นท่อน้ำเรียก siphon น้ำจะถูกดูดเข้าและบีบออกจากช่องแมนเทิล โดยการหดตัวและขยายตัวของกล้ามเนื้อแมนเทิล ซึ่งไม่จัดเป็นแอนทาโกนิซึม เพราะเป็นกล้ามเนื้อชุดเดียวกัน ดังนั้น การเคลื่อนไหวของหมึกจึงอาศัยแรงดันน้ำ โดยน้ำที่พ่นออกมาจะดันตัวหมึกให้เคลื่อนไปในทิศตรงข้ามกับน้ำที่พ่นออกมา



การเคลื่อนที่ของหมึก

▲ (Cr. Super Sea Monkey)

- หอยสองฝา เช่น หอยแมลงภู่ จะใช้ส่วนของแมนเทิลสองส่วน คือ
  - exhalant siphon นำน้ำออกโดยอาศัยแรงดันน้ำ
  - inhalant siphon นำน้ำเข้าโดยอาศัยแรงดันน้ำ



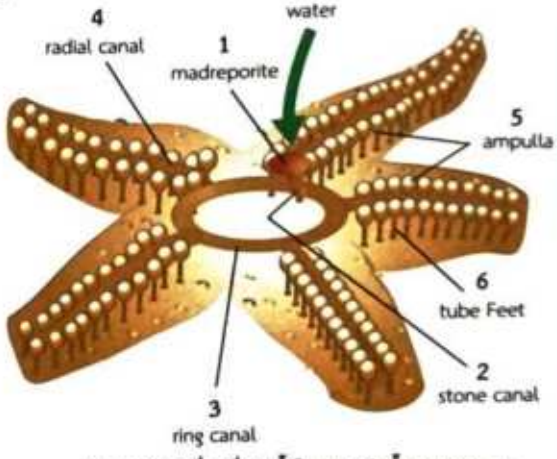
การเคลื่อนที่โดยอาศัยระบบกล้ามเนื้อ (แต่ไม่เป็นแบบแอนทาโกนิซึม)

- หนอนตัวกลม เช่น พยาธิไส้เดือน พยาธิเส้นด้าย พยาธิตัวจี๊ด อาศัยกล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) เพียงอย่างเดียวในการเคลื่อนที่จึงได้แต่บิดตัวไปมา ไม่สามารถคืบคลานแบบไส้เดือนดินได้ (ไส้เดือนดินมีการเคลื่อนที่แบบแอนทาโกนิซึม (antagonism))
- หอยกาบ หรือหอยฝาเดียว เช่น หอยทากใช้กล้ามเนื้อเท้า (muscular foot) ในการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่โดยอาศัยระบบท่อน้ำ (water vascular system)

- ดาวทะเล อาศัยระบบท่อน้ำ โดยเริ่มจากมาดรีโพไรท์ (madreporite) เป็นตะแกรงกรองน้ำทะเล และเป็นทางเข้าของน้ำทะเล ที่ปลาย tube feet มี sucker ในการเกาะติดพื้นผิว

▲ (Cr. Sasivimon Swangpol)



ทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำในระบบท่อน้ำของดาวทะเล

▲ (Cr. studyblue.com)

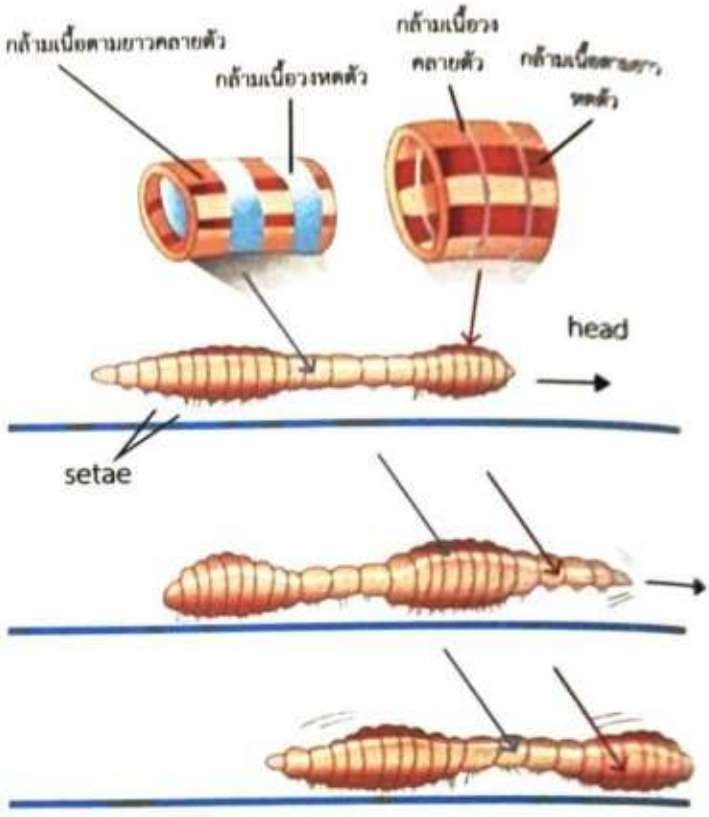
7.2.2 การเคลื่อนที่ของสัตว์โดยอาศัย antagonism

สัตว์ที่มีโครงร่างแบบ hydroskeleton

- พลานาเรีย
  - กรณีว่ายน้ำจะใช้
    1. กล้ามเนื้อวง
    2. กล้ามเนื้อตามยาว
    3. กล้ามเนื้อบนล่าง (dorsoventral muscle) และใช้ซิเลียที่ด้านท้องด้วย
  - กรณีคืบคลานเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อ 2 ชุด แบบตรงข้ามกันหรือเรียกว่า แอนทาโกนิซึม ซึ่งเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อตามยาวและกล้ามเนื้อวง

- หนอนปล้อง (ไส้เดือนดิน) เมื่อไส้เดือนเริ่มเคลื่อนที่จะใช้เดือย (setae) จิกยึดดินไว้ จากนั้นใช้กล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ กล้ามเนื้อวง และกล้ามเนื้อตามยาวซึ่งทำงานตรงข้ามกันแบบแอนทาโกนิซึม
  - ถ้ากล้ามเนื้อตามยาวหดตัว กล้ามเนื้อวงคลายตัว = ไส้เดือนดินหดตัว (ลำตัวอ้วนสั้น)
  - ถ้ากล้ามเนื้อตามยาวคลายตัว กล้ามเนื้อวงหดตัว = ไส้เดือนดินยืดตัว (ลำตัวยาวเรียว)

การทำงานของกล้ามเนื้อทั้ง 2 ชุดในสภาวะตรงกันข้าม ทำให้ไส้เดือนดินเคลื่อนที่ได้ ซึ่งการหดคลายของกล้ามเนื้อจะเห็นเป็นระลอกคลื่น



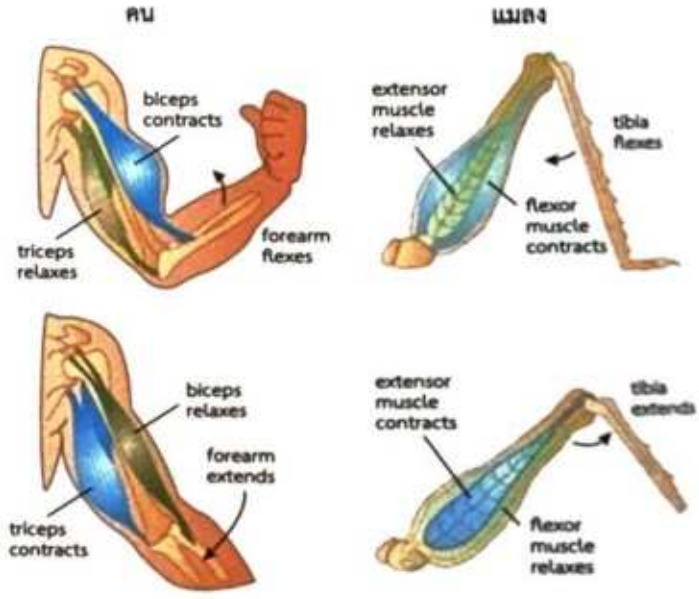
ดูกล้ามเนื้อตามยาวเป็นหลัก ถ้ากล้ามเนื้อตามยาวหดตัว ตัวก็หดสั้น ถ้ากล้ามเนื้อตามยาวคลายตัว ตัวก็จะยืดออก

▲ (Cr. wikispaces.com)

สัตว์ที่มีโครงร่างแข็งภายนอก (exoskeleton)

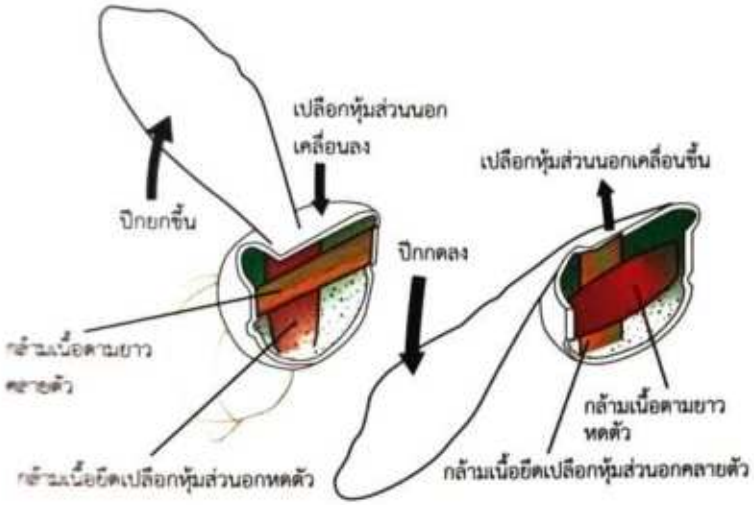
การงอแขนและการเหยียดแขนของแมลงเปรียบเทียบกับคน

- อาร์โทรพอด (แมลง กุ้ง ปู) สัตว์กลุ่มนี้มีขาเป็นข้อปล้องและใช้ในการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของขาแมลง อาศัยกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ
  (1) กล้ามเนื้อเหยียดขา หรือเอ็กซ์เทนเซอร์ (extensor)
  (2) กล้ามเนื้องอขา หรือ กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์ (flexor) ซึ่งจะทำงานตรงข้ามกันแบบแอนทาโกนิซึม
  - เมื่อ flexor หด extensor คลาย ผลคือแมลงงอขา
  - เมื่อ flexor คลาย extensor หด ผลคือแมลงเหยียดขาออก (กระโดด)



	คน	แมลง
งอแขน	biceps หดตัว triceps คลายตัว	flexor หดตัว extensor คลายตัว
เหยียดออก	biceps คลายตัว triceps หดตัว	flexor คลายตัว extensor หดตัว

- การบินของแมลง อาศัยกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ
  - กล้ามเนื้อยึดเปลือกหุ้มอก (กล้ามเนื้อยกปีก)
  - กล้ามเนื้อตามยาว (กล้ามเนื้อกดปีก) ซึ่งจะทำงานกันแบบแอนทาโกนิซึม (ตรงข้ามกัน)
    - เมื่อกล้ามเนื้อยึดเปลือกหุ้มอก (กล้ามเนื้อยกปีก) หดตัว / กล้ามเนื้อตามยาว (กล้ามเนื้อกดปีก) คลายตัว ผลคือปีกแมลงยกขึ้น
    - เมื่อกล้ามเนื้อยึดเปลือกหุ้มอก (กล้ามเนื้อยกปีก) คลายตัว / กล้ามเนื้อตามยาว (กล้ามเนื้อกดปีก) หดตัว ผลคือปีกแมลงกดลงหรือหุบลง



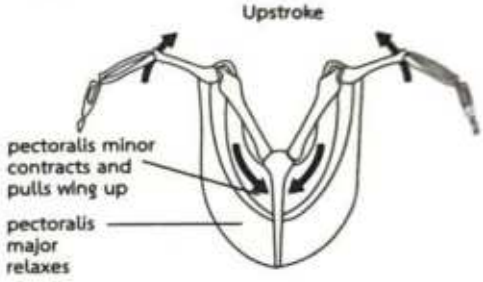
▲ (Cr. SmarterEveryDay)

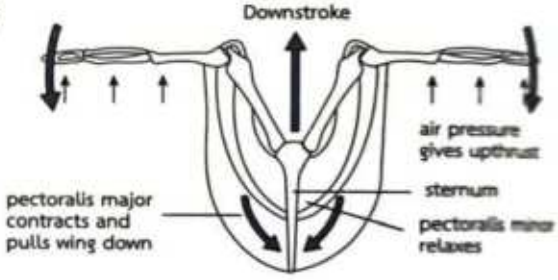
Quiz Yourself

1) ข้อความใดที่ไม่ถูกต้อง
   1. endoskeleton พบเฉพาะสัตว์มีกระดูกสันหลัง
   2. exoskeleton ของแมลงทำจากโปรตีนและไคทิน
   3. เม่นทะเลและดาวทะเลมี endoskeleton
   4. แมลงมี exoskeleton จึงต้องลอกคราบเมื่อร่างกายที่ทำด้วยแคลไซต์เจริญเติบโตขึ้น
   5. ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อยู่บนบกมี hydrostatic skeleton

การเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

- ปลา ขณะว่ายน้ำจะใช้
  - กล้ามเนื้อที่ยึดอยู่ติดกับกระดูกสันหลัง 2 ข้างลำตัว (แถบใน แถบนอก) ซึ่งจะทำงานกันแบบแอนทาโกนิสซึม ทำให้ลำตัวเคลื่อนคล้ายตัว S
  - ครีบเดี่ยว เช่น ครีบหลัง ครีบหาง ช่วยว่ายน้ำไปข้างหน้า และครีบคู่ เช่น ครีบอก (pectoral fin) ครีบท้อง (pelvic fin) ช่วยว่ายน้ำขึ้น-ลงในแนวดิ่งและการทรงตัว
  - กระเพาะลม (air bladder) เฉพาะปลากระดูกแข็ง เช่น ปลานิล ปลาช่อนจะช่วยทรงตัว
- นก การบินของนกอาศัยกล้ามเนื้อขาและกล้ามเนื้ออกที่ขนาดใหญ่
  - การยกปีกขึ้น
    กล้ามเนื้ออกชุด 1 (pectoralis major) คลายตัว
    กล้ามเนื้ออกชุด 2 (pectoralis minor) หดตัว
  - การกดปีกลง
    กล้ามเนื้ออกชุด 1 (pectoralis major) หดตัว
    กล้ามเนื้ออกชุด 2 (pectoralis minor) คลายตัว
  - นกมีกล้ามเนื้อที่ยึดระหว่างกระดูกโคนปีก (humerus) และกระดูกอก (sternum)





▲ (Cr. biomania.weebly.com)

▲ (Cr. Kelly Kage)

การปรับตัวสำหรับการบินของนก

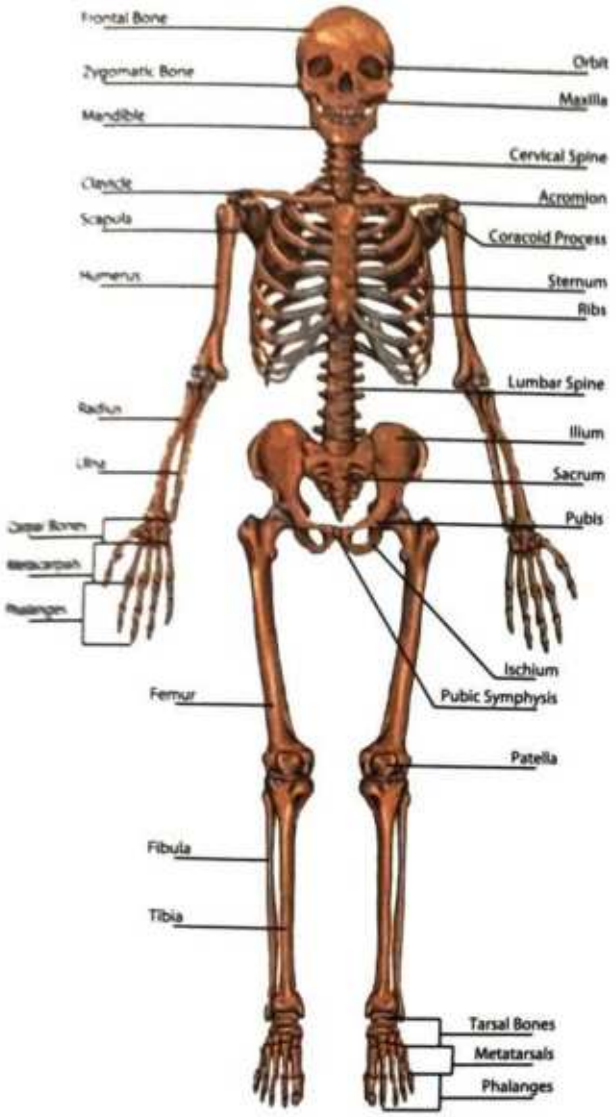
- การเรียงตัวของขนนกที่เป็นแผงและมีโปรตีนเคลือบ ทำให้อากาศผ่านไปไม่ได้ขณะตีปีกลง จึงทำให้มีแรงยกตัวขึ้นได้
- นกเป็นสัตว์ที่มีเมแทบอลิซึมมากกว่าสัตว์ชนิดอื่น เพราะต้องใช้พลังงานในการบินมาก มีถุงลมช่วยเปลี่ยนสำรองอากาศและทำให้นกตัวเบา
- กระดูกของนกเป็นโพรงทำให้ตัวเบา

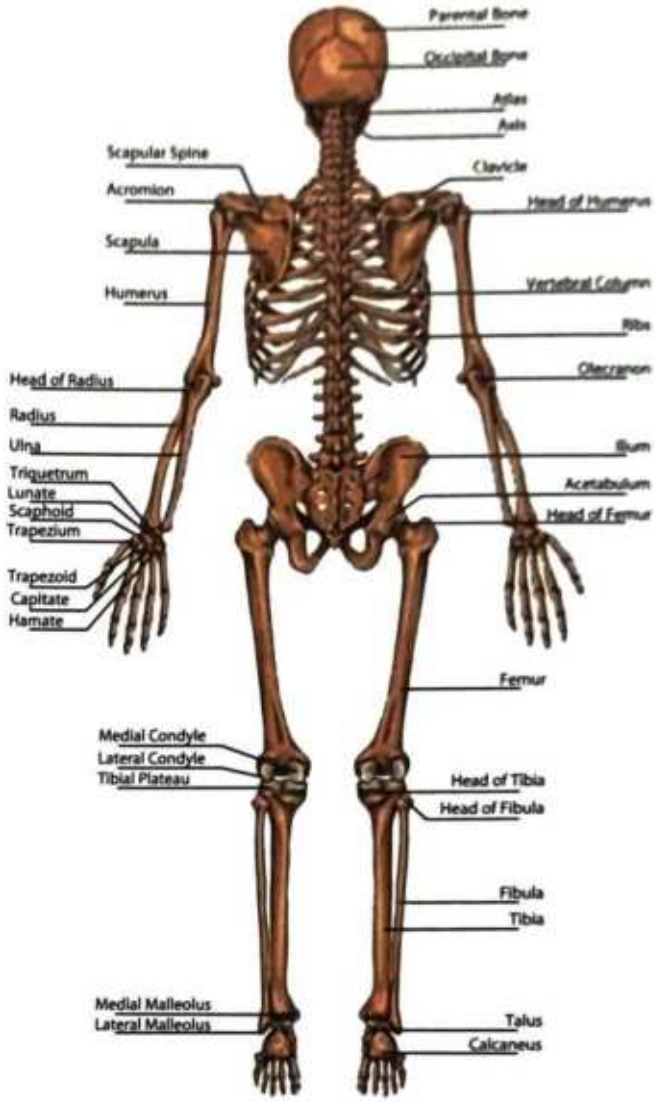
A bird in flight.

▲ (Cr. stab-iitb.org)

7.3 การเคลื่อนที่ของมนุษย์

ระบบโครงกระดูกของคน





- กระดูกแกน (axial skeleton) 80 ชิ้น ได้แก่
  - กะโหลกศีรษะ (skull) 22 ชิ้น
  - กระดูกหู (auditory ossicles) 6 ชิ้น
  - กระดูกซี่โครง (ribs) 24 ชิ้น
  - กระดูกอก (sternum) 1 ชิ้น
  - กระดูกไฮออยด์ (hyoid bone) 1 ชิ้น
  - กระดูกสันหลัง (vertebrae) 26 ชิ้น
- กระดูกรยางค์ (appendicular skeleton) เป็นกระดูกที่อยู่นอกกระดูกแกนกลาง 126 ชิ้น ได้แก่
  - กระดูกไหปลาร้า (clavicle) ข้างละ 1 ชิ้น รวมเป็น 2 ชิ้น
  - กระดูกสะบัก (scapula) ข้างละ 1 ชิ้น รวมเป็น 2 ชิ้น
  - กระดูกต้นแขน (humerus) ข้างละ 1 ชิ้น รวมเป็น 2 ชิ้น
  - กระดูกปลายแขน (radius and ulna) ข้างละ 2 ชิ้น รวมเป็น 4 ชิ้น

- กระดูกเชิงกราน (pelvic girdle) ข้างละ 1 ชิ้น รวมเป็น 2 ชิ้น
- กระดูกสะบ้า (patella) ข้างละ 1 ชิ้น รวมเป็น 2 ชิ้น
- กระดูกต้นขา (femur) ข้างละ 1 ชิ้น รวมเป็น 2 ชิ้น
- กระดูกปลายขา (tibia and fibula) ข้างละ 2 ชิ้น รวมเป็น 4 ชิ้น
- กระดูกข้อเท้า (tarsal bone) ข้างละ 7 ชิ้น รวมเป็น 14 ชิ้น
- กระดูกฝ่าเท้า (metatarsal bone) ข้างละ 5 ชิ้น รวมเป็น 10 ชิ้น
- กระดูกนิ้วเท้า (phalanges) ข้างละ 14 ชิ้น รวมเป็น 28 ชิ้น
- กระดูกข้อมือ (carpal) ข้างละ 8 ชิ้น รวมเป็น 16 ชิ้น
- กระดูกฝ่ามือ (metacarpal) ข้างละ 5 ชิ้น รวมเป็น 10 ชิ้น
- กระดูกนิ้วมือ (phalanges) ข้างละ 14 ชิ้น รวมเป็น 28 ชิ้น

▸ ระบบโครงกระดูก มีหน้าที่
- ค้ำจุนร่างกาย
- ป้องกันอวัยวะสำคัญ เช่น กระดูกซี่โครงป้องกันปอดและหัวใจ
- สะสมแร่ธาตุจำพวกแคลเซียมและฟอสเฟต
- สร้างเม็ดเลือดที่ไขกระดูก
- การมีกระดูกหลายชิ้น โดยไม่รวมกันเป็นชิ้นเดียวทั้งร่างกายทำให้มนุษย์สามารถเคลื่อนที่ได้หลายทิศทาง

▸ กระดูก ประกอบด้วยเซลล์ 3 ชนิด คือ
- osteoblast เป็นเซลล์สร้างเนื้อกระดูก และสร้างโปรตีนที่เรียกว่า ออสติออยด์ (osteoid) ซึ่งโปรตีนดังกล่าว นี้จะมีสารอนินทรีย์มาสะสมและกลายเป็นเนื้อกระดูก
- osteocyte ทำหน้าที่บำรุงรักษาและซ่อมแซมเนื้อกระดูก ช่วยควบคุมปริมาณแคลเซียม
- osteoclast จะสร้างน้ำย่อยออกมาละลายเนื้อกระดูก ทำให้เนื้อกระดูกบางลง และมีการปล่อยแคลเซียม เข้าสู่เลือดมากขึ้น

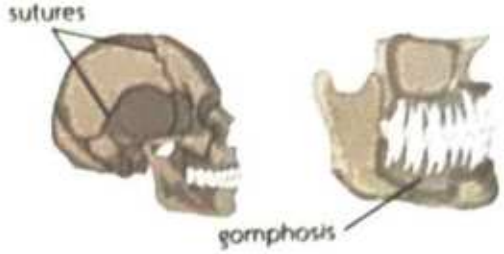
▸ โครงสร้างของกระดูก

กระดูกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่สะสมเกลือแร่ต่างๆ ไว้เป็นปริมาณมากทำให้มีลักษณะแข็ง กระดูกมีการจัดเรียง ของเนื้อเยื่อภายในเรียกว่า Haversian system ประกอบด้วย
- เยื่อหุ้มกระดูก (periosteum) ห่อหุ้มกระดูกอยู่ภายนอก มีเส้นประสาท และหลอดเลือดอัดแน่นเพื่อไว้สำหรับ นำเลือดมาเลี้ยงเซลล์กระดูก
- กระดูกทึบ (compact bone) เป็นส่วนที่แข็งและแน่น ภายในมีลักษณะเป็นวงกลมล้อมรอบท่อขนาดเล็กๆ เรียกว่าท่อฮาร์เวอร์เชียน (Harversian canal) ส่วนเซลล์กระดูกที่อยู่รอบ Harversian canal จะได้รับสาร อาหารและออกซิเจนจากหลอดเลือดที่ผ่าน Harversian canal
- กระดูกพรุน (spongy bone) เป็นส่วนกระดูกชั้นในนั้นคล้ายรวงผึ้ง หรือฟองน้ำ มีลักษณะเป็นร่างแห มี หลอดเลือดและไขกระดูก (marrow) โดยไขกระดูกทำหน้าที่สร้างเม็ดเลือดส่งไปตามหลอดเลือด

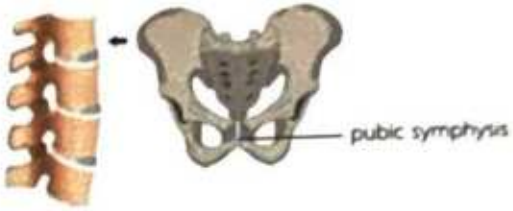
ข้อต่อ (joint)

ข้อต่อเป็นบริเวณที่กระดูก 2 ท่อนมาเชื่อมต่อกันและเชื่อมโยงให้อวัยวะเคลื่อนไหวได้ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 แบบ ดังนี้

- ข้อต่อชนิดที่เคลื่อนไหวไม่ได้ (fibrous joint) เป็นข้อต่อที่มีความแข็งแรงและต่อกันสนิท ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกะโหลกศีรษะ เป็นแนวกระดูกประสาน (คล้ายจิ๊กซอว์) ข้อต่อระหว่างรากฟันบนกับร่องกระดูกขากรรไกร
- ข้อต่อชนิดที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (cartilaginous joint) เป็นข้อต่อที่ยึดไว้กับกระดูกอ่อน ทำให้เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย ได้แก่ ข้อต่อกระดูกสันหลัง ข้อต่อกระดูกเชิงกราน



▲ (Cr.cnx.org)



▲ (Cr. wikimedia.org)

- ข้อต่อชนิดที่เคลื่อนไหวได้มาก (synovial joint)... **ออกสอบบ่อย** เป็นข้อต่อที่มีช่องว่างแทรกอยู่ระหว่างกระดูก 2 ชิ้น มีของเหลว (น้ำไขข้อ) ที่ทำหน้าที่หล่อลื่นทำให้กระดูกเคลื่อนไหวได้สะดวก ข้อต่อนี้สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 6 แบบตามลักษณะการเคลื่อนไหว

1. ข้อต่อแบบเดือยหรือแบบหมุน (pivot joint) จัดเป็นข้อต่อที่กระดูกชิ้นหนึ่งจะมีส่วนยื่นออกไปเป็นเดือย และรับกับกระดูกอีกชิ้นที่มีลักษณะคล้ายเบ้าหรือวงแหวน ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบหมุนตามแนวแกนของเดือย ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกสันหลังชิ้นที่ 1 และชิ้นที่ 2 ซึ่งทำให้มีการหมุนของศีรษะและลำคอได้

2. ข้อต่อแบบบานพับ (hinge joint) มีการเคลื่อนไหวในลักษณะคล้ายบานพับประตู ได้แก่ ข้อต่อบริเวณข้อศอก หัวเข่า

3. ข้อต่อแบบอานม้า (saddle joint) เป็นข้อต่อที่มีการประกบกันของส่วนเว้าของปลายกระดูกทั้งสองในแนวที่ต่างกัน ทำให้มีการจำกัดการหมุน ได้แก่ ข้อต่อฝ่ามือ นิ้วหัวแม่มือ

4. ข้อต่อแบบกลมในเบ้า (ball and socket joint) จัดว่าเป็นข้อต่อที่มีความอิสระในการเคลื่อนไหวสูงที่สุด สามารถเคลื่อนไหวได้ในสามมิติ ข้อต่อแบบเบ้ามีโอกาสเลื่อนหลุดได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีเอ็นรอบข้อต่อและกล้ามเนื้อจำนวนมากเพื่อเพิ่มความเสถียรของข้อต่อ ได้แก่ ข้อต่อของไหล่ และข้อต่อสะโพก

5. ข้อต่อแบบวงรี (ellipsoidal/condylar joint) มีพื้นผิวของข้อต่อคล้ายกับข้อต่อแบบเบ้า แต่จะมีการจำกัดการเคลื่อนไหวในด้านใดด้านหนึ่ง ได้แก่ ข้อต่อของข้อมือ

6. ข้อต่อแบบเลื่อน (gliding joint) เป็นข้อต่อที่มีเพียงการเคลื่อนไหวในแนวระนาบ ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกข้อเท้า

▲ (Cr. wikimedia.org)

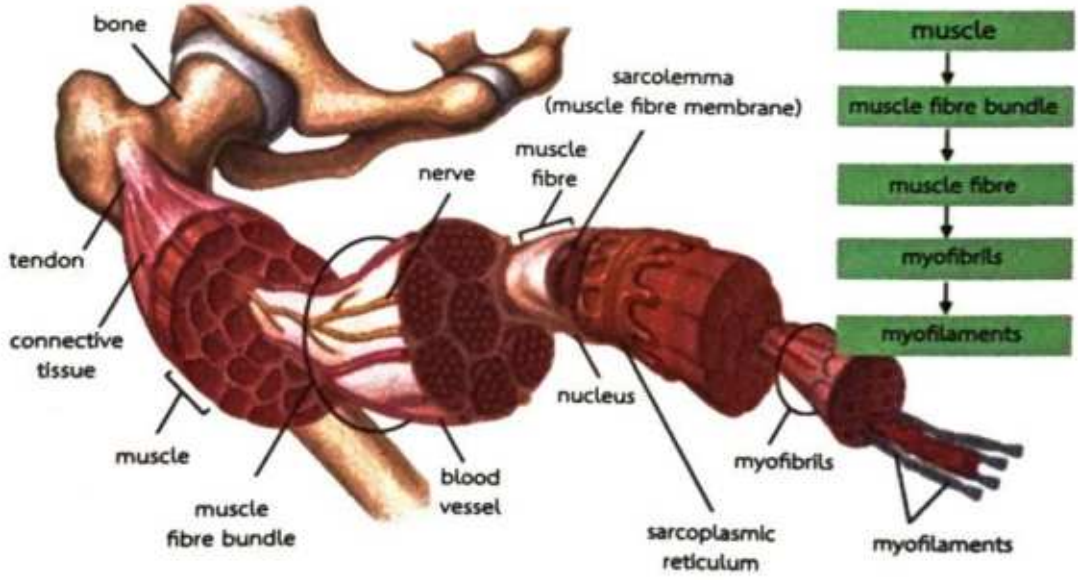
▲ (Cr. JimmyBoarotz)

กล้ามเนื้อ (muscle)

แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ **ออกสอบบ่อยมาก !!**

สิ่งเปรียบเทียบ	กล้ามเนื้อลายหรือกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle)	กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)	กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle)
1. รูปร่างเซลล์	ทรงกระบอกยาว มีลายตามขวาง	ทรงกระบอกเซลล์มีการแตกแขนง มีลายพาดขวางเป็นระยะ	ยาวแหลมหัวแหลมท้าย ไม่มีลาย
2. จำนวนนิวเคลียสต่อเซลล์	หลายนิวเคลียสอยู่ชิดขอบเซลล์	1-2 นิวเคลียสอยู่กลางเซลล์	1 นิวเคลียสอยู่กลางเซลล์
3. การควบคุมการทำงาน	ภายใต้อำนาจจิตใจ โดย CNS	นอกอำนาจจิตใจ	
4. ตำแหน่งที่พบ	ยึดกับกระดูก เช่น กล้ามเนื้อแขน ขา ลำตัว	หัวใจ	อวัยวะภายในร่างกาย เช่น หลอดลม หลอดอาหาร
5. ความต้องการพลังงาน	มาก (มีการหายใจแบบไม่ใช้ O_2)	มากที่สุด จึงมีไมโทคอนเดรียมาก	น้อยสุด
6. ขนาดของเซลล์	ใหญ่ที่สุด	ปานกลาง	เล็กสุด
7. ความเร็วในการหดตัว	เร็วที่สุด	ปานกลาง	ช้าสุด
8. ลักษณะการทำงาน	มีการหดตัวได้แรงและสามารถคลายตัวได้เร็ว เหมาะกับการเคลื่อนที่และใช้กำลังมากๆ	หดตัวและคลายตัวเป็นจังหวะ	หดและคลายตัวช้าๆ

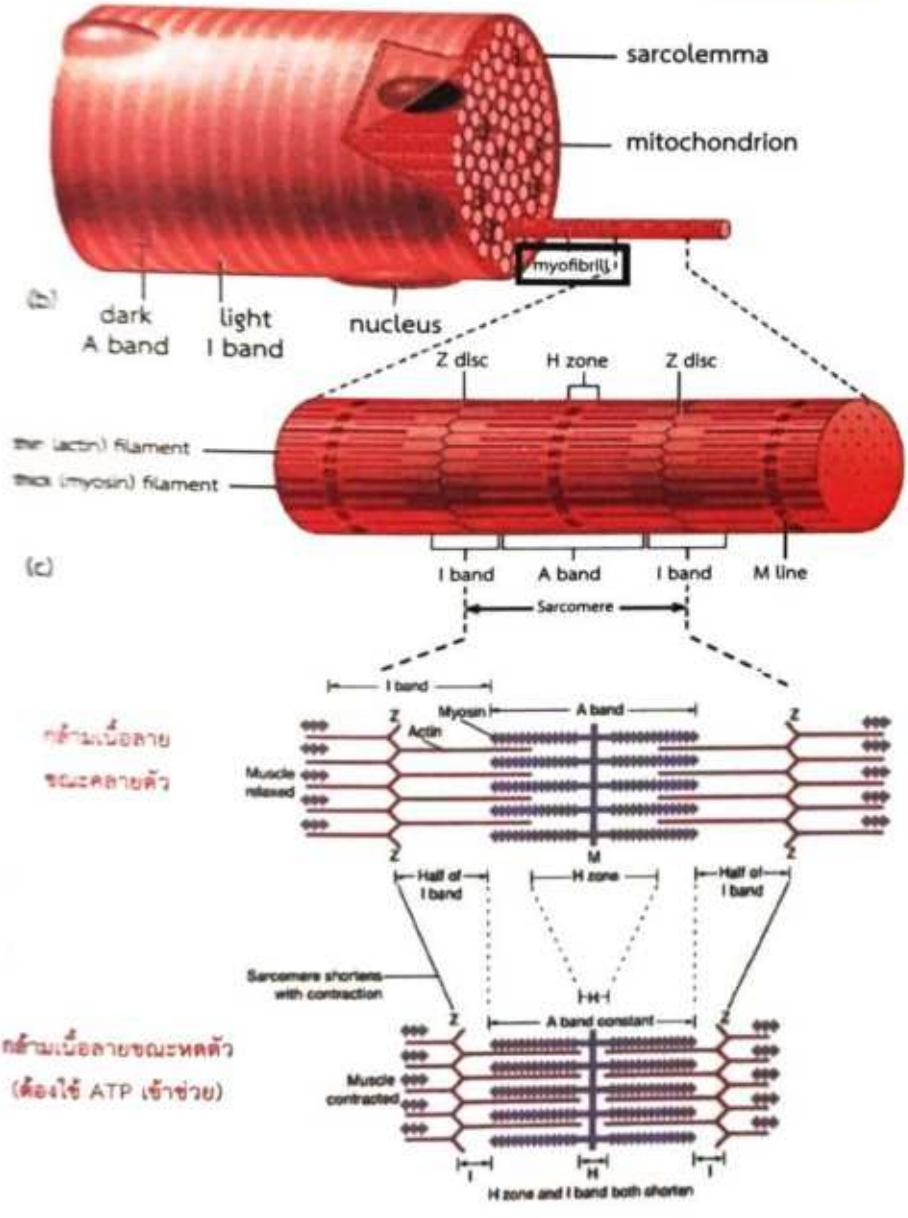
▸ โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อลาย



▲ (Cr. rockyview.ab.ca)

- องค์ประกอบของกล้ามเนื้อลาย
  - กล้ามเนื้อลาย (ใหญ่ที่สุด)
  - มัดกล้ามเนื้อ เกิดจากการรวมตัวกันของเซลล์กล้ามเนื้อ มีเยื่อหุ้มที่เรียกว่า ซาร์โคเลมมา (sarcolemma)
  - เซลล์กล้ามเนื้อมีลักษณะยาว
  - ไมโอไฟบริล (myofibril) มีลักษณะเป็นท่อนยาวเรียงซ้อนๆ กันของไมโอฟิลาเมนต์ (miofilament)
  - ไมโอฟิลาเมนต์ ใยกล้ามเนื้อเล็กสุด ทำให้เกิดการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อ ประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ ไมโอซิน (myosin) ชนิดหนา (thick filament) และแอกทิน (actin) ชนิดบาง (thin filament) การเรียงตัวของไมโอซินและแอกทินทำให้เกิดแถบสีเข้มสลับกับสีอ่อนจึงเห็นกล้ามเนื้อลายมีลายตามขวางในเซลล์กล้ามเนื้อ

ไมโอฟิลาเมนต์ มีโครงสร้างหน่วยย่อย เรียกว่า **ซาร์โคเมียร์ (sarcomere)** ซึ่งเป็นที่อยู่ของไมโอซินและแอกทิน โดยมีการคลายตัวและหดตัวเกิดขึ้น (การหดคลายกล้ามเนื้อ... **ออกสอบบ่อย!!**)



▲ (Cr. psu.edu, amazonaws.com)

▲ (Cr. Andres 1990)

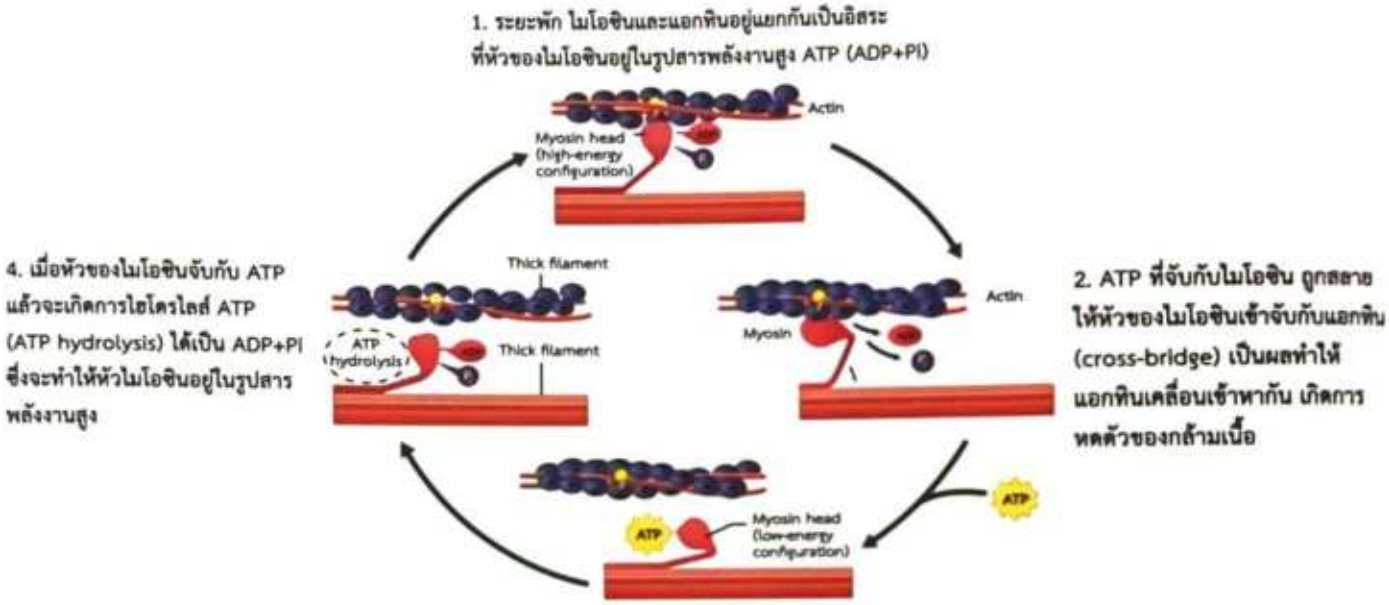
โครงสร้างของ 1 ซาร์โคเมียร์ ประกอบด้วย

- z line / z disc กั้นระหว่างซาร์โคเมียร์แต่ละอัน
- A band แถบสีเข้มมีโปรตีนไมโอซินอยู่ อาจมีแอกทินซ้อนเหลื่อมอยู่
- I band แถบสีจางมีโปรตีนแอกทินอยู่เท่านั้น
- H zone บริเวณที่มีโปรตีนไมโอซินอยู่เท่านั้น
- M line บริเวณตรงกลางของแต่ละซาร์โคเมียร์

กล้ามเนื้อลายขณะหดตัว **ออกสอบบ่อย!!** ตามแนวคิด sliding-filament theory

- แถบ H-zone และ I band จะแคบลง ส่วน A band คงที่
- sarcomere แคบลง
- แอกทินเคลื่อนเข้าหากันไมโอซินอยู่กับที่

▸ การทำงานของแอกทินและไมโอซินขณะเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ (แอกทินเคลื่อนที่ ไมโอซินอยู่กับที่)



▲ (Cr. amazonaws.com)

การหดตัวของกล้ามเนื้อลายเกิดจากเซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron) หลั่งสารสื่อประสาทไปยังตัวรับที่เซลล์กล้ามเนื้อ จากเอนโดพลาสมิกเรติคิวลัมชนิดเรียบของซาร์โคเมียร์ (sarcoplasmic reticulum) ไปจับกับหน่วยย่อยของแอกทินเรียกว่า โทรโพนิน (troponin) ทำให้มีตำแหน่งของแอกทินเปิดออก ซึ่งจะเป็นบริเวณที่หัวของไมโอซินมาจับเกิดเป็น cross bridge

Quiz Yourself

2) ไส้เดือนดินเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ด้วยการหดตัวแบบตรงข้ามกันของกล้ามเนื้อ 2 ชุดต่อเนื่องคล้ายระลอกคลื่น กล้ามเนื้อ 2 ชุดนี้คือข้อใด
   1. กล้ามเนื้อตามยาวและกล้ามเนื้อวง
   2. กล้ามเนื้อวงและกล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์
   3. กล้ามเนื้อวงและกล้ามเนื้อเอ็กซ์เทนเซอร์
   4. กล้ามเนื้อตามยาวและกล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์
   5. กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์และกล้ามเนื้อเอ็กซ์เทนเซอร์

3) ลักษณะการเคลื่อนที่ในข้อใดพบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีโครงร่างลำตัวนิ่มและผนังลำตัวประกอบด้วยกล้ามเนื้อตามยาวเพียงอย่างเดียว
   1. เคลื่อนที่แบบพลิ้วไปมา
   2. เคลื่อนที่แบบระลอกคลื่น
   3. งอตัวสลับไปมา แบบบังคับทิศทางไม่ได้
   4. หดตัวสั้นลงและยืดตัวออกไปตามทิศทางที่ต้องการ

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 1.** เพราะสิ่งมีชีวิตที่มีโครงร่างแข็งภายใน (endoskeleton) พบทั้งในสัตว์มีกระดูกสันหลังและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (เม่นทะเล ดาวทะเล หมึก)

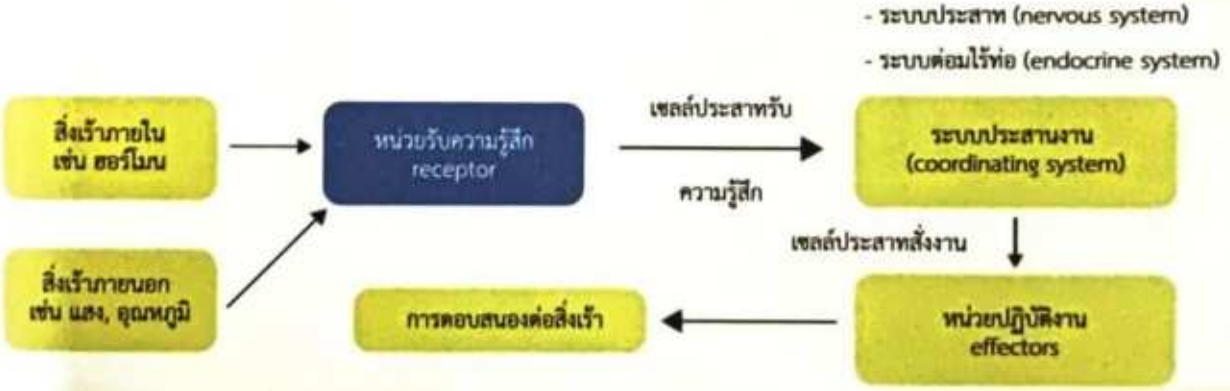
2) **ตอบ 1.** ไส้เดือนดินเคลื่อนที่แบบแอนทาโกนิซึม เป็นการทำงานตรงข้ามกันของกล้ามเนื้อวงและกล้ามเนื้อตามยาว

3) **ตอบ 3.** เพราะจากโจทย์คือหนอนตัวกลมที่มีลำตัวอ่อนนุ่มและมีกล้ามเนื้อตามยาวเท่านั้น (ไม่มีแอนทาโกนิซึม) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ จึงทำให้หนอนตัวกลมเคลื่อนที่แบบงอตัวสลับไปมาโดยบังคับทิศทางไม่ได้

บทที่ 08

การรับรู้และการตอบสนอง

8.1 การรับรู้และการตอบสนอง



ระบบประสาท

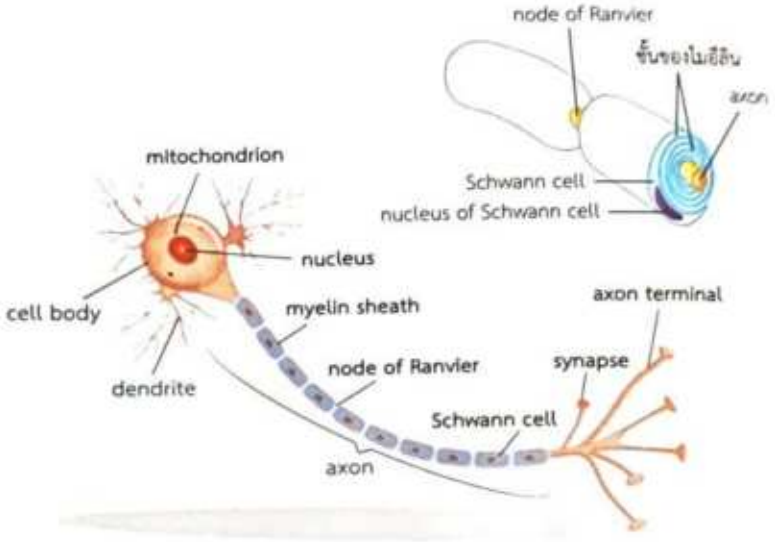
▲ (Cr. นพคุณ สุขสวัสดิ์)

8.2 เซลล์ประสาทและเซลล์ค้ำจุน (neuron and neuroglia)

8.2.1 เซลล์ประสาท (neuron)

เซลล์ประสาท ประกอบด้วย

- ตัวเซลล์ (cell body หรือ soma) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-25 ไมโครเมตร ประกอบด้วยนิวเคลียสและไซโทพลาซึม โดยมีของเหลวภายในเซลล์ที่เรียกว่า ไซโตซอล (cytosol) ที่มีเกลือโพแทสเซียมละลายอยู่มาก และมีออร์แกเนลล์ที่สำคัญจำนวนมาก ได้แก่ mitochondria, RER, ribosome, Golgi body



- ใยประสาท (nerve fiber) เป็นส่วนที่ยื่นออกจากตัวเซลล์ มีลักษณะเป็นแขนงเล็กๆ มี 2 ชนิด คือ
  - เดนไดรต์ (dendrite) ใยประสาทนี้ทำหน้าที่นำกระแสประสาทเข้าตัวเซลล์
  - แอกซอน (axon) ใยประสาทนี้ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ไปยังเซลล์ประสาทอื่น เซลล์กล้ามเนื้อ หรือเซลล์ต่อมต่างๆ
- ส่วนประกอบอื่นๆ
  - Schwann cell คือ ส่วนเปลือกชั้นนอกเป็นเซลล์บางๆ ติดต่อกับเยื่อไมอีลิน ทำหน้าที่สร้างเยื่อไมอีลิน
  - node of Ranvier คือ บริเวณรอยต่อของเซลล์ชวันน์แต่ละเซลล์ และเป็นบริเวณที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

การพัฒนาและการสร้างเยื่อไมอีลินของ Schwann cell

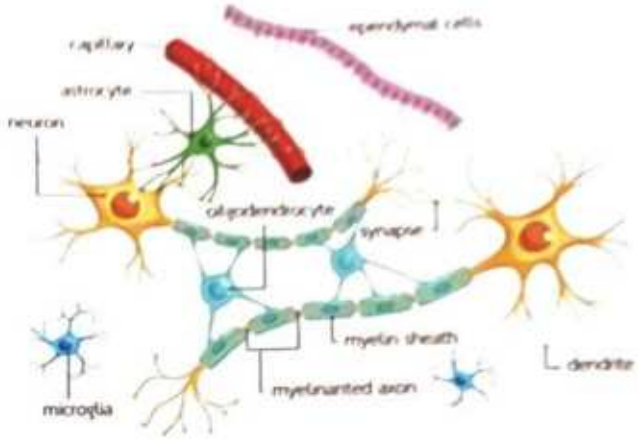
เยื่อไมอีลิน (myelin sheath) คือ เปลือกชั้นในที่หุ้มใยประสาท ถือว่าเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ชวันน์ (Schwann cell) **เยื่อไมอีลินเป็นสารพวกไขมัน จึงมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า (ไม่นำไฟฟ้า) ทำให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้รวดเร็วแบบก้าวกระโดด**

- **ใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้มจะส่งกระแสประสาทได้เร็วถึง 120 m/s เพราะกระแสประสาทจะเคลื่อนที่แบบกระโดดข้าม (ไมอีลินเป็นฉนวนไฟฟ้า) จะพบในเซลล์ประสาทที่ต้องการส่งกระแสประสาทอย่างรวดเร็ว เช่น เซลล์ประสาทที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับแสง เสียง การทรงตัว**
- **ใยประสาทที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มจะส่งกระแสประสาทได้เร็วแค่ 12 m/s จะพบในเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและนำคำสั่งในระบบประสาทอัตโนวัติซึ่งคุมการทำงานของอวัยวะภายในทำให้กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กทำงานปกติ**

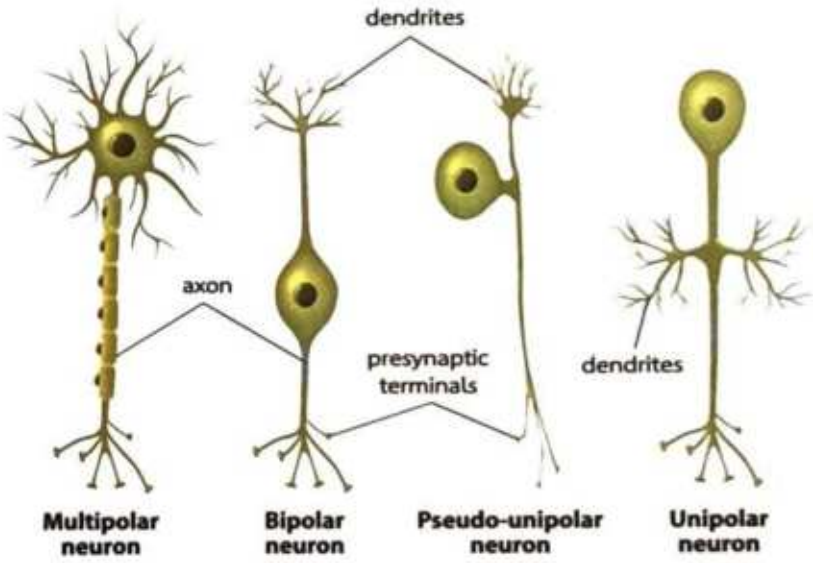
8.2.2 เซลล์ค้ำจุน (glial cell หรือ neuroglia)

เซลล์ค้ำจุน คือ เซลล์ที่ไม่ได้ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทโดยตรง แต่เป็นตัวช่วยของเซลล์ประสาทในเรื่องต่างๆ ประกอบด้วย

- astrocyte เซลล์รูปดาวจะเชื่อมต่อกับหลอดเลือดช่วยในการนำอาหารและแก๊สมาเลี้ยงเซลล์ประสาท
- oligodendrocyte สร้างเยื่อไมอีลิน (ใน CNS) แต่เซลล์ชวันน์สร้างไมอีลิน (ใน PNS)
- microglial cell กำจัดสิ่งแปลกปลอมในระบบประสาท (แบคทีเรีย)
- ependymal cells เป็นเซลล์ที่อยู่ที่ผนังช่องว่างที่บรรจุน้ำหล่อสมองไขสันหลัง (cerebrospinal fluid; CSF) ภายในระบบประสาทส่วนกลาง



เซลล์ประสาทจำแนกตามโครงสร้างได้ 3 รูปแบบ คือ



1. เซลล์ประสาทขั้วเดียว (unipolar neuron) มีแขนงแยกออกมาจากตัวเซลล์ 1 แขนง คือ แอกซอน เซลล์ประสาทชนิดนี้มีไซแนปส์น้อยมาก พบในเซลล์ประสาทหลั่งฮอร์โมนของสัตว์ และยังมีเซลล์ประสาทขั้วเดียวเทียม (pseudounipolar neuron) มีแขนงแยกออกมาจากตัวเซลล์ 1 แขนงแล้วแตกออกเป็น 2 แขนง ฝั่งหนึ่งจะเป็นเดนไดรต์ และอีกฝั่งหนึ่งจะเป็นแอกซอน พบในปมประสาทรับความรู้สึกของเส้นประสาทสมองและไขสันหลัง (ปมประสาทรากบนไขสันหลัง).....ออกสอบ!!
2. เซลล์ประสาทสองขั้ว (bipolar neuron) มีแขนงแยกออกมาจากตัวเซลล์ 2 แขนง คือ เดนไดรต์ และแอกซอน พบในเซลล์ประสาทรับความรู้สึก เช่น เซลล์ประสาทในจอตา (retina) ปลายประสาทรับกลิ่น (olfactory neuroepithelium) ตัวรับรู้เกี่ยวกับการทรงตัวและรับเสียง
3. เซลล์ประสาทหลายขั้ว (multipolar neuron) มีเดนไดรต์แยกออกมาจากตัวเซลล์มากมาย แต่มีแอกซอนเพียง 1 เส้นใย พบในเซลล์ประสาทประสานงาน และเซลล์ประสาทสั่งการ

unipolar pseudounipolar และ bipolaor ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นเซลล์ประสาทรับความรู้สึก ส่วน multipolar จะทำหน้าที่เป็นเซลล์ประสาทประสานงาน และเซลล์ประสาทสั่งการ

เซลล์ประสาทจำแนกตามหน้าที่ได้ 3 รูปแบบ คือ

1. เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron) จะรับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกที่อยู่ตามส่วนต่างๆ ของร่างกายส่งไปยังระบบประสาทส่วนกลาง และส่งมายังเซลล์ประสาทสั่งการ อาจจะผ่านเซลล์ประสาทประสานงานหรือไม่ก็ได้ พบในปมประสาทรากบนของไขสันหลัง
2. เซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron) ทำหน้าที่สั่งการจากสมองและไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติงาน
3. เซลล์ประสาทประสานงาน (association neuron) เซลล์ประสาทที่อยู่ภายในสมองและไขสันหลัง จะเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึกกับเซลล์ประสาทสั่งการ

8.3 การทำงานของเซลล์ประสาท

นักสรีรวิทยาศึกษาศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ (membrane potential) โดยนำไมโครอิเล็กโทด มีลักษณะเป็นหลอดแก้ว ปลายหนึ่งต่อกับ voltmeter เพื่อวัดความต่างศักย์ เสียบเข้าไปในแอกซอนของหมึก และให้ปลายอีกข้างหนึ่งอยู่ด้านนอก พบว่าเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทเป็น phospholipid bilayer (ไขมันเรียงตัว 2 ชั้น) มีโปรตีนแทรกอยู่ทั่วไปทำให้เกิดช่อง (channel) เพื่อให้ไอออนผ่านเข้าออกได้

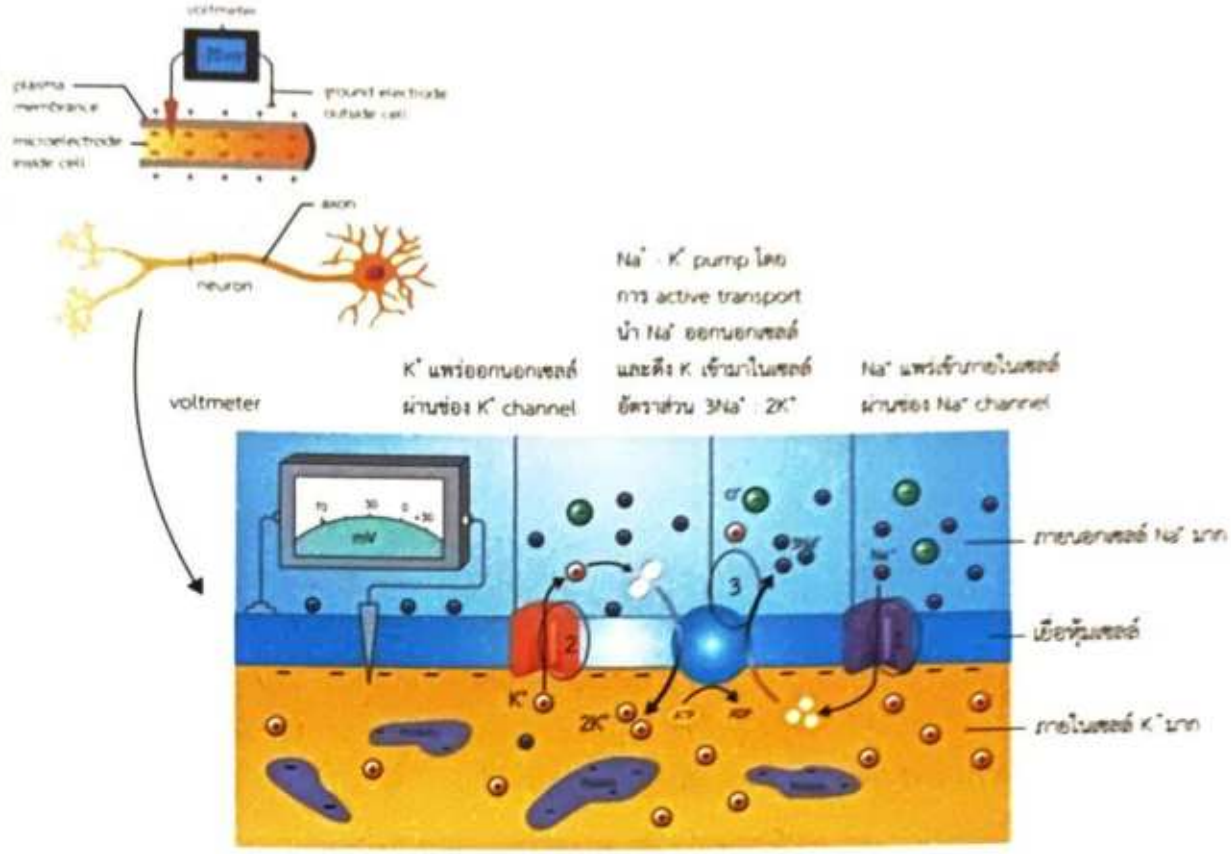
ขณะที่เซลล์ประสาทไม่ถูกกระตุ้น ภายนอกเซลล์มี Na^+ สูงกว่าภายในเซลล์ และมี K^+ ภายในเซลล์สูงกว่าภายนอกเซลล์ ทั้งนี้จะมีการรักษาสมดุลไฟฟ้าด้วย 2 วิธี คือ

1. มีกระบวนการแพร่ (diffusion) ของ Na^+ จากภายนอกเซลล์เข้าภายในเซลล์ และแพร่ K^+ จากภายในออกไปภายนอกเซลล์ผ่านช่องโปรตีน (channel) เป็นการลำเลียงสารแบบ passive transport (ไม่ใช้พลังงาน)
2. มีกระบวนการลำเลียงสารโดยใช้พลังงาน ATP (active transport) โดยมีการขับ Na^+ ออกนอกเซลล์ และดึง K^+ เข้ามาในเซลล์อัตราส่วน $3Na^+ : 2K^+$ ผ่านทางช่องโซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม ($Na^+ - K^+$ pump)

จากที่กล่าวมาทำให้ผิวด้านนอกเซลล์มีประจุเป็นบวก (+) โดยความเป็นบวกขึ้นกับ Na^+ และผิวด้านในเซลล์มีประจุเป็นลบ (-) โดยมี K^+ อยู่มาก แต่ผิวด้านในเซลล์เป็นลบทั้งนี้เพราะแม้ว่า K^+ จะเข้ามาสะสมภายในเซลล์จำนวนมากแล้ว แต่ภายในยังมีสารอินทรีย์อื่นๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เป็นจำนวนมาก เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ซึ่งไม่สามารถผ่านออกนอกเซลล์ได้ และสารเหล่านี้มีประจุลบจึงทำให้ภายในเซลล์มีผลรวมของประจุเป็นลบ เมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์ ออกสอบ!!

ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาท (membrane potential) มีค่า -70 mV เรียกระยะนี้ว่า ระยะพัก (resting state)

สมดุลไฟฟ้าของแอกซอนของเซลล์ประสาท



▲ (Cr. midlandstech.edu และ highlands.edu)

จากภาพช่องโปรตีนที่ 1 (Na^+ channel) นำ Na^+ เข้า และช่องที่ 2 (K^+ channel) นำ K^+ ออก เป็นการลำเลียงสารแบบ passive transport (ไม่ใช้พลังงาน)

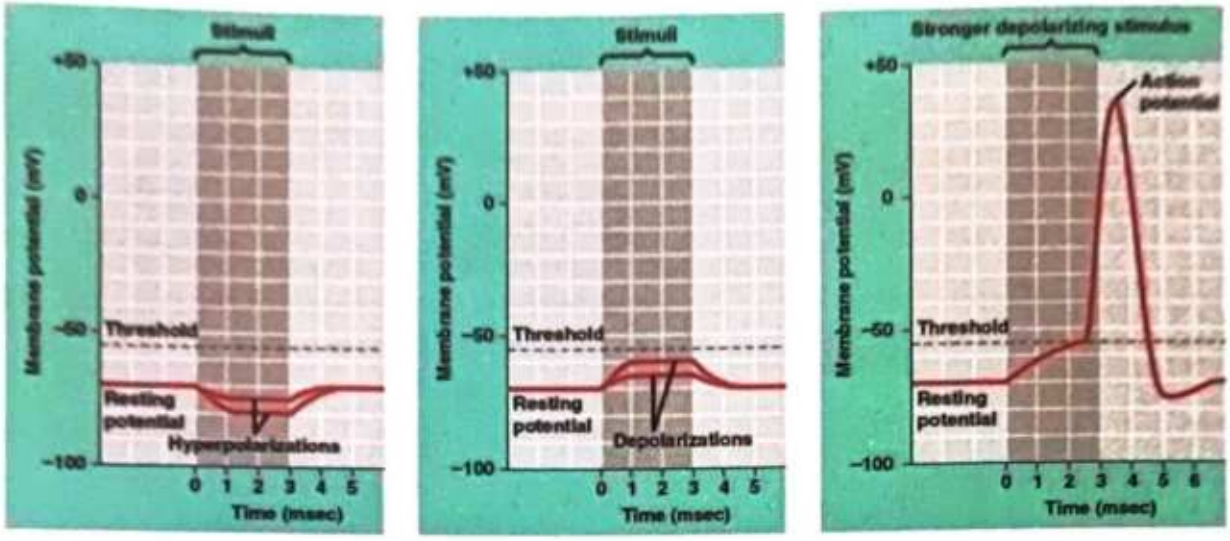
ส่วนช่องที่ 3 เรียกว่าช่อง Na^+ - K^+ pump จะลำเลียง Na^+ ออก และนำ K^+ เข้า เป็นการลำเลียงสารแบบ active transport (ใช้พลังงาน ATP) โดยช่องนี้จะเป็นตัวปรับสมดุลของเยื่อหุ้มเซลล์ประสาท

การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาท (membrane potential)

เมื่อเซลล์ประสาทมีการกระตุ้นจากสิ่งเร้าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาทตามความแรงของการกระตุ้นเรียกการตอบสนองแบบ graded potential มี 2 รูปแบบ คือ

1. ดีโพลาไรเซชัน (depolarization) เป็นการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาทให้มีค่าเพิ่มขึ้น (เป็นบวกมากขึ้น) เนื่องจาก Na^+ ที่มีมากอยู่ภายนอกเซลล์เข้ามาด้านในเซลล์ประสาท แต่การกระตุ้นยังไม่ถึงระดับ threshold จึงยังทำให้ไม่เกิดการส่งกระแสประสาท
2. ไฮเพอร์โพลาไรเซชัน (hyperpolarization) เป็นการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาทโดยมีค่าลดลง (ติดลบมากขึ้น) เนื่องจากมีการเปิดของช่องทำให้ K^+ ที่มีมากอยู่ภายในเซลล์ออกภายนอกเซลล์ ซึ่งทำให้ไม่เกิดกระแสประสาท (inhibition)

ทั้งนี้เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทถูกกระตุ้นจนถึงระดับ threshold จะทำให้ช่อง Na^+ เปิดออกและ Na^+ จากภายนอกเซลล์เข้ามาภายในเซลล์เกิด depolarization ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาทเพิ่มขึ้น (เป็นบวกมากขึ้น) และจะทำให้เกิดกระแสประสาท เรียกว่า nerve impulse หรือเกิด action potential (ย้ำว่าต้องถึงระดับ threshold!!) **ออกสอบ**



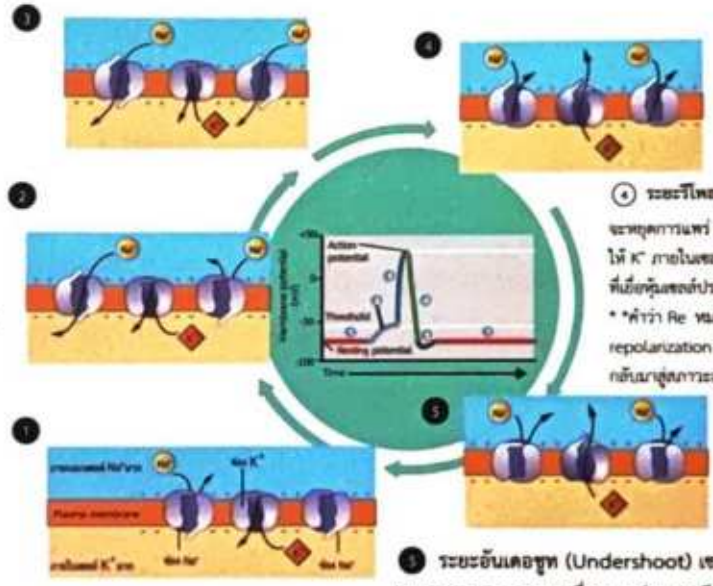
▲ (Cr. nicerweb.net)

การส่งกระแสประสาท (nerve impulse) **ออกสอบบ่อยมาก!!**

③ **ระยะดีโพลาไรเซชัน (Depolarization)** มีการกระตุ้นจนถึงระดับ threshold เยื่อหุ้มเซลล์จะยอมให้ Na^+ แพร่เข้ามาภายในเซลล์ (ช่อง Na^+ เปิดหมด) ทำให้ภายในมีประจุเป็นบวกเพิ่มขึ้น และภายนอกจะเปลี่ยนเป็นประจุลบ ศักย์ไฟฟ้าเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทเปลี่ยนจาก -70 เป็น +50 mV

② **ระยะกระตุ้น ถึงระดับ Threshold** เมื่อเซลล์ประสาทถูกกระตุ้นเยื่อหุ้มเซลล์จะยอมให้ Na^+ แพร่เข้ามาภายในเซลล์ (ช่อง Na^+ เปิดบางช่อง) เมื่อ Na^+ เข้ามาภายในบางส่วนทำให้ภายในมีความเป็นบวกเพิ่มขึ้น

ยาชาฉีดยับยั้งให้ช่อง Na^+ ไม่เปิด จึงทำให้การกระตุ้นไม่ถึงระดับ threshold ส่งผลให้ไม่มีการส่งกระแสประสาท เมื่อคิดที่หน้าจึงไม่รู้สึกเจ็บ



④ **ระยะรีโพลาไรเซชัน (Repolarization)** ระยะนี้เยื่อหุ้มเซลล์จะหยุดการแพร่ Na^+ เข้าภายในเซลล์ (ช่อง Na^+ ปิด) และยอมให้ K^+ ภายในเซลล์แพร่ออกนอกเซลล์ (ช่อง K^+ เปิด) ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาทเปลี่ยนจาก +50 เป็น-70 mV

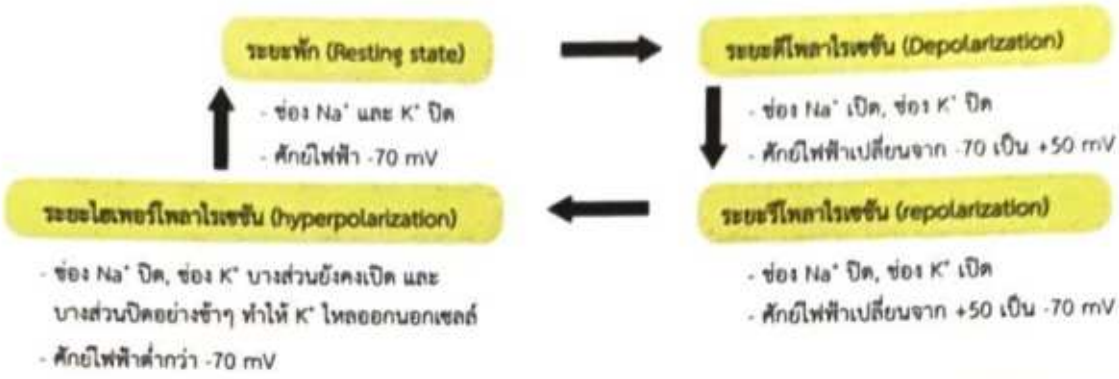
* *คำว่า Re หมายถึง กลับมา (again) ดังนั้นระยะ repolarization คือระยะที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กลับมาสู่สภาวะเดิม หรือสภาวะพัก (-70 mV)

① **ระยะพัก (Resting state)** เป็นสภาวะปกติที่ยังไม่มีการเคลื่อนที่ของกระแสประสาท ช่อง Na^+ และ K^+ ยังปิดอยู่ เมื่อวัดศักย์ไฟฟ้าเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทมีค่าประมาณ -70 mV (ด้านนอกมี Na^+ มาก ส่วนด้านในมี K^+ มาก)

⑤ **ระยะอันเดอชูท (Undershoot)** เซลล์จะอยู่ในสภาพไฮเพอร์โพลาไรเซชัน (hyperpolarization) เนื่องจากช่อง K^+ มีการปิดอย่างช้า หรือบางช่องยังคงเปิดอยู่ เป็นผลให้มีการสูญเสีย K^+ ออกมากกว่าปกติทำให้ภายในเซลล์มีความเป็นลบมากกว่าระยะพัก (มีค่าประมาณ -80 mV) เกิดขึ้นระยะหนึ่งจากนั้นศักย์ไฟฟ้าจะเข้าสู่ภาวะพักตามปกติ

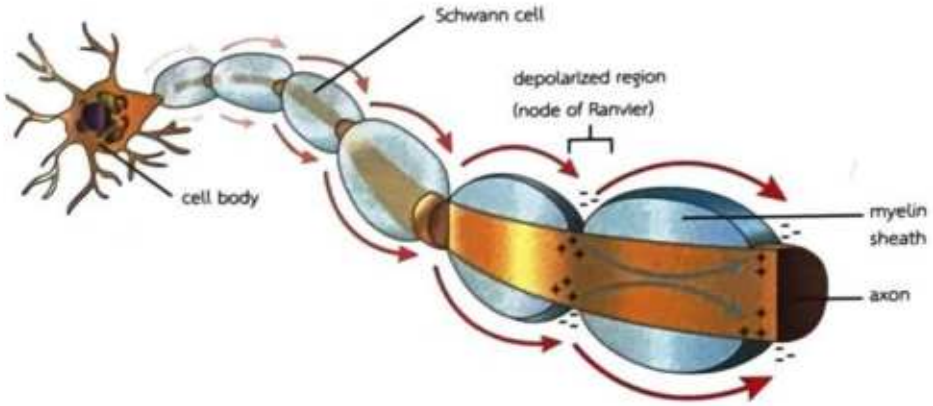
▲ (Cr. wikispaces.com)

สรุป



- ถ้ามีการกระตุ้นด้วยความแรงที่น้อยกว่าระยะเทรสโฮลด์ (threshold) กระแสประสาทจะไม่เกิดขึ้น (ขั้นตอน 3-5 ไม่เกิด)
- ในขณะที่มีการส่งกระแสประสาทตามขั้นตอนดังกล่าว ช่อง Na^+ -K^+ pump ยังทำงานตลอดเวลาในการรักษาสมดุลของไอออน

การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทของใยประสาทที่มีเยื่อหุ้มไมอีลิน



▲ (Cr. tokresource.org)

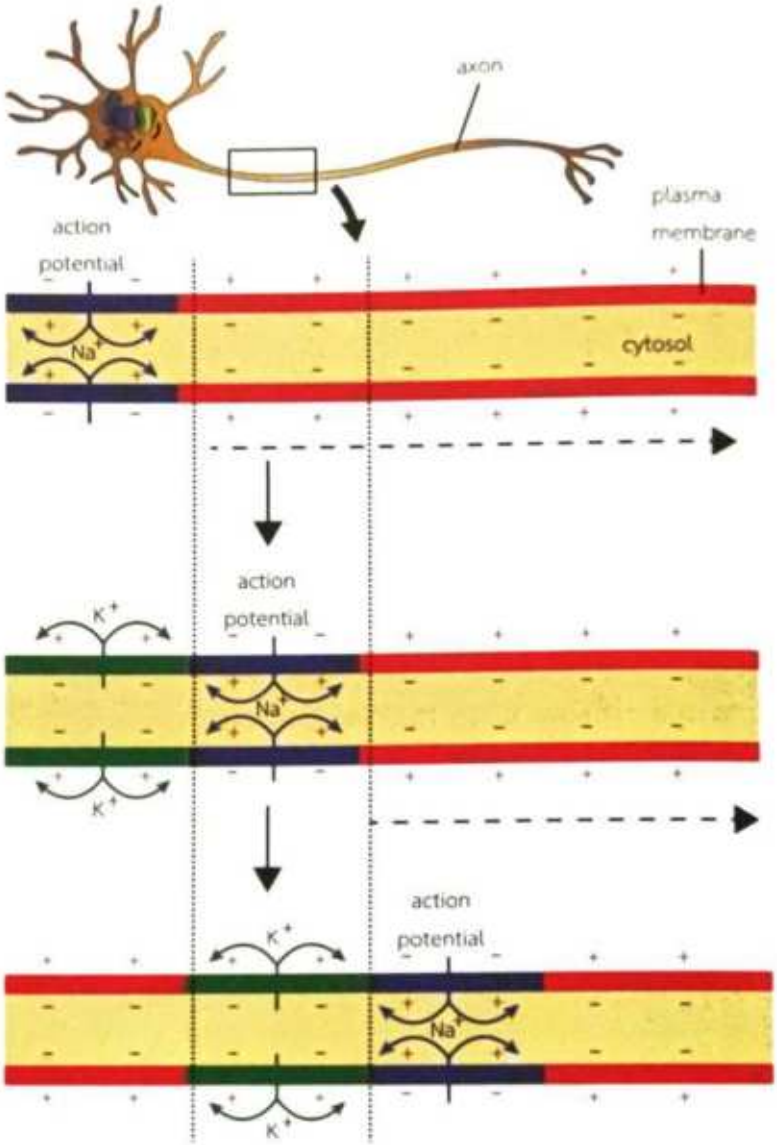
ในกรณีที่มีเยื่อไมอิลินหุ้ม จะทำให้ action potential ส่งกระแสประสาทจาก node of Ranvier หนึ่งไปยังอีก node หนึ่งได้เลยเนื่องจากไมอีลินเป็นฉนวนไฟฟ้า (ไม่นำไฟฟ้า) เรียกกระบวนการนำไฟฟ้าแบบกระโดดข้าม node แบบนี้ว่า saltatory conduction

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วของกระแสประสาท ออกสอบบ่อย!!

- เยื่อไมอีลิน ถ้ามีเยื่อไมอีลินกระแสประสาทจะเคลื่อนที่เร็ว 10 เท่า
- ระยะห่างของ node of Ranvier ยิ่งห่างมากกระแสประสาทไปได้เร็ว
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแอกซอน เส้นผ่านศูนย์กลางมากกระแสประสาทเคลื่อนที่เร็วเพราะความต้านทานไฟฟ้าต่ำ
- ยิ่งมีบริเวณ synapse น้อย (รอยต่อระหว่างเซลล์ประสาท 2 เซลล์ที่ส่งกระแสประสาทให้กันผ่านสารสื่อประสาท) จะทำให้กระแสประสาทเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้เร็ว

การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทของใยประสาทที่ไม่มีเยื่อหุ้มไมอีลิน

ภาพนี้ทำให้เห็นว่ามีการส่งกระแสประสาทแบบต่อเนื่อง จุดที่ภายในเซลล์เกิดประจุบวกขึ้นหรือเกิด action potential จะกระตุ้นให้เซลล์ส่วนถัดไปเกิด action potential ตามมา ไล่ไปตั้งแต่ dendrite ผ่าน cell body ไปถึงปลาย axon ได้ เรียกว่า การนำกระแสประสาทแบบต่อเนื่อง หรือ continuous conduction หรือ core conduction



การเพิ่มความแรงของการกระตุ้นไม่ช่วยในการเพิ่มความเร็วของกระแสประสาท เช่น โดนตบเบาๆ กับโดนถีบแรงๆ action potential สูงสุดก็เท่ากัน คือ +50 mV ร่างกายรับรู้ความแรงของการกระตุ้นจากความถี่การเกิด action potential ถ้าได้รับแรงกระตุ้นระดับที่แรงมากก็จะทำให้เกิดกระแสประสาทถี่มากขึ้นกว่า รู้สึกเจ็บมากกว่านั่นเอง

การเกิด action potential

▲ (Cr. Health Care)

การไซแนปส์

▲ (Cr. Ali Kadhim Al-Sayegh)

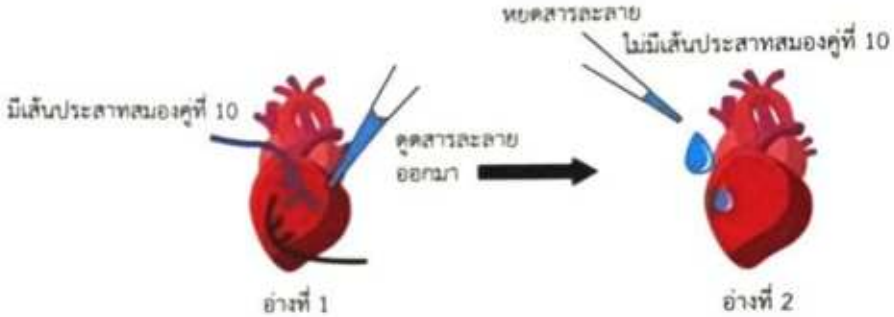
Quiz Yourself

1) ลักษณะของเซลล์ประสาทขณะที่ยังไม่มีกระแสประสาท มีสภาพเป็นอย่างไร
   1. ด้านนอกเยื่อหุ้มเซลล์มี Na^+ มากกว่าด้านใน
   2. ด้านนอกเยื่อหุ้มเซลล์มี Na^+ น้อยกว่าด้านใน
   3. ด้านนอกเยื่อหุ้มเซลล์มี K^+ มากกว่าอีกด้านหนึ่ง
   4. ที่ปลายด้านหนึ่งมีประจุบวก อีกด้านหนึ่งมีประจุลบ

2) เมื่อกระตุ้นเซลล์ประสาทด้วยสิ่งเร้าที่มีผลให้ช่องโซเดียมเปิดออก จะทำให้เกิดผลตามข้อใด
   1. ศักย์เยื่อเซลล์ลดลง และเพิ่มโอกาสการเกิดแอกชันโพเทนเชียล
   2. ศักย์เยื่อเซลล์เพิ่มขึ้น และเพิ่มโอกาสการเกิดแอกชันโพเทนเชียล
   3. ศักย์เยื่อเซลล์ลดลง และลดโอกาสการเกิดแอกชันโพเทนเชียล
   4. ศักย์เยื่อเซลล์เพิ่มขึ้น และลดโอกาสการเกิดแอกชันโพเทนเชียล

8.4 การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท (synapse)

การทดลองของ Otto Loewi (1921)



▲ (Cr. wikimedia.org)

วิธีการทดลอง

1. นำหัวใจกบที่ยังมีเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ติดอยู่ ใส่น้ำเกลือในอ่างที่ 1 แล้วกระตุ้นเส้นประสาทนั้นด้วยไฟฟ้า พบว่าหัวใจกบเต้นช้าลง
2. ดูดสารละลายจากหัวใจกบที่มีเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10
3. หยดสารละลายดังกล่าวที่หัวใจกบในอ่างที่ 2 ซึ่งเป็นหัวใจกบที่ไม่มีเส้นประสาทติดอยู่ พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจกบเต้นช้าลงเช่นกัน

จากการทดลองสรุปได้ว่า เส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 (vagus nerve) ปล่อยสารเคมีบางอย่างออกมา และสารเคมีนั้นมีผลต่อหัวใจในอ่างที่ 2 ด้วยเช่นกัน ต่อมาเรียกสารเคมีนี้ว่า สารสื่อประสาท (neurotransmitter) โดยเป็นสารที่มีชื่อว่า แอซิติลโคลีน (acetylcholine) มีผลยับยั้งการเต้นของหัวใจ

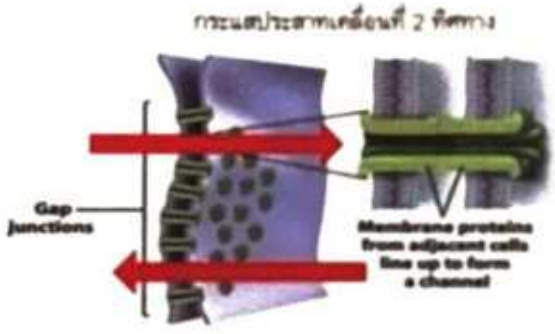
ไซแนปส์ (synapse) คือ การถ่ายทอดกระแสประสาทบริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาท 2 เซลล์ หรือระหว่างเซลล์ประสาทกับหน่วยปฏิบัติงานมี 2 วิธี คือ การไซแนปส์ทางเคมีและการไซแนปส์ด้วยไฟฟ้า

คำศัพท์ที่ควรรู้

1. neurotransmitter = สารสื่อประสาท
2. synaptic vesicle = ถุงที่เก็บสารสื่อประสาท
3. presynaptic = เซลล์ประสาทก่อนเกิดไซแนปส์
4. postsynaptic = เซลล์ประสาทหลังเกิดไซแนปส์
5. synaptic cleft = ช่องว่างระหว่างเซลล์ประสาท 2 เซลล์

การไซแนปส์ทางเคมี

1. เมื่อเกิด action potential มายังปลายแอกซอนของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ (presynaptic) จะทำให้ช่อง Ca^{2+} (voltage-gated Ca^{2+} channel) เปิดออก กระตุ้นนำ Ca^{2+} เข้าสู่ปลายแอกซอนมากขึ้น
2. Ca^{2+} ไปกระตุ้นให้ synaptic vesicle เคลื่อนที่มาชิดที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์
3. เกิดการหลั่งสารสื่อประสาทบริเวณ synaptic cleft
4. สารสื่อประสาทจับกับตัวรับ (receptor) ที่อยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ (postsynaptic) ทำให้ช่อง Na^{+} หรือ K^{+} เปิดออก เกิดการแพร่ของไอออน เข้า-ออกที่เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ อาจทำให้เกิด action potential ต่อไป
5. สารสื่อประสาทถูกทำลายด้วยเอนไซม์และบางส่วนถูกดูดกลับเพื่อไปสร้างสื่อประสาทใหม่ต่อไป



การไซแนปส์ทางไฟฟ้า

▲ (Cr. kalvi.gateforit.com)

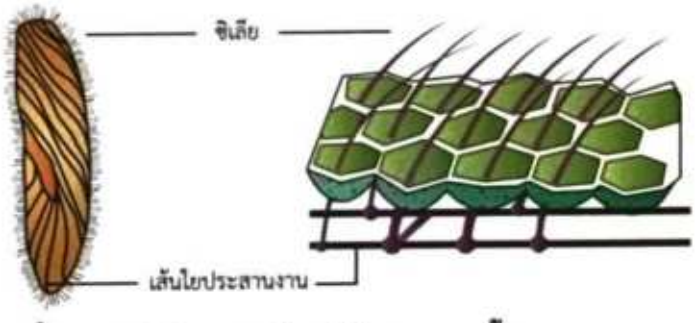
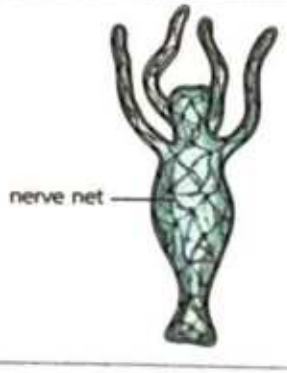
การไซแนปส์ด้วยไฟฟ้า จะพบมากบริเวณไซแนปส์ที่มีระยะแคบประมาณ 2 nm จะถ่ายทอดกระแสประสาทในรูปของกระแสไฟฟ้าผ่านทาง gap junction ดังนั้น จะถ่ายทอดสัญญาณได้เร็วมาก หลายทิศทาง เป็นวิธีที่ใช้ใน nerve net ของไฮดรา (เชื่อมกันหมดทุกเซลล์) และยังพบในกล้ามเนื้อหัวใจ และกล้ามเนื้อเรียบด้วย

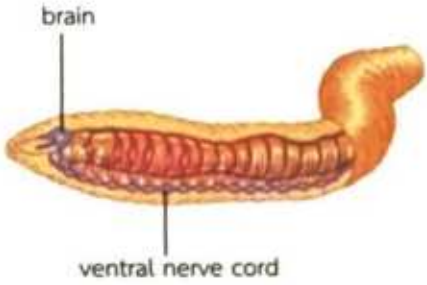
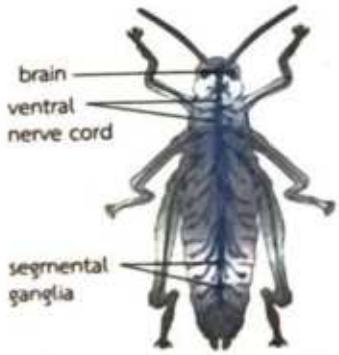
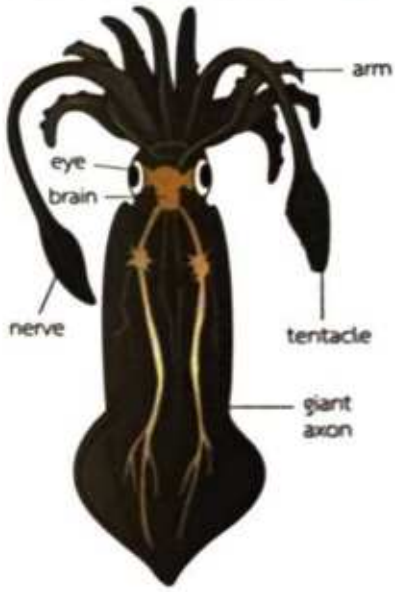
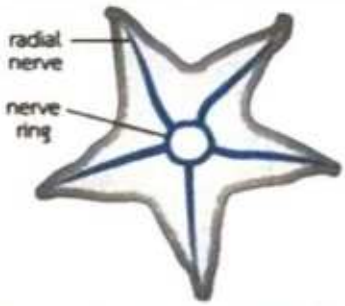
- สารสื่อประสาทเป็นสารเคมีที่สร้างจากปลายเซลล์ประสาทหรือตัวเซลล์ประสาท และหลั่งออกจากปลายประสาทเพื่อเป็นตัวนำสัญญาณประสาท (neurotransmission) ผ่านไซแนปส์ (synapse) เช่น acetylcholine, dopamine, epinephrine, norepinephrine
  - สารพิษที่เกิดจากแบคทีเรียในอาหาร (อาหารเป็นพิษ) จะยับยั้งแอกซอนไม่ให้ปล่อยสารสื่อประสาท อาจทำให้กล้ามเนื้อไม่หดตัวและเป็นอัมพาตได้

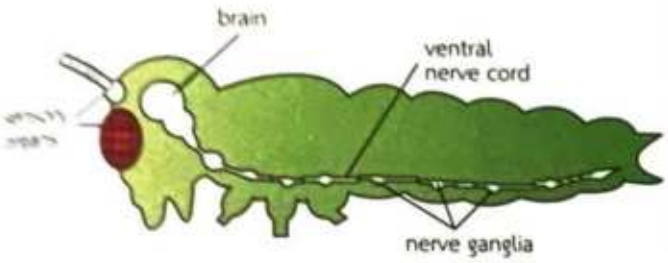
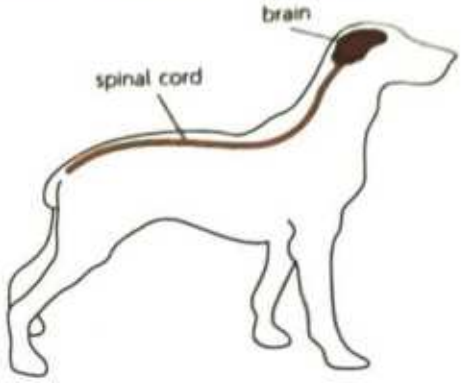
- ยาระงับประสาท ยาชา จะยับยั้งแอกชอนไม่ให้ปล่อยสารสื่อประสาทเช่นเดียวกัน (ยับยั้งช่อง Na^+) ส่งผลให้ไม่เครียด อาการสงบ
- สารพิษในปลาปักเป้า หอยเต้าปูนจะทำให้รู้สึกชา เนื่องจากมีการยับยั้งการเปิดของช่อง Na^+ จึงทำให้ไม่มีการส่งกระแสประสาท
- พิษของงู เช่น งูจงอาง งูเห่า งูสามเหลี่ยม เป็น neurotoxin จะปิดกั้นตัว receptor ที่บริเวณไซแนปส์
- สารนิโคติน คาเฟอีน แอมเฟตามีน ยาม้า ยาบ้า ยาไอซ์ ยาอี โคเคน จะกระตุ้นให้แอกชอนปล่อยสารสื่อประสาทออกมามาก ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น ตื่นตัว

ข้อเปรียบเทียบ	การไซแนปส์ทางเคมี	การไซแนปส์ด้วยไฟฟ้า
เซลล์ที่พบ	เซลล์ประสาททั่วๆ ไป	nerve net ของไฮดรา กล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อเรียบ
บริเวณที่เกิดการไซแนปส์	synaptic cleft	บริเวณไซแนปส์ที่มีระยะแคบ 2 nm ผ่านทาง gap junction
ข้อดี	เกิดในทิศทางเดียว มีประสิทธิภาพ	เกิดการถ่ายทอดกระแสประสาทเร็ว
ข้อเสีย	เกิดการถ่ายทอดกระแสประสาทช้า	เกิดได้หลายทิศทาง

8.5 ระบบประสาทของสิ่งมีชีวิตต่างๆ

สิ่งมีชีวิต	ลักษณะพิเศษ
พวกโพรทิสต์ เช่น พารามีเซียม	มีเส้นใยประสานงาน (coordinating fiber) เชื่อมโยงระหว่างโคนซิเลียที่ใช้ในการเคลื่อนที่  ก. ซิเลียรอบๆ เซลล์พารามีเซียม ข. เส้นใยประสานงานของพารามีเซียม ▲ (Cr. rmutphysics.com)
ไฮดรา แมงกะพรุน ดอกไม้ทะเล (Cnidaria)	มีร่างแหประสาท (nerve net) เซลล์ประสาทเชื่อมโยงกันเป็นตาข่ายร่างแห หากจุดไหนถูกกระตุ้นกระแสประสาทจะกระจายไปทั่วทั้งตัว 

สิ่งมีชีวิต	ลักษณะพิเศษ
พลานาเรีย (Platyhelminthes)	▸ มีปมประสาท (nerve ganglion) ที่ส่วนหัว อาจเรียกได้ว่า สมอง (พวกแรก) ▸ มีเส้นประสาทขนานไปด้านข้างลำตัว 2 เส้น เรียก longitudinal nerve cord โดยเส้นประสาทนี้เชื่อมโยงติดกันแนวขวางด้วยเส้นประสาทที่วนรอบเรียกว่า nerve ring หรือ transverse nerve cord ▸ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เห็นระบบประสาทเป็นแบบขั้นบันได (ladder type) ▸ ทั้งนี้ยังมี eye spots เป็นตาที่มีเซลล์ไวต่อความเข้มและทิศทางของแสง แต่รับภาพไม่ได้
ไส้เดือนดิน (หนอนปล้อง = Annelida), กุ้ง หอย แมลง (Arthropoda)	▸ มีปมประสาทขนาดใหญ่ ทำหน้าที่เป็นสมองที่หัว และมีปมประสาทแต่ละปล้อง ▸ เส้นประสาทอยู่ด้านล่าง (ventral nerve cord)   ▲ (Cr. nicerweb.com)
หมึก	ระบบประสาทเจริญดีมาก มีปมประสาทที่ส่วนหัวเป็นสมอง โอบรอบหลอดอาหาร มีปมประสาทและเส้นประสาทออกไปตามจุดต่างๆ ของร่างกาย (มีแอกซอนขนาดใหญ่)  ▲ (Cr. theaxonofthesquid.wordpress.com)
ดาวทะเล	มีวงแหวนประสาท (nerve ring) รอบปาก มีแขนงประสาท (radial nerve) แยกไปตามแขนแนวรัศมี  ▲ (Cr. echinoblog.blogspot.com)

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง	สัตว์มีกระดูกสันหลัง
 ▲ (Cr. extension.entm.purdue.edu)	
▸ มีเส้นประสาทด้านท้อง (ventral nerve cord) ▸ อาจมี nerve cord มากกว่า 1 เส้น ▸ nerve cord มีลักษณะเป็นแท่งตัน	▸ มีเส้นประสาทด้านหลัง (dorsal nerve cord) ▸ มี nerve cord 1 เส้น ▸ nerve cord มีลักษณะเป็นท่อกลวง

Quiz Yourself

3) วงจรในข้อใดที่กระแสประสาทเคลื่อนที่จากจุดตั้งต้นไปถึงจุดสุดท้ายได้เร็วที่สุด

	จำนวนโนดออฟแรนเวียร์	จำนวนไซแนปส์
1.	น้อย	น้อย
2.	มาก	มาก
3.	มาก	น้อย
4.	น้อย	มาก

4) ข้อใดไม่เป็นความจริงเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตและโครงสร้างทำหน้าที่รับรู้และตอบสนอง

1. ไฮดรา — ร่างแหประสาท (nerve net)
2. ปู — ปมประสาท (nerve ganglion)
3. พารามีเซียม — เส้นใยประสาท (nerve fiber)
4. มนุษย์ — สมองและไขสันหลัง (brain and spinal cord)

5) ข้อใดอธิบายการลดความเจ็บปวดของยาชาได้ถูกต้อง

ก. ป้องกันไม่ให้โซเดียมไอออนแพร่เข้าสู่เซลล์เพิ่มขึ้น
ข. ทำให้โพแทสเซียมไอออนออกนอกเซลล์เพิ่มขึ้น
ค. ทำให้โซเดียมไอออนแพร่เข้าสู่เซลล์มากขึ้น
ง. ทำให้สารสื่อประสาทออกฤทธิ์ไม่ได้

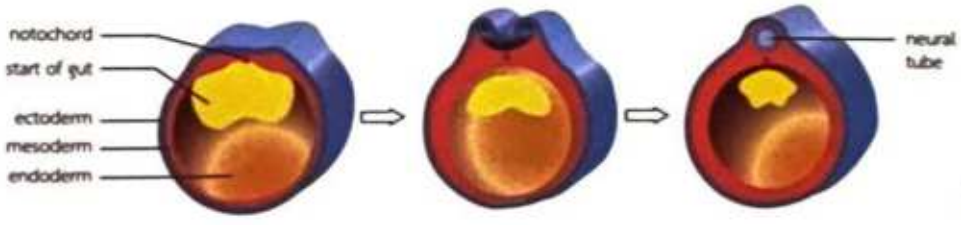
1. ก 2. ข และ ง 3. ก และ ข 4. ข และ ค

6) ถ้ากระตุ้นเซลล์ประสาทถี่ๆ ซ้ำๆ หลายๆ ครั้ง ในขณะที่ผิวด้านนอกมีประจุลบจะมีผลอย่างไร

1. เกิดกระแสประสาทขนาดเท่าเดิม เคลื่อนที่ในอัตราเร็วเท่าเดิม
2. เกิดกระแสประสาทขนาดเพิ่มขึ้น เคลื่อนที่ช้ากว่าเดิม
3. ไม่เกิดกระแสประสาทเพราะไม่มี Na-K pump
4. ไม่เกิดกระแสประสาท เพราะ Na^+ และ K^+ ยังไม่กลับที่เดิม

8.6 ระบบประสาทของมนุษย์

8.7 ระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system)



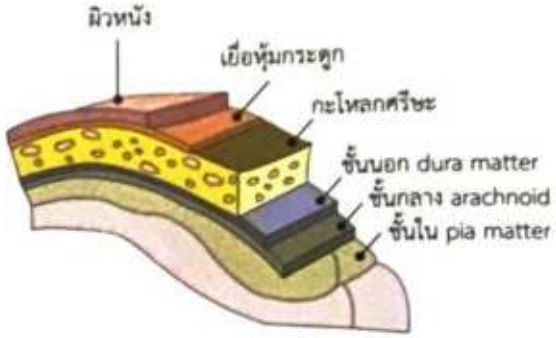
สมองและไขสันหลังพัฒนามาจากเนื้อเยื่อชั้นนอก (ectoderm) ในระยะการพัฒนาของเอ็มบริโอ จากนั้นส่วนนี้จะพัฒนากลายเป็นท่อประสาท หรือนิวรัลทิวบ์ (neural tube) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อยาวไปตามแนวลำตัว ส่วนหน้าพองออกกลายเป็นสมอง ส่วนหลังมีการพัฒนาไม่มากกลายเป็นไขสันหลัง

การพัฒนาของไขสันหลังและสมอง

▲ (Cr. Kaplan Medical)

เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลังมีเยื่อหุ้มยาวต่อเนื่องเป็นส่วนเดียวกันเรียก เยื่อเมนิงจิส (meninges) ประกอบด้วย 3 ชั้น

- ชั้นนอก (dura matter) หนาเหนียวใกล้กับกะโหลกศีรษะ ป้องกันการกระทบกระเทือน
- ชั้นกลาง (arachnoid) บางใส ลักษณะคล้ายกับใยแมงมุม ทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนต่อระบบประสาทส่วนกลาง ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเส้นใยที่ถูกปกคลุมด้วยแผ่นของเซลล์แบนๆ

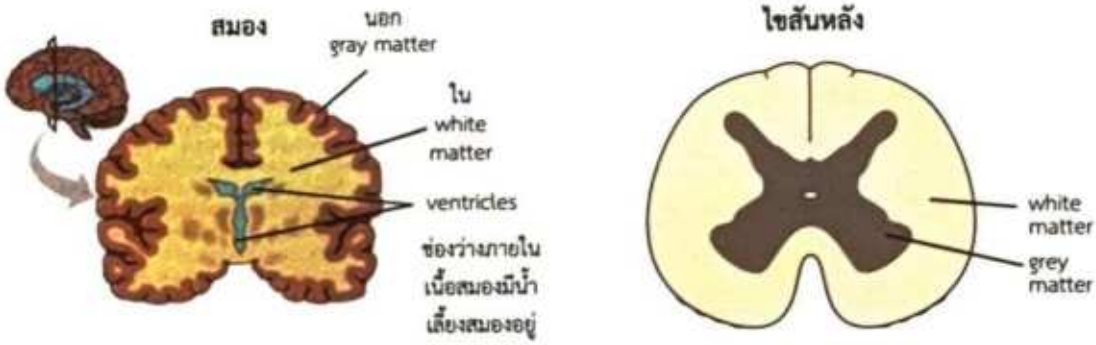


▲ (Cr. wikimedia.org)

- ชั้นใน (pia matter) มีหลอดเลือดมาเลี้ยงมากมาย หลอดเลือดจะทอดตัวไปตามสมองและไขสันหลัง และมีหลอดเลือดฝอยที่ทำหน้าที่เลี้ยงสมอง

ระหว่างชั้นกลางและชั้นในมีช่องบรรจุของเหลวเรียกว่าน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (cerebrospinal fluid : CSF) โดยน้ำเลี้ยงสมองจะไหลเวียนติดต่อกันตั้งแต่โพรงสมองยาวไปถึงไขสันหลัง โดยทำหน้าที่หล่อเลี้ยงให้สมองและไขสันหลังเปียกชื้นตลอดเวลา นำอาหารมาเลี้ยงเซลล์ประสาทและนำของเสียออกจากเซลล์ด้วย ทั้งนี้ช่องนี้จะยาวต่อเนื่องไปตลอดโพรงสมอง (ventricle) ถึงช่องของไขสันหลัง (central canal) แพทย์นิยมเจาะไขสันหลังหรือฉีดยาชา (เรียกว่าการบล็อกหลัง) เข้าไขสันหลังบริเวณกระดูกสันหลังที่บั้นเอวข้อที่ 2 ลงไป

8.7.1 สมอง (brain)



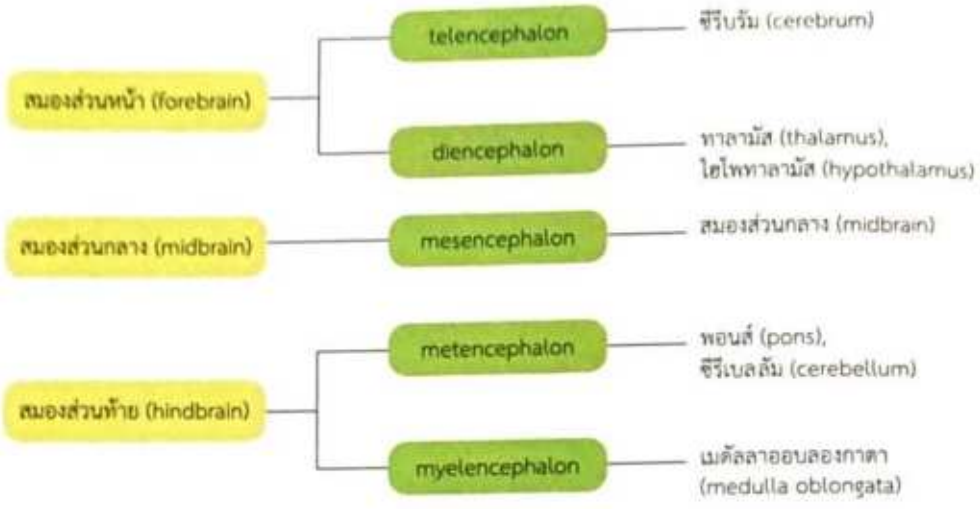
▲ (Cr. bio1152.nicerweb.com)

สมองคนมีน้ำหนักประมาณ 1.4 กิโลกรัม ประกอบด้วยเซลล์ประสาทมากกว่าร้อยละ 90 ของเซลล์ประสาททั้งหมดในร่างกาย โดยส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทประสานงาน สมองของสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูงมี 2 ชั้น คือ

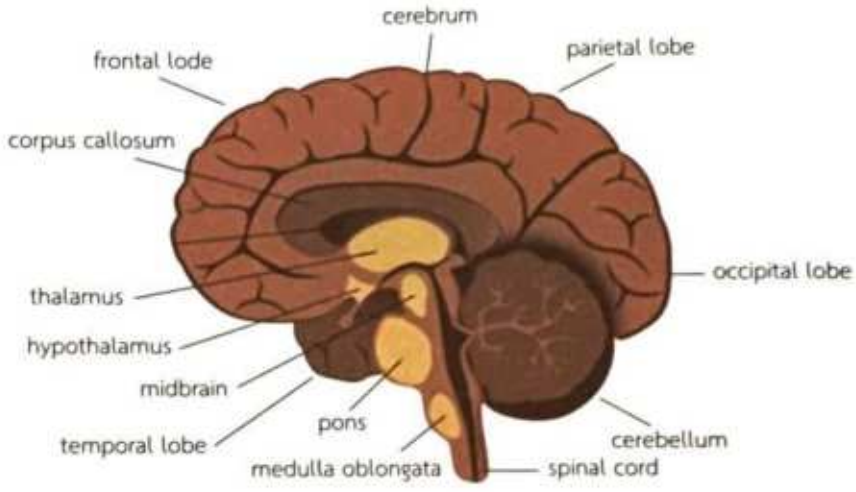
- ชั้นนอกเป็นเนื้อสีเทา (grey matter) ส่วนนี้เป็นที่อยู่ของตัวเซลล์และแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม
- ชั้นในจะมีเนื้อสีขาว (white matter) เป็นส่วนที่อยู่ของใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม ซึ่งมีสารพวกลิพิดเป็นองค์ประกอบ

ชั้นเนื้อสีขาวและเนื้อสีเทาในสมองจะตรงข้ามกับของไขสันหลัง โดยในไขสันหลังชั้นนอกจะเป็นสีขาว ส่วนชั้นในจะเป็นสีเทา

การเจริญเติบโตของสมองมนุษย์



สมองของมนุษย์



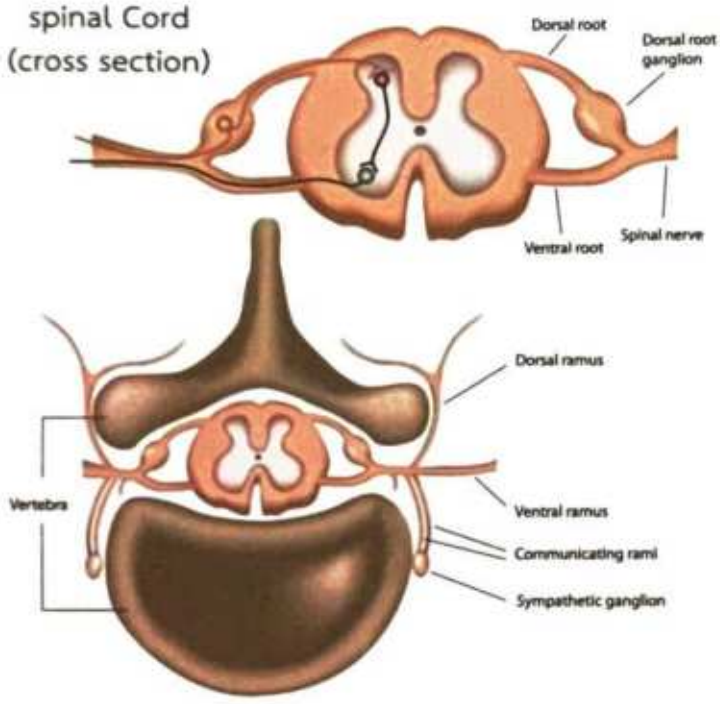
ตำแหน่ง	ชื่อ	รูปร่างและหน้าที่
สมองส่วนหน้า	1. cerebrum	▸ สมองส่วนที่ใหญ่ที่สุด ถ้ามองจากด้านบนจะเห็นเป็น 2 ก้อน ซ้ายและขวา เรียกแต่ละก้อนว่า cerebral hemisphere โดยมี corpus callosum เป็นแถบเส้นประสาทเชื่อมโยงไว้ มีทั้งส่วนสั่งการและส่วนรับความรู้สึก ▸ ในคนจะเห็นรอยหยักชัดเจนและมีมากกว่าสัตว์ชั้นต่ำ ทำหน้าที่ คือ 1. ศูนย์กลางการเรียนรู้ (learning) เช่น ความจำ ความคิด ระดับสติปัญญา 2. ศูนย์กลางรับรู้ (sensory) เช่น การรับรส ดมกลิ่น มองเห็น สัมผัส การได้ยิน การรับสัมผัส 3. ศูนย์อารมณ์ (emotion) เช่น อารมณ์รัก โกรธ ความอิจฉา 4. ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลายที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ และเกี่ยวกับการพูด (speech) 5. ควบคุมทักษะ (skill)

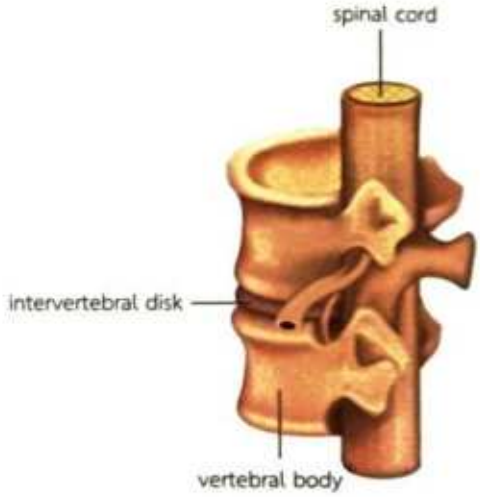
ตำแหน่ง	ชื่อ	รูปร่างและหน้าที่
สมองส่วนหน้า	1. cerebrum (ต่อ)	▸ cerebrum แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ 1. frontal lobe เป็นศูนย์กลางการเคลื่อนไหวของร่างกาย ลูกตา การพูด ความจำ การคิด (สมองซีกซ้ายคุมร่างกายด้านขวา สมองซีกขวาคุมร่างกายด้านซ้าย) 2. parietal lobe เป็นศูนย์กลางรับความรู้สึกต่างๆ การสัมผัส การพูด การรับรส 3. occipital lobe เป็นศูนย์กลางของการมองเห็น 4. temporal lobe เป็นศูนย์กลางของการได้ยิน การเคลื่อนไหวลูกตาและการดมกลิ่น ▸ อุบัติเหตุรุนแรงจนเป็นเจ้าชายนิทราหรือเจ้าหญิงนิทรา cerebrum ถูกทำให้เสียหายหนักจะทำให้ร่างกายไม่สามารถรับรู้และตอบสนองได้
	2. thalamus	▸ เป็นศูนย์รวมและแยกกระแสประสาทไปยังสมองส่วนต่างๆ และศูนย์รับรู้และตอบสนองความเจ็บปวด (thalamus pain)
สมองส่วนหน้า	3. hypothalamus *hypo แปลว่า ต่ำกว่า ดังนั้น สมองส่วนนี้จะอยู่ต่ำกว่าหรืออยู่ถัดลงมาจากสมองส่วน thalamus*	▸ มีต่อมใต้สมอง (pituitary gland) ที่หลั่งฮอร์โมนเพื่อควบคุมการทำงานของร่างกาย ▸ หน้าที่คือ 1. ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย และควบคุมความดันเลือด การเต้นของหัวใจ 2. ควบคุมความต้องการขั้นพื้นฐานในชีวิต เช่น ปริมาณน้ำในร่างกาย (โดยฮอร์โมน ADH) ควบคุมการหิว การอิ่ม การกระหายน้ำ และเกี่ยวข้องการนอนหลับ ความรู้สึกโกรธ เศร้าโศก ดีใจ ความรู้สึกทางเพศ 3. สร้างฮอร์โมนประสาท เช่น ADH และ oxytocin เพราะบริเวณ hypothalamus มีกลุ่มเซลล์ประสาท (neurosecretory cell) ที่ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนประสาท พวกนี้ 4. ศูนย์กลางควบคุมระบบประสาทแบบอัตโนวัติ (autonomic center)
	4. olfactory bulb	▸ เป็นศูนย์กลางในการรับกลิ่น เจริญดีในปลาแต่ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเจริญไม่ดีนัก (ในคนเจริญไม่ดีนัก)
สมองส่วนกลาง	5. midbrain	▸ ศูนย์กลางการมองเห็น การเคลื่อนไหวของนัยน์ตาและเกี่ยวกับการได้ยิน ▸ ในสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดอื่นที่ไม่ใช่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จะเป็นศูนย์กลางการมองเห็นเรียก optic lobe เจริญดีในปลา ส่วนในสัตว์ชั้นสูงจะมีขนาดเล็กลง และมีขนาดเล็กสุดในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทั้งนี้ยังควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายด้วย
สมองส่วนท้าย	6. pons	▸ ควบคุมการเคลื่อนไหวและการแสดงออกของใบหน้า **(Tip!! ให้จำว่าแป้งยี่ห้อพอนส์เอาไว้ทาหน้า สมองส่วนพอนส์จึงควบคุมการเคลื่อนไหวของใบหน้า ^.^)** การเคี้ยวอาหาร การหลั่งน้ำลาย และควบคุมการหายใจ
	7. medulla oblongata	▸ อยู่ท้ายสุดติดกับไขสันหลัง ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของระบบประสาทอัตโนวัติต่างๆ เช่น เป็นศูนย์ควบคุมการหายใจ การหมุนเวียนเลือด ความดันเลือด การเต้นของหัวใจ และยังควบคุมการกลืน การไอ จาม และอาเจียนด้วย
	8. cerebellum	▸ สมองส่วนท้ายทอย ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายให้ต่อเนื่อง เที่ยงตรง สละสลวย ราบรื่น ทำให้ทรงตัวได้ ****แอลกอฮอล์มีผลต่อสมองส่วนนี้ กินเหล้าเมาจึงทำให้เดินเซๆ****

ระบบลิมบิก (limbic system) เป็นระบบการทำงานของสมองที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการตอบสนองทางอารมณ์ ความกระตือรือร้น การตอบสนองทางเพศ ความสนใจการเรียนรู้ การจดจำ และความต้องการขั้นพื้นฐานของชีวิต ประกอบด้วย hypothalamus pituitary gland ที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีสมองส่วน amygdala (กระตุ้นการแสดงออกทางอารมณ์ต่อสิ่งที่ได้ยิน รู้สึก และความจำทางอารมณ์) ส่วน hippocampus (เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้และความจำระยะสั้น-ระยะยาว)

8.7.2 ไขสันหลัง (spinal cord)

- เยื่อหุ้ม 3 ชั้นเหมือนสมอง ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มเดียวกันหุ้มตลอดสมองและไขสันหลัง (dura matter, arachnoid, pia matter)
- ส่วนประกอบ 2 ชั้น คือ เนื้อสีเทา ชั้นใน และเนื้อสีขาว ชั้นนอก (ตรงกันข้ามกับสมอง)

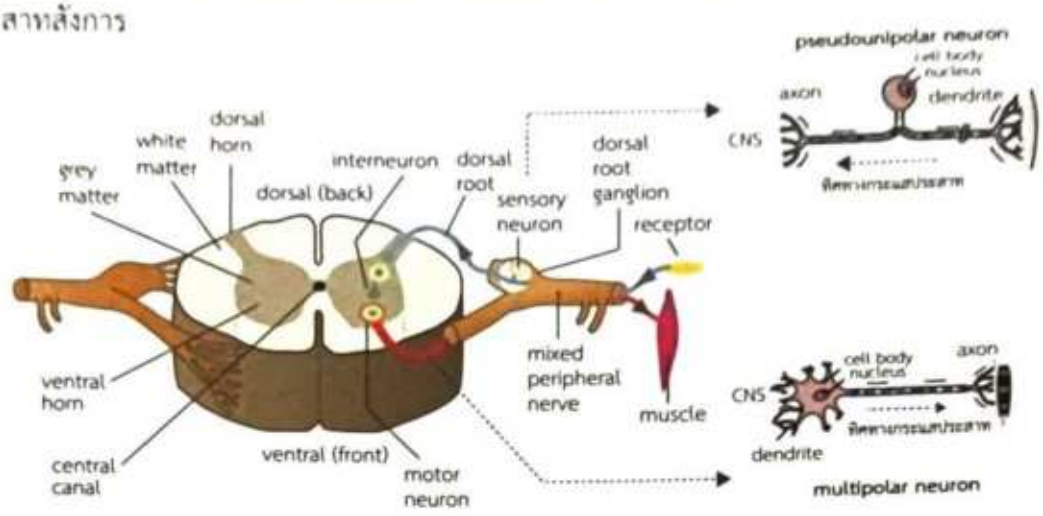




ไขสันหลังมีเนื้อสีเทาซึ่งมีลักษณะคล้ายอักษรตัว H หรือปีกผีเสื้อ

- สองปีกบนเรียกว่า dorsal horn มีแอกซอนของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกจากอวัยวะสัมผัสต่างๆ นำกระแสประสาทเข้าสู่ปีกบนทางรากบน (dorsal root) ของเส้นประสาทไขสันหลังซึ่งพบว่ามีปมประสาทรากบน (dorsal root ganglion) เป็นที่อยู่ของตัวเซลล์รับความรู้สึก (เซลล์ประสาทรับความรู้สึกเป็นแบบ pseudounipolar neuron **ออกสอบ!!**)
- ส่วนสองปีกล่างเรียกว่า ventral horn เป็นที่อยู่ของตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทสั่งการ (ชนิด multipolar neuron) จะนำกระแสประสาทออกทางรากล่าง (ventral root) ของเส้นประสาทไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติการ *ด้านล่างไม่มีปมประสาทอยู่* ....**ออกสอบ!**

นอกจากนี้ยังมีเซลล์ประสาทประสานงาน (interneuron) ทำหน้าที่ถ่ายทอดกระแสจากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกไปยังเซลล์ประสาทสั่งการ



▲ (Cr. eku.edu)

8.8 ระบบประสาทรอบนอก (peripheral nervous system : PNS)

เส้นประสาทสมอง (cranial nerve)

สมองมีเส้นประสาทแยกออกมาเป็นคู่ๆ มีทั้งหมด 12 คู่ เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณความรู้สึก (sensory nerve) และสั่งการ (motor nerve) ควบคุมหน่วยปฏิบัติงาน เส้นประสาทสมอง แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- เส้นประสาทสมองรับความรู้สึกอย่างเดียว (sensory nerve) ได้แก่ คู่ที่ 1, 2, 8 (ออกสอบ...)
- เส้นประสาทสมองสั่งการอย่างเดียว (motor nerve) ได้แก่ คู่ที่ 3, 4, 6, 11, 12
- เส้นประสาทสมองที่ทำหน้าที่ทั้งรับความรู้สึกและสั่งการ (mixed nerve) ได้แก่ คู่ที่ 5, 7, 9, 10

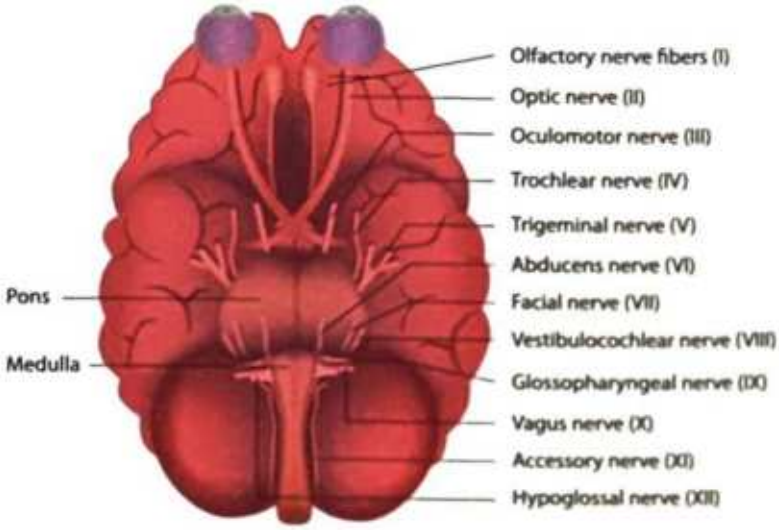
สมองและหน้าที่

▲ (Cr. EHSL Digital Publishing)

ตารางแสดงชื่อ ชนิดของเส้นประสาท และหน้าที่ของเส้นประสาทสมองทั้ง 12 คู่

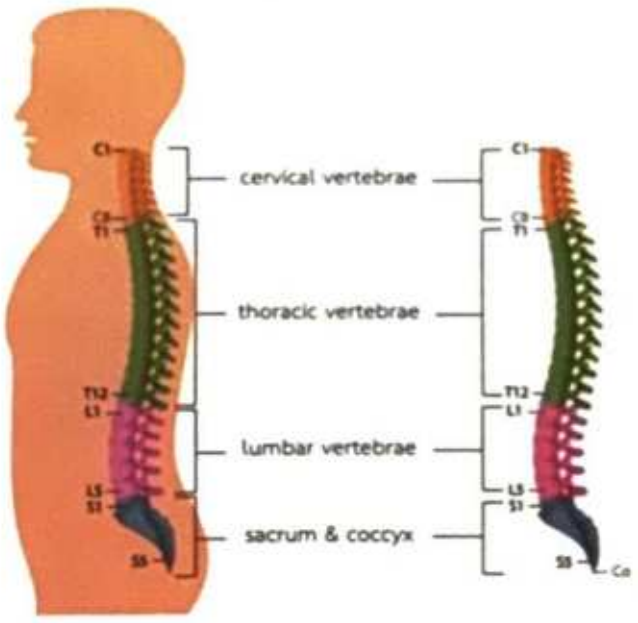
เส้นประสาทคู่ที่	ชื่อ	ชนิด	หน้าที่
I	Olfactory	sensory	การดมกลิ่น
II	Optic	sensory	การรับแสง (มองเห็น)
III	Oculomotor	motor	การเคลื่อนไหวของลูกตา หรีตา เบิ่งตา
IV	Trochlear	motor	การเคลื่อนไหวของลูกตา
V	Trigeminal	mixed	การรับรู้และตอบสนองของใบหน้า (เคี้ยว ปิด-เปิดปาก)
VI	Abducens	motor	การปรับโฟกัสของตา
VII	Facial	mixed	การเคลื่อนไหวใบหน้า การรับรส การหลั่งน้ำลาย

เส้นประสาทคู่ที่	ชื่อ	ชนิด	หน้าที่
VIII	vestibulocochlear	sensory	การได้ยิน การทรงตัว
IX	Glossopharyngeal	mixed	การรับรส การหลั่งน้ำลาย คุมการกลืน
X	Vagus	mixed	การเต้นของหัวใจ ความดันเลือด การขยายและหดตัวของปอด
XI	Accessory	motor	การเคลื่อนที่ของไหล่ ศีรษะเคลื่อนที่ คอ
XII	Hypoglossal	motor	การเคลื่อนไหวของลิ้น



▲ (Cr. MicroNeuroSurgeryOrg)

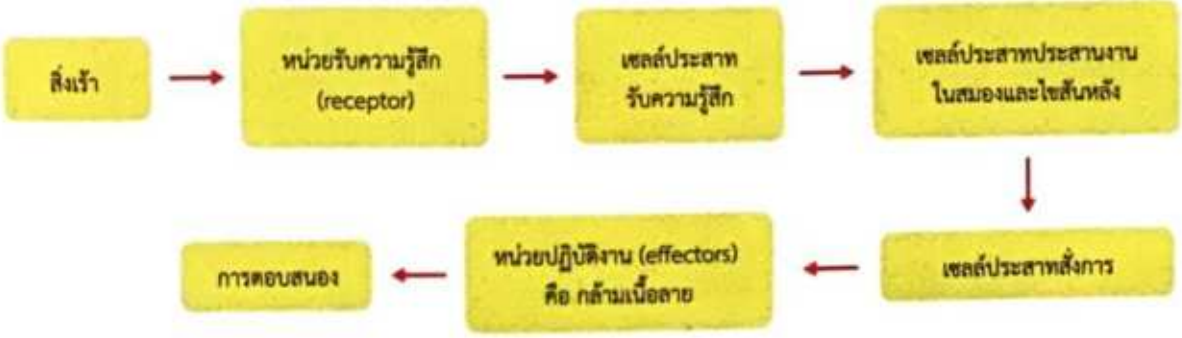
เส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve) มี 31 คู่ เป็น mixed nerve ทั้งหมด ดังนี้ (ออกสอบ)



- เส้นประสาทบริเวณคอ (cervical nerve) 8 คู่ C1-C8
- เส้นประสาทบริเวณอก (thoracic nerve) 12 คู่ T1-T12
- เส้นประสาทบริเวณเอว (lumbar nerve) 5 คู่ L1-L5
- เส้นประสาทบริเวณกระเบนเหน็บ (sacral nerve) 5 คู่ S1-S5
- เส้นประสาทบริเวณก้นกบ (coccygeal nerve) 1 คู่ Co

8.9 ระบบประสาทโซมาติก (somatic nervous system : SNS)

- เป็นระบบประสาทใต้อำนาจจิตใจ (voluntary nervous system)
- เป็นการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลาย หรือกล้ามเนื้อที่ยึดติดกับกระดูก (skeletal muscle) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่เราสามารถบังคับให้สามารถเคลื่อนไหวได้ตามต้องการ
- วงจรการทำงานของระบบประสาทใต้อำนาจจิตใจ



reflex action คือ กิริยาการตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงานอย่างทันทีทันใด เป็นการทำงานนอกอำนาจจิตใจชั่วขณะ เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายที่มาใกล้ตัว ช่วยให้สามารถรอดชีวิตอย่างทันที ทั้งนี้การทำงานอาศัยการสั่งการผ่านจากไขสันหลังเท่านั้น ไม่ผ่านสมอง เกิดได้ทั้งใน SNS และ ANS แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. somatic reflex เป็นรีเฟล็กซ์แอกชันของ SNS แต่ตอบสนองต่อสิ่งเร้านอกอำนาจจิตใจชั่วขณะ มีหน่วยปฏิบัติงานเป็นกล้ามเนื้อลาย เช่น การชักเท้าหนีทันทีเมื่อเหยียบของมีคม การกระตุกขาเมื่อเคาะที่หัวเข่า
2. autonomic reflex เป็นรีเฟล็กซ์แอกชันของ ANS โดยการตอบสนองอยู่นอกอำนาจจิตใจทั้งหมด มีหน่วยปฏิบัติงานเป็นกล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ อวัยวะภายในและต่อมต่างๆ เช่น การหลั่งน้ำตา การหลั่งน้ำลาย การหลั่งน้ำย่อย การหลั่งน้ำนม การเกิดเพอริสตัลซิสที่หลอดอาหาร

▸ รีเฟล็กซ์แอกชันที่หัวเข่า อาศัยเซลล์ประสาท 2 ชนิด

1. เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron)
2. เซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron)

▸ รีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อสัมผัสของร้อน อาศัยเซลล์ประสาท 3 ชนิด

1. เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron)
2. เซลล์ประสาทประสานงาน (association neuron จะส่งกระแสประสาทเข้าสมองเพื่อแปรผล (ทำให้รู้สึกร้อน)
3. เซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron)

▲ (Cr. EdukiteLearning)

8.10 ระบบประสาทแบบอัตโนวัติ (autonomic nervous system : ANS)

- เป็นระบบประสาทนอกอำนาจจิตใจ (involuntary nervous system)
- เป็นการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจ

วงจรการทำงานของระบบประสาทนอกอำนาจจิตใจ

ระบบประสาทแบบอัตโนวัติ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ประเภท คือ

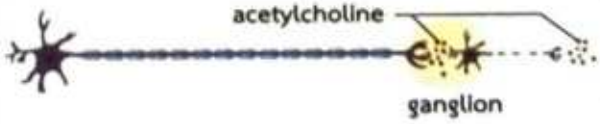
- ระบบประสาทแบบซิมพาเทติก (sympathetic nervous system)
- ระบบประสาทแบบพาราซิมพาเทติก (parasympathetic nervous system)

ข้อเปรียบเทียบ	ระบบประสาท sympathetic	ระบบประสาท parasympathetic
ศูนย์กลางการสั่งการ	ไขสันหลังส่วนอกและเอว	สมองและไขสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ
เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์	สั้น (ปมประสาทอยู่ใกล้ CNS) ยาว (ปมประสาทอยู่ใกลหน่วยปฏิบัติงาน)	ยาว (ปมประสาทอยู่ใกล CNS) สั้น (ปมประสาทอยู่ใกล้หน่วยปฏิบัติงาน)
สารสื่อประสาทของเซลล์ประสาทสั่งการ ตัวที่ 1 (ไซแนปส์ระหว่างตัวที่1 และตัวที่ 2)	← acetylcholine →	
ตัวที่ 2 (ไซแนปส์กับหน่วยปฏิบัติงาน)	norepinephrine	acetylcholine
การตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงาน	ส่วนใหญ่กระตุ้นการทำงาน	ส่วนใหญ่ยับยั้งการทำงาน
ตัวอย่างการตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงาน ▸ ต่อมเหงื่อ ▸ ต่อมน้ำตา ▸ ต่อมน้ำลาย ▸ หัวใจ ▸ กระเพาะและลำไส้ ▸ ต่อมหมวกไตชั้นใน (adrenal medulla)	 บีบตัวให้เหงื่อออก กระตุ้นให้หลั่งออกมามาก สร้างน้ำเมือกเหนียวข้น เพิ่มอัตราการสูบฉีด ▸ ห้ามการเคลื่อนไหวแบบ peristalsis ▸ ห้ามการสร้างน้ำย่อย ▸ กระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อหูรูด (sphincter muscle) กระตุ้นการหลั่งอะดรีนาลีนและนอร์อะดรีนาลิน	- ควบคุมให้เป็นปกติ สร้างส่วนที่เป็นน้ำใส ลดอัตราการสูบฉีด ▸ กระตุ้นการเคลื่อนไหว ▸ กระตุ้นการสร้างน้ำย่อย ▸ กระตุ้นให้กล้ามเนื้อหูรูดคลายตัว -

ข้อเปรียบเทียบ	ระบบประสาท sympathetic	ระบบประสาท parasympathetic
▸ ตับ	กระตุ้นการสลายตัวของไกลโคเจน	
▸ ถุงน้ำดี	ยับยั้งการหลั่งน้ำดี	กระตุ้นการหลั่งน้ำดี
▸ กระเพาะปัสสาวะ	กระเพาะปัสสาวะคลายตัว ทำให้ขับปัสสาวะไม่ได้	กระเพาะปัสสาวะหดตัว ทำให้ขับปัสสาวะ
▸ รูม่านตา	รูม่านตาขยาย	รูม่านตาหดตัว
▸ กล้ามเนื้อหูรังค้นแสนส์ตา (ciliary muscle)	คลายตัวเพื่อมองไกล	หดตัวเพื่อมองใกล้

อวัยวะบางอย่างถูกควบคุมโดยระบบซิมพาเทติกเพียงอย่างเดียว เช่น ตับ ต่อมหมวกไตชั้นใน ต่อมเหงื่อ

ตารางเปรียบเทียบระบบประสาทแบบซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก

		CNS / PNS	หน่วยปฏิบัติงาน
somatic nervous system : SNS ภายใต้อำนาจจิตใจ		▲ (Cr. austincc.edu)	กล้ามเนื้อลาย
autonomic nervous system : ANS นอกอำนาจจิตใจ	sympathetic	▲ (Cr. austincc.edu)	กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ อวัยวะภายใน และต่อมต่างๆ
	parasympathetic	 ▲ (Cr. austincc.edu)	

ข้อเปรียบเทียบ	ระบบประสาทโซมาติก SNS	ระบบประสาทอัตโนวัติ ANS
ศูนย์ควบคุมการทำงาน	สมองและไขสันหลัง	สมอง ไขสันหลัง และปมประสาท
การตอบสนอง	ภายใต้อำนาจจิตใจ	นอกอำนาจจิตใจ
หน่วยปฏิบัติงาน	กล้ามเนื้อลาย	กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ อวัยวะภายใน ต่อมต่างๆ
จำนวนเซลล์ประสาทสั่งการ	1 เซลล์	2 เซลล์ (preganglion neuron และ postganglion neuron)
สารสื่อประสาท บริเวณไซแนปส์	acetylcholine (ACh)	acetylcholine (ACh) และ norepinephrine (NE)
การทำงานของหน่วยปฏิบัติงาน	กระตุ้น	ทั้งกระตุ้นและยับยั้ง

Quiz Yourself

7) เซลล์ประสาทสั่งการในไขสันหลัง มีใยประสาทยาวถึงเซลล์ตอบสนองโดยไม่มีการไซแนปส์ เซลล์ประสาทนี้อยู่ในระบบใด และปลายประสาทหลั่งสารอะไร
1. พาราซิมพาเทติก, แอซิติลโคลีน
2. ซิมพาเทติก, นอร์เอพิเนฟริน
3. โซมาติก, แอซิติลโคลีน
4. อัตโนวัติ, นอร์เอพิเนฟริน

8) อวัยวะข้อใดในต่อไปนี้ไม่มีระบบประสาทแบบพาราซิมพาเทติกควบคุมการทำงาน
1. ต่อมน้ำลาย
2. ตับอ่อน
3. ต่อมหมวกไตชั้นใน
4. อวัยวะสืบพันธุ์

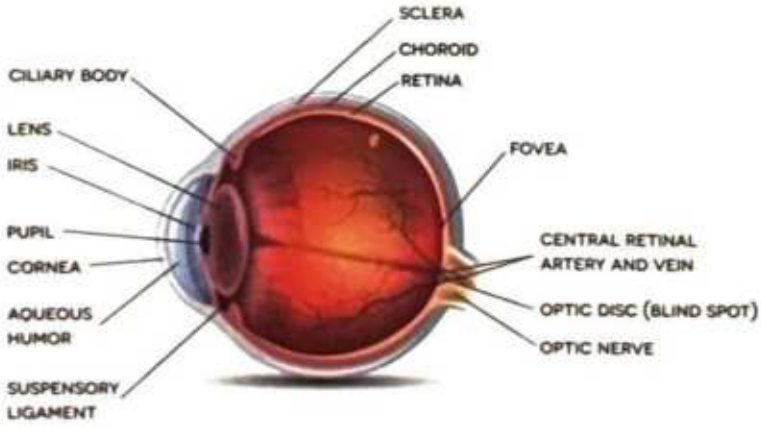
8.11 อวัยวะรับสัมผัส (sensory organ)

การแปลการสัมผัส

การแปลการสัมผัสให้เป็นกระแสประสาทต้องอาศัยตัวรับ (receptor) ต่างๆ ในการทำหน้าที่นี้ ตัวรับสัมผัส แบ่งได้เป็น

- mechanoreceptor ตัวรับรู้เกี่ยวกับพลังงานกล เช่น การสัมผัส (ผิวหนัง) การกด เสียง (ใบหู) และการเคลื่อนที่
- photoreceptor ตัวรับรู้เกี่ยวกับแสง เช่น เรตินาในตา
- chemoreceptor ตัวรับรู้เกี่ยวกับสารเคมี เช่น การดมกลิ่น (จมูก) รสชาติ (ลิ้น)
- thermoreceptor ตัวรับรู้เกี่ยวกับอุณหภูมิ เช่น ผิวหนัง
- pain receptor ตัวรับรู้เกี่ยวกับความเจ็บปวด เช่น ผิวหนัง

8.11.1 ตา



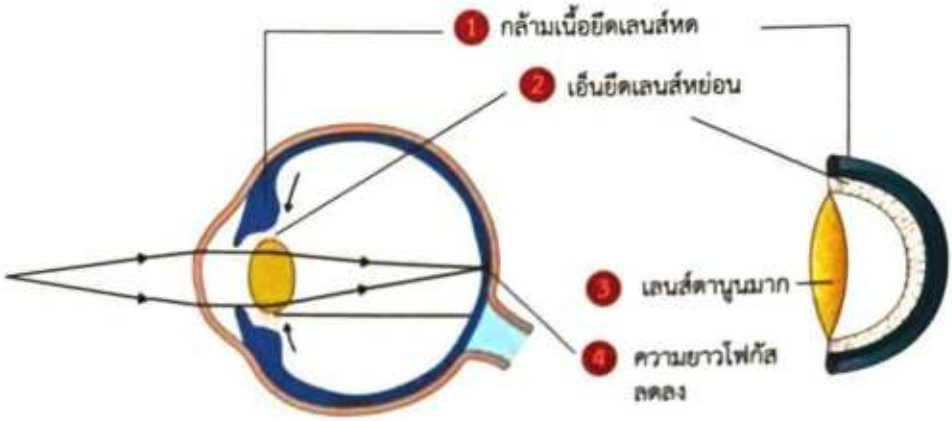
ตามีส่วนประกอบ 3 ชั้น คือ

1. **ชั้นสเคลอรา (sclera)** อยู่ชั้นนอกสุด เป็นชั้นที่เหนียวแต่ไม่ยืดหยุ่น คือส่วนตาขาวที่มองเห็น ด้านหน้าสุดจะมีลักษณะใสและนูนออกมา เรียกว่า กระจกตา (cornea) เป็นทางผ่านแสงเข้าสู่นัยน์ตา ด้านหลังสุดมีช่องให้เส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 (optic nerve) ผ่านเข้าออก ซึ่งส่วนกระจกตาเป็นส่วนที่แพทย์ทำการเปลี่ยนนัยน์ตาให้ผู้ป่วย (มุขจำ ให้จำว่า "ถ้ากระจกแตกแล้วเราต้องเปลี่ยน") บางครั้งกระจกตาอาจมีฝ้ามัว เรียกว่า ตาเป็นต้อ

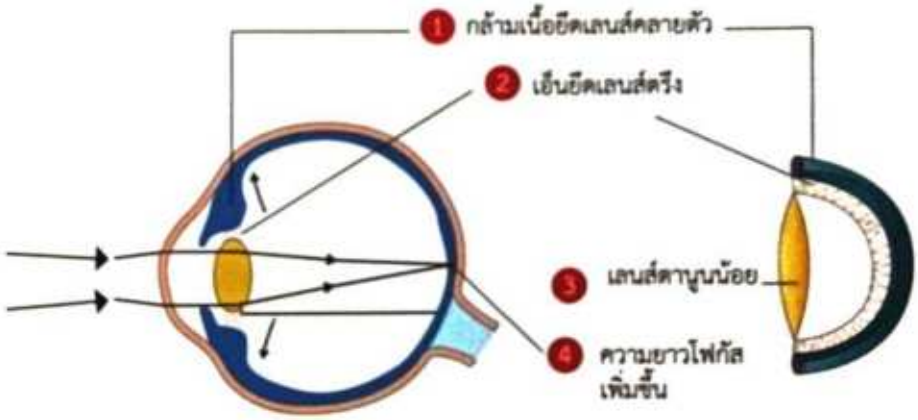
2. **ชั้นคอรอยด์** (choroid) อยู่ชั้นกลาง เป็นชั้นที่หลอดเลือดมาเลี้ยง และมีรงควัตถุสีแผ่กระจายเป็นจำนวนมาก เพื่อป้องกันไม่ให้แสงสว่างทะลุผ่านชั้นเรตินาไปยังด้านหลังของนัยน์ตาได้โดยตรง ประกอบด้วย
   - ม่านตา (iris) ที่อยู่ถัดจากกระจกตาเข้าไป ตรงกลางจะมีช่องพิวพิล (pupil) หรือรูม่านตา ยอมให้แสงผ่านเข้าออกมากหรือน้อย (ม่านตาเปรียบได้กับไดอะแฟรมของกล้องจุลทรรศน์ ... **เคยออกสอบ!!**) ม่านตาของคนอาจมีสีต่างกัน (สีตา) ขึ้นกับเซลล์รงควัตถุและพันธุกรรม (มุขจำให้จำว่า "ผ้าม่านมีหลายสี")

การทำงานของรูม่านตา

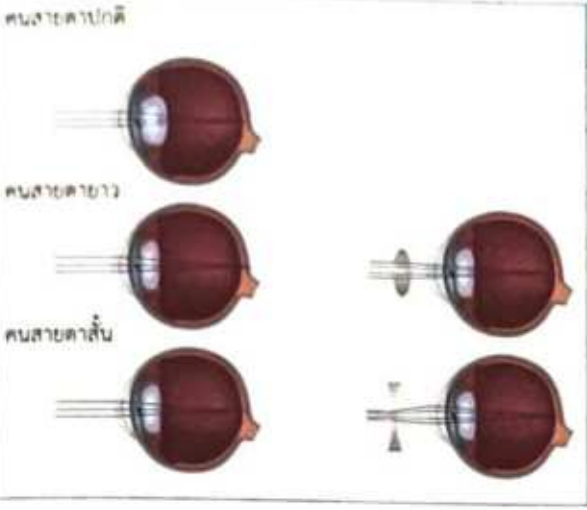
- หากมีแสงสว่างมากรูม่านตาจะแคบ เพื่อไม่ให้แสงสว่างเข้าตามากเกินไป (ระบบพาราซิมพาเทติกควบคุม)
- หากมีแสงสว่างน้อย สลัวๆรูม่านตาจะกว้าง เพื่อให้แสงเข้าตามากขึ้น (ระบบซิมพาเทติกควบคุม)
- ถัดจากม่านตามีเลนส์ตา หรือแก้วตา ลักษณะใส มีเอ็นยึดเลนส์ (suspensory ligament) ติดกับกล้ามเนื้อยึดเลนส์ (ciliary muscle) ทั้งนี้การมองวัตถุระยะใกล้-ไกลจะมีผลต่อเลนส์ตา กล้ามเนื้อยึดเลนส์และเอ็นยึดเลนส์ดังนี้
  - มองภาพระยะใกล้



  - มองภาพระยะไกล



การมองภาพระยะใกล้เป็นเวลานาน เช่น การมองจอคอมพิวเตอร์ การอ่านหนังสือ เนื่องจากกล้ามเนื้อยึดเลนส์หดตัวนานเกินไปเกิดการล้าของตา แก้ไขโดยให้มองภาพระยะไกลประมาณ 2-5 นาที เพื่อทำให้กล้ามเนื้อยึดเลนส์ตาได้คลายตัว



คนสายตายาว hyperomia	คนสายตาสั้น myopia
เกิดจากกระบอกตาสั้น	เกิดจากกระบอกตายาว
ภาพตกหลังเรตินา	ภาพตกก่อนถึงเรตินา
แก้ไขโดยใส่แว่นเลนส์นูน เพื่อรวมแสงให้ภาพตกที่เรตินาพอดี	แก้ไขโดยใส่แว่นเลนส์เว้า เพื่อกระจายแสงให้ภาพตกที่เรตินา

มุขจำ "สั้น-เว้า.....ยาว-นูน"* คนสายตาเอียง (astigmatism) เกิดจากความผิดปกติของกระจกตาที่มีความโค้งตามแนวต่างๆ ไม่เท่ากัน แก้ไขโดยใส่แว่นเลนส์กาบกล้วย (cylindrical lens) ด้านหน้าเว้า ด้านหลังนูน

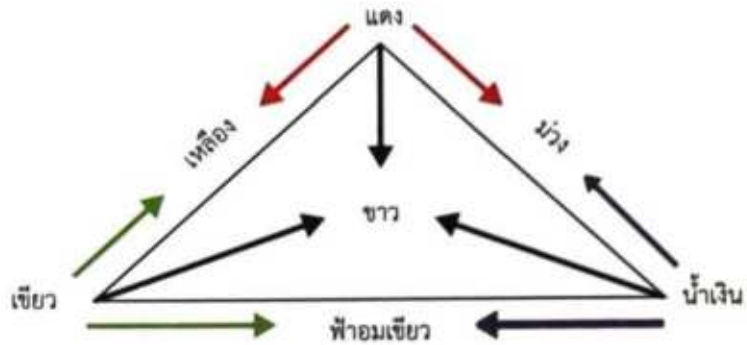
3. **ชั้นเรตินา (retina)** อยู่ชั้นในสุด มีกลุ่มเซลล์ทำหน้าที่รับแสง 2 ชนิด คือ เซลล์รูปกรวย (cone cell) กับเซลล์รูปแท่ง (rod cell) บริเวณที่เห็นภาพชัดสุดบนเรตินา เป็นบริเวณเล็กๆ สีเหลือง เรียก จุดโฟเวีย (fovea) เป็นบริเวณที่มีเซลล์รูปกรวยมากกว่าเซลล์รูปแท่ง และบริเวณที่ไม่มีทั้งเซลล์รูปกรวยและเซลล์รูปแท่งอยู่จะเรียก จุดบอด (blind spot)

ข้อเปรียบเทียบ	rod cell	cone cell
รูปร่าง	รูปแท่งทรงกระบอก	รูปกรวย
ภาพที่เห็น	scotopic vision ไม่มีรายละเอียด ภาพเป็นขาว-ดำ	photopic vision มีรายละเอียดมาก ภาพเป็นสีสันต่างๆ แยกสีได้
การทำงาน	ทำงานได้ดีที่แสงสลัว พบมากในสัตว์หากินกลางคืน	ทำงานได้ดีขณะแสงมาก พบมากในสัตว์หากินกลางวัน
ชนิดของรงควัตถุ	1 ชนิด	3 ชนิด (แดง เขียว น้ำเงิน)
ความไวต่อแสง	ไวต่อแสงสีเขียว	ไวต่อแสงสีน้ำเงิน เขียว แดง *คนตาบอดสีเกิดจาก cone cell ผิดปกติ*

การเห็นภาพของตา

- ภายในเซลล์รูปแท่งมีสารสีม่วงแดงเรียกว่า โรดอพซิน (rhodopsin) เกิดจากการรวมตัวกันของเรตินาล (retinal : เป็นอนุพันธ์ของวิตามิน A) กับโปรตีนออพซิน (opsin) เมื่อโรดอพซินถูกแสงสว่างจะแตกตัวได้เรตินาลกับออพซิน ทำให้เกิดการส่งกระแสประสาทจากเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 เพื่อส่งไปยังสมองให้แปลเป็นภาพ ถ้าไม่มีแสงออพซินและเรตินาลจะรวมตัวเป็น โรดอพซินใหม่

- สำหรับเรตินาลเป็นสารที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นได้จากวิตามินเอ ถ้าร่างกายขาดวิตามินเอจะทำให้การสร้างโรดอพซินช้าลงเกิดโรคตาฟางในช่วงเวลาที่มีแสงสว่างน้อย หรือมองไม่เห็นเวลากลางคืน เรียก night blindness



- เซลล์รูปกรวยแบ่งตามความไวต่อช่วงความยาวคลื่นของแสงได้ 3 ชนิด คือ เซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน เซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีแดง และเซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีเขียว การที่สมองสามารถแยกสีต่างๆ ได้มากกว่า 3 สี เพราะมีการกระตุ้นเซลล์รูปกรวยแต่ละชนิดพร้อมๆ กันด้วยความเข้มของแสงสีต่างกัน จึงเกิดการผสมของแสงสีต่างๆ ขึ้น เช่น ขณะมองวัตถุสีม่วงเกิดจากเซลล์รูปกรวยที่มีความไวต่อแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินถูกกระตุ้นพร้อมกัน ทำให้เห็นวัตถุนั้นเป็นสีม่วง เป็นต้น

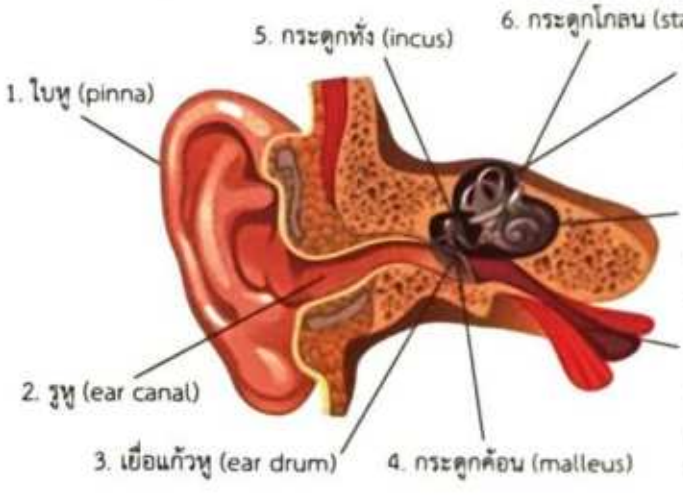
▲ (Cr. bhatti eye)

Quiz Yourself

9) จุดบอดหมายถึงบริเวณใดของเรตินา

1. บริเวณที่ไม่มีเซลล์รูปกรวย
2. บริเวณที่ไม่มีเซลล์รูปแท่ง
3. บริเวณที่ไม่มีเซลล์รับแสง
4. บริเวณที่แสงตกไม่ถึง

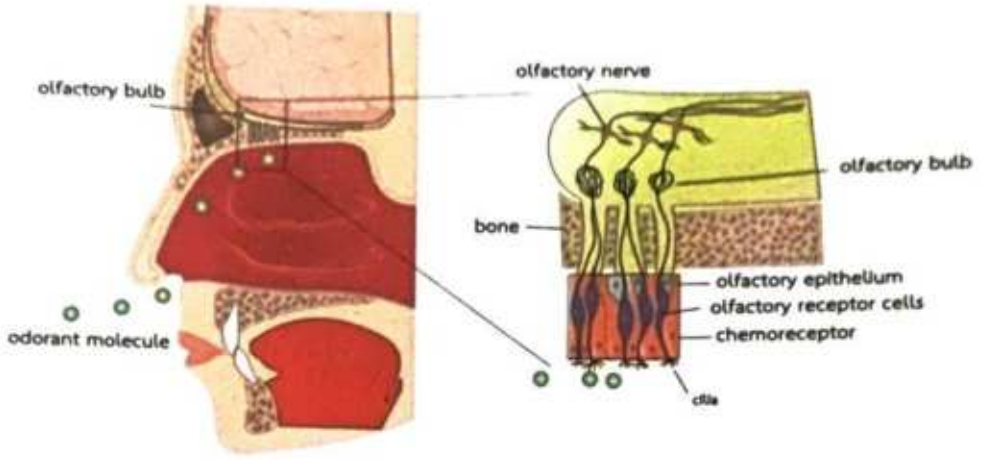
8.11.2 หู



หูมีส่วนประกอบ 3 ชั้น คือ

1. **หูชั้นนอก (external ear)** ประกอบด้วยใบหูและรูหู ใบหูมีกระดูกอ่อนค้ำจุนอยู่ ภายในรูหูมีต่อมสร้างขี้ผึ้ง ทำให้ผนังหูไม่แห้ง ป้องกันแมลงและฝุ่นละออง และต้านการติดเชื้อจากแบคทีเรียและเชื้อรา ตรงรอยต่อระหว่างหูชั้นนอกและหูชั้นในจะมีเยื่อแก้วหู ทำหน้าที่รับคลื่นเสียงและขยายสัญญาณเสียง
2. **หูชั้นกลาง (middle ear)** มีลักษณะเป็นโพรง มีส่วนท่อที่ติดต่อกับคอหอย เรียกว่า ท่อยูสเตเชียน (eustachian tube) ปกติท่อนี้จะตีบ แต่ในขณะเคี้ยวหรือกลืนอาหารท่อนี้จะขยับเปิดเพื่อปรับความดันทั้งสองด้านของเยื่อแก้วหู นอกจากนี้หูส่วนกลางยังประกอบด้วยกระดูกสามชิ้น คือ กระดูกค้อน (malleus) กระดูกทั่ง (incus) และกระดูกโกลน (stapes) ยึดกันอยู่ เมื่อมีการสั่นสะเทือนชิ้นที่เยื่อแก้วหูจะถ่ายทอดมายังกระดูกหูให้เคลื่อนและเพิ่มแรงสั่นสะเทือนเข้าหูส่วนในต่อไป คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปยังหูส่วนในจะถูกขยายแอมพลิจูดประมาณ 22 เท่า
3. **หูส่วนใน (inner ear)** ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ชุด คือ
   - ชุดที่ใช้ฟังเสียง อยู่ทางด้านหน้าเป็นท่อที่ม้วนตัวลักษณะคล้ายกันหอย ประมาณสองรอบครึ่งเรียกว่า คอเคลีย (cochlea) ภายในมีของเหลว (endolymph) บรรจุอยู่ เมื่อคลื่นเสียงผ่านเข้ามาทำให้ของเหลวในคอเคลียสั่นสะเทือน ทำให้เซลล์ขน (hair cell) เกิดการขยับ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นกระแสประสาทผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (auditory nerve หรือ vestibulococlear) เพื่อเข้าสู่สมองส่วนซีรีบรัมแปลผล
   - ชุดที่ใช้ในการทรงตัว อยู่ด้านหลังของหูส่วนใน ทำหน้าที่รับรู้เกี่ยวกับการเอียงและการหมุนของศีรษะตลอดจนการทรงตัวของร่างกาย มีลักษณะเป็นท่อครึ่งวงกลม 3 ท่อวางตั้งฉากกัน เรียกว่า เซมิเซอร์คิวลาร์แคเนล (semicircular canal) ภายในหลอดมีของเหลวบรรจุอยู่ ที่โคนหลอดมีส่วนโป่งออกมาเรียกว่า แอมพูลา (ampulla) ภายในมีเซลล์รับรู้ความรู้สึกที่มีขน (hair cell) ซึ่งไวต่อการไหลของของเหลวภายในหลอดที่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของศีรษะและทิศทางการวางตัวของร่างกาย ขณะที่ร่างกายเกิดการเคลื่อนไหวจะกระตุ้น hair cell และเปลี่ยนพลังงานกลเป็นกระแสประสาท ผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 เพื่อแปลผลที่สมองส่วนซีรีบรัม

8.11.3 จมูก



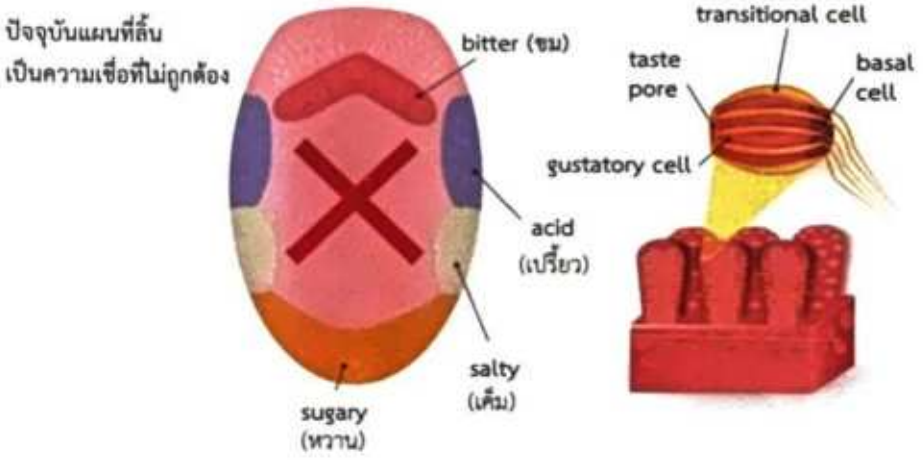
จมูกสามารถรับกลิ่นได้ ภายในโพรงจมูกด้านบนมีเยื่อบุผิวจมูก (olfactory epithelium) โดยมีซิเลียดักจับโมเลกุลของกลิ่น ที่เยื่อนี้มีเซลล์ประสาทเรียกว่า olfactory cell ทำหน้าที่เป็น chemoreceptor ที่สามารถเปลี่ยนสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเป็นกระแสประสาทแล้วส่งไปตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 (olfactory nerve) เข้าสู่ซีรีบรัมในส่วนเกี่ยวกับการดมกลิ่น

Quiz Yourself

10) ม่านตาเป็นส่วนใดของนัยน์ตาคน

1. สเคลอรา
2. ม่านตา
3. คอรอยด์
4. กล้ามเนื้อยึดเลนส์

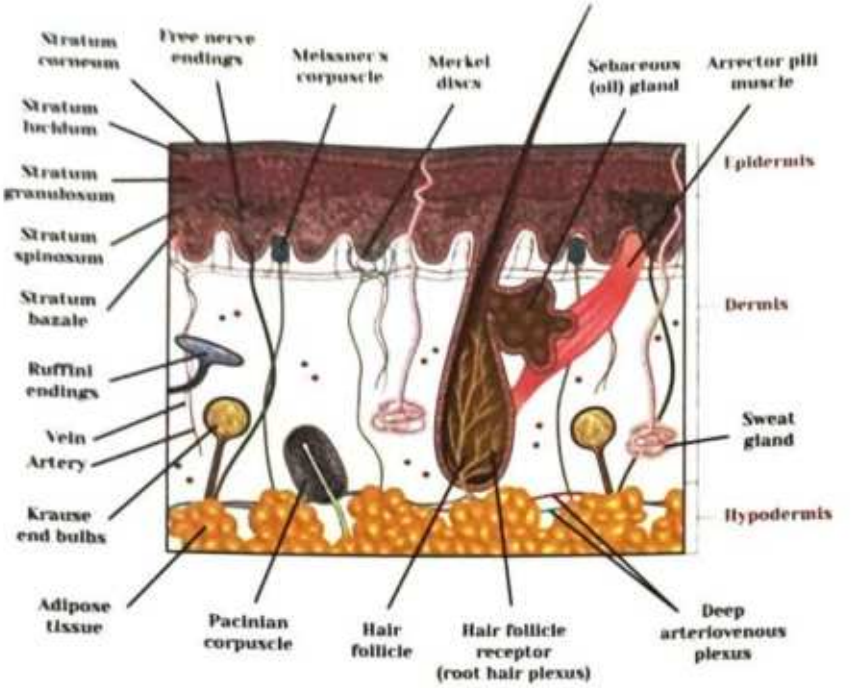
8.11.4 ลิ้น



การรับรสที่ลิ้นจะมีตุ่มลิ้น (papilla) ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์รับรสที่เรียกว่า taste bud ซึ่งมีอยู่ 4 ชนิด ตุ่มรับรสขม รสเปรี้ยว รสเค็ม และรสหวาน ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นค้นพบรสชาติอีกรสหนึ่งเรียกว่า รสอร่อย (อูมามิ : umami ในภาษาญี่ปุ่นแปลว่าอร่อย) และยังมีเซลล์ค้ำจุน (supporting cell) เซลล์รับรสในตุ่มเซลล์รับรสเมื่อได้รับการกระตุ้นจะส่งกระแสประสาทไปยังเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 และ 9 ส่งไปยังศูนย์กลางรับรสในซีรีบรัม **"อาการเผ็ดเนื่องจากพริก อาการเผ็ดไม่ใช่รสชาติ แต่เป็นการระคายเคืองที่เกิดขึ้นกับลิ้นนั่นเอง"**

8.11.5 ผิวหนัง

ผิวหนังกับการรับความรู้สึก



ผิวหนังเป็นอวัยวะรับความรู้สึกได้หลายชนิด เช่น แรงกด อุณหภูมิ ความเจ็บปวด เป็นต้น โดยจะมีปลายประสาทรับรู้ความรู้สึกหลายชนิดด้วยกัน

- ปลายประสาทรับรู้เกี่ยวกับความเจ็บปวดจะอยู่ที่ชั้นบนสุดคือชั้นหนังกำพร้า (epidermis).... (คำว่า epi- = บน)
- ปลายประสาทรับรู้เกี่ยวกับแรงกด (pressure) จะอยู่ระดับล่างสุดหรืออยู่ในชั้นหนังแท้ (dermis)
- ปลายประสาทรับรู้เกี่ยวกับการสัมผัส (touch) จะมีความหนาแน่นมากสุดในผิวหนัง รองลงมาคือปลายประสาทรับรู้เกี่ยวกับความเจ็บปวด

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 1.** เพราะขณะเซลล์ประสาทอยู่ในระยะพักด้านนอกเยื่อหุ้มเซลล์มี Na^+ มากกว่าด้านใน แต่ด้านในจะมี K^+ มากกว่าด้านนอก

2) **ตอบ 2.** เพราะเซลล์ประสาทถูกกระตุ้นจนทำให้ช่องโซเดียมเปิดออก จะให้ Na^+ ที่มีมากด้านนอก ไหลเข้าเซลล์ เกิดแอกชันโพเทนเชียลส่งกระแสประสาทไปตามแอกซอน

3) **ตอบ 1.** เพราะปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วของกระแสประสาทคือ
   1. เยื่อไมอีลินถ้ามีกระแสประสาทจะเคลื่อนที่เร็ว 10 เท่า
   2. ระยะห่างของ node of Ranvier ยิ่งห่างมากกระแสประสาทไปได้เร็ว
   3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแอกซอน เส้นผ่านศูนย์กลางมากกระแสประสาทเคลื่อนที่เร็ว เพราะความต้านทานไฟฟ้าต่ำ Na^+ จะไหลไปตามแอกซอนได้เร็วขึ้น
   4. ยิ่งมีบริเวณ synape น้อย จะทำให้กระแสประสาทเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้เร็ว

4) **ตอบ 3.** เพราะพารามีเซียมใช้เส้นใยประสานงาน (coordinating fiber) เชื่อมโยงระหว่างโคนซิเลียที่ใช้ในการเคลื่อนที่และเกี่ยวข้องกับระบบประสาท

5) **ตอบ 1.** เพราะยาชาจะป้องกันไม่ให้โซเดียมไอออนแพร่เข้าสู่เซลล์เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ไม่เกิดแอกชันโพเทนเชียล กระแสประสาทจึงไม่ส่งไปตามแอกซอน

6) **ตอบ 4.**

7) **ตอบ 3.** เพราะ

ข้อเปรียบเทียบ	ระบบประสาท sympathetic	ระบบประสาท parasympathetic
1 ศูนย์กลางการสั่งการ	ไขสันหลังส่วนอกและเอว	สมองและไขสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ
2 เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์	สั้น (ปมประสาทอยู่ใกล้ CNS) ยาว (ปมประสาทอยู่ไกลหน่วยปฏิบัติงาน)	ยาว (ปมประสาทอยู่ไกล CNS) สั้น (ปมประสาทอยู่ใกล้หน่วยปฏิบัติงาน)
3 สารสื่อประสาทของเซลล์ประสาทสั่งการ • ตัวที่ 1 (ไซแนปส์ระหว่างตัวที่ 1 และตัวที่ 2)	← acetylcholine →	
• ตัวที่ 2 (ไซแนปส์กับหน่วยปฏิบัติงาน)	norepinephrine	acetylcholine

8) **ตอบ 3.** เพราะต่อมหมวกไตชั้นในถูกควบคุมโดยระบบประสาทแบบซิมพาเทติก

9) **ตอบ 1.**

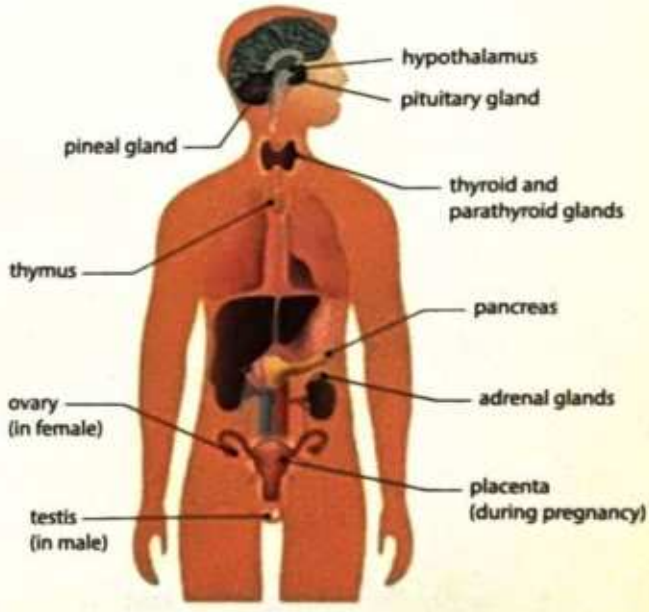
10) **ตอบ 3.**

บทที่ 09

ระบบต่อมไร้ท่อ

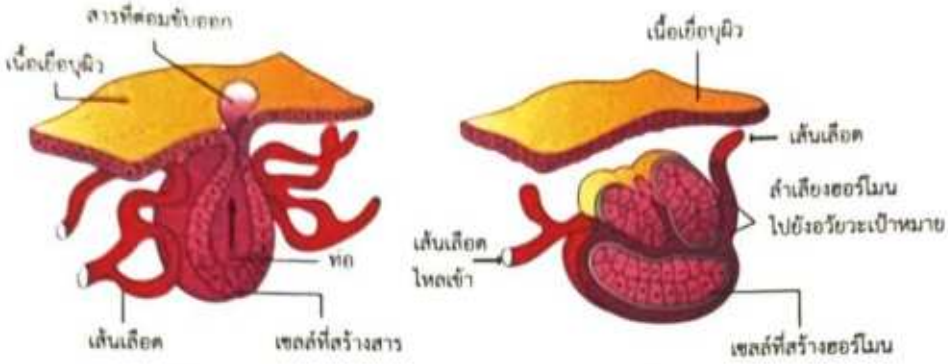
9.1 ระบบต่อมไร้ท่อ

ระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system) คือ ระบบที่สร้างสารเคมีที่เรียกว่าฮอร์โมน (hormone) แล้วลำเลียงไปตามระบบหมุนเวียนเลือดสู่เซลล์เป้าหมาย (target cell) ซึ่งมีตัวรับจำเพาะต่อฮอร์โมนชนิดนั้น เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน ทั้งกระตุ้นหรือยับยั้งการทำงานของร่างกายเพื่อให้เกิดภาวะสมดุล (homeostasis)



ความแตกต่างระหว่างต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อ

- ต่อมมีท่อ (exocrine gland) สารที่ลำเลียงจากต่อมมีท่อ เช่น น้ำตา น้ำลาย เอนไซม์ จะออกจากต่อมแล้วไหลไปตามท่อลำเลียง เช่น ต่อมน้ำลาย ต่อมเหงื่อ ต่อมที่สร้างเอนไซม์
- ต่อมไร้ท่อ (endocrine gland) จะสร้างสารเคมีที่เรียกว่า ฮอร์โมน (hormone) ออกมาแล้วซึมเข้าสู่กระแสเลือดไปตามระบบหมุนเวียนเลือดในร่างกายสู่เซลล์เป้าหมาย ดังนั้น บริเวณต่อมไร้ท่อจะมีหลอดเลือดมาเลี้ยงจำนวนมาก

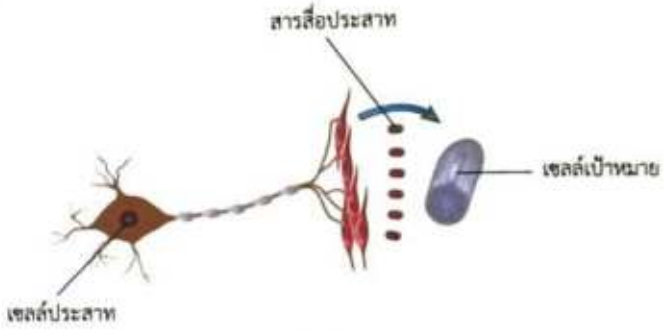


ต่อมมีท่อ **ต่อมไร้ท่อ**

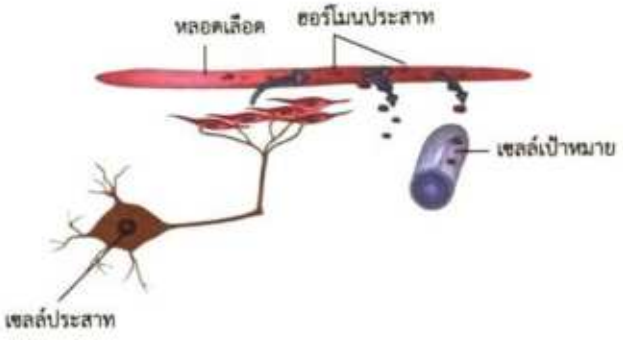
ตับอ่อน ลำไส้เล็ก กระเพาะอาหาร เป็นบริเวณที่มีทั้งต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อ **ออกสอบ!!**

การควบคุมสมดุลร่างกายโดยอาศัยสารเคมี มี 3 รูปแบบ คือ

1. สารสื่อประสาท (neurotransmitter) หลั่งจากเซลล์ประสาท



2. ฮอร์โมนประสาท (neurohormone) เป็นฮอร์โมนที่เซลล์ประสาทสร้างขึ้น พบได้ที่ไฮโพทาลามัส



3. ฮอร์โมนที่สร้างจากเซลล์ของต่อมไร้ท่อ (endocrine cell)

▲ (Cr. austincc.edu)

ประเภทของต่อมไร้ท่อ

- ต่อมไร้ท่อที่มีความจำเป็นแก่ร่างกาย คือ ขาดไม่ได้ หรือเมื่อมีความผิดปกติหรือถูกทำลายไปอาจทำให้เสียชีวิตได้ มี 3 ต่อม คือ
  - ต่อมหมวกไตชั้นนอก (adrenal cortex) สร้างฮอร์โมนควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและควบคุมสมดุลน้ำและเกลือแร่ในร่างกาย

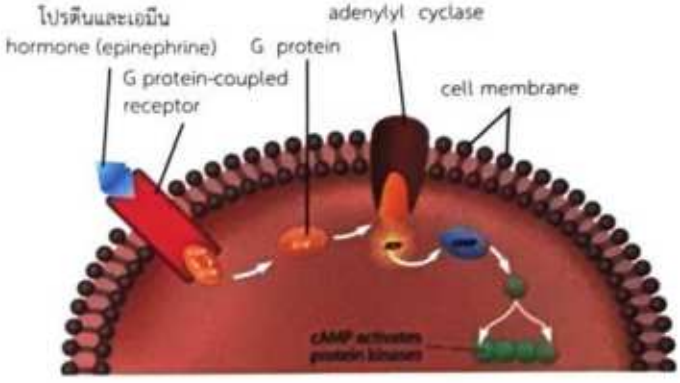
- ตับอ่อน (pancreas) มีฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอนในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
- ต่อมพาราไทรอยด์ (parathyroid glands) สร้างฮอร์โมนพาราทอร์โมน คุมระดับแคลเซียม คุมการเกิดอาการเกร็งและชักกระตุกของกล้ามเนื้อ

ต่อมไร้ท่อที่ไม่มีความจำเป็นต่อชีวิต คือ เมื่อขาดร่างกายจะไม่ถึงตาย แต่อาจแสดงอาการความผิดปกติบางอย่างออกมา ได้แก่ ต่อมใต้สมอง ต่อมไทรอยด์ ต่อมหมวกไต ส่วนในต่อมไพเนียล ต่อมไทมัส ต่อมที่อวัยวะเพศ

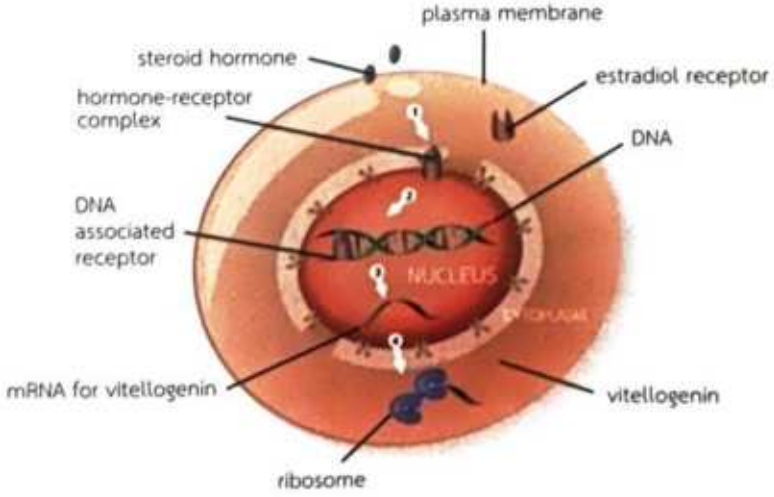
9.2 ฮอร์โมน

ประเภทของฮอร์โมน

- กลุ่มสเตอรอยด์ (steroid hormone) สร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอก เช่น glucocorticoid aldosterone ฮอร์โมนเพศบางส่วน และฮอร์โมนเพศจากรังไข่และอัณฑะ เช่น โพรเจสเทอโรน เทสโทสเทอโรน อีสโทรเจน พวกนี้จะเป็นฮอร์โมนที่ไม่ละลายในน้ำ และไม่ถูกเก็บไว้ที่ต่อมสร้างแต่จะถูกลำเลียงไปยังอวัยวะเป้าหมายทันที
- กลุ่มโปรตีนหรือเพปไทด์ (peptide hormone หรือ protein hormone) เช่น ฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ตับอ่อน และพาราไทรอยด์ พวกนี้ละลายน้ำได้ สร้างและเก็บไว้ที่ต่อมนั้นเลย
- กลุ่มเอมีน (amines hormone) เช่น ไทรอกซิน แคลซิโทนิน เมลาโทนิน อะดรีนาลิน นอร์อะดรีนาลิน ละลายน้ำได้

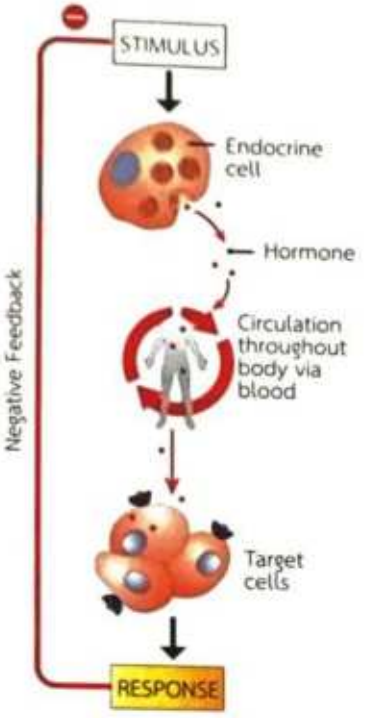


กลไกการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนกลุ่มโปรตีนและเอมีน
ฮอร์โมนเข้าจับกับตัวรับฮอร์โมนจะอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์

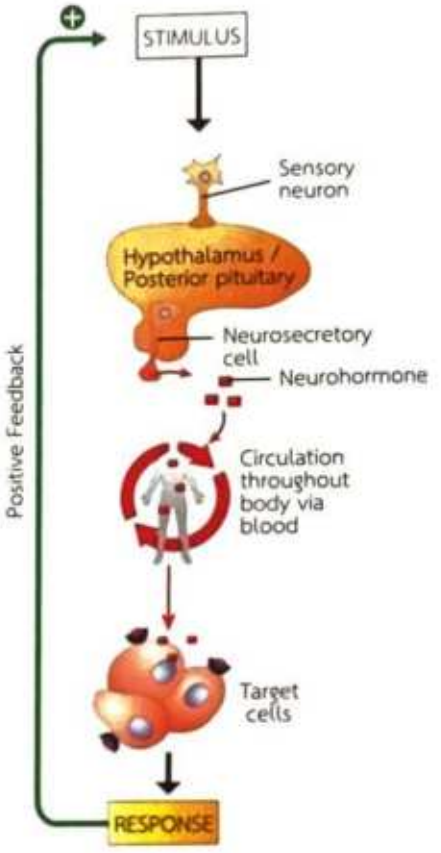


กลไกการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนกลุ่มสเตอรอยด์ ฮอร์โมนเข้าจับกับตัวรับฮอร์โมน
จะอยู่ในไซโทพลาซึม หรือนิวเคลียส

การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนโดยวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control) มี 2 รูปแบบ คือ



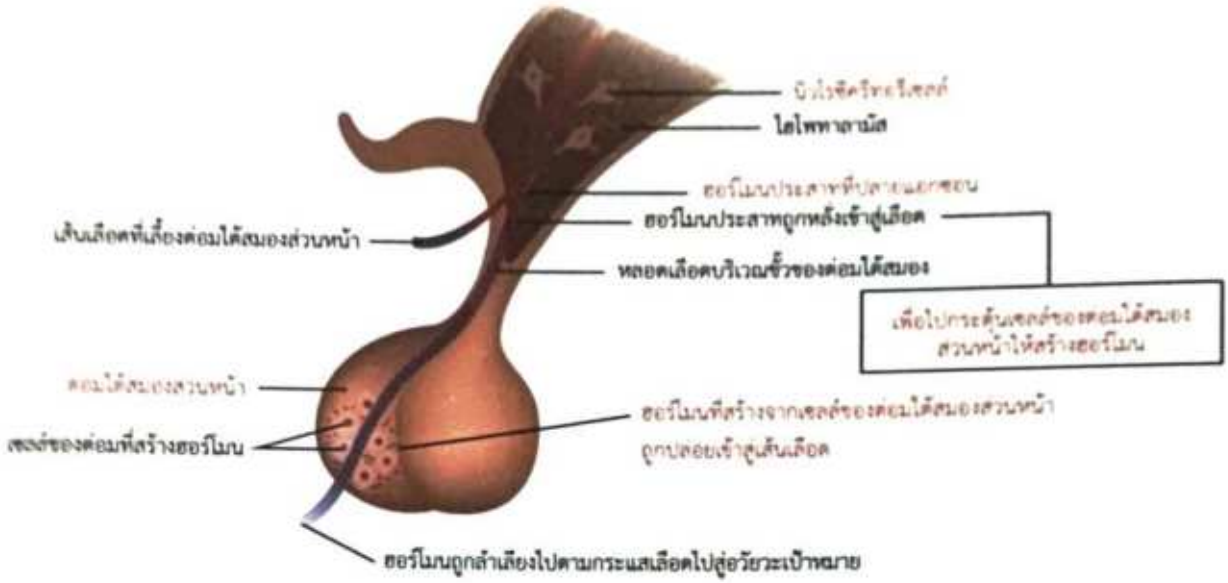
- การควบคุมแบบป้อนกลับยับยั้ง (negative feedback) โดยฮอร์โมนที่หลั่งมาจะมีผลย้อนกลับไปยับยั้งอวัยวะที่หลั่งฮอร์โมนนั้น เช่น ต่อมใต้สมองส่วนหน้าหลั่ง TSH (thyroid stimulating hormone) มากระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้สร้างฮอร์โมนไทรอกซิน (thyroxin) เพื่อควบคุมสมดุลร่างกายให้เป็นปกติ เมื่อสมดุลร่างกายผิดปกติมีการหลั่งฮอร์โมนไทรอกซินมากผิดปกติจะมีผลกลับไปยับยั้งต่อมใต้สมองส่วนหน้าไม่ให้หลั่ง TSH มากระตุ้นต่อมไทรอยด์อีก



- การควบคุมแบบป้อนกลับกระตุ้น (positive feedback) โดยฮอร์โมนที่หลั่งออกมาจะมีผลย้อนกลับไปกระตุ้นอวัยวะที่หลั่งฮอร์โมนนั้น ให้กระตุ้นการทำงานมากขึ้น เช่น ขณะคลอดศีรษะลูกจะขยายปากมดลูกแม่ให้กว้างออก หน่วยรับความรู้สึกส่งกระแสประสาทไปยังต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่งออกซิโทซิน (oxytocin) เพิ่มมากขึ้น ยิ่งมดลูกเปิดกว้างยิ่งมีผลกระตุ้นให้หลั่งออกซิโทซินมากขึ้น หรือการหลั่งน้ำนมของแม่ ยิ่งลูกดูดนมแม่ ยิ่งกระตุ้นการหลั่งออกซิโทซินกระตุ้นให้หลั่งน้ำนมมากขึ้น

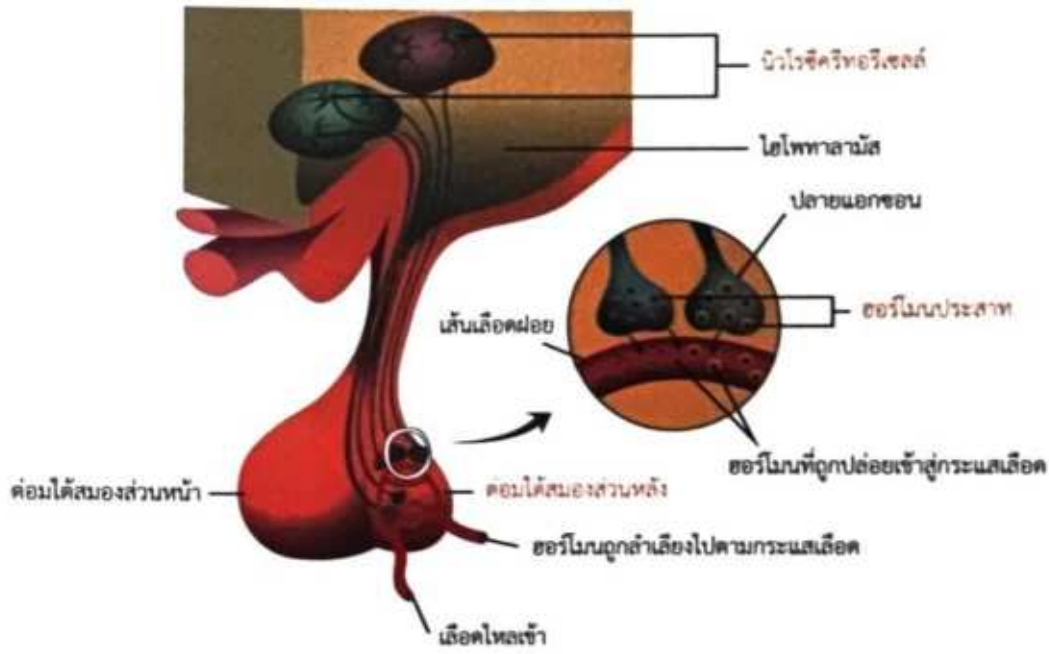
การหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

- ต่อมใต้สมองส่วนหน้าและส่วนกลางมีการเจริญและพัฒนามาจากเนื้อเยื่อเดียวกัน (ในคนต่อมใต้สมองส่วนหน้ากับส่วนกลางจะรวมกัน แต่ในสัตว์จะแยกหน้า กลาง หลัง ชัดเจน)
- ไฮโพทาลามัสมีกลุ่มเซลล์ neurosecretory cell ที่ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนประสาทส่งเข้าไปในหลอดเลือดที่ต่อมใต้สมองและไปกระตุ้นให้เซลล์ของต่อมไร้ท่อที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้าสร้างฮอร์โมนออกมาตามกระแสเลือดแล้วไปสู่อวัยวะเป้าหมาย จึงถือว่าต่อมใต้สมองส่วนหน้าเป็นต่อมที่สร้างฮอร์โมนเองอย่างแท้จริง



การหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหลัง

- ต่อมใต้สมองส่วนหลังเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อเยื่อประสาทที่ไม่ได้สร้างฮอร์โมนเอง แต่จะมีกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า neurosecretory cell หลั่งฮอร์โมนประสาทออกมาที่ต่อมใต้สมองส่วนหลังแล้วส่งเข้ากระแสเลือดไปยังอวัยวะเป้าหมาย สังเกตได้ว่าปลายแอกซอนยาวออกจากไฮโพทาลามัสมาที่ต่อมใต้สมองส่วนหลัง ดังนั้น ต่อมใต้สมองส่วนหลังไม่ใช่ต่อมที่สร้างฮอร์โมนที่แท้จริง แต่เป็นต่อมที่เก็บสะสมฮอร์โมนจาก neurosecretory cell จากไฮโพทาลามัสเพื่อส่งออกเท่านั้น



9.2.1 การทำงานของฮอร์โมนชนิดต่างๆ

ต่อมใต้สมองส่วนหน้า (anterior pituitary gland)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
growth hormone (GH)/ somatotropin (STH) (เป็นสารจำพวกโปรตีน)	▸ เซลล์ร่างกาย ▸ กระดูก	▸ ควบคุมการเจริญของส่วนต่างๆ ของร่างกาย, ควบคุมการแบ่งเซลล์ ▸ การสังเคราะห์โปรตีน (นำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์) เพื่อสร้างเป็นกล้ามเนื้อ ▸ กระตุ้นการสลายไขมัน ▸ เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด (เปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกลูโคสเข้ากระแสเลือด) ทำงานตรงข้ามกับฮอร์โมน insulin (ลดระดับน้ำตาลในเลือด เปลี่ยนกลูโคสเป็นไกลโคเจน เก็บสะสมที่ตับและกล้ามเนื้อ)
prolactin (PRL) (เป็นสารจำพวกโปรตีน)	ต่อมน้ำนม	▸ ในเพศหญิง กระตุ้นการสร้างน้ำนมและการเจริญของเต้านม ▸ ในเพศชาย ยังไม่ทราบหน้าที่แน่ชัด แต่มีผู้รายงานว่าทำงานร่วมกับฮอร์โมนเพศชายในการกระตุ้นอวัยวะสืบพันธุ์ เช่น ต่อมลูกหมาก ท่อนำอสุจิ ต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ เป็นต้น
adrenocorticotropic hormone (ACTH) (เป็นเพปไทด์ฮอร์โมน)	ต่อมหมวกไตชั้นนอก (adrenal cortex)	▸ กระตุ้นการเจริญเติบโตและการสร้างฮอร์โมนของต่อมหมวกไตชั้นนอก ▸ เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ▸ เพิ่มการสลายไขมันทำให้เกิดกรดไขมันในเลือดสูง ▸ ACTH ยังมีลักษณะบางอย่างเหมือนฮอร์โมนต่อมใต้สมองส่วนกลาง คือ MSH ในการกระตุ้นรงควัตถุเมลานิน (melanin) ภายในเซลล์ผิวหนังของสัตว์เลือดเย็น เช่น กบ ให้ขยายตัว และทำให้สีผิวเข้มขึ้นได้
thyroid stimulating hormone (TSH) (เป็นไกลโคโปรตีน)	ต่อมไทรอยด์	▸ กระตุ้นการเจริญของต่อมไทรอยด์ ▸ กระตุ้นการนำเข้าไอโอดีนเข้าต่อมไทรอยด์เพื่อสร้างฮอร์โมนไทรอกซิน
gonadotropic hormone/ gonadotrophin (Gn) ประกอบด้วย ▸ FSH (follicle stimulating hormone) ▸ LH (luteinizing hormone)	▸ รังไข่ ▸ อัณฑะ	▸ เพศหญิง FSH : กระตุ้นการเจริญของ follicle ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์ที่ล้อมรอบไข่ในรังไข่ให้สร้างฮอร์โมน estrogen (ควบคุมลักษณะขั้นที่ 2 ของเพศหญิง) LH : กระตุ้นให้เกิดการตกไข่และกระตุ้นให้ follicle กลายเป็น corpus luteum เพื่อให้ทำหน้าที่สร้าง estrogen และ progesterone ▸ เพศชาย FSH : กระตุ้นการเจริญของอัณฑะและกระตุ้นการสร้างอสุจิที่หลอดสร้างอสุจิ (seminiferous tubule) LH : กระตุ้น Leydig cell หรือ interstitial cell ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อระหว่างหลอดสร้างอสุจิให้สร้างฮอร์โมน testosterone (ควบคุมลักษณะขั้นที่ 2 ของเพศชาย)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
endorphins	เซลล์ร่างกาย	สารแห่งความสุขระงับความเจ็บปวด ทำให้ร่างกายสดชื่น
melanocyte stimulating hormone (MSH) เฉพาะในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	เซลล์เมลาโนไซต์ (melanocyte)	กระตุ้นเซลล์เมลาโนไซต์ที่ผิวหนังสร้างรงควัตถุเมลานิน ทำให้สีผิวเข้มขึ้นเมื่อโดนแสง แต่ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะเกิดอย่างช้าๆ (เช่น การอาบแดด)

* MSH ในสัตว์เลือดเย็น เช่น ปลา กบ สัตว์เลื้อยคลานจะสร้างจากต่อมใต้สมองส่วนกลาง* และคนไม่มีต่อมใต้สมองส่วนกลาง

ต่อมใต้สมองส่วนกลาง (intermediate lobe)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
melanocyte stimulating hormone (MSH) เฉพาะในสัตว์เลือดเย็น เช่น ปลา สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก สัตว์เลื้อยคลาน	เซลล์เมลาโนไซต์ (melanocyte)	กระตุ้นการสร้างรงควัตถุที่เรียกว่า melanin และกระจายรงควัตถุภายในเซลล์ผิวหนังทำให้สีผิวเข้มขึ้นอย่างรวดเร็ว ชั่วคราว และสีผิวจะจางเหมือนเดิม สัตว์ใช้ในการพรางตัวด้วย (ตรงข้ามกับฮอร์โมน melatonin ที่ทำให้สีผิวจางลง)

ต่อมใต้สมองส่วนหลัง (posterior pituitary gland)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
antidiuretic hormone (ADH) หรือ vasopressin (เป็นเพปไทด์ฮอร์โมน)	ท่อหน่วยไต	▸ กระตุ้นให้ท่อหน่วยไตดูดน้ำกลับ จะหลั่งออกมาเมื่อเกิดการกระหายน้ำ การขาดน้ำ
oxytocin (เป็นเพปไทด์ฮอร์โมน)	▸ มดลูก ▸ กล้ามเนื้อรอบต่อมน้ำนม	▸ กระตุ้นกล้ามเนื้อมดลูกให้บีบตัวขณะคลอดลูก (เป็น positive feedback) ขณะคลอดลูก ปากมดลูกจะยิ่งเปิดกว้าง ออกซิโทซินจะยิ่งหลั่งมาก ▸ กระตุ้นกล้ามเนื้อรอบต่อมน้ำนมให้บีบตัวขับน้ำนมออกมาเลี้ยงทารก (เป็น positive feedback) ยิ่งลูกดูดหัวนมแม่ ออกซิโทซินจะยิ่งหลั่งมากกระตุ้นการหลั่งน้ำนม

ต่อมไทรอยด์ (thyroid gland)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
thyroxin (T_4 : มีไอโอดีน 4 อะตอม) และ triiodothyronine (T_3 : มีไอโอดีน 3 อะตอม) (เป็นฮอร์โมนประเภทกรดอะมิโนที่มีไอโอดีนเป็นองค์ประกอบ)	เซลล์ของร่างกาย	▸ กระตุ้นอัตราเมแทบอลิซึมในร่างกาย เร่งการเผาผลาญสารอาหารโดยกระตุ้นการใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจระดับเซลล์ (สลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน) ▸ กระตุ้นการเปลี่ยนไกลโคเจนสะสมที่ตับให้เป็นกลูโคส เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด (ถ้า insulin ลด) ▸ เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกเรียก เมทามอร์โฟซิส (metamorphosis)
calcitonin (เป็นเพปไทด์ฮอร์โมน)	▸ กระดูก ▸ ไต ▸ ลำไส้เล็ก	▸ ทำให้ระดับแคลเซียมในเลือดลดลง โดย 1. กระตุ้นเซลล์ที่สร้างกระดูกสร้างกระดูกมากขึ้น (กระตุ้นการสะสมแคลเซียมที่กระดูกมากขึ้น) 2. ลดการดูดกลับแคลเซียมที่ไต 3. ลดการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็ก ▸ ทำให้ระดับฟอสเฟตในเลือดลดลง ทั้งแคลเซียมและฟอสเฟตจะถูกขับออกมาทางปัสสาวะมากขึ้น

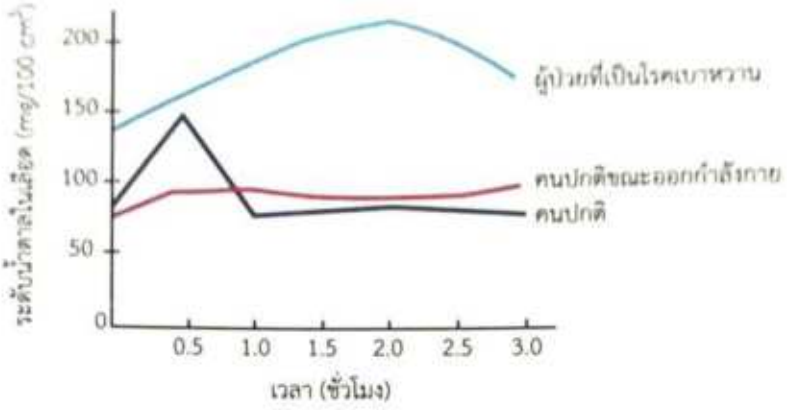
ต่อมพาราไทรอยด์ (parathyroid gland)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
parathormone	กระดูก ไต ลำไส้เล็ก	เพิ่มระดับแคลเซียมในเลือด (ทำงานตรงข้ามกับ calcitonin) โดย 1. เร่งการสลายแคลเซียมออกจากกระดูกเข้าสู่กระแสเลือด 2. เพิ่มการดูดซึมกลับแคลเซียมที่ไต 3. เพิ่มการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็ก โดยอาศัยวิตามินดีช่วยด้วย

ไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ (islet of Langerhans) จากตับอ่อน

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
glucagon เป็นเพปไทด์ฮอร์โมนที่สร้างจากเซลล์แอลฟา (α -cell)	เซลล์ของร่างกาย	▸ เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด โดยการสลายไกลโคเจนจากตับให้เป็นกลูโคสเข้ากระแสเลือดมากขึ้น ▸ กระตุ้นการสลายไขมันและโปรตีน โดยเปลี่ยนกรดอะมิโนเป็นกลูโคส

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
insulin เป็นเพปไทด์ฮอร์โมนที่สร้างจากเซลล์บีต้า (β - cell)	เซลล์ของร่างกาย	▸ ลดระดับน้ำตาลในเลือด โดยเร่งการเปลี่ยนกลูโคสเป็นไกลโคเจนสะสมในตับและกล้ามเนื้อ ▸ กระตุ้นการใช้กลูโคสในเซลล์ต่างๆ มากขึ้น ▸ เพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนและไขมัน



▲ กราฟแสดงระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหาร

Quiz Yourself

1) ต่อมไร้ท่อข้อใดถูกควบคุมด้วยฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า
   1. รังไข่ อะดรีนัลคอร์เทกซ์ ต่อมไทรอยด์
   2. รังไข่ อะดรีนัลเมดัลลา ต่อมไทมัส
   3. Islets of Langerhans ต่อมไทรอยด์ อัณฑะ
   4. ต่อมพาราไทรอยด์ ต่อมไทมัส อัณฑะ

2) คนที่ดื่มแอลกอฮอล์จะปัสสาวะบ่อยเพราะเหตุใด
   1. เพิ่มการผลิตอัลโดสเทอโรน
   2. เพิ่มความดันเลือด
   3. ลดการหลั่งแอนติไดยูเรติกฮอร์โมน
   4. กรวยไตเพิ่มการดูดน้ำกลับ

ต่อมหมวกไตชั้นนอก (adrenal cortex)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
glucocorticoid hormone พบมาก คือกลุ่มของ cortisol เป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมน	เซลล์ของร่างกาย	▸ เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด โดยการสลายไกลโคเจนจากตับให้เป็นกลูโคสเข้ากระแสเลือดมากขึ้น ▸ กระตุ้นการสลายไขมันและโปรตีนโดยเปลี่ยนกรดอะมิโนเป็นกลูโคส
mineralocorticoid hormone เช่น aldosterone เป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมน	ไต	▸ เพิ่มการดูดกลับโซเดียมและขับโพแทสเซียมที่ไต ▸ เพิ่มการขนส่งโซเดียมจากเลือดเข้าสู่เซลล์
sex hormone	อวัยวะเพศ	▸ หลั่งออกมาในปริมาณน้อยมาก มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น แอนโดรเจน อีสโทรเจน ถ้าสร้างมากเกินไปจะทำให้เป็นหนุ่มสาวเร็วกกว่าปกติ ขนาดอวัยวะเพศใหญ่ขึ้น

ต่อมหมวกไตชั้นใน (adrenal medulla)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
adrenalin หรือ epinephrin	หัวใจและหลอดเลือด	▸ เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ เพิ่มการสูบฉีดเลือด มีผลต่อกล้ามเนื้อหัวใจโดยตรง ▸ ทำให้หลอดเลือดอาร์เทอรีขนาดเล็กตามอวัยวะต่างๆ ขยายตัว ▸ เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดให้มากขึ้น ▸ เพิ่มการใช้ออกซิเจนและเพิ่มอัตราเมแทบอลิซึม
noradrenalin หรือ norepinephrin	หัวใจและหลอดเลือด	▸ มีผลต่อการเต้นของหัวใจ ▸ ทำให้หลอดเลือดอาร์เทอรีขนาดเล็กตามอวัยวะต่างๆ บีบตัว

Quiz Yourself

3) คนที่เป็นโรคปัสสาวะเจือจาง มีสาเหตุมาจากข้อใด
   1. ต่อมใต้สมองส่วนหน้าถูกทำลาย
   2. ต่อมใต้สมองส่วนหลังถูกทำลาย
   3. มีน้ำตาลในเลือดน้อยกว่าปกติ
   4. มีความดันเลือดต่ำ

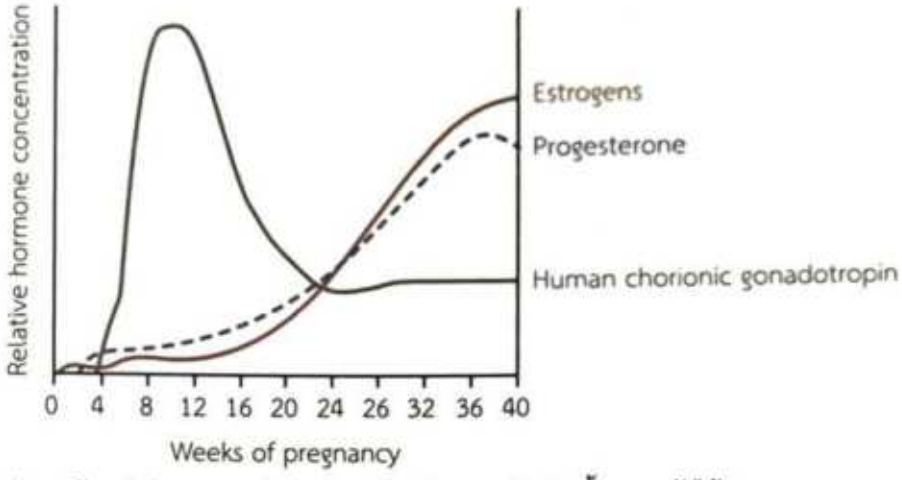
4) "เติมสาร A และ B ในน้ำที่ไว้เลี้ยงลูกอ๊อด ปรากฏว่าลูกอ๊อดเปลี่ยนเป็นกบเร็วกว่าปกติ แต่ตัวเล็กและกระดูกบาง" สาร A และ B คือสารใด
   1. ไทรอกซินและแคลซิโทนิน
   2. ไทรอกซินและพาราทอร์โมน
   3. สารยับยั้งการสร้างไทรอกซินและแคลซิโทนิน
   4. สารยับยั้งการสร้างไทรอกซินและพาราทอร์โมน

ต่อมไพเนียล (pineal gland หรือ epiphysis)

แหล่งผลิต		
ชนิดฮอร์โมน	**อวัยวะเป้าหมาย**	**หน้าที่**
melatonin	ไฮโพทาลามัส	▸ ยับยั้งการเจริญของอวัยวะสืบพันธุ์ (ทำงานตรงข้ามกับ FSH) ▸ ในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกทำให้สีผิวหนังจางลง (ทำงานตรงข้ามกับ MSH ที่ทำให้สีผิวเข้มขึ้น) ▸ เกี่ยวข้องกับนาฬิกาชีวิต (biological clock) และวงจรการหลับนอน แสงสว่างและความมืดมีผลต่อการทำงานของต่อมไพเนียล เมื่อไม่มีแสงจะมีการสร้างเมลาโทนินส่งผลให้เรารู้สึกง่วงนอน แต่เมื่อมีแสงจะมีการหลั่งสารสื่อประสาทที่เรียกว่า serotonin กระตุ้นให้ตื่นตัวตลอดเวลา ▸ ในช่วงฤดูหนาว (กลางคืนยาวนานกว่ากลางวัน) จะมีการหลั่งเมลาโทนินออกมามาก ยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนเพศสัตว์จึงไม่สืบพันธุ์ในฤดูหนาว

รก (placenta)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
HCG (human chorionic gonadotropin)	รังไข่	รักษาสภาพของคอร์ปัสลูเทียมในรังไข่ให้เจริญต่อไปและสร้างฮอร์โมนโพรเจสเทอโรนซึ่ง HCG ถูกขับออกมากับน้ำปัสสาวะใน 4-8 สัปดาห์แรกของการตั้งครรภ์จึงสามารถใช้ตรวจสอบการตั้งครรภ์ได้



ขณะตั้งครรภ์ระดับฮอร์โมนอีสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนห้ามลดลงไม่เช่นนั้นอาจแท้งได้

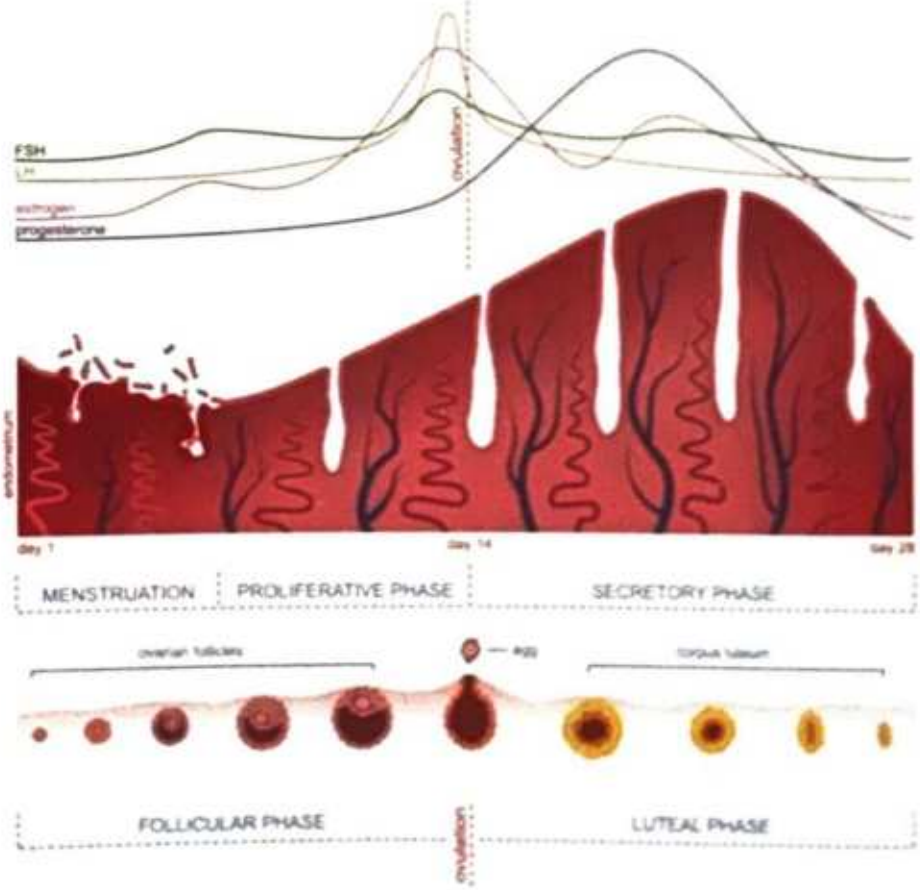
Quiz Yourself

5) คำในข้อใดเกี่ยวข้องกันน้อยที่สุด
   1. ต่อมพาราไทรอยด์ แคลเซียม กระดูก
   2. ต่อมใต้สมองส่วนหลัง โพรเจสเทอโรน มดลูก
   3. ลำไส้เล็ก ซีครีติน ตับอ่อน
   4. ต่อมหมวกไต แอลโดสเทอโรน ไต

6) ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับฮอร์โมนเมลาโทนิน
   1. ปริมาณฮอร์โมนแปรผกผันตามปริมาณแสงที่ผ่านเรตินา
   2. การหลั่งฮอร์โมนในช่วงกลางคืนมากกว่ากลางวัน
   3. การหลั่งฮอร์โมนในช่วงฤดูร้อนมากกว่าฤดูหนาว
   4. ฮอร์โมนมีผลทำให้สีผิวกบจางลง

อวัยวะสืบพันธุ์ (sex organs)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
เพศชาย หลั่งแอนโดรเจน (androgen) เช่น testosterone เป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมน สร้างจากกลุ่มเซลล์ Leydig cell หรือ interstitial cell ที่อัณฑะ	▸ เซลล์ร่างกาย	▸ ควบคุมลักษณะขั้นที่ 2 ของเพศชาย เช่น การมีขนตามร่างกาย มีหนวดเครา อวัยวะเพศเจริญเติบโต ลูกกระเดือกแหลม เสียงแตก กระดูกหัวไหล่กว้าง กล้ามเนื้อแขนขาเติบโตและแข็งแรงกว่าเพศหญิง ▸ การถูกควบคุม LH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า → กระตุ้นกลุ่มเซลล์ Leydig cell หรือ interstitial cell ซึ่งอยู่ระหว่างหลอดสร้างอสุจิ → ให้สร้าง testosterone ▸ ในสัตว์เพศผู้ทำให้มีลักษณะเด่นกว่าเพศเมีย เช่น สิงโตมีขนเป็นแผงคอ กวางตัวผู้มีเขาสวยงามกว่าตัวเมีย นกยูงมีขนหางที่สวย ไก่มีเดือยและหงอนเด่นชัด
เพศหญิง : estrogen เป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมน สร้างจากกลุ่มเซลล์ฟอลลิเคิลที่อยู่รอบไข่ และ corpus luteum	▸ เซลล์ร่างกาย ▸ มดลูก	▸ ควบคุมลักษณะขั้นที่ 2 ของเพศหญิง เช่น สะโพกผายออก การมีเสียงแหลม อวัยวะเพศเจริญเติบโต มีเต้านมใหญ่ขึ้น ▸ เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงที่รังไข่และมดลูก ▸ กระตุ้นให้ฟอลลิเคิลที่ตกไข่ไปแล้ว เจริญเป็นคอร์ปัสลูเทียม
เพศหญิง : progesterone เป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมน สร้างจาก corpus luteum	▸ ผนังมดลูก	▸ ควบคุมการพัฒนาผนังมดลูกชั้นใน (endometrium) ให้หนาขึ้นหลังไข่ตก และบางลงในช่วงมีประจำเดือน ▸ รักษาสภาพการตั้งครรภ์



ต่อมไทมัส (thymus)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
thymocin เป็นเพปไทด์ฮอร์โมน	ต่อมไทมัส	กระตุ้นการสร้างลิมโฟไซต์ชนิดที (T-lymphocyte) หรือเซลล์ที (T-cell)

กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก (stomach and small intestine)

ชนิดฮอร์โมน	อวัยวะเป้าหมาย	หน้าที่
กระเพาะอาหาร : gastrin	▸ กระเพาะอาหาร ▸ ตับอ่อน ▸ ลำไส้เล็ก	▸ กระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยและ HCl ของกระเพาะอาหาร ▸ กระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยของตับอ่อน ▸ ควบคุมการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก
ลำไส้เล็ก : secretin	▸ ตับอ่อน ▸ ตับ	▸ กระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งน้ำย่อยและเกลือคาร์บอเนต (HCO_3^-) ▸ กระตุ้นให้ตับหลั่งน้ำดี
ลำไส้เล็ก : cholecystokinin	▸ ถุงน้ำดี ▸ ตับอ่อน	▸ กระตุ้นการบีบตัวของถุงน้ำดี ▸ กระตุ้นตับอ่อนให้หลั่งเอนไซม์

9.2.2 กลุ่มอาการของความผิดปกติของการหลั่งฮอร์โมน

ชนิด	ความผิดปกติ	รายละเอียด
GH	หลั่งน้อยเกินไป	▸ วัยเด็ก (dwarfism) เด็กไม่โต เตี้ยแคระแกร็น แขนขาสั้น สติปัญญาผิดปกติ ▸ วัยผู้ใหญ่ (Simmond's disease) น้ำตาลในเลือดน้อย หน้ามืด ผอม แก่เร็ว ผิวหนังเหี่ยวย่น
	หลั่งมากเกินไป	▸ เด็ก (gigantism) กระดูกแขนขายาว สูงใหญ่ สูง 8 ฟุต ทำให้อายุสั้น ▸ ผู้ใหญ่ (acromegaly) กระดูกเจริญมากด้านกว้าง เช่น หน้าใหญ่ มือใหญ่ ไม่มีผลต่อความสูง ผิวหนังหยาบ ฟันห่าง
ADH	หลั่งน้อยเกินไป	▸ โรคเบาจืด ร่างกายสูญเสียน้ำออกมากับปัสสาวะมาก ปัสสาวะมีความเข้มข้นน้อย เนื่องจากไตไม่ดูดน้ำกลับ กระหายน้ำบ่อยๆ
	หลั่งมากเกินไป	▸ ไตมีการดูดน้ำกลับมากเกินไปทำให้มีน้ำในร่างกายมาก น้ำหนักขึ้น
parathormone	หลั่งน้อยเกินไป	▸ เกิดภาวะ hypoparathyroidism กล้ามเนื้ออ่อนแรง เกิดอาการเกร็ง ชักกระตุก เพราะไตดูดกลับแคลเซียมลดลง ทำให้สูญเสียแคลเซียมออกมากับปัสสาวะมาก ระดับแคลเซียมลดลงมาก อาจส่งผลทำให้การเต้นของหัวใจลดลง ปอดไม่สามารถทำงานได้ดี อาจถึงเสียชีวิตได้
	หลั่งมากเกินไป	▸ เกิดภาวะ hyperparathyroidism เกิดการดึงแคลเซียมออกจากกระดูกและฟันส่งเข้าไปในเลือด ทำให้มีแคลเซียมในเลือดมาก กระดูกจะบางและฟันหักและผุง่าย

ชนิด	ความผิดปกติ	รายละเอียด
thyroxin	หลั่งน้อยเกินไป	▸ ในทารก (cretinism) การเจริญเติบโตช้า ร่างกายเตี้ยแคระ แขนขาสั้น ▸ วัยผู้ใหญ่ (myxedema) อ่อนเพลียง่าย ใบหน้าลำตัวบวมน้ำ ผิวหนังแห้ง ซึมเศร้า ทนอากาศหนาวไม่ได้ อ่อนแอ ติดเชื้อง่าย ▸ คอพอกธรรมดา (simple goiter) ขาดไอโอดีนที่เป็นส่วนสร้าง และทำให้ TSH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้ามากระตุ้นต่อมไทรอยด์มากเกินไป ต่อมไทรอยด์จึงสร้างไทรอกซินได้น้อยและต่อมไทรอยด์จะขยายใหญ่ขึ้น
	หลั่งมากเกินไป	คอพอกเป็นพิษหรือ Graves' disease ตาโปน อัตราเมแทบอลิซึมสูง หัวใจเต้นเร็ว เหงื่อออกง่าย อาจเกิดคอพอกแต่ไม่โตมาก
insulin	หลั่งน้อยเกินไป	โรคเบาหวาน ทำให้มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงมาก ปัสสาวะบ่อย หิวน้ำบ่อย ถ้าเป็นแผลจะหายยาก น้ำหนักลด ร่างกายขาดน้ำ ถ้าเป็นมากไตจะหยุดทำงานอาจเกิดอาการช็อกและเสียชีวิต
	หลั่งมากเกินไป	เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำเกินไปอาจเสียชีวิตได้
cortisol	หลั่งน้อยเกินไป	Addison's disease เป็นไข้ง่าย อ่อนเพลีย น้ำหนักลด ผิวหนังดกกระ
	หลั่งมากเกินไป	Cushing's syndrome มีการคั่งของไขมันตามส่วนตามๆ เช่น ใบหน้ากลมเหมือนพระจันทร์ (moon face) มีรอยแตกที่ท้อง ขาดประจำเดือน ความดันเลือดสูง

ฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกัน

ฮอร์โมน	หน้าที่	ฤทธิ์ตรงข้าม	หน้าที่
calcitonin	ลดระดับแคลเซียมในเลือด	parathormone	เพิ่มระดับแคลเซียมในเลือด
GH, cortisol, glucocorticoid, glucagon	เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด (ไกลโคเจน → กลูโคส)	insulin (กลูโคส → ไกลโคเจน)	ลดระดับน้ำตาลในเลือด
melatonin	ผิวหนังสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกมีสีจางลง	MSH	ผิวหนังสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกมีสีเข้มขึ้น
	ยับยั้งการเจริญเติบโตของอวัยวะเพศ	FSH	กระตุ้นการเจริญของอวัยวะเพศ

ฟีโรโมน (pheromone)

ฟีโรโมน คือ สารเคมีที่สัตว์ปล่อยออกมาจากต่อมมีท่อ เพื่อส่งออกนอกร่างกายไปมีผลต่อสัตว์อื่นที่เป็นชนิดเดียวกัน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระและพฤติกรรมบางอย่างได้ การรับฟีโรโมนเข้าสู่ร่างกายมีได้ 3 ทาง คือ ดมกลิ่น การกิน และการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ฟีโรโมนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- releaser pheromone เป็นฟีโรโมนที่มีผลโดยตรงต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้พฤติกรรมต่างๆ เปลี่ยนไป เช่น
  - สารที่มีผลดึงดูดเพศตรงข้าม (sex attractant)
  - สารที่ใช้เตือนภัย (alarm substance)
  - ฟีโรโมนนำทาง (trail pheromone)

- primer pheromone มีผลต่อสรีระภายใน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของร่างกาย เช่น
  - ฟีโรโมนราชินีผึ้ง (queen substance) ทำให้ผึ้งเป็นหมัน
  - Bruce's effect โดยหนูตัวเมียแท้งลูก ถ้าได้รับฟีโรโมนของหนูตัวผู้
- imprinting pheromone มีผลต่อการฝังใจในช่วงวิกฤติ เกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นๆ เช่น แมลงสาบระยะตัวอ่อนได้รับฟีโรโมนจากตัวเต็มวัยตัวผู้ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตและจำเพาะต่อสัตว์สปีชีส์เดียวกันในการผสมพันธุ์

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 1.** เพราะรังไข่ ถูกควบคุมโดย LH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า อะดรีนัลคอร์เทกซ์ถูกควบคุมโดย ACTH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า และต่อมไทรอยด์ถูกควบคุมโดย TSH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

2) **ตอบ 3.** เพราะแอลกอฮอล์มีผลต่อการยับยั้งการสร้าง ADH จึงทำให้ไตไม่ดูดน้ำกลับ ปัสสาวะจึงออกมามากและบ่อย

3) **ตอบ 2.** เพราะต่อมใต้สมองส่วนหลังถูกทำลาย จะไม่มีการหลั่ง ADH เพื่อรักษาระดับสมดุลน้ำในร่างกาย เมื่อไม่หลั่ง ADH ไตไม่ดูดน้ำกลับ น้ำจึงออกมากับปัสสาวะมากปัสสาวะจึงเจือจาง

4) **ตอบ 2.** เพราะไทรอกซินกระตุ้นการเกิดเมทามอร์โฟซิสของกบ แต่กบมีกระดูกบาง แสดงว่ามีการใส่พาราทอร์โมนทำให้เพิ่มระดับแคลเซียมในเลือด โดยการสลายแคลเซียมจากกระดูก ส่งผลให้กบกระดูกบาง

5) **ตอบ 2.** เพราะต่อมใต้สมองส่วนหลังหลั่ง oxytocin ที่มีผลกับมดลูกตอนคลอด แต่ไม่เกี่ยวข้องกับ progesterone

6) **ตอบ 3.** เพราะการหลั่งฮอร์โมนเมลาโทนินในช่วงฤดูร้อนจะหลั่งน้อยกว่าในฤดูหนาว เป็นผลให้สัตว์มีการเจริญของอวัยวะสืบพันธุ์ สัตว์จึงสืบพันธุ์ในช่วงนี้ แต่ในฤดูหนาวสัตว์จะแทบไม่สืบพันธุ์ เพราะเมลาโทนินหลั่งมาก และยับยั้งการเจริญของอวัยวะสืบพันธุ์

บทที่ 10

พฤติกรรมของสัตว์

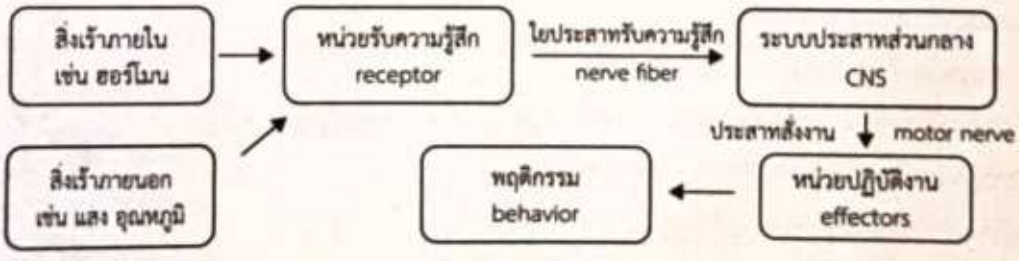
พฤติกรรม (behavior) คือ การแสดงออกของสิ่งมีชีวิตเพื่อตอบสนองต่อ**สิ่งเร้า (stimulus)** ทั้งภายในและภายนอกร่างกายของสิ่งมีชีวิต เพื่อการอยู่รอดหรือดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างเหมาะสม กลไกการเกิดพฤติกรรมประกอบด้วย

- สิ่งเร้า (stimulus) สิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอก
- แรงจูงใจ (motivation)

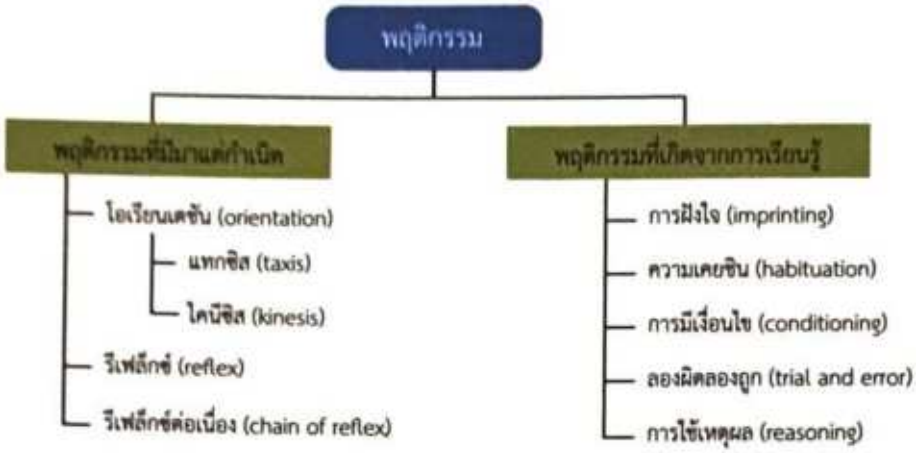
การศึกษาพฤติกรรม ทำได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีการทางสรีรวิทยา (physiological approach) เป็นการอธิบายพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตในรูปของกลไกการทำงานของระบบต่างๆ ที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาท
2. วิธีการทางจิตวิทยา (psychological approach) เป็นการศึกษาถึงผลของปัจจัยต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกร่างกายที่มีต่อการพัฒนาและการแสดงออกของพฤติกรรมที่มองเห็นได้ชัดเจน

แผนภาพกลไกการเกิดพฤติกรรมของสัตว์



10.1 รูปแบบของพฤติกรรม



พฤติกรรมที่มีมาแต่กำเนิด (innate behavior)

- เป็นพฤติกรรมที่แสดงออกของสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นผลมาจากพันธุกรรม
- ลักษณะพฤติกรรมเป็นแบบง่ายๆ เกิดขึ้นเองโดยอัตโนมัติ มีมาตั้งแต่กำเนิด มีแบบแผนแน่นอน สัตว์ในสปีชีส์เดียวกันจะแสดงออกเหมือนกันแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ 1. โอเรียนเตชัน 2. รีเฟล็กซ์ 3. รีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง

▸ โอเรียนเตชัน (orientation)

- พฤติกรรมที่สิ่งมีชีวิตมีการจัดตำแหน่งให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต
- โดยเป็นการตอบสนองต่อปัจจัยทางกายภาพ (ไม่มีชีวิต) เช่น แสง อุณหภูมิ สารเคมี เป็นต้น
- เกิดกับสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำพวกโพรทิสต์ (อะมีบา พารามีเซียม) เนื่องจากระบบประสาทยังพัฒนาไม่ดี หรือในสัตว์มีกระดูกสันหลังบางชนิด เช่น ปลาว่ายน้ำให้หลังตั้งฉากกับพระอาทิตย์ เพื่อไม่ให้ศัตรูในน้ำลึกกว่ามองเห็นได้เนื่องจากแสงส่องเข้าตา หรือกิ้งก่าในเขตหนาว จะวางตัวทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์แล้วพองตัวให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้รับความร้อนอย่างเพียงพอ

โอเรียนเตชันแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

<u>รูปแบบที่ 1</u> แทกซิส (taxis) ... แน่นอน

พฤติกรรมการเคลื่อนที่เข้าหาหรือหนีจากสิ่งเร้าอย่างมีทิศทางแน่นอน ตัวอย่างเช่น

- พลานาเรียเคลื่อนที่เข้าหาแสงโดยใช้ eyespot
- การหนีแสงของหนอนแมลงวันและไส้เดือนดิน
- แมงเม่าบินเข้าหาแสงสว่าง
- การเคลื่อนที่ของเห็บเข้าหาแสง
- ค้างคาวบินเข้าหาเหยื่ออย่างมีทิศทางที่แน่นอนโดยใช้การสะท้อนของเสียง
- จิ้งหรีดตัวเมียเข้าหาตัวผู้ที่ขยับปีกให้เกิดเสียง
- ปูก้ามดาบตัวเมียเข้าหาตัวผู้ที่ชูก้าม
- การเคลื่อนที่ของไหมตัวผู้เข้าหาตัวเมีย เมื่อได้กลิ่นฟีโรโมน
- ปลาว่ายน้ำให้หลังตั้งฉากกับพระอาทิตย์ (dorsal light reaction)

▲ แมงเม่าบินเข้าหาแสง

รูปแบบที่ 2 ไคนีซิส (kinesis) ... ไม่แน่นอน

พฤติกรรมการเคลื่อนที่เข้าหาหรือหนีจากสิ่งเร้าอย่างมีทิศทางไม่แน่นอน ตัวอย่างเช่น

- การเคลื่อนที่ของพารามีเซียมเข้าหากรดแอซีติก แต่เคลื่อนที่หนีสารละลาย NaCl และ CO_2 ในน้ำ
- การเคลื่อนที่ของพารามีเซียมโดยหนีจากน้ำที่มีอุณหภูมิสูงไปยังน้ำที่มีอุณภูมิต่ำกว่า
- ตัวกะปิเคลื่อนที่เข้าหาความชื้น (มันจะเดินแบบสะเปะสะปะ)
- แมลงสาบที่อยู่ในที่โล่ง (วิ่งไปมั่ว)
- ผีเสื้อยัมมิ่งเบิร์ด ปกติจะอยู่ที่พื้นบริเวณมืดๆ แต่ถ้าเปิดไฟจะบินขึ้นหนีทันที

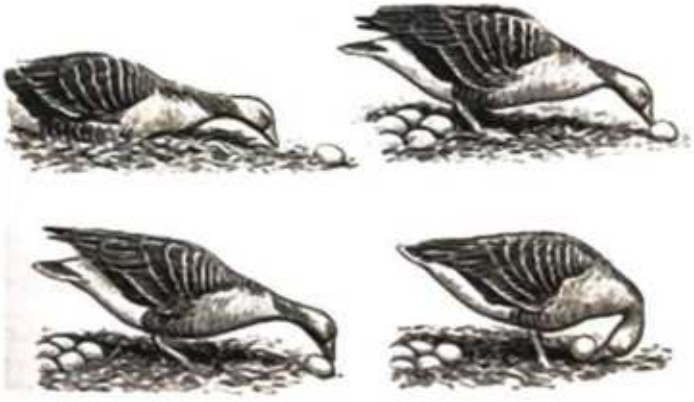
▲ พารามีเซียมเคลื่อนที่หนีน้ำที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ

▲ การเคลื่อนที่ของตัวกะปิจากที่แห้งไปยังที่ชื้น (เดินแบบสะเปะสะปะ)

- รีเฟล็กซ์ (reflex)
  - เป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าอย่างรวดเร็วในทันที เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายต่างๆ เช่น การกะพริบตาเมื่อมีคนมาจี้ตา การดีดขาเมื่อถูกเคาะหัวเข่า การสะบัดมือหนีเมื่อแตะของร้อน การหรี่ตาเมื่อมีแสงสว่างมาก การไอ จาม สำลัก
  - เกี่ยวข้องกับระบบประสาทในการตอบสนองแบบรีเฟล็กซ์ แอ็คชัน (reflex action) เช่น การเหยียบก้นบุหรี่ กระแสประสาทจะส่งไปที่ไขสันหลังเท่านั้นไม่ผ่านสมอง บังคับให้กล้ามเนื้อลายที่ขากระตุกเท้าหนีออก (แต่ก็จะมีกระแสประสาทอีกส่วนหนึ่งส่งจากไขสันหลังไปยังสมอง สมองก็จะแปลผลรู้สึกร้อนตามมาอย่างรวดเร็วด้วย)
- รีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง (chain of reflexes) เดิมทีเรียกสัญชาตญาณ (instinct)

  เป็นพฤติกรรมรีเฟล็กซ์ย่อยๆ หลายชนิดร่วมกัน โดยรีเฟล็กซ์หนึ่งไปกระตุ้นรีเฟล็กซ์อื่นๆ ของระบบประสาทให้ทำงาน
  - การตอบสนองมีแบบแผนแน่นอนและมีลักษณะเฉพาะแต่ละสปีชีส์เท่านั้น ตัวอย่างเช่น
    - การฟักไข่ของแม่ไก่
    - การชักใยแมงมุม
    - การสร้างรังของนก
    - การดูดนมของทารก
    - การแทะมะพร้าวของกระรอก
    - การอพยพของสัตว์
    - การเกี้ยวพาราสีของสัตว์ชนิดต่างๆ
    - การจำศีลของสัตว์

- พฤติกรรมการทำความสะอาดรังผึ้งของผึ้ง
- การเต้นร่ำของผีเสื้อเป็นเลข 8 เพื่อบอกแหล่งอาหาร
- การฟักไข่ของห่านเกรย์แลค โดยมีพฤติกรรมการกลิ้งไข่ไปยังบริเวณที่ฟัก



พฤติกรรมการฟักไข่ของห่านเกรย์แลค

▲ (Cr. cerebromente.org)

การล่าเหยื่อ (จับเหยื่อ) เป็นพฤติกรรมการเรียนรู้ไม่ใช่รีเฟลักซ์ต่อเนื่อง เพราะต้องอาศัยประสบการณ์จากการเรียนรู้ในการล่าแต่ละครั้ง

Quiz Yourself

1) การเดินทางของปลาแซลมอนจากทะเลเพื่อกลับมาวางไข่ยังแม่น้ำได้ถูกต้องอาศัยพฤติกรรมใด

1. imprinting และ taxis
2. orientation และ taxis
3. imprinting และ kinesis
4. habituation และ kinesis
5. orientation และ habituation

2) ข้อใดไม่เป็นพฤติกรรมที่มีมาแต่กำเนิด

1. นกตัวเมียฟักไข่
2. นกตัวผู้สร้างรัง
3. นกเกี้ยวพาราสี
4. นกตามแม่ไปหาอาหาร

พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ (learning behavior)

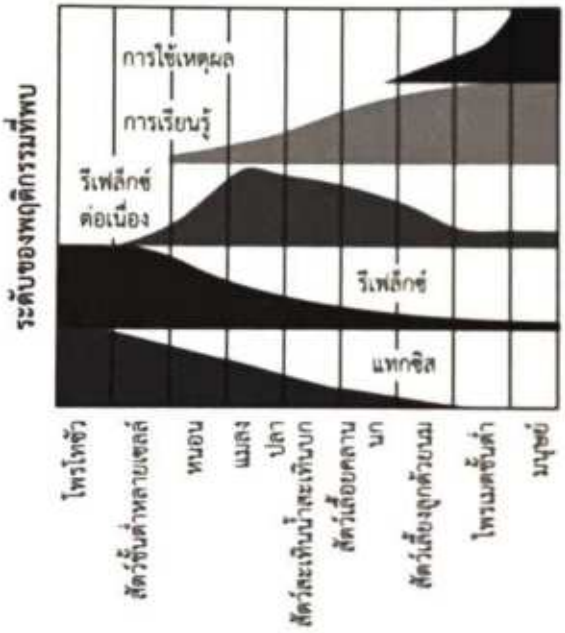
เป็นพฤติกรรมที่ไม่มีแต่กำเนิดแต่เกิดขึ้นภายหลังอันเนื่องมาจากประสบการณ์

- พบในสัตว์ที่มีระบบประสาทเจริญดีแบ่งออกเป็น 5 รูปแบบ

พฤติกรรมการเรียนรู้	รูปแบบของพฤติกรรม	ตัวอย่าง
พฤติกรรมฝังใจ (imprinting)	▸ เกิดขึ้นในตอนต้นของชีวิต ในช่วงเวลาที่จำกัด (critical period) เท่านั้น หลังจากนั้นจะเลิกพฤติกรรมนั้น เช่น การเดินตามสิ่งแรกที่เคลื่อนไหวของลูกห่าน จะเกิดเพียงแค่ 36 ชั่วโมงแรกหลังจากฟักออกจากไข่ ▸ ช่วยให้สัตว์แรกเกิดที่ช่วยตัวเองไม่ได้อยู่รอดได้โดยได้รับการดูแลจากแม่ และยังช่วยให้สัตว์จดจำพวกของตนได้	▸ ลูกห่านเดินตามแม่ห่าน ▸ อีกาเลี้ยงลูกนกกาเหว่า ▸ ปลาบึก ปลาแซลมอนว่ายทวนน้ำกลับไปวางไข่ (จำกลิ่นน้ำได้) ▸ แม่แมลงหวี่วางไข่ไว้บนพืชชนิดใด ลูกที่ฟักออกมาจะผูกพันกับพืชชนิดนั้น เมื่อโตเต็มวัยก็จะวางไข่ที่พืชชนิดเดิมอีก ▸ นกซีบราฟินช์ (เพศผู้) ได้รับการเลี้ยงดูตั้งแต่ฟักออกจากไข่โดยนกเบงกาลีสฟินช์ (เพศเมีย) จนเมื่อถึงระยะผสมพันธุ์นกซีบราฟินช์เพศผู้จะไม่สนใจเพศเมียชนิดเดียวกันเลย แต่กลับไปสนใจนกเบงกาลีสฟินช์เพศเมียแทน
พฤติกรรมความเคยชิน (habituation) (ทำอยู่พักหนึ่งแล้วค่อยๆ ลดพฤติกรรมลง)	▸ เป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าอันเดิมเรื่อยๆ จนกระทั่งลดการตอบสนองลง เพราะสิ่งเร้านั้นไม่มีความหมายกับการดำรงชีวิต (ชินแล้วนั่นเอง) ▸ สำคัญคือ ต้องค่อยๆ ลดพฤติกรรมลง !!	▸ คนที่อาศัยอยู่ใกล้สนามบินหรือข้างทางรถไฟ แรกๆ จะนอนไม่หลับเพราะเสียงดัง แต่หลังๆ จะชินและหลับได้ ▸ สุนัขมองเครื่องบินในระยะแรกหลังจากนั้นก็ไม่มองอีก ▸ สุนัขเห่าคนแปลกหน้าเมื่อเจอตอนแรก หลังๆ ถ้ามาบ่อยสุนัขจะไม่เห่าอีก ▸ การเลิกตอบสนองต่อหุ่นไล่กาของนก ▸ หอยทากหดตัวเมื่อรู้สึกถึงแรงเคาะในระยะแรกๆ แต่หลังจากนั้นก็ไม่หดตัวอีก เพราะรู้ว่าไม่มีผลต่อชีวิต
พฤติกรรมการเรียนรู้แบบมีเงื่อนไข (conditioning หรือ classical conditioning)	▸ ให้สิ่งเร้า 2 ชนิด (สิ่งเร้าแท้จริง และสิ่งเร้าไม่แท้จริงหรือสิ่งเร้ามีเงื่อนไข) มาคู่กัน จากนั้นให้เพียงแต่สิ่งเร้าไม่แท้จริงสัตว์ก็มีการตอบสนองเหมือนเดิม ▸ สำคัญคือ มีการสร้างเงื่อนไขโดยการใส่สิ่งเร้าไม่แท้จริงลงไป เพื่อให้สัตว์ตอบสนองเหมือนใส่สิ่งเร้าที่แท้จริง	▸ สุนัขน้ำลายไหลเมื่อได้ยินเสียงกระดิ่ง 1. อาหาร (สิ่งเร้าแท้) → หมาน้ำลายไหล 2. อาหาร (สิ่งเร้าแท้) + เสียงกระดิ่ง (สิ่งเร้าไม่แท้หรือสิ่งเร้ามีเงื่อนไข) → หมาน้ำลายไหล *ทำขั้นที่ 2 หลายๆ ครั้ง* 3. เสียงกระดิ่ง (สิ่งเร้าไม่แท้) → หมาก็ยังน้ำลายไหลถึงแม้จะไม่มีอาหาร ▸ พลานาเรียหดตัวในที่มีแสงสว่าง (สิ่งเร้าไม่แท้) ทั้งๆ ที่ไม่ได้กระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า (สิ่งเร้าแท้)

พฤติกรรมการเรียนรู้	รูปแบบของพฤติกรรม	ตัวอย่าง
พฤติกรรมลองผิดลองถูก (trial and error) (ทำแล้วได้ดีทำต่อ ทำแล้วไม่ได้ดีหยุดทำ)	▸ พฤติกรรมที่แสดงออกเมื่อลองทำแล้วได้รับรางวัลหรือถูกใจ ก็จะทำสิ่งเดิมนั้นอีก แต่ถ้าทำแล้วได้ผลไม่ดีและรับโทษ สัตว์จะไม่ทำสิ่งนั้นอีก	▸ พฤติกรรมการเดินในเขาวงกตของสัตว์ (สัตว์ที่ระบบประสาทเจริญดี จะเดินผิดน้อยครั้งกว่า) ▸ การเดินในกล่องรูปตัว T ของไส้เดือนดิน ที่ฝั่งหนึ่งมืดขึ้น กับอีกฝั่งหนึ่งมีไฟฟ้าช็อต ต้องถูกฝึกบ่อยๆ ไส้เดือนดินก็จะไปทางที่มืดขึ้นร้อยละ 90 ▸ การฝึกสัตว์ในสวนสัตว์หรือการแสดงโชว์
พฤติกรรมใช้เหตุผล (reasoning)	▸ พฤติกรรมที่แสดงออกในการแก้ปัญหาครั้งแรกได้อย่างถูกต้อง ผ่านการคิดวางแผน และคาดคะเนผลอย่างดี (ไม่ลองผิดลองถูก) มีการอาศัยประสบการณ์เดิมมาประยุกต์ ▸ เกิดขึ้นกับสัตว์ที่ระบบประสาทเจริญดี (สมองส่วนหน้า : ซีรีบรัม เจริญดี) เช่น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ไพรเมต	▸ การคิดคำนวณ การทำข้อสอบของนักเรียน ▸ การต่อลังเพื่อหยิบกล้วยในที่สูงของลิง

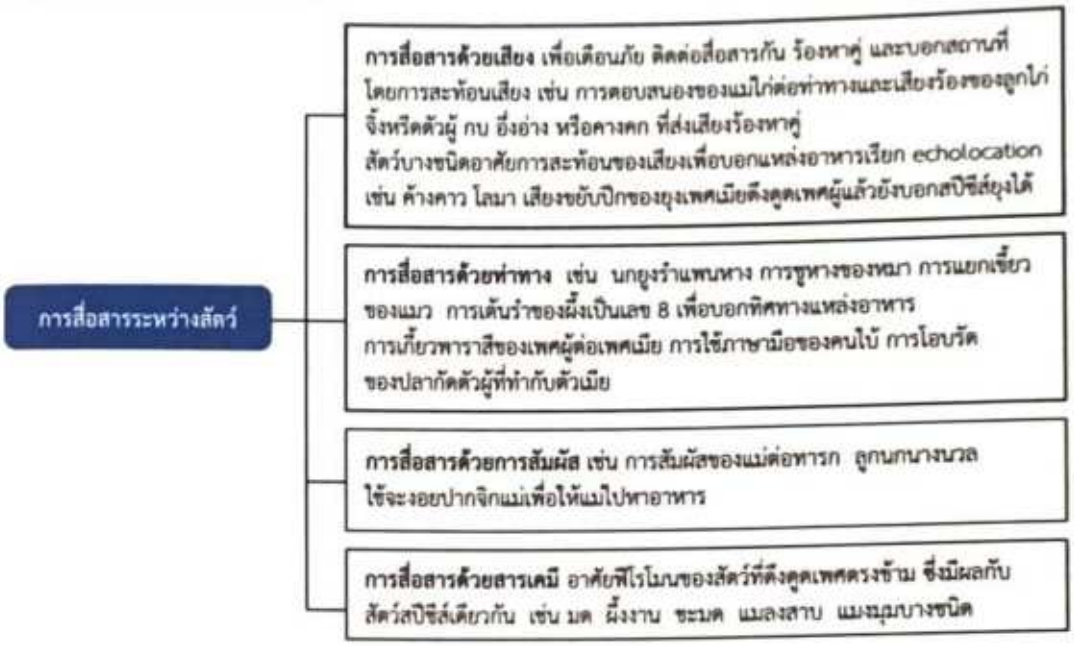
▸ การเปรียบเทียบพฤติกรรมจากสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำไปยังสัตว์ชั้นสูง



จากกราฟจะเห็นได้ว่าพวกโพรโทซัวและสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมที่มีมาแต่กำเนิด (แทกซิส รีเฟล็กซ์) ซึ่งลักษณะของพฤติกรรมเป็นแบบง่ายๆ เกิดขึ้นเองอัตโนมัติ แต่ในสัตว์มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ เพราะสัตว์เหล่านี้มีระบบประสาทที่เจริญ

10.2 การสื่อสารระหว่างสัตว์

สัตว์เมืออยู่รวมๆ กันหมู่มาก จำเป็นต้องมีการแสดงพฤติกรรมที่เข้าใจระหว่างกันภายในกลุ่ม เรียกพฤติกรรมทางสังคม โดยมีการสื่อสารกันระหว่างสัตว์ ดังนี้



echolocation ในการหาอาหารของค้างคาว

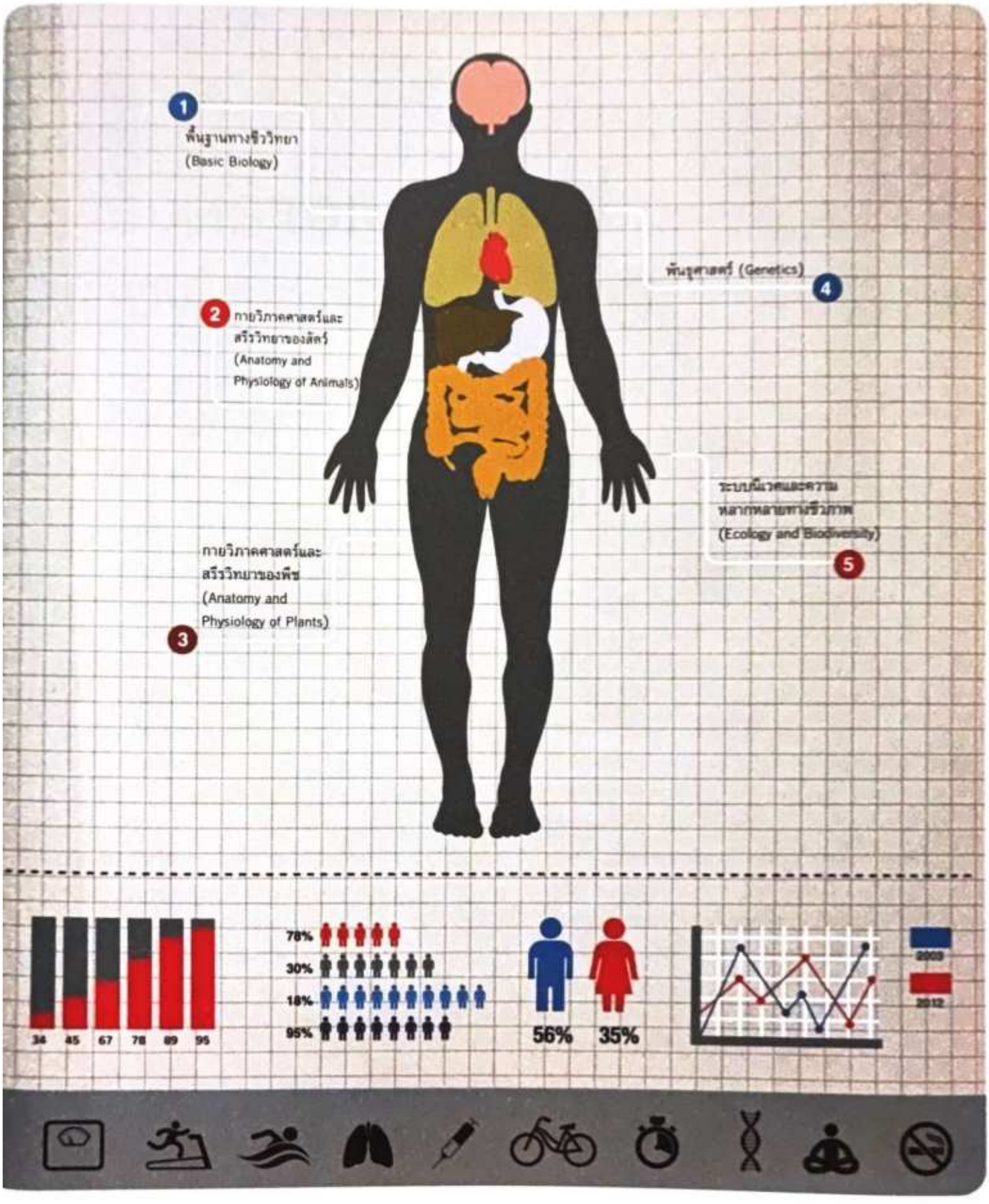
▲ (Cr. .asu.edu)

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 1.** imprinting หรือพฤติกรรมฝังใจ เนื่องจากปลาแซลมอนจดจำกลิ่นน้ำได้ และ taxis หรือพฤติกรรมตามตำแหน่งที่มีแบบแผนแน่นอน มีทิศทางมุ่งไปยังแหล่งน้ำที่ตัวเองกำเนิดมา

2) **ตอบ 4.** นกตามแม่ไปหาอาหาร เป็นพฤติกรรมแบบฝังใจเพราะเกิดขึ้นในตอนต้นของชีวิต ในช่วงเวลาที่จำกัด (critical period) เท่านั้น หลังจากนั้นจะเลิกพฤติกรรมนั้น เช่น การเดินตามสิ่งแรกที่เคลื่อนไหวของลูกห่าน จะเกิดเพียงแค่ 36 ชั่วโมงแรกหลังจากฟักออกจากไข่ ช่วยให้สัตว์แรกเกิดที่ช่วยตัวเองไม่ได้อยู่รอดได้โดยได้รับการดูแลจากแม่ และยังช่วยให้สัตว์จดจำพวกของตนได้

Part 03 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของพืช (Anatomy and Physiology of Plants)



บทที่ 11

โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก

11.1 เนื้อเยื่อพืช (plant tissue)

จำแนกตามการแบ่งเซลล์

เนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue)	เนื้อเยื่อถาวร (permanent tissue)
▸ จำแนกตามตำแหน่งที่พบ 1. เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย (apical meristem) • เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด (shoot apical meristem) • เนื้อเยื่อเจริญปลายราก (root apical meristem) 2. เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง (lateral meristem) • vascular cambium • cork cambium 3. เนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ (intercalary meristem) ▸ จำแนกตามลักษณะการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ 1. เนื้อเยื่อเจริญโพรเมอริสเต็ม (promeristem) 2. เนื้อเยื่อเจริญขั้นปฐมภูมิ (primary meristem) • เนื้อเยื่อกำเนิดผิว (protoderm) • เนื้อเยื่อเจริญพื้น (ground meristem) • เนื้อเยื่อเจริญโพรแคมเบียม (procambium) 3. เนื้อเยื่อเจริญขั้นทุติยภูมิ (secondary meristem) • vascular cambium • cork cambium	▸ จำแนกตามองค์ประกอบของเนื้อเยื่อ 1. เนื้อเยื่อถาวรเชิงเดี่ยว (simple permanent tissue) ประกอบด้วย epidermis, parenchyma, cork, collenchyma, sclerenchyma (sclereid และ fiber) 2. เนื้อเยื่อถาวรเชิงซ้อน (complex permanent tissue) • xylem เนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ 1. tracheid 2. vessel member 3. xylem parenchyma 4. xylem fiber • phloem เนื้อเยื่อลำเลียงอาหาร 1. sieve tube member 2. companion cell 3. phloem parenchyma 4. phloem fiber ▸ จำแนกตามลักษณะการเจริญเติบโต 1. เนื้อเยื่อถาวรปฐมภูมิ (primary permanent tissue) ได้แก่ epidermis cortex endodermis stele 2. เนื้อเยื่อถาวรทุติยภูมิ (secondary permanent tissue) ได้แก่ cork cell, 2° phloem, 2° xylem

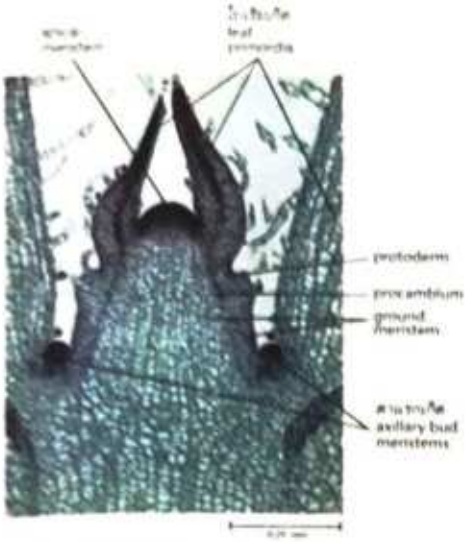
เนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) เป็นเนื้อเยื่อพืชที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีการแบ่งเซลล์อยู่ตลอดเวลา

- จำแนกตามตำแหน่งที่พบ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

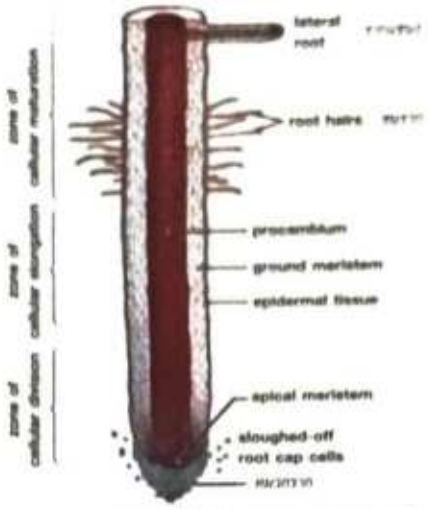
1. เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย (apical meristem) เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่ทำให้โครงสร้างต่างๆ ยืดยาว เพิ่มความสูงขึ้น จัดเป็นการเจริญขั้นปฐมภูมิ (primary growth) พบได้ที่บริเวณปลายยอด ตา ปลายกิ่ง ปลายราก ของพืชทุกชนิด
2. เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง (lateral meristem) เป็นเนื้อเยื่อที่ทำให้ขนาดของลำต้นหรือรากขยายออกในแนวกว้าง หรือเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลาง จัดเป็นการเจริญขั้นทุติยภูมิ (secondary growth) ได้แก่ วาสคิวลาร์แคมเบียม (vascular cambium) และคอร์กแคมเบียม (cork cambium) พบในพืชใบเลี้ยงคู่ รวมทั้งใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เช่น ต้นหมากผู้หมากเมีย จันทน์ผา
3. เนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ (intercalary meristem) เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่อยู่ส่วนเหนือข้อของลำต้นใบเลี้ยงเดียว ช่วยเพิ่มความยาวให้กับปล้อง

- จำแนกตามลักษณะการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. เนื้อเยื่อเจริญโพรเมอริสเต็ม (promeristem) เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่มีการแบ่งเซลล์ตลอดเวลา รูปร่างลักษณะและขนาดของเซลล์ในเนื้อเยื่อเจริญโพรเมอริสเต็มจะคล้ายคลึงกันมาก คือ มีผนังเซลล์บาง นิวเคลียสใหญ่ พบที่ปลายยอดและส่วนที่อยู่ติดกับหมวกราก
2. เนื้อเยื่อเจริญขั้นปฐมภูมิ (primary meristem) หรือการเจริญขั้นที่ 1 เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่ประกอบด้วยเซลล์ที่เกิดจากการแบ่งเซลล์และเปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อโพรเมอริสเต็ม พบในบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าปลายยอดมาเล็กน้อย หรือบริเวณ zone of elongation ของราก มี 3 ชนิด คือ
   - เนื้อเยื่อกำเนิดผิว (protoderm) เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่อยู่นอกสุดที่จะพัฒนาไปเป็นเนื้อเยื่อในชั้นเอพิเดอร์มิส ส่วนใหญ่เซลล์เรียงตัวกันชั้นเดียว
   - เนื้อเยื่อเจริญพื้น (ground meristem) เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่จะเจริญเติบโตและเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนื้อเยื่อถาวรในชั้นคอร์เท็กซ์
   - เนื้อเยื่อเจริญโพรแคมเบียม (procambium) เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่จะเจริญเติบโตและเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนื้อเยื่อลำเลียง ประกอบด้วย 1° phloem, 1° xylem ทั้งนี้ในรากโพรแคมเบียมมีการแบ่งเซลล์และพัฒนาไปเป็นเนื้อเยื่อในชั้นเพอริไซเคิล (pericycle) ได้
3. เนื้อเยื่อเจริญขั้นทุติยภูมิ (secondary meristem) หรือการเจริญขั้นที่ 2 เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่เจริญมาจากเนื้อเยื่อเจริญขั้นปฐมภูมิ พบในพืชใบเลี้ยงคู่ รวมทั้งใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด มี 2 ชนิด คือ
   - วาสคิวลาร์แคมเบียม (vascular cambium) เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างไซเล็มและโฟลเอ็ม โดยจะทำหน้าที่แบ่งเซลล์เพื่อสร้าง 2° phloem, และ 2° xylem
   - คอร์กแคมเบียม (cork cambium) เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่เกิดมาจากการแบ่งเซลล์ของพาเรงคิมา โดยจะแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเนื้อเยื่อถาวรคือเนื้อเยื่อคอร์ก (cork cell) มักพบอยู่ในเปลือกไม้เพื่อห่อหุ้มส่วนของลำต้น

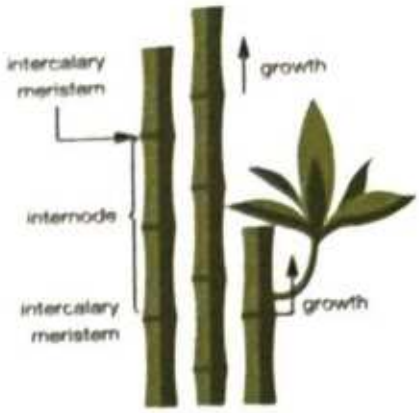


▲ (Cr. weebly.com)



ภาพนี้คือ ปลายราก root apical meristem

▲ (Cr. amazonaws.com)



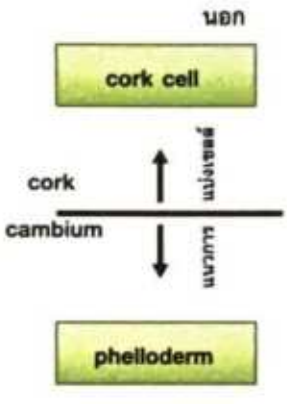
▸ สรุปการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพืชโดยทั่วไป

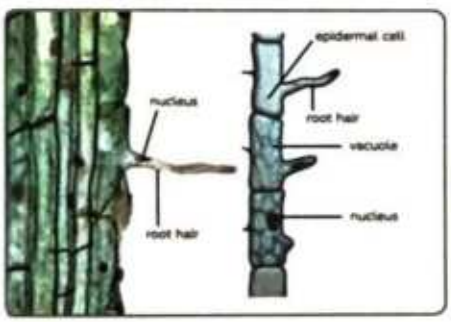
เนื้อเยื่อเจริญ	เนื้อเยื่อเจริญปฐมภูมิ	เนื้อเยื่อถาวรปฐมภูมิ		ชนิดของเซลล์	ระบบเนื้อเยื่อ
เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย (apical meristem)	เนื้อเยื่อกำเนิดผิว (protoderm)	เนื้อเยื่อผิว (epidermis)		▸ เซลล์ผิว (epidermal cell) ▸ เซลล์คุม (guard cell) ▸ เซลล์ขนราก (root hair)	ระบบเนื้อเยื่อผิว (dermal tissue system)
	เนื้อเยื่อเจริญพื้น (ground meristem)	คอร์เทกซ์ (cortex)		▸ เซลล์พาเรงคิมา (parenchyma cell) ▸ เซลล์คอลเลงคิมา (collenchyma cell) ▸ เซลล์สเกลอเรงคิมา (sclerenchyma cell)	ระบบเนื้อเยื่อพื้น (ground tissue system)
		เอนโดเดอร์มิส (endodermis) (ถ้ามี)		▸ เซลล์ของเอนโดเดอร์มิส (endodermal cell)	
		สตีล (stele) (ถ้ามี)	เพอริไซเคิล (pericycle)	▸ เซลล์พาเรงคิมา (parenchyma cell)	
			พิธ (pith)	▸ เซลล์พาเรงคิมา (parenchyma cell)	
	เนื้อเยื่อเจริญโพรแคมเบียม (procambium)	สตีล (stele)	ไซเล็ม (xylem)	▸ เซลล์เทรคีด (tracheid cell) ▸ เวสเซลอีลิเมนต์ (vessel element) ▸ ไซเล็มพาเรงคิมา (xylem parenchyma) ▸ ไฟเบอร์ของไซเล็ม (xylem fiber)	ระบบเนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissue system)
			โฟลเอ็ม (phloem)	▸ เซลล์คอมพาเนียน (companion cell) ▸ ซีฟทิวบ์เมมเบอร์ (sieve tube member) ▸ โฟลเอมพาเรงคิมา (phloem parenchyma) ▸ ไฟเบอร์ของโฟเล็ม (phloem fiber)	

เนื้อเยื่อถาวร (permanent tissue)

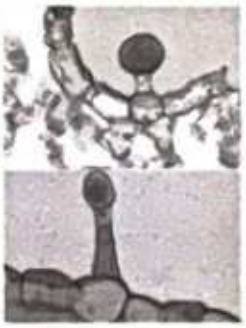
เนื้อเยื่อถาวรเชิงเดี่ยว (simple permanent tissue) กลุ่มเซลล์ชนิดเดียวกัน ทำหน้าที่เดียวกัน แบ่งออกเป็น

- เอพิเดอร์มิส (epidermis) อยู่ด้านนอกสุด เซลล์มักเรียงตัวเพียงชั้นเดียวไม่มีคลอโรพลาสต์ อาจเปลี่ยนไปเป็น
  - ขน (trichome) หรือต่อม (gland)
  - ที่รากเอพิเดอร์มิสจะยื่นออกไปเป็นเซลล์ขนราก (root hair) เพื่อดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ ขนรากไม่ใช่รากที่แท้จริงเพราะไม่มีท่อลำเลียงสาร
  - เซลล์คุม (guard cell) ควบคุมการเปิด-ปิดปากใบ ภายในมีคลอโรพลาสต์
- คอร์ก (cork) หรือเฟลเลม (phellem) เกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสออกด้านนอกของคอร์กแคมเบียม หรือเฟลโลเจน (phellogen) เมื่อโตเต็มที่โพรโทพลาซึมและเยื่อหุ้มเซลล์จะสลาย ผนังเซลล์มีซูเบอรินและคิวทินสะสมน้ำจึงผ่านไปไม่ได้
- เฟลโลเดิร์ม (phelloderm) ผนังเซลล์เป็นเซลลูโลสไม่มีซูเบอริน เกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเข้าด้านในของคอร์กแคมเบียม



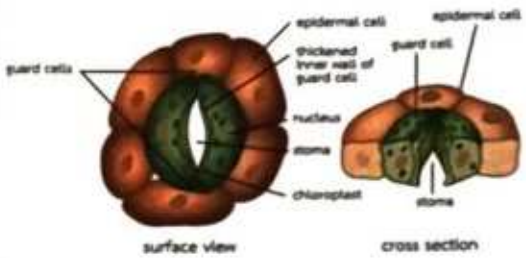


▲ ขนราก (root hair)



▲ ต่อม (gland)

▲ ขน (trichome)



▲ เซลล์คุมที่ปากใบ (guard cell)

▲ (Cr. weebly.com, scielo.br และ quora.com)

- เนื้อเยื่อถาวรเชิงเดี่ยวที่ทำหน้าที่อยู่ในระบบเนื้อเยื่อพื้น (**จำว่า 3 ที่น้องตระกูลศิมา ได้แก่ พาเรงศิมา คอลเลงศิมา สเกลอเรงศิมา**)

ชนิดเซลล์	ลักษณะ	ตำแหน่งที่พบ	หน้าที่
เซลล์พาเรงศิมา (parenchyma cell)	เป็นเซลล์ที่มีชีวิต ผนังเซลล์แบบปฐมภูมิบางเสมอกัน มีหลายรูปร่าง เช่น ค่อนข้างกลม ทรงกระบอก มาเรียงชิดติดกันจนอาจเกิดช่องว่างได้ *เป็นเนื้อเยื่อถาวรชนิดเดียวที่สามารถแบ่งเซลล์เจริญไปเป็นเนื้อเยื่อเจริญอย่างอื่นได้ เช่น เป็น pericycle เกิดรากแขนง หรือต่อมสร้างสารบางอย่าง*	คอร์เทกซ์ พิธ ไซเล็ม โฟลเอ็ม มีไซฟิลล์	▸ สะสมอาหารพวกแป้ง โปรตีน และไขมัน ▸ ถ้ามีคลอโรพลาสต์อยู่ภายในจะทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง (chlorenchyma) ▸ ในพืชวงศ์ถั่วรวมกลุ่มกันเป็นพัลไวนัส (pulvinus) เกี่ยวข้องกับการหุบใบกางใบ ▸ ถ้าอยู่ในไซเล็มและโฟลเอ็มจะทำหน้าที่ลำเลียงสาร
เซลล์คอลเลงศิมา (collenchyma cell)	เป็นเซลล์ที่มีชีวิต ผนังเซลล์แบบปฐมภูมิหนาไม่สม่ำเสมอกันโดยส่วนที่หนาจะพบตามมุมเซลล์เนื่องจากมีสารพวกเพกทินสะสม แวคิวโอลมีขนาดใหญ่จนเบียดไซโทพลาซึมและนิวเคลียสไปอยู่ชิดขอบเซลล์	อยู่ตามเส้นกลางใบ ก้านใบ คอร์เทกซ์ตามมุมหรือขอบของลำต้น	▸ ให้ความแข็งแรงแก่พืชในการเจริญขั้นแรก
เซลล์สเกลอเรงศิมา (sclerenchyma cell)	เกิดใหม่เป็นเซลล์มีชีวิต แต่เมื่อโตเต็มวัยเป็นเซลล์ไม่มีชีวิต ผนังเซลล์มีทั้งแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยผนังเซลล์หนามากเนื่องจากมีสารพวกลิกนินสะสมอยู่ (ติดสีแดงของสีย้อมซาฟรานิน) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ		
	1. ไฟเบอร์ (fiber) ลักษณะเรียวยาว แหลมหัวท้าย มีความเหนียวยืดหยุ่นมากมักอยู่รวมเป็นกระจุก ช่องว่างภายในเซลล์แทบไม่มี หรือมีขนาดแคบมากเรียก ลูเมน (lumen)	▸ เนื้อไม้ เปลือกไม้ เส้นใยต่างๆ เนื้อเยื่อไซเล็มและโฟลเอ็ม	▸ ไฟเบอร์ให้ความแข็งแรงแก่พืช ช่วยพยุงลำต้นให้ตั้งตรง เป็นองค์ประกอบในเส้นใยป่าน ปอ ใช้ทอผ้า
	2. สเกลอรีด (sclereid) หรือสโตนเซลล์ (stone cell) ลักษณะป้อมสั้น อาจกลมหรือเหลี่ยมเป็นท่อนๆ พบตามบริเวณที่แข็งมากๆ	▸ ส่วนที่แข็งของเปลือกต้นไม้ เช่น ยางพารา หรือที่เปลือกหุ้มเมล็ด หรือเนื้อผลไม้ที่สากๆ เช่น ฝรั่ง สาลี่ หรือเปลือกเมล็ดและผล	▸ ให้ความแข็งแรงแก่ท่อลำเลียง ▸ ให้ความแข็งแรงแก่พืช

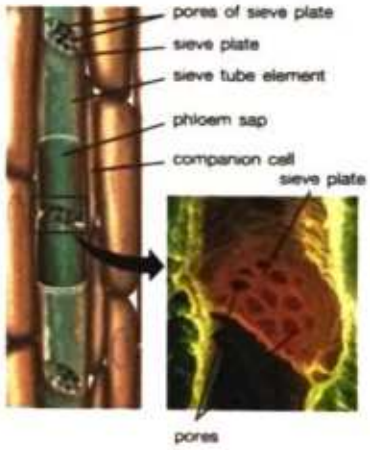
▲ (Cr. wikimedia.org และ wisc.edu)

เนื้อเยื่อถาวรเชิงซ้อน (complex permanent tissue) เป็นเนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยเซลล์หลายชนิด ทำหน้าที่รวมกัน

ไซเล็ม (xylem) ลำเลียงน้ำและเกลือแร่ ประกอบด้วย 4 เซลล์ คือ			
เทรคีด (tracheid)	**เวสเซลเมมเบอร์ (vessel member)**	**พาเรงคิมาของไซเล็ม (xylem parenchyma)**	**ไฟเบอร์ของไซเล็ม (xylem fiber)**
▸ เซลล์ยาว แบน หัวท้ายมน ไม่มีช่องเปิดที่ปลายเซลล์ ▸ ผนังเซลล์หนา มีลิกนินสะสม แต่สะสมไม่สม่ำเสมอเกิดเป็นลวดลายต่างๆ ▸ ส่วนที่บางๆ เป็นรอยเว้า เรียก พิต (pit) เป็นบริเวณที่น้ำผ่านจากเทรคีดหนึ่งไปยังอีกเทรคีดหนึ่ง ▸ เมื่อโตเต็มที่โพรโทพลาซึมสลายทำให้เกิดช่อง (lumen) ตรงกลาง ▸ พบในพวกเฟิร์น จิมโนสเปิร์ม พบในพืชดอกน้อย **	▸ เซลล์สั้นกว่าเทรคีด แต่กว้างกว่า ▸ ผนังเซลล์มีลิกนินสะสม แต่สะสมไม่สม่ำเสมอเกิดเป็นลวดลายต่างๆ ▸ เซลล์เรียงต่อกันเป็นท่อ หัวท้ายของเซลล์มีช่องเปิด ▸ เมื่อโตเต็มที่โพรโทพลาซึมสลายทำให้เกิดช่อง (lumen) ตรงกลาง ▸ พบในพืชดอกเท่านั้น** ▸ เป็นส่วนหลักในการลำเลียงน้ำและเกลือแร่	▸ เป็นเซลล์มีชีวิตเพียงเซลล์เดียวในไซเล็ม ▸ เซลล์อ่อนนุ่ม ผนังบาง อมน้ำ ทำหน้าที่สะสมอาหาร และลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ	▸ เซลล์ไม่มีชีวิต เซลล์เรียวยาว ผนังหนาประกอบด้วยลิกนิน เพิ่มความแข็งแรงให้ไซเล็ม
โฟลเอ็ม (phloem) ลำเลียงอาหารหรืออินทรียสาร ประกอบด้วย 4 เซลล์ คือ			
ซีฟทิวบ์ เมมเบอร์ (sieve tube member)	**เซลล์คอมพาเนียน (companion cell)**	**พาเรงคิมาของโฟลเอ็ม (phloem parenchyma)**	**ไฟเบอร์ของโฟลเอ็ม (phloem fiber)**
▸ กลุ่มเซลล์หลักในการลำเลียงอาหาร เป็นเซลล์ที่มีชีวิต แต่ไม่มีนิวเคลียสเมื่อโตเต็มที่ ▸ เซลล์รูปร่างทรงกระบอก หัวท้ายเปิดออกมีช่องทะลุเป็นรูช่องตะแกรง เรียก sieve plate เซลล์ต่อกันเป็นท่อยาว	▸ เป็นเซลล์ที่มีชีวิต เซลล์ขนาดเล็กอยู่ข้างๆ ซีฟทิวบ์เมมเบอร์ ▸ ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำตาลซูโครสเข้าซีฟทิวบ์เมมเบอร์ เพื่อส่งน้ำตาลซูโครสไปยังรากหรือผล	▸ เป็นเซลล์มีชีวิต ▸ ทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร	▸ เซลล์ไม่มีชีวิตเพียงชนิดเดียวในโฟลเอ็ม ▸ ให้ความแข็งแรงแก่โฟลเอ็ม

Tracheids and vessels (colorized SEM)

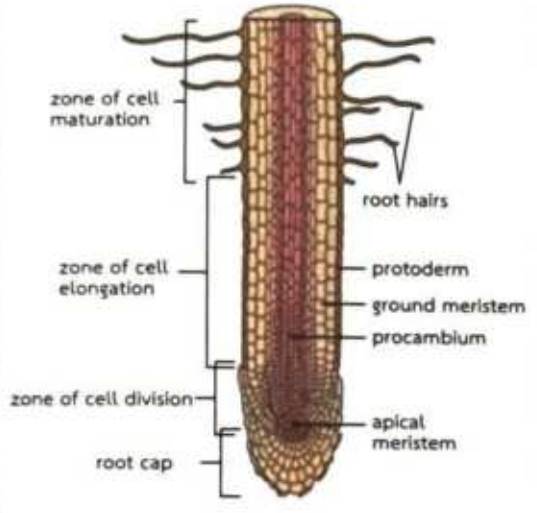
xylem



11.2 โครงสร้างและหน้าที่ของราก

หน้าที่ของราก คือ ดูดและลำเลียงน้ำ เกลือแร่ในดินไปยังส่วนต่างๆ ยึดพยุงลำต้นให้มั่นคง อาจทำหน้าที่พิเศษ เช่น เก็บสะสมอาหาร (แครอท) สังเคราะห์ด้วยแสง (รากกล้วยไม้มีคลอโรฟิลล์) รากหายใจ (ลำพู น โกงกาง แสม)

โครงสร้างของปลายรากพืช แบ่งออกเป็น 4 บริเวณดังนี้



zone of cell maturation เป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนสภาพ และเจริญไปเป็นเนื้อเยื่อต่างๆ เกิดเนื้อเยื่อลำเลียง (xylem และ phloem) และเซลล์ขนราก (root hair cell) ซึ่งเป็นส่วนที่ยื่นออกจาก epidermis เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ

zone of cell elongation เป็นบริเวณที่เซลล์มีการยืดขยายขนาดตามยาว แต่ไม่มีการแบ่งเซลล์ เซลล์ประกอบด้วยแวคิวโอล 1-2 แวคิวโอล

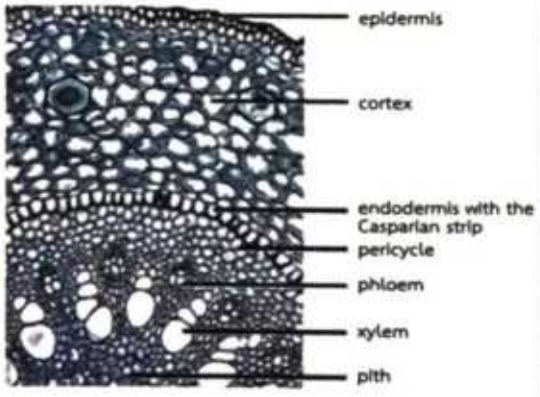
zone of cell division ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเจริญปลายราก (root apical meristem) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

root cap หรือหมวกราก ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาหลายชั้นที่ปกคลุม เพื่อป้องกันอันตรายแก่รากในการแทรกตัวลึกลงไปในดิน ทั้งยังเป็นบริเวณที่มีการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลกด้วย

โครงสร้างภายในของรากพืช

เรียงลำดับเนื้อเยื่อจากนอกสุดไปในสุดของรากพืช มี 3 ชั้นคือ 1. ชั้น epidermis 2. ชั้น cortex 3. ชั้น stele

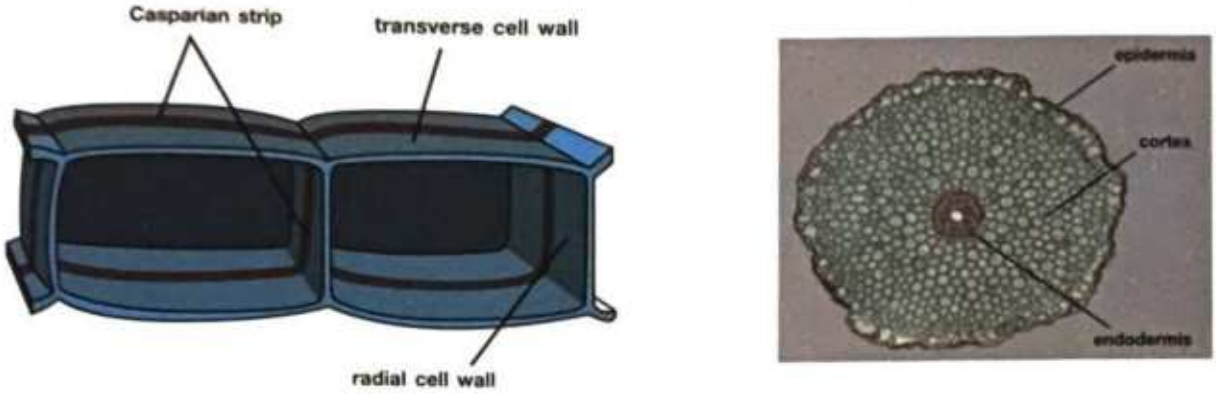
ชั้น epidermis	ชั้นนอกสุด เซลล์เรียงเป็นชั้นเดียวเรียงชิดติดกัน มีการสร้างขนราก
ชั้น cortex	ส่วนใหญ่เป็นพาเรงคิมา มีการสะสมอาหาร (แป้ง)
เอนโดเดอร์มิส (endodermis)	มีการสะสมของซูเบอรินหรือลิกนินทำให้เห็นเป็นแถบ (Casparian strip) น้ำและอาหารผ่านไปไม่ได้สะดวก
ชั้น stele	
เพริไซเคิล (pericycle)	ทำให้เกิดรากแขนง (lateral root)
มัดท่อลำเลียง (vascular bundle)	ประกอบด้วย xylem และ phloem
ไส้ไม้ หรือพิธ (pith)	อยู่ใจกลางราก ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพาเรงคิมา



▲ (Cr. gridgit.com)

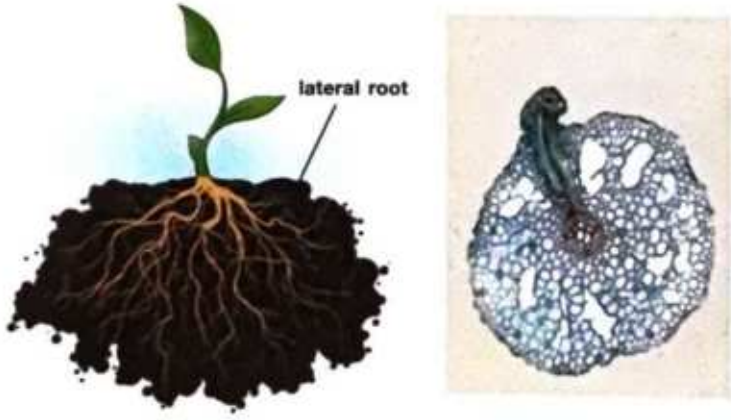
โครงสร้างภายในของราก

- ชั้น epidermis อยู่นอกสุด มีการเรียงตัวของเซลล์เพียงชั้นเดียว ผนังเซลล์บาง ไม่มีคลอโรพลาสต์และบางเซลล์เปลี่ยนเป็นเซลล์ขนราก (root hair cell)
- ชั้น cortex อยู่ระหว่างชั้น epidermis และ stele อยู่นอกสุด ประกอบด้วยเนื้อเยื่อพื้น (3 พี่น้องตระกูลคิมา) คือ พาเรงคิมา คอลเลงคิมา และสเกลอเรงคิมา แต่ส่วนใหญ่เป็นพาเรงคิมาที่มีการสะสมแป้ง



▲ (Cr. uwc.ac.za)

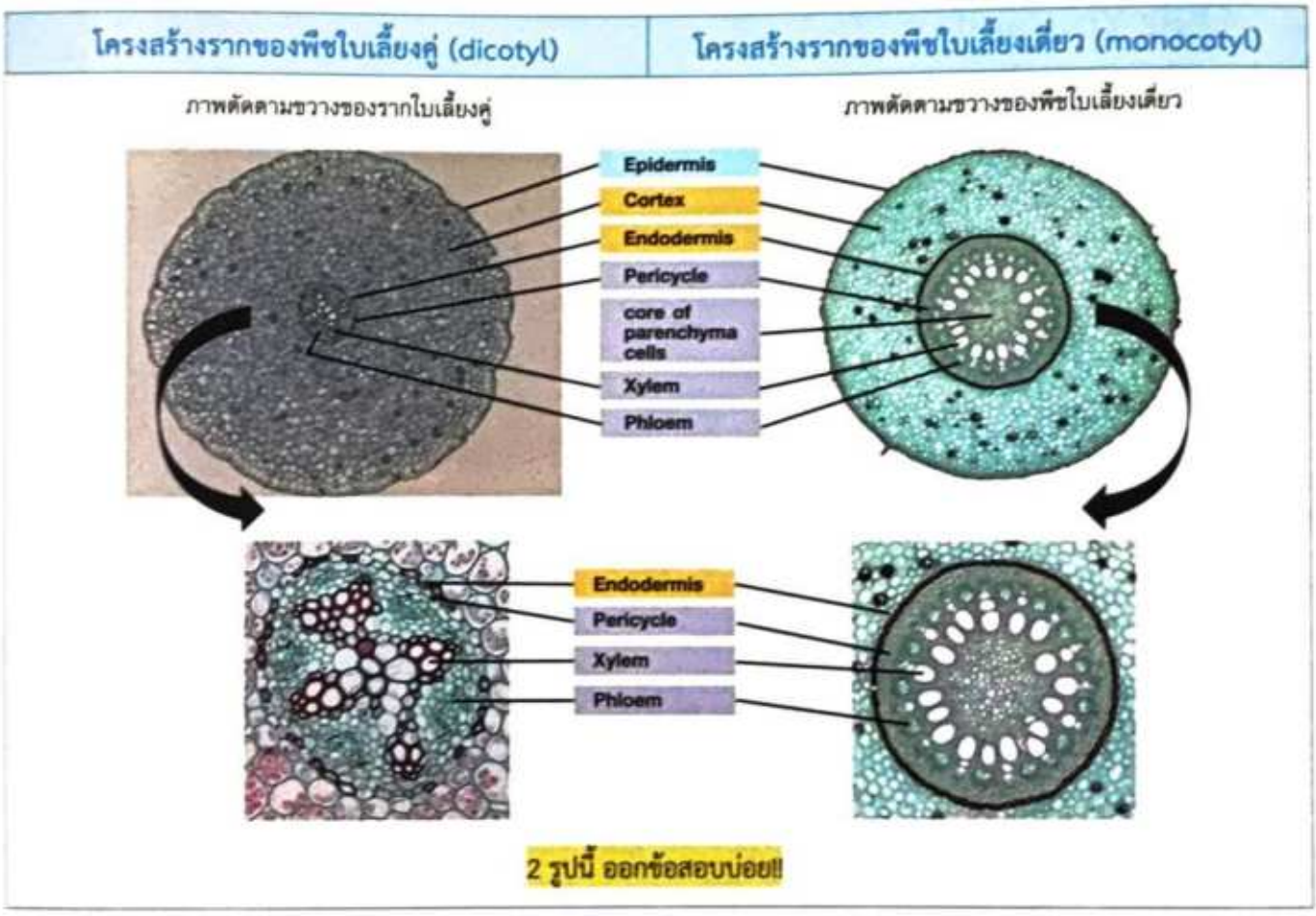
  - ด้านในสุดของ cortex เซลล์จะเรียงกันเป็นแถวเรียก เอนโดเดอร์มิส (endodermis) เป็นบริเวณที่มีการสะสมสารพวกไขมันคือซูเบอริน บางครั้งพบลิกนินด้วยจนเกิดเป็นแถบหนาเรียก แคสพาเรียนสตริพ (Casparian strip) ซึ่งเป็นแถบที่ไม่ยอมให้น้ำและอาหารผ่านไปได้สะดวก (กล่าวคือเซลล์ในชั้นเอนโดเดอมิสเหมือนก้อนอิฐเล็กๆ ส่วนแคสพาเรียนสทริปเหมือนปูนที่ใช้เชื่อมอิฐเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นกำแพง)
- ชั้น stele อยู่ถัดจากชั้นเอนโดเดอร์มิสเข้าไปข้างในประกอบด้วย
  - เพริไซเคิล (pericycle) ส่วนใหญ่เป็นเซลล์พาเรงคิมาที่เรียงเป็นวงโดยรอบ อาจมีหลายชั้นหรือชั้นเดียว ลักษณะพิเศษของเซลล์ชั้นนี้คือ
    1. เป็นเนื้อเยื่อถาวรที่สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นเนื้อเยื่อเจริญและแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เพื่อสร้างรากแขนง (lateral root หรือ secondary root) ออกด้านข้าง รากแขนงพบในใบเลี้ยงคู่เท่านั้น
    2. เพริไซเคิลในรากที่มีการเจริญเติบโตขั้นที่ 2 สามารถเปลี่ยนเป็นเนื้อเยื่อเจริญที่เรียกว่า cork cambium เพื่อสร้างเซลล์คอร์ก (cork cell) แทนที่เนื้อเยื่อผิวเดิมได้
  - มัดท่อลำเลียง (vascular bundle) ประกอบด้วยไซเล็มและโฟลเอ็ม ในใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่มีการจัดเรียงมัดท่อลำเลียงที่แตกต่างกัน
  - ไส้ไม้หรือพิธ (pith) อยู่ส่วนกลางของรากพืช ประกอบด้วยพาเรงคิมา ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะเห็นชัดเจนกว่าพืชเลี้ยงใบคู่



Quiz Yourself

1) เมื่อเกิดพายุฝนและลมแรงทำให้ต้นข้าวล้ม เมื่อผ่านไป 2 3 วัน ส่วนยอดของต้นข้าวยังคงเจริญตั้งตรงปกติ ทั้งนี้เป็นผลมาจากเนื้อเยื่อเจริญข้อใด
   ก. เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย
   ข. เนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ
   ค. เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง
   1. ก 2. ข 3. ก ข 4. ก ข ค

2) การเพิ่มขนาดของลำต้นข้อใดไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของ vascular cambium
   1. ฤาษีผสมและฟักทอง 2. ผักโขมและข้าวฟ่าง
   3. มะเขือเทศและข้าวโพด 4. ข้าวและไผ่

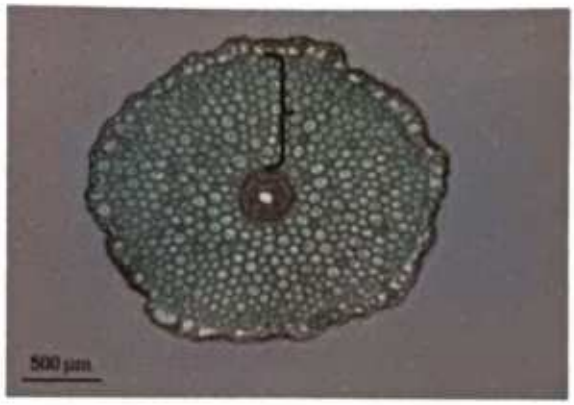


▲ (Cr. weebly.com และ: uwsp.edu)

การเปรียบเทียบรากพืชใบเลี้ยงคู่และใบเลี้ยงเดี่ยว

รากพืชใบเลี้ยงคู่	รากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
1. ไซเล็ม เรียงตัวเป็นแฉกตาว 3-6 แฉก โดยมีโฟลเอ็มแทรกระหว่างแฉก (ให้จำว่า... คนมาเป็นคู่ขอบดูตาว)	1. ไซเล็ม เรียงตัวหลายแฉกมากๆ โดยมีโฟลเอ็มแทรกระหว่างแฉก (ให้จำว่า... มาคนเดียวโดดเดี่ยวขอบดูพลุระเบิด มีหลายแฉก)
2. เอนโดเดอร์มิสและแคสพาเรียนสตริพไม่ชัดเท่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว	2. เอนโดเดอร์มิสและแคสพาเรียนสตริพชัดเจนกว่า
3. เพริไซเคิลเห็นไม่ชัด	3. เห็นเพริไซเคิลชัดเจน
4. มี vascular cambium แทรกทำให้เกิดการเจริญขั้นที่สอง	4. ส่วนใหญ่ไม่มี vascular cambium จึงไม่ทำให้เกิดการเจริญขั้นที่สอง
5. ตรงกลางรากเป็นไซเล็ม (มักไม่พบพิธ)	5. ตรงกลางเป็นพิธ (pith) เห็นชัดเจน

Quiz Yourself



3) บริเวณที่ทำเครื่องหมายประกอบด้วยเนื้อเยื่อพวกใด

ก. parenchyma ข. collenchyma ค. sclerenchyma ง. endodermis

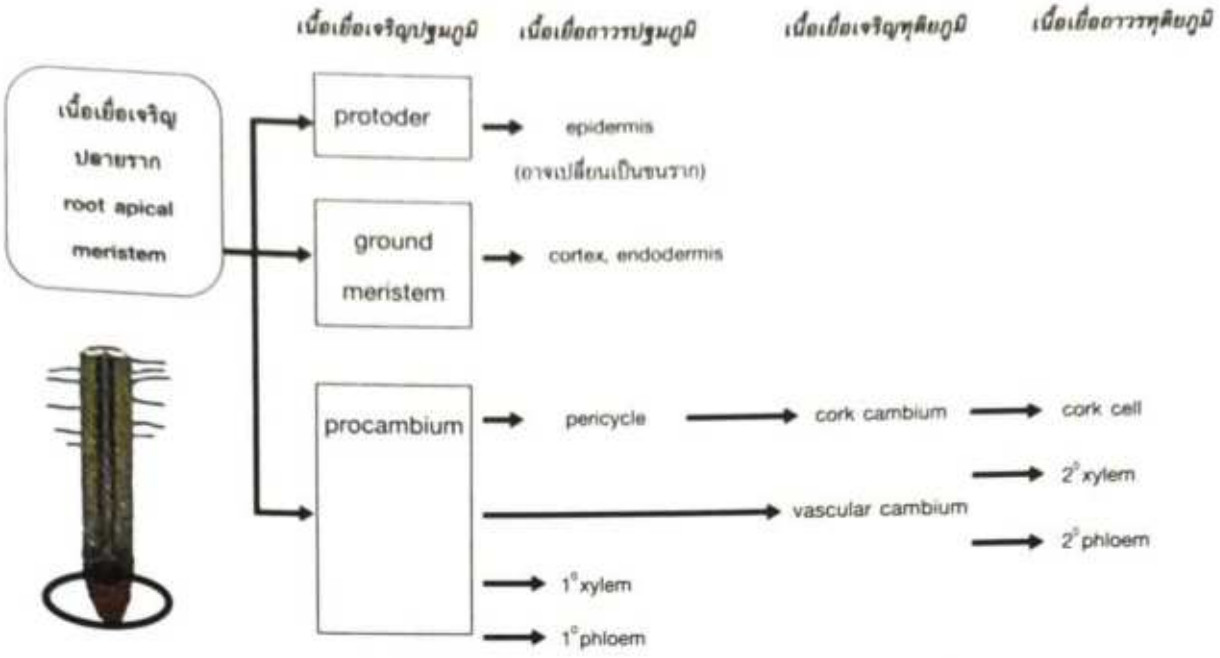
1. ก., ข. และ ค. 2. ก., ค. และ ง. 3. ข., ค. และ ง. 4. ก., ข., ค. และ ง.

4) การเกิดรากใหม่จากรากเดิมของพืชและการเกิดขนราก เกิดจากเนื้อเยื่อใดตามลำดับ

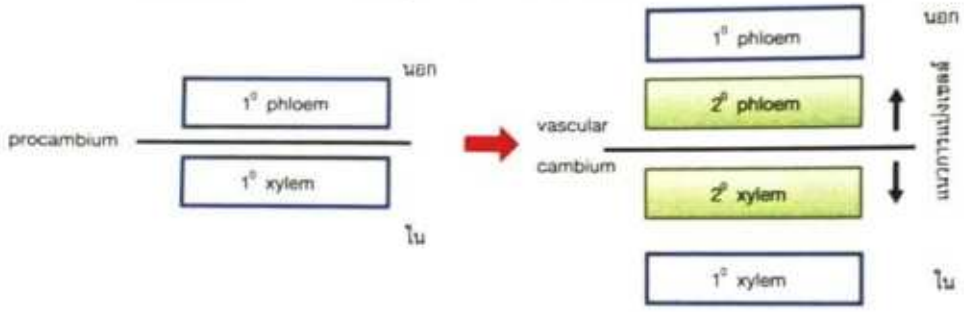
ก. คอร์เทกซ์ ข. เพริไซเคิล ค. เอพิเดอร์มิส ง. เอนโดเดอร์มิส

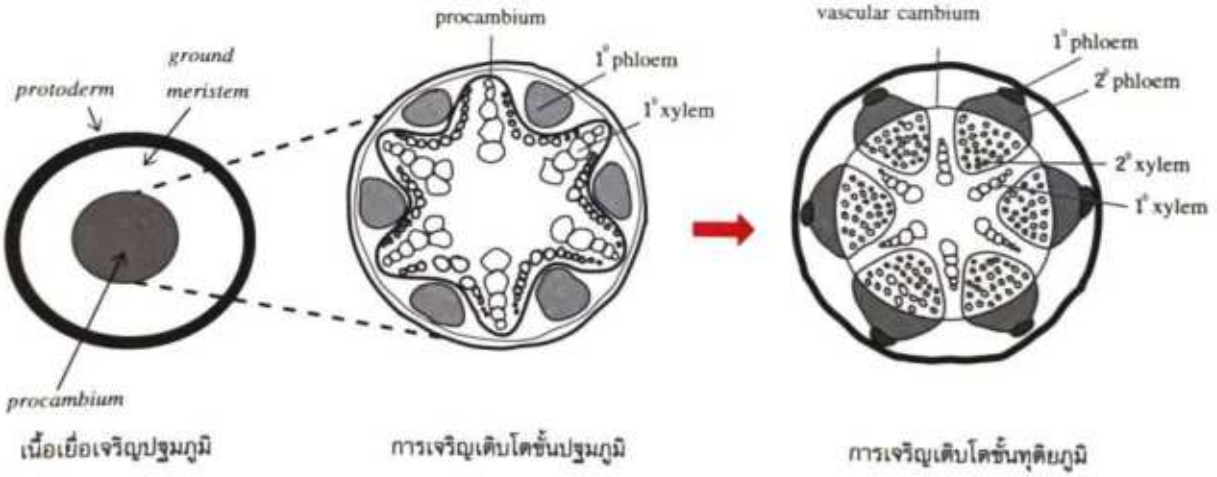
1. ก. และ ข. 2. ข. และ ค. 3. ค. และ ง. 4. ข. และ ง.

การเจริญเติบโตขั้นปฐมภูมิ หรือขั้นแรก (primary growth) เป็นการแบ่งเซลล์ที่เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย (root apical meristem)



การเจริญเติบโตขั้นทุติยภูมิ หรือขั้นที่สอง (secondary growth) เกิดใน**พืชใบเลี้ยงคู่** โดย vascular cambium แบ่งเซลล์ใน 2 ลักษณะ ถ้าแบ่งเข้าด้านในจะเกิด 2° xylem และถ้าแบ่งออกด้านนอกจะเกิด 2° phloem





ชนิดของราก

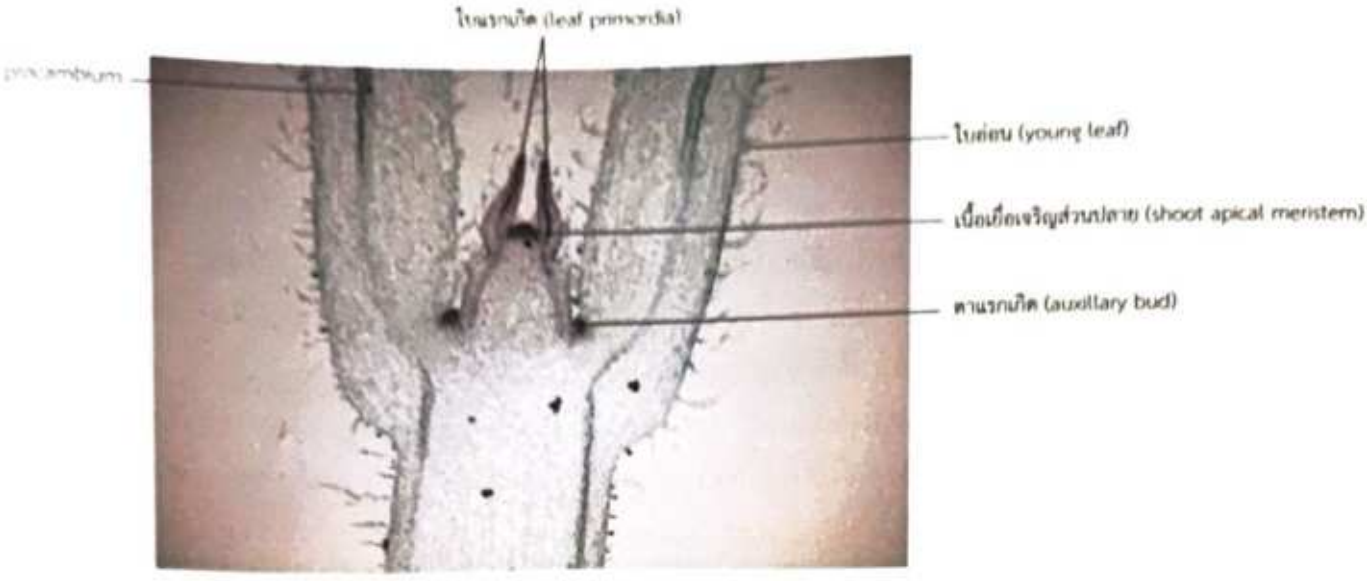
- รากแก้ว (tap root หรือ primary root system) คือ รากที่เจริญออกมาจากแรดิเคิล (radicle) ของเอ็มบริโอ ซึ่งเป็นปลายสุดของเอ็มบริโอ รากแก้วเป็นแกนหลักทำหน้าที่พยุงลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่
- รากของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่แตกออกจากโคนลำต้นทำหน้าที่แทนรากแก้ว เรียกว่า รากฝอย (fibrous root)
- รากแขนง (secondary root) คือ รากที่แตกแขนงออกจากรากแก้ว ทำหน้าที่พยุงลำต้น รวมทั้งดูดน้ำเกลือแร่
- รากวิสามัญ (adventitious root) หรือรากพิเศษ คือรากที่เกิดจากส่วนอื่นๆ ของพืช เช่น เกิดที่ข้อลำต้น หรือรากอากาศของต้นไทร และรากที่แตกออกจากกิ่งปักชำ

หน้าที่พิเศษของราก

ชนิดของราก	รูปร่าง/หน้าที่	พบใน
รากสะสมอาหาร (storage root)	รากอวบใหญ่ ทำหน้าที่สะสมอาหาร	หัวไชเท้า มันเทศ กระชาย มันสำปะหลัง แครอท หัวบีท มันแกว
รากหายใจ (aerial root หรือ pneumatophore)	รากโผล่พ้นดินขึ้นมาหายใจ พบในพืชป่าชายเลน	โกงกาง ลำพู แสม
รากค้ำจุน (prop root หรือ brace root)	รากโผล่ที่โคนต้นเหนือดินแล้วเจริญลงดินเพื่อค้ำจุนและพยุงลำต้น	รากของไทร เดยทะเล และข้าวโพด
รากเกาะ (climbing)	รากที่ยึดลำต้นกับผนัง กำแพง รั้ว	รากของพลู พริกไทย
รากพูพอน (buttress root)	รากที่เกิดจากโคนลำต้น ส่วนที่อยู่ใกล้ระดับผิวดิน แผ่ขยายออกไปเป็นปีกสั้น บางชนิดอาจดันพืชหรือถนนเสียหายได้	รากของต้นงิ้ว รากของตะแบก
รากกาฝาก (parasitic root)	รากที่งอกแทงทะลุเข้าไปในลำต้น ดูดน้ำและแร่ธาตุของต้นอื่นมาให้ตนเอง	รากกาฝาก รากฝอยทอง
รากสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic root)	เป็นรากที่มีสีเขียว (คลอโรฟิลล์) ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง	รากกล้วยไม้

11.3 โครงสร้างและหน้าที่ของลำต้น

โครงสร้างหน้าที่ของลำต้น



โครงสร้างของปลายยอดของพืชใบเลี้ยงคู่ประกอบไปด้วย

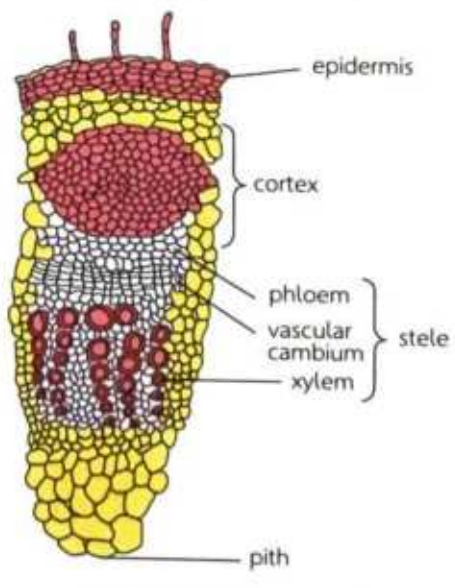
- เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด (shoot apical meristem) อยู่ปลายสุดของลำต้น โดยจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสตลอดเวลาเพื่อพัฒนาเป็นลำต้น ใบ และตาตามซอก (axillary bud)
- ใบแรกเกิด (leaf primordia) ใบแรกเกิดจะพัฒนาเป็นใบอ่อนในที่สุด
- ใบอ่อน (young leaf) เป็นใบที่ยังมีการแปรสภาพต่อไป ใบอ่อนจะยังไม่กางเต็มที่ ตรงซอกใบอ่อนจะมีการพัฒนาของตาซอกใบ

"ที่บริเวณยอดอ่อนๆ มีฮอร์โมนออกซิน กระตุ้นเนื้อเยื่อให้เจริญเติบโตสูงขึ้น"

โครงสร้างภายในของลำต้นพืช

เรียงลำดับเนื้อเยื่อจากนอกสุดไปในสุดของลำต้นพืช มี 3 ชั้น คือ 1. ชั้น epidermis → 2. ชั้น cortex → 3. ชั้น stele

ชั้น epidermis
ชั้น cortex
ชั้น stele
phloem
vascular cambium
xylem
pith ไส้ไม้



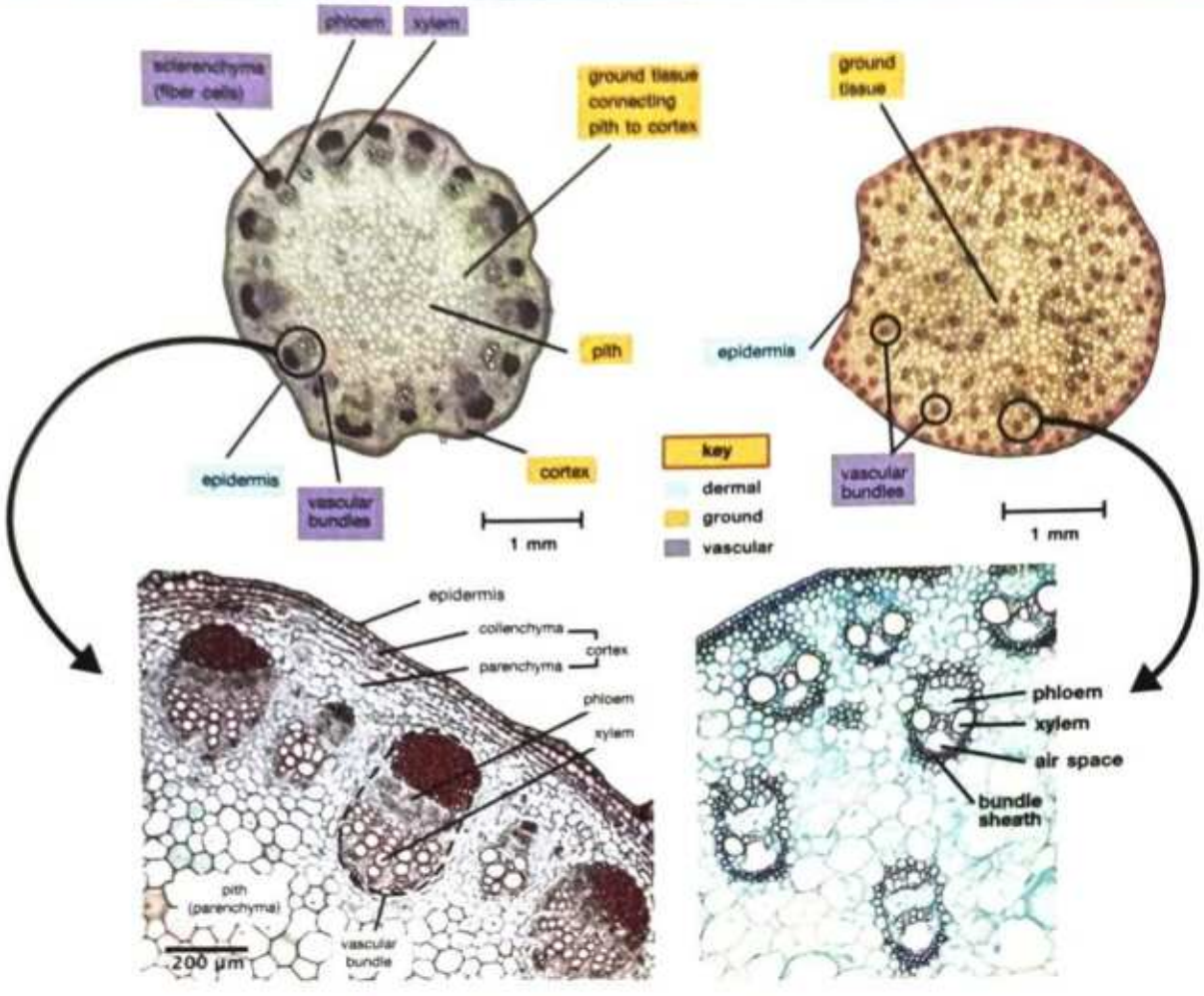
▲ (Cr. askiitians.com)

- ชั้น epidermis อยู่นอกสุด อาจเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์คุม หนาม ต่อมและขน
- ชั้น cortex อยู่ระหว่างชั้น epidermis และ stele ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อพืชหลายชนิด เช่น พาเรงคิมา คอลเลงคิมา สเกลอเรงคิมา แต่ส่วนใหญ่เป็นพาเรงคิมาและจะพบคอลเลงคิมาตามสันของลำต้น ชั้นคอร์เทกซ์ในลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะมีไม่กี่ชั้นและเห็นไม่ชัด ส่วนในใบเลี้ยงคู่จะเห็นหลายชั้นและเห็นชัดเจน (มี fiber ย้อมติดสีแดงชัดเพื่อให้ความแข็งแรง)
- ชั้น stele เป็นบริเวณที่ถัดเข้ามาจากชั้นคอร์เทกซ์ อาจแบ่งไม่ชัดเจน ประกอบด้วย
  - มัดท่อลำเลียง (vascular bundle) ประกอบด้วย เนื้อเยื่อไซเล็มและโฟลเอ็ม โดยไซเล็มจะอยู่ด้านในและโฟลเอ็มจะอยู่ด้านนอก การเรียงตัวของมัดท่อลำเลียงใช้แบ่งพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่
  - vascular cambium เป็นเนื้อเยื่อเจริญที่อยู่ระหว่างไซเล็มกับโฟลเอ็ม เรียงเป็นวงเห็นชัดในพืชใบเลี้ยงคู่ ไม่พบในใบเลี้ยงเดี่ยว ทำหน้าที่สร้าง 2° ไซเล็ม และ 2° โฟลเอ็ม
  - ไส้ไม้ (pith) อยู่ในสุดหรือตรงกลางลำต้น ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพาเรงคิมา ทั้งนี้ใจกลางลำต้นที่เป็นพิธและเนื้อเยื่ออื่นๆ อาจสลายไปกลายเป็นช่องกลวง เรียก pith cavity พบในบริเวณปล้องหญ้า และไผ่

เปรียบเทียบโครงสร้างภายในของรากและลำต้น

ชั้นเนื้อเยื่อ	ราก	ลำต้น
epidermis	▸ มีขนราก (root hair)	▸ อาจมีขน (trichome) หรือต่อม (gland)
cortex	▸ เอนโดเดอร์มิสเห็นชัดเจน ▸ ชั้นคอร์เทกซ์กว้าง แต่จะแคบลงเมื่อมีการเจริญขั้นที่สอง ▸ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพาเรงคิมา	▸ เห็นเอนโดเดอร์มิสไม่ชัดเจน ▸ ชั้นคอร์เทกซ์แคบ ▸ ประกอบด้วยหลายเซลล์ (พาเรงคิมา คอลเลงคิมา สเกลอเรงคิมา)
stele	▸ ชั้นสตีลแคบ แต่จะกว้างขึ้นเมื่อมีการเจริญขั้นที่สอง ▸ มีเพริไซเคิลที่สร้างรากแขนงและ cork cambium ▸ มัดท่อลำเลียงมีไซเล็มเรียงเป็นแฉกและมีโฟลเอ็มแทรก ▸ เห็นพิธชัดในใบเลี้ยงเดี่ยว	▸ ชั้นสตีลกว้างกว่า ไม่มีเพริไซเคิล ▸ มัดท่อลำเลียงอยู่เป็นกลุ่มเดียวกัน ไซเล็มอยู่ข้างในโฟลเอ็มอยู่ข้างนอก ▸ เห็นพิธชัดในใบเลี้ยงคู่

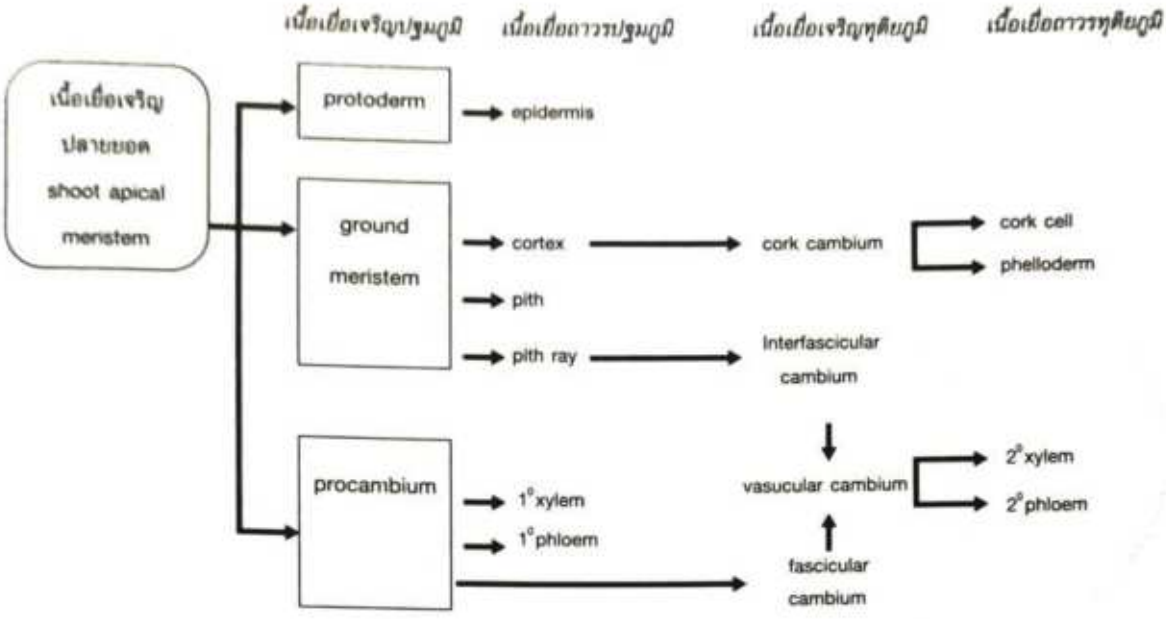
โครงสร้างลำต้นของพืชใบเลี้ยงคู่ (dicotyl)	โครงสร้างลำต้นของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyl)



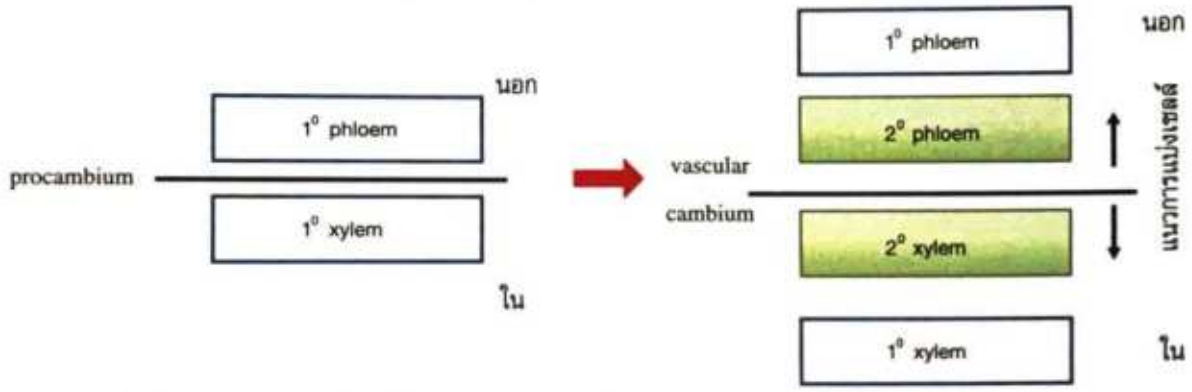
▲ (Cr. miami.edu และ amazonaws.com)

ลำต้นของพืชใบเลี้ยงคู่	ลำต้นของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
1. มัดท่อลำเลียงเรียงเป็นระเบียบในแนวรัศมีเดียวกันรอบลำต้น	1. มัดท่อลำเลียงกระจัดกระจายไปทั่ว (จำว่า.... หน้าเอเลี่ยนกระจัดกระจาย)
2. ส่วนใหญ่มีวาสคิวลาร์แคมเบียมทำให้แบ่งเซลล์เพื่อการเจริญเติบโตขั้นที่สอง	2. ส่วนใหญ่จะไม่มีวาสคิวลาร์แคมเบียม
3. คอร์เทกซ์เห็นรวมกับโฟลเอ็ม	3. ชั้นคอร์เทกซ์ชั้นบางๆ ไม่มีการรวมตัวเป็นเปลือกไม้

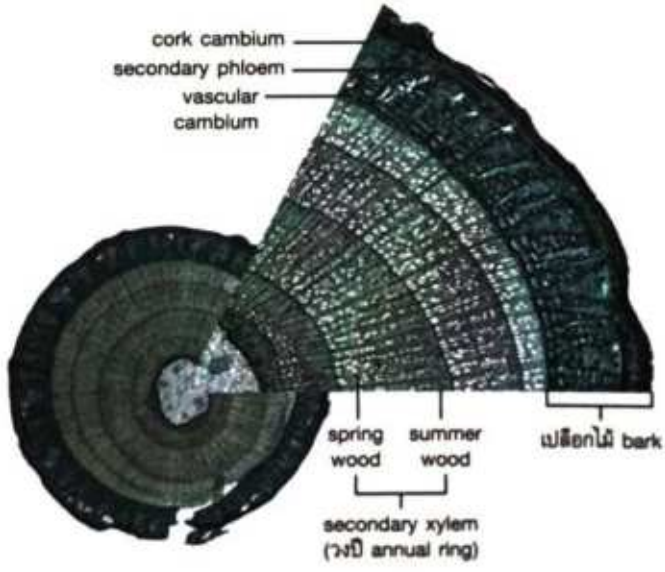
การเจริญเติบโตขั้นปฐมภูมิ หรือขั้นแรก (primary growth) เป็นการแบ่งเซลล์ที่เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอด (shoot apical meristem)



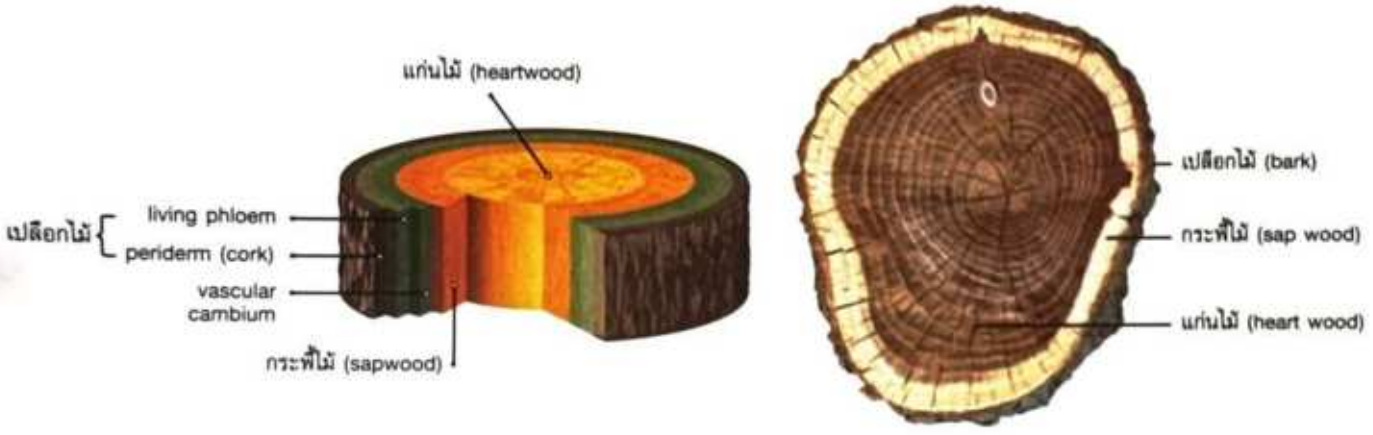
การเจริญเติบโตขั้นทุติยภูมิ หรือขั้นที่สอง (secondary growth) เกิดใน**พืชใบเลี้ยงคู่** โดย vascular cambium แบ่งเซลล์ใน 2 ลักษณะ ถ้าแบ่งเข้าด้านในจะเกิด 2° xylem และถ้าแบ่งออกด้านนอกจะเกิด 2°phloem



การสร้างเนื้อไม้ (wood) **เปลือกไม้** (bark) **และวงปี** (annual ring)



- เมื่อพืชใบเลี้ยงคู่มีอายุมากขึ้น vascular cambium จะแบ่งเซลล์เพื่อสร้าง secondary phloem ด้านออกด้านนอก และ secondary xylem เข้าด้านใน
  - โฟลเอ็มชุดที่ 2 (secondary phloem) ที่เกิดใหม่จะดันโฟลเอ็มเดิมออกไปด้านนอกคอร์เทกซ์จนเกิดการรวมกันเป็น**เปลือกไม้ (bark)** ซึ่งจะประกอบไปด้วย cork cambium, cork cell และ phelloderm
  - ไซเล็มชุดที่ 2 (secondary xylem) ที่เกิดใหม่จะดันไซเล็มเดิมเข้าไปด้านในขั้นพิธจนเกิดเป็น**วงปี (annual ring)** สามารถแบ่งวงปีออกเป็น 2 ส่วน คือ
    1. spring wood หรือ early wood ไซเล็มชุดที่ 2 สร้างในช่วงที่มีน้ำมากและมีความอุดมสมบูรณ์ ขนาดของไซเล็มจะใหญ่ ผนังบางไม่แข็งแรง
    2. summer wood หรือ late wood ไซเล็มชุดที่ 2 สร้างขึ้นช่วงน้ำน้อย ฤดูแล้ง ขนาดไซเล็มมีขนาดเล็ก ผนังหนาและมีความแข็งแรงมาก
- เมื่อศึกษาไม้ที่มีอายุมากจะเห็นวงปีซ้อนกันมากมายและเห็นการเจริญของเนื้อไม้ (wood) แบ่งออกเป็น



  - แก่นไม้ (heart wood) เป็นส่วนใจกลางของเนื้อไม้มีสีคล้ำซึ่งเป็นไซเล็มที่อยู่ด้านในมีอายุมากจะมีสารพวกน้ำมัน เรซินหรือแทนนิน เข้าไปอุดตันท่อลำเลียงน้ำจึงทำให้บริเวณนี้ไม่สามารถลำเลียงน้ำได้ แต่ทำหน้าที่ค้ำจุนลำต้น
  - กระพี้ (sap wood) เป็นส่วนเนื้อไม้ที่อยู่ถัดออกมาจากแก่นไม้ มีสีจางเป็นส่วนของไซเล็มที่ยังทำหน้าที่ลำเลียงน้ำได้

****แก่นไม้ + กระพี้ไม้ = เนื้อไม้ = secondary xylem****

ประโยชน์ของวงปี คือ บอกอายุต้นไม้ บอกลักษณะภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน (ถ้าวงปีกว้างแสดงว่าปีนั้นน้ำมาก ถ้าวงปีแคบแสดงว่าปีนั้นน้ำน้อย)

- **พืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะเห็นปล้องที่ลำต้นชัดเจน ส่วนใบเลี้ยงคู่มีคอร์กมาหุ้มจึงปรากฏข้อปล้องไม่ชัด***
- **บางครั้งอาจพบรอยแตกในชั้น cork เรียกรอยแตกนี้ว่า เลนติเซล (lenticel) เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืช**

หน้าที่พิเศษของลำต้น

- ลำต้นเหนือดิน

ชนิดของลำต้น	รูปร่าง/หน้าที่	พบใน
ลำต้นเลื้อยขนานไปกับผิวดินและผิวน้ำ (prostrate หรือ creeping stem) หรือเรียกว่า ไหล	พืชพวกนี้มีลำต้นอ่อนตั้งตรงไม่ได้ จึงเลื้อยขนานกับผิวดินและน้ำ บริเวณข้อมีรากแตกเป็นแขนงปักลงดินเพื่อยึดลำต้น เรียก stolon หรือ runner ภาษาไทยเรียกว่า ไหล	ผักบุ้ง หญ้า บัวบก แตงโม ผักตบชวา สตรอว์เบอร์รี่ ผักแว่น
ลำต้นเลื้อยขึ้นที่สูง (climbing stem หรือ climber) เป็นพืชลำต้นอ่อนแต่ไต่ขึ้นที่สูงไปตามหลักหรือต้นไม้ที่ติดกัน	ลำต้นพันหลักเป็นเกลียวขึ้นไป (twining stem)	ต้นถั่ว ฝอยทอง บอระเพ็ด
	ลำต้นเปลี่ยนเป็นมือเกาะ (tendril)	ต้นบวบ น้ำเต้า ฟักทอง องุ่น แตงกวา ตำลึง พวงชมพู ลิ้นมังกร
	ใช้รากพัน (root climber) เป็นลำต้นไต่ขึ้นที่สูง โดยงอกรากออกมาบริเวณข้อยึดกับหลัก	ต้นพลู พลูด่าง พริกไทย
ลำต้นเปลี่ยนเป็นมีลักษณะคล้ายใบ	ลำต้นเปลี่ยนเป็นหนาม (stem thorn)	เฟื่องฟ้า มะนาว มะกรูด กุหลาบ
	ลำต้นคล้ายใบ (cladode)	สนทะเลหรือสนประดิพัทธ์

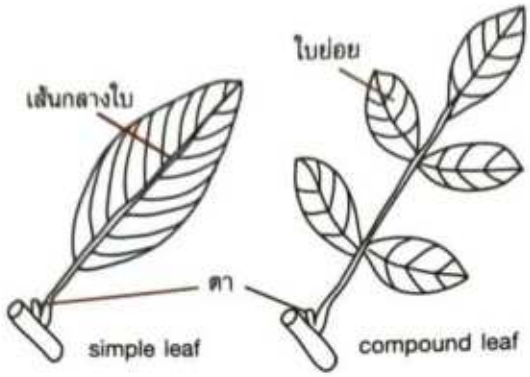
- ลำต้นใต้ดินมักมีการเข้าใจผิดว่าเป็นราก ลักษณะของลำต้นใต้ดินที่แตกต่างจากรากคือ มีข้อและปล้องชัดเจน หรือบางชนิดจะมีตา

ชนิดของลำต้น	รูปร่าง/หน้าที่	พบใน
แง่งหรือเหง้า (rhizome)	ลำต้นใต้ดินที่ขนานไปกับผิวดิน เห็นข้อปล้องชัดเจน ที่ข้อมีตา	เหง้าขิง ข่า ขมิ้น พุทธรักษา หญ้าคา หญ้าแพรก
ทูเบอร์ (tuber)	ลำต้นใต้ดินกลมรี สั้นและใหญ่มีตาโดยรอบสะสมอาหารจำพวกแป้ง	มันฝรั่ง หญ้าแห้วหมู หัวมันมือเสือ มันกลอย
คอร์ม (corm)	ลำต้นใต้ดินลักษณะกลม สั้น หนาและอวบ มีข้อปล้องเห็นชัดเจน	เผือก ซ่อนกลิ่นฝรั่ง แห้ว
หัวกลีบ หรือบัลบ์ (bulb)	ลำต้นใต้ดินมีขนาดเล็กมีปล้องสั้นมาก บริเวณปล้องมีใบเกล็ดซ้อนกันหลายชั้นเห็นเป็นหัว	หัวหอม หัวกระเทียม
ลำต้นคล้ายราก (root stock)	ลำต้นใต้ดินตั้งตรง ส่วนที่เหนือดินขึ้นมามีสีเขียวคล้ายลำต้นแต่ที่จริงเป็นกาบใบและซ้อนกันมัดกลม	ต้นกล้วย (หยวกกล้วยที่เอามาทำกระทงสำหรับลอยกระทง นั้นคือกาบใบ ส่วนลำต้นจริงๆ ของกล้วยอยู่ใต้ดิน)

11.4 โครงสร้างและหน้าที่ของใบ

โครงสร้างภายนอกของใบ

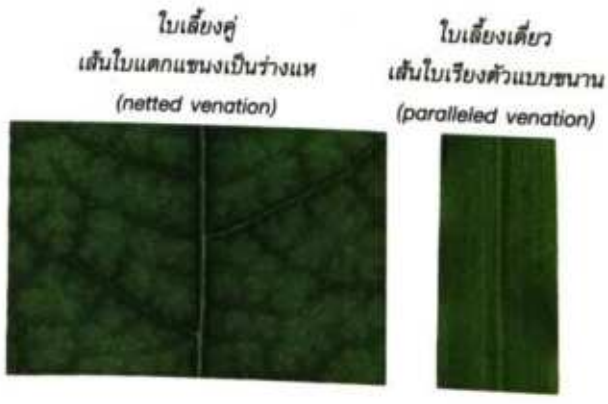
- ประเภทของใบ



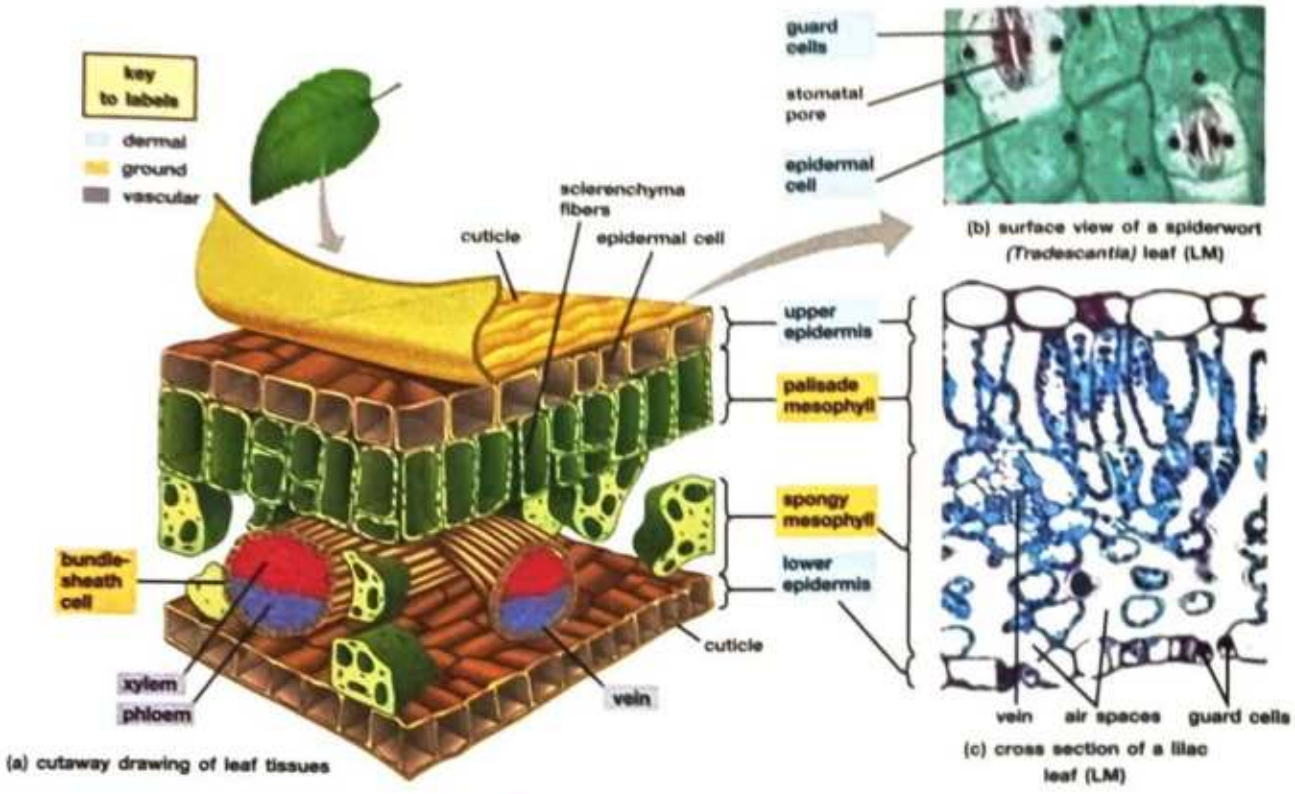
- ใบเดี่ยว (simple leaf) คือ ใบที่มี 1 แผ่นใบใน 1 ก้านใบ ที่แตกออกมาจากกิ่งหรือลำต้น เช่น มะม่วง ชมพู่ น้อยหน่า มะละกอ มะยม ฟักทอง ตำลึง สาเก ตาล อ้อย กล้วย
- ใบประกอบ (compound leaf) คือ ใบที่มีตั้งแต่ 2 ใบขึ้นไปใน 1 ก้านใบ ที่แตกออกมาจากกิ่งหรือลำต้น เช่น กุหลาบ จามจุรี มะขาม กระถิน มะพร้าว

- ส่วนประกอบ

- การจัดเรียงตัวของเส้นใบ (vein)



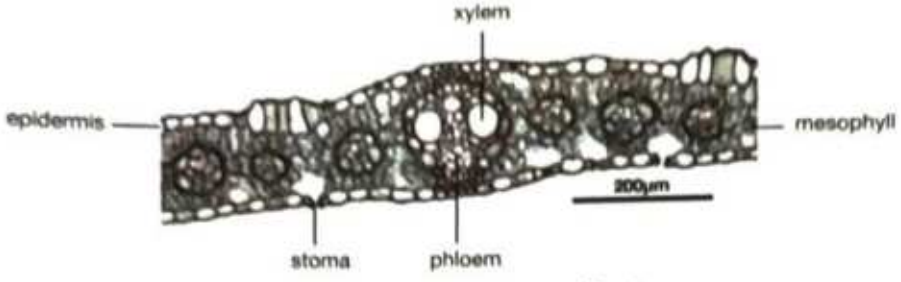
▸ โครงสร้างภายในของใบประกอบด้วย 3 ส่วนคือ



▲ (Cr. nicerweb.com)

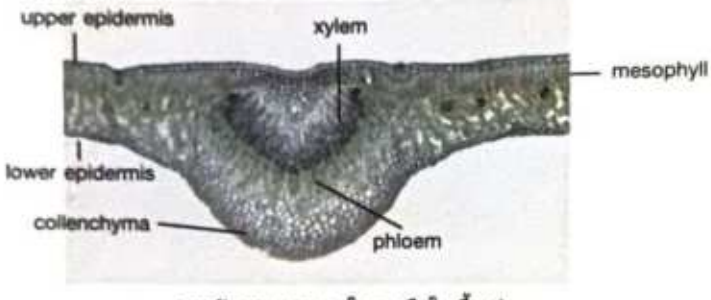
- ชั้น epidermis ประกอบด้วยเอพิเดอร์มิสผิวด้านบน (upper epidermis) และเอพิเดอร์มิสผิวด้านล่าง (lower epidermis) ที่มีสารคิวทิน (cutin) เคลือบที่ผนังด้านนอก เรียกชั้นคิวทิเคิล (cuticle) ในเอพิเดอร์มิสมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์คุม (guard cell) คล้ายเมล็ดถั่ว ภายในมีคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสงและควบคุมการเปิดปิดของปากใบ (stomata) พืชส่วนใหญ่มีปากใบด้านล่างแต่ทั้งนี้ปากใบมี 3 ชนิด คือ
  - ปากใบแบบธรรมดา (typical stomata) เป็นปากใบของพืชทั่วไปโดยมีเซลล์คุมอยู่ในระดับเดียวกับเซลล์เอพิเดอร์มิส พืชที่ปากใบเป็นแบบนี้เป็นพืชที่เจริญอยู่ในที่ที่มีน้ำอุดมสมบูรณ์พอสมควร (mesophyte)
  - ปากใบแบบจม (sunken stomata) เป็นปากใบที่อยู่ลึกเข้าไปในเนื้อใบ เซลล์คุมอยู่ลึกกว่าหรือต่ำกว่าชั้นเซลล์เอพิเดอร์มิส พบในพืชที่อยู่ในที่แห้งแล้ง (xerophyte) เช่น พืชทะเลทราย พวกกระบองเพชร พืชป่าชายเลน (halophyte) เช่น โกงกาง แสมลำพู (ศัพท์ชีวะ xero- แปลว่า แห้ง, phyto- แปลว่า พืช เช่น ดิวิชันของพืช Bryophyta, halo- แปลว่า เกลือ)
  - ปากใบแบบยกสูง (raised stomata) เป็นปากใบที่มีเซลล์คุมอยู่สูงกว่าระดับเอพิเดอร์มิสทั่วไป เพื่อช่วยให้น้ำระเหยออกจากปากใบได้เร็วขึ้น พบได้ในพืชที่เจริญอยู่ในที่ที่มีน้ำมากหรือชื้นแฉะ (hydrophyte)
- ชั้น mesophyll เนื้อเยื่อส่วนใหญ่เป็นพวก parenchyma ที่มีคลอโรพลาสต์ เรียกว่า chlorenchyma ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง แบ่งออกเป็น 2 ชั้น
  - palisade mesophyll อยู่ใต้เอพิเดอร์มิสด้านบน เซลล์ยาวและแคบเรียงชิดติดกันตั้งฉากกับเอพิเดอร์มิส มีคลอโรฟิลล์ทำให้ใบด้านบนมีสีเขียวกว่าด้านล่าง และเป็นบริเวณที่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นหลัก
  - spongy mesophyll อยู่ถัดเข้าไปอยู่ใกล้กับเอพิเดอร์มิสด้านล่าง เซลล์เรียงตัวหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบ มีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อยกว่า palisade mesophyll มีคลอโรฟิลล์ เซลล์รูปร่างค่อนข้างกลม เป็นบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊ส

- มัดท่อลำเลียง (vascular bundle) เป็นส่วนของเส้นใบขนาดต่างๆ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อโฟลเอ็มและไซเล็ม มัดท่อลำเลียงมีกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า bundle sheath ล้อมรอบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเส้นใบ



ภาพตัดตามขวางของใบของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

▲ (Cr. doctortee.com)



ภาพตัดตามขวางของใบของพืชใบเลี้ยงคู่

หน้าที่พิเศษของใบ

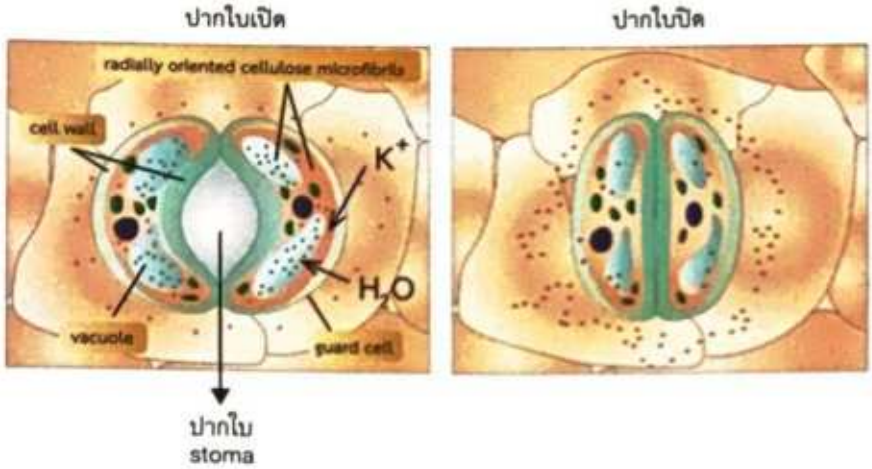
ชนิดของใบ	รูปร่าง/หน้าที่	พบใน
ใบสะสมอาหาร (storage leaf)	เก็บสะสมอาหารลักษณะอวบหนา	ว่านหางจระเข้ หัวหอม หัวกระเทียม กาบกล้วย
ใบคล้ายดอก (floral leaf)	ใบที่เปลี่ยนไปมีสีสันคล้ายดอกเพื่อล่อแมลง	หน้าวัว อุตพิต คริสต์มาส เฟื่องฟ้า
ใบเกล็ด (scale leaf)	ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้แก่ตา และยอดอ่อน ใบเกล็ดไม่มีสีเขียว	ใบเกล็ดของขิง ข่า เผือก แห้วจีน ใบเกล็ดอาจสะสมอาหาร เช่น หัวหอม กระเทียม
ใบมือเกาะ (leaf tendril)	ใบที่เปลี่ยนแปลงเป็นมือเกาะเพื่อยึดและพยุงลำต้น	ถั่วลันเตา พวงแก้วกุดั่น มะระ กะทกรก หวายลิง
ใบหนาม (spine)	ใบที่เปลี่ยนแปลงเป็นหนาม เพื่อป้องกันอันตรายจากสัตว์ และลดการคายน้ำ	กระบองเพชร
ฟิลโลด (phyllode)	บางส่วนของใบที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นแผ่นแบนๆ คล้ายใบ แต่แข็งแรง ลดการคายน้ำ	ใบกระถินณรงค์ เปลี่ยนแปลงมาจากก้านใบ
ทุ่นลอย (floating leaf)	บางชนิดเปลี่ยนแปลงก้านใบให้พองโต ภายในมีเนื้อเยื่อหลวมๆ มีช่องอากาศเพื่อพยุงให้ลอยน้ำ	ผักตบชวา
ใบขยายพันธุ์ (vegetative reproductive organ)	ใบที่ช่วยในการขยายพันธุ์โดยบริเวณขอบใบมีตาและงอกต้นเล็กๆ ออกมา	ต้นคว่ำตายหงายเป็น ต้นเศรษฐีพันล้าน ต้นโคมญี่ปุ่น
ใบจับแมลง (insectivorous leaf)	ใบที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นกับดักแมลง ภายในมีต่อมสร้างเอนไซม์ย่อยโปรตีนจากสัตว์ที่ติดกับดัก	หม้อข้าวหม้อแกงลิง กาบหอยแครง หยาดน้ำค้าง สาหร่ายข้าวเหนียว

11.5 การลำเลียงสารในพืช

การคายน้ำในรูปของไอน้ำ มี 3 รูปแบบ คือ

- การคายน้ำของพืชออกทางปากใบ (stomatal transpiration) เป็นการคายน้ำออกมากถึง 90% ปากใบของพืชทั่วๆ ไปมักอยู่ที่ผิวใบด้านล่าง (lower epidermis) *วิธีการวัดการคายน้ำของพืช สามารถทำได้โดยใช้เครื่อง photometer method และการใช้กระดาษชุบโคบอลต์คลอไรด์*

กลไกการเปิด-ปิดของปากใบ อาศัยการเต่งและเหี่ยวของเซลล์คุม



เมื่อมีแสงสว่างจะกระตุ้น K^+ จากเซลล์ข้างเคียงเข้าสู่เซลล์คุมด้วยวิธีการ active transport และแสงสว่างทำให้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงในปากใบทำให้ได้น้ำตาลมากมาย

ผลลัพธ์ทำให้ภายในเซลล์คุมมีแรงดันออสโมติกสูงขึ้น น้ำจึงออสโมซิสเข้าเซลล์คุม เซลล์คุมจึงเต่งและทำให้ปากใบเปิดในที่สุด (หลักการของออสโมซิสคือการเคลื่อนที่ของสารแบบไม่ใช้พลังงาน (passive transport) โดยเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้อยไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายมาก)

สำหรับตอนกลางคืนไม่มีแสงสว่าง ไม่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงและไม่เกิดการกระตุ้นการนำเข้า K^+ ภายในเซลล์คุมจึงมีแรงดันออสโมติกน้อยกว่าภายนอก น้ำจึงออสโมซิสออกจากเซลล์คุมปากใบจึงปิด

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปิด-ปิดของปากใบ

1. แสง พืชจะคายน้ำมากเมื่อมีแสงเนื่องจากเกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เซลล์คุม
2. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราการคายน้ำจะสูงตาม แต่ถ้าสูงมากไปหรือต่ำมากไปจะทำให้ปากใบปิด
3. ความชื้น ถ้าความชื้นในอากาศสูง พืชจะคายน้ำน้อย
4. ลม เมื่อมีลมพัดเอาความชื้นไป ทำให้พืชคายน้ำมากขึ้น
5. น้ำในดิน ถ้าน้ำในดินน้อยพืชจะดูดน้ำได้น้อย ปากใบจะปิด

- การคายน้ำทางคิวทิน (cuticular transpiration) ที่ผิวใบมีสารที่เรียกว่าคิวทินเคลือบอยู่ พืชที่มีคิวทินหนาจะมีการสูญเสียน้ำน้อย ส่วนพืชที่มีคิวทินบาง เช่น พืชล้มลุก พืชในที่ร่มหรือใบที่ชื้นแฉะ การคายน้ำออกทางคิวทินจะเกิดง่าย แต่วิธีการคายน้ำวิธีนี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการคายน้ำออกทางปากใบ
- การคายน้ำทางเลนติเซล (lenticular transpiration) ที่ผิวของลำต้นมีรอยแตกที่เรียกว่า เลนติเซล ซึ่งสามารถคายน้ำได้แต่วิธีการนี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

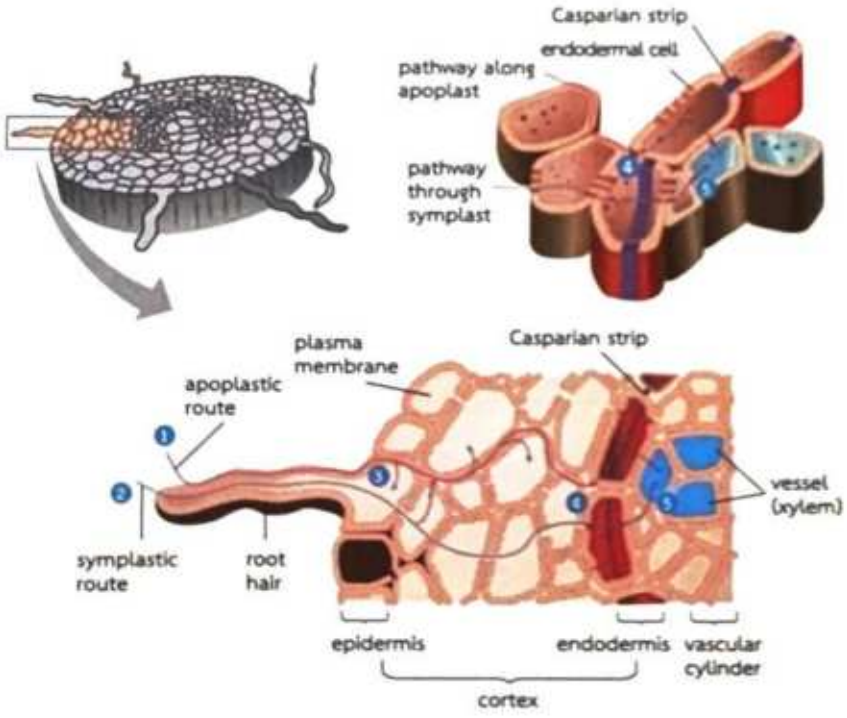
การคายน้ำในรูปของหยดน้ำ (guttation) ในสภาวะที่อากาศมีความชื้นสูงหรือขณะที่พืชมีการคายน้ำน้อย เช่น ในเวลากลางคืน พืชจะมีการคายน้ำออกมาทางโครงสร้างที่เรียกว่า รูหยาดน้ำ (hydathode) ซึ่งอยู่ที่ส่วนปลายและขอบใบ โดยที่อาศัยแรงดันราก (root pressure)

การดูดน้ำของพืช มี 2 รูปแบบ คือ

- การดูดน้ำแบบ active water absorption การดูดน้ำของพืชที่เกิดจากรากโดยตรงมีหลายวิธี คือ
  - อิมบิบิชัน (imbibition) การดูดน้ำของสารที่มีสมบัติดูดความชื้นได้ที่พบในพืชคือ เพกทินและเซลลูโลส เช่น การดูดน้ำที่ผนังเซลล์ และเปลือกเมล็ดที่กำลังงอก (วิธีการนี้เกิดไม่มาก)
  - ออสโมซิส (osmosis) เกิดตลอดเวลา เกิดเนื่องจากความเข้มของสารละลายในดินที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าในราก ทำให้น้ำออสโมซิสเข้าสู่รากตลอดเวลา ในกรณีที่ใส่ปุ๋ยในดินมากจะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในดินสูงกว่าในราก ส่งผลเสียคือทำให้รากสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ (plasmolysis) จนพืชขาดน้ำและอาจตายได้
- การดูดน้ำแบบ passive water absorption การดูดน้ำของพืชที่ไม่ได้เกิดจากรากโดยตรง แต่มาจากกิจกรรมบางอย่างในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมื่อพืชคายน้ำออกทางปากใบจะทำให้เกิดแรงดึงจากการคายน้ำ (transpiration pull) แรงดึงนี้สามารถดึงน้ำไปทางท่อไซเล็มได้ เป็นต้น

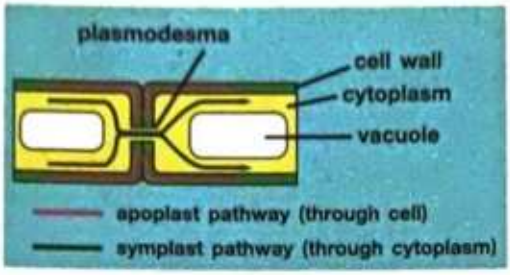
การเคลื่อนที่ของน้ำในราก มี 2 วิธีคือ

- apoplast คือ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์หรือผ่านช่องปลายสุดของเซลล์ (เช่น เวสเซล) แต่การเคลื่อนที่แบบนี้น้ำจะไม่สามารถผ่าน Casparian strip ของ endodermis ในรากได้ เนื่องจากมีสารซูเบอริน หรือลิกนินมาสะสมเป็นแถบกั้นไว้



▲ (Cr. nicerweb.com)

- symplast คือ การเคลื่อนที่ของน้ำจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งโดยอาศัยช่อง plasmodesmata ที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์



▲ (Cr. wikimedia.org)

ทิศทางการดูดน้ำของพืช

root hair ⟶ cortex ⟶ endodermis ⟶ pericycle ⟶ xylem

ทฤษฎีการลำเลียงน้ำของพืช มี 3 ทฤษฎี คือ

- คะปิลลารี แอ็คชัน (capillary action)
  - การลำเลียงน้ำอาศัยแรงแอดฮีชัน (adhesion) ที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับผนังของไซเล็ม เหมือนกับการจุ่มหลอดคะปิลลารีในน้ำแล้วแรงดังกล่าวทำให้น้ำไหลขึ้นมา
  - วิธีการนี้ใช้ลำเลียงน้ำในพืชที่มีขนาดต้นไม่สูงมากนัก
- แรงดันราก (root pressure)
  - เกิดเนื่องจากรากดูดน้ำมาในรากสะสมในไซเล็มมากๆ จนทำให้เกิดแรงดันภายในราก ซึ่งจะดันน้ำและสารละลายขึ้นด้านบน
  - วิธีการนี้ใช้ได้กับพืชสูงไม่เกิน 20 เมตร
- แรงดึงจากการคายน้ำ (transpiration pull)
  - เมื่อพืชคายน้ำออกทางปากใบจะมีแรงดึงน้ำให้เคลื่อนที่ต่อเนื่องเป็นทอดๆ โดยอาศัยแรงโคฮีชัน (cohesion) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับน้ำ แรงดึงจากการคายน้ำยิ่งมากเท่าไหร่รากจะดูดน้ำมากเท่านั้น
  - วิธีการนี้เกิดขึ้นกับพืชที่สูงเกิน 20 เมตรหรือพืชสูงมากๆ และพืชส่วนใหญ่จะอาศัยวิธีการนี้

การดูดเกลือแร่ของพืช เกลือแร่ที่จะดูดเข้าสู่รากจะต้องอยู่ในรูปไอออนภายในท่อไซเล็ม การดูดเกลือแร่มี 2 วิธี คือ

- การดูดเกลือแร่ (ไอออน) แบบพาสซีฟ (passive) คือ การดูดไอออนเข้าสู่รากโดยผ่านกิจกรรมต่างๆ ที่ไม่ใช่การทำงานของรากโดยตรงมี 3 รูปแบบคือ
  - การแพร่ เกิดเฉพาะบางตำแหน่งของราก การแพร่ไอออนเข้าสู่รากจะได้ไอออนไม่มากเกินกว่าระดับความเข้มข้นของไอออนนั้นในสารละลายภายนอกราก ดังนั้น วิธีนี้จึงไม่ทำให้เกิดการสะสมในรากมากนัก
  - การไหลของมวลสาร (mass flow) เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนโดยอาศัยแรงดึงจากการคายน้ำ โดยดึงเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ไปยังท่อของไซเล็ม วิธีการนี้ทำให้รากดูดไอออนได้มากที่สุด
  - การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนที่ถูกดูดที่ผิวรากกับไอออนในสารละลายในดิน

- การดูดเกลือแร่ (ไอออน) แบบแอ็คทีฟ (active) คือ การดูดไอออนโดยผ่านกิจกรรมของรากโดยตรง อัตราการดูดไอออนด้วยวิธีนี้จะช้ากว่าแบบพาสซีฟ แต่จะเกิดนานกว่าจึงทำให้เกิดการสะสมเกลือแร่มากในราก จึงเป็นวิธีที่สำคัญที่สุดที่รากใช้ดูดเกลือแร่ให้ได้มากที่สุด

การลำเลียงแร่ธาตุของพืช

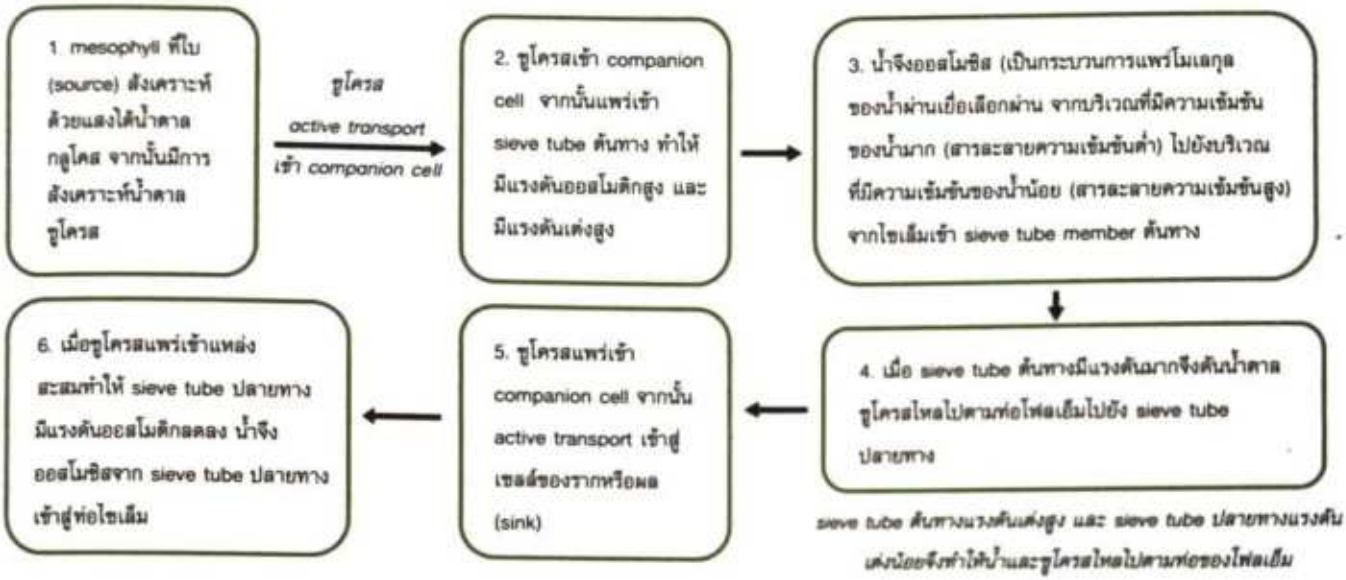
แร่ธาตุที่รากดูดเข้าไปจะถูกลำเลียงไปยังลำต้นส่วนบนโดยอาศัยท่อไซเล็มโดยใช้วิธีเดียวกับการลำเลียงน้ำ อาศัยกระบวนการ เช่น คะปิลลารีแอ็คชัน แรงดันราก และแรงดึงจากการคายน้ำ โดยแรงดึงจากการคายน้ำทำให้แร่ธาตุกับน้ำถูกลำเลียงไปพร้อมกัน (mass flow) ขึ้นสู่ลำต้นและใบที่อยู่ระดับสูงๆ ได้ดีกว่าวิธีอื่น แร่ธาตุที่จำเป็นกับพืชมี 16 ชนิด โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามปริมาณที่พืชต้องการ ดังนี้

- ธาตุอาหารของพืช
  - มหธาตุ (macronutrients)
    - ธาตุอาหารที่พืชต้องการมากในการเจริญเติบโต โดยมีคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน
    - ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม
    - ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์
  - จุลธาตุ (micronutrients)
    - ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณเล็กน้อย หรือเรียกว่าธาตุอาหารเสริม ได้แก่ โบรอน เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โมลิบดินัม และคลอรีน

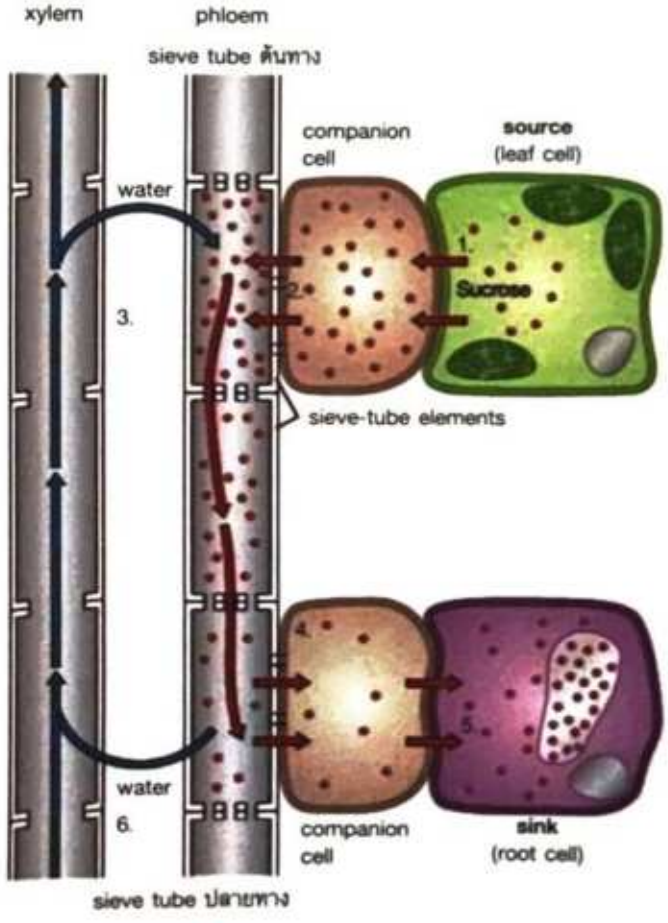
ธาตุ	หน้าที่	อาการของพืชเมื่อขาดหรือมีมากเกินไป
ฟอสฟอรัส (P)	เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกทั้ง DNA RNA ATP และโคเอนไซม์หลายตัว ช่วยเร่งการออกดอกและสร้างเมล็ด	ถ้าขาดทำให้พืชเจริญช้า ออกดอกออกผลช้า
ไนโตรเจน (N)	เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ โปรตีน วิตามินบางชนิด ช่วยให้ใบ ลำต้น หัว เจริญดี	ถ้าขาดเกิดอาการที่เรียกว่า คลอโรซิส (chlorosis) คือ ใบเหลือง เนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ ลำต้นแคระแกร็น ถ้ารับมากไปจะทำให้ออกดอกออกผลช้า
โพแทสเซียม (K)	เกี่ยวข้องกับการเปิดปิดของปากใบ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์	ถ้าขาดทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เกิดคลอโรซิส ขอบและปลายใบม้วนงอ ข้อปล้องสั้น แคระแกร็น
แคลเซียม (Ca)	เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์และการเพิ่มขนาดเซลล์	ถ้าขาด ปลายยอดและปลายรากไม่เจริญ ลำต้นแคระแกร็น ลำต้นก้านใบ ยอดเปราะหักง่าย
แมกนีเซียม (Mg)	เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง	ถ้าขาดใบเหลือง เกิดคลอโรซิสที่ใบ ปลายใบม้วนงอ ใบมักไหม้เป็นจุดๆ
กำมะถัน (S)	เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และการแบ่งเซลล์ เป็นองค์ประกอบของโปรตีน	ถ้าขาดอาจเกิดคลอโรซิส อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

การลำเลียงอาหารของพืช

อาหารที่พืชสร้างขึ้น คือ น้ำตาลและสารประกอบอื่นๆ จะถูกลำเลียงไปตามเนื้อเยื่อโฟลเอ็มหรืออาจนำไปสะสมไว้บริเวณที่สะสมอาหาร เช่น รากหรือหัว โดยกลไกการลำเลียงสารอธิบายได้ตามสมมติฐานการไหลของมวลสาร (mass flow hypothesis หรือ bulk flow hypothesis) อาจเรียกอีกชื่อว่าการไหลที่เกิดจากแรงดัน (pressure flow hypothesis) โดยการทดลองที่สนับสนุน คือ การไหลของอาหารในโฟลเอ็มจากแหล่งผลิตหรือแหล่ง (source) เช่น ใบ ไปยังแหล่งรับหรือแหล่งใช้ (sink) เช่น ราก ยอด ลำต้น ผล

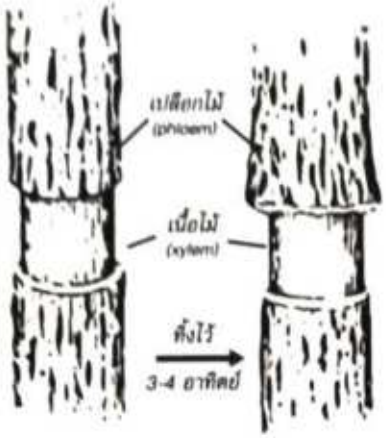


sieve tube ต้นทางแรงดันเต่งสูง และ sieve tube ปลายทางแรงดันเต่งน้อยจึงทำให้น้ำและซูโครสไหลไปตามท่อของโฟลเอ็ม



▲ (Cr. amazonaws.com)

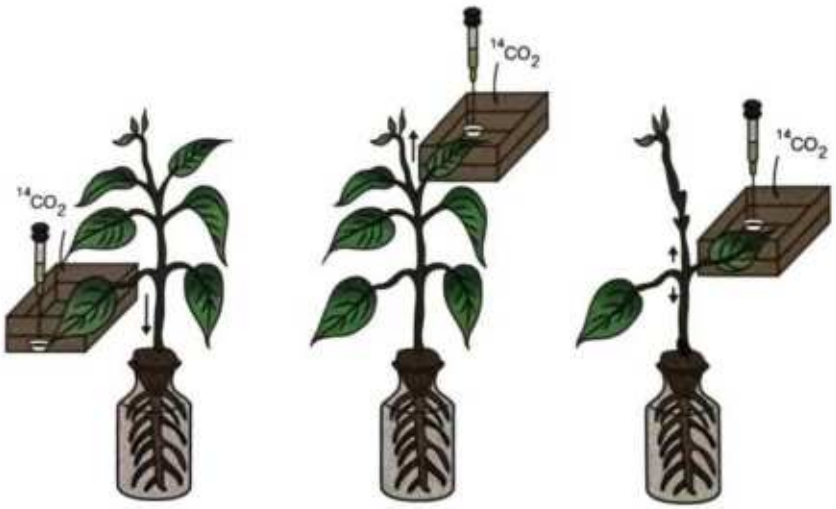
การเคลื่อนย้ายสารอาหารในพืช



▲ (Cr. plantphys.net)

- เมื่อควั่นเปลือกไม้ออกซึ่งเป็นส่วนของคอร์เท็กซ์รวมกับโฟลเอ็มออกไป ทำให้ท่อโฟลเอ็มขาดจากกัน อาหารไม่สามารถลำเลียงลงไปยังด้านล่างได้จึงมาสะสมเหนือรอยควั่น เห็นเป็นลักษณะพองออก
- ถ้าทำการทดลองนี้กับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะให้ผลเหมือนกันหรือไม่ เพราะเหตุใด ?

ตอบ ผลการทดลองที่ได้ไม่เหมือนกันเพราะพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมัดท่อลำเลียงกระจัดกระจายอยู่ทั่วลำต้น พืชจึงยังคงลำเลียงอาหารได้ตามปกติ



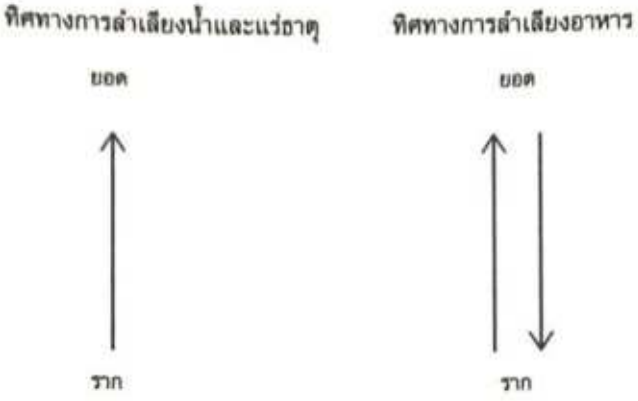
จากภาพเป็นการทดลองที่ใช้สารกัมมันตรังสี คือ ^{14}C ที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 ให้แก่พืชเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อพืชสร้างน้ำตาลที่มี ^{14}C เป็นองค์ประกอบเราจะสามารถติดตามการลำเลียงอาหารของพืชได้ โดยนำพืชมาแช่แข็งเพื่อทำให้แข็ง จากนั้นหั่นเป็นชิ้นบางๆ แล้วนำไปวางบนแผ่นฟิล์มถ่ายรูปที่อยู่ในห้องมืด เมื่อล้างฟิล์มจะทำให้ทราบว่าส่วนไหนของพืชจะมี ^{14}C สะสมอยู่

ผลการทดลอง ก. จะพบ ^{14}C ที่ส่วนล่างของพืช

ข. จะพบ ^{14}C ที่ส่วนยอดของพืช

ค. จะพบ ^{14}C ทั้งส่วนล่างและส่วนบนของพืช

สรุปได้ว่าพืชลำเลียงน้ำตาลซูโครสได้ทั้งสองทาง คือลำเลียงขึ้นข้างบนก็ได้หรือลำเลียงลงข้างล่างก็ได้



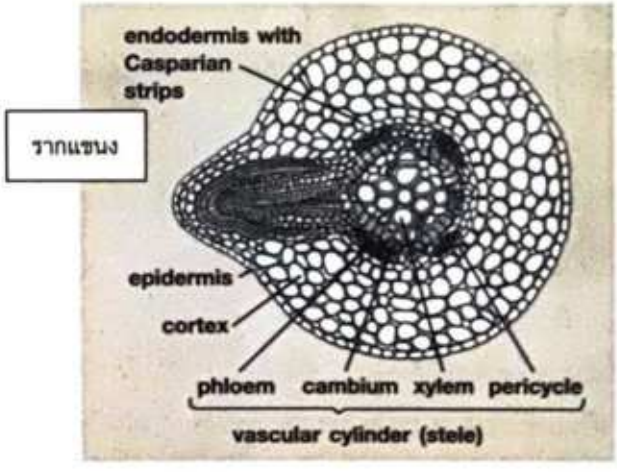
เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 3.** เพราะต้นข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จะมีเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายและเนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อในการแบ่งเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต แต่เนื้อเยื่อเจริญด้านข้างพวกแคมเบียมส่วนใหญ่จะพบในใบเลี้ยงคู่

2) **ตอบ 4.** เพราะข้าวและไผ่ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายและเนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อในการแบ่งเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต แต่เนื้อเยื่อเจริญด้านข้างพวกแคมเบียมส่วนใหญ่จะพบในใบเลี้ยงคู่

3) **ตอบ 1.** เพราะบริเวณดังกล่าวคือส่วนของ cortex ของรากใบเลี้ยงเดี่ยว ซึ่งจะประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อพื้นคือ พาเรงคิมา คอลเลงคิมา และสเกอเรงคิมา

4) **ตอบ 2.** เพราะการเกิดรากใหม่จากรากเดิมนั้นคือการเกิดรากแขนง เกิดเนื่องจากเพริไซเคิลแบ่งเซลล์ทะลุออกมาซึ่งจะผ่านชั้นเอนโดเดอร์มิสแล้วดันออกไปสู่ภายนอกรากเดิม ดังรูป



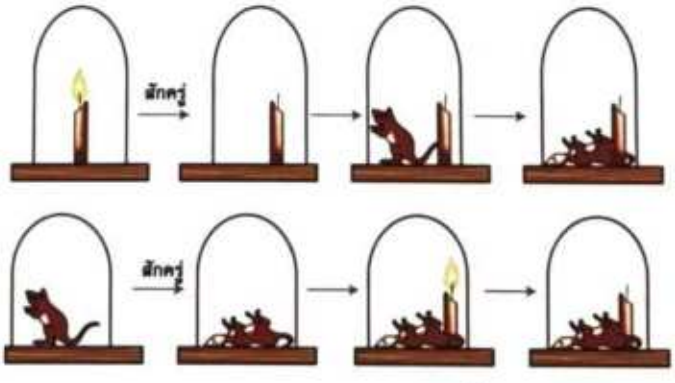
▲ (Cr. apsnet.org)

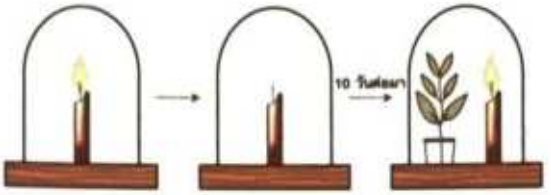
ส่วนเอพิเดอร์มิสจะมีการสร้างขนราก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและเกลือแร่

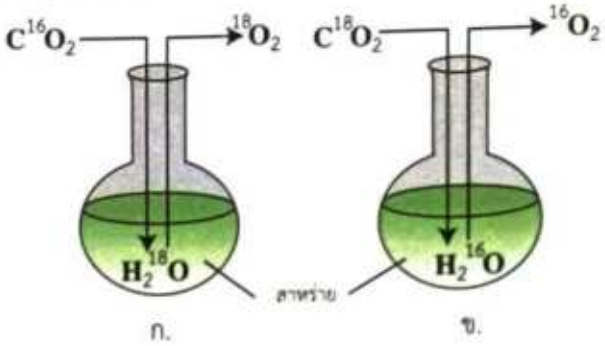
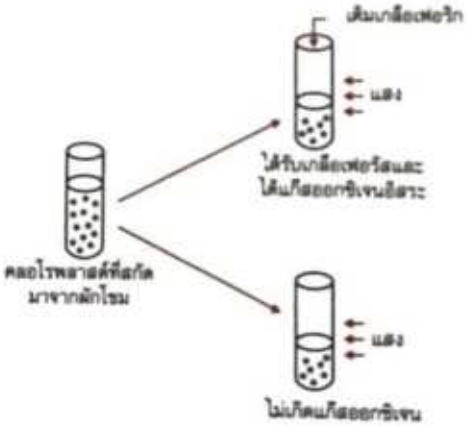
บทที่ 12

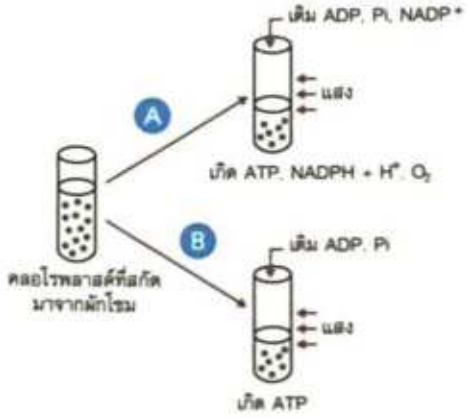
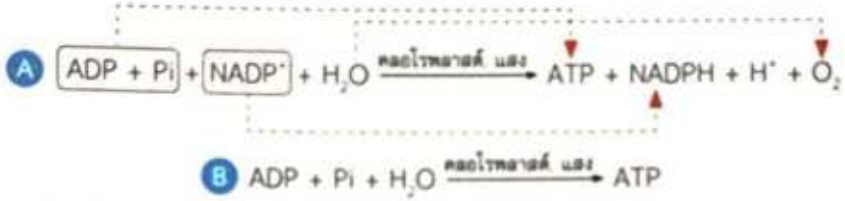
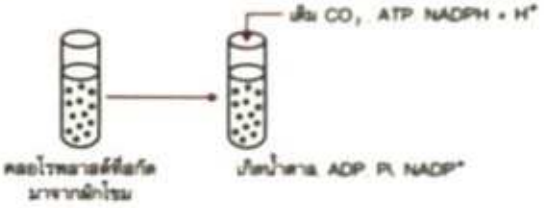
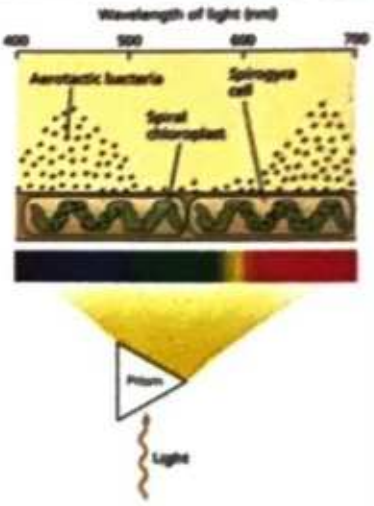
การสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis)

12.1 การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

พ.ศ. 2191	**แวน เฮลมองท์** ต้นหลิวหนัก 5 ปอนด์ $\xrightarrow{\text{ปลูกนาน 5 ปี}}$ ต้นหลิวหนัก 169 ปอนด์ 3 ออนซ์ ข้อสรุป น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของต้นหลิวมาจากน้ำที่รดไป (ซึ่งอาจเป็นไปได้หรือเป็นไปไม่ได้ก็ได้ เพราะเฮลมองท์ลืมคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นด้วย เช่น แสงสว่าง แก๊สต่างๆ ปริมาณน้ำในแต่ละวันที่รดไป ความเป็นกรดเบสของดิน และอุณหภูมิ)
พ.ศ. 2315	**โจเซฟ พริสต์ลีย์** การทดลองที่ 1 (หนู, เทียนไข, ครอบแก้ว)  **สมมติฐาน** คือ ถ้าอากาศเสียทำให้หนูตายและเทียนไขดับแล้ว ดังนั้น อากาศเสียในครอบแก้วน่าจะเป็นแก๊สชนิดเดียวกัน สรุป ในครอบแก้วที่เทียนไขดับมีแก๊สทำให้หนูตาย และในครอบแก้วที่ทำให้หนูตายมีแก๊สที่ทำให้เทียนไขดับ

	การทดลองที่ 2  **สมมติฐาน** คือ ถ้านำพืชใส่ในครอบแก้วที่มีเทียนไขดับ เมื่อจุดเทียนแล้วทำให้เทียนไขลุกไหม้ได้ ดังนั้น แก๊สที่ทำให้เทียนไขลุกไหม้น่าจะมาจากพืช สรุป พืชสามารถเปลี่ยนอากาศเสียให้เป็นอากาศดีได้ จึงทำให้เทียนลุกไหม้ ข้อสรุป ของโจเซฟ พริสต์ลีย์ อากาศเสีย $\xrightarrow{\text{พืช}}$ อากาศดี
พ.ศ. 2322	**แจน อินเก็น ฮูซ** ให้แสง ไม่ให้แสง ข้อสรุปที่ 1 ของฮูซ คือ การที่พืชจะเปลี่ยนจากอากาศเสียเป็นอากาศดีได้พืชต้องได้รับแสงด้วย อากาศเสีย $\xrightarrow{\text{พืช + แสง}}$ อากาศดี *ในช่วงนั้นความรู้ทางเคมีพัฒนาอย่างรวดเร็วจนกระทั่งสามารถพิสูจน์ได้ว่า ▸ แก๊สที่เกิดจากการหายใจและการเผาไหม้เป็นแก๊สชนิดเดียวกัน คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ▸ แก๊สที่ใช้ในการหายใจ และช่วยในการลุกไหม้ คือ แก๊สออกซิเจน *ดังนั้น แสดงว่าเมื่อพืชได้รับแสง พืชจะนำคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป และปล่อยแก๊สออกซิเจนออกมา ทั้งนี้ฮูซยังพบว่าพืชเก็บธาตุคาร์บอนไว้ในรูปของสารอินทรีย์อีกด้วย ข้อสรุปที่ 2 ของฮูซ คือ $CO_2 \xrightarrow{\text{พืช + แสง}}$ สารอินทรีย์ + O_2
พ.ศ. 2347	**นิโคลาส ธีโอดอร์ เดอ โซซูร์** ค้นพบว่าพืชที่ได้รับแสงจะได้ธาตุคาร์บอนมาจาก CO_2 แล้วสร้างสารอินทรีย์และออกซิเจนออกมาด้วย ทั้งนี้น้ำหนักของพืชที่เพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำหนักของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชได้รับ เขาจึงสันนิษฐานว่าน้ำหนักของพืชที่เพิ่มขึ้นบางส่วนเป็นน้ำหนักของน้ำที่พืชได้รับ และในเวลาต่อมาพบว่าสารอินทรีย์ที่พืชสร้างคือ สารประเภทคาร์โบไฮเดรต $CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{พืช + แสง}}$ คาร์โบไฮเดรต + O_2
พ.ศ. 2405	**จูเลียส ซาช** พบว่าคาร์โบไฮเดรตที่พืชสร้างคือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือน้ำตาลกลูโคส สมการสร้างอาหารของพืชจึงเป็น $6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{พืช + แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ ทั้งนี้นักวิทยาศาสตร์ยังสงสัยว่า O_2 ที่ได้มาแตกตัวมาจาก CO_2 หรือ H_2O กันแน่?
พ.ศ. 2473	**แวน นีล** ทดลองเลี้ยงแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงโดยไม่ใช้น้ำแต่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ผลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงแทนที่จะได้แก๊สออกซิเจนแต่กลับเกิดซัลเฟอร์ (S) แทน $CO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย + แสง}} CH_2O + H_2O + 2S$

พ.ศ. 2473 (ต่อ)	▸ แวนนิลเสนอสมมติฐานว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงของแบคทีเรียน่าจะเหมือนกับของพืช ดังนั้น ในพืชโมเลกุลของน้ำ (H_2O) น่าจะแตกตัวให้ออกซิเจนอิสระ (O_2) เหมือนกับที่ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แตกตัวให้ซัลเฟอร์ (S) $6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{พืช + แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$
พ.ศ. 2484	**แซม รูเบนและมาร์ติน คาเมน** ทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าออกซิเจนอิสระที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงมาจากการแตกตัวของน้ำ (ยืนยันซัดเจน ชัวร์แน่นอน)  ก. ข. ก. เมื่อให้ออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำเป็นออกซิเจนหนัก ($H_2{}^{18}O$) พบว่ามีการปล่อยแก๊สออกซิเจนที่เป็นออกซิเจนหนัก ($^{18}O_2$) ข. เมื่อให้ออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำเป็นออกซิเจนปกติ ($H_2{}^{16}O$) พบว่ามีการปล่อยแก๊สออกซิเจนที่เป็นออกซิเจนปกติ ($^{16}O_2$) <u>ข้อสรุป</u> ออกซิเจนที่ได้มาจากการแตกตัวของน้ำ
พ.ศ. 2475	**โรบิน ฮิลล์** ทดลองให้แสงผ่านคลอโรพลาสต์ที่สกัดจากผักโขมและมีเกลือเฟอริกอยู่ด้วย ปรากฏว่าเกลือเฟอริกเปลี่ยนเป็นเกลือเฟอรัสและมีออกซิเจนเกิดขึ้นด้วย (ให้ข้อค้นพบเกี่ยวกับสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง)  $4Fe^{3+} + 2H_2O \longrightarrow 4Fe^{2+} + O_2 + 4H^+$ เกลือเฟอริก เกลือเฟอรัส <u>ข้อสรุป</u> น้ำสามารถแตกตัวให้ออกซิเจนได้โดยไม่ต้องมี CO_2 และการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะเกิดขึ้นได้ต้องมีตัวรับอิเล็กตรอน ในพืชสารประกอบที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน คือ นิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ ฟอสเฟต (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate : $NADP^+$) ... มุขจำคือ น้องแนท ($NADP^+$) สมการ : $NADP^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADPH + H^+$

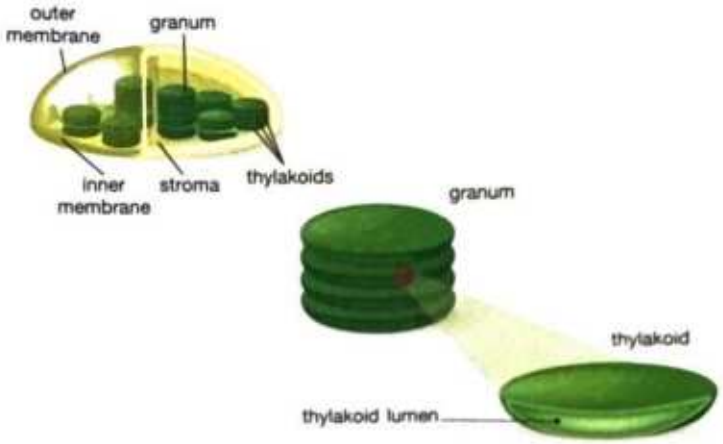
พ.ศ. 2494 (ต่อ)	แดเนียล อาร์นอน การทดลองที่ 1 (ไม่ใส่ CO_2)   ▸ การทดลองที่ 1 ชี้ให้เห็นว่า O_2 จะไม่เกิดขึ้นถ้าขาด $NADP^+$ ซึ่งเป็นตัวรับตัวอิเล็กตรอน และถ้าพืชจะสร้าง ATP ได้ก็ต่อเมื่อมี ADP + Pi โดยใช้คลอโรพลาสต์และแสง การทดลองที่ 2 (ใส่ CO_2 และไม่ใช้แสง)  $CO_2 + ATP + NADPH + H^+ \xrightarrow{\text{คลอโรพลาสต์, แสง}} \text{น้ำตาล} + ADP + Pi + NADP^+$ ▸ การทดลองที่ 2 ชี้ให้เห็นว่า เมื่อไม่มีแสงมาเกี่ยวข้องแต่พืชก็สามารถสร้างน้ำตาลได้ เนื่องจากเติม ATP และ NADPH + H^+ มากเพียงพอจนสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปจนได้ผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งนี้การทดลองของอาร์นอนและฮิลล์นำไปสู่ข้อสรุปเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
พ.ศ. 2494	**เองเกลมัน** ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่ายสีเขียวสไปโรไจรา *(Spirogyra)* ซึ่งเป็นสาหร่ายสายยาวคล้ายริบบิ้น ภายในแต่ละเซลล์ของสาหร่ายมีคลอโรพลาสต์พันเป็นเกลียว เขานำสาหร่ายใส่ในหยดน้ำที่มีแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) แล้วใช้ปริซึมแยกแสงที่ส่องเข้ามาให้แยกออกเป็นสเปกตรัมของแสงสีต่างๆ และส่องเข้าไปในสาหร่ายทำให้คลอโรพลาสต์ของสาหร่ายได้รับแสงสีต่างๆ กันตามสเปกตรัม <u>ข้อสรุป</u> เมื่อเขานำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นแบคทีเรียมารวมกลุ่มอยู่รอบๆ คลอโรพลาสต์ตรงบริเวณที่ได้รับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงิน เขาจึงสรุปว่า แสงสีแดง และแสงสีน้ำเงินให้ผลดีที่สุดในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะบริเวณที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงมากจะให้ออกซิเจนออกมามาก แบคทีเรียจึงมารวมกลุ่มกันมาก 

สมการของการสังเคราะห์ด้วยแสง

$$6\,CO_2 + 12\,H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,H_2O + 6O_2$$

12.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

12.2.1 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์



มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น (double unit membrane ประกอบด้วย inner membrane และ outer membrane) เช่นเดียวกับไมโทคอนเดรีย

- ไทลาคอยด์ (thylakoid) เป็นแผ่นเยื่อบางๆ ที่ซ้อนทับกันเป็นถุงเรียก กรานุม (granum) โดยบริเวณเยื่อหุ้มของไทลาลอยด์มีกลุ่มสารสี คลอโรฟิลล์ โปรตีนและไขมันต่างๆ ทั้งนี้ที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์เป็นบริเวณที่ดูดรับพลังงานแสงจนเกิดปฏิกิริยาแสง (light reaction) และช่องว่างภายในไทลาคอยด์เรียกว่า ลูเมน (lumen) หรือ thylakoid space ประกอบด้วยเอนไซม์ต่างๆ ที่ลูเมนจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำ (photolysis)
- สโตรมา (stroma) เป็นของเหลวใสภายในคลอโรพลาสต์ ภายในมีเอนไซม์หลายชนิด บริเวณนี้เกิดปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Calvin cycle)

12.2.2 สารสีในปฏิกิริยาแสง

- ตารางแสดงชนิดของสารสีที่พบในสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ

กำหนดให้ เครื่องหมาย ✓ แทนการมีและเครื่องหมาย × แทนการไม่มี

ประเภทและชนิดของสิ่งมีชีวิต	คลอโรฟิลล์				แคโรทีนอยด์	ไฟโคบิลิน	แบคเทอริโอคลอโรฟิลล์			
	เอ	บี	ซี	ดี			เอ	บี	ซี	ดี
ยูคาริโอต										
มอส	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	×	×
เฟิน	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	×	×
พืชดอก	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	×	×

ประเภทและชนิดของสิ่งมีชีวิต	คลอโรฟิลล์				แคโรทีนอยด์	ไฟโคบิลิน	แบคเทอริโอคลอโรฟิลล์			
	เอ	บี	ซี	ดี			เอ	บี	ซี	ดี
สาหร่ายสีเขียว	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	×	×
สาหร่ายสีน้ำตาล	✓	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×
สาหร่ายสีแดง	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×
โพรคาริโอต										
ไซยาโนแบคทีเรีย	✓	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	×
กรีนแบคทีเรีย	×	×	×	×	✓	×	✓	×	✓	✓

ข้อสังเกต

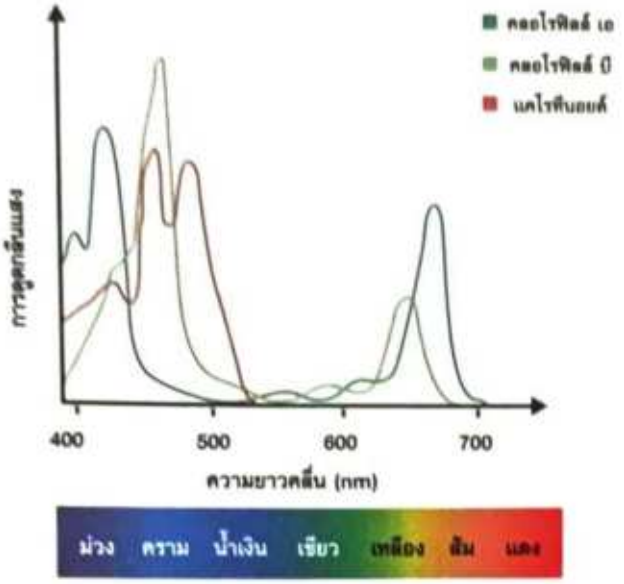
- รงควัตถุที่พบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในตารางคือแคโรทีนอยด์
- รงควัตถุที่พบเฉพาะในพืชและสาหร่ายสีเขียวคือคลอโรฟิลล์เอและบี แคโรทีนอยด์

รงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

- **คลอโรฟิลล์ (chlorophyll)** คำว่า chloro- แปลว่า สีเขียว โดยคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรงมีหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ เอ บี ซี และดี โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดในช่วงคลื่นต่างๆ แตกต่างกันด้วย
  - คลอโรฟิลล์เอ ดูดกลืนพลังงานแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 430 nm และ 660 nm
  - คลอโรฟิลล์บี ดูดกลืนพลังงานแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 450 nm และ 640 nm
- **แคโรทีนอยด์ (carotenoid)** พบในสิ่งมีชีวิตเกือบทุกชนิดที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ
  - แคโรทีน (carotene) เป็นรงควัตถุสีแดงและสีส้ม
  - แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) เป็นรงควัตถุสีน้ำตาลหรือสีเหลือง

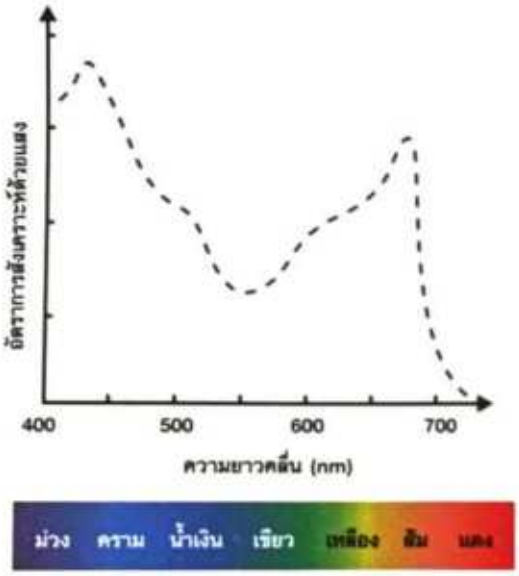
หน้าที่ ช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสงทางอ้อม โดยจะช่วยดูดพลังงานแสงและส่งต่อไปยังคลอโรฟิลล์เอ และช่วยป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายด้วยแสง

- **ไฟโคบิลิน (phycobilin)** แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ
  - ไฟโคอิริทริน (phycoerythrin) เป็นรงควัตถุสีแดงสามารถรับแสงสีเขียวที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 495-565 นาโนเมตรได้มากที่สุด ไฟโคอิริทรินพบใน สาหร่ายสีแดง
  - ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) เป็นรงควัตถุสีน้ำเงินพบในไซยาโนแบคทีเรียรับแสงสีเหลืองที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 550-615 นาโนเมตรได้มากที่สุด



กราฟ 1 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของรงควัตถุแต่ละชนิด

- กราฟ 1 พืชดูดกลืนแสงสีเขียวได้ไม่ดีจึงสะท้อนออกมาเข้าตาคน เราจึงเห็นพืชมีสีเขียว
- การที่พืชมีรงควัตถุที่ถูกกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน จะช่วยให้พืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากขึ้น

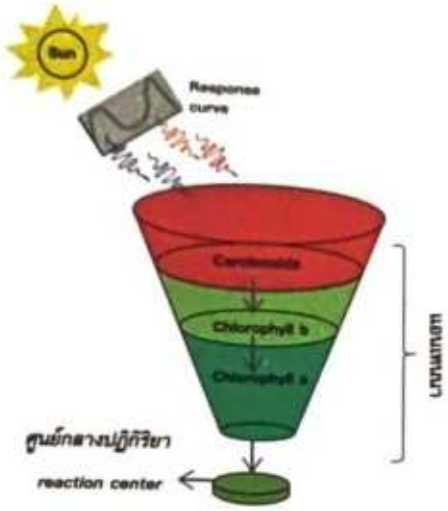


กราฟ 2 แสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กัน

- กราฟ 2 แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดง พืชจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมากที่สุด

▲ (Cr. นพคุณ สุขสวัสดิ์)

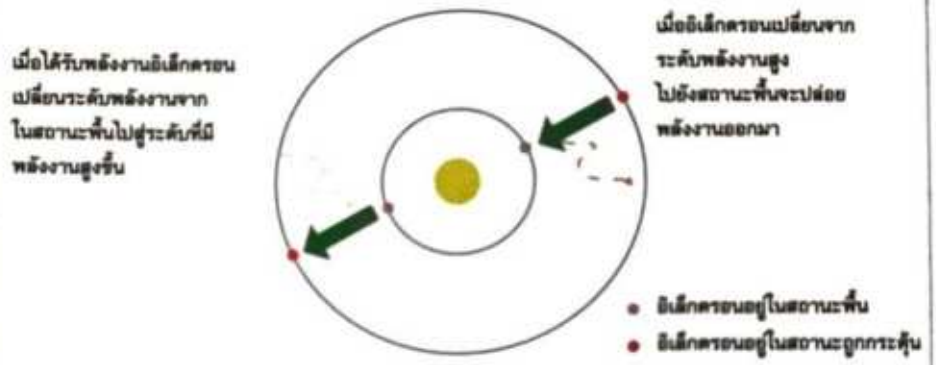
▲ (Cr. TheMicrobiology09)

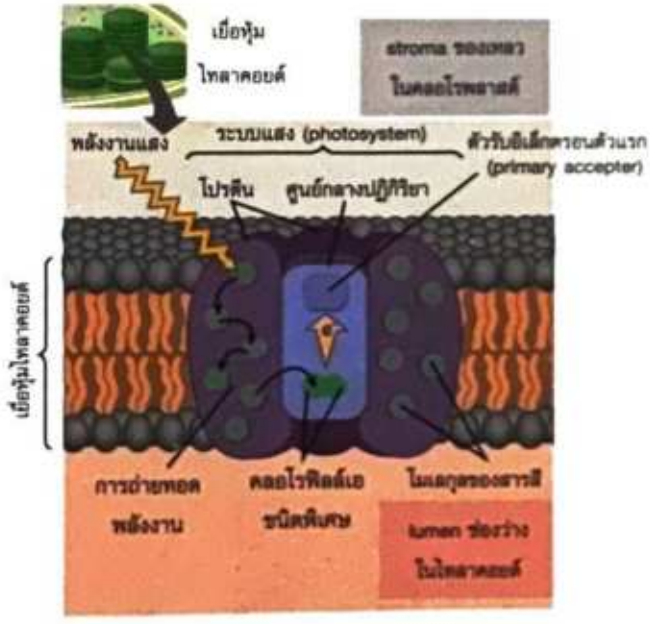


- กลุ่มของรงควัตถุต่างๆ จะฝังตัวอยู่ที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ ทำหน้าที่รับส่งพลังงานแสงแล้วส่งต่อไปตามลำดับสู่**ศูนย์กลางปฏิกิริยา** (reaction center) ซึ่งเป็นคลอโรฟิลล์เอชนิดพิเศษ
- กลุ่มของรงควัตถุที่ทำหน้าที่รับและส่งพลังงานเหล่านี้ เรียกว่า **แอนเทนนา** (antenna)
- ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยเคยถามเกี่ยวกับการเรียงตัวของรงควัตถุที่แอนเทนนา !!

  1. แคโรทีนอยด์ (บนสุด) 2. คลอโรฟิลล์บี 3. คลอโรฟิลล์เอ

เพิ่มเติม (เชื่อมโยงวิชาเคมี) โครงสร้างของสารสีประกอบด้วยอะตอมที่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่รอบๆ นิวเคลียส เมื่อโมเลกุลสารสีดูดพลังงานจากแสงจะมีผลทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะ**ปกติหรือสถานะพื้น** (ground state) ถูกกระตุ้นให้มีพลังงานมากขึ้นจึงทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปสู่ระดับที่มีพลังงานสูงขึ้น เรียกอิเล็กตรอนภาวะนี้ว่าอยู่ในสถานะ**ถูกกระตุ้น** (excited state)





ระบบแสง (photosystem : PS) = กลุ่มของโปรตีน + แอนเทนนา + ตัวรับอิเล็กตรอน + ศูนย์กลางปฏิกิริยาที่ฝังตัวอยู่ที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ .... ระบบแสงของพืชชั้นสูงมี 2 ชนิด คือ

- ระบบแสง I (photosystem I : PSI หรือ P_{700}) โดยศูนย์กลางปฏิกิริยาจะมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เมื่อได้รับพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นไม่เกิน 700 nm
- ระบบแสง II (photosystem II : PSII หรือ P_{680}) โดยศูนย์กลางปฏิกิริยาจะมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เมื่อได้รับพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นไม่เกิน 680 nm

มุขจำ... ให้จำว่า ระบบแสง 1 หรือ PS I คือ พี่คนแรกหรือพี่คนโตจะได้เงินจากแม่มากสุดคือ 700 บาท (P_{700}) ส่วนระบบแสง 2 หรือ PS II คือน้องคนเล็กจะได้เงินจากแม่น้อยสุดคือ 680 บาท (P_{680})

ข้อควรรู้ การที่สารสีของพืชดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันมีประโยชน์ต่อพืชโดยทำให้พืชสามารถรับพลังงานแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างและมากซึ่งมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง

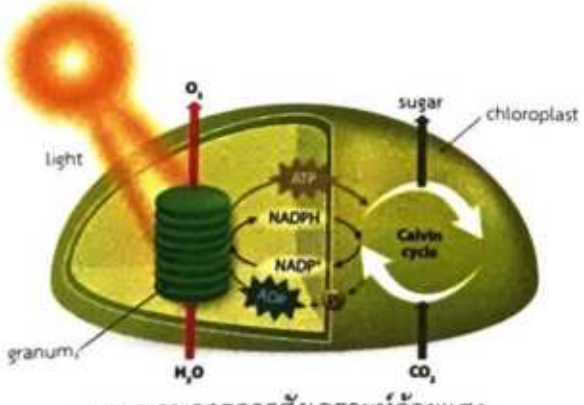
คำถาม นอกจากคลอโรฟิลล์แล้วโมเลกุลของรงควัตถุอื่นๆ สามารถให้อิเล็กตรอนแก่ตัวรับอิเล็กตรอนได้หรือไม่?

ตอบ ไม่สามารถให้อิเล็กตรอนแก่ตัวรับอิเล็กตรอนได้ เพราะพลังงานแสงที่สารสีต่างๆ ได้รับไม่เพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนของสารสีนั้นอยู่ในสภาพถูกกระตุ้น โดยคลอโรฟิลล์เอที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาได้รับพลังงานแสงเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปและมีตัวรับอิเล็กตรอนมารับไว้ ซึ่งถือเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีเป็นครั้งแรกในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

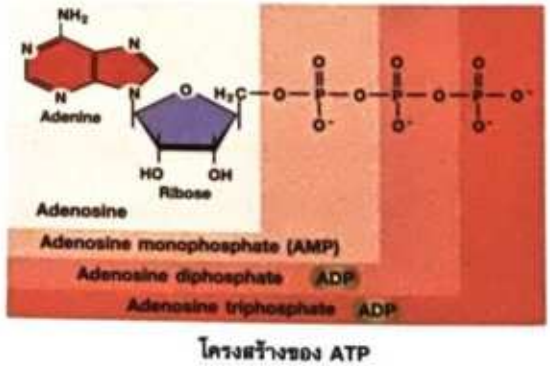
สรุปโครงสร้างที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงจากใหญ่ไปเล็ก

1. mesophyll ของใบ ... ใหญ่สุด
2. chloroplast
3. grana (พหูพจน์ ... มีหลายๆ กลุ่ม)
4. granum (เอกพจน์ ... 1 กลุ่มของไทลาคอยด์)
5. thylakoid (เยื่อบางๆ แต่ละแผ่นที่ซ้อนทับกัน)
6. ระบบแสง (กลุ่มของสารสี โปรตีน ตัวรับอิเล็กตรอน)
7. แอนเทนนา (มีสารสีประมาณ 300-700 โมเลกุล)
8. ศูนย์กลางปฏิกิริยา (reaction center)
9. chlorophyll a (P_{700} หรือ P_{680}) ... เล็กสุด

12.2.3 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง



กระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสง



โครงสร้างของ ATP

- ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ ATP และ $NADP^+$ (ย้อนดูเรื่องการหายใจระดับเซลล์)

ATP (adenosine triphosphate) สารประกอบพลังงานสูง ประกอบด้วยน้ำตาลไรโบส ไนโตรจีนัสเบส (เบสอะดีนีน : A) และหมู่ฟอสเฟต 3 หมู่ โดยพันธะระหว่างหมู่ฟอสเฟตกับหมู่ฟอสเฟตถือว่าเป็นพันธะพลังงานสูง แต่ถูกสลายได้ด้วยน้ำ (hydrolysis)

ATP + H_2O → ADP + Pi (หมู่ฟอสเฟต) + พลังงาน

ADP + H_2O → AMP + Pi (หมู่ฟอสเฟต) + พลังงาน

AMP + H_2O → เบสอะดีนีน + Pi (หมู่ฟอสเฟต) + พลังงาน

$NADP^+$ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) เป็นโคเอนไซม์ที่ทำหน้าที่รับโปรตอนและอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนอะตอม

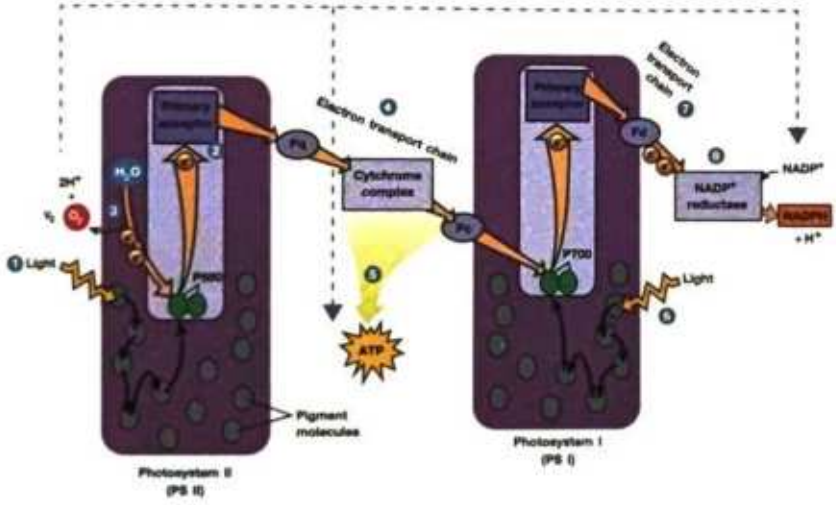
$NADP^+ + 2\,H\,(2H^+ + 2e) \rightarrow NADPH + H^+$ **(มุขจำ... จำว่า น้องแนท ($NADP^+$) เป็นผู้มารับอิเล็กตรอน)**

กระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ 1. ปฏิกิริยาแสงและ 2. ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอน

1. ปฏิกิริยาแสง (light reaction)

- เกิดที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์
- เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี
- อิเล็กตรอนที่อยู่ในคลอโรฟิลล์เอที่ศูนย์กลางปฏิกิริยาได้รับการกระตุ้นให้มีระดับพลังงานสูงขึ้นหรืออยู่ในสถานะถูกกระตุ้น จนถึงจุดหนึ่งอิเล็กตรอนจะหลุดออกไปยังตัวรับต่างๆ โดยจะเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน 2 ลักษณะ คือ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร

การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic e- transfer)



- ผลผลิตที่ได้คือ ATP, NADPH + H^+, O_2
- ระบบแสงที่เกี่ยวข้องคือ ระบบแสง 1 และ 2
- น้ำเป็นตัวให้อิเล็กตรอนตัวสุดท้าย
- ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายคือ $NADP^+$ (น้องแนท !!)

ขั้นตอนของปฏิกิริยา

1. พลังงานแสงกระตุ้นสารสี และมีการถ่ายทอดพลังงานมายังศูนย์กลางปฏิกิริยา ซึ่งเป็นคลอโรฟิลล์เอ P_{680} ในระบบแสง 2 (PS II)
2. อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงจากระบบแสง 2 ถูกถ่ายทอดไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวแรก (primary acceptor)
3. เมื่อระบบแสง 2 สูญเสียอิเล็กตรอนไปจึงเกิดปฏิกิริยาโฟโตไลซิส (photolysis) เป็นการสลายตัวของน้ำที่ลูเมน เพื่อให้ได้อิเล็กตรอนเข้าไปทดแทนในระบบแสง 2 ทั้งนี้ผลพลอยได้จากการสลายน้ำ คือ โปรตอนสะสมในลูเมน (H^+ ใช้ในการสร้าง ATP และไปรวมตัวกับ $NADP^+$) และออกซิเจน (O_2) ที่มนุษย์ใช้สำหรับหายใจ

$$H_2O \xrightarrow{(2H^+ + 2e^-)} 2H + \frac{1}{2}O_2$$

4.-8. จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกถ่ายทอดไปยังตัวรับต่างๆ ตามลำดับ (electron transport chain) ออกสอบบ่อย

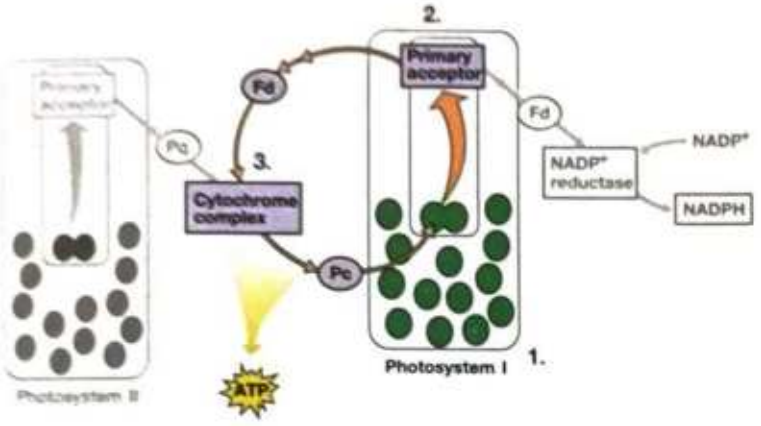
P_{680} $\xrightarrow{2e^-}$ primary acceptor $\xrightarrow{2e^-}$ Pq (plastoquinone) $\xrightarrow{2e^-}$ cytochrome complex $\xrightarrow{2e^-}$

เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย $NADP^+$ $\xleftarrow{2e^-}$ Fd (ferredoxin) $\xleftarrow{2e^-}$ P_{700} $\xleftarrow{2e^-}$ Pc (plastocyanin)

$NADP^+ + 2H\ (2H^+ + 2e^-) \longrightarrow NADPH + H^+$

*ในขั้นตอนที่ 5 การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจะทำให้โปรตอนเคลื่อนย้ายจากสโตรมาเข้าสู่ลูเมน เป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของโปรตอนระหว่างลูเมนและสโตรมา และเมื่อมีการสะสมโปรตอนมากขึ้น (จาก photolysis ด้วย) จะเป็นแรงผลักดันทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของโปรตอนออกสู่สโตรมาเกิดการสังเคราะห์ ATP

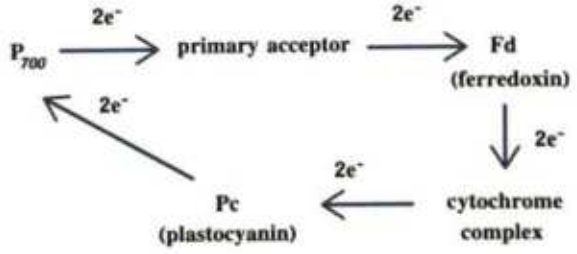
การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic e⁻ transfer)



- ผลผลิตที่ได้คือ ATP เท่านั้น
- ระบบแสงที่เกี่ยวข้อง คือ ระบบแสง 1
- ระบบแสง 1 เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเท่านั้น
- ไม่มีตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย

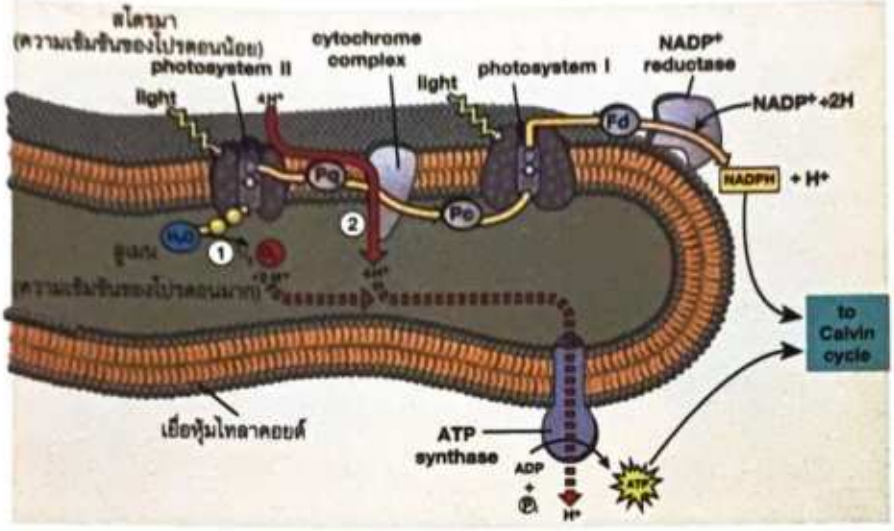
ขั้นตอนของปฏิกิริยา

1. พลังงานแสงกระตุ้นสารสีและมีการถ่ายทอดพลังงานมายังศูนย์กลางปฏิกิริยาซึ่งเป็นคลอโรฟิลล์เอ P_{700} ในระบบแสง 1 (PS I)
2. อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงจากระบบแสง 1 ถูกถ่ายทอดไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวแรก (primary acceptor)
3. จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกส่งมายังตัวรับต่างๆ ตามลำดับ



ข้อเปรียบเทียบ	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer)	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer)
1. ผลลัพธ์ที่ได้	เกิด ATP, $NADPH + H^+$, O_2	เกิดเฉพาะ ATP เท่านั้น
2. ระบบแสงที่เกี่ยวข้อง	ระบบแสง 1 และ 2	ระบบแสง 1 เท่านั้น
3. ตัวให้อิเล็กตรอนตัวสุดท้าย	H_2O	ระบบแสง 1
4. ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย	$NADP^+$	-

*ATP และ NADPH + H+ ถูกสร้างที่สโตรมา ส่วน O_2 ถูกสร้างที่ลูเมนจากการแตกตัวของน้ำ (photolysis)... **ออกสอบ!!***



- สร้าง ATP ตามทฤษฎีเคมิออสโมซิส (chemiosmosis theory) ในปฏิกิริยาแสง โดยแหล่งโปรตอนมาจาก

1. เกิดการแตกตัวของน้ำ (photolysis) ได้โปรตอน และออกซิเจนสะสมในลูเมน
2. พลังงานที่ปลดปล่อยระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนถูกใช้ในการปั๊มโปรตอนจากภายนอกไทลาคอยด์เข้าสู่ลูเมน

ผล ทำให้โปรตอนในลูเมนมีความเข้มข้นสูงจะแพร่ออกไปที่สโตรมาผ่านเอนไซม์ ATP synthase ซึ่งเป็นตัวเร่งที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ เกิดการสังเคราะห์ ATP ในที่สุด ทั้งนี้การสร้าง ATP จะเกิดควบคู่กับการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (ลูกศรสีเหลือง) ด้วย

Quiz Yourself

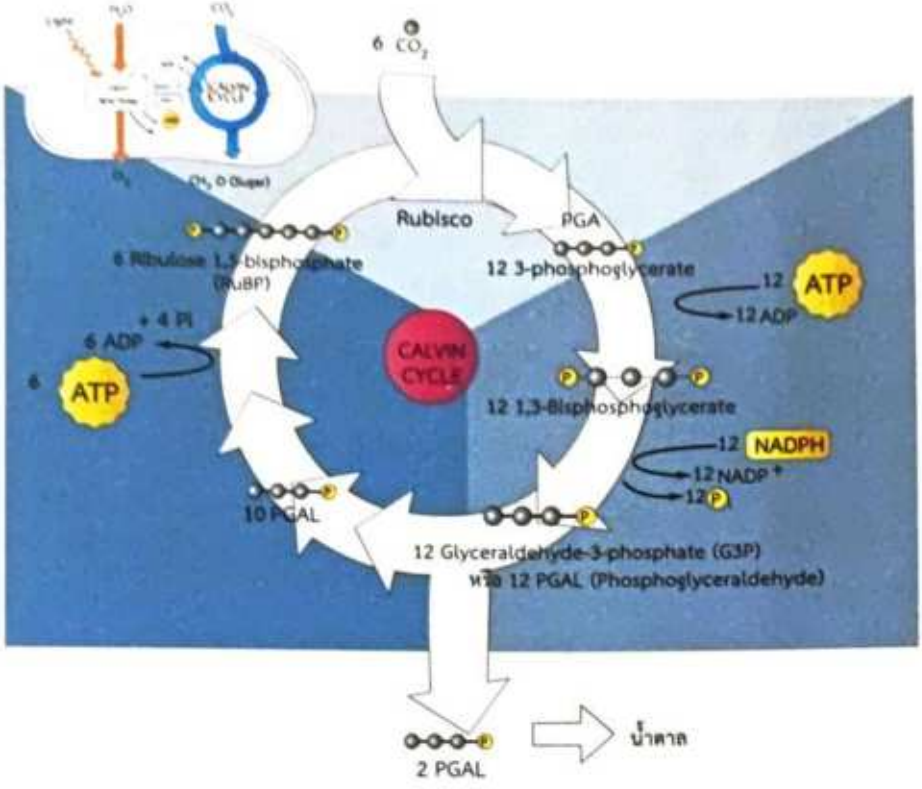
1) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับ P_{680}
   1. เป็นคลอโรฟิลล์โมเลกุลคู่
   2. เป็นระบบแสง 1 ในพืชชั้นสูง
   3. เป็นระบบแสง 2 ในพืชชั้นสูง
   4. สามารถรับแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดที่ 680 nm
   5. มีคำตอบถูกมากกว่า 1 ข้อ

2. ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอน

- เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากปฏิกิริยาแสง
- เป็นกระบวนการตรึง CO_2 เพื่อสร้างน้ำตาล
- เรียกอีกชื่อตามคนค้นพบว่า วัฏจักรคัลวิน (Calvin cycle)
- การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช มี 3 รูปแบบ คือ
  1. การตรึง CO_2 ของพืช C_3 (C_3-plant) ได้แก่ พืชใบเลี้ยงคู่ทั่วไป ถั่ว และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เช่น ข้าว ข้าวเจ้า
  2. การตรึง CO_2 ของพืช C_4 (C_4-plant) ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง บานไม่รู้โรย หญ้าแพรก หญ้าแห้วหมู ผักโขมจีน
  3. การตรึง CO_2 ของพืช CAM ได้แก่ กระบองเพชร สับปะรด กล้วยไม้

การตรึง CO_2 ของพืช C_3

- วัฏจักรคัลวิน มี 3 ขั้นตอน



ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 คาร์บอกซิเลชัน (carboxylation)

- เป็นปฏิกิริยาการตรึง CO_2 (1C) ด้วย RuBP (5C) โดยมีเอนไซม์ Rubisco เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- เมื่อสาร 5C รวมตัวกับสาร 1C จะได้สารประกอบใหม่ที่มี 6C แต่เป็นสารที่ไม่เสถียรจึงสลายเป็นสาร PGA ซึ่งมี 3C จำนวน 2 โมเลกุล ต่อ CO_2 1 โมเลกุล
- PGA (3C) เป็นสารอินทรีย์ตัวแรกที่เกิดขึ้นมีคาร์บอน 3 อะตอมจึงเรียกการตรึง CO_2 ของพืช C_3
- แต่ในการสร้างน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุลจะต้องใช้ CO_2 6 โมเลกุลเพื่อสร้าง 12 PGA ดังสมการ

$$\underset{(5C)}{6\ RuBP} + \underset{(1C)}{6\ CO_2} \xrightarrow[\text{Rubisco}]{\text{enzyme}} \underset{(3C)}{12\ PGA}$$

ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 รีดักชัน (reduction)

- เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนสารตามลำดับ ดังนี้

$$\underset{(3C)}{PGA} \longrightarrow \underset{(3C)}{1,3\ Bisphosphoglycerate} \longrightarrow \underset{(3C)}{PGAL}$$

สารอินทรีย์ตัวแรกที่เกิดขึ้น — น้ำตาลตัวแรกที่เกิดขึ้น

- ระหว่างการเปลี่ยน 12 PGA ไปเป็น 12 PGAL มีการใช้ 12 ATP (ให้หมู่ฟอสเฟต) และ 12 NADPH (ให้ e) จากปฏิกิริยาแสง
- PGAL เรียกชื่อย่ออีกชื่อว่า G3P ซึ่งถือเป็นน้ำตาลตัวแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคัลวินโดย 12 PGAL (3C) น้ำตาลตัวแรกที่เกิดขึ้น
  - 10 PGAL (3C) จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น 6 RuBP (5C) ในปฏิกิริยาขั้นที่ 3
  - 2 PGAL (3C) จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส (6C) หรือซูโครสเพื่อลำเลียงไปส่วนต่างๆ ซึ่งอาจนำไปใน การหายใจระดับเซลล์ การสร้างสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดไขมัน กรดอะมิโน

เดิมทีเรียกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์นี้ว่า ปฏิกิริยามืด (dark reaction) หรือปฏิกิริยาไม่ใช้แสง เพราะคิดว่าเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการแสง แต่ปัจจุบันค้นพบแล้วว่าแสงมีผลต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น กระตุ้นการทำงานของ Rubisco มีอิทธิพลต่อการลำเลียง G3P และไอออนต่างๆ

ปฏิกิริยาขั้นที่ 3 รีเจเนอเรชัน (regeneration) Re- แปลว่า กลับมา

- เป็นการนำ 10 PGAL (3C) เปลี่ยนเป็น 6RuBP (5C) กลับมาอีกครั้ง
- ขั้นตอนนี้มีการใช้ 6 ATP จากปฏิกิริยาแสง เพื่อให้หมู่ฟอสเฟตแก่สารด้วย

▸ สรุปในการสร้างน้ำตาลกลูโคส (6C) 1 โมเลกุลในวัฏจักรคัลวิน มีการใช้สารดังนี้

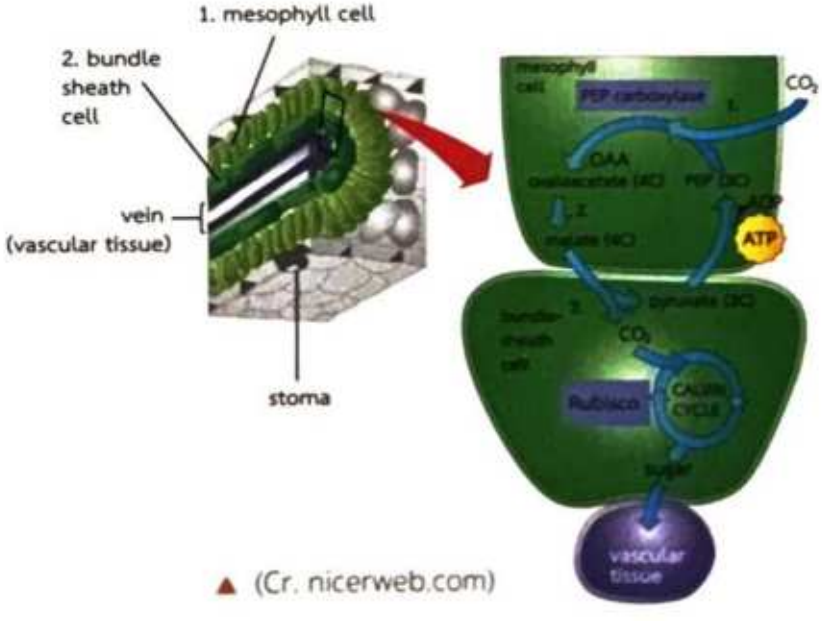
สิ่งที่ใช้	ผลผลิตที่ได้
6 CO_2	12 PGAL (2 PGAL ⟶ 1 กลูโคส)
6 RuBP	
18 ATP (จากปฏิกิริยาแสง)	18 ADP + 16 Pi (2 Pi ที่หายไปถูกนำไปใช้ในขั้น regeneration)
12 NADPH (จากปฏิกิริยาแสง)	12 $NADP^+$ + 12 H^+
	6 H_2O

ข้อสอบมักออกบ่อย

- สารอินทรีย์ตัวแรกที่เกิดขึ้นในการตรึง CO_2 ของพืช C_3 คือ PGA
- น้ำตาลตัวแรกที่เกิดขึ้นคือ PGAL หรือ G3P
- การสังเคราะห์ด้วยแสงคือการเปลี่ยน PGA ⟶ PGAL แต่การหายใจระดับเซลล์คือ การเปลี่ยน PGAL ⟶ PGA (ย้อนกลับไปดูกระบวนการไกลโคไลซิส)

การตรึง CO_2 ของพืช C_4 ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง บานไม่รู้โรย หญ้าแพรก หญ้าแห้วหมู ผักโขมจีน

- เกิดการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง
  ครั้งที่ 1 ตรึงที่ mesophyll โดยใช้เอนไซม์ PEP carboxylase ...**ออกสอบบ่อยมาก**
  ครั้งที่ 2 ตรึงที่ bundle sheath โดยใช้เอนไซม์ Rubisco



▲ (Cr. nicerweb.com)

ขั้นตอนการตรึง CO_2 ของพืช C_4

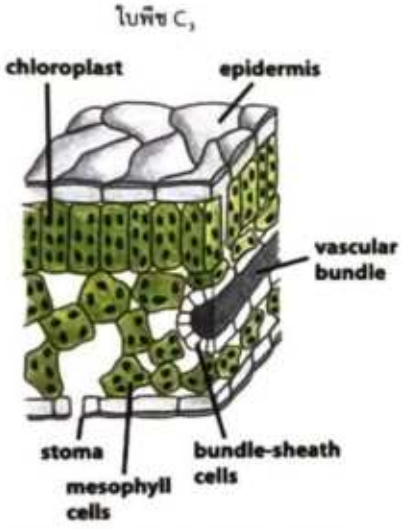
1. CO_2 (1C) ถูกตรึงครั้งที่ 1 ที่ mesophyll โดยสาร PEP (3C) (phosphoenol pyruvic acid) มีเอนไซม์ PEP carboxylase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จนได้สาร 4C ที่เรียกว่า OAA (oxaloacetic acid)

$$\underset{(3C)}{PEP} + \underset{(1C)}{CO_2} \xrightarrow[PEP\ carboxylase]{enzyme} \underset{(4C)}{OAA}$$

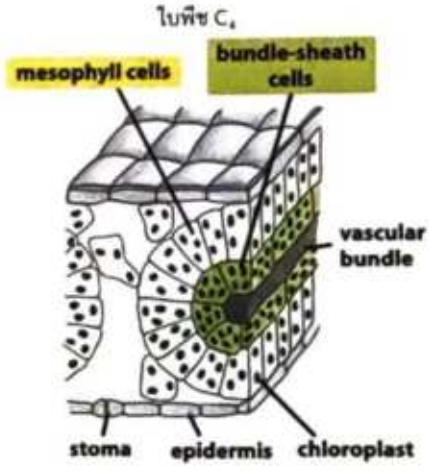
**OAA (4C) คือ สารอินทรีย์ตัวแรกที่เกิดขึ้นมี 4C จึงเรียกการตรึง CO_2 ของพืช C_4 **

2. OAA (4C) เปลี่ยนเป็นสารที่เรียกว่า malate (4C)
3. จากนั้น malate (4C) จะถูกเปลี่ยนเป็น
   - pyruvate (3C) จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น PEP (3C) โดยมีการใช้ ATP ด้วย
   - CO_2 (1C) เกิดการตรึง CO_2 ครั้งที่ 2 ที่ bundle sheath โดย CO_2 เข้าสู่วัฏจักรคัลวิน และใช้เอนไซม์ Rubisco เร่งปฏิกิริยาจนเกิดน้ำตาลแล้วจึงลำเลียงไปที่ท่อโฟลเอ็ม

▸ ความแตกต่างระหว่างใบพืช C_3 และ C_4



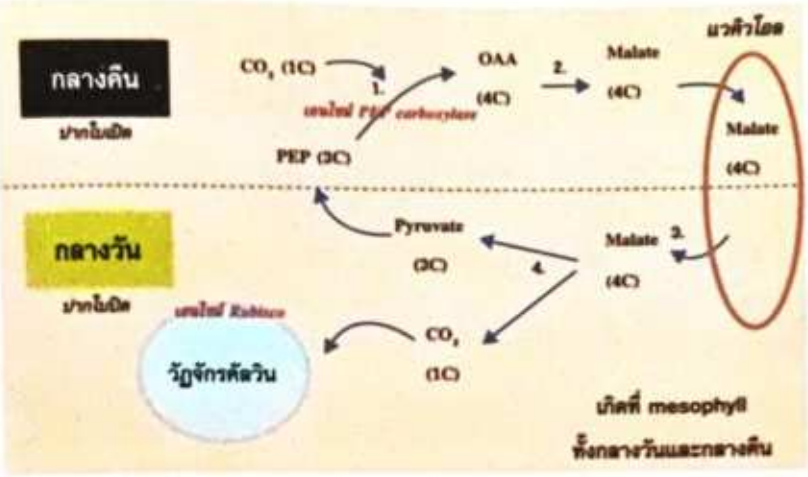
-ใบพืช C_3 ที่ bundle sheath ไม่มีคลอโรพลาสต์ จึงไม่เกิดการตรึง CO_2



-ใบพืช C_4 ที่ bundle sheath มีคลอโรพลาสต์ จึงเกิดการตรึง CO_2
-เมื่อมองดูจะคล้ายพวงหรีด

การตรึง CO_2 ของพืช CAM ได้แก่ กล้วยไม้ กระบองเพชร ศรนารายณ์ ลิ้นมังกร ว่านหางจระเข้ สับปะรด

- คำว่า CAM ย่อมาจาก Crassulacean acid metabolism plant กระบวนการนี้ค้นพบครั้งแรกที่พืชวงศ์แครสซูลาซี (Crassulaceae) ซึ่งเป็นพืชอวบน้ำ ได้แก่ พืชตระกูลกระบองเพชร แต่ในปัจจุบันพบในพืชวงศ์อื่นๆ ด้วย เช่น ว่านหางจระเข้ ศรนารายณ์ ลิ้นมังกร สับปะรด กล้วยไม้ เป็นต้น



- เกิดการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้งเกิดที่ mesophyll เท่านั้น
- ตรึง CO_2 ตอนกลางวัน เกิดวัฏจักรคัลวิน ใช้เอนไซม์ Rubisco
- ตรึง CO_2 ตอนกลางคืน PEP (3C) จับ CO_2 (1C) ได้สาร 4C คือ OAA ใช้เอนไซม์ PEP carboxylase

มุขจำ... ให้จำว่ากลางคืนออกไปกินก๋วยเตี๋ยวชาย 4 หมี่เกี๊ยว จึงเกิดสาร 4 C (OAA) ตอนกลางคืน

- การปรับตัวของพืช CAM ในสภาวะแห้งแล้ง อุณหภูมิสูง ความชื้นต่ำ พืชจะสูญเสียน้ำออกทางปากใบมากในเวลากลางวัน พืชจึงปรับตัวโดยทำให้ปากใบปิดตอนกลางวันและเปิดปากใบตอนกลางคืน เปลี่ยนใบให้เป็นหนามในต้นกระบองเพชร และทำให้ลำต้นอวบน้ำเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้

ขั้นตอนการตรึง CO_2 ของพืช CAM

1. ตอนกลางคืนปากใบเปิด CO_2 (1C) ถูกตรึง โดยสาร PEP (3C) (phosphoenol pyruvic acid) มีเอนไซม์ PEP carboxylase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จนได้สาร 4C ที่เรียกว่า OAA

$$\underset{(3C)}{PEP} + \underset{(1C)}{CO_2} \xrightarrow[PEP\ carboxylase]{enzyme} \underset{(4C)}{OAA}$$

2. OAA (4C) เปลี่ยนเป็นสารที่เรียกว่า malate (4C) จากนั้น malate (4C) จะถูกเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลของพืช
3. ตอนกลางวันปากใบปิดสาร malate (4C) ที่เก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลจะถูกนำออกมาเปลี่ยนเป็น
   - pyruvate (3C) จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น PEP (3C) โดยมีการใช้ ATP ด้วย
   - CO_2 (1C) เกิดการตรึง CO_2 โดย CO_2 เข้าสู่วัฏจักรคัลวิน และใช้เอนไซม์ Rubisco เร่งปฏิกิริยาจนเกิดน้ำตาล แล้วจึงลำเลียงไปที่ท่อโฟลเอ็ม

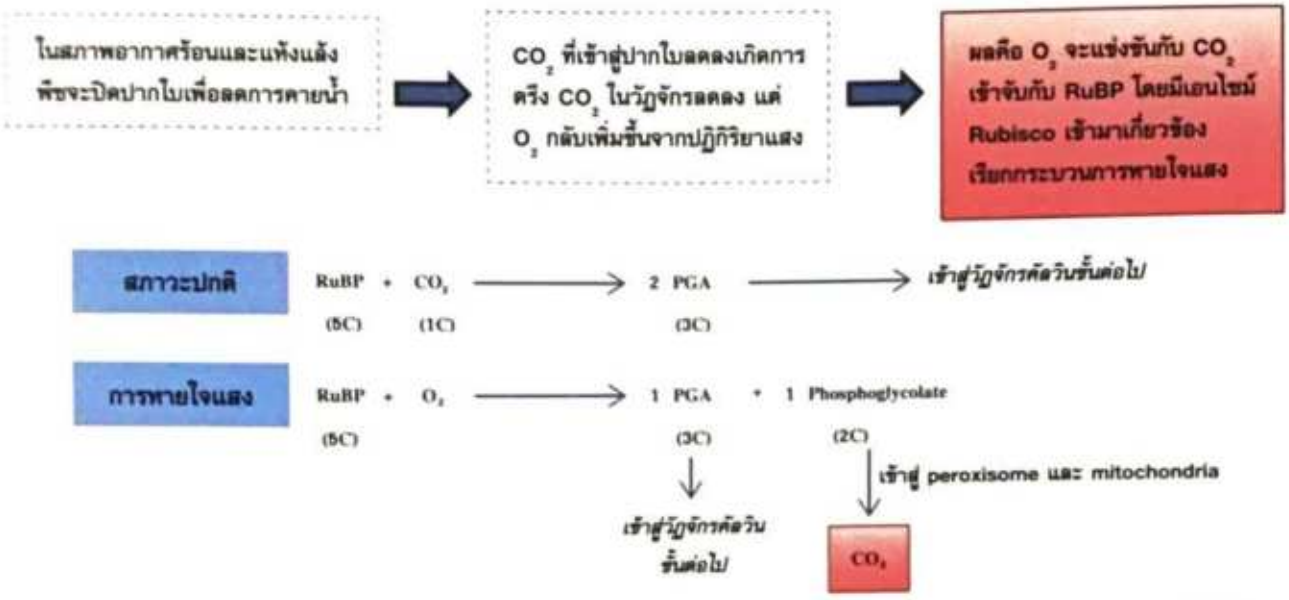
▸ ตารางเปรียบเทียบพืช C_3, C_4 และ CAM (**ตารางนี้จะช่วยในการจดจำได้มากมาย**)

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
กายวิภาคของใบพืช	bundle sheath ไม่มีคลอโรพลาสต์	bundle sheath มีคลอโรพลาสต์	▸ bundle sheath ไม่มีคลอโรพลาสต์ ▸ vacuole ขนาดใหญ่
จำนวนครั้งในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์	1 ครั้งที่ mesophyll	2 ครั้ง ▸ ครั้งที่ 1 ที่ mesophyll ▸ ครั้งที่ 2 ที่ bundle sheath	▸ 2 ครั้ง คือ ตอนกลางวันและตอนกลางคืน เกิดที่ mesophyll
เอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง	Rubisco	▸ ครั้งที่ 1 ที่ mesophyll ใช้ PEP carboxylase ▸ ครั้งที่ 2 ที่ bundle sheath ใช้ Rubisco	▸ ตอนกลางคืนใช้ PEP carboxylase ▸ ตอนกลางวันใช้ Rubisco
สารอินทรีย์ตัวแรกที่เกิดขึ้น	PGA (3C)	OAA (4C)	▸ ตอนกลางคืน เกิด OAA (4C) ▸ ตอนกลางวัน เกิด Malate (4C)

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจริญเติบโต	มากสุด	ปานกลาง	น้อยสุด
ตัวอย่างพืช	พืชใบเลี้ยงคู่ทั่วไป ถั่วต่างๆ และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด	อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง บานไม่รู้โรย หญ้าแพรก หญ้าแห้วหมู ผักโขมจีน	กล้วยไม้ กระบองเพชร ศรนารายณ์ ลิ้นมังกร ว่านหางจระเข้ สับปะรด

12.3 การหายใจแสง (photorespiration)

การหายใจแสง (photorespiration) คล้ายกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์ที่มีการใช้ออกซิเจนสลายอาหารและมีการปล่อย CO_2 ออกมา แต่กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อมีแสง

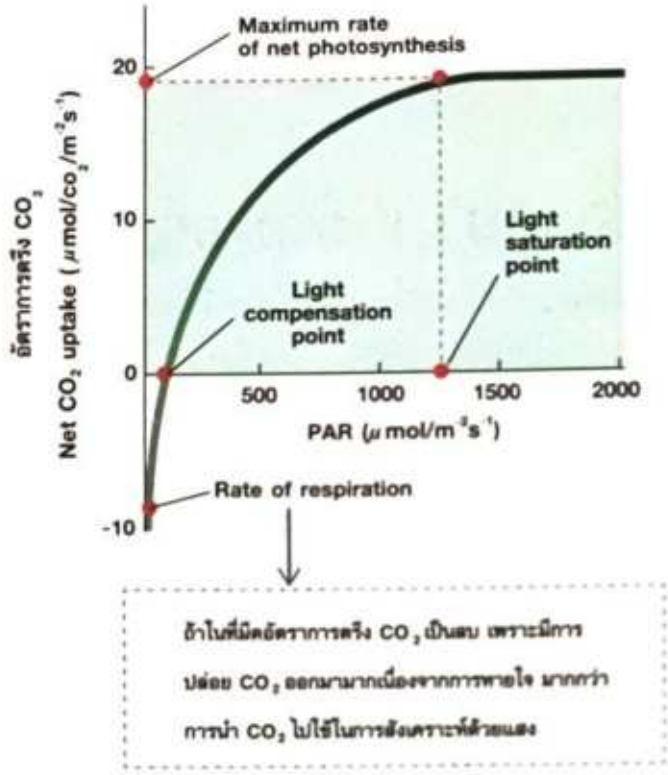


- การหายใจแสงทำให้ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เนื่องจาก RuBP ถูก O_2 แย่งจับกับ CO_2 ทำให้สังเคราะห์น้ำตาลลดลง
- พืช C_3 สามารถเกิดการหายใจแสงได้มากกว่าพืช C_4 เพราะพืช C_4 มีความเข้มข้นของ CO_2 สูงอยู่แล้วใน bundle sheath (อย่าลืมว่ามันตรึง CO_2 2 ครั้ง) และ Rubisco มีความไวต่อ CO_2 มากกว่า O_2 ด้วยเหตุนี้ พืช C_4 จึงเกิดกระบวนการหายใจแสงน้อยมากหรือไม่เกิดเลย
- การเกิดกระบวนการหายใจแสงมากมีประโยชน์กับพืชเช่นกัน โดยเป็นการลดอันตรายให้แก่พืชทางหนึ่ง เนื่องจากพืชได้ใช้สารพลังงานสูงเช่น ATP ที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงมาใช้ในการหายใจ สามารถลดอันตรายจากสารพลังงานสูงที่เหลือใช้เหล่านี้

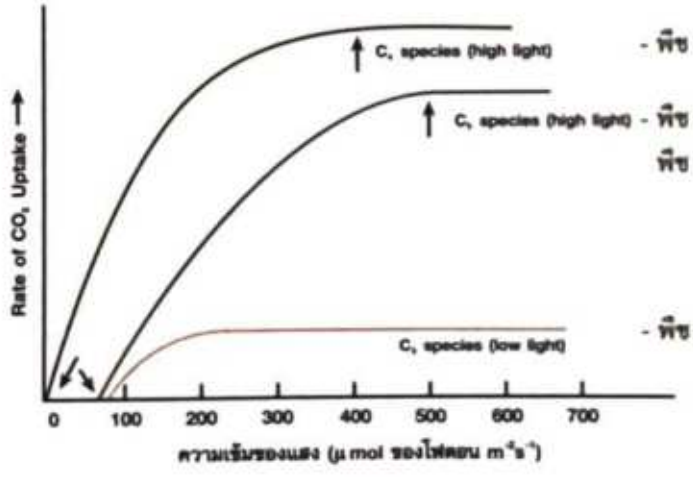
การหายใจระดับเซลล์	การหายใจแสง
มีการใช้ O_2 แล้วสร้าง CO_2	มีการใช้ O_2 แล้วสร้าง CO_2 เช่นกัน
สร้าง ATP	ไม่สร้าง ATP
สามารถเกิดได้ตลอดเวลา	เกิดกระบวนการเมื่อมีแสงเท่านั้น
เปลี่ยนสาร PGAL → PGA	เปลี่ยนสาร PGA → PGAL

12.4 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

แสงและความเข้มของแสง



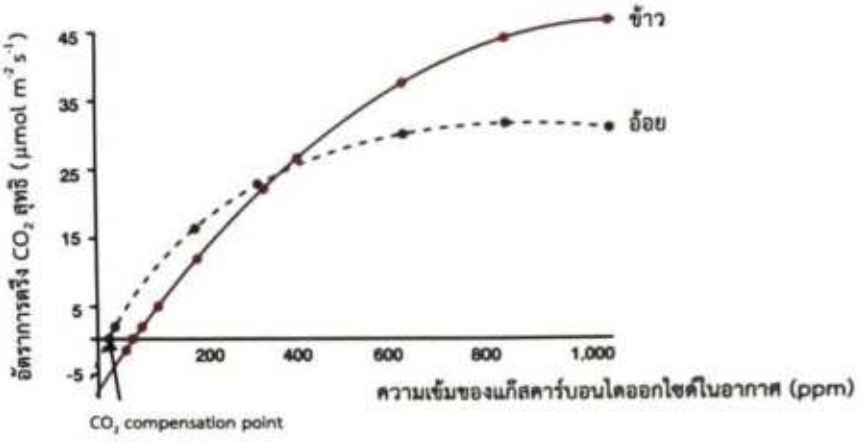
- พบว่าเมื่อความเข้มของแสงมากขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีอัตราการดึงคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ
- เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงจนถึงจุดหนึ่งต่อให้เพิ่มความเข้มของแสงแล้วอัตราการดึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้นอีกเรียกความเข้มของแสง ณ จุดนี้ว่า **จุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point)**
- ถ้าความเข้มแสง ณ จุดที่พืชมีการปล่อย CO_2 จากการหายใจเท่ากับการดึง CO_2 เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง จะเป็นจุดของเส้นกราฟบนแกน X พอดี เรียกจุดนี้ว่า **จุดไลท์คอมเพนเซชันพอยท์ (light compensation point)**....(พูดง่ายๆ คืออัตราการใช้ CO_2 เท่ากับอัตราการปล่อย CO_2)



- พืช C_4 เช่น อ้อย มีจุดอิ่มตัวของแสงสูงกว่าพืช C_3
- พืช C_3 ที่อยู่กลางแจ้งหรือขอบแคดมีจุดอิ่มตัวสูงกว่าพืช C_3 ที่อยู่ในที่ร่ม
- พืช C_3 ที่อยู่ในที่ร่ม

คาร์บอนไดออกไซด์

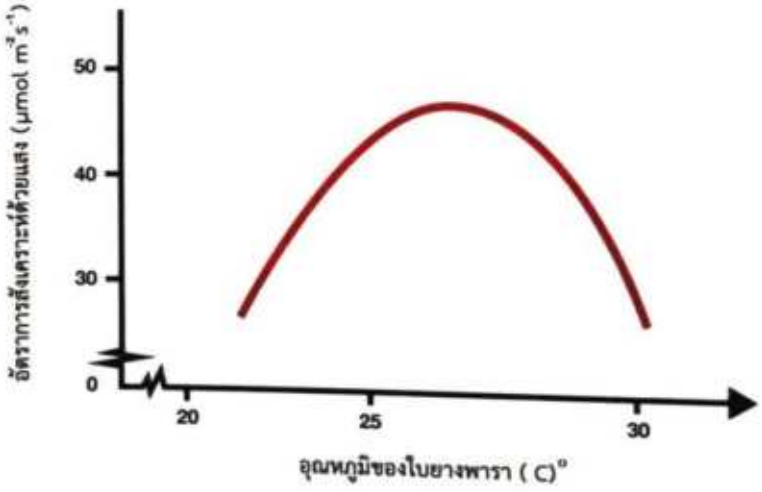
- พบว่าถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยมีอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ
- เมื่อเพิ่มความเข้มของ CO_2 จนถึงจุดหนึ่งต่อให้เพิ่มความเข้มของ CO_2 แล้วอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เรียกความเข้มของ CO_2 ณ จุดนี้ว่า **จุดอิ่มตัวของ CO_2 (carbondioxide saturation point)**
- ถ้าความเข้มข้นของ CO_2 ณ จุดที่พืชมีการปล่อย CO_2 จากการหายใจเท่ากับการตรึง CO_2 เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง จะเป็นจุดของเส้นกราฟบนแกน X พอดี เรียกจุดนี้ว่า **จุดคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยท์ (carbondioxide compensation point)**



จากกราฟสรุปได้ว่า

- พืช C_3 (ข้าว) มีจุดอิ่มตัวของ CO_2 สูงกว่าพืช C_4 อ้อย)
- พืช C_4 (อ้อย) เข้าสู่ระยะอิ่มตัวก่อนพืช C_3 เพราะ CO_2 ในบรรยากาศปกตินั้น พืช C_4 มีกลไกเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ใน bundle sheath ด้วยทำให้อัตราการตรึง CO_2 สุทธิเข้าสู่ระยะอิ่มตัวได้เร็วกราฟจึงเริ่มคงที่เร็ว

อุณหภูมิ



- อุณหภูมิมีผลต่อการเปิด-ปิดของปากใบในการนำ CO_2 เข้าสู่เซลล์พืชและตรึงด้วยเอนไซม์ Rubisco หากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนอาจเสียสภาพได้ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ประมาณ 26-28 °C

- พืช C_3 และพืช C_4 ที่อยู่ในเขตศูนย์สูตร พบว่าพืช C_3 มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าพืช C_4 เพราะในพืช C_3 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดการหายใจแสง (photorespiration) มากขึ้น
- พืชที่เจริญในทะเลทรายส่วนใหญ่สังเคราะห์ด้วยแสงที่อุณหภูมิ 50 °C และพืชที่เจริญที่ขั้วโลกส่วนใหญ่สังเคราะห์ด้วยแสงที่อุณหภูมิ 0 °C
- **อายุใบ** ใบอ่อนมีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าใบพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่ ใบแก่จะมีการสลายตัวของกรานุมและคลอโรฟิลล์ การสังเคราะห์ด้วยแสงก็ลดลงเช่นกัน
- **ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ** พืชขาดน้ำอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลง เนื่องจากปากใบปิดเพื่อลดการคายน้ำ ซึ่งทำให้ CO_2 เข้าสู่ปากใบไม่ได้

สารอาหาร

- ธาตุหลัก 6 ธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และพืชต้องการในปริมาณมากจากดิน คือ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, แมกนีเซียม, กำมะถัน, แคลเซียม
- ธาตุอาหารเสริม 7 ธาตุที่พืชใช้ในปริมาณที่น้อย แต่พืชจะขาดธาตุเหล่านี้ไม่ได้เช่นกัน คือ เหล็ก, แมงกานีส, สังกะสี, ทองแดง, โบรอน, โมลิบดีนัม และคลอรีน
- Mg และ N เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ การขาดธาตุเหล่านี้พืชจะเกิดอาการใบเหลืองซีดเรียกคลอโรซิส (chlorosis) เนื่องจากใบขาดคลอโรฟิลล์
- เหล็ก (Fe) เกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์และเป็นองค์ประกอบของ cytochrome ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสง
- แมงกานีส (Mn) และคลอรีน (Cl) เกี่ยวข้องกับการแตกตัวของน้ำในปฏิกิริยา photolysis

เฉลย Quiz Yourself

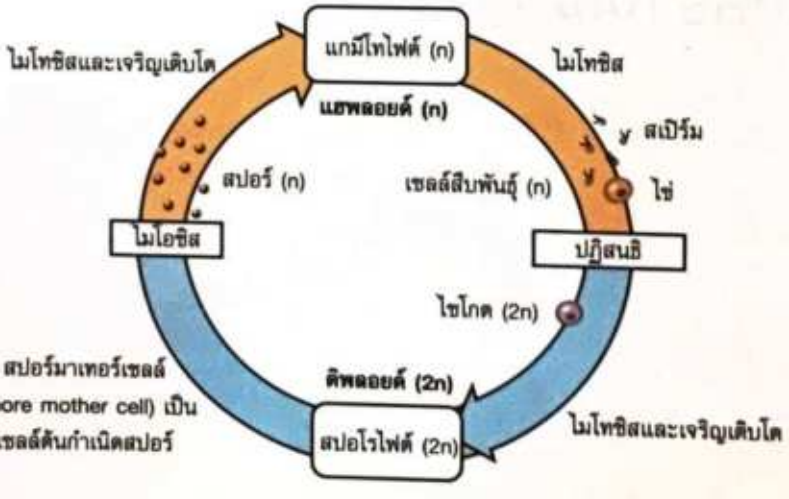
1) **ตอบ 5.** เพราะระบบแสง 2 (photosystem 2 : PS II หรือ P_{680}) เป็นระบบแสงที่มีคลอโรฟิลล์เอเป็นศูนย์กลางปฏิกิริยา รับพลังงานแสงขั้นต่ำสุดที่ความยาวคลื่น 680 nm (ข้อ 3. และ 4. ถูก)

บทที่ 13

การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของพืชดอก

13.1 วัฏจักรชีวิตและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก

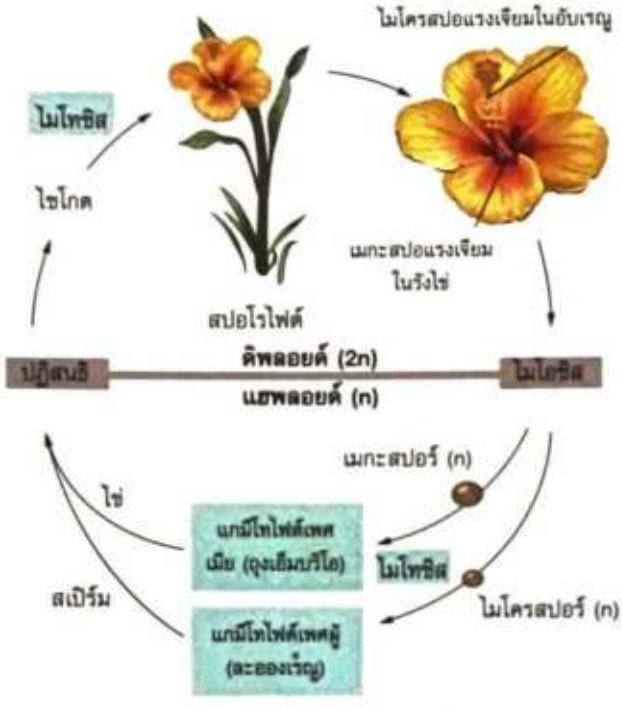
วัฏจักรชีวิตของพืชทุกชนิดเป็น**วัฏจักรชีวิตแบบสลับ** (alternation of generation) คือ มีช่วงชีวิต 2 ระยะสลับกัน ได้แก่ **ระยะสปอโรไฟต์** (sporophyte) เป็นดิพลอยด์ (2n) สลับกับ**ระยะแกมีโทไฟต์** (gametophyte) ที่เป็นแฮพลอยด์ (n)



▲ (Cr. mtchs.org)

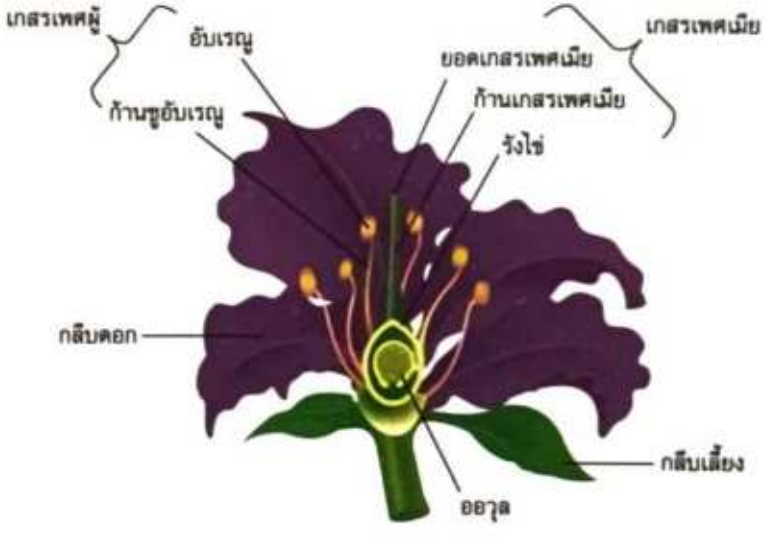
พืชดอก (flowering plant หรือ angiosperm) **เป็นพืชที่มีวิวัฒนาการสูงสุด มีดอก** (flower) **เป็นโครงสร้างที่ใช้สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ สร้างสปอร์ 2 ชนิด คือ ไมโครสปอร์** (microspore) **หรือสปอร์เพศผู้ และเมกะสปอร์** (megaspore) **หรือสปอร์เพศเมีย**

- **เพศผู้**
  ไมโครสปอแรงเจียมในอับเรณู ⟶ สร้างไมโครสปอร์ ⟶ แกมีโทไฟต์เพศผู้ (ละอองเรณู) ⟶ สเปิร์ม
- **เพศเมีย**
  เมกะสปอแรงเจียมในรังไข่ ⟶ สร้างเมกะสปอร์ ⟶ แกมีโทไฟต์เพศเมีย (ถุงเอ็มบริโอ) ⟶ ไข่



▲ (Cr. nicerweb.com)

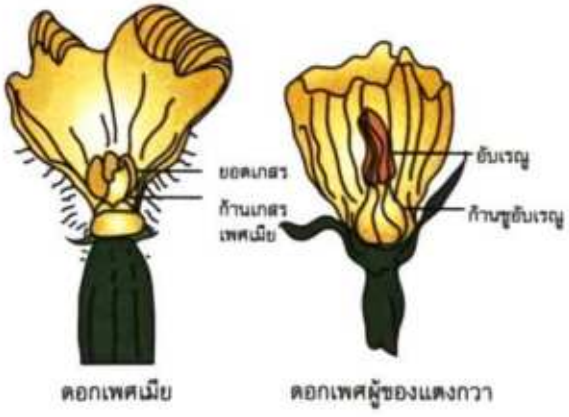
13.2 โครงสร้างของดอก



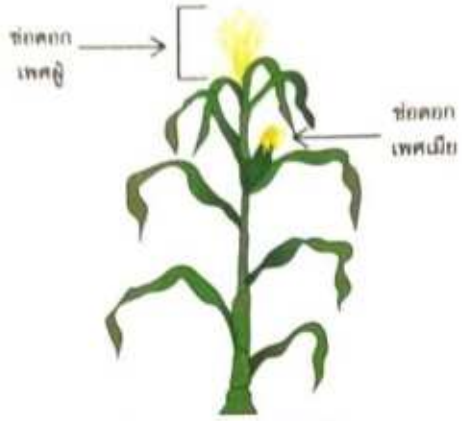
ส่วนประกอบของดอก	หน้าที่
กลีบเลี้ยง (sepal)	ทำหน้าที่ห่อหุ้มและป้องกันดอกตูมหรือดอกที่ยังอ่อนอยู่
กลีบดอก (petal)	มักมีสีสัน บางชนิดมีต่อมน้ำหวานอยู่ที่โคนกลีบดอก ทำให้ดอกมีกลิ่นหอมช่วยล่อแมลงให้บินมาตอมและช่วยถ่ายละอองเรณู ช่วยห่อหุ้มเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมีย
เกสรเพศผู้ (stamen)	
ก้านชูอับเรณู (filament)	เป็นก้านชูอับเรณูให้สูงขึ้นเพื่อช่วยในการถ่ายละอองเรณู
อับเรณู (anther)	ภายในมีละอองเรณูซึ่งจะสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ (สเปิร์ม) เมื่อเกิดการถ่ายละอองเรณู
เกสรเพศเมีย (pistil)	
ยอดเกสรเพศเมีย (stigma)	ส่วนปลายสุดของก้านเกสรเพศเมีย มีลักษณะเป็นปุ่มมีขนหรือของเหลวเหนียวๆ สำหรับดักจับละอองเรณูที่ปลิวมาหรือแมลงพามา
ก้านเกสรเพศเมีย (style)	ส่วนที่อยู่ต่อจากยอดเกสรเพศเมีย มีลักษณะเป็นท่อยาวเรียวต่อถึงรังไข่ เป็นทางผ่านของสเปิร์มเพื่อเข้าไปปฏิสนธิกับไข่ในออวุล
รังไข่ (ovary)	ส่วนที่อยู่ติดกับฐานดอกมีลักษณะพองโตออกเป็นกระเปาะ ภายในมีออวุลซึ่งจะสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย (ไข่)

- ประเภทของดอกสามารถจัดจำแนกตามการมีส่วนประกอบต่างๆ ของดอกว่าครบถ้วนหรือไม่

ประเภทของดอก	ส่วนประกอบ	ตัวอย่าง
ดอกสมบูรณ์ (complete flower)	มีครบทั้ง 4 ส่วน (กลีบดอก กลีบเลี้ยง เกสรเพศผู้ เกสรเพศเมีย)	ชบา ตะขบ พุทธรักษา กุหลาบ มะเขือ หางนกยูง กระดังงา แก้ว ทานตะวัน
ดอกไม่สมบูรณ์ (incomplete flower)	ขาดส่วนใดส่วนหนึ่ง	หน้าวัว บานเย็น ข้าว ยอ หญ้า กล้วย
ดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower)	มีทั้งเกสรเพศผู้และเพศเมียภายในดอกเดียวกัน	ชบา ตะขบ พุทธรักษา กุหลาบ มะเขือ หางนกยูง กระดังงา แก้ว ทานตะวัน
ดอกไม่สมบูรณ์เพศ (imperfect flower) - ดอกเพศผู้ (staminate flower) - ดอกเพศเมีย (pistillate flower)	มีเฉพาะเกสรเพศผู้หรือเพศเมียอย่างใดอย่างหนึ่งในเพศเดียวกัน	ฟักทอง แตงโม บวบ แตงกวา ตำลึง ข้าวโพด มะละกอ มะระ มะเดื่อ ตาล มะพร้าว ปัตตาเวีย



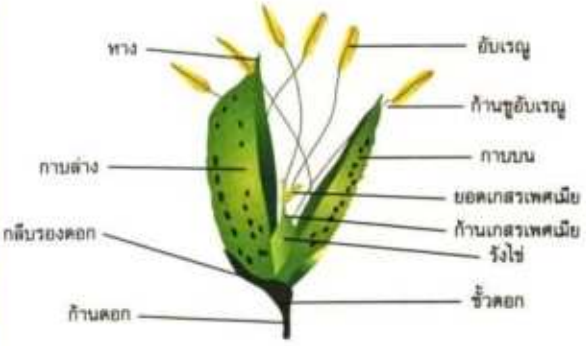
▲ (Cr. tekura.school.nz)



โครงสร้างของดอกข้าวโพด

▲ (Cr. unl.edu)

ช่อดอกข้าว

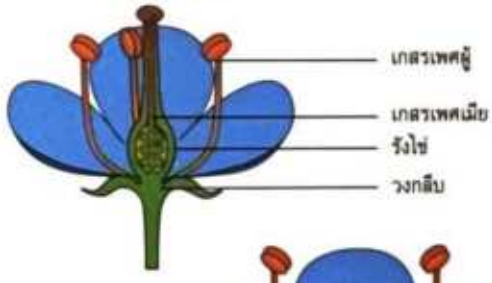


โครงสร้างของดอกข้าว

▸ ประเภทของดอกยังสามารถแบ่งได้ตามตำแหน่งของรังไข่

ประเภทของดอก	ตัวอย่าง
ดอกที่มีรังไข่เหนือวงกลีบ (hypogynous flower)	มะเขือ จำปี ยี่หุบ บัว บานบุรี พริก ถั่ว มะละกอ ส้ม
ดอกที่มีรังไข่ใต้วงกลีบ (epigynous flower)	ตำลึง ฟักทอง แตงกวา บวบ ฝรั่ง ทับทิม กล้วย พลับพลึง

ดอกที่มีรังไข่เหนือวงกลีบ



ดอกที่มีรังไข่ใต้วงกลีบ

- ประเภทของดอกยังสามารถแบ่งได้ตามจำนวนดอกที่อยู่บนก้านดอก

ประเภทของดอก	ตัวอย่าง
ดอกเดี่ยว (solitary flower) มีหนึ่งดอกอยู่บนก้านดอก	กุหลาบ บัว ชบา จำปา จำปี การเวก มะเขือ ฝรั่ง ฟักทอง
ดอกช่อ (inflorescences) มีดอกย่อยมากกว่า 1 ดอกติดอยู่บนแกนช่อดอก	กล้วยไม้ เข็ม ราชพฤกษ์ ทานตะวัน ดาวเรือง หน้าวัว บานไม่รู้โรย เฟื่องฟ้า มะลิ

ดอกช่อรูปแบบต่างๆ

▲ (Cr. eutupiagarden.org)

- ดอกช่อประเภทหนึ่ง คือ **ดอกช่อกระจุกแน่น (head หรือ capitulum)** มีลักษณะที่ชวนให้เข้าใจผิดว่าเป็นดอกเดี่ยว เช่น ดอกทานตะวัน ดาวเรือง ดาวกระจาย บานชื่น

▲ (Cr. ubc.ca และ palomar.edu)

- ดอกไม้บางชนิด ส่วนกลีบที่มีสีสันสวยงามนั้นไม่ใช่กลีบดอกแต่เป็นใบประดับ (bract) เช่น เฟื่องฟ้า โป๊ยเซียน หน้าวัว

เฟื่องฟ้า

หน้าวัว

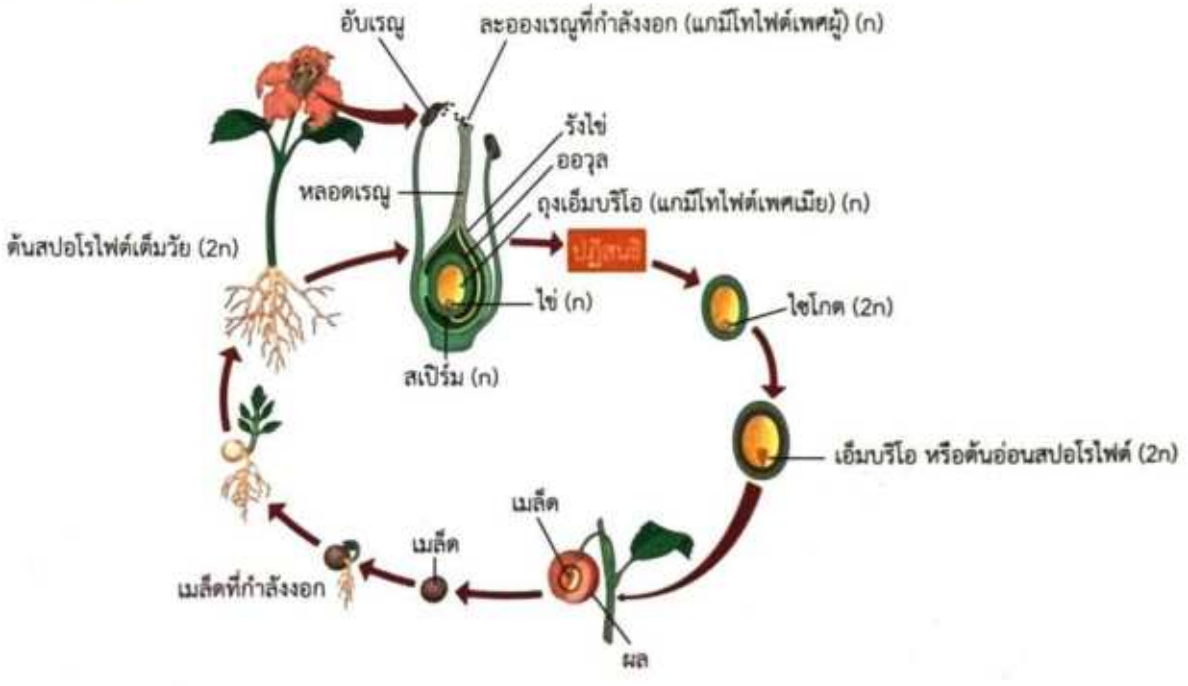
โป๊ยเซียน

กลีบสีสวยๆ ของดอกพุทธรักษา คือ ส่วน**เกสรเพศผู้ที่เป็นหมัน (staminode)**

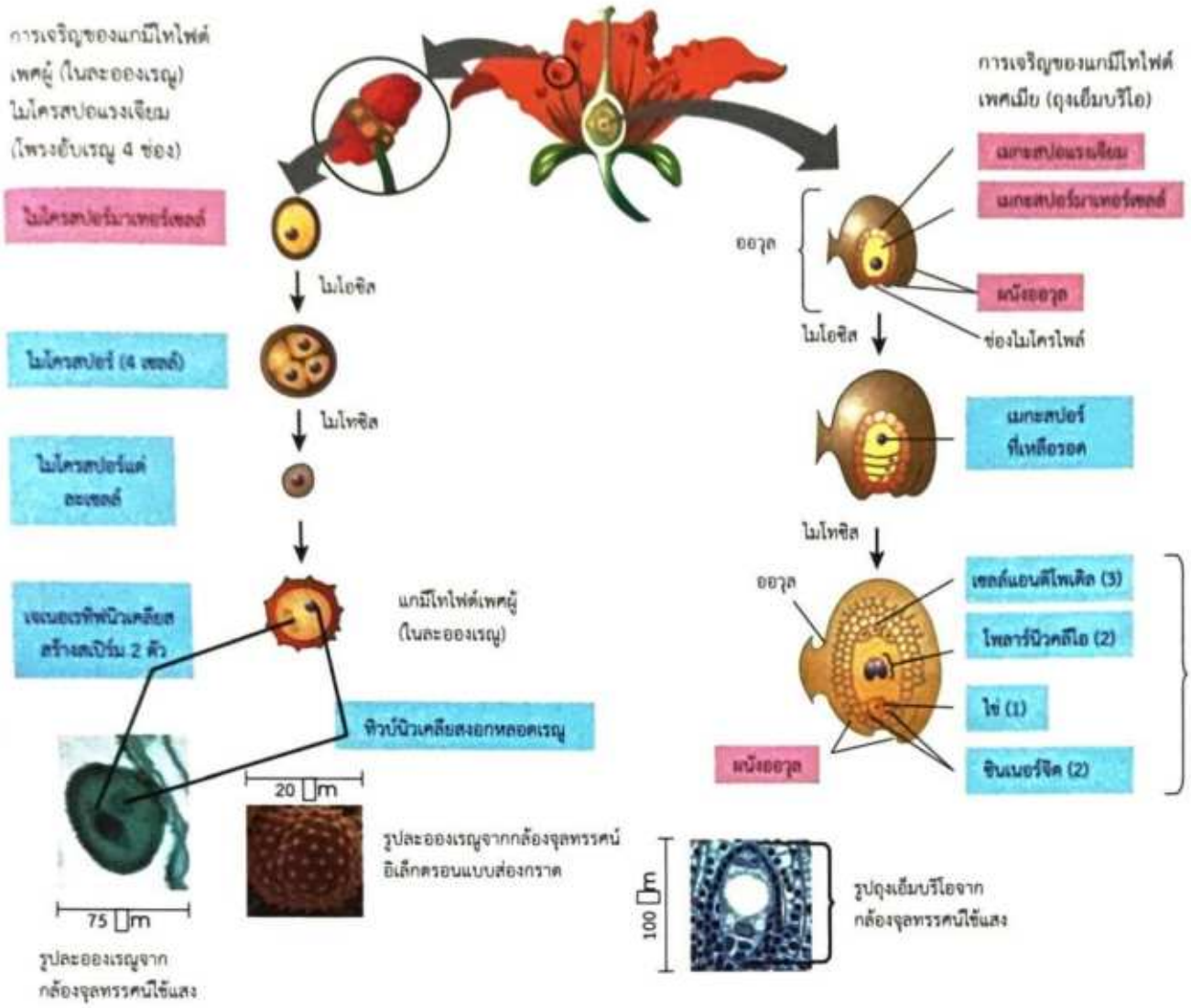
Quiz Yourself

1) ถุงเอ็มบริโอของชบาเทียบได้กับโครงสร้างใดของเฟิร์นข้าหลวงหลังลาย
   1. อาร์คีโกเนียม
   2. ไซโกต
   3. แกมีโทไฟต์เพศเมีย
   4. อับสปอร์

▸ สรุปวัฏจักรของพืชดอกอย่างง่าย



13.3 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของพืชดอก



▲ (Cr. amazonaws.com)

การสืบพันธุ์ของพืชดอก 1

▲ (Cr. Mitochondria)

การสืบพันธุ์ของพืชดอก 2

▲ (Cr. Peter Klappa)

การเจริญของแกมีโทไฟต์เพศผู้ (ละอองเรณู)

1. ภายในอับเรณูมี**โพรงเรณู (pollen sac)** 4 ช่อง ลักษณะค่อนข้างกลม เรียกอีกอย่างว่า **ไมโครสปอแรงเจียม (microsporangium)**

2. ภายในโพรงเรณูมี**ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ (2n) (microspore mother cell)** จำนวนมากและจะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างไมโครสปอร์

3. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะได้**ไมโครสปอร์ (n)** (microspore) ทั้งหมด 4 เซลล์

4. ไมโครสปอร์แต่ละเซลล์จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ได้ 2 นิวเคลียส คือ **เจเนอเรทีฟนิวเคลียส (generative nucleus)** และ**ทิวบ์นิวเคลียส (tube nucleus)**

5. โครงสร้างที่มี 2 นิวเคลียสเรียกว่า **ละอองเรณู (pollen)** หรือเป็นแกมีโทไฟต์เพศผู้

6. หลังการถ่ายละอองเรณู เจเนอเรทีฟนิวเคลียสจะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส สร้างสเปิร์ม 2 เซลล์ ทิวบ์นิวเคลียสจะงอก**หลอดเรณู (pollen tube)** ไปตามเกสรเพศเมียเพื่อเป็นทางให้สเปิร์มเข้าไปผสมกับไข่ในออวุล

การเจริญของแกมีโทไฟต์เพศเมีย (ถุงเอ็มบริโอ)

1. ออวุลภายในรังไข่มีเนื้อเยื่อ**นิวเซลลัส (nucellus)** หรือ**เมกะสปอแรงเจียม (megasporangium)** ห่อหุ้มด้วย**ผนังออวุล (integument)** แต่มีบางช่วงหุ้มไม่รอบเกิดเป็นช่อง **ไมโครไพล์ (micropyle)**

2. เซลล์ในเมกะสปอแรงเจียมที่ใหญ่ที่สุด 1 เซลล์ ทำหน้าที่เป็น**เมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ (2n) (megaspore mother cell)** เพื่อแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสให้ได้**เมกะสปอร์ (megaspore) (n)**

3. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส จะได้เมกะสปอร์ทั้งหมด 4 เซลล์แต่สลายไป 3 เซลล์

4. เมกะสปอร์ที่เหลือรอด 1 เซลล์จะเจริญไปเป็นแกมีโทไฟต์เพศเมีย หรือ**ถุงเอ็มบริโอ (embryo sac)**

5. เมกะสปอร์ที่เหลือเกิดไมโทซิส 3 ครั้งติดต่อกันได้ 8 นิวเคลียส (มี 7 เซลล์)

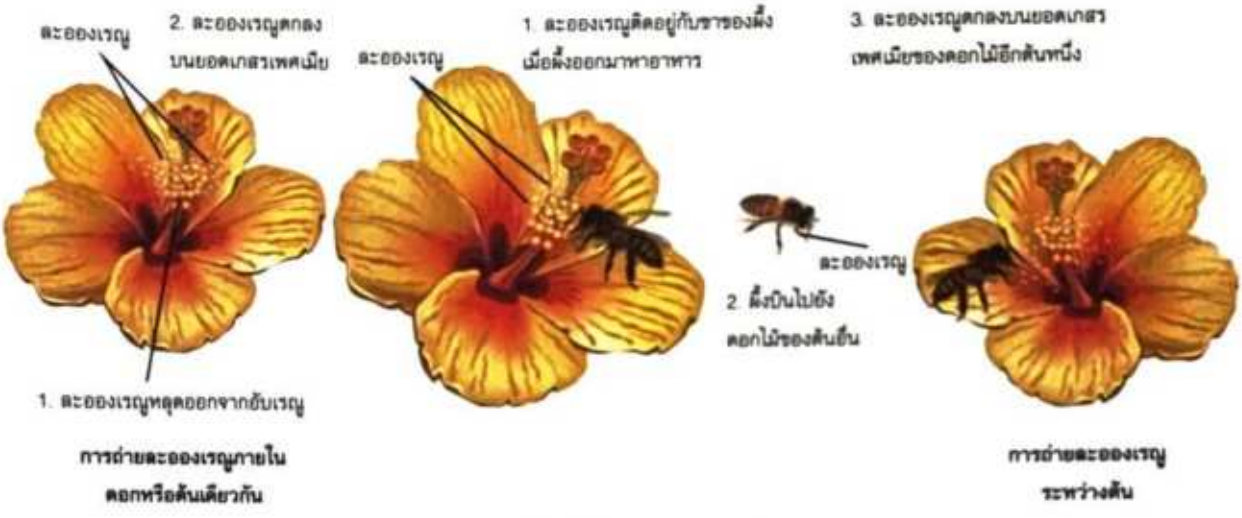
6. นิวเคลียส 3 อันเคลื่อนไปที่ขั้วบนตรงข้ามกับช่องไมโครไพล์ มีเยื่อหุ้มล้อมรอบแต่ละนิวเคลียส เรียก **แอนติโพเดล (antipodal)**

7. นิวเคลียส 3 อันเคลื่อนไปขั้วล่างทางด้านไมโครไพล์ มีเยื่อหุ้มแต่ละนิวเคลียส หนึ่งเซลล์เป็น**ไข่ (egg)** อีก 2 เซลล์เรียกว่า**ซินเนอร์จิด (synergid)**

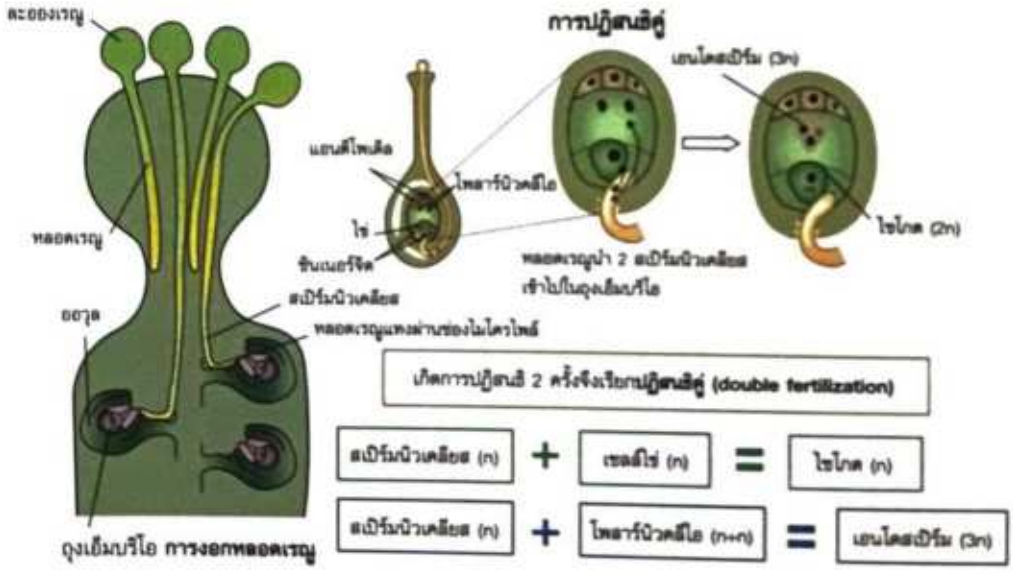
8. นิวเคลียสที่เหลือ 2 อันอยู่ตรงกลางรวมกันเป็นสภาพนิวเคลียสคู่ (n+n) เรียกว่า **โพลาร์นิวคลีไอ (polar nuclei)**

13.4 การถ่ายละอองเรณูและการปฏิสนธิคู่

การถ่ายละอองเรณู (pollination) คือ การที่ละอองเรณูจากอับเรณูเคลื่อนย้ายไปตกบนยอดเกสรเพศเมียโดยลม แมลง หรือสัตว์อื่นๆ และมีการเจริญและงอกหลอดเรณูเพื่อให้สเปิร์มเข้าไปผสมกับไข่ในออวุลที่อยู่ในรังไข่ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การถ่ายละอองเรณูภายในดอกหรือต้นเดียวกัน (self-pollination) และการถ่ายละอองเรณูระหว่างต้น (cross-pollination) ปัจจุบันมนุษย์มีส่วนช่วยในการถ่ายละอองเรณู เช่น การเลี้ยงผึ้ง การใช้พู่กันแตะเรณู



▲ (Cr. britannica.com)



▲ (Cr. nature.com และ tumblr.com)

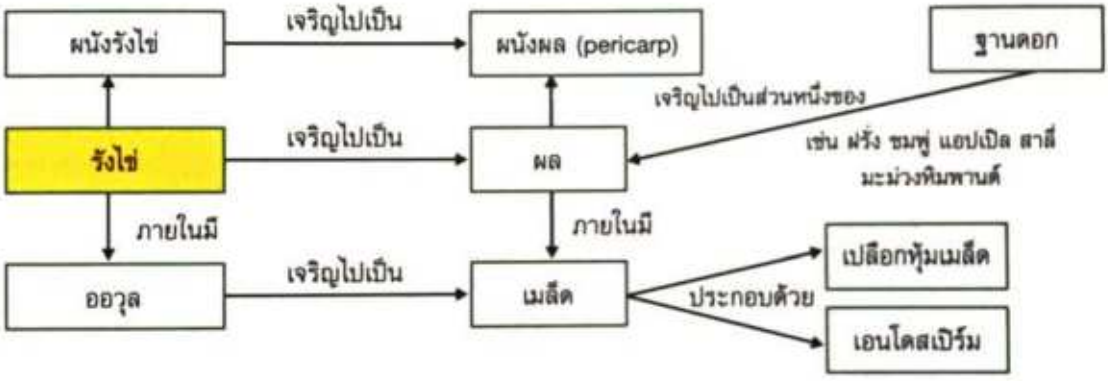
Quiz Yourself

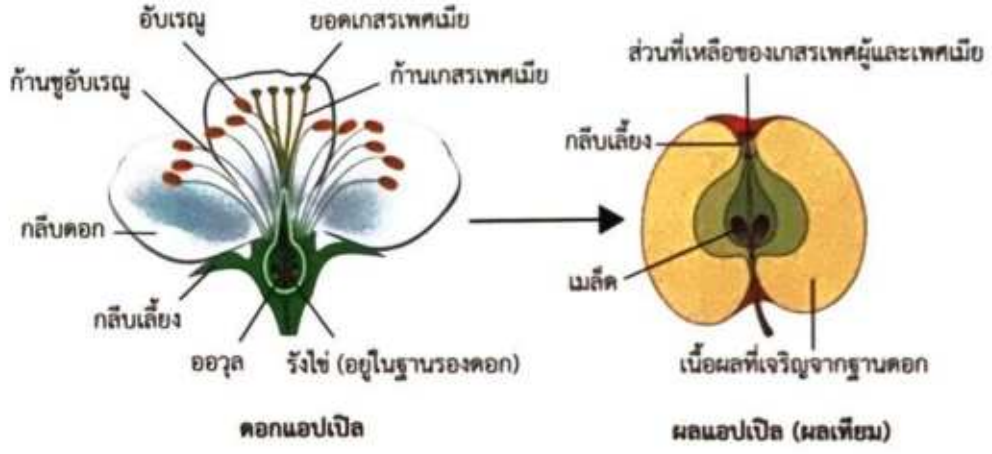
2) เมกะสปอร์ภายในออวุลและไมโครสปอร์ภายในอับเรณูของดอกข้าวโพดพัฒนาไปเป็นโครงสร้างใดตามลำดับ

1. โพลาร์นิวคลีไอและละอองเรณู
2. ไข่และสเปิร์ม
3. เอ็มบริโอและเอนโดสเปิร์ม
4. ถุงเอ็มบริโอและละอองเรณู

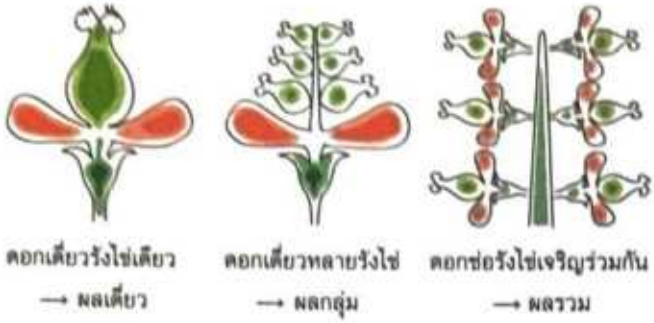
- สรุปขั้นตอนการปฏิสนธิคู่

13.5 ผล



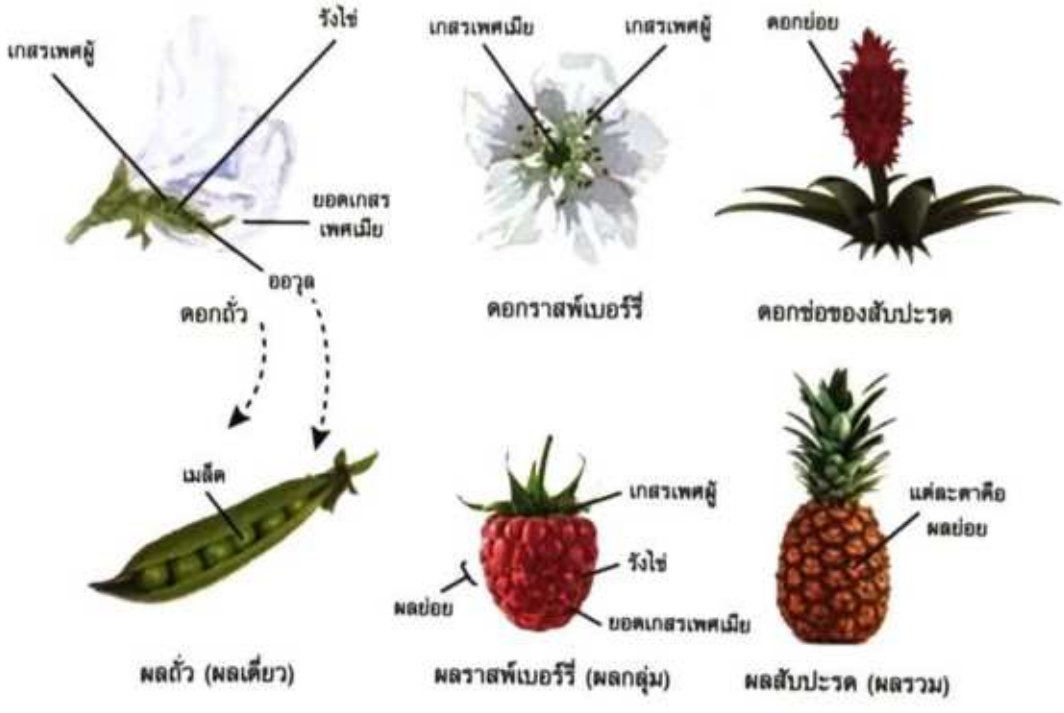


- ผลแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะของดอกที่ให้กำเนิดผล



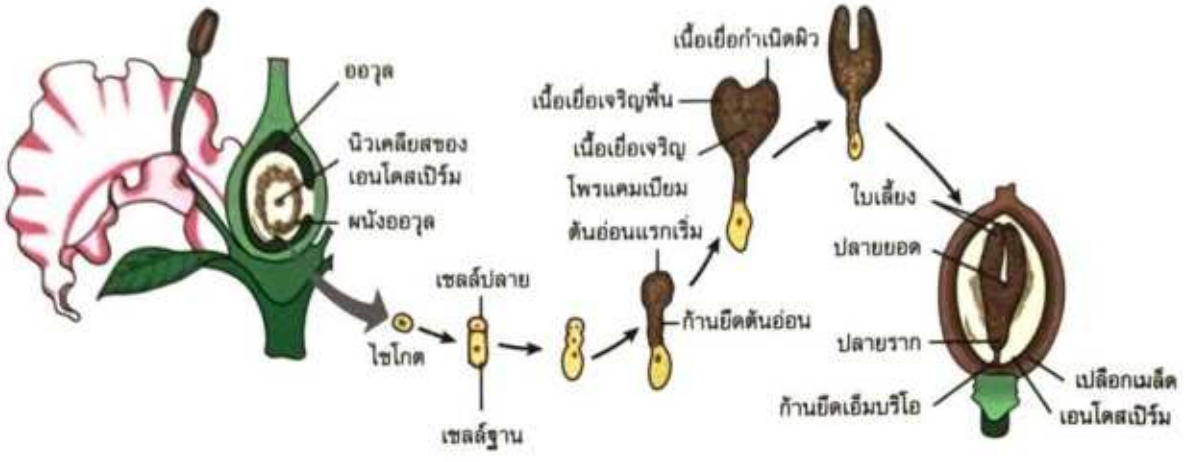
▲ (Cr. backyardnature.net)

ประเภทของผล	ลักษณะ	ตัวอย่าง
ผลเดี่ยว (simple fruit)	เกิดจากดอก 1 ดอกที่มีเกสรเพศเมียเพียง 1 อัน เป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อก็ได้ ถ้าเป็นดอกช่อ รังไข่ของแต่ละดอกจะเจริญเป็นผลแยกกัน	ส้ม ตะขบ ทุเรียน แอปเปิล ลิ้นจี่ เงาะ ทุเรียน ลำไย องุ่น ฝรั่ง สละ มะพร้าว ข้าวโพด
ผลกลุ่ม (aggregate fruit)	เกิดจากดอก 1 ดอกที่มีเกสรเพศเมียมากกว่า 1 อัน อยู่บนฐานดอก รังไข่แต่ละอันจะเจริญเป็นผลย่อยที่ติดอยู่รวมกันบนฐานดอก	บัวหลวง การเวก กระดังงา จำปี จำปา กุหลาบ สตรอว์เบอร์รี่ น้อยหน่า ราสพ์เบอร์รี่
ผลรวม (multiple fruit)	เกิดจากดอกช่อที่มีดอกย่อยจำนวนมากเบียดชิดกัน รังไข่ของดอกย่อยเจริญร่วมกัน มีเนื้อเยื่อเชื่อมให้ผลย่อยอยู่ชิดกันบนแกนช่อดอกกลายเป็นเนื้อเดียวกัน คล้ายเป็นผล 1 ผล	สับปะรด สาเก ยอ ขนุน หม่อน มะเดื่อ



▲ (Cr. nicerweb.com)

13.6 เมล็ดและการเจริญหลังการปฏิสนธิคู่



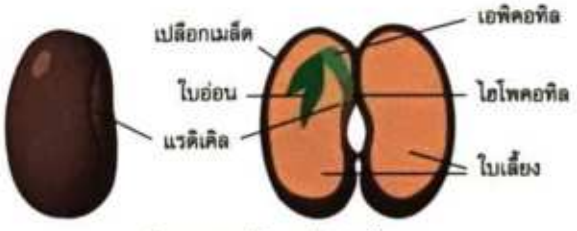
▲ (Cr. miami.edu)

Quiz Yourself

3) ข้อใดถูกต้อง

1. ดอกบัวเป็นดอกช่อ
2. ดอกมะเขือเป็นดอกสมบูรณ์
3. ดอกทานตะวันเป็นดอกเดี่ยว
4. ดอกตำลึงเป็นดอกสมบูรณ์เพศ
5. ดอกฟักทองมีรังไข่อยู่เหนือฐานรองดอก

▸ ประเภทของเมล็ด



เมล็ดถั่ว (พืชใบเลี้ยงคู่ที่มีใบเลี้ยงหนา)

▲ (Cr. miami.edu)

เมล็ดละหุ่ง (พืชใบเลี้ยงคู่ที่ใบเลี้ยงบางและเหลือเอนโดสเปิร์ม)

▲ (Cr. miami.edu)

▲ (Cr. miami.edu)

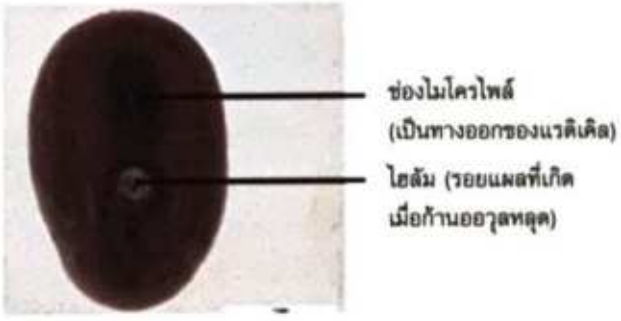
Quiz Yourself

4) ข้อใดจัดเป็นผลเดี่ยวทั้งหมด

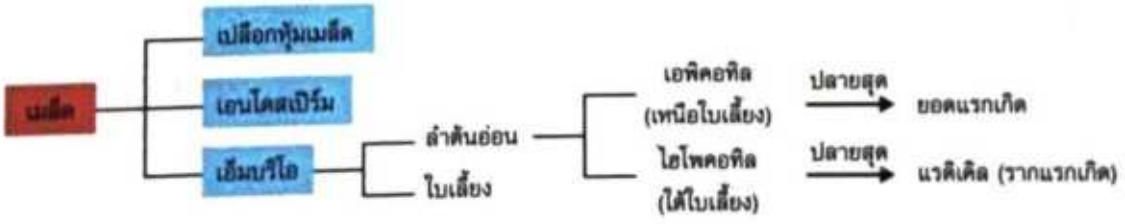
1. ลำไย ยอ สตรอว์เบอร์รี่
2. น้อยหน่า สับปะรด มะพร้าว
3. เงาะ องุ่น ข้าวโพด
4. องุ่น ฝักบัว ขนุน

ข้อเปรียบเทียบ	เมล็ดถั่ว	เมล็ดละหุ่ง	เมล็ด (ผล) ข้าวโพด
1. เป็นส่วนที่เปลี่ยนแปลงมาจาก	ออวุล	ออวุล	ออวุลและรังไข่
2. ส่วนที่ห่อหุ้ม	มีเปลือกหุ้มเมล็ด 1 ชั้น	มีเปลือกหุ้มเมล็ด 2 ชั้น	มีเปลือกหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด
3. เอนโดสเปิร์ม	ไม่มี	มี	มี
4. จำนวนใบเลี้ยง	2 ใบ	2 ใบ	1 ใบ
5. บริเวณที่สะสมอาหาร	ใบเลี้ยง	เอนโดสเปิร์ม	เอนโดสเปิร์ม

▸ ส่วนประกอบของเมล็ด



▲ (Cr. gov.au)



ส่วนประกอบ	ลักษณะ
1. เปลือกเมล็ด (seed coat)	ส่วนนอกสุดทำหน้าที่ป้องกันอันตรายแก่เอ็มบริโอภายในเมล็ด ป้องกันไม่ให้เมล็ดงอกจนกว่าสภาพแวดล้อมเหมาะสม เจริญมาจากผนังออวุล
2. เอ็มบริโอ แบ่งออกเป็น	
แรดิเคิล (radicle) หรือรากแรกเกิด	ส่วนปลายสุดของแกนเอ็มบริโอที่อยู่ทางด้านช่องไมโครไพล์ เป็นส่วนแรกของเอ็มบริโอที่เจริญยืดออกมาและงอกออกมาเป็นรากอันแรกของพืช
โคลีโอไรซา (coleorhiza) **coleo = เปลือกหุ้ม rhiza = ราก	เนื้อเยื่อที่หุ้มรากแรกเกิด พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าว
ไฮโพคอทิล (hypocotyl) หรือลำต้นใต้ใบเลี้ยง **hypo = ใต้ cotyl = ใบเลี้ยง	ส่วนของแกนเอ็มบริโอที่อยู่ถัดจากแรดิเคิลขึ้นไป มีลักษณะเหมือนลำต้นสั้นๆ อยู่ใต้ใบเลี้ยง
ใบเลี้ยง (cotyledon) หรือสคิวเทลลัม (scutellum) เรียกในใบเลี้ยงเดี่ยว	ติดอยู่บนแกนหลักของเอ็มบริโอที่ปลายไฮโพคอทิล มีลักษณะอวบหนามีเนื้อสะสมอาหารไว้เลี้ยงต้นกล้า บางชนิดสังเคราะห์ด้วยแสงก่อนใบแท้เจริญเต็มที่
เอพิคอทิล (epicotyl) หรือลำต้นเหนือใบเลี้ยง **epi = เหนือ	ส่วนของเอ็มบริโอที่อยู่เหนือใบเลี้ยง สั้นมากสังเกตได้ไม่ชัดเจน เมื่อเมล็ดงอกจึงเจริญยืดยาวเป็นลำต้นและสร้างใบแท้
โคลีออพไทล์ (coleoptile) **ptile = ปก	เนื้อเยื่อพิเศษหุ้มยอดแรกเกิดของเอ็มบริโอ พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด
3. เอนโดสเปิร์ม (endosperm)	เนื้อเยื่อเก็บสะสมอาหาร เช่น แป้ง โปรตีน ไขมัน บางชนิดอาจมีน้อยหรือไม่พัฒนา เช่น กล้วยไม้ หรือบางชนิดถูกใช้ไปขณะพัฒนา เมื่อเมล็ดเจริญเต็มที่จึงไม่มีเอนโดสเปิร์ม เช่น ถั่ว โดยใบเลี้ยงเก็บสะสมอาหารแทน

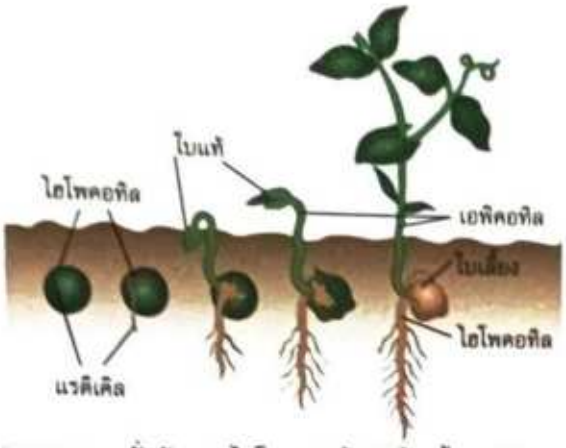
13.7 การงอกของเมล็ด

การงอกของเมล็ดมี 2 รูปแบบ คือ

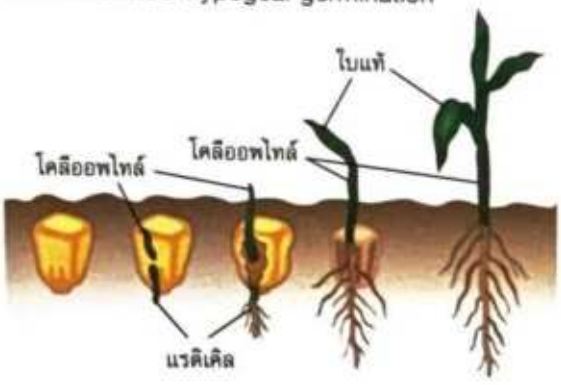
1. การงอกเหนือดิน (epigeal germination)
2. การงอกใต้ดิน (hypogeal germination)

การงอกของถั่วแดง ไฮโพคอทิลยืดชูใบเลี้ยงขึ้นเหนือดิน เป็นการงอกแบบ epigeal germination

▲ (Cr. David Marvin)



การงอกของถั่วลันเตา ไฮโพคอทิลไม่ยึดใบเลี้ยงอยู่ใต้ดิน เป็นการงอกแบบ hypogeal germination



การงอกของข้าวโพด ใบเลี้ยงไม่โผล่เหนือดินแต่ส่วนของใบแท้ที่มีโคลีออพไทล์หุ้มขึ้นเหนือดิน เป็นการงอกแบบ hypogeal germination

▲ (Cr. amazonaws.com)

▲ (Cr. Neli Bromhall)

ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด

น้ำและความชื้น	ออกซิเจน	อุณหภูมิ
▸ ทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนตัวลง น้ำและออกซิเจนเข้าเมล็ดมากขึ้น ▸ เมล็ดพองตัวขยายขนาดและน้ำหนักเพิ่ม ▸ กระตุ้นปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของเอนไซม์เพื่อย่อยสลายอาหารในเมล็ด ▸ ตัวทำละลายสารอื่นๆ ที่สะสมในเมล็ดและลำเลียงสารอาหารให้เอ็มบริโอใช้	▸ งอกเมื่อแก๊สออกซิเจนร้อยละ 20 ▸ ใช้ในการสลายอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน ▸ บางชนิดงอกได้ดีในสภาพออกซิเจนต่ำ โดยสลายอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น เมล็ดพืชน้ำใต้ดินโคลนในน้ำ ▸ บางชนิดไม่งอกถ้ามีออกซิเจนไม่เพียงพอ เช่น วัชพืชหลายชนิด	▸ พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่างกัน เช่น พืชเมืองร้อนต้องการอุณหภูมิสูงกว่าพืชเมืองหนาว ▸ บางชนิดต้องการอุณหภูมิที่แตกต่างกันชัดเจนระหว่างกลางวันและกลางคืน

แสง

- บางชนิดงอกเมื่อมีแสง เช่น หญ้า สาบเสือ ยาสูบ ผักกาดหอม ปอ
- บางชนิดไม่ต้องการแสง เช่น กระเจี๊ยบ แตงกวา ผักบุ้งจีน ฝ้าย ข้าวโพด
- ปัจจุบันมีการพัฒนาสายพันธุ์ให้เมล็ดงอกโดยไม่ต้องใช้แสง

ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด

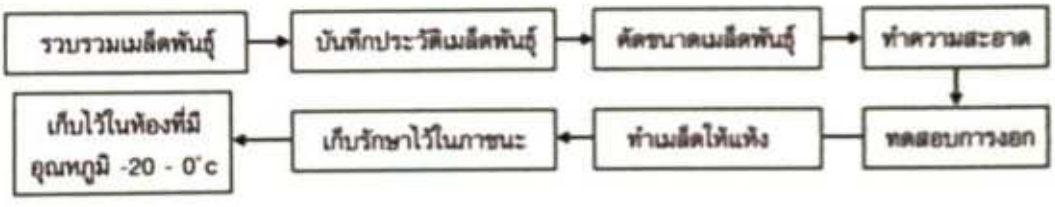
- สภาพพักตัวของเมล็ด (seed dormancy)

เปลือกเมล็ด	▸ เปลือกเมล็ดหนาแข็งอยู่ในสภาพพักตัวนานจนกว่าเปลือกเมล็ดอ่อนตัว บางชนิดอาศัยน้ำทำให้เปลือกนุ่มลง ▸ บางชนิดไม่ยอมให้น้ำผ่าน ต้องอาศัยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน เช่น มะม่วง ปาล์ม ▸ บางชนิดต้องผ่านระบบย่อยอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมหรือนก และถ่ายเป็นมูลออกมา เช่น โพธิ์ ไทร ตะขบ ▸ บางชนิดแตกออกเพราะถูกไฟเผา เช่น หญ้า ไผ่บางชนิด ตะเคียน สัก ▸ วิธีแก้ แช่เมล็ดในน้ำร้อน สารละลายกรดทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม ทำให้เมล็ดเปลือกแตกออก เช่น ปาดเฉือนหรือกระเทาะเปลือกแข็ง นำไปให้ความร้อนโดยการเผา ▸ เปลือกเมล็ดมีสารไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน เช่น ไข คิวทิน ลิกนิน ซูเบอริน เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วแดง ▸ วิธีแก้ แช่เมล็ดในน้ำเป็นระยะเวลาหนึ่ง ▸ เปลือกเมล็ดไม่ยอมให้ออกซิเจนผ่าน เช่น หญ้าบางชนิด วิธีแก้ ทุบทำให้เปลือกเมล็ดแตก
เอ็มบริโอ	▸ เอ็มบริโอเจริญไม่เต็มที่ ต้องรอเวลาช่วงหนึ่งให้เอ็มบริโอมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น มะพร้าว หมาก ปาล์ม ▸ วิธีแก้ ทิ้งไว้ให้เอ็มบริโอเจริญเต็มที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง อาจใช้เวลาเป็นปี เช่น มะพร้าว
เอนโดสเปิร์ม	▸ บางชนิดมีเอนโดสเปิร์มน้อยมาก เมล็ดจึงงอกได้ยากในธรรมชาติ เช่น กล้วยไม้ ▸ วิธีแก้ ขุบไมคอร์ไรซาเพื่อช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอาหารแก่เมล็ดที่กำลังงอก หรือนำเมล็ดกล้วยไม้ไปเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงและใส่สารกระตุ้นการงอกของเมล็ด
สารเคมี	▸ สารเคมีที่ยับยั้งการงอกของเมล็ด เช่น กรดแอบไซซิกยับยั้งเอนไซม์เกี่ยวกับการงอก สารเหล่านี้ถูกชะล้างด้วยน้ำได้ ▸ พืชบางชนิดงอกได้เมื่อผ่านอุณหภูมิต่ำ เพราะปริมาณกรดแอบไซซิกลดลง จิบเบอเรลลินและไซโทไคนินเพิ่มขึ้น ▸ วิธีแก้ ล้างสารที่เคลือบเมล็ดออก เช่น ล้างเมือกหุ้มเมล็ดมะเขือเทศหรือแตง แล้วผึ่งให้แห้งก่อนเพาะ ใช้สารเร่งการงอก เช่น จิบเบอเรลลิน หรือตัดใบเลี้ยงของเอ็มบริโอพืชเพื่อให้เมล็ดงอกเร็วขึ้น

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์} = \text{ผลบวกของ}\left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่งอกแต่ละวัน}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}\right)$$

ขั้นตอนการอนุรักษ์พันธุ์พืช



13.8 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการขยายพันธุ์พืชดอก

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของพืชดอกโดยใช้ส่วนต่างๆ ของพืช

เนื้อเยื่อจากส่วน	ตัวอย่างพืช
ราก	โมก ปีบ
ลำต้นใต้ดิน	ขิง ข่า กล้วย ไผ่
ไหล	ผักตบชวา บัวบก บัว สตรอว์เบอร์รี่
ใบ	กุหลาบหิน เศรษฐีหมื่นล้าน คว่ำตายหงายเป็น
ช่อดอก	ป่านศรนารายณ์ ขิงแดง

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (plant tissue culture) เป็นการนำส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช หรือโพรโทพลาสต์ (protoplast) คือ เซลล์พืชที่เอาผนังเซลล์ออก นำมาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ให้เจริญเป็นต้นพืชเล็กๆ จำนวนมาก ทำให้ได้พันธุ์พืชจำนวนมากในคราวเดียวกัน และมีลักษณะทางพันธุกรรมเหมือนต้นแม่ทุกประการ

ประโยชน์ 1. ปรับปรุงพันธุ์พืช 2. สร้างพืชสายพันธุ์แท้ 3. อนุรักษ์พันธุ์พืช 4. สร้างพืชที่สร้างสารเคมีที่ต้องการ

▲ (Cr. biopublisher.ca)

การทำเมล็ดเทียม (artificial seed) ใช้ขยายพันธุ์พืชที่ปลูกจากเมล็ดได้ยากเพราะเอนโดสเปิร์มไม่ค่อยเจริญ เช่น กล้วยไม้ แครอท ยาสูบ โดยใช้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชให้เกิดเป็นเอ็มบริโอเทียม เรียกว่า โซมาติกเอ็มบริโอ (somatic embryo) แล้วห่อหุ้มด้วยสารอาหารที่ทำหน้าที่แทนเอนโดสเปิร์มและเปลือกเมล็ด

▲ (Cr. tribuneindia.com และ um.edu)

Quiz Yourself

5) การใช้จิบเบอเรลลินเพื่อแก้ไขสภาพพักตัวของเมล็ด สามารถทำได้ในกรณีที่การพักตัวของเมล็ดเกิดจากสาเหตุใด

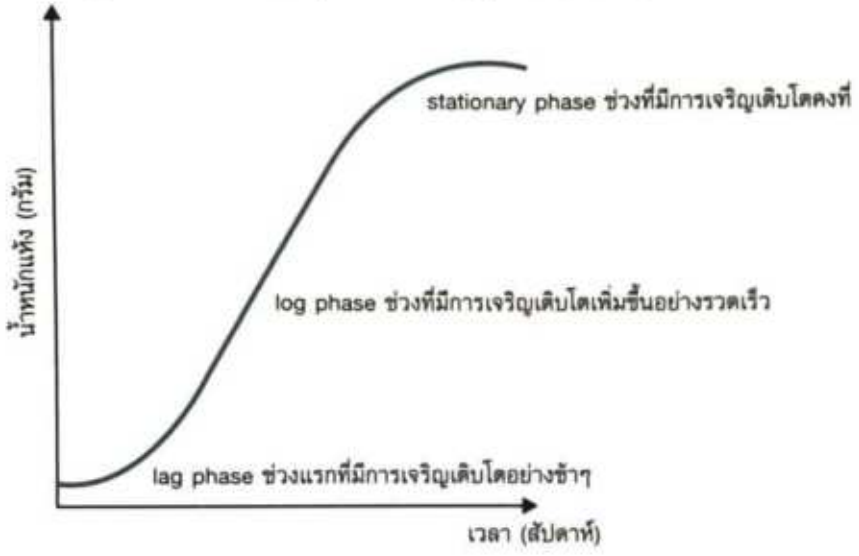
1. เมล็ดมีคิวทินเคลือบ
2. เมล็ดมีสารเคมียับยั้งการงอก
3. เปลือกหุ้มเมล็ดหนาและแข็ง
4. เปลือกหุ้มเมล็ดไม่ยอมให้ออกซิเจนผ่าน
5. เอ็มบริโอเจริญไม่เต็มที่

13.9 การวัดการเจริญเติบโตของพืช

วิธีการวัดการเจริญเติบโตของพืช	ข้อดี	ข้อเสีย
การวัดความสูง	เป็นวิธีที่วัดง่าย ใช้อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน เช่น ไม้บรรทัดหรือสายวัด เหมาะสำหรับพืชที่มีความสูงไม่มาก	ไม่สามารถใช้กับพืชที่มีความสูงมากหรือพืชที่มีความสูงคงที่
การนับจำนวนใบ	เป็นวิธีที่วัดง่าย เหมาะสำหรับพืชที่มีความสูงคงที่ แต่มีการแผ่กิ่งก้าน	ไม่เหมาะสำหรับต้นไม้ขนาดใหญ่และมีจำนวนใบมาก
การวัดพื้นที่ของใบ	วัดโดยใช้เทียบใบกับกระดาษกราฟแล้ววัดพื้นที่ เหมาะสำหรับวัดใบพืชที่เพิ่งเริ่มเจริญเติบโต	ไม่เหมาะสำหรับพืชที่มีรูปร่างใบซับซ้อนหรือขนาดใบเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน

วิธีการวัดการเจริญเติบโตของพืช	ข้อดี	ข้อเสีย
การวัดเส้นรอบวงลำต้น	เป็นวิธีที่วัดง่าย เหมาะสำหรับต้นไม้ขนาดใหญ่ สามารถนำไปประมาณค่ามวลชีวภาพได้	ไม่เหมาะสำหรับพืชที่เพิ่งเริ่มเจริญเติบโต หรือพืชที่ไม่มีการเจริญระยะทุติยภูมิ
การชั่งน้ำหนักสด	เป็นวิธีที่วัดง่าย เหมาะกับพืชขนาดไม่ใหญ่มาก	ไม่สะท้อนถึงมวลชีวภาพที่แท้จริง เพราะมีปริมาณน้ำรวมอยู่ด้วย
การชั่งน้ำหนักแห้ง	เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด สะท้อนถึงมวลชีวภาพที่แท้จริง สามารถวิเคราะห์อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ นำพืชทั้งต้นมาอบให้น้ำระเหยไปหมดจึงนำมาชั่งน้ำหนัก	มีขั้นตอนที่ยุ่งยากขึ้น และต้องสูญเสียหรือทำลายต้นพืช

กราฟการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่งอกออกจากเมล็ดจนออกดอกออกผล มีลักษณะเหมือนกราฟการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั่วๆ ไป คือ เป็นรูปตัว S หรือ S-shaped curve (sigmoid curve)



เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 3.** ถุงเอ็มบริโอของพืชดอกเทียบได้กับแกมีโทไฟต์เพศเมียของเฟิน
2) **ตอบ 4.** เมกะสปอร์ภายในออวุลพัฒนาเป็นถุงเอ็มบริโอ ส่วนไมโครสปอร์ในอับเรณูพัฒนาเป็นละอองเรณู
3) **ตอบ 2.** ถูกต้อง โดยดอกมะเขือเป็นดอกสมบูรณ์มีองค์ประกอบครบทั้ง 4 ส่วน
   - ข้อ 1. ผิด เพราะดอกบัวเป็นดอกเดี่ยวที่มีหลายรังไข่ สังเกตจากเป็นดอกที่มีก้านดอกเพียงก้านเดียว
   - ข้อ 3. ผิด เพราะดอกทานตะวันเป็นดอกช่อประเภทดอกช่อกระจุกแน่น (head หรือ capitulum) มีลักษณะที่ชวนให้เข้าใจผิดว่าเป็นดอกเดี่ยว
   - ข้อ 4. ผิด เพราะดอกตำลึงเป็นดอกไม่สมบูรณ์เพศ
   - ข้อ 5. ผิด เพราะดอกฟักทองมีรังไข่อยู่ใต้ฐานรองดอก
4) **ตอบ 3.** เพราะเงาะ องุ่น ข้าวโพด เป็นผลเดี่ยวทั้งหมด
   - ข้อ 1. ผิด เพราะยอเป็นผลรวม และสตรอว์เบอร์รี่เป็นผลกลุ่ม
   - ข้อ 2. ผิด เพราะน้อยหน่าเป็นผลกลุ่ม และสับปะรดเป็นผลรวม
   - ข้อ 4. ผิด เพราะฝักบัวเป็นผลกลุ่ม และขนุนเป็นผลรวม

5) **ตอบ 2.** การใช้จิบเบอเรลลินสามารถแก้ไขสภาพพักตัวของเมล็ดที่มีสารเคมียับยั้งการงอกได้

ข้อ 1. เมล็ดที่มีคิวทินเคลือบ แก้ไขโดยแช่เมล็ดในน้ำ

ข้อ 3. เมล็ดที่มีเปลือกหุ้มหนาและแข็ง แก้ไขโดยแช่เมล็ดในน้ำร้อน หรือใช้วิธีกลทำให้เปลือกเมล็ดแตกออก

ข้อ 4. เมล็ดที่มีเปลือกเมล็ดไม่ยอมให้ออกซิเจนผ่าน แก้ไขโดยใช้วิธีกลทำให้เปลือกเมล็ดแตกออก

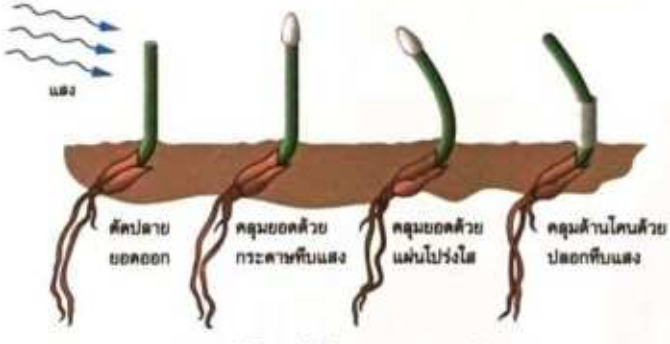
ข้อ 5. เมล็ดที่มีเอ็มบริโอเจริญไม่เต็มที่ แก้ไขโดยทิ้งให้เอ็มบริโอในเมล็ดเจริญเต็มที่อยู่ในผล

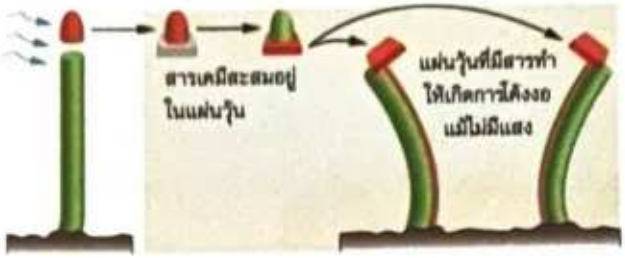
บทที่ 14

การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช

14.1 ฮอร์โมนพืช

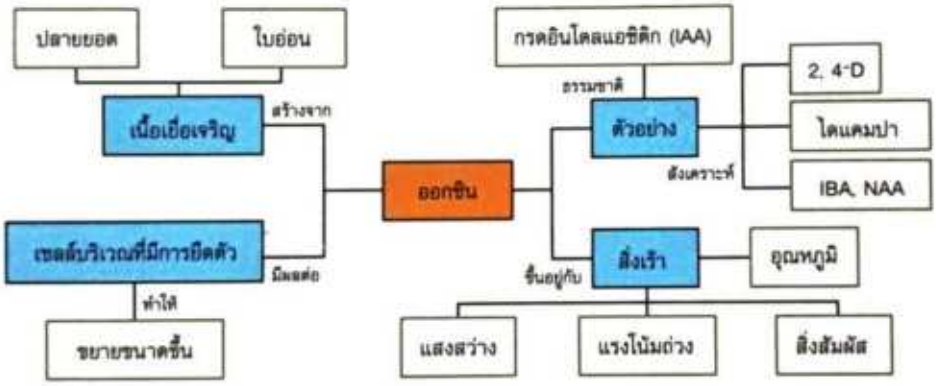
ในการเจริญเติบโตของพืชต้องอาศัยสารหรือปัจจัยบางอย่างที่ควบคุมการเจริญเติบโตให้เป็นไปตามปกติ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์หลายท่านพยายามศึกษาผ่านการทดลองดังต่อไปนี้

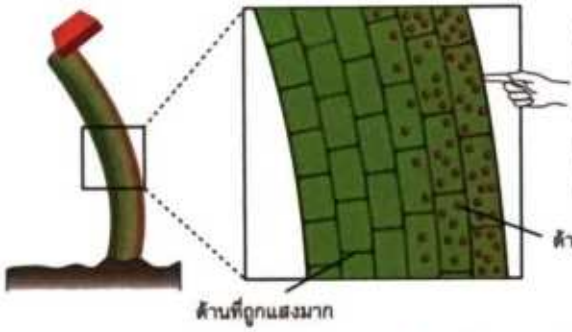
ค.ศ. 1880	**ชาลส์ ดาร์วินและฟรานซิส ดาร์วิน** ทดลองกับต้นหญ้าในการตอบสนองต่อแสง  ▲ (Cr. wikispaces.com) **สรุป** ปลายยอดเป็นส่วนที่รับแสง ทำให้ต้นกล้าเอนเข้าหาแสงได้
ค.ศ. 1913	**ปีเตอร์ บอยเซน-เจนเซน** ทดสอบว่าการตอบสนองต่อแสงของต้นหญ้าเกิดจากสาเหตุใด ▲ (Cr. purdue.edu) **สรุป** การเบนเข้าหาแสงของต้นกล้าเกิดจากสารเคมีที่พืชสร้างขึ้น

ค.ศ. 1925	**ฟริตส์ เวนต์** ทดลองให้สารเคมีสะสมในแผ่นวุ้น และนำไปวางบนปลายยอดที่ถูกตัดออก ก็จะทำให้ปลายยอดโค้งงอได้ โดยทดลองในที่มืด  ▲ (Cr. purdue.edu) **สรุป** ปลายยอดสร้างสารเคมีที่ทำให้ปลายยอดโค้งงอเมื่อได้รับแสง เรียกสารเคมีนี้ว่า ออกซิน (auxin) และผลของออกซินเกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีแสงก็ได้

สารเคมีที่พืชสร้างได้ในปริมาณน้อยและลำเลียงไปยังเนื้อเยื่อตำแหน่งต่างๆ ของพืชเพื่อควบคุมการเจริญเติบโต เรียกว่า **ฮอร์โมนพืช** (plant hormone) มีอยู่ 5 กลุ่มใหญ่ คือ ออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก

ออกซิน (auxins)





การตอบสนองของยอดเข้าหาแสง เกิดขึ้นโดยแสงไปกระตุ้นให้ยอดสร้างออกซิน และมีการกระจายตัวมากบริเวณที่ได้รับแสงน้อย เมื่อเทียบกับด้านที่ได้รับแสงมาก ทำให้เซลล์ในด้านนั้นยืดตัวยาวกว่าด้านที่ถูกแสงปลายยอดจึงโค้งเข้าหาแสง

ด้านที่ถูกแสงน้อย (จุดสีแดง คือ ออกซิน)

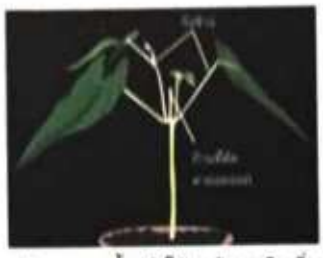
▲ (Cr. purdue.edu)

การทดลองที่ยอดพืช (ออกซิน)

▲ (Cr. Wellcome Trust)

▸ อิทธิพลของออกซิน

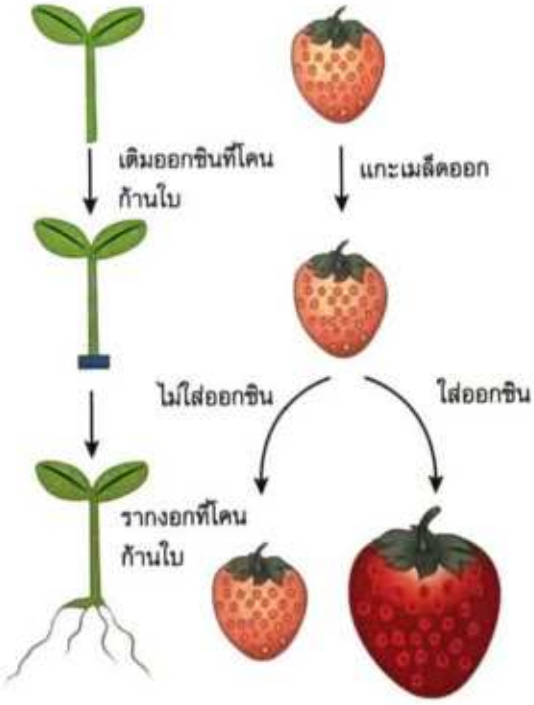
ไม่ตัดตายอด ทำให้ตาข้างไม่เจริญ



ตัดตายอดทิ้ง ทำให้ตาข้างเจริญกิ่ง

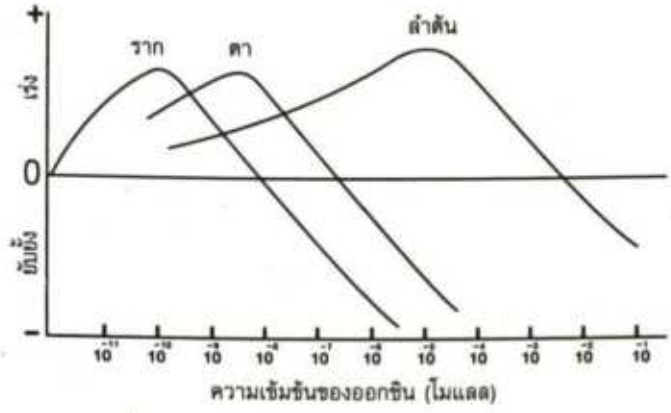
ติดแผ่นวุ้นที่มีออกซินบนตายอดที่ถูกตัด มีผลยับยั้งตาข้าง

1. ออกซินที่ปลายยอดพืชมีผลข่มการเจริญของตาข้าง เรียกว่า การข่มโดยตายอด (apical dominance) เมื่อเด็ดตายอดซึ่งเป็นส่วนที่สร้างออกซินออก ทำให้ออกซินลดลงไม่สามารถยับยั้งการเจริญของตาข้าง ตาข้างจึงเจริญเป็นกิ่งออกมา



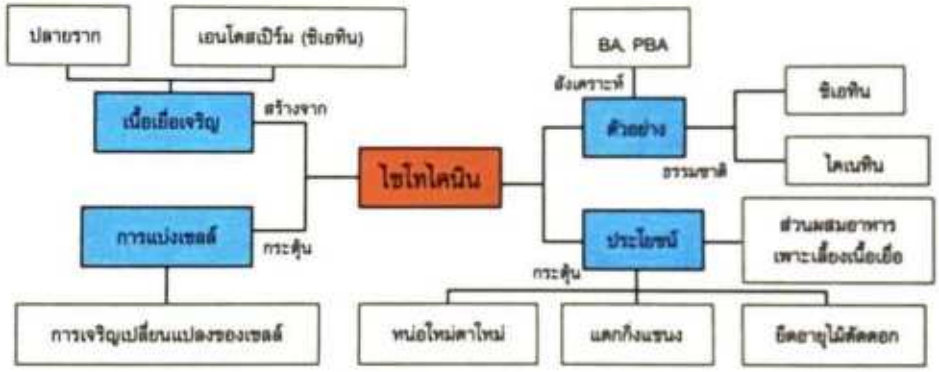
▲ (Cr. nature.com)

2. ออกซินกระตุ้นการเกิดรากที่โคนก้านใบหรือที่กิ่งตัด
3. ออกซินที่สร้างจากเมล็ดจะกระตุ้นให้ผลเจริญเติบโตเต็มที่ เช่น สตรอว์เบอร์รีหากมีเมล็ดเหลือเพียง 1 เมล็ด หรือเคลือบแผ่นวุ้นที่มีออกซินก็จะทำให้เจริญเป็นผล

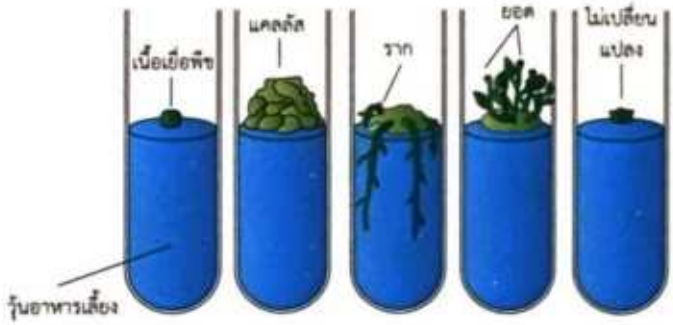


4. ความเข้มข้นของออกซินที่เหมาะสมในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของตาและลำต้นจะยับยั้งการเจริญของราก และความเข้มข้นที่กระตุ้นการเจริญของลำต้นจะยับยั้งการเจริญของรากและตา

ไซโทไคนิน (cytokinins)



อัตราส่วนของออกซินและไซโทไคนินที่แตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพืช



ออกซิน	$(mg.l^{-1})$	3	3	0.003	—
ไซโทไคนิน	$(mg.l^{-1})$	0.2	0.02	1	0.2
อัตราส่วน		15	150	0.003	

อัตราส่วน

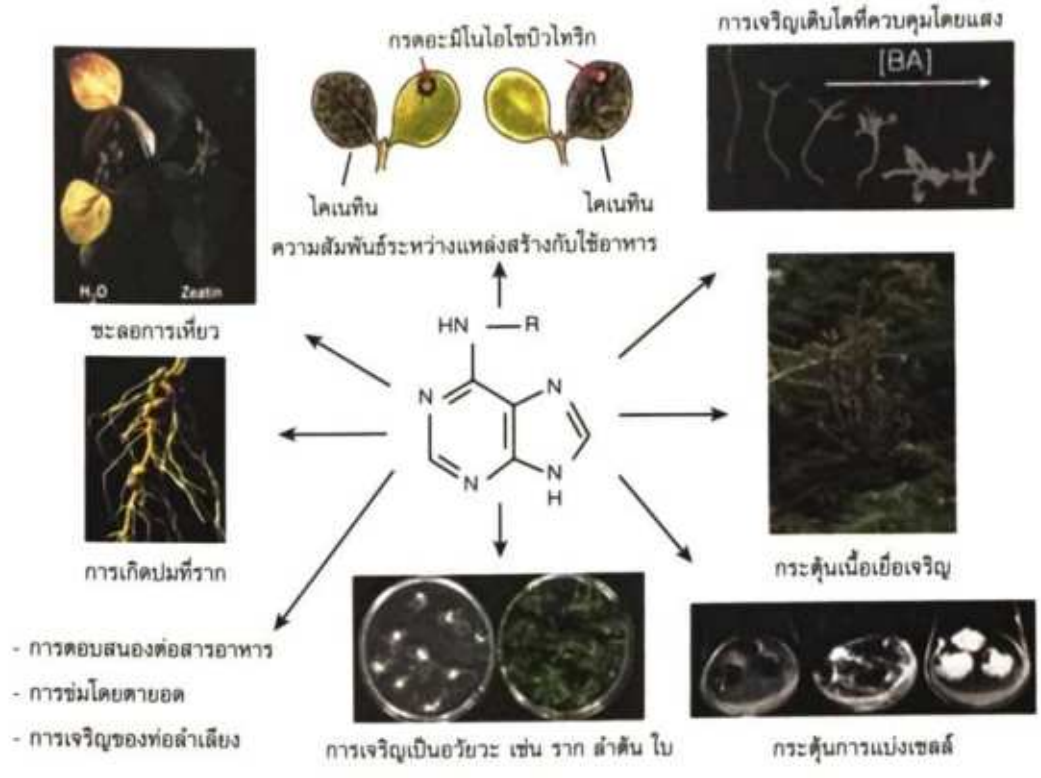
ออกซินมาก : ไซโทไคนินน้อย ⟶ ราก

ออกซินน้อย : ไซโทไคนินมาก ⟶ ยอด

ออกซิน : ไซโทไคนิน ประมาณ 15 เท่า ⟶ แคลลัส (เป็นกลุ่มเซลล์พาเรงคิมาที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ หรือพัฒนาไปเป็นเนื้อเยื่อ หรืออวัยวะของพืช)

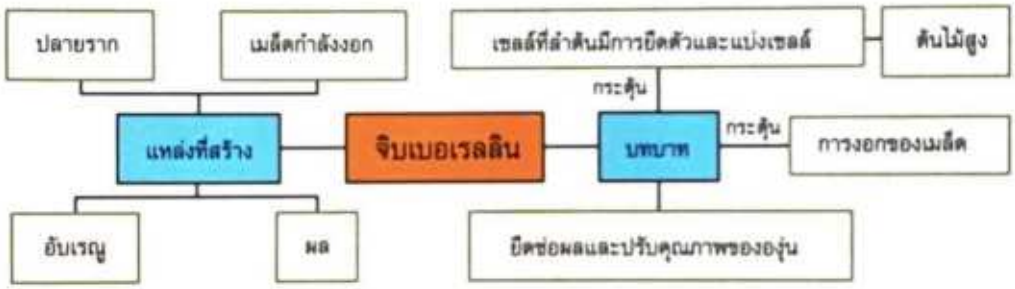
ไม่ใส่ออกซิน ⟶ ไม่เปลี่ยนแปลง

▸ อิทธิพลของไซโทไคนิน



▲ (Cr. unc.edu)

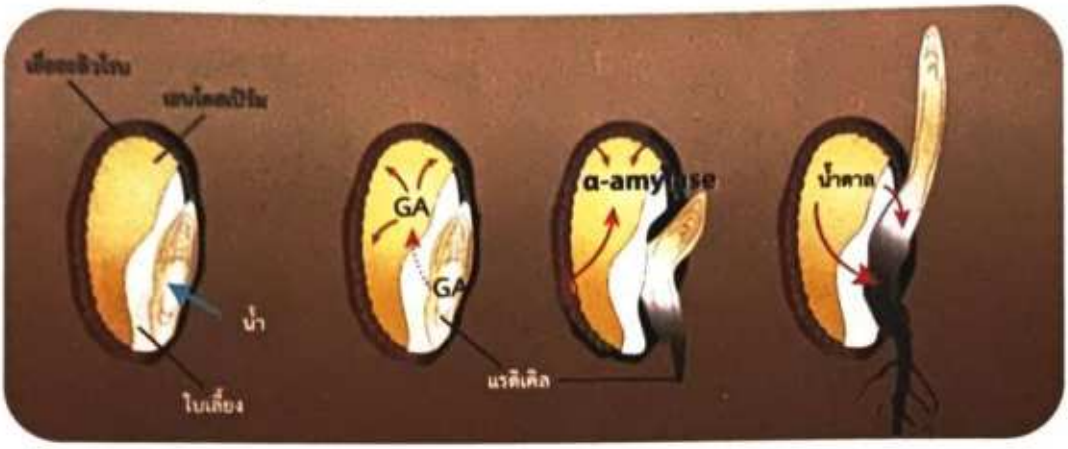
จิบเบอเรลลิน (gibberellins; GA)



▸ อิทธิพลของจิบเบอเรลลิน

1. ทำให้ลำต้นสูงขึ้นมากกว่าต้นที่ไม่ได้จิบเบอเรลลิน เพราะฮอร์โมนไปกระตุ้นการยืดของเซลล์ตรงช่วงระหว่างข้อทำให้ความยาวปล้องเพิ่มขึ้นมาก ลำต้นจึงยืดสูงขึ้น
2. ทำให้ช่อดอกยืดยาวออก ผลในพวงองุ่นจึงมีขนาดโตขึ้นเพราะไม่เบียดกันแน่นเหมือนพวกที่ไม่ได้รับฮอร์โมน
3. ช่วยชะลอการสุกของผล

- จิบเบอเรลลินช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ด

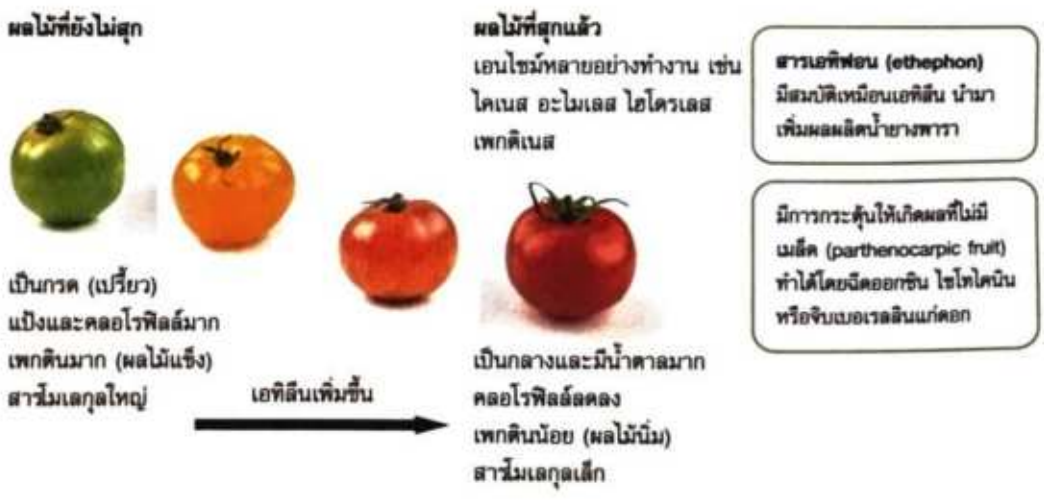


1. ต้นอ่อนภายในเมล็ดได้รับน้ำและพองตัวขึ้น
2. ต้นอ่อนสร้างจิบเบอเรลลิน
3. จิบเบอเรลลินกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ α-อะไมเลส ทำหน้าที่ย่อยแป้งภายในเอนโดสเปิร์ม
4. สารอาหารที่เกิดจากการย่อยเอนโดสเปิร์มนำไปใช้สร้างเนื้อเยื่อเพื่อการเจริญเติบโตของต้นพืช

▲ (Cr. nicerweb.com)

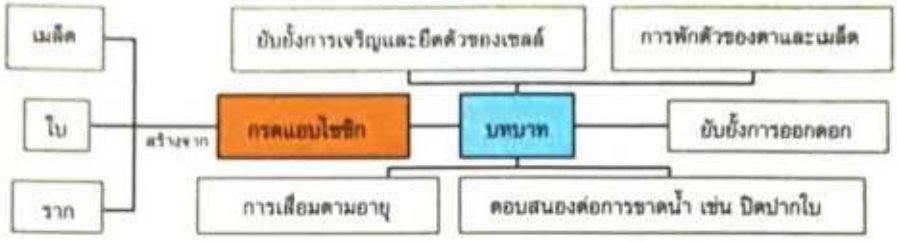
เอทิลีน (ethylene)

- อิทธิพลของเอทิลีน
  - เร่งการสุกของผลไม้

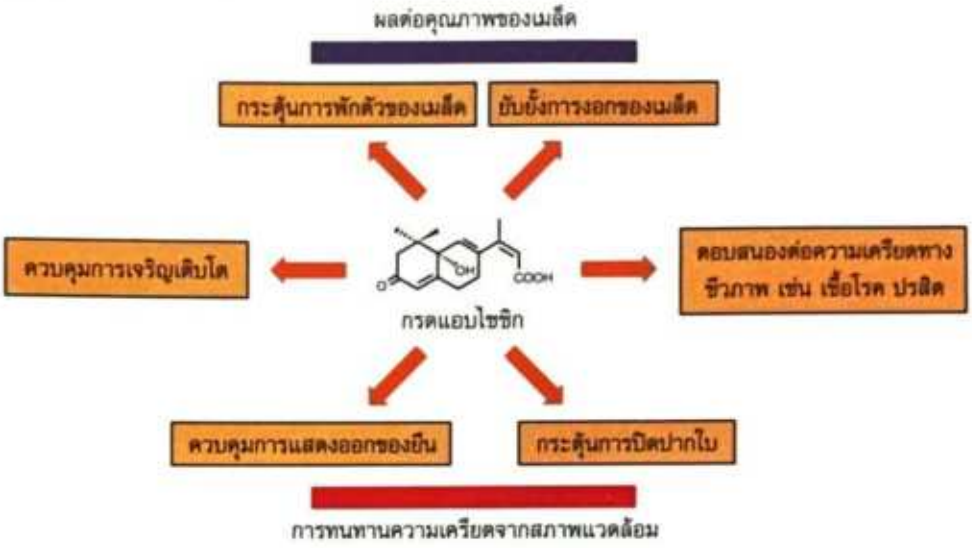


  - ยิ่งเอทิลีนเพิ่มขึ้นดอกไม้มีขนาดเล็กลง บานไม่เต็มที่ ยับยั้งการออกดอก กิ่งระหว่างปล้องสั้นลง ทำให้ต้นไม้เตี้ยลง

กรดแอบไซซิก (abscisic acid; ABA)



- อิทธิพลของกรดแอบไซซิก



▲ (Cr. uc.exteenblog.com)

Quiz Yourself

1. ฮอร์โมนพืชชนิดใดที่มีสมบัติในการเร่งการเกิดรากในกิ่งตอน
   1. ออกซิน
   2. จิบเบอเรลลิน
   3. เอทิลีน
   4. ไซโทไคนิน
   5. กรดแอบไซซิก

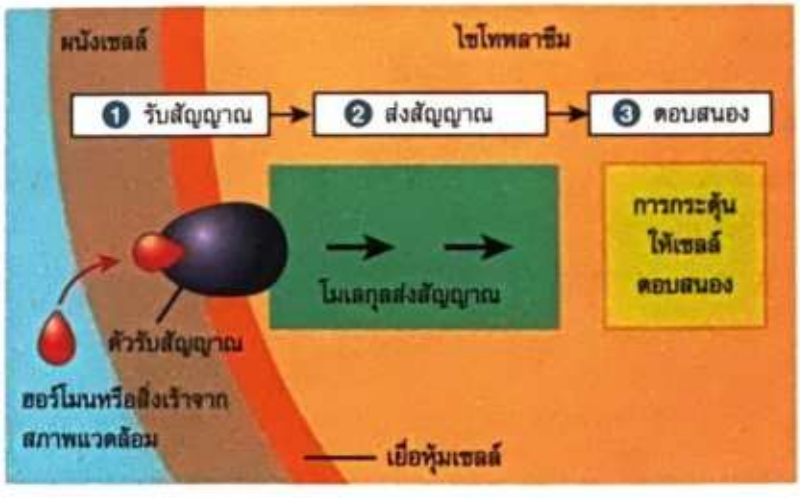
2. ฮอร์โมนในข้อใดที่ช่วยในการเร่งดาดอก
   1. ออกซิน จิบเบอเรลลิน
   2. จิบเบอเรลลิน ไซโทไคนิน
   3. ไซโทไคนิน กรดแอบไซซิก
   4. ออกซิน เอทิลีน

▸ ตารางสรุปหน้าที่ของฮอร์โมนพืช

กระบวนการของพืช	กระตุ้น	ยับยั้ง
1. การแบ่งเซลล์	ออกซิน ไซโทไคนิน	กรดแอบไซซิก
2. การเจริญของเซลล์ลำต้น ใบ และการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อเจริญ	ออกซิน (ความเข้มข้นต่ำ) ไซโทไคนิน	เอทิลีน กรดแอบไซซิก
3. การยืดตัวของเซลล์ระหว่างข้อ	จิบเบอเรลลิน	เอทิลีน
4. การเจริญและยืดตัวของเซลล์ปลายยอด	ออกซิน (ความเข้มข้นต่ำ) ไซโทไคนิน	เอทิลีน
5. การเจริญของเซลล์ราก	ออกซิน (ความเข้มข้นต่ำ) ไซโทไคนิน	ออกซิน (ความเข้มข้นสูง)
6. การแตกรากของกิ่งปักชำและกิ่งตอน	ออกซิน	-
7. การเจริญของตาข้าง	ไซโทไคนิน	ออกซิน
8. การเปิดปากใบ	ไซโทไคนิน	กรดแอบไซซิก
9. การงอกของตาและเมล็ด	ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน	กรดแอบไซซิก
10. การออกดอก	จิบเบอเรลลิน ไซโทไคนิน เอทิลีน (สับปะรด)	กรดแอบไซซิก
11. การออกผล	ออกซิน จิบเบอเรลลิน	กรดแอบไซซิก
12. การเกิดผลไร้เมล็ด	ออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน	-
13. การสุกของผลไม้	เอทิลีน	กรดแอบไซซิก
14. การร่วงของใบ ดอก ผล	เอทิลีน	ออกซิน ไซโทไคนิน

14.2 การตอบสนองของพืชต่อสิ่งแวดล้อม

▸ กระบวนการตอบสนองของพืช



- การรับสัญญาณ (reception) ส่วนของพืชรับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายใน เช่น ฮอร์โมนพืช และปัจจัยภายนอก เช่น แสง, น้ำ, แรงโน้มถ่วงของโลก, สารเคมีในดิน
- การส่งสัญญาณ (transduction) กลไกที่พืชส่งสัญญาณในรูปสารเคมีต่างๆ ไปยังเซลล์ในส่วนที่พืชตอบสนอง
- การตอบสนอง (response) การเปลี่ยนแปลงส่วนต่างๆ ของพืชเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า

▸ การตอบสนองของพืชแตกต่างจากสัตว์ ดังนี้

สิ่งเปรียบเทียบ	พืช	สัตว์
การเปลี่ยนแปลงเมื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า	การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การเปลี่ยนแปลงของเซลล์และเนื้อเยื่อ	การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เซลล์ และเนื้อเยื่อ รวมถึงพฤติกรรม
รูปแบบการแสดงออก	การเคลื่อนไหวหรือการเจริญเติบโต	พฤติกรรม
กลไกที่เกี่ยวข้อง	สารเคมี เช่น ฮอร์โมนพืช Ca^{2+}	สารเคมี เช่น ฮอร์โมน และระบบประสาท

การเคลื่อนไหวของพืช แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

1. การเคลื่อนไหวเนื่องจากการเติบโต (growth movement) ได้แก่

▸ การเคลื่อนไหวแบบอัตโนมัติ (autonomic movement) คือ การเคลื่อนไหวเนื่องจากสิ่งเร้าภายใน เช่น ฮอร์โมน เป็นต้น โดยมีรูปแบบการเคลื่อนไหว 2 ลักษณะ คือ

- นิวเทชัน (nutation) เป็นการเคลื่อนไหวของพืชขณะเจริญเติบโต โดยส่วนปลายยอดจะแกว่งโยกไปมา เช่น ปลายยอดของต้นถั่ว
- เซอร์คัมนิวเตชัน (circumnutation) หรือการเคลื่อนไหวแบบส่าย (spiral movement) เป็นการเคลื่อนไหวของพืชขณะเจริญเติบโตแล้วมีการเคลื่อนไหวแบบบิดเป็นเกลียว บางชนิดปลายยอดบิดเป็นเกลียวรอบแกนตั้งตรงสูงขึ้นไป เช่น การพันหลักของเถาวัลย์

▸ การเคลื่อนไหวเนื่องจากสิ่งเร้าภายนอก (paratonic movement) เช่น แสง แรงโน้มถ่วง อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ มี 2 ลักษณะ คือ

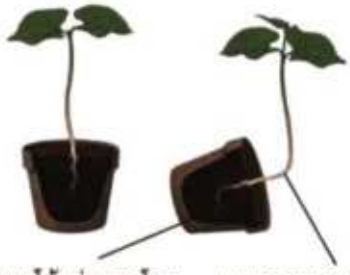
- โทรปิซึม (tropism) คือ การเคลื่อนไหวแบบมีทิศทางสัมพันธ์กับสิ่งเร้า ถ้าเบนเข้าหาสิ่งเร้าจะเป็นแบบ positive แต่ถ้าเบนออกจากสิ่งเร้าจะเป็นแบบ negative สามารถแบ่งตามตัวกระตุ้น ดังนี้

phototropism	การเคลื่อนไหวที่เกิดจากการกระตุ้นของแสง ▸ positive phototropism เช่น การหันเข้าหาแสงของปลายยอดหรือทานตะวัน ▸ negative phototropism เช่น ปลายรากเบนหนีแสง
geotropism หรือ gravitropism	การเคลื่อนไหวที่เกิดจากการกระตุ้นของแรงโน้มถ่วง ▸ positive geotropism เช่น ปลายรากงอกเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก ▸ negative geotropism เช่น ปลายยอดจะเคลื่อนไหวต้านแรงโน้มถ่วงของโลก
thigmotropism	การเคลื่อนไหวที่เกิดจากการกระตุ้นโดยการสัมผัส เช่น การเจริญของมือเกาะ (tendril) เพื่อไปเกี่ยวกับหลักหรือเกาะกับพืชอื่นของตำลึง ฟักทอง และองุ่น
chemotropism	การเคลื่อนไหวที่เกิดจากการกระตุ้นของสารเคมี เช่น การงอกของหลอดเรณูบนยอดเกสรเพศเมียไปยังรังไข่
thermotropism	การเคลื่อนไหวที่เกิดจากการกระตุ้นจากอุณหภูมิ เช่น การงอกของเมล็ด การออกดอก
hydrotropism	การเคลื่อนไหวที่เกิดจากการกระตุ้นจากความชื้น เช่น การงอกของรากเข้าหาน้ำ

- การเคลื่อนไหวแบบแนสติก (nastic movement) คือการเคลื่อนไหวแบบมีทิศทางไม่สัมพันธ์กับสิ่งเร้า
  - photonasty เป็นการเคลื่อนไหวแบบแนสติกโดยมีแสงมากระตุ้น เช่น การหุบบานของดอกไม้ตามแสง กลไกการหุบบานของดอกไม้ ขึ้นอยู่กับกลุ่มเซลล์ด้านนอกและด้านในของกลีบดอกขยายขนาดได้ไม่เท่ากัน เช่น ดอกบัวบานตอนเช้า หุบตอนเย็น ดอกโสนบานตอนเย็น ดอกกระบองเพชรหุบตอนกลางวัน บานตอนกลางคืน เป็นต้น
  - thermonasty เป็นการเคลื่อนไหวแบบแนสติกโดยมีอุณหภูมิมากระตุ้น เช่น การหุบบานของดอกทิวลิป และดอกมะลิ

2. การเคลื่อนไหวเนื่องจากแรงดันเต่ง (turgor movement) เกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงน้ำภายในเซลล์โดยจะเกิดขึ้น 3 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบ	ลักษณะที่เกิดขึ้น
การเคลื่อนไหวแบบตื่นไม่นอน (sleep movement)	พืชวงศ์ถั่วหลายชนิด เช่น จามจุรี กระถิน แค ผักกระเฉด ถั่วต่างๆ มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ทำให้ใบหุบเวลาพลบค่ำ และกางออกเมื่อรุ่งเช้า ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากพัลไวนัส (pulvinus) ที่อยู่โคนใบไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง
การเคลื่อนไหวเมื่อรับการสัมผัส (contact movement)	▸ การหุบของต้นกาบหอยแครงเมื่อมีแมลงมาสัมผัส (thigmonasty) ▸ กลไกการหุบใบไมยราบเมื่อถูกกระเทือน (seismonasty) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่งภายในเซลล์บริเวณพัลไวนัสที่โคนก้านใบย่อยของไมยราบมีลักษณะพองออกเป็นกระเปาะ เป็นกลุ่มเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ผนังบางมีความไวต่อสัมผัสสูง เมื่อใบถูกสัมผัสจะกระตุ้นให้เปลี่ยนแปลงแรงดันเต่งภายในพัลไวนัสอย่างรวดเร็ว นั่นคือ เซลล์ด้านในจะสูญเสียน้ำให้กับเซลล์ข้างเคียงทำให้ใบหุบทันที
การเคลื่อนไหวเนื่องจากการเปิดปิดปากใบ (guard cell movement)	เกิดจากเซลล์คุมมีแรงดันเต่งทำให้ปากใบเปิด เมื่อเซลล์สูญเสียน้ำแรงดันเต่งภายในเซลล์ลดลง เซลล์คุมเหี่ยวปากใบปิดลง

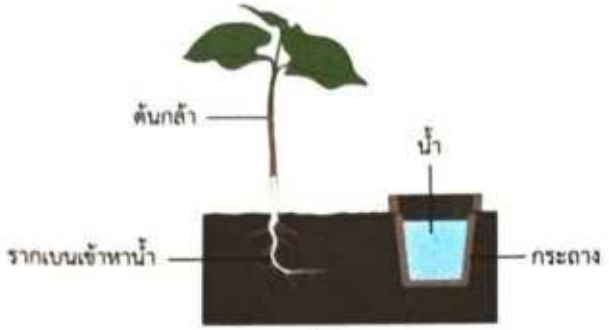


เบนเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก (positive gravitropism)
**gravito = แรงโน้มถ่วง

เบนออกจากแรงโน้มถ่วงของโลก (negative gravitropism)

เบนตามแสง (positive phototropism)
**photo = แสง

ตอบสนองต่อสัมผัสสิ่งเร้า (thigmotropism)
**thigmo = สัมผัส



ตอบสนองต่อน้ำ (hydrotropism)

**hydro = น้ำ

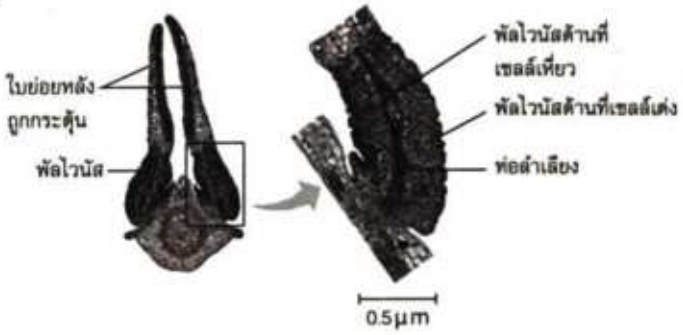
การหุบของใบกาบหอยแครงเมื่อมีแมลงบินมาถูก

เมื่อดอกไม้หุบ เช่น ดอกบัวดอนกลางคืน ดอกกระบองเพชรดอนกลางวัน กลุ่มเซลล์ด้านนอกขยายขนาดมากกว่าด้านใน ทำให้กลีบดอกโค้งเข้า

เมื่อดอกไม้บาน กลุ่มเซลล์ด้านในของกลีบดอกขยายขนาดมากกว่าด้านนอก ทำให้กลีบดอกโค้งออก

▲ (Cr. exteen.com)

พัลไวนัสของไมยราบ



▲ (Cr. miami.edu)

เซลล์ด้านในสูญเสียน้ำให้กับด้านนอก ทำให้เซลล์ด้านนอกเต่งและหุบใบ

เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจากเซลล์ข้างเคียงแพร่กลับมาทำให้เซลล์ด้านในเต่งและทำให้ใบกางออกเหมือนเดิม

▲ (Cr. quora.com)

Quiz Yourself

3. ข้อใดจัดเป็น nastic movement

1. พลูด่างเลื้อยพันต้นมะม่วง
2. ดอกประดู่ร่วงพร้อมกันทั้งต้น
3. ใบไมยราบหุบเมื่องูเลื้อยมากระทบ
4. ดอกทานตะวันหมุนตามดวงอาทิตย์
5. เรณูของแพงพวยงอกหลอดเรณูไปยังรังไข่

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 1.** ออกซินมีสมบัติเร่งรากแขนงและรากพิเศษในกิ่งตอน

2) **ตอบ 2.** ฮอร์โมนที่ช่วยเร่งดาดอก คือ จิบเบอเรลลินและไซโทไคนิน

3) **ตอบ 3.** ใบไมยราบหุบเมื่อถูกสัมผัสจัดเป็น nastic movement

ข้อ 1. พลูด่างเลื้อยพันต้นมะม่วง เป็น thigmotropism

ข้อ 2. ดอกประดู่ร่วงพร้อมกันทั้งต้นไม่จัดเป็นการตอบสนองของพืช

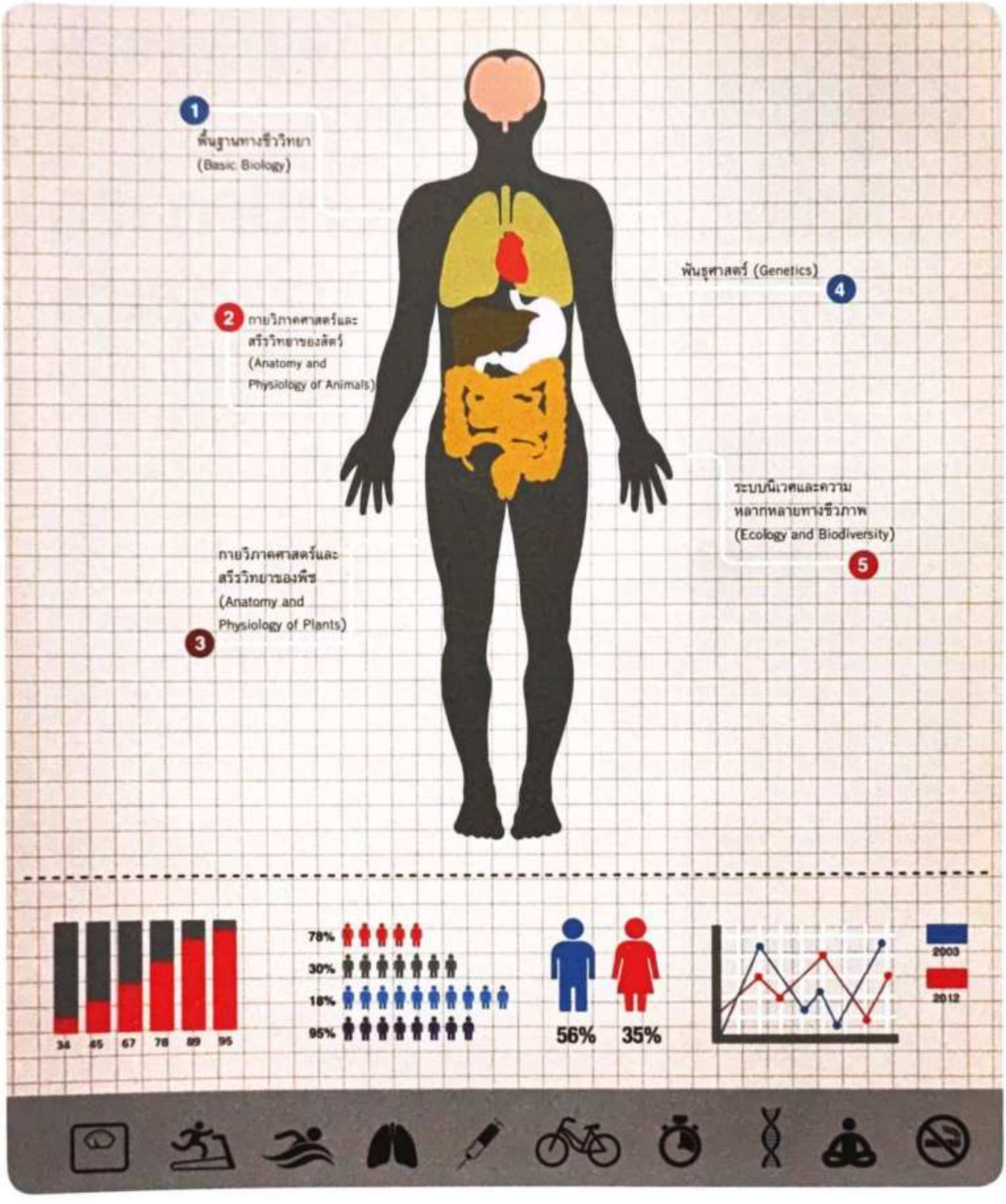
ข้อ 4. ดอกทานตะวันหมุนตามดวงอาทิตย์เป็น heliotropism

ข้อ 5. เรณูของแพงพวยงอกหลอดเรณูไปยังรังไข่เป็น chemotropism

▲ (Cr. Erin)

▲ (Cr. Another Perspective)

Part 04 พันธุศาสตร์ (Genetics)



บทที่ 15

การถ่ายทอดทางพันธุกรรม

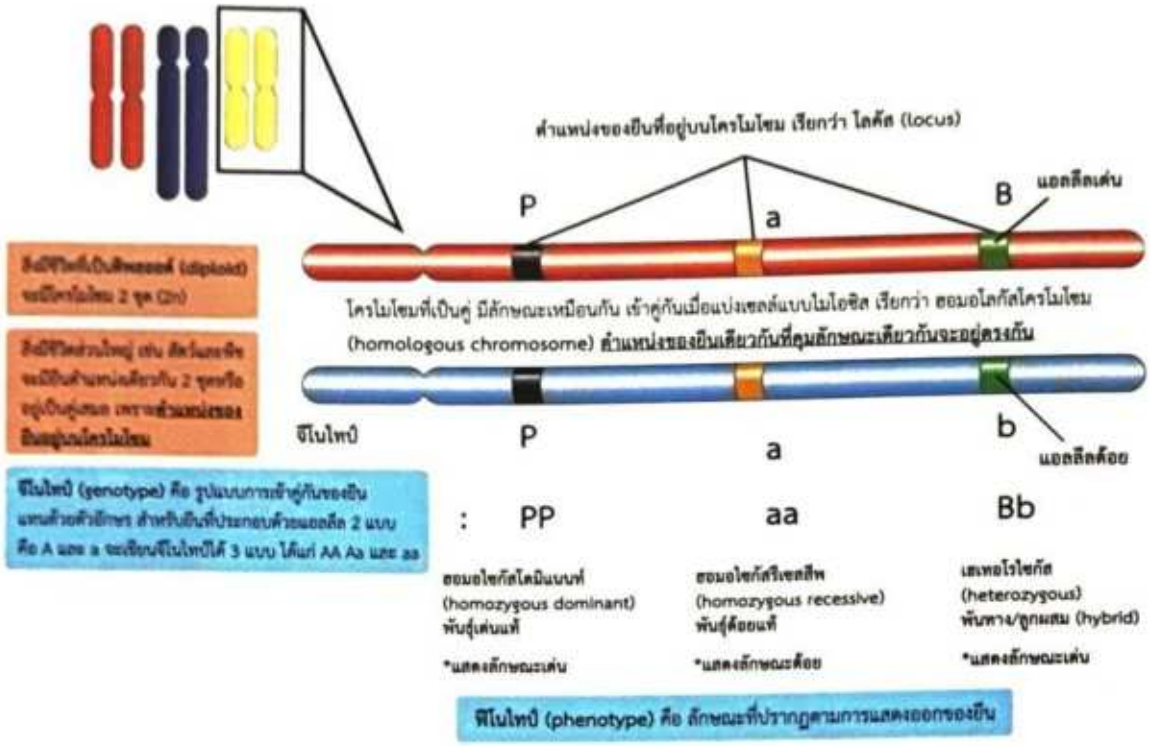
15.1 การศึกษาพันธุศาสตร์

เกรเกอร์ โยฮันน์ เมนเดล (Gregor Johann Mendel) **บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์** เป็นบาทหลวงชาวออสเตรีย สังเกตเห็นถั่วลันเตาในธรรมชาติมีหลากหลายลักษณะ เช่น เมล็ดกลม เมล็ดขรุขระ เมล็ดเขียว เมล็ดเหลือง และสังเกตว่าลักษณะต่างๆ เหล่านี้มีการถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่นอย่างไร

- ทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตา และสังเกตลักษณะของถั่วรุ่นลูก (F_1) และรุ่นหลาน (F_2)
- เหตุผลที่เลือกถั่วลันเตา
  - อายุสั้น ปลูกง่าย ให้ลูกหลานจำนวนมาก เจริญเติบโตเร็ว
  - ลักษณะที่ศึกษาแตกต่างชัดเจน เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีการผสมภายในดอกเดียวกัน
- เมนเดลสรุปว่าลักษณะต่างๆ ของถั่วลันเตา เช่น สีของเมล็ด ความสูงของลำต้น รูปร่างของเมล็ด สีของดอก มีหน่วยที่ควบคุมเรียกว่า **แฟกเตอร์** (factor) ซึ่งต่อมาเรียกว่า **ยีน** (gene)

ในกรณีนี้ยีนควบคุมรูปร่างของเมล็ด มี 2 แอลลีล

1. แอลลีล R เป็นแอลลีลเด่น ควบคุมลักษณะเมล็ดกลม
2. แอลลีล r เป็นแอลลีลด้อย ควบคุมลักษณะเมล็ดขรุขระ



▲ (Cr. cofc.edu)

15.2 ความน่าจะเป็น

ความน่าจะเป็น (probability) เป็นค่าที่ใช้บอกเหตุการณ์หนึ่งจะมีโอกาสเกิดขึ้นมากน้อยแค่ไหน

$$\text{ความน่าจะเป็น} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่เหตุการณ์หนึ่งๆ จะเกิดขึ้นได้}}{\text{จำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด}}$$

กฎความน่าจะเป็น

1. กฎการบวก (addition law)
   - เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ที่ไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้
   - ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A หรือ B = ความน่าจะเป็นของ A + ความน่าจะเป็นของ B

ตัวอย่าง ในการโยนลูกเต๋าครั้งหนึ่ง โอกาสที่จะได้ลูกเต๋า 1 แต้มหรือ 2 แต้มเป็นเท่าใด

ตอบ

โอกาสที่จะได้ลูกเต๋า 1 แต้มหรือ 2 แต้ม ไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้จึงใช้กฎการบวก

โอกาสที่จะได้ลูกเต๋า 1 แต้มหรือ 2 แต้ม = โอกาสที่จะได้ 1 แต้ม + โอกาสที่จะได้ 2 แต้ม $= \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$

ตัวอย่าง พ่อแม่คาดหวังว่าบุตรในครรภ์จะเป็นเพศชายหรือหญิงด้วยโอกาสเท่าใด

ตอบ

โอกาสที่บุตรจะเป็นเพศชายหรือหญิงไม่สามารถเป็นพร้อมกันได้จึงใช้กฎการบวก

โอกาสที่จะเป็นเพศชายหรือหญิง = โอกาสที่จะเป็นเพศชาย + โอกาสที่จะเป็นเพศหญิง $= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$

2. กฎการคูณ (multiplication law)
   - เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมกันได้ เรียกว่า เหตุการณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน
   - ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A และ B = ความน่าจะเป็นของ A × ความน่าจะเป็นของ B

ตัวอย่าง ในการโยนเหรียญ 2 เหรียญพร้อมกัน 1 ครั้ง โอกาสที่จะเกิดหัวทั้ง 2 เหรียญเป็นเท่าใด

ตอบ การโยนเหรียญแต่ละเหรียญเป็นอิสระต่อกัน การเกิดหัวของเหรียญหนึ่งไม่ได้ส่งผลต่ออีกเหรียญ จึงใช้กฎการคูณ

โอกาสที่จะเกิดหัวทั้ง 2 เหรียญ = โอกาสที่จะเกิดหัวของเหรียญแรก × โอกาสที่จะเกิดหัวของเหรียญที่สอง = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

ตัวอย่าง โอกาสที่พ่อแม่จะมีบุตรคนแรกเป็นลูกชาย และคนที่สองเป็นลูกสาวเป็นเท่าใด

ตอบ โอกาสที่บุตรแต่ละคนจะเป็นเพศใดเป็นอิสระต่อกัน การที่คนแรกเป็นเพศใดไม่ได้ส่งผลต่อเพศของอีกคนจึงใช้กฎการคูณ

โอกาสที่ลูกคนแรกเป็นชาย ลูกคนที่สองเป็นหญิง = โอกาสของลูกคนแรกเป็นชาย × โอกาสของลูกคนที่สองเป็นหญิง = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

ตัวอย่าง หากพ่อแม่ต้องการมีบุตร 3 คน โอกาสที่จะได้ลูกชาย 2 คน ลูกสาว 1 คนเป็นเท่าใด

ตอบ การเกิดเพศของลูกสามคนเป็นอิสระต่อกัน จึงใช้กฎการคูณ แต่**โจทย์ไม่ได้กำหนดลำดับของเพศลูก** ดังนั้น ลำดับอาจมีการสลับที่ได้ ความเป็นไปได้จึงมี 3 โอกาส คือ

- โอกาสที่ลำดับเป็นชาย ชาย หญิง = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$
- โอกาสที่ลำดับเป็นชาย หญิง ชาย = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$
- โอกาสที่ลำดับเป็นหญิง ชาย ชาย = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

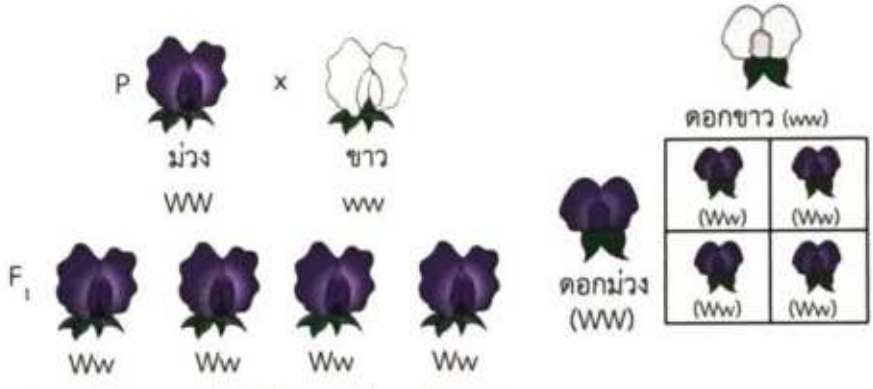
ซึ่งความเป็นไปได้ทั้งสาม**ไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้** จึงใช้กฎการบวกรวมความเป็นไปได้เข้าด้วยกัน

โอกาสที่จะได้ลูกชาย 2 คน ลูกสาว 1 คน = $\frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{3}{8}$

15.3 การถ่ายทอดพันธุกรรมตามแบบเมนเดล (Mendelian inheritance)

การผสมพิจารณาลักษณะเดียว (monohybrid cross)

- การทดลองที่ 1 เมนเดลนำถั่วลันเตาพันธุ์แท้ที่มีลักษณะแตกต่างกันมาผสมกัน เช่น ดอกสีม่วงผสมกับดอกสีขาว

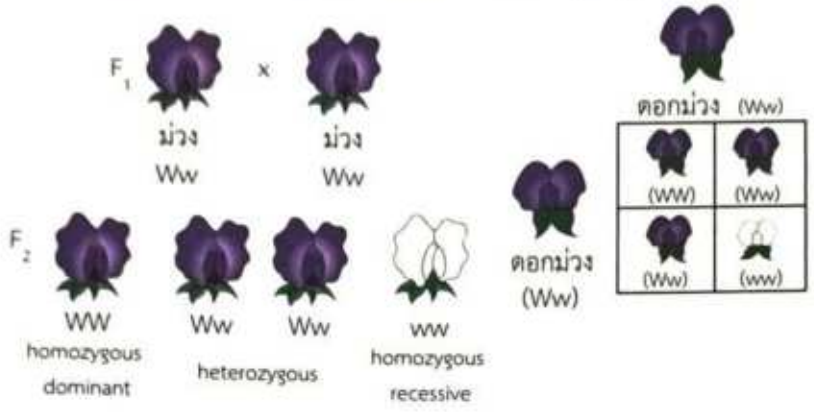


ลูกผสมพันทาง (เฮเทอโรไซกัส) ดอกสีม่วงทุกต้น 100%

▲ (Cr. iupui.edu)

- ผลที่ได้ รุ่นลูกหรือ F_1 ออกมาเป็นดอกสีม่วงทั้งหมด สรุปว่าลักษณะดอกม่วงเป็นลักษณะเด่นแทนด้วย W ส่วนดอกขาวเป็นลักษณะด้อยแทนด้วย w
- ขั้นนี้เมนเดลสงสัยว่าทำไมลักษณะสีขาวจึงไม่ปรากฏในรุ่น F_1 จึงทดลองขั้นต่อไป

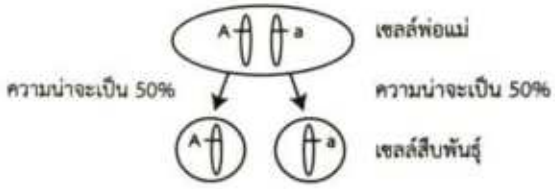
▶ การทดลองที่ 2 เมนเดลนำถั่วลันเตาพันทางที่เป็นดอกสีม่วงจากรุ่น F_1 มาผสมกันเอง



▲ (Cr. iupui.edu)

- ผลที่ได้ รุ่นหลานหรือ F_2 ออกมาเป็นดอกสีม่วงและดอกสีขาวในอัตราส่วน 3 : 1 เรียกว่าอัตราส่วนเมนเดล (Mendelian ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของฟีโนไทป์ส่วนอัตราส่วนจีโนไทป์ WW : Ww : ww = 1 : 2 : 1

จากการทดลองพบว่ายีน W และ w ถ่ายทอดไปยังรุ่น F_2 ได้ก็ต่อเมื่อยีนทั้งสองต้องแยกจากกันไปสู่เซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์ เป็นไปตาม**กฎข้อที่ 1 ของเมนเดล "กฎแห่งการแยก" (Law of segregation)** *"ยีนที่อยู่เป็นคู่กันจะแยกออกจากกันเมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์หนึ่งจะได้แค่แอลลีลหนึ่ง"* เมนเดลในตอนนั้นยังไม่รู้ว่ากลไกใดทำให้ยีนแยกกัน ปัจจุบันเรารู้แล้วว่ายีนแยกกันตอน**การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในขั้นแอนาเฟส I**



Quiz Yourself

1) ข้อใดสอดคล้องกับกฎแห่งการแยก

1. กฎข้อนี้ได้มาจากการศึกษาลักษณะที่ได้จากการผสมพิจารณาสองลักษณะ
2. ยีนที่อยู่เป็นคู่จะแยกออกจากกันในระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของการสร้างเซลล์สืบพันธุ์
3. ในการผสมของสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเด่นแท้กับลักษณะด้อยแท้ เมื่อผสมลูกรุ่น F_1 ด้วยกัน จะให้ลูกรุ่น F_2 ที่มีลักษณะเด่นต่อลักษณะด้อยเป็น 3 : 1
4. ยีนที่แยกออกจากยีนที่เป็นคู่กัน จะจัดกลุ่มอย่างอิสระกับยีนอื่นที่แยกออกจากคู่เช่นกัน ในการเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์

ตัวอย่าง ถั่วลันเตาต้นสูงเป็นลักษณะเด่นและต้นเตี้ยเป็นลักษณะด้อย ในการผสมตัวเองของต้นสูงที่เป็นเฮเทอโรไซกัสทั้งคู่ จะเกิดลูกที่เป็นต้นสูงและต้นเตี้ยร้อยละเท่าใด

ตอบ ให้ T แทนแอลลีลควบคุมต้นสูง และ t แทนแอลลีลควบคุมต้นเตี้ย

รุ่น P ต้นสูง (เฮเทอโรไซกัส) × ต้นสูง (เฮเทอโรไซกัส)

จีโนไทป์ Tt Tt

รุ่น F_1 $\frac{1}{4}$ TT $\frac{1}{4}$ Tt $\frac{1}{4}$ Tt $\frac{1}{4}$tt

จีโนไทป์ $\frac{1}{4}$ TT $\frac{1}{2}$ Tt $\frac{1}{4}$ tt

ฟีโนไทป์ ต้นสูงร้อยละ 75 ต้นเตี้ยร้อยละ 25

ตัวอย่าง ถ้า N แทนแอลลีลที่ควบคุมลักษณะปีกยาว (ลักษณะปกติ) ของแมลงหวี่และ n แทนแอลลีลที่ควบคุมลักษณะปีกสั้น เมื่อผสมแมลงหวี่ 1 คู่ ได้ลูกที่มีปีกยาวและปีกสั้นในอัตราส่วน 1 : 1 จงหาจีโนไทป์ของพ่อแม่ และลูก

ตอบ เนื่องจากเกิดลูกปีกสั้น (nn) ดังนั้นแอลลีล n จึงต้องพบทั้งในพ่อและแม่ และเกิดลูกปีกปกติ (N_) ด้วย ดังนั้น แอลลีล N จึงพบในพ่อหรือแม่ก็ได้ ดังนั้น จีโนไทป์ที่เป็นไปได้ของพ่อแม่ คือ

Nn (ปีกยาว) × nn (ปีกสั้น)

รุ่น F_1 $\frac{1}{2}$ Nn (ปีกยาว) $\frac{1}{2}$ nn (ปีกสั้น)

ได้ลูกที่มีปีกยาวและปีกสั้นในอัตราส่วน 1 : 1

ตัวอย่าง แตงโมลักษณะผลสีเขียวข่มผลลายได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อผสมพันธุ์แตงโมผลสีเขียวพันทางด้วยกันเอง แล้วได้แตงโมผลสีเขียวจำนวน 75 ผล และจะได้แตงโมผลลายกี่ผล

ตอบ แตงโมผลสีเขียว (G) เป็นลักษณะเด่น และแตงโมผลลาย (g) เป็นลักษณะด้อย เมื่อผสมแตงโมผลสีเขียวพันทาง (Gg) เข้าด้วยกันจะทำให้ได้รุ่นลูกที่เป็นไปตามอัตราส่วนเมนเดลดังนี้

จีโนไทป์ Gg × Gg

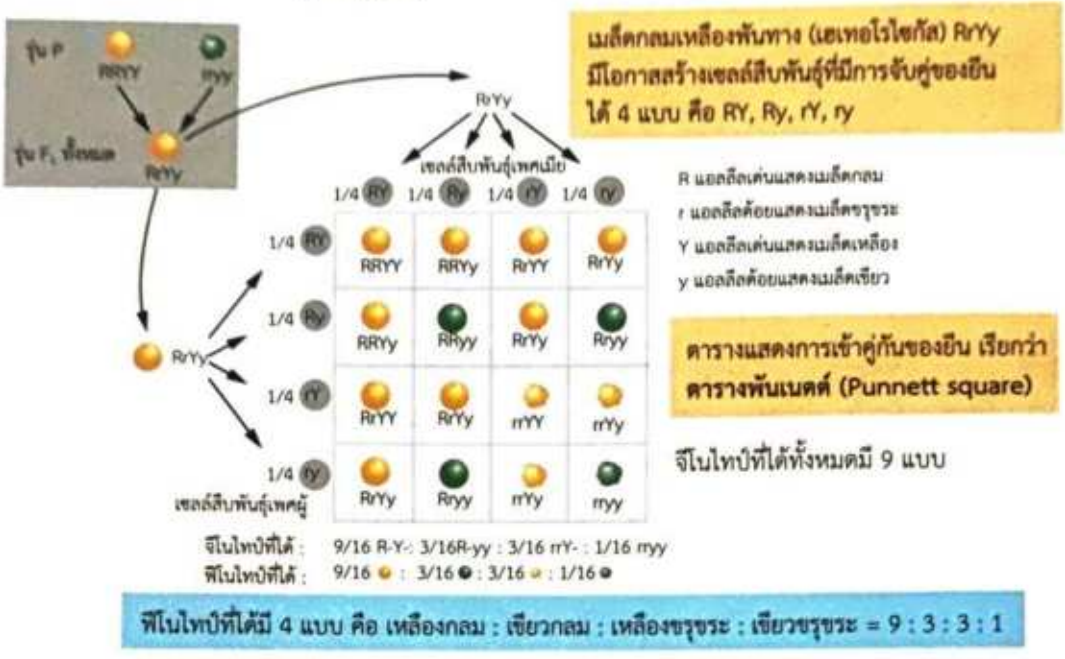
รุ่น F_1 $\frac{1}{4}$ GG $\frac{1}{2}$ Gg $\frac{1}{4}$ gg

ฟีโนไทป์ ผลสีเขียว (เด่น) : ผลลาย (ด้อย) = 3 : 1

ดังนั้น หากมีผลสีเขียว 75 ผล จะได้ผลลาย 25 ผล

การผสมพิจารณาสองลักษณะ (dihybrid cross)

- การทดลองที่ 3 เมนเดลนำถั่วลันเตาพันธุ์แท้ที่มีลักษณะเด่น 2 ลักษณะ ได้แก่ เมล็ดกลมสีเหลือง ผสมกับพันธุ์ที่มีลักษณะด้อย 2 ลักษณะ ได้แก่ เมล็ดขรุขระสีเขียว ผสมกันได้พันทางที่เป็นเมล็ดกลมสีเหลืองในรุ่น F_1 และนำพันทางมาผสมกันเองได้ลูกในรุ่น F_2



เมล็ดกลมเหลืองพันทาง (เฮเทอโรไซกัส) RrYy มีโอกาสสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่มีการจับคู่ของยีนได้ 4 แบบ คือ RY, Ry, rY, ry

ตารางแสดงการเข้าคู่กันของยีน เรียกว่า ตารางพันเนตต์ (Punnett square)

จีโนไทป์ที่ได้ทั้งหมดมี 9 แบบ

ฟีโนไทป์ที่ได้มี 4 แบบ คือ เหลืองกลม : เขียวกลม : เหลืองขรุขระ : เขียวขรุขระ = 9 : 3 : 3 : 1

▲ (Cr. weebly.com)

จากการทดลองพบว่า ยีนควบคุมลักษณะเมล็ดและสีของเมล็ดสามารถแยกตัวออกจากกันเข้าสู่เซลล์สืบพันธุ์เพียงยีนละแอลลีลเดียว (กฎแห่งการแยก) แต่แอลลีลจากยีนต่างแบบสามารถรวมกันได้อย่างอิสระในเซลล์สืบพันธุ์ เป็นไปตาม **กฎข้อที่ 2 ของเมนเดล "กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ" (Law of independent assortment)** *"ในการรวมกันของแอลลีลจากต่างยีนในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกันจะรวมกลุ่มกันไปอย่างอิสระ"* เช่น แอลลีล R ที่ควบคุมเมล็ดกลมจะรวมกับแอลลีล Y ที่ควบคุมสีเหลือง หรือแอลลีล y ที่ควบคุมสีเขียวก็ได้

การคำนวณโอกาสในการเกิดจีโนไทป์และฟีโนไทป์แบบต่างๆ จากการผสมพิจารณาสองลักษณะ เนื่องจากแต่ละลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นเหตุการณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน จึงใช้**กฎการคูณ**

ตัวอย่าง จากการทดลองที่ 3 ของเมนเดลข้างต้นเมื่อนำพันทางที่เป็นเมล็ดกลมสีเหลืองในรุ่น F_1 มาผสมกันเองจะได้

รุ่น F_1	RrYy		×	RrYy			
หากแยกคิดแต่ละลักษณะออกมา	Rr	×	Rr	Yy	×	Yy	
อัตราส่วนจีโนไทป์	$\frac{1}{4}$ RR	$\frac{1}{2}$ Rr	$\frac{1}{4}$ rr	$\frac{1}{4}$ YY	$\frac{1}{2}$Yy	$\frac{1}{4}$ yy	
ฟีโนไทป์	เมล็ดกลม $\frac{3}{4}$		เมล็ดขรุขระ $\frac{1}{4}$	เมล็ดเหลือง $\frac{3}{4}$		เมล็ดเขียว $\frac{1}{4}$	

ดังนั้น โอกาสที่จะเกิด RRYY ในรุ่น $F_2 = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

$RrYY = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$ $\quad$ $rrYY = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

$RRYy = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ $\quad$ $RrYy = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

$rrYy = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ $RRyy = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

$Rryy = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$ $rryy = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

และโอกาสที่จะเกิด F_2 เป็นเมล็ดเหลืองกลม $(R_Y_) = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$ เมล็ดเหลืองขรุขระ $(R_yy) = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$ เมล็ดเขียวกลม $(rrY_) = \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$, เมล็ดเขียวขรุขระ $(rryy) = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

ตัวอย่าง จากการผสมระหว่างพืชที่มีจีโนไทป์ AaBb × Aabb โอกาสที่ลูกจะมีจีโนไทป์เป็น AaBb และ aabb เป็นเท่าใด

ตอบ

แยกพิจารณา Aa × Aa

รุ่น F_1 $\frac{1}{4}$ AA $\frac{1}{2}$ Aa $\frac{1}{4}$ aa

และ Bb × bb

รุ่น F_1 $\frac{1}{2}$ Bb $\frac{1}{2}$ bb

ดังนั้น โอกาสที่ลูกจะมีจีโนไทป์เป็น AaBb $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ และโอกาสที่ลูกจะมีจีโนไทป์เป็น aabb $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

ตัวอย่าง มะเขือเทศผลสีแดง (R) และต้นสูง (T) เป็นลักษณะเด่น ส่วนผลสีเหลือง (r) และต้นเตี้ย (t) เป็นลักษณะด้อย เมื่อผสมมะเขือเทศ RrTT กับ rrTt จงหาโอกาสที่จะได้ลูกเป็นมะเขือเทศผลเหลืองต้นสูง และมะเขือเทศผลแดงต้นเตี้ย

ตอบ

แยกพิจารณา Rr × rr

รุ่น F_1 $\frac{1}{2}$ Rr $\frac{1}{2}$ rr ผลสีแดง $\frac{1}{2}$ และผลสีเหลือง $\frac{1}{2}$

TT × Tt

รุ่น F_1 $\frac{1}{2}$ TT $\frac{1}{2}$ Tt แต่เป็นต้นสูงทั้งหมด

ดังนั้น โอกาสของผลเหลืองต้นสูง $= \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{2}$ และโอกาสของผลแดงต้นเตี้ย $= \frac{1}{2} \times 0 = 0$

ตัวอย่าง จงหาอัตราส่วนของลูก aabbCc จากการผสม AaBbCc × aaBbCc

ตอบ

แยกพิจารณา Aa × aa

รุ่น F_1 $\frac{1}{2}$ Aa $\frac{1}{2}$ aa

และ Bb × Bb

รุ่น F_1 $\frac{1}{4}$ BB $\frac{1}{2}$ Bb $\frac{1}{4}$ bb

และ Cc × Cc

รุ่น F_1 $\frac{1}{4}$ CC $\frac{1}{2}$ Cc $\frac{1}{4}$ cc

ดังนั้น โอกาสที่ลูกจะมีจีโนไทป์เป็น aabbCc = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$

ตัวอย่าง แมลงหวี่ปีกยาว (L) และลำตัวเทา (G) เป็นลักษณะเด่น ส่วนปีกสั้น (ℓ) และลำตัวดำ (g) เป็นลักษณะด้อย ในการผสมระหว่างแมลงหวี่ปีกยาวลำตัวเทาพันทาง และแมลงหวี่ปีกสั้นตัวดำ จงหาอัตราส่วนของลูกที่มีฟีโนไทป์เหมือนพ่อและแม่

ตอบ

แมลงหวี่ปีกยาวลำตัวเทาพันทาง คือ LℓGg แมลงหวี่ปีกสั้นตัวดำ คือ $\ell\ell$gg

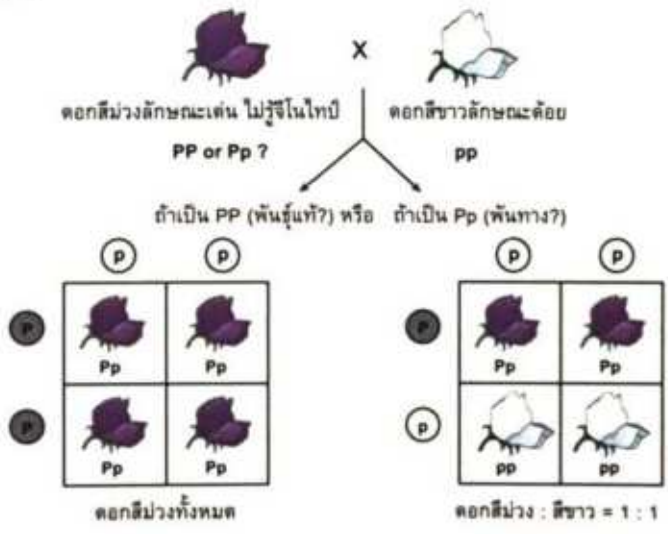
แยกคิด Lℓ × $\ell\ell$ ⋮ Gg × gg

ได้ F_1 $\frac{1}{2}$ Lℓ $\frac{1}{2}$ $\ell\ell$ ⋮ $\frac{1}{2}$ Gg $\frac{1}{2}$ gg

ดังนั้น โอกาสที่จะเกิด LℓGg = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ และโอกาสที่จะเกิด $\ell\ell$gg = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

1. การหาจำนวนชนิดของ**เซลล์สืบพันธุ์**จากจีโนไทป์ที่กำหนด = 2^n เมื่อ n คือ จำนวนคู่ของยีนที่เป็น**เฮเทอโรไซกัส** เช่น RrYy มีเฮเทอโรไซกัส 2 คู่ สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2^2 = 4 แบบ // Aa BB Cc Dd ee มีเฮเทอโรไซกัส 3 คู่ สร้างเซลล์สืบพันธุ์ ได้ 2^3 = 8 แบบ
2. การหาจำนวนรูปแบบ**จีโนไทป์**ของลูกจากการผสมจีโนไทป์ที่เหมือนกัน = 3^n เมื่อ n คือ จำนวนคู่ของยีนที่เป็น**เฮเทอโรไซกัส** เช่น RrYy × RrYy เกิดลูกที่มีจีโนไทป์ 3^2 = 9 แบบ // AabbCc Dd ผสมกันเอง เกิดลูกที่มีจีโนไทป์ 3^3 = 27 แบบ
3. การหาจำนวนรูปแบบ**ฟีโนไทป์**ของลูกจากการผสมจีโนไทป์ที่เหมือนกัน = 2^n เมื่อ n คือ จำนวนคู่ของยีนที่เป็น**เฮเทอโรไซกัส** เช่น RrYy × RrYy เกิดลูกที่มีฟีโนไทป์ 2^2 = 4 แบบ // AabbCc Dd ผสมกันเอง เกิดลูกที่มีฟีโนไทป์ 2^3 = 8 แบบ

การผสมเพื่อการทดสอบ



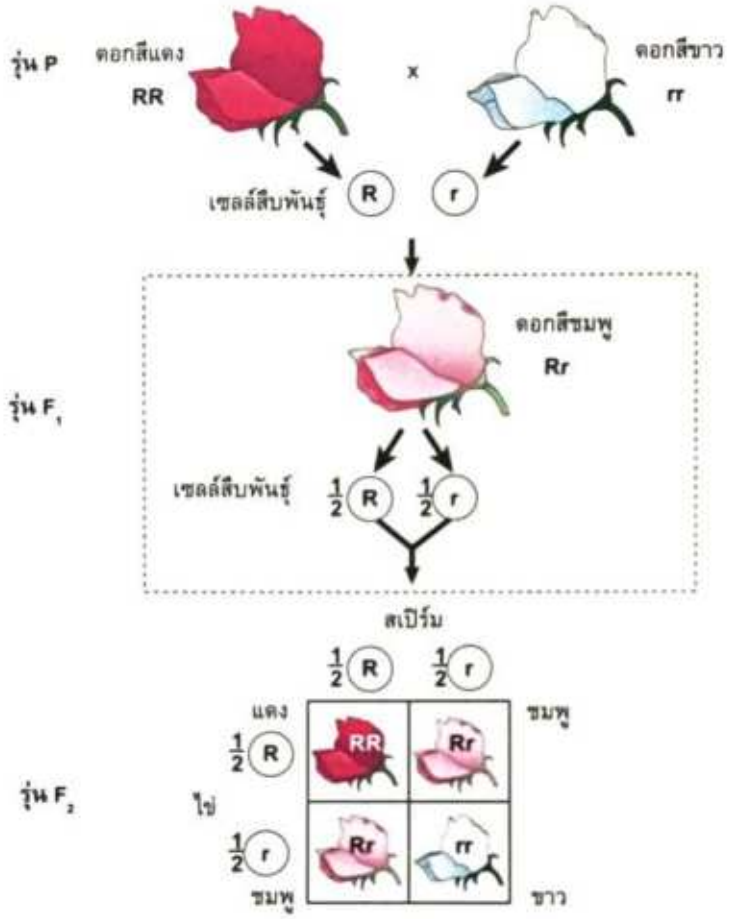
▲ (Cr. Miami.edu)

หากสิ่งมีชีวิตมีลักษณะเด่น เราจะรู้ได้อย่างไรว่าเป็นเด่นพันธุ์แท้ (homozygous dominant) **หรือพันทาง** (heterozygous) สิ่งที่ทำได้ คือ นำไปผสมกับสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะด้อย (homozygous recessive) เรียกว่า**การผสมเพื่อทดสอบ (testcross)** และหากตัวที่ทดสอบเป็นพ่อหรือแม่ เรียกว่า**การผสมกลับ (backcross)**

15.4 การถ่ายทอดพันธุกรรมนอกเหนือกฎของเมนเดล (non-Mendelian inheritance)

ลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ (incomplete dominance)

- การทดลอง เมื่อนำดอกลิ้นมังกรสีแดงผสมกับดอกสีขาวได้ดอกสีชมพูและนำดอกสีชมพูมาผสมกันเอง



▲ (Cr. niceweb.com)

จากการผสมดอกลิ้นมังกรพบว่าสีของดอกควบคุมโดย 2 แอลลีล คือ R ควบคุมสีแดง r ควบคุมสีขาว **แต่แอลลีลเด่นไม่สามารถข่มแอลลีลด้อยได้อย่างสมบูรณ์** ทำให้เฮเทอโรไซกัสแสดงฟีโนไทป์ออกมาเป็นลักษณะผสมกันระหว่างลักษณะเด่นและลักษณะด้อย (สีชมพู) เรียกว่า **ลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ (incomplete dominance)** รุ่น F_2 มีสัดส่วนดอกแดง : ชมพู : ขาว = 1 : 2 : 1

ตัวอย่าง พันธุกรรมของขนหนูชนิดหนึ่งถูกควบคุมด้วยยีนที่มีแอลลีล B ควบคุมขนสีดำ และ b ควบคุมขนสีขาว (สีขนของหนูเป็นลักษณะเด่นแบบไม่สมบูรณ์) เมื่อนำหนูพันทางที่มีขนสีน้ำตาลมาผสมกันเอง จะมีอัตราส่วนฟีโนไทป์ของขนหนูแต่ละแบบในรุ่นลูกเป็นเท่าใด

ตอบ ยีนควบคุมสีขนหนูเป็นลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ โดย BB แสดงขนสีดำ, Bb แสดงขนสีน้ำตาล และ bb แสดงขนสีขาว

จากการผสมหนูขนสีน้ำตาล Bb × Bb

จะได้ $\frac{1}{4}$ BB $\frac{1}{2}$ Bb $\frac{1}{4}$ bb

นั่นคือ ขนสีดำ : น้ำตาล : ขาว = 1 : 2 : 1

ลักษณะข่มร่วมกัน (codominance)

ลักษณะทางพันธุกรรมบางอย่างสามารถแสดงออกมาได้เท่าๆ กันในเฮเทอโรไซกัส เช่น ระบบหมู่เลือด MN

	จีโนไทป์	ฟีโนไทป์ (หมู่เลือด)	แอนติเจนที่อยู่บนเม็ดเลือดแดง
	L^ML^M (homozygous)	M	แอนติเจน M
	L^ML^N (heterozygous)	MN	แอนติเจน M และ N
	L^NL^N (homozygous)	N	แอนติเจน N

มัลติเปิลแอลลีล (multiple alleles)

ยีนบางตำแหน่งมีแอลลีลมากกว่าสองแบบ เช่น ระบบหมู่เลือด ABO ควบคุมด้วยยีนคู่เดียว (single locus) มีแอลลีล 3 แบบ คือ I^A สร้างแอนติเจน A, I^B สร้างแอนติเจน B และ i ไม่สร้างแอนติเจนบนเม็ดเลือดแดง

หมู่เลือด	จีโนไทป์	เม็ดเลือดแดง
A	I^AI^A (homozygous dominant) I^Ai (heterozygous)	 แอนติเจน A
B	I^BI^B (homozygous dominant) I^Bi (heterozygous)	 แอนติเจน B
AB	I^AI^B (codominant) *แสดงผลเป็นแอนติเจน A และ B เท่าๆ กัน	 แอนติเจน A, B

หมู่เลือด	จีโนไทป์	เม็ดเลือดแดง
O	ii (homozygous recessive)	ไม่มีแอนติเจน

ตัวอย่าง แฝดหญิงคู่หนึ่งเกิดจากไข่ใบเดียวกัน แฝดคนพี่มีสามีหมู่เลือด A มีลูกหมู่เลือด O แฝดคนน้องมีสามีหมู่เลือด B มีลูกหมู่เลือด AB จงหาจีโนไทป์ของหญิงแฝดคู่นี้

ตอบ แฝดหญิงเกิดจากไข่ใบเดียวกันจึงต้องมีหมู่เลือดเหมือนกัน ลูกของแฝดคนน้องมีเลือดหมู่ AB (I^AI^B) คือได้รับแอลลีล I^B จากพ่อที่มีหมู่เลือด B ($I^B_$) และแอลลีล I^A ต้องมาจากแม่ แสดงว่าแม่ต้องมีหมู่เลือด A เท่านั้น ($I^A_$)

การที่ลูกของแฝดคนพี่มีเลือดหมู่ O (ii) แสดงว่าทั้งพ่อและแม่ต้องมีแอลลีล i เนื่องจากฝาแฝดแท้มีจีโนไทป์เหมือนกัน ดังนั้น จีโนไทป์ของหญิงแฝดคู่นี้ คือ I^Ai

ตัวอย่าง หากพ่อมีหมู่เลือด MN และ AB และแม่มีหมู่เลือด MN และ O จงหาโอกาสที่ลูกจะมีหมู่เลือด M และ A

ตอบ

จีโนไทป์	$L^ML^NI^AI^B$ (พ่อ)	×	L^ML^Nii (แม่)
แยกคิด	L^ML^N	×	L^ML^N
รุ่น F_1	$\frac{1}{4}$ L^ML^M (M)	$\frac{1}{2}$ L^ML^N (MN)	$\frac{1}{4}$ L^NL^N (N)

และ	I^AI^B	×	ii
รุ่น F_1	$\frac{1}{2}$ I^Ai (A)	$\frac{1}{2}$ I^Bi (B)	

ดังนั้น โอกาสที่ลูกจะมีหมู่เลือด M และ A = $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

ตัวอย่าง หากครอบครัวมีบุตรสี่คนที่มีหมู่เลือดทั้ง A B AB และ O จีโนไทป์ของพ่อและแม่เป็นอย่างไร

ตอบ การที่ลูกจะมีเลือดหมู่ AB (I^AI^B) นั่นแปลว่าพ่อต้องมีแอลลีล I^A และแม่ต้องมีแอลลีล I^B หรือสลับกัน การที่ลูกจะมีเลือดหมู่ O (ii) นั่นแปลว่าพ่อและแม่ต้องมีแอลลีล i ดังนั้น

จีโนไทป์	I^Ai	×	I^Bi				
ได้รุ่น F_1	$\frac{1}{4}$ I^Ai (A)		$\frac{1}{4}$ I^Bi (B)		$\frac{1}{4}$ I^AI^B (AB)		$\frac{1}{4}$ ii (O)

นั่นคือ พ่อแม่ต้องมีหมู่เลือด A และ B แบบเฮเทอโรไซกัส

ตัวอย่าง หากพ่อมีหมู่เลือด A แบบเฮเทอโรไซกัส และแม่มีหมู่เลือด AB โอกาสที่จะมีลูกชายคนแรกเป็นหมู่ A คือเท่าใด

ตอบ

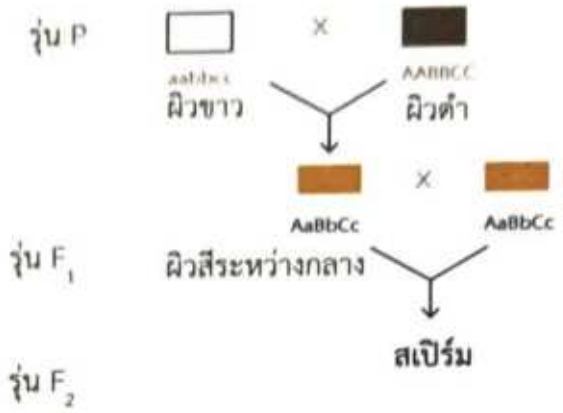
จีโนไทป์	I^Ai (พ่อ)	×	I^AI^B (แม่)				
ได้รุ่น F_1	$\frac{1}{4}$ I^AI^A (A)		$\frac{1}{4}$ I^AI^B (AB)		$\frac{1}{4}$ I^Ai (A)		$\frac{1}{4}$ I^Bi (B)

โอกาสที่จะมีหมู่ A คือ $\frac{1}{2}$ และโอกาสที่จะเป็นลูกชาย คือ $\frac{1}{2}$

ดังนั้น โอกาสที่จะมีลูกชายคนแรกเป็นหมู่ A = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

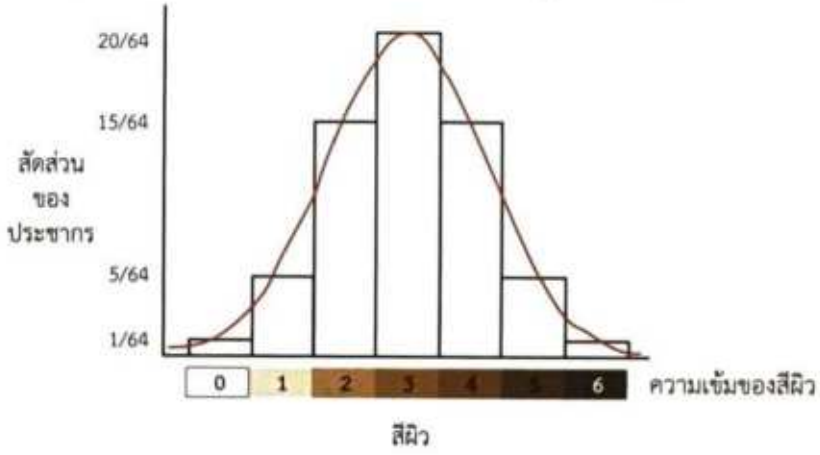
พอลิยีน (polygene)

- การทดลอง เมื่อนำลักษณะผิวขาวมาผสมกับผิวดำ ได้เป็นผิวสีระหว่างกลาง (F_1) และนำ $F_1 \times F_1$ จะได้ F_2 ดังนี้



เซลล์สืบพันธุ์	ABC	ABc	AbC	Abc	aBC	aBc	abC	abc
ABC	6	5	5	4	5	4	4	3
ABc	5	4	4	3	4	3	3	2
AbC	5	4	4	3	4	3	3	2
Abc	4	3	3	2	3	2	2	1
aBC	5	4	4	3	4	3	3	2
aBc	4	3	3	2	3	2	2	1
abC	4	3	3	2	3	2	2	1
abc	3	2	2	1	2	1	1	0

- ลักษณะส่วนใหญ่ของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมด้วยยีนมากกว่าหนึ่งคู่ เรียกว่า **การถ่ายทอดลักษณะด้วยยีนมากกว่าหนึ่งคู่ (polygenic inheritance)**
- จากการทดลองทางด้านบน สิ่งมีชีวิตในรุ่น F_2 จะแสดงลักษณะที่ไล่ระดับกันไปจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด เป็นลักษณะที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและลดหลั่นกันไป แสดงถึง**ความแปรผันทางพันธุกรรม (genetic variation)** มักได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อม
- ลักษณะดังกล่าวเรียก **ลักษณะพันธุกรรมที่แปรผันต่อเนื่อง (continuous variation trait)** หรือ**ลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait)** เช่น สีผม สีผิว ความสูง การให้นมของวัว ขนาดของผลไม้ สติปัญญา



▲ (Cr. ibbiologyhelp.com)

กราฟแสดงลักษณะพันธุกรรมที่แปรผันต่อเนื่อง โดยนำลักษณะฟีโนไทป์มาวาดกราฟ ได้กราฟที่มีการกระจายอย่างต่อเนื่อง หรือกระจายแบบโค้งปกติ (normal distribution)

ส่วนลักษณะที่แตกต่างกันชัดเจน (เช่น ในการทดลองของเมนเดล) มักถูกควบคุมด้วยยีนเพียงหนึ่งตำแหน่ง เรียก **ลักษณะพันธุกรรมที่แปรผันไม่ต่อเนื่อง (discontinuous variation trait)** หรือลักษณะเชิงคุณภาพ เช่น ตาสองชั้น หนึ่งชั้น มีไม่มีติ่งหู ลิ้นม้วนได้ไม่ได้ มีไม่มีลักยิ้ม เชิงผมที่หน้าผากแหลมไม่แหลม

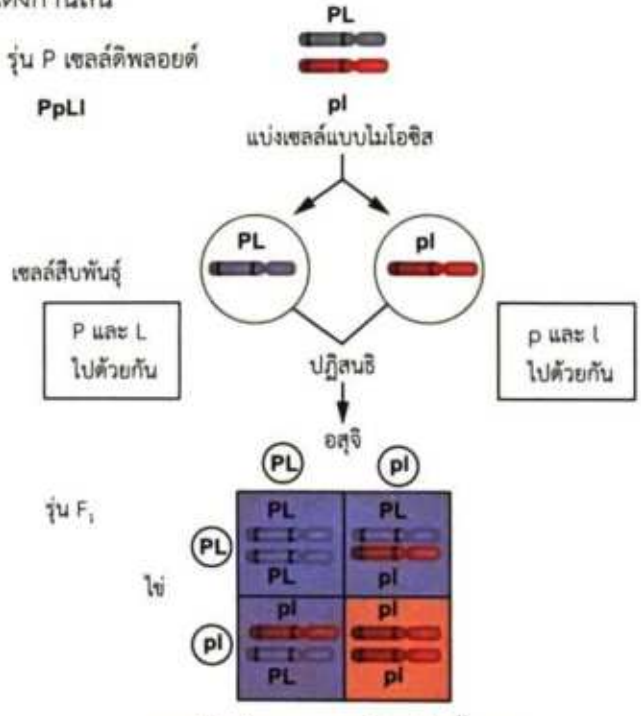
Quiz Yourself

2) เมื่อนำต้นลิ้นมังกรดอกสีแดงผสมพันธุ์กับดอกสีขาว ลูกทุกต้นมีดอกสีชมพู เมล็ดพันธุ์ของต้นดอกสีใดที่ได้จากการผสมตัวเอง เมื่อนำไปปลูกแล้วจะมีสีดอกเหมือนต้นเดิม
   1. สีชมพู
   2. สีขาวและสีชมพู
   3. สีขาวและสีแดง
   4. สีชมพูและสีแดง
   5. สีขาว สีชมพู และสีแดง

3) เมื่อให้ปทุมมานำดอกสีม่วงต้นสูงและเป็นเฮเทอโรไซกัสทำการผสมตัวเอง แล้วนำเมล็ดไปเพาะเกิดต้นใหม่จำนวน 100 ต้น จะมีดอกสีม่วงต้นสูงประมาณกี่ต้น (เมื่อดอกสีขาวเป็นยีนด้อย)
   1. 75 ต้น
   2. 56 ต้น
   3. 28 ต้น
   4. 15 ต้น

ยีนในโครโมโซมเดียวกัน (linked genes หรือ linkage)

การทดลอง เมื่อนำดอกสีม่วงก้านยาวที่เป็นเฮเทอโรไซกัสมาผสมกันเอง (PpLl × PpLl) ปรากฏว่าลูกที่ได้เป็นดอกสีม่วงก้านยาว และดอกสีแดงก้านสั้น

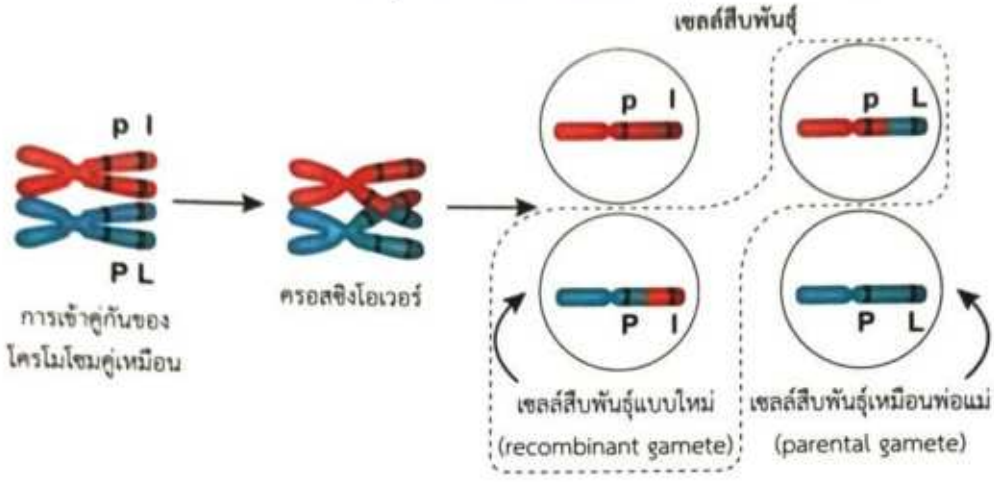


ดอกสีม่วงก้านยาว : ดอกสีแดงก้านสั้น = 3 : 1
PPLL : PpLl : ppll = 1 : 2 : 1
ไม่พบดอกสีม่วงก้านสั้น และดอกสีแดงก้านยาว

▲ (Cr. mpietrangelo.com)

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการที่ยีนควบคุมสีดอกและความยาวก้านอยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกัน เรียกว่า **ลิงค์เกจ (linkage)** ทำให้ยีนทั้งสองถูกถ่ายทอดไปพร้อมกันในเซลล์สืบพันธุ์ จึงไม่เป็นไปตาม**กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ**ของเมนเดล

แต่ในบางครั้งกลับพบดอกสีม่วงก้านสั้น (P_ll) และดอกสีแดงก้านยาว (ppL_) เกิดขึ้นในรุ่นที่ F_1 นั่นเป็นเพราะระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เกิดการ**ครอสซิงโอเวอร์ (crossing over)** ระหว่างโครโมโซมคู่เหมือนทำให้แต่เดิมยีนที่เคยถ่ายทอดมาด้วยกันสามารถสลับระหว่างโครโมโซมคู่เหมือนได้ เรียก**การรวมกลุ่มของยีนใหม่ (genetic recombination)**

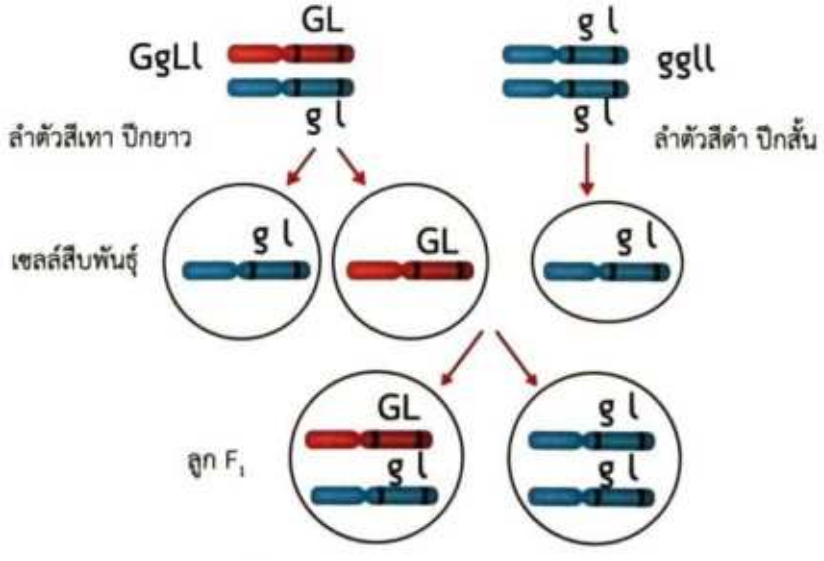


▲ (Cr. mpietrangelo.com)

ยิ่งยีนอยู่ห่างกันมากบนโครโมโซมเดียวกัน โอกาสที่จะเกิดครอสซิงโอเวอร์มีมาก ทำให้ยีนคู่นั้นอาจไม่ใช่ลิงค์เกจกัน

ตัวอย่าง ยีนควบคุมลักษณะปีกและสีลำตัวของแมลงหวี่อยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกัน ให้ G แทนแอลลีลควบคุมตัวสีเทา, g ควบคุมตัวสีดำ และ L ควบคุมลักษณะปีกยาว l ควบคุมปีกสั้น หากนำแมลงหวี่ลำตัวสีเทาปีกยาวที่เป็นเฮเทอโรไซกัสที่มีแอลลีลเด่นอยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกัน ผสมกับแมลงหวี่ลำตัวสีดำปีกสั้น จะได้ฟีโนไทป์ของลูกรุ่น F_1 เป็นอย่างไรในอัตราส่วนเท่าใด หากการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ไม่เกิดครอสซิงโอเวอร์

ตอบ เนื่องจากยีนทั้งสองเป็นลิงค์เกจ ดังนั้น ยีนทั้งสองจึงไม่รวมกลุ่มกันอย่างอิสระเมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ การผสมจึงเกิดดังนี้



▲ (Cr. mpietrangelo.com)

ดังนั้น จีโนไทป์ที่เกิดขึ้น คือ GgLl : ggll = 1 : 1 นั่นคือ ฟีโนไทป์ลำตัวสีเทาปีกยาว : ลำตัวสีดำปีกสั้น = 1 : 1

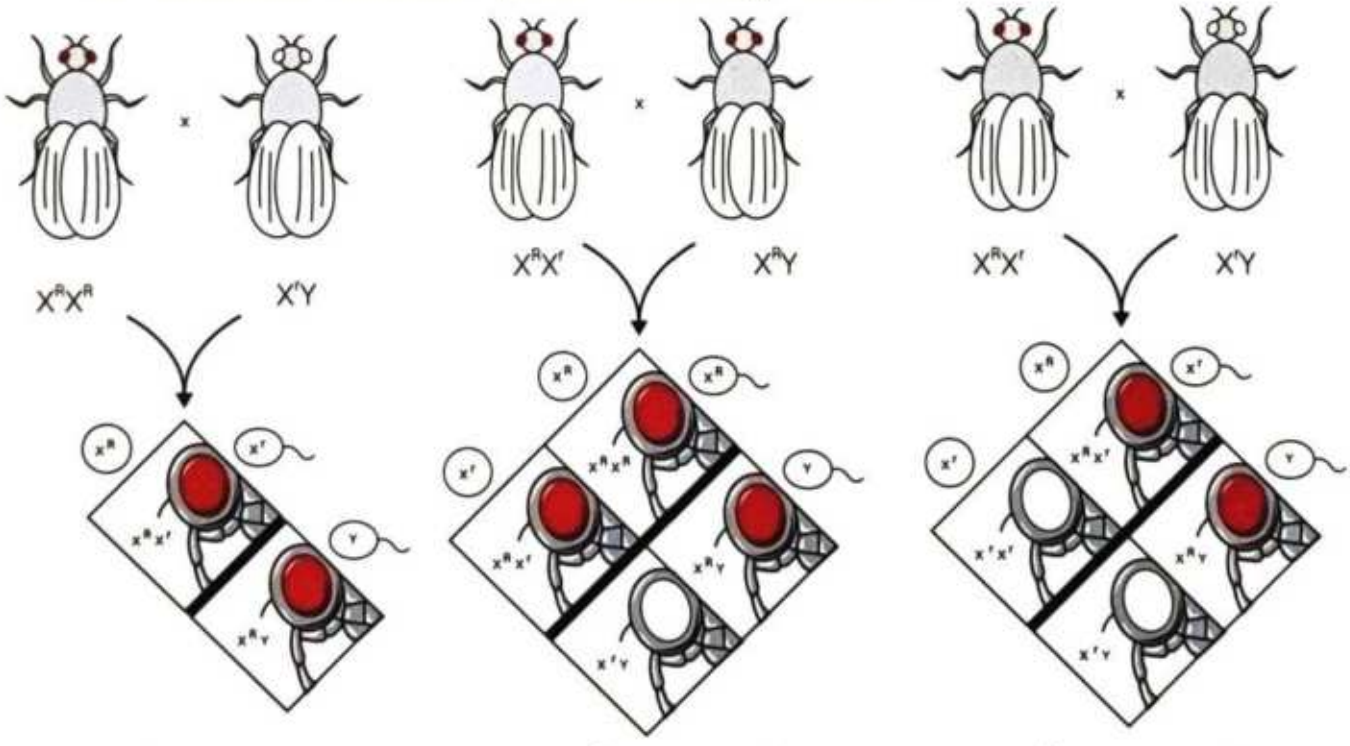
15.5 การถ่ายทอดพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับเพศ

ระบบกำหนดเพศในสิ่งมีชีวิต (sex-determination systems)

ระบบกำหนดเพศ	เพศผู้	เพศเมีย	ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต
โครโมโซมเพศ XY	XY (ต่างกัน)	XX	มนุษย์ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แมลงหวี่ ต้นแปะก๊วย
โครโมโซมเพศ ZW	ZZ	ZW (ต่างกัน)	นก ปลาบางชนิด กุ้งแม่น้ำ ผีเสื้อ มังกรโคโมโด
โครโมโซมเพศ X0	X (แท่งเดียว)	XX (สองแท่ง)	ตั๊กแตน จิ้งหรีด แมลงสาบ
โครโมโซมเพศ Z0	ZZ (สองแท่ง)	Z (แท่งเดียว)	ผีเสื้อกลางคืนบางชนิด
แฮโพลดิพลอยดี (haplodiploidy)	แฮพลอยด์ n (โครโมโซม 1 ชุด)	ดิพลอยด์ 2n (โครโมโซม 2 ชุด)	ผึ้ง มด ต่อ แตน เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย เพลี้ยไฟ
อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมกำหนด	อุณหภูมิต่ำกว่า	อุณหภูมิสูงกว่า	เต่า
	อุณหภูมิสูงกว่า	อุณหภูมิต่ำกว่า	กิ้งก่าและจระเข้

- โครโมโซมมนุษย์มี 23 คู่ 46 แท่ง
  - โครโมโซมคู่ที่รูปร่างเหมือนกันและไม่ได้กำหนดเพศ เรียกว่า ออโทโซม (autosome) 22 คู่
  - โครโมโซมคู่ที่กำหนดเพศ เรียกว่า โครโมโซมเพศ (sex chromosome) 1 คู่ คือ เพศชาย XY และเพศหญิง XX

ยีนบนโครโมโซมเพศ (sex-linked genes) หรือยีนที่ขึ้นอยู่กับโครโมโซมเพศ



การทดลองที่ 1 ที เอช มอร์แกน นักพันธุศาสตร์ชาวอเมริกัน ผสมแมลงหวี่เพศเมียตาสีแดงกับเพศผู้ตาสีขาว ได้แมลงหวี่ตาสีแดงทั้งหมดทั้งเพศผู้เพศเมีย

การทดลองที่ 2 ผสมแมลงหวี่เพศเมียตาสีแดงพันทาง กับเพศผู้ตาสีแดง ได้แมลงหวี่เพศเมียตาสีแดงทั้งหมด และเพศผู้ตาสีแดง : สีขาว = 1 : 1

การทดลองที่ 3 ผสมแมลงหวี่เพศเมียตาสีแดงพันทาง กับเพศผู้ตาสีขาว ได้แมลงหวี่เพศเมียตาสีแดง : สีขาว = 1 : 1 และเพศผู้ตาสีแดง : สีขาว = 1 : 1

▲ (Cr. bhc.edu)

- จากผลการทดลองสรุปว่า ยีนควบคุมสีตาของแมลงหวี่อยู่บนโครโมโซมเพศ คือ โครโมโซม X เรียกว่า **ยีนที่เกี่ยวเนื่องกับโครโมโซม X (X-linked gene)** ในขณะที่โครโมโซม Y ไม่มียีนนี้ *เวลาเขียนยีนต้องเขียนบนโครโมโซมเพศ
- แอลลีลที่ควบคุมตาสีแดง (X^R) เป็นแอลลีลเด่นข่มแอลลีลที่ควบคุมตาสีขาว (X^r) เป็นแอลลีลด้อย
- เพศเมียจะมีแอลลีลควบคุมสีตา 2 แอลลีลเสมอ ได้โครโมโซม X จากทั้งพ่อและแม่เป็นได้ทั้งโฮโมไซกัสดอมิแนนท์ (X^RX^R) มีตาสีแดงพันธุ์แท้ โฮโมไซกัสรีเซสสีพ (X^rX^r) มีตาสีขาวพันธุ์แท้ และเฮเทอโรไซกัส (X^RX^r) มีตาสีแดงพันทาง หรือ**เป็นพาหะ (carrier)**
- เพศผู้จะมีแอลลีลควบคุมสีตาเพียง 1 แอลลีล (เพราะโครโมโซม Y ไม่มียีนนี้) ได้โครโมโซม X จากแม่ และโครโมโซม Y จากพ่อ เป็นได้แบบ X^RY มีตาสีแดง และ X^rY มีตาสีขาว
- โรคที่เกิดจากยีนด้อยที่เกี่ยวเนื่องกับ X มีโอกาส**แสดงออกในเพศชายได้มากกว่า**เพศหญิง เพราะถ้าหากเพศชายได้รับแอลลีลด้อยอันเดียวก็แสดงออกโรคทันที ในขณะที่เพศหญิงต้องได้รับแอลลีลด้อย 2 อันจึงแสดงออก
- โรคที่เกิดจากยีนด้อยที่เกี่ยวข้องกับโครโมโซม X ได้แก่ โรคตาบอดสี โรคฮีโมฟีเลีย (โรคเลือดแข็งตัวช้า) ภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD โรคที่เกิดจากยีนเด่นพบได้น้อยกว่า ได้แก่ โรคมนุษย์หมาป่า

****ถ้าผิดปกติที่โครโมโซมเพศต้องนำเพศมาคิดด้วยเสมอ** เช่น XX และ XY

ตัวอย่าง หญิงคนหนึ่งตาปกติมีพ่อเป็นโรคตาบอดสี แต่งงานกับชายตาปกติ จงหาร้อยละของลูกที่เป็นโรคตาบอดสี

ตอบ ให้ X^C เป็นแอลลีลปกติ, X^c เป็นแอลลีลตาบอดสี และหญิงตาปกติที่มีพ่อเป็นตาบอดสี ดังนั้น หญิงคนนี้เป็นพาหะ

X^CX^c

รุ่น P	X^CX^c (หญิงพาหะ)	×	X^CY (ชายตาปกติ)	
รุ่น F_1	X^CX^C	X^CX^c	X^CY	X^cY
	หญิงปกติ	หญิงปกติพาหะ	ชายปกติ	ชายตาบอดสี

ดังนั้น ลูกที่เป็นตาบอดสีร้อยละ 25

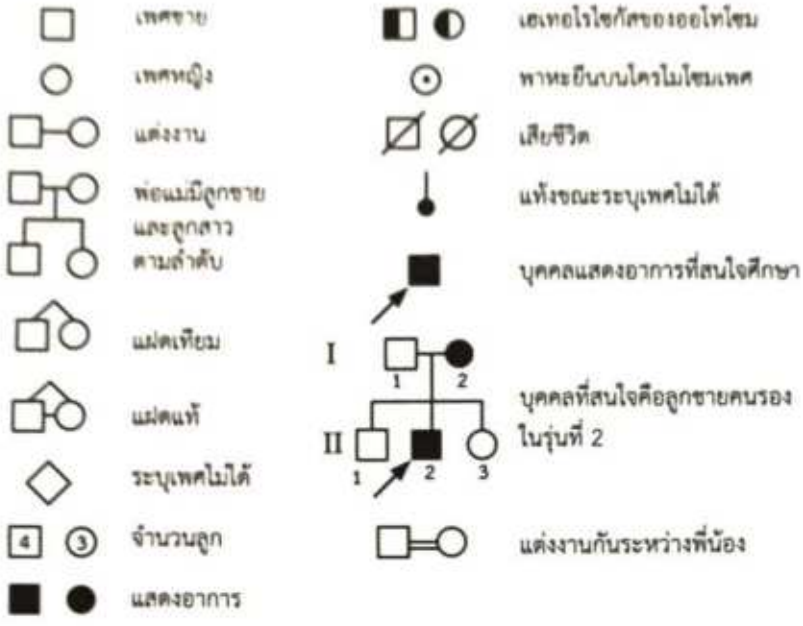
ตัวอย่าง หญิงคนหนึ่งปกติแต่งงานกับชายที่เป็นฮีโมฟีเลีย มีลูกสาวคนหนึ่งเป็นฮีโมฟีเลีย จงหาร้อยละของลูกชายคนต่อไปที่จะเป็นฮีโมฟีเลีย

ตอบ ให้ X^H เป็นแอลลีลปกติ, X^h เป็นแอลลีลฮีโมฟีเลีย และเนื่องจากลูกสาวเป็นฮีโมฟีเลีย ดังนั้น แม่ต้องเป็นพาหะ X^HX^h

รุ่น P	X^HX^h (หญิงพาหะ)	×	X^hY (ชายฮีโมฟีเลีย)	
รุ่น F_1	X^HX^h	X^hX^h	X^HY	X^hY
	หญิงปกติพาหะ	หญิงเป็นโรค	ชายปกติ	ชายเป็นโรค

ดังนั้น โอกาสที่ลูกชายเป็นโรคคือร้อยละ 50 (คิดเฉพาะลูกชาย)

การศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของคน นิยมใช้**แผนภาพเพดดีกรี (pedigree) หรือพงศาวลี หรือแผนภาพพันธุประวัติ** เป็นการนำข้อมูลลักษณะพันธุกรรมของคนในครอบครัวมาเชื่อมโยงกันเป็นแผนภาพ โดยใช้สัญลักษณ์ต่างๆ แทนบุคคล เพศ และลักษณะทางพันธุกรรม ดังภาพ



Quiz Yourself

4) นายกนกและนางสาวขวัญใจต่างก็ปกติ แต่พ่อของทั้งคู่เป็นโรคโลหิตไหลไม่หยุด ถ้ากนกและขวัญใจแต่งงานกัน บุตรจะมีจีโนไทป์กี่แบบ

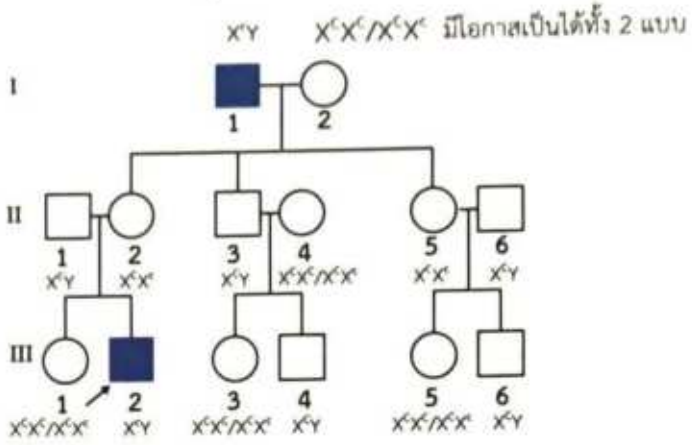
1. 2 แบบ
2. 3 แบบ
3. 4 แบบ
4. 6 แบบ

ถ้าพ่อมียีนผิดปกติ – จะส่งให้ลูกสาว ถ้าแม่มียีนผิดปกติ – จะส่งให้ลูกชาย (ยีนบนโครโมโซมเพศ)

หลักเกณฑ์การวิเคราะห์พงศาวลี

1) ลักษณะที่ศึกษาพบใน**เพศหญิงและชายใกล้เคียงกัน** มักเป็นยีนบนออโทโซม
2) ลักษณะที่ศึกษาเกิดในรุ่นพ่อแม่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง หรือทั้ง 2 ฝ่าย และ**เกิดขึ้นในลูกทุกรุ่น** อาจเป็นยีนเด่นบนออโทโซม เช่น ภาวะนิ้วเกิน ภาวะไขมันในเลือดสูง (hypercholesterolemia) โรคฮันติงตัน (Huntington's disease)
3) ลักษณะที่ศึกษาไม่พบในพ่อแม่ หรือพบบ้าง และ**เกิดในรุ่นลูกบางรุ่น** อาจเป็นยีนด้อยบนออโทโซม เช่น โรคธาลัสซีเมีย (thalassemia) โรคซิสติกไฟโบรซิส (cystic fibrosis) ลักษณะผิวเผือก
4) ลักษณะพบใน**เพศชายมากกว่าเพศหญิง** และลูกชายที่เกิดจากแม่เป็นโรคหรือพาหะจะต้องเป็นโรคเสมอ เป็นยีนด้อยบนโครโมโซม X เช่น โรคตาบอดสี ฮีโมฟิเลีย ภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD โรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบ
5) ลักษณะที่ศึกษาพบใน**เพศหญิงมากกว่าเพศชาย** และลูกชายที่เกิดจากพ่อที่เป็นโรคกับแม่ปกติจะไม่เป็นโรคเสมอ เป็นยีนเด่นบนโครโมโซม X เช่น โรคกระดูกอ่อน ภาวะเร็ทท์ซินโดรม (Rett's syndrome)
6) ลักษณะ**พบเฉพาะในเพศชาย** เป็นยีนบนโครโมโซม Y เช่น ภาวะมีบุตรยากในเพศชาย ภาวะขนขึ้นที่ใบหู

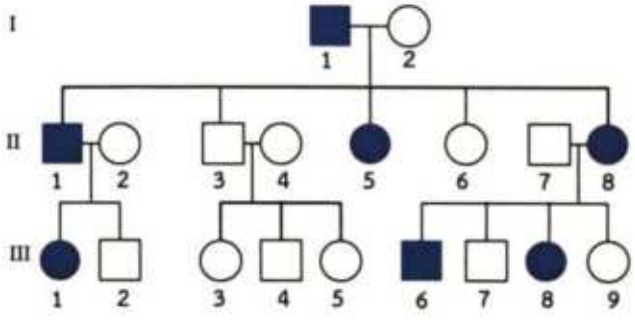
ตัวอย่าง จากพงศาวลีของครอบครัวที่มีบุคคลเป็นตาบอดสี



1. ชายคนที่ 2 ในรุ่นที่ III ได้รับการถ่ายทอดยีนตาบอดสีมาได้อย่างไร และมีจีโนไทป์อย่างไร
   ตอบ ให้ X^C เป็นแอลลีลปกติ, X^c เป็นแอลลีลตาบอดสี ชายคนดังกล่าวมีจีโนไทป์ คือ X^cY โดยแอลลีล X^c จากชายรุ่นที่ I ถ่ายทอดมายังลูกสาวหมายเลข 2 ในรุ่นที่ 2 (เป็นพาหะ X^CX^c) และถ่ายทอดต่อมายังลูกชายหมายเลข 2 ในรุ่นที่ III
2. ทำไมชายคนที่ 6 ในรุ่นที่ III จึงไม่เป็นตาบอดสี
   ตอบ เนื่องจากแม่หมายเลข 5 ในรุ่นที่ II เป็นพาหะ (X^CX^c) จึงมีโอกาสถ่ายทอด X^C ไปยังลูกได้
3. หญิงหมายเลข 5 ในรุ่นที่ III มีจีโนไทป์แบบใดได้บ้าง
   ตอบ เนื่องจากแม่ในรุ่นที่ II (หมายเลข 5) เป็นพาหะ (X^CX^c) จึงมีโอกาสเกิดลูกได้ดังนี้

รุ่น P	X^CX^c (หญิงพาหะ)	×	X^cY (ชายตาปกติ)	
รุ่น F_1	X^CX^C	X^CX^c	X^CY	X^cY
	หญิงปกติ	หญิงปกติพาหะ	ชายปกติ	ชายตาบอดสี

ดังนั้น หญิงหมายเลข 5 ในรุ่นที่ III มีจีโนไทป์ได้ทั้งแบบ X^CX^C และ X^CX^c



ตัวอย่าง จากพงศาวลีของครอบครัวหนึ่งดังรูป ลักษณะที่แสดงออกดังกล่าวเป็นลักษณะที่เกิดจากยีนลักษณะใด (เด่น/ด้อย) บนออโทโซมหรือโครโมโซมเพศ (X หรือ Y)

ตอบ ลักษณะดังกล่าวเกิดจากยีนเด่นบนออโทโซม เพราะพบในทุกรุ่น และพ่อหรือแม่มักแสดงอาการของโรค พบในเพศชายและหญิงด้วยโอกาสเท่าๆ กัน

ตัวอย่าง พ่อและแม่มีหมู่เลือด B และไม่เป็นโรคฮีโมฟิเลีย แต่ลูกที่เกิดมามีหมู่เลือด O และเป็นโรค โอกาสที่ลูกคนต่อไปจะมีหมู่เลือด B และเป็นโรคเป็นเท่าใด

ตอบ แยกคิดให้ X^H เป็นแอลลีลปกติ, X^h เป็นแอลลีลฮีโมฟิเลีย

เนื่องจากลูกเป็นฮีโมฟิเลีย ดังนั้น แม่ต้องเป็นพาหะ X^HX^h

รุ่น P	X^HX^h (หญิงพาหะ)	×	X^HY (ชายปกติ)	
รุ่น F_1	X^HX^H	X^HX^h	X^HY	X^hY
	หญิงปกติ	หญิงปกติพาหะ	ชายปกติ	ชายเป็นโรค

คิดหมู่เลือดเนื่องจากลูกมีหมู่ O แสดงว่าพ่อแม่มีหมู่ B แบบ I^Bi เพราะลูกได้รับแอลลีล i จากทั้งพ่อและแม่จึงมีหมู่ O

รุ่น P	I^Bi (หมู่เลือด B)	×	I^Bi (หมู่เลือด B)	
รุ่น F_1	I^BI^B (B)	I^Bi (B)	I^Bi (B)	ii (O)
ฟีโนไทป์	$\frac{3}{4}$ (หมู่เลือด B)	$\frac{1}{4}$ (หมู่เลือด O)		

ดังนั้น โอกาสที่จะมีลูกคนต่อไปจะเป็นโรคและมีหมู่เลือด B คือ $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$

ยีนที่ขึ้นกับอิทธิพลของเพศ (sex-influenced genes)

- ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนเด่นบนออโทโซม
- แต่ยีนแสดงออกในแต่ละเพศไม่เท่ากันเพราะฮอร์โมนเพศไม่เท่ากัน

***เฮเทอโรไซกัสระหว่างเพศหญิงและชายจะแสดงออกต่างกัน เช่น หัวล้าน ควบคุมด้วยยีนเด่น เฮเทอโรไซกัส เพศชายจะหัวล้าน แต่เพศหญิงหัวไม่ล้าน เพราะอิทธิพลจากฮอร์โมนเพศชาย (เทสโทสเทอโรน) ในผู้ชายสูงกว่าผู้หญิง อีกตัวอย่าง คือ ลักษณะการมีเขาของแกะ ควบคุมด้วยยีนเด่น โดยเฮเทอโรไซกัสเพศผู้จะมีเขา ส่วนเพศเมียไม่มีเขา

ให้แอลลีล B ควบคุมหัวล้าน และ b ควบคุมหัวไม่ล้าน

จีโนไทป์	ฟีโนไทป์เพศหญิง	ฟีโนไทป์เพศชาย
BB		
**Bb		
bb		

▲ (Cr. merckmanuals.com)

ยีนจำกัดเพศ (sex-limited genes)

- ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนออโทโซม
- แต่ยีนแสดงออกต่างกันขึ้นกับแต่ละเพศ โดยจะจำกัดอยู่ที่เพศใดเพศหนึ่ง

***ออโมโซมกับสระหว่างเพศผู้และเมียจะแสดงออกต่างกัน เช่น ลักษณะขนหางของไก่ ควบคุมด้วยยีนด้อย โดย **ออโมโซมกับสรีเซลสืพเพศผู้จะมีขนหางยาว** แต่ตัวเมียขนหางสั้น

***ลักษณะขนหางยาวถูกจำกัดในเพศผู้เท่านั้น

- ตัวอย่างยีนๆ ได้แก่ การสร้างน้ำนมของเพศหญิง การมีหนวดเครา เสียงห้าวของเพศชาย ภาวะอัณฑะทองแดง ปริมาณการผลิตน้ำนมของแม่วัว

ให้แอลลีล H ควบคุมขนหางสั้น และ h ควบคุมขนหางยาว

จีโนไทป์	ฟีโนไทป์เพศเมีย	ฟีโนไทป์เพศผู้
HH		
Hh		
***hh		

▲ (Cr. ftcdn.net)

ยีนที่ขึ้นกับอิทธิพลของเพศจะแสดงออกได้ทั้งสองเพศ** ส่วนยีนจำกัดเพศจะพบได้แค่**เพศเดียว**

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 3.** เมื่อผสมลูกรุ่น F_1 ซึ่งเป็นเฮเทอโรไซกัส ยีนที่อยู่เป็นคู่กันจะแยกออกจากกันเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์ และให้ลูกรุ่น F_2 ที่มีลักษณะเด่นต่อลักษณะด้อยเป็น 3 : 1

2) **ตอบ 3.** ลักษณะสีดอกของต้นลิ้นมังกรถูกควบคุมด้วยยีนที่มีลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ ดังนั้น ดอกสีแดงจึงมีจีโนไทป์แบบ RR ดอกสีขาว rr และดอกสีชมพู Rr การนำดอกที่มีจีโนไทป์แบบฮอมอไซกัสมาผสมกันเอง (เช่น ดอกสีแดง RR และดอกสีขาว rr) จึงให้ลูกที่ยังมีสีเหมือนต้นเดิม แต่หากนำดอกสีชมพู Rr มาผสมกันเอง จะได้สัดส่วนของลูกที่มีดอกแดง : ชมพู : ขาว = 1 : 2 : 1

3) **ตอบ 2.**

กำหนดให้แอลลีล A แทนดอกสีม่วง และแอลลีล B แทนต้นสูง

ผสมดอกสีม่วงต้นสูงที่เป็นเฮเทอโรไซกัส AaBb × AaBb

หาสัดส่วนที่เป็นดอกสีม่วงต้นสูง โดยแยกคิดทีละคู่ยีน

รุ่นพ่อแม่ ยีนสีดอก Aa × Aa

รุ่น F_1 ดอกสีม่วง : ดอกสีขาว = 3 : 1 จะได้ดอกสีม่วง เป็นสัดส่วน $\frac{3}{4}$

รุ่นพ่อแม่ ยีนลักษณะต้น Bb × Bb

รุ่น F_1 ต้นสูง : ต้นเตี้ย = 3 : 1 จะได้ต้นสูง เป็นสัดส่วน $\frac{3}{4}$

จากกฎการคูณ สัดส่วนที่เป็นดอกสีม่วงต้นสูง = $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$

จากต้นกล้าทั้งหมด 100 ต้น คิดเป็นดอกสีม่วงต้นสูง $\frac{9}{16} \times 100 = 56.25 \sim 56$ ต้น

4) ตอบ 3.

ให้แอลลีล X^H คือ แอลลีลปกติ X^h คือ แอลลีลโรคโลหิตไหลไม่หยุด

นายกนกเป็นปกติ แม้ว่าพ่อจะเป็นโรคโลหิตไหลไม่หยุด จะมีจีโนไทป์ X^hY (เพราะพ่อให้โครโมโซม Y แก่นายกนก)

นางสาวขวัญใจเป็นปกติ แต่พ่อเป็นโรคโลหิตไหลไม่หยุด จึงเป็นพาหะมีจีโนไทป์ X^HX^h (เพราะพ่อให้โครโมโซม X แก่นางสาวขวัญใจ)

ดังนั้น หากทั้งสองแต่งงานกัน $X^HX^h \times X^HY$ จะได้รุ่นลูก F_1 ที่มีจีโนไทป์ได้ 4 แบบ คือ X^HX^H, X^HX^h, X^HY, X^hY

บทที่ 16

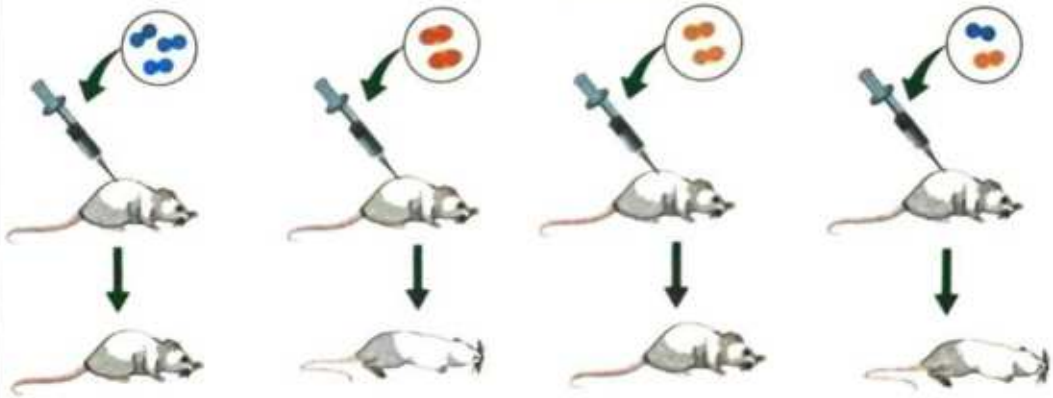
ยีนและโครโมโซม

16.1 ทฤษฎีโครโมโซมในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม (chromosome theory of inheritance)

ทฤษฎีโครโมโซมในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เสนอโดยวอลเตอร์ ซัตตัน (Walter Sutton) และธีโอดอร์ โบเวอรี่ (Theodor Boveri) ว่า ยีนน่าจะอยู่บนโครโมโซม เพราะ

- ทั้งยีนและโครโมโซมมี 2 ชุด
- ทั้งยีนและโครโมโซมสามารถถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูกหลาน
- กฎแห่งการแยกของยีน เกิดเมื่อโครโมโซมคู่เหมือนแยกออกจากกันไปสู่เซลล์สืบพันธุ์ในการแบ่งเซลล์ชั้นไมโอซิส I
- กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ เกิดเมื่อโครโมโซมแต่ละแท่งไปรวมกลุ่มกันในเซลล์สืบพันธุ์อย่างสุ่ม
- ในการเกิดลูก เซลล์ไข่และอสุจิที่มียีนและโครโมโซมในเซลล์อย่างละชุดกลับมารวมกันอย่างสุ่ม
- ทั้งยีนและโครโมโซมของเซลล์ลูกต่างมาจากพ่อครึ่งหนึ่งและแม่ครึ่งหนึ่ง

16.2 การค้นพบสารพันธุกรรม

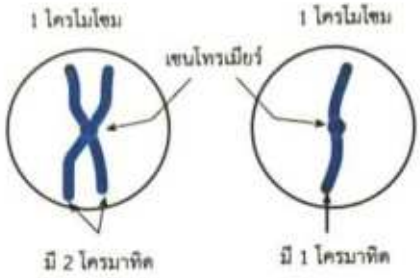
ค.ศ. 1869	ฟริดริค มิเชอร์ (Friedrich Miesher) ค้นพบกรดนิวคลีอิกในนิวเคลียสของเซลล์เม็ดเลือดขาว
ค.ศ. 1914	โรเบิร์ต ฟอยล์เกน (Robert Feulgen) พัฒนาสีย้อมฟุคซินและคิดค้นวิธีการย้อมกรดนิวคลีอิกภายในเซลล์ พบว่าสีย้อมติดที่นิวเคลียสและกระจุกหนาแน่นที่โครโมโซม จึงสรุปว่าดีเอ็นเออยู่ที่โครโมโซมนำมาสู่การทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าแท้จริงแล้วสารพันธุกรรม คือ โปรตีน หรือดีเอ็นเอกันแน่
ค.ศ. 1928	**เฟรเดอริก กริฟฟิท** ทำการทดลองโดยฉีดแบคทีเรียโรคปอดบวม *Streptococcus pneumonia* ซึ่งมี 2 สายพันธุ์เข้าไปในหนู คือ สายพันธุ์ R (rough) ไม่ทำให้เกิดโรคปอดบวม และสายพันธุ์ S (smooth) ทำให้เกิดโรคปอดบวม การทดลองแบ่งออกเป็นดังนี้ 1. ฉีดสายพันธุ์ R เข้า 2. ฉีดสายพันธุ์ S เข้าหนู 3. ฉีดสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน 4. ฉีดสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน + สายพันธุ์ R  หนูมีชีวิตรอด หนูตาย หนูมีชีวิตรอด หนูตาย สรุปได้ว่า มีสารบางอย่างจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อนแล้วส่งเข้าไปในสายพันธุ์ R แล้วเปลี่ยนให้แบคทีเรียสายพันธุ์ R เป็นสายพันธุ์ S กริฟฟิทเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ทรานส์ฟอร์เมชัน (transformation)
ค.ศ. 1944	เอเวอรี่, แมคลอยด์ และแมคคาร์ที ทดลองโดยสกัดสารจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อนออกมา ใส่หลอดทดลองทั้ง 4 ทิ้งไว้ระยะหนึ่งและนำไปเลี้ยงในอาหาร ปรากฏว่า

หลอดที่	สาร	แบคทีเรีย	เอนไซม์	ผลการทดลอง
1	สารสกัดจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน	สายพันธุ์ R	RNase (เอนไซม์ย่อย RNA)	พบแบคทีเรียสายพันธุ์ S
2	สารสกัดจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน	สายพันธุ์ R	DNase ** (เอนไซม์ย่อย DNA)	ไม่พบแบคทีเรียสายพันธุ์ S
3	สารสกัดจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน	สายพันธุ์ R	Protease (เอนไซม์ย่อยโปรตีน)	พบแบคทีเรียสายพันธุ์ S
4	สารสกัดจากแบคทีเรียสายพันธุ์ S ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน	สายพันธุ์ R	-	พบแบคทีเรียสายพันธุ์ S

สรุปได้ว่า ดีเอ็นเอเป็นสารพันธุกรรม เพราะเมื่อใส่ DNase ในหลอดทดลองที่ 2 เพื่อไปย่อยสายดีเอ็นเอ จึงไม่เหลือดีเอ็นเอที่จะเปลี่ยนให้แบคทีเรียสายพันธุ์ R เป็นสายพันธุ์ S และยังทำให้เราเข้าใจว่าดีเอ็นเอมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพันธุกรรม

16.3 โครโมโซม

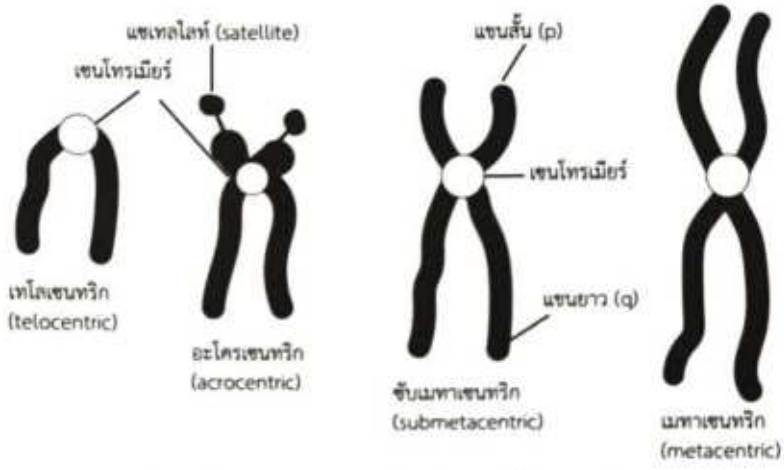
รูปร่างและประเภทของโครโมโซม



***1 โครโมโซม มี 1 เซนโทรเมียร์

โครโมโซม (chromosome) คือ ดีเอ็นเอที่พันกันกับโปรตีนฮิสโตน ขดสั้นและหนาขึ้นจนเห็นเป็นแท่งได้ชัด

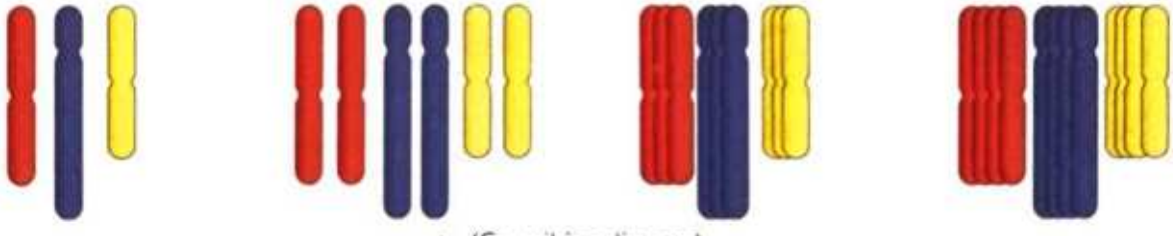
โครมาทิด (chromatid) คือ ดีเอ็นเอแต่ละชุดที่เกิดจากการจำลองดีเอ็นเอ ในระหว่างที่เกิดการแบ่งเซลล์จะปรากฏเป็นโครโมโซมที่มีลักษณะเป็นเส้นคู่ เรียกว่า 2 โครมาทิด ทั้งคู่จะติดกันที่บริเวณเซนโทรเมียร์ (centromere)



เซนโทรเมียร์ (centromere) คือ บริเวณคอคอดของโครโมโซมที่โครมาทิดสองแท่งมาติดกัน มีโปรตีนไคเนโทคอร์ (kinetochore) ที่จับกับเส้นใยสปินเดิล ในระยะแอนาเฟสเส้นใยสปินเดิลจะดึงโครมาทิดทั้ง 2 ออกจากกัน

สีย้อมโครโมโซม ได้แก่ สีแอซีโทคาร์มีน (acetocarmine) ติดสีแดง และสีฮีมาทอกซิลิน (hematoxylin) ติดสีม่วง

จำนวนชุดของโครโมโซม



▲ (Cr. wikipedia.org)

แฮพลอยด์ (haploid) n
มีโครโมโซม 1 ชุด พบในเซลล์สืบพันธุ์ เซลล์ของผึ้ง มด ต่อ แตนเพศผู้ เส้นใยเห็ดรา สาหร่ายชั้นต่ำ แกมีโทไฟต์มอส

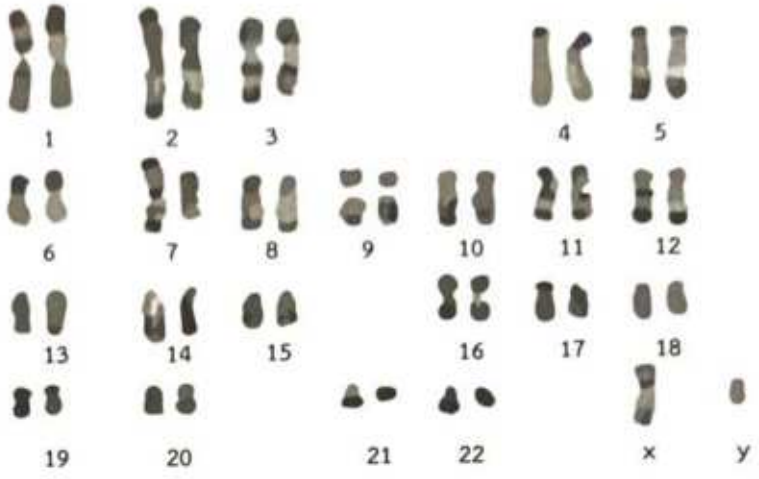
ดิพลอยด์ (diploid) 2n
มีโครโมโซม 2 ชุด พบในเซลล์ร่างกาย (somatic cell) สิ่งมีชีวิตทั่วไป ผึ้ง มด ต่อ แตนเพศเมีย

ทริพลอยด์ (triploid) 3n
มีโครโมโซม 3 ชุด

เทตราพลอยด์ (tetraploid) 4n
มีโครโมโซม 4 ชุด

พอลิพลอยด์ (polyploid) มีโครโมโซมมากกว่า 2 ชุด เช่น ทริพลอยด์และเทตราพลอยด์ พบในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด พืชกลุ่มกะหล่ำ มันฝรั่ง พบในสัตว์บางชนิด เช่น ไส้เดือนดิน หนอนตัวแบน ปลาทอง

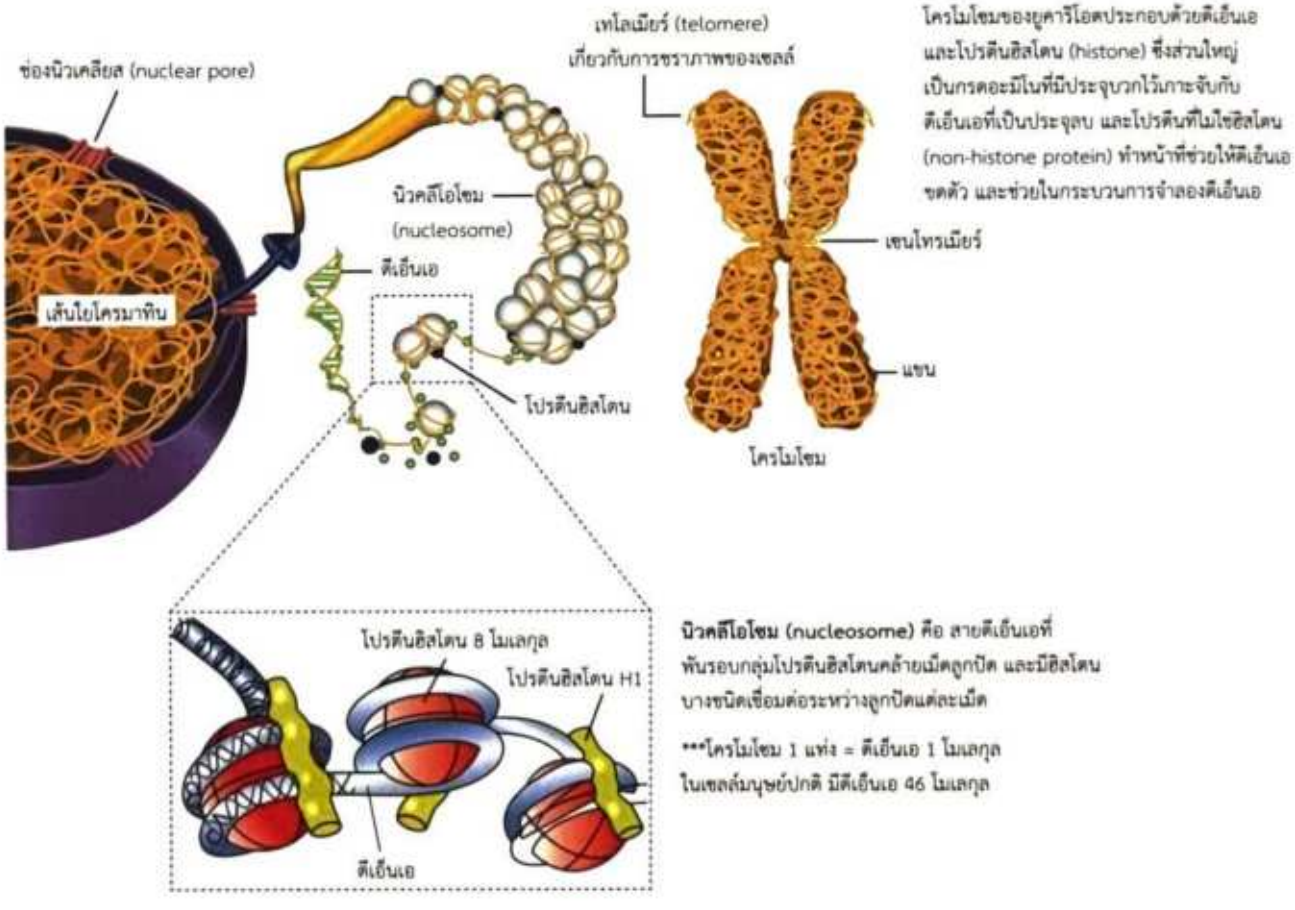
คาริโอไทป์ (karyotype) คือ จำนวน ขนาด รูปร่างลักษณะของโครโมโซมคู่เหมือนของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด คาริโอไทป์นำมาจัดวางเป็นแผนภาพ เรียกว่า คาริโอแกรม (karyogram) นิยมจัดกันเป็นกลุ่มตามชนิดโครโมโซม โดยจัดเรียงคู่โครโมโซมที่มีขนาดยาวที่สุดไปถึงสั้นที่สุด ไล่จากโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก ซับเมทาเซนทริก อะโครเซนทริก และเทโลเซนทริกตามลำดับ



▲ (Cr. nature.com)

จากรูปคือคาริโอไทป์ของมนุษย์มีโครโมโซม 23 คู่ 46 แท่ง เป็นออโทโซม 22 คู่ และโครโมโซมเพศ XY 1 คู่ เพศชาย **การจัดเรียงคาริโอไทป์ใช้ดูความผิดปกติที่เกิดจากการเพิ่มลดจำนวนโครโมโซมได้**

ส่วนประกอบของโครโมโซม



▲ (Cr. fsu.edu)

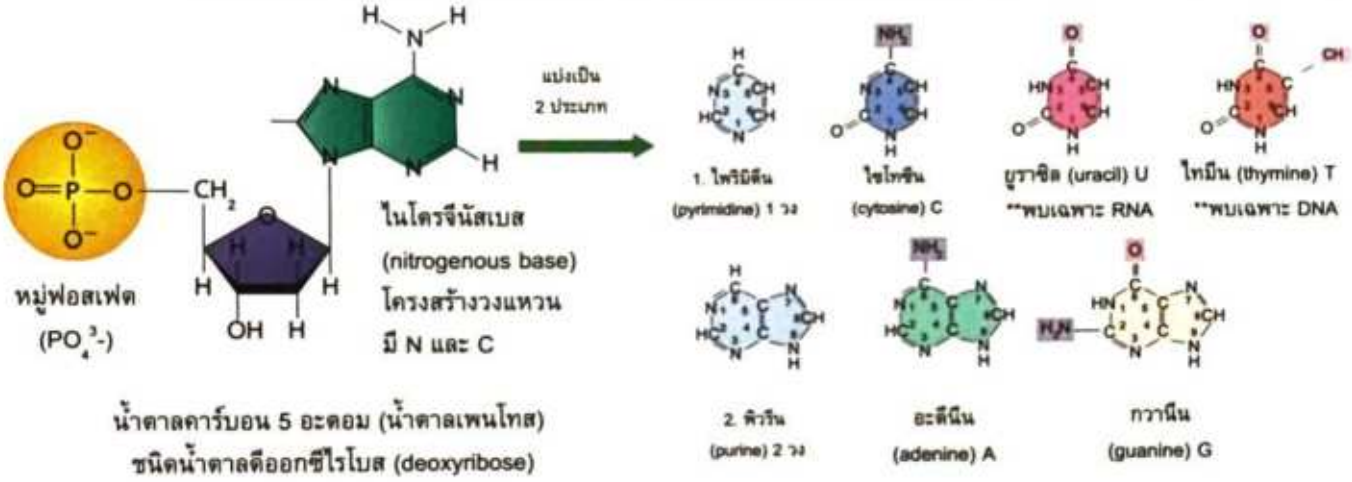
จีโนม (genome) หมายถึง ข้อมูลทางพันธุกรรมทั้งหมดของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง หากสิ่งมีชีวิตเป็นดิพลอยด์ จีโนมจะหมายถึงข้อมูลทางพันธุกรรมของโครโมโซมเพียงชุดเดียว หรือแฮพลอยด์

จีโนม → แบ่งออกเป็น **โครโมโซม** → มีตำแหน่งของ **ยีน** → ควบคุมลักษณะต่างๆ ในสิ่งมีชีวิต / ประกอบด้วย DNA

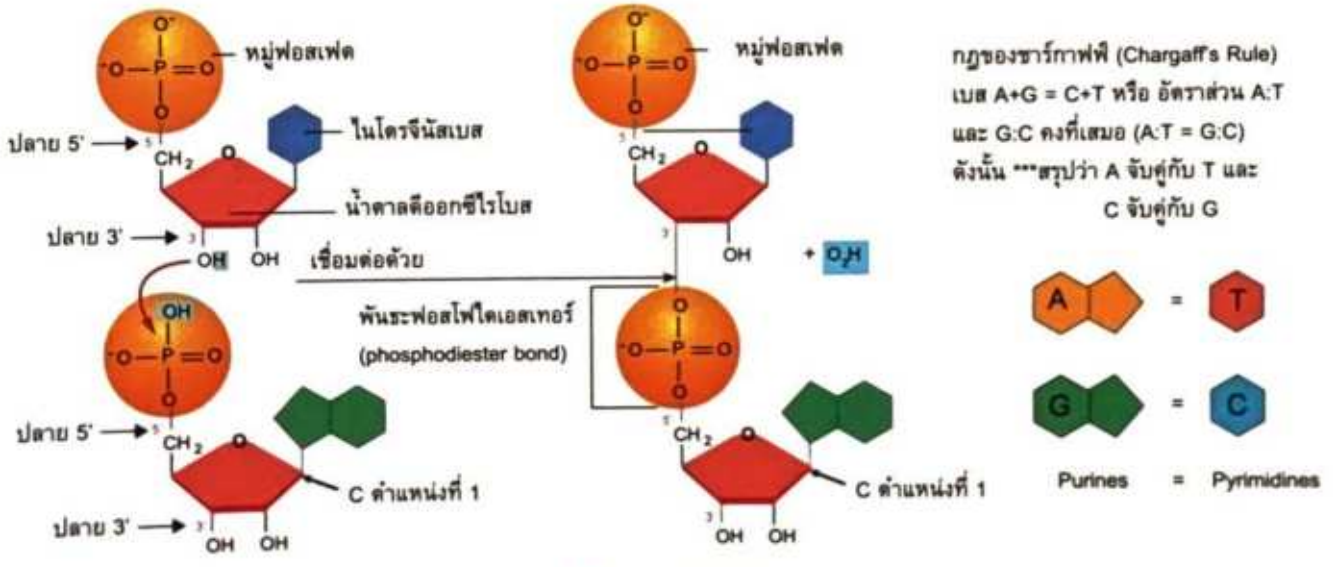
สายดีเอ็นเอทั้งหมด (จีโนม) มีทั้งช่วงที่เป็นยีนที่สังเคราะห์โปรตีน (coding gene) และที่ไม่สังเคราะห์โปรตีน (non-coding gene) แต่ทำหน้าที่อื่น เช่น ควบคุมการแสดงออกของยีน ดังนั้น ยีน คือ ส่วนของดีเอ็นเอ แต่ดีเอ็นเอทั้งหมดไม่ใช่ยีน

16.4 องค์ประกอบทางเคมีของดีเอ็นเอ

ดีเอ็นเอ (DNA; Deoxyribonucleic Acid) คือ สารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต และบางส่วนของดีเอ็นเอทำหน้าที่เป็นยีน ดีเอ็นเอ เป็นกรดนิวคลีอิกชนิดหนึ่ง เป็นพอลิเมอร์ที่มีหน่วยย่อย (monomer) เรียกว่า **นิวคลีโอไทด์ (nucleotide)**



▲ (Cr. biochemden.com)



▲ (Cr. uic.edu)

ปลาย 3' hydroxyl group ของน้ำตาลดีออกซีไรโบส เชื่อมต่อกับหมู่ฟอสเฟตที่ปลาย 5' ของน้ำตาล ด้วย**พันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์**

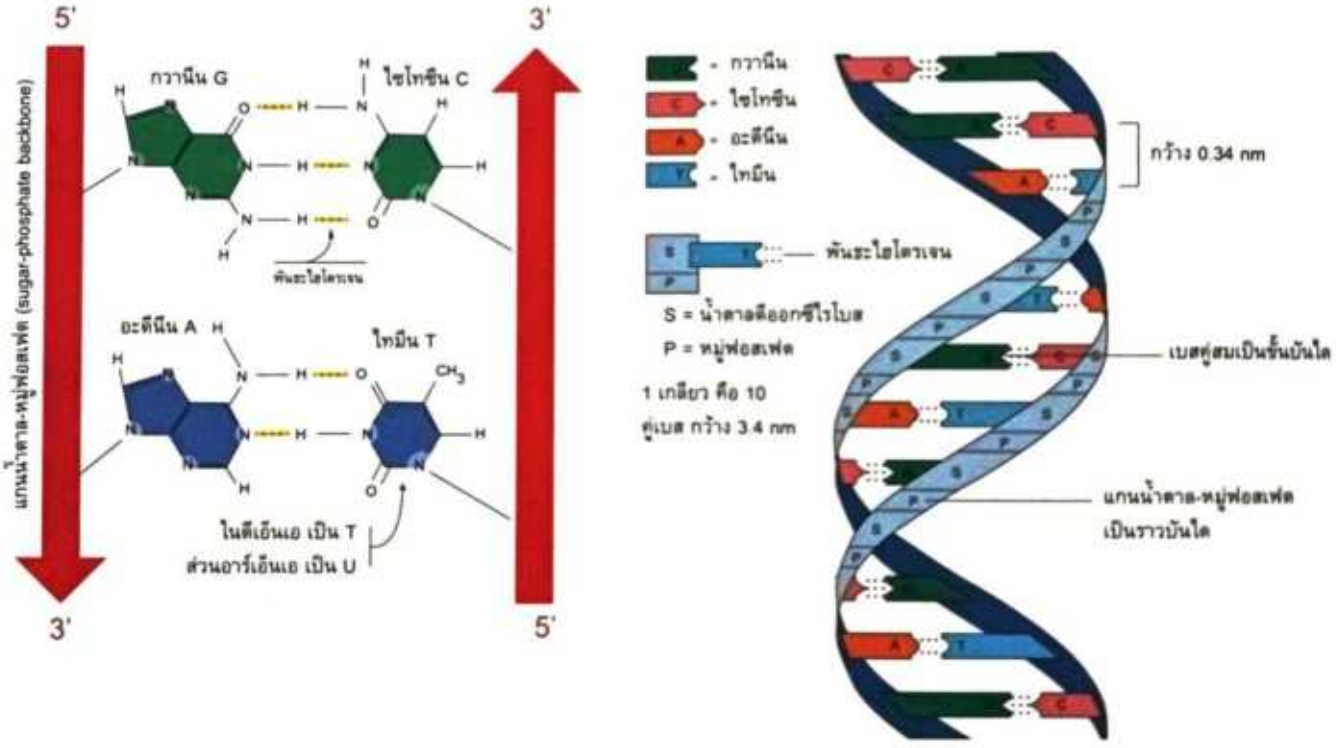
C ตำแหน่งที่ 1 ของน้ำตาล เชื่อมกับไนโตรจีนัสเบส

C ตำแหน่งที่ 5 ของน้ำตาล เชื่อมกับหมู่ฟอสเฟต

C ตำแหน่งที่ 3 ของน้ำตาล เชื่อมกับหมู่ฟอสเฟตของน้ำตาลอีกตัว

16.5 โครงสร้างของดีเอ็นเอ

ค.ศ. 1950-1951	เมาริส วิลคินส์ (Maurice Wilkins) และโรซาลินด์ แฟรงคลิน (Rosalind Franklin) ศึกษาโครงสร้างของดีเอ็นเอด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ได้ภาพออกมาแปลผลว่าดีเอ็นเอเป็นเกลียวและมีมากกว่า 1 สาย
ค.ศ. 1953	เจมส์ วัตสัน (James D. Watson) และฟรานซิส คริก (Francis Crick) เสนอแบบจำลองโครงสร้างของดีเอ็นเอ แบบเกลียวคู่ พบว่าเบส A จับคู่กับ T ด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ และ G จับคู่กับ C ด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ



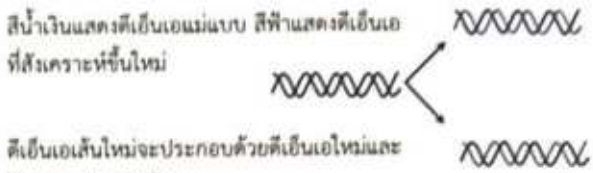
▲ (Cr. socratic.org)

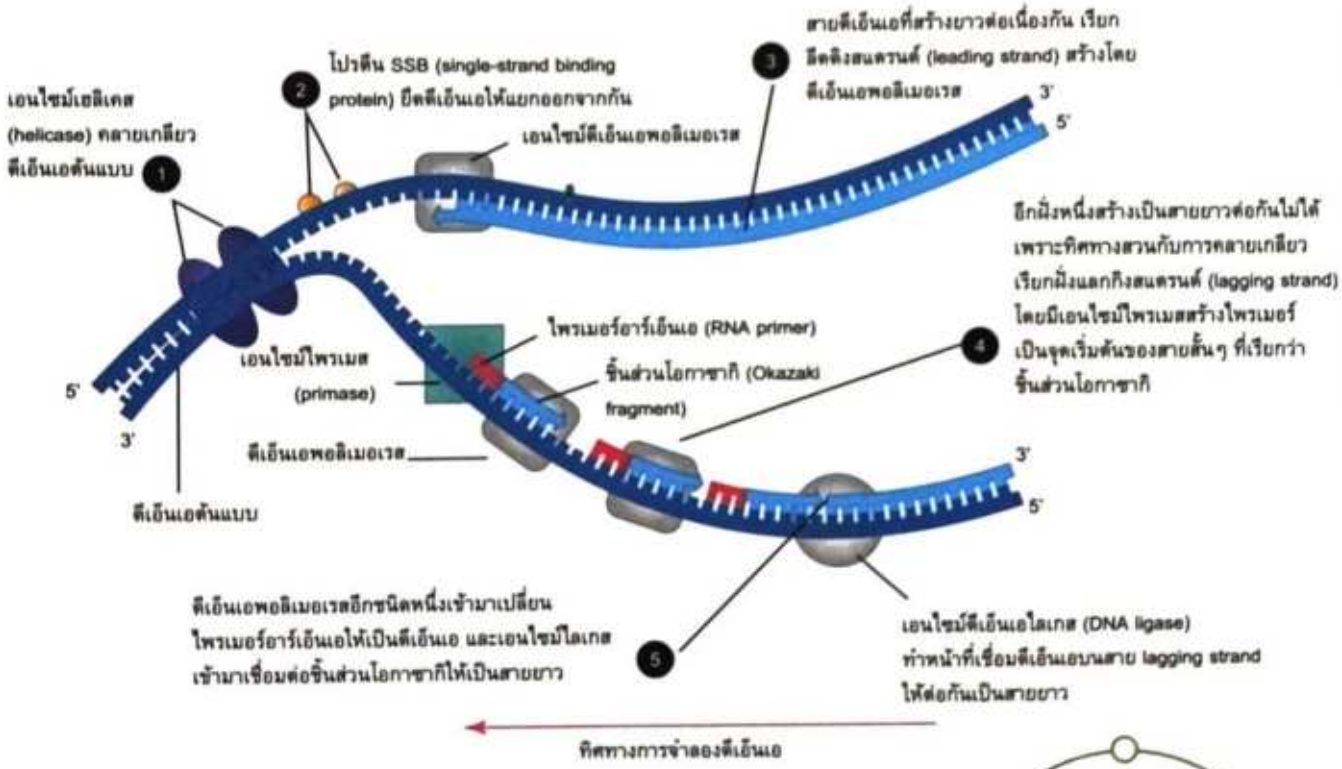
สายดีเอ็นเอ 2 สายเรียงตัวสลับทิศทาง **สายหนึ่งเรียงตัวในทิศทาง 5' → 3' อีกสายวิ่ง 3' → 5'** บิดเป็นเกลียวคล้ายบันไดเวียน

เบสของทั้งสองสายเป็น**เบสคู่สม**กัน (complementary base pair) นั่นคือ A=T และ G≡C

- สมบัติของสารพันธุกรรม (ดีเอ็นเอ)
  - เพิ่มจำนวนตัวเองได้โดยมีลักษณะเหมือนเดิมเพื่อถ่ายทอดลักษณะจากรุ่นพ่อแม่สู่รุ่นลูก
  - ควบคุมให้เซลล์สังเคราะห์สารต่างๆ เพื่อแสดงลักษณะฟีโนไทป์ออกมา
  - เปลี่ยนแปลงได้บ้าง ทำให้เกิดลักษณะทางพันธุกรรมใหม่ๆ

16.6 การจำลองดีเอ็นเอ (DNA replication)

ค.ศ. 1953	เจมส์ วัตสัน (James D. Watson) และฟรานซิส คริก (Francis Crick) ทำนายว่าการจำลองดีเอ็นเอจะเกิดเหมือนการรูดซิป โดยสลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างเบสคู่สม ดีเอ็นเอเดิมแต่ละสายกลายเป็นแม่พิมพ์เพื่อให้นิวคลีโอไทด์มาจับเป็นสายใหม่ ดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นใหม่จะเหมือนสายเดิมทุกประการ เรียกการจำลองแบบกึ่งอนุรักษ์ (semiconservative)  ▲ (Cr. pulpbits.com)
ค.ศ. 1953	อาร์เธอร์ คอนเบิร์ก (Arther Kornberg) สังเคราะห์ดีเอ็นเอในหลอดทดลองได้เป็นคนแรก โดยใช้เอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส (DNA polymerase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการจำลองดีเอ็นเอ



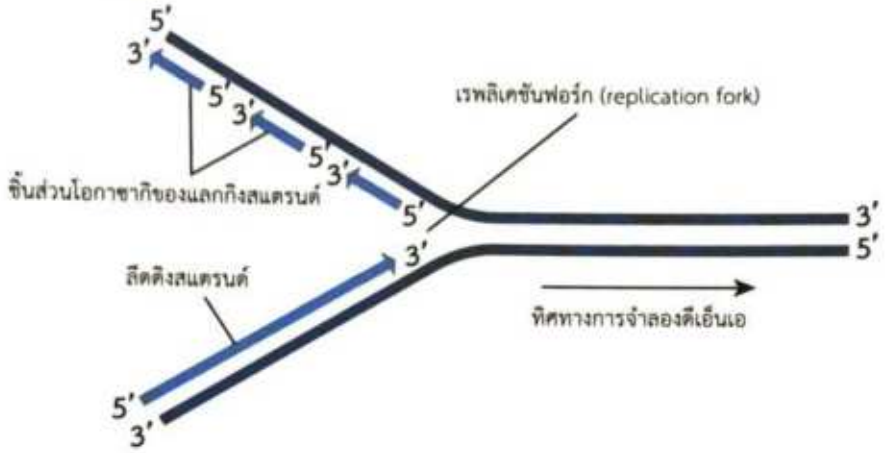
กลไกในการจำลองดีเอ็นเอ

▲ (Cr. edublogs.org)

การจำลองดีเอ็นเอ 1

▲ (Cr. Biotech Review)

กลไกในการจำลองดีเอ็นเอ

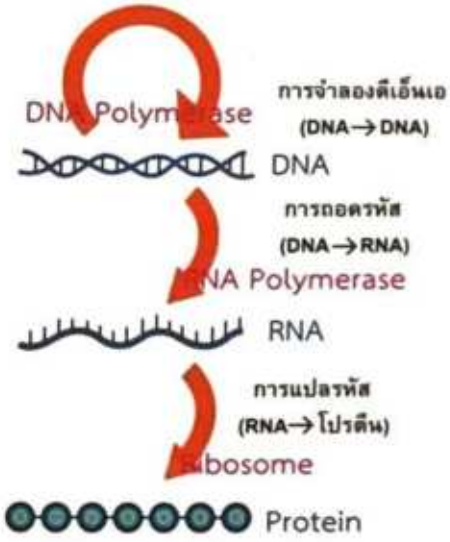


การเสียสภาพของดีเอ็นเอ (denaturation) เกิดขึ้นเมื่อดีเอ็นเอได้รับความร้อนหรือสารเคมี ทำให้พันธะไฮโดรเจนสลายและดีเอ็นเอสองสายแยกออกจากกัน แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงหรือกลับสู่สภาพปกติดีเอ็นเออาจกลับมาจับคู่ได้เหมือนเดิม คือการคืนสภาพ (renaturation)

ต้องจำ!!! ดีเอ็นเอสายใหม่จะสร้างจากทิศทาง 5′ ⟶ 3′ เสมอ

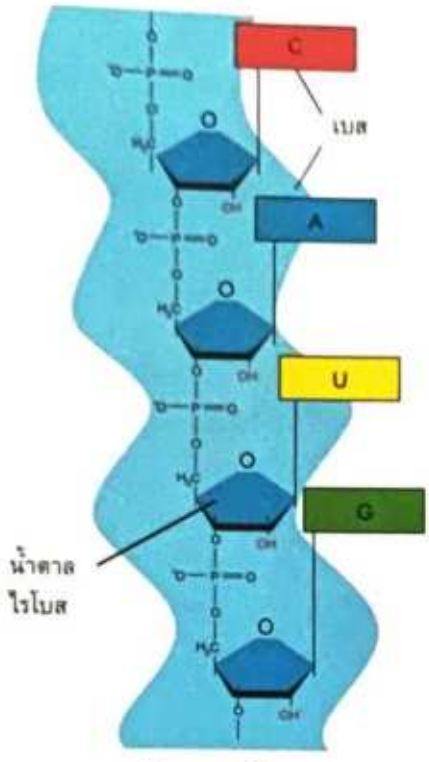
16.7 การถอดรหัสดีเอ็นเอ (transcription)

การแสดงออกของลักษณะทางพันธุกรรมเกิดจากการทำงานของโปรตีนและ DNA แต่ลักษณะทางพันธุกรรมถูกเก็บข้อมูลอยู่ในรูปของลำดับเบสดีเอ็นเอ ดังนั้น ดีเอ็นเอ (ยีน) จึงต้องควบคุมการสร้าง RNA และ โปรตีน และทำได้อย่างไร ?



▲ (Cr. wikipedia.org)

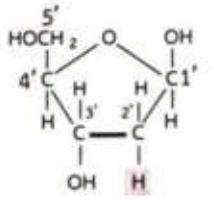
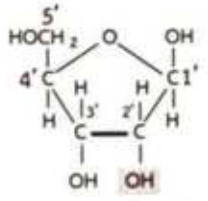
▲ (Cr. yourgenume)



โมเลกุลอาร์เอ็นเอ

▲ (Cr. learner.org)

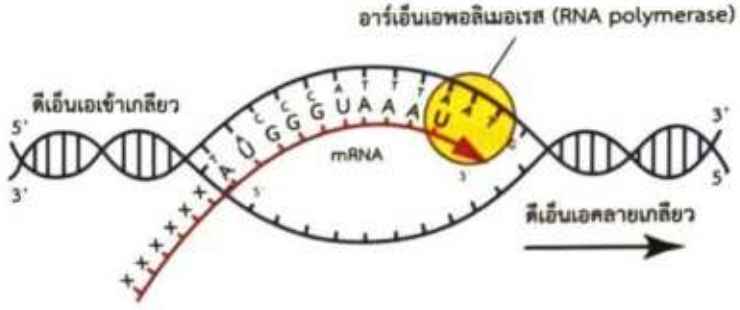
ในบทที่ว่าเรื่องส่วนประกอบของเซลล์ เรารู้แล้วว่ายูคาริโอตมีดีเอ็นเออยู่ในนิวเคลียส แต่การสร้างโปรตีนเกิดในไซโทพลาซึม การจะส่งดีเอ็นเอออกมานอกนิวเคลียสเพื่อสร้างโปรตีนคงจะเป็นเรื่องลำบาก ดังนั้น **ฟรองซัว จาค็อป (Francols Jacob) และจาค โมนอด (Jacques Monod)** เสนอว่าสารที่เป็นตัวแทนของดีเอ็นเอในการสร้างโปรตีน คือ **อาร์เอ็นเอ (RNA; Ribonucleic Acid)** และเรียกอาร์เอ็นเอตัวกลางนี้ว่า **mRNA (messenger RNA)** กระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกันทั้ง**การจำลองดีเอ็นเอ (DNA replication) การถอดรหัส** หรือการสังเคราะห์อาร์เอ็นเอจากแม่พิมพ์ดีเอ็นเอ **(transcription)** และ**การแปลรหัส** หรือการสังเคราะห์โปรตีนจากอาร์เอ็นเอ **(translation)** เรียกว่า **หลักแกนกลางแห่งชีววิทยาโมเลกุล (central dogma of molecular biology)**

สิ่งเปรียบเทียบ	ดีเอ็นเอ (DNA)	อาร์เอ็นเอ (RNA)
ชื่อเต็ม	DeoxyriboNucleic Acid	RiboNucleic Acid
หน้าที่	เก็บข้อมูลทางพันธุกรรม และถ่ายทอดไปยังเซลล์ใหม่	เป็นตัวกลางที่ถ่ายทอดข้อมูลจากดีเอ็นเอไปให้ไรโบโซมสังเคราะห์โปรตีน
โครงสร้าง	สองสายพันเป็นเกลียวคู่สายยาว	มักเป็นเกลียวสายเดี่ยวที่สั้นกว่า
ชนิดน้ำตาลเพนโทส	น้ำตาลดีออกซีไรโบส  C ตำแหน่งที่ 2 ไม่มี O	น้ำตาลไรโบส  C ตำแหน่งที่ 2 มี O
การจับคู่ของเบส	A-T, C-G	A-U, C-G
ตำแหน่งภายในเซลล์	อยู่ภายในนิวเคลียส ขดกันแน่น	ขนส่งระหว่างนิวเคลียสและไซโทพลาซึม
กระบวนการ	การจำลองดีเอ็นเอ	การถอดรหัสและการแปลรหัส

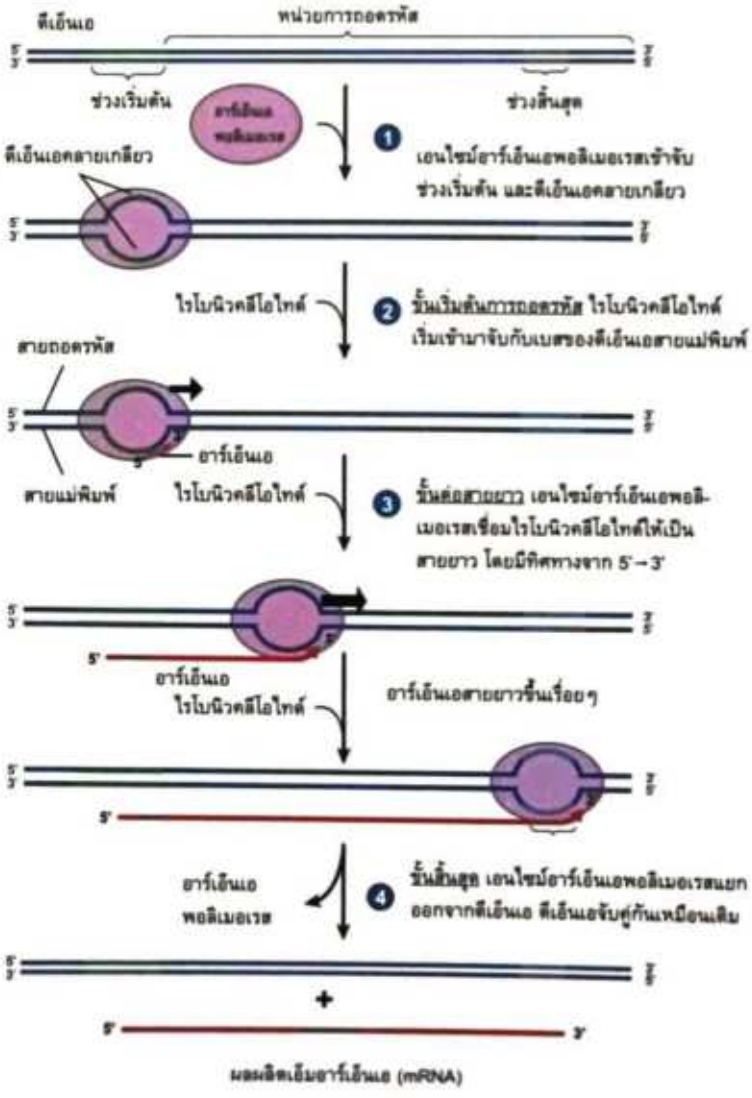
อาร์เอ็นเอในเซลล์ยูคาริโอตมีอยู่ 3 ชนิดหลักๆ คือ

1. mRNA (messenger RNA) เป็นอาร์เอ็นเอที่ทำหน้าที่นำรหัสการสร้างโปรตีนที่ถอดจากดีเอ็นเอในนิวเคลียสออกมายังไซโทพลาซึมเพื่อให้ไรโบโซมสังเคราะห์โปรตีน
2. tRNA (transfer RNA) เป็นโมเลกุลอาร์เอ็นเอขนาดเล็ก ทำหน้าที่นำกรดอะมิโนที่สอดคล้องกับรหัสการสร้างโปรตีนบน mRNA มาต่อกันเป็นสายยาวในขั้นการแปลรหัสโปรตีน
3. rRNA (ribosomal RNA) เป็นอาร์เอ็นเอที่เป็นองค์ประกอบของไรโบโซม

ขั้นตอนการถอดรหัสดีเอ็นเอ



▲ (Cr. tokresource.org)



▲ (Cr. mun.ca)

Quiz Yourself

1) จาก mRNA ที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ 5' UAC UCC AGU AUA CCA GAG 3' mRNA ข้างต้นถูกสังเคราะห์มาจาก DNA ต้นแบบที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์อย่างไร

1. 5' TAC TCC AGT ATA CCA GAG 3'
2. 5' ATG AGG TCA TAT GGT CTC 3'
3. 5' GAG ACC ATA TGA CCT CAT 3'
4. 5' CTC TGG TAT ACT GGA GTA 3'

2) จงเรียงลำดับตามขนาดให้ถูกต้องจากใหญ่ที่สุดไปเล็กที่สุด

1. โครโมโซม-ยีน-นิวคลีโอไทด์-ไนโตรจีนัสเบส
2. ยีน-โครโมโซม-ไนโตรจีนัสเบส-โคดอน
3. โคดอน-โครโมโซม-ไนโตรจีนัสเบส-นิวเคลียส
4. นิวคลีโอไทด์-โครโมโซม-ยีน-โคดอน
5. นิวเคลียส-ยีน-โครโมโซม-นิวคลีโอไทด์

16.8 รหัสพันธุกรรม (genetic code)

	U	C	A	G	
U	UUU Phe UUC UUA Leu UUG	UCU UCC UCA Ser UCG	UAU Tyr UAC UAA หยุด UAG หยุด	UGU Cys UGC UGA หยุด UGG Trp	U C A G
C	CUU CUC CUA Leu CUG	CCU CCC CCA Pro CCG	CAU His CAC CAA Gln CAG	CGU CGC CGA Arg CGG	U C A G
A	AUU AUC Ile AUA AUG Met	ACU ACC ACA Thr ACG	AAU Asn AAC AAA Lys AAG	AGU Ser AGC AGA Arg AGG	U C A G
G	GUU GUC GUA Val GUG	GCU GCC GCA Ala GCG	GAU Asp GAC GAA Glu GAG	GGU GGC GGA Gly GGG	U C A G

ลำดับเบสบน mRNA ถูกแปลผลกลายเป็นกรดอะมิโนได้อย่างไร?

พบว่า ลำดับเบสของนิวคลีโอไทด์ที่เรียงกัน 3 ตัว จะแปลผลเป็นกรดอะมิโน 1 ชนิด เรียกรหัส 3 ตัวนี้ว่า โคดอน (codon)

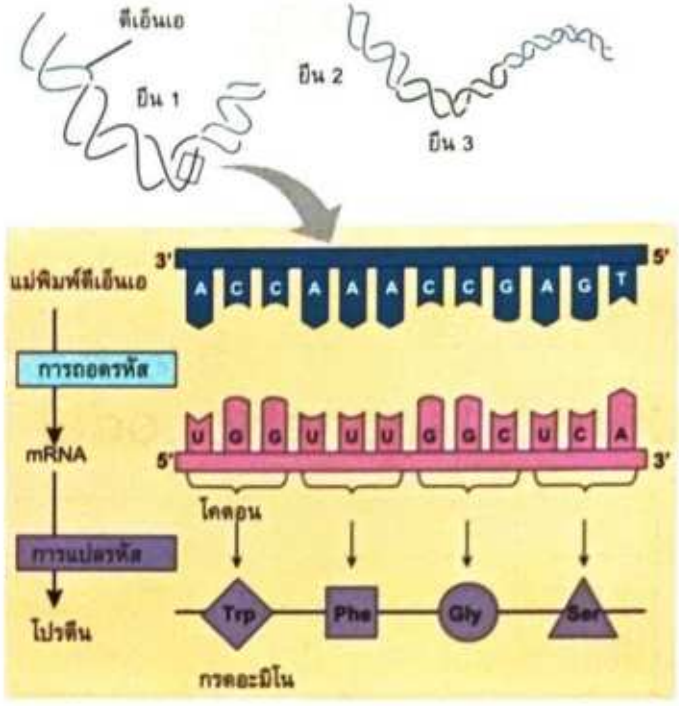
รูปแบบของโคดอนมีได้ทั้งหมด 4^3 (A, U, C, G เรียงกัน 3 ตัว) = 64 รหัส แต่กรดอะมิโนมีเพียง 20 ชนิด ดังนั้นกรดอะมิโนบางชนิดแปลผลจากโคดอนมากกว่าหนึ่งรหัส เรียก**ความซ้ำซ้อนของรหัสพันธุกรรม** (codon redundancy หรือ codon degeneracy)

รหัสพันธุกรรมมีความเป็นสากล มีรูปแบบเดียวกันในสิ่งมีชีวิตเกือบทุกชนิด แบคทีเรียอาจต่างกันในบางรหัส

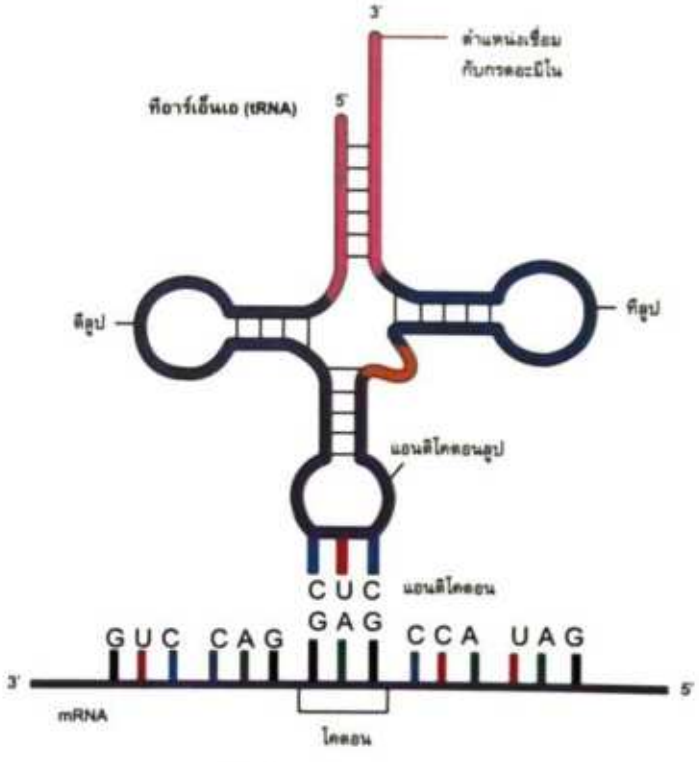
***สำคัญ **รหัสตั้งต้น**เพื่อเริ่มสร้างโปรตีน คือ AUG เสมอแปลได้กรดอะมิโนเมไทโอนีน (Met) ส่วน**รหัสหยุด**การสังเคราะห์โปรตีน (stop codon) มี 3 รหัส คือ **UAA, UAG และ UGA**

16.9 การแปลรหัส (translation)

การแปลรหัสเกิดขึ้นเมื่อเอ็มอาร์เอ็นเอที่ถูกถอดรหัสเสร็จเรียบร้อยแล้วออกมานอกนิวเคลียส และไรโบโซมในไซโทพลาซึมเข้ามาจับทำงาน พร้อมกับทีอาร์เอ็นเอนำกรดอะมิโนมาเรียงต่อกันกลายเป็นสายพอลิเพปไทด์



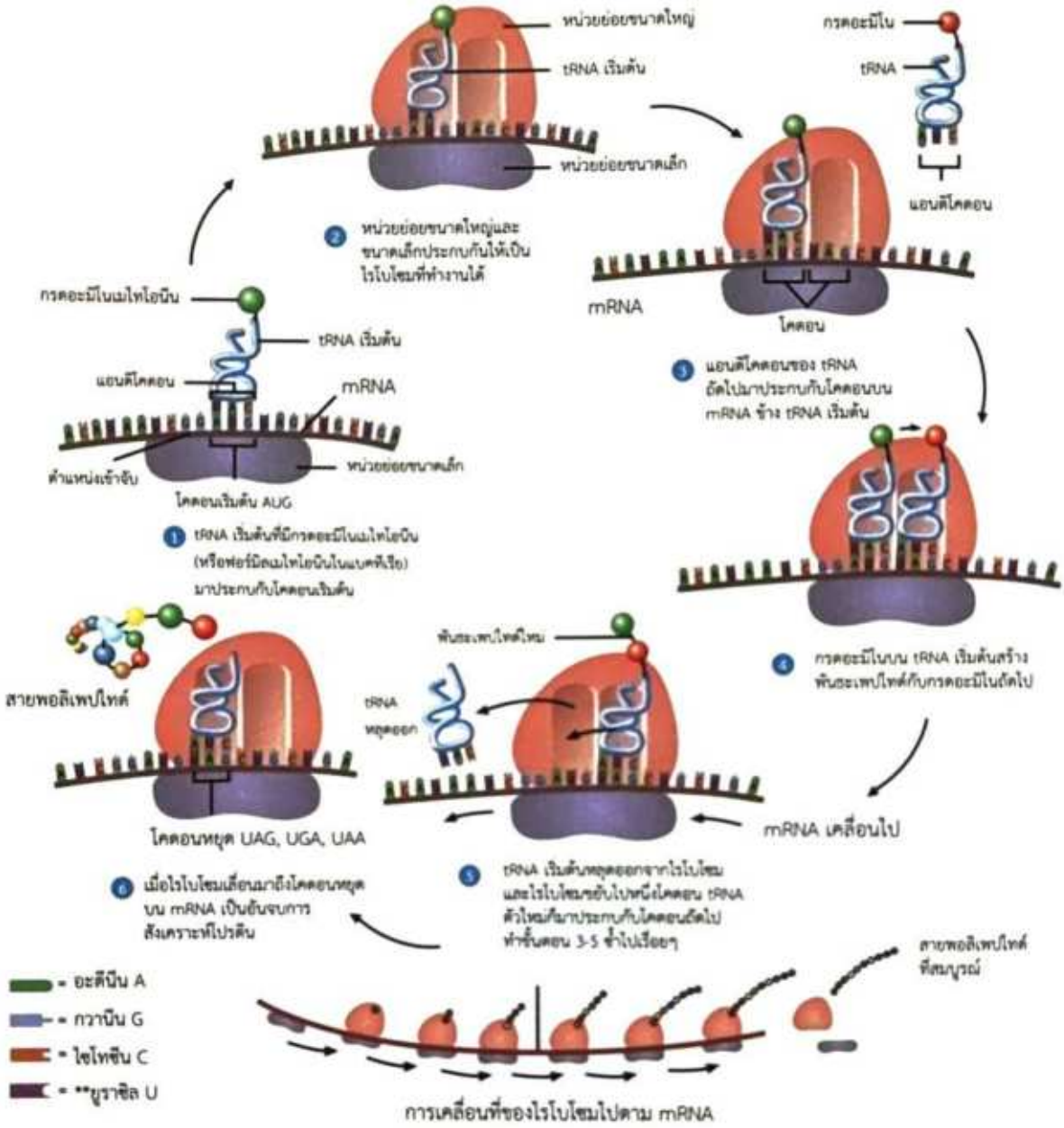
▲ (Cr. tokresource.org)



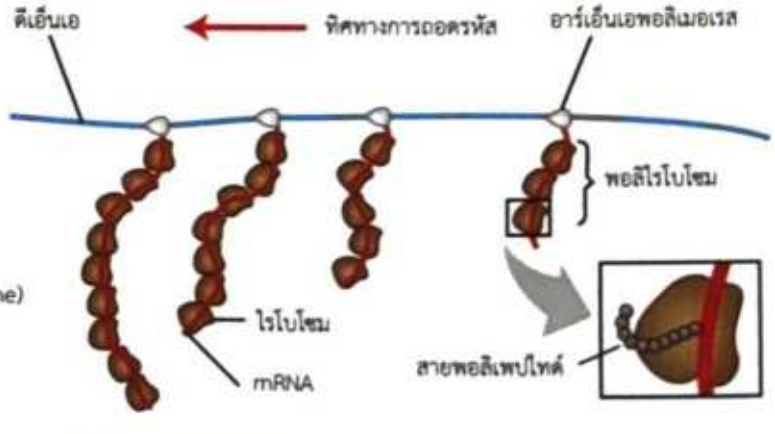
▲ (Cr. genome.gov)

ลำดับเบสบน tRNA ที่เข้าคู่กับลำดับเบสของโคดอนบน mRNA เรียกว่า **แอนติโคดอน (anticodon)**

ขั้นตอนการแปลรหัสในยูคาริโอต

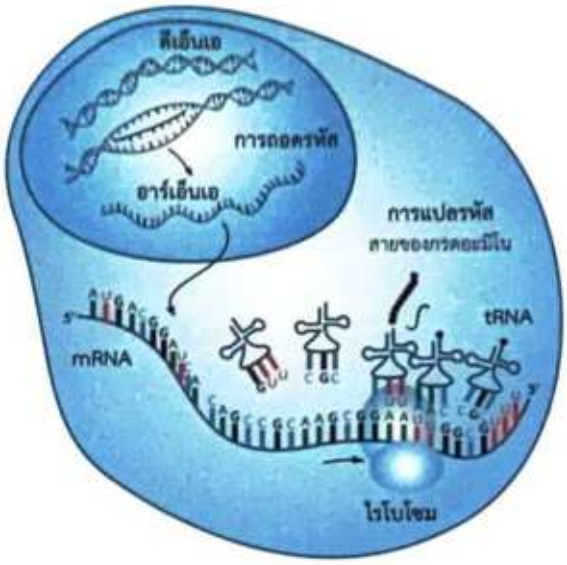


ในโพรคาริโอตที่ไม่มีนิวเคลียส การถอดรหัสและการแปลรหัสเกิดขึ้นได้ต่อเนื่องกันโดยที่ mRNA จากการถอดรหัสดีเอ็นเอถูกนำไปแปลรหัสได้ทันทีแม้ว่าจะยังถอดรหัสไม่เสร็จ และมักจะมีไรโบโซมหลายๆ อันแปลรหัสไปพร้อมกัน เรียกพอลิโซม (polysome) หรือพอลิไรโบโซม (polyribosome)



▲ (Cr. sdmesa.edu)

สรุปภาพรวมการถอดรหัสและการแปลรหัสในเซลล์ยูคาริโอต



▲ (Cr. tokresource.org)

Quiz Yourself

3) ถ้าโมเลกุลของ RNA มีนิวคลีโอไทด์ 5 ชนิด และรหัสพันธุกรรมประกอบด้วย 4 นิวคลีโอไทด์ เมื่อเรียงสลับกันแล้วจะได้รหัสพันธุกรรมทั้งหมดกี่รหัส

1. 64 2. 120 3. 625 4. 1024

4) ข้อใดไม่ถูกต้อง

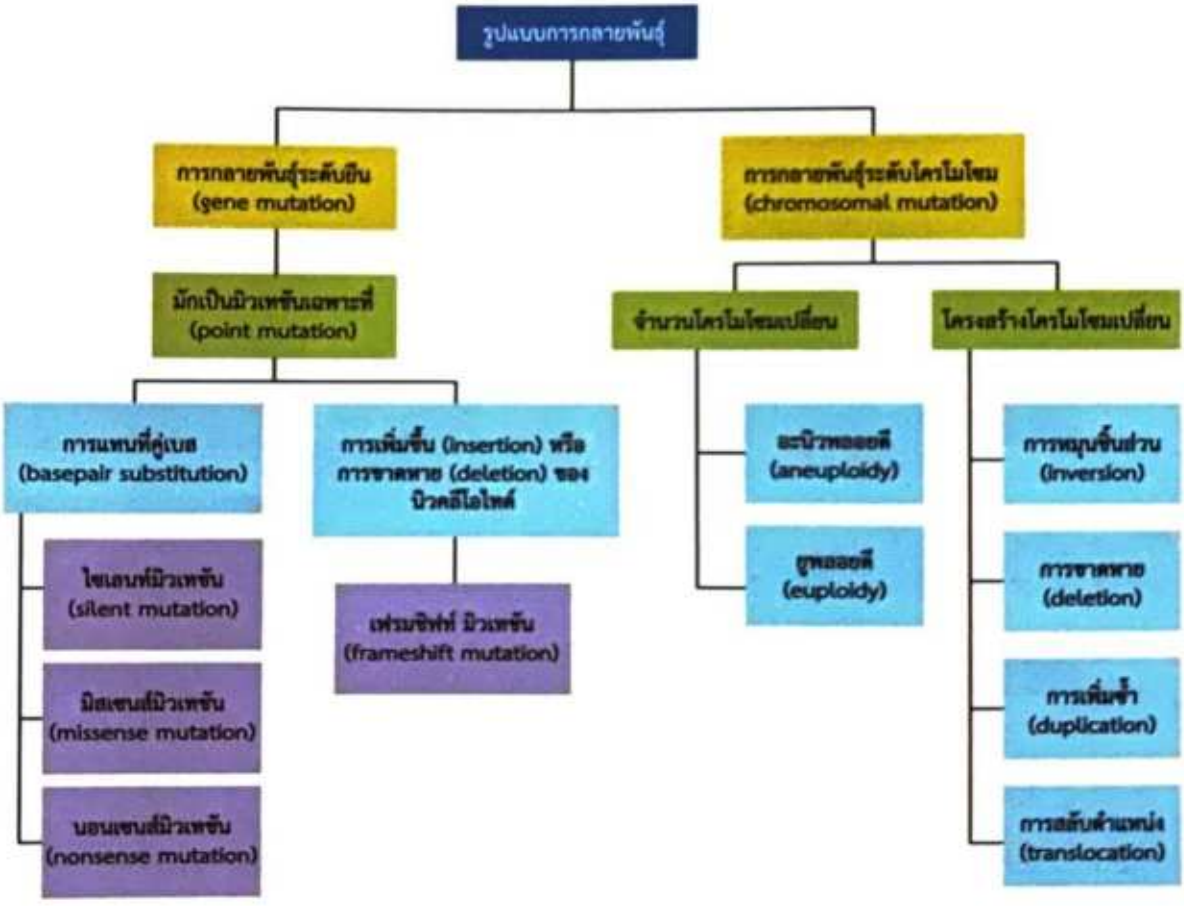
1. เกลียวคู่ของสายพอลินิวคลีโอไทด์เวียนขวาตามเข็มนาฬิกา
2. เบสคู่สมในสายพอลินิวคลีโอไทด์ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน
3. ถ้าเปรียบโครงสร้างของสายดีเอ็นเอเป็นบันไดเวียน ราวบันไดเกิดจากไนโตรจีนัสเบสจับกับหมู่ฟอสเฟต
4. โครงสร้างของเบสพิวรีน เป็นวงแหวนที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไนโตรเจน 2 วง แต่เบสไพริมิดีนมีวงแหวนดังกล่าว 1 วง

16.10 การกลายพันธุ์หรือมิวเทชัน (mutation)

- การกลายพันธุ์ (mutation)
  - การเปลี่ยนแปลงลำดับและจำนวนเบสในดีเอ็นเอ
  - การเปลี่ยนแปลงของโครโมโซม

ฟีโนไทป์อาจเปลี่ยนไปและอาจถ่ายทอดสู่ลูกหลาน
****ถ้าเกิดที่เซลล์สืบพันธุ์**

- สาเหตุของการกลายพันธุ์
  - เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (spontaneous mutation) อัตราการเกิดค่อนข้างต่ำ
  - เกิดจากการชักนำ (induced mutation) โดยสิ่งก่อกลายพันธุ์หรือมิวทาเจน (mutagen)
    - สิ่งก่อกลายพันธุ์ทางกายภาพ เช่น รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเลต ความร้อน
    - สิ่งก่อกลายพันธุ์ทางเคมี เช่น ควันบุหรี่ อะฟลาทอกซินจากรา กรดไนตรัส อนุมูลอิสระ โลหะหนัก เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen)
    - สิ่งก่อกลายพันธุ์ทางชีวภาพ เช่น ไวรัสบางชนิด
  - เกิดจากพันธุกรรม (genetic control mutation) เกิดจากการกระตุ้นโดยยีนเหนี่ยวนำการกลายพันธุ์



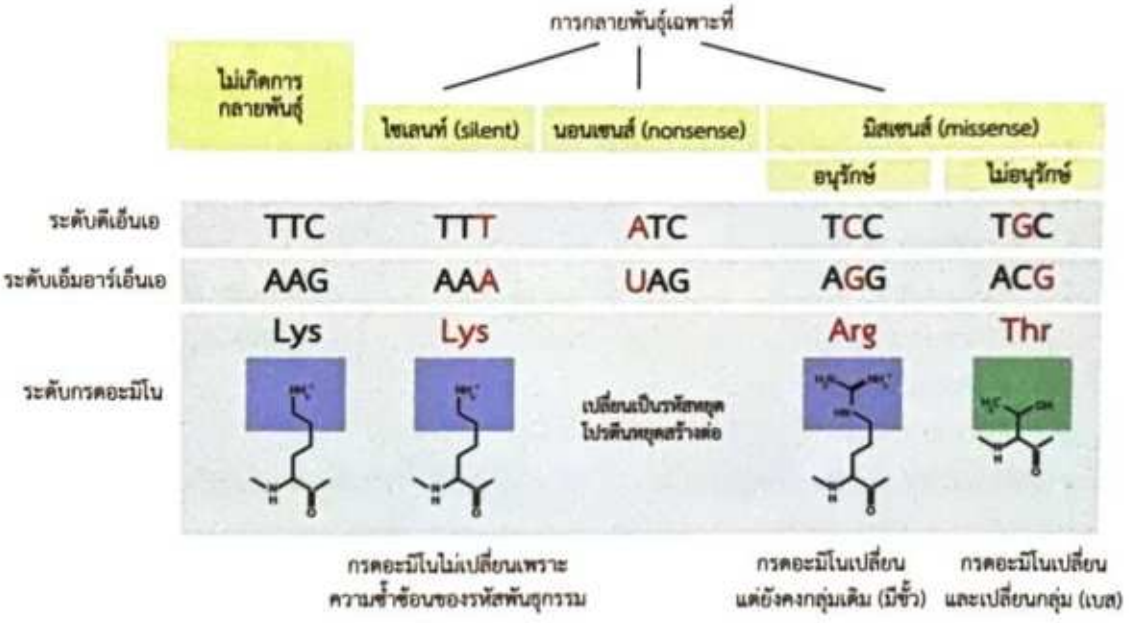
16.10.1 การกลายพันธุ์ระดับยีน (gene mutation)

การกลายพันธุ์ระดับยีน คือ การเกิดการกลายพันธุ์เฉพาะที่ของดีเอ็นเอที่เป็นตำแหน่งของยีน หากเกิดจากความผิดปกติของนิวคลีโอไทด์ 1 ตำแหน่งจะเรียกว่า**การกลายพันธุ์เฉพาะที่ (point mutation)** เป็นความผิดปกติระดับโมเลกุล

ลำดับเบสเปลี่ยน → แอลลีลของยีนนั้นเปลี่ยน → การสังเคราะห์กรดอะมิโนเปลี่ยน → สมบัติของโปรตีนเปลี่ยน → ลักษณะฟีโนไทป์เปลี่ยน

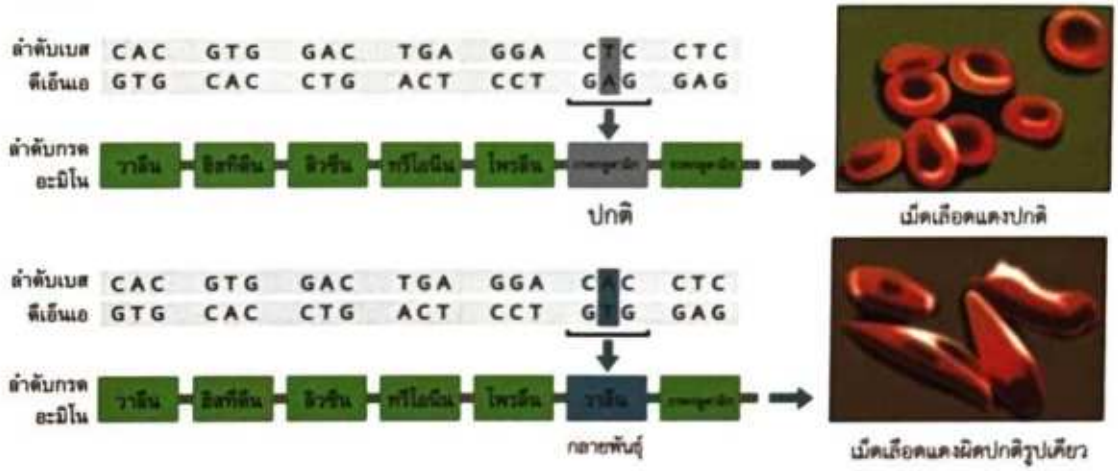
การกลายพันธุ์เฉพาะที่

- การแทนที่คู่เบส (base-pair substitution) เบสหนึ่งถูกแทนที่ด้วยอีกเบสหนึ่งทำให้เกิดผลแตกต่างกันดังนี้



▲ (Cr. wikipedia.org)

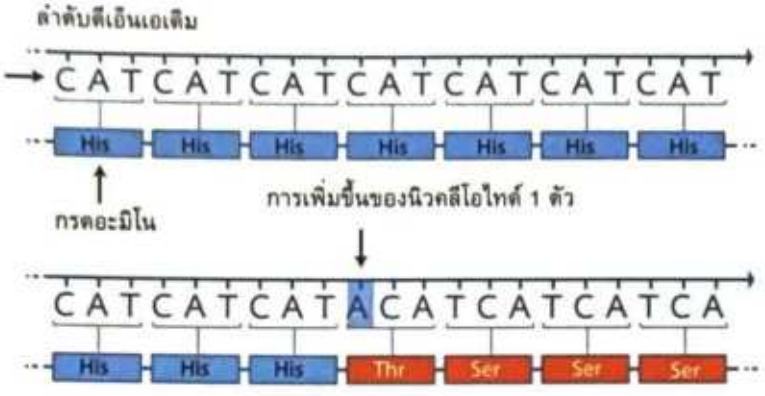
ตัวอย่าง โรคที่เกิดจากการแทนที่คู่เบส คือ โรคโลหิตจางแบบเม็ดเลือดแดงรูปเคียว (sickle cell anemia)



▲ (Cr. cuny.edu)

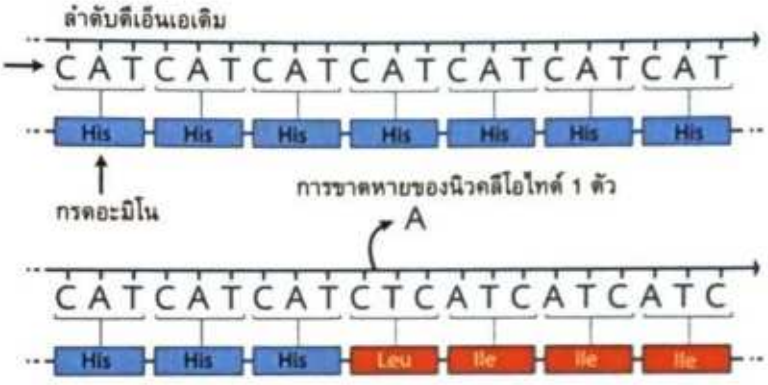
การแทนที่เบสจาก T เป็น A ในลำดับเบสดีเอ็นเอทำให้กรดอะมิโนตำแหน่งที่ 6 ในสายพอลิเพปไทด์บีตาโกลบิน เปลี่ยนจากกรดกลูตามิกเป็นวาลีน ส่งผลให้โมเลกุลฮีโมโกลบินตกผลึกเมื่อมีออกซิเจนต่ำ ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงกลายเป็นรูปเคียวขนส่งแก๊สออกซิเจนได้น้อยลง และยังไปทำให้อุดตันเส้นเลือดฝอย ทำให้เลือดไหลเวียนได้ไม่สะดวก

- การเพิ่มขึ้น (insertion) หรือการขาดหาย (deletion) ของนิวคลีโอไทด์ เกิดขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นหรือขาดหายไปของคู่นิวคลีโอไทด์ในบางตำแหน่งของยีน ผลที่เกิดทำให้กรดอะมิโนจากลำดับที่กลายพันธุ์เปลี่ยนไปทั้งหมด เรียกว่า เฟรมชิฟท์มิวเทชัน (frameshift mutation)
  - การเพิ่มขึ้น (insertion)



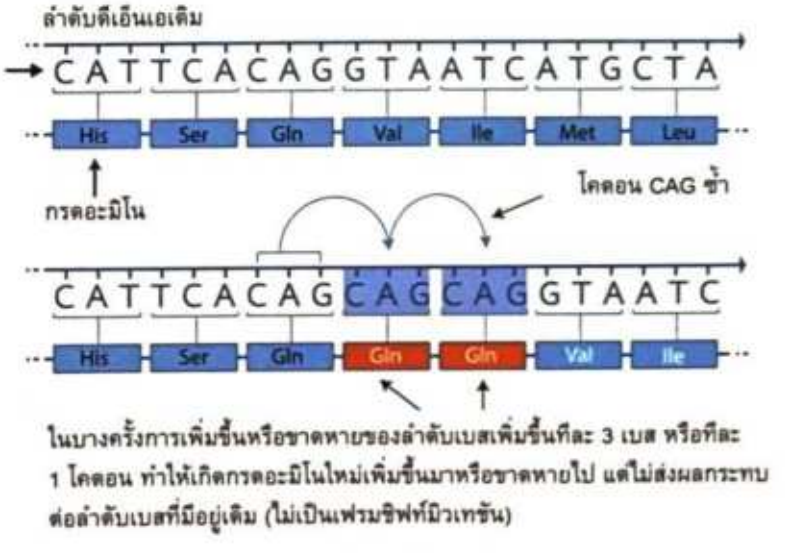
▲ (Cr. nih.gov)

  - การขาดหาย (deletion)



▲ (Cr. nih.gov)

  - การขยายแบบซ้ำชุด (repeat expansion)



▲ (Cr. nih.gov)

ความแตกต่างระหว่างการแทนที่คู่เบสและเฟรมชิฟท์มิวเทชัน

การแทนที่คู่เบส (substitution)	การเพิ่มขึ้น (insertion)/การขาดหาย (deletion)
▸ เบสหนึ่งถูกแทนที่ด้วยอีกเบสหนึ่ง หากเบสที่ถูกแทนที่เป็นประเภทเดียวกัน เช่น พิวรีนแทนที่ด้วยพิวรีน (A↔G) ไพริมิดีนแทนที่ด้วยไพริมิดีน (C↔T) เรียกว่า **ทรานสิชัน (transition)** หากแทนที่ด้วยคนละประเภท เช่น พิวรีนแทนที่ด้วยไพริมิดีน (A↔T) เรียกว่า **ทรานสเวอร์ชัน (transversion)**	▸ มีการเพิ่มขึ้นหรือขาดหายไปของนิวคลีโอไทด์ในบางตำแหน่งของยีน
▸ ทำให้รหัสพันธุกรรมเปลี่ยนแปลงเฉพาะบริเวณ ไม่ส่งผลต่อบริเวณอื่นๆ	▸ ทำให้ลำดับรหัสพันธุกรรมและกรดอะมิโนจากลำดับที่กลายพันธุ์เปลี่ยนไปทั้งหมด
▸ อาจมีผลหรือไม่มีผลต่อลักษณะสิ่งมีชีวิต ไซเลนท์มิวเทชันไม่ทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลง นอนเซนส์และมิสเซนส์มิวเทชันทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลง	▸ มีผลต่อลักษณะสิ่งมีชีวิต เพราะโครงสร้างโปรตีนใหม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ตัวอย่าง โรคทางพันธุกรรมที่เกิดจากการกลายพันธุ์ระดับยีน

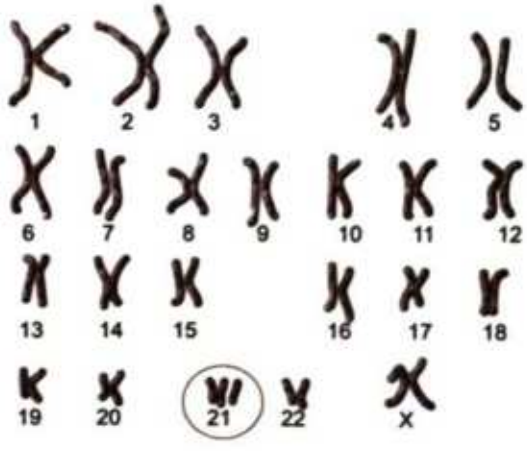
- ผิวเผือก (albinism) : ผิวและผมขาว ม่านตาสีเทา
- ธาลัสซีเมีย (thalassemia) : โลหิตจาง
- เฟนิลคีโตนยูเรีย (phenylketonuria) : สมองเสื่อม สีผิว และผมจาง
- เอคอนโดพลาเซีย (achondoplasia) : เตี้ยแคระ แขนขาสั้น
- ซิสติกไฟโบรซิส (cystic fibrosis) : เมือกที่ปอด

16.10.2 การกลายพันธุ์ระดับโครโมโซม (chromosomal mutation)

การกลายพันธุ์ระดับโครโมโซม (chromosomal mutation) คือ การที่โครโมโซมเปลี่ยนไปในแง่ของ**จำนวนโครโมโซม** หรือ**รูปร่างของโครโมโซม** ทำให้เกิดความผิดปกติของยีนหลายๆ ยีนพร้อมกัน การกลายพันธุ์ระดับนี้สามารถศึกษาได้จากการทำคาริโอไทป์ และดูรูปร่าง จำนวนและโครงสร้างของโครโมโซมภายใต้กล้องจุลทรรศน์

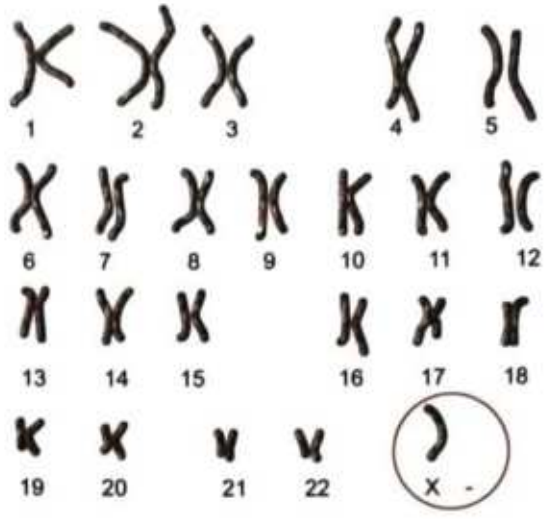
การเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซม

1. แอนยูพลอยดี (aneuploidy) หมายถึง การเปลี่ยนจำนวนโครโมโซมโดยเพิ่มหรือลดทีละแท่ง เช่น ในเซลล์ดิพลอยด์ปกติโครโมโซมอยู่กันเป็นคู่ แต่ถ้าบางคู่มีโครโมโซมเกินมา จะเรียกว่า พอลิโซมี (polysomy) เช่น เกินมาเป็นสามแท่งหรือไทรโซมี (trisomy) 2n+1 ถ้าเกินมาเป็นสี่แท่งหรือเททราโซมี (tetrasomy) 2n+2 แต่ถ้าหากลดลง 1 แท่ง เรียกว่า มอโนโซมี (monosomy) 2n-1



ภาพ trisomy 21

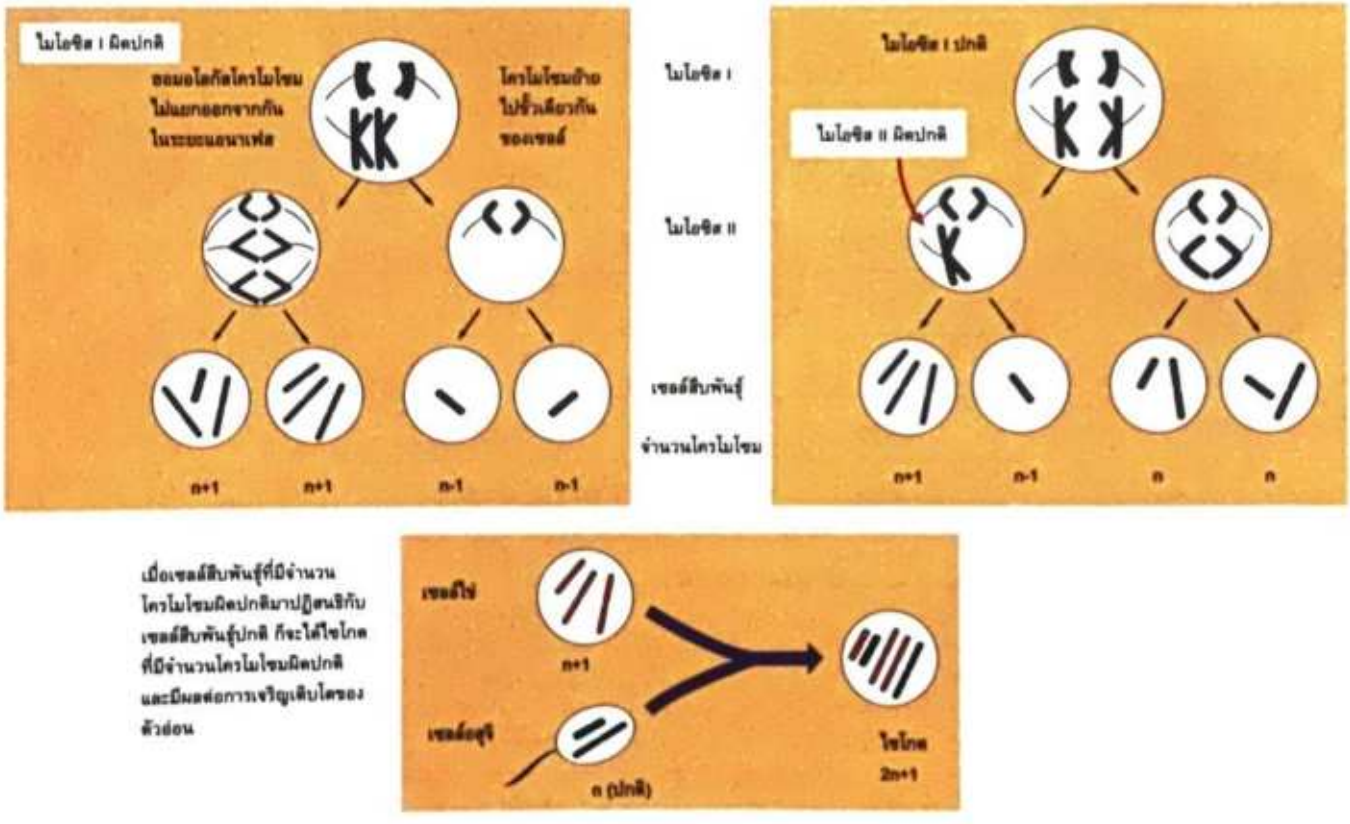
โครโมโซมคู่ที่ 21 เกินมา 1 แท่ง เรียกไทรโซมี 21 (trisomy 21) คือ กลุ่มอาการดาวน์ (Down syndrome) รวมโครโมโซมทั้งหมด 47 แท่ง



ภาพ monosomy

โครโมโซมเพศขาดไปหนึ่งแท่ง (มีโครโมโซม X แท่งเดียว) เรียก มอโนโซมีเอกซ์ (monosomy X) คือ กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ (Turner syndrome) รวมโครโมโซมทั้งหมด 45 แท่ง

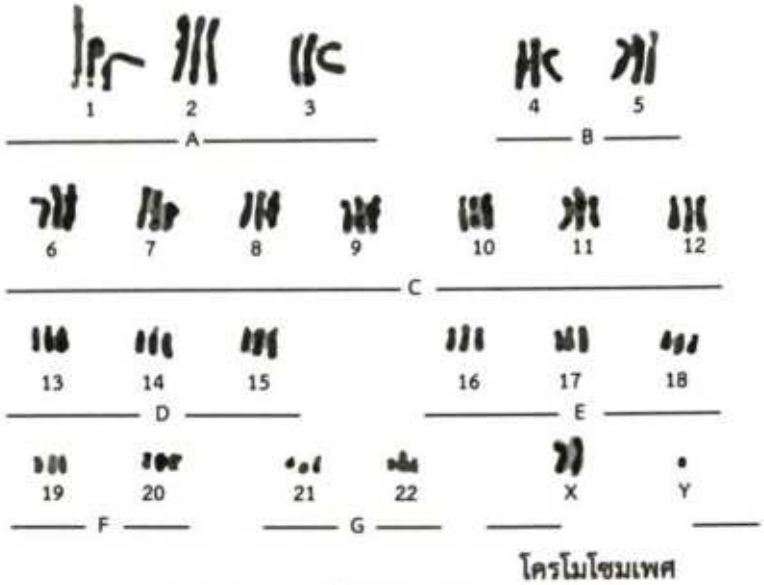
- ความผิดปกติของจำนวนโครโมโซมเกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสผิดปกติเรียก นอนดิสจังชัน (nondisjunction) จึงเกิดในการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ อาจเกิดในระยะ meiosis I หรือ meiosis II



▲ (Cr. quia.com)

2. ยูพลอยดี (euploidy) หมายถึง การเปลี่ยนจำนวนโครโมโซมเป็นชุด โดยสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนโครโมโซมมากกว่า

2 ชุดเรียกว่า พอลิพลอยด์ (polyploid) ส่วนใหญ่พบในพืช ทำให้พืชมีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น ลำต้น ดอกและผล ใหญ่ขึ้น รวมทั้งสร้างสารภายในพืชมากขึ้น เช่น วิตามิน นิโคติน อัลคาลอยด์ หากพืชมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็นเลขคู่จะสามารถสืบพันธุ์ต่อได้ แต่ถ้ามีจำนวนชุดโครโมโซมเป็นเลขคี่จะเป็นหมัน จึงใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ผลไม้ไร้เมล็ด



คาริโอไทป์ของมนุษย์ที่มีชุดโครโมโซมแบบทริพลอยด์

▲ (Cr. medscape.com)

เรียนรู้รากศัพท์

ศัพท์	คำแปล
poly-	หลาย, มาก
mono-	หนึ่ง
di-, bi-	สอง
tri-	สาม
tetra-	สี่
auto-	ด้วยตนเอง
allo-	จากที่อื่น, แตกต่าง
homo-	เหมือนกัน
eu-	แท้จริง
loci-	ตำแหน่ง
muta-	กลายพันธุ์
carcino-	มะเร็ง
chromo-	สี

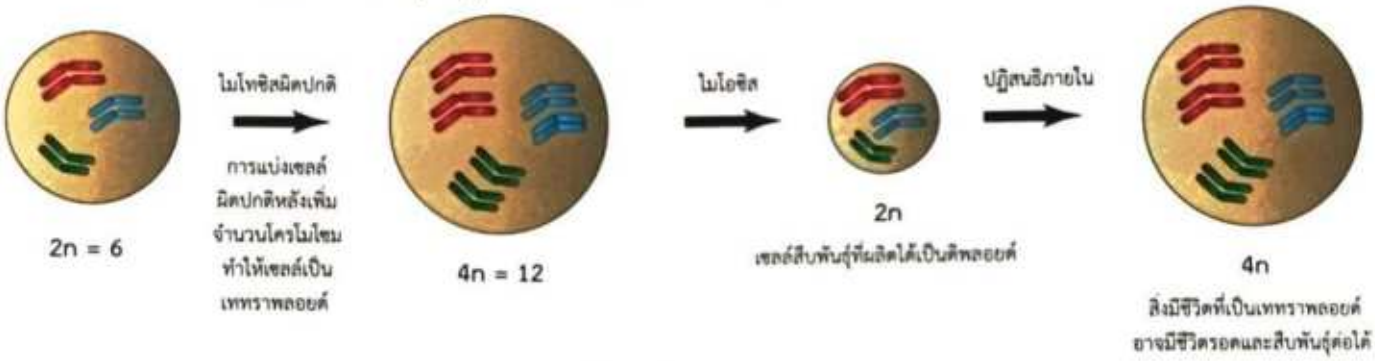
Quiz Yourself

5) ข้อใดคือการเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซมแบบ trisomy

1. homologous chromosome คู่หนึ่งมี 3 แท่ง
2. โครโมโซมเพิ่มขึ้นมาเป็น 3 ชุด
3. ยีนตัวหนึ่งเพิ่มขึ้นมาเป็น 3 ชุด
4. โครโมโซมแท่งที่ 3 ขาดหายไป
5. โครโมโซมขาดหายไป 3 แท่ง

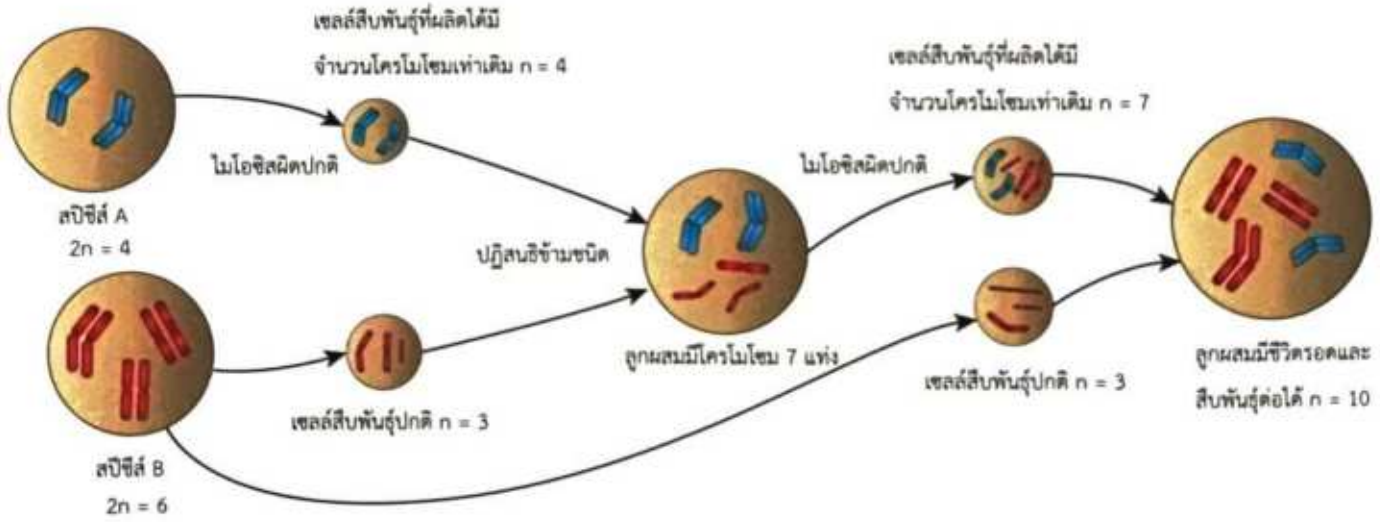
การเกิดยูพลอยดี

- ออโทพอลิพลอยด์ (autopolyploid) เกิดขึ้นจากการผสมภายในตัวเองของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน



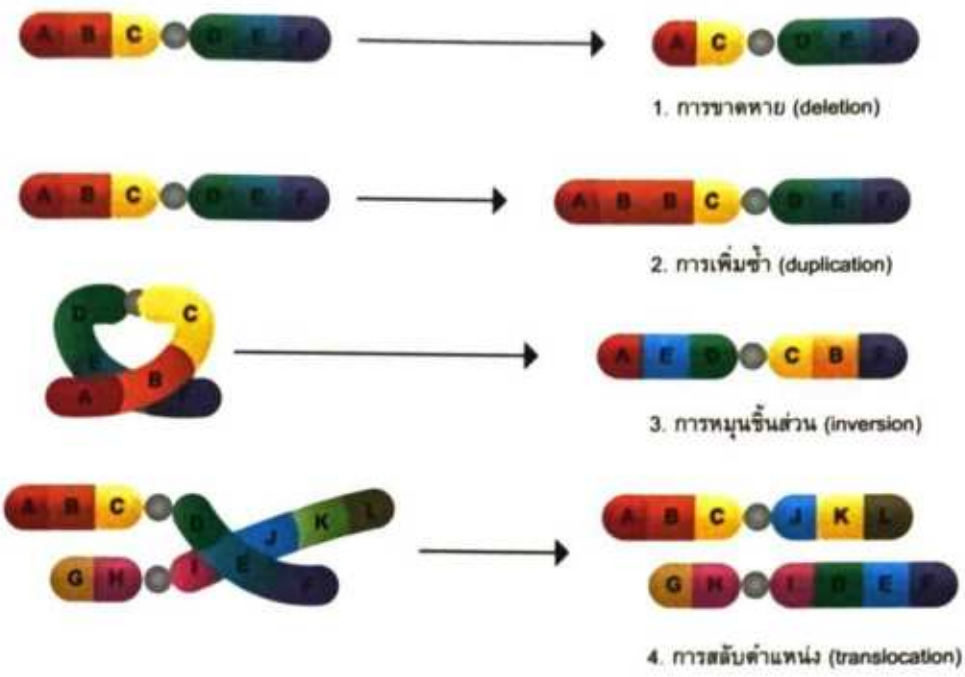
▲ (Cr. nicerweb.com)

- อัลโลพอลิพลอยด์ (allopolyploid) เกิดขึ้นจากการผสมของเซลล์สืบพันธุ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด



▲ (Cr. nicerweb.com)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโครโมโซม



บางส่วนของโครโมโซมขาดหายไป อาจเกิดที่ปลายหรือกลางแท่งโครโมโซม เช่น กลุ่มอาการคริดูชาต์

บางส่วนของโครโมโซมเกินมาจากปกติ เกิดจากการซ้ำกันของโครโมโซมเดียวกัน หรือต่างกันก็ได้

บางส่วนของโครโมโซมมีการแตกหักและกลับมาต่อใหม่แบบกลับหัวกลับหางกัน

การแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซมต่างคู่กัน

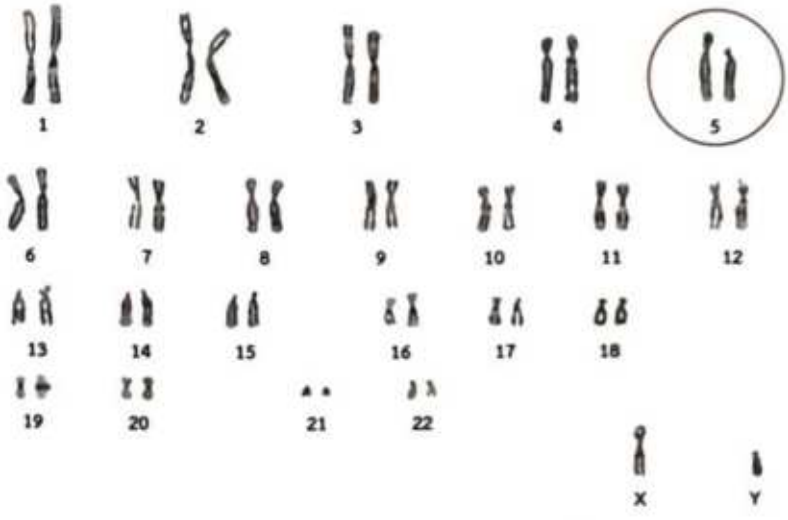
▲ (Cr. goldiesroom.org)

Quiz Yourself

6) การเปลี่ยนแปลงระดับยีนแบบใดที่อาจไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะฟีโนไทป์

1. การแทนที่เบส 1 ตัวในสายดีเอ็นเอ
2. การเอาลำดับเบส 1 โคดอนออกจากยีน
3. การเติมเบส 1 ตัวลงไปในสายดีเอ็นเอ
4. การเพิ่มลำดับเบส 1 โคดอนในยีน

ตัวอย่าง โรคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโครโมโซม คือ **กลุ่มอาการคริดูชาต์ (Cri-du-chat syndrome)**



▲ (Cr. mun.ca)

โครโมโซมคู่ที่ 5 ขาดหายไป
ลักษณะผิดปกติ คือ ศีรษะเล็ก ใบหน้ากลม
ตาเล็กอยู่ห่างกันและเฉียง เส้นเสียงผิดปกติทำให้
เสียงแหลมเล็กคล้ายเสียงแมว ปัญญาอ่อน

กลุ่มอาการที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซมในคน

ชื่อกลุ่มอาการของโรคทางพันธุกรรม	ความผิดปกติของจำนวนโครโมโซม	ลักษณะอาการ
กลุ่มอาการพาทาว (Patau syndrome) หรือไทรโซมี 13 (trisomy 13)	ออโทโซม 47, +13	▲ (Cr. lucinafoundation.org)
กลุ่มอาการเอ็ดเวิร์ด (Edwards syndrome) หรือไทรโซมี 18 (trisomy 18)	ออโทโซม 47, +18	▲ (Cr. lucinafoundation.org)
กลุ่มอาการดาวน์ (Down syndrome) หรือไทรโซมี 21 (trisomy 21)	ออโทโซม 47, +21	▲ (Cr. lucinafoundation.org)

ชื่อกลุ่มอาการของโรคทางพันธุกรรม	ความผิดปกติของจำนวนโครโมโซม	ลักษณะอาการ
กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ (Turner syndrome)	โครโมโซมเพศ 45, X0 (โครโมโซม X หายไป 1 แท่งในเพศหญิง)	 ▲ (Cr. lucinafoundation.org)
กลุ่มอาการไคลน์เฟลเตอร์ (Klinefelter syndrome)	โครโมโซมเพศ 47, XXY 48, XXXY 49, XXXXY (โครโมโซม X เกินมา 1 แท่งในเพศชาย)	 ▲ (Cr. hormone.org)
กลุ่มอาการจาคอบหรือเอกซ์วายวาย (Jacob's or XYY syndrome)	โครโมโซมเพศ 47, XYY (โครโมโซม Y เกินมา 1 แท่งในเพศชาย)	**เพศชาย** รูปร่างสูงกว่าปกติ ไม่เป็นหมัน
กลุ่มอาการทริเปิลเอกซ์ (triple X syndrome) หรือไทรโซมีเอกซ์ (trisomy X)	โครโมโซมเพศ 47, XXX (โครโมโซม X เกินมา 1 แท่งในเพศหญิง)	**เพศหญิง** รูปร่างสูงกว่าปกติ ไม่เป็นหมัน

Quiz Yourself

7) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับมิวเทชัน
   1. มีอัตราการเกิดได้สูงตามธรรมชาติ
   2. เกิดได้ทั้งระดับโครโมโซมและดีเอ็นเอ
   3. เกิดขึ้นได้เฉพาะในเซลล์ที่กำลังแบ่งตัว
   4. มิวเทชันในเซลล์ทุกชนิดสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลานได้

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 4.** เนื่องจากสาย mRNA ถูกถอดรหัสมาจากสายดีเอ็นเอในทิศทางที่ตรงข้ามกัน และเป็นเบสคู่สมกัน
จากสาย mRNA 5' UAC UCC AGU AUA CCA GAG 3'
สังเคราะห์มาจากสาย DNA คือ 3' ATG AGG TCA TAT GGT CTC 5'
หรือถ้าสลับด้าน 5' CTC TGG TAT ACT GGA GTA 3'

2) **ตอบ 1.** โครโมโซมเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ที่สุดเกิดจากสายดีเอ็นเอขดพันกันแน่นกับโปรตีนฮิสโตน ซึ่งแต่ละช่วงของโครโมโซมประกอบด้วยยีนจำนวนมาก ยีนคือลำดับของนิวคลีโอไทด์ที่แปลรหัสเป็นโปรตีน และนิวคลีโอไทด์มีไนโตรจีนัสเบสเป็นส่วนประกอบ

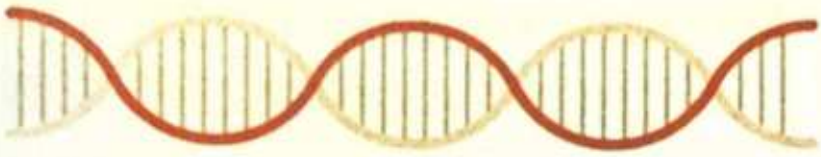
3) **ตอบ 3.** ถ้ารหัสพันธุกรรมหรือโคดอนประกอบด้วย 4 นิวคลีโอไทด์ แต่ละตำแหน่งของโคดอนมีรูปแบบนิวคลีโอไทด์ได้ 5 แบบ นำมาเรียงสลับกันได้ $5 \times 5 \times 5 \times 5 = 5^4 = 625$ แบบ หรือให้ a เป็นจำนวนชนิดของนิวคลีโอไทด์ และให้ n เป็นจำนวนนิวคลีโอไทด์ที่ประกอบขึ้นเป็นโคดอน จะเกิดรูปแบบของรหัสพันธุกรรมได้ทั้งหมด a^n รูปแบบ

4) **ตอบ 3.** ผิด เพราะโครงสร้างที่เปรียบเสมือนราวบันได คือน้ำตาลดีออกซีไรโบสที่จับกับหมู่ฟอสเฟต

5) **ตอบ 1.** trisomy คือ ฮอมอโลกัสโครโมโซม 1 คู่มีเกินมาเป็น 3 แท่ง
ข้อ 2. โครโมโซมเพิ่มขึ้นมา 3 ชุด คือ ทริพลอยดี (triploidy)
ข้อ 3. ยีนเพิ่มขึ้นมา 3 ชุด คือ การเพิ่มซ้ำ (duplication) ของยีนนั้นในโครโมโซม
ข้อ 4. โครโมโซมแท่งที่ 3 ขาดหายไปทำให้ฮอมอโลกัสโครโมโซมเหลือแท่งเดียว เรียกว่า monosomy

6) **ตอบ 1.** เพราะการแทนที่เบส 1 ตัวในสายดีเอ็นเอ อาจไปแทนที่เบสในช่วงที่ไม่ใช่ยีน หรือแทนที่เบสในตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 ของโคดอนซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีความซ้ำซ้อนของรหัสพันธุกรรม (กรดอะมิโน 1 ตัวแปลผลมาจากโคดอนหลายรหัส) จึงทำให้เกิดการกลายแบบไซเลนท์มิวเทชัน (silent mutation) ซึ่งไม่ทำให้ลำดับกรดอะมิโนเปลี่ยนแปลง ไม่ส่งผลต่อโครงสร้างโปรตีนและฟีโนไทป์ไม่เปลี่ยนแปลง
ข้อ 2. การเอาลำดับเบส 1 โคดอนออกจากยีน ทำให้กรดอะมิโนหายไป 1 ตัว แม้ว่าไม่เปลี่ยนแปลงลำดับของกรดอะมิโน แต่อาจทำให้โครงสร้างโปรตีนเปลี่ยนแปลงและส่งผลต่อฟีโนไทป์ได้
ข้อ 3. การเติมเบส 1 ตัวลงไปในสายดีเอ็นเอ เป็นเฟรมชิฟท์มิวเทชัน ส่งผลให้เปลี่ยนแปลงลำดับการแปลรหัสเป็นกรดอะมิโน ทำให้โครงสร้างโปรตีนเปลี่ยนแปลงและส่งผลต่อฟีโนไทป์ได้
ข้อ 4. การเพิ่มลำดับเบส 1 โคดอนในยีน ทำให้กรดอะมิโนเพิ่มขึ้น 1 ตัว แม้ว่าไม่เปลี่ยนแปลงลำดับของกรดอะมิโน แต่อาจทำให้โครงสร้างโปรตีนเปลี่ยนแปลงและส่งผลต่อฟีโนไทป์ได้

7) **ตอบ 2.** ถูกต้อง มิวเทชันมี 2 ระดับ คือ ระดับยีน (ดีเอ็นเอ) และระดับโครโมโซม
ข้อ 1. ผิด เพราะมิวเทชันมีอัตราการเกิดต่ำในธรรมชาติ
ข้อ 3. ผิด เพราะมิวเทชันเกิดขึ้นได้ในเซลล์ทุกระยะ
ข้อ 4. ผิด เพราะการเกิดมิวเทชันเฉพาะในเซลล์สืบพันธุ์จึงถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลานได้



บทที่ 17

พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

17.1 เทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology)

เทคโนโลยีชีวภาพ คือ เทคโนโลยีที่ใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตโดยปรับปรุงหรือชักนำสิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตให้มีสมบัติตามที่ต้องการ

- การหมักด้วยจุลินทรีย์
  - การหมักแอลกอฮอล์ (ด้วยยีสต์)
  - การหมักซีอิ๊ว เต้าเจี้ยว (ด้วยเชื้อรา)
  - การทำน้ำส้มสายชู นมเปรี้ยว แหนม ปลาร้า (ด้วยแบคทีเรีย)
  - การทำน้ำหมักชีวภาพ แก๊สชีวภาพ (ด้วยแบคทีเรีย)
- การปรับปรุงพันธุ์
  - การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
  - การถ่ายฝากตัวอ่อน
  - การผสมเทียม
  - การโคลนนิ่ง
- เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ
  - การสร้างดีเอ็นเอสายผสม
  - การโคลนยีนด้วยพลาสมิด
  - เทคนิคพีซีอาร์
  - การวิเคราะห์ดีเอ็นเอ
  - การศึกษาจีโนม
  - การดัดแปลงสิ่งมีชีวิตทางพันธุกรรม

17.2 พันธุวิศวกรรม (genetic engineering)

พันธุวิศวกรรม คือ การใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อเปลี่ยนแปลงสิ่งมีชีวิตด้วยเทคนิคการสร้างดีเอ็นเอสายผสม (recombinant DNA) เกิดจากการตัดต่อสายดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิตหนึ่งเข้าสู่ดีเอ็นเอของอีกสิ่งมีชีวิต

1. เทคนิคนี้พัฒนามาจากการค้นพบเอนไซม์ในแบคทีเรียที่สามารถตัดสายดีเอ็นเอ เรียกว่า **เอนไซม์ตัดจำเพาะ** (restriction enzyme)
2. เอนไซม์ที่เชื่อมสายดีเอ็นเอเข้าด้วยกัน คือ **เอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกส** (DNA ligase)

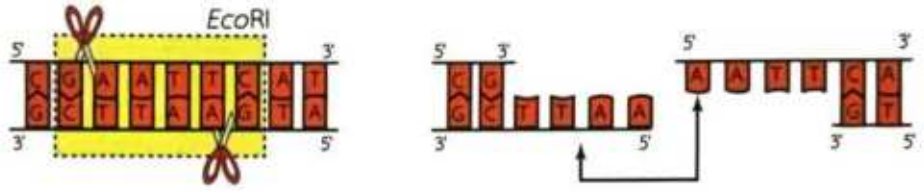
เอนไซม์ตัดจำเพาะ (restriction enzyme **หรือ** restriction endonuclease)

ค้นพบครั้งแรกโดยแฮมิลตัน สมิธ (Hamilton Smith) ในปี ค.ศ. 1970

วิธีการตั้งชื่อเอนไซม์

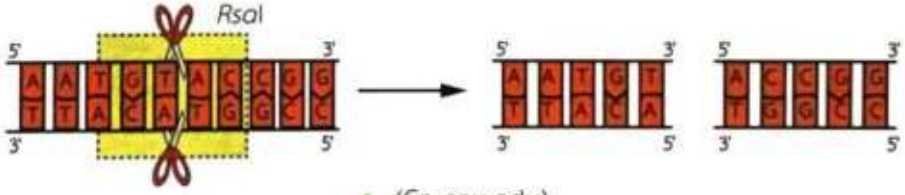
*Eco*RI (อีโคอาร์วัน)

- *Eco* มาจากสามตัวแรกของชื่อแบคทีเรีย *E. coli*
- R คือ สายพันธุ์ RY13
- I (one) หมายถึง เป็นเอนไซม์แรกที่สกัดออกมา



▲ (Cr. seu.edu)

เอนไซม์ *Eco*RI ตัดแล้วได้ปลายเหนียว (sticky end) มีนิวคลีโอไทด์สายเดี่ยวยื่นออกมา

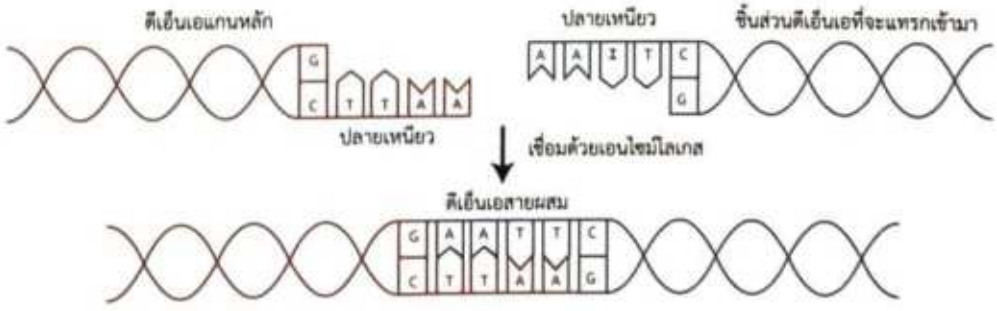


▲ (Cr. seu.edu)

เอนไซม์ *Rsa*I ตัดแล้วได้ปลายทู่ (blunt end) จุดตัดของสายดีเอ็นเอสองเส้นตรงกันพอดี

ตำแหน่งตัดจำเพาะจะมีลำดับเบสที่เรียงในทิศทางจาก 5' ไป 3' **เหมือนกันทั้งสองสายของ DNA เสมอ

การเชื่อมต่อสายดีเอ็นเอด้วยเอนไซม์ไลเกส (ligation)

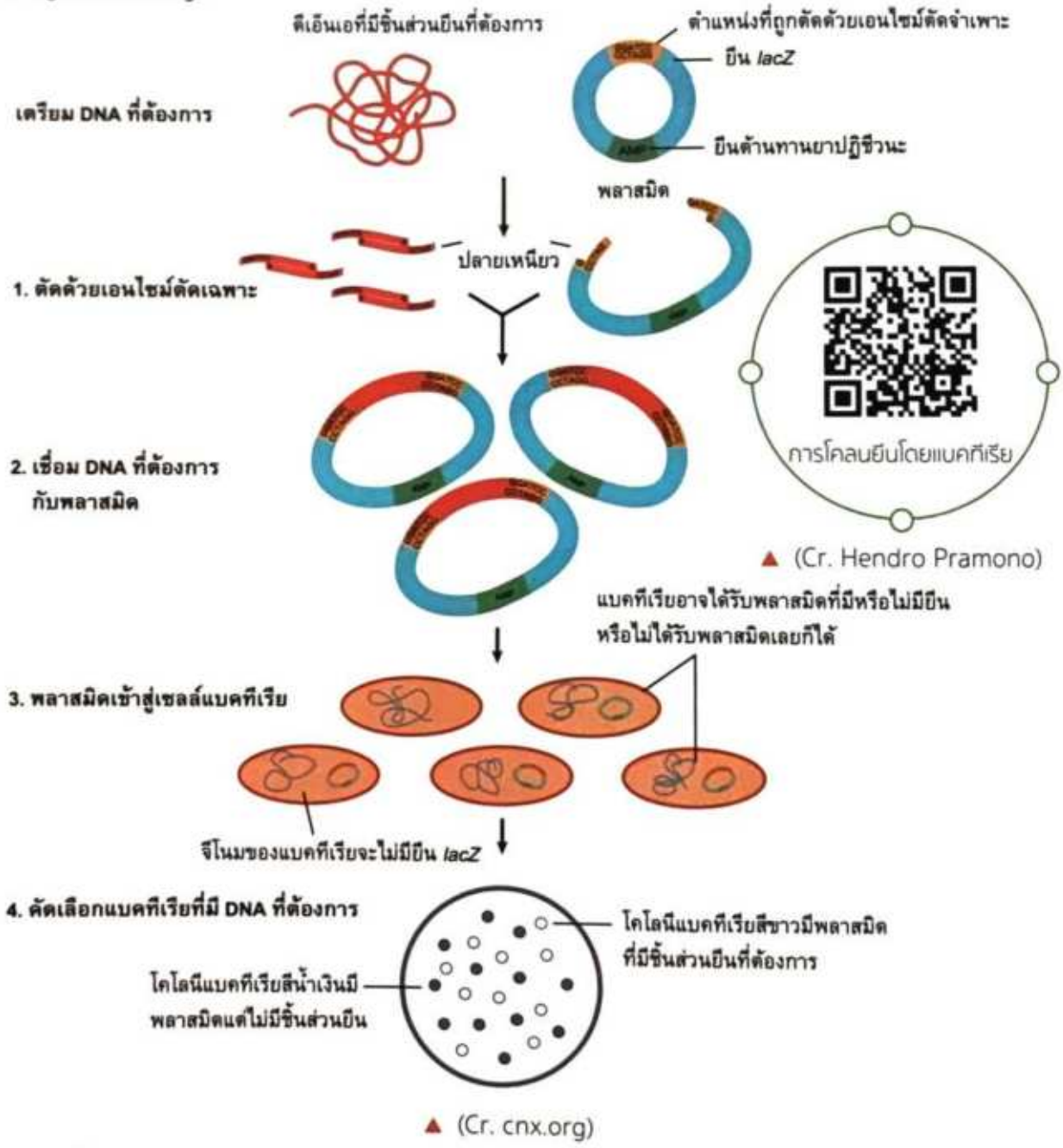


▲ (Cr. addgene.org)

เอนไซม์ไลเกสเชื่อมต่อสายดีเอ็นเอด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (phophodiester bond) โดยดีเอ็นเอที่ตัดด้วยปลายเหนียวจะเชื่อมต่อกันได้ง่ายกว่าปลายทู่

17.3 การโคลนยีน (gene cloning) โดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย

หลังจากตัดและเชื่อมต่อสายดีเอ็นเอให้เป็นดีเอ็นเอสายผสมแล้ว ลำดับถัดมาจะต้องเพิ่มจำนวนสายดีเอ็นเอให้มากพอเพื่อนำไปศึกษาต่อได้ เรียกว่า **การโคลนดีเอ็นเอ** (DNA cloning) หรือถ้าเพิ่มดีเอ็นเอบริเวณที่เป็นยีน เรียกว่า **การโคลนยีน** (gene cloning)



▲ (Cr. Hendro Pramono)

▲ (Cr. cnx.org)

อธิบายขั้นตอนโดยละเอียด

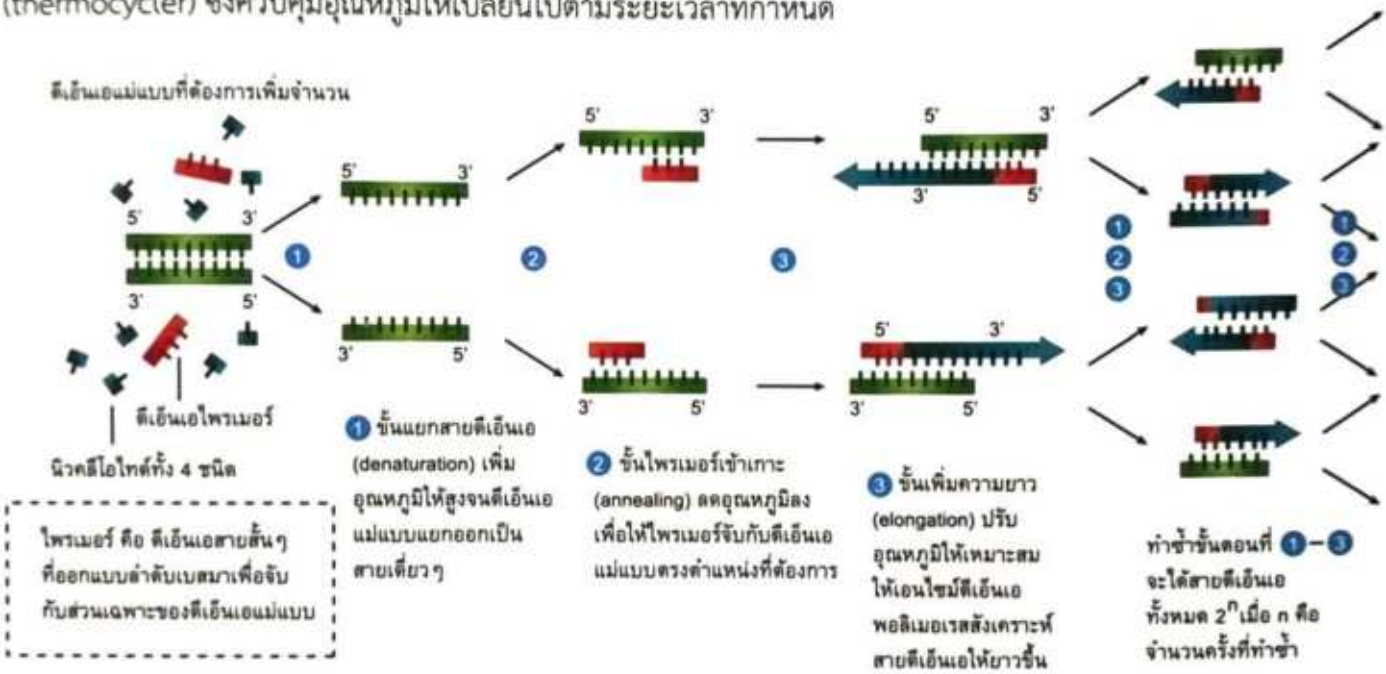
1. ทั้งชิ้นส่วนดีเอ็นเอและพลาสมิดถูกตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะเดียวกัน ตำแหน่งที่จะถูกตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะในพลาสมิดมีตำแหน่งเดียวกลางยีน lacZ ยีน lacZ ทำให้โคโลนีแบคทีเรียเป็นสีน้ำเงิน
2. เอนไซม์ตัดจำเพาะตัดปลายชิ้นส่วนดีเอ็นเอและพลาสมิดให้เป็นปลายเหนียว ซึ่งทำให้ชิ้นส่วนดีเอ็นเอแทรกเข้ากับพลาสมิดได้โดยอาศัยเอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกส ทำให้ได้พลาสมิดลูกผสม (recombinant plasmid)

3. พลาสมิดถูกรวมเข้ากับแบคทีเรียที่เลี้ยงไว้ แบคทีเรียหลายเซลล์จะไม่ได้รับพลาสมิดเข้าไปในเซลล์ บางส่วนได้รับพลาสมิดที่ไม่มียีนส่วนยีน ในขณะที่ส่วนน้อยได้รับพลาสมิดที่มียีนส่วนยีนที่ต้องการ
4. นำแบคทีเรียไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อตรวจสอบว่าโคโลนีแบคทีเรียโหนมียีนส่วนยีนที่ต้องการ อาหารเลี้ยงเชื้อใส่ยาปฏิชีวนะเพื่อให้แบคทีเรียที่ไม่มีพลาสมิดไม่เจริญเติบโต และโคโลนีสีขาวคือแบคทีเรียมีพลาสมิดที่มียีนส่วนยีนที่ต้องการ เนื่องจากยีนที่ต้องการแทรกอยู่ระหว่างยีน lacZ ทำให้โคโลนีไม่สามารถสร้างสารสีน้ำเงินได้

พลาสมิด (plasmid) คือ ดีเอ็นเอวงแหวนสายคู่ที่อยู่นอกโครโมโซมของแบคทีเรีย มีขนาดประมาณ 1,000 – 200,000 คู่เบส มักมียีนที่สร้างเอนไซม์เพื่อให้แบคทีเรียมีลักษณะเฉพาะ เช่น ยีนต้านยาปฏิชีวนะ

17.4 เทคนิคพอลิเมอเรสเชนรีแอคชัน หรือพีซีอาร์ (polymerase chain reaction; PCR)

เป็นเทคนิคในการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอที่ต้องการโดยไม่ต้องอาศัยเซลล์ใดๆ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เทอร์โมไซเคลอร์ (thermocycler) ซึ่งควบคุมอุณหภูมิให้เปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่กำหนด



▲ (Cr. wikimedia.org)

เอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสที่ใช้ในเทคนิคพีซีอาร์ มีชื่อเฉพาะว่า *Taq* DNA polymerase เป็นเอนไซม์ที่สกัดได้จากแบคทีเรีย *Thermus aquaticus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียทนร้อนในน้ำพุร้อน ดังนั้น เอนไซม์นี้จึงทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง

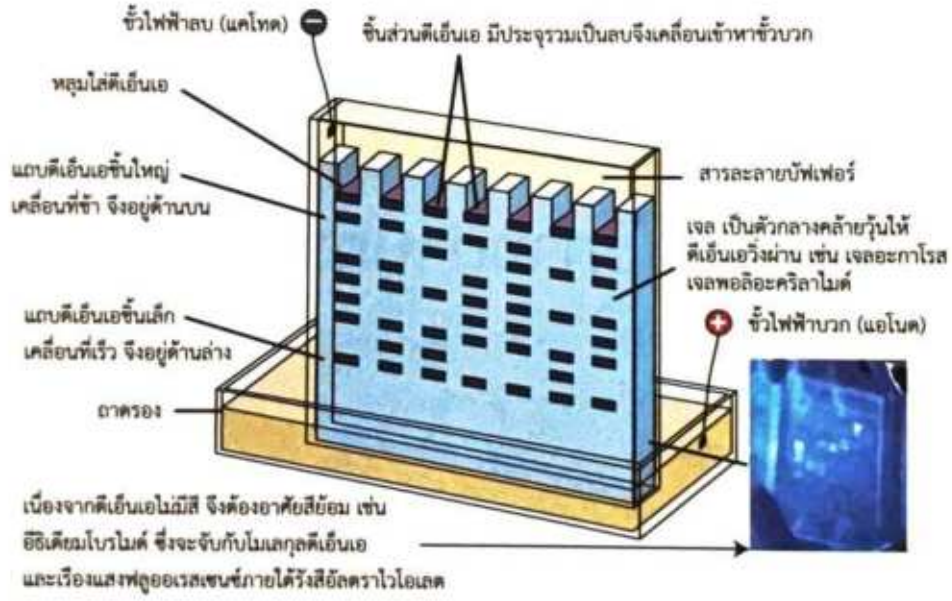
สิ่งเปรียบเทียบ	ข้อดี	ข้อเสีย
เทคนิคการโคลนยีนด้วยพลาสมิด	▸ ได้ยีนที่มีลักษณะแตกต่างกันได้ ▸ ศึกษาการแสดงออกของยีนได้	▸ ต้องใช้เซลล์แบคทีเรีย ขั้นตอนซับซ้อน ▸ มีโอกาสที่แบคทีเรียมีพลาสมิดที่ไม่มียีนส่วนยีนสูง
เทคนิคพีซีอาร์	▸ สามารถเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอปริมาณมากจากดีเอ็นเอแม่แบบปริมาณเพียงเล็กน้อย ▸ เพิ่มจำนวนดีเอ็นเอที่เสื่อมสภาพได้ง่าย เช่น ดีเอ็นเอจากฟอสซิล คราบเลือด เนื้อเยื่อ อสุจิ ▸ อุปกรณ์เครื่องมือและขั้นตอนไม่ซับซ้อน	▸ อุปกรณ์เครื่องมือมีราคาแพง ▸ มีโอกาสผิดพลาดจากการที่ไม่มีเอนไซม์ตรวจสอบความถูกต้องของลำดับเบสดีเอ็นเอ

Quiz Yourself

1) ข้อใดต้องใช้กระบวนการพันธุวิศวกรรม
   1. การปั่นตากล้วยไม้
   2. การโคลนนิ่งลูกแมว
   3. การสร้างวัวที่ผลิตน้ำนมที่มี growth hormone ของมนุษย์
   4. การพิสูจน์หลักฐานทางดีเอ็นเอของผู้ต้องสงสัย
   5. การใช้ RFLP เพื่อหาความสัมพันธ์ของพ่อ แม่ และลูก

17.5 การวิเคราะห์ดีเอ็นเอด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟริซิส (gel electrophoresis)

เทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟริซิสใช้หลักการการแยกโมเลกุลของดีเอ็นเอที่มีขนาดประจุและรูปร่างต่างกันให้ออกจากกันในสนามไฟฟ้า โดยใช้กระแสไฟฟ้าผลักโมเลกุลดีเอ็นเอให้เคลื่อนผ่านตัวกลางที่เป็นแผ่นวุ้น สามารถนำมาใช้เพื่อหาลายพิมพ์ดีเอ็นเอ (DNA fingerprint) ได้



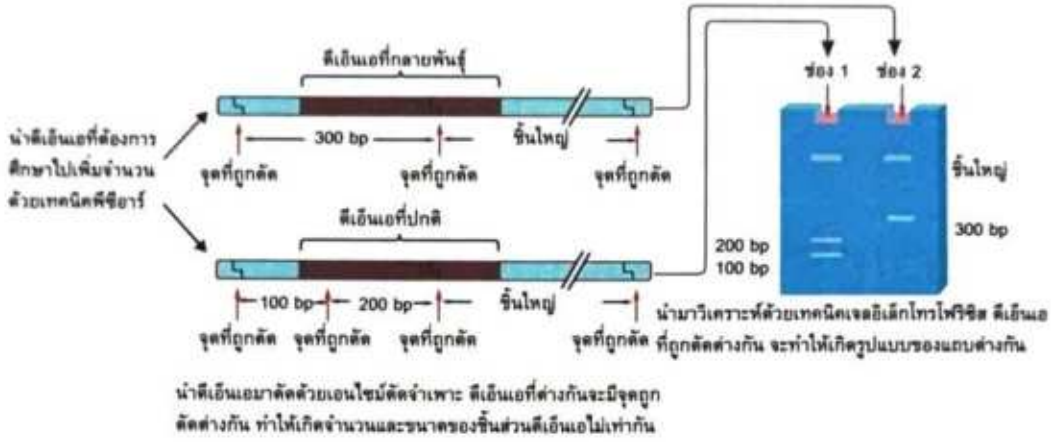
▲ (Cr. universe-review.ca)

เจลอิเล็กโทรโฟรีซิส

▲ (Cr. DLIT Resource คลังสื่อสาร)

17.6 การศึกษาความแตกต่างของจีโนม

การตรวจสอบความแตกต่างของจีโนมของสิ่งมีชีวิต อาจทำได้โดยใช้เทคนิคพีซีอาร์อาร์เอฟแอลพี (PCR-RFLP; PCR-restriction fragment length polymorphism) ได้ออกมาเป็นรูปแบบของแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน และใช้เป็นเครื่องหมายพันธุกรรม (genetic marker) ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดได้

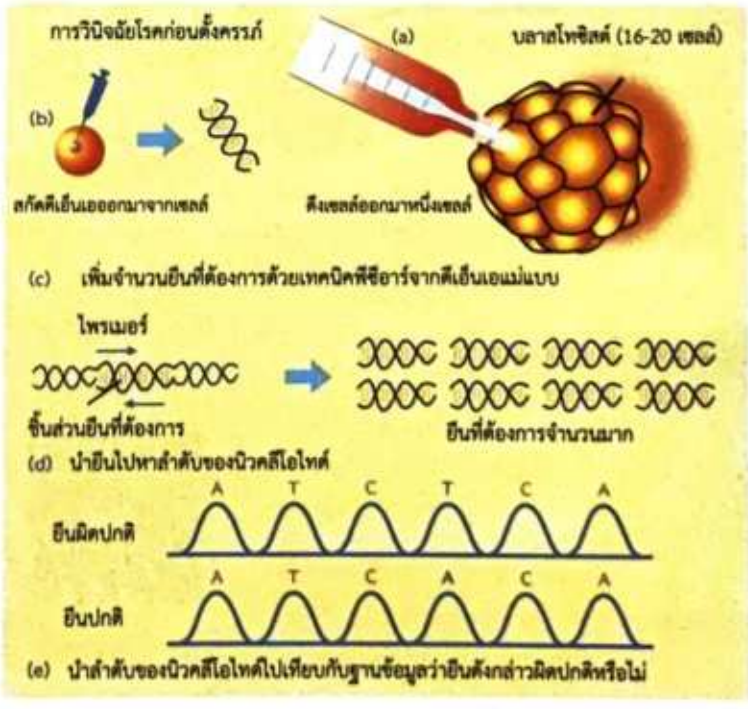


▲ (Cr. quia.com)

โครงการจีโนมมนุษย์ (Human Genome Project) เป็นโครงการนานาชาติในการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนมมนุษย์ทั้งหมด ซึ่งครอบคลุมทั้งออโทโซม 22 คู่ โครโมโซม X และโครโมโซม Y เพื่อทำแผนที่ยีน (ตำแหน่งของยีนบนโครโมโซมต่างๆ) และแผนที่เครื่องหมายพันธุกรรม (ตำแหน่งของดีเอ็นเอที่บ่งบอกลักษณะบางอย่างของมนุษย์ หรือระบุความเป็นปัจเจกบุคคลได้) เสร็จสิ้นเมื่อเดือนเมษายน ค.ศ. 2003

17.7 การประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์

การวินิจฉัยโรค (genetic testing) เช่น การวินิจฉัยโรคของตัวอ่อนก่อนการตั้งครรภ์ วินิจฉัยทารกก่อนคลอด วิเคราะห์การติดเชื้อไวรัสต่างๆ วินิจฉัยโรคทางพันธุกรรมก่อนแสดงอาการของโรคหรือพาหะ

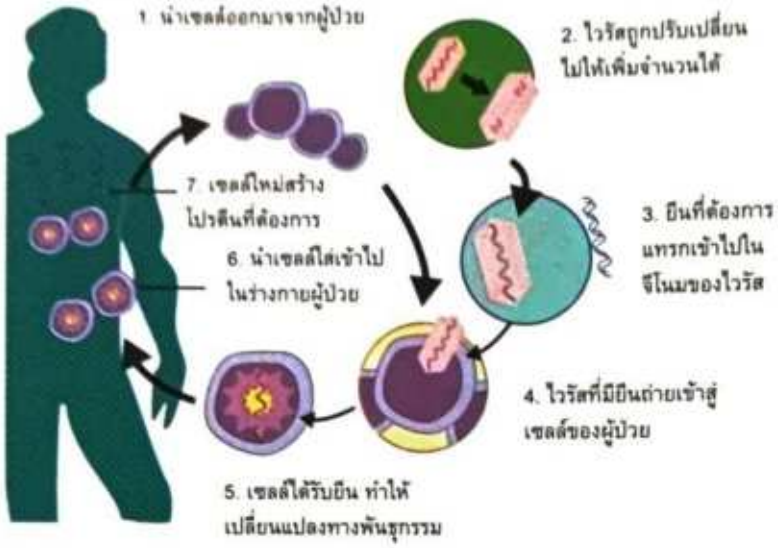


ตัวอย่างการวินิจฉัยโรคก่อนการตั้งครรภ์

▲ (Cr. ubc.ca)

การบำบัดด้วยยีน (gene therapy)

การบำบัดด้วยยีน (gene therapy) คือ การใช้ไวรัสที่ไม่เป็นอันตรายเป็นตัวนำยีนที่ต้องการถ่ายเข้าสู่เซลล์คน โดยยีนดังกล่าวจะถูกแทรกในจีโนมของมนุษย์ เพื่อทดแทนยีนที่ผิดปกติและทำงานสร้างโปรตีนที่ร่างกายขาด หรือทำงานแก้ไขความบกพร่องของเซลล์

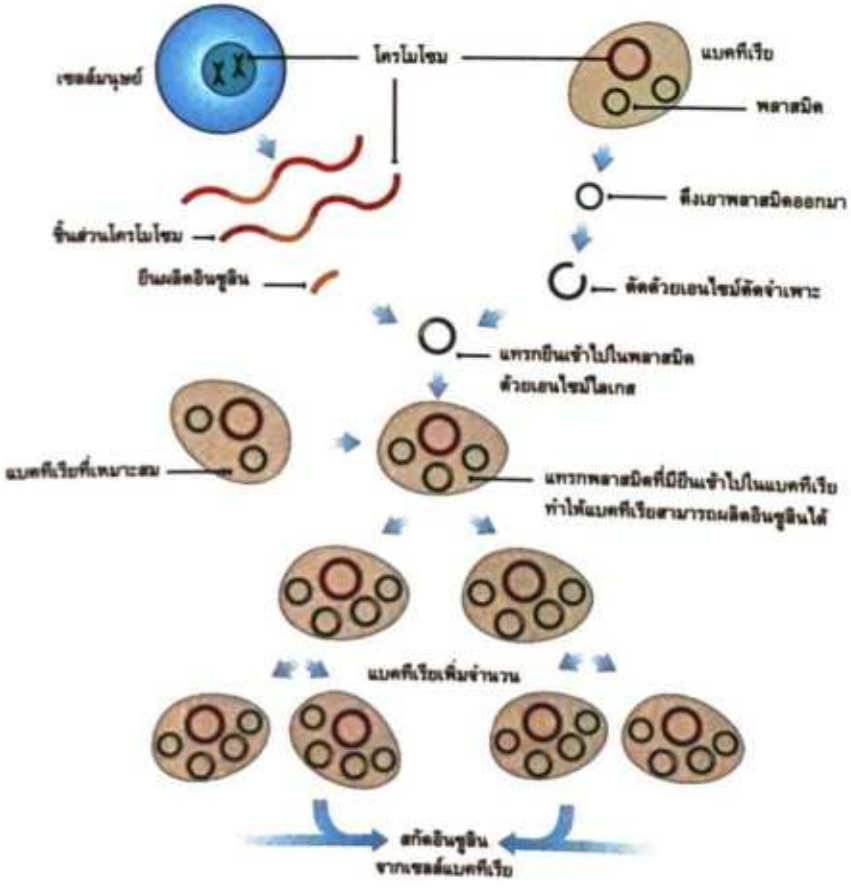


▲ (Cr. bioninja.com)

- ต้องมีการตรวจสอบอย่างเคร่งครัดทุกขั้นตอนเพื่อคำนึงความปลอดภัย
- ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เพราะยังมีปัญหาด้านเทคนิคการใช้ เช่น การควบคุมกิจกรรมของยีนในเซลล์ใหม่ ปัญหาเรื่องมิวเทชันของยีน ไวรัสบรรจุยีนได้จำกัด
- เกิดข้อโต้แย้งเชิงจริยธรรม เช่น การกำจัดข้อบกพร่องตั้งแต่เซลล์ไข่หรืออสุจิ

การสร้างผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรม

การตัดต่อพันธุกรรมของแบคทีเรียให้ผลิตโปรตีนที่ต้องการ เช่น ฮอร์โมนอินซูลินเพื่อรักษาโรคเบาหวาน โกรทฮอร์โมนเพื่อรักษาสภาวะแคระแกร็น ผลิตยายับยั้ง HIV ผลิตวัคซีน

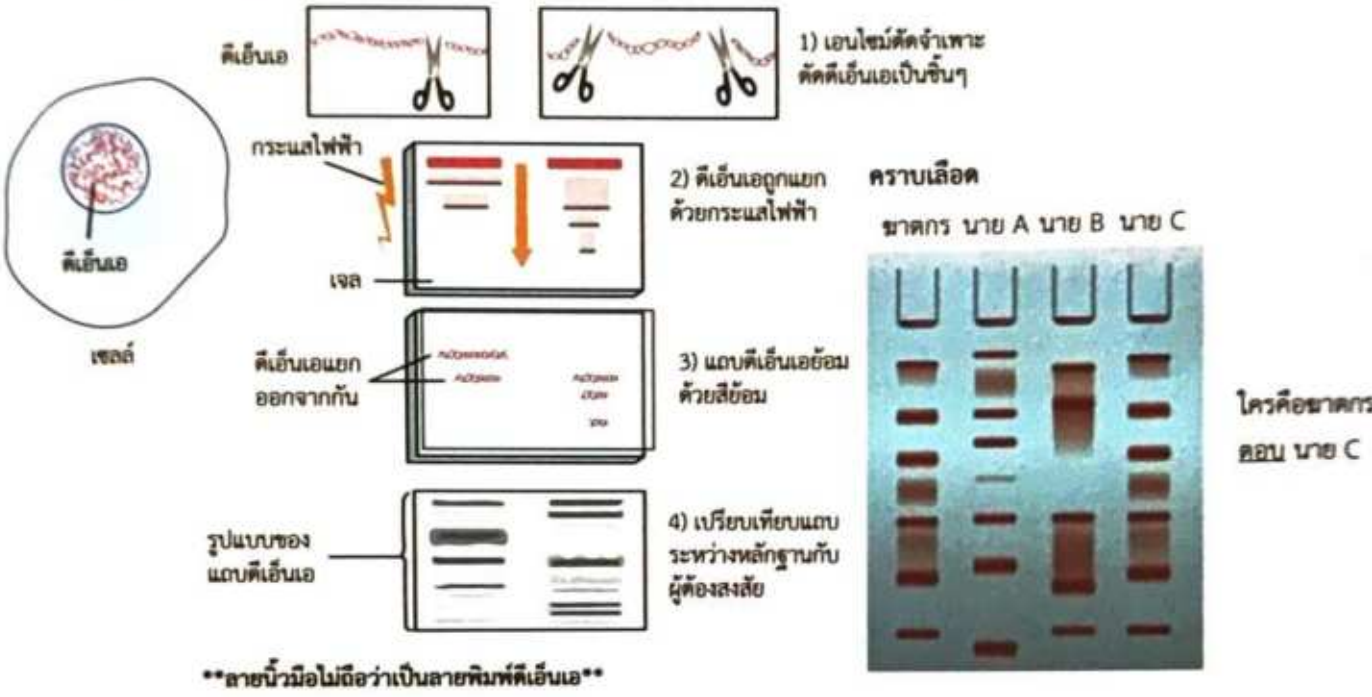


1. ตัดต่อยีนผลิตอินซูลินเข้าด้วยกันกับพลาสมิดของแบคทีเรีย เกิดเป็นรีคอมบิแนนท์พลาสมิด (recombinant plasmid)
2. แทรกรีคอมบิแนนท์พลาสมิดที่มียีนผลิตอินซูลินเข้าไปในแบคทีเรียที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการแสดงออกของยีนและสร้างอินซูลิน
3. เลี้ยงเซลล์แบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อเพิ่มจำนวนแบคทีเรียและนำไปสกัดอินซูลินออกมาจากเซลล์

17.8 การประยุกต์ใช้ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์

ลายพิมพ์ดีเอ็นเอ (DNA fingerprint) คือ รูปแบบของแถบดีเอ็นเอจากเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟริซิสที่เป็นเอกลักษณ์ของแต่ละบุคคล นำมาใช้แยกความแตกต่างระหว่างบุคคลได้ การประยุกต์ใช้ ได้แก่

- การพิสูจน์บุคคล (สืบจากศพ)
- การพิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสายเลือด (พ่อ แม่ ลูก)
- การหาผู้กระทำผิดในคดีความต่างๆ โดยใช้หลักฐานจากคราบเลือด อสุจิ เศษผิวหนัง และโคนผมจากที่เกิดเหตุ
- การพิสูจน์ชาติพันธุ์ชาวเขาและชนกลุ่มน้อย



▲ (Cr. webmd.com และ berkeley.edu)

17.9 การประยุกต์ใช้ทางด้านเกษตรกรรม

สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (genetically modified organisms; GMOs) คือ สิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์และจุลินทรีย์ที่ผ่านการดัดแต่งพันธุกรรมเพื่อให้มียีนที่แสดงลักษณะที่ต้องการ โดยยีนดังกล่าวไม่เคยมีอยู่เดิมในสิ่งมีชีวิตนั้นๆ

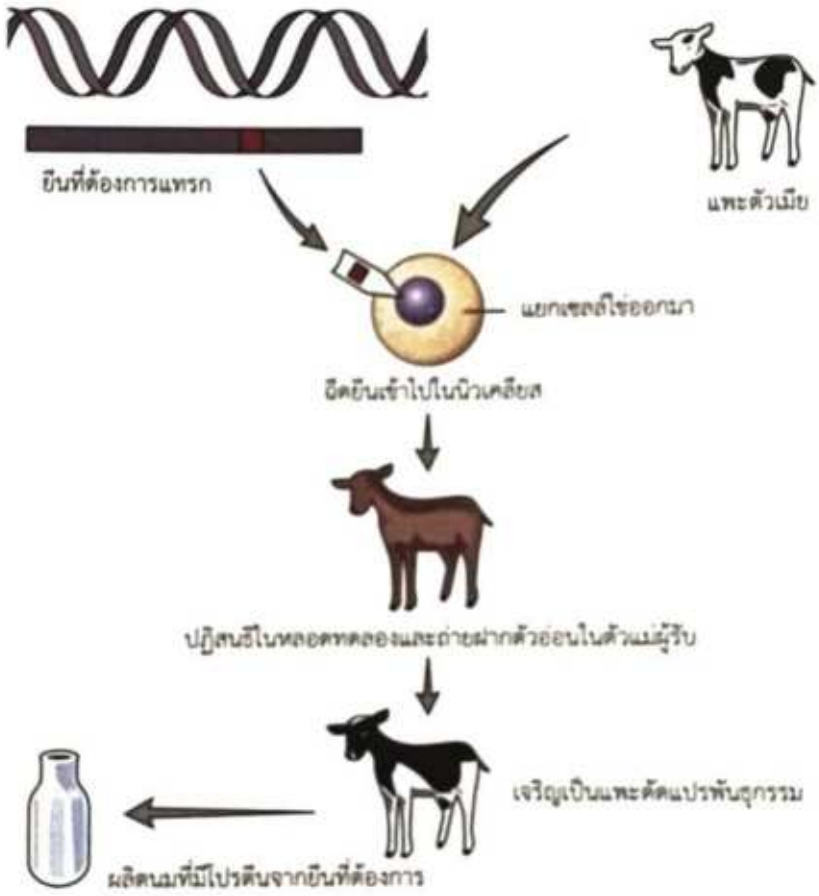
พืชดัดแปรพันธุกรรม (transgenic plant) เช่น พืชมียีนต้านทานโรคและแมลง ต้านทานสารฆ่าแมลง มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น

▲ (Cr. dna2life.com)

ตัวอย่าง พืชดัดแปรพันธุกรรม ได้แก่

1. พืชบีที (BT) มียีนที่สร้างสารพิษจากแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายตัวอ่อนแมลงบางชนิด ทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้นและลดการใช้สารเคมี ดัดแปรในฝ้าย ข้าวโพด มันฝรั่ง ยาสูบ
2. มะละกอต้านทานโรคใบด่างจุดวงแหวน โดยตัดต่อยีนที่สร้างโปรตีนเปลือกไวรัสเข้าไปในเซลล์มะละกอ
3. ข้าวสีทอง เป็นข้าวที่มียีนสร้างวิตามินเอในเมล็ดได้ มีส่วนช่วยลดภาวะการขาดวิตามินเอ
4. มะเขือเทศสุกช้าลง เพราะตัดต่อยีนที่ยับยั้งการสร้างเอนไซม์สังเคราะห์ฮอร์โมนเอทิลีน
5. พืชทนแล้ง ทนเค็ม ทนน้ำท่วม พัฒนาพืชให้มีสีสันแตกต่างไปจากเดิม

สัตว์ดัดแปรพันธุกรรม (transgenic animal) เช่น หมูมีไขมันต่ำ วัวให้นมเร็วขึ้นและมากขึ้น แกะสร้างโปรตีนใช้ในการรักษาโรคของมนุษย์ สัตว์เรืองแสง



▲ (Cr. mhhe.com)

Quiz Yourself

2) เทคนิคการสร้างดีเอ็นเอสายผสมให้ได้สิ่งมีชีวิตที่ต้องการ ภายหลังการใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะในการตัดสายดีเอ็นเอแล้ว สามารถใช้เอนไซม์ใดเร่งปฏิกิริยาการสร้างพันธะโควาเลนซ์ระหว่างดีเอ็นเอ 2 โมเลกุลให้เชื่อมต่อกันได้

1. ดีเอ็นเอไลเกส
2. ดีเอ็นเอโพรเมส
3. ดีเอ็นเอเฮลิเคส
4. ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส

3) ข้อใดที่ไม่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการตัดต่อสารพันธุกรรมเพื่อสร้างสิ่งมีชีวิตแปลงพันธุ์

1. Reverse transcriptase
2. DNA template
3. DNA ligase
4. Restriction endonuclease

17.10 ชีวสารสนเทศ

ชีวสารสนเทศ (bioinformatics) คือ การผสมผสานความรู้จากชีววิทยาโมเลกุล พันธุศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และวิทยาการคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการจัดเก็บ ประมวลผล และสืบค้นข้อมูลทางชีววิทยาอย่างเป็นระบบ เช่น ข้อมูลรหัสทางพันธุกรรม ลำดับรหัสของโปรตีน และระดับการแสดงออกของยีน ตลอดจนโครงสร้างและหน้าที่ของโปรตีน

17.11 ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอและมุมมองทางสังคมและจริยธรรม

สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม GMOs

- ประเด็นถกเถียง
  - ยีนจากพืช GMOs อาจปนเปื้อนสู่สิ่งมีชีวิตอื่นในสิ่งแวดล้อม
  - อาจเกิดจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่ที่ดื้อยาปฏิชีวนะ เพราะได้รับยีนต้านทานยาจาก GMOs
  - ยีนแปลกปลอมใน GMOs อาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค
- แนวทางการสร้างความเข้าใจ
  - ควบคุมและมีระบบการกำจัดสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมไม่ให้ออกจากพื้นที่วิจัย
  - ผู้วิจัยมีจรรยาบรรณในการปฏิบัติการ ให้ความรู้และชี้แจงให้สังคมรับทราบข้อมูลที่ถูกต้อง
  - หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น BIOTEC ควบคุมกำกับดูแลงานวิจัยด้านนี้
  - มีการติดฉลากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและระบุว่าทำมาจากพืช GMOs

การใช้ข้อมูลจากจีโนมมนุษย์

- ผลกระทบ
  - การแพทย์ : การบำบัดด้วยยีนและการผลิตยารักษาโรคชนิดใหม่
  - เศรษฐกิจ : บริษัทยาต่างชาติเข้าถึงข้อมูลได้ดีกว่าและมีเทคโนโลยีในการผลิตยาสูงกว่า ทำให้ได้เปรียบทางด้านการแข่งขัน
  - สังคม : การตรวจสุขภาพโดยบริษัทประกันทำได้ง่ายและกีดกันผู้ป่วยจากการเข้าถึงสวัสดิการ เกิดความเหลื่อมล้ำ

- แนวทางการสร้างความเข้าใจ
  - สร้างระบบการจัดการข้อมูลและการนำไปใช้อย่างยุติธรรมและมีประสิทธิภาพ
  - ผู้วิจัยมีจรรยาบรรณในการปฏิบัติการ ให้ความรู้และชี้แจงให้สังคมรับทราบข้อมูลที่ถูกต้อง
  - การตรวจสุขภาพโดยอิงจากข้อมูลจีโนมมนุษย์ต้องได้รับการยินยอม
  - สร้างความรู้ ความเข้าใจแก่สาธารณะและสร้างบรรทัดฐานใหม่ทางสังคมในการเข้าใช้ข้อมูล

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 3.** กระบวนการพันธุวิศวกรรม คือ การดัดแปรให้ได้สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะตามต้องการโดยอาศัยเทคนิคการสร้างดีเอ็นเอสายผสมระหว่างดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิต 2 ชนิด ในตัวอย่างคือการสร้างดีเอ็นเอสายผสมระหว่างยีนที่สร้าง growth hormone ของมนุษย์เข้ากับ DNA ของวัว ข้อที่เหลือไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างดีเอ็นเอสายผสม

2) **ตอบ 1.** เอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกส ทำหน้าที่สร้างพันธะโควาเลนซ์ระหว่างดีเอ็นเอ 2 โมเลกุลให้เชื่อมต่อกัน
   ข้อ 2. เอนไซม์ดีเอ็นเอไพรเมส ทำหน้าที่สร้างไพรเมอร์เข้าจับกับส่วนของดีเอ็นเอในกระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ
   ข้อ 3. เอนไซม์ดีเอ็นเอเฮลิเคส ทำหน้าที่สลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างไนโตรจีนัสเบสเพื่อคลายเกลียวและแยกดีเอ็นเอสายคู่ให้ออกจากกัน
   ข้อ 4. เอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส ทำหน้าที่สังเคราะห์สายดีเอ็นเอ

3) **ตอบ 1.** เอนไซม์ reverse transcriptase ทำหน้าที่สังเคราะห์สายดีเอ็นเอคู่สมจากโมเลกุลอาร์เอ็นเอ พบในไวรัสที่มีอาร์เอ็นเอเป็นสารพันธุกรรม เช่น HIV ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการตัดต่อสารพันธุกรรม
   ข้อ 2. DNA template หรือแม่พิมพ์ดีเอ็นเอ เป็นดีเอ็นเอต้นแบบที่จะนำมาตัดต่อ
   ข้อ 3. DNA ligase คือ เอนไซม์ทำหน้าที่สร้างพันธะโควาเลนซ์ระหว่างดีเอ็นเอ 2 โมเลกุลให้เชื่อมต่อกัน
   ข้อ 4. restriction endonuclease หรือเอนไซม์ตัดจำเพาะ ใช้ในการตัดสาย DNA ตรงตำแหน่งที่ต้องการ

บทที่ 18

วิวัฒนาการ

18.1 หลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

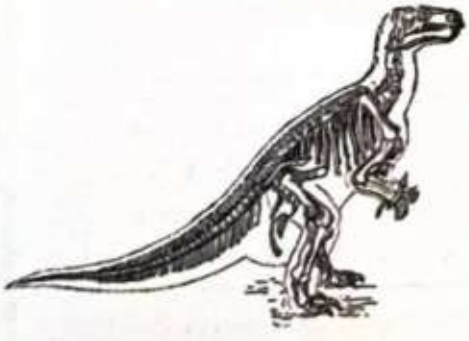
วิวัฒนาการ (evolution) หมายถึง **การเปลี่ยนแปลงลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เปลี่ยนไปจากบรรพบุรุษ** (ancestor) และถ่ายทอดลักษณะไปยังรุ่นต่อไปได้ โดยลูกหลานที่เปลี่ยนไปถูกคัดเลือกให้มีชีวิตรอดในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันเป็นเวลานาน

หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต (fossil evidences)

ซากดึกดำบรรพ์ (fossil) คือ ซากหรือร่องรอยของสิ่งมีชีวิตดึกดำบรรพ์ที่ถูกแปรสภาพและถูกเก็บรักษาไว้ในชั้นหิน

ตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์

- ซากดึกดำบรรพ์สัตว์ แบ่งเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และสัตว์มีกระดูกสันหลัง



โครงกระดูกไดโนเสาร์

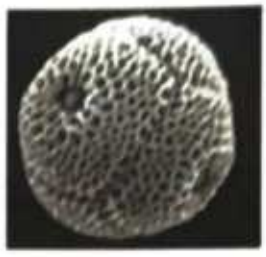
ไทรโลไบต์ (trilobite) คือ สัตว์ขาข้อดึกดำบรรพ์

แอมโมไนต์ (ammonite) คือ หอยดึกดำบรรพ์

- ซากดึกดำบรรพ์พืช เช่น ไม้กลายเป็นหิน รอยพิมพ์ใบไม้ ดอกไม้ ผลไม้ เมล็ดบนก้อนหิน และละอองเรณู

รอยพิมพ์ใบเฟิร์น

ไม้กลายเป็นหิน (petrified wood)


ละอองเรณู

▲ (Cr. nzetc.victoria.ac.nz)

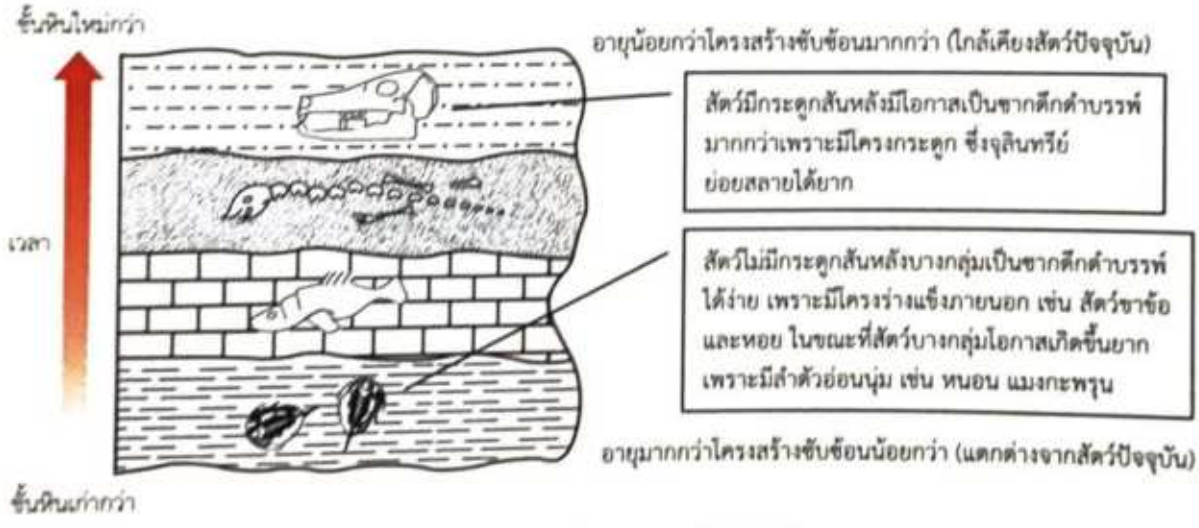
- ซากดึกดำบรรพ์ร่องรอย เกิดจากการกระทำของสิ่งมีชีวิต เช่น รอยเท้า รูที่อยู่อาศัย รอยขุดคุ้ย มูล
- อำพัน (amber) เป็นยางไม้ที่แข็งตัวเป็นก้อนมีสีเหลืองใส มักมีซากสัตว์ดึกดำบรรพ์อยู่ภายใน เช่น ซากแมลงในอำพัน
- ซากดึกดำบรรพ์แช่แข็ง ยังคงมีเนื้อเยื่อโครงสร้างร่างกายที่สมบูรณ์ เช่น ซากลูกช้างแมมมอธที่ถูกแช่แข็ง สามารถใช้ศึกษาทาง DNA ได้
- ซากดึกดำบรรพ์ที่ยังมีชีวิต (living fossil) คือ สิ่งมีชีวิตในปัจจุบันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตที่พบจากซากดึกดำบรรพ์ในอดีต

ปลาซีลาคานธ์

แมงดาทะเล

ต้นแปะก๊วย

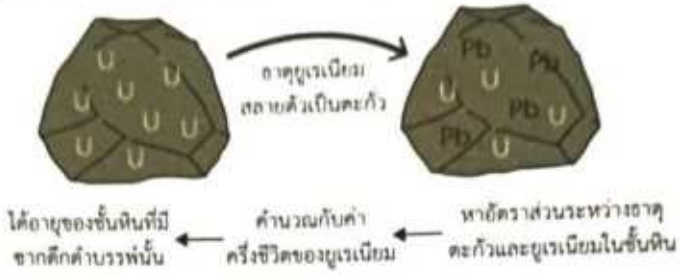
▸ ซากดึกดำบรรพ์ในหินตะกอนชั้นต่างๆ



▲ (Cr. rmascience.weebly.com)

- ตะกอนชั้นหินจะเรียงลำดับเป็นชั้นตามการทับถม โดยชั้นที่เก่ากว่าจะอยู่ด้านล่าง และใหม่กว่าจะอยู่ด้านบน ซึ่งสามารถกำหนดอายุคร่าวๆ ของซากดึกดำบรรพ์ในแต่ละชั้นหินได้

- การประมาณอายุจากตึกดำบรรพ์ นิยมใช้วิธีตรวจอายุด้วยธาตุกัมมันตภาพรังสี (radiometric dating)



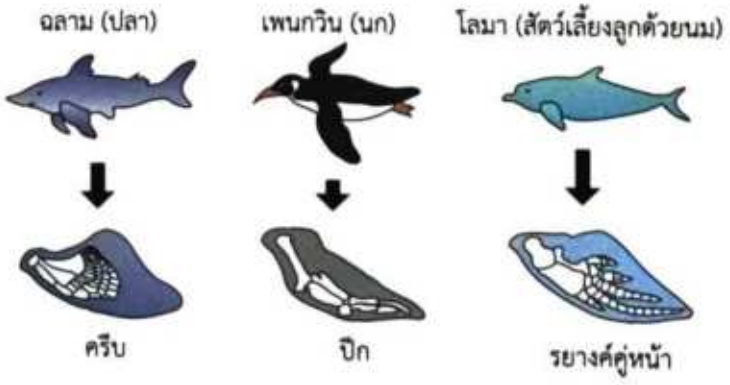
▲ (Cr. answersingenesis.org)

- ครึ่งชีวิตของธาตุ คือ ระยะเวลาที่ธาตุหนึ่งใช้ในการสลายตัวไปจนเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนตั้งต้น

หลักฐานจากกายวิภาคเปรียบเทียบ (comparative anatomy)

การศึกษากายวิภาคเปรียบเทียบ คือ การศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไรในสิ่งมีชีวิตแต่ละกลุ่ม โครงสร้างที่มีจุดกำเนิดเดียวกันแต่ทำหน้าที่ต่างกัน คือ

- โครงสร้างฮอมอโลกัส (homologous structure) เป็นหลักฐานแสดงถึงวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน เช่น จากการเปรียบเทียบรยางค์คู่หน้าของสัตว์ทั้งสี่ชนิด คือ มนุษย์ แมว วาฬ และค้างคาว พบว่ามีจำนวนกระดูกและการจัดเรียงที่คล้ายคลึงกัน ถึงแม้จะมีหน้าที่ที่ต่างกันไป แสดงให้เห็นว่าสัตว์ทั้งสี่ชนิดมีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน
- โครงสร้างอะนาโลกัส (analogous structure) โครงสร้างที่ทำหน้าที่เหมือนกัน แต่มีรูปแบบทางกายวิภาคต่างกัน (การจัดเรียง จำนวน ต้นกำเนิด) เช่น ปีกของนก แมลง และค้างคาว



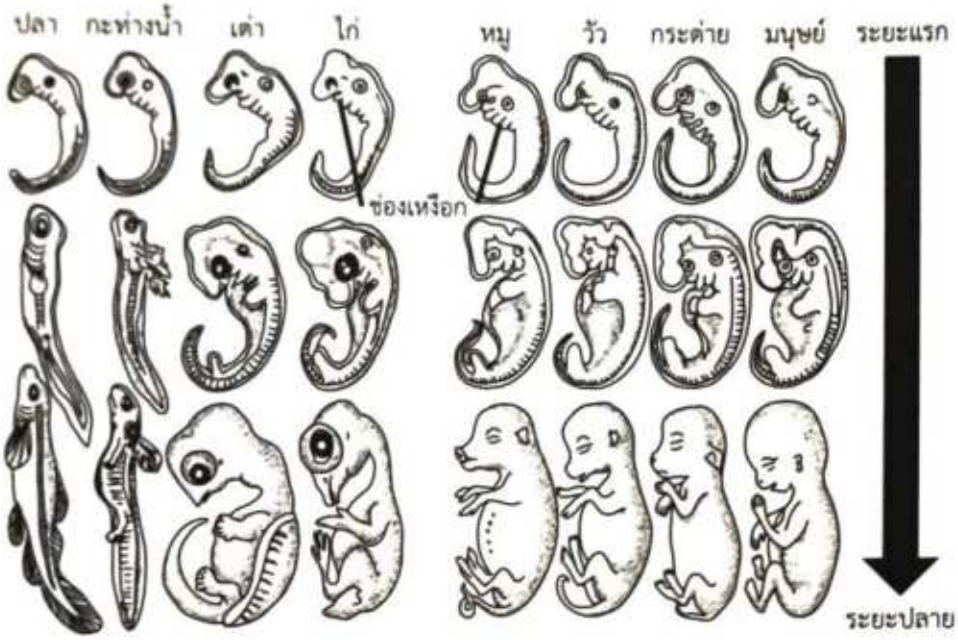
▲ (Cr. bioninja.com)

ถึงแม้ลักษณะครีบ ปีก และรยางค์คู่หน้าของสัตว์สามชนิดจะมีลักษณะเพรียวแหลม ใช้ในการว่ายน้ำเหมือนกัน แต่รูปแบบทางกายวิภาคมีความแตกต่างกัน และสัตว์ทั้งสามชนิดไม่ได้มีบรรพบุรุษร่วมกัน ดังนั้น โครงสร้างดังกล่าวเป็นโครงสร้างอะนาโลกัส และลักษณะดังกล่าวไม่ได้แสดงถึงวิวัฒนาการร่วมกัน

หลักฐานจากคัพภวิทยาเปรียบเทียบ (comparative embryology)

การศึกษาเอ็มบริโอเปรียบเทียบ คือ การเปรียบเทียบในระยะตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิตว่าโครงสร้างใดมีจุดกำเนิดร่วมกัน หากตัวอ่อนมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก แสดงว่ามีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน

ตัวอ่อนของสัตว์มีกระดูกสันหลังระยะแรกจะมี**ช่องเหงือก (pharyngeal pouch)** และหางเหมือนกัน



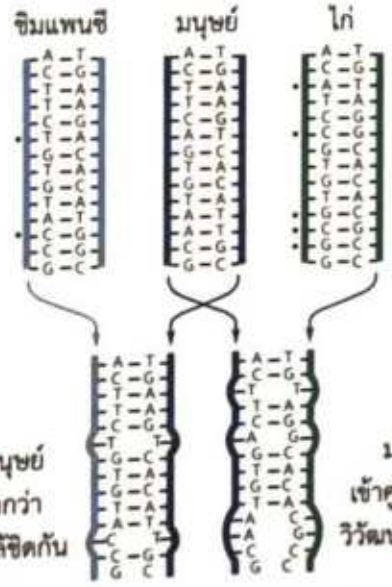
▲ (Cr. toanhoc247.com)

**ช่องเหงือกของมนุษย์บางส่วนพัฒนาเป็นท่อยูสเตเชียนทำหน้าที่ปรับความดันในหูชั้นกลาง

หลักฐานด้านชีววิทยาโมเลกุล (molecular biology)

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีกลไกการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ และโปรตีนเหมือนกัน หากเราเปรียบเทียบชีวโมเลกุลดังกล่าว เช่น เปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของดีเอ็นเอ ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีน หรือรูปร่างของโปรตีน และพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ย่อมถือว่ามีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน

อีกวิธีหนึ่งคือการทดสอบ**การเข้าคู่กันของสายดีเอ็นเอ (DNA hybridization)** หากดีเอ็นเอจากสิ่งมีชีวิตคนละชนิดเข้าคู่กันได้มากกว่า แสดงว่ามีความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการที่ใกล้ชิดมากกว่า



อัตราการเปลี่ยนแปลงลำดับกรดอะมิโนหรือนิวคลีโอไทด์ค่อนข้างคงที่ในแต่ละโมเลกุลสามารถนำมาประมาณเวลาที่สิ่งมีชีวิตวิวัฒนาการแยกออกจากกัน คือ **แนวคิดนาฬิกาโมเลกุล (molecular clock)**

การทดสอบการเข้าคู่กันของสายดีเอ็นเอ

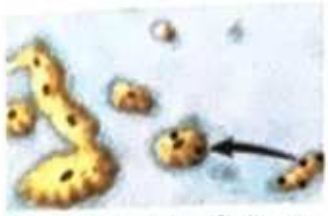
▲ (Cr. citruscollege.edu)

หลักฐานด้านชีวภูมิศาสตร์ (biogeography)

ชีวภูมิศาสตร์ คือ การศึกษาแม่แบบและประวัติการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ต่างๆ

❶ นกฟินช์อเมริกาใต้บางส่วนอพยพมาจากแผ่นดินใหญ่และมาถึงเกาะหนึ่งในหมู่เกาะกาลาปากอส

❷ นกฟินช์ขยายพันธุ์และเกิดวิวัฒนาการเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่กลายเป็นสปีชีส์ใหม่

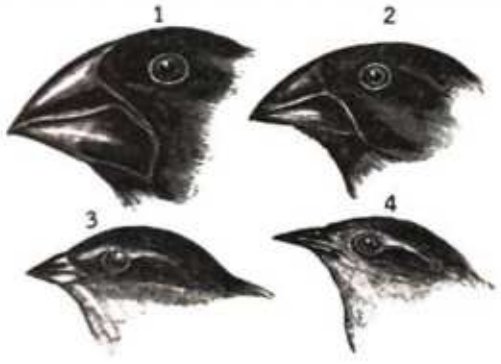


❸ นกฟินช์บางส่วนบินไปยังเกาะที่สอง

❹ นกฟินช์ขยายพันธุ์และเกิดวิวัฒนาการเข้ากับสิ่งแวดล้อมบนเกาะที่สองกลายเป็นสปีชีส์ใหม่แตกต่างจากเกาะแรก

❺ นกฟินช์บางส่วนบินกลับไปยังเกาะเดิม แต่ไม่สามารถผสมพันธุ์กับนกฟินช์บนเกาะเดิมได้

❻ กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นซ้ำเมื่อนกฟินช์อพยพไปทั่วทุกเกาะ



▲ (Cr. wikimedia.org)

จากการศึกษาชีวภูมิศาสตร์ของนกฟินช์บนหมู่เกาะกาลาปากอส พบว่า นกฟินช์บนหมู่เกาะมีความคล้ายคลึงกับนกฟินช์ในทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งเป็นไปได้ว่าบรรพบุรุษของนกฟินช์อพยพมาจากทวีปอเมริกาใต้และแพร่กระจายไปตามหมู่เกาะ และวิวัฒนาการกลายเป็นสปีชีส์ต่างๆ กัน

โดยแต่ละสปีชีส์มีลักษณะที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตในเกาะที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน

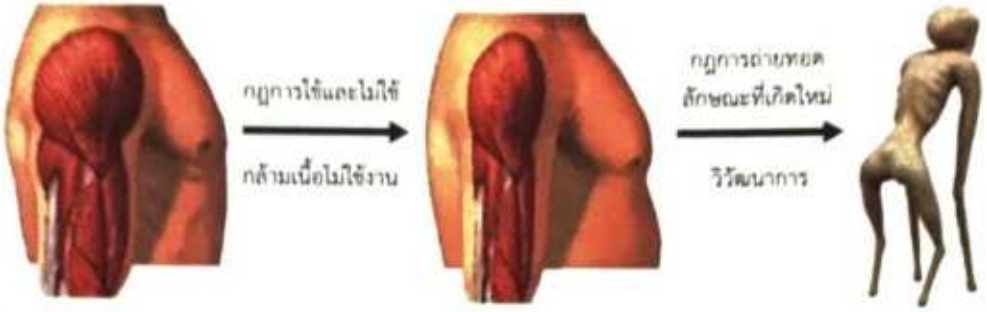
18.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของฌอง ลามาร์ก (Jean Lamarck)

1) กฎการใช้และไม่ใช้ (law of use and disuse) อวัยวะส่วนใดใช้งานมาก → ใหญ่และแข็งแรงขึ้น อวัยวะส่วนใดไม่ค่อยได้ใช้ → อ่อนแอและเสื่อมลง

2) กฎแห่งการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นมาใหม่ (law of inheritance of acquired characteristic) โครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงในรุ่นนั้นถ่ายทอดสู่รุ่นลูกได้

ตัวอย่าง ตามแนวคิดของลามาร์ก หากมนุษย์ไม่ใช้กล้ามเนื้อนานๆ กล้ามเนื้อจะอ่อนแอและฝ่อลง และลักษณะดังกล่าวจะถ่ายทอดไปยังรุ่นลูก ทำให้ลูกก็มีกล้ามเนื้อที่อ่อนแอและฝ่อลงเช่นกัน สุดท้ายมนุษย์จะวิวัฒนาการไปยังทิศทางที่กล้ามเนื้ออ่อนแอลงและใช้การไม่ได้

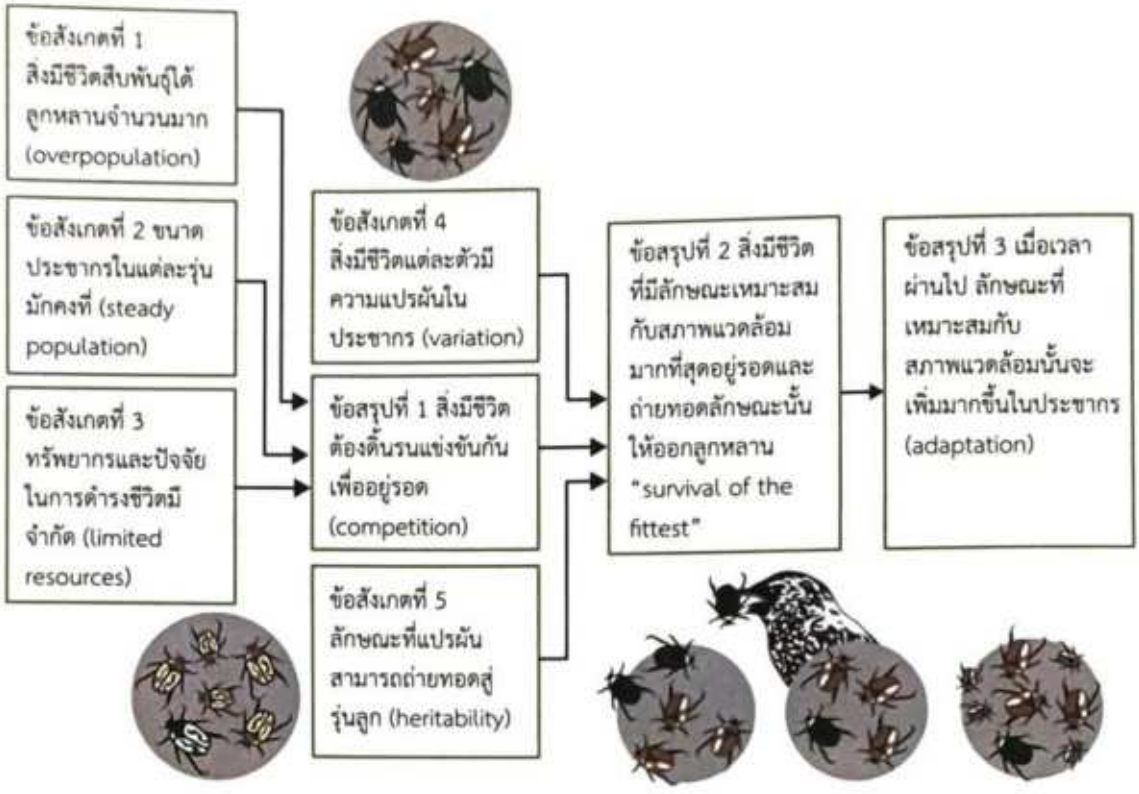


▲ (Cr. ageonicsmedical.com และ: abhominal.com)

แต่เราพบว่าแนวคิดดังกล่าวไม่มีหลักฐานสนับสนุนว่าลักษณะที่เกิดขึ้นใหม่ถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้ ดังนั้น **แนวคิดนี้จึงไม่ได้รับการยอมรับ** เช่น หากเราตัดหางสุนัขออก ลูกสุนัขก็ยังจะมีหางยาวตามเดิม

แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของชาร์ลส์ ดาร์วิน (Charles Darwin) หรือทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (theory of natural selection)

ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ สรุปได้ตามแผนภาพดังนี้



นอกจากนี้มนุษย์ยังประยุกต์หลักการคัดเลือกโดยธรรมชาติในการปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์เป็นเวลานาน เรียกว่า การคัดเลือกโดยทำขึ้น (artificial selection) เช่น การปรับปรุงคัดเลือกพันธุ์พืชวงศ์กะหล่ำ

เปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์กและดาร์วิน

ลามาร์ก

บรรพบุรุษของยีราฟมีลักษณะคอสั้น

บรรพบุรุษของยีราฟค่อยๆ ยืดคอเพื่อกินใบไม้ที่อยู่สูงขึ้นไป (กฎการใช้และไม่ใช้)

ลักษณะคอยาวถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลาน ทำให้ยีราฟในรุ่นถัดๆ มามีคอยาวมากขึ้น จนเป็นยีราฟคอยาวในปัจจุบัน (กฎการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นใหม่)

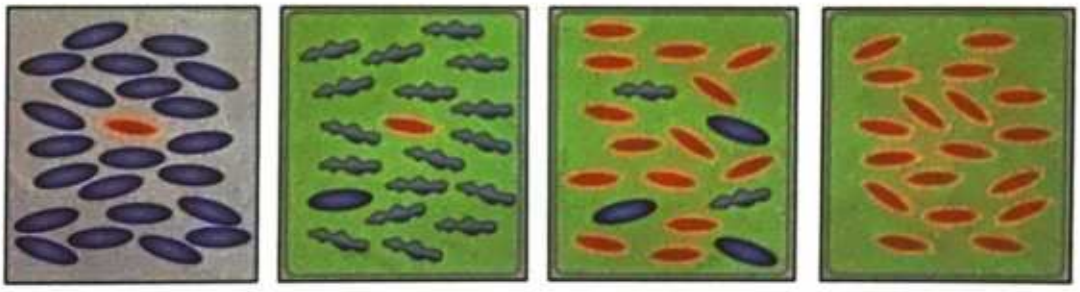
ดาร์วิน

บรรพบุรุษของยีราฟมีลักษณะทั้งคอสั้นและคอยาว (ความแปรผัน)

บรรพบุรุษของยีราฟที่มีคอยาวอยู่รอดและออกลูกหลานได้มากกว่าคอสั้น เพราะกินใบไม้ที่อยู่สูงได้ ยีราฟคอสั้นเริ่มลดจำนวนลง (การแข่งขันเพื่ออยู่รอด)

ลักษณะคอยาวได้รับการคัดเลือกโดยธรรมชาติให้คงลักษณะนี้ไว้ในประชากร และถ่ายทอดสู่รุ่นลูกหลาน ทำให้ยีราฟมีคอยาวในปัจจุบัน

- ทฤษฎีวิวัฒนาการยังสามารถอธิบายการดื้อยาของแบคทีเรียได้



แบคทีเรียมีความแปรผันมีทั้งสายพันธุ์ดื้อยาและไม่ดื้อยา

ยาปฏิชีวนะฆ่าแบคทีเรียส่วนใหญ่ ยกเว้นสายพันธุ์ดื้อยา

แบคทีเรียที่ดื้อยาเพิ่มจำนวนมาก และมีจำนวนมากกว่าสายพันธุ์ธรรมดา

สุดท้าย แบคทีเรียทั้งหมดเป็นสายพันธุ์ดื้อยา

Quiz Yourself

1) ข้อใดเป็นผลจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติที่สำคัญที่สุด
   1. สมาชิกในประชากรมีลูกจำนวนไม่เท่ากัน
   2. สมาชิกในประชากรมีโอกาสอยู่รอดได้ไม่เท่ากัน
   3. สมาชิกในประชากรบางส่วนไม่สามารถมีลูกได้
   4. สมาชิกในประชากรบางส่วนตายไปก่อนได้สืบพันธุ์

ทฤษฎีวิวัฒนาการสังเคราะห์ (synthetic theory of evolution) คือ แนวคิดการศึกษาวิวัฒนาการในยุคปัจจุบันที่ประยุกต์และบูรณาการความรู้ด้านต่างๆ เช่น บรรพชีวินวิทยา อนุกรมวิธาน ชีวภูมิศาสตร์ ชีววิทยาโมเลกุล และพันธุศาสตร์ประชากร ในการอธิบายวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

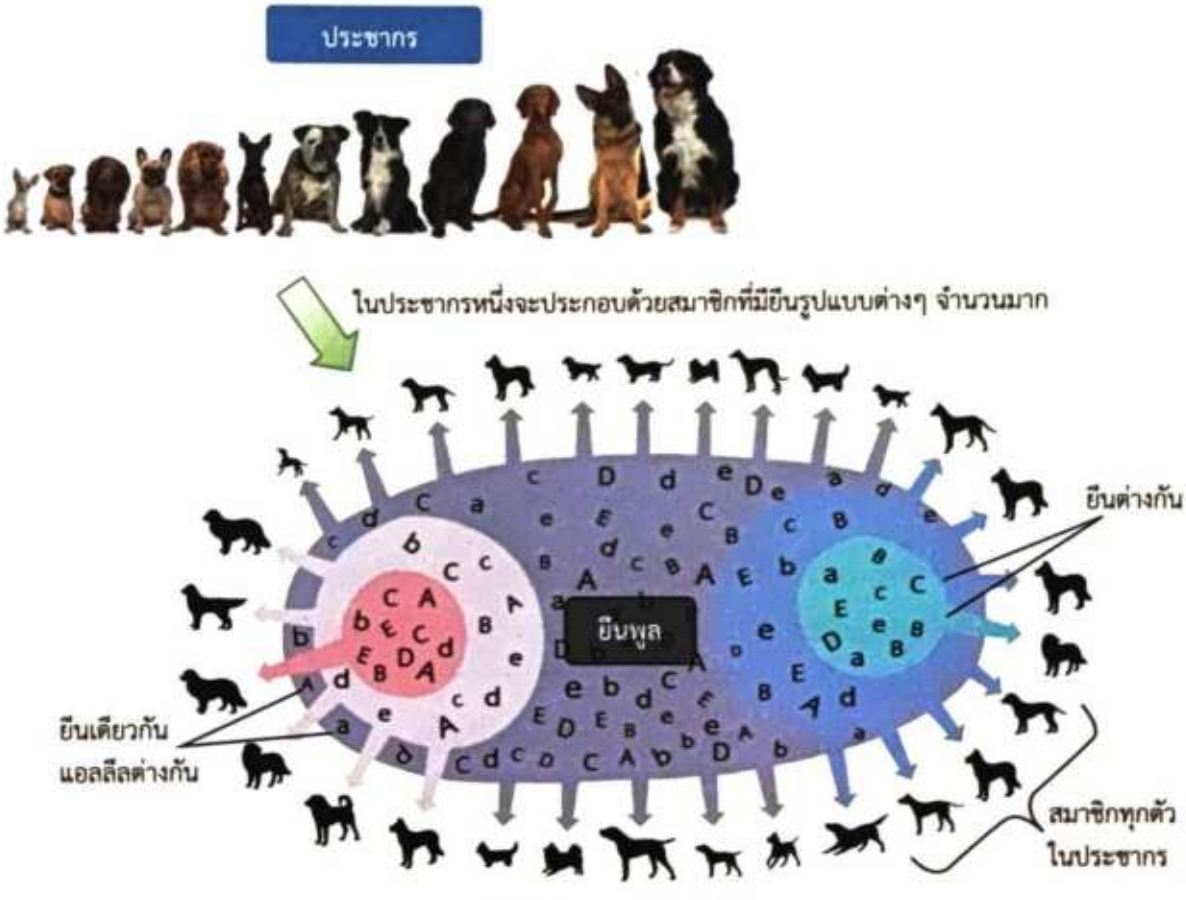
บรรพชีวินวิทยา (paleontology) คือ การศึกษาสิ่งมีชีวิตในอดีตโดยใช้หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์

อนุกรมวิธาน (taxonomy) คือ การจำแนกสิ่งมีชีวิตเป็นหมวดหมู่ การระบุชนิดสิ่งมีชีวิต และการกำหนดชื่อสิ่งมีชีวิต

18.3 พันธุศาสตร์ประชากร (population genetics)

พันธุศาสตร์ประชากร คือ การเปลี่ยนแปลงของ**ความถี่ของยีน (gene frequency) หรือความถี่ของแอลลีล (allele frequency)** ในประชากรของสิ่งมีชีวิต วิชานี้เป็นการอธิบายว่า

1) ความแปรผันทางพันธุกรรมของประชากรเกิดได้อย่างไร และ 2) ลักษณะที่เกิดขึ้นถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลานได้อย่างไร เป็นการเชื่อมโยงแนวคิดการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของเมนเดล ↔ ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน



▲ (Cr. bjupress.com)

ยีนทั้งหมดที่มีอยู่ในประชากรในช่วงเวลาหนึ่ง เรียกว่า ยีนพูล (gene pool) ประกอบจากแอลลีลทุกแบบจากทุกยีนของสมาชิกทุกตัวในประชากร

*****ประชากร คือ กลุ่มของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันที่มียีนพูลร่วมกัน*****

การหาความถี่ของจีโนไทป์และแอลลีลในประชากร

จากความรู้เดิมที่ว่าโครโมโซมมี 2 ชุด และแต่ละยีนมี 2 แอลลีล

ตัวอย่าง การหาความถี่จีโนไทป์ และความถี่แอลลีล

ให้ยีนควบคุมรูปร่างของเมล็ด มี 2 แอลลีล

1) แอลลีล R เป็นแอลลีลเด่น ควบคุมลักษณะกลม

2) แอลลีล r เป็นแอลลีลด้อย ควบคุมลักษณะขรุขระจะเกิดรูปแบบของจีโนไทป์ได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

จีโนไทป์ ฟีโนไทป์	RR กลมฮอมอไซกัส	Rr กลมเฮเทอโรไซกัส	rr ขรุขระ
จำนวนต้นทั้งหมด 100 ต้น	49 ต้น	42 ต้น	9 ต้น
ความถี่ของจีโนไทป์ (จำนวนต้นที่มีจีโนไทป์นั้น/จำนวนต้นทั้งหมด)	49/100 = 0.49 RR	42/100 = 0.42 Rr	9/100 = 0.09 rr

รูปแบบแอลลีล	R (แอลลีลเด่น เมล็ดกลม)	r (แอลลีลด้อย เมล็ดขรุขระ)
จำนวนแอลลีลของยีนลักษณะเมล็ด (แอลลีลทั้งหมด 100 × 2 = 200)	49 × 2 (จากเมล็ดกลมฮอมอไซกัส แอลลีล 2 ซ้ำ) + 42 (จากเมล็ดกลมเฮเทอโรไซกัส แอลลีล 1 ซ้ำ) = 140 R	9 × 2 (จากเมล็ดขรุขระ แอลลีล 2 ซ้ำ) + 42 (จากเมล็ดกลมเฮเทอโรไซกัส แอลลีล 1 ซ้ำ) = 60 r
ความถี่ของแอลลีล (จำนวนแอลลีลนั้น/จำนวนแอลลีลทั้งหมด)	140/200 = 0.7 R	60/200 = 0.3 r
	***รวมกันต้อง = 1 เสมอ	

ตัวอย่าง ประชากรหอยทากบกแห่งหนึ่ง มีเปลือกสีเขียวเป็นลักษณะเด่นและเปลือกสีเหลืองเป็นลักษณะด้อย หากในรุ่นหนึ่งมีเปลือกสีเขียวที่เป็นพันธุ์แท้อยู่ 500 ตัว พันทาง 300 ตัว และเปลือกสีเหลือง 200 ตัว จงหาความถี่ของแต่ละจีโนไทป์และความถี่ของแต่ละแอลลีล

ตอบ ประชากรหอยทากบกทั้งหมด = 500 + 300 + 200 = 1,000 ตัว จำนวนแอลลีลทั้งหมด = 1,000 × 2 = 2,000

กำหนดให้ G แทนแอลลีลเด่นเปลือกสีเขียว และ g แทนแอลลีลด้อยเปลือกสีเหลือง

ในประชากรมีรูปแบบจีโนไทป์ทั้งหมดดังนี้ GG (เปลือกสีเขียวพันธุ์แท้) Gg (เปลือกสีเขียวพันทาง) gg (เปลือกสีเหลือง)

ความถี่จีโนไทป์ GG = 500/1,000 = 0.5

Gg = 300/1,000 = 0.3

gg = 200/1,000 = 0.2

ความถี่แอลลีล G = [(500 × 2) + 300]/2,000 = 0.65

g = [(200 × 2) + 300]/2,000 = 0.35

ตัวอย่าง ประชากรไม้ดอกชนิดหนึ่งมีความถี่จีโนไทป์ของดอกสีแดงพันธุ์แท้ 0.64 ความถี่จีโนไทป์ของดอกสีแดงพันทาง 0.32 และความถี่ของจีโนไทป์ดอกสีขาว 0.04 จงหาความถี่ของแอลลีลดอกสีแดงและสีขาว

ตอบ กำหนดให้แอลลีล A แทน แอลลีลดอกสีแดง และ a แทนดอกสีขาว

ความถี่แอลลีลดอกสีแดง A = ความถี่จีโนไทป์ดอกสีแดงพันธุ์แท้ (AA)* + ความถี่จีโนไทป์ดอกสีแดงพันทาง (Aa)/2**

*ไม่หารสองเพราะจีโนไทป์ AA มีแต่แอลลีล A **หารสองเพราะจีโนไทป์ Aa มีแอลลีล A เพียงครึ่งเดียว

= 0.64 + (0.32/2) = 0.8

ความถี่แอลลีลดอกสีขาว a = ความถี่จีโนไทป์ดอกสีขาว (aa) + ความถี่จีโนไทป์ดอกสีแดงพันทาง (Aa)/2

= 0.04 + (0.32/2) = 0.2

กฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg Law)

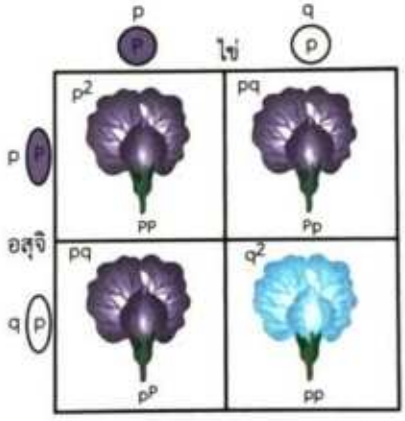
- สมการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg Equation)

$$p + q = 1$$

ความถี่ของแอลลีลเด่น P | ความถี่ของแอลลีลด้อย p

ผลรวมความถี่แอลลีลในประชากรมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ

เมื่อเซลล์สืบพันธุ์รวมกัน ความถี่ของจีโนไทป์รุ่นต่อไปจะเป็นไปตามกฎของการคูณ และกฎของเมนเดล



$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

ความถี่ของจีโนไทป์ฮอมอไซกัสดอมินนนท์ PP	ความถี่ของจีโนไทป์เฮเทอโรไซกัส Pp	ความถี่ของจีโนไทป์ฮอมอไซกัสรีเซสสีฟ pp
$= p \times p = p^2$	$= pq + pq = 2pq$	$= q \times q = q^2$

ผลรวมความถี่จีโนไทป์ในประชากรมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ

▲ (Cr. slu.edu)

ความถี่ของแอลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในยีนพูลของประชากรจะมีค่าคงที่ในทุกๆ รุ่น ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

1. ไม่มีการกลายพันธุ์หรือมิวเทชัน (mutation)
2. ไม่มีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (natural selection)
3. ไม่มีการเลือกคู่ผสมพันธุ์ นั่นคือการผสมพันธุ์เป็นไปอย่างอิสระ (random mating)
4. ประชากรมีขนาดใหญ่มาก จนไม่เห็นผลการเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจง (random genetic drift)
5. ไม่มีการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน (gene flow) ด้วยการอพยพ (migration)

หากประชากรในรุ่นถัดๆ ไปยังคงมีความถี่จีโนไทป์และความถี่แอลลีลเหมือนรุ่นพ่อแม่ ถือว่ายีนพูลในประชากรอยู่ในภาวะ**สมดุลของฮาร์ดี - ไวน์เบิร์ก** (Hardy-Weinberg Equilibrium; HWE) และจะไม่เกิดวิวัฒนาการ

Quiz Yourself

2) โรค Galactosemia ควบคุมโดยยีนด้อยใน autosome ในประชากร 2,500 คน มีอุบัติการณ์โรคนี้ 1 คน คาดว่าประชากรกลุ่มนี้จะมีคนที่เป็นพาหะของโรคนี้อยู่ประมาณกี่คน

1. 50 คน 2. 100 คน 3. 150 คน 4. 200 คน

ตัวอย่าง กำหนดให้แอลลีล A คือ แอลลีลขนสีดำลักษณะเด่น และ a คือ แอลลีลขนสีขาวลักษณะด้อย ในประชากรหนูรุ่นหนึ่งทั้งหมด 500 ตัว พบว่ามีความถี่ของแอลลีล A = 0.6 และ a = 0.4 จงหาว่าในประชากรหนูจะมีหนูขนสีดำและขนสีขาวอย่างละกี่ตัว หากประชากรอยู่ในภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

ตอบ ให้ p คือ ความถี่ของแอลลีล A = 0.6 และ q คือ ความถี่ของแอลลีล a = 0.4

จากสมการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

จะได้ ความถี่จีโนไทป์ AA (ขนสีดำพันธุ์แท้) = $p^2 = 0.6 \times 0.6 = 0.36$

ความถี่จีโนไทป์ Aa (ขนสีดำพันทาง) = $2pq = 2 \times 0.6 \times 0.4 = 0.48$

ความถี่จีโนไทป์ aa (ขนสีขาว) = $q^2 = 0.4 \times 0.4 = 0.16$

ดังนั้น จำนวนหนูสีดำ = $(0.36 + 0.48) \times 500 = 420$ ตัว

จำนวนหนูสีขาว = $0.16 \times 500 = 80$ ตัว

ตัวอย่าง ในประชากรหอยทากบกที่กล่าวมาข้างต้น หากในรุ่นหนึ่งมีเปลือกสีเขียวที่เป็นพันธุ์แท้อยู่ 500 ตัว พันทาง 300 ตัว และเปลือกสีเหลือง 200 ตัว ประชากรดังกล่าวอยู่ในภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กหรือไม่

ตอบ จากข้อที่แล้วคำนวณหาความถี่แอลลีลได้ดังนี้

ความถี่แอลลีล G = $[(500 \times 2) + 300] / 2{,}000 = 0.65$

g = $[(200 \times 2) + 300] / 2{,}000 = 0.35$

หากประชากรอยู่ในภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก จะต้องเป็นไปตามสมการ $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

นั่นคือ จำนวนเปลือกสีเขียวพันธุ์แท้ = $(0.65)^2 \times 1{,}000 = 422.5$ ตัว

จำนวนเปลือกสีเขียวพันทาง = $2(0.65)(0.35) \times 1{,}000 = 455$ ตัว

จำนวนเปลือกสีเหลือง = $(0.35)^2 \times 1{,}000 = 122.5$ ตัว

ดังนั้น ประชากรดังกล่าวไม่ได้อยู่ในภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

ตัวอย่าง ในการทดลองผสมพันธุ์แมลงหวี่พบว่าประชากรอยู่ในภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก โดย 1% ของประชากรมีลักษณะปีกสั้น (aa) ซึ่งเป็นลักษณะด้อย 1) จงหาความถี่ของแอลลีลเด่น (A) และ 2) ร้อยละของแมลงหวี่ที่มีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัส

ตอบ

จำนวนแมลงหวี่ปีกสั้นมีความถี่จีโนไทป์ 1% เท่ากับ 0.01

จากสมการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ ซึ่ง $q^2 = 0.01$

ดังนั้น ความถี่ของแอลลีลด้อย a (q) = $\sqrt{0.01} = 0.1$

และ 1) ความถี่ของแอลลีลเด่น A (p) = 1 – 0.1 = 0.9

2) ความถี่จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสจากสมการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก คือ 2pq = 2(0.9)(0.1) = 0.18 หรือคิดเป็น 18%

18.4 วิวัฒนาการระดับจุลภาค (microevolution)

ปกติตามธรรมชาติเป็นไปได้ยากที่ประชากรจะอยู่ในภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กได้ ทั้งนี้เพราะประชากรตามธรรมชาติมักไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของกฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก เช่น ประชากรอาจมีขนาดเล็ก มีการอพยพและถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนระหว่างกลุ่มประชากร เกิดมิวเทชัน มีการเลือกคู่ผสมพันธุ์กัน และเกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

จากปัจจัยดังกล่าวทำให้ความถี่จีโนไทป์และความถี่แอลลีลในรุ่นถัดๆ ไปเกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรจึงมีการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อย จนเกิด**วิวัฒนาการระดับจุลภาค (microevolution)** นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของยีนพูลในประชากรทีละเล็กทีละน้อย เป็นวิวัฒนาการระดับประชากรภายในสปีชีส์เดียวกัน

ปัจจัยที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการระดับจุลภาค

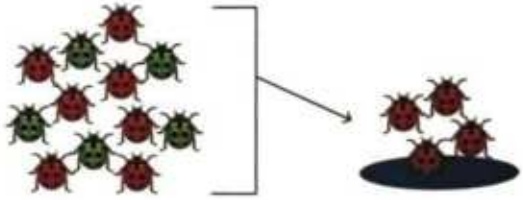
- การเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจง (random genetic drift) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลที่เกิดขึ้นตามโอกาสอย่างสุ่ม ไม่มีทางรู้ว่าแอลลีลใดจะเหลือรอดให้สืบพันธุ์ต่อหรือถูกคัดออกไปจากประชากร

▲ (Cr. nicerweb.com)

การเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจงจะมีผลรุนแรงในประชากรที่มีขนาดเล็ก สาเหตุมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอย่างกะทันหัน ภัยธรรมชาติ หรือการเปลี่ยนแปลงด้วยน้ำมือมนุษย์ ทำให้แอลลีลบางแบบสูญหายไปจากประชากรอย่างถาวร

การเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจงที่พบในธรรมชาติมี 2 สถานการณ์ ได้แก่

สถานการณ์ที่ 1 ผลกระทบจากผู้ก่อตั้ง (founder effect) เกิดจากการอพยพย้ายถิ่นของประชากรขนาดเล็กเพียงไม่กี่ตัว หรือเพศเมียเพียงตัวเดียวที่ผ่านการผสมพันธุ์แล้ว หรือเมล็ดเพียง 1 เมล็ดไปก่อตั้งประชากรใหม่ในถิ่นที่อยู่ใหม่



ประชากรบนแผ่นดินใหญ่ p (ความถี่ของสีแดง) = 0.6 q (ความถี่ของสีเขียว) = 0.4

ประชากรที่อพยพไปบนเกาะ p = 1.0 q = 0.0

▲ (Cr. beacon-center.org)

***โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรใหม่ไม่ถือเป็นตัวแทนของประชากรเดิม เพราะเป็นการอพยพอย่างสุ่ม

Quiz Yourself

3) ปัจจัยใดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรไม้ดอกแต่ละรุ่นน้อยที่สุด

1. การกลายพันธุ์
2. การเกิดโรคระบาด
3. การคัดเลือกโดยธรรมชาติ
4. การแพร่กระจายของละอองเรณู

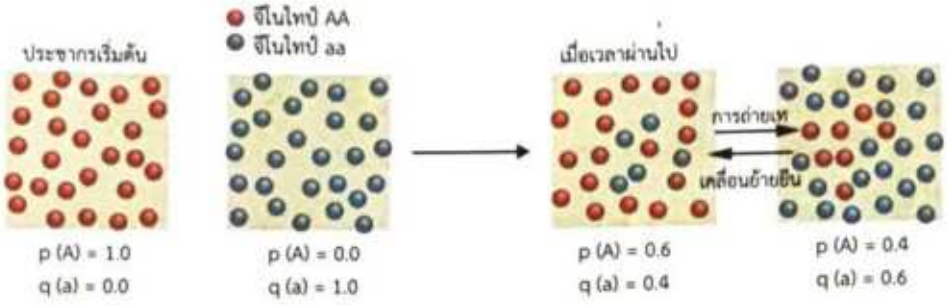
สถานการณ์ที่ 2 ปรากฏการณ์คอขวด (bottleneck effect)

▲ (Cr. kminot.com)

ภัยธรรมชาติ ขาดแคลนอาหาร โรคระบาด หรือฝีมือมนุษย์ → ประชากรขนาดใหญ่ลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว → บางแอลลีลเท่านั้นที่เหลือรอด (โดยสุ่ม) → ความถี่แอลลีลเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมาก

รูปแบบแอลลีลที่เหลืออยู่มักมีความหลากหลายทางพันธุกรรมลดลงอย่างมาก → การมีชีวิตรอด การปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ และความสำเร็จในการสืบพันธุ์ที่ลดลง

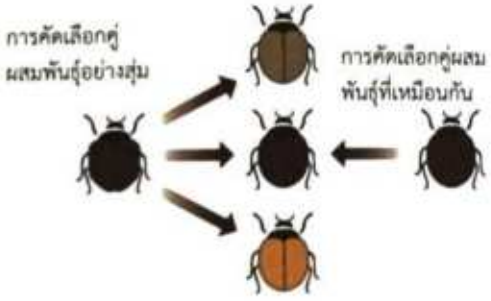
- การถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน (gene flow) หมายถึง การเคลื่อนย้ายและอพยพของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจากประชากรหนึ่งไปยังอีกประชากรหนึ่ง และเกิดการผสมพันธุ์ระหว่างกัน ทำให้แอลลีลจากประชากรหนึ่งถูกถ่ายเทไปยังอีกประชากรหนึ่งได้



เริ่มต้นแต่ละประชากรมีค่าความถี่แอลลีลเฉพาะที่แตกต่างกัน

เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการอพยพทำให้แอลลีลมีการเคลื่อนย้ายระหว่างประชากร ส่งผลให้ความถี่แอลลีลเปลี่ยนแปลง

- การคัดเลือกคู่ผสมพันธุ์แบบไม่สุ่ม (nonrandom mating) หมายถึง การที่สมาชิกทุกตัวในประชากรมีโอกาสแตกต่างกันในการสืบพันธุ์ ทำให้สมาชิกบางส่วนของประชากรไม่มีโอกาสได้สืบพันธุ์ และไม่ได้ถ่ายทอดรูปแบบของแอลลีลที่มีให้กับรุ่นลูกหลาน เช่น
  - การคัดเลือกคู่ผสมพันธุ์ที่เหมือนกัน (assortative mating) หมายถึง การผสมพันธุ์กับคู่ที่มีจีโนไทป์หรือฟีโนไทป์ที่เหมือนกัน มากกว่าไปผสมพันธุ์กับคู่ที่แตกต่างกัน



▲ (Cr. wikispaces.com)

Quiz Yourself

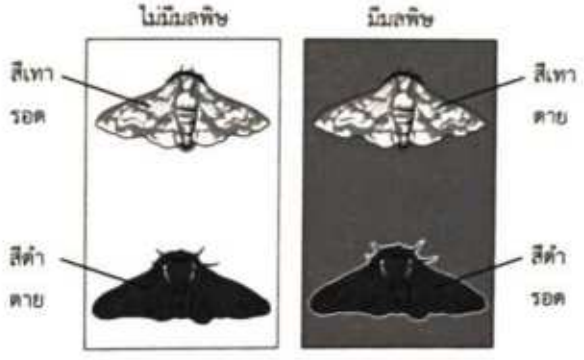
4) การคัดเลือกโดยธรรมชาติไม่ใช่สาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ในข้อใด
   1. การเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์
   2. การเกิดพอลิพลอยด์ในสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกัน
   3. การดื้อยาปฏิชีวนะของแบคทีเรียบางสายพันธุ์
   4. การดื้อสารฆ่าแมลงของแมลงศัตรูพืชศัตรูสัตว์
   5. การเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน

  - การคัดเลือกคู่ทางเพศ (mate choice) หมายถึง การเลือกคู่ผสมพันธุ์ที่แสดงลักษณะที่แข็งแรงและสุขภาพดี หรือมีลักษณะที่เหมาะสมที่สุดในการอยู่รอด เป็นการส่งเสริมให้เกิดการคัดเลือกโดยลักษณะทางเพศ (sexual selection) มักเกิดกับกรณีที่สัตว์เพศเมียคัดเลือกเพศผู้ ทำให้สัตว์เพศผู้ต้องวิวัฒนาการลักษณะที่แสดงถึงความแข็งแรง ดึงดูด หรือเหมาะสมที่สุดในการอยู่รอด เช่น แพนหางนกยูง แผงคอสิงโต เขากวาง
- มิวเทชัน (mutation) เป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับดีเอ็นเอหรือโครโมโซม เกิดขึ้นอยู่เสมอตามธรรมชาติ เป็นการสร้างรูปแบบของแอลลีลใหม่ๆ ในประชากร ส่งผลให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรม และเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีล

▲ (Cr. static.ddmcdn.com และ blackjungleterrariumsupply.com)

- การคัดเลือกโดยธรรมชาติ (natural selection) คือ กระบวนการเดียวที่เปลี่ยนความถี่แอลลีลอย่างมีทิศทาง เป็นผลต่อเนื่องมาจากความผันแปรทางพันธุกรรมที่เกิดจากมิวเทชัน ทำให้สิ่งมีชีวิตอยู่รอดและสืบพันธุ์ได้ต่างกัน

- กรณีของผีเสื้อกลางคืนในเมืองใหญ่



▲ (Cr. studylib.net)

- ในยุคสมัยที่เมืองมีมลพิษน้อย ผีเสื้อสีเทากลมกลืนกับเปลือกต้นไม้ที่มี ไลเคนขึ้นได้ดีกว่าผีเสื้อสีดำ ผีเสื้อสีดำถูกนกจับกินได้ง่าย ทำให้ผีเสื้อสีเทาถูกคัดเลือกไว้ให้มีมากในประชากร
- ในเวลาถัดมาเมืองมีมลพิษมากขึ้น ผีเสื้อสีดำกลมกลืนกับเปลือกต้นไม้ที่มีเขม่าสีดำได้ดีกว่าผีเสื้อสีเทา ทำให้ผีเสื้อสีดำถูกคัดเลือกไว้ให้มีมากในประชากรแทนผีเสื้อสีเทา แสดงให้เห็นว่าลักษณะเดิมอาจไม่เหมาะสมเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป

18.5 วิวัฒนาการระดับมหภาค (macroevolution)

วิวัฒนาการระดับมหภาค (macroevolution) หมายถึง วิวัฒนาการในระดับที่ใหญ่ขึ้นมาที่ทำให้เกิดสปีชีส์ใหม่ (speciation) ภายในช่วงเวลาทางธรณีกาลอันยาวนาน เป็นการศึกษาปัจจัยและกระบวนการที่ทำให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

▲ (Cr. medium.com)

วิวัฒนาการระดับจุลภาค	วิวัฒนาการระดับมหภาค
เกิดขึ้นในระดับประชากรภายในสิ่งมีชีวิตเดียวกัน	เกิดขึ้นระดับสปีชีส์และลำดับขั้นสูงขึ้นไป
ก่อให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรม	ก่อให้เกิดความหลากหลายของชนิดสิ่งมีชีวิต
เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลยังผสมพันธุ์กันได้	เกิดการเปลี่ยนแปลงจนไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้
เกี่ยวกับ 1) มิวเทชัน 2) การเปลี่ยนความถี่ยีนอย่างไม่เจาะจง 3) การถ่ายเทเคลื่อนย้ายของยีน 4) การคัดเลือกโดยธรรมชาติ 5) การเลือกคู่ผสมพันธุ์	เกี่ยวกับ 1) การเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ 2) การเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน 3) กลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์
เกิดขึ้นได้ในเวลาอันสั้น	ใช้เวลานาน *บางครั้งเกิดในระยะสั้น เช่น การเกิด polyploidy ในพืช

ความหมายของสปีชีส์ (species concept)

- สปีชีส์ทางด้านสัณฐานวิทยา (morphological species concept)
  - สิ่งมีชีวิตที่เป็นสปีชีส์เดียวกัน **เพราะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยา** (เช่น โครงสร้างภายนอก อวัยวะภายใน) **เหมือนกัน** หรือการทำงานของโครงสร้างเหล่านั้นเหมือนกัน เหมาะสำหรับศึกษาซากดึกดำบรรพ์

ผีเสื้อทั้ง 3 รูปเป็นคนละสปีชีส์กันทางสัณฐานวิทยา เพราะมีรูปร่างภายนอกแตกต่างกัน

▲ (Cr. palass.org)

  - ข้อดี ศึกษาได้ง่าย สามารถใช้ศึกษาสิ่งมีชีวิตที่สูญพันธุ์แล้วได้จากซากดึกดำบรรพ์

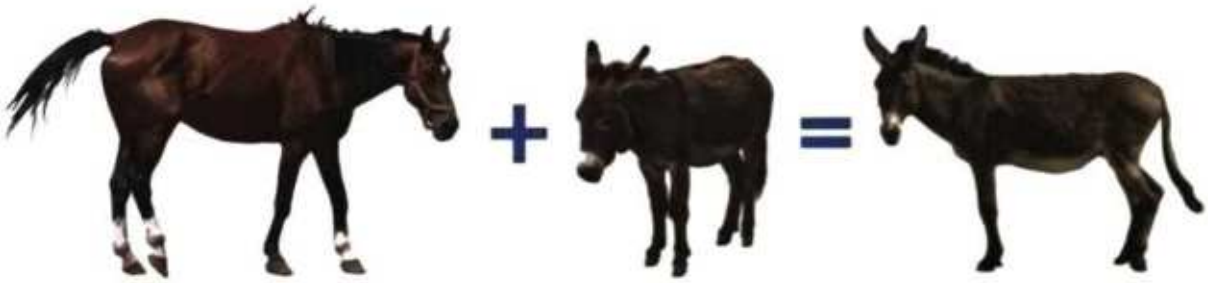
ปัญหา สิ่งมีชีวิตบางชนิดแม้จะมีรูปร่างภายนอกแตกต่างกันแต่ก็เป็นสปีชีส์เดียวกัน เพราะมีความแปรผันทางลักษณะภายนอกสูง (morphological variation) หรือแสดงภาวะที่มีหลายรูปแบบ (polymorphism) หรือสปีชีส์ซ่อนเร้น (cryptic species)

- สปีชีส์ทางด้านชีววิทยา (biological species concept)
  - สิ่งมีชีวิตที่เป็นสปีชีส์เดียวกันจะสามารถผสมพันธุ์กันได้ในธรรมชาติ และให้กำเนิดลูกที่ไม่เป็นหมัน แต่ถ้าเป็นสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันอาจให้กำเนิดลูกที่เป็นหมัน

ผีเสื้อ 2 สปีชีส์เป็นสปีชีส์เดียวกันเพราะผสมพันธุ์กันได้และให้ลูกหลานที่ไม่เป็นหมัน

▲ (Cr. mimeticbutterflies.org)

ม้ากับลาเป็นคนละสปีชีส์กันเพราะเมื่อผสมพันธุ์กันแล้วได้ล่อซึ่งเป็นหมัน โดยม้ามีโครโมโซม 64 คู่ ลามี 62 คู่ เมื่อผสมได้ล่อ ทำให้ล่อมีโครโมโซม 63 คู่ เป็นเลขคี่ทำให้สร้างเซลล์สืบพันธุ์ผิดปกติ (reproductive isolation)

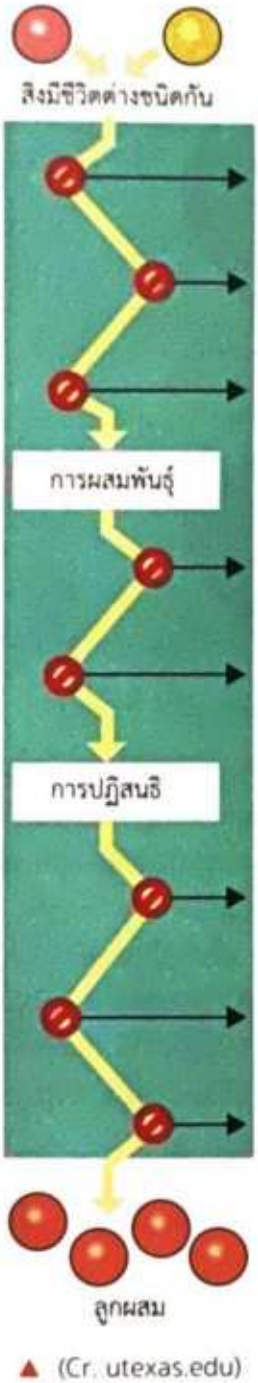


- ข้อดี อาศัยหลักการทางชีววิทยาในการรับรองความแตกต่างของสปีชีส์มากกว่าการใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเพียงอย่างเดียว

ปัญหา ใช้ไม่ได้กับการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ สิ่งมีชีวิตที่สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และการพิสูจน์ว่าสิ่งมีชีวิตสามารถผสมพันธุ์กันได้หรือไม่เป็นไปได้ยากในธรรมชาติ

แนวคิดของสปีชีส์ทางชีววิทยาอยู่บนหลักการที่ว่า การที่สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์ไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้ หรือผสมแล้วได้ลูกที่เป็นหมัน เพราะสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันเกิดวิวัฒนาการ**กลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์** (reproductive isolation)

กลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์ (reproductive isolating mechanisms)



▲ (Cr. utexas.edu)

1. กลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์**ก่อน**ระยะไซโกต (prezygotic barriers)		
ก่อนการผสมพันธุ์ (premating)		
1.1 ถิ่นที่อยู่อาศัย (habitat isolation)	อยู่ในถิ่นที่อยู่ต่างกัน ไม่มีโอกาสมาผสมพันธุ์กัน	กบป่าอาศัยในแอ่งน้ำ ส่วนกบบูฟรอกอาศัยในบึงใหญ่
1.2 พฤติกรรมการผสมพันธุ์ (behavioral isolation)	พฤติกรรมต่างกัน	การเกี้ยวพาราสี ลักษณะของรังและฟีโรโมนต่างกัน
1.3 ช่วงเวลาในการผสมพันธุ์ (temporal isolation)	ช่วงเวลาผสมพันธุ์ต่างกัน ไม่มีโอกาสมาผสมพันธุ์กัน	แมลงวันชนิดหนึ่งผสมพันธุ์ช่วงเช้า อีกชนิดช่วงบ่าย
หลังการผสมพันธุ์ (postmating)		
1.4 โครงสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ (mechanical isolation)	ขนาดและรูปร่างของอวัยวะสืบพันธุ์ต่างกันระหว่างชนิด	อวัยวะสืบพันธุ์ของผึ้งตัวผู้ชนิดหนึ่งไม่ตรงกับตัวเมียของอีกชนิด
1.5 สรีรวิทยาของเซลล์สืบพันธุ์ (gametic isolation)	สัตว์ต่างชนิดผสมพันธุ์กัน แต่เซลล์สืบพันธุ์ไม่ปฏิสนธิ	อสุจิของสัตว์ชนิดหนึ่งไม่สามารถสลายเซลล์หุ้มไข่ของสัตว์อีกชนิด
2. กลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์**หลัง**ระยะไซโกต (postzygotic barriers) เกิดขึ้นเมื่อเซลล์สืบพันธุ์ต่างชนิดปฏิสนธิกันได้เป็นไซโกตที่เป็นลูกผสม		
2.1 ลูกผสมตายก่อนถึงวัยเจริญพันธุ์ (hybrid inviability)	ไซโกตไม่สามารถเจริญเป็นตัวเต็มวัยได้	การผสมพันธุ์ของกบต่างชนิดทำให้ตัวอ่อนไม่เจริญและตาย
2.2 ลูกผสมเป็นหมัน (hybrid sterility)	ลูกผสมเติบโตแต่ไม่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่ใช้งานได้	การผสมพันธุ์ระหว่างม้ากับลา ได้ล่อซึ่งเป็นหมัน มีลูกไม่ได้
2.3 ลูกผสมล้มเหลว (hybrid breakdown)	ลูกผสมเติบโตและสืบพันธุ์ได้แต่อ่อนแอลงในรุ่นถัดไป	ลูกผสมระหว่างทานตะวันต่างชนิดให้ลูกที่อ่อนแอหรือเป็นหมัน

หากสิ่งมีชีวิตต่างชนิดสามารถผ่านกลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์ได้หมด จะให้ลูกผสม (hybrid) ที่มีชีวิตรอด (viable) และสืบพันธุ์ให้ลูกหลานต่อได้ (fertile)

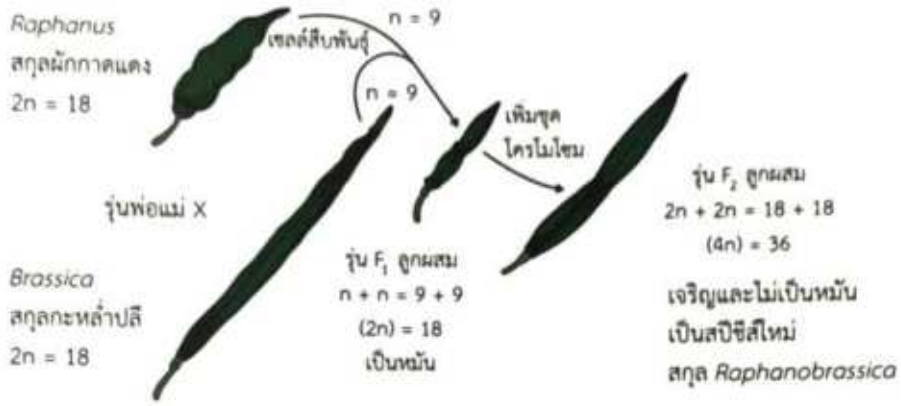
การเกิดสปีชีส์ใหม่ (speciation)

การเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ (allopatric speciation)	การเกิดสปีชีส์ใหม่ในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน (sympatric speciation)
 ▲ (Cr. kennesaw.edu)	 ▲ (Cr. kennesaw.edu)
▸ ประชากรบรรพบุรุษถูกแยกออกเป็นประชากรย่อยๆ ▸ ประชากรแต่ละฝั่งไม่มีการถ่ายเทยีนระหว่างกัน เกิดการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมอย่างสุ่ม เกิดการกลายพันธุ์ และการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ▸ หลังผ่านไปเป็นเวลานานประชากรทั้ง 2 ฝั่งแยกออกเป็นสปีชีส์ต่างกัน ▸ หากประชากร 2 ฝั่งมาพบกันอีกอาจเกิดลูกผสม ถ้ากลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์ยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์	หากประชากรย่อย 2 กลุ่มในพื้นที่เดียวกัน เกิดกลไกการแยกกันทางการสืบพันธุ์อย่างสมบูรณ์จนไม่สามารถเกิดลูกผสมได้ จึงเกิดการแยกกันเป็นสปีชีส์ต่างกัน อาจเกิดการกลายพันธุ์ การแยกทางพฤติกรรม การเพิ่มจำนวนชุดโครโมโซม ฯลฯ *** การเพิ่มจำนวนชุดของโครโมโซม หรือพอลิพลอยดี (polyploidy) ทั้ง**ออโทพอลิพลอยดี** เกิดขึ้นจากการผสมภายในตัวเองของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน และ**อัลโลพอลิพลอยดี** เกิดขึ้นจากการผสมของเซลล์สืบพันธุ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด (เชื่อมโยงกับบทที่ 16)

Quiz Yourself

5) ข้อใดให้คำจำกัดความของวิวัฒนาการถูกต้องที่สุด
   1. การเปลี่ยนแปลงฟีโนไทป์ของประชากร
   2. การเปลี่ยนแปลงจีโนไทป์ของสมาชิกในประชากร
   3. การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆ ที่พบได้ในประชากร
   4. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในยีนพูลของประชากร
   5. การเปลี่ยนแปลงของลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นช้าๆ เป็นเวลานาน

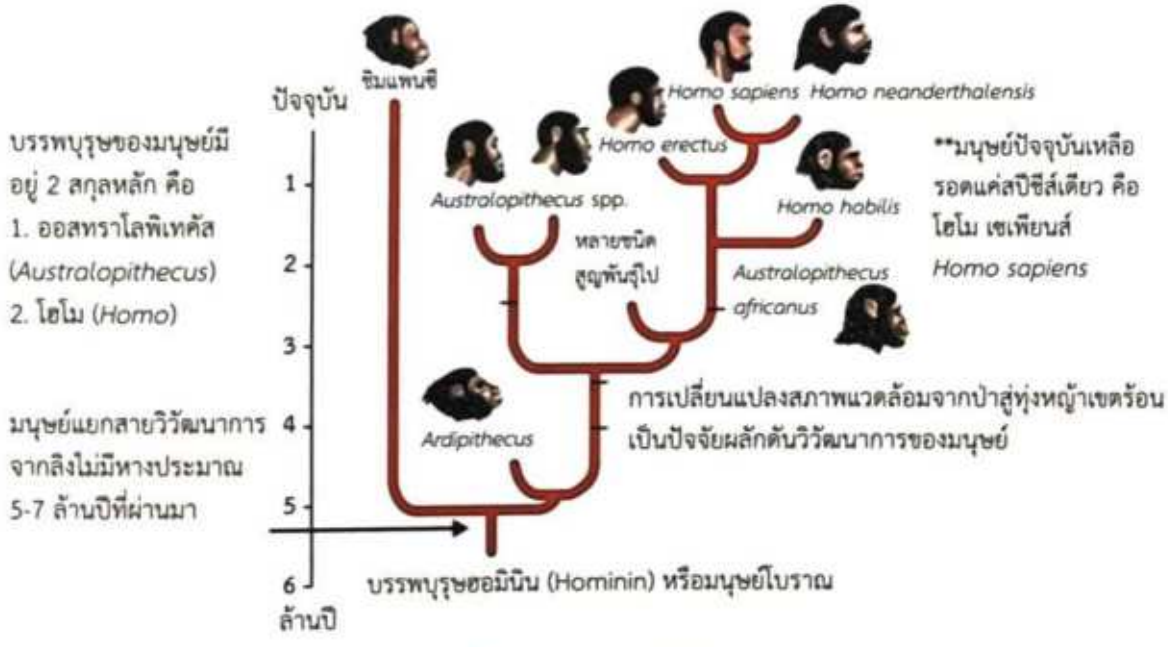
ตัวอย่าง การเกิดสปีชีส์ใหม่ของพืชด้วยอัลโลพอลิพลอยดี



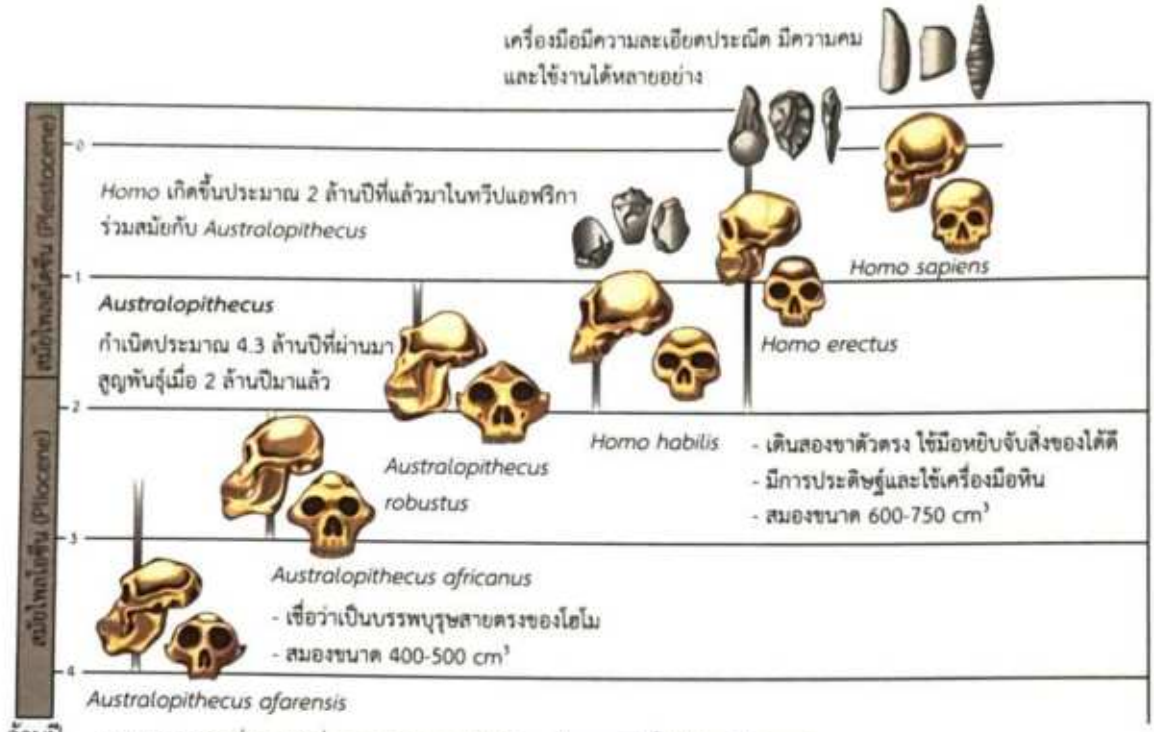
▲ (Cr. miamioh.edu)

การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมมีผลต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของมนุษย์มีผลต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรียดื้อยาปฏิชีวนะ และการดื้อสารฆ่าแมลง

18.6 วิวัฒนาการของมนุษย์ (human evolution)



▲ (Cr. tjomlid.com)



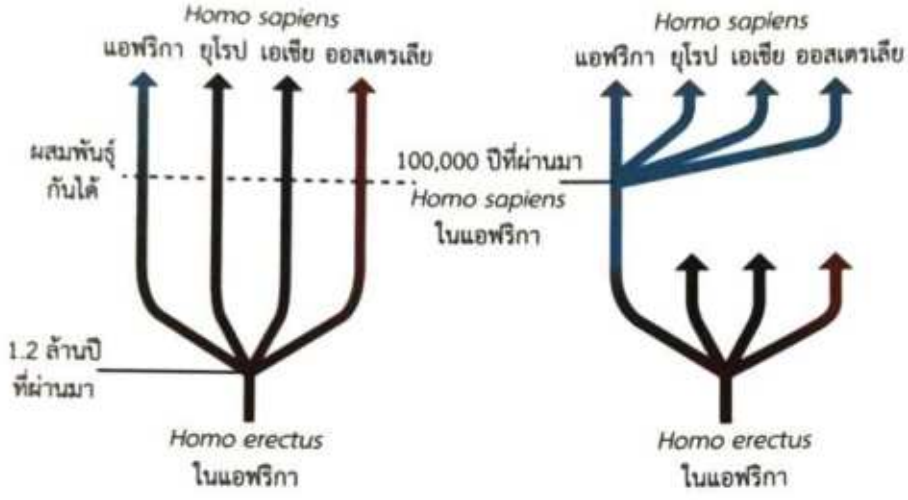
▲ (linkedin.com)

▲ (linkedin.com)

▲ (linkedin.com)

Homo erectus	Homo neanderthalensis	Homo sapiens
▸ อพยพออกจากแอฟริกา พบที่เกาะชวา เรียก **มนุษย์ชวา** และพบที่จีน เรียก **มนุษย์ปักกิ่ง** ▸ สมองขนาด 1,100 cm^3 ▸ รู้จักใช้ไฟและประดิษฐ์เครื่องมือหินที่ละเอียดขึ้น ▸ มีการพัฒนาด้านวัฒนธรรม สังคม และการใช้ภาษา	▸ บางตำราให้เป็นซับสปีชีส์ของมนุษย์ปัจจุบัน (*Homo sapiens neanderthalensis*) ▸ สมองขนาด 1,400 cm^3 ▸ กะโหลกแตกต่างจากมนุษย์ปัจจุบัน คือ มีกระดูกคิ้วยื่นออกมา จมูกกว้าง คางสั้น ▸ รวมกลุ่มเป็นสังคมล่าสัตว์ ใช้ไฟและหนังสัตว์นุ่งห่ม มีวัฒนธรรมฝังศพ ▸ กระจายตั้งแต่ยุโรป ตะวันออกกลาง แอฟริกา จีน	▸ เช่น มนุษย์โครแมนยัง (Cro-magnon) พบที่ฝรั่งเศส ▸ สมองขนาด 1,400-1,600 cm^3 ▸ ประดิษฐ์เครื่องมือหินที่ซับซ้อนและเหมาะสมกับการใช้งาน ▸ มีการล่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่จนเริ่มสูญพันธุ์ ▸ พบภาพวาดสัตว์บนผนังถ้ำ และงานแกะสลักกระดูกและเขาสัตว์

สมมติฐานของกำเนิดมนุษย์ปัจจุบันมี 2 แนวทางหลัก



▲ (Cr. miami.edu)

1. สมมติฐานพหุภูมิภาค (multiregional hypothesis)	2. สมมติฐานออกจากแอฟริกา ("out of Africa" hypothesis) หรือสมมติฐานการเข้าแทนที่ (replacement hypothesis)
มนุษย์ในปัจจุบันมีวิวัฒนาการมาจาก *Homo erectus* ที่แพร่กระจายในบริเวณต่างๆ แต่ดั้งเดิมอยู่แล้ว โดยเป็นวิวัฒนาการแบบขนานกันมาเป็นมนุษย์ปัจจุบัน	มนุษย์ในปัจจุบันทั้งโลกมีกำเนิดมาจากบรรพบุรุษเดียวกัน คือ *Homo sapiens* ที่อพยพออกจากแอฟริกาเมื่อประมาณ 100,000 ปีที่ผ่านมา
มนุษย์ปัจจุบันที่อาศัยในบริเวณต่างๆ มีลักษณะทางพันธุกรรมเหมือนกัน เพราะมีการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างกัน	เชื่อว่า *Homo sapiens* ที่เข้าไปแทนที่ ได้ทำให้มนุษย์โบราณสปีชีส์อื่น (เช่น *Homo erectus*) สูญพันธุ์ไป ***ปัจจุบันหลักฐานต่างๆ สนับสนุนสมมติฐานนี้

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 2.** การคัดเลือกโดยธรรมชาติ ทำให้สมาชิกที่มีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้เหมาะสมที่สุดมีโอกาสอยู่รอดและสืบพันธุ์ให้ลูกหลานได้มากที่สุด ส่วนสมาชิกที่ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมต้องตายไปหรือไม่สามารถสืบพันธุ์ออกลูกหลานได้

2) **ตอบ 2.** ให้จีโนไทป์ของคนที่เป็นโรค Galactosemia คือ aa (โรค Galactosemia ควบคุมโดยยีนด้อยใน autosome)

ในประชากร 2,500 คน มีคนเป็นโรค 1 คน ดังนั้น ความถี่จีโนไทป์ aa = 1/2,500 = 0.0004

ในประชากรขนาดใหญ่ ถือว่าอยู่ในภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

จากสมการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

ความถี่จีโนไทป์ aa เทียบเท่ากับ ค่า q^2 ในสมการ เมื่อ $q^2 = 0.0004$ ดังนั้น $q = 0.02$

และ $p = 1-q = 1 - 0.02 = 0.98$

หาความถี่จีโนไทป์ของพาหะ (Aa) = $2pq = 2 \times 0.02 \times 0.98 = 0.0392$

ประชาชนที่เป็นพาหะของโรค = $0.0392 \times 2,500 = 98$ หรือ ~100 คน

3) **ตอบ 1.** ในประชากรขนาดใหญ่มิวเทชันหรือการกลายพันธุ์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีลในระดับที่ต่ำมาก

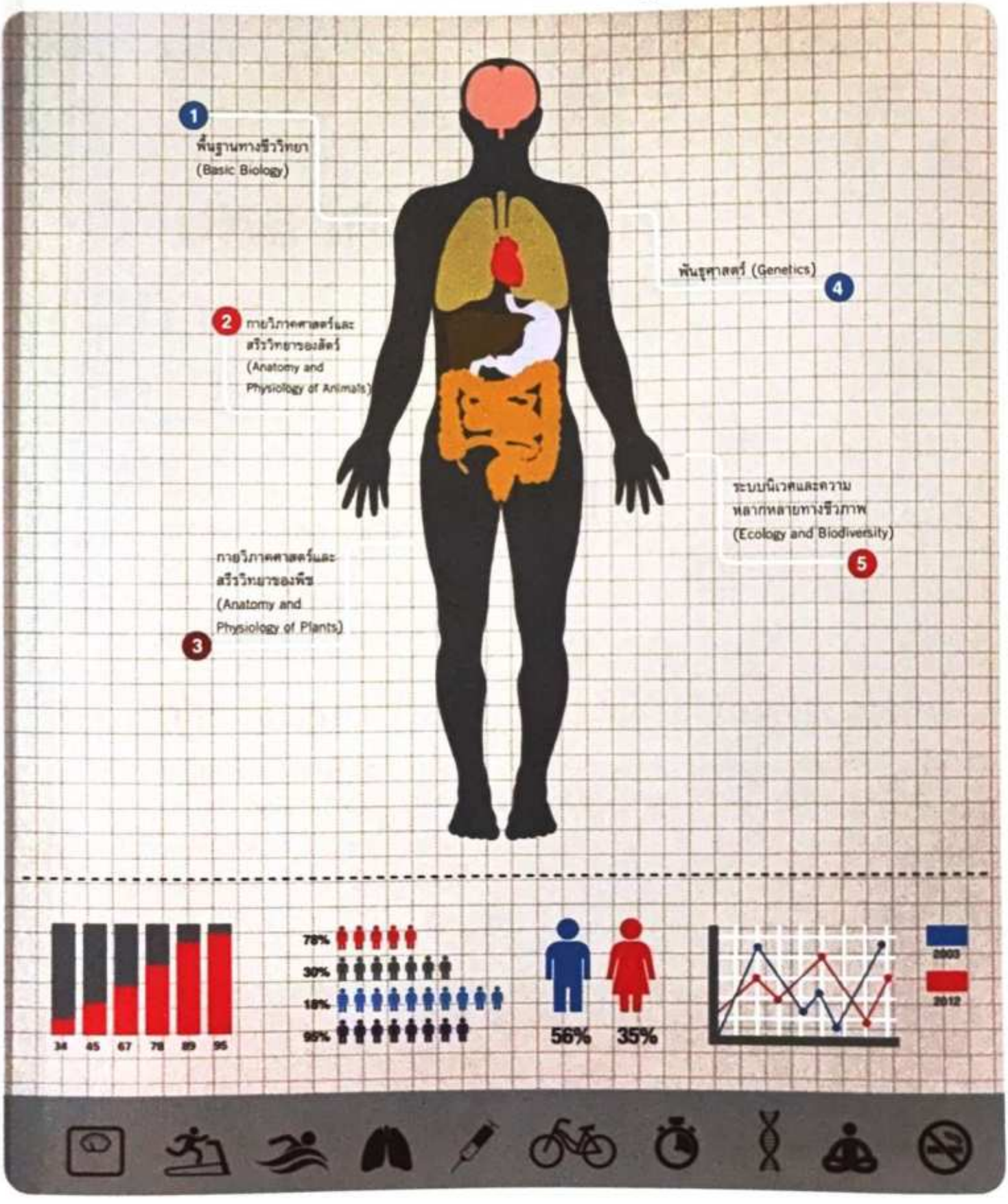
ข้อ 2. การเกิดโรคระบาด คือ รูปแบบของปรากฏการณ์คอขวดแบบหนึ่ง

ข้อ 4. การแพร่กระจายของละอองเรณูส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายถ่ายเทยีน

4) **ตอบ 2.** การเกิดพอลิพลอยด์ในสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันเกิดจากปรากฏการณ์นอนดิสจังชัน (nondisjunction) หรือการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสผิดปกติ หากสิ่งมีชีวิตที่เป็นพอลิพลอยด์มีความสามารถอยู่รอดในสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า ก็จะถูกคัดเลือกให้อยู่ไว้ในธรรมชาติ ดังนั้น การเกิดพอลิพลอยด์ในสิ่งมีชีวิตสามารถ**นำไปสู่**การคัดเลือกโดยธรรมชาติ **ไม่ใช่ผล**ที่เกิดจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

5) **ตอบ 4.** การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในยีนพูลของประชากรนำไปสู่การเกิดวิวัฒนาการระดับจุลภาค

Part 05 ระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ (Ecology and Biodiversity)



บทที่ 19

ความหลากหลายทางชีวภาพ

ความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity) ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ดังนี้

- ความหลากหลายของระบบนิเวศ (ecological diversity) กระจัดกระจายตามบริเวณต่างๆ ของโลก มีสิ่งมีชีวิตที่อาศัยไม่เหมือนกัน เพราะมีปัจจัยทางกายภาพต่างกัน
- ความหลากหลายของสปีชีส์ (species diversity) เกิดจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ หรือการคัดเลือกพันธุ์ของมนุษย์
- ความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) เป็นผลมาจากความแปรผันทางพันธุกรรม เนื่องจากมิวเทชัน และการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ

19.1 ตารางธรณีกาล (geological time scale)

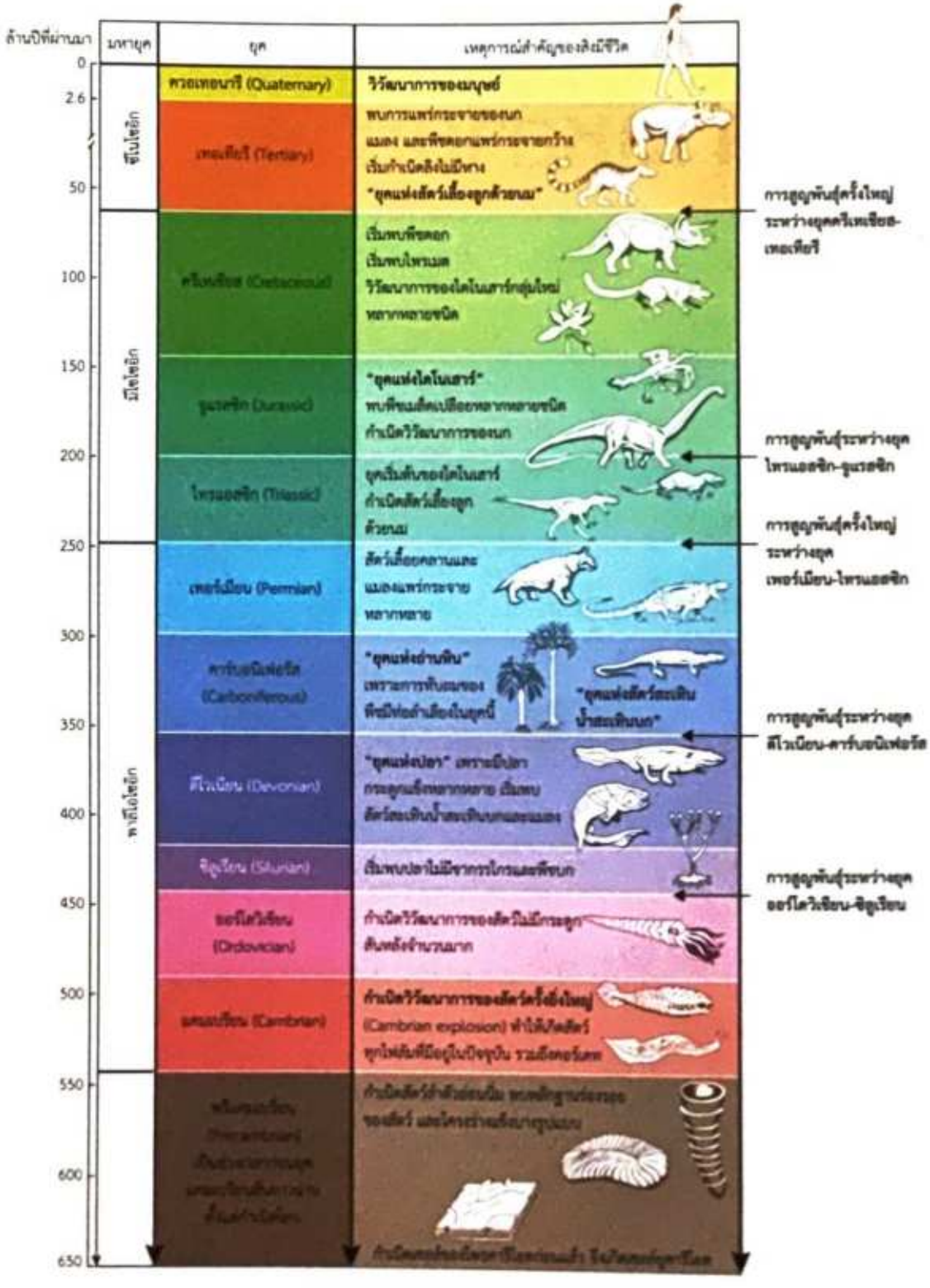
ตารางธรณีกาล (geological time scale) เป็นตารางที่นักธรณีวิทยา (geologist) และนักบรรพชีวินวิทยา (palaeontologist) สร้างขึ้นเพื่อบันทึกลำดับเหตุการณ์กำเนิดและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในช่วงเวลาที่ผ่านมา โดยอาศัยหลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์

การแบ่งยุคสมัยทางธรณีวิทยา มีลำดับขั้นดังนี้

บรมยุค (eon) → มหายุค (era) → ยุค (period) → สมัย (epoch)

- มหายุคที่มีวิวัฒนาการสิ่งมีชีวิตหลากหลาย แบ่งออกเป็น 3 มหายุค ดังนี้
  - มหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic Era) เป็นมหายุคแห่งสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ปลา สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก พืชไม่มีท่อลำเลียง และพืชเมล็ดเปลือย
  - มหายุคมีโซโซอิก (Mesozoic Era) เป็นมหายุคแห่งสัตว์เลื้อยคลานและไดโนเสาร์ และเริ่มมีพืชดอก
  - มหายุคซีโนโซอิก (Cenozoic Era) เป็นมหายุคแห่งสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม พืชดอก *และเกิดมนุษย์ในมหายุคนี้

- การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ที่สำคัญ 2 ครั้ง
  - การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ระหว่างยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก (P-Tr mass extinction) เป็นการสิ้นสุดของมหายุคพาลีโอโซอิก เกิดการสูญพันธุ์กว่า 90% ของสิ่งมีชีวิตทั้งบนบกและทะเล ทำให้ไดโนเสาร์และสัตว์เลี้ยงคลานมีวิวัฒนาการหลากหลายและครองโลกในมหายุคถัดมา
  - การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ระหว่างยุคครีเทเชียส-เทอเทียรี (K-T mass extinction) เป็นการสิ้นสุดของมหายุคมีโซโซอิก สันนิษฐานว่าเกิดจากการพุ่งชนของอุกกาบาตจากนอกโลก ทำให้ไดโนเสาร์ทั้งหมดสูญพันธุ์ และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเกิดวิวัฒนาการหลากหลาย



▲ (Cr. britannica.com)

19.2 อนุกรมวิธาน (taxonomy)

อนุกรมวิธาน คือ วิชาที่ว่าด้วยการจัดจำแนกสิ่งมีชีวิตให้เป็นหมวดหมู่ โดยปัจจุบันการศึกษาอนุกรมวิธานของสิ่งมีชีวิต เพื่อจัดจำแนกสิ่งมีชีวิตให้สอดคล้องกับความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (phylogeny) ประกอบไปด้วย

1. **การจัดหมวดหมู่ของสิ่งมีชีวิต** (classification)

   สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะบางอย่างร่วมกันจะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพราะมีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน

- การจัดหมวดหมู่ของสิ่งมีชีวิตมีลำดับการจัดจากหมวดหมู่ใหญ่ที่สุดและแบ่งเป็นหมวดหมู่ย่อยๆ ดังนี้

- ระหว่างลำดับขั้นในแต่ละหมวดหมู่ อาจมีการแบ่งขั้นย่อยๆ ** โดยการเติมคำข้างหน้า เช่น
  - ซับ- (sub-) ให้เป็นขั้นที่อยู่ระดับต่ำกว่า เช่น ซับแฟมิลี (subfamily) หรือวงศ์ย่อย อยู่ขั้นต่ำกว่าวงศ์ ซับสปีชีส์ (subspecies) หรือชนิดย่อยอยู่ขั้นต่ำกว่าสปีชีส์
  - ซูเปอร์- (super-) ให้เป็นขั้นที่อยู่ระดับสูงกว่า เช่น ซูเปอร์ออร์เดอร์ (superorder) อยู่ขั้นสูงกว่าอันดับ

ตัวอย่าง การจัดหมวดหมู่ของมนุษย์

อาณาจักรสัตว์ (Kingdom Animalia) → ไฟลัมคอร์ดาตา (Phylum Chordata) → ชั้นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Class Mammalia) → อันดับไพรเมต (Order Primates) → วงศ์ฮอมินิดี (Family Hominidae) → สกุล *โฮโม* (Genus *Homo*) → **สปีชีส์ *โฮโม เซเพียนส์*** (Species *Homo sapiens*)

2. **การระบุชนิดของสิ่งมีชีวิต** (identification)

เครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบสิ่งมีชีวิตที่ศึกษาว่าเป็นสปีชีส์ใด คือ ไดโคโตมัสคีย์ (dichotomous key) (di- แปลว่า สอง) เครื่องมือชนิดนี้อาศัยพิจารณาลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันเป็นคู่ๆ หรือแบ่งเป็น 2 กลุ่มไปเรื่อยๆ เสมอ ไดโคโตมัสคีย์ใช้ระบุชนิดและหมวดหมู่ของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น ไม่สามารถบอกความใกล้ชิดเชิงวิวัฒนาการได้

ตัวอย่าง ไดโคโตมัสคีย์

1.	ก เขียนด้วยหมึก	ดูข้อ 2 (-ลักษณะแบ่งออกเป็นคู่ๆ เสมอ)
1.	ข เขียนด้วยแกรไฟต์	ดูข้อ 4 (-ลักษณะแบ่งออกเป็นคู่ๆ เสมอ)
2.	ก ปลายเป็นโลหะ	ดูข้อ 3 (-หากมีลักษณะจำแนกต่อจะชี้ไปข้อถัดไป)
2.	ข ปลายเป็นผ้า	ปากกามาร์คเกอร์
3.	ก ปลายมีลูกกลม	ปากกาลูกลื่น
3.	ข ปลายไม่มีลูกกลม	ปากกาหมึกซึม
4.	ก แท่งทำมาจากไม้	ดินสอ
4.	ข แท่งไม่ได้ทำมาจากไม้	ดินสอกด (-คีย์จะไปสุดที่ชนิดที่ต้องการทราบ)

3. การตั้งชื่อสิ่งมีชีวิต (nomenclature)

- ชื่อท้องถิ่น (local name) หรือชื่อสามัญ (common name) เป็นชื่อที่เรียกกันทั่วไปในท้องถิ่น หรือชื่อที่รู้จักกันกว้างขวางแต่เป็นคำในภาษาเฉพาะท้องถิ่นนั้นๆ มักตั้งขึ้นตามลักษณะเด่นของสิ่งมีชีวิต
- ชื่อวิทยาศาสตร์ (scientific name) เป็นชื่อที่ตั้งขึ้นให้กับสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ภายใต้ระบบเดียวกัน คือ ระบบการตั้งชื่อแบบทวินาม (binomial nomenclature) ถูกจัดตั้งขึ้นโดยคาโรลัส ลินเนียส (Carolus Linnaeus) ได้รับการยกย่องให้เป็น "บิดาแห่งอนุกรมวิธาน"

- **ปัญหาคือ สิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันอาจมีชื่อสามัญชื่อเดียวกัน เช่น แมลงวันผลไม้ มีหลายสปีชีส์ หรือสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันอาจมีชื่อสามัญต่างกัน เช่น สับปะรด pineapple บักนัด มะนัด ย่านนัด ดังนั้น การใช้ชื่อสามัญอาจก่อให้เกิดความสับสนในการศึกษาวิจัยและการอ้างอิงในทางวิชาการ**
- **สิ่งมีชีวิต 1 สปีชีส์จะต้องมีชื่อวิทยาศาสตร์เพียงชื่อเดียวเท่านั้น**

ตัวอย่าง การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์

ชื่อวิทยาศาสตร์เป็นภาษาละตินเสมอ เพราะเป็นภาษาที่ตายแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ส่วนของชื่อวิทยาศาสตร์ ต้องพิมพ์ให้แตกต่างจากตัวอื่น โดยใช้ตัวเอน หรือตัวตรงขีดเส้นใต้ไม่ติดกัน — ข้อมูลเพิ่มเติมอยู่ท้ายชื่อ เช่น ชื่อผู้ตั้งชื่อวิทยาศาสตร์ และปีที่ตั้งชื่อ **ไม่จำเป็นต้องใส่

Homo sapiens Linn., 1758

ชื่อสกุล (generic name) ขึ้นต้นด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ — ส่วนระบุสปีชีส์ (specific epithet) ขึ้นต้นด้วยตัวพิมพ์เล็ก — Linn. ย่อมาจาก Linnaeus (ลินเนียส บิดาแห่งอนุกรมวิธาน)

Quiz Yourself

1) สิ่งมีชีวิตในข้อใดที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด

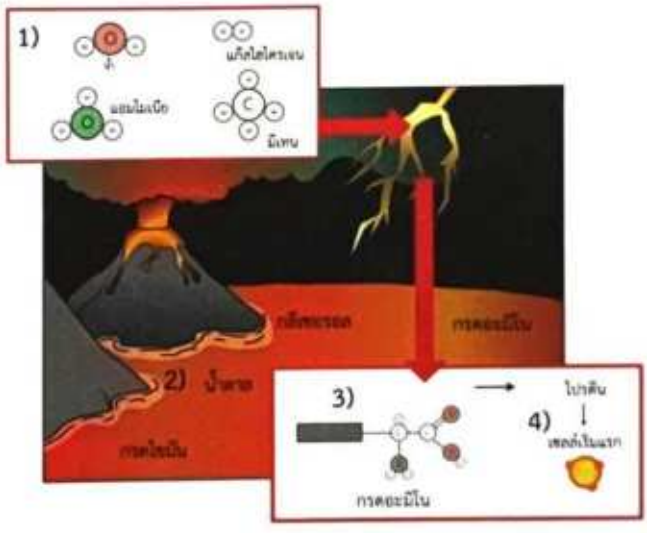
1. สิ่งมีชีวิตในวงศ์เดียวกัน
2. สิ่งมีชีวิตในสกุลเดียวกัน
3. สิ่งมีชีวิตในคลาสเดียวกัน
4. สิ่งมีชีวิตในดิวิชันเดียวกัน
5. สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรเดียวกัน

- การตั้งชื่อวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะชื่อที่ใช้ในการระบุชนิดส่วนใหญ่ มักมีความหมายเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตนั้นๆ เช่น

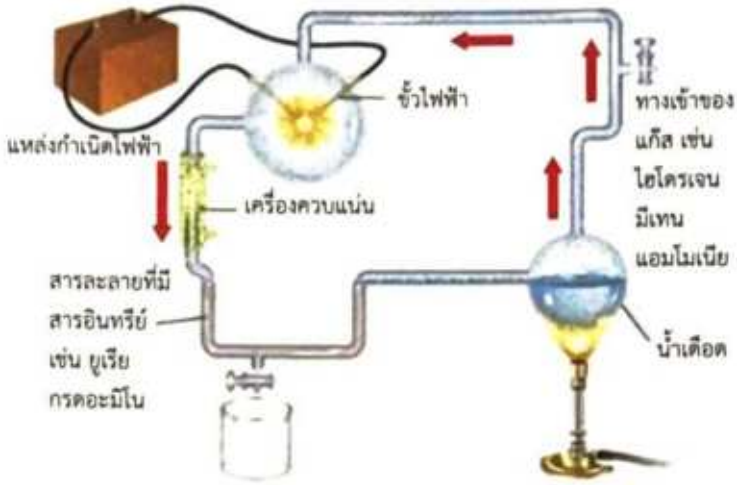
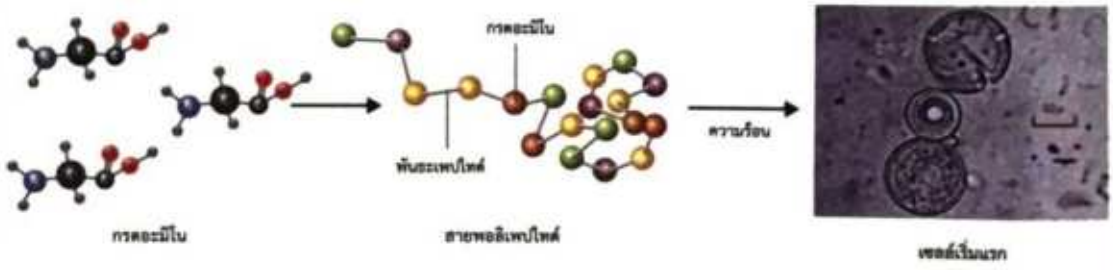
ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ตั้งชื่อตาม	ความหมาย
พยาธิใบไม้ในตับ	*Fasciola hepatica*	ที่อยู่อาศัย	hepatica – ตับ
หอยทากสยาม	*Cryptozona siamensis*	สถานที่พบ	siamensis – สยาม (ชื่อที่ใช้เรียกประเทศไทยในอดีต)
ปลาบึก	*Pangasianodon gigas*	ขนาด	gigas – ขนาดใหญ่
จำปี	*Michelia alba*	สี	alba -ขาว
ภูเวียงโกซอรัส	*Phuwiangosaurus sirindhornae*	เป็นเกียรติแก่บุคคล	sirindhorn – สิรินธร พระนามของกรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

19.3 กำเนิดของชีวิต (origin of life)

ค.ศ. 1924 **อเล็กซานเดอร์ โอพาริน** เสนอแนวคิดว่าสิ่งมีชีวิตใช้ระยะเวลาที่ยาวนาน ในการกำเนิดขึ้นมาเกิดจากกระบวนการวิวัฒนาการทางเคมี จากสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลง่ายๆ ประกอบเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนขึ้น



1) บรรยากาศของโลกยุคแรกๆ ประกอบไปด้วยแอมโมเนีย น้ำ แก๊สไฮโดรเจน และมีเทนจากภูเขาไฟ
2) การกระตุ้นของไฟฟ้าในบรรยากาศและรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ ทำให้โมเลกุลสารอินทรีย์รวมกันกลายเป็นสารชีวโมเลกุลขนาดเล็กในมหาสมุทร
3) สารชีวโมเลกุลขนาดเล็กรวมกันเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนขึ้น
4) เริ่มปรากฏเซลล์เริ่มแรก

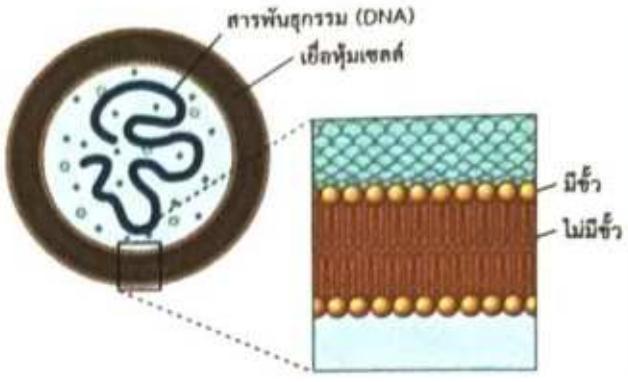
ค.ศ. 1953	**สแตนลีย์ มิลเลอร์** ทดลองพิสูจน์แนวคิดของโอพาริน  เมื่อจำลองสภาวะของโลกในช่วงแรกที่มีบรรยากาศเป็นแอมโมเนีย น้ำ แก๊สไฮโดรเจน และมีเทน และได้รับการกระตุ้นจากกระแสไฟฟ้า พบว่าเกิดสารชีวโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดอะมิโน และยูเรีย ในบางการทดลองยังเกิดเบสพิวรีนและไพริมิดีน อันเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกอีกด้วย นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ยังสันนิษฐานว่า กรดนิวคลีอิกที่เกิดขึ้นเป็นอันดับแรก คือ อาร์เอ็นเอ ส่วนดีเอ็นเอเกิดขึ้นภายหลัง โดย 1) ดีเอ็นเอมีโครงสร้างที่แข็งแรง 2) มีกลไกการแก้ไขและตรวจสอบความถูกต้อง 3) มีมิวเทชันน้อยกว่าจึงกลายเป็นสารพันธุกรรมหลักในปัจจุบัน
ค.ศ. 1958	**ซิดนีย์ ฟอกซ์** ทดลองแสดงให้เห็นว่าเซลล์เริ่มแรกสามารถเกิดจากกรดอะมิโนที่ได้รับความร้อนและรวมกลุ่มกัน และมีสมบัติคล้ายเซลล์ของสิ่งมีชีวิต คือ มีการเจริญเติบโต เพิ่มจำนวนโดยการแตกหน่อ และมีกระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดขึ้นภายใน  ▲ (Cr. static.ddmcdn.com, docte.net และ harunyahya.com)

กำเนิดของเซลล์โพรคาริโอต

จากหลักฐานของสโตรมาโทไลท์ (stromatolite) เป็นซากดึกดำบรรพ์ที่แสดงร่องรอยของสิ่งมีชีวิตที่เก่าแก่ที่สุดในโลก มีอายุกว่า 3,500 ล้านปี ลักษณะเป็นโครงสร้างที่เกิดจากการทับถมของตะกอนจากการยึดจับอนุภาคของไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) พบมากตามชายฝั่งน้ำตื้นของทวีปออสเตรเลีย

นักวิทยาศาสตร์จึงสันนิษฐานว่าเซลล์เริ่มแรกเป็นเซลล์โพรคาริโอต (prokaryote) คือ ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส สารพันธุกรรมลอยอยู่ในไซโทพลาซึม และไม่พบออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม

บรรยากาศของโลกยุคเริ่มต้นมีแก๊สออกซิเจนในปริมาณน้อย จึงเกิดโพรคาริโอตที่ไม่ใช้ออกซิเจนก่อน เช่น อาร์เคีย ที่มีกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี และถัดมามีวิวัฒนาการเกิดแบคทีเรียสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น ไซยาโนแบคทีเรีย ทำให้บรรยากาศมีแก๊สออกซิเจนมากขึ้น เป็นปัจจัยที่เอื้อต่อวิวัฒนาการของเซลล์ยูคาริโอต



▲ (Cr. nih.gov)

Quiz Yourself

2) ข้อใดไม่ถูกเกี่ยวกับไดโคโตมัสคีย์

1. เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระบุชนิดหรือกลุ่มของสิ่งมีชีวิต
2. เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต
3. เป็นเครื่องมือที่ใช้ระบุความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันในเชิงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
4. เป็นเกณฑ์ในการแบ่งสิ่งมีชีวิตเป็นสองกลุ่มใหญ่และจากกลุ่มใหญ่จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย

การกำเนิดของเซลล์ยูคาริโอตและทฤษฎีการพึ่งพาภายใน (endosymbiotic theory)

เซลล์ยูคาริโอตมีลักษณะพิเศษ คือ มีสารพันธุกรรมในนิวเคลียส และมีออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม นักวิทยาศาสตร์ได้เสนอทฤษฎีที่อธิบายกำเนิดของเซลล์ยูคาริโอต และที่มาของออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ได้แก่ ไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ คือ ทฤษฎีการพึ่งพาภายใน (endosymbiotic theory)

- หลักฐานสนับสนุนทฤษฎีการพึ่งพาภายใน ทั้งไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์
  1. มีสารพันธุกรรมเป็นของตนเอง เป็นดีเอ็นเอแบบวงกลมซึ่งไม่มีโปรตีนฮิสโตนเหมือนกับแบคทีเรีย
  2. สามารถแบ่งออร์แกเนลล์เองได้ โดยมีกลไกเหมือนการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย
  3. มีโครงสร้างของเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์เป็นสองชั้น มีโปรตีนบนเยื่อหุ้มและไรโบโซมแบบ 70S เหมือนแบคทีเรีย
  4. การแปลรหัสเป็นโปรตีนภายในออร์แกเนลล์เริ่มด้วย ฟอร์มิลเมไทโอนีน (formyl-methionine) เหมือนแบคทีเรีย
  5. ยาปฏิชีวนะที่มีผลฆ่าแบคทีเรีย สามารถยับยั้งการทำงานของออร์แกเนลล์ทั้งสองเช่นกัน

19.4 อาณาจักรของสิ่งมีชีวิต

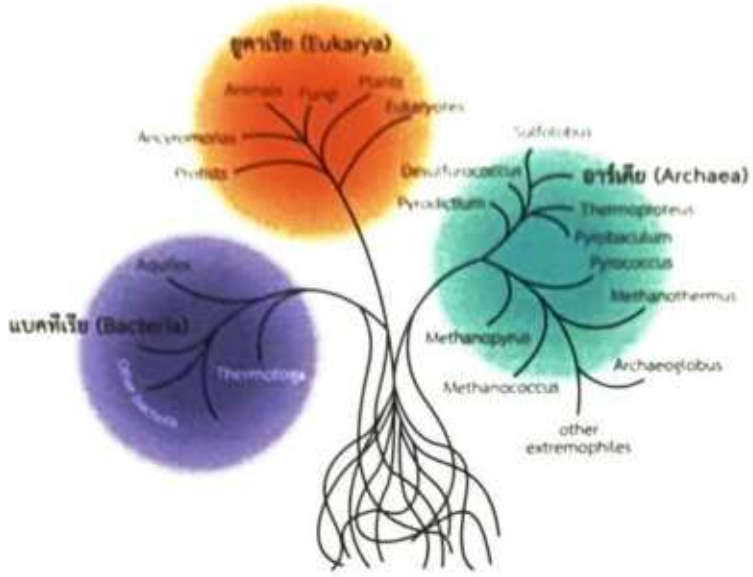
ค.ศ. 1735	ในสมัยของลินเนียส แบ่งสิ่งมีชีวิตออกเป็น 2 อาณาจักร คือ อาณาจักรพืชและอาณาจักรสัตว์
ค.ศ. 1969	**อาร์ เอช วิทเทเคอร์** แบ่งสิ่งมีชีวิตออกเป็น 5 อาณาจักร (kingdom)

▲ (Cr. amazonaws.com)

- ตารางเปรียบเทียบอาณาจักรทั้งห้าของวิทเทเคอร์

ลักษณะ	มอเนอรา	โพรทิสตา	พืช	ฟังไจ	สัตว์
ประเภทของเซลล์	โพรคาริโอต	ยูคาริโอต			
ผนังเซลล์	สร้างจากเพปทิโดไกลแคน (ยกเว้นอาร์เคีย)	มีหรือไม่มี ถ้ามีมักสร้างจากเซลลูโลส	สร้างจากเซลลูโลส	สร้างจากไคทิน	ไม่มี
การรวมกลุ่มของเซลล์	เซลล์เดียว	ส่วนใหญ่เซลล์เดียว บางชนิดหลายเซลล์	หลายเซลล์	ส่วนใหญ่หลายเซลล์ บางชนิดเซลล์เดียว	หลายเซลล์
รูปแบบการได้รับสารอาหาร	สร้างอาหารเองได้ หรือได้จากแหล่งอื่น	สร้างอาหารเองได้ หรือได้จากแหล่งอื่น	สร้างอาหารเองได้	ได้จากแหล่งอื่น	ได้จากแหล่งอื่น
ตัวอย่าง	อาร์เคีย ยูแบคทีเรีย	โพรโทซัว สาหร่าย ราเมือก	มอส เฟิร์น พืชเมล็ดเปลือย พืชดอก	เห็ด รา ยีสต์	สัตว์มีและไม่มีกระดูกสันหลัง

ค.ศ. 1977	**คาร์ล วูสส์ และคณะ** วิเคราะห์ลำดับเบสของ rRNA และจำแนกสิ่งมีชีวิตในระดับเหนือกว่าอาณาจักร โดยแบ่งสิ่งมีชีวิตออกเป็น 3 โดเมน (domain)



▲ (Cr. amazonaws.com)

Quiz Yourself

3) สิ่งมีชีวิตชนิดใดที่ตั้งชื่อวิทยาศาสตร์ให้เป็นเกียรติกับบุคคล

1. *Oryza sativa* L.
2. *Plasmodium vivax* Grassi & Feletti 1890
3. *Parahelicops boonsongi* Taylor & Elbel, 1958
4. *Varanus salvator* (Laurenti, 1768)
5. *Thelypteris siamensis* Tagawa & K. Iwats

▸ ตารางเปรียบเทียบโดเมนทั้งสามของวูสส์

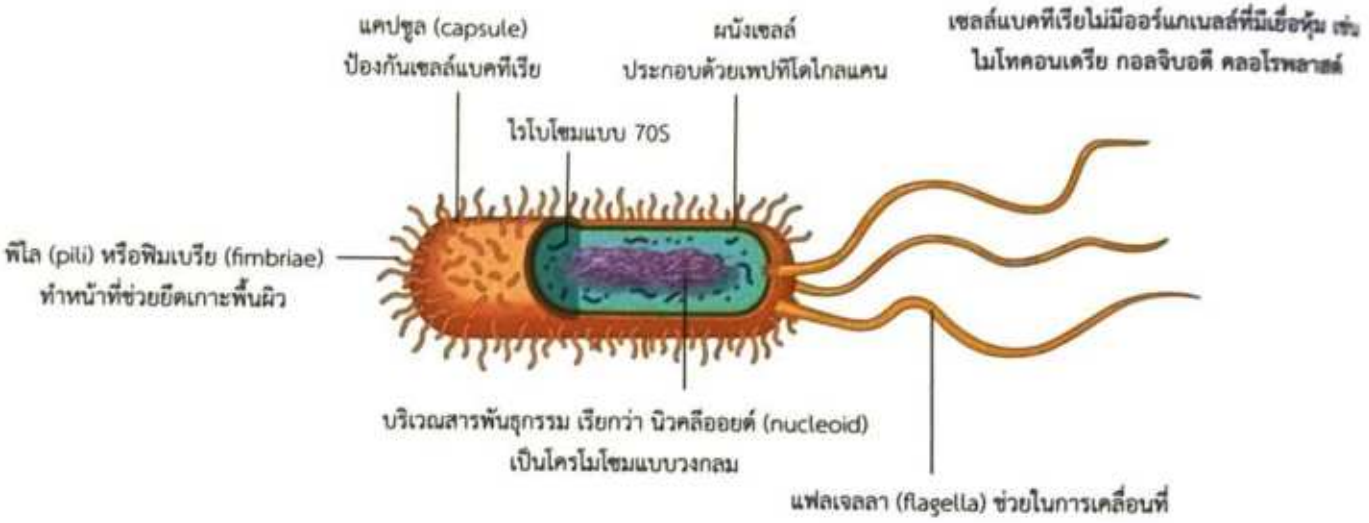
ลักษณะ	แบคทีเรีย	อาร์เคีย	ยูคาเรีย
เยื่อหุ้มนิวเคลียส	ไม่มี	ไม่มี	มี
ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม	ไม่มี	ไม่มี	มี
เพปทิโดไกลแคนในผนังเซลล์	มี	ไม่มี	ไม่มี
เอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรส	ชนิดเดียว	หลายชนิด	หลายชนิด
ชนิดของไรโบโซม	70S	70S	80S
กรดอะมิโนเริ่มต้นของการแปลรหัส	ฟอร์มิลเมไทโอนีน	เมไทโอนีน	เมไทโอนีน
การตอบสนองต่อยาปฏิชีวนะสเตร็บโตมัยซิน	ยับยั้งการเจริญเติบโต	ไม่ยับยั้งการเจริญเติบโต	ไม่ยับยั้งการเจริญเติบโต

ลักษณะ	แบคทีเรีย	อาร์เคีย	ยูคาเรีย
โปรตีนฮิสโตนที่สายดีเอ็นเอพันรอบ	ไม่มี	มีในบางชนิด	มี
ประเภทของโครโมโซม	วงกลม	วงกลม	เส้นตรง

จากการศึกษาพบว่า อาร์เคียมีความใกล้ชิดกับสิ่งมีชีวิตที่เป็นยูคาริโอตมากกว่าแบคทีเรีย

19.5 อาณาจักรมอเนอรา

- ส่วนประกอบของแบคทีเรีย



- รูปร่างของแบคทีเรีย

ทรงท่อนหรือบาซิลลัส (bacillus)	ทรงกลมหรือค็อกคัส (coccus)	ทรงเกลียวหรือสไปริลลัม (spirillum)

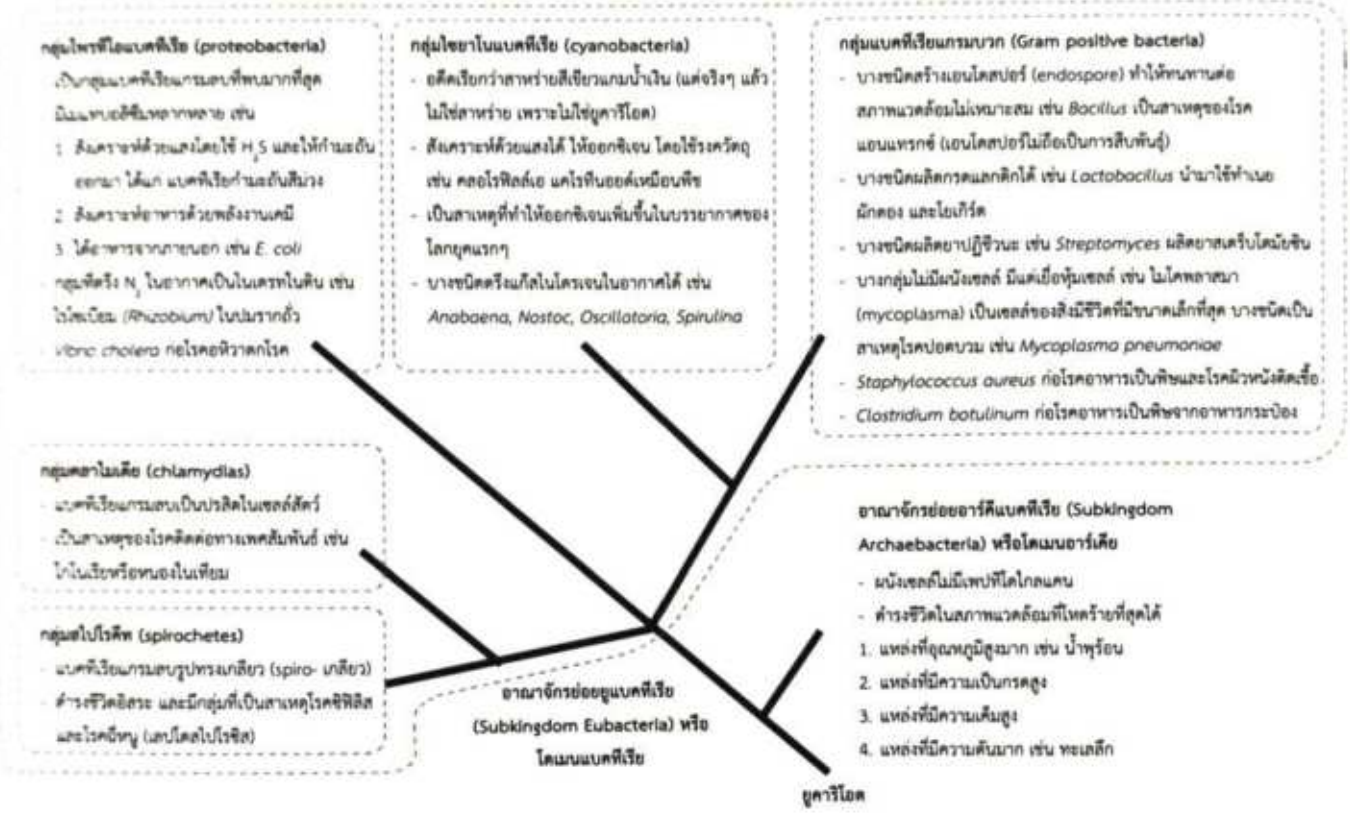
- แบคทีเรียสามารถแบ่งชนิดได้ตามการย้อมสีแกรม (Gram stain) ของผนังเซลล์
  1. แกรมบวก (Gram positive) ผนังเซลล์ติดสีม่วงของสีคริสตัลไวโอเลต
  2. แกรมลบ (Gram negative) ผนังเซลล์ติดสีแดงของสีซาฟรานิน

Quiz Yourself

4) ปัจจุบันมีการจำแนกกลุ่มสิ่งมีชีวิตไว้เป็น 3 โดเมน คือ Archaea, Bacteria และ Eukarya สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรใดที่จัดไว้ภายใต้ 2 โดเมน

1. Plantae 2. Protista 3. Fungi 4. Monera

ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการและลักษณะเด่นของอาร์เคียและแบคทีเรียแต่ละกลุ่ม



= อาณาจักรย่อย

= กลุ่มย่อย

ไซยาโนแบคทีเรีย (*Nostoc*)

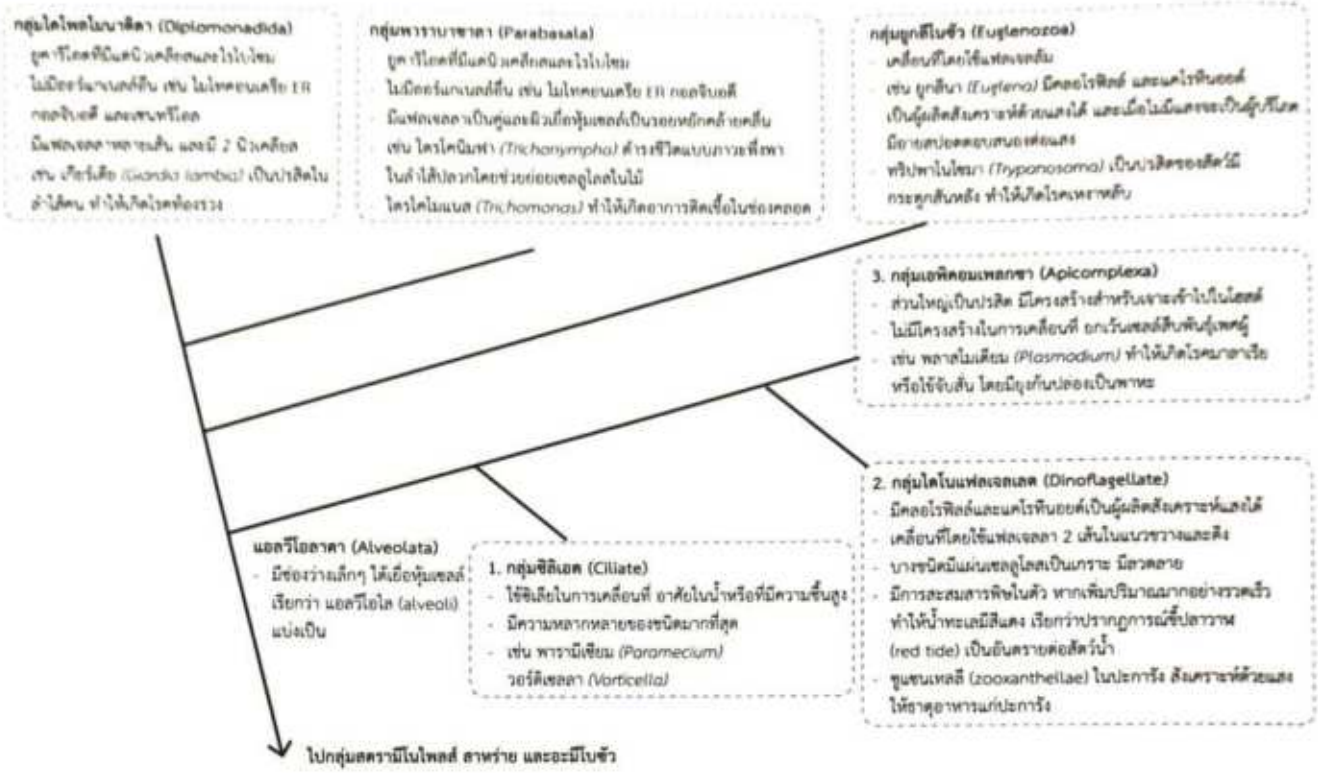
▲ (Cr. Francisco Pujante Capilla)

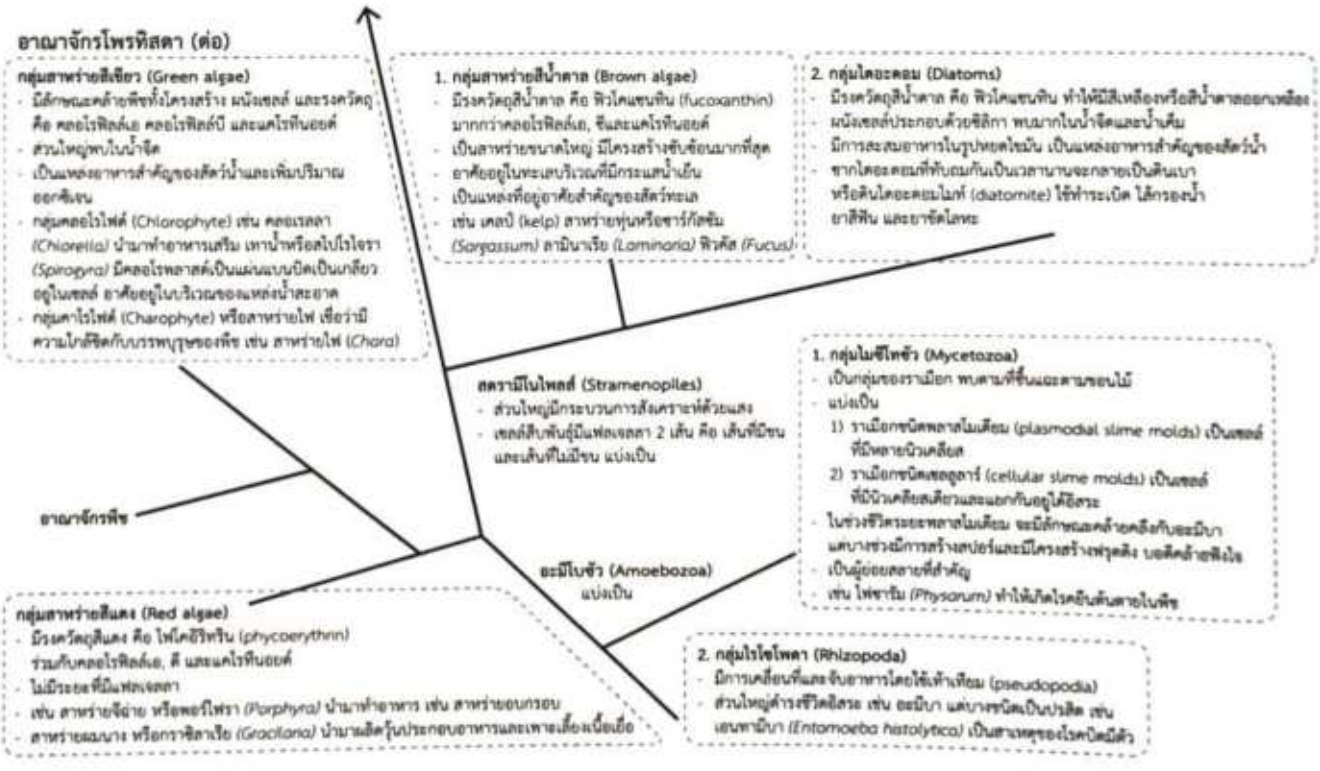
Bacillus subtilis

▲ (Cr. Wiz Science)

19.6 อาณาจักรโพรทิสตา

อาณาจักรโพรทิสตาเป็นยูคาริโอตกลุ่มแรกที่วิวัฒนาการมาจากโพรคาริโอต





19.7 อาณาจักรพืช

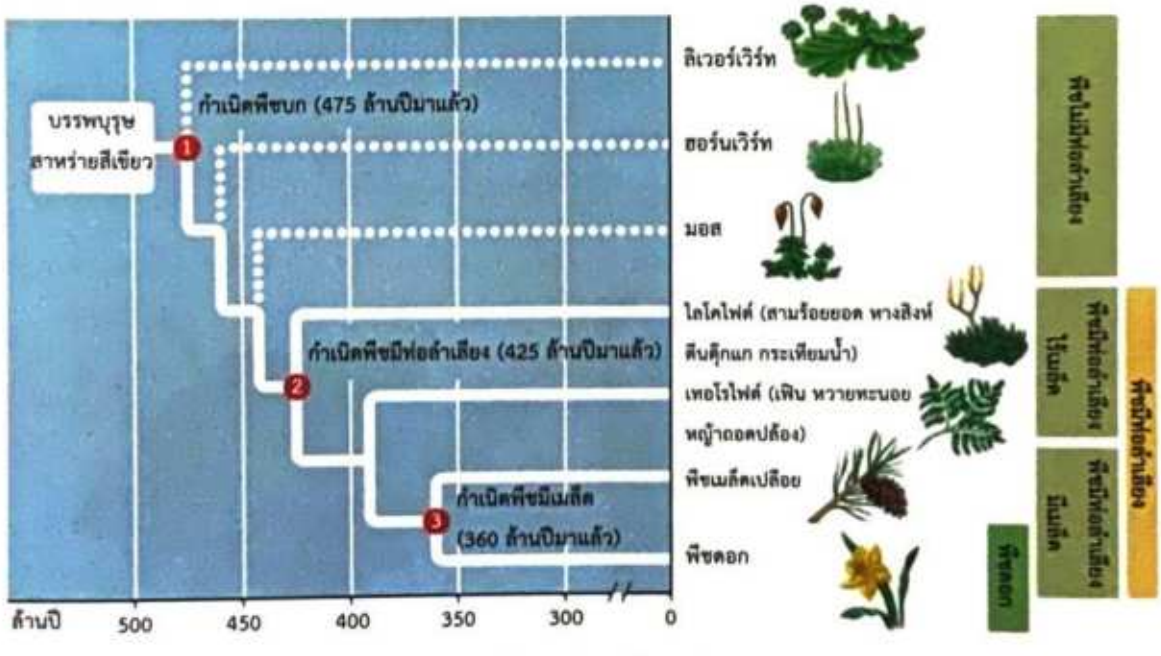
พืชเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์แบบยูคาริโอต สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ประกอบด้วยหลายๆ เซลล์ที่รวมกลุ่มกันเป็นเนื้อเยื่อ ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส มีคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี มีระยะเอ็มบริโอ และมีวงชีวิตแบบสลับ (alternation of generation) ลักษณะที่แยกพืชออกจากสาหร่าย คือ พืชมีเซลล์หลายเซลล์ที่รวมกันเป็นเนื้อเยื่อ ทำหน้าที่เฉพาะอย่างซึ่งไม่พบในสาหร่าย อีกทั้งเมื่อพืชปฏิสนธิแล้วจะมีระยะเอ็มบริโอ ซึ่งไม่พบในสาหร่าย

การปรับตัวของพืชเพื่อดำรงชีวิตบนบกแบ่ง 3 ด้าน คือ

1. โครงสร้างมีรากไว้ยึดลำต้นและดูดน้ำ ลำต้นชูเพื่อรับแสง เนื้อเยื่อมีความแข็งแรงคงรูป
2. องค์ประกอบทางเคมี สังเคราะห์สารพวกลิกนินและคิวทินทำให้พืชทนทานต่อสภาพแวดล้อม สารคิวทินปกคลุมผิวลำต้นและใบ ป้องกันการสูญเสียน้ำ และมีสารสปอโรพอลเลนิน เคลือบผิวสปอร์เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ ทำให้สปอร์กระจายบนบกและอยู่รอดมากขึ้น
3. การสืบพันธุ์ โครงสร้างที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gametangium) ประกอบด้วยเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) และเนื้อเยื่อที่เป็นหมัน (sterile jacket cell) ล้อมรอบเซลล์สืบพันธุ์ ป้องกันอันตรายและลดการสูญเสียน้ำ เซลล์สืบพันธุ์ปรับตัวใช้น้ำน้อยหรือไม่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการผสมพันธุ์ โครงสร้างที่สร้างสปอร์ (sporangium) ประกอบด้วยสปอร์และเนื้อเยื่อที่เป็นหมันล้อมรอบสปอร์เพื่อป้องกันอันตราย

วงจรชีวิตของพืชทุกชนิดเป็นวงจรชีวิตแบบสลับ (alternation of generation) คือ มีช่วงชีวิต 2 ระยะสลับกัน ได้แก่ ระยะสปอโรไฟต์ เป็นดิพลอยด์ (2n) ทำหน้าที่สร้างสปอร์เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ สลับกับระยะแกมีโทไฟต์ เป็นแฮพลอยด์ (n) ทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์เป็นการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ **(อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในบทที่ 13)** ทั้งนี้ พืชชั้นต่ำ เช่น พวกมอส ลิเวอร์เวิร์ท ฮอร์นเวิร์ท จะมีระยะแกมีโทไฟต์เด่นตลอดชีวิต ส่วนระยะสปอโรไฟต์จะพบบางช่วงและเจริญอยู่บนต้นแกมีโทไฟต์ ส่วนพืชชั้นสูง เช่น สน พืชดอกจะมีระยะสปอร์โรไฟต์เด่นตลอดชีวิต ส่วนระยะแกมีโทไฟต์จะพบบางช่วงและจะเจริญอยู่บนต้นสปอร์โรไฟต์

วิวัฒนาการของอาณาจักรพืช

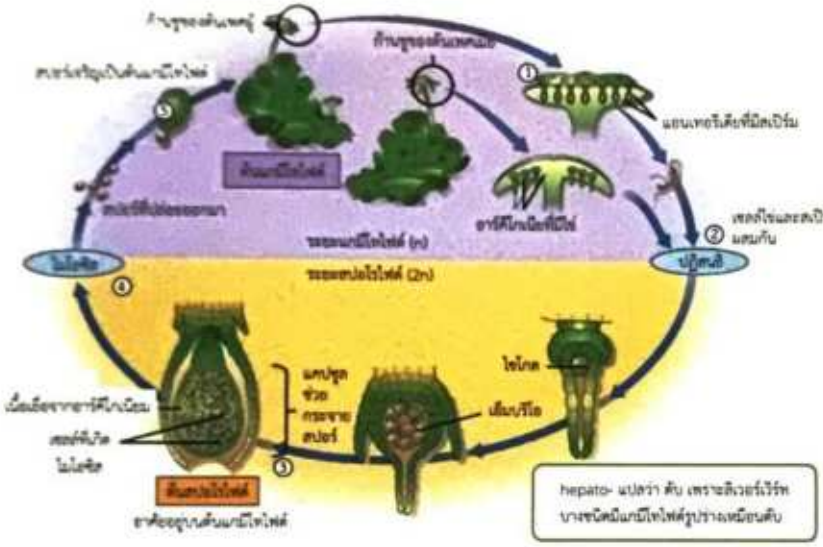


▲ (Cr. antranik.org)

กลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียง (non vascular plant)

- มีระยะแกมีโทไฟต์นานเห็นชัด แต่ช่วงสปอโรไฟต์สั้นและเจริญอยู่บนต้นแกมีโทไฟต์ อาศัยอยู่ในที่ชื้น สเปิร์มอาศัยน้ำในการเคลื่อนที่
- ไม่มีรากที่แท้จริง ดูดน้ำและสารอาหารผ่านโครงสร้างคล้ายรากเรียกว่า ไรซอยด์ (rhizoid) มักมีต้นขนาดเล็ก
- พืชในกลุ่มนี้จะมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โครงสร้างเจมมา คัป (gemma cup) มีลักษณะเป็นถ้วย ซึ่งสามารถโตเป็นแกมีโทไฟต์ (gametophyte) ต้นใหม่

▸ ไฟลัมเฮพาโทไฟตา (Phylum Hepatophyta) **hepato = ตับ phyte = พืช ได้แก่ ลิเวอร์เวิร์ท (liverworts) (liver = ตับ)



▲ (Cr. amazonaws.com)

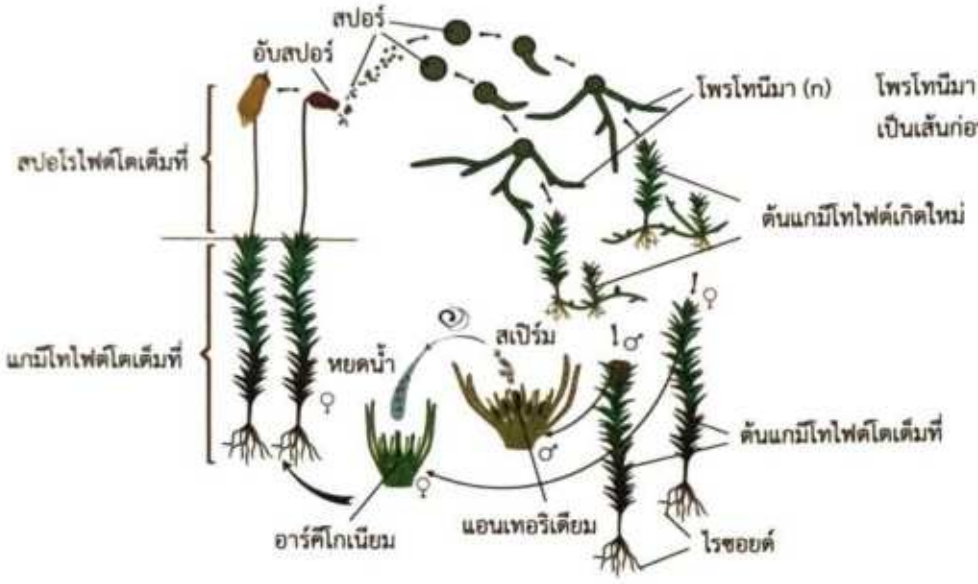
- ลักษณะเด่นของพืชกลุ่มนี้
  - แกมีโทไฟต์ (gametophyte) เป็นแผ่นบาง (thallus) แตกแบบ dichotomous
  - บางชนิดเป็นใบคล้ายมอส
  - เมื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์จะสร้างโครงสร้างที่มีก้านชูคล้ายร่ม
    - ♂ แอนเทอริดีโอฟอร์ (antheridiophore) เพศชาย
    - ♀ อาร์คีโกนิโอฟอร์ (archegoniophore) เพศเมีย
  - มีโครงสร้าง elater ช่วยกระจายสปอร์ (spore)

▸ ไฟลัมแอนโทซีโรไฟตา (Phylum Anthocerophyta) **antho = ดอก ceros = เขา ได้แก่ ฮอร์นเวิร์ท (hornworts) (horn = เขา)

- ลักษณะเด่นของพืชกลุ่มนี้
  - แกมีโทไฟต์ (gametophyte) มีลักษณะเป็นแผ่นมีรอยหยักที่ขอบ
  - สปอโรไฟต์ (sporophyte) ประกอบด้วย ฟุต (foot), อับสปอร์ (capsule) ไม่มีก้านชูอับสปอร์ (seta)
  - อับสปอร์ยาวเรียว แตกออกเป็นสองแฉก
  - มีโครงสร้าง pseudoelator ใช้ในการกระจายสปอร์ (spore)
  - สปอโรไฟต์คล้ายเขาสัตว์ (horn)

Phylum Anthocerophyta

- ไฟลัมไบรโอไฟตา (Phylum Bryophyta) **bryo = มอส (moss)
  - ลักษณะเด่นของพืชกลุ่มนี้
    - แกมีโทไฟต์ (gametophyte) มีส่วนคล้ายต้นและใบที่เรียงวนรอบแกนกลาง
    - โครงสร้างสปอโรไฟต์ (sporophyte) ประกอบด้วย ฟุต (foot), อับสปอร์ (capsule) และก้านชูอับสปอร์ (seta)
    - อับสปอร์มีโครงสร้าง peristome teeth ใช้ในการกระจายสปอร์ (spore) ตัวอย่างเช่น มอส ข้าวตอกฤๅษี หรือพวกสแฟกนัม (Sphagnam)



- สรุปกลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียง

	liverworts	hornworts	moss
ไรซอยด์ (rhizoid)	เซลล์เดียว	เซลล์เดียว	หลายเซลล์
prothallus (gametophyte)	thallose, leafy	thallose	leafy
คลอโรพลาสต์ (chloroplast)	> 1 ต่อเซลล์	1 ต่อเซลล์	> 1 ต่อเซลล์
สปอโรไฟต์ (sporophyte)	มี seta	ไม่มี seta	มีครบ
ตัวช่วยกระจายสปอร์	elater	pseudoelator	peristome teeth

  - ต้นแกมีโทไฟต์ของพืช (เป็นแฮพลอยด์) จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสสร้างโครงสร้างที่จะผลิตเซลล์สืบพันธุ์แบ่งเป็น
    1. แอนเทอริเดียม (antheridium) ผลิตเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ หรือสเปิร์ม **anther = อับเรณูของเพศผู้
    2. อาร์คีโกเนียม (archegonium) ผลิตเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย หรือไข่ **arche เหมือน she ผู้หญิง
  - สเปิร์มและไข่จะผสมกันได้ต้นอ่อน และเจริญเป็นต้นสปอโรไฟต์ (2n)
  - ต้นสปอโรไฟต์ (เป็นดิพลอยด์) จะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสสร้างสปอร์ (n) เพียงอย่างเดียว และสปอร์จะเจริญเป็นต้น แกมีโทไฟต์ (n)

กลุ่มพืชที่มีท่อลำเลียง (vascular plant)

กลุ่มพืชมีท่อลำเลียงที่ไม่มีเมล็ด (seedless plant)

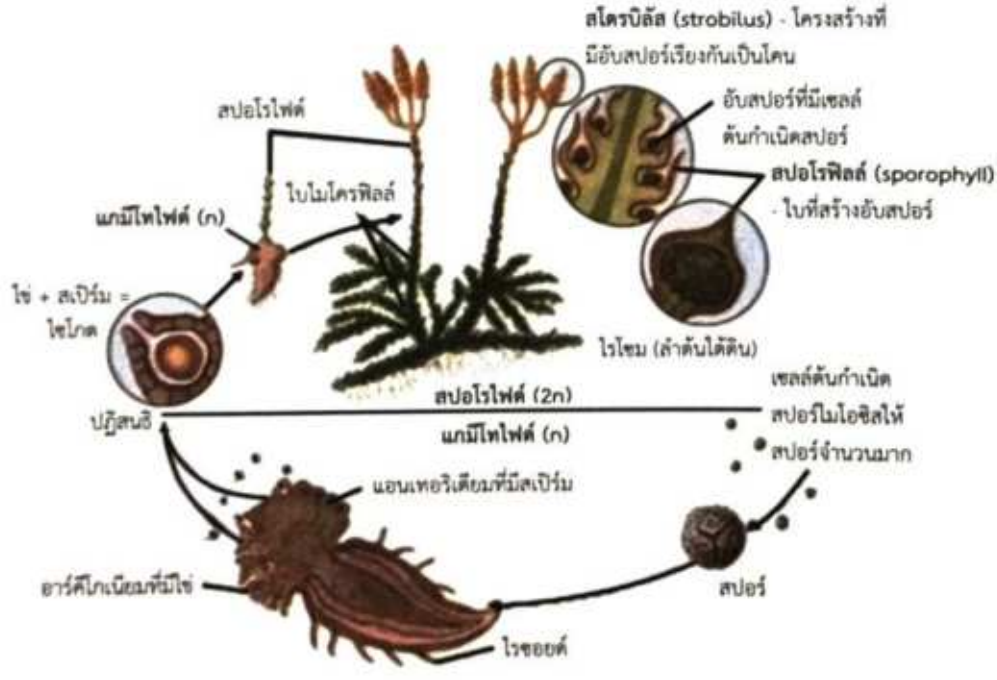
- มีราก ลำต้นและใบที่แท้จริง มีการสร้างสปอร์ที่ทนความแห้งแล้งได้ดี และแพร่กระจายไปที่ต่างๆ โดยไม่ต้องใช้น้ำ แต่สเปิร์มต้องใช้น้ำในการผสมกับไข่
- แกมีโทไฟต์และสปอโรไฟต์เจริญแยกกันหรืออยู่ร่วมกันช่วงสั้นๆ โดยระยะแกมีโทไฟต์สั้นกว่า

▸ ไฟลัมไลโคไฟตา (Phylum Lycophyta) **lyco = หมาป่า เพราะลักษณะของรากที่เหมือนเท้าหมาป่า

- เป็นพืชที่มีราก ลำต้นและใบที่แท้จริง ใบมีขนาดเล็กมีเส้นใบ 1 เส้นที่ไม่แตกแขนง
- ปลายกิ่งจะมีกลุ่มของใบ (sporophyll) ที่ทำหน้าที่สร้างอับสปอร์ (sporangium) ซึ่งเจริญที่โคนใบ
- สโตรบิลัส (strobilus) คือ สิ่งที่มีสปอโรฟิลล์ (sporophyll) มาเรียงอัดแน่นกัน ยกเว้นไอโซเทส ไม่สร้างสโตรบิลัส (strobilus) แต่สร้างอับสปอร์ที่ฐานใบแทน พืชในกลุ่มนี้ ได้แก่

สกุล	ชื่อสามัญ	การสร้างสปอร์
ไลโคโพเดียม (*Lycopodium*)	ช้องนางคลี่ สร้องนางกรอง สร้อยสุกรม สามร้อยยอด หางสิงห์	สร้างสปอร์ชนิดเดียว (homospore) โดยแต่ละสปอร์จะเจริญไปเป็นทั้งแอนเทอริเดียม (ผู้) และอาร์คีโกเนียม (เมีย) ในแกมีโทไฟต์ (gametophyte) ต้นเดียวกัน
ซีแลกจิเนลลา (*Selaginella*)	ตีนตุ๊กแก หญ้ารังไก่ กนกนารี พ่อค้าตีเมีย	สร้างสปอร์สองแบบ (heterospore) โดยสปอร์ขนาดใหญ่ (megaspore) เจริญไปเป็นแกมีโทไฟต์เพศเมีย ส่วนสปอร์ขนาดเล็ก (microspore) เจริญไปเป็นแกมีโทไฟต์เพศผู้
ไอโซเทส (*Isoetes*)	กระเทียมน้ำ กระเทียมนา กระดิ๊บนา	

วงจรชีวิตของไลโคโพเดียม (มีสปอร์แบบเดียว)



▲ (Cr. wikispaces.com)

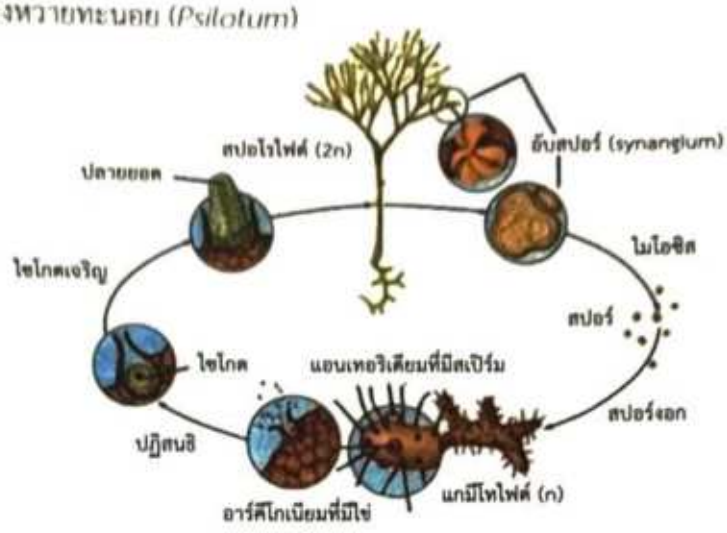
- สรุปกลุ่มพืชไฟลัมไลโคไฟตา

	Lycopodium	*Selaginella*	*Isoetes*
โครงสร้างราก, ลำต้น, ใบ	✓	✓	✓
การสร้างสปอร์ (spore)	homospore	heterospore	heterospore
แกมีโทไฟต์ (gametophyte)	ต้นเดียวมี 2 เพศ	แยกเพศ แยกต้น	แยกเพศ แยกต้น
สโตรบิลัส (strobilus)	✓	✓	×

- ไฟลัมเทอโรไฟตา (Phylum Pterophyta) **ptero = ปีก เพราะลักษณะใบเฟินเหมือนขนนก

กลุ่ม	ชื่อสามัญ	ลักษณะ
ไซโลตัม (*Psilotum*)	หวายทะนอย สะย้า	▸ ไม่มีรากและใบ มีเพียงลำต้นเหนือดินและใต้ดิน เรียกว่า ไรโซม (rhizome) ▸ ลำต้นเป็นเหลี่ยมมีสีเขียวสังเคราะห์ด้วยแสงได้ แตกกิ่งเป็นคู่ๆ (dichotomous) ▸ มีรยางค์คล้ายใบเกล็ด เรียกว่า enation ▸ มีอับสปอร์เป็นพู 3-5 พู เรียกว่า synangium อยู่ที่กิ่งสั้นๆ ด้านข้าง สร้างอยู่ที่ซอกของ enation ▸ สร้างสปอร์ชนิดเดียว (homospore) ▸ มีไรซอยด์ทำหน้าที่คล้ายราก
อิควิเซตัม (*Equisetum*)	หญ้าถอดปล้อง หญ้าหางม้า	▸ มีราก ลำต้น ใบที่แท้จริง ▸ ลำต้นมีข้อปล้องชัดเจน มีสันและร่องใบเป็นเกล็ด (scale leaf) เชื่อมต่อกันเป็นวงรอบข้อ ▸ อับสปอร์เกิดเป็นกระจุกที่ปลายกิ่งสั้นๆ เรียกว่า สปอแรงจิโอฟอร์ (sporangiophore) ซึ่งอยู่รอบแกนกลางเป็นโครงสร้างเรียกว่า สโตรบิลัส (strobilus) สร้างสปอร์ชนิดเดียว (homospore)
เฟิน (fern)	เฟินใบมะขาม เฟินก้านดำ ผักแว่น ข้าหลวงหลังลาย ชายผ้าสีดา ย่านลิเภา แหนแดง จอกหูหนู กูดเกี๊ยะ	▸ มีราก ลำต้น ใบที่เป็นใบแบบเมกะฟิลล์ (megaphyll) แท้จริง ใบอ่อนม้วนจากปลายใบสู่โคนใบ (circinate vernation) ▸ อับสปอร์รวมอยู่เป็นกลุ่มด้านล่างของแผ่นใบ เรียกว่า ซอรัส (sorus) เฟินบกสร้างสปอร์ชนิดเดียว (homospore) เฟินน้ำสร้างสปอร์สองชนิด (heterospore) ในโครงสร้างพิเศษ เรียกว่า sporocarp ▸ มีแกมีโทไฟต์ (gametophyte) คล้ายรูปหัวใจเรียกว่า prothallus

- วงจรชีวิตของหวายทะนอย (*Psilotum*)



▲ (Cr. siu.edu)

- วงจรชีวิตของหญ้าถอดปล้อง (*Equisetum*)

- วงจรของเฟิน

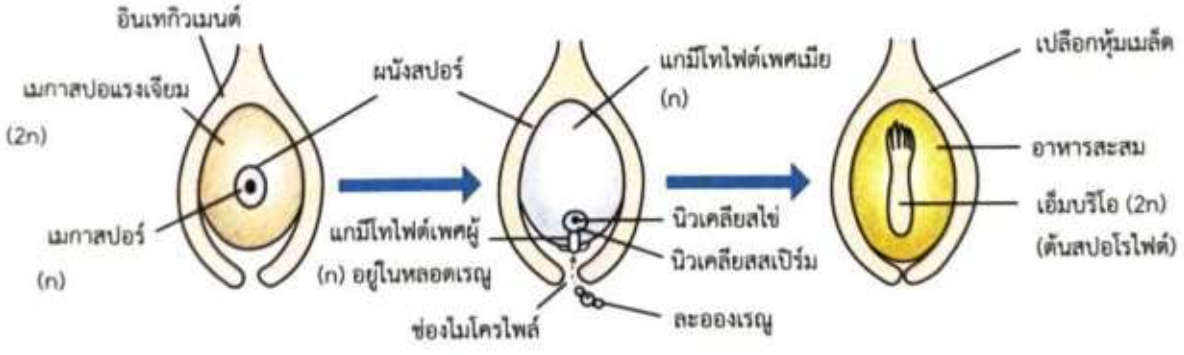
▸ สรุปกลุ่มพืชไฟลัมเทอโรไฟตา

	Psilotum	Equisetum	fern
โครงสร้างรากและใบ	มี rhizoid	มีใบเป็นใบเกล็ด	มีใบเป็นเมกะฟิลล์
อับสปอร์ (sporangium)	synangium (อับสปอร์เชื่อมกัน 3 พู)	มีการสร้างสโตรบิลัส (strobilus)	กลุ่มของอับสปอร์รวมกันเป็น sorus อยู่ใต้ใบ, เฟินน้ำมี sporocarp
การสร้างสปอร์ (spore)	homospore	homospore	homospore (เช่น ข้าหลวงหลังลาย, เฟินก้านดำ) ยกเว้นเฟินน้ำ (เช่น จอกหูหนู, แหนแดง, ผักแว่น) เป็นแบบ heterospore

กลุ่มพืชมีท่อลำเลียงที่มีเมล็ด (seed plant)

แบ่งเป็นเมล็ดเปลือย และเมล็ดที่มีผนังผล (pericarp) หุ้ม

- มีการสร้างโครงสร้างสืบพันธุ์แบบใหม่ คือ ออวุล (ovule) เชื่อว่าพัฒนามาจากอับสปอร์ที่สร้างสปอร์ขนาดใหญ่ (megasporangium)
- อินเทกิวเมนต์ (integument) คือ เนื้อเยื่อพิเศษที่มาหุ้มเป็นผนังออวุล จะเจริญไปเป็นผนังหุ้มเมล็ด (seed coat)
- เมกาสปอแรงเจียม (megasporangium) คือ อับสปอร์ที่สร้างสปอร์ขนาดใหญ่ (megaspore) โดยสปอร์นี้จะเจริญไปเป็นแกมีโทไฟต์เพศเมีย (female gametophyte)
- ไมโครไพล์ (micropyle) คือ ช่องที่เกิดจากผนังออวุลที่หุ้มไม่มิด เป็นทางให้แกมีโทไฟต์เพศผู้เข้าไปปฏิสนธิ
- แกมีโทไฟต์ขนาดเล็กอยู่ภายในโครงสร้างเฉพาะ คือ แกมีโทไฟต์เพศเมียอยู่ในออวุล และแกมีโทไฟต์เพศผู้อยู่ในละอองเรณู
- ระยะสปอโรไฟต์เด่นชัดและยาวนาน แบ่งกลุ่มเป็นพืชเมล็ดเปลือยและพืชดอก



▲ (Cr. wikispaces.com)

กลุ่มพืชเมล็ดเปลือยหรือจิมโนสเปิร์ม (gymnosperm)

**gymno = เปลือย sperma = เมล็ด

- บางชนิดกิ่งหรือแผ่นใบเจริญเป็นแผ่นแข็งสีน้ำตาลเรียงซ้อนกันแน่นเป็นสโตรบิลัสที่มีรูปร่างเหมือนกรวย เรียกว่า โคน (cone) แบ่งเป็นโคนเพศผู้และโคนเพศเมีย
- ออวุลติดบนกิ่งหรือแผ่นใบ (megasporophyll) เมื่อเจริญเป็นเมล็ดก็ยังคงอยู่บนกิ่งหรือแผ่นใบ โดยไม่มีผนังของผลไม้หุ้ม (pericarp) (เมล็ดเปลือย)

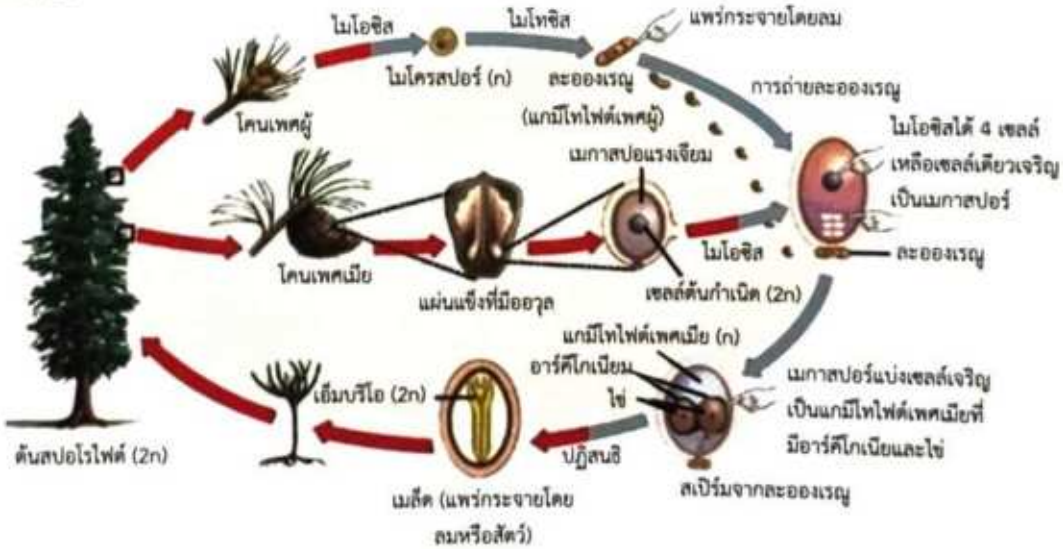
- ไฟลัมไซแคโดไฟตา (Phylum Cycadophyta) **cycad = ปรง ได้แก่ พืชในสกุลไซแคส (*Cycas*) เช่น ปรง ปรงป่า ปรงเขา อาศัยในพื้นที่แห้งแล้งได้ดี มีลำต้นใหญ่เติบโตช้า ใบประกอบแบบขนนกชั้นเดียว หรือสองชั้น ต้นแยกเพศกัน

▲ (Cr. gwu.edu และ seedbiology.de)

- ต้นเพศผู้สร้างอับไมโครสปอร์ (microsporangium) ในสโตรบิลัส (strobilus) หรือโคน (cone)
- ต้นเพศเมียสร้างอับเมกะสปอร์ (megasporangium) ติดอยู่บนแผ่นใบ (megasporophyll)
- ออวุลติดอยู่บนแผ่นใบเรียงซ้อนกันแน่น แต่มักไม่เป็นโครงสร้างแบบสโตรบิลัส (strobilus)
- มีออวุลขนาดใหญ่ที่สุดในโลก

- ไฟลัมกิงโกไฟตา (Phylum Ginkgophyta) **ginkgo = แปะก๊วย มีอยู่สปีชีส์เดียว คือ แปะก๊วย (*Ginkgo biloba*) biloba มาจากลักษณะของใบที่เห็นเป็นสองแฉก (bi สอง + lobe แฉก) เป็นต้นแยกเพศ ถือว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ที่มีชีวิต
  - มีการสร้างสโตรบิลัส (strobilus) ทั้งเพศผู้ เพศเมีย
  - แปะก๊วยส่วนสีเหลืองที่เรากินคือ แกมีโทไฟต์เพศเมีย (female gametophyte)

- ไฟลัมโคนิเฟอโรไฟตา (Phylum Coniferophyta) **conifer = สน ได้แก่ กลุ่มของสน (pine) เช่น สนสองใบ สนสามใบ สนสามพันปี สร้างโคนเพศผู้และเพศเมียบนต้นเดียวกัน แต่โคนเพศผู้เกิดก่อนและหลุดร่วงก่อนโคนเพศเมีย



▲ (Cr. uic.edu)

- ไฟลัมนีโทไฟตา (Phylum Gnetophyta) **gneto = สกุลนีต้ม (*Gnetum*) ได้แก่ พืชสกุลนีต้ม (*Gnetum*) เช่น มะเมื่อย และผักเหลียง สกุลเวลวิทเชีย (*Welwitschia*) หรือปีศาจทะเลทราย และสกุลอีเฟดรา (*Ephedra*) เช่น มั่วอี๊ง ลักษณะเด่น คือ พบเวสเซลในท่อลำเลียงน้ำเหมือนพืชดอก ต้นแยกเพศกัน

ตัวอย่างของมะเมื่อย

▲ (Cr. plantsystematics.org)

  - มีสโตรบิลัสแยกเพศ สโตรบิลัสเพศเมียมีกิ่งสั้นๆ เรียงรอบข้อ สโตรบิลัสเพศผู้มีกิ่งสั้นที่สร้างอับสปอร์คล้ายเกสรเพศผู้

กลุ่มพืชดอกหรือแองจิโอสเปิร์ม (angiosperm)

- ไฟลัมแอนโทไฟตา (Phylum Anthophyta) **antho = ดอก
  - มีความหลากหลายที่สุดในอาณาจักรพืช มีดอกเป็นโครงสร้างสืบพันธุ์พัฒนามาจากกิ่งสั้น และใบบนกิ่งสั้นเปลี่ยนแปลงไปเป็นกลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย
  - แบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocot) และพืชใบเลี้ยงคู่ (dicot)
  - ออวุลเจริญอยู่ในรังไข่ซึ่งอยู่ตรงฐานของเกสรเพศเมีย จึงได้รับการปกป้องมากกว่าพืชเมล็ดเปลือย

▲ (Cr. amazonaws.com)

Quiz Yourself

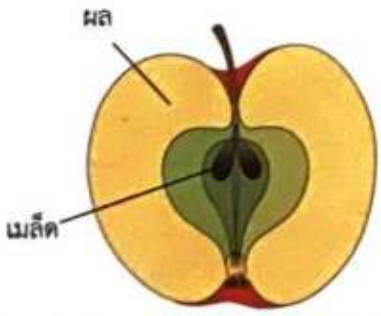
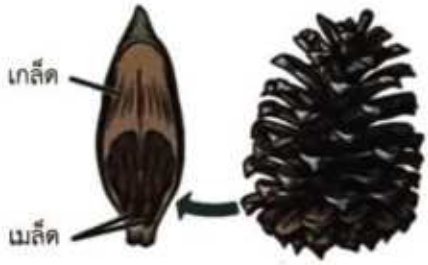
5) ข้อใดไม่ใช่ลักษณะของพืชพวกเฟิน
   1. รากเป็นระบบรากฝอย
   2. ลำต้นขนานกับดิน หรือตั้งขึ้นเพื่อชูใบ
   3. ใบอ่อนม้วนในแนวขนานกับเส้นกลางใบ
   4. อับสปอร์เป็นกลุ่ม

6) ชื่อวิทยาศาสตร์ข้อใดเขียนถูกต้อง
   1. Cryptozona siamensis
   2. Cryptozona siamensis
   3. *Cryptozona siamensis*
   4. *Cryptozona Siamensis*

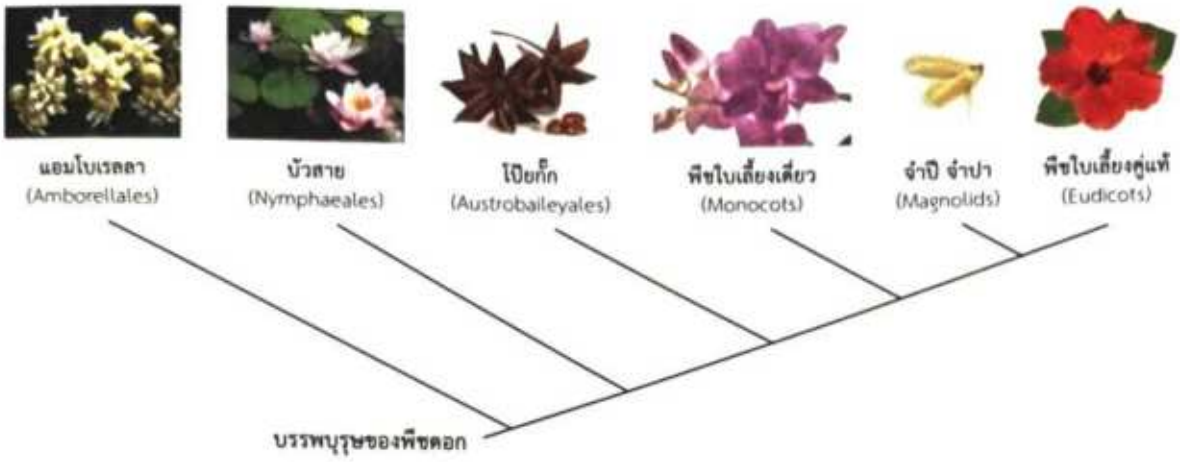
▸ เปรียบเทียบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่

สิ่งเปรียบเทียบ	พืชใบเลี้ยงเดี่ยว	พืชใบเลี้ยงคู่
ใบเลี้ยง	ใบเดียว	สองใบ
การเรียงตัวของเส้นใบ	เรียงตัวแบบขนาน (บางชนิดมีใบเป็นแบบร่างแห)	เรียงตัวเป็นร่างแห
ลำต้น	มัดท่อลำเลียงกระจายทั่วลำต้น	มัดท่อลำเลียงเรียงกันเป็นวง
ราก	ระบบรากฝอย (ไม่มีรากแก้ว)	ระบบรากแก้ว
กลีบดอก	จำนวนกลีบดอกเป็นจำนวนเท่าของสาม	จำนวนกลีบดอกเป็นจำนวนเท่าของสี่หรือห้า

▸ เปรียบเทียบพืชเมล็ดเปลือยและพืชดอก

พืชดอก	พืชเมล็ดเปลือย
ผลของพืชดอก  ▸ เมล็ดอยู่ในผลที่เจริญมาจากดอก ดอกบางชนิดแยกเพศ บางชนิดมีเกสรสองเพศในดอกเดียวกัน ▸ เอนโดสเปิร์ม 3n เกิดจากโพลาร์นิวคลีไอ + สเปิร์ม	โคนเพศเมียของพืชเมล็ดเปลือย  ▲ (Cr. benjaminreece.com) ▸ เมล็ดเปลือยไม่มีผลห่อหุ้ม ติดอยู่บนโคนซึ่งมักแยกเพศ ▸ เอนโดสเปิร์ม n เกิดก่อนการปฏิสนธิ

▸ สายวิวัฒนาการของพืชดอก



▲ (Cr. wikipedia.org)

▸ การใช้ประโยชน์จากพืช

กลุ่ม	ไฟลัม	ชนิด	การใช้ประโยชน์
พืชไม่มีท่อลำเลียง	ไบรโอไฟตา (Bryophyta)	ข้าวตอกฤาษี หรือสแฟกนัมมอส (*Sphagnum*)	▸ นำมาใช้คลุมหน้าดินเพื่อรักษาความชื้นในการปลูกพืช ▸ ทับถมกันเป็นเวลานานเกิดเป็นชั้นพีท (peat) ที่เป็นเชื้อเพลิง
พืชมีท่อลำเลียงไร้เมล็ด	เทอโรไฟตา (Pterophyta) : เฟิน	ผักแว่น กูดน้ำ กูดแดง กูดเกี๊ยะ	▸ ใช้เป็นอาหาร
		ว่านลูกไก่ทอง กูดแดง	▸ ใช้เป็นสมุนไพรรักษาโรค
		ย่านลิเภา	▸ ใช้ทำเครื่องจักสาน
		เฟินใบมะขาม เฟินนาคราช ข้าหลวงหลังลาย ชายผ้าสีดา	▸ ปลูกเป็นไม้ประดับ
		แหนแดง	▸ เพิ่มธาตุไนโตรเจนในนาข้าว
พืชเมล็ดเปลือย	ไซคาโดไฟตา (Cycadophyta)	ปรง	▸ ปลูกเป็นไม้ประดับ
	โคนิเฟอโรไฟตา (Coniferophyta)	สน	▸ ปลูกเป็นไม้ประดับ นำเนื้อไม้มาใช้ก่อสร้าง
	กิงโกไฟตา (Ginkgophyta)	แปะก๊วย	▸ ใช้เป็นอาหาร เป็นสมุนไพรรักษาโรค
	นีโทไฟตา (Gnetophyta)	มั่วอี๋ง	▸ ใช้เป็นสมุนไพรรักษาโรค
พืชดอก	แอนโทไฟตา (Anthophyta)	ทุกชนิด	▸ ใช้เป็นอาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค เป็นไม้ดอกไม้ประดับ

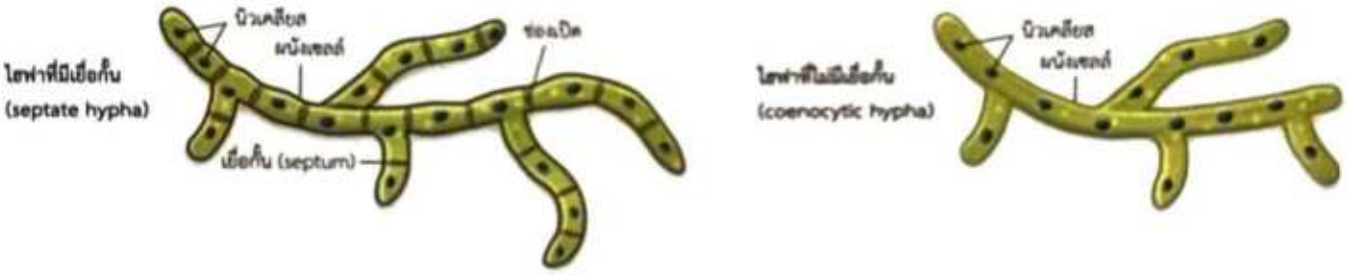
Quiz Yourself

7) หวายทะนอยและหญ้าถอดปล้องมีลักษณะใดที่แตกต่างกัน
   1. การมีท่อลำเลียง
   2. การสร้างสปอร์
   3. การมีเปลือกหุ้มเมล็ด
   4. การเรียงตัวของเส้นใบ

8) ถุงเอ็มบริโอ (embryo sac) ของชบาเทียบได้กับโครงสร้างใดของเฟินข้าหลวงหลังลาย
   1. อวัยวะสร้างเซลล์เพศเมีย (archegonium)
   2. ไซโกต (zygote)
   3. อับสปอร์ (sporangium)
   4. แกมีโทไฟต์ (gametophyte)

19.8 อาณาจักรฟังไจ

- มีทั้งเซลล์เดียวและหลายเซลล์ที่ยังไม่พัฒนาเป็นเนื้อเยื่อ ผนังเซลล์มี**ไคทิน**เป็นองค์ประกอบ
- ดำรงชีวิตแบบภาวะย่อยสลายโดยปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายอินทรียวัตถุภายนอกเซลล์ และดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์บางชนิดเป็นปรสิตของสิ่งมีชีวิตอื่น
- ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเส้นใยเรียกว่า **ไฮฟา** (hypha) อาจมีเยื่อกั้นแยกเป็นเซลล์ๆ หรือไม่มีเยื่อกั้น



- **เส้นใยไฮฟา**จะรวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า ไมซีเลียม (mycelium) ทำหน้าที่ยึดเกาะและส่งเอนไซม์ไปสลายอาหารภายนอกเซลล์ และดูดซับสารอาหารเข้าสู่เซลล์
- **ไมซีเลียม**ของฟังไจบางชนิด**พัฒนา**เป็นโครงสร้างที่เป็นดอกเห็ด เรียกว่า **ฟรุตติงบอดี** (fruiting body) ทำหน้าที่สร้างสปอร์แบบอาศัยเพศ
- **เส้นใยของไฮฟาฟังไจ**บางชนิดเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเพื่อแย่งดูดซับสารอาหารจากเซลล์โฮสต์ได้

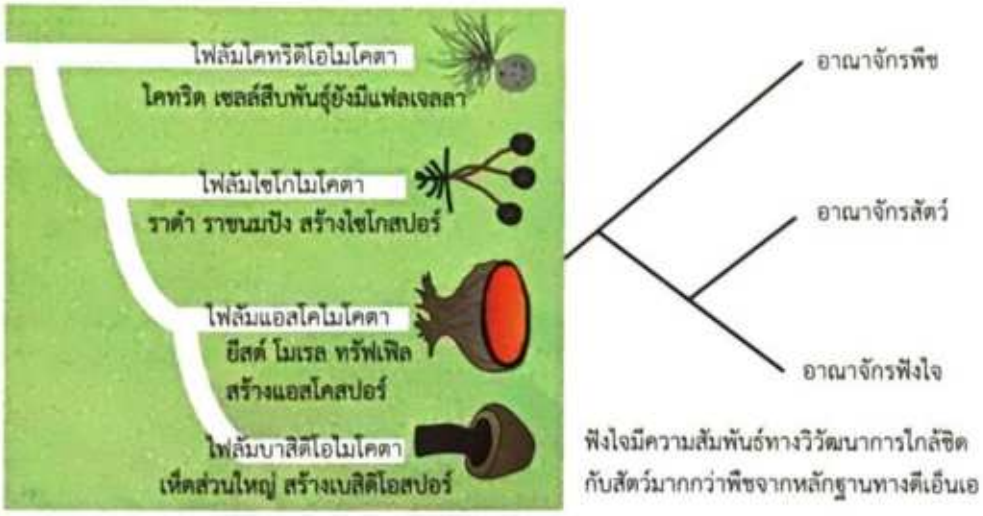
▲ (Cr. mcdaniel.edu)

- ฟังไจสืบพันธุ์ทั้งแบบอาศัยและไม่อาศัยเพศโดยการสร้างสปอร์ การแบ่งไฟลัมของฟังไจอาศัยสปอร์ที่เกิดจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ
- ฟังไจหลายชนิดที่ไม่พบการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่สามารถจัดอยู่ในไฟลัมใดได้ เรียกว่ากลุ่ม ฟังไจอิมเพอร์เฟคไท (fungi imperfecti) แต่ปัจจุบันสามารถใช้ลำดับเบสดีเอ็นเอในการจำแนกได้ เช่น รา *Penicillium*, *Aspergillus* เป็นต้น

- ไลเคน (Lichens) – สาหร่ายหรือไซยาโนแบคทีเรียอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพากับเห็ดรา
- เป็นกลุ่มแรกที่เข้าแทนที่พื้นที่รกร้าง ช่วยทำให้หินสลายเป็นดิน
- เป็นดัชนีบอกคุณภาพอากาศ

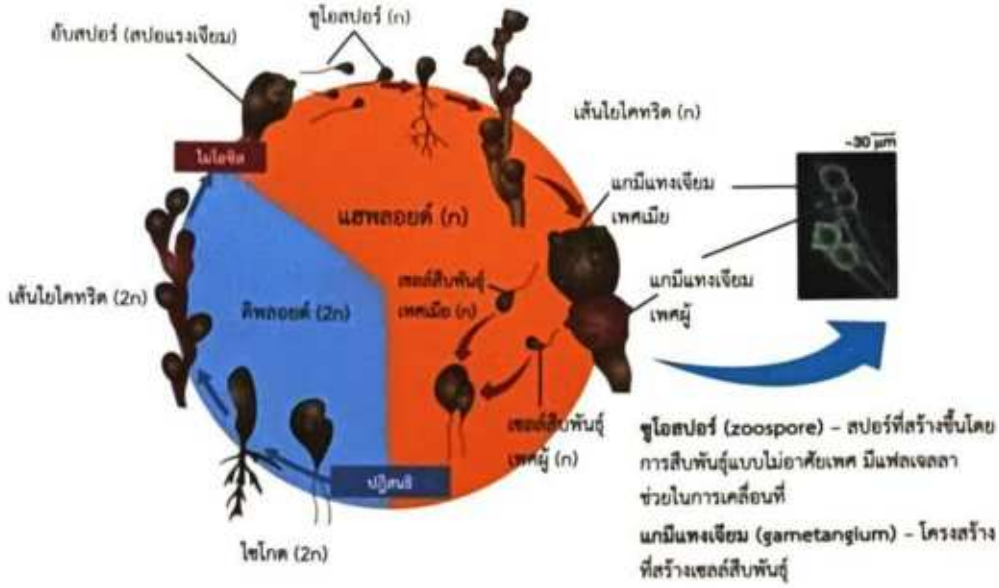
▲ (Cr. saburchill.com)

วิวัฒนาการของฟังไจ



▲ (Cr. mun.ca)

- ไฟลัมไคทริดิโอไมโคตา (Phylum Chytridiomycota) **chytridion = หม้อใบเล็ก
  - สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ โดยสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่มีแฟลเจลลา
  - เช่น ไคทริด อาศัยในน้ำจืดและดิน บางชนิดเป็นผู้ย่อยสลาย บางชนิดเป็นปรสิตในโพรทิสต์ ฟังไจ พืชและสัตว์ โดยเฉพาะปรสิตในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก ทำให้กบตายเป็นจำนวนมากในออสเตรเลีย
  - ไคทริดบางชนิดอาศัยร่วมกับสัตว์เคี้ยวเอื้องแบบภาวะพึ่งพา เช่น แกะและวัว โดยดำรงชีวิตแบบไม่ใช้ออกซิเจนในทางเดินอาหารสัตว์ ย่อยสลายพืชออกมาเป็นสารอาหารให้สัตว์นำไปใช้



▲ (Cr. whfreeman.com)

Quiz Yourself

9) Anthophytes คือสิ่งมีชีวิตกลุ่มใด

1. เห็ดรา
2. พืชไม่มีท่อลำเลียง
3. พืชดอก
4. เฟินและพืชกลุ่มใกล้เคียง
5. พืชเมล็ดเปลือย

- ไฟลัมไซโกไมโคตา (Phylum Zygomycota)
  - ไฮฟาไม่มีเยื่อกั้น เมื่อสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจะสร้างสปอร์ในอับสปอร์
  - ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม จะสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศสร้างไซโกสปอร์ (zygospore) ที่มีผนังแข็งแรง
  - เป็นฟังไจที่อาศัยบนพื้นดิน เช่น ราดำ *Rhizopus* และ *Mucor* บนขนมปังหรืออาหาร

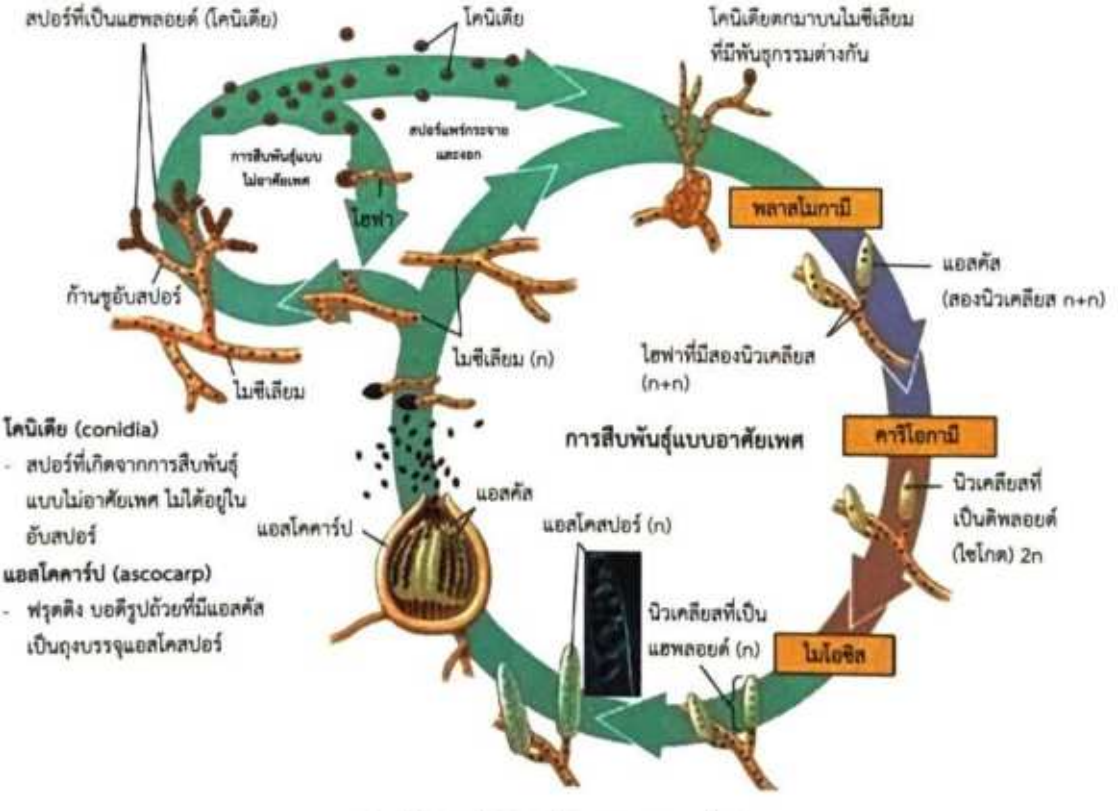
▲ (Cr. kennesaw.edu)

- ไฟลัมแอสโคไมโคตา (Phylum Ascomycota) **ascos = ถุง
  - ไฮฟามีเยื่อกั้นแต่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ให้สารผ่านได้
  - มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยบางชนิดสร้างสปอร์ในอับสปอร์ และบางชนิดไม่สร้างสปอร์ในอับสปอร์
  - สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยสร้างแอสโคสปอร์ (ascospore) ในถุงเรียกว่า แอสคัส (ascus) อยู่เป็นกลุ่มในฟรุตติงบอดีรูปถ้วยหรือรูปกลม
  - เป็นฟังไจที่มีจำนวนมากที่สุด พบทั้งในทะเล แหล่งน้ำจืด และพื้นดิน มีแบบเซลล์เดียว เช่น ยีสต์ และหลายเซลล์ เช่น โมเรล ทรัฟเฟิล (เห็ดราคาแพงอยู่ร่วมกับต้นไม้ใหญ่ในประเทศเขตหนาว) ราแดง หลายชนิดเป็นไลเคน
- ไฟลัมเบสิดิโอไมโคตา (Phylum Basidiomycota) **basidion = ฐาน
  - ไฮฟามีเยื่อกั้นสมบูรณ์ สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยสร้างเบสิดิโอสปอร์ (basidiospore) บริเวณปลายเส้นใยทางด้านล่างของฟรุตติงบอดีขนาดใหญ่ เรียกว่า เบสิเดียม (basidium) มีความสามารถย่อยพอลิเมอร์ได้ เช่น ลิกนิน
  - เช่น ราสนิม ราเขม่าดำ เห็ดชนิดต่างๆ และไมคอร์ไรซาบางชนิด

Quiz Yourself

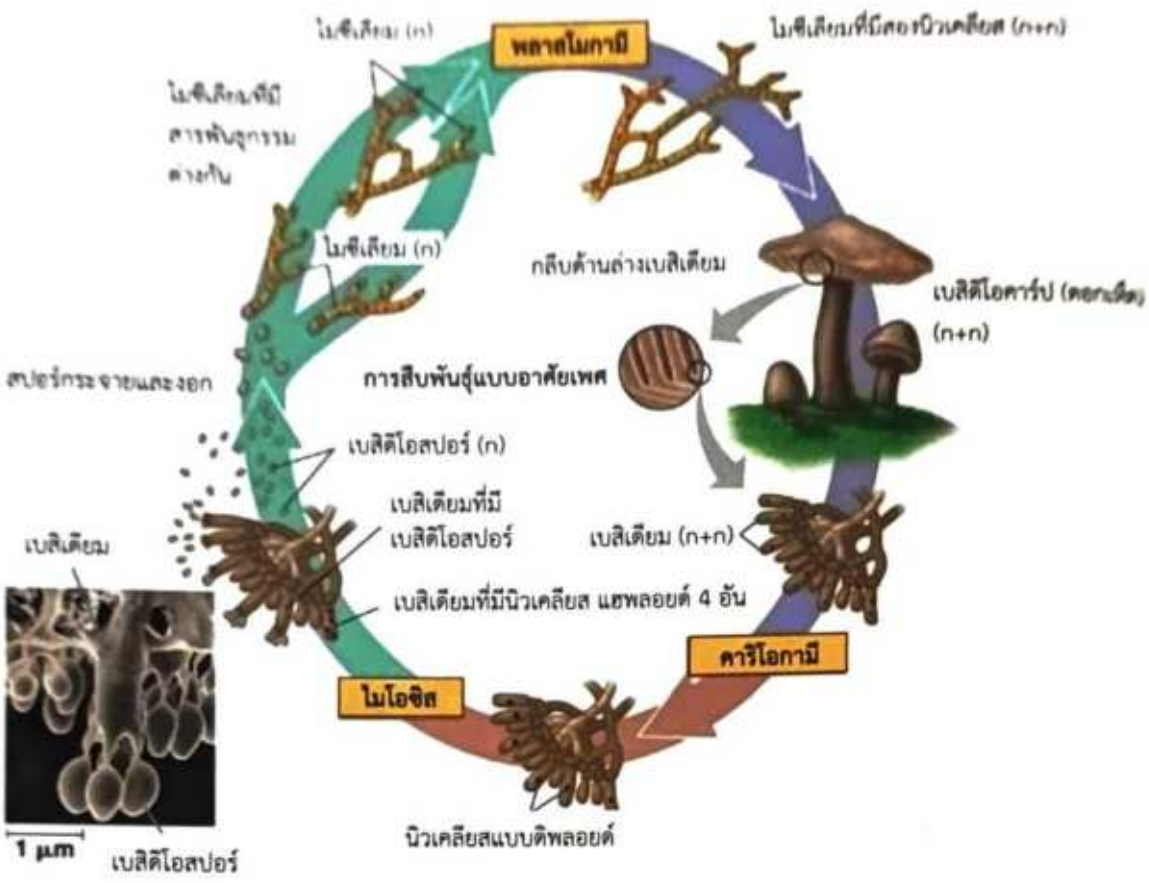
10) สิ่งมีชีวิตที่เป็นยูคาริโอตและมีผนังเซลล์ แต่ไม่มีคลอโรพลาสต์จัดเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มใด
1. สิ่งมีชีวิตในไฟลัมคอร์ดาตา
2. สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรเห็ดรา
3. สิ่งมีชีวิตในไฟลัมคลอโรไฟตา
4. สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรมอเนอรา
5. สิ่งมีชีวิตในโดเมนอาร์เคีย

- วงจรชีวิตฟังไจไฟลัมแอสโคไมโคตา



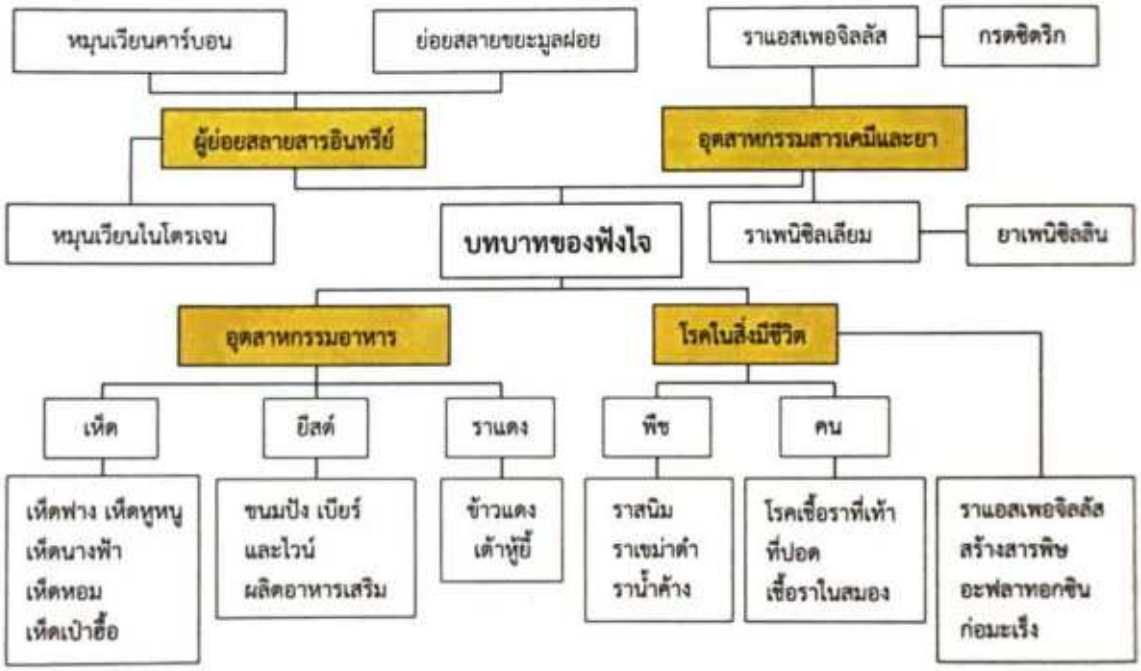
▲ (Cr. science.kennesaw.edu)

• วงจรชีวิตฟังไจไพลัมเบสิดิโอไมโคตา

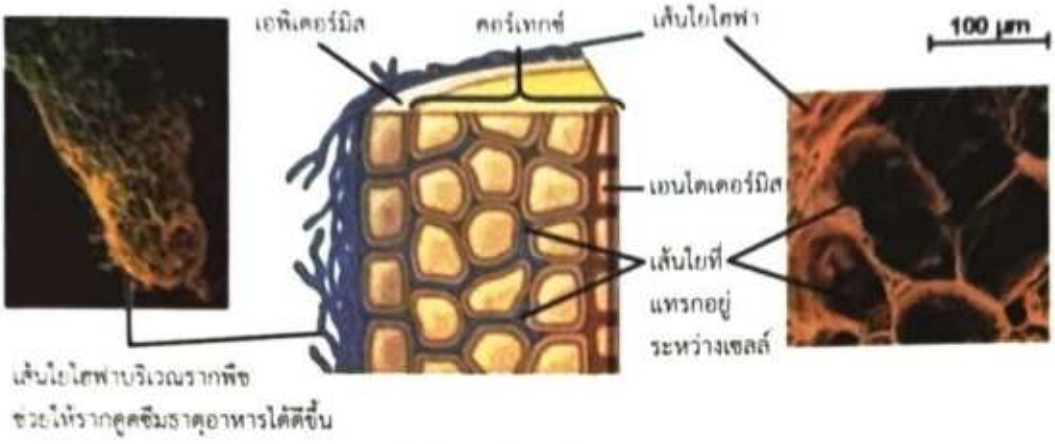


▲ (Cr. science.kennesaw.edu)

• บทบาทของฟังไจ



- ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) ฟังไจที่อยู่ร่วมกับรากพืชแบบภาวะพึ่งพา มีโครงสร้างประกอบด้วยเซลล์รากพืชและไฮฟาของฟังไจที่รากพืช



▲ (Cr. wikimedia.org)

Quiz Yourself

11) ข้อใดเป็นลักษณะของพืชพวกมอส

ก. สร้างสปอร์ชนิดเดียว
ข. มีสปอโรไฟต์เด่นกว่าแกมีโทไฟต์
ค. มีอับสปอร์เป็นกลุ่ม
ง. แกมีโทไฟต์สร้างเซลล์สืบพันธุ์สองชนิด

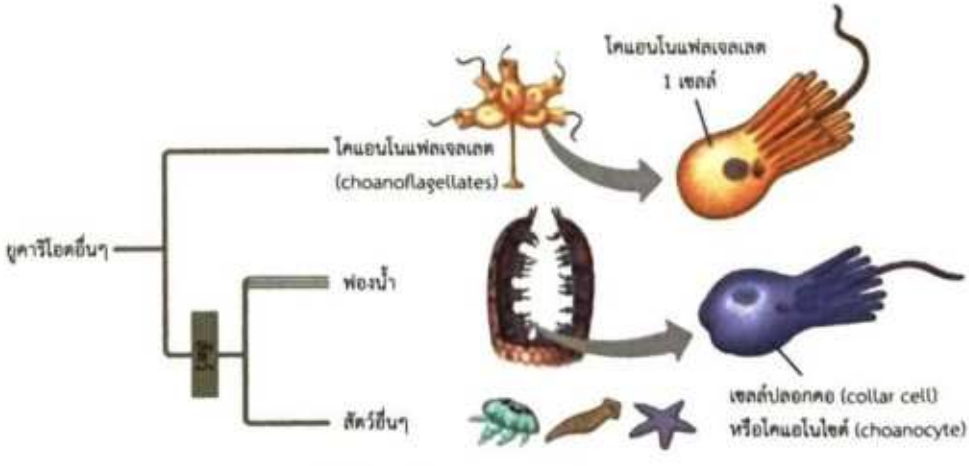
1. ก. และ ข. 2. ข. และ ค. 3. ค. และ ง. 4. ก. และ ง.

19.9 อาณาจักรสัตว์

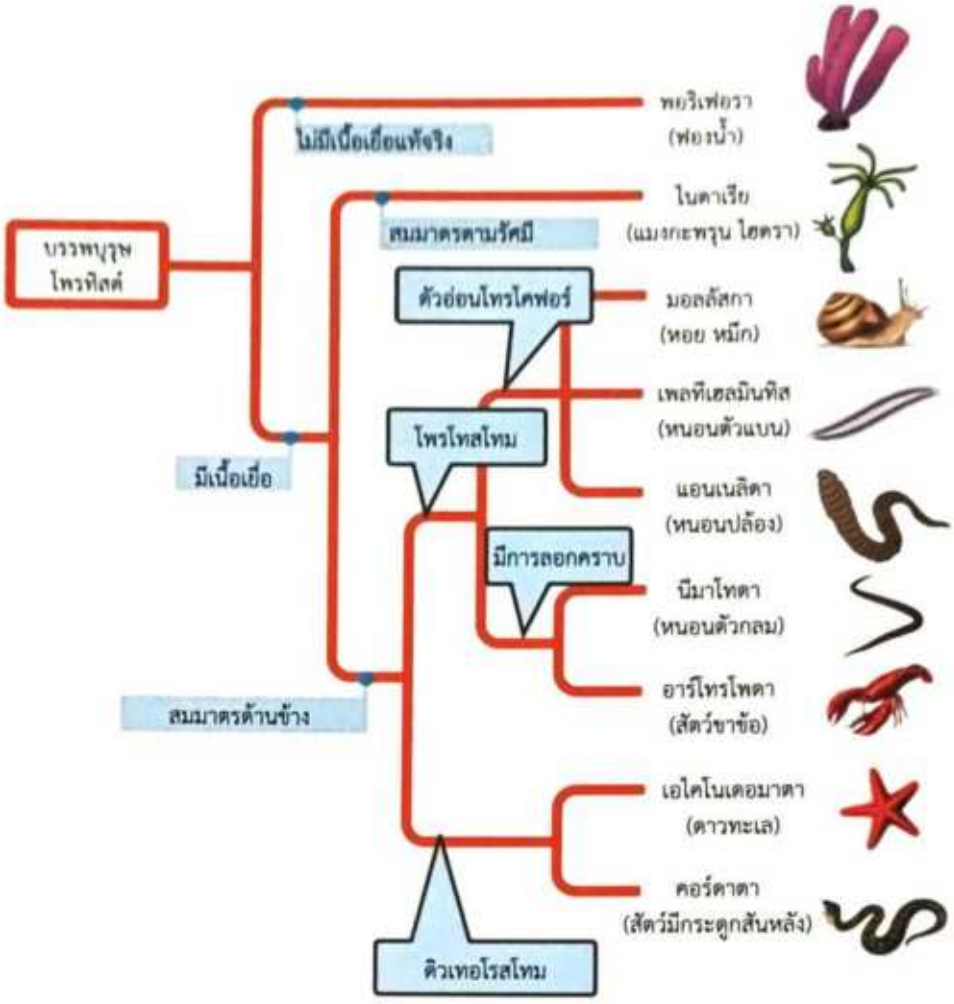
- ยูคาริโอตที่มีหลายเซลล์ ไม่มีผนังเซลล์ เซลล์เรียงตัวเป็นเนื้อเยื่อยกเว้นฟองน้ำ
- เป็นพวกเฮเทอโรทรอฟ (heterotroph) คือ ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ต้องได้รับอาหารจากแหล่งภายนอก
- มีการเรียนรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้า มีการเคลื่อนไหวโดยการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

วิวัฒนาการของอาณาจักรสัตว์

มีข้อสันนิษฐานว่าสัตว์มีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกับโคแอนโนแฟลเจลเลต ซึ่งเป็นโพรทิสต์กลุ่มหนึ่งที่อยู่รวมกันเป็นโคโลนี มีเซลล์เหมือนเซลล์ปลอกคอที่พบในฟองน้ำ



▲ (Cr. kennesaw.edu)



▲ (Cr. amazonaws.com)

Quiz Yourself

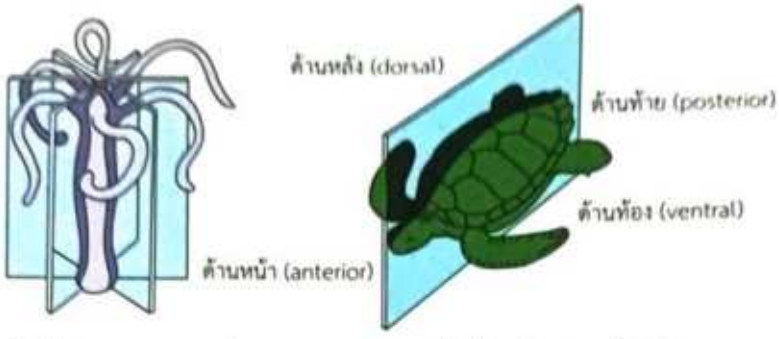
12) สัตว์ทุกชนิดในข้อใดมีสมมาตรแบบเดียวกัน

1. ฟองน้ำ หอยทาก กัลปังหา
2. ปลิงทะเล กิ้งกือ พยาธิตัวตืด
3. แมงกะพรุน ทากเปลือย แมงดาทะเล
4. หมึกกระดอง ปะการังอ่อน ทากดูดเลือด

เกณฑ์ในการจำแนกสัตว์ตามสายวิวัฒนาการ

- เนื้อเยื่อ
  - ไม่มีเนื้อเยื่อที่แท้จริง : ฟองน้ำ (Porifera)
  - มีเนื้อเยื่อที่แท้จริง : สัตว์อื่นๆ ตั้งแต่ไฟลัมไนดาเรียขึ้นไป

- ลักษณะสมมาตร

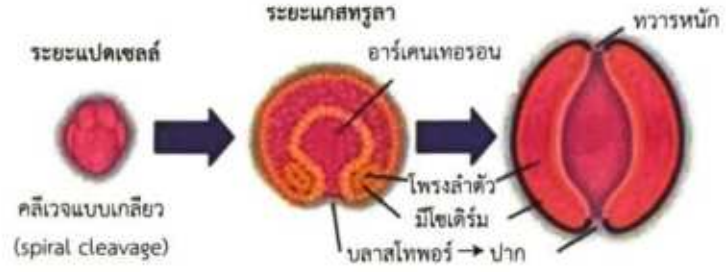


สมมาตรแบบรัศมี เช่น แมงกะพรุนและไฮดรา　　สมมาตรแบบด้านข้าง เช่น หนอนตัวแบน สัตว์ขาข้อและสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง

▲ (Cr. desertbruchid.net)

- การเปลี่ยนแปลงของบลาสโทพอร์ (blastopore) – ช่องเปิดที่เกิดขึ้นในระยะแกสทรูลา (gastrula)
  - โพรโทสโทเมีย (protostomia) : การเจริญของบลาสโทพอร์ไปเป็นปาก proto- แรก stome- ปาก

    มุขจำ **PAMAN (Platy-, Annelida, Mollusca, Arthro- และ Nema-)

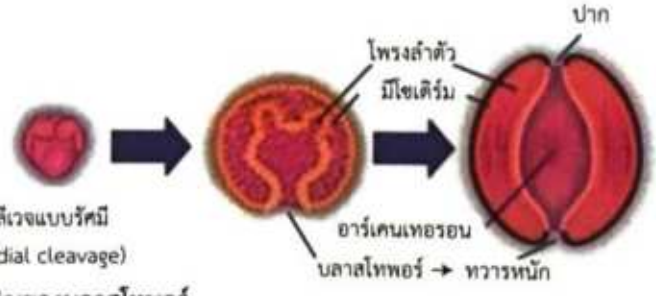


การเจริญของบลาสโทพอร์ไปเป็นปาก หรือปากเกิดก่อน

▲ (Cr. cloudfront.net)

  - ดิวเทอโรสโทเมีย (deuterostomia) : deuteron- ที่สอง stome- ปาก

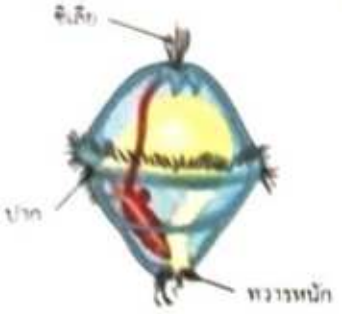
    **CE (Chordata Echinodermata)



การเจริญของบลาสโทพอร์ ไปเป็นทวารหนัก หรือทวารหนักเกิดก่อน

▲ (Cr. cloudfront.net)

- การเจริญในระยะตัวอ่อนในกลุ่มโพรโทสโตม



ตัวอ่อนแบบโทรโคฟอร์

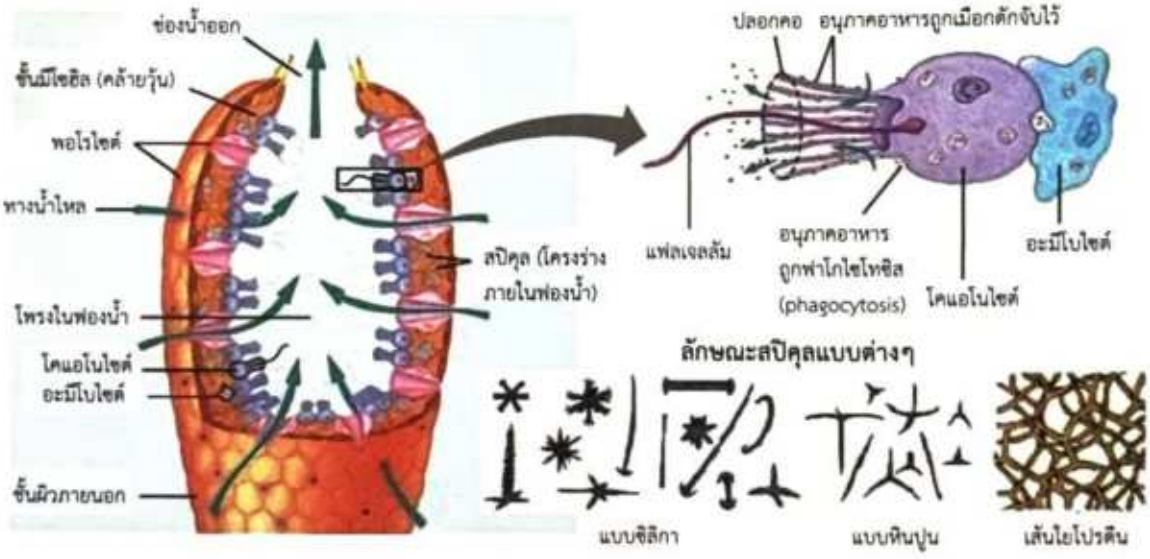
▲ (Cr. nicerweb.com)

- ตัวอ่อนแบบโทรโคฟอร์ (trochophore larva) เช่น PAM (Platy-, Annelida และ Mollusca)
- ตัวอ่อนลอกคราบ (ecdysis) เช่น AN (Arthropoda และ Nematoda

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

กลุ่มที่ไม่มีเนื้อเยื่อที่แท้จริง (no true tissue)

- ไฟลัมพอริเฟอรา (Phylum Porifera) : ฟองน้ำ (sponges) **pori (pore) = รูพรุน fera = มีอยู่
  - โครงสร้างร่างกายไม่ซับซ้อน ไม่มีเนื้อเยื่อแท้จริง ลำตัวมีช่องขนาดเล็กให้น้ำเข้า (ostium) และช่องขนาดใหญ่ให้น้ำออก (osculum)
  - ตัวอ่อนว่ายน้ำได้ แต่เมื่อโตเต็มวัยจะเกาะอยู่กับที่ มีโครงร่างค้ำจุนแทรกอยู่ในฟองน้ำ เรียกว่า สปิคูล (spicule) สร้างจากหินปูน ($CaCO_3$) หรือซิลิกา (SiO_2) หรือโครงร่างเป็นเส้นใยโปรตีนขึ้นอยู่กับชนิดของฟองน้ำ



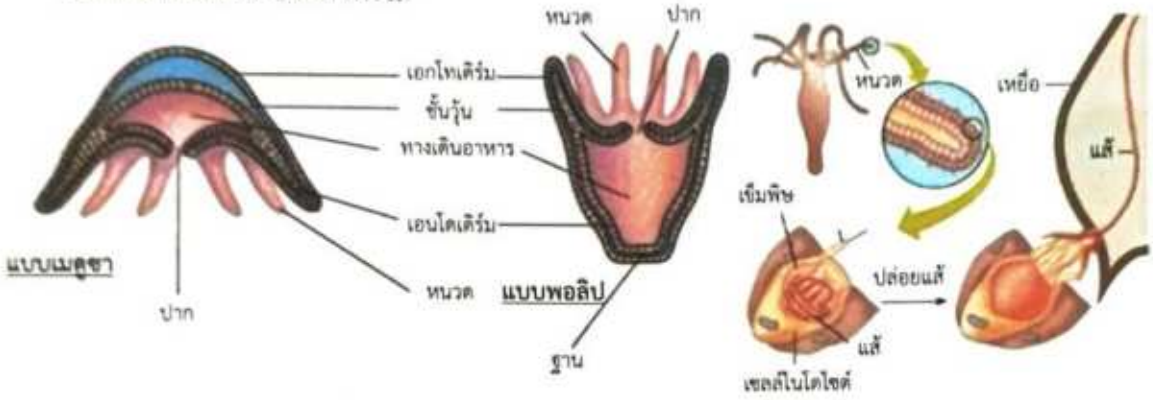
▲ (Cr. weebly.com และ oceanlink.info)

- ฟองน้ำมีเซลล์หลายชนิดที่แบ่งตามรูปร่างและหน้าที่การทำงาน เช่น โคแอโนไซต์ (choanocyte) หรือเซลล์ปลอกคอ (collar cell) ทำหน้าที่ดักจับและย่อยอาหาร อะมีโบไซต์ (amoebocyte) เคลื่อนที่เหมือนอะมีบา ทำหน้าที่ย่อยอาหารและกำจัดสิ่งแปลกปลอม พอโรไซต์ (porocyte) เป็นเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นทางน้ำเข้า (pore- รู)

กลุ่มที่มีเนื้อเยื่อที่แท้จริง (true tissue)

1. กลุ่มที่มีสมมาตรแบบรัศมี (radial symmetry)

- ไฟลัมไนดาเรีย (Phylum Cnidaria) **cnida = ต้นตำแย, ระคายเคือง หมายถึง เซลล์เข็มพิษไนโดไซต์
  - เป็นกลุ่มแรกที่มีเนื้อเยื่อแท้จริง มีเนื้อเยื่อสองชั้น (diploblastic tissue layer) คือ เอนโดเดิร์ม และเอกโทเดิร์ม
  - มีรูปร่าง 2 แบบ คือ โพลิป (polyp) หรือทรงกระบอก และเมดูซา (medusa) คล้ายร่มหรือระฆัง
  - มีช่องเปิดออกจากลำตัวเพียงช่องเดียว ช่องปากซึ่งทำหน้าที่ทั้งกินอาหารและขับถ่าย
  - มีหนวด (tentacle) รอบช่องปากใช้ในการล่าเหยื่อ มีเซลล์ไนโดไซต์ (cnidocyte) ซึ่งปล่อยเข็มพิษ (nematocyst) เพื่อจับเหยื่อหรือป้องกันตัว
  - ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในน้ำเค็ม บางชนิดอยู่ในน้ำจืด สิ่งมีชีวิตในไฟลัมนี้ ได้แก่ ไฮดรา แมงกะพรุน ดอกไม้ทะเล ปะการัง กัลปังหา ปากกาทะเล



▲ (Cr. amazonaws.com และ: kennesaw.edu)

2. กลุ่มที่มีสมมาตรแบบด้านข้าง (bilateral symmetry)

2.1 กลุ่มโพรโทสโทเมีย (protostomia) ที่มีตัวอ่อนแบบโทรโคฟอร์ (trochophore larva)

- ไฟลัมแพลทีเฮลมินทิส (Phylum Platyhelminthes) : หนอนตัวแบน (flatworm) **platy (flat) = แบน helminth = หนอน
  - มีลำตัวแบน จึงเรียกว่าหนอนตัวแบน มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น (triploblastic tissue layer) คือ มีโซเดิร์ม เอนโดเดิร์ม และเอกโทเดิร์ม

สัตว์ในไฟลัมถัดจากนี้มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้นหมด

  - ไม่มีช่องว่างภายในลำตัว (acoelom) คือ ไม่มีช่องว่างระหว่างผนังลำตัวและผนังทางเดินอาหาร
  - มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ คือ มีทางเข้าออกของทางเดินอาหารเพียงทางเดียว ทำหน้าที่ทั้งกินอาหารและขับถ่าย

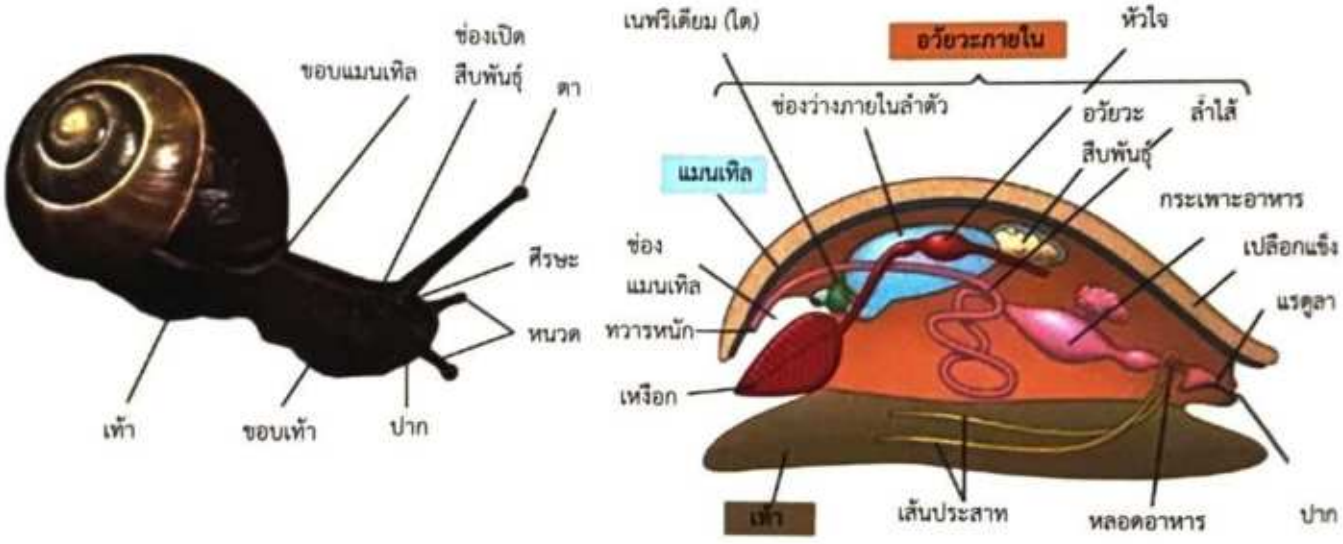
***พยาธิตัวตืดไม่มีทางเดินอาหารแต่เป็นปรสิตที่อาศัยการดูดซึมสารอาหารจากโฮสต์โดยตรง

  - บางชนิดดำรงชีวิตอิสระ เช่น พลานาเรีย แต่ส่วนใหญ่เป็นปรสิต เช่น พยาธิใบไม้ พยาธิตัวตืด

▲ (Cr. kennesaw.edu และ: nicerweb.com)

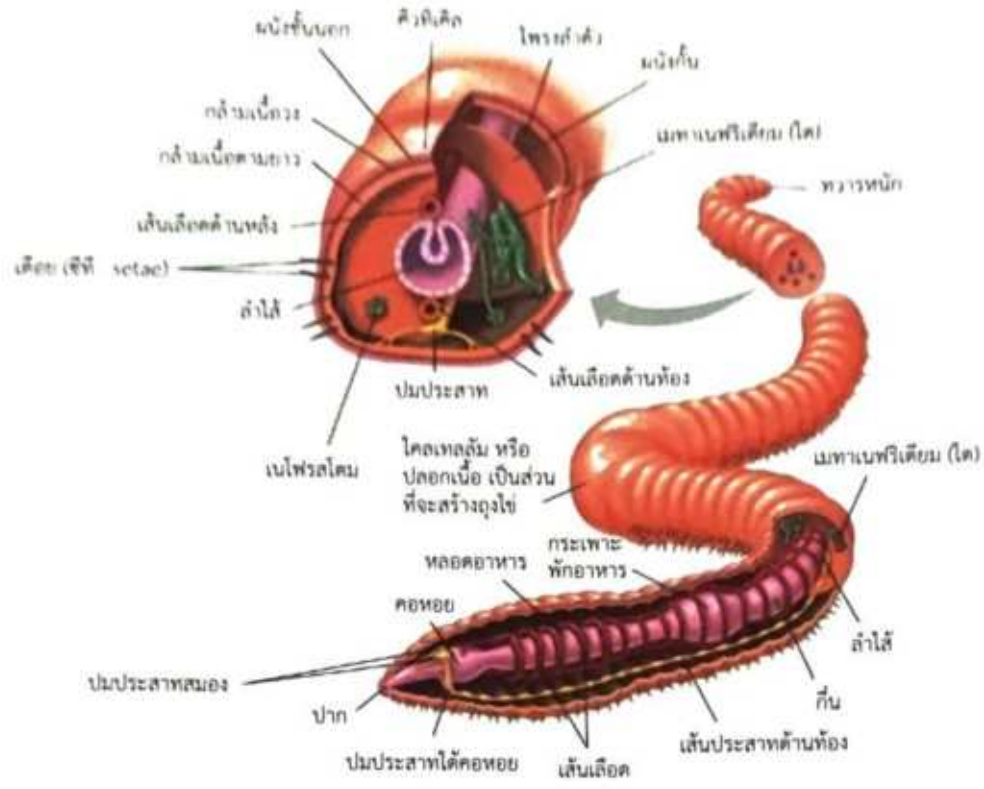
- ไฟลัมมอลลัสคา (Phylum Mollusca) : หอยและหมึก **mollusc = นิ่ม
  - เป็นสัตว์ลำตัวนิ่มแต่มีเปลือกแข็งที่สร้างจากสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ส่วนหมึก เช่น หมึกสาย หมึกกล้วย มีเปลือกแข็งอยู่ภายในลำตัว แต่หมึกยักษ์ไม่มีเปลือกแข็ง
  - มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ (มีปากเป็นทางเข้าอาหาร และมีทวารหนักเป็นทางออกของกากอาหาร)

  สัตว์ในไฟลัมถัดจากนี้มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ทั้งหมด
  - ลักษณะเด่น คือ มีแมนเทิล (mantle) เป็นเนื้อเยื่อหุ้มอยู่ภายนอกทำหน้าที่สร้างเปลือกแข็งหุ้มลำตัว และเกือบทุกชนิดจะมีแรดูลา (radula) โครงสร้างลักษณะคล้ายฟันใช้ในการกินอาหาร
  - มอลลัสค์ที่อาศัยในน้ำจะใช้เหงือกแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านการไหลเวียนของน้ำ ในกลุ่มที่อาศัยบนบกใช้ปอดแลกเปลี่ยนแก๊สแทนเหงือก
  - ดำรงชีวิตหลายแบบ ทั้งกินพืช กินสัตว์ และกินซากพืชซากสัตว์



▲ (Cr. habitas.org และ kennesaw.edu)

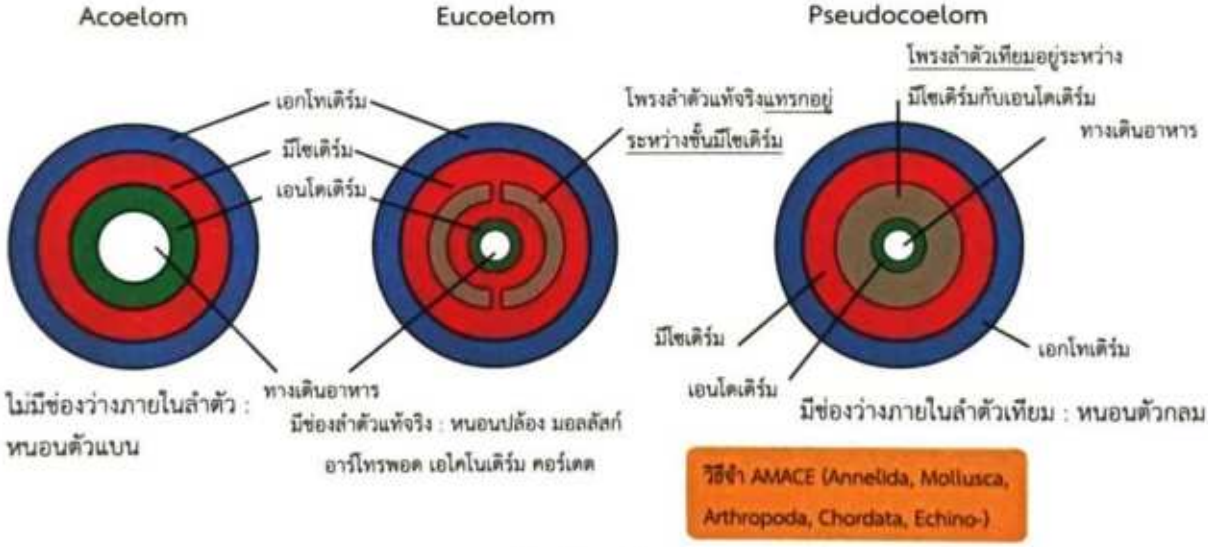
- ไฟลัมแอนเนลิดา (Phylum Annelida) : หนอนปล้อง (segmented worm) **annel = วงแหวน
  - ลำตัวแบ่งออกเป็นปล้องเห็นได้ชัดเจน ภายในมีเยื่อกั้น อวัยวะภายในจะมีการจัดเป็นชุดซ้ำๆ กันในแต่ละปล้อง
  - บางชนิดเป็นกะเทย (hermaphrodite หรือ monoecious) คือ มีสองเพศในตัวเดียวกัน เช่น ไส้เดือนดิน และปลิง แต่เวลาผสมพันธุ์ต้องจับคู่กันผสมพันธุ์ข้ามตัว บางชนิดแยกเพศ (dioecious) เช่น แม่เพรียง บุ้งทะเล
  - มีระยะตัวอ่อนโทรโคฟอร์ (trochophore larva)
  - บางชนิดอาศัยอยู่อย่างอิสระ เช่น ไส้เดือนดินกินซากอินทรียวัตถุเป็นอาหาร แม่เพรียงเป็นผู้ล่า บางชนิดเป็นปรสิตภายนอก เช่น ทากและปลิงดูดเลือด ใช้ฟันกัดผิวหนังโฮสต์ ปล่อยสารที่มีฤทธิ์คล้ายยาชาทำให้เหยื่อไม่รู้สึกเจ็บ และสารฮิรูดิน (hirudin) ทำให้เลือดไม่แข็งตัว



▲ (Cr. science.kennesaw.edu)

2.2 กลุ่มโพรโทสโทเมีย (protostomia) ที่มีตัวอ่อนลอกคราบ (ecdysis)

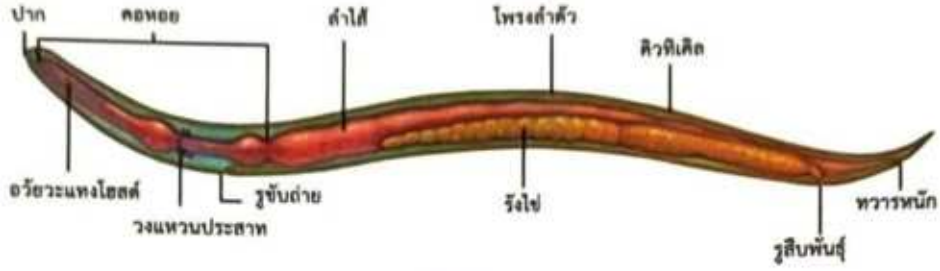
- ไฟลัมนีมาโทดา (Phylum Nematoda) : หนอนตัวกลม (roundworm) **nemat = เส้นด้าย
  - มีลำตัวรูปทรงกระบอก ไม่มีปล้องบริเวณลำตัว มีคิวทิเคิลห่อหุ้มร่างกายทำให้มีการลอกคราบระหว่างเจริญเติบโต
  - ไม่มีระบบหมุนเวียนเลือด ลำเลียงสารอาหารโดยของเหลวภายในโพรงลำตัวเทียม (pseudocoelom)



ภาพเปรียบเทียบเนื้อเยื่อ 3 ชั้นและช่องตัวแบบต่างๆ

▲ (Cr. cnx.org)

- อาศัยอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม และดินชื้นแฉะ หลายชนิดเป็นปรสิตในสัตว์และมนุษย์ ได้แก่ พยาธิปากขอ พยาธิไส้เดือน พยาธิเส้นด้าย พยาธิตัวจี๊ด "ขอ เดือน ได้ จี๊ด"



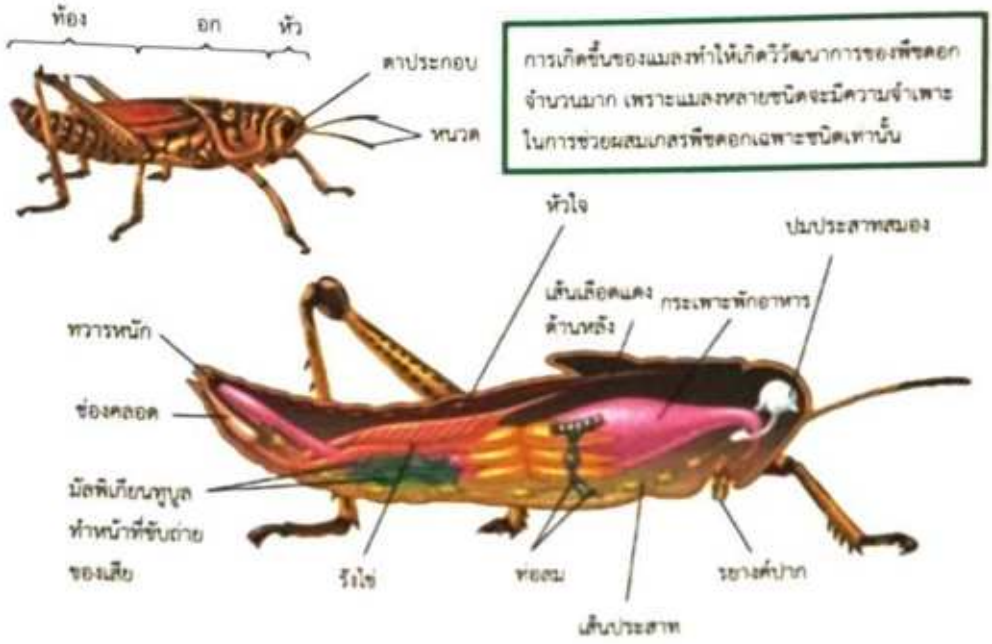
หนอนตัวกลม

▲ (Cr. uic.edu)

- ไฟลัมอาร์โทรโพดา (Phylum Arthropoda) : สัตว์ขาข้อ (jointed-leg animal) **arthro = ข้อปล้อง poda = เท้า
  - เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีมากที่สุดในโลก ทั้งในแง่ของจำนวนและความหลากหลาย
  - ลักษณะเด่น คือ มีลำตัวเป็นปล้อง มีรยางค์ขาเป็นข้อต่อกัน รยางค์มีลักษณะพิเศษเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น ขุดดิน เดิน กระโดด ว่ายน้ำ รับความรู้สึก สืบพันธุ์ และอื่นๆ
  - มีโครงร่างเป็นเปลือกแข็งอยู่ภายนอกประกอบด้วยสารพวก**ไคทิน (chitin)** ป้องกันการสูญเสียน้ำ ทำให้ประสบความสำเร็จในการดำรงชีวิตบนบก
  - ในการเจริญเติบโตจะมี**การลอกคราบ (ecdysis)** จากระยะตัวอ่อนเป็นตัวเต็มวัย
  - มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด ส่วนใหญ่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ และมีระบบประสาทและอวัยวะรับสัมผัสที่เจริญดี
  - สัตว์ในไฟลัมอาร์โทรโพดามีความหลากหลายสูงมากและมีความแตกต่างกันชัดเจน สามารถแบ่งออกเป็นคลาสดังนี้

คลาส	ลักษณะทั่วไป	ตัวอย่างสัตว์	ประโยชน์และโทษ
เมอโรสโตมาตา (Merostomata) : แมงดาทะเล **mero = ต้นขา stome = ปาก เพราะรยางค์ปากอยู่ด้านท้ายของลำตัว	▸ พบตามน้ำตื้นในป่าชายเลน ▸ ลำตัวแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนหัวรวมกับส่วนอก (cephalothorax) และส่วนท้อง ▸ รยางค์คู่แรกของส่วนท้องใช้ในการกินอาหาร ▸ มีขาเดิน 5 คู่ ปลายขาคู่สุดท้ายเป็นแผ่นช้อนกันใช้ขุดทรายฝังตัว ▸ จัดเป็นสิ่งมีชีวิตโบราณเพราะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากอดีตไม่มากนัก	▸ แมงดาหางเหลี่ยม หรือแมงดาจาน (ไม่มีพิษ) ▸ แมงดาหางกลม หรือแมงดาถ้วย (มีพิษ) ▸ **นึกถึงถ้วยกาแฟกลมๆ ใส่ยาพิษ	▸ ไข่แมงดาทะเลนำมาเป็นอาหาร ▸ เลือดของแมงดาทะเลนำมาวิจัยทางการแพทย์

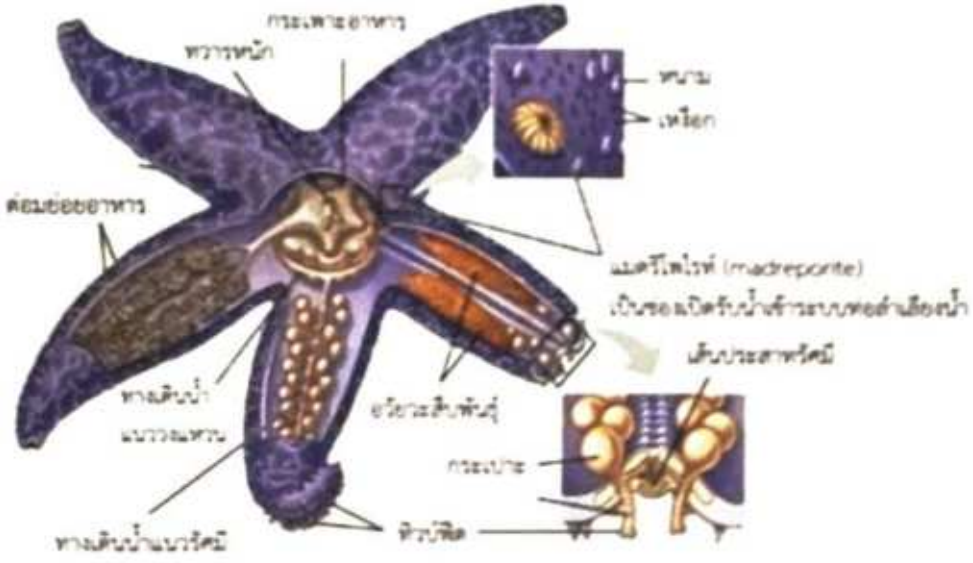
คลาส	ลักษณะทั่วไป	ตัวอย่างสัตว์	ประโยชน์และโทษ
อะแรคนิดา (Arachnida) : แมงมุม แมงป่อง เห็บ ไร **arachnid = แมงมุม	▸ ลำตัวแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนหัวรวมกับส่วนอก (cephalothorax) และส่วนท้อง ▸ มีรยางค์ 6 คู่ โดยคู่ที่ 1 และ 2 ใช้จับอาหารและรับความรู้สึก ▸ ที่เหลือ 4 คู่เป็นขาเดิน	▸ แมงมุม ที่ปล้องส่วนท้ายมีอวัยวะชักใย ▸ แมงป่อง มีเข็มพิษบริเวณหางใช้ล่าเหยื่อและป้องกันตัว ▸ เห็บและไรมีส่วนปากใช้ในการดูดเลือดโฮสต์	▸ เป็นผู้ล่าในระบบนิเวศ เป็นตัวห้ำช่วยกำจัดแมลงศัตรูพืช ▸ บางชนิดมีพิษเป็นอันตรายต่อระบบกล้ามเนื้อ เลือด และประสาท ▸ เห็บและไรเป็นปรสิตและพาหะนำโรคบางชนิด
ไดโพลโพดา (Diplopoda) : กิ้งกือ **diplo = คู่ pod = ขา	▸ ลำตัวยาวมีหลายปล้อง มีรยางค์ขาปล้องละ 2 คู่ ▸ บริเวณหัวมีหนวด 1 คู่ ▸ อาศัยตามพื้นดิน ใต้กองใบไม้	▸ กิ้งกือกระบอก กิ้งกือตะเข็บ กิ้งกือกระสุน	▸ ทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายในระบบนิเวศ กินซากพืช ซากสัตว์ในดินเป็นอาหาร ▸ มูลกิ้งกือช่วยเพิ่มสารอินทรีย์ในดิน
ชีโลโพดา (Chilopoda) : ตะขาบ **chilo = ริมฝีปาก	▸ ลำตัวยาวแบนมีรยางค์ปล้องละ 1 คู่ ▸ บริเวณหัวมีหนวด 1 คู่ และเขี้ยวพิษ 1 คู่ สามารถปล่อยพิษ ทำให้เหยื่อเป็นอัมพาต	▸ ตะขาบ	▸ ทำหน้าที่เป็นผู้ล่าในระบบนิเวศ ▸ มีพิษต่อระบบประสาทและกล้ามเนื้อ
อินเซ็คตา (Insecta) : แมลง **in = ภายใน secta = เป็นช่วงๆ ท่อนๆ	▸ มีจำนวนสปีชีส์มากที่สุดในโลก ▸ อาศัยทั้งบนบก ในน้ำจืด และในอากาศ ▸ ลำตัวแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ หัว อก และท้อง ▸ มีหนวด 1 คู่ ขา 3 คู่และอาจมีปีก 1-2 คู่อยู่บริเวณอก	▸ แมลงทุกชนิด หมัด ผึ้ง มด ต่อ แตน ผีเสื้อ จักจั่น มวน เพลี้ย ด้วง หิ่งห้อย ปลวก ยุง ริ้น เหลือบ ตั๊กแตน จิ้งหรีด ครั่ง ชีปะขาว ชันโรง	▸ ช่วยผสมเกสรดอกไม้หลายชนิดเป็นอาหารของมนุษย์ ▸ ทำหน้าที่เป็นตัวห้ำ (กิน) หรือตัวเบียน (วางไข่ในตัวอ่อน) ของแมลงศัตรูพืช ถือเป็นการควบคุมแบบชีววิธี (biological control) ▸ เป็นศัตรูทำลายผลผลิตทางการเกษตร เป็นพาหะนำโรค เป็นปรสิต และก่อความรำคาญ
ครัสตาเซีย (Crustacea) : กุ้ง กั้ง ปู **crusta = เปลือกแข็ง กระดอง	▸ ส่วนใหญ่อาศัยในน้ำจืดและน้ำเค็ม บางชนิดอาศัยบนบก ▸ เป็นกลุ่มเดียวที่มีหนวด 2 คู่ ▸ มีรยางค์จำนวนมากทำหน้าที่พิเศษ เช่น รยางค์ส่วนท้องใช้เดินและว่ายน้ำ เป็นที่เกาะของไข่ รยางค์ส่วนหัวเปลี่ยนแปลงเป็นหนวดและส่วนประกอบของปาก	▸ กุ้ง กั้ง ปู แม่หอบ เพรียงหิน เพรียงคอห่าน เพรียงถั่วงอก ตัวกะปิ แมลงสาบทะเล ไรน้ำนางฟ้า ไรแดง	▸ มีคุณค่าทางเศรษฐกิจนิยมนำมาทำอาหาร ▸ เพรียงหินจำนวนมากเกาะตามท้องเรือ ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง



▲ (Cr. kennesaw.edu)

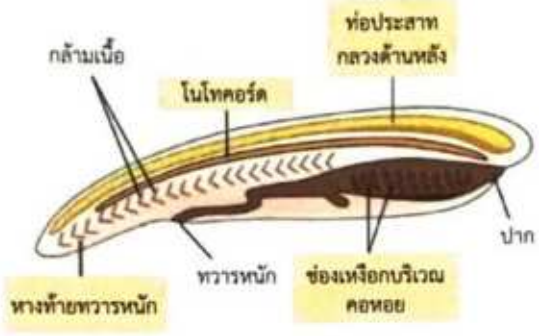
2.3 กลุ่มดิวเทอโรสโทเมีย (Deuterostomia)

- ไฟลัมเอไคโนเดอมาตา (Phylum Echinodermata) **echino = แม่น derma = ผิวหนัง
  - ดำรงชีวิตในทะเลทั้งหมด ส่วนใหญ่ลำตัวแบ่งเป็น 5 แฉก เช่น ดาวทะเล
  - มีผิวหนังบางๆ หุ้มโครงร่างแข็งภายในที่มีแผ่นหินปูนเป็นองค์ประกอบ ผิวลำตัวมีหนามยื่นออกมา
  - ลักษณะเด่น คือ มีระบบท่อลำเลียงน้ำ (water vascular system) ที่พัฒนามาจากโพรงลำตัวแยกไปตามแฉกและแตกแขนงออกมานอกลำตัวเป็นทิวบ์ฟีต (tube feet) ทำหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนที่
  - ระยะตัวอ่อนมีสมมาตรแบบด้านข้าง ตัวเต็มวัยมีสมมาตรแบบรัศมีแบบห้าแฉก
  - เช่น ดาวทะเล แม่นทะเล ปลิงทะเล พลับพลึงทะเล ดาวขนนก เป็นต้น



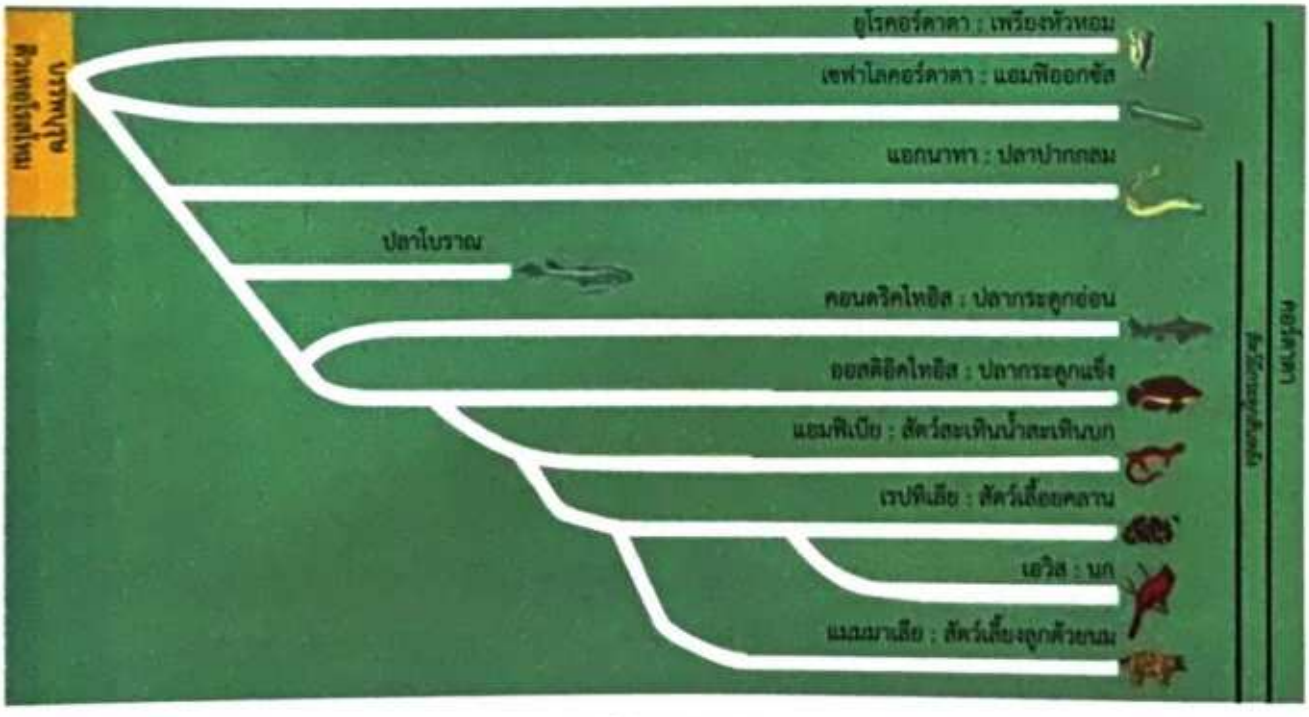
▲ (Cr. science.kennesaw.edu)

- ไฟลัมคอร์ดาตา (Phylum Chordata) **chorda (cord) = สาย หมายถึง โนโทคอร์ด
ต้องมีลักษณะสำคัญซึ่งพบในระยะใดระยะหนึ่ง มักพบในระยะเอ็มบริโอดังนี้
  - โนโทคอร์ด (notochord) เป็นแท่งยาวตลอดความยาวลำตัว มีความยืดหยุ่น อยู่ระหว่างทางเดินอาหารกับท่อระบบประสาท ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างค้ำจุนลำตัว พบในเอ็มบริโอของสัตว์ในไฟลัมนี้ทุกชนิด และพบในตัวเต็มวัยของแอมฟิออกซัส และปลาปากกลม
  - มีเส้นประสาทไขสันหลังกลวงด้านหลัง (dorsal hollow nerve cord) เจริญจากเนื้อเยื่อชั้นเอกโทเดิร์ม พบบริเวณด้านหลังเหนือโนโทคอร์ดในระยะเอ็มบริโอ ซึ่งต่อไปจะพัฒนาไปเป็นสมองและไขสันหลัง ส่วนสัตว์ในไฟลัมอื่นๆ (สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง) จะมีท่อประสาทตันด้านท้อง (ventral nerve cord)
  - มีช่องเหงือกบริเวณคอหอย (pharyngeal slits) อยู่เป็นคู่ๆ ทำหน้าที่กรองอาหารในน้ำที่ไหลผ่านเข้ามา พบในระยะตัวอ่อนและมีการปรับเปลี่ยนไปทำหน้าที่อื่นๆ ในตัวเต็มวัย แต่ในบางชนิดยังคงมีอยู่ตลอดชีวิต เช่น ฉลาม กระเบน **ในมนุษย์ช่องเหงือกนี้เปลี่ยนแปลงไปเป็นท่อยูสเตเชียน (eustachian tube) ทำหน้าที่ปรับความดันและเชื่อมระหว่างหูชั้นกลางกับโพรงจมูก
  - หาง (postanal tail) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากทวารหนัก พบในระยะตัวอ่อน และบางชนิดสูญหายไปในตัวเต็มวัย



▲ (Cr. kennesaw.edu)

ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของสัตว์ในไฟลัมคอร์ดาตา

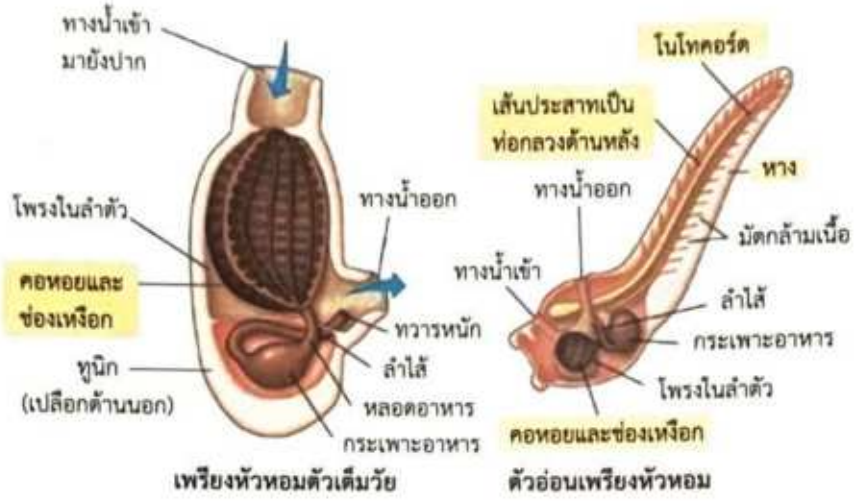


▲ (Cr. mun.ca)

สัตว์ในไฟลัมคอร์ดาตาที่ไม่มีกระดูกสันหลัง

(1) ซับไฟลัมยูโรคอร์ดาตา (Subphylum Urochordata) **uro = หาง เพราะโนโทคอร์ดยาวถึงหางในตัวอ่อน

- มีถุงหุ้มตัวประกอบด้วยสารคล้ายเซลลูโลส ตัวเต็มวัยไม่มีโนโทคอร์ด ไม่มีเส้นประสาทขนาดใหญ่
- ตัวอ่อนสามารถเคลื่อนที่ได้ เมื่อเข้าระยะตัวเต็มวัยบริเวณหลังและหางจะหดไป และเกาะเข้ากับพื้น

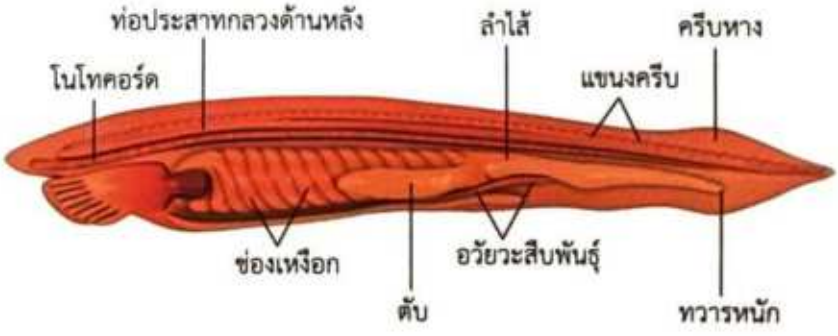


▲ (Cr. kennesaw.edu)

(2) ซับไฟลัมเซฟาโลคอร์ดาตา (Subphylum Cephalochordata) **cephalo = ศีรษะ เพราะโนโทคอร์ดยาวถึงหัว

- ตัวเต็มวัยมีท่อประสาทขนาดใหญ่ด้านหลัง มีโนโทคอร์ดยาวตลอดลำตัวตลอดชีวิต มีช่องเหงือกที่คอหอยและมีหาง

แอมฟิออกซัส

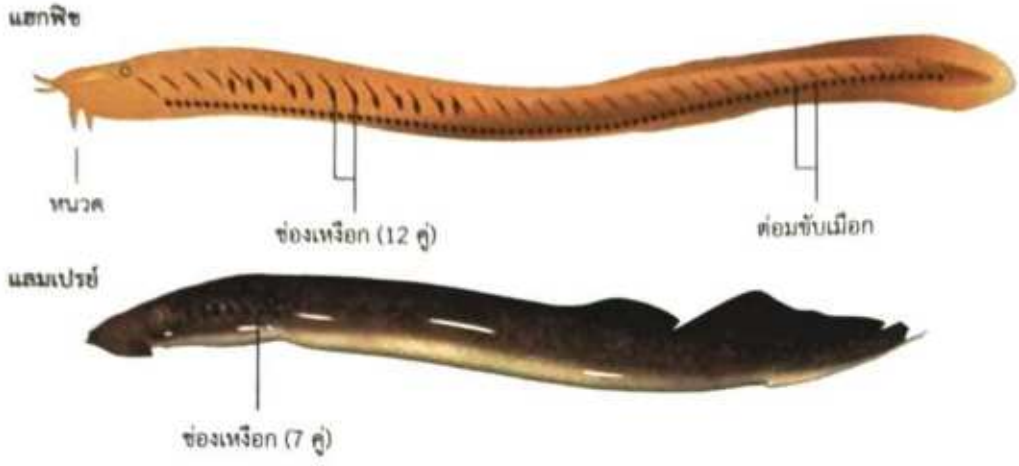


สัตว์มีกระดูกสันหลัง

สัตว์มีกระดูกสันหลังที่ไม่มีขากรรไกร

▸ คลาสแอกนาทา (Class Agnatha) : ปลาไม่มีขากรรไกร **a = ไม่มี gnatha = ขากรรไกร

- ส่วนใหญ่เป็นปลาที่สูญพันธุ์ไปแล้ว ที่พบในปัจจุบัน คือ ปลาปากกลม ได้แก่ แฮกฟิช (hagfish) เป็นปรสิตภายนอกของปลาหลายชนิด และแลมเพรย์ (lamprey) รูปร่างคล้ายปลาไหล มีโครงร่างเป็นกระดูกอ่อนและไม่มีครีบคู่



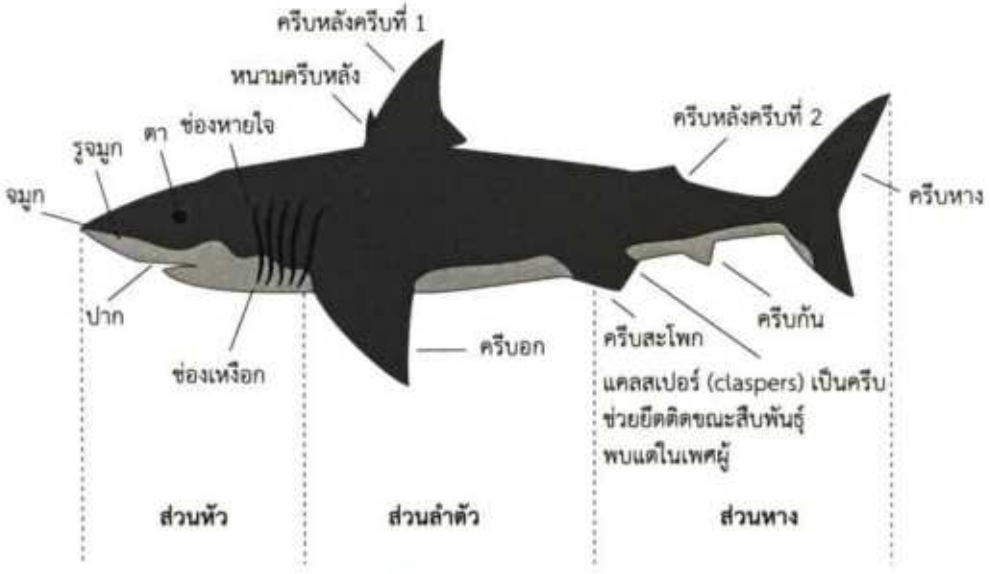
▲ (Cr. zo.utexas.edu)

สัตว์มีกระดูกสันหลังที่มีขากรรไกร

- มีบรรพบุรุษเกิดขึ้นตั้งแต่ประมาณ 450 ถึง 425 ล้านปีที่ผ่านมา

▸ คลาสคอนดริคไทอิส (Class Chondrichthyes) : ปลากระดูกอ่อน **chondri = กระดูกอ่อน ichthyes = ปลา

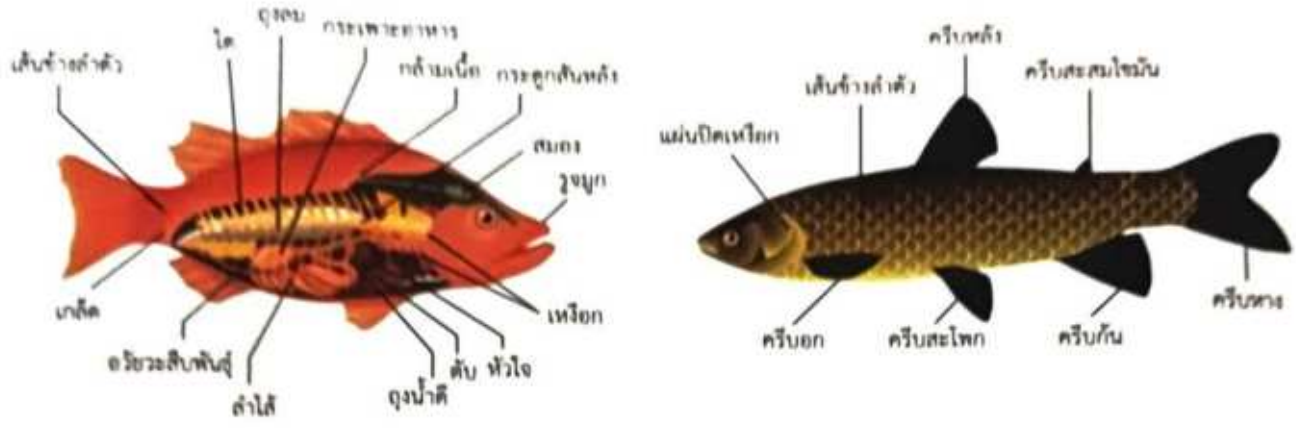
- มีโครงร่างเป็นกระดูกอ่อนที่ยืดหยุ่น มีขากรรไกรและครีบคู่ที่เจริญดี เช่น ฉลามและกระเบน
- มีการแลกเปลี่ยนแก๊สโดยใช้เหงือกด้านนอก มีการปฏิสนธิภายในและบางชนิดออกลูกเป็นตัว
- ฉลามมักมีบทบาทเป็นผู้ล่า โดยใช้ขากรรไกรและฟันที่แหลมคม มีเกล็ดที่คมปกคลุมผิวหนัง



▲ (Cr. sluh.org)

▸ คลาสออสติอิคไทอิส (Class Osteichthyes) : ปลากระดูกแข็ง **ostei = กระดูกแข็ง ichthyes = ปลา

- โครงร่างภายในเป็นกระดูกแข็งที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น ปลานิล ปลาดุก ปลาช่อน
- ส่วนใหญ่ผิวหนังมีเกล็ดปกคลุม มีครีบคู่ 2 คู่ คือ ครีบอกและครีบสะโพก หายใจโดยใช้เหงือกและมีแผ่นปิดเหงือก
- มีถุงลม (air bladder) ช่วยควบคุมการลอยตัวในน้ำ ส่วนใหญ่มีการปฏิสนธิภายนอก
- ปลากระดูกแข็งส่วนใหญ่ที่ดำรงชีวิตในน้ำหายใจโดยใช้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แต่มีปลาอีก 2 กลุ่ม คือ ปลาที่มีครีบเนื้อและปลาปอดที่สามารถหายใจจากอากาศได้ในช่วงเวลาสั้น เป็นหลักฐานแสดงวิวัฒนาการการขึ้นมาอยู่บนบก โดยถุงลมพัฒนาไปเป็นปอด และครีบพัฒนาไปเป็นรยางค์ขาของสัตว์บกนั่นเอง



▲ (Cr. desertbruchid.net และ: nyfalls.com)

เปรียบเทียบปลากระดูกอ่อนและปลากระดูกแข็ง

ปลากระดูกอ่อน	ปลากระดูกแข็ง
โครงกระดูกประกอบด้วยกระดูกอ่อน	โครงกระดูกประกอบด้วยกระดูกแข็ง
มีเหงือก 5-7 คู่และไม่มีแผ่นปิดเหงือก (operculum)	มีเหงือก 4 คู่และมีแผ่นปิดเหงือก
รูปร่างครีบหางด้านบนและล่างไม่เท่ากัน	รูปร่างครีบหางด้านบนและล่างเท่ากัน
ไม่มีถุงลม	มีถุงลม บางชนิดมีปอด
มีเกล็ดแบบคมมีด้านแหลมยื่นออกมา	มีเกล็ดแบบกลมหรือเป็นหยัก

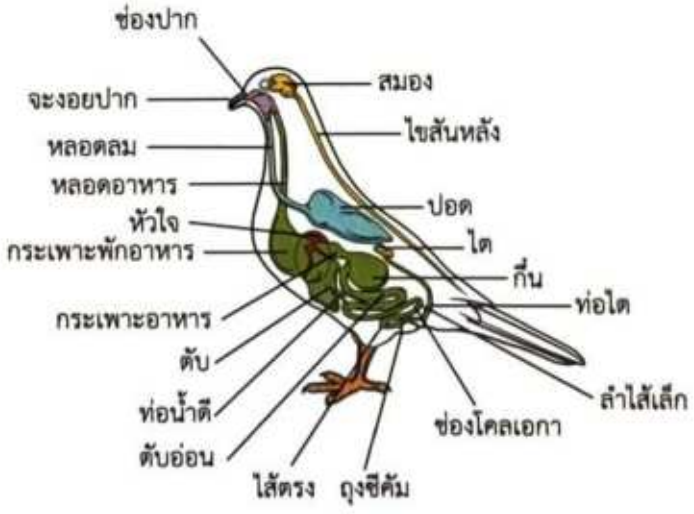
- คลาสแอมฟิเบีย (Class Amphibia) : สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก **amphi = ทั้งคู่
  - เป็นสัตว์เลือดเย็น มีผิวหนังเปียกชื้นทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส ไม่มีเกล็ดปกคลุม
  - มีการปฏิสนธิภายนอก ตัวอ่อนอาศัยอยู่ในน้ำและหายใจด้วยเหงือกด้านนอก มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เรียกว่า เมทามอร์โฟซิส (metamorphosis) เมื่อเจริญเป็นตัวเต็มวัยจะดำรงชีวิตบนบกและหายใจด้วยปอด
  - แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มซาลามานเดอร์หรือกะท่าง กลุ่มกบ และกลุ่มเขียดงู
    - กลุ่มซาลามานเดอร์บางชนิดอาศัยอยู่ในน้ำตลอดชีวิต
    - กลุ่มกบ อึ่งอ่าง คางคกมีขาหลังที่แข็งแรงสามารถกระโดดได้ไกล และสามารถเปลี่ยนสีที่ผิวหนังเพื่อพรางตัว อึ่งอ่างมีการปล่อยสารเมือกจากต่อมใต้ผิวหนังเพื่อป้องกันตัวจากผู้ล่า

▲ (Cr. squarespace.com และ: biographixmedia.com)

- คลาสเรปทิเลีย (Class Reptilia) : สัตว์เลื้อยคลาน **rept = คลาน
  - เป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังกลุ่มแรกที่ดำรงชีวิตบนบกอย่างแท้จริง
  - วิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษที่มีลักษณะระหว่างสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกและสัตว์เลื้อยคลานในยุคไทรแอสซิก และแพร่กระจายมากที่สุดในยุคจูแรสซิกและครีเทเชียส จึงเรียกว่ายุคของสัตว์เลื้อยคลาน
  - มีผิวหนังซึ่งเป็นสารเคราติน (keratin) ปกคลุมร่างกายเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย หายใจด้วยปอด มีการปฏิสนธิภายใน และวางไข่ที่มีเปลือกแข็งภายนอกลำตัว

▲ (Cr. photobucket.com)

- คลาสเอเวส (Class Aves) : นก **aves = นก
  - มีวิวัฒนาการมาจากสัตว์เลื้อยคลานในช่วงมหายุคมีโซโซอิก ทราบได้จากการพบซากดึกดำบรรพ์บรรพบุรุษของนกหรืออาร์คีออพเทริกซ์ (*Archaeopteryx*) ที่มีลักษณะเหมือนสัตว์เลื้อยคลานแต่มีขนนก
  - นกเป็นสัตว์เลือดอุ่น มีการปรับเปลี่ยนรูปร่างเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบิน เช่น กระดูกมีรูพรุนทำให้มีน้ำหนักเบาแต่แข็งแรง ลดรูปอวัยวะที่ไม่จำเป็นให้เล็กลง มีระบบการหายใจที่มีประสิทธิภาพสูง
  - มีขนแบบขนนก (feather) ปฏิสนธิภายในและออกลูกเป็นไข่



Quiz Yourself

13) สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งเป็นหนอนที่มีลำตัวเป็นปล้อง มีระบบไหลเวียนโลหิตแบบปิด มีทั้งปากและทวารหนัก แต่ไม่มีโครงร่างแข็งภายนอก สิ่งมีชีวิตนี้จัดอยู่ในไฟลัมใด

1. มอลลัสคา
2. แอนเนลิดา
3. อาร์โทรโพดา
4. เอไคโนเดอร์มาตา
5. คอร์ดาตา

14) ลักษณะใดที่พบในสัตว์ในไฟลัมคอร์ดาตาเฉพาะบางกลุ่มเท่านั้น

1. หาง
2. โนโทคอร์ด
3. กระดูกสันหลัง
4. ท่อประสาทกลวงที่ด้านหลัง
5. ช่องเหงือกที่บริเวณคอหอย

- คลาสแมมมาเลีย (Class Mammalia) : สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม **mamma = หน้าอก
  - วิวัฒนาการมาจากสัตว์เลื้อยคลานตั้งแต่มหายุคมีโซโซอิก และวิวัฒนาการเป็นกลุ่มที่หลากหลายในมหายุคซีโนโซอิก
  - สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเพศเมียมีต่อมน้ำนมผลิตน้ำนมสำหรับเลี้ยงลูกอ่อน
  - มีขนแบบแฮร์ (hair) ปกคลุมลำตัว เป็นสัตว์เลือดอุ่น อุณหภูมิภายในร่างกายจึงค่อนข้างคงที่
  - มีการปฏิสนธิภายในร่างกาย และเกือบทุกชนิดออกลูกเป็นตัว ตัวอ่อนเจริญภายในมดลูก และได้รับสารอาหารจากแม่ผ่านทางรก (placenta) ที่เชื่อมตัวอ่อนกับแม่

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- กลุ่มมอโนทรีม (monotremes) **mono = หนึ่ง trema = รู หมายถึง มีช่องเปิดออกรูเดียว คือ ช่องโคลเอกา
  - มีลักษณะโบราณคือออกลูกเป็นไข่ แต่มีขนและต่อมน้ำนม ตัวอ่อนฟักออกจากไข่และมาเลียน้ำนมบริเวณหน้าท้องของแม่ ได้แก่ ตุ่นปากเป็ดและตัวกินมดมีหนาม พบในทวีปออสเตรเลียเท่านั้น
- กลุ่มมาร์ซูเพียล (marsupials) **marsupi = กระเป๋า
  - สัตว์เพศเมียกลุ่มนี้มีถุงหน้าท้อง โดยเพศเมียจะตั้งท้องในระยะเวลาที่สั้นมาก ลูกอ่อนที่คลอดออกมาจึงมีขนาดเล็ก และจะคลานเข้าไปอยู่ในถุงหน้าท้องของแม่ที่ภายในมีต่อมน้ำนมที่มีหัวนมสำหรับเลี้ยงลูกอ่อน ลูกจะอยู่ในถุงหน้าท้องจนกว่าเจริญเติบโตเต็มที่จึงออกจากถุงหน้าท้องของแม่ เช่น จิงโจ้ โคอาล่า โอพอสซัม

Quiz Yourself

15) แอมฟิออกซัสและปลากระดูกแข็งมีสิ่งใดที่เหมือนกัน

1. ถุงลม
2. กระดูกสันหลัง
3. ท่อประสาทกลวงด้านหลัง
4. ขากรรไกร
5. เกล็ดปกคลุมผิวหนัง

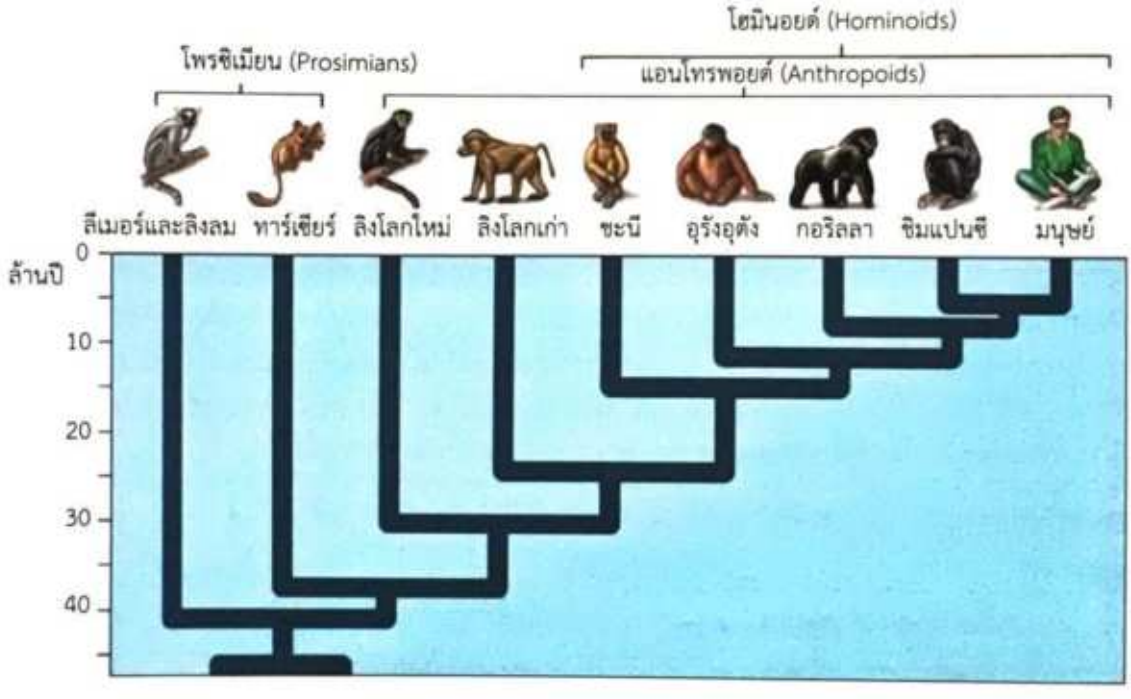
16) พลานาเรียมีสิ่งใดเหมือนกับไฮดรา

1. มีเนื้อเยื่อสามชั้น
2. มีช่องแกสโทรแวสคิวลาร์
3. มีเข็มพิษในเซลล์ไนโดไซต์
4. สมมาตรร่างกายเหมือนกัน

- กลุ่มยูเทเรียน (eutherians) **eu = แท้จริง theria = สัตว์ป่า
  - สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกลุ่มที่เหลือที่มีรก ใช้เวลาตั้งท้องนานกว่ามาร์ซูเพียล ตัวอ่อนมีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ภายในมดลูกของแม่และได้รับสารอาหารผ่านทางรก
  - กลุ่มยูเทเรียนที่มีวิวัฒนาการใกล้ชิดกับมนุษย์มากที่สุด คือ ไพรเมต

ไพรเมต (primates) **prima = อันดับที่หนึ่ง

- เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่อาศัยอยู่บนต้นไม้เป็นส่วนใหญ่ มีมือและเท้าสำหรับยึดเกาะ มีสมองขนาดใหญ่ มีขากรรไกรสั้น ใบหน้าแบน มีตาที่ใช้มองไปข้างหน้า มีเล็บแบนทั้งนิ้วมือและนิ้วเท้า
- มีพฤติกรรมในการเลี้ยงดูลูกอ่อนและพฤติกรรมทางสังคมที่ซับซ้อน



▲ (Cr. utexas.edu)

- วิวัฒนาการไพรเมตออกเป็นสองสาย คือ
  - โพรซิเมียน (prosimians) เป็นไพรเมตที่มีลักษณะโบราณ อาศัยอยู่ตามต้นไม้ เช่น ลิงลมหรือนางอาย ลีเมอร์ ทาร์เซียร์ พบในเขตร้อนทวีปแอฟริกาและเอเชียใต้
  - แอนโทรพอยด์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ ลิงมีหาง ลิงไม่มีหาง และมนุษย์
    - ลิงมีหาง แบ่งเป็นกลุ่มลิงโลกใหม่และลิงโลกเก่า โดยลิงโลกใหม่ (New World monkeys) ทุกชนิดอาศัยอยู่บนต้นไม้ มีแขนขายาวใช้ในการปีนป่ายและห้อยโหน และใช้หางช่วยในการเกาะเกี่ยวกิ่งไม้ แพร่กระจายเฉพาะโลกใหม่ หรือแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้ เช่น ลิงสไปเดอร์ ลิงมาร์โมเซท ส่วนลิงโลกเก่า (Old World monkeys) เริ่มอาศัยอยู่บนพื้นดิน มีก้นเป็นหนังหนาเกลี้ยง มีหางสั้นกว่าและไม่ได้ใช้ในการเกาะเกี่ยวกิ่งไม้ แพร่กระจายในโลกเก่า หรือทวีปแอฟริกาและเอเชีย เช่น ลิงแสม ลิงบาบูน
    - ลิงไม่มีหางหรือเอพ (apes) มีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษที่เป็นลิงโลกเก่า มีแขนยาว แต่ขาสั้นและไม่มีหาง สามารถห้อยโหนไปมาได้ ได้แก่ ชะนี อุรังอุตัง กอริลลา และชิมแพนซี มีเพียงชะนีและอุรังอุตังยังอาศัยอยู่บนต้นไม้
    - ลิงไม่มีหางมีสมองที่พัฒนาดีกว่าลิงมีหางมาก สมองมีรอยหยักคล้ายคน ทำให้แสดงพฤติกรรมที่ซับซ้อนได้ มีการสื่อสารระหว่างกลุ่ม มีพฤติกรรมทางสังคม โดยเฉพาะชิมแปนซีที่สามารถแก้ปัญหาอย่างง่ายๆ ใกล้เคียงมนุษย์

Quiz Yourself

17) สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ "สมมาตรแบบด้านข้าง มีกระดูกสันหลัง มีหัวใจ 2 ห้อง โครงสร้างร่างกายส่วนใหญ่เป็นกระดูกแข็ง ระบบทางเดินอาหารสมบูรณ์ ใช้เหงือกช่วยในการแลกเปลี่ยนแก๊ส" ตรงกับข้อใด

1. วาฬ ปลาฉลาม ปลากระเบน
2. ม้าน้ำ ปลาจิ้มฟันจระเข้ ปลาทอง
3. ปลากะพง ปลากระเบน โลมา
4. ปลาฉนาก ปลากะพง ปลาโรนิน

- ตารางสรุปอาณาจักรมอเนอรา

กลุ่ม	ลักษณะ	ตัวอย่าง
อาร์เคียหรืออาร์คีแบคทีเรีย (Archaea or Archaebacteria)	▸ ผนังเซลล์ไม่มีเพปทิโดไกลแคน ▸ ดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่โหดร้ายที่สุดได้ เช่น บ่อน้ำพุร้อน นาเกลือ พื้นท้องทะเล	อาร์เคียชอบอุณหภูมิสูง (thermophile) กรดสูง (acidophile) ความเค็มสูง (halophile) อาร์เคียที่ผลิตแก๊สมีเทน (methanogen)
โพรทีโอแบคทีเรีย (Proteobacteria)	แบคทีเรียแกรมลบ	*E. coli* ในลำไส้
	สังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้ H_2S และให้กำมะถันออกมา	แบคทีเรียกำมะถันสีม่วง (purple sulfur bacteria)
	ตรึงแก๊สไนโตรเจนในอากาศ	*Rhizobium* ในปมรากถั่ว
คลาไมเดีย (Chlamydias)	แบคทีเรียแกรมลบเป็นปรสิตในสัตว์	*Chlamydia* แบคทีเรียก่อโรคโกโนเรีย
สไปโรคีท (Spirochete)	แบคทีเรียแกรมลบรูปทรงเกลียว	*Leptospira* แบคทีเรียก่อโรคฉี่หนู

กลุ่ม	ลักษณะ	ตัวอย่าง
แบคทีเรียแกรมบวก	สร้างเอนโดสปอร์	*Bacillus anthracis* ก่อโรคแอนแทรกซ์
	ผลิตกรดแลกติก	*Lactobacillus* ในนมเปรี้ยว
	ผลิตยาปฏิชีวนะ	*Streptomyces* ผลิตยาสเตร็บโตมัยซิน
	บางกลุ่มไม่มีผนังเซลล์	*Mycoplasma* ก่อโรคปอดบวม
ไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria)	สังเคราะห์ด้วยแสงได้ บางชนิดตรึงแก๊สไนโตรเจนในอากาศ	*Anabaena, Nostoc, Oscillatoria, Spirulina*

- ตารางสรุปอาณาจักรโพรทิสตา

กลุ่ม	ลักษณะ	ตัวอย่าง
ไดโพลโมนาดิดา (Diplomonadida)	มีแต่นิวเคลียสและไรโบโซม มีแฟลเจลลาหลายเส้น มีนิวเคลียส 2 อัน	*Giardia lambia* ก่อโรคท้องร่วง
พาราบาซาลา (Parabasala)	มีแต่นิวเคลียสและไรโบโซม มีแฟลเจลลาเป็นคู่ ผิวเยื่อหุ้มเซลล์เป็นรอยหยักคล้ายคลื่น	*Trichonympha* ในลำไส้ปลวก *Trichomonas* ทำให้ติดเชื้อในช่องคลอด
ยูกลีโนซัว (Euglenozoa)	ใช้แฟลเจลลัมเคลื่อนที่	*Trypanosoma* ก่อโรคเหงาหลับ
	บางชนิดสังเคราะห์ด้วยแสง	*Euglena, Phacus*
แอลวีโอลาตา (Alveolata)	มีช่องว่างแอลวีโอไลใต้เยื่อหุ้มเซลล์	
ไดโนแฟลเจลเลต (Dinoflagellate)	สังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีแฟลเจลลา 2 เส้น ใช้เคลื่อนที่ มีการสะสมพิษในตัว	*Noctiluca* ทำให้เกิดการเรืองแสงในทะเล, *Ceratium* ทำให้เกิดปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬ
เอพิคอมเพลกซา (Apicomplexa)	ปรสิตมีโครงสร้างเพื่อเจาะเข้าไปในโฮสต์ ไม่มีโครงสร้างในการเคลื่อนที่	*Plasmodium* ก่อโรคมาลาเรีย
ซิลิเอต (Ciliates)	ใช้ซิเลียในการเคลื่อนที่	*Paramecium, Vorticella*
สตรามีโนไพลส์ (Stramenopiles)	ส่วนใหญ่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง เซลล์สืบพันธุ์มีแฟลเจลลา 2 เส้น	
สาหร่ายสีน้ำตาล	มีสารสีน้ำตาลฟิวโคแซนทิน มีขนาดใหญ่ โครงสร้างซับซ้อน	สาหร่ายเคลป์ *Laminaria, Padina, Fucus* สาหร่ายทุ่นหรือ *Sargassum*, สาหร่ายคอมบุ
ไดอะตอม	มีสารสีน้ำตาล ผนังเซลล์ประกอบด้วยซิลิกา มีการสะสมอาหารในรูปหยดไขมัน	*Diploneis, Triceratium, Chaetoceros*
สาหร่ายสีแดง	มีสารสีแดงไฟโคอีริทริน ไม่มีระยะที่มีแฟลเจลลา	สาหร่ายจีฉ่ายหรือโนริ *Porphyra* สาหร่ายผมนางหรือ *Gracilaria*
สาหร่ายสีเขียว (วิวัฒนาการใกล้เคียงกับพืชมากที่สุด)	กลุ่มคลอโรไฟต์ (Chlorophyte)	*Chlorella* ทำอาหารเสริม, เทาน้ำหรือ *Spirogyra*
	กลุ่มคาโรไฟต์ (Charophyte)	สาหร่ายไฟ *Chara*

กลุ่ม	ลักษณะ	ตัวอย่าง
ไมซีโทซัว (Mycetozoa) กลุ่มราเมือก	แบบพลาสโมเดียม (หลายนิวเคลียส) และแบบเซลลูลาร์ (นิวเคลียสเดียว)	*Physarum* เกิดโรคยืนต้นตายในพืช *Stemonitis* ย่อยสลายขอนไม้และใบไม้
โรโซโพดา (Rhizopoda)	ใช้เท้าเทียม	*Entamoeba histolytica* ก่อโรคบิดมีตัว

▸ ตารางสรุปอาณาจักรฟังไจ

ไฟลัม	ไฮฟา	สปอร์ไม่อาศัยเพศ	สปอร์อาศัยเพศ	ตัวอย่าง
ไคทริดิโอไมโคตา	ไม่มีเยื่อกั้น (aseptate)	สปอร์มีแฟลเจลลา (zoospore)	สปอร์มีแฟลเจลลา (zoospore) หรือสปอร์ในอับสปอร์	ไคทริด
ไซโกไมโคตา		สปอร์ในอับสปอร์ (sporangiospore)	ไซโกสปอร์ (zygospore)	ราดำ *Rhizopus* และ *Mucor* บนขนมปัง
แอสโคไมโคตา	มีเยื่อกั้น (septate)	สปอร์ในอับสปอร์ (sporangiospore) หรือสปอร์จากการแตกหัก (conidia)	แอสโคสปอร์ (ascospore) ในถุงแอสคัส (ascus)	ยีสต์ เห็ดโมเรล ทรัฟเฟิล ราแดง
เบสิดิโอไมโคตา		สปอร์จากการแตกหัก (conidia)	เบสิดิโอสปอร์ (basidiospore) บนเบสิเดียมใต้ฟรุตติงบอดี	ราสนิม ราเขม่าดำ เห็ดโคน เห็ดฟาง และไมคอร์ไรซาบางชนิด เช่น เห็ดถอบหรือเห็ดเผาะ

▸ ตารางสรุปอาณาจักรพืช

ไฟลัม	ท่อลำเลียง	ราก ลำต้น ใบ	สปอร์	เมล็ด	ผล	ระยะที่เด่น	ตัวอย่าง
เฮปาโทไฟตา	×	×	ชนิดเดียว	×	×	แกมีโทไฟต์	ลิเวอร์เวิร์ท
แอนโทซีโรไฟตา							ฮอร์นเวิร์ท
ไบรโอไฟตา							มอส
ไลโคไฟตา							
▸ ไลโคโพเดียม	✓	มีราก มีลำต้น ใบแท้จริง	ชนิดเดียว	×	×	สปอโรไฟต์	ช้องนางคลี่ สร้อยนางกรอง สร้อยสุกรม สามร้อยยอด หางสิงห์
▸ ซีแลกจิเนลลา			สองชนิด				ตีนตุ๊กแก หญ้ารังไก่ กนกนารี พ่อค้าตีเมีย
▸ ไอโซเทส							กระเทียมน้ำ กระเทียมนา

ไฟลัม	ท่อลำเลียง	ราก ลำต้น ใบ	สปอร์	เมล็ด	ผล	ระยะที่เด่น	ตัวอย่าง
เทอโรไฟตา							
▸ ไซโลตัม	✓	ไม่มีราก ใบ	แบบเดียว	×	×	สปอโรไฟต์	หวายทะนอย สะย้า
▸ อีควิเซตัม		✓					หญ้าถอดปล้อง หญ้าหางม้า
▸ เฟิน			แบบเดียว (ชนิดบก) สองแบบ (ชนิดในน้ำ)				ข้าหลวงหลังลาย ผักแว่น ชายผ้าสีดา ย่านลิเภา แหนแดง จอกหูหนู กูดเกี๊ยะ
พืชเมล็ดเปลือย (จิมโนสเปิร์ม)							
ไซแคโดไฟตา	✓	✓	สองแบบ	✓	×	สปอโรไฟต์	ปรง ปรงป่า ปรงเขา
กิงโกไฟตา							แปะก๊วย
โคนิเฟอโรไฟตา							สนสองใบ สนสามใบ สนสามพันปี สนเฟอร์ สนสปรูซ
นีโทไฟตา							มะเมื่อย ผักเหลียง เวลวิทเชีย มั่วอิ้ง
แอนโทไฟตา (พืชดอกหรือแองจิโอสเปิร์ม)	✓	✓	สองแบบ	✓	✓	สปอโรไฟต์	แอมโบเรลลา บัวสาย โป๊ยกั๊ก จำปี จำปา พืชใบเลี้ยงเดี่ยว พืชใบเลี้ยงคู่

▲ (Cr. Behzad Ghorbani)

▲ (Cr. TheSunriseer)

▲ (Cr. Nick Gurdon)

▲ (Cr. Caters Clips)

▲ (Cr. River Monsters)

▲ (Cr. W.Makerd)

▸ ตารางสรุปอาณาจักรสัตว์ **วิธีการจำลำดับไฟลัม เพื่อน (P), ชี้ (C), พา (P), มา (M A), นะ (N A), Eat (E), Cake (C)

ไฟลัม	สมมาตร	เนื้อเยื่อ	โพรงลำตัว	ตัวอ่อน	ระบบย่อยอาหาร	ระบบหมุนเวียนโลหิต	ลักษณะเด่น	ตัวอย่าง
พอริเฟอรา (P)	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	แอมฟิบลาสทูลา	ไม่มี	ไม่มี	มีช่องน้ำเข้าน้ำออก เซลล์ปลอกคอดักจับอาหาร	ฟองน้ำแก้ว ฟองน้ำหินปูน ฟองน้ำถูตัว ตะกร้าดอกไม้ของวีนัส
ไนดาเรีย (C)	ตามรัศมี	สองชั้น		พลานูลา	ไม่สมบูรณ์ มีช่องแกสโทรวาสคิวลาร์ (พยาธิตัวตืดไม่มีทางเดินอาหาร)		มีรูปร่าง 2 แบบ-โพลิบและเมดูซา มีเซลล์ไนโดไซต์ที่มีเข็มพิษ	ดอกไม้ทะเล ปะการัง กัลปังหา แมงกะพรุน ไฮดรา ปากกาทะเล
แพลทีเฮลมินทิส (P)	ด้านข้าง	สามชั้น		โพรโทสโทม/ตัวอ่อนโทรโคฟอร์			ลำตัวแบนบาง ปรสิตมีปุ่มดูดหรือตะขอเกี่ยว	พลานาเรีย พยาธิตัวแบน พยาธิใบไม้ พยาธิตัวตืด หนอนตัวแบนทะเล
มอลลัสคา (M)			แท้		สมบูรณ์	แบบเปิด ยกเว้นหมึก	มีแมนเทิล แรดูลา คล้ายฟัน เนื้อเยื่อเท้าและอวัยวะภายในเป็นกลุ่มก้อน	หอยทาก หอยฝาเดียว หากเปลือยหากทะเล หอยสองฝา หอยงวงช้าง หอยงาช้าง ลิ่นทะเล ผีเสื้อทะเล หมึก กระต่ายทะเล เพรียงเจาะเรือ
แอนเนลิดา (A)						แบบปิด	แบ่งเป็นปล้องชัดเจน บางชนิดมีเดือย บางชนิดมียางค์ยื่นออกมา	แม่เพรียง เพรียงทราย ตัวสงกรานต์ หนอนท่อ หนอนคริสต์มาส ไส้เดือนน้ำ ไส้เดือนดิน ปลิงน้ำจืด ทากดูดเลือด
นีมาโทดา (N)			เทียม	โพรโทสโทม/มีการลอกคราบ		ไม่มี	ลำตัวกลมยาว ไม่มีปล้อง ไม่มีซิเลีย มักเป็นปรสิต	พยาธิตัวกลม พยาธิไส้เดือน พยาธิเส้นด้าย พยาธิปากขอ พยาธิแส้ม้า ไส้เดือนฝอย หนอนตัวกลม

อาร์โทรโพดา (A)	ด้านข้าง	สามชั้น	แท้	โพรโทสโทม มีการลอกคราบ	สมบูรณ์	แบบเปิด	ลำตัวและรยางค์เป็นข้อปล้อง มีโครงร่างแข็งภายนอกทำจากไคทิน มีระบบประสาทและอวัยวะรับสัมผัสที่เจริญดี	กุ้ง กั้ง ปู แม่หอบ เพรียงหิน เพรียงคอห่าน เพรียงถั่วงอก ตัวกะปิ แมลงสาบทะเล ไรน้ำนางฟ้า ไรแดง แมงมุม แมงป่อง แมงโหย่ง แมลงทุกชนิด กิ้งกือ ตะเข็บ ตะขาบ แมงดาทะเล เห็บ ไร
เอไคโนเดอมาตา (E)	ตัวอ่อน-ด้านข้าง ตัวเต็มวัย-ตามรัศมี **ถือเป็นสมมาตรด้านข้าง			ดิวเทอโรสโทม		แบบเปิด เป็นระบบท่อลำเลียงน้ำ	มีโครงร่างแข็งเป็นหินปูนภายใน มีทิวบ์ฟีตช่วยในการเคลื่อนที่ ส่วนใหญ่ลำตัวเป็นแฉกห้าแฉก	ดาวทะเล ดาวเปราะ ตะกร้าทะเล เม่นทะเล อีแปะทะเล เหรียญทะเล พลับพลึงทะเล ดาวขนนก ดาวมงกุฎหนาม ดาวหมอน ปลิงทะเล
คอร์ดาตา (C)	ด้านข้าง					แบบปิด	มีโนโทคอร์ด มีช่องเหงือกบริเวณคอหอย ท่อประสาทกลวงด้านหลัง และหางในระยะใดระยะหนึ่งของชีวิต	เพรียงหัวหอม เพรียงลอย เพรียงสาย แอมฟิออกซัส สัตว์มีกระดูกสันหลังทั้งหมด

▸ ตารางสรุปสัตว์มีกระดูกสันหลัง

ชื่อคลาส	กลุ่ม	ระบบหายใจ	หัวใจ	สมดุลอุณหภูมิ	การปฏิสนธิ	ลักษณะเด่น	ตัวอย่าง
แอกนาทา	ปลาปากกลม/ปลาไม่มีขากรรไกร	เหงือก	สองห้อง	สัตว์เลือดเย็น	ภายนอก ออกลูกเป็นไข่	รูปร่างคล้ายปลาไหล มีกระดูกอ่อนและไม่มีครีบคู่	แฮกฟิช แลมเพรย์
คอนดริคไทอิส	ปลากระดูกอ่อน				ภายใน ออกลูกเป็นตัว	ครีบหางด้านบนล่างยาวไม่เท่ากัน ไม่มีถุงลม ไม่มีแผ่นปิดเหงือก มีเกล็ดแบบมีเงี่ยงคม	ปลาฉลาม กระเบน ฉนาก ปลาโรนัน ปลาไคมีรา ปลากระดาย
ออสติอิคไทอิส	ปลากระดูกแข็ง	เหงือก (และปอดในปลามีปอด)			บางชนิดภายใน ออกลูกเป็นตัว เช่น ปลาหางนกยูง, ปลาสอด ส่วนใหญ่ภายนอก ออกลูกเป็นไข่	ครีบหางด้านบนล่างยาวเท่ากัน มีถุงลม มีแผ่นปิดเหงือก มีเกล็ดแบบกลมหรือหยัก	ปลากระดูกแข็งทุกชนิด ปลามีปอด ม้าน้ำ ปลาครีบเนื้อ
แอมฟิเบีย	สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก	ตัวอ่อนใช้เหงือกและผิวหนัง ตัวเต็มวัยใช้ปอดและผิวหนัง	สามห้อง		ภายนอก ออกลูกเป็นไข่ในกลุ่ม กบ ภายใน ออกลูกเป็นไข่ในซาลามานเดอร์และเขียดงู	มีเมทามอร์โฟซิส ไข่มีวุ้นหอหุ้ม ตัวอ่อนอยู่ในน้ำ ตัวเต็มวัยดำรงชีวิตบนบก ผิวหนังเปียกชื้นไม่มีเกล็ดปกคลุม	กบ เขียด ปาด จงโครง หมาน้ำ คางคก อึ่งอ่าง เขียด กะทาน้ำ นิวท์ ซาลามานเดอร์
เรปทิเลีย	สัตว์เลื้อยคลาน	ปอด	สามห้อง จระเข้มีสี่ห้อง		ภายใน ออกลูกเป็นไข่	ลำตัวปกคลุมด้วยเกล็ดแข็ง ไข่มีเปลือกแข็ง มีถุงน้ำคร่ำ	เต่า ตะพาบน้ำ จิ้งจก ตุ๊กแก ตุ๊ดตู่ จิ้งเหลน ตะกวด กิ้งก่า แย้ เหี้ย งู จระเข้ ไดโนเสาร์
เอเวส	นก		สี่ห้อง	สัตว์เลือดอุ่น		มีจะงอยปาก มีขนนก ระยางค์คู่หน้าเปลี่ยนเป็นปีกใช้บิน กระดูกเบามีรูพรุน ไม่มีกระเพาะปัสสาวะ	นกทุกชนิด
แมมมาเลีย	สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม				ปฏิสนธิภายใน ตุ่นปากเปิดและตัวกินมดมีหนามออกลูกเป็นไข่ ที่เหลือออกลูกเป็นตัว ตัวอ่อนส่วนใหญ่อยู่ในมดลูกของแม่ได้รับสารอาหารผ่านทางรก	ลำตัวปกคลุมด้วยขนแฮร์ มีต่อมเหงื่อและต่อมน้ำนม มีฟันสองชุด (น้ำนมและแท้) มีใบหู เม็ดเลือดแดงไม่มีนิวเคลียส มีกระบังลม	ตุ่นปากเป็ด ตัวกินมดมีหนาม สัตว์มีถุงหน้าท้อง (จิงโจ้ โคอาลา วอมแบท) ค้างคาว สัตว์ฟันแทะ สัตว์กินเนื้อ ไพรเมต ช้าง พะยูน กระดาย สัตว์กีบ วาฬ โลมา

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 2.** เพราะตามลำดับการจัดหมวดหมู่ของสิ่งมีชีวิต สกุลเป็นลำดับขั้นที่ใกล้ชิดกันมากที่สุดรองจากสปีชีส์

2) **ตอบ 3.** ผิดเพราะไดโคโตมัสคีย์ใช้ในการระบุชนิดหรือกลุ่มของสิ่งมีชีวิต แต่ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการได้

3) **ตอบ 3.** พิจารณาเฉพาะส่วนของชื่อวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ตัวเอียงหรือขีดเส้นใต้) ส่วนชื่อบุคคลและปี ค.ศ. ท้ายชื่อวิทยาศาสตร์ คือ ผู้ที่ตั้งชื่อวิทยาศาสตร์นั้นๆ และปีที่ตั้งชื่อ

Parahelicops boonsongi Taylor & Elbel, 1958 ส่วนที่ตั้งชื่อเป็นเกียรติกับบุคคล คือ boonsongi ตั้งเป็นเกียรติแก่นายแพทย์บุญส่ง เลขะกุล มีชื่อเสียงในฐานะที่เป็นผู้บุกเบิกการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ป่าไม้และสัตว์ป่าของประเทศไทย

Thelypteris siamensis Tagawa & K. Iwats ส่วน *siamensis* หมายถึง พบที่สยาม (ประเทศไทย)

4) **ตอบ 4.** อาณาจักรมอเนอราเดิม (กลุ่มแบคทีเรีย) ของการจัดแบบวิทเทเคอร์ ได้แบ่งออกเป็น 2 โดเมนภายใต้การจัดของวูส คือ โดเมนอาร์เคีย และโดเมนแบคทีเรีย

5) **ตอบ 3.** เพราะใบอ่อนเฟินม้วนจากปลายใบสู่โคนใบในแนวตั้งฉากกับเส้นกลางใบ

6) **ตอบ 3.** ชื่อวิทยาศาสตร์ต้องพิมพ์ด้วยตัวเอียง หรือขีดเส้นใต้ไม่ติดกันระหว่างชื่อสกุลและชื่อที่ระบุสปีชีส์ โดยชื่อสกุลขึ้นต้นด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ ส่วนชื่อที่ระบุสปีชีส์ขึ้นต้นด้วยตัวพิมพ์เล็ก

7) **ตอบ 4.** หวายทะนอยไม่มีใบ ส่วนหญ้าถอดปล้องมีใบที่มีเส้นใบ 1 เส้น
พิจารณา 1., 2., 3. ทั้งหวายทะนอยและหญ้าถอดปล้องมีท่อลำเลียง มีการสร้างสปอร์แบบเดียว และไม่มีเมล็ด

8) **ตอบ 4.** ถุงเอ็มบริโอของพืชดอกเทียบได้กับแกมีโทไฟต์เพศเมียของเฟิน

9) **ตอบ 3.** Anthophyte คือ กลุ่มพืชดอก

ข้อ 1. เห็ดรา คือ Fungi

ข้อ 2. พืชไม่มีท่อลำเลียง คือ bryophytes

ข้อ 4. เฟิน คือ pterophytes

ข้อ 5. พืชเมล็ดเปลือย คือ gymnosperms

10) **ตอบ 2.** สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรเห็ดราเป็นยูคาริโอต มีผนังเซลล์เป็นสารประกอบไคทิน และไม่มีคลอโรพลาสต์ จึงสังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้ ได้รับสารอาหารจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุภายนอกเซลล์

ข้อ 1. ไฟลัมคอร์ดาตา (สัตว์มีกระดูกสันหลัง) ไม่มีผนังเซลล์

ข้อ 3. ไฟลัมคลอโรไฟตา (สาหร่ายสีเขียว) มีคลอโรพลาสต์

ข้อ 4. และ 5. อาณาจักรมอเนอรา (แบคทีเรีย) และโดเมนอาร์เคีย เป็นเซลล์โพรคาริโอต

11) **ตอบ 4.**

พิจารณา ข. ผิด เพราะมอสมีระยะแกมีโทไฟต์เด่นกว่าสปอโรไฟต์

พิจารณา ค. ผิด เพราะอับสปอร์ของมอสมีลักษณะเป็นแคปซูล

12) **ตอบ 2.** ทั้งปลิงทะเล กิ้งกือ และพยาธิตัวตืด มีสมมาตรด้านข้าง (ปลิงทะเลมีสมมาตรด้านข้างในระยะตัวอ่อน)
ฟองน้ำไม่มีสมมาตร หอยทากมีสมมาตรด้านข้าง กัลปังหามีสมมาตรตามรัศมี
แมงกะพรุนมีสมมาตรตามรัศมี ทากเปลือยและแมงดาทะเลมีสมมาตรด้านข้าง
หมึกกระดองและทากดูดเลือดมีสมมาตรด้านข้าง ปะการังอ่อนมีสมมาตรตามรัศมี

13) **ตอบ 2.** ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะของสัตว์ในไฟลัมแอนเนลิดา

14) **ตอบ 3.** กระดูกสันหลังไม่พบในสัตว์ในซับไฟลัมยูโรคอร์ดาตา (เพรียงหัวหอม) และเซฟาโลคอร์ดาตา (แอมฟิออกซัส)

15) **ตอบ 3.** แอมฟิออกซัสและปลากระดูกแข็งมีท่อประสาทกลวงด้านหลังเหมือนกัน ซึ่งเป็นลักษณะร่วมของสัตว์ในไฟลัมคอร์ดาตาทั้งหมด 1., 2., 4., 5. ถุงลม กระดูกสันหลัง ขากรรไกร และเกล็ดไม่พบในแอมฟิออกซัส

16) **ตอบ 2.** พลานาเรียและไฮดรามีช่องแกสโทรแวสคิวลาร์เหมือนกัน
ข้อ 1. พลานาเรียมีเนื้อเยื่อสามชั้น แต่ไฮดรามีเนื้อเยื่อสองชั้น
ข้อ 3. เข็มพิษในเซลล์ไนโดไซต์พบแต่ในไฮดรา
ข้อ 4. พลานาเรียมีสมมาตรด้านข้าง ส่วนไฮดรามีสมมาตรตามรัศมี

17) **ตอบ 2.** ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะของสัตว์กลุ่มปลากระดูกแข็ง
ข้อ 1. วาฬเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ปลาฉลามและกระเบนเป็นปลากระดูกอ่อน
ข้อ 3. ปลากระเบนเป็นปลากระดูกอ่อน โลมาเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม
ข้อ 4. ปลาฉนากและโรนินเป็นปลากระดูกอ่อน

▲ (Cr. JBFSchool)

▲ (Cr. greatpaciFic media)

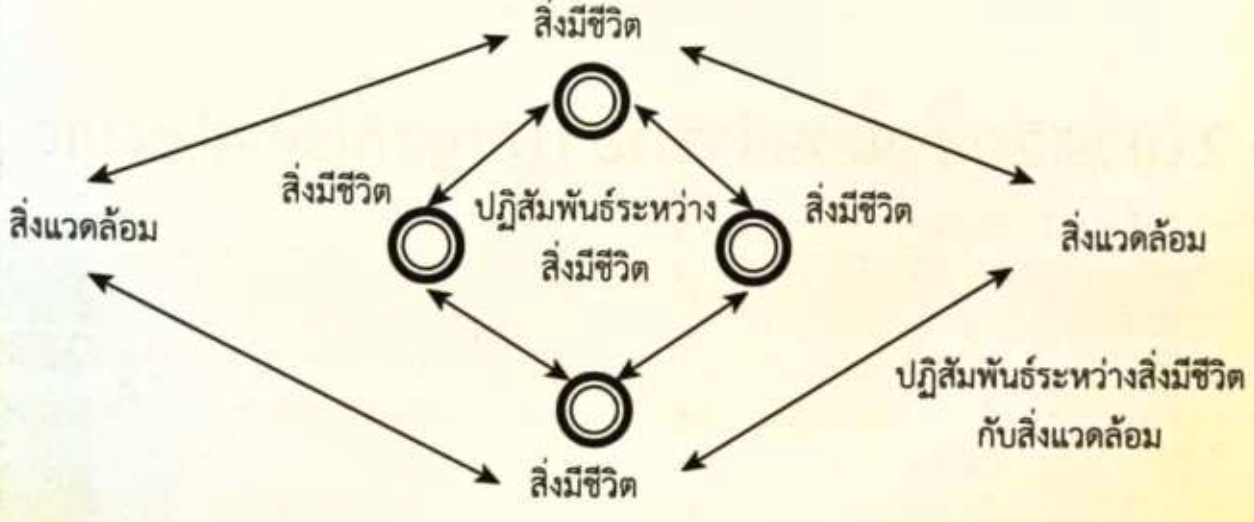
▲ (Cr. Craing Smith)

บทที่ 20

ระบบนิเวศ

20.1 นิเวศวิทยา

นิเวศวิทยา (ecology) หมายถึง การศึกษาทางชีววิทยาที่เกี่ยวข้องกับ**ปฏิสัมพันธ์ (interactions)** ระหว่าง**สิ่งมีชีวิต (organisms)** กับ**สิ่งแวดล้อม (environment)** ที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่



- นักนิเวศวิทยาแบ่งระดับของการศึกษานิเวศวิทยาดังนี้

ชีวมณฑล (biosphere) คือ ระบบนิเวศทั้งหมดบนโลก เน้นศึกษาผลกระทบของการแลกเปลี่ยนสสารและพลังงานต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหมดบนโลก

ระบบนิเวศ (ecosystem) คือ พื้นที่ที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ เน้นการถ่ายทอดพลังงานและวัฏจักรสารของระบบ

กลุ่มสิ่งมีชีวิต (community) คือ ประชากรของสิ่งมีชีวิตต่างชนิดที่มีปฏิสัมพันธ์กันในพื้นที่เดียวกัน เน้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด เช่น การล่าเหยื่อ

ประชากร (population) คือ สิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันที่อาศัยอยู่ร่วมกันในพื้นที่เดียวกันและเวลาเดียวกัน เน้นปัจจัยและกระบวนการที่กระทบต่อขนาดประชากร

สิ่งมีชีวิต (organism) ศึกษากระบวนการทำงานของร่างกาย พฤติกรรมและวิวัฒนาการที่ส่งผลต่อการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตต่อปัจจัยต่างๆ ภายใต้สภาพแวดล้อมนั้นๆ

▲ (Cr. furman.edu)

20.2 นิเวศวิทยาเชิงสรีรวิทยา (organismal ecology)

การปรับตัวของสิ่งมีชีวิตต่อปัจจัยทางกายภาพและเคมี

ปัจจัยทางกายภาพ	อิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิต	ตัวอย่างการปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
อุณหภูมิ	▸ เป็นปัจจัยควบคุมเมแทบอลิซึม การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์และการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต ▸ สัตว์เลือดอุ่นสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่ได้ แต่สัตว์เลือดเย็นมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม	▸ การปรับตัวด้านโครงสร้าง เช่น หมีขั้วโลกมีขนหนายาวและชั้นไขมันหนา จิ้งจอกทะเลทรายมีหูขนาดใหญ่ไว้ระบายความร้อน ▸ การปรับตัวด้านพฤติกรรม เช่น สัตว์ทะเลทรายออกหากินเวลากลางคืน สัตว์ขั้วโลกจำศีลในฤดูหนาว
แสง	▸ เป็นปัจจัยจำกัดของพืชและสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงทั้งบนบกและในทะเล ▸ ระยะเวลาช่วงกลางวันมีผลต่อระบบสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด	▸ การปรับตัวด้านพฤติกรรมและการตอบสนอง เช่น การหุบและบานของดอกไม้ การเบนหาหรือหนีแสง การออกหากินของสัตว์ ▸ การปรับตัวด้านสรีรวิทยา เช่น ความสามารถในการรับแสงของพืชใต้ร่มเงา การเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนของสัตว์เมื่อเปลี่ยนฤดูกาล

ปัจจัยทางกายภาพ	อิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิต	ตัวอย่างการปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
ความชื้น	▸ น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิต ▸ เป็นปัจจัยกำหนดสภาพแวดล้อม ความอุดมสมบูรณ์ ลักษณะและชนิดของระบบนิเวศ	▸ การปรับตัวด้านพฤติกรรม เช่น กบทะเลทรายฝังตัวอยู่ใต้พื้นดินในหน้าแล้ง ดูดดื่มน้ำครั้งละมากๆ ▸ การปรับตัวด้านสรีรวิทยา เช่น หนูแกงการูสูญเสียน้ำน้อยมากและได้น้ำจากกระบวนการเมแทบอลิซึม พืชอวบน้ำเก็บสะสมน้ำภายในลำต้น
ความเค็ม	▸ ส่งผลต่อสมดุลของน้ำภายในสิ่งมีชีวิต ▸ เป็นปัจจัยจำกัดการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ	▸ การปรับตัวด้านสรีรวิทยา เช่น นกทะเลขับน้ำเกลือออกทางต่อมขับเกลือใกล้รูจมูก ไม้ป่าชายเลนมีการขับเกลือออกทางใบหรือกรองเกลือไม่ให้ผ่านเข้าทางราก
แก๊ส	▸ แก๊สออกซิเจนใช้ในการหายใจระดับเซลล์ และในน้ำมีสัดส่วนของแก๊สออกซิเจนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับบนบก ▸ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำมีผลต่อความเป็นกรด-เบสของแหล่งน้ำ ▸ แก๊สไนโตรเจนเป็นประโยชน์ต่อต้นถั่วโดยอาศัยแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนในปมรากถั่ว	▸ จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในชั้นดินเลนที่ไม่มีออกซิเจนมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ▸ สิ่งมีชีวิตในน้ำมีอวัยวะที่มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนแก๊ส เช่น เหงือกปลา กุ้ง ปู หอย ▸ แมงมุมน้ำสามารถกักเก็บแก๊สภายในใยพิเศษใต้น้ำ ▸ แมลงน้ำบางชนิดสามารถกักเก็บแก๊สไว้เป็นฟองอากาศใต้ปีก
ดิน	▸ เป็นที่อยู่อาศัยและให้แร่ธาตุแก่พืชและสัตว์ ▸ การกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-เบส แร่ธาตุ อากาศในดิน ความชื้น และปริมาณสารอินทรีย์	▸ สัตว์ป่าขนาดใหญ่ เช่น ช้าง กวาง กระทิง ใช้ประโยชน์จากดินโป่งเป็นแหล่งให้แร่ธาตุ ▸ ไส้เดือนดินมีพฤติกรรมอพยพเมื่อดินที่อาศัยอยู่มีสภาวะไม่เหมาะสม เช่น ดินแห้งแล้งหรือน้ำท่วม
ความเป็นกรด-เบส	▸ เป็นปัจจัยที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น การย่อยสลายของจุลินทรีย์ การขับถ่ายของเสียของสัตว์	▸ สิ่งมีชีวิตในน้ำมีการตอบสนองหลบหนีสภาวะความเป็นกรด-เบสที่เปลี่ยนแปลง ▸ อาร์เคีย (โพรคาริโอตกลุ่มหนึ่ง) บางชนิดชอบอาศัยในภาวะเป็นกรดสูง

20.3 นิเวศวิทยาเชิงกลุ่มสิ่งมีชีวิต (community ecology)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด

รูปแบบความสัมพันธ์	สัญลักษณ์	ความหมาย	ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต
ภาวะพึ่งพากัน (mutualism)	(+, +)	สิ่งมีชีวิตทั้งสองได้ประโยชน์ร่วมกันแยกออกจากกันไม่ได้ต้องอยู่ด้วยกันตลอดไป	▸ ไลเคน คือ การอยู่ร่วมกันระหว่างราและสาหร่าย โดยสาหร่ายสร้างอาหารให้รา และราให้ที่อยู่และความชื้นแก่สาหร่าย ▸ โพรโทซัวไทรโคนิมฟาในลำไส้ปลวก ▸ แบคทีเรียไรโซเบียมตรึงไนโตรเจนในปมรากถั่ว ▸ จุลินทรีย์ในลำไส้สัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว ควาย ▸ สาหร่ายซูแซนเทลเลกับปะการัง

รูปแบบความสัมพันธ์	สัญลักษณ์	ความหมาย	ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต
การได้รับประโยชน์ร่วมกัน (protocooperation)	(+, +)	สิ่งมีชีวิตทั้งสองได้ประโยชน์ร่วมกันแต่ไม่จำเป็นต้องอยู่ด้วยกันเสมอ มักได้รับประโยชน์ในเรื่องของอาหาร	▸ นกที่คอยกินปรสิตภายนอกของสัตว์ใหญ่ ▸ ปลาพยาบาลกินปรสิตเป็นอาหาร และเมื่อ... ตามอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลาอื่น ▸ การผสมเกสรของดอกไม้โดยแมลง ▸ ปูเสฉวนกับดอกไม้ทะเล มดกับเพลี้ย
ภาวะอิงอาศัย/เกื้อกูล (commensalism)	(+, 0)	สิ่งมีชีวิตฝ่ายหนึ่งได้รับประโยชน์ เช่น อาหาร ที่อยู่อาศัย และการเคลื่อนย้าย อีกฝ่ายไม่ได้ไม่เสียประโยชน์	▸ เพรียงหินและหนอนทะเลเกาะติดสัตว์ทะเล ▸ เหาฉลามกับฉลาม ▸ พืชอิงอาศัย (epiphyte) เช่น กล้วยไม้บนต้นไม้ ▸ นกทำรังบนต้นไม้
การล่าเหยื่อ (predation)	(+, -)	สิ่งมีชีวิตฝ่ายหนึ่งล่าอีกฝ่ายเป็นอาหารหรือเหยื่อ	▸ การล่าของสัตว์กินเนื้อ เช่น เสือ สิงโต หมี นกอินทรี รวมถึงพืชกินแมลง
การกินพืช (herbivory)	(+, -)	สิ่งมีชีวิตฝ่ายหนึ่งกินส่วนของพืชเป็นอาหาร	▸ การกินพืชของสัตว์กินพืช เช่น วัว แพะ แกะ กวางกินหญ้าและยอดอ่อนพืช
ภาวะปรสิต (parasitism)	(+, -)	สิ่งมีชีวิตฝ่ายหนึ่งเป็นปรสิต (parasite) ดูดแร่ธาตุอาหารและอาศัยอยู่กับเจ้าบ้าน (host) มักไม่ทำให้ถึงตาย	▸ ปรสิตภายใน เช่น พยาธิในกลุ่มต่างๆ ได้แก่ พยาธิตัวตืด พยาธิใบไม้ พยาธิเส้นด้าย ▸ ปรสิตภายนอก เช่น เห็บ หมัด ปลิงดูดเลือด ทากดูดเลือด ต้นฝอยทองบนต้นไม้ใหญ่
ภาวะปรสิตเทียม (parasitoidism)	(+, -)	สิ่งมีชีวิตฝ่ายหนึ่งเป็นปรสิตเทียม โดยวางไข่ลงในอีกฝ่ายเพื่อเป็นอาหารแก่ตัวอ่อน	▸ แมลงวันบางชนิดที่ตัวเต็มวัยจะวางไข่ในตัวอ่อนของแมลงชนิดอื่นเพื่อเป็นแหล่งอาหาร เมื่อไข่ฟักเป็นตัวหนอนจะกัดกินแมลงเจ้าบ้านจนตายไป
ภาวะแก่งแย่งแข่งขัน (competition)	(-, -)	สิ่งมีชีวิตทั้งสองฝ่ายเสียประโยชน์จากการแก่งแย่งแข่งขันทรัพยากร	▸ การแก่งแย่งอาหารระหว่างสัตว์ป่า ▸ การแก่งแย่งของพืชในการเติบโตเพื่อรับแสง
ภาวะต่อต้าน (antibiosis)	(0, -)	สิ่งมีชีวิตฝ่ายหนึ่งไม่ได้ไม่เสียประโยชน์แต่ส่งผลทำให้อีกฝ่ายเสียประโยชน์	▸ รา *Penicillium* หลั่งสารเพนนิซิลินออกมาทำให้แบคทีเรียที่อยู่รอบๆ ไม่เจริญเติบโต ▸ โพรโทซัวกลุ่มไดโนแฟลเจลเลตหลั่งสารพิษออกมาในน้ำทะเล ทำให้สัตว์ทะเลที่อยู่ในบริเวณนั้นตาย เรียกปรากฏการณ์นี้ปลาวาฬ (red tide)

20.4 นิเวศวิทยาเชิงระบบนิเวศ (ecosystem ecology)

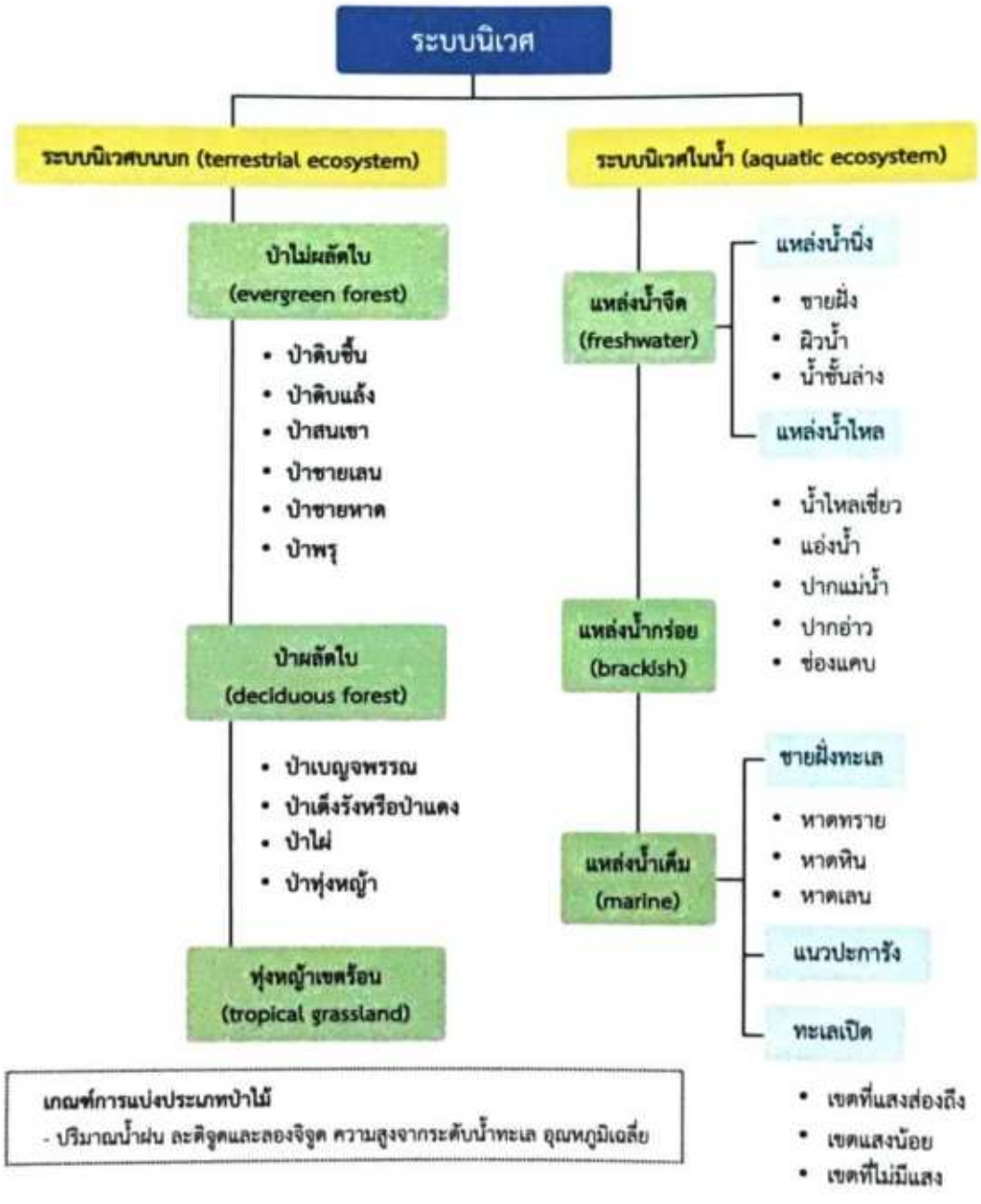
ระบบนิเวศ คือ พื้นที่ที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ

- องค์ประกอบทางกายภาพ (abiotic components) ได้แก่ อุณหภูมิ แสงอาทิตย์ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ภูมิอากาศ ดิน แร่ธาตุอาหาร ความเค็ม ความเป็นกรด เบส ภัยธรรมชาติ
- องค์ประกอบทางชีวภาพ (biotic components)

ผู้ผลิต (producer) คือ สิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองได้ (autotrophy) จากการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือทางเคมี เช่น พืช สาหร่าย ไซยาโนแบคทีเรีย และแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์สารอนินทรีย์ที่ก้นมหาสมุทร

ผู้บริโภค (consumer) คือ สิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophy) ต้องได้รับพลังงานจากการกินสิ่งมีชีวิตอื่น แบ่งเป็นกลุ่มกินพืช (herbivore) กลุ่มกินเนื้อ (carnivore) กลุ่มกินทั้งพืชและสัตว์ (omnivore) กลุ่มกินซากที่เหลือจากการล่า (scavenger) กลุ่มกินซากพืชซากสัตว์ (detritivore)

ผู้ย่อยสลาย (decomposer or saprotroph) คือ สิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ได้รับพลังงานและแร่ธาตุอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย เห็ดรา โพรทิสต์บางชนิด

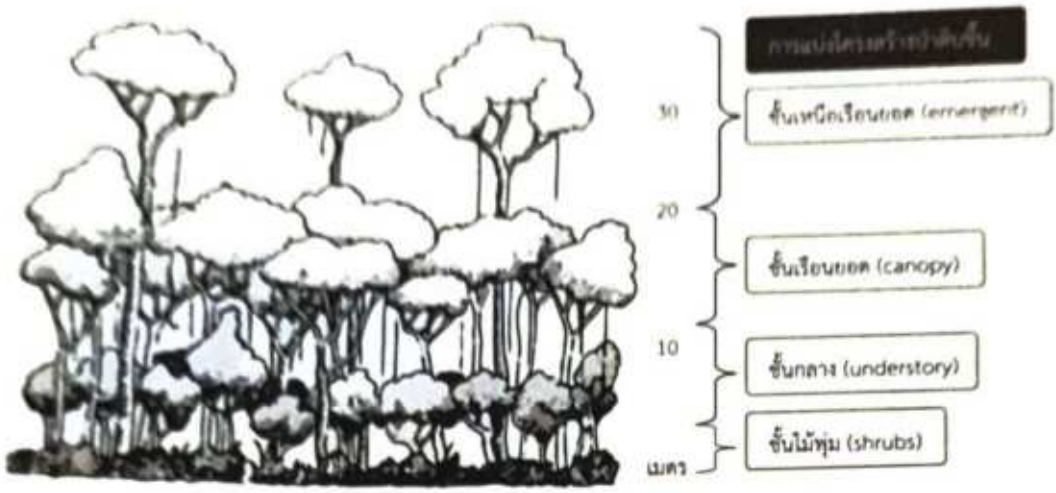


ระบบนิเวศบนบก

- ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest)

ระบบนิเวศ	ลักษณะ	พันธุ์ไม้เด่น	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
ป่าดิบชื้น (tropical rainforest หรือ tropical evergreen forest)	▸ ป่าที่พบในพื้นที่ที่มีฝนตกชุกเกือบตลอดปี เช่น ภาคใต้ชายฝั่งทะเลตะวันออก ▸ มีอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมาก ▸ มีความชื้นสูง ปริมาณน้ำฝนมากกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี ▸ ดินลึกและเก็บความชื้นได้ดี ▸ มีความหลากหลายทางชีวภาพสูงที่สุด	▸ ไม้ยืนต้นใบกว้างปกคลุมหนาแน่น ไม่มีการผลัดใบ ▸ ไม้ยืนต้นชั้นบน สูง 25-40 เมตร เช่น ยาง ตะเคียน สะยา ▸ ไม้ชั้นกลาง สูง 10-20 เมตร เช่น ตีนเป็ดแดง จิกเขา ▸ ไม้พื้นล่าง สูงไม่เกิน 7 เมตร เช่น ไม้พุ่ม ปาล์ม หวาย ไผ่ และเถาวัลย์ ▸ พืชอิงอาศัย เฟิน มอส	▸ การแก่งแย่งแสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด เช่น พืชไม่เลื้อยปีนไปตามต้นไม้ใหญ่ขึ้นสู่ยอด ▸ พืชอิงอาศัยมีรากพิเศษในการเกาะลำต้นไม้ใหญ่และดูดซับความชื้น ▸ รากค้ำยันช่วยค้ำให้ไม้ใหญ่มีความมั่นคง ▸ สัตว์ในป่ามีสีสันโทนเขียวและน้ำตาลเพื่อการพรางตัว
ป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest)	▸ พบทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือในบริเวณที่ค่อนข้างราบ ▸ มีช่วงเวลาที่แห้งแล้ง 3-4 เดือน ▸ ลักษณะเป็นป่าโปร่ง ▸ ดินมักเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย ▸ มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,000 - 2,000 มิลลิเมตรต่อปี	▸ พรรณไม้ผสมกันระหว่างไม้ผลัดใบและไม้ไม่ผลัดใบในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน ▸ พืชเรือนยอดชั้นบน เช่น ยางแดง มะค่าโมง เคี่ยม หลุมพอ กะบาก ตะเคียนหิน ▸ พืชชั้นรองลงมา เช่น พลอง กระเบาเล็ก ▸ พื้นที่ป่าชั้นล่างไม่หนาแน่นและค่อนข้างโล่งเตียน	▸ พันธุ์ไม้ผลัดใบจะทิ้งใบในหน้าแล้งเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ▸ พันธุ์ไม้เด่นมักเป็นพืชที่ไม่ต้องการน้ำมาก ▸ สิ่งมีชีวิตต้องปรับตัวเพื่อลดการสูญเสียน้ำในหน้าแล้ง เช่น หอยต้นไม้มีการสร้างแผ่นปิดช่องเปิดเพื่อเก็บความชื้นภายใน
ป่าสนเขา (coniferous forest)	▸ พบตามภูเขาสูงในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ▸ พื้นที่ป่าค่อนข้างโล่งเตียน ▸ มีความหลากหลายของพรรณพืชน้อยกว่าป่าบกประเภทอื่น	▸ ไม้ยืนต้นที่ขึ้นเป็นพวกที่มีใบเรียวเล็กเหมือนเข็ม เช่น สนสองใบ สนสามใบ ▸ มีไม้พุ่มและไม้ล้มลุกเกิดขึ้นน้อย	▸ พรรณไม้ที่ขึ้นต้องทนต่อสภาพดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์และมีความเป็นกรดสูง ▸ สิ่งมีชีวิตต้องปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิที่หนาวเย็นตลอดปี
ป่าดิบเขา (hill evergreen forest หรือ montane forest)	▸ พบอยู่ในพื้นที่สูงเหนือระดับน้ำทะเล 1,000 เมตรขึ้นไป ▸ พบได้ในเทือกเขาสูงแถบภาคเหนือ เป็นป่าต้นน้ำที่สำคัญ ▸ อากาศมักมีความชื้นสูงโดยเฉพาะค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงฤดูฝนอาจเกินร้อยละ 90 ตลอดเวลา ในบางพื้นที่มีเมฆปกคลุมบ่อยครั้ง	▸ ไม้ยืนต้น เช่น ไม้วงศ์ก่อ นางพญาเสือโคร่ง มะขามป้อมดง อบเชย กำยาน สนเขา จำปีป่า มณฑาป่า ▸ ไม้พื้นล่าง เช่น กุหลาบป่า กล้วยไม้ดิน ผักกูด มอส ชนิดต่างๆ	▸ สิ่งมีชีวิตต้องปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิที่หนาวเย็นตลอดปี ▸ อิทธิพลของลมทำให้กิ่งก้านคดงอและก่อตัวเป็นกระจุก ▸ ซากพืชที่ร่วงหล่นลงดินมีการสลายตัวได้ค่อนข้างช้า ▸ สัตว์หน้าดินไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะสลายซากพืชให้หมดไปได้ในบางช่วงของปี

ระบบนิเวศ	ลักษณะ	พันธุ์ไม้เด่น	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
ป่าชายเลน (mangrove forest)	▸ ป่าที่ขึ้นตามแนวชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำ เป็นลักษณะน้ำกร่อย ▸ พบบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย และบริเวณชายฝั่งอันดามันด้านตะวันตกของภาคใต้ ▸ เป็นป่ารอยต่อกับป่าบก ▸ มีดินเลนที่เกิดจากการทับถมของตะกอนแม่น้ำ	▸ โกงกาง แสม ตะบูน ลำพู ถั่วขาว โพทะเล ตีนเป็ดทะเล จาก	▸ เป็นแหล่งอาหาร แหล่งหลบภัย แหล่งวางไข่และแหล่งอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์ทะเล เช่น กุ้ง ปลา ▸ รากพิเศษในการดำรงชีวิตในป่าชายเลน เช่น รากอากาศ รากค้ำยัน พูพอน ▸ ไม้ป่าชายเลนมีกระบวนการขับเกลือออกภายนอกหรือกรองเกลือไม่ให้เข้าภายใน
ป่าชายหาด (beach forest)	▸ พบบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีดินทราย อากาศมีไอเค็มสูง แต่น้ำทะเลท่วมไม่ถึง ▸ พบตามชายฝั่งทะเลที่มีหาดทราย ทั้งภาคตะวันออก ภาคกลางและภาคใต้ ▸ พื้นป่ามักโล่งเตียนมีซากใบสนแห้งที่ย่อยสลายช้าปกคลุมเป็นชั้นหนา	▸ สนทะเล สลัดได ข่อย หนามเค็ด ปะปนกับยางนา กระทิง หูกวาง และเสม็ด ▸ บนหาดทรายสามารถพบผักบุ้งทะเล หญ้าลอยลม และถั่วคล้า	▸ พรรณไม้มีการปรับตัวเพื่อทนเค็ม (halophyte) ทนความแห้งแล้ง (xerophyte) และภาวะขาดน้ำได้ดี ▸ รากที่งอกออกตามข้อของพืชชายหาดทำให้ยึดทรายได้มั่นคง
ป่าพรุ (peat swamp forest)	▸ พบตามที่ลุ่มเป็นป่าที่มีน้ำจืดขังอยู่ตลอดปี ▸ สภาพดินเป็นดินอินทรีย์หรือดินพรุ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นซากของใบไม้และเศษพืชทับถมหนาโดยไม่สลายตัวหรือสลายน้อยเรียกว่าดินพีท (peat) ▸ น้ำมีความเป็นกรดสูงมีสีน้ำตาลแดง อุณหภูมิค่อนข้างสูง ▸ ลักษณะของป่าแน่นทึบ	▸ ตังหน อ้ายบ่าว หลุมพี ทองบึ้ง เถาวัลย์ หมากแดง กระพ้อ ระกำ และย่านลิเภา ▸ บนเรือนยอดไม้มีพืชอิงอาศัยรูปร่างแปลกตาเกาะอยู่ทั่วไป เช่น เฟินชายผ้าสีดา และกล้วยไม้สิงโตก้ามปูแดง	▸ ต้นไม้ส่วนใหญ่ในป่าพรุมักมีรากค้ำยันเพื่อช่วยพยุงลำต้น ▸ เนื่องจากชั้นของพื้นดินจะอยู่ลึกด้านล่างโดยมีชั้นของใบไม้ทับถมอยู่ด้านบน ▸ พรรณไม้มีการปรับตัวทนต่อสภาวะน้ำเป็นกรดและมีออกซิเจนต่ำ



▲ (Cr. wikispaces.com)

- ป่าผลัดใบ (deciduous forest)

ระบบนิเวศ	ลักษณะ	พันธุ์ไม้เด่น	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
ป่าเบญพรรณ หรือ ป่าผสมผลัดใบ (mixed deciduous forest)	▸ ป่าโปร่งประกอบด้วยไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ และขนาดกลางหลายชนิดปะปนกัน ▸ พบทุกภาคในประเทศไทยยกเว้นภาคใต้ ▸ พื้นดินมักเป็นดินร่วนปนทราย ▸ พบในบริเวณที่มีฤดูกาลแบ่งแยกชัดเจน มีช่วงแห้งแล้งยาวนานเกินกว่า 3 เดือน ▸ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,200-1,400 มิลลิเมตรต่อปี	▸ พรรณไม้หลัก 5 ชนิด (เบญจ-) คือ สัก มะค่า แดง ประดู่ ชิงชัน ▸ ปะปนกับไผ่และพืชวงศ์หญ้าอื่นๆ ▸ ไม้ยืนต้นกระจายอยู่ห่างๆ กัน แสงตกถึงพื้นได้มาก	▸ พรรณไม้หลายชนิดมีการปรับตัวให้สอดคล้องกับการเกิดไฟป่าในฤดูแล้ง เมล็ดไม้หลายชนิด เช่น ไม้สัก มะค่า และแดง จะถูกกระตุ้นให้งอกด้วยไฟป่า ▸ พรรณไม้มีการผลัดใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำในหน้าแล้ง ▸ เป็นป่าที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ป่าค่อนข้างสูง เพราะมีเรือนยอดไม่รกทึบเกินไป แสงตกถึงพื้นได้มากจึงมีพืชชั้นพื้นหนาแน่นเป็นอาหารของสัตว์
ป่าเต็งรังหรือป่าแดงป่าแพะ (dry dipterocarp forest)	▸ เป็นป่าโปร่งมีต้นไม้ขนาดใหญ่ ▸ พบในเขตพื้นที่แห้งแล้งของทุกภาคโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก ▸ ดินตื้นกักเก็บน้ำได้น้อย มีหินบนผิวดินมาก ความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่าป่าเบญจพรรณ	▸ ไม้วงศ์ยางเป็นไม้เด่น เช่น เต็ง รัง เหียง พลวง และไม้ชนิดอื่น เช่น ไผ่เพ็ก พะยอม ประดู่แดง มะขามป้อม	▸ พรรณไม้ปรับตัวเข้ากับสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์และความชื้นต่ำ เช่น ระบบรากที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำ ▸ พรรณไม้หลายชนิดมีการปรับตัวให้สอดคล้องกับการเกิดไฟป่าในฤดูแล้ง

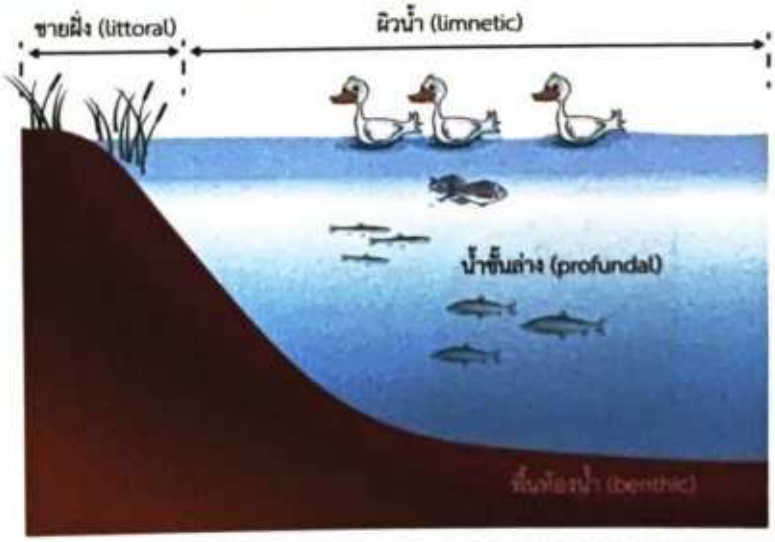
- ทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical grassland)

ระบบนิเวศ	ลักษณะ	พันธุ์ไม้เด่น	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
ป่าทุ่งหญ้าและทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical grassland)	▸ พบค่อนข้างน้อยตามธรรมชาติในประเทศไทย ▸ มีไม้ยืนต้นกระจายอยู่ห่างๆ กันบนพื้นที่ส่วนใหญ่ซึ่งมีหญ้าขึ้นหนาแน่น ▸ เกิดในบริเวณที่ค่อนข้างแห้ง ▸ ปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 800 มิลลิเมตรต่อปี ฤดูฝนสั้น ▸ ดินขาดธาตุอาหาร	▸ พืชตระกูลหญ้า เช่น หญ้าคา หญ้าพง หญ้าแฝก	▸ พรรณไม้หลายชนิดมีการปรับตัวให้สอดคล้องกับการเกิดไฟป่าในฤดูแล้ง ซึ่งเหมาะสมต่อพืชพวกหญ้าที่มีวงจรชีวิตสั้นและแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว ▸ เป็นเพียงขั้นหนึ่งของกระบวนการทดแทนตามธรรมชาติ สามารถพัฒนาเป็นป่าใหญ่ได้

ระบบนิเวศในน้ำ

- ระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด (freshwater ecosystem)

ระบบนิเวศ	ลักษณะ	สิ่งมีชีวิตที่พบ	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
แหล่งน้ำนิ่ง (lentic)	▸ บริเวณชายฝั่ง : อยู่ติดกับพื้นดินและห่างจากฝั่งไม่มากนัก เป็นแหล่งน้ำตื้นๆ ▸ บริเวณผิวน้ำ : ถัดออกมาจากชายฝั่ง เป็นพื้นที่ผิวน้ำสัมผัสอากาศและได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงส่องทั่วทั้งผิวน้ำ ▸ บริเวณน้ำชั้นล่าง : อยู่ต่ำกว่าผิวน้ำลงไปถึงพื้นท้องน้ำ พื้นที่ส่วนใหญ่แสงส่องไม่ถึง ▸ ได้แก่ ห้วย หนอง บึง ทะเลสาบ กว๊าน	▸ พืชน้ำจำพวกรากหยั่งลึกในดิน และพืชลอยน้ำ ▸ นกน้ำ เช่น นกคู้ด นกเป็ดน้ำ นกอีล้ำ ▸ ปลาน้ำจืดหลายชนิด ▸ หอย ปู และกุ้งน้ำจืด ▸ ไส้เดือนน้ำจืด	▸ พืชมีระบบรากที่หยั่งลึกลงไปในดินยึดตลิ่งไว้ ▸ พืชลอยน้ำมีเซลล์กักเก็บอากาศภายในเพื่อช่วยให้ลอยน้ำ ▸ นกน้ำมีขนนกที่กันน้ำได้ ▸ แมลงน้ำบางชนิดสามารถเดินบนผิวน้ำได้ เช่น จิงโจ้น้ำ บางชนิดกักเก็บอากาศใต้ปีก เช่น แมงดานา

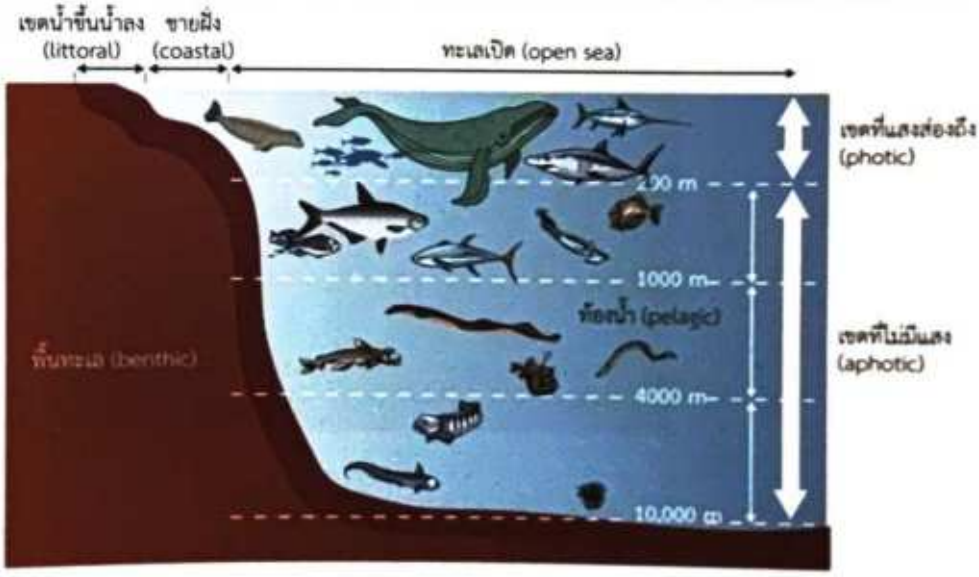


ระบบนิเวศ	ลักษณะ	สิ่งมีชีวิตที่พบ	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
แหล่งน้ำไหล (lotic)	▸ แบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณที่เป็นแหล่งน้ำ (pool) และบริเวณที่เป็นเกาะแก่งหรือน้ำไหลเชี่ยว (rapid) ▸ แหล่งน้ำไหลเร็วเป็นแหล่งน้ำตื้น ความแรงของกระแสน้ำทำให้พื้นใต้ท้องน้ำสะอาด แหล่งน้ำไหลช้าเป็นบริเวณที่มีน้ำไหลลึกกว่า บริเวณพื้นใต้ท้องน้ำจึงเป็นแหล่งสะสมกรวด ทรายและโคลนตม ▸ การไหลของน้ำบริเวณที่คดเคี้ยวจะไหลช้าเป็นบริเวณกว้างและเพิ่มปริมาณออกซิเจน ได้แก่ แม่น้ำลำคลอง ลำธาร	▸ สาหร่ายและพืชน้ำหลายชนิด ▸ ปลาน้ำจืดและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำจืด	▸ ปลาส่วนใหญ่มีรูปร่างเพรียวเพื่อลดความต้านทานของกระแสน้ำ บางชนิดมีรูปร่างแบนราบไปกับพื้นผิว เช่น ปลาลิ้นหมาน้ำจืด ▸ ปลามีพฤติกรรมว่ายทวนน้ำ ▸ ตัวอ่อนแมลงบางชนิดเกาะแน่นติดกับพื้นผิว เช่น แมลงหนอนปลอกน้ำ และดักจับอาหารจากน้ำ ▸ สัตว์บางชนิดปล่อยเมือกเหนียวไว้ยึดเกาะ เช่น พลานาเรีย

▸ ระบบนิเวศแหล่งน้ำกร่อย (brackish ecosystem)

ระบบนิเวศ	ลักษณะ	สิ่งมีชีวิตที่พบ	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
ปากแม่น้ำ (estuary)	▸ เป็นบริเวณที่น้ำจืดจากแม่น้ำไหลมาบรรจบกับทะเล ทำให้น้ำบริเวณนี้มีการเปลี่ยนแปลงของความเค็มอยู่ตลอดเวลา ▸ มีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจากแม่น้ำได้พัดพาเอาตะกอนแร่ธาตุสารอาหารต่างๆ จากต้นน้ำลงมา ▸ เป็นที่เชื่อมโยงระหว่างระบบนิเวศน้ำจืดและระบบนิเวศทางทะเล	▸ พวกที่อยู่อาศัยตามพื้นผิวดิน ได้แก่ ปลาตีน ▸ พวกที่อยู่ใต้ผิวดิน รวมทั้งที่ขุดรูอยู่ ได้แก่ ไส้เดือนทะเล ▸ พวกที่อาศัยอยู่ในน้ำ ได้แก่ กุ้งชนิดต่างๆ ปลาทะเลบางชนิด	▸ สิ่งมีชีวิตต้องปรับตัวกับสภาพที่มีความเค็มเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มักเป็นสิ่งมีชีวิตที่ทนความเค็มได้ช่วงกว้าง ▸ น้ำขึ้นน้ำลงเป็นปัจจัยจำกัดของสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นตัวกำหนดเวลาการหายใจและการหาอาหาร การสูญเสียน้ำและขอบเขตการแพร่กระจาย

▸ ระบบนิเวศแหล่งน้ำเค็ม (marine ecosystem)

ระบบนิเวศ	ลักษณะ	สิ่งมีชีวิตที่พบ	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
ทะเลและมหาสมุทร			

ระบบนิเวศ	ลักษณะ	สิ่งมีชีวิตที่พบ	การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต
หาดทราย (sandy beach)	▸ บริเวณชายฝั่งตั้งแต่ระดับน้ำลงต่ำสุดจนถึงระดับน้ำขึ้นที่ละอองน้ำเค็มสาดไปถึง ▸ มีลักษณะเป็นพื้นราบเรียบ ประกอบด้วยเม็ดทรายขนาดต่างๆ กัน ▸ กระแสน้ำขึ้นน้ำลงเป็นปัจจัยทำให้ความชื้นและอุณหภูมิแตกต่างกัน	▸ หอยทะเลบางชนิด เช่น หอยทับทิม หอยเสียบ หอยตลับ ▸ ปูบางชนิด เช่น ปูลม ปูทหาร ปูเสฉวน	▸ สัตว์มีการปรับตัวให้เหมาะสมกับคลื่นทะเลและน้ำขึ้นน้ำลง ▸ มีผิวเรียบและลำตัวแบนเพื่อแทรกตัวในทรายได้ง่าย เช่น หอยเสียบ หอยทับทิม อีแปะทะเล ▸ มีการฝังตัวหรือขุดรูลึกลงไปในพื้นราบ เช่น ปูลม เหรียญทะเล ▸ เมื่อน้ำทะเลท่วมมาถึง สัตว์ที่ฝังใต้ทรายจะอ้าปากกินแพลงก์ตอนที่ลอยมากับน้ำทะเล
หาดหิน (rocky shore)	▸ เป็นบริเวณที่ประกอบไปด้วยโขดหิน ไม่ราบเรียบ มีซอกและแอ่งน้ำเป็นที่กำบังคลื่นลมและหลบซ่อนศัตรูของสิ่งมีชีวิต ▸ น้ำขึ้นน้ำลงส่งผลต่อสภาพอุณหภูมิ แสง และความชื้น	▸ อาร์โทรพอด เช่น ปู แมลงสาบทะเล เพรียงหิน เพรียงคอห่าน ▸ หอยทะเลบางชนิด เช่น หอยนางรม หอยเพรียงเจาะเรือ หอยหมวกเจ๊ก ลิ่นทะเล ▸ ดาวทะเล เม่นทะเล ปลิงทะเล	▸ สิ่งมีชีวิตมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น โดยมีสารพวกคิวทินเคลือบเพื่อรักษาความชื้นและลดการระเหยของน้ำ ▸ เมื่อน้ำลงสิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนที่ได้จะหลบไปในซอกหิน เช่น ปู ปลิงทะเล แมลงสาบทะเล ▸ สิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนที่ไม่ได้จะมีเปลือกหุ้มกักเก็บน้ำไว้ภายใน เช่น เพรียงหิน หอยนางรม ลิ่นทะเล
หาดเลน หรือ หาดโคลน (muddy shore)	▸ เป็นบริเวณที่มีขนาดของดินตะกอนที่เล็กมาก เนื่องจากมีคลื่นลมไม่รุนแรงทำให้ตะกอนขนาดเล็กตกลงพื้น ▸ พบบริเวณปากแม่น้ำ อ่าวปิด คุ้งน้ำ อยู่ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ▸ มีดินขนาดอนุภาคเล็กและลักษณะหาดไม่ชัน ทำให้น้ำไหลไปบริเวณอื่นยากและเก็บกักไว้ในดิน ▸ มีปริมาณออกซิเจนในดินเลนต่ำ มีปริมาณสารอินทรีย์สูง	▸ อาร์โทรพอด เช่น ปูทะเล ปูม้า กุ้งแชบ๊วย ▸ หอยทะเลบางชนิด เช่น หอยแครง หอยลาย หอยกระจก ▸ สาหร่ายขนาดใหญ่ เช่น สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีเขียว	▸ สัตว์ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น ฝังตัวลงไปในโคลนหรือสร้างท่อใต้ดิน ▸ มีการปรับตัวทางด้านสรีรวิทยาต่อสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ เช่น ระบบเลือดมีฮีโมโกลบินเป็นตัวจับออกซิเจนเพิ่มขึ้น
แนวปะการัง (coral reef)	▸ ระบบนิเวศทะเลใต้น้ำที่มีความหลากหลายทางชีวภาพมากที่สุด ▸ เป็นแนวหินปูนที่มีความแข็ง สร้างโดยปะการัง รวมถึงซากของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในทะเลอย่างอื่นร่วมด้วย ▸ อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลและใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมชายฝั่งทะเลบริเวณนั้น ▸ ปะการังมีชีวิตอยู่ได้ในบริเวณที่น้ำสะอาด มีออกซิเจนเพียงพอและแสงแดดส่องถึง	▸ แพลงก์ตอนพืชและสาหร่าย ▸ หอยและหนอนทะเล ▸ ดาวทะเล เม่นทะเล ปลิงทะเล ▸ ฟองน้ำ ดอกไม้ทะเล ปะการัง กัลปังหา ▸ กุ้งและปูหลายชนิด ▸ ปลาทะเลหลายชนิด เช่น ปลาผีเสื้อ	▸ แนวปะการังเป็นที่ยึดเกาะของสาหร่าย เนื่องจากอยู่ในระดับที่ไม่ลึกเกินไป และมีสภาพแวดล้อมพอเหมาะต่อการเจริญเติบโตและสังเคราะห์ด้วยแสง ▸ เป็นที่หลบภัยศัตรูและแหล่งอาหารที่อุดมสมบูรณ์ของสัตว์น้ำ ▸ สิ่งมีชีวิตมีการอาศัยและได้รับประโยชน์ร่วมกัน เช่น ดอกไม้ทะเลและปลาการ์ตูน

Quiz Yourself

1) จากการสำรวจลักษณะสิ่งมีชีวิตที่อยู่บริเวณแหล่งน้ำแห่งหนึ่งพบว่า มีปลาที่มีรูปร่างแบนราบไปกับพื้นผิวที่เกาะ นอกจากนี้ยังพบหอยกาบเดียวซึ่งสามารถหลั่งเมือกเหนียว และพบปลาพลวงจำนวนมาก จากข้อมูลลักษณะสิ่งมีชีวิตที่พบ นักเรียนจะสรุปลักษณะระบบนิเวศของแหล่งน้ำดังกล่าวได้อย่างไร

1. เป็นแหล่งน้ำจืดบริเวณน้ำนิ่ง
2. เป็นแหล่งน้ำจืดบริเวณน้ำไหล
3. เป็นแหล่งน้ำกร่อยบริเวณน้ำนิ่ง
4. เป็นแหล่งน้ำกร่อยบริเวณน้ำไหล

การศึกษาระบบนิเวศ

- การสำรวจระบบนิเวศแหล่งน้ำ

	เซคคิดิสก์ (secchi disk) ใช้วัดการส่องผ่านของแสง จดค่าความลึกตรงจุดที่เริ่มมองไม่เห็นเซคคิดิสก์ ดึงขึ้นมาจากน้ำอีกเล็กน้อย และจดค่าความลึกตรงจุดที่เริ่มมองเห็นเซคคิดิสก์อีกครั้ง นำค่าทั้งสองมาหาค่าเฉลี่ย
	กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ (universal indicator) ใช้วัดความเป็นกรด-เบส
	ถุงลากแพลงก์ตอน (plankton net) ใช้เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนในน้ำ โดยค่อยๆ ลากถุงไปตามผิวน้ำ
	ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ใช้เก็บน้ำตามระดับความลึกที่กำหนดไว้เพื่อนำมาวัดค่าอุณหภูมิและความเป็นกรด-เบส
	เทอร์โมมิเตอร์ใช้วัดอุณหภูมิของผิวน้ำและน้ำที่ลึกลงไป

- การสำรวจระบบนิเวศบนบก
  - สังเกตสภาพแวดล้อมโดยรอบ คุณภาพอากาศ ลักษณะดิน สี กลิ่น ความชื้น สิ่งปนเปื้อนในดิน
  - วัดอุณหภูมิของดินที่ผิวดินและที่ระดับความลึกต่างๆ กัน
  - วัดความเป็นกรด-เบส โดยนำดินมาผสมกับน้ำ วัดด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

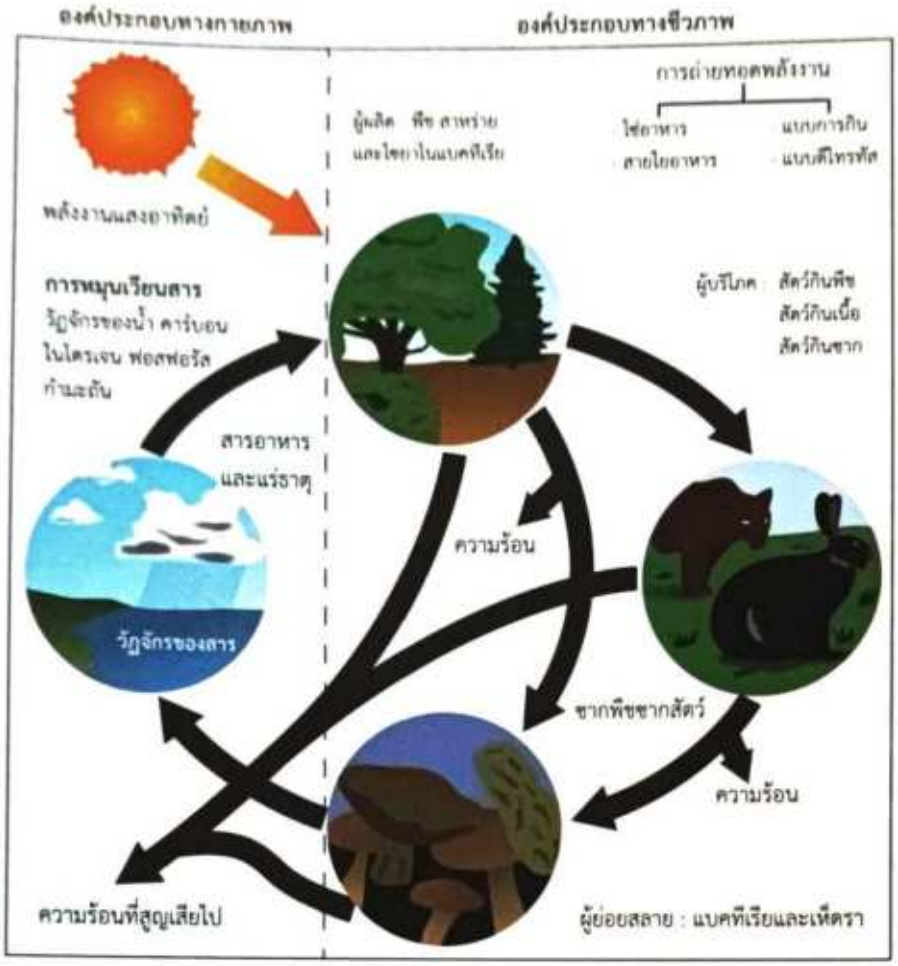
	กรอบวัดประชากร (quadrat frame) ใช้หาความหนาแน่นของประชากรสิ่งมีชีวิต ความหนาแน่น = $\frac{\text{จำนวนประชากร}}{\text{พื้นที่}}$
	ชุดสำรวจสิ่งมีชีวิตในดิน นำดินมาวางบนตะแกรงที่อยู่บนกรวย เปิดไฟทิ้งไว้เพื่อให้สิ่งมีชีวิตในดินหนีความร้อนลงสู่ภาชนะด้านล่าง
	เดนซิโอมิเตอร์ (densiometer) ใช้หาความหนาแน่นของเรือนยอดต้นไม้ ความหนาแน่น = $\frac{\text{ผลรวมของจำนวนครั้งที่พบ (เครื่องหมาย +)}}{\text{จำนวนครั้งที่สังเกต}} \times 100$

ตัวอย่าง หากนักเรียนคนหนึ่งใช้เดนซิโอมิเตอร์เพื่อหาความหนาแน่นของเรือนยอดต้นไม้ต้นหนึ่ง โดยสังเกตเห็นใบไม้ทาบอยู่บนจุดตัดของเครื่องหมายกากบาททั้งหมด 27 ครั้งจากการสังเกตทั้งหมด 50 ครั้ง ความหนาแน่นของเรือนยอดต้นไม้ต้นนี้คือเท่าใด

วิธีคิด

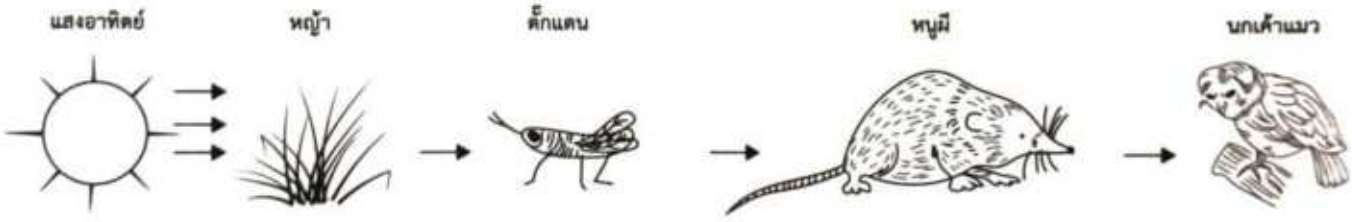
$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนครั้งที่พบ (เครื่องหมาย +)}}{\text{จำนวนครั้งที่สังเกต}} \times 100 = \frac{27}{50} \times 100 = 54\%$$

กระบวนการทางระบบนิเวศที่สำคัญ



การถ่ายทอดพลังงาน (energy flow) เกิดขึ้นในรูปแบบของโซ่อาหาร (food chain)

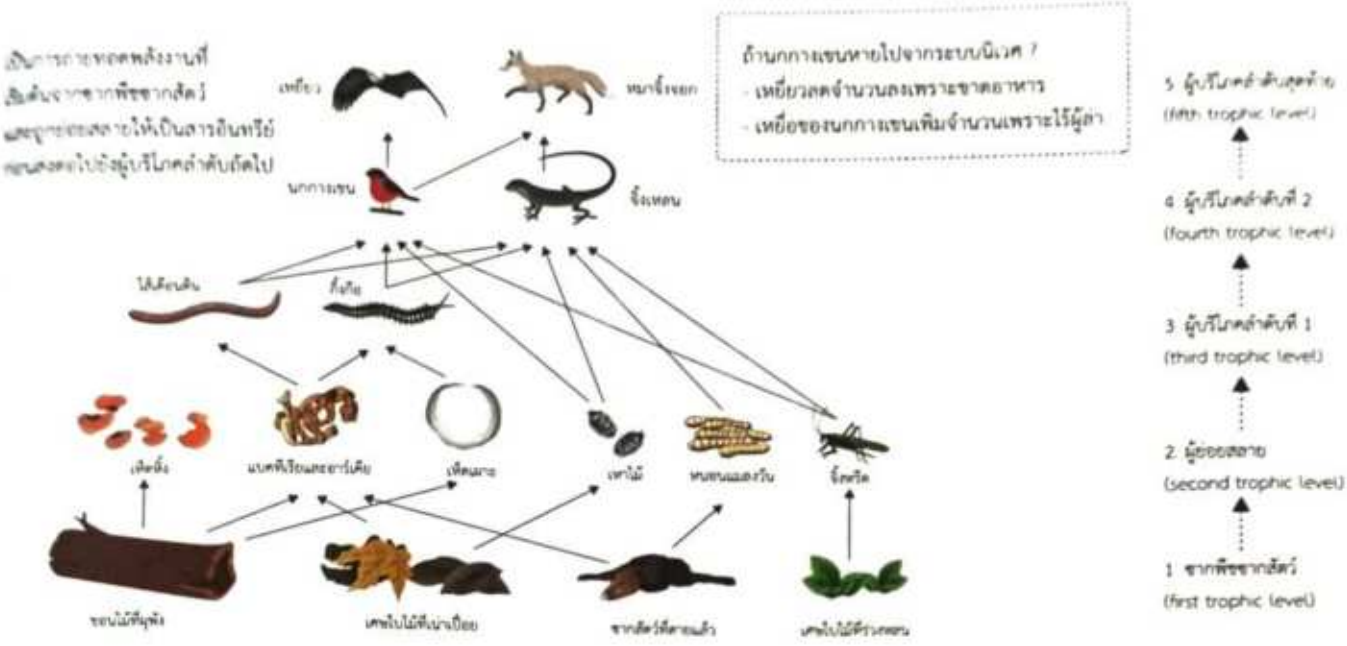
ตำแหน่งของสิ่งมีชีวิตตามลักษณะการกิน คือ ลำดับขั้นการกิน (trophic level)



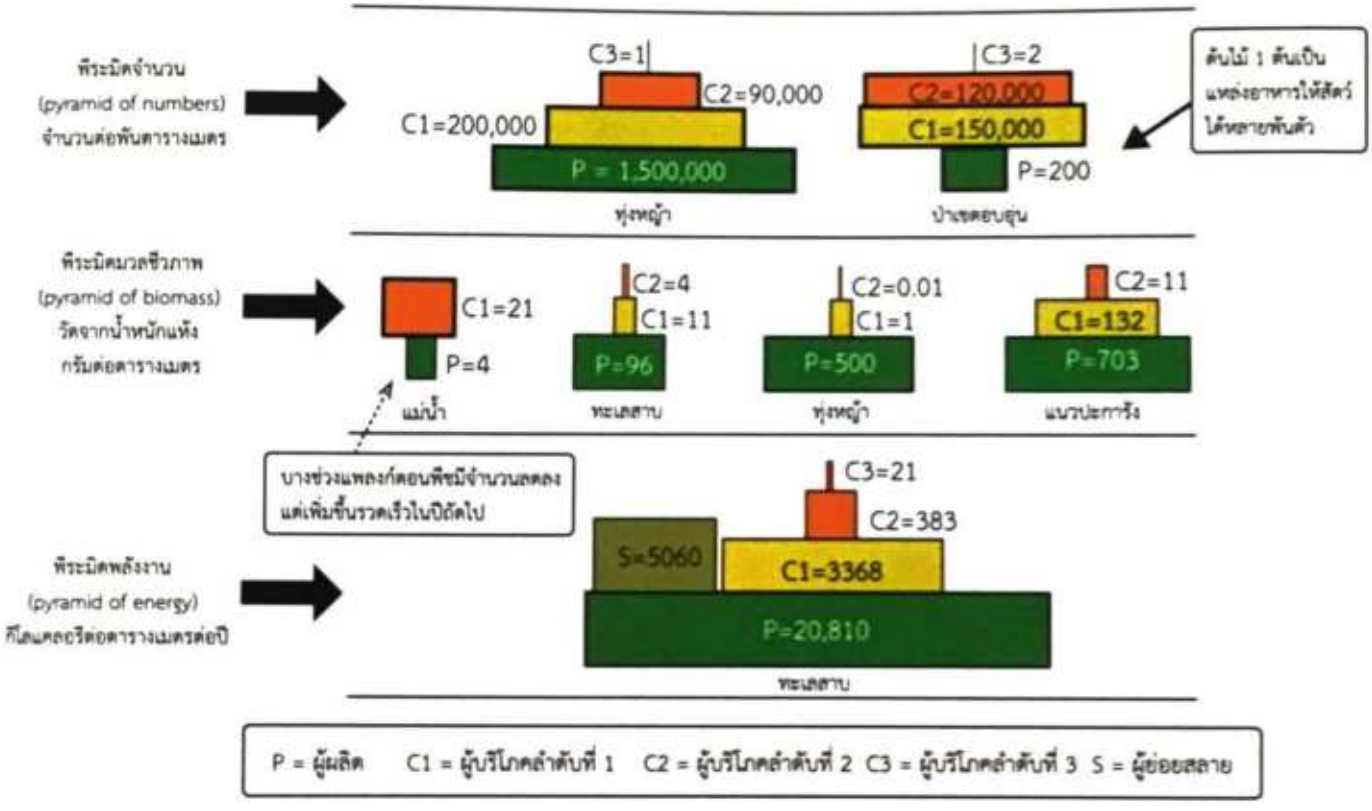
พลังงาน | ผู้ผลิต (producer) | ผู้บริโภคลำดับที่ 1 (primary consumer) เป็นสัตว์กินพืชเสมอ | ผู้บริโภคลำดับที่ 2 (secondary consumer) เป็นสัตว์กินเนื้อเสมอ | ผู้บริโภคลำดับที่ 3 (tertiary consumer) มักเป็นสัตว์กินเนื้อชั้นสูงสุด (top carnivore)

- ห่วงโซ่อาหารแบบการกิน (grazing food chain) ต้อง**เริ่มจากผู้ผลิต**เสมอ
- สิ่งมีชีวิตมีโอกาสน้อยมากที่จะได้รับพลังงานจากอาหารเพียงชนิดเดียว ดังนั้น การถ่ายทอดพลังงานของสิ่งมีชีวิตมักอยู่ในรูปของ**สายใยอาหาร (food web)** เช่น

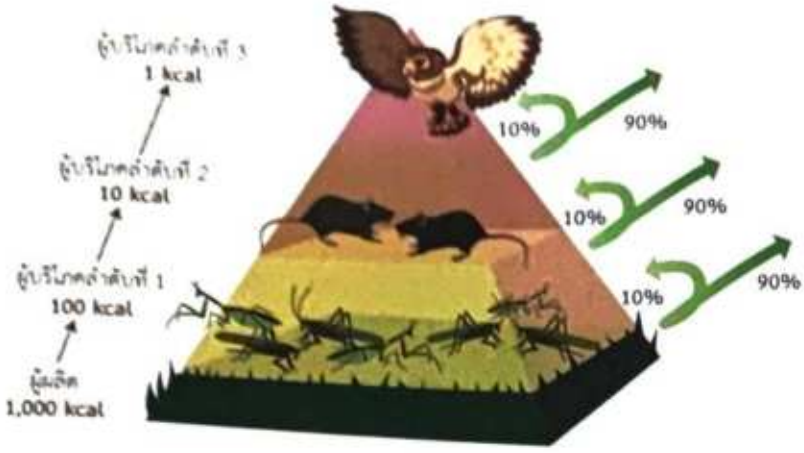
สายใยอาหารดีไทรทัส (detritus food web หรือ saprophytic food web) sapro-ย่อยสลาย -phyte คล้ายพืช



ปริมาณแต่ละลำดับขั้นสามารถแสดงในรูปพีระมิดทางนิเวศวิทยา (ecological pyramid)



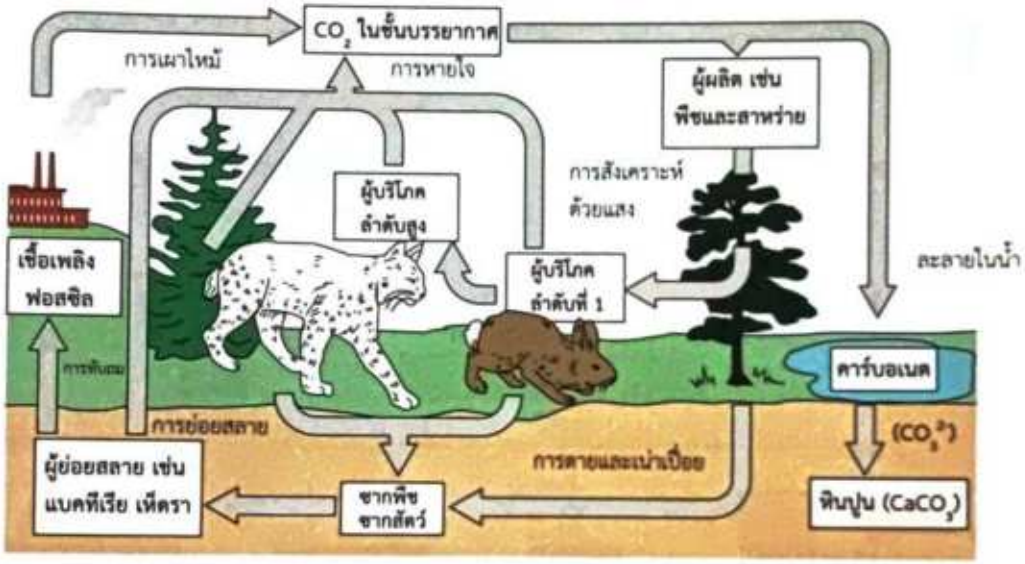
▲ (Cr. wikipedia.org)



กฎสิบเปอร์เซ็นต์ (Law of ten percent)
"พลังงานที่สิ่งมีชีวิตได้รับมาจากการกิน 100 ส่วน มีเพียง 10 ส่วนที่นำไปใช้ดำรงชีวิตและสร้างเนื้อเยื่อ อีก 90 ส่วนที่เหลือ คือ ส่วนที่กินไม่ได้ ย่อยไม่ได้เป็นกากอาหาร และสูญเสียออกมาในรูปพลังงานความร้อน"
พลังงานส่วนดังกล่าวถูกใช้โดยผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์

การหมุนเวียนของสาร (nutrient cycling) ในรูปวัฏจักรของสาร (nutrient cycle)

วัฏจักรคาร์บอน

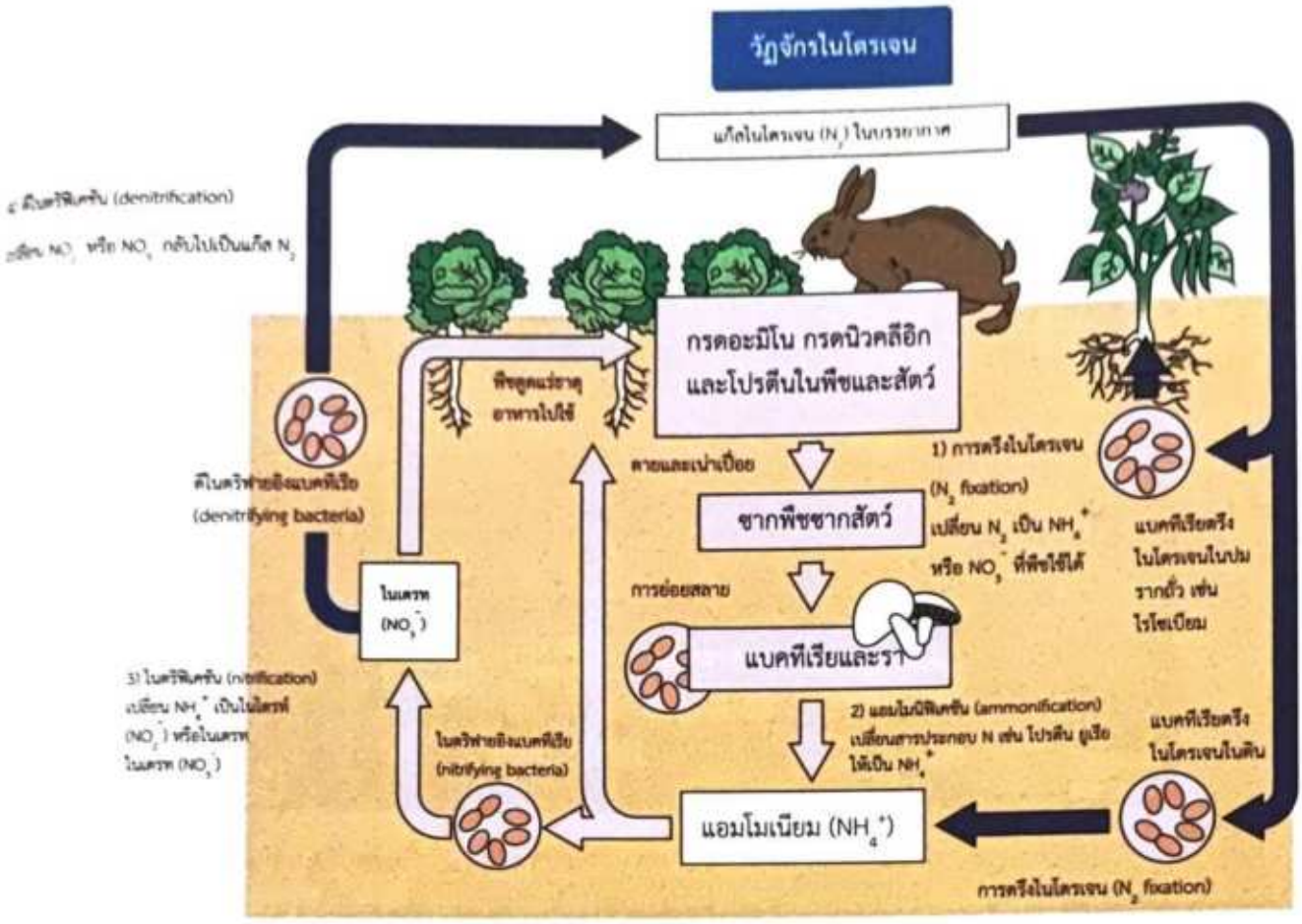


▲ (Cr. wikispaces.com)

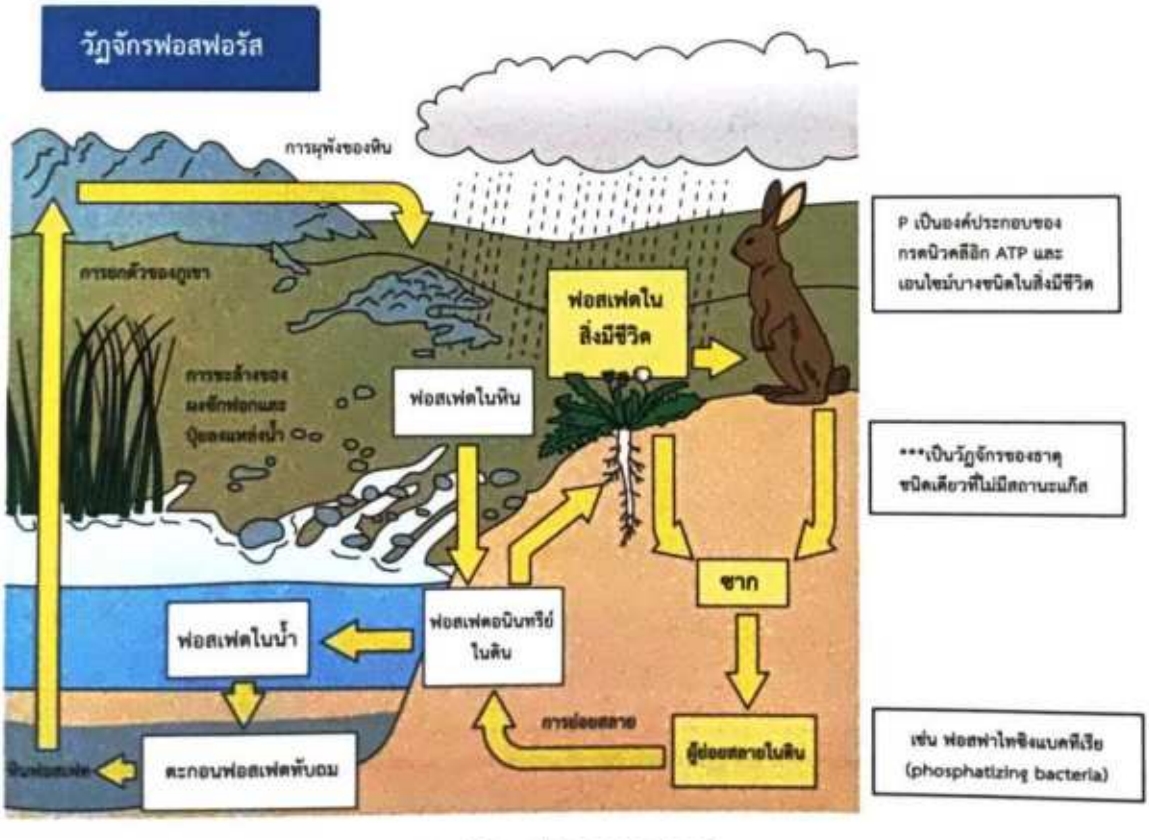
Quiz Yourself

2) ต้นไม้ A ต้นหนึ่งมีหนอน B 150 ตัวมากินใบ และมีนก C 1 ตัวมาคอยกินหนอน ลักษณะเช่นนี้เป็นโซ่อาหารแบบใด
   1. Parasitic food chain
   2. Detritus food chain
   3. Grazing food chain
   4. แบบที่ 2. หรือ 3.

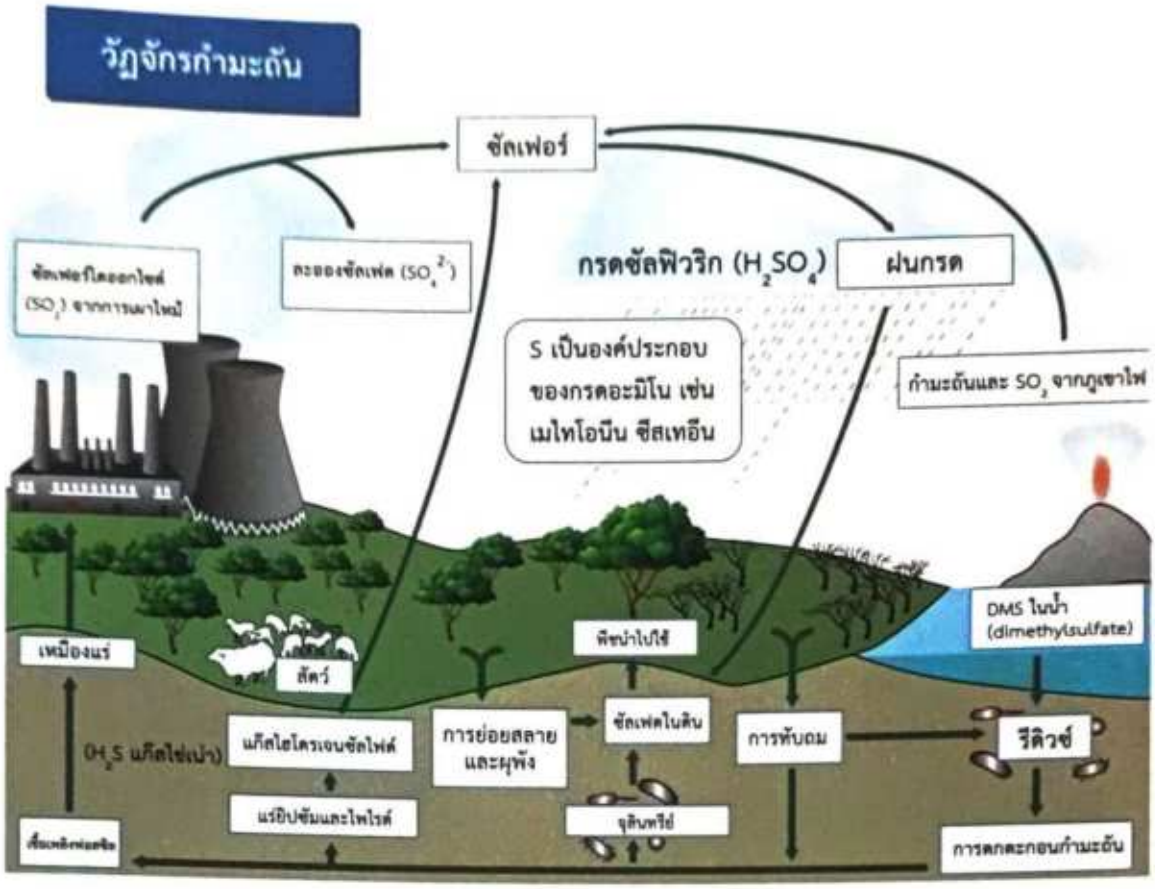
3) ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในข้อใดที่แตกต่างจากข้ออื่นๆ ในเรื่องของการถ่ายทอดพลังงาน
   1. นกเค้าแมวล่าเหยื่อ
   2. แมลงกับดอกไม้
   3. ชายผ้าสีดาขึ้นอยู่บนต้นไม้ใหญ่
   4. ทากดูดเลือดคน



▲ (Cr. wikispaces.com)



▲ (Cr. wikispaces.com)



▲ (Cr. wageningenur.nl)

ระบบนิเวศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ คือ การเปลี่ยนแปลงแทนที่ของระบบนิเวศ (ecological succession)

- การเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบปฐมภูมิ (primary succession) คือ การเปลี่ยนแปลงแทนที่ที่เกิดขึ้นกับบริเวณที่ไม่เคยมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่มาก่อน เช่น การเปลี่ยนแปลงแทนที่บนก้อนหิน หรือหน้าดินที่ถูกตัด เป็นต้น

▲ (Cr. kids.britannica.com)

- การเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบทุติยภูมิ (secondary succession) คือ การเปลี่ยนแปลงแทนที่ที่เกิดขึ้นกับบริเวณที่เคยมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่มาก่อน แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้สิ่งมีชีวิตหายไป เช่น ไฟไหม้ป่า การทำไร่เลื่อนลอย ภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น

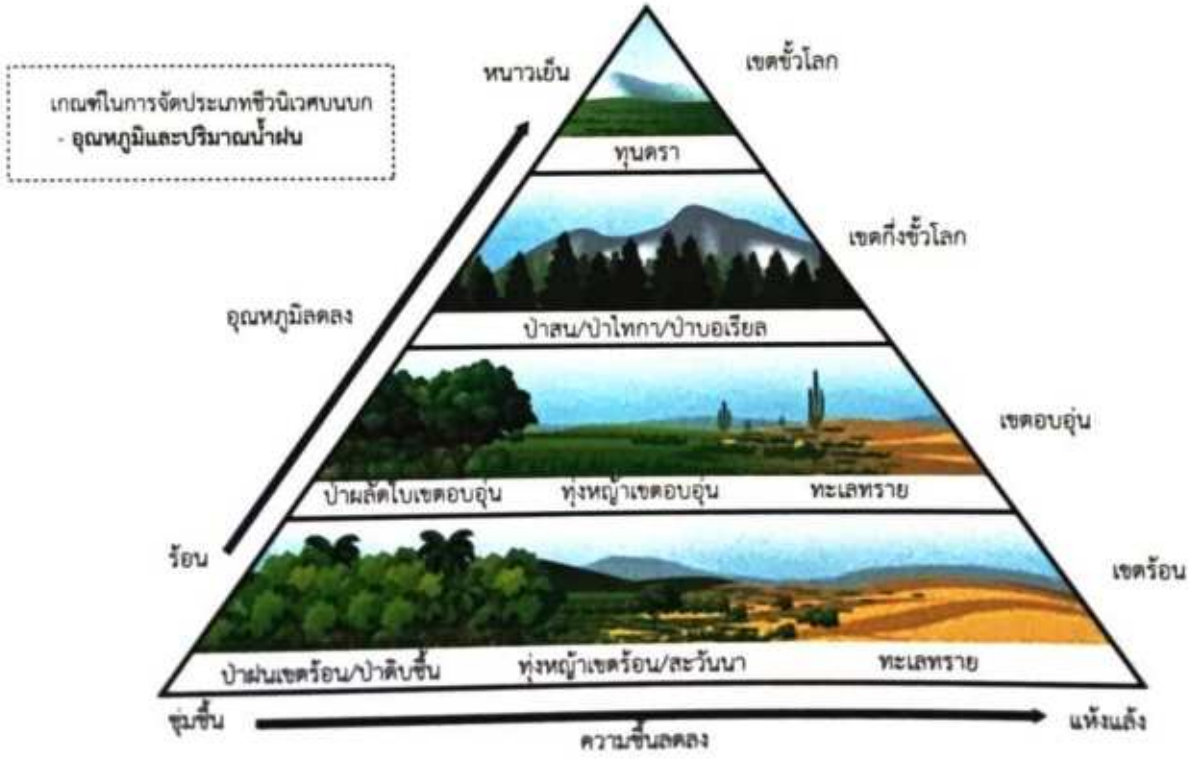
▲ (Cr. kids.britannica.com)

20.5 ชีวนิเวศ (biome)

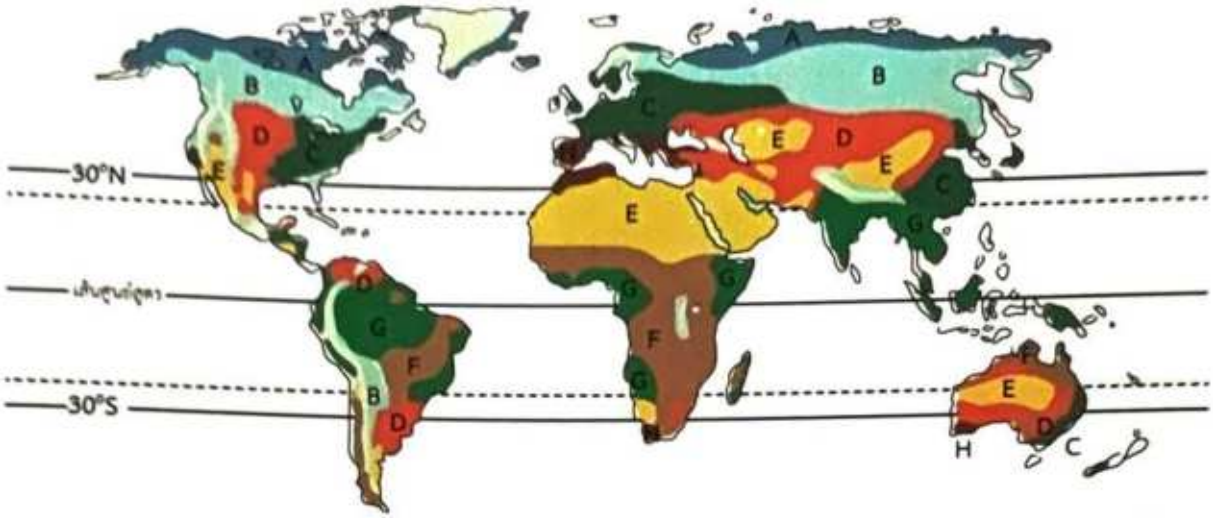
ชีวนิเวศ คือ **ระบบนิเวศ**ลักษณะใดลักษณะหนึ่งที่มี**การกระจายทางภูมิศาสตร์**เป็นบริเวณกว้าง

1. ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ภูมิประเทศ ดิน
2. ปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ พืชและสัตว์ที่มีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม

ชีวนิเวศบนบก (terrestrial biomes)



▲ (Cr. geographypods.com)



▲ (Cr. geographypods.com)

A – ทุนดรา (ขั้วโลกและภูเขา)
B – ป่าสนหรือป่าไทกา
C – ป่าผลัดใบเขตอบอุ่น
D – ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น
E – ทะเลทราย
F – ทุ่งหญ้าเขตร้อนหรือสะวันนา
G – ป่าฝนเขตร้อนหรือป่าดงดิบ
H – ป่าชาปาร์รัล

Quiz Yourself

4) ข้อใดเป็นป่าไม้ผลัดใบทั้งหมด

1. ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าทุ่ง
2. ป่าดิบเขา ป่าทุ่ง ป่าสนเขา
3. ป่าสนเขา ป่าดิบแล้ง ป่าหญ้า
4. ป่าชายเลน ป่าพรุ ป่าชายหาด

ชีวนิเวศบนบก	ลักษณะ	พรรณไม้เด่น	พื้นที่ทางภูมิศาสตร์
ทุนดราขั้วโลก (arctic tundra) และทุนดราภูเขา (alpine tundra)	▸ มีฤดูหนาวค่อนข้างยาวนาน ฤดูร้อนช่วงสั้นๆ เพียง 2 เดือน ▸ ชั้นของดินถัดจากผิวดินจับตัวเป็นน้ำแข็งถาวร (permafrost) ▸ พืชและสัตว์อาศัยอยู่น้อย	▸ ไม้ล้มลุกพวกไม้ดอกพุ่มสั้นๆ หญ้าต่างๆ แห้วทรง กระเทียม มอส ไลเคน	▸ ตอนเหนือของทวีปอเมริกาเหนือ ยุโรป เอเชีย บนเทือกเขาบางแห่ง
ป่าสน (coniferous forest) หรือป่าไทกา (taiga) หรือป่าบอเรียล (boreal)	▸ มีต้นไม้เขียวชะอุ่มตลอดปี ไม่มีการผลัดใบในฤดูหนาว ▸ มีฤดูหนาวค่อนข้างยาวนาน อากาศเย็นและแห้ง ▸ เป็นชีวนิเวศที่ใหญ่ที่สุดในโลก	▸ พืชจำพวกสน เช่น ไพน์ (pine) เฟอร์ (fir) สพรูซ (spruce) เฮมลอค (hemlock) สนสองใบ สนสามใบ ▸ ไม้พุ่ม เช่น เบอร์รีชนิดต่างๆ	▸ ตอนเหนือของทวีปอเมริกาเหนือ ยุโรป เอเชีย ละติจูดถัดจากทุนดราลงมา

ชีวนิเวศบนบก	ลักษณะ	พรรณไม้เด่น	พื้นที่ทางภูมิศาสตร์
ป่าผลัดใบเขตอบอุ่น (temperate deciduous forest)	▸ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 100 เซนติเมตรต่อปี ▸ มีความชื้นเพียงพอให้ไม้ใหญ่เติบโตได้ ▸ มีฤดูกาลแตกต่างชัดเจนเป็น 4 ฤดู ▸ ต้นไม้จะทิ้งใบในฤดูหนาวที่มีอากาศหนาวเย็น และผลิใบใหม่ในฤดูใบไม้ผลิ	▸ มีการแบ่งชั้นตามความสูงชัดเจน ▸ ไม้ยืนต้น เช่น โอ๊ค ยูคาลิปตัส เมเปิล บีช ▸ ไม้พุ่มและไม้ล้มลุกหลายชนิด	▸ บริเวณฝั่งตะวันออกของแคนาดาและสหรัฐอเมริกา ทวีปยุโรป และฝั่งตะวันตกของรัสเซีย ฝั่งตะวันออกของจีน ญี่ปุ่น
ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น (temperate grassland)	▸ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 25-50 เซนติเมตรต่อปี ▸ ฤดูหนาวอุณหภูมิต่ำ ▸ ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง ▸ เหมาะกับการทำเกษตรกรรมและเลี้ยงสัตว์	▸ ไม้ล้มลุก ทานตะวัน พืชจำพวกหญ้า ดอกไม้ป่า	▸ แพรรี่ (prairie) ในตอนกลางของอเมริกาเหนือ ▸ สเตปส์ (steppes) ในรัสเซีย ▸ เวลดท์ (veldt) ในแอฟริกา ▸ แพมพาส (pampas) ในอเมริกาใต้
ทะเลทราย (desert)	▸ ปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 25 เซนติเมตรต่อปี ▸ บางแห่งมีอุณหภูมิสูงกว่า 60 °C ในเวลากลางวัน และต่ำกว่า -30 °C ตอนกลางคืน	▸ พืชอวบน้ำ ใบลดรูปเป็นหนาม เช่น ตะบองเพชร กุหลาบหิน	▸ ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกา ▸ ทะเลทรายโกบีในจีน ▸ ทะเลทรายโมฮาวีในสหรัฐอเมริกา
ทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical grassland) หรือสะวันนา (savanna)	▸ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30-50 เซนติเมตรต่อปี ▸ ภูมิอากาศเขตร้อน ▸ มักเกิดไฟป่าในฤดูร้อน	▸ หญ้าชนิดต่างๆ ▸ ไม้ยืนต้นกระจายเป็นหย่อมๆ มีใบเล็กและมีหนาม	▸ ทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ ออสเตรเลีย
ป่าฝนเขตร้อน หรือป่าดิบชื้น (tropical rainforest)	▸ ภูมิอากาศร้อนชื้น ▸ ฝนตกตลอดปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 200-400 เซนติเมตรต่อปี ▸ มีความหลากหลายทางชีวภาพสูงที่สุด เพราะมีความอุดมสมบูรณ์สูงมาก	▸ มีการแบ่งชั้นตามความสูงชัดเจน ▸ ไม้จำพวกหวาย เฟิน กล้วยไม้ป่า ▸ มอสและลิเวอร์เวิร์ต ▸ ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีใบกว้าง	▸ บริเวณใกล้เขตเส้นศูนย์สูตรในอเมริกากลาง อเมริกาใต้ แอฟริกา เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และหมู่เกาะแปซิฟิก
ป่าชาปาร์รัล (chaparral)	▸ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30-50 เซนติเมตรต่อปี ▸ มักฝนตกในฤดูหนาว และมีอุณหภูมิ 10-12 °C	▸ มีไม้พุ่มและต้นไม้ขนาดเล็กเป็นหลัก ▸ หญ้าและไม้ล้มลุกหลายชนิด	▸ พบอยู่ตามชายฝั่งของหลายทวีป เช่น บริเวณทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ชิลี แอฟริกาใต้และออสเตรเลีย

หากสารพิษปนเปื้อนอยู่ในน้ำหรือหรือสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต (bioaccumulation) สารดังกล่าวสามารถถูกถ่ายทอดไปในลำดับการกินถัดไปได้ (ผู้ผลิต → ผู้บริโภคลำดับที่ 1) และสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระดับพลังงานที่สูงขึ้นไป ทำให้ผู้บริโภคลำดับสูงที่สุดจะมีความเข้มข้นของสารพิษภายในร่างกายมากที่สุด เรียกว่า การสะสมสารพิษในโซ่อาหาร (biomagnification) ได้แก่ การสะสมของโลหะหนักและการสะสมของยาฆ่าแมลงประเภท DDT ทำให้เปลือกไข่สัตว์ปีกเปราะบาง แตกง่าย และมีโอกาสเสี่ยงที่จะสูญพันธุ์สูงขึ้น

***พีระมิดที่แสดงการสะสมสารพิษในโซ่อาหารจึงเป็นพีระมิดหัวกลับเสมอ

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 2.** ปลาที่อยู่อาศัยอยู่บริเวณแหล่งน้ำจืดที่เป็นน้ำไหลจะมีรูปร่างเพรียว หรือแบนราบไปกับพื้นที่ผิวที่เกาะ และหอยกาบหลั่งเมือกเหนียวเพื่อยึดติดกับก้อนหิน

2) **ตอบ 3.** grazing food chain คือ โซ่อาหารที่เกิดการถ่ายทอดพลังงานด้วยการกินเป็นทอดๆ

3) **ตอบ 3.** เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพลังงานจากการกินอาหาร โดยขายผ้าสีดาที่ขึ้นอยู่บนต้นไม้ใหญ่ เป็นความสัมพันธ์แบบภาวะอิงอาศัย
   ข้อ 1. นกเค้าแมวได้รับพลังงานจากเหยื่อ
   ข้อ 2. แมลงได้รับพลังงานจากน้ำหวานดอกไม้
   ข้อ 4. ทากได้รับพลังงานจากเลือดคน

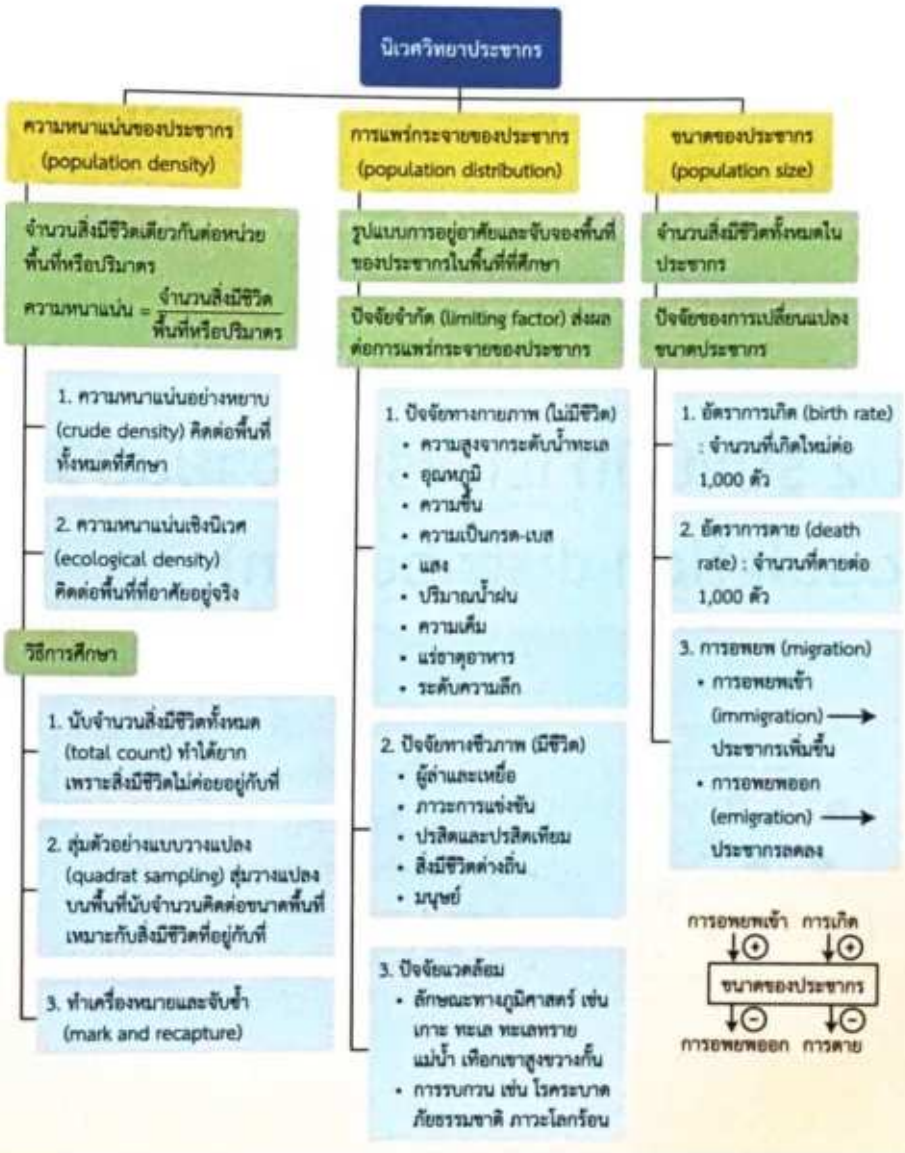
4) **ตอบ 1.**
   ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าทุ่งเป็นป่าไม้ผลัดใบ
   ข้อ 2. ผิด เพราะป่าดิบเขาและป่าสนเขา เป็นป่าไม้ไม่ผลัดใบ
   ข้อ 3. ผิด เพราะป่าสนเขาและป่าดิบแล้ง เป็นป่าไม้ไม่ผลัดใบ
   ข้อ 4. ผิด เพราะป่าทั้งสามแบบเป็นป่าไม้ไม่ผลัดใบ

บทที่ 21

ประชากร

21.1 นิเวศวิทยาประชากร (population ecology)

ประชากรของสิ่งมีชีวิต (population) คือ กลุ่มของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันที่อาศัยอยู่ร่วมกันในพื้นที่เดียวกันและเวลาเดียวกัน



วิธีทำเครื่องหมายและจับซ้ำ (mark and recapture method) เป็นวิธีการทำเครื่องหมายสัตว์ที่จับแล้วปล่อยไป เมื่อจับใหม่จะได้ทั้งตัวที่มีและไม่มีเครื่องหมาย เหมาะสำหรับสัตว์ที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

ข้อควรคำนึงของประชากรที่ศึกษา

1. ไม่มีการอพยพเข้า อพยพออก การเกิด การตาย
2. สิ่งมีชีวิตมีการกระจายอยู่ทั่วพื้นที่บริเวณที่ศึกษา
3. การทำเครื่องหมายไม่มีผลต่อการอยู่รอดของสัตว์
4. สัตว์ทุกตัวมีโอกาสถูกจับได้เท่ากันหมด
5. เครื่องหมายไม่หลุดหายระหว่างการจับทั้งสองครั้ง

$$\text{ประชากร} = \frac{(\text{จำนวนสัตว์ทั้งหมดที่จับครั้งแรก}) \times (\text{จำนวนสัตว์ที่จับทั้งหมดได้ครั้งหลัง})}{(\text{จำนวนสัตว์ที่มีเครื่องหมายที่จับได้จากครั้งหลัง})}$$

ตัวอย่าง นักปักษีวิทยาศึกษาจำนวนประชากรนกบนเกาะข้างโดยจับนกมาติดเครื่องหมาย 50 ตัวแล้วปล่อยไป หนึ่งเดือนต่อมา จับนกอีกครั้งได้จำนวน 100 ตัว พบว่าในจำนวนนี้มีนกที่ติดเครื่องหมายอยู่แล้ว 2 ตัว ดังนั้น ประชากรนกบนเกาะนี้มีจำนวนประมาณเท่าใด

วิธีคิด

$$\text{ประชากร} = \frac{(\text{จำนวนสัตว์ทั้งหมดที่จับครั้งแรก}) \times (\text{จำนวนสัตว์ที่จับทั้งหมดได้ครั้งหลัง})}{(\text{จำนวนสัตว์ที่มีเครื่องหมายที่จับได้จากครั้งหลัง})}$$

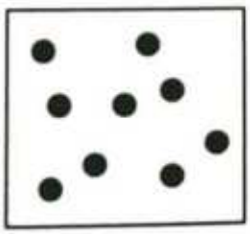
จำนวนสัตว์ที่จับครั้งแรกแล้วทำเครื่องหมาย = 50 ตัว

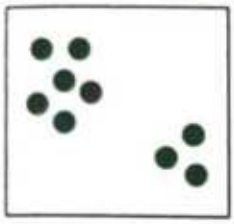
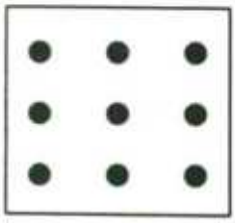
จำนวนสัตว์ที่จับได้ครั้งหลัง = 100 ตัว

จำนวนสัตว์ที่จับมาครั้งหลังแล้วมีเครื่องหมาย = 2 ตัว

แทนค่า ประชากรทั้งหมด = (50 × 100)/2 = 2,500 ตัว

21.2 รูปแบบการแพร่กระจายของประชากร (population distribution)

รูปแบบ	ลักษณะสำคัญ	ตัวอย่าง
แบบสุ่ม (random) 	▸ พบในประชากรที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมือนกันทั่วทั้งพื้นที่หรือสภาพแวดล้อมไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ▸ พื้นที่ที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์มากพอจนไม่มีการแก่งแย่งกัน ▸ เกิดขึ้นได้ยากในธรรมชาติ	▸ การแพร่กระจายของเมล็ดพืชที่ปลิวไปตามลม ▸ การแพร่กระจายของเมล็ดพืชที่อยู่ในกองมูลที่สัตว์ถ่ายทิ้งไว้

แบบรวมกลุ่ม (clumped) 	▸ พบมากที่สุดในธรรมชาติ ▸ สิ่งมีชีวิตรวมกลุ่มกัน เพราะที่อยู่อาศัยมีลักษณะแตกต่างกัน มีเพียงบางที่ที่เหมาะสมในการดำรงชีวิต ▸ ทรัพยากรกระจายไม่สม่ำเสมอทั่วบริเวณ กระจุกอยู่บริเวณเดียว ▸ อยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มครอบครัวหรือฝูง เพื่อเลี้ยงดูตัวอ่อน ลดอันตรายจากผู้ล่า หรือหาคู่สืบพันธุ์	▸ ฝูงสัตว์ต่างๆ
แบบสม่ำเสมอ (uniform) 	▸ พบในบริเวณที่มีปัจจัยจำกัดทางกายภาพอย่างรุนแรง เช่น ความชื้น อุณหภูมิ อาหารขาดแคลน ▸ มีระยะห่างระหว่างสมาชิกเท่าๆ กัน เพื่อเว้นระยะห่างและลดการแก่งแย่งแข่งขันทรัพยากร	▸ พืชบางชนิดมีการปล่อยสารเคมีเพื่อยับยั้งการเติบโตของต้นข้างเคียง ▸ นกบนเกาะสร้างรังและครองอาณาเขตโดยเว้นระยะห่างเท่าๆ กัน

21.3 รูปแบบการเพิ่มของประชากร (population growth)

การสืบพันธุ์ครั้งเดียวในช่วงชีวิต (single reproduction)	การสืบพันธุ์หลายครั้งในช่วงชีวิต (multiple reproduction)
เมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์ ออกลูกออกหลานและก็ตาย	เมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์ ออกลูกหลานได้หลายครั้ง
แมลงต่างๆ เช่น ชีปะขาว ผีเสื้อ ไม้ล้มลุก เช่น คะน้า ข้าว	สัตว์มีกระดูกสันหลัง ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้น
ประชากรสามารถเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระยะแรกๆ	ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่คงที่
ผลิตลูกเมื่ออายุยังน้อย มีจำนวนลูกมากต่อครั้ง	ผลิตลูกหลานได้น้อยต่อหนึ่งครั้ง มีวัฏจักรชีวิตยาวนาน
ปรับตัวได้ดี เป็นสปีชีส์เบิกนำในถิ่นที่อยู่ใหม่ๆ	มักมีการดูแลตัวอ่อน และมีอัตราการตายต่ำ

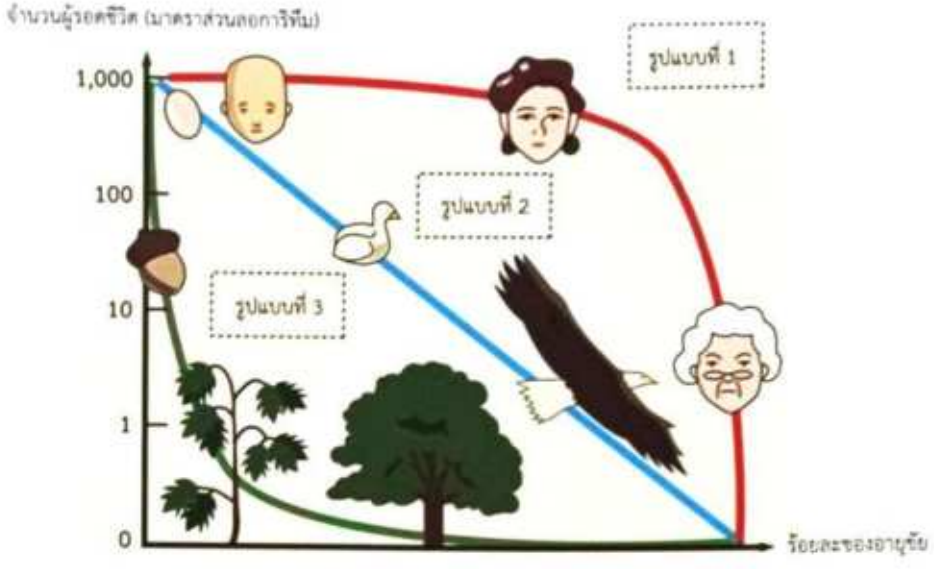
กราฟการเพิ่มของประชากร มี 2 รูปแบบ

รูปแบบ	ลักษณะสำคัญ
แบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential growth) 	▸ กราฟรูปตัวเจ (J-shape) ▸ หากประชากรเพิ่มได้ไม่สิ้นสุด **มักเป็นภาวะทางอุดมคติ (idealized circumstances)** และมักเกิดขึ้นจริงได้ยาก นั่นคือไม่มีปัจจัยใดๆ มาขัดขวางการเจริญเติบโต ▸ ตามความเป็นจริง ธรรมชาติมี**ตัวต้านทานในสิ่งแวดล้อม (environmental resistance)** เช่น อาหาร ภูมิอากาศ การแข่งขัน ที่อยู่ ทำให้ประชากรเพิ่มขึ้นมีขีดจำกัด ▸ ส่วนใหญ่พบในสิ่งมีชีวิตที่มีการสืบพันธุ์เพียงครั้งเดียวในช่วงชีวิต เช่น แมลงบางชนิด เมื่อตัวเมียวางไข่ก็จะตาย
แบบลอจิสติก (logistic growth) 	▸ กราฟรูปตัวเอส (S-shape) หรือกราฟโค้งซิกมอยด์ (sigmoid curve) ▸ ขนาดประชากรขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม มีตัวต้านทานในสิ่งแวดล้อมมาเกี่ยวข้อง ▸ ปัจจัยจำกัดมีผลมากในระยะที่เพิ่มขึ้นช้าลงและประชากรคงที่ ▸ ระดับของสิ่งแวดล้อมที่สามารถเลี้ยงดูประชากรได้มากที่สุด เรียกว่า **ขีดจำกัดการรองรับประชากร (carrying capacity)** ▸ ส่วนใหญ่พบในสิ่งมีชีวิตที่มีการสืบพันธุ์หลายครั้งในช่วงชีวิต

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดประชากรมี 2 ประเภท

- ปัจจัยที่ขึ้นกับความหนาแน่นประชากร (density dependent factors)
  - เมื่อประชากรใหญ่ขึ้น ผลกระทบยิ่งมากขึ้น
  - การแก่งแย่งอาหาร พื้นที่ คู่สืบพันธุ์ แสงแดด ปัญหาโรคระบาด
- ปัจจัยที่ไม่ขึ้นกับความหนาแน่นประชากร (density independent factors)
  - ประชากรจะเล็กจะใหญ่เกิดผลกระทบเท่ากันหมด
  - ภัยธรรมชาติ ไฟไหม้ น้ำท่วม สภาพภูมิอากาศเลวร้าย

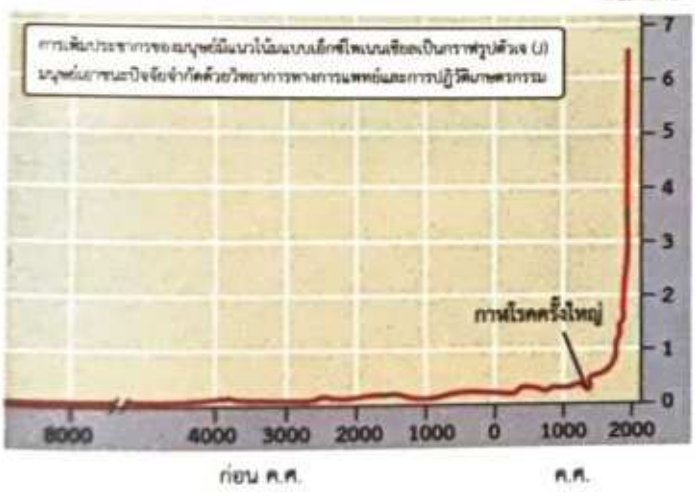
21.4 กราฟการรอดชีวิตของประชากร (survivorship curve)



▲ (Cr. digication.com)

รูปแบบที่ 1 (Type I)	รูปแบบที่ 2 (Type II)	รูปแบบที่ 3 (Type III)
▸ วัยแรกเกิดอัตรารอดชีวิตสูง	▸ อัตราการรอดชีวิตเท่ากันทุกวัย	▸ วัยแรกเกิดอัตรารอดชีวิตต่ำ
▸ โตขึ้นอัตรารอดคงที่		▸ โตขึ้นอัตรารอดชีวิตสูงขึ้น
▸ สูงวัยอัตรารอดต่ำ		
▸ ออกลูกจำนวนน้อย มีการดูแลของพ่อแม่	▸ ออกลูกจำนวนปานกลาง	▸ ออกลูกครั้งละมากๆ
▸ พบในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ มนุษย์	▸ นก เต่า ไฮดรา สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็ก	▸ ปลา หอย สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง พืช

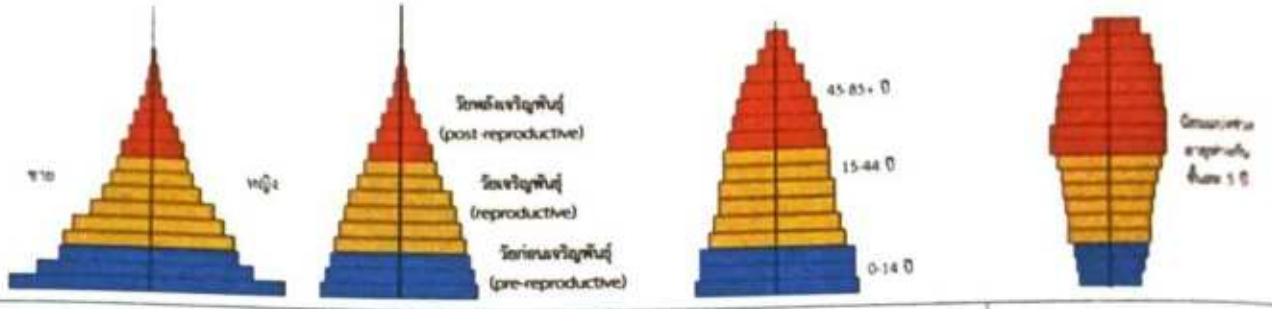
21.5 ประชากรมนุษย์



$$\text{อัตราการเกิดเชิงประเมิน} = \frac{\text{จำนวนสิ่งมีชีวิตที่เกิด}}{\text{จำนวนสิ่งมีชีวิตทั้งหมด}} \times 1{,}000 \text{ (หรือ } 100\text{)}$$

$$\text{อัตราการตายเชิงประเมิน} = \frac{\text{จำนวนสิ่งมีชีวิตที่ตาย}}{\text{จำนวนสิ่งมีชีวิตทั้งหมด}} \times 1{,}000 \text{ (หรือ } 100\text{)}$$

โครงสร้างอายุประชากรมนุษย์ (age structure) จากพีระมิดอายุประชากร (age pyramid)



พีระมิดฐานกว้างยอดแหลม	พีระมิดรูปกรวยปากแคบ	พีระมิดรูประฆังคว่ำ	พีระมิดรูปดอกบัวตูม
อัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นรวดเร็ว	อัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นช้า	อัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นเป็นศูนย์	อัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นติดลบ
วัยก่อนเจริญพันธุ์มาก	วัยก่อนเจริญพันธุ์ยังมาก	วัยเด็กเท่ากับวัยเจริญพันธุ์	วัยก่อนเจริญพันธุ์น้อย
กัวเตมาลา ซาอุดิอาระเบีย ทวีปแอฟริกา	สหรัฐอเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย ไทย	สเปน เดนมาร์ก ออสเตรีย อิตาลี กรีซ	เยอรมัน ฮังการี สวีเดน บัลกาเรีย สิงคโปร์

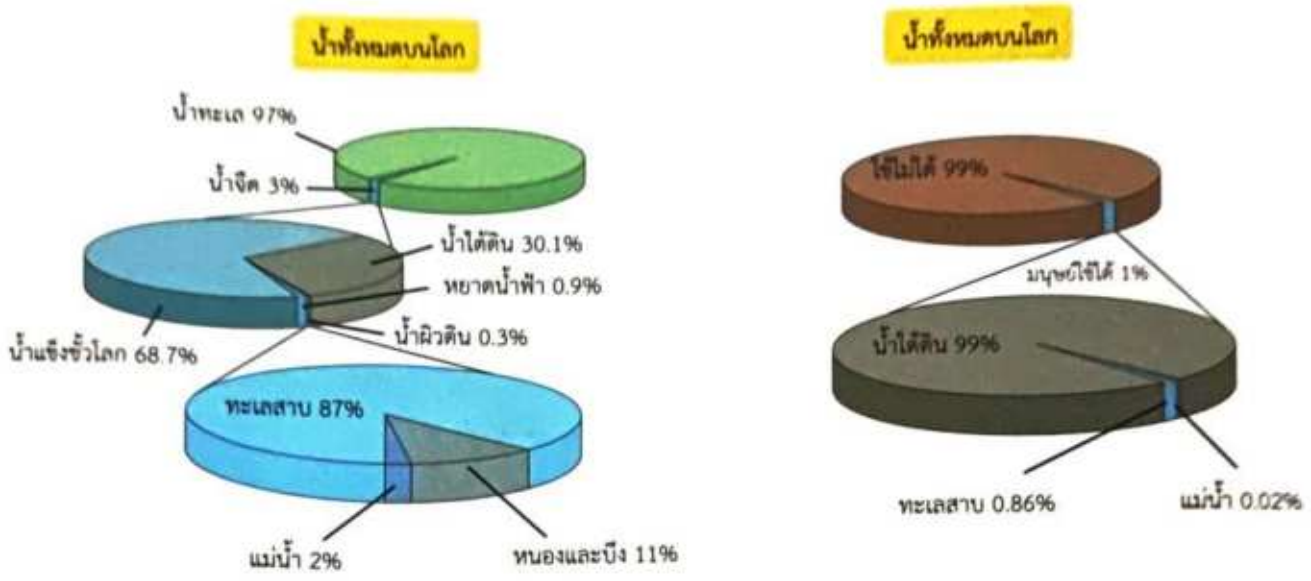
▲ (Cr. cuny.edu)

บทที่ 22

มนุษย์กับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม

22.1 ทรัพยากรธรรมชาติ (natural resources)

22.2 ทรัพยากรน้ำ (water resources)



▲ (Cr. pacificwater.org)

ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) เกิดจากฟอสเฟตจากสารซักฟอก ⟶ ไหลลงสู่แหล่งน้ำ ⟶ เป็นธาตุอาหาร ⟶ พืชน้ำและสาหร่ายเจริญเติบโตมาก ⟶ ปกคลุมผิวน้ำไปหมด ⟶ แสงอาทิตย์ถูกบดบังไม่ให้ส่องถึงใต้น้ำ ⟶ สาหร่ายในน้ำตาย ⟶ ออกซิเจนในน้ำลดลง ⟶ สิ่งมีชีวิตในน้ำตาย ⟶ เกิดการย่อยสลายไม่ใช้ออกซิเจน ⟶ น้ำเน่าเสีย

แหล่งที่มาน้ำเสีย

การตรวจสอบมลพิษทางน้ำ

- ดัชนีคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
  - อุณหภูมิ (ตามธรรมชาติ)
  - ความเป็นกรด-เบส (pH 5-9)
  - ปริมาณสารโลหะหนัก
  - สารฆ่าแมลง

ค่าดัชนีคุณภาพน้ำที่นิยมใช้ตรวจสอบ

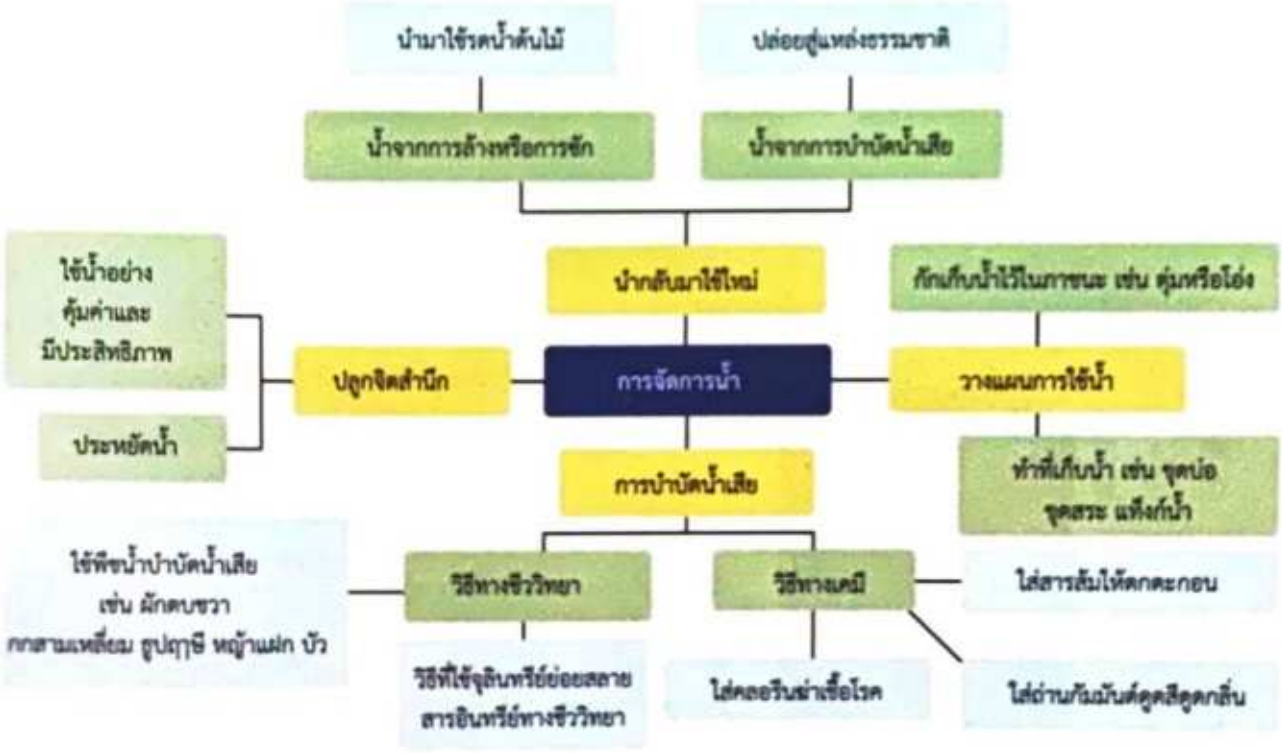
ดีโอ (DO; Dissolved Oxygen)	บีโอดี (BOD; Biochemical Oxygen Demand)	ซีโอดี (COD; Chemical Oxygen Demand)
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ตามมาตรฐาน 5-8 ppm	ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ค่ามาตรฐาน < 6 mg/L	ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำ
อุณหภูมิสูงและแร่ธาตุละลายในน้ำมาก ออกซิเจนละลายได้น้อยลง	ตามมาตรฐาน วัดค่าบีโอดีภายใน 5 วัน ที่ 20 °C เรียก BOD_5	ซีโอดี สูงกว่าค่า บีโอดี เสมอ ใช้เวลาวิเคราะห์เพียง 3 ชั่วโมง
ใช้วิธีการไทเทรต หรืออุปกรณ์วัดที่เรียกว่า ดีโอมิเตอร์ (DO meter)	นำน้ำตัวอย่างมาวัด DO เริ่มต้น จากนั้น ทิ้งไว้ 5 วันที่ 20 °C วัด DO อีกครั้ง BOD_5 = DO วันที่ 5 – DO วันแรก	ใช้สารเคมีในการออกซิไดซ์สูง เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดอย่างรุนแรง

น้ำเสีย

- มีโลหะหนักหรือสารฆ่าแมลงเกินกำหนด
- แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม > 20,000 MPN/100 ml หรือฟีคอลโคลิฟอร์ม > 4,000 MPN/100 ml)
- ค่า DO < 3 mg/L
- ค่า BOD > 12 mg/L } เกณฑ์น้ำเสีย
- ค่า COD > 44 mg/L

เทคนิคการจำ **ค่าดีโอ (DO) ยิ่งมากยิ่งดี **ค่าบีโอดี (BOD) ยิ่งมากยิ่งแย่ (bad)

การจัดการทรัพยากรน้ำ



22.3 ทรัพยากรดิน (soil resources)

เนื้อดิน (soil texture) ประกอบขึ้นจากอนุภาคดิน (soil particle) ขนาดต่างๆ กัน

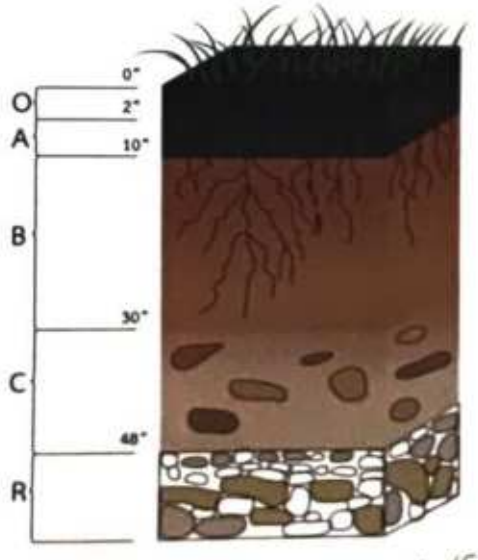
ขนาดของอนุภาคดินชนิดต่างๆ

การตกตะกอนเพื่อศึกษาอนุภาคดิน

▲ (Cr. mea.com.au)

ประเภทของดิน	ปริมาณของแต่ละอนุภาค	ลักษณะ	การระบายน้ำ	แร่ธาตุอาหาร
ดินทราย (sandy soil)	ดินทรายเป็นหลัก	เนื้อหยาบ เป็นเม็ดๆ	ดี ไม่อุ้มน้ำ	ต่ำ
ดินร่วน (loamy soil)	ดินทราย 40% ดินทรายแป้ง 40% ดินเหนียว 20%	มีสีดำ เนื้อไม่หยาบหรือละเอียดจนเกินไป	ดีปานกลาง อุ้มน้ำบางส่วน	เหมาะสมต่อการปลูกพืช
ดินทรายแป้ง (silty soil)	ดินทรายแป้งเป็นหลัก	เนื้อละเอียด	ไม่ดี อุ้มน้ำ	ต่ำ
ดินเหนียว (clay soil)	ดินเหนียวเป็นหลัก	เนื้อละเอียดและแน่น	ไม่ดี อุ้มน้ำมาก	สูง

การแบ่งชั้นดิน (soil profile หรือ soil horizon)



ชั้น O ผิวดิน (humus or organic) มีอินทรียวัตถุมาก สีเข้ม เศษใบไม้ผุพัง

ชั้น A ดินชั้นบน (topsoil) มีฮิวมัส แร่ธาตุบางชนิด เป็นชั้นดินที่ถูกชะล้าง

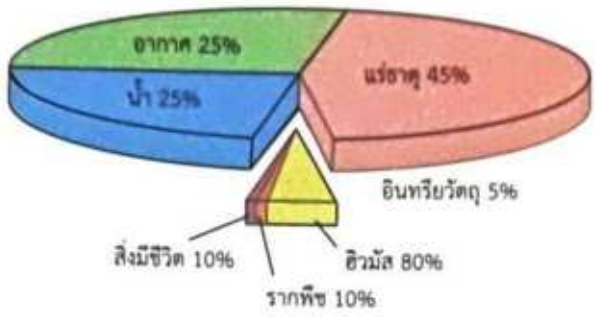
ชั้น B ดินชั้นล่าง (subsoil) มีแร่ธาตุเป็นหลัก ดินเนื้อละเอียด มีรากพืช

ชั้น C วัตถุต้นกำเนิดดิน (weathered rock) เป็นชั้นที่หินสลายตัวผุพังเป็นอนุภาคที่ประกอบขึ้นมาเป็นชั้นบนอัดๆ ไป

ชั้น R หินพื้น (bedrock) ประกอบด้วยหินประเภทต่างๆ ที่เป็นโครงสร้างของเปลือกโลก

▲ (Cr. upload.wikimedia.org)

องค์ประกอบของดิน



▲ (Cr. physicalgeography.net)

มลพิษและการเสื่อมโทรมของดิน

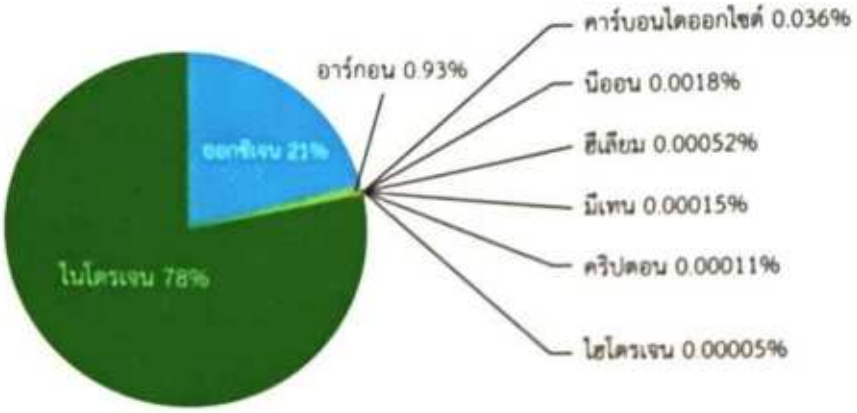
การจัดการและการแก้ปัญหามลพิษและการเสื่อมโทรมของดิน

1. การอนุรักษ์ดิน เช่น การใช้ดินอย่างถูกต้องและคุ้มค่า
2. การป้องกันการพังทลายของหน้าดิน
   - ปลูกพืชแบบขั้นบันไดตามไหล่เขาเพื่อลดความเร็วและปริมาณของน้ำไหลบ่า
   - ปลูกพืชคลุมดิน เช่น หญ้าแฝก เพื่อลดการชะล้างหน้าดิน
3. การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน
   - เติมปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด
   - ปลูกพืชหมุนเวียน เพื่อลดการใช้ธาตุอาหารชนิดเดียวและลดการระบาดของศัตรูพืช
   - ปลูกพืชตระกูลถั่ว เพราะรากต้นถั่วมีแบคทีเรียไรโซเบียม (*Rhizobium*) ตรึงแก๊สไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารในดินในรูปไนเตรท

4. การปรับปรุงสมบัติของดิน
   - ทางกายภาพ เช่น ใส่อินทรียวัตถุ และไถพรวน เพื่อให้ดินร่วนซุย
   - ทางเคมี เช่น ใส่เหล็กซัลเฟต อะลูมิเนียมซัลเฟต เพื่อลดความเป็นเบสและใส่ปูนขาว หินปูนบด เปลือกหอยบด เพื่อลดความเป็นกรด
5. การปรับปรุงดินที่มีปัญหา เช่น ดินเค็มต้องปลูกพืชทนเค็มหรือใช้น้ำชะล้างเกลือออก
6. การใช้ที่ดินให้เหมาะสม เช่น การจัดแบ่งพื้นที่ (zoning) สำหรับเกษตรกรรม ที่อยู่อาศัย เขตอุตสาหกรรม

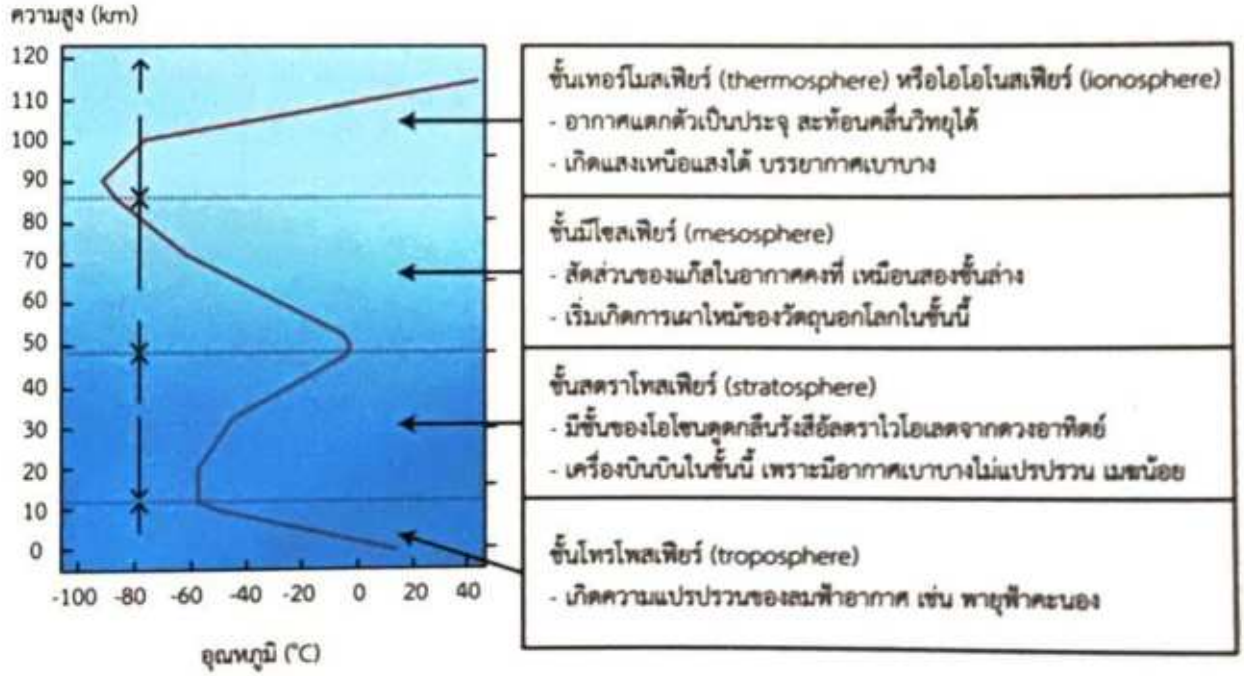
22.4 ทรัพยากรอากาศ (air resources)

องค์ประกอบของอากาศ



▲ (Cr. en.wikipedia.org)

ชั้นบรรยากาศ

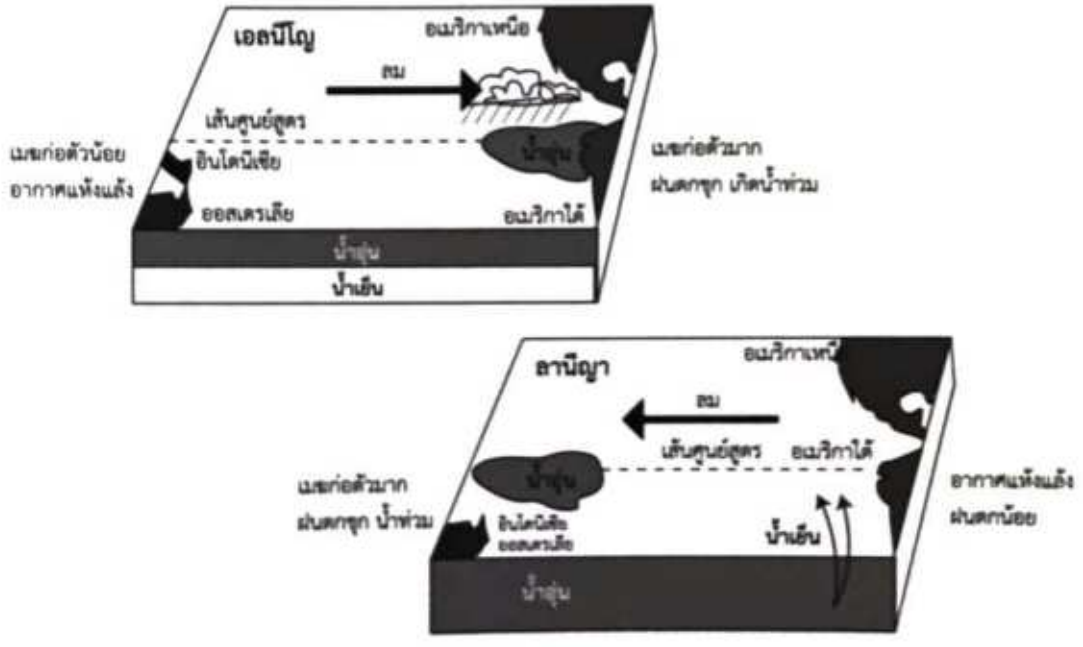


มลพิษทางอากาศ

ปรากฏการณ์สม็อก (smog) หรือหมอกควัน (มาจากคำว่า smoke "ควัน" + fog "หมอก") มีอยู่ 2 รูปแบบ

1. หมอกควันแบบซัลฟิวรัส (sulfurous smog, classical smog, "london smog") หรือหมอกเทา (gray-air smog) พบมากในเมืองอุตสาหกรรมที่มีอากาศหนาวและมีความชื้นสูง สาเหตุสำคัญเกิดจากแก๊ส SO_2
2. หมอกควันแบบโฟโตเคมิเคิล (photochemical smog) หรือหมอกน้ำตาล (brown-air smog) เกิดจากแก๊ส CO, NO และไฮโดรคาร์บอนจากเครื่องยนต์ทำปฏิกิริยาเคมีกับแสงอาทิตย์ เกิดในพื้นที่ที่มีอากาศอบอุ่นถึงแห้ง

เอลนีโญ-ลานีญา

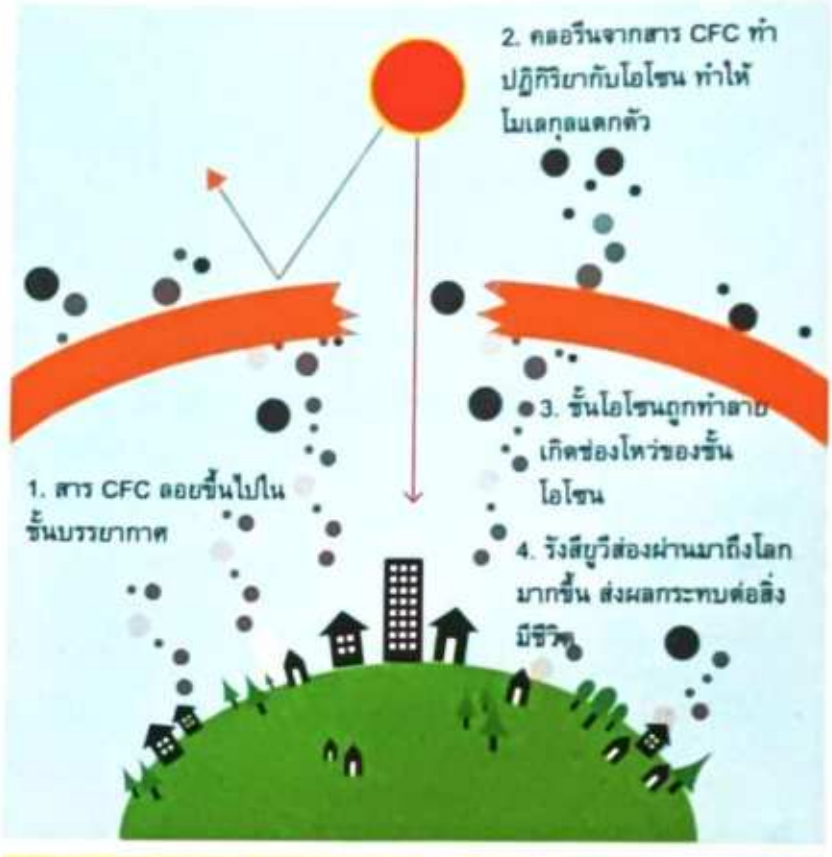


▲ (Cr. shrimpnews.com)

ปรากฏการณ์เรือนกระจก

- แก๊สเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน โอโซน ไนตรัสออกไซด์ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ สารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน (CFCs และ HFCs)
- มนุษย์เป็นตัวการสำคัญในการเพิ่มปริมาณแก๊สเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ
- พิธีสารเกียวโตเป็นข้อตกลงในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในแต่ละประเทศ

การลดลงของชั้นโอโซน

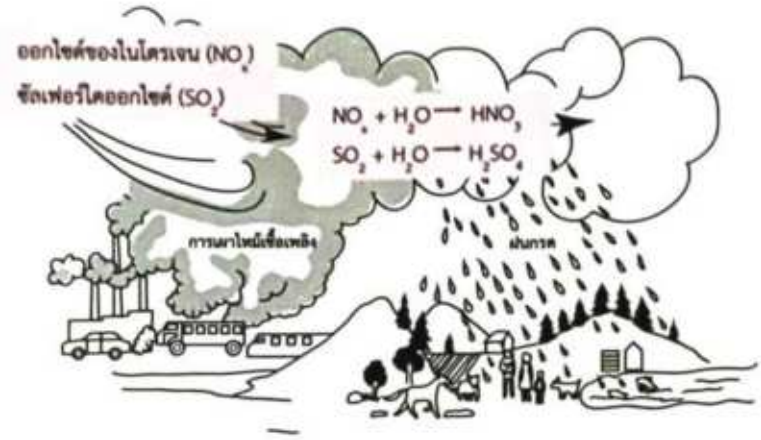


สารซีเอฟซี (CFCs) หรือสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (chlorofluorocarbon) เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับโอโซนในบรรยากาศใช้ในตู้เย็น ทำโฟมและพลาสติก และใช้ในกระป๋องสเปรย์

ชั้นโอโซน (ozone layer) อยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ (stratosphere) มีบทบาทในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตส่วนหนึ่ง ไม่ให้ส่องลงมาบนผิวโลก

▲ (Cr esu edu)

ฝนกรด เกิดจากแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO) จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล และทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไนตริก (HNO_3)



▲ (Cr. apsnet.org)

Quiz Yourself

1) โรคมินามาตะเกิดจากสาเหตุใด
   1. กินสารประกอบของแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารแล้วไปสะสมอยู่ในร่างกาย
   2. กินสารประกอบของปรอทที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารแล้วไปสะสมอยู่ในร่างกาย
   3. สูดดมไอก๊าซถ่านที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศเข้าไป
   4. สูดดมไอตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศเข้าไป

สรุปความผิดปกติของภูมิอากาศ

ความผิดปกติของภูมิอากาศ	ผลกระทบ
เอลนีโญ	▸ ชายฝั่งอเมริกาใต้เกิดพายุอย่างรุนแรง การผลิตอาหารในทะเลลดลง ทำให้ปลาตายหรืออพยพไปที่อื่น การประมงเสียหาย ▸ ชายฝั่งตะวันตกของแปซิฟิก เช่น ออสเตรเลีย อินโดนีเซีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เกิดความแห้งแล้งมากกว่าปกติ
ลานีญา	▸ ตรงกันข้ามกับเอลนีโญ อเมริกาใต้แห้งแล้ง ฝั่งตะวันตกของแปซิฟิกเกิดพายุหนัก
ปรากฏการณ์เรือนกระจก	▸ ภาวะโลกร้อน ภูมิอากาศแปรปรวน เช่น พายุ น้ำท่วม ความแห้งแล้งรุนแรงขึ้น ▸ ส่งผลต่อน้ำแข็งขั้วโลกละลายมากขึ้น ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ▸ เกิดโรคระบาดได้ง่าย ศัตรูพืชกระจายกว้างและเพิ่มจำนวนขึ้น ▸ ผลผลิตปฐมภูมิจากการเจริญเติบโตของพืชลดลง
การลดลงของชั้นโอโซน	▸ รังสียูวีเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต มนุษย์เป็นตาต้อ มะเร็งผิวหนังมากขึ้น ▸ พืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อยลง แพลงก์ตอนพืชลดลง ส่งผลต่อโซ่อาหาร ▸ ภาวะโลกร้อน ทำให้น้ำแข็งขั้วโลกละลายมากขึ้น ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น
ฝนกรด	▸ น้ำในแหล่งน้ำเป็นกรด สิ่งมีชีวิตไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ ▸ ทำลายเนื้อเยื่อพืช พืชระงับการเจริญเติบโต ทำให้พื้นที่ป่าเสียหาย ▸ วัสดุและสิ่งปลูกสร้างถูกกัดกร่อนผุพังเสื่อมโทรม

การจัดการและการแก้ปัญหามลพิษทางอากาศ

1. การกำหนดนโยบายและแผนควบคุมมลพิษ
   - วางผังเมือง กำหนดและควบคุมมาตรฐานอากาศ
2. ให้การศึกษาและเผยแพร่ประชาสัมพันธ์
   - ร่วมมือกันป้องกัน แก้ไข ลดปริมาณมลพิษ
3. ปรับปรุงสภาพจราจร
   - สนับสนุนการใช้พลังงานทางเลือก เช่น แก๊สธรรมชาติ แก๊สโซฮอล์
   - ควบคุมการเพิ่มรถยนต์ส่วนบุคคล
   - พัฒนาระบบขนส่งมวลชน
4. ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง
   - ใช้น้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว
   - ลดกำมะถันในน้ำมันเตา
5. ใช้พลังงานทางเลือกที่ไม่สร้างมลพิษ
   - พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานไฟฟ้า พลังงานน้ำ

แก๊สโซฮอล์ (gasohol) หรือที่นิยมเรียกว่า E10 คือ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่เกิดจากการผสมระหว่าง **น้ำมันเบนซิน 90% กับแอลกอฮอล์ 10%** ส่วน E20 คือ มีสัดส่วนแอลกอฮอล์ 20% ข้อดี คือ การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้นและลดมลพิษในอากาศ และมีราคาต่ำกว่าน้ำมันเบนซินโดยทั่วไป

Quiz Yourself

2) ข้อใดไม่จัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติ

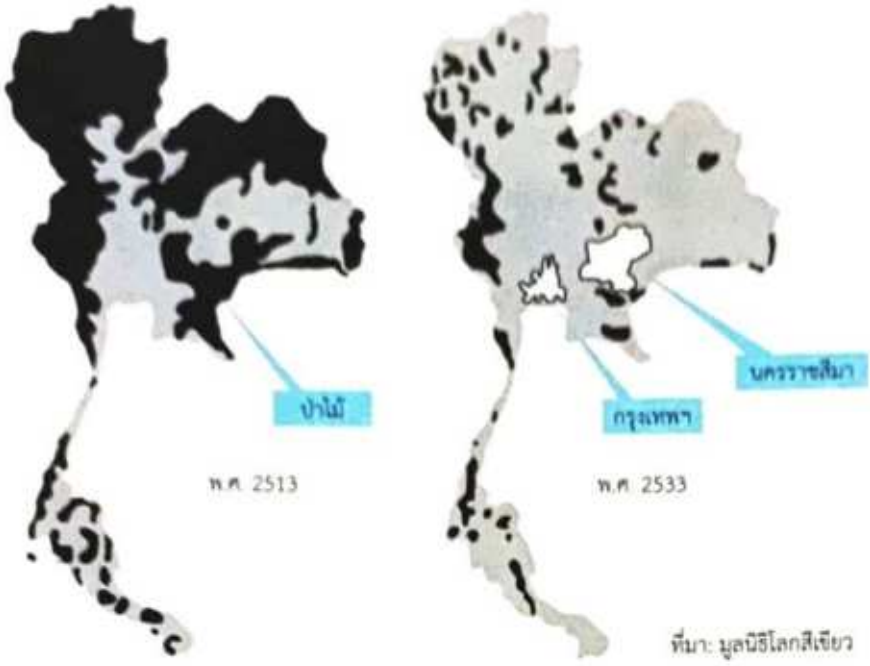
1. ออกซิเจน 2. ฝน 3. หินปูน 4. อุณหภูมิ

22.5 ทรัพยากรป่าไม้ (forest resources)

ป่าไม้

- ควบคุมปริมาณน้ำฝน
- แหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า
- แหล่งปัจจัยสี่ของมนุษย์
- แหล่งต้นน้ำลำธาร
- แหล่งรวมความหลากหลายทางชีวภาพ
- ช่วยในการอนุรักษ์ดินและน้ำ
- ช่วยรักษาอุณหภูมิของโลก

การลดลงของป่าไม้ในเมืองไทย



▲ (Cr. greenworld.or.th)

สาเหตุ	ผลกระทบ
▸ ไฟไหม้ป่าตามธรรมชาติและการเผาป่าโดยมนุษย์ ▸ การเพิ่มพื้นที่เกษตรกรรม ▸ การสร้างโรงแรม รีสอร์ต สนามกอล์ฟ ▸ การทำไร่เลื่อนลอย ▸ การลักลอบตัดไม้ทำลายป่า ▸ การบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อครอบครองที่ดิน ▸ การทำเหมืองแร่	▸ สัตว์ป่าและพืชพรรณลดจำนวนลง ▸ CO_2 เพิ่มขึ้น ▸ สภาพแห้งแล้งยาวนาน ▸ น้ำป่าไหลหลาก อุทกภัย ▸ ขาดแหล่งท่องเที่ยว ▸ การหมุนเวียนแร่ธาตุในธรรมชาติถูกรบกวน ▸ ทำลายแหล่งปัจจัยสี่ของมนุษย์ ▸ ปรากฏการณ์เรือนกระจก

การจัดการทรัพยากรป่าไม้

1. การปฏิบัติตามนโยบายแห่งชาติ
   - พื้นที่ป่าทั้งประเทศอย่างน้อย 40%
2. การให้ความรู้แก่ประชาชน
   - คุณค่าและประโยชน์ของป่า เกิดจิตสำนึกอนุรักษ์และหวงแหน
3. การส่งเสริมการปลูกป่า
   - ปลูกป่าทดแทนในบริเวณที่ถูกตัด
   - ปลูกต้นไม้บริเวณอื่นที่ไม่เคยเป็นป่า
4. การป้องกันการบุกรุกป่า
   - การปฏิรูปที่ดิน จัดสรรที่ดินสำหรับเกษตรกรรม
   - ยกเลิกสัมปทานป่าไม้ ยกเลิกการตัดถนนผ่านป่า
5. การใช้ไม้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ
   - ขี้เลื่อยนำมาทำเป็นไม้อัด ไม้ท่อนเล็กนำมาทำเครื่องตกแต่งบ้าน

6. การกำหนดพื้นที่อนุรักษ์

ประเภท	ความหมาย	ตัวอย่าง
อุทยานแห่งชาติ (national park)	พื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 10 km^2	อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เป็นอุทยานแห่งชาติแห่งแรก
วนอุทยาน (forest park)	พื้นที่ขนาดเล็กอยู่ไม่ไกลจากชุมชน อยู่ในเขตป่าสงวน	วนอุทยานน้ำตกกะเปาะ ชุมพร เป็นวนอุทยานแห่งแรก
สวนพฤกษศาสตร์ (botanical garden)	สถานที่รวบรวมพรรณไม้เพื่อการวิจัยและศึกษา มีการจัดหมวดหมู่	สวนพฤกษศาสตร์พุแค สระบุรี เป็นสวนพฤกษศาสตร์แห่งแรก
สวนรุกขชาติ (arboretum)	พื้นที่น้อยกว่าสวนพฤกษศาสตร์ ไม่มีการจัดระบบหมวดหมู่	สวนรุกขชาติแม่ฟ้าหลวง เชียงราย
เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า (wildlife sanctuary)	พื้นที่คุ้มครองสัตว์ป่า	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าอุ้มผาง ตาก
พื้นที่สงวนชีวาลัย (biosphere reserve)	พื้นที่เพื่อวิจัยทางวิทยาศาสตร์	ป่าสะแกราช นครราชสีมา
พื้นที่มรดกโลก (world heritage)	มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ และความหลากหลายทางชีวภาพ	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งใหญ่นเรศวร และห้วยขาแข้ง อุทัยธานี

22.6 ทรัพยากรสัตว์ป่า (wildlife resources)

สัตว์ป่า (wildlife) ตาม พ.ร.บ. สงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2535 "สัตว์ทุกชนิดทั้งสัตว์บก สัตว์น้ำ สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก สัตว์ปีก และแมลง หรือแมง รวมทั้งไข่ของสัตว์ทุกชนิดที่เกิดและดำรงชีวิตอยู่ในป่าหรือแหล่งน้ำ

สาเหตุการลดลง

- ภัยธรรมชาติ
- การล่าสัตว์เพื่อนำส่วนต่างๆ เป็นเครื่องประดับ
- การตัดไม้ทำลายป่าอันเป็นแหล่งที่อยู่
- การลักลอบค้าสัตว์ป่า
- การล่าสัตว์เพื่อเป็นอาหารและเกมกีฬา
- มลภาวะ เช่น สารเคมีในน้ำและดิน
- ความเชื่อเรื่องยาบำรุงจากส่วนต่างๆ ของสัตว์

การจัดการทรัพยากรสัตว์ป่า เช่น

- การกำหนดพื้นที่อนุรักษ์ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เขตห้ามล่าสัตว์ป่า อุทยานแห่งชาติ พื้นที่มรดกโลก
- การจัดตั้งศูนย์เพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์สัตว์ป่า เพิ่มจำนวนก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติ
- การจัดตั้งศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่า นำสัตว์มาเลี้ยงในพื้นที่ธรรมชาติขนาดใหญ่
- การจัดตั้งสถานีวิจัยสัตว์ป่า ศึกษาวิจัยพฤติกรรมและนิเวศวิทยาของสัตว์ป่า

สัตว์ป่าสงวน หมายถึง สัตว์ป่าหายาก 15 ชนิด ตาม พ.ร.บ. สงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2535

▲ (Cr. verdantplanet.org)

สัตว์ป่าคุ้มครอง หมายถึง สัตว์ป่าที่มีชื่ออยู่ในบัญชีแนบท้าย กฎกระทรวงกำหนดให้เป็นสัตว์ป่าบางชนิดเป็นสัตว์ป่าคุ้มครอง พ.ศ. 2546 ตาม พ.ร.บ. สงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2535

1. ห้ามล่า พยายามล่า ห้ามค้า ห้ามนำเข้าหรือส่งออก ห้ามครอบครองและห้ามเพาะพันธุ์เว้นแต่ได้รับอนุญาต
2. ในเขตห้ามล่าสัตว์ป่าไม่ว่าชนิดใด ห้ามล่าสัตว์ เก็บรัง ครอบครองที่ดิน แผ้วถาง หรือเปลี่ยนแปลงแหล่งน้ำ

22.7 หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ

การพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development) คือ การพัฒนาที่คำนึงและระมัดระวังถึงความเสียหายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ประชากรมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติให้ถึงรุ่นลูกหลาน

หลักการ

1. การฟื้นฟู (rehabilitation) เช่น สร้างแนวปะการังเทียม, ฟื้นฟูแหล่งน้ำ
2. การใช้แบบยั่งยืน 3R (sustainable utilization)
   - นำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) เช่น ซ่อมรองเท้าที่ขาดให้ใช้ได้
   - รีไซเคิล (recycle) แปรสภาพสิ่งเดิมให้เป็นสิ่งใหม่ เช่น หลอมขวดแก้วกลับมาใช้ใหม่
   - ลดการใช้ (reduce) เช่น ใช้ถุงผ้าแทนถุงพลาสติก

3. การเก็บกัก (storage)
   - ป่าไม้
   - เชื้อเพลิง
   - น้ำ
4. การป้องกัน (prevention) เช่น ให้ความรู้, ใช้กฎหมาย
5. การรักษาซ่อมแซม (repair) เช่น ปลูกป่า, เพาะพันธุ์สัตว์ป่า, บำบัดน้ำเสีย

22.8 ชนิดพันธุ์ต่างถิ่น

ชนิดพันธุ์ต่างถิ่น (alien species) – สิ่งมีชีวิตที่มีต้นกำเนิดจากพื้นที่อื่นแต่แพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างไปยังพื้นที่นอกเหนือการกระจายตามธรรมชาติ และมักมีผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตท้องถิ่น

1. ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่ไม่รุกราน (non-invasive alien species; NIAS)
   - ไม่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยตรง
   - ไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้
   - เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง พืชเมืองหนาว ปลาสวยงาม
   - ไม่แข่งขันกับชนิดท้องถิ่น
   - บางชนิดปรับตัวเข้ากันได้กับชนิดท้องถิ่น
2. ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกราน (invasive alien species; IAS)
   - แพร่พันธุ์ได้รวดเร็วและกระจายกว้าง
   - ปรับตัวและแข่งขันกับชนิดท้องถิ่น
   - ขัดขวางการเจริญเติบโตของชนิดท้องถิ่น
   - มีผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยตรง
   - รุกรานและแทนที่ชนิดท้องถิ่น
   - เช่นผักตบชวา ไมยราบยักษ์ ปลาซัคเกอร์ หอยเชอรี่

แนวทางการจัดการ

1. การระมัดระวังการนำเข้าชนิดพันธุ์ต่างถิ่นจากต่างประเทศ
2. แนวทางบันไดสามขั้น
   - การป้องกันการนำเข้า
   - การสืบพบชนิดพันธุ์ต่างถิ่น
   - การกำจัด
3. แนวทางเชิงระบบนิเวศ เช่น การควบคุมทางชีวภาพ โดยใช้ตัวห้ำตัวเบียนในท้องถิ่น
4. ความรับผิดชอบของคนในสังคม ทั้งภาครัฐ เอกชน องค์กรท้องถิ่น ชุมชน
5. การวิจัยและติดตามผลกระทบต่อระบบนิเวศ
6. การให้การศึกษาและสร้างความตระหนัก

เฉลย Quiz Yourself

1) **ตอบ 2.** กินสารประกอบของปรอทที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารแล้วไปสะสมอยู่ในร่างกาย เพราะโรคมินามาตะคือโรคที่เกิดจากพิษปรอท

   ข้อ 1. แคดเมียมเป็นสาเหตุของโรคอิไตอิไต

   ข้อ 3. ไอก๋ามะถันส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ

   ข้อ 4. ไอตะกั่วเป็นสาเหตุของโรคพิษตะกั่ว

2) **ตอบ 4.** อุณหภูมิ เพราะอุณหภูมิเป็นปัจจัยทางกายภาพไม่ได้เป็นสสารจับต้องได้ในธรรมชาติ

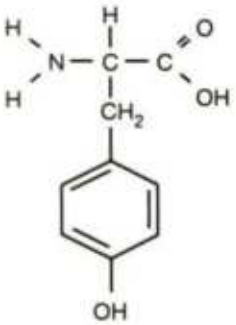
วัดฝีมือ ตะลุยโจทย์...

บทที่ 2 เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต

1) ข้อใดคือสูตรโครงสร้างของ polysaccharide สายหนึ่งที่ประกอบด้วยกลูโคส 10 โมเลกุลเรียงต่อกัน

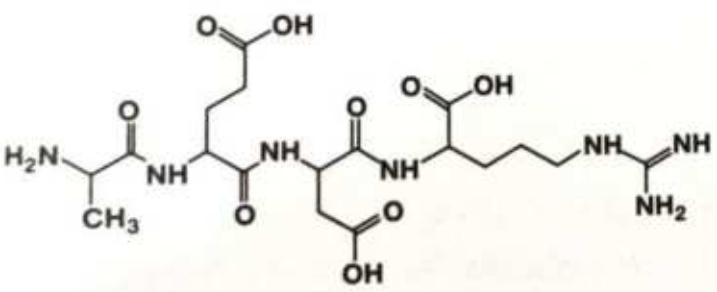
1. $C_{10}H_{20}O_{10}$
2. $C_{60}H_{120}O_{60}$
3. $C_{60}H_{102}O_{51}$
4. $C_{60}H_{100}O_{50}$

2) โครงสร้างดังภาพเป็นองค์ประกอบของสารประเภทใด



1. คาร์โบไฮเดรต
2. โปรตีน
3. คอลเลสเทอรอล
4. DNA

3) โครงสร้างของสายเพปไทด์ดังกล่าว แสดงพันธะเพปไทด์กี่พันธะ มีกรดอะมิโนกี่โมเลกุล และมีกรดอะมิโนกี่ชนิด

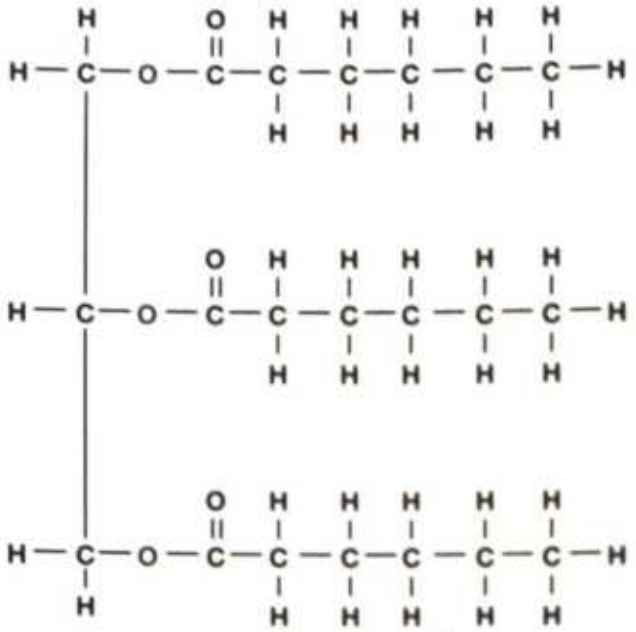


	พันธะเพปไทด์	จำนวนกรดอะมิโน	ชนิดของกรดอะมิโน
1.	2	3	3
2.	2	3	2
3.	3	4	3
4.	3	4	4

4) ข้อใดเป็นลักษณะร่วมกันของเซลลูโลสและอะไมโลเพกทิน (A-net)

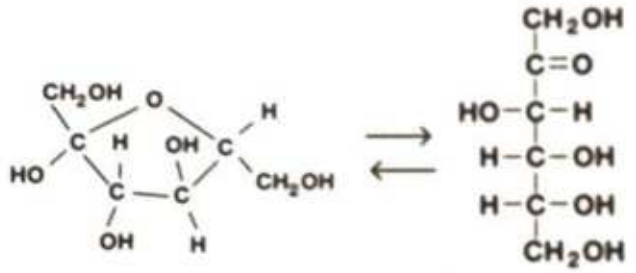
1. รูปร่างของพันธะไกลโคซิดิก
2. ชนิดของน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่เป็นองค์ประกอบ
3. มีการแตกแขนงของสายน้ำตาล
4. ย่อยได้ด้วยน้ำลาย

5) อาหารชนิดใดที่มีองค์ประกอบของโมเลกุลดังภาพสูงสุด (Ent')



1. ขนมปัง
2. ผักคะน้า
3. น้ำตาล
4. เนย

6) สารที่มีโครงสร้างดังรูปเป็นสารประเภทใด (7 วิชาสามัญ)



1. น้ำตาล pentose และ hexose
2. น้ำตาล pentose และน้ำตาลกลุ่ม aldose
3. น้ำตาล pentose และน้ำตาลกลุ่ม ketose
4. น้ำตาล hexose และน้ำตาลกลุ่ม ketose
5. น้ำตาลกลุ่ม aldose และน้ำตาลกลุ่ม ketose

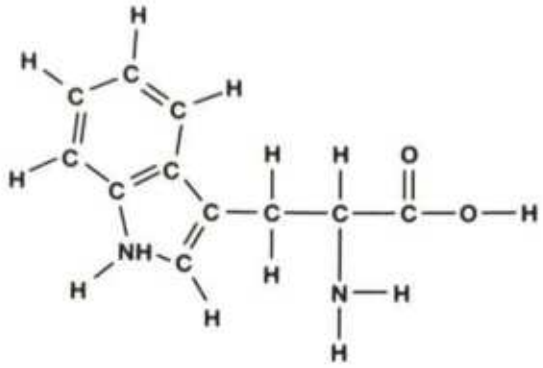
7) พันธะเอสเทอร์ (ester bond) ของไขมันเกิดจากการรวมตัวของหมู่ฟังก์ชันใด (7 วิชาสามัญ)

1. คาร์บอนิลและคาร์บอกซิล
2. คาร์บอนิลและไฮดรอกซิล
3. คาร์บอนิลและอะมิโน
4. คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิล
5. คาร์บอกซิลและอะมิโน

8) DNA และ RNA มีองค์ประกอบใดเหมือนกัน (7 วิชาสามัญ)

1. เบสพิวรีน
2. เบสพิริมิดีน
3. น้ำตาล
4. เบสพิวรีนและน้ำตาล
5. เบสพิริมิดีนและน้ำตาล

9) โครงสร้างโมเลกุลดังภาพเป็นองค์ประกอบของสารใด (7 วิชาสามัญ)



1. DNA
2. RNA
3. protein
4. cholesterol
5. carbohydrate

10) ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรต
(1) ฟรักโทสเป็นน้ำตาลแอลโดสที่พบในผลไม้ทั่วไป
(2) ไกลโคเจนประกอบด้วยกลูโคสจำนวนมากที่โมเลกุลเป็นโซ่กิ่ง
(3) ไคทินคือพอลิแซกคาไรด์ที่พบในเปลือกแมลงปอและเห็ดหลินจือ
(4) เซลลูโลสเป็นพอลิแซกคาไรด์ที่เป็นโซ่กิ่งเหมือนกับอะไมโลเพกทิน
(5) การรวมตัวกันของกลูโคส 2 โมเลกุล ทำให้ได้น้ำตาลมอลโทสโดยเกิดกระบวนการ dehydration
1. ข้อ (2) และ (5)
2. ข้อ (1) และ (4)
3. ข้อ (2) เท่านั้น
4. ข้อ (2), (3) และ (5)
5. ข้อ (1), (3) และ (4)

บทที่ 3 เซลล์ของสิ่งมีชีวิต

1) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดใดไม่สามารถใช้จอตารับภาพได้โดยตรง (A-net)
ก. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบธรรมดา
ข. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ
ค. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
ง. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
1. ก และ ข
2. ข และ ค
3. ค และ ง
4. ก และ ง

2) กล้องจุลทรรศน์ที่มีเลนส์ใกล้วัตถุ 40X และเลนส์ใกล้ตา 10X ส่องเม็ดเลือดแดง 4 เม็ดเรียงต่อกันวัดความยาวได้ 12 mm เซลล์เม็ดเลือดแดงแต่ละเซลล์มีขนาดกี่ไมโครเมตร (Ent)
1. 0.75
2. 7.5
3. 75
4. 750

3) ข้อใดต่อไปนี้กล่าวผิดเกี่ยวกับไมโทคอนเดรีย (มข.)
1. พบเฉพาะในเซลล์สัตว์เท่านั้น
2. มีของเหลวบรรจุภายในเรียกว่าแมทริกซ์
3. กระบวนการหายใจระดับเซลล์เกิดขึ้นที่นี่
4. มีจำนวนชั้นของเยื่อหุ้มเท่ากับนิวเคลียส

4) การหลั่งเพปซิโนเจนออกจากเซลล์ของผนังกระเพาะอาหารอาศัยกระบวนการใด (A-net)

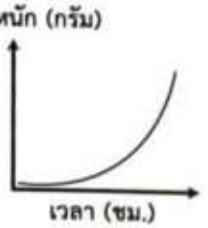
1. กระบวนการแพร่
2. กระบวนการเอกโซไซโทซิส
3. การลำเลียงแบบฟาซิลิเทต
4. การลำเลียงแบบใช้พลังงาน

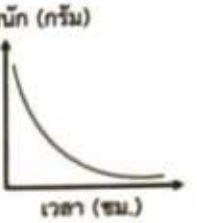
5) การแลกเปลี่ยนแก๊สบริเวณถุงลมปอด และการกำจัดแบคทีเรียของนิวโทรฟิล เกิดโดยวิธีการใดตามลำดับ (PAT)

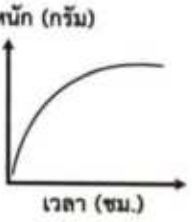
ก. การแพร่
ข. การแพร่แบบฟาซิลิเทต
ค. พิโนไซโทซิส
ง. ฟาโกไซโทซิส

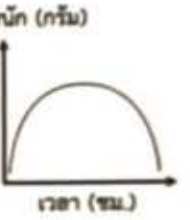
1. ก. และ ค.
2. ก. และ ง.
3. ข. และ ค.
4. ข. และ ง.

6) เมื่อนำกระเพาะปัสสาวะของสุกรมาบรรจุสารละลายน้ำตาล รัดปลายทั้งสองด้านให้แน่นและนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำไปแช่ในน้ำกลั่นและชั่งน้ำหนักเป็นระยะๆ กราฟใดแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกระเพาะปัสสาวะได้ถูกต้อง (O-NET)

1.


2.


3.


4.


7) ข้อใดเป็นหน้าที่ของ gap junction (PAT)

1. ยึดเซลล์กับ extracellular matrix
2. ยึดเซลล์ที่ใกล้กัน 2 เซลล์เข้าด้วยกัน
3. สื่อสารระหว่างเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ
4. ทำให้เกิดความแตกต่างของเยื่อหุ้มเซลล์ 2 ด้าน

8) ในเซลล์ที่มีสารพิษมากจะพบออร์แกเนลล์ใดมากเป็นพิเศษ (มข.)

1. RER ไมโทคอนเดรีย
2. RER ไรโบโซม
3. SER ไมโทคอนเดรีย
4. SER ไรโบโซม

9) ไซยาโนแบคทีเรียไม่มีโครงสร้างใดต่อไปนี้ (PAT)

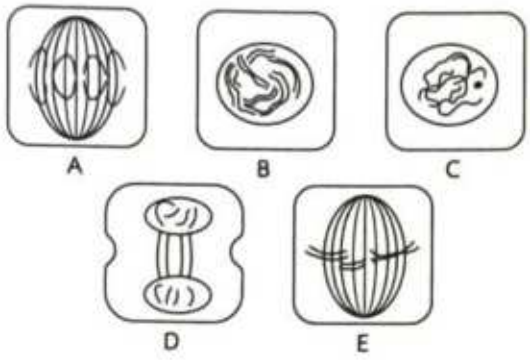
ก. เยื่อหุ้มเซลล์
ข. เยื่อหุ้มนิวเคลียส
ค. ไรโบโซม
ง. ไมโครทิวบูล

1. ก. และ ข.
2. ข. และ ง.
3. ก. และ ค.
4. ค. และ ง.

10) ด.ญ.จ๊ะจ๋า มีอาการท้องเสีย แพทย์วินิจฉัยว่าเกิดจากสารพิษ (toxin) จากแบคทีเรีย นักเรียนคิดว่าสารพิษนี้น่าจะทำลายโครงสร้างใดของเซลล์ (PAT)

1. tight junction 2. desmosome 3. hemidesmosome 4. plasmodesmata

11) จากภาพ ข้อใดเรียงลำดับระยะของการแบ่งนิวเคลียสได้ถูกต้อง (7 วิชาสามัญ)

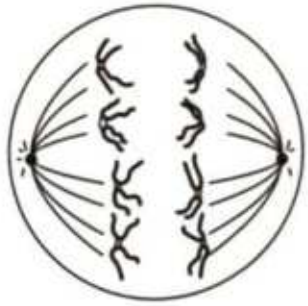


1. A → E → B → C → D
2. B → C → E → A → D
3. C → B → A → E → D
4. C → B → E → A → D

12) ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง (มข.)

1. วัฏจักรของเซลล์ทุกชนิดในสิ่งมีชีวิตเดียวกันใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน
2. อินเตอร์เฟสประกอบด้วยระยะย่อยตามลำดับดังนี้ G_1-G_2-S
3. การสังเคราะห์ดีเอ็นเอรหัสของเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสจะเกิดขึ้นในระยะ G_2
4. ไม่มีข้อใดถูก

13) เซลล์ที่เห็นดังภาพอยู่ในระยะใดของการแบ่งเซลล์ และมีจำนวนโครโมโซม 2n เป็นเท่าใด (PAT)



1. แอนาเฟส, 2n=4 2. แอนาเฟส I, 2n=4 3. แอนาเฟส I, 2n=8 4. แอนาเฟส II, 2n=8

14) ระยะใดในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสมีโอกาสทำให้เกิดความถี่ในการกลาย (mutation frequency) สูงสุด (PAT2)

1. ระยะโพรเฟส I 2. ระยะเมทาเฟส I 3. ระยะโพรเฟส II 4. ระยะเมทาเฟส II

15) ข้อความใดถูกต้องเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์บริเวณปลายรากหอม (O-NET)

1. เป็นการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
2. เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์จะได้เซลล์ใหม่ 4 เซลล์
3. เซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นมีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม
4. เซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นเกิดจากการคอดของเยื่อหุ้มเซลล์

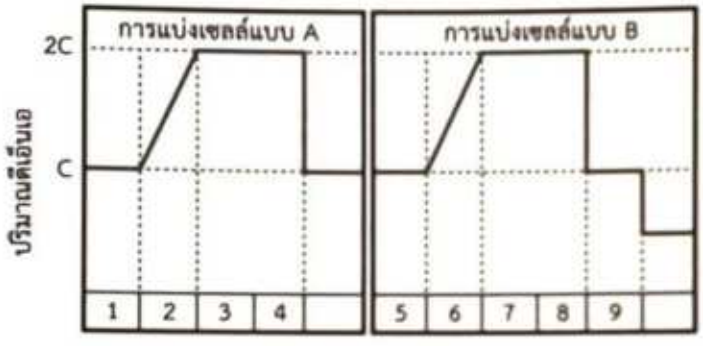
16) ข้อใดคือผลจากกระบวนการสร้างอสุจิของคน โดยเริ่มจากเซลล์ที่หลอดสร้างอสุจิ 1 เซลล์ (O-NET)

ข้อ	จำนวนอสุจิ (ตัว)	จำนวนโครโมโซมของตัวอสุจิ (แท่ง)
1.	4	23
2.	2	23
3.	4	46
4.	2	46

17) ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

1. การเกิดครอสซิงโอเวอร์เกิดขึ้นในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเท่านั้น
2. การจำลองโครโมโซมจะเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวทั้งในไมโทซิสและไมโอซิส
3. ทั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสเกิดขึ้นในเซลล์ดิพลอยด์เท่านั้น
4. เซนโทรเมียร์ของโครโมโซมจะแยกออกจากกันเพียงครั้งเดียวทั้งในไมโทซิสและไมโอซิส

จากรูปด้านล่าง ใช้ตอบคำถามข้อ 18)-19)



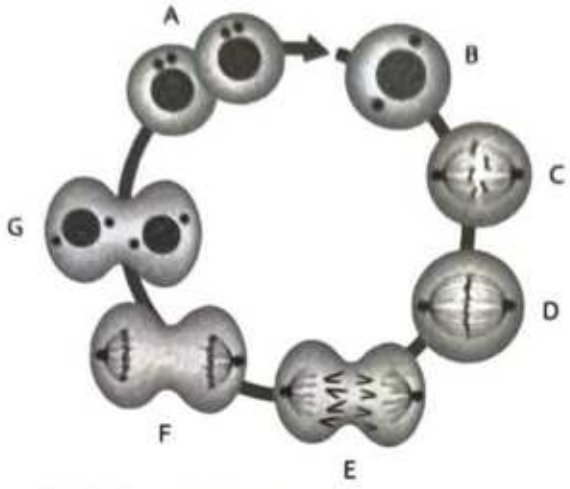
18) ข้อใดกล่าวถูกต้อง

1. การแบ่งเซลล์แบบ B เกิดขึ้นกับเซลล์ดิพลอยด์เท่านั้น
2. การแบ่งเซลล์แบบ A ทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรม
3. ระยะหมายเลข 9 เป็นระยะที่มีการแยกฮอมอโลกัสโครโมโซมออกจากกัน
4. เซลล์ที่เกิดขึ้นหลังระยะที่ 4 จะมีจำนวนชุดโครโมโซมเท่ากับเซลล์ที่เกิดขึ้นหลังระยะที่ 8

19) ระยะที่ 2-3-4 คือ ระยะใดตามลำดับ

1. G_1-S-G_2
2. S-G_2-Mitosis
3. S-G_2-Meiosis I
4. G_2-Meiosis I-Meiosis II

20) จากรูป ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง



1. ระยะ A เกิดการจำลองโครโมโซมเพื่อเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ
2. ระยะ D เป็นระยะที่เห็นโครโมโซมได้ชัดเจนที่สุด
3. ระยะ E เป็นระยะที่ใช้เวลานานที่สุด
4. ระยะ G ในเซลล์พืชจะสร้างแผ่นกั้นเซลล์แทน

บทที่ 4 ระบบย่อยอาหาร

1) ผลิตภัณฑ์สุทธิที่ได้จากการสลายกลูโคสผ่านไกลโคไลซิสและกระบวนการหมักแบบ ethanol fermentation นอกจาก ethanol แล้วจะได้สารใด (7 วิชาสามัญ)

1. H_2O, ATP
2. CO_2, NADH, ATP
3. CO_2, ATP
4. NADH, ATP
5. CO_2, NAD^+

2) เอนไซม์ในระบบย่อยอาหารของคนย่อยสารใดเป็นลำดับแรกและลำดับสุดท้าย ตามลำดับ (7 วิชาสามัญ)

1. โปรตีนและไขมัน
2. ไขมันและโปรตีน
3. คาร์โบไฮเดรตและไขมัน
4. คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน
5. โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต

3) การลำเลียงสารอาหารจากลำไส้ไปสู่หัวใจ สารกลุ่มใดไม่ผ่านตับ (7 วิชาสามัญ)

1. กรดอะมิโน กรดไขมัน
2. กรดอะมิโน กลูโคส
3. กลูโคส กรดไขมัน
4. กรดไขมัน กลีเซอรอล
5. กลูโคส กลีเซอรอล

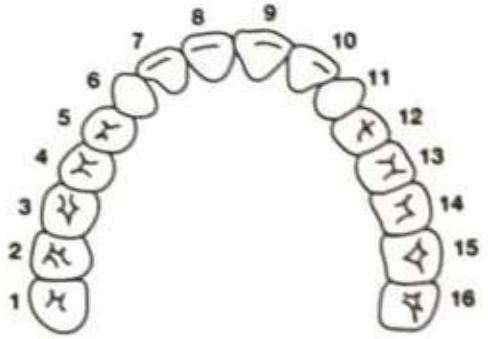
4) สารใดกระตุ้นการเปลี่ยน trypsinogen ให้เป็น trypsin (7 วิชาสามัญ)

1. HCl
2. gastrin
3. chymotrypsin
4. enterokinase
5. jejunum

5) อวัยวะใดของคนที่สร้างเอนไซม์ย่อย carbohydrate และ lipid (7 วิชาสามัญ)

1. กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก
2. กระเพาะอาหารและตับอ่อน
3. ตับอ่อนและลำไส้เล็ก
4. ตับอ่อนและตับ
5. ตับและลำไส้เล็ก

6) จากภาพแสดงขากรรไกรบนของคน หมายเลขใดไม่พบในฟันน้ำนม



1. 8 และ 9
2. 5 และ 12
3. 4 และ 13
4. 4, 5, 12 และ 13
5. 1, 2, 3, 14, 15 และ 16

7) ข้อใดเรียงลำดับสารที่สามารถสร้าง ATP ในปริมาณมากที่สุดไปน้อยที่สุดได้ถูกต้อง

1.	glucose	pyruvate	acetyl CoA	NADH	$FADH_2$
2.	glucose	acetyl CoA	pyruvate	NADH	$FADH_2$
3.	glucose	acetyl CoA	pyruvate	$FADH_2$	NADH
4.	pyruvate	glucose	acetyl CoA	NADH	$FADH_2$
5.	pyruvate	acetyl CoA	glucose	NADH	$FADH_2$

8) เมื่อหยดสาร TTC (Triphenyltetrazolium chloride) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ทดสอบการหายใจระดับเซลล์ของเนื้อเยื่อ ถ้าทดสอบกับ pyruvic acid 3 โมเลกุลที่ได้จากเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อลายจะสลายให้พลังงานเท่าไร

1. 57 ATP
2. 54 ATP
3. 45 ATP
4. 38 ATP
5. 36 ATP

9) อวัยวะคู่ใดทำงานใกล้เคียงกันมากที่สุด (Ent)

1. ตับ ตับอ่อน
2. ตับ ลำไส้เล็ก
3. ตับอ่อน กระเพาะอาหาร
4. ตับอ่อน ลำไส้เล็ก

10) ข้อใดไม่สัมพันธ์กันในการย่อยอาหาร (Ent)

1. แกสตริน-กรดเกลือ
2. กรดเกลือ-เพปซิน
3. เอนเทอโรไคเนส-ทริปซิน
4. ซีครีติน-อะมิโนเพปทิเดส

บทที่ 5 ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต

1) หัวใจของกระต่ายพัฒนามาจากเนื้อเยื่อ (germ layer) ชั้นใด (7 วิชาสามัญ)
   1. ectoderm
   2. mesoderm
   3. endoderm
   4. endoderm และ mesoderm
   5. ectoderm และ endoderm

2) ลักษณะการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอคน ข้อใดถูกต้อง (PAT)
   1. เอ็มบริโอที่เคลื่อนที่มาฝังตัวที่ผนังมดลูก อยู่ในระยะแกสทูลา
   2. เมื่อเอ็มบริโอฝังตัวที่ผนังมดลูกแล้ว จะสร้างถุงคอเรียนมาล้อมรอบ ถุงนี้เป็นส่วนหนึ่งของรก
   3. เมื่อเอ็มบริโออายุได้ 8 สัปดาห์ แขนและขาจึงเริ่มปรากฏชัดเจน
   4. เอ็มบริโออายุประมาณ 3 เดือน มีอวัยวะทุกอย่างครบเรียกว่า ฟีตัส

3) สัตว์ในข้อใดที่ระยะเอ็มบริโอมีการสร้างถุงแอลแลนทอยส์ และถุงนี้ทำหน้าที่อะไร (PAT)
   1. กบ แลกเปลี่ยนแก๊สกับภายนอก
   2. ไก่ สะสมอาหารและของเสียพวกกรดยูริก
   3. กบ เก็บสะสมอาหารและแลกเปลี่ยนแก๊ส
   4. ไก่ แลกเปลี่ยนแก๊สและเก็บของเสียพวกกรดยูริก

4) เซลล์ในข้อใดมีสภาพเป็นดิพลอยด์ทั้งหมด (7 วิชาสามัญ)
   1. โอโอโกเนียม สเปอร์มาโทไซต์ระยะที่สอง
   2. โอโอไซต์ระยะที่สอง สเปอร์มาทิด
   3. โพลาร์บอดี สเปอร์มาโทไซต์ระยะแรก
   4. สเปอร์มาโทโกเนียม โอโอไซต์ระยะแรก

5) ในสุนัขการตกไข่จากรังไข่เป็นผลจากรังไข่เกิดกระบวนการใด (7 วิชาสามัญ)
   1. การลดระดับของ estrogen
   2. การหลั่ง FSH ปริมาณสูงอย่างรวดเร็ว
   3. การหลั่ง LH ปริมาณสูงอย่างรวดเร็ว
   4. การหลั่ง progesterone สูงอย่างรวดเร็ว
   5. อุณหภูมิร่างกายลดลงต่ำกว่าปกติ

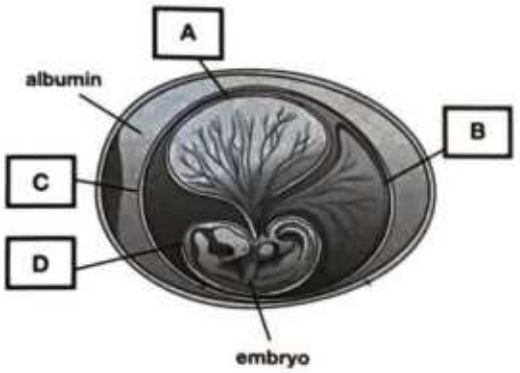
6) ในไข่ไก่ส่วนใดอยู่ใกล้เปลือกมากที่สุด (7 วิชาสามัญ)
   1. allantois
   2. amnion
   3. chorion
   4. embryo
   5. yolk sac

7) การจับคู่ข้อใดไม่สัมพันธ์กัน
   1. อัณฑะ สร้างอสุจิ
   2. ต่อมลูกหมาก เก็บอสุจิ
   3. เซลล์เลย์ดิก สร้างเทสโทสเทอโรน
   4. ถุงอัณฑะ ปรับอุณหภูมิให้อัณฑะ
   5. คอร์ปัสลูเทียม สร้างโพรเจสเทอโรน

8) ข้อใดเรียงลำดับขั้นตอนการเจริญเติบโตของกบได้ถูกต้อง

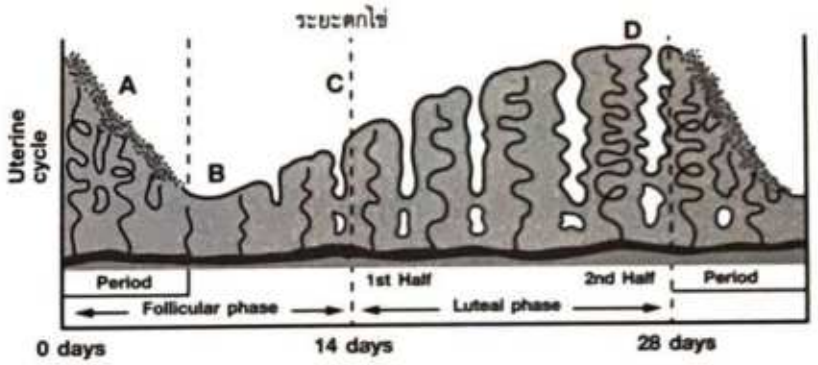
1.	Blastulation	Gastrulation	Organogenesis	Cleavage
2.	Blastulation	Cleavage	Gastrulation	Organogenesis
3.	Cleavage	Gastrulation	Blastulation	Organogenesis
4.	Cleavage	Blastulation	Organogenesis	Gastrulation
5.	Cleavage	Blastulation	Gastrulation	Organogenesis

9) จากภาพโครงสร้างใดที่ทำหน้าที่สะสมของเสีย และโครงสร้างใดทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊สของเอ็มบริโอไก่ที่เจริญในเปลือกไข่ตามลำดับ (7 วิชาสามัญ)



1. A และ B
2. B และ C
3. C และ D
4. B และ D
5. C และ A

10) จากภาพคือการเปลี่ยนแปลงของผนังมดลูกในรอบเดือน บริเวณใดที่มีระดับฮอร์โมน LH สูงสุด และ progesterone สูงสุดตามลำดับ



1. A และ D
2. A และ C
3. C และ D
4. D และ A
5. B และ C

บทที่ 6 การรักษาดุลยภาพในร่างกาย

1) ข้อใดเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการนำหมู่เลือด B, Rh^- ผสมกับหมู่เลือด AB, Rh^+ (7 วิชาสามัญ)

1. แอนติเจน A ทำปฏิกิริยากับแอนติบอดี A
2. แอนติเจน B ทำปฏิกิริยากับแอนติบอดี B
3. แอนติเจน Rh ทำปฏิกิริยากับแอนติบอดี Rh
4. ตัวเลือก 1 และตัวเลือก 3
5. ตัวเลือก 2 และตัวเลือก 3

2) เซลล์ชนิดใดทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกายโดยวิธี phagocytosis ได้ดีที่สุด (7 วิชาสามัญ)

1. eosinophill
2. macrophage
3. mast cell
4. plasma cell
5. cytotoxic T-cell

3) ข้อใดเรียงลำดับของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจากที่มีพิษมากไปน้อยได้ถูกต้อง (7 วิชาสามัญ)

1. แอมโมเนีย ยูเรีย กรดยูริก
2. แอมโมเนีย กรดยูริก ยูเรีย
3. กรดยูริก แอมโมเนีย ยูเรีย
4. กรดยูริก ยูเรีย แอมโมเนีย
5. ยูเรีย แอมโมเนีย กรดยูริก

4) ข้อใดเกิดขึ้นในการหายใจปกติของคน

1. การหดตัวของกล้ามเนื้อกะบังลม ทำให้ความดันอากาศในช่องอกเพิ่มขึ้น
2. การคลายตัวของกล้ามเนื้อกะบังลม ทำให้ปริมาตรในช่องอกเพิ่มขึ้น
3. การหดตัวของกล้ามเนื้อกระดูกซี่โครงแถบนอก ทำให้ปริมาตรในช่องอกลดลง
4. การคลายตัวของกล้ามเนื้อกระดูกซี่โครงแถบนอก ทำให้ความดันอากาศในช่องอกเพิ่มขึ้น
5. การหดตัวของกล้ามเนื้อกะบังลมและกระดูกซี่โครงแถบนอก ในเวลาเดียวกันทำให้ความดันและปริมาตรช่องอกลดลง

5) ในการแข็งตัวของเลือด วิตามินเคและแคลเซียมร่วมกับสารอื่นไปกระตุ้นสารใด (7 วิชาสามัญ)

1. albumin
2. thrombin
3. fibrinogen
4. prothrombin
5. thomboplastin

6) สัตว์ชนิดใดมีออกซิเจนในหลอดเลือด aorta น้อยกว่าใน pulmonary vein (7 วิชาสามัญ)

1. ไก่
2. วาฬ
3. กบ
4. จระเข้
5. หนู

7) หลังจากเด็กชายแดงได้รับวัคซีนโรคหัด เด็กชายแดงจะไม่เป็นโรคหัดอีกเพราะเหตุใด (7 วิชาสามัญ)

1. มีแอนติบอดีระดับสูงตลอดเวลา
2. กระตุ้นการสร้างเมือกคอยดักจับสิ่งแปลกปลอม
3. มีการกระตุ้นไขกระดูกให้สร้างลิมโฟไซต์เพิ่มขึ้น
4. มี memory cell จำเพาะต่อโรคหัด
5. มีการกระตุ้นฟาโกไซโทซิสโดยนิวโทรฟิล

8) เมื่ออยู่กลางทะเลทรายร้อนจัด ร่างกายคนจะมีกระบวนการปรับตัวอย่างไร (7 วิชาสามัญ)

1. ตัวรับความเย็นที่ผิวหนังถูกยับยั้งการทำงาน
2. ศูนย์ควบคุมอุณหภูมิในสมองหยุดทำงาน
3. อัตราการเต้นของหัวใจลดลงเพื่อลดการเสียน้ำ
4. ศูนย์ควบคุมอุณหภูมิในสมองกระตุ้นให้ขับเหงื่อ
5. หลอดเลือดใต้ผิวหนังหดตัวเพื่อลดการรับความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ร่างกาย

9) กรณีในข้อใดทำให้ทารกในครรภ์คนที่ 2 มีโอกาสเกิดภาวะอีรีโทรบลาสโทซิสฟีทาลิส (Erythroblastosis fetalis) (PAT)

1. แม่มีหมู่เลือด Rh^+ ทารกในครรภ์คนแรกมีหมู่เลือด Rh^+ คนที่ 2 มีหมู่เลือด Rh^-
2. แม่มีหมู่เลือด Rh^+ ทารกในครรภ์คนแรกและคนที่ 2 มีหมู่เลือด Rh^-
3. แม่มีหมู่เลือด Rh^- ทารกในครรภ์คนแรกมีหมู่เลือด Rh^- คนที่ 2 มีหมู่เลือด Rh^+
4. แม่มีหมู่เลือด Rh^- ทารกในครรภ์คนแรกและคนที่ 2 มีหมู่เลือด Rh^+

10) กลไกที่ทำให้ปัสสาวะมากเนื่องจากดื่มน้ำมาก คือข้อใด (มอ.)

1. แรงดันออสโมติกในเลือดสูง, ADH ออกมามาก การดูดน้ำกลับมาก
2. แรงดันออสโมติกในเลือดสูง, ADH ออกมามาก การดูดน้ำกลับน้อย
3. แรงดันออสโมติกในเลือดต่ำ, ADH ออกมาน้อย การดูดน้ำกลับมาก
4. แรงดันออสโมติกในเลือดต่ำ, ADH ออกมาน้อย การดูดน้ำกลับน้อย

บทที่ 7 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต

1) ข้อต่อที่ต้นคอกับฐานกะโหลกศีรษะของคนเป็นข้อต่อแบบใด (7 วิชาสามัญ)

1. แบบเดือย
2. แบบสไลด์
3. แบบอานม้า
4. แบบบานพับ
5. แบบกลมในเบ้า

2) เบซัลบอดี (basal body) มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตชนิดใด (7 วิชาสามัญ)

1. ยูกลีนา
2. ไฮดรา
3. ไส้เดือนดิน
4. แมลง
5. ดาวทะเล

3) ข้อใดแสดงสมบัติเซลล์กล้ามเนื้อได้ถูกต้อง (7 วิชาสามัญ)

	ชนิดกล้ามเนื้อ	จำนวนนิวเคลียส		การทำงาน	
		1 นิวเคลียส/เซลล์	หลายนิวเคลียส/เซลล์	ใต้อำนาจจิตใจ	นอกอำนาจจิตใจ
1.	กล้ามเนื้อโครงร่าง	✓		✓	
2.	กล้ามเนื้อเรียบ		✓		✓
3.	กล้ามเนื้อหัวใจ		✓	✓	
4.	กล้ามเนื้อโครงร่างและกล้ามเนื้อหัวใจ		✓		✓
5.	กล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจ	✓			✓

4) การทำงานของกล้ามเนื้อในการงอแขนและเหยียดแขนในข้อใดจัดว่าเป็นการทำงานแบบ antagonism (7 วิชาสามัญ)
1. กล้ามเนื้อไบเซพหดตัวและไตรเซพคลายตัวขณะเหยียดแขน
2. กล้ามเนื้อไบเซพคลายตัวและไตรเซพคลายตัวขณะเหยียดแขน
3. กล้ามเนื้อไบเซพหดตัวและไตรเซพคลายตัวขณะงอแขน
4. กล้ามเนื้อไบเซพหดตัวและไตรเซพหดตัวขณะงอแขน
5. กล้ามเนื้อไบเซพคลายตัวและไตรเซพหดตัวขณะหดแขน

5) ข้อต่อที่ข้อศอกและที่คอเป็นแบบใดตามลำดับ (7 วิชาสามัญ)
1. แบบสไลด์และแบบอานม้า
2. แบบสไลด์และแบบเคลื่อนไหวไม่ได้
3. แบบบานพับและแบบกลมในเบ้า
4. แบบเดือยและแบบสไลด์
5. แบบบานพับและแบบเดือย

บทที่ 8 การรับรู้และการตอบสนอง

1) ข้อใดไม่ถูกต้อง (PAT)
1. คนเมาสุรามักเดินไม่ตรงทาง เนื่องจากแอลกอฮอล์มีผลต่อศูนย์ควบคุมการทรงตัวในสมองส่วนซีรีบรัม
2. ถ้าสมองส่วนไฮโพทาลามัสถูกทำลาย จะมีผลต่อการเต้นของหัวใจและความดันเลือดผิดปกติ
3. สมองส่วนอัลแฟกทอรีบัลบ์ของปลามีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับกลิ่น
4. สมองทาลามัสจัดเป็นสมองส่วนหน้า

2) การทำงานและการหลั่งสารสื่อประสาทของระบบประสาทอัตโนวัติชนิดซิมพาเทติกในข้อใดถูกต้อง (PAT)
ก. นำคำสั่งกระตุ้นต่อมน้ำลายให้หลั่งน้ำลาย
ข. นำคำสั่งให้กระเพาะปัสสาวะบีบตัว
ค. เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ หลั่งแอซิติลโคลีนมายังเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์
ง. เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ หลั่งนอร์เอพิเนฟรินมาควบคุมการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ
1. ก และ ข
2. ข และ ค
3. ค และ ง
4. ก และ ง

3) ข้อใดกล่าวถึงโครงสร้างและการทำงานขององค์ประกอบของอวัยวะรับความรู้สึกของคนได้ถูกต้อง (PAT)
ก. กระจกตาเป็นส่วนผนังลูกตาชั้นโครอยด์ ทำหน้าที่ช่วยหักเหแสงผ่านเลนส์ตา
ข. การรับรสเกิดจากการกระตุ้นเซลล์รับรสในตุ่มรับรส ซึ่งจะเกิดกระแสประสาทไปตามเส้นประสาทคู่ที่ 7 และ 9 จนถึงสมอง
ค. หน่วยรับความรู้สึกเจ็บปวด เป็นปลายประสาทเดนไดรต์ที่แทรกอยู่ในชั้นหนังกำพร้า
ง. ท่อยูสเตเชียน เชื่อมระหว่างหูส่วนกลางและคอหอย ทำหน้าที่ปรับความดันอากาศระหว่างหูส่วนกลางและหูส่วนในให้เท่ากัน
1. ก และ ข
2. ข และ ค
3. ค และ ง
4. ก ค และ ง

4) พัฒนาการของสมองส่วนหน้าของสัตว์มีกระดูกสันหลัง ข้อใดถูกต้อง (Olymp)

1. กบ < นกเพนกวิน < ฉลาม < เต่า < โลมา
2. งูหลาม < ม้าน้ำ < ยีงอ่าง < นกกระจอกเทศ < ม้าลาย
3. ปลาสลิด < คางคก < ตะกวด < นกกางเขน < ฮิปโปโปเตมัส
4. ปลากัด < เขียด < นกเอี้ยง < จระเข้ < แมว

5) การส่งสัญญาณใน reflex arc มีลำดับขั้นตอนอย่างไร (7 วิชาสามัญ)

1. interneuron
2. receptor
3. motor neuron
4. sensory neuron
5. muscle

1. 4 > 2 > 1 > 3 > 5
2. 3 > 2 > 1 > 4 > 5
3. 3 > 1 > 2 > 4 > 5
4. 2 > 4 > 1 > 5 > 3
5. 2 > 4 > 1 > 3 > 5

6) ข้อใดคือภาวะที่เกิดขึ้นขณะมองภาพในระยะไกล (7 วิชาสามัญ)

1. กล้ามเนื้อยึดเลนส์หดตัว เลนส์ตาโค้งนูนน้อยลง
2. กล้ามเนื้อยึดเลนส์คลายตัว เลนส์ตาโค้งนูนน้อยลง
3. กล้ามเนื้อยึดเลนส์หดตัว เลนส์ตาโค้งนูนมากขึ้น
4. กล้ามเนื้อยึดเลนส์คลายตัว เลนส์ตาโค้งนูนมากขึ้น
5. กล้ามเนื้อยึดเลนส์หดตัว ดึงเลนส์เลื่อนห่างจากเรตินาออกไปมากขึ้น

7) การเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแอกซอนจะเพิ่มความเร็วของกระแสประสาทที่ผ่านไปได้เพราะ (7 วิชาสามัญ)

1. Na^+ จะไหลได้ช้าลง
2. K^+ จะไหลเข้าแอกซอนได้เร็วขึ้น
3. Na^+ จะไหลไปตามแอกซอนได้เร็วขึ้น
4. ความต้านทานไฟฟ้าจะแปรผกผันกับพื้นที่ภาคตัดขวาง
5. 3 และ 4

บทที่ 9 ระบบต่อมไร้ท่อ

1) ถ้าต่อมไทรอยด์ถูกทำลายในผู้ใหญ่จะเกิดผลอย่างไรต่อร่างกาย (PAT)

1. เกิดโรคคอพอกเป็นพิษ
2. กระดูกหนาขึ้น
3. เกิดอาการมิกซีดีมา (myxedema)
4. กล้ามเนื้อเกร็งและชักกระตุก

2) ภาวะที่ Ca^{2+} ในเลือดต่ำ มีผลต่อการทำงานของ parathyroid hormone อย่างไร (ent)

ก. เพิ่มอัตราการดูดซึม Ca^{2+} จากลำไส้
ข. ลดอัตราการดูด Ca^{2+} กลับจากไต
ค. ดึง Ca^{2+} จากกระดูกมาชดเชย
ง. เพิ่มอัตราการดูด Ca^{2+} กลับจากไต
จ. กระตุ้นการหลั่ง calcitonin จากต่อมไทรอยด์

1. ข. และ ค.
2. ค. และ ง.
3. ง. และ จ.
4. ก. ค. และ ง.

3) คนที่เป็นโรคคอพอกเป็นพิษมีระดับฮอร์โมนในเลือดเป็นอย่างไร (มข.)

1. thyroxin และ TSH สูง
2. thyroxin และ TSH ต่ำ
3. thyroxin สูง และ TSH ต่ำ
4. thyroxin ต่ำ และ TSH สูง

4) ฮอร์โมนใดมีบทบาทสำคัญต่อการคลอดลูกของสุนัข (7 วิชาสามัญ)

1. estrogen
2. progesterone
3. prolactin
4. oxytocin
5. vasopressin

5) ข้อความใดไม่ถูกต้อง (7 วิชาสามัญ)

1. บีต้าเซลล์ในตับอ่อนสร้าง insulin ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
2. ต่อมไทรอยด์สร้าง thyroxin ควบคุมแมเทบอลิซึมของร่างกาย
3. ต่อมพาราไทรอยด์สร้าง calcitonin กระตุ้นการสะสมโซเดียมที่กระดูก
4. ต่อมหมวกไตส่วนนอกสร้าง aldosterone ควบคุมระดับแคลเซียมในร่างกาย
5. ต่อมใต้สมองส่วนหน้าสร้าง FSH และ LH กระตุ้นการเจริญของอัณฑะและการสร้างอสุจิ

6) สารใดที่มีการหลั่งออกมามากผิดปกติแล้วจะทำให้คนเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ช้ากว่าปกติ (7 วิชาสามัญ)

1. insulin
2. melanin
3. thyroxin
4. melatonin
5. vasopressin

7) ฮอร์โมนใดกระตุ้นการทำงานของ corpus luteum ในเพศหญิงและ และ interstitial cell ในเพศชาย (7 วิชาสามัญ)

1. LH
2. FSH
3. HCG
4. prolactin
5. estrogen

8) ในสุนัขการตกไข่จากรังไข่เป็นผลมาจากอะไร (7 วิชาสามัญ)

1. การลดระดับของ estrogen
2. การหลั่ง FSH ปริมาณสูงอย่างรวดเร็ว
3. การหลั่ง LH ปริมาณสูงอย่างรวดเร็ว
4. การหลั่ง progesterone ปริมาณสูงอย่างรวดเร็ว
5. อุณหภูมิร่างกายลดลงต่ำกว่าปกติ

9) ในตัวอย่างเลือดของคนที่อดอาหารมาแล้ว 24 ชั่วโมง จะพบลักษณะใดต่อไปนี้ (7 วิชาสามัญ)

1. ทั้ง insulin และ glucagon มีระดับสูง
2. ทั้ง insulin และ glucagon มีระดับต่ำ
3. Insulin มีระดับสูง แต่ glucagon มีระดับต่ำ
4. insulin มีระดับต่ำแต่ glucagon มีระดับสูง
5. ไม่มีทั้ง insulin และ glucagon

10) ฮอร์โมนในข้อใดไม่สัมพันธ์กับแหล่งสร้างและหน้าที่ (7 วิชาสามัญ)

	ฮอร์โมน	แหล่งสร้าง	หน้าที่
1.	thyroxin	thyroid	ควบคุมเมแทบอลิซึมของร่างกาย
2.	calcitonin	thyroid	ลดอัตราการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็ก
3.	insulin	บีตาเซลล์ในตับอ่อน	กระตุ้นการเปลี่ยนกลูโคสเป็นไกลโคเจนที่ตับ
4.	glucagon	แอลฟาเซลล์ในตับอ่อน	กระตุ้นการเปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกลูโคสที่ตับ
5.	parathormone	parathyroid	เพิ่มอัตราการสะสมแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่กระดูก

บทที่ 10 พฤติกรรมของสัตว์

1) การเห็นตราสัญลักษณ์ของรถยนต์แต่ละยี่ห้อ บางคนสามารถบอกได้ทันทีว่าเป็นรถยนต์ยี่ห้อใด พฤติกรรมนี้จัดเป็นพฤติกรรมแบบใด (7 วิชาสามัญ)
   1. แบบใช้เหตุผล 2. แบบแฮบิทูเอชัน 3. แบบมีเงื่อนไข 4. แบบฝังใจ

2) ข้อใดเป็นพฤติกรรมการเรียนรู้แบบฝังใจ (มอ.)
   1. การเต้นระบำของผึ้งเสื้อเพื่อบอกให้รู้ว่าแหล่งอาหารอยู่ที่ใด
   2. ลูกนกอ้าปากรออาหารเมื่อเห็นแม่นกบินกลับเข้ารัง
   3. นกพิราบบินหนีคนที่เดินผ่านไปมา แต่เมื่อคนผ่านบ่อยๆ ครั้งมันจะไม่บินหนี
   4. ลูกไก่เดินตามวัตถุที่ส่งเสียงเหมือนเสียงที่ได้ยินครั้งแรกหลังจากการฟักออกจากไข่

3) พฤติกรรมในข้อใดที่สิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลน้อยที่สุด (PAT)
   1. การเรียนรู้แบบฝังใจระหว่างลูกห่านกับแม่ห่าน
   2. รีเฟล็กซ์แอ็คชันของการที่ขากระตุกเมื่อเคาะที่หัวเข่า
   3. คางคกไม่กินผึ้งหรือแมลงที่มีลักษณะคล้ายผึ้ง
   4. เต่าจะขึ้นมาจากบ่อเมื่อเห็นเงาคนที่กำลังมาให้อาหาร

4) การเดินทางของปลาแซลมอนจากทะเลกลับไปวางไข่ยังแม่น้ำที่เกิดได้ถูกต้อง อาศัยพฤติกรรมแบบใด (7 วิชาสามัญ)
   1. imprinting และ taxis 2. orientation และ taxis
   3. imprinting และ kinesis 4. habituation และ kinesis
   5. orientation และ habituation

5) ในธรรมชาติที่คางคกไม่กินผึ้งรวมทั้งแมลงที่มีลักษณะคล้ายผึ้ง เนื่องจากเรียนรู้ว่าเป็นอันตรายจัดว่าเป็นพฤติกรรมแบบใด (Ent)
   1. habituation 2. imprinting 3. conditioning 4. trial and error

บทที่ 11 โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก

1) เซลล์รูปร่างยาว ผนังหนามีลวดลายคล้ายร่างแหที่ผนังด้านข้างซึ่งเกิดจากการพอกของสารลิกนิน ผนังด้านหัวท้ายมีรูทะลุ เซลล์เรียงต่อกันยาวคล้ายท่อ ลักษณะดังกล่าวคือเซลล์อะไร (PAT)

1. ซีพทิวบ์ 2. เทรคีด 3. ไฟเบอร์ 4. เวสเซล

2) จากภาพตัดขวางของพืช ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับโครงสร้าง A

(1) ประกอบด้วยเทรคีดและเวสเซล

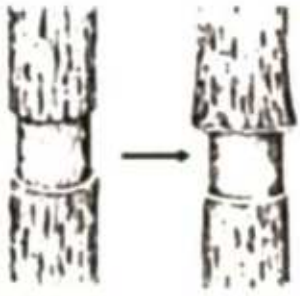
(2) มีการลำเลียงน้ำตาลซูโครสไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ของพืช

(3) พบลักษณะโครงสร้างนี้ได้ที่ต้นมะพร้าว หญ้า ข้าวโพด

(4) เป็นบริเวณที่เกิด guttation

1. (1) และ (2) 2. (2) และ (3) 3. (3) และ (4) 4. (1) และ (4)

3) จากผลการทดลองควั่นเปลือกลำต้นมะม่วง ปรากฏว่ามีการสะสมอาหารเหนือรอยควั่น ทำให้บริเวณเหนือรอยควั่นมีการพองออกดังรูป ถ้าทดลองกับลำต้นอ้อยจะให้ผลเช่นเดียวกันหรือไม่ เพราะเหตุใด



1. ผลการทดลองเหมือนกัน เพราะการควั่นเป็นการนำเอาไซเล็มออกเหลือแต่โฟลเอ็มไว้
2. ผลการทดลองเหมือนกัน เพราะอ้อยมีองค์ประกอบของเนื้อเยื่อภายในเหมือนกับมะม่วง
3. ให้ผลการทดลองไม่เหมือนกัน เพราะมัดท่อลำเลียงอาหารของอ้อยกระจัดกระจาย จึงยังคงลำเลียงสารได้บ้าง
4. ให้ผลการทดลองไม่เหมือนกัน เพราะมัดท่อลำเลียงอาหารของอ้อยเรียงเป็นระเบียบ อยู่ภายในและยังคงลำเลียงสารได้ปกติ

4) เนื้อเยื่อในข้อใดพบในเปลือกไม้ กระพี้ไม้ และแก่นไม้ (Ent)

	เปลือกไม้	กระพี้ไม้	แก่นไม้
1.	epidermis	sclerenchyma	xylem phloem
2.	cork	phloem	xylem
3.	phloem	xylem	vascular cambium
4.	phloem	xylem	xylem
5.	phloem	xylem	cork

5) ข้อใดแสดงลำดับเนื้อเยื่อลำต้นที่มีการเจริญเติบโตขั้นที่ 2 จากด้านนอกเข้าด้านในได้ถูกต้อง

1. primary xylem, secondary xylem, vascular cambium, primary phloem, secondary phloem
2. primary xylem, primary phloem, vascular cambium, secondary xylem, secondary phloem
3. primary phloem, secondary phloem, vascular cambium, primary xylem, secondary xylem
4. primary phloem, secondary phloem, vascular cambium, secondary xylem, primary xylem
5. primary phloem, primary xylem, vascular cambium, secondary phloem, secondary xylem

6) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับการลำเลียงน้ำตาลที่สร้างได้จากใบไปยังผลอ่อนที่ยอดต้นไม้

	น้ำตาลในท่อลำเลียง	วิธีการ	เนื้อเยื่อลำเลียง
1.	กลูโคส	การแพร่	ซีฟทิวบ์
2.	กลูโคส	active transport	เวสเซล
3.	ซูโครส	แรงดันน้ำ	เวสเซล
4.	ซูโครส	การแพร่	ซีฟทิวบ์
5.	ซูโครส	active transport	เวสเซล

7) transpiration กับ guttation แตกต่างกันในเรื่องใด (PAT)

A. รูปแบบของน้ำที่สูญเสียออกไป
B. โครงสร้างหรือช่องทางที่สูญเสียน้ำ
C. ช่วงเวลาหรือสภาพอากาศในขณะที่มีการสูญเสียน้ำ

1. A และ B 2. B และ C 3. A และ C 4. A, B และ C

8) การเคลื่อนที่ของน้ำในดินเข้าสู่รากพืชทางอโพพลาสต์ เมื่อผ่านเซลล์ชั้นใดต้องวกเข้าทางซิมพลาสต์ เนื่องจากถูกกั้นไว้ด้วยอะไร (มข.)

1. เอนโดเดอร์มิส คิวทิน
2. เอนโดเดอร์มิส แคสพาเรียนสตริพ
3. คอร์เทกซ์ แคสพาเรียนสตริพ
4. เพริไซเคิล คิวทิน

9) กลไกการสูญเสียน้ำผ่านทางโครงสร้างใดแตกต่างจากข้ออื่น (7 วิชาสามัญ)

1. hydathode ของใบข้าว
2. stoma ของใบข้าวโพด
3. stoma ของต้นกระบองเพชร
4. lenticel ของต้นมะยม
5. lenticel ของต้นโมก

10) ข้อใดเป็นปัจจัยที่ทำให้ปากใบเปิดมากที่สุด

	ความเข้มแสง	ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ
1.	ต่ำ	สูง	ต่ำ
2.	ต่ำ	ต่ำ	สูง
3.	มาก	สูง	สูง
4.	มาก	สูง	ต่ำ
5.	มาก	ต่ำ	สูง

บทที่ 12 การสังเคราะห์ด้วยแสง

1) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับปฏิกิริยาแสง (7 วิชาสามัญ)

1. การถ่ายทอด e^- แบบไม่เป็นวัฏจักร ได้ผลิตภัณฑ์เป็น ATP เท่านั้น
2. การถ่ายทอด e^- แบบไม่เป็นวัฏจักร ได้ผลิตภัณฑ์เป็น NADPH เท่านั้น
3. การถ่ายทอด e^- แบบเป็นวัฏจักร ได้ผลิตภัณฑ์เป็น ATP เท่านั้น
4. การถ่ายทอด e^- แบบเป็นวัฏจักร ได้ผลิตภัณฑ์เป็น NADPH เท่านั้น
5. การถ่ายทอด e^- แบบเป็นวัฏจักร ได้ผลิตภัณฑ์เป็น ATP และ NADPH

2) สารสีชนิดใดที่สามารถเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงในพืชชั้นสูง (7 วิชาสามัญ)

1. carotene
2. chlorophyll a
3. chlorophyll a และ carotenoid
4. chlorophyll a และ chlorophyll b
5. chlorophyll a, chlorophyll b และ carotenoid

3) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับ photorespiration และ cellular respiration (7 วิชาสามัญ)

	photorespiration	cellular respiration
1.	เกิดทั้งกลางวันและกลางคืน	เกิดเฉพาะกลางวัน
2.	การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่คลอโรพลาสต์	การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่ไมโทคอนเดรีย
3.	ต้องใช้ Rubisco เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	ไม่ต้องใช้ Rubisco เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
4.	ได้ ATP เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ	ได้ ATP เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ
5.	จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ในไซโทพลาซึม	ไม่จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ในไซโทพลาซึม

4) หากอุณหภูมิในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อ photorespiration ของต้นข้าวและข้าวโพดอย่างไร (7 วิชาสามัญ)

	ข้าว	ข้าวโพด
1.	เพิ่มขึ้น	ลดลง
2.	ลดลง	เพิ่มขึ้น
3.	คงเดิม	เพิ่มขึ้น
4.	เพิ่มขึ้น	คงเดิม
5.	คงเดิม	คงเดิม

5) พืชสะสมพลังงานจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ใดเพื่อใช้ในเวลากลางคืน (7 วิชาสามัญ)

1. stroma คลอโรพลาสต์
2. thylakoid lumen ในคลอโรพลาสต์
3. cytoplasm ของ mesophyll cell
4. cytoplasm ของทุกเซลล์
5. outer membrane ของพลาสติด

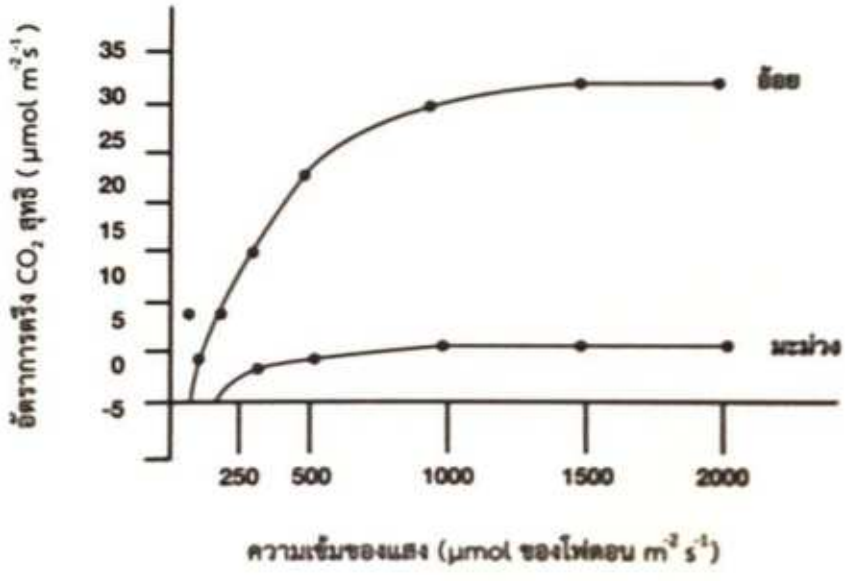
6) ถ้าให้ $^{14}CO_2$ กับใบข้าวจะพบสารชนิดใดเป็นสารกัมมันตภาพรังสี ตามลำดับ (7 วิชาสามัญ)

1. PGAL > PGA > sucrose
2. PGA > PGAL > RuBP
3. RuBP > PGA > PGAL
4. RuBP > PGAL > sucrose
5. PGAL > PGA > RuBP

7) ข้อใดถูกต้องสำหรับปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (PAT)

1. PGA เป็นสารที่เสถียรตัวแรกที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการรวมกันของ RuBP และ CO_2 โดยได้พลังงานจาก ATP
2. ผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์คือ G3P หรือ PGAL
3. ขั้นตอนรีเจนเนอเรชัน คือ ขั้นตอนที่นำ PGAL 2 โมเลกุล สร้างน้ำตาล C_6 1 โมเลกุล
4. น้ำตาล 6C ที่เกิดขึ้นภายในคลอโรพลาสต์ สามารถลำเลียงไปยังไมโทคอนเดรียได้โดยตรงเพื่อสลายให้พลังงาน

8) ข้อใดเป็นข้อสรุปที่ได้จากกราฟ (PAT)

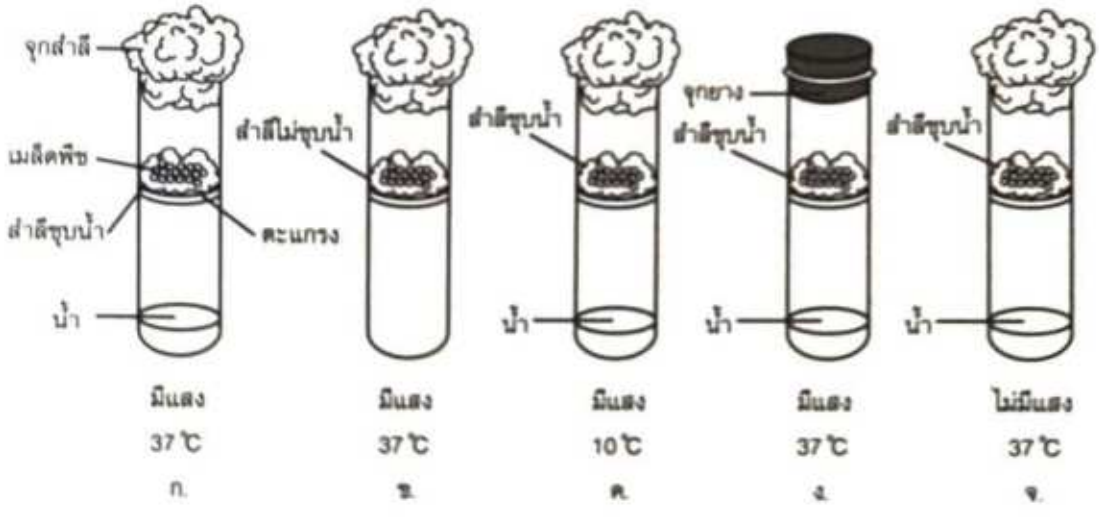


1. อ้อยมีค่าไลท์คอมเพนเซชันสูงกว่ามะม่วง
2. มะม่วงมีจุดอิ่มตัวของแสงประมาณ 1,200 umol ของโฟตอน $m^{-2}s^{-1}$
3. อ้อยมีจุดอิ่มตัวของแสงประมาณ 100 umol ของโฟตอน $m^{-2}s^{-1}$
4. ความเข้มแสงที่มากกว่า 1,500 umol ของโฟตอน $m^{-2}s^{-1}$ จะไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการตรึง CO_2 สุทธิของอ้อย

9) ข้อใดถูกต้องสำหรับปฏิกิริยาแสง (PAT)
1. อิเล็กตรอนที่ถ่ายทอดจากระบบแสง 1 สู่ระบบแสง 2 ผ่านตัวรับอิเล็กตรอนหลายตัว จะมีพลังงานลดลงเป็นลำดับ
2. เมื่อคลอโรฟิลล์ เอ โมเลกุลพิเศษที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาแสงส่งอิเล็กตรอนให้ตัวรับอิเล็กตรอนแล้ว จะมีการส่งต่อให้ตัวรับอิเล็กตรอนอื่นอีกหลายตัว
3. ในลูเมนของไทลาคอยด์ของกรานามีการสะสมโปรตอนมากขึ้น จนเกิดความแตกต่างของปริมาณโปรตอนในลูเมน และในสโตรมา ทำให้เกิดการสังเคราะห์ ATP ภายในลูเมน
4. ระหว่างปฏิกิริยาแสง สารที่สะสมอยู่บนเยื่อไทลาคอยด์คือ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ แต่สารที่สะสมอยู่ในลูเมนของไทลาคอยด์คือ อิเล็กตรอนที่ได้จากการแตกตัวของน้ำ

10) แหล่งพลังงานที่นำมาสร้าง ATP จาก ADP + Pi ในปฏิกิริยาแสง (light reaction) ของพืชเกิดจากข้อใด (PAT)
1. พลังงานที่รงควัตถุดูดซับไว้
2. พลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
3. ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของโปรตอนระหว่างภายนอกและภายในของไทลาคอยด์
4. ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของอิเล็กตรอนระหว่างภายนอกและภายในของไทลาคอยด์

บทที่ 13 การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของพืชดอก



11) จากภาพชุดการทดลองที่ต้องการทดสอบว่า น้ำและออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดหรือไม่ ตามลำดับคือ (PAT)
1. ก กับ ข และ ก กับ ค
2. ก กับ ข และ ก กับ ง
3. ก กับ ค และ ก กับ จ
4. ก กับ ง และ ก กับ จ

2) ส่วนของพืชดอกที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ ได้แก่

(1) อับเรณู (2) ผนังออวุล (3) โพลาร์นิวคลีไอ (4) เอนโดสเปิร์ม

ส่วนใดที่มีโครโมโซมไม่เท่ากับ 2n (PAT)

1. (1) และ (2) 2. (2) และ (3) 3. (3) และ (4) 4. (1) และ (4)

3) ตารางแสดงการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ได้มาจากแหล่งที่แตกต่างกัน 4 แหล่ง แหล่งละ 100 เมล็ด

แหล่งเมล็ดพันธุ์	จำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละวัน						
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
แหล่งที่ 1	0	0	25	25	20	25	0
แหล่งที่ 2	0	0	40	20	30	10	0
แหล่งที่ 3	0	15	30	40	10	0	0
แหล่งที่ 4	0	0	45	25	25	0	0

ถ้าพิจารณาจากดัชนีการงอกควรเลือกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากแหล่งใดไปเพาะปลูก (PAT)

1. แหล่งที่ 1 2. แหล่งที่ 2 3. แหล่งที่ 3 4. แหล่งที่ 4

4) ข้อใดต่อไปนี้ไม่ถูกต้อง (มข.)

1. เมล็ดกล้วยไม้สามารถงอกได้ดีเช่นเดียวกับเมล็ดพืชอื่น
2. การสืบพันธุ์ของกล้วยไม้มีทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ
3. สีของกลีบดอกกล้วยไม้บางชนิดมีแอนโทไซยานินอยู่ในแวคิวโอลช่วยในการดึงดูดความสนใจของแมลง
4. ชนิดและปริมาณของแมลงที่ช่วยในการผสมเกสรมีผลต่อความหลากหลายของกล้วยไม้ที่พบในธรรมชาติ

5) ผลของพืชที่เกิดจากดอกที่มีหลายรังไข่จัดเป็นผลประเภทใด (7 วิชาสามัญ)

1. ผลเดี่ยวหลายผลบนกิ่ง
2. ผลกลุ่มที่อยู่รวมกันเป็นผลเดียว
3. ผลกลุ่มที่อยู่รวมกันเป็นผลเดียว หรือแยกเป็นหลายผลบนกิ่งเดียว
4. ผลรวมที่แยกเป็นผลย่อยหลายผลบนกิ่ง

6) ขั้งข้าวโพด คือส่วนที่เจริญและพัฒนามาจากส่วนใดของพืช (มข.)

1. ผนังรังไข่และแกนช่อดอก
2. ผนังออวุลและแกนช่อดอก
3. ผนังรังไข่และใบประดับของดอกย่อย
4. แกนช่อดอกและใบประดับของดอกย่อย

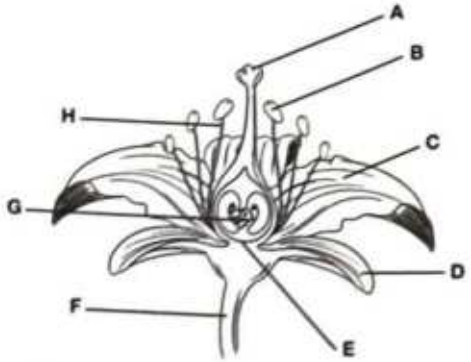
7) เซลล์ในโครงสร้างใดต่อไปนี้ของพืชดอกที่มีแต่การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (7 วิชาสามัญ)

1. เซลล์ในออวุลขณะมีการพัฒนาเพื่อสร้างไข่
2. เซลล์ของไมโครสปอร์ขณะพัฒนาเป็นเรณู
3. เซลล์ในอับเรณูที่จะพัฒนาเป็นไมโครสปอร์
4. เซลล์ในรังไข่ขณะมีการพัฒนาเพื่อสร้างแอนดีโพเดิล

8) ข้อใดเป็นการใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการสร้างพืชดิพลอยด์ที่มีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสทุกตำแหน่ง (7 วิชาสามัญ)

1. การชักนำให้เนื้อเยื่อใบพัฒนาขึ้นเป็นต้นใหม่ในหลอดทดลอง
2. การนำเอ็มบริโอที่เกิดจากการผสมข้ามชนิดมาเลี้ยงในหลอดทดลอง
3. การใช้สารเคมีทำให้เรณูมีชุดโครโมโซมเพิ่มขึ้น แล้วชักนำให้เป็นต้นใหม่
4. การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตเพื่อชักนำให้เนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มพัฒนาเป็นต้นใหม่

9) จากภาพ ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง



1. ในดอกมะละกอถ้ามี A จะไม่มี B
2. ดอกกุหลาบมีส่วนประกอบครบถ้วนดังภาพ
3. ส่วนที่ยังคงเหลืออยู่ในผล คือ E F และ G
4. ผลจำปีและจำปาเจริญมาจากดอกดังภาพ

10) ข้อใดคือความแตกต่างระหว่างเมล็ดถั่วเขียวและเมล็ดข้าวโพด

1. เมล็ดถั่วเขียวมีใบเลี้ยงใบเดียว ในขณะที่เมล็ดข้าวโพดมีใบเลี้ยง 2 ใบ
2. เมล็ดถั่วเขียวมีเอนโดสเปิร์ม ในขณะที่เมล็ดข้าวโพดไม่มีเอนโดสเปิร์ม
3. เมล็ดถั่วเขียวใช้เอนโดสเปิร์มสะสมอาหาร ส่วนเมล็ดข้าวโพดใช้ใบเลี้ยงสะสมอาหาร
4. เมล็ดถั่วเขียวงอกแล้วใบเลี้ยงชูขึ้นเหนือดิน ส่วนเมล็ดข้าวโพดงอกแล้วใบเลี้ยงอยู่ใต้ดิน

บทที่ 14 การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช

1) การตอบสนองของพืชในข้อใดใช้กลไกเดียวกันกับการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ (7 วิชาสามัญ)

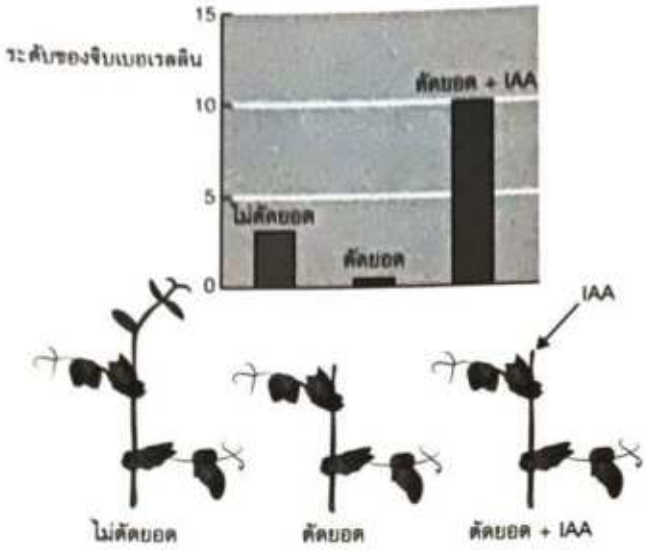
1. การงอกเข้าหาน้ำของรากข้าว
2. การพับหลักของมือเกาะของตำลึง
3. การเอนเข้าหาแสงของยอดมะเขือเทศ
4. การหลับของใบจามจุรีในตอนกลางคืน

2) กรดแอบไซซิกพบมากที่ส่วนใดของพืช (มข.)

(1) เมล็ดที่กำลังพักตัว
(2) เมล็ดที่กำลังงอก
(3) ใบที่กำลังขาดน้ำ
(4) ใบอ่อน

1. (1) และ (3)
2. (2) และ (3)
3. (1) และ (4)
4. (2) และ (4)

3) จากกราฟแสดงระดับของฮอร์โมนจิบเบอเรลลินจากการทดลองตัดยอดพืชและให้สาร IAA ซึ่งเป็นสารกลุ่มออกซิน



ข้อใดสรุปได้ถูกต้อง

1. ต้นไม้ที่ถูกตัดยอดจะไม่สามารถเบนเข้าหาแสงได้
2. ต้นไม้ที่ไม่ถูกตัดยอดจะมีโอกาสการเกิดตาดอกมากที่สุด
3. ต้นไม้ที่ถูกตัดยอดจะมีการยืดตัวของปล้องระหว่างข้อมากที่สุด
4. ต้นไม้ที่ถูกตัดยอดและให้สาร IAA จะมีการแตกกิ่งด้านข้างมากขึ้น

4) การตอบสนองของพืชในข้อใดที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของออกซินทั้งสองเหตุการณ์ (7 วิชาสามัญ)

1. thigmotropism และการพักตัวของเมล็ดข้าวโพด
2. phototropism และการจับแมลงของกาบหอยแครง
3. positive gravitropism และการแตกพุ่มของฤาษีผสม
4. fruit ripening และการจับแมลงของหม้อข้าวหม้อแกงลิง

5) ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับหน้าที่ของฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน (มข.)

1. ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ด
2. ช่วยในการพักตัวของเมล็ด
3. ช่วยในการเปลี่ยนดอกเพศผู้ให้เป็นดอกเพศเมีย
4. ช่วยกระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด

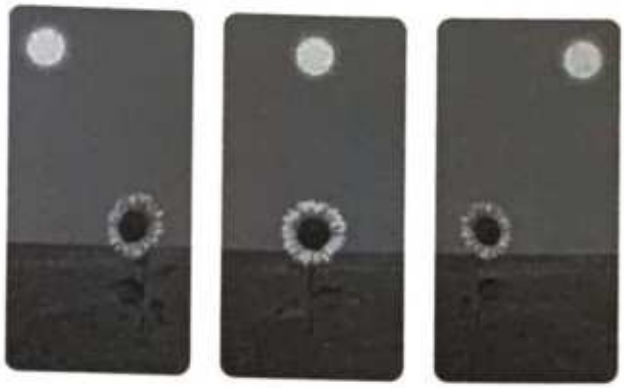
6) ใบของพืช ก. เป็นใบประกอบที่จะหุบเมื่อได้รับแสง ส่วนดอกของพืช ข. จะบานเฉพาะเวลากลางคืน ข้อใดไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพืช ก. และพืช ข. (PAT)

1. เป็นการเคลื่อนไหวแบบอัตโนมัติ
2. มีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบเดียวกัน
3. มีการเคลื่อนไหวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่งของเซลล์
4. เป็นการเคลื่อนไหวที่มีการตอบสนองไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า

7) ข้อใดไม่ใช่คู่ฮอร์โมนพืชที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกัน

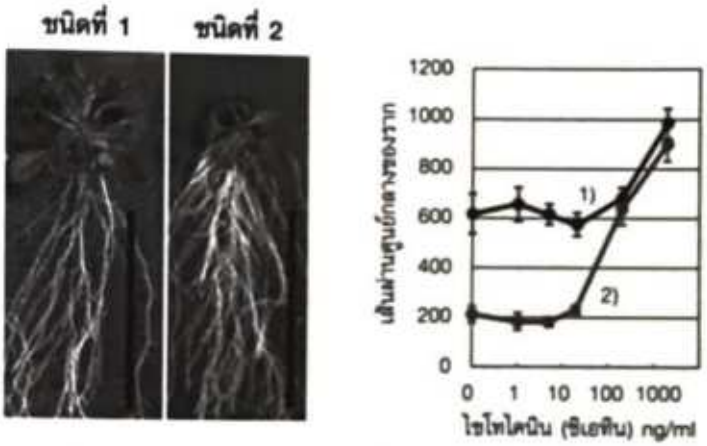
1. การงอกของเมล็ด : จิบเบอเรลลินและกรดแอบไซซิก
2. การเปิดปิดปากใบ : ไซโทไคนินและกรดแอบไซซิก
3. การข่มโดยตายอด : ออกซินและเอทิลีน
4. การกระตุ้นให้เนื้อเยื่อพืชเจริญเป็นรากหรือยอด : ออกซินและไซโทไคนิน

8) จากภาพแสดงการตอบสนองของพืชรูปแบบใด



1. positive tropic movement
2. negative tropic movement
3. nastic movement
4. nutation movement

9) จากกราฟแสดงผลของไซโทไคนินต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของรากพืช ข้อใดสรุปได้ถูกต้อง



1. พืชชนิดที่ 1 และ 2 มีการตอบสนองต่อไซโทไคนินเท่ากัน
2. เมื่อได้รับไซโทไคนินเพิ่มขึ้น ทำให้รากมีความสามารถในการดูดน้ำมากขึ้น
3. เมื่อได้รับไซโทไคนินเพิ่มขึ้น จะกระตุ้นให้รากมีการเจริญชั้นทุติยภูมิเพิ่มขึ้น
4. เมื่อได้รับไซโทไคนินเพิ่มขึ้น ทำให้รากมีขนาดใหญ่ขึ้น

10) ในการขยายพันธุ์พืชชนิดหนึ่งในหลอดทดลอง พบว่าการให้ออกซินชนิดต่างๆ (A B C) ร่วมกับคิเนติน (ไซโทไคนินชนิดหนึ่ง) ความเข้มข้น 2 mg/L มีผลดังตาราง

ชนิดของออกซิน	ความเข้มข้นของออกซินในอาหาร (mg/L)	จำนวนยอดที่เกิดใหม่/ชิ้นพืช
-	0	19
A	2	40
	4	38
	8	34
B	2	46
	4	42
	8	37
C	2	38
	4	34
	8	31

ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับการเพิ่มจำนวนยอดใหม่ในหลอดทดลองของพืชชนิดนี้ (7 วิชาสามัญ)

1. ออกซินชนิด A, B และ C ที่ความเข้มข้นสูงยับยั้งการเกิดยอดใหม่
2. การให้ไซโทไคนินไม่จำเป็นสำหรับการเพิ่มจำนวนยอดใหม่ในหลอดทดลอง
3. พืชชนิดนี้ต้องได้รับออกซินจากภายนอกจึงจะเพิ่มจำนวนยอดใหม่ในหลอดทดลองได้
4. ออกซินทั้งสามชนิดส่งเสริมการเพิ่มจำนวนยอดในหลอดทดลองเมื่อใช้ร่วมกับไซโทไคนิน

บทที่ 15 การถ่ายทอดทางพันธุกรรม

1) ดาราสาวคนหนึ่งอ้างกับนักร้องชายว่าลูกที่เพิ่งเกิดเป็นลูกของนักร้องชาย โดยนักร้องชายมีเลือดหมู่ A ดาราสาวมีเลือดหมู B จีโนไทป์ของเด็กในข้อใดที่นักร้องชายสามารถปฏิเสธได้ว่าเด็กไม่ใช่ลูกของนักร้องชาย (PAT)

1) ii 2) I^AI^B 3) I^AI^A
4) I^BI^B 5) I^Ai 6) I^Bi

1. 1) และ 2) 2. 3) และ 4) 3. 5) และ 6) 4. 1), 3) และ 4)

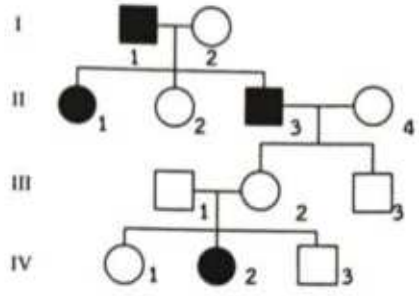
2) นายกฤชผู้มีตาบอดสีแดง-สีเขียว สมรสกับนางดวงใจที่ตาไม่บอดสี (ปกติ) มีบุตรชาย 4 คนปกติ บุตรสาว 2 คนปกติทางพันธุกรรม หลังจากนั้นเขาสมรสครั้งที่สองกับนางหฤทัยที่ตาปกติ มีบุตรสาวตาบอดสีแดง-สีเขียว บุตรสาวปกติ บุตรชายตาบอดสีแดง-สีเขียว บุตรชายปกติ ข้อใดคือจีโนไทป์ของนางดวงใจและนางหฤทัย โดยที่แอลลีล b หมายถึงตาบอดสีแดง-สีเขียว และแอลลีล B หมายถึงตาปกติ (มช.)

1. นางดวงใจ X^BX^B นางหฤทัย X^BX^b
2. นางดวงใจ X^BX^b นางหฤทัย X^BX^b
3. นางดวงใจ X^BX^b นางหฤทัย X^BX^B
4. นางดวงใจ X^BX^b นางหฤทัย X^bX^b

3) ครอบครัวหนึ่ง พ่อและแม่มีจีโนไทป์ที่ควบคุมลักษณะศีรษะล้านเหมือนกัน แต่มีฟีโนไทป์แตกต่างกัน ข้อใดคือลักษณะที่เป็นไปได้ของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลูกสาว (PAT)

1. BB ศีรษะไม่ล้าน
2. Bb ศีรษะล้าน
3. Bb ศีรษะไม่ล้าน
4. bb ศีรษะล้าน

จากเพดดิกรี จงตอบคำถามข้อ 4 (PAT)



4) ลักษณะผิดปกติที่แสดงออกนี้น่าจะมีการถ่ายทอดโดยพันธุกรรมแบบใด

1. autosomal dominant
2. autosomal recessive
3. X-linked recessive inheritance
4. multiple alleles

5) สามีภรรยาคู่หนึ่ง สามีมีลักษณะมีขนที่ใบหู ภรรยามีลักษณะไม่มีขนที่ใบหู ลูกของสามีภรรยาคู่นี้จะมีลักษณะเช่นใด (PAT)

1. ทั้งลูกสาวและลูกชายมีขนที่ใบหู
2. ทั้งลูกสาวและลูกชายไม่มีขนที่ใบหู
3. ลูกสาวมีขนที่ใบหู ลูกชายไม่มีขนที่ใบหู
4. ลูกสาวไม่มีขนที่ใบหู ลูกชายมีขนที่ใบหู

6) ในการผสมตัวเองของพืชที่มีจีโนไทป์ AaBbCcdd ถ้าการจัดกลุ่มของยีนแต่ละคู่เป็นไปอย่างอิสระ ข้อใดคือสัดส่วนของลูกที่เป็น homozygous ของยีนทั้ง 4 ตำแหน่ง (7 วิชาสามัญ)

1. $\frac{1}{4}$
2. $\frac{1}{8}$
3. $\frac{1}{16}$
4. $\frac{1}{64}$

7) ชนิดและอัตราส่วนของเซลล์สืบพันธุ์ในข้อใดที่สร้างจากจีโนไทป์ AaBb เมื่อมีลิงค์เกจระหว่างยีน A และยีน B (7 วิชาสามัญ)

1. AB : ab = 1 : 1
2. AB : ab ≠ 1 : 1
3. AB : Ab : aB : ab = 1 : 1 : 1 : 1
4. AB : Ab : aB : ab ≠ 1 : 1 : 1 : 1

8) ในถั่วลันเตา ลักษณะเมล็ดกลม (W) เป็นลักษณะเด่นต่อเมล็ดย่น (w) และลักษณะเมล็ดสีเหลือง (G) เป็นลักษณะเด่นต่อเมล็ดสีเขียว (g) ในการผสมพันธุ์ระหว่างถั่วเมล็ดกลมสีเหลืองกับเมล็ดกลมสีเหลืองด้วยกัน ได้ลูก $\frac{3}{4}$ เมล็ดกลมสีเหลือง และ $\frac{1}{4}$ เมล็ดย่นสีเหลือง ข้อใดคือจีโนไทป์ของพ่อแม่ (7 วิชาสามัญ)

1. WWGG × WWGg
2. WWGG × WwGg
3. WwGG × WwGG
4. WwGg × WwGg

จากเงื่อนไขต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อ 9-10 (มข.)

ผสมข้ามข้าวโพดสองพันธุ์ แม่พันธุ์มีฝักใหญ่และเมล็ดสีเหลืองอ่อน กับพ่อพันธุ์ฝักเล็กเมล็ดสีม่วง เมื่อนำเมล็ดรุ่นลูก F_1 มาผสมกันเอง ปรากฏว่าได้ข้าวโพดลักษณะต่างๆ ดังนี้

ฝักใหญ่ เมล็ดสีเหลืองอ่อน 120 ต้น ฝักใหญ่ เมล็ดสีม่วง 124 ต้น

ฝักเล็ก เมล็ดสีเหลืองอ่อน 40 ต้น ฝักเล็ก เมล็ดสีม่วง 38 ต้น

โดยฝักใหญ่เป็นยีนเด่น = F, ฝักเล็กเป็นยีนด้อย = f, เมล็ดสีเหลืองอ่อนยีนเด่น = Y, เมล็ดสีม่วงเป็นยีนด้อย y

9) จีโนไทป์ของรุ่น F_1 ที่ผสมกันคือ

1. FfYY × Ffyy
2. FFYy × Ffyy
3. Ffyy × FFyy
4. FfYy × Ffyy

10) ข้อใดคือฟีโนไทป์ในรุ่นลูกที่มีจีโนไทป์แบบเดียวเท่านั้น

1. ฝักเล็กเมล็ดสีเหลืองอ่อน
2. ฝักใหญ่เมล็ดสีเหลืองอ่อนกับฝักเล็กเมล็ดสีม่วง
3. ฝักเล็กเมล็ดสีม่วง
4. ฝักเล็กเมล็ดสีเหลืองอ่อนกับฝักเล็กเมล็ดสีม่วง

บทที่ 16 ยีนและโครโมโซม

1) ยีนตัวหนึ่งสร้างสายพอลิเพปไทด์ (polypeptide) ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 30 ตัว มีลำดับเริ่มต้นจากโพรลีน (Pro) สลับกับลิวซีน (Leu) ไปตลอด ถ้า CCU=Pro และ CUU=Leu ข้อใดคือลำดับนิวคลีโอไทด์ในสาย DNA ที่ถูกถอดรหัส (transcription) (7 วิชาสามัญ)

1. 3' CCU CUU CCU CUU CCU ... 5'
2. 3' GGA GAA GGA GAA GGA ... 5'
3. 3' CCT CTT CCT CTT CCT ... 5'
4. 3' GAA GGA GAA GGA GAA ... 5'

2) ถ้า mRNA สายหนึ่งมีลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น 5' AUGACUCGAUAACUG 3' ข้อใดถูกต้อง (PAT)

1. ดีเอ็นเอสายแม่พิมพ์มีลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น 5' ATGACTCGATAACTG 3'
2. แอนติโคดอนมีลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น 5' ATGACTCGATAACTG 3'
3. โปรตีนที่ได้มีกรดอะมิโน 3 ตัว
4. ข้อ 2. และ 3. ถูก

3) การเปลี่ยนแปลงใดมีผลทำให้ลักษณะฟีโนไทป์เปลี่ยนไป (PAT)

1. การเติมเบส 3 ตัวหน้าตำแหน่งเริ่มต้นของการถอดรหัส
2. การเติมลำดับเบสสำหรับกรดอะมิโนฮิสทีดีนหน้าตำแหน่งของการถอดรหัส
3. การเติมเบส 3 ตัวหน้าหลังตำแหน่งเริ่มต้นของการถอดรหัส
4. การเติมลำดับเบสสำหรับกรดอะมิโนฮิสทีดีนหลังตำแหน่งสุดท้ายของการถอดรหัส

4) จากประโยค "THE CAT ATE THE RAT ..." ประโยคในข้อใดแสดงการเกิดเฟรมชิฟท์มิวเทชัน (frameshift mutation) (7 วิชาสามัญ)

1. THE CAT ATE RAT ...
2. THE ATA TET HER ...
3. THE RAT ATE THE ...
4. THE CAT EAT THE ...

5) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับการสังเคราะห์ DNA (7 วิชาสามัญ)

1. Lagging strand ถูกสังเคราะห์อย่างต่อเนื่องในทิศทาง 5' ไป 3'
2. การสังเคราะห์ leading strand จะเกิดขึ้นพร้อมกับการสังเคราะห์ lagging strand
3. เอนไซม์ DNA polymerase มีหน้าที่สังเคราะห์ leading strand ในทิศทาง 3' ไป 5'
4. เอนไซม์ ligase มีหน้าที่เชื่อมต่อ leading strand กับ lagging strand ให้เป็นสายเดียวกัน

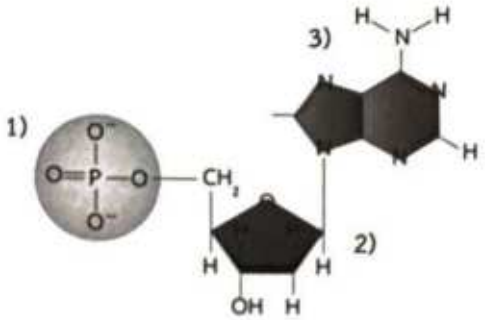
6) พอลิเพปไทด์ β-galactosidase ใน *E.coli* ประกอบด้วยกรดอะมิโน 400 ตัว ข้อใดคือความยาวของ mRNA ที่แปลรหัสเป็นพอลิเพปไทด์นี้ (7 วิชาสามัญ)

1. 1197 นิวคลีโอไทด์ 2. 1200 นิวคลีโอไทด์ 3. 1203 นิวคลีโอไทด์ 4. 1206 นิวคลีโอไทด์

7) ถ้าสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีเบสไซโทซีนเท่ากับ 16 เปอร์เซ็นต์ สิ่งมีชีวิตชนิดนี้จะมีเบสอะดีนีนกี่เปอร์เซ็นต์ (7 วิชาสามัญ)

1. 16% 2. 24% 3. 32% 4. 34%

จากภาพตอบคำถามข้อ 8)-9)



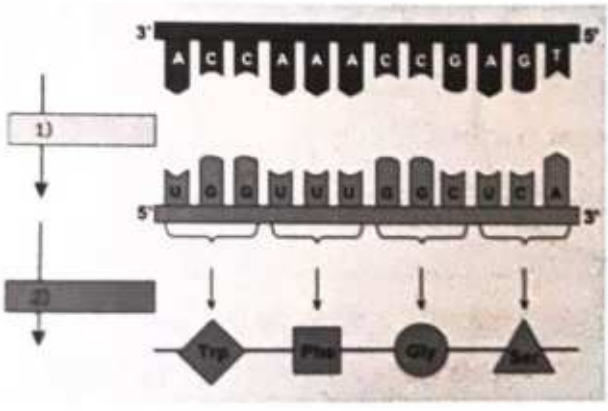
8) โครงสร้างหมายเลขใดที่เป็นตัวกำหนดรหัสพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิต

1. 1) 2. 3) 3. 2) และ 3) 4. 1) และ 3)

9) ดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอมีโครงสร้างใดที่แตกต่างกัน

1. 1) และ 2) 2. 2) และ 3) 3. 1) และ 3) 4. 1), 2) และ 3)

10) จากภาพข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง



▲ (Cr. tokresource.org)

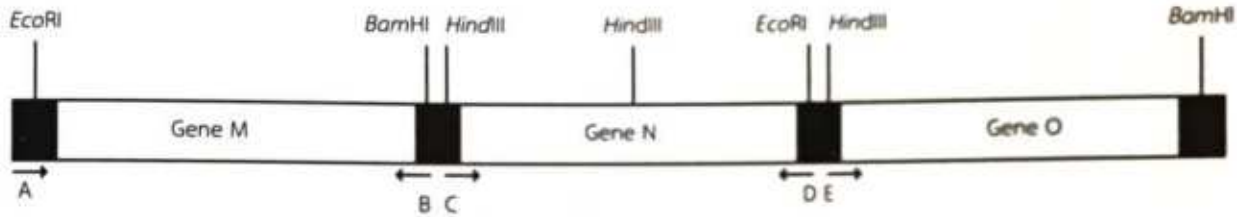
1. กระบวนการ 1) เกิดขึ้นภายในนิวเคลียส
2. กระบวนการ 2) เกี่ยวข้องกับอาร์เอ็นเอทั้ง 3 ชนิด
3. ออร์แกเนลล์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ 2) ไม่มีเยื่อหุ้ม
4. กระบวนการ 1) มีการสร้างทั้งสาย leading strand และ lagging strand

บทที่ 17 พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

1) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทางชีววิทยาเชิงโมเลกุลด้วยวิธี gel electrophoresis (7 วิชาสามัญ)
   1. การเคลื่อนที่ของ DNA เกิดจากประจุบวกของโมเลกุล
   2. DNA โมเลกุลขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก
   3. Gel electrophoresis สามารถทำให้สังเกตเห็นแถบ DNA ได้ด้วยตาเปล่า
   4. ในการแยก DNA ออกจากกันสามารถใช้ agarose หรือ polyacrylamide เป็นตัวกลางได้

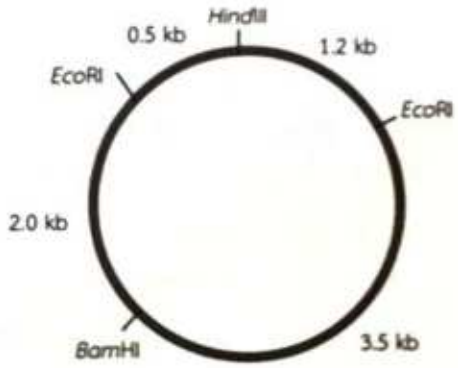
2) ข้อใดคือสิ่งจำเป็นสำหรับการเพิ่มจำนวนโมเลกุล DNA ในหลอดทดลองโดยวิธี polymerase chain reaction (7 วิชาสามัญ)
   1. ligase
   2. primer
   3. bacterial cell
   4. restriction enzyme

3) DNA ของกระต่ายส่วนหนึ่งประกอบด้วยยีน M N และ O โดยมีเอนไซม์ตัดจำเพาะในตำแหน่งต่างๆ นอกจากนี้ยังได้ออกแบบไพรเมอร์ (primer) A B C D และ E ไว้ในตำแหน่งต่างๆ อีกด้วยดังภาพ ส่วน DNA ที่เป็นสีเข้มเป็น DNA ที่ไม่ได้เป็นยีน หากต้องการโคลนยีน N จะสามารถทำได้โดยวิธีใดเหมาะสมที่สุด (7 วิชาสามัญ)



   1. ตัดด้วยเอนไซม์ *Bam*HI แล้วนำชิ้นดีเอ็นเอที่ได้ไปแทรกในพลาสมิด
   2. ตัดด้วยเอนไซม์ *Hind*III แล้วนำชิ้นดีเอ็นเอที่ได้ไปแทรกในพลาสมิด
   3. นำ DNA มาผ่านกระบวนการ polymerase chain reaction (PCR) โดยใช้ไพรเมอร์ B และ D
   4. นำ DNA มาผ่านกระบวนการ polymerase chain reaction (PCR) โดยใช้ไพรเมอร์ C และ D

4) จากแผนที่เอนไซม์ตัดจำเพาะของพลาสมิดชนิดหนึ่งเป็นดังภาพ หากตัดพลาสมิดวงนี้ด้วยเอนไซม์ *EcoRI* จะได้ผลลัพธ์อย่างไร (7 วิชาสามัญ)



   1. วงพลาสมิด 2 ขนาด คือ 1.7 และ 5.5 kb
   2. วงพลาสมิด 2 ขนาด คือ 0.5 และ 1.2 kb
   3. DNA สายตรง 2 ขนาด คือ 0.5 และ 1.2 kb
   4. DNA สายตรง 2 ขนาด คือ 1.7 และ 5.5 kb

5) เอนไซม์ในข้อใดต่อไปนี้สามารถตัดดีเอ็นเอที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ต่อไปนี้ได้ (มข.)

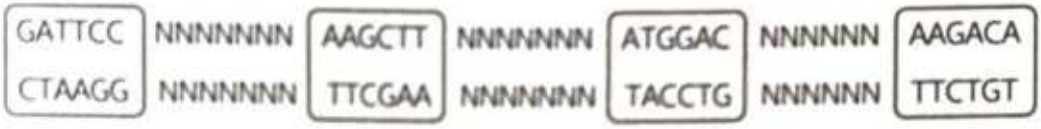
5' atggca gagcag gtggcc ctgagc cggacc cacgtg tgcggg atcctgcg 3'

1. *Eco*RI (5'-G/AATTC-3')
2. *Bam*HI (5'-G/GATCC-3')
3. *Sac*I (5'-GAGCT/C-3')
4. *Hind*III (5'-A/AGCTT-3')

6) ข้อใดต่อไปนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากโครงการจีโนม (มข.)

1. โครโมโซม X มีขนาดใหญ่กว่าโครโมโซม Y
2. การศึกษาจีโนมทำให้ทราบถึงยีนที่อยู่บนโครโมโซมทั้งหมด
3. การใช้ยีนบำบัดช่วยให้ผู้ป่วยโรคมะเร็งสามารถหายได้
4. การกลายของยีน Sex-determining region Y บนโครโมโซม Y มีผลต่อความผิดปกติของเพศชาย

7) เอนไซม์ตัดจำเพาะ (Restriction enzyme) ชนิด X สามารถตัดสาย DNA ข้างล่างนี้ได้ที่บริเวณใด (สอวน.)

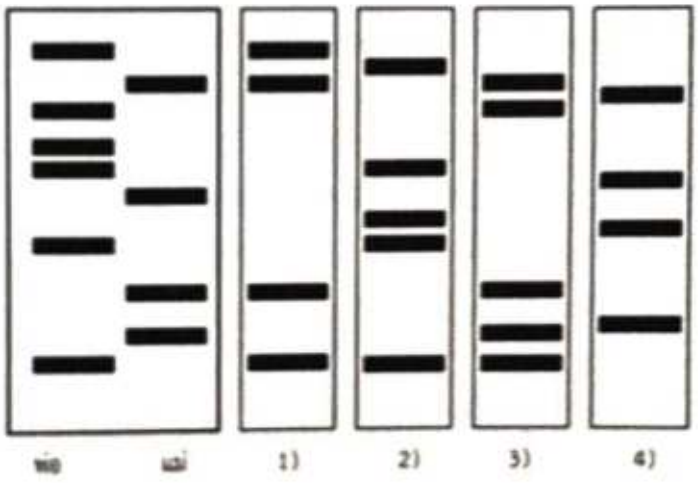


1. 1)
2. 2)
3. 3)
4. 4)

8) ข้อใดไม่ใช่ความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

1. เกิดจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่ที่ดื้อยาปฏิชีวนะ
2. ยีนจากพืชดัดแปรพันธุกรรมอาจปนเปื้อนสู่วัชพืชในสิ่งแวดล้อม
3. เกิดจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่ที่สร้างสารเคมีที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
4. ยีนแปลกปลอมจากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมอาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค

9) จากลายพิมพ์ดีเอ็นเอของสามีภรรยาคู่หนึ่งที่มีบุตรทั้งหมด 4 คน บุตรคนใดเป็นลูกติดพ่อ



1. 1)
2. 2)
3. 3)
4. 4)

10) ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการบำบัดด้วยยีน
1. ปัจจุบันการบำบัดด้วยยีนยังไม่เป็นที่แพร่หลายเพราะมีปัญหาด้านเทคนิคการใช้
2. นำยีนที่ต้องการแทรกเข้าไปในพลาสมิดของแบคทีเรียและส่งเข้าไปในร่างกายผู้ป่วย
3. เซลล์ใหม่ที่ได้รับยีนที่ต้องการจะสร้างโปรตีนที่ร่างกายผู้ป่วยไม่สามารถสร้างเองได้
4. การบำบัดด้วยยีนยังมีข้อโต้แย้งเชิงจริยธรรม เช่น การกำจัดข้อบกพร่องของเซลล์สืบพันธุ์

บทที่ 18 วิวัฒนาการ

1) ข้อใดถูก (PAT)
1. มิวเทชันที่ทำให้ได้ลักษณะใหม่ที่ดีและมีประโยชน์เกิดขึ้นในประชากรเสมอ
2. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเท่านั้นที่ทำให้ประชากรมีความแปรผันของลักษณะต่างๆ
3. วิวัฒนาการที่เพียงแต่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากรจัดเป็นวิวัฒนาการระดับจุลภาค
4. การคัดเลือกโดยธรรมชาติเป็นกระบวนการเดียวที่ทำให้สมาชิกของประชากรที่มีลักษณะไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมต้องตายไปเหลือแต่สมาชิกที่มีลักษณะเหมาะสมเท่านั้น

2) เหตุการณ์ใดทำให้เกิดลักษณะใหม่ในประชากร (7 วิชาสามัญ)
1. การเลือกคู่ผสมพันธุ์
2. ปรากฏการณ์คอขวด
3. การคัดเลือกโดยธรรมชาติ
4. มิวเทชันในระดับยีนของเซลล์สืบพันธุ์

3) ประชากรบนเกาะแห่งหนึ่งเริ่มต้นด้วยคนที่มีจีโนไทป์ AA จำนวน 90 คนและ aa จำนวน 10 คน ต่อมาเมื่อประชากรบนเกาะนี้เข้าสู่ภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก และยังคงมีขนาดเท่าเดิม จะประกอบด้วยคนที่มีจีโนไทป์แบบใดและจำนวนเท่าใด (7 วิชาสามัญ)
1. AA = 90 คน และ aa = 10 คน
2. AA = 75 คน และ aa = 25 คน
3. AA = 81 คน Aa = 18 คน และ aa = 1 คน
4. AA = 25 คน Aa = 50 คน และ aa = 25 คน

4) กระบวนการในข้อใดไม่เป็นกลไกที่นำไปสู่การเกิดวิวัฒนาการ (7 วิชาสามัญ)
1. การคัดเลือกสายพันธุ์พืชและสัตว์โดยมนุษย์
2. การผสมพันธุ์แบบสุ่มของสมาชิกในประชากรที่มีขนาดใหญ่
3. การผสมพันธุ์ระหว่างกระรอกสปีชีส์เดียวกันแต่เคยอยู่แยกกันคนละเกาะ
4. การเกิดมิวเทชันในระดับยีนทำให้สมาชิกบางส่วนประชากรมีลูกน้อยลง

5) แนวคิดเกี่ยวกับสปีชีส์ทางด้านชีววิทยาใช้สิ่งใดเป็นตัวตัดสินว่า สิ่งมีชีวิตกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเป็นสปีชีส์เดียวกันหรือไม่ (7 วิชาสามัญ)
1. มีลักษณะภายนอกและโครงสร้างทางพันธุกรรมคล้ายกัน
2. สามารถผสมพันธุ์กันได้และมีโครงสร้างทางพันธุกรรมคล้ายกัน
3. สามารถผสมพันธุ์กันได้ในธรรมชาติและให้กำเนิดลูกที่ไม่เป็นหมัน
4. สามารถผสมพันธุ์กันได้และมีลักษณะทางสัณฐานและกายวิภาคเหมือนกัน

6) *Hyla ornate* และ *Hyla chrysoscelis* เป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกซึ่งพบในบริเวณเดียวกัน มีลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกันมากเพียงแต่มีเสียงร้องและจำนวนโครโมโซมต่างกัน จากข้อมูลเท่าที่ทราบสามารถสันนิษฐานได้ว่ากลไกที่ป้องกันการผสมพันธุ์ระหว่างทั้งสองสปีชีส์น่าจะเป็นกลไกใด (7 วิชาสามัญ)

1. พฤติกรรมการสืบพันธุ์
2. ช่วงเวลาในการสืบพันธุ์
3. โครงสร้างของอวัยวะสืบพันธุ์
4. สรีรวิทยาของเซลล์สืบพันธุ์

7) ประชากรตั้งต้นที่มีขนาดใหญ่ในที่แห่งหนึ่งประกอบด้วยบุคคลที่มีจีโนไทป์และความถี่ดังนี้คือ 0.20 AA, 0.60 Aa และ 0.20 aa เมื่อมีการแต่งงานกันแบบสุ่มผ่านไปหนึ่งชั่วรุ่น ข้อใดคือความถี่ของจีโนไทป์ในลูกรุ่นที่สอง (7 วิชาสามัญ)

1. 0.20 AA, 0.60 Aa และ 0.20 aa
2. 0.25 AA, 0.50 Aa และ 0.25 aa
3. 0.30 AA, 0.50 Aa และ 0.20 aa
4. 0.49 AA, 0.42 Aa และ 0.09 aa

8) กระบวนการใดเป็นอุปสรรคต่อการเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ (7 วิชาสามัญ)

1. gene flow
2. founder effect
3. natural selection
4. non-random mating

9) ข้อใดถูก (PAT2)

1. การเกิดมิวเทชัน เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงยีนพูลในประชากรขนาดใหญ่เสมอ
2. การคัดเลือกพันธุ์ข้าวของเกษตรกร อาจทำให้ยีนพูลของประชากรข้าวเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ
3. ขอนไม้ซึ่งมีมดทั้งรังลอยมาติดเกาะแห่งหนึ่ง อาจทำให้ยีนพูลของประชากรมดบนเกาะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน
4. แม้ประชากรตั๊กแตนส่วนใหญ่จะถูกลมพัดจากเกาะไปยังแผ่นดินใหญ่ ยีนพูลของประชากรตั๊กแตนบนเกาะยังอยู่ในสภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

10) สมมติฐาน 2 สมมติฐานที่พยายามอธิบายกำเนิดของมนุษย์ในยุคปัจจุบันนั้นแตกต่างกันอย่างไร (7 วิชาสามัญ)

1. สมมติฐานแรกกล่าวว่า *Homo sapiens* มีวิวัฒนาการมาจาก *Homo erectus* แต่สมมติฐานที่สองกล่าวว่า *Homo sapiens* มีวิวัฒนาการมาจาก *Homo habilis*
2. สมมติฐานแรกกล่าวว่า *Homo sapiens* มีวิวัฒนาการเกิดขึ้นนอกทวีปแอฟริกา แต่สมมติฐานที่สองกล่าวว่า *Homo sapiens* มีวิวัฒนาการเกิดขึ้นในทวีปแอฟริกา
3. สมมติฐานแรกกล่าวว่า *Homo erectus* เป็นมนุษย์สปีชีส์แรกที่อพยพออกจากแอฟริกา แต่สมมติฐานที่สองกล่าวว่า *Homo sapiens* เป็นมนุษย์สปีชีส์แรกที่อพยพออกจากแอฟริกา
4. สมมติฐานแรกกล่าวว่ามนุษย์ในปัจจุบันเชื้อชาติต่างๆ มีวิวัฒนาการมาจากมนุษย์โบราณในหลายภูมิภาค แต่สมมติฐานที่สองกล่าวว่ามนุษย์ในปัจจุบันเชื้อชาติต่างๆ มีวิวัฒนาการมาจาก *Homo erectus* ในแอฟริกา

บทที่ 19 ความหลากหลายทางชีวภาพ

1) แท่งประสาท (nerve cord) ของสัตว์กลุ่มใดต่างจากพวก (PAT)

1. แอมฟิเบียน
2. แอนเนลิด
3. นีมาโทด
4. อาร์โทรพอด

2) สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีดีเอ็นเอ แต่ไม่มีนิวเคลียสเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มใด (PAT)

1. สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรย่อยอาร์คีแบคทีเรีย
2. สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรย่อยยูแบคทีเรีย
3. สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรโพรทิสตา
4. สิ่งมีชีวิตในโดเมนยูคาเรีย

3) จากข้อมูลความรู้เกี่ยวกับพืชในหัวข้อต่อไปนี้

1) กระบวนการปฏิสนธิ 2) การถ่ายละอองเรณู 3) การมีเมล็ด 4) การเกิดผลชนิดต่างๆ

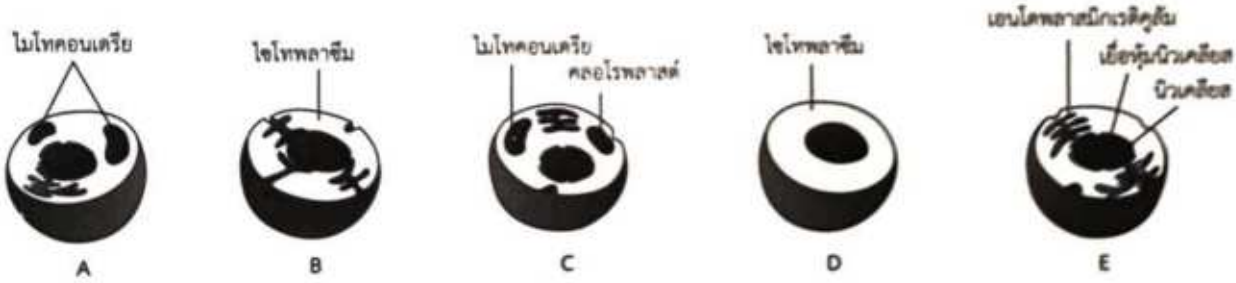
ข้อใดเป็นความแตกต่างระหว่างพืชดอกกับพืชกลุ่มสนและปรง (PAT)

1. 1)
2. 2)
3. 3) และ 4)
4. 1) และ 4)

4) สิ่งมีชีวิตที่แสดงดังรูปจัดอยู่ในไฟลัมใดและสร้างสปอร์แบบอาศัยเพศเป็นชนิดใด (PAT)

1. เบสิดิโอไมโคตา (Basidiomycota) และเบสิดิโอสปอร์ (basidiospore)
2. ไซโกไมโคตา (Zygomycota) และไซโกสปอร์ (zygospore)
3. ดิวเทอโรไมโคตา (Deuteromycota) และไม่สร้างสปอร์แบบอาศัยเพศ
4. แอสโคไมโคตา (Ascomycota) และแอสโคสปอร์ (ascospore)

จากรูปจงตอบคำถามข้อ 5)-7) (มข.)



5) ข้อใดเป็นลำดับการเกิดเซลล์ยูคาริโอตที่ถูกต้อง

1. A C B E
2. B E A C
3. C A E B
4. D E B A

6) สิ่งมีชีวิตในข้อใดมีเซลล์คล้ายแบบ C มากที่สุด

1. ราเมือก
2. อะมีบา
3. ยูกลีนา
4. ยีสต์

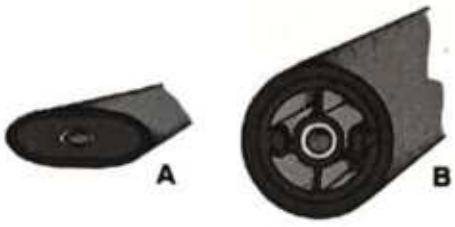
7) จากข้อ 6) ใช้เกณฑ์ใดในการบ่งบอก

1. นิวเคลียส
2. ไมโทคอนเดรีย
3. เอนโดพลาสมิกเรติคิวลัม
4. คลอโรพลาสต์

8) ในการจัดหมวดหมู่สิ่งมีชีวิต ข้อใดมีความหลากหลายของไฟลัมมากที่สุด (มข.)

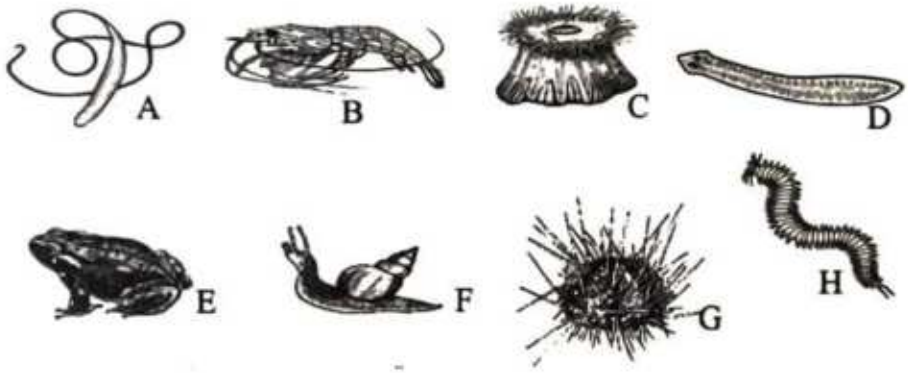
1. แมงกะพรุน พยาธิไส้เดือน ปลิงทะเล พยาธิใบไม้ อีแปะทะเล
2. เพรียงหิน ดอกไม้ทะเล ยุง กั้ง เพรียงหัวหอม
3. พยาธิใบไม้ ดาวทะเล ลิ่นทะเล ขนนกทะเล แม่เพรียง
4. ฟองน้ำ กุ้ง เพรียงหิน พยาธิใบไม้ อีแปะทะเล

9) สิ่งมีชีวิตในข้อใดมีชั้นของเนื้อเยื่อตัวอ่อนสอดคล้องกับภาพ A และ B ตามลำดับ (มข.)



1. พยาธิใบไม้ในเลือด ซาลามานเดอร์
2. ปะการัง พยาธิตัวตืด
3. พลานาเรีย พยาธิไส้เดือน
4. พยาธิแส้ม้า หอยแมลงภู่

จากรูปจงตอบคำถามข้อ 10-11 (มข.)



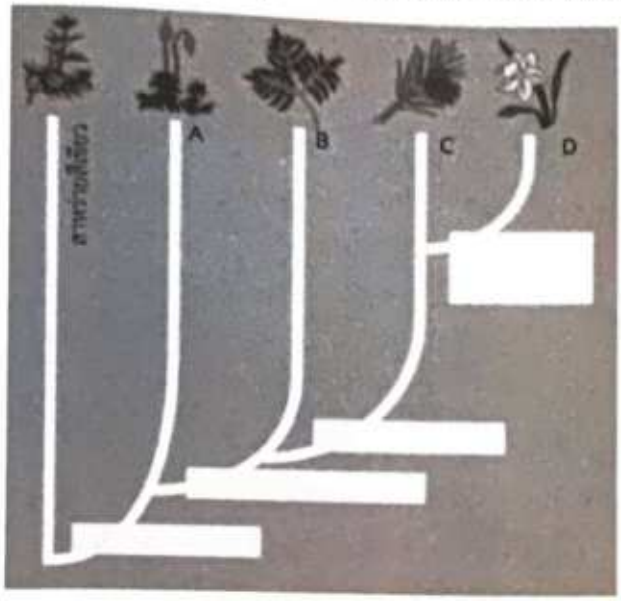
10) ข้อใดจัดอยู่ในกลุ่มที่มีทวารหนักเกิดก่อนปากทั้งหมด

1. A, C
2. B, D
3. E, G
4. F, H

11) ข้อใดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันโดยใช้ลักษณะของตัวอ่อนที่คล้ายกัน

1. A, E
2. C, G
3. D, H
4. F, H

12) ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับสายวิวัฒนาการของอาณาจักรพืช



1. พืชกลุ่ม A มีระยะแกมีโทไฟต์เด่นกว่าระยะสปอโรไฟต์
2. พืชกลุ่ม B ประกอบไปด้วยหวายทะนอย เฟิน มะเมื่อย
3. พืชกลุ่ม C ไม่มีเนื้อเยื่อผลหุ้มเมล็ดและออวุลติดบนกิ่ง
4. พืชกลุ่ม D เริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่ยุคครีเทเชียสเป็นต้นมา

จากไดโคโตมัสคีย์ของอาณาจักรโพรทิสตา จงตอบคำถามข้อ 13)-15)

1. ก ไม่มีไมโทคอนเดรีย	ดูข้อ 2)
1. ข มีไมโทคอนเดรีย	ดูข้อ 3)
2. ก มีแฟลเจลลาหลายเส้น	ไดโพลโมนาดิดา
2. ข มีแฟลเจลลาเป็นคู่	A)
3. ก มีช่องว่างแอลวีโอไลใต้เยื่อหุ้มเซลล์	แอลวีโอลาตา ดูข้อ 4)
3. ข เซลล์สืบพันธุ์มีแฟลเจลลาสองเส้น	สตรามีโนไพลส์ ดูข้อ 6)
4. ก สังเคราะห์ด้วยแสงได้	B)
4. ข สังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้	ดูข้อ 5)
5. ก ไม่มีโครงสร้างในการเคลื่อนที่มักเป็นปรสิต	C)
5. ข ใช้ซิเลียในการเคลื่อนที่	D)
6. ก มีสารสีน้ำตาลฟิวโคแซนทิน	ดูข้อ 7
6. ข ไม่มีสารสีน้ำตาล	ดูข้อ 8
7. ก มีขนาดใหญ่โครงสร้างซับซ้อน	E)
7. ข มีขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า	F)
8. ก มีสารสีแดงไฟโคอิริทริน	G)
8. ข ไม่มีสารสีอื่นนอกเหนือจากสีเขียว	H)

13) กลุ่มใดจัดว่าเป็นสาหร่าย (algae)

1. A, B, D, E, F
2. B, C, E, F, G
3. C, D, E, G, H,
4. B, E, F, G, H

14) ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

1. A ดำรงชีวิตแบบภาวะพึ่งพาในลำไส้ปลวก
2. C เป็นสาเหตุของโรคมาลาเรียโดยมียุงเป็นพาหะ
3. G เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬ
4. H มีความใกล้ชิดทางวิวัฒนาการกับอาณาจักรพืชมากที่สุด

15) สิ่งมีชีวิตดังรูปตรงกับโพรทิสต์กลุ่มใด

ภาพที่ 1	ภาพที่ 2
▲ (Cr. colorado.edu)	▲ (Cr. wikimedia.org)

	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2
1.	E	C
2.	F	D
3.	G	E
4.	H	F

บทที่ 20 ระบบนิเวศ

1) ความสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรีย A และ B ในตารางเหมือนกับความสัมพันธ์ในข้อใด (PAT)

แบคทีเรีย	สารที่ต้องการในการเติบโต	สารที่สังเคราะห์ได้
A	ไลซีน	ไรโบฟลาวิน
B	ไรโบฟลาวิน	ไลซีน

1. แบคทีเรีย-ไวรัสแบคทีริโอฟาจ
2. ปลวก-โพรโทซัวในลำไส้ปลวก
3. ปลา-แพลงก์ตอน
4. หนู-แบคทีเรียเลปโตสไปรา

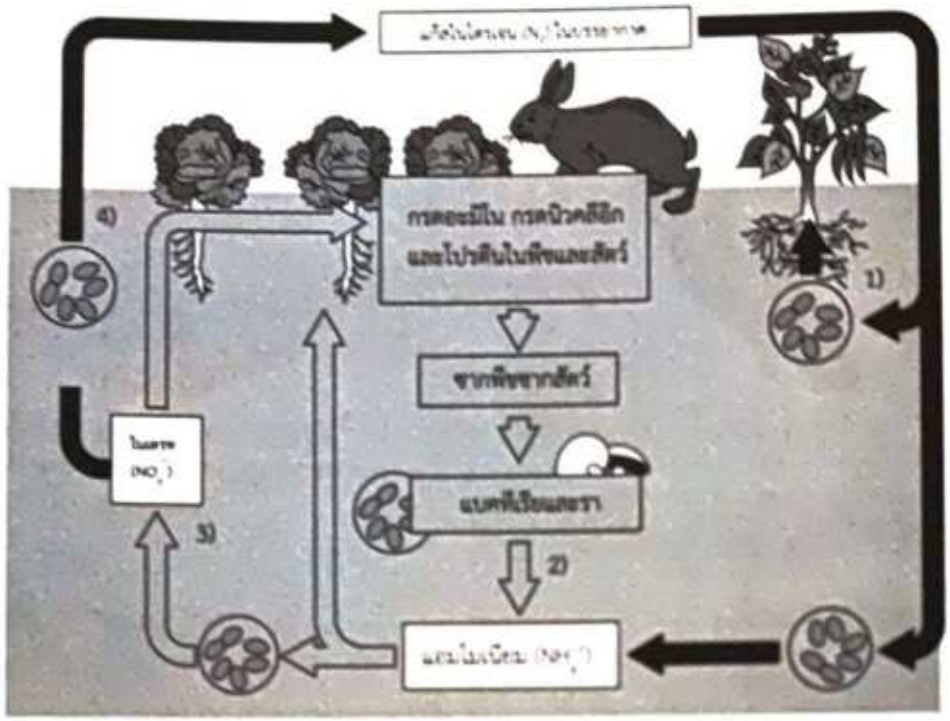
2) จากคำพังเพย "ดินดีเพราะป่าปก หญ้ารกเพราะเสือยัง" มีความเกี่ยวข้องกับแนวความคิดทางนิเวศวิทยาในข้อใด (Ent)

1. ระบบนิเวศ
2. ห่วงโซ่อาหาร
3. สังคมของสิ่งมีชีวิต
4. ภาวะการได้ประโยชน์ร่วมกัน

3) เอื้อและเกษหลงเก็บตัวอย่างน้ำและดินจากพื้นที่ป่าแห่งหนึ่งไปตรวจในห้องปฏิบัติการ พบว่าน้ำมีความเป็นกรดสูงมาก มีสีน้ำตาล และพบว่าดินมีปริมาณอินทรียสารสูง พื้นที่ป่าที่สำรวจเป็นพื้นที่ป่าในข้อใด

1. ป่าพรุ (peat swamp forest)
2. ป่าชายเลน (mangrove forest)
3. ป่าดิบชื้น (tropical rainforest)
4. ป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest)

จากแผนภาพใช้ตอบคำถามข้อ 4)-5)



4) กระบวนการใดไม่มีบทบาทโดยตรงต่อการสร้างสารประกอบต่างๆ ภายในพืช (A-NET)

1. 1)
2. 2)
3. 3)
4. 4)

5) ข้อใดมีความสัมพันธ์เหมือนกับคู่สิ่งมีชีวิตในกระบวนการ 1)

1. แบคทีเรียกับราเพนนิซิเลียม
2. ตัวอ่อนของตัวต่อในหนอนผีเสื้อ
3. สาหร่ายซูแซนเทลเลกับปะการัง
4. ไพรโทซัวไดโนแฟลเจลเลตกับปลาทะเล

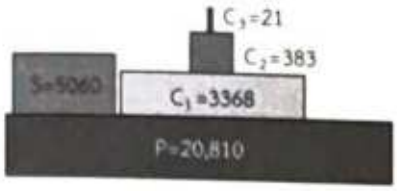
6) จงพิจารณาลำดับการเปลี่ยนแปลงแทนที่ในสถานการณ์นี้แล้วตอบคำถาม

ไลเคน ⟶ มอสและไม้ล้มลุก ⟶ หญ้าและไม้พุ่ม ⟶ ป่าสน ⟶ ป่าผลัดใบเขตอบอุ่น

ข้อใดกล่าวถูกต้อง (7 วิชาสามัญ)

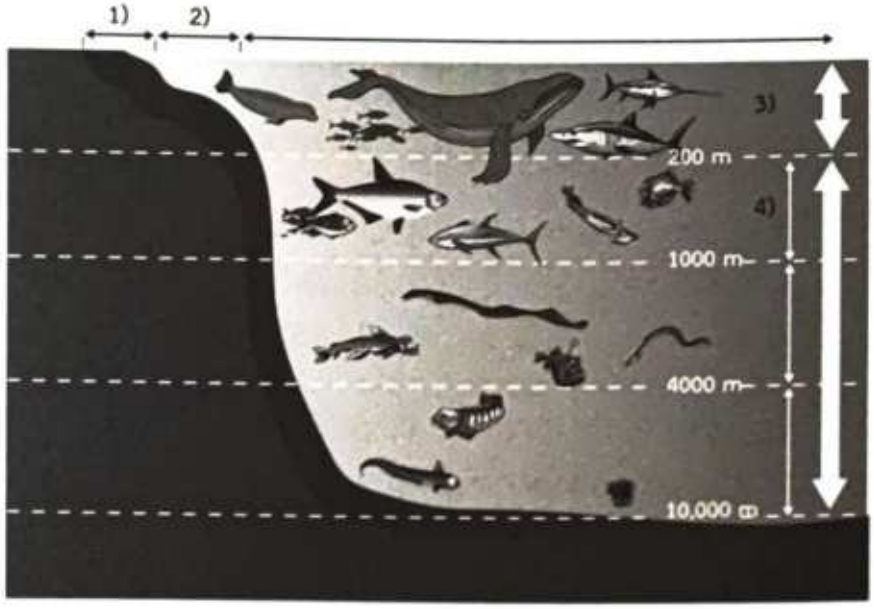
1. การเปลี่ยนแปลงแทนที่ดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบทุติยภูมิ
2. ทั้งป่าสนและป่าผลัดใบเขตอบอุ่นจัดเป็นสังคมสมบูรณ์ (climax community)
3. การเปลี่ยนแปลงแทนที่ดังกล่าวเกิดขึ้นได้ทุกแห่งในประเทศไทย
4. กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่จะดำรงอยู่นานที่สุดจนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งคือ กลุ่มสิ่งมีชีวิตในป่าผลัดใบเขตอบอุ่น

7) จากแผนภาพพีระมิดพลังงานหากมนุษย์ล่าสิ่งมีชีวิต C_3 จนประชากรลดจำนวนลง ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง



1. พีระมิดพลังงานจะมีฐานแคบลง
2. สิ่งมีชีวิต S จะมีมวลชีวภาพมากขึ้น
3. พลังงานที่ C_2 ได้รับจาก C_1 จะลดลง
4. พลังงานที่ C_3 ได้รับจาก C_2 จะมากขึ้น

จากภาพใช้ตอบคำถามข้อ 8)-9)



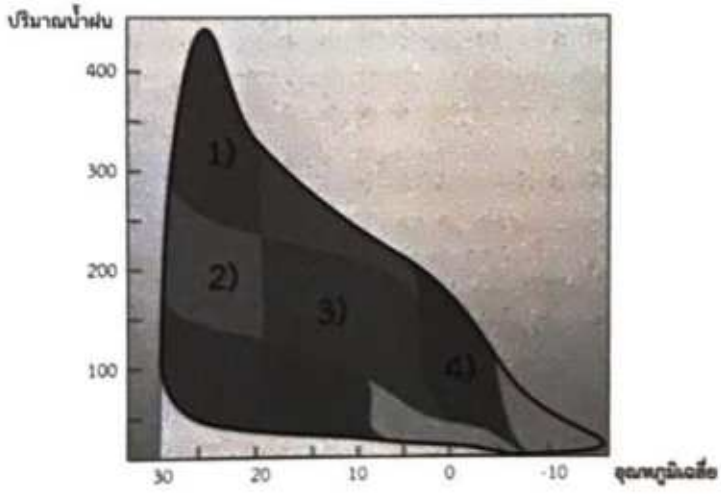
8) บริเวณใดที่มีความหลากหลายทางชีวภาพและผลผลิตมวลชีวภาพสูงที่สุด

1. 1) 2. 2) 3. 3) 4. 4)

9) สิ่งมีชีวิตที่อาศัยบริเวณใดที่ต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ผันแปรมากที่สุด

1. 1) 2. 2) 3. 3) 4. 4)

จากแผนภาพใช้ตอบคำถามข้อ 10)



10) เซมชาติพาหนูเล็กไปเยี่ยมชมดอกซากุระบานและใบไม้เปลี่ยนสีที่ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งตรงกับไบโอมตามหมายเลขใด

1. 1) 2. 2) 3. 3) 4. 4)

บทที่ 21 ประชากร

1) ถ้าหาความหนาแน่นของประชากรของพืชชนิดหนึ่ง โดยการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method) ได้จำนวนต้นพืชตามข้อมูลดังภาพ ข้อใดคือขนาดของประชากรของพืช (มข.)

	30		15		20		10
10		48		21		80	
	42		25		40		24
20		20		35		40	

1. 480 ต้น
2. 512 ต้น
3. 960 ต้น
4. 1024 ต้น

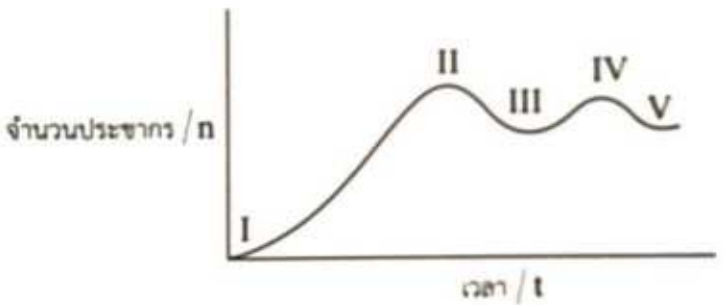
2) กราฟการรอดชีวิตรูปแบบที่ 1 (Type I survivorship curve) พบได้ในประชากรสิ่งมีชีวิตพวกใด (7 วิชาสามัญ)

1. สัตว์กินพืช
2. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังทุกชนิด
3. สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่
4. สิ่งมีชีวิตที่สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

3) การจัดการในแนวทางใดมีผลให้ประชากรนกในพื้นที่อนุรักษ์แห่งหนึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้พื้นที่แห่งนี้สามารถรองรับประชากรนกได้มากกว่าเดิม (7 วิชาสามัญ)

1. ลด environmental resistance และลด carrying capacity
2. ลด environmental resistance และเพิ่ม carrying capacity
3. เพิ่ม environmental resistance และเพิ่ม carrying capacity
4. เพิ่ม environmental resistance และลด carrying capacity

จากกราฟตอบใช้คำถามข้อ 4)-5)



4) สิ่งใดเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงประชากรในช่วง II ⟶ III

1. การเกิด = การตาย, การอพยพเข้า < การอพยพออก
2. การเกิด > การตาย, การอพยพเข้า > การอพยพออก
3. การเกิด > การตาย, การอพยพเข้า < การอพยพออก
4. การเกิด > การตาย, การอพยพเข้า = การอพยพออก

5) ตำแหน่งใดมีค่าใกล้เคียง carrying capacity มากที่สุด

1. II
2. III
3. IV
4. V

6) นักนิเวศวิทยาต้องการหาความหนาแน่นของประชากรนกพิราบในสวนแห่งหนึ่ง เขาจับนกพิราบในสวนนั้นมา 100 ตัว ใส่ห่วงขานกเหล่านั้นทั้งหมดแล้วปล่อยไป วันต่อมาเขาจับนกพิราบในสวนนั้นอีกครั้ง ได้นกที่มีห่วงขา 20 ตัว และนกที่ไม่มีห่วงขา 80 ตัว นกพิราบในสวนนั้นมีประมาณกี่ตัว (7 วิชาสามัญ)

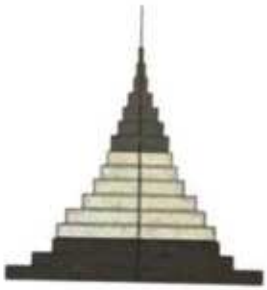
1. 200 ตัว
2. 250 ตัว
3. 400 ตัว
4. 500 ตัว

7) ปัจจัยใดมีอิทธิพลน้อยที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นประชากรของสัตว์ตามฤดูกาล (PAT2)

1. พฤติกรรมการสืบพันธุ์
2. ขนาดของพื้นที่ทั้งหมดที่ศึกษา
3. ตัวต้านทานในสิ่งแวดล้อม
4. ขนาดของพื้นที่ที่ประชากรอาศัยอยู่จริง

8) จากโครงสร้างพีระมิดประชากร ประเทศใดจะประสบปัญหาขาดแรงงานในอนาคต

1.



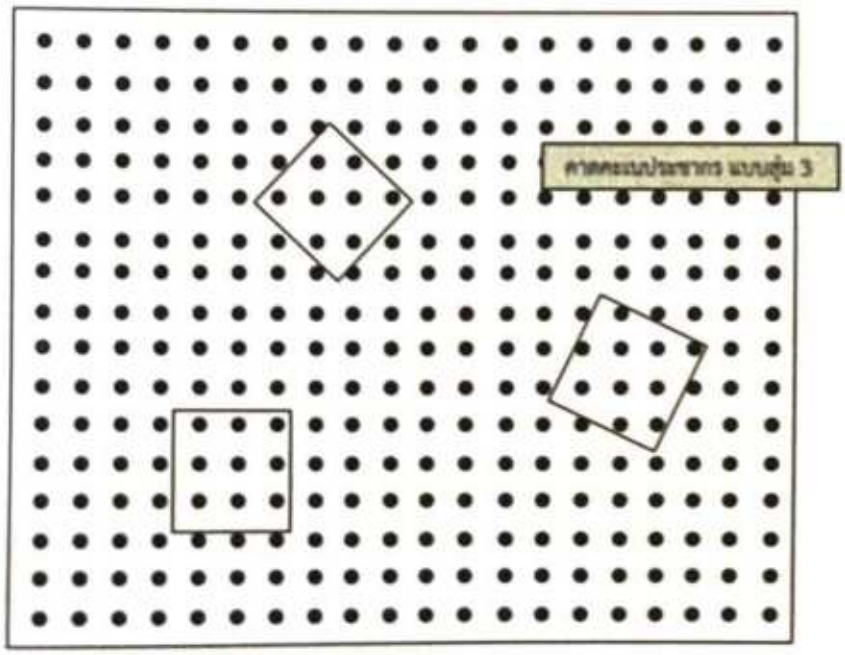
2.

3.

4.

จากแผนภาพใช้ตอบคำถามข้อ 9)-10) (มข.)

ในการวัดขนาดประชากรในพื้นที่ 36 ตารางเมตร ด้วยกรอบนับประชากรขนาด 1 ตารางเมตร



9) ในพื้นที่นี้ประชากรมีการกระจายแบบใด

1. uniform distribution
2. random distribution
3. clumped distribution
4. radial distribution

10) จากการใช้กรอบนับประชากร พื้นที่นี้มีความหนาแน่นประชากรเป็นเท่าใด

1. 8 หน่วย/ตารางเมตร
2. 9 หน่วย/ตารางเมตร
3. 10 หน่วย/ตารางเมตร
4. 11 หน่วย/ตารางเมตร

บทที่ 22 มนุษย์กับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม

1) ข้อใดเป็นผลของการแพร่กระจายของพืชที่เป็นชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกราน (invasive alien species) (PAT)

1. มีการแทนที่พันธุ์พื้นเมืองเดิม
2. มีการผสมกับพันธุ์พื้นเมืองเดิม
3. ปรับตัวเข้ากับชนิดพันธุ์ที่มีอยู่เดิม
4. พันธุ์ต่างถิ่นไม่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้

2) สวนพฤกษศาสตร์และสวนรุกขชาติแตกต่างกันตามข้อใด (PAT)

1. สวนพฤกษศาสตร์เป็นสวนที่มีพื้นที่มากกว่าสวนรุกขชาติ
2. สวนพฤกษศาสตร์สร้างขึ้นเพื่อเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ แต่สวนรุกขชาติสร้างขึ้นเพื่อการศึกษาวิจัย
3. สวนพฤกษศาสตร์เป็นแหล่งรวบรวมพันธุ์ไม้ในท้องถิ่น แต่สวนรุกขชาติเป็นแหล่งรวบรวมพันธุ์ไม้ทั้งในและนอกประเทศ
4. สวนพฤกษศาสตร์ไม่มีการจัดลำดับหมวดหมู่ของพันธุ์ไม้ แต่สวนรุกขชาติมีการจัดลำดับหมวดหมู่ของพันธุ์ไม้เพื่อการศึกษาวิจัย

3) แหล่งน้ำใดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไป และผ่านการฆ่าเชื้อเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการประมงและการกีฬาได้ (PAT)

	แหล่งน้ำ	DO (mg/l)	BOD (mg/l)
1.	A	> 6.0	< 1.5
2.	B	> 4.0	> 2.0
3.	C	> 2.0	< 4.0
4.	D	< 2.0	> 4.0

4) วัตถุประสงค์สำคัญของการปลูกพืชวงศ์ถั่วหนุนเวียนกับพืชไร่อื่น คือข้อใด (PAT)

1. เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน
2. ป้องกันการพังทลายของหน้าดิน
3. ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน
4. เลือกใช้ประโยชน์จากที่ดินให้เหมาะสมกับลักษณะของดิน

5) ในการตรวจวัดค่า DO, BOD และ COD ในน้ำทิ้งจากโรงงานต่างๆ ได้ผลดังนี้ (มข.)

โรงงาน	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)
ขนมจีน	2.3	160	180
น้ำตาล	2.2	110	170
แป้งมัน	2.4	150	170
อาหารกระป๋อง	2.4	130	150

จากข้อมูลดังกล่าวโรงงานใดปล่อยน้ำเสียออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมากที่สุด

1. โรงงานขนมจีนและโรงงานแป้งมัน
2. โรงงานขนมจีนและโรงงานน้ำตาล
3. โรงงานน้ำตาลและโรงงานอาหารกระป๋อง
4. โรงงานขนมจีนและโรงงานอาหารกระป๋อง

6) ข้อใดถูก (PAT)

1. คาร์บอนมอนอกไซด์อาจทำให้เกิดอาการมึนงง สายตาพร่ามัว ปวดศีรษะ คลื่นไส้ แต่จะไม่เป็นอันตรายจนทำให้เสียชีวิต
2. เมื่อร่างกายได้รับคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไป คาร์บอนมอนอกไซด์จะเข้าไปรวมตัวกับออกซิเจนในเลือด ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน
3. ผู้ที่อาศัยอยู่บนตึกสูงมีโอกาสได้รับคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสียรถยนต์ในปริมาณใกล้เคียงกันกับผู้ที่อาศัยในระดับเดียวกับถนน
4. คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นมลสารที่เกิดจากการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ถ่านหิน และน้ำมันปิโตรเลียม เป็นต้น

7) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับชนิดพันธุ์ต่างถิ่น (A-NET)

1) อาจเป็นสาเหตุให้ความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศลดลง
2) อาจเป็นสาเหตุให้ประชากรชนิดพันธุ์พื้นเมืองเดิมบางชนิดลดลง
3) หลายชนิดมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

1. 1) และ 2)
2. 1) และ 3)
3. 2) และ 3)
4. 1), 2) และ 3)

8) ข้อใดคือการกระทำที่แสดงถึงการแปรสภาพทรัพยากรเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือการรีไซเคิล (recycle)

1. น้ำผึ้งนำกระดาษหนังสือพิมพ์เก่ามาเช็ดกระจก
2. เมเปิ้ลใช้ถุงพลาสติกที่ได้จากร้านค้ามาเป็นถุงขยะ
3. หนูเล็กนำขี้เลื่อยมามาบีบอัดเป็นถ่านใช้เป็นเชื้อเพลิง
4. ลินีใช้จานตัวเองไปซื้ออาหารกลางวันแทนการใช้กล่องโฟม

9) ข้อใดไม่ใช่สาเหตุสำคัญของการลดลงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ เช่น ช้าง เสือ วัวแดงในประเทศไทย

1. การตัดไม้ทำลายป่า
2. การล่าเพื่อเกมกีฬา
3. การล่าเพื่อนำชิ้นส่วนมาเป็นยาบำรุง
4. การล่าเพื่อนำส่วนต่างๆ มาเป็นเครื่องประดับ

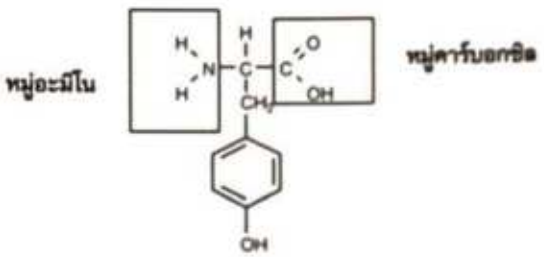
10) ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง
   1. พื้นที่ทำนากุ้งกุลาดำมีความเสี่ยงของการเกิดดินเค็มสูง
   2. สารพิษจากขยะมูลฝอยสามารถถ่ายทอดไปตามโซ่อาหารได้
   3. การเผาวัชพืชบนหน้าดินเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน
   4. การทำเกษตรกรรมแบบขั้นบันไดช่วยป้องกันการพังทลายของหน้าดินได้

เฉลยวัดฝีมือ ตะลุยโจทย์...

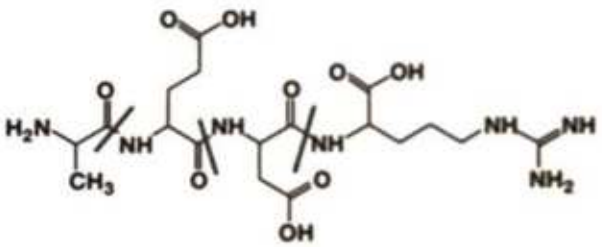
บทที่ 2 เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต

1) **ตอบ 3.** เพราะการรวมตัวกันของน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุลจะมีการเสียน้ำออกมา 1 โมเลกุล (dehydration) เพื่อสร้างพันธะไกลโคซิดิก 1 พันธะ ดังนั้น การรวมกันของกลูโคส 10 โมเลกุล จะเกิดพันธะไกลโคลซิดิกทั้งหมด 9 พันธะ และมีการสูญเสียน้ำ 9 โมเลกุล เมื่อคำนวณจึงได้ว่า 10 $(C_6H_{12}O_6)$ - $9H_2O$ = $C_{60}H_{102}O_{51}$

2) **ตอบ 2.** เพราะจากโมเลกุลมีหมู่ฟังก์ชันอะมิโนและคาร์บอกซิลอยู่ในโมเลกุล จึงเป็นกรดอะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีน



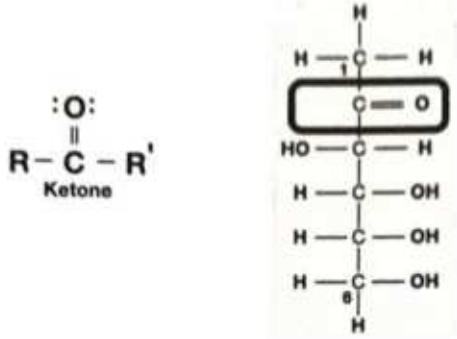
3) **ตอบ 4.** เพราะจากโมเลกุลมีพันธะเพปไทด์ทั้งหมด 3 พันธะ (ดังรูป) ประกอบด้วยกรดอะมิโน 4 โมเลกุล และมีกรดอะมิโน 4 ชนิด (ดูจากหมู่อัลคิล)



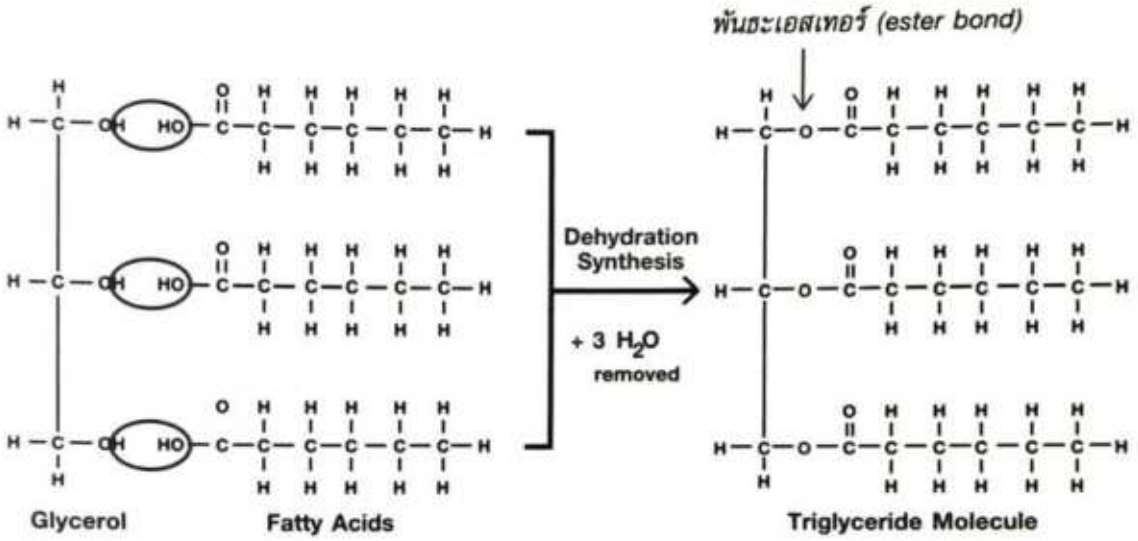
4) **ตอบ 2.** เพราะเซลลูโลสและอะไมโลเพกทินต่างก็มีหน่วยย่อยคือน้ำตาลกลูโคสที่เรียงต่อเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่เซลลูโลสโมเลกุลจะเป็นโซ่ตรง (พันธะ β 1-4 glycosidic bond) ส่วนอะไมโลเพกทินคือกลูโคสหลายโมเลกุลจับกันเป็นโซ่แตกแขนง โดยสายตรงยาวต่อกันด้วย α 1-4 glycosidic bond ส่วนโซ่กิ่งต่อกันด้วยพันธะ α 1-6 glycosidic bond

5) **ตอบ 4.** เนย เพราะจากภาพคือ triglyceride ซึ่งเป็นลิพิดจึงพบในเนยมากที่สุด

6) **ตอบ 4.** น้ำตาล hexose และน้ำตาลกลุ่ม ketose เพราะจากโมเลกุลเป็นน้ำตาลที่มีจำนวนคาร์บอน 6 อะตอม จึงเป็นน้ำตาล hexose และดูจากโซ่ตรงแล้วเป็นน้ำตาล ketose เพราะมีหมู่ฟังก์ชันคีโตนเป็นองค์ประกอบ คือ น้ำตาลฟรักโทส



7) **ตอบ 4.** คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิล เพราะไขมันทั่วไปที่เป็นไตรกลีเซอไรด์เกิดจากการรวมตัวกันของ 1 กลีเซอรอล + 3 กรดไขมัน โดยหมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอล จับกับหมู่คาร์บอกซิลของกรดไขมัน



8) **ตอบ 1.** เบสพิวรีน เพราะทั้ง DNA และ RNA ต่างมีเบสพิวรีน (A และ G) เหมือนกัน แต่มีเบสพิริมิดีนต่างกัน โดย DNA จะมีเบส T และ C ส่วน RNA จะมีเบส U และ C โดย DNA มีน้ำตาลดีออกซีไรโบสเป็นองค์ประกอบ ส่วน RNA มีน้ำตาลไรโบสเป็นองค์ประกอบ

9) **ตอบ 3.** protein เพราะจากโมเลกุลมีหมู่ฟังก์ชันอะมิโน และคาร์บอกซิลอยู่ในโมเลกุลจึงเป็นกรดอะมิโน

10) **ตอบ 4.** เพราะข้อ 1. กล่าวผิด น้ำตาลฟรักโทสเป็นน้ำตาลคีโตสไม่ใช่น้ำตาลแอลโดส และข้อ 4. กล่าวผิด เซลลูโลสเป็นพอลิแซกคาไรด์ที่เป็นโซ่ตรง ส่วนอะไมโลเพกทินเป็นพอลิแซกคาไรด์ที่เป็นโซ่กิ่งแตกแขนง

บทที่ 3 เซลล์ของสิ่งมีชีวิต

1) **ตอบ 3.** กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตัวกล้องอยู่ในสุญญากาศและมีการปล่อยลำแสงอิเล็กตรอนให้ไปกระทบกับตัวอย่างที่ศึกษา จากนั้นจะเกิดภาพจริงที่จอรับภาพ ดังนั้น จึงไม่สามารถเห็นภาพด้วยตาเปล่าได้เหมือนกับกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา และกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

2) **ตอบ 2.**

จากสูตร ขนาดจริงของวัตถุ $= \frac{\text{ขนาดภาพที่ปรากฏจากกล้องจุลทรรศน์}}{\text{กำลังขยายของกล้อง}}$

แทนค่า $= \frac{12}{40 \times 10}$

$= 0.03$ mm (แปลงหน่วย mm เป็น μm โดยการคูณด้วย 10^3)

$= 0.03 \times 10^3$ μm

$= 30$ μm

ดังนั้น เม็ดเลือดแดง 4 เม็ดเรียงต่อกันมีขนาด 30 μm ถ้า 1 เม็ดเลือดจะมีขนาด $= \frac{30}{4} = 7.5$ μm

3) **ตอบ 1.** ไมโทคอนเดรียพบในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้นเหมือนกับนิวเคลียส ของเหลวภายในเรียกว่า แมทริกซ์ โดยทำหน้าที่เกี่ยวกับการหายใจระดับเซลล์เพื่อสร้างพลังงานให้กับเซลล์

4) **ตอบ 2.** การลำเลียงสารออกจากเซลล์ (exocytosis) เป็นการลำเลียงสารขนาดใหญ่ออกจากเซลล์โดยการบรรจุเป็นถุงเวสิเคิล (vesicle) เมื่อถุงเวสิเคิลเคลื่อนที่มารวมตัวกับเยื่อหุ้มเซลล์ สารจะถูกปล่อยออกนอกเซลล์ ตัวอย่างเช่น การกำจัดกากอาหารที่เหลือจากการย่อยของเซลล์ การหลั่งเอนไซม์ ฮอร์โมนออกนอกเซลล์

5) **ตอบ 2.** การแลกเปลี่ยนแก๊สบริเวณถุงลมปอดเป็นการลำเลียงสารโดยการแพร่แบบธรรมดา และการกำจัดแบคทีเรียของนิวโทรฟิลเป็นการลำเลียงสารโดยฟาโกไซโทซิสอาศัยเท้าเทียม

6) **ตอบ 3.** เมื่อนำกระเพาะปัสสาวะของสุกรมาบรรจุสารละลายน้ำตาล (ความเข้มข้นมาก) แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่น (ความเข้มข้นน้อยกว่า) จะเกิดการออสโมซิสเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นมากกว่า ในที่นี้น้ำเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะ จึงทำให้น้ำหนักของกระเพาะปัสสาวะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปจะถึงจุดสมดุลของสารทั้ง 2 บริเวณ น้ำหนักของกระเพาะปัสสาวะก็จะไม่เพิ่มขึ้น

7) **ตอบ 3.** gap junction ช่องเล็กๆ ระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกัน เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 nm ช่วยในการสื่อสารกันระหว่างเซลล์ อีกทั้งยังช่วยให้ความแข็งแรงแก่เซลล์และยอมให้โมเลกุลเล็กๆ และไอออนผ่านเข้า-ออก ซึ่งมีความสำคัญในกล้ามเนื้อหัวใจ (เกี่ยวข้องกับการเกิดไซแนปส์ทางไฟฟ้า) และกล้ามเนื้อเรียบในร่างกาย

8) **ตอบ 3.** SER จะทำหน้าที่กำจัดสารพิษดังกล่าวออกนอกเซลล์ซึ่งจะพบมากที่เซลล์ตับ ทั้งนี้การลำเลียงสารออกนอกเซลล์จำเป็นต้องอาศัยพลังงานโดยได้จากไมโทคอนเดรียเป็นผู้สร้างพลังงานให้แก่เซลล์

9) **ตอบ 2.** ไซยาโนแบคทีเรียไม่มีโครงสร้างของเยื่อหุ้มนิวเคลียสและไมโครทิวบูล เพราะเป็นเซลล์โพรคาริโอต

10) **ตอบ 1.** ด.ญ.จ๊ะจ๋ามีอาการท้องเสีย แพทย์วินิจฉัยว่าเกิดจากสารพิษ (toxin) จากแบคทีเรียจะไปทำลาย tight junction ซึ่งทำหน้าที่ยึดติดกันของเซลล์ 2 เซลล์ที่มีการเชื่อมกันสนิทคล้ายกำแพงที่ฉาบปูนแน่น ป้องกันไม่ให้สารไหลผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ พบภายในลำไส้เล็ก เซลล์บุท่อไต และกระเพาะปัสสาวะ

11) **ตอบ 4.** A คือ ระยะแอนาเฟส, B คือ ระยะโพรเฟส, C คือ ระยะอินเตอร์เฟส, D คือ ระยะเทโลเฟส และ E คือ ระยะเมทาเฟส ดังนั้น ต้องเรียงลำดับดังนี้ C → B → E → A → D

12) **ตอบ 4.** ไม่มีข้อใดถูก

ข้อ 1. ผิด เพราะเซลล์ต่างชนิดกันใช้ระยะเวลาในวัฏจักรของเซลล์ที่แตกต่างกัน

ข้อ 2. ผิด เพราะระยะอินเตอร์เฟสประกอบด้วยระยะย่อยตามลำดับ คือ G_1-S-G_2

ข้อ 3. ผิด เพราะการสังเคราะห์ดีเอ็นเอจะเกิดขึ้นในระยะ S

13) **ตอบ 3.** แอนาเฟส I เพราะเป็นการแยกกันของฮอมอโลกัสโครโมโซมซึ่งเกิดขึ้นในไมโอซิส I และในเซลล์มีทั้งหมด 8 โครโมโซม โดยนับจากจำนวนเซนโทรเมียร์ ดังนั้น เซลล์ในภาพนี้มีโครโมโซม 2n=8

14) **ตอบ 1.** ระยะโพรเฟส I เพราะเกิดกระบวนการครอสซิงโอเวอร์แลกเปลี่ยนชิ้นส่วนพันธุกรรมระหว่างฮอมอโลกัสโครโมโซม ซึ่งมีโอกาสเกิดการกลายสูงที่สุด

15) **ตอบ 3.** เพราะการแบ่งเซลล์บริเวณปลายรากหอมเป็นการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ใหม่จึงมีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม

ข้อ 1. ผิด เพราะต้องเป็นการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

ข้อ 2. ผิด เพราะการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสต้องได้จำนวนเซลล์ 2 เซลล์

ข้อ 4. ผิด เพราะเซลล์ปลายรากหอมเป็นเซลล์พืช เซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการสร้างแผ่นกั้นเซลล์

16) **ตอบ 1.** การสร้างอสุจิอาศัยการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ซึ่งจะให้เซลล์ลูกทั้งหมด 4 เซลล์ และมีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง จากเซลล์ต้นกำเนิดซึ่งมีจำนวนโครโมโซม 46 แท่ง ดังนั้น ในเซลล์อสุจิมีจำนวนโครโมโซมเพียง 23 แท่ง

17) **ตอบ 3.** ผิด เพราะการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสสามารถเกิดขึ้นในเซลล์แฮพลอยด์ได้

ข้อ 1. ถูกต้อง เพราะการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสไม่มีการเข้าคู่ของฮอมอโลกัสโครโมโซม และไม่เกิดครอสซิงโอเวอร์

ข้อ 2. ถูกต้อง เพราะการจำลองโครโมโซมจะเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวในระยะ S ของระยะอินเตอร์เฟสในไมโทซิสและอินเตอร์เฟส I ในไมโอซิส I เพียงครั้งเดียว

ข้อ 4. ถูกต้อง เพราะเซนโทรเมียร์ของโครโมโซมจะแยกออกจากกันในระยะแอนาเฟสในไมโทซิส และแอนาเฟส II ในไมโอซิส II เพียงครั้งเดียว

18) **ตอบ 1.** ถูกต้อง เพราะการแบ่งเซลล์แบบ B คือ การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสซึ่งเกิดขึ้นในเซลล์ดิพลอยด์เท่านั้น

ข้อ 2. ผิด เพราะการแบ่งเซลล์แบบ A คือ การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จะได้เซลล์ใหม่ที่มีพันธุกรรมเหมือนกับเซลล์ตั้งต้นทุกประการ ส่วนการแบ่งเซลล์ที่ทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรม คือ การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (แบบ B)

ข้อ 3. ผิด เพราะระยะหมายเลข 9 คือ ไมโอซิส II ซึ่งเกิดการแยกซิสเตอร์โครมาทิดออกจากกัน ส่วนระยะที่แยกฮอมอโลกัสโครโมโซมออกจากกันเกิดในไมโอซิส I

ข้อ 4. ผิด เพราะเซลล์ที่เกิดขึ้นหลังระยะที่ 4 หรือไมโทซิสจะมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็นสองเท่า (2n) ส่วนเซลล์ที่เกิดขึ้นหลังระยะที่ 8 หรือไมโอซิส I จะมีจำนวนชุดโครโมโซมหนึ่งเท่า (n)

19) **ตอบ 2.** ระยะที่ 2 คือ ระยะ S ของระยะอินเตอร์เฟส เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป็นสองเท่า
ระยะที่ 3 คือ ระยะ G2 ของระยะอินเตอร์เฟส เกิดต่อเนื่องจากระยะ S เพื่อเตรียมตัวก่อนแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
ระยะที่ 4 คือ ระยะไมโทซิส ซึ่งหลังจากแบ่งเซลล์แล้วแต่ละเซลล์มีปริมาณดีเอ็นเอเท่ากับเซลล์ตั้งต้นเช่นเดิม

20) **ตอบ 3.** ผิด เพราะระยะ E คือ ระยะแอนาเฟสซึ่งเป็นระยะที่ใช้เวลาสั้นที่สุด
ข้อ 1. ถูกต้อง เพราะระยะ A คือ ระยะอินเตอร์เฟสเกิดการจำลองโครโมโซมเพื่อเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ
ข้อ 2. ถูกต้อง เพราะระยะ D คือ ระยะเมทาเฟสซึ่งเป็นระยะที่โครโมโซมขดกันแน่นหดสั้นที่สุดจึงเห็นได้ชัดที่สุด
ข้อ 4. ถูกต้อง เพราะระยะ G คือ ระยะไซโทคิเนซิสในเซลล์พืชจะสร้างแผ่นกั้นเซลล์แทน

บทที่ 4 ระบบย่อยอาหาร

1) **ตอบ 3.** เพราะผลผลิตสุดท้ายจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการหมักแอลกอฮอล์จะได้ 2 ethanol, 2 CO_2 และ 2 ATP โดยเริ่มต้นจากกลูโคส 1 โมเลกุล

2) **ตอบ 3.** เพราะเอนไซม์อะไมเลสที่ปากย่อยคาร์โบไฮเดรตเป็นอันดับแรก และเอนไซม์ที่ย่อยไขมันซึ่งผลิตจากตับอ่อนและลำไส้เล็กจะย่อยไขมันเป็นอันดับสุดท้าย

3) **ตอบ 4.** เพราะกรดไขมันและกลีเซอรอลจะถูกลำเลียงเข้าสู่ท่อน้ำเหลือง (lacteal) และส่งไปที่หัวใจโดยไม่ผ่านตับ

4) **ตอบ 4.** เพราะเอนไซม์ trypsinogen เป็นเอนไซม์ไม่พร้อมทำงานและจะถูกเปลี่ยนให้เป็น trypsin ให้พร้อมทำงาน โดย enterokinase ที่สร้างจากลำไส้เล็ก

5) **ตอบ 3.** เพราะตับอ่อนและลำไส้เล็ก สร้างเอนไซม์ที่ย่อยทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันด้วยกันทั้งคู่

6) **ตอบ 4.** เพราะฟันน้ำนม (20 ซี่) ของเด็กแรกเกิด - 6 ปีจะไม่พบฟันกรามหน้า

7) **ตอบ 1.** เพราะ glucose 1 โมเลกุล ให้พลังงาน 36 หรือ 38 ATP, pyruvate 1 โมเลกุลให้ 15 ATP, acetyl CoA 1 โมเลกุลให้ 12 ATP, NADH 1 โมเลกุลให้ 3 ATP, $FADH_2$ 1 โมเลกุลให้ 2 ATP

8) **ตอบ 3.** เพราะ 1 pyruvate เมื่อเข้าสู่การสร้าง acetyl CoA และ Krebs cycle สามารถสร้าง ATP ได้ 15 ATP (1 ATP จาก Krebs cycle, 1 NADH + H^+ จาก Acetyl CoA, 3 NADH + H^+ จาก Krebs cycle และ 1 $FADH_2$ จาก Krebs cycle) ดังนั้น เมื่อมี pyruvic acid 3 โมเลกุลที่ได้จากเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อลายจะสร้าง ATP ได้ $3 \times 15 = 45$ ATP

9) **ตอบ 4.** เพราะตับอ่อนและลำไส้เล็กทำหน้าที่สร้างเอนไซม์ที่ย่อยทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันด้วยกันทั้งคู่

10) **ตอบ 4.** เพราะฮอร์โมน secretin หลั่งจากลำไส้เล็กเพื่อกระตุ้นการหลั่ง $NaHCO_3$ จากตับอ่อนเพื่อปรับ pH ภายในลำไส้เล็ก และกระตุ้นการหลั่งน้ำดี

บทที่ 5 ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต

1) **ตอบ 2.** เพราะเนื้อเยื่อชั้นกลาง หรือ mesoderm จะพัฒนาเป็นระบบกล้ามเนื้อ กระดูก ระบบขับถ่าย ระบบหมุนเวียนเลือด และระบบสืบพันธุ์

2) **ตอบ 2.** เพราะ
ข้อ 1. ผิด เพราะเอ็มบริโอที่เคลื่อนที่มาฝังตัวที่ผนังมดลูกอยู่ในระยะบลาสโทซิสท์ (blastocyst)
ข้อ 3. ผิด เพราะเอ็มบริโออายุได้ 6-7 สัปดาห์ แขนและขาจึงเริ่มปรากฏชัดเจน
ข้อ 4. ผิด เพราะเอ็มบริโออายุประมาณ 2 เดือน มีอวัยวะทุกอย่างครบเรียกว่า ฟิตัส

3) ตอบ 4. เพราะถุงแอลแลนทอยส์ (allantois) ทำหน้าที่เก็บของเสียจำพวกกรดยูริกที่เกิดขึ้นภายในไข่ และแลกเปลี่ยนแก๊ส พบในสัตว์เลื้อยคลาน สัตว์ปีก เป็นต้น

4) ตอบ 4.

5) ตอบ 3. เพราะฮอร์โทน LH มีหน้าที่กระตุ้นการตกไข่ จึงมีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงตกไข่ LH สูงขึ้นอย่างรวดเร็วและหลั่งในปริมาณมากกว่า FSH ในช่วงตกไข่เหมาะสมต่อตัวอสุจิในการเคลื่อนที่

6) ตอบ 3. ในไข่ไก่ ส่วนที่อยู่ใกล้เปลือกมากที่สุด คือ ถุงคอเรียน (chorion) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส

7) ตอบ 2. เพราะต่อมลูกหมากทำหน้าที่หลั่งสารที่มีสภาพเป็นเบส ช่วยปรับสภาพลดความเป็นกรดในท่อปัสสาวะ เกิดภาวะที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนที่ของอสุจิ

8) ตอบ 5. เพราะการเปลี่ยนแปลงของเอ็มบริโอกบมี 4 ขั้นตอนเรียงลำดับคือ

cleavage ⟶ blastulation ⟶ gastrulation ⟶ organogenesis

9) ตอบ 2. เพราะ

A คือ ถุงไข่แดง (yolk sac) เป็นถุงเก็บไข่แดงที่ทำหน้าที่เป็นอาหารสะสมของเอ็มบริโอ

B คือ ถุงแอลแลนทอยส์ (allantois) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊สและเก็บสะสมของเสียที่เป็นสารประกอบไนโตรเจน เช่น กรดยูริก

C คือ ถุงคอเรียน (chorion) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส

D คือ ถุงน้ำคร่ำ (amnion) ทำหน้าที่ป้องกันการกระเทือนของเอ็มบริโอ

10) ตอบ 3. เพราะ LH จะสูงสุดตอนตกไข่ และ progesterone จะสูงสุดหลังจากระยะไข่ตก โดย progesterone เป็นฮอร์โมนที่ทำให้ผนังมดลูกหนาตัวขึ้นเพื่อรองรับการฝังตัวของไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิ

บทที่ 6 การรักษาดุลยภาพในร่างกาย

1) ตอบ 1. เพราะหมู่เลือด B, Rh (มีแอนติเจน B, แอนติบอดี A) ส่วนหมู่เลือด AB, Rh$^+$ (มีแอนติเจน A และ B, ไม่มีแอนติบอดีและมีแอนติเจนชนิด Rh) ดังนั้น กรณีที่เป็นไปได้คือ แอนติเจน A ของหมู่เลือด AB ทำปฏิกิริยากับแอนติบอดี A ของหมู่เลือด B

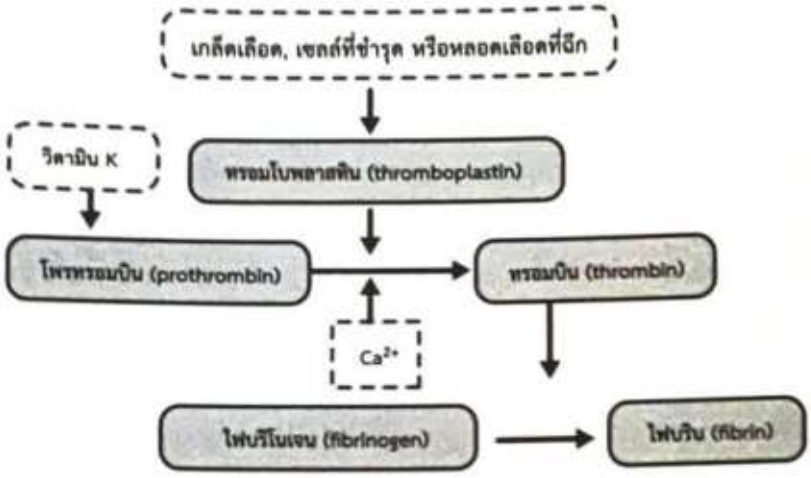
2) ตอบ 2. เพราะโมโนไซต์ (monocyte) ทำลายเชื้อโรควิธี phagocytosis เมื่อเดินทางไปที่เนื้อเยื่อ จะพัฒนาเป็นแมโครฟาจ (macrophage) จึงทำลายเชื้อโรคแบบ phagocytosis ได้ดีที่สุด

3) ตอบ 1.

4) ตอบ 4.

ข้อเปรียบเทียบ	การหายใจเข้า (inhalation)	การหายใจออก (exhalation)
1. กระดูกซี่โครง	ยกขึ้น	เลื่อนลง
2. กะบังลม	หดตัว ลงต่ำ	คลายตัว ยกขึ้น
3. กล้ามเนื้อซี่โครงแถบนอก	หดตัว	คลายตัว
4. กล้ามเนื้อหน้าท้อง	คลายตัว (ท้องป่อง)	หดตัว (ท้องยุบ)
5. ปริมาตรช่องอก	เพิ่มขึ้น	ลดลง
6. ความดันช่องอก	ลดลง (อากาศจากภายนอกซึ่งมีความดันมากกว่าจึงไหลเข้ามาในปอด)	เพิ่มขึ้น (อากาศภายในปอด ซึ่งมีความดันมากจึงไหลออกไปภายนอกซึ่งมีความดันน้อยกว่า)

5) **ตอบ 4.**



6) **ตอบ 3.** เพราะสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก เช่น กบ เขียด ปาด นิวท์ จิ้งจกน้ำ มีหัวใจ 3 ห้อง คือ หัวใจห้องบน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องขวาบน (right atrium) และห้องซ้ายบน (left atrium) และหัวใจห้องล่าง (ventricle) 1 ห้อง เมื่อเลือดไหลสู่หัวใจห้องล่างจะมีเลือดบางส่วนที่ปะปนกัน ระหว่างเลือดที่มีออกซิเจนต่ำกับเลือดที่มีออกซิเจนสูง ก่อนที่จะส่งออกทาง aorta ดังนั้น ออกซิเจนจากหลอดเลือด pulmonary vein ที่นำเลือดมาจากปอดจึงมีออกซิเจนสูงกว่า

7) **ตอบ 4.** เพราะ memory cell ที่สร้างมาจาก B-cell จะสามารถจดจำแอนติเจนหรือเชื้อโรคที่เข้ามาในครั้งแรกได้ และจะสามารถตอบสนองได้ทันทีเมื่อเชื้อโรคเข้ามาในครั้งถัดไป

8) **ตอบ 4.** เพราะศูนย์ควบคุมอุณหภูมิในสมองคือไฮโพทาลามัส จะกระตุ้นให้ขับเหงื่อ เพื่อเป็นการระบายความร้อน

9) **ตอบ 4.** เพราะแม่ Rh^- แต่งงานกับพ่อ Rh^+ จนมีลูกคนที่ 1 เป็น Rh^+ จะทำให้แอนติเจน Rh ของลูกกระตุ้นให้แม่สร้างแอนติบอดี Rh ในร่างกาย แต่แอนติบอดีของแม่ยังไม่มากพอจึงทำให้ลูกคนที่ 1 รอดปกติ แต่ถ้าแม่ Rh^- (ที่มีแอนติบอดีอยู่) มีลูกคนที่ 2 หมู่เลือด Rh^+ (มีแอนติเจน Rh) จะทำให้แอนติบอดีของแม่จับกับแอนติเจนของลูก ทำให้เม็ดเลือดแดงของทารกจับกลุ่มตกตะกอน ทารกอาจเสียชีวิต เรียกภาวะนี้ว่า อีริโทรบลาสโทซิสฟิทาลิส (Erythroblastosis fetalis)

10) **ตอบ 4.** เพราะขณะดื่มน้ำมาก ทำให้เลือดเจือจางมีแรงดันออสโมติกน้อย จะมีการยับยั้งการหลั่ง ADH ทำให้ดูดกลับน้ำได้น้อยจึงหลั่งปัสสาวะออกมามาก

บทที่ 7 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต

1) **ตอบ 1.** แบบเดือย (pivot joint) ซึ่งเป็นข้อต่อที่กระดูกชิ้นหนึ่งจะมีส่วนยื่นออกไปเป็นเดือย และรับกับกระดูกอีกชิ้นที่มีลักษณะคล้ายเบ้าหรือวงแหวน ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบหมุนตามแนวแกนของเดือย ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกสันหลังชิ้นที่ 1 และชิ้นที่ 2 ซึ่งทำให้มีการหมุนของศีรษะและลำคอได้

2) **ตอบ 1.** เพราะเบซัลบอดีเป็นองค์ประกอบหนึ่งของฐานซิเลียและแฟลเจลลัม โดยยูกลีนาจะมีแฟลเจลลัมที่ใช้ในการเคลื่อนที่

3) **ตอบ 5.** เพราะกล้ามเนื้อโครงร่างจะมีหลายนิวเคลียสต่อเซลล์และทำงานภายใต้อำนาจจิตใจ

4) ตอบ 3. เพราะการเคลื่อนที่แบบแอนทาโกนิซึม (antagonism) คือ การทำงานของกล้ามเนื้อ 2 ชุด แบบตรงข้ามกัน เช่น ถ้ากล้ามเนื้อชุดหนึ่งหดตัว กล้ามเนื้ออีกชุดหนึ่งจะคลายตัว โดยการงอแขนเกิดจากกล้ามเนื้อไบเซพหดตัว และไตรเซพคลายตัว

5) ตอบ 5. เพราะข้อต่อแบบเดือย (pivot joint) ซึ่งเป็นข้อต่อที่กระดูกชิ้นหนึ่งจะมีส่วนยื่นออกไปเป็นเดือย และรับกับกระดูกอีกชิ้นที่มีลักษณะคล้ายเบ้าหรือวงแหวน ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบหมุนตามแนวแกนของเดือย ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกสันหลังชิ้นที่ 1 และชิ้นที่ 2 ซึ่งทำให้มีการหมุนของศีรษะและลำคอได้ ส่วนข้อต่อแบบบานพับ (hinge joint) มีการเคลื่อนไหวในสองมิติคล้ายบานพับประตู ได้แก่ ข้อต่อบริเวณข้อศอก หัวเข่า

บทที่ 8 การรับรู้และการตอบสนอง

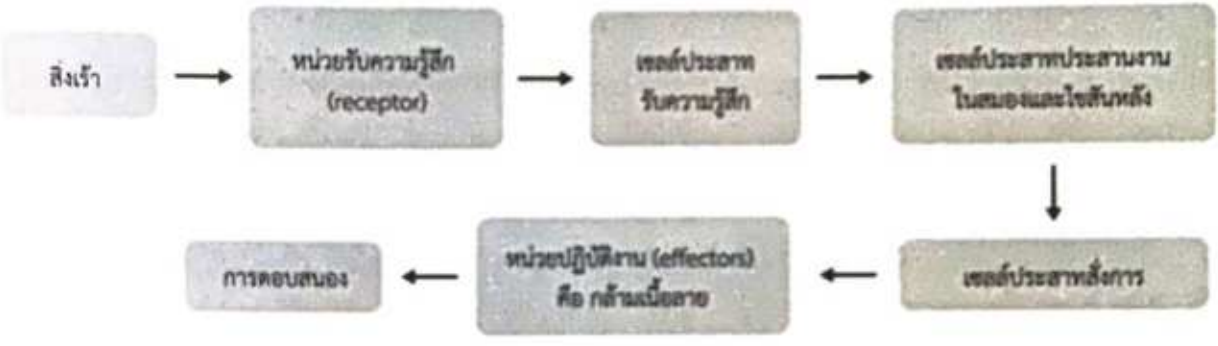
1) ตอบ 1. เพราะศูนย์ควบคุมการทรงตัวอยู่ในสมองส่วนซีรีเบลลัม

2) ตอบ 3. เพราะเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ หลั่งแอซิติลโคลีนมายังเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ และเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ หลั่งนอร์เอพิเนฟรินมาควบคุมอวัยวะเป้าหมาย ถ้าเป็นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ หลั่งแอซิติลโคลีนมายังเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ และเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ หลั่งแอซิติลโคลีนมาควบคุมอวัยวะเป้าหมาย ส่วนการกระตุ้นที่ต่อมน้ำลายและการบีบตัวของกระเพาะปัสสาวะเป็นหน้าที่ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

3) ตอบ 2. ข้อ ก. ผิด เพราะกระจกตาอยู่ในชั้นสเคลอรา และข้อ ง. ผิด เพราะท่อยูสเตเชียนเชื่อมระหว่างหูส่วนกลางและคอหอย ทำหน้าที่ปรับความดันอากาศระหว่างหูส่วนกลางและบรรยากาศด้านนอกหูให้เท่ากัน

4) ตอบ 3. สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะมีสมองส่วนหน้าที่พัฒนาดีสุด และปลามีพัฒนาการน้อยสุด

5) ตอบ 5.



6) ตอบ 2.

มองภาพระยะใกล้	มองภาพระยะไกล
กล้ามเนื้อยึดเลนส์หดตัว	กล้ามเนื้อยึดเลนส์คลายตัว
เอ็นยึดเลนส์หย่อน	เอ็นยึดเลนส์ตึง
เลนส์ตาบูนมากขึ้น	เลนส์ตาบูนน้อย (แบน)

7) **ตอบ 5.** เพราะปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วของกระแสประสาท คือ
   1. เยื่อไมอีลิน ถ้ามีกระแสประสาทจะเคลื่อนที่เร็ว 10 เท่า
   2. ระยะห่างของ node of Ranvier ยิ่งห่างมากกระแสประสาทไปได้เร็ว
   3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแอกซอน เส้นผ่านศูนย์กลางมากกระแสประสาทเคลื่อนที่เร็ว เพราะความต้านทานไฟฟ้าต่ำ Na^+ จะไหลไปตามแอกซอนได้เร็วขึ้น
   4. ยิ่งมีบริเวณ synapse น้อยจะทำให้กระแสประสาทเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้เร็ว

บทที่ 9 ระบบต่อมไร้ท่อ

1) **ตอบ 3.** เพราะการทำลายต่อมไทรอยด์ในผู้ใหญ่จะส่งผลให้เกิดอาการมิกซีดีมา (myxedema) อ่อนเพลียง่าย ใบหน้าลำตัวบวมน้ำ ผิวหนังแห้ง ซึมเศร้า ทนอากาศหนาวไม่ได้ อ่อนแอ ติดเชื้อง่าย

2) **ตอบ 4.** เพราะ parathormone จากต่อมพาราไทรอยด์จะเพิ่มระดับแคลเซียมในเลือด (ทำงานตรงข้ามกับแคลซิโทนิน) โดย 1. เร่งการสลายกระดูกเข้าสู่กระแสเลือด 2. เพิ่มการดูดซึมแคลเซียมที่ไต 3. เพิ่มการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็กโดยอาศัยวิตามินดีช่วยด้วย

3) **ตอบ 3.** คอพอกเป็นพิษหรือ Graves' disease มีการหลั่ง thyroxin สูง และ TSH ต่ำ ลักษณะอาการมีพบอาการตาโปน อัตราเมแทบอลิซึมสูง หัวใจเต้นเร็ว เหงื่อออกง่าย อาจเกิดคอพอกแต่ไม่โตมาก

4) **ตอบ 4.** เพราะ oxytocin กระตุ้นกล้ามเนื้อมดลูกให้บีบตัวขณะคลอดลูก ขณะคลอดลูกปากมดลูกจะยิ่งเปิดกว้าง ฮอร์โมนจะยิ่งหลั่งมาก

5) **ตอบ 3.** เพราะต่อมพาราไทรอยด์สร้าง parathormone เพิ่มระดับแคลเซียมในเลือด เร่งการสลายกระดูกเพื่อนำแคลเซียมเข้าสู่กระแสเลือด

6) **ตอบ 4.** เพราะ melatonin จะยับยั้งการเจริญของอวัยวะสืบพันธุ์ทำให้คนเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ช้ากว่าปกติ

7) **ตอบ 1.** เพราะ LH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ในเพศหญิง จะกระตุ้นให้เกิดการตกไข่ และกระตุ้นให้ follicle กลายเป็น corpus luteum เพื่อให้ทำหน้าที่สร้าง estrogen และ progesterone ส่วนเพศชาย LH กระตุ้น Leydig's cell หรือ interstitial cell ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อระหว่างหลอดสร้างอสุจิให้สร้างฮอร์โมนเทสโทสเทอโรน (ควบคุมลักษณะขั้นที่ 2 ของเพศชาย)

8) **ตอบ 3.** คำอธิบายตามข้อ 7

9) **ตอบ 4.** เพราะคนที่อดอาหารจะมีน้ำตาลในเลือดต่ำอยู่แล้ว ดังนั้น ร่างกายจึงต้องมีการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดโดยการหลั่ง glucagon ออกมา และ insulin ควรมีระดับต่ำเพราะฮอร์โมนนี้ทำให้ระดับน้ำตาลต่ำลง

10) **ตอบ 5.** เพราะ parathormone จะเพิ่มระดับแคลเซียมในเลือด (ทำงานตรงข้ามกับแคลซิโทนิน) โดย
   1. เร่งการสลายกระดูกเพื่อนำแคลเซียมเข้าสู่กระแสเลือด
   2. เพิ่มการดูดซึมแคลเซียมที่ไต
   3. เพิ่มการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็กโดยอาศัยวิตามินดีช่วยด้วย

บทที่ 10 พฤติกรรมของสัตว์

1) **ตอบ 3.** เพราะพฤติกรรมแบบมีเงื่อนไขคือการให้สิ่งเร้า 2 ชนิด (สิ่งเร้าแท้จริงและสิ่งเร้าไม่แท้จริงหรือสิ่งเร้ามีเงื่อนไข) มาคู่กัน จากนั้นให้เพียงแต่สิ่งเร้าไม่แท้จริง สัตว์ก็มีการตอบสนองเหมือนเดิม การสร้างสัญลักษณ์ของบริษัทรถยนต์จึงสร้างสัญลักษณ์ (สิ่งเร้าไม่แท้จริง) ออกมาควรคู่กับรถยนต์ (สิ่งเร้าแท้) เพื่อให้เกิดการเรียนรู้แบบมีเงื่อนไขโดยใช้สัญลักษณ์ เช่น การเห็นดอกมะลิแล้วนึกถึงวันแม่ เป็นต้น

2) **ตอบ 4.** เพราะพฤติกรรมการเรียนรู้แบบฝังใจ เกิดขึ้นในตอนต้นของชีวิต ในช่วงเวลาที่จำกัด (critical period) เท่านั้น หลังจากนั้นจะเลิกพฤติกรรมนั้น เช่น การเดินตามสิ่งแรกที่เคลื่อนไหวของลูกห่าน จะเกิดเพียงแค่ 36 ชั่วโมงแรกหลังจากฟักออกจากไข่ ช่วยให้สัตว์แรกเกิดที่ช่วยตัวเองไม่ได้อยู่รอดได้โดยได้รับการดูแลจากแม่ และยังช่วยให้สัตว์จดจำพวกของตนได้

3) **ตอบ 2.** เพราะเป็นพฤติกรรมที่มีมาแต่กำเนิด เป็นผลมาจากพันธุกรรม โดยการตอบสนองต่อสิ่งเร้าอย่างรวดเร็วในทันทีเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายต่างๆ เช่น การกะพริบตาเมื่อมีคนมาจี้ตา การดีดขาเมื่อถูกเคาะหัวเข่า การสะบัดหนีเมื่อแตะของร้อน การหรี่ตาเมื่อมีแสงสว่างมาก การไอ จาม สำลัก

4) **ตอบ 1.** เพราะปลาบึก ปลาแซลมอลจะว่ายทวนน้ำกลับไปวางไข่ยังแม่น้ำที่เกิดมา เนื่องจากมันสามารถจำกลิ่นน้ำได้ จัดเป็นพฤติกรรมแบบฝังใจ (imprinting) โดยการตอบสนองต่อสิ่งเร้าเป็นแบบมีทิศทางที่แน่นอนจึงจัดเป็น taxis

5) **ตอบ 4.** เพราะเป็นพฤติกรรมที่แสดงออกเมื่อลองทำแล้วได้รับรางวัลหรือถูกใจก็จะทำสิ่งเดิมนั้นอีก แต่ถ้าทำแล้วได้ผลไม่ดีและรับโทษ สัตว์จะไม่ทำสิ่งนั้นอีก ดังนั้น เมื่อกบเผลอกินผึ้งเข้าไปกบก็จะเรียนรู้ว่าผึ้งนั้นจะเป็นอันตรายกับมัน กบเลยไม่กินผึ้งอีกเลย

บทที่ 11 โครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก

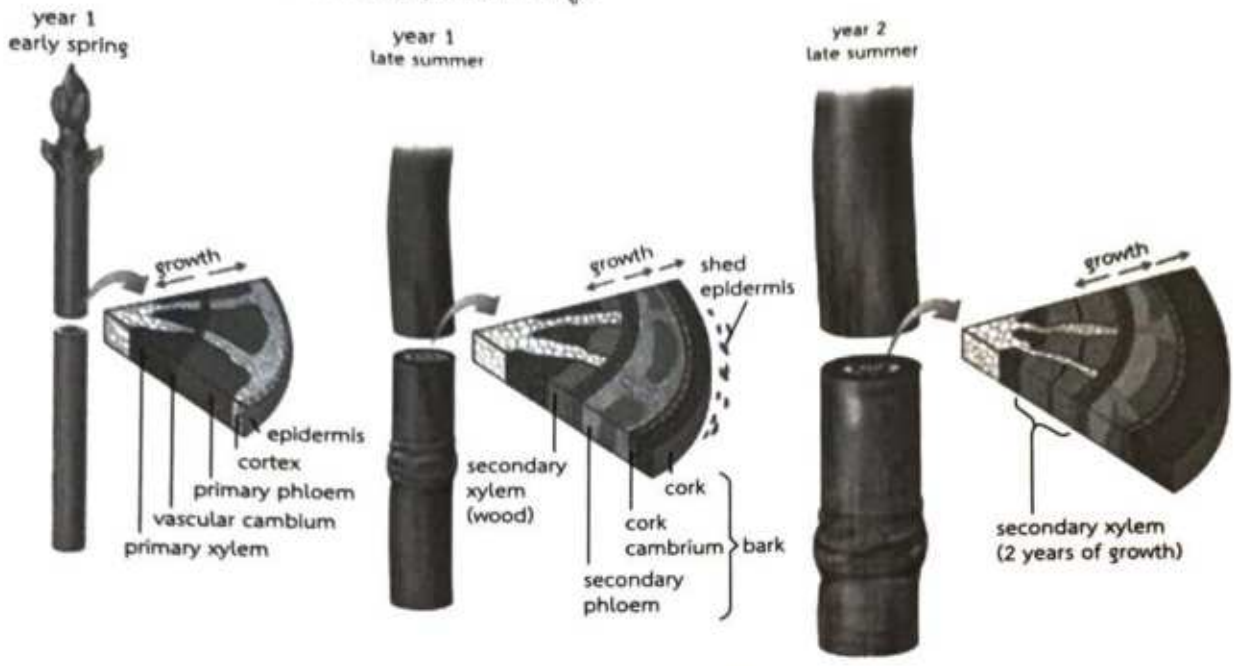
1) **ตอบ 4.** เพราะที่กล่าวมาคือลักษณะของเวสเซล

2) **ตอบ 2.** โครงสร้าง A คือ โฟลเอ็มของลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเช่น มะพร้าว หญ้า ข้าวโพด ข้าว เป็นต้น ทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร (น้ำตาลซูโครส) ไปยังส่วนกักเก็บ (sink cell) ในเยื่อเยื่อต่างๆ ของพืช

3) **ตอบ 3.** ต้นมะม่วงเป็นพืชใบเลี้ยงคู่มีโครงสร้างภายในมีมัดท่อลำเลียงเรียงเป็นระเบียบรอบลำต้น เมื่อควั่นเปลือกไม้ ทำให้ขาดมัดท่อโฟลเอ็มในการลำเลียงอาหาร อาหารจะมาสะสมเหนือรอยควั่น แต่ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น อ้อย ข้าวโพด มัดท่อลำเลียงจะกระจัดกระจายภายในลำต้น ซึ่งถึงแม้จะควั่นเอาส่วนนอกออกไป มัดท่อลำเลียงของอ้อยที่กระจัดกระจายก็ยังคงลำเลียงสารได้บ้าง จึงไม่พบอาหารสะสมอยู่เหนือรอยควั่น

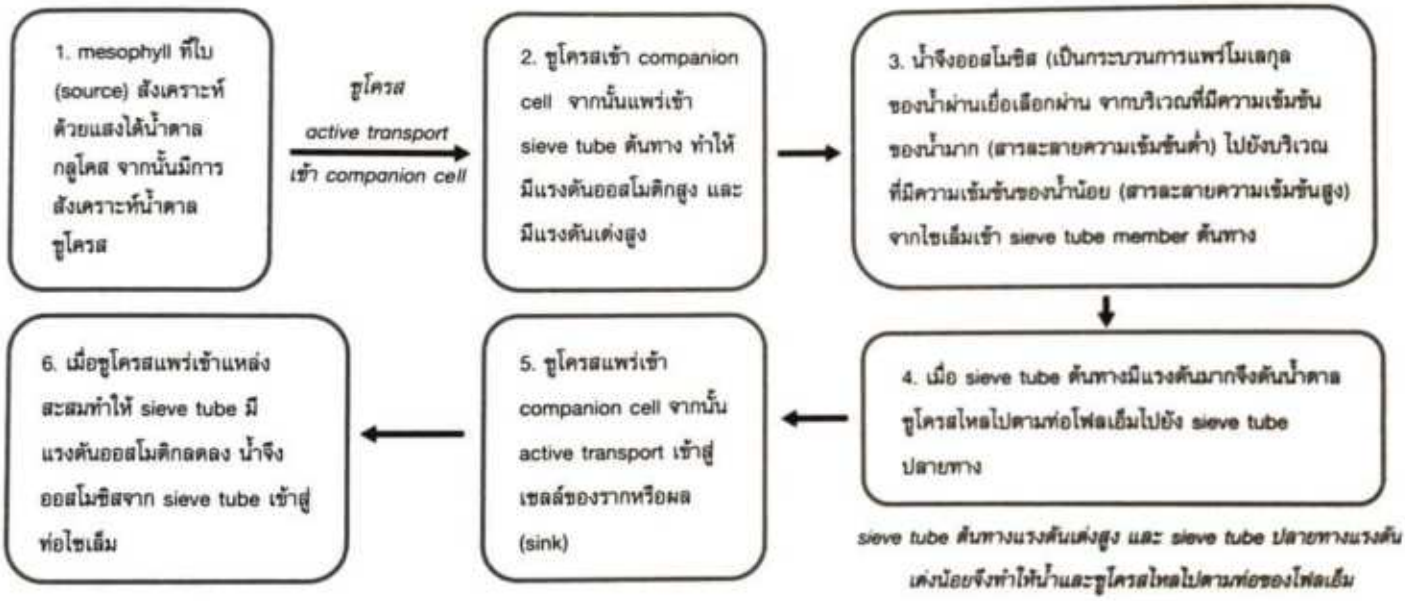
4) **ตอบ 4.**

5) **ตอบ 4.** เพราะ vascular cambium จะแบ่งเซลล์เข้าด้านในเกิดเป็น secondary xylem และแบ่งเซลล์ออกด้านนอกเกิดเป็น secondary phloem ดังรูป



▲ (Cr. mtchs.org)

6) **ตอบ 4.**



7) **ตอบ 4.** เพราะการคายน้ำ (transpiration) คือ การสูญเสียน้ำออกทางปากใบ โดยมีเซลล์ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ กระบวนการนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นตอนกลางวัน และออกมาในรูปของไอน้ำ แต่กระบวนการ guttation เป็นการกำจัดน้ำออกจากต้นพืชในรูปของหยดน้ำ ที่ออกทางเปิดที่ปลายสุดของผิวใบเรียกว่าไฮดาโทด (hydathode) มักเกิดขึ้นในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์สูง อุณหภูมิต่ำบนยอดดอย

8) **ตอบ 2.** เพราะ apoplast คือ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์หรือผ่านช่องปลายสุดของเซลล์ (เช่น เวสเซล) แต่การเคลื่อนที่แบบนี้น้ำจะไม่สามารถผ่าน casparian strip ของ endodermis ในรากได้เนื่องจากมีสารซูเบอริน คิวทินหรือลิกนินมาสะสมเป็นแถบกั้นไว้

9) **ตอบ 1.** เพราะการสูญเสียน้ำที่ stoma และ lenticel จะสูญเสียน้ำในรูปของไอน้ำ แต่ hydathode คือ โครงสร้างที่เป็นรูเปิดที่ปลายสุดของผิวใบในกระบวนการ guttation ซึ่งเป็นการกำจัดน้ำออกจากต้นพืชในรูปของหยดน้ำ

10) **ตอบ 5.** เพราะปัจจัยที่มีผลต่อการเปิด-ปิดของปากใบ คือ
1. แสง พืชจะคายน้ำมากเมื่อมีแสงเนื่องจากเกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เซลล์คุม
2. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราการคายน้ำจะสูงตาม แต่ถ้าสูงมากไปหรือต่ำมากไปจะทำให้ปากใบปิด
3. ความชื้น ถ้าความชื้นในอากาศสูง พืชจะคายน้ำน้อย
4. ลม เมื่อมีลมพัดเอาความชื้น ทำให้พืชคายน้ำมากขึ้น
5. น้ำในดิน ถ้าน้ำในดินน้อยพืชจะดูดน้ำได้น้อย ปากใบจะปิด

บทที่ 12 การสังเคราะห์ด้วยแสง

1) **ตอบ 3.** เพราะ

ข้อเปรียบเทียบ	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer)	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer)
1. ผลลัพธ์ที่ได้	เกิด ATP, NADPH + H^+, O_2	เกิดเฉพาะ ATP เท่านั้น
2. ระบบแสงที่เกี่ยวข้อง	ระบบแสง 1 และ 2	ระบบแสง 1 เท่านั้น
3. ตัวให้อิเล็กตรอนตัวสุดท้าย	H_2O	ระบบแสง 1
4. ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย	$NADP^+$	-

2) **ตอบ 2.** เพราะพลังงานแสงที่สารสีต่างๆ ได้รับไม่เพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนของสารสีนั้นอยู่ในสภาพถูกกระตุ้น โดยคลอโรฟิลล์เอที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาได้รับพลังงานแสงเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปและมีตัวรับอิเล็กตรอนมารับไว้ ซึ่งถือเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีเป็นครั้งแรกในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

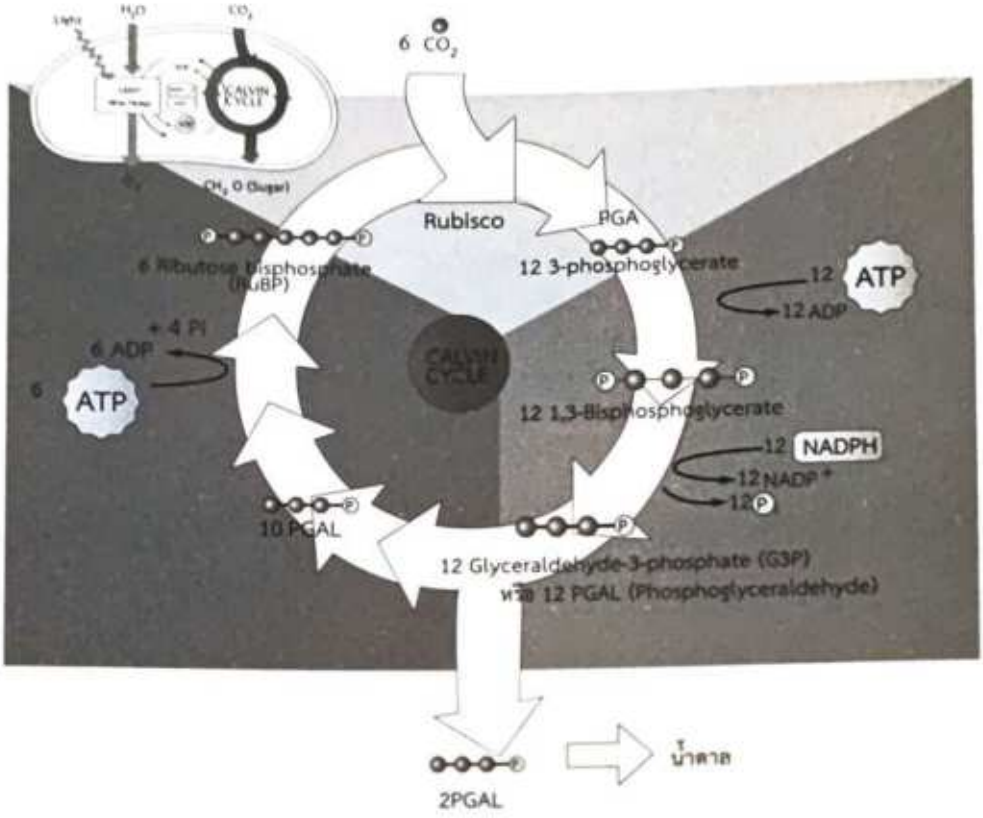
3) **ตอบ 3.** เพราะที่ถูกต้องคือ

	photorespiration	cellular respiration
1.	เกิดเฉพาะกลางวัน	เกิดทั้งกลางวันและกลางคืน
2.	การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่ไมโทคอนเดรีย	การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่ไมโทคอนเดรีย
3.	ต้องใช้ rubisco เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	ไม่ต้องใช้ rubisco เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
4.	ไม่ได้ ATP เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ	ได้ ATP เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ
5.	ไม่จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ในไซโทพลาซึม	จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ในไซโทพลาซึม

4) **ตอบ 4.** เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปากใบจะปิด CO_2 จะเข้าปากใบน้อยลง rubisco จึงไปจับกับ O_2 แทน ดังนั้น ต้นข้าวหรือพืช C_3 จึงเกิด photorespiration เพิ่มขึ้น ส่วนพืช C_4 หรือข้าวโพดจะมีอัตราการเกิดคงที่ เพราะพืช C_4 มีความเข้มข้นของ CO_2 มากอยู่แล้วและไม่เกิด photorespiration พืช C_4 จึงมีอัตราการเกิด photorespiration คงที่

5) **ตอบ 1.** เพราะพลังงานที่พืชสร้างจากปฏิกิริยาแสง คือ ATP ซึ่งจะเกิดที่ stroma หรือของเหลวในคลอโรพลาสต์

6) **ตอบ 2.** เพราะกระบวนการตรึง CO_2 เป็นดังนี้



7) **ตอบ 2.** เพราะการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคัลวิน คือ การนำ CO_2 จับกับ RuBP ได้ PGA ซึ่งเป็นสารเสถียรตัวแรก โดยไม่ต้องใช้ ATP จากนั้น PGA จะถูกเปลี่ยนเป็น 1, 3-Bisphosphoglycerate และถูกเปลี่ยนเป็น PGAL และ PGAL (3C) จะถูกนำไปสร้างเป็นน้ำตาลต่อไป

8) **ตอบ 4.** เพราะ

ข้อ 1. ผิด เนื่องจากมะม่วงมีค่าไลท์คอมเพนเซชันสูงกว่าอ้อย

ข้อ 2. ผิด เนื่องจากมะม่วงมีจุดอิ่มตัวของแสงประมาณ 1,000 umol ของโฟตอน $m^{-2}s^{-1}$

ข้อ 3. ผิด เนื่องจากอ้อยมีจุดอิ่มตัวของแสงประมาณ 1,500 umol ของโฟตอน $m^{-2}s^{-1}$

9) **ตอบ 2.** เพราะ

ข้อ 1. ผิด เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ถ่ายทอดจากระบบแสง 2 สู่ระบบแสง 1 ผ่านตัวรับอิเล็กตรอนหลายตัว จะมีพลังงานลดลงเป็นลำดับ ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร

ข้อ 3. ผิด เนื่องจากการสังเคราะห์ ATP เกิดที่สโตรมา

ข้อ 4. ผิด เนื่องจากสารที่สะสมในลูเมนไม่ใช่อิเล็กตรอนแต่เป็นโปรตอน เพราะอิเล็กตรอนจากการแตกตัวของน้ำจะถูกส่งไปทดแทนอิเล็กตรอนที่เสียไปในระบบแสง 2

10) **ตอบ 3.** เพราะโปรตอนที่สะสมในลูเมนโดยเกิดจากการแตกตัวของน้ำมีความเข้มข้นสูงจะแพร่ออกไปที่สโตรมาผ่านเอนไซม์ ATP synthase ซึ่งเป็นตัวเร่งที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ เกิดการสังเคราะห์ ATP ในที่สุด โดยเป็นการสร้าง ATP ตามทฤษฎีเคมีออสโมซิส (chemiosmosis theory) ในปฏิกิริยาแสง

บทที่ 13 การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของพืชดอก

1) **ตอบ 2.** ชุดการทดลองที่ต้องการทดสอบว่าน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการงอก คือ ชุด ก และ ข เพราะมีปัจจัยอื่นเหมือนกัน เช่น แสง อุณหภูมิ ออกซิเจน ในขณะที่ชุด ก มีน้ำ และชุด ข ไม่มีน้ำ ส่วนชุดที่ต้องการทดสอบออกซิเจน คือ ชุด ก และ ง โดยชุด ก มีจุกสำลีที่ให้ออกซิเจนเข้า ส่วนชุด ง มีจุกยางที่ไม่ให้ออกซิเจนเข้า

2) **ตอบ 3.** ส่วนที่มีโครโมโซมไม่เท่ากับ 2n คือ โพลาร์นิวคลีไอ ซึ่งแต่ละนิวเคลียสมีโครโมโซม n ส่วนเอนโดสเปิร์มมีโครโมโซม 3n

3) **ตอบ 3.** แหล่งที่ 3 จากสูตร ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ = ผลบวกของ $\left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่งอกแต่ละวัน}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}\right)$

แหล่งที่ 3 มีดัชนีการงอกสูงสุด = $\frac{15}{2} + \frac{30}{3} + \frac{40}{4} + \frac{10}{5} = 29.5$

4) **ตอบ 1.** ไม่ถูกต้อง เพราะเมล็ดกล้วยไม้งอกได้ยากเมื่อเทียบกับเมล็ดพืชอื่นๆ เพราะมีเอนโดสเปิร์มน้อยมาก

5) **ตอบ 3.** ดอกที่มีหลายรังไข่จะกำเนิดผลแบบผลกลุ่ม ซึ่งอาจรวมกันเป็นผลเดียว เช่น น้อยหน่า หรือแยกเป็นหลายผลบนกิ่งเดียว เช่น การเวก จำปีก็ได้

ข้อ 1. ผลเดี่ยวหลายผลบนกิ่งเกิดจากดอกช่อที่ดอกย่อย 1 ดอกมี 1 รังไข่และเจริญเป็นผลแต่ละผล เช่น องุ่น เงาะ ลิ้นจี่

ข้อ 4. ผลรวมที่แยกเป็นผลย่อยหลายผลบนกิ่งนั้นไม่เป็นความจริง

6) **ตอบ 4.** ซังข้าวโพด คือ แกนข้าวโพดที่แกะเอาผล (หรือที่นิยมเรียกว่าเมล็ด) ออกหมดแล้ว เจริญและพัฒนามาจากแกนช่อดอกและใบประดับของดอกย่อย

7) **ตอบ 2.** เซลล์ไมโครสปอร์เมื่อจะพัฒนาเป็นเรณู จะมีแต่การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเท่านั้น ในขณะที่ข้ออื่นมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสมาเกี่ยวข้อง

8) **ตอบ 3.** ละอองเรณูมีโครโมโซม 1 ชุด (n) เมื่อใช้สารเคมีทำให้เรณูมีชุดโครโมโซมเพิ่มขึ้น จะทำให้พืชต้นใหม่มีโครโมโซมเดิมที่ซ้ำกัน จึงทำให้ได้พืชดิพลอยด์ (2n) ที่มีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสทุกตำแหน่ง

9) **ตอบ 4.** ไม่ถูกต้อง เพราะจากภาพเป็นดอกเดี่ยวรังไข่เดียวซึ่งจะเจริญไปเป็นผลเดี่ยว ผลจำปีและจำปาเป็นผลกลุ่มซึ่งเจริญมาจากดอกเดี่ยวหลายรังไข่

ข้อ 1. ดอกมะละกอเป็นดอกไม่สมบูรณ์เพศจึงพบแค่เกสรเพศผู้ (B) หรือเพศเมีย (A) อย่างใดอย่างหนึ่ง

ข้อ 2. ดอกกุหลาบเป็นดอกสมบูรณ์ จึงมีส่วนประกอบทั้งกลีบดอก กลีบเลี้ยง เกสรเพศผู้และเพศเมีย

ข้อ 3. ส่วนที่เหลือของผล ได้แก่ รังไข่ (E) เจริญไปเป็นผล ก้านดอก (F) เหลือเป็นก้านผล ออวุล (G) เจริญไปเป็นเมล็ด

10) **ตอบ 4.** โดยเมล็ดถั่วเขียวงอกแล้วใบเลี้ยงชูขึ้นเหนือดิน ส่วนเมล็ดข้าวโพดงอกแล้วใบเลี้ยงอยู่ใต้ดิน

ข้อ 1. ผิด เพราะเมล็ดถั่วเขียวมีใบเลี้ยง 2 ใบ ในขณะที่เมล็ดข้าวโพดมีใบเลี้ยงใบเดียว

ข้อ 2. ผิด เพราะเมล็ดถั่วเขียวไม่มีเอนโดสเปิร์ม ในขณะที่เมล็ดข้าวโพดมีเอนโดสเปิร์ม

ข้อ 3. ผิด เพราะเมล็ดถั่วเขียวใช้ใบเลี้ยงสะสมอาหาร ส่วนเมล็ดข้าวโพดใช้เอนโดสเปิร์มสะสมอาหาร

บทที่ 14 การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช

1) **ตอบ 4.** เพราะการหลับของใบจามจุรีในตอนกลางคืนเป็น nastic movement ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่งภายในเซลล์บริเวณพัลไวนัส ซึ่งเป็นกลไกเดียวกันกับการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ
ข้อ 1., 2. และ 3. การงอกเข้าหาน้ำของรากข้าว การพันหลักของมือเกาะของตำลึง และการเอนเข้าหาแสงของยอดมะเขือเทศเกิดจากการกระจายตัวของออกซินที่ไม่เท่ากันระหว่างสองด้านของลำต้นหรือราก ทำให้เซลล์ด้านหนึ่งยืดยาวกว่าอีกด้านและทำให้รากหรือลำต้นโค้งเข้าหาสิ่งเร้า

2) **ตอบ 1.** กรดแอบไซซิกพบมากที่เมล็ดที่กำลังพักตัวและใบที่กำลังขาดน้ำ โดยกรดแอบไซซิกเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นการพักตัวของเมล็ดและสังเคราะห์มากขึ้นเพื่อตอบสนองภาวะการขาดน้ำของพืช

3) **ตอบ 1.** ถูกต้อง เพราะต้นไม้ที่ถูกตัดยอดจะมีปริมาณออกซินลดลง เนื่องจากออกซินสังเคราะห์ที่ยอดเป็นหลัก ทำให้พืชตอบสนองต่อแสงได้น้อยลง
ข้อ 2. ผิด เพราะต้นไม้ที่ไม่ถูกตัดยอดในการทดลองดังกล่าวมีปริมาณฮอร์โมนจิบเบอเรลลินต่ำกว่าต้นที่ถูกตัดยอดและได้รับ IAA จึงมีโอกาสเกิดตาดอกน้อยกว่า
ข้อ 3. ผิด เพราะต้นไม้ที่ถูกตัดยอดในการทดลองดังกล่าวมีปริมาณฮอร์โมนจิบเบอเรลลินต่ำที่สุดจึงมีการยืดตัวของปล้องระหว่างข้อต่ำที่สุด
ข้อ 4. ผิด เพราะสาร IAA เป็นสารกลุ่มออกซินทำให้ยับยั้งการเกิดตาข้างในต้นพืช

4) **ตอบ 3.** positive gravitropism หรือการเบนของพืชเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นผลมาจากการทำงานของออกซิน ส่วนการแตกพุ่มของฤๅษีผสม (การเกิดตาข้าง) เกิดขึ้นเมื่อปริมาณออกซินลดลง
ข้อ 1. ผิด โดย thigmotropism หรือการตอบสนองต่อการสัมผัสเป็นผลจากการทำงานของออกซิน แต่การพักตัวของเมล็ดข้าวโพดเกี่ยวข้องกับกรดแอบไซซิก
ข้อ 2. ผิด โดย phototropism หรือการตอบสนองต่อแสงเป็นผลจากการทำงานของออกซิน แต่การจับแมลงของกาบหอยแครงเป็น nastic movement ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่งภายในเซลล์
ข้อ 4. ผิด เพราะ fruit ripening หรือการสุกของผลเป็นผลมาจากเอทิลีน ส่วนการจับแมลงของหม้อข้าวหม้อแกงลิง อาศัยสารที่มีกลิ่นและรสหวานล่อแมลงให้ตกลงไปในกระเปาะที่มีเอนไซม์อยู่ภายใน

5) **ตอบ 2.** ผิด เพราะการพักตัวของเมล็ดเกี่ยวข้องกับกรดแอบไซซิก

6) **ตอบ 1.** ผิด เพราะการตอบสนองของพืชทั้งสองไม่ใช่การเคลื่อนไหวแบบอัตโนมัติ แต่เป็นการเคลื่อนไหวที่เกิดจากการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก
ข้อ 2. ถูกต้อง เพราะทั้งสองเป็นการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบเดียวกัน คือ แสง
ข้อ 3. ถูกต้อง เพราะทั้งสองเกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่งของเซลล์
ข้อ 4. ถูกต้อง เพราะทั้งสองเป็น nastic movement หรือการเคลื่อนไหวที่มีการตอบสนองไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า

7) **ตอบ 3.** การข่มโดยตายอดเกิดจากการทำงานที่ตรงข้ามกันระหว่างออกซินและไซโทไคนิน โดยออกซินที่สร้างจากยอดยับยั้งการเกิดตาข้าง ส่วนไซโทไคนินกระตุ้นให้เกิดตาข้าง

8) **ตอบ 1.** จากภาพคือการตอบสนองของดอกทานตะวันที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์ตลอดเวลา (heliotropism **helio = ดวงอาทิตย์) เนื่องจากเป็นการตอบสนองอย่างมีทิศทางที่สัมพันธ์กับสิ่งเร้า และเข้าหาสิ่งเร้าจึงเป็น positive tropic movement

ข้อ 2. negative tropic movement คือ การตอบสนองอย่างมีทิศทางที่สัมพันธ์กับสิ่งเร้า และเบนออกจากสิ่งเร้า

ข้อ 3. nastic movement คือ การตอบสนองที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า

ข้อ 4. nutation movement คือ การเคลื่อนไหวแบบสาย เช่น การหมุนแกว่งของยอดพืชขณะเจริญเติบโต

9) **ตอบ 4.** สรุปถูกต้อง เพราะเป็นข้อมูลที่สามารถสรุปได้จากกราฟ นั่นคือเมื่อได้รับไซโทไคนินเพิ่มขึ้น รากมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้นหรือใหญ่ขึ้นนั่นเอง

ข้อ 1. ผิด เพราะพืชชนิดที่ 1 และ 2 มีการตอบสนองต่อไซโทไคนินไม่เท่ากัน โดยที่พืชชนิดที่ 2 ตอบสนองต่อไซโทไคนินสูงกว่า สังเกตจากที่ความเข้มข้น 100 ng/ml รากพืชชนิดที่ 2 มีการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้นกว่าชนิดที่ 1

ข้อ 2. และ 3. ผิด เพราะไม่สามารถสรุปได้จากข้อมูลที่ได้รับ

10) **ตอบ 4.** เพราะออกซินทั้งสามชนิดต่างเพิ่มจำนวนยอดพืชเมื่อใช้ร่วมกับไซโทไคนิน

ข้อ 1. ผิด เพราะที่ออกซินความเข้มข้นสูงยังคงกระตุ้นให้เกิดยอดใหม่ แม้ว่าจะมีจำนวนลดลงกว่าที่ความเข้มข้นต่ำกว่า

ข้อ 2. ผิด เพราะจากข้อมูลที่ได้รับไม่สามารถสรุปได้ว่าไซโทไคนินนั้นไม่จำเป็นสำหรับการเพิ่มจำนวนยอดใหม่ในหลอดทดลอง แต่โดยความเป็นจริงแล้วไซโทไคนินนั้นจำเป็นสำหรับการเพิ่มยอดใหม่

ข้อ 3. ผิด เพราะจากตารางหากไม่ใส่ออกซินก็ยังคงกระตุ้นให้เกิดยอดใหม่แม้จะมีจำนวนน้อยก็ตาม

บทที่ 15 การถ่ายทอดทางพันธุกรรม

1) **ตอบ 2.**

จีโนไทป์ของพ่อแม่เป็นได้ดังนี้

พ่อ $I^A_$ (I^A หรือ i) × $I^B_$ (I^B หรือ i) แม่

ได้รุ่น F_1 $\frac{1}{4}$ $I^A_$ (I^B หรือ i) $\frac{1}{4}$ I^AI^B (AB) $\frac{1}{4}$ I^B (I^A หรือ i) $\frac{1}{4}$ I^AI^B, I^Ai, I^Bi หรือ ii

ดังนั้น จีโนไทป์ที่ไม่มีทางเกิดขึ้น คือ I^AI^A และ I^BI^B เพราะแอลลีลหนึ่งต้องมาจากพ่อ อีกหนึ่งมาจากแม่ แต่พ่อแม่มีหมู่เลือดต่างกัน คือ หมู่ A และหมู่ B ความน่าจะเป็นของลูกจึงไม่มีทางมีจีโนไทป์ที่มีแอลลีลเหมือนกัน

2) **ตอบ 1.** ทั้งนางดวงใจและนางหฤทัยมีตาปกติ ดังนั้น จีโนไทป์จึงไม่ใช่ X^bX^b (ตัดข้อ 3. และ 4. ทิ้ง)
นางดวงใจมีบุตรชายและบุตรสาวทั้งหมดมีตาปกติ จึงมีจีโนไทป์แบบตาปกติไม่ใช่พาหะ คือ X^BX^B
นางหฤทัยมีบุตรชายและบุตรสาวที่เป็นตาบอดสี จึงมีจีโนไทป์แบบพาหะ คือ X^BX^b

3) **ตอบ 3.** ยีนที่ควบคุมลักษณะหัวล้านมีแอลลีล B ควบคุมหัวล้าน b ควบคุมหัวไม่ล้าน แต่จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสระหว่างเพศหญิงและชายจะแสดงออกต่างกัน
ดังนั้น จีโนไทป์ BB แสดงลักษณะหัวล้านทั้งเพศชายและหญิง bb แสดงลักษณะผมปกติทั้งเพศชายและหญิง ส่วน Bb ในชายแสดงลักษณะหัวล้าน แต่ในหญิงแสดงลักษณะผมปกติ

4) **ตอบ 2.** ลักษณะที่ศึกษาไม่พบในพ่อแม่ (เช่น ในรุ่นที่ III) แต่พบในรุ่นลูก (รุ่นที่ IV) จึงมีการถ่ายทอดโดยพันธุกรรมแบบเป็นยีนด้อยบนออโทโซม (autosomal recessive)

ข้อ 1. การถ่ายทอดโดยพันธุกรรมแบบเป็นยีนเด่นบนออโทโซม (autosomal dominant) จะเกิดในรุ่นพ่อแม่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง หรือทั้ง 2 ฝ่าย และเกิดขึ้นในลูกทุกรุ่น

ข้อ 3. การถ่ายทอดแบบยีนด้อยบนโครโมโซมเอ็กซ์ (X-linked recessive inheritance) จะพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง และลูกชายที่เกิดจากแม่ที่เป็นโรคหรือพาหะจะต้องเป็นโรคเสมอ

ข้อ 4. multiple alleles คือ รูปแบบของยีนที่มีแอลลีลมากกว่า 2 แบบ

5) **ตอบ 4.** ลักษณะมีขนที่ใบหูเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม Y จึงพบเฉพาะในเพศชายเท่านั้น

6) **ตอบ 2.**

ในการผสมตัวเองของพืชที่มีจีโนไทป์ AaBbCcdd ที่เป็นไปตามกฎของเมนเดล การผสมระหว่างเฮเทอโรไซกัส เช่น

$$Aa \times Aa$$

จะได้ F_1 $\frac{1}{4}AA$ $\frac{1}{2}Aa$ $\frac{1}{4}aa$

โอกาสเกิดฮอมอไซกัสคิดเป็น $\frac{1}{4}$ (AA) + $\frac{1}{4}$ (aa) = $\frac{1}{2}$

ส่วนการผสมระหว่างแอลลีลด้อยที่เป็นฮอมอไซโกต เช่น dd × dd จะได้ เป็น dd 1 หรือ 100%

ดังนั้น จากกฎการคูณลูกที่เป็นฮอมอไซกัสของยีนทั้ง 4 ตำแหน่ง = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{8}$

7) **ตอบ 1.** สิงค์เกจระหว่างยีน A และ B ทำให้เกิดเซลล์สืบพันธุ์ได้เพียง 2 รูปแบบ คือ AB และ ab ในอัตราส่วนที่เท่ากัน หรือ 1:1

8) **ตอบ 3.** การที่ผสมเมล็ดกลมสีเหลืองเข้าด้วยกัน (W_G_ × W_G_) แล้วได้แต่เมล็ดสีเหลือง แสดงว่ายีนที่ควบคุมสีเมล็ดมีจีโนไทป์แบบยีนเด่นฮอมอไซกัส (GG)

ส่วนยีนที่ควบคุมลักษณะเมล็ดในพ่อแม่ผสมแล้วได้อัตราส่วนลูกเป็น เมล็ดกลม : เมล็ดย่น = 3 : 1 แสดงว่ามีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัส (Ww) จีโนไทป์ของพ่อแม่จึงเป็น WwGG

9) **ตอบ 4.** อัตราส่วนของรุ่นลูก คือ ฝักใหญ่เมล็ดเหลือง : ฝักใหญ่เมล็ดม่วง : ฝักเล็กเมล็ดเหลือง : ฝักเล็กเมล็ดม่วง = 3 : 3 : 1 : 1

ยีนที่ควบคุมลักษณะฝักในพ่อแม่ผสมแล้วได้อัตราส่วนลูกเป็น ฝักใหญ่ : ฝักเล็ก = 3 : 1 แสดงว่ามีจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัส (Ff) ทั้งคู่

ส่วนยีนที่ควบคุมลักษณะสีเมล็ดในพ่อแม่ผสมแล้วได้อัตราส่วนลูกเป็น เมล็ดเหลือง : เมล็ดม่วง = 1 : 1 แสดงว่าต้นรุ่นพ่อแม่ต้นหนึ่งเป็นเฮเทอโรไซกัส (Yy) อีกต้นมียีนด้อยแบบฮอมอไซกัส (yy) จีโนไทป์ของรุ่น F_1 จึงเป็น FfYy × Ffyy

10) **ตอบ 3.** ฝักเล็กเมล็ดสีม่วง มีจีโนไทป์ได้แบบเดียว คือ ยีนด้อยแบบฮอมอไซกัส (ffyy)

ข้อ 1. และ 4. ฝักเล็กเมล็ดเหลืองมีจีโนไทป์ ได้แก่ ffYY และ ffYy

ข้อ 2. ฝักใหญ่เมล็ดเหลืองมีจีโนไทป์ ได้แก่ FFYY FfYY FFYy และ FfYy

บทที่ 16 ยีนและโครโมโซม

1) **ตอบ 2.** ให้ CCU=Pro และ CUU=Leu ลำดับนิวคลีโอไทด์ของสาย RNA ที่ถูกแปลรหัสเป็นดังนี้ 5' CCU CUU CCU CUU CCU ... 3' เนื่องจากสาย RNA ถูกถอดรหัสมาจากสายดีเอ็นเอในทิศทางที่ตรงข้ามกัน และ C คู่กับ G, U คู่กับ A จะได้สาย DNA คือ 3' GGA GAA GGA GAA GGA ... 5'

2) **ตอบ 3.** เพราะ UAA คือ รหัสหยุดสร้างโปรตีน ดังนั้น จะมีสายพอลิเพปไทด์ที่เกิดจากรหัส AUG ACU CGA เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนเพียง 3 ตัว
   ข้อ 1. ผิด เพราะดีเอ็นเอสายแม่พิมพ์จะต้องมีทิศตรงกันข้ามและเป็นเบสคู่สมกันกับสาย mRNA ดังนั้น ดีเอ็นเอสายแม่พิมพ์ที่ถูกต้อง คือ 3' TACTGAGCTATTGAC 5'
   ข้อ 2. ผิด เพราะแอนติโคดอนมีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ต้องเป็นเบสคู่สมกันและมีทิศตรงกันข้ามกับสาย mRNA คือ 3' UACUGAGCUAUUGAC 5'

3) **ตอบ 3.** เพราะฟีโนไทป์จะเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลำดับเบสในช่วงที่มีการถอดรหัส หรือช่วงของยีนนั่นเอง

4) **ตอบ 2.** เฟรมชิฟท์มิวเทชัน คือ การกลายที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นหรือขาดหายไปของคู่นิวคลีโอไทด์ในบางตำแหน่งของยีน ทำให้กรดอะมิโนจากลำดับที่กลายพันธุ์เปลี่ยนไปทั้งหมด ซึ่งกรณีนี้ตัว C ขาดหายไป ทำให้ลำดับของโคดอนหรือเบส 3 ตัวเปลี่ยนแปลงไป (หลักการดูคือประโยคจะอ่านไม่รู้เรื่อง)
   ข้อ 1. เกิดการขาดหายของนิวคลีโอไทด์ 3 ตัวหรือทั้งโคดอน (THE หายไป) ทำให้กรดอะมิโนขาดหายไปหนึ่งตัว แต่ลำดับยังเหมือนเดิม (ประโยคยังอ่านรู้เรื่อง)
   ข้อ 3. เกิดการแทนที่ของตัว R แทนตัว C (CAT เปลี่ยนเป็น RAT) ทำให้กรดอะมิโนเปลี่ยนแปลงหนึ่งตัว แต่ลำดับยังเหมือนเดิม (ประโยคยังอ่านรู้เรื่อง)
   ข้อ 4. เกิดการย้ายตำแหน่งของตัว E (ATE เปลี่ยนเป็น EAT) ทำให้กรดอะมิโนเปลี่ยนแปลงหนึ่งตัว แต่ลำดับยังเหมือนเดิม (ประโยคยังอ่านรู้เรื่อง)

5) **ตอบ 2.** การสังเคราะห์ leading strand และ lagging strand จะเกิดขึ้นพร้อมกัน แต่เกิดกับคนละสายของดีเอ็นเอ
   ข้อ 1. ผิด เพราะ lagging strand สร้างขึ้นไม่ต่อเนื่องเป็นท่อนๆ เรียก Okazagi fragments แต่ leading strand สังเคราะห์อย่างต่อเนื่อง
   ข้อ 3. ผิด เพราะการสังเคราะห์ทั้งสาย leading และ lagging strand เกิดขึ้นในทิศทาง 5' ไป 3'
   ข้อ 4. ผิด เพราะเอนไซม์ ligase ทำหน้าที่เชื่อมต่อ Okazagi fragments ของ lagging strand ให้เป็นสายเดียวกัน

6) **ตอบ 3.** กรดอะมิโน 1 ตัวแปลรหัสจากโคดอนที่ประกอบจากลำดับเบส 3 ตัว กรดอะมิโน 400 ตัวจึงแปลรหัสจากลำดับเบส 400 × 3 = 1,200 ตัว รวมถึงโคดอนหยุดที่มีลำดับเบสอีก 3 ตัว (stop codon) รวมทั้งสิ้น 1,203 นิวคลีโอไทด์

7) **ตอบ 4.** จากกฎของชาร์กาฟฟ์ กล่าวว่า เบส A:T = G:C หรือจำนวนของ A = T และ G = C
   โจทย์ให้มีเบสไซโทซีน (C) 16% ดังนั้นจึงมีเบสกวานีน (G) 16% เช่นกัน รวม G + C = 32%
   ที่เหลือ 100 – 32% = 68% คือ จำนวนของเบสอะดีนีน (A) และไทมีน (T) รวมกัน
   เนื่องจากเบส A และ T มีจำนวนเท่ากัน จึงมีอย่างละ 68% / 2 = 34%

8) **ตอบ 2.** โครงสร้างที่กำหนดรหัสพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิต ให้เป็น A, T, C และ G คือ ไนโตรจีนัสเบสในนิวคลีโอไทด์หรือโครงสร้างที่ 3

9) **ตอบ 2.** ดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอมีโครงสร้างต่างกันตรงน้ำตาลเพนโทส หรือน้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม (โครงสร้างที่ 2) โดยดีเอ็นเอมีน้ำตาลดีออกซีไรโบส ส่วนอาร์เอ็นเอมีน้ำตาลไรโบส และต่างกันที่ไนโตรจีนัสเบส (โครงสร้างที่ 3) โดยอาร์เอ็นเอมีเบสยูราซิลแทนเบสไทมีนในดีเอ็นเอ ส่วนโครงสร้างที่ 1 หรือหมู่ฟอสเฟตนั้นเหมือนกันทั้งดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ

10) **ตอบ 4.** ผิด เพราะกระบวนการ 1. คือ การถอดรหัส (transcription) จากสายดีเอ็นเอแม่พิมพ์เป็นสาย mRNA ส่วนการสร้าง leading strand และ lagging strand เกิดในกระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ

ข้อ 1. ถูกต้อง เพราะกระบวนการถอดรหัสเกิดขึ้นในนิวเคลียส

ข้อ 2. ถูกต้อง เพราะกระบวนการ 2. คือ การแปลรหัส (translation) จาก mRNA เป็นสายโปรตีน เกี่ยวข้องกับอาร์เอ็นเอทั้ง 3 ชนิด คือ mRNA (แม่พิมพ์ในการแปลรหัส) tRNA (นำกรดอะมิโนมาเชื่อมต่อกัน) และ rRNA (ส่วนประกอบของไรโบโซม)

ข้อ 3. ถูกต้อง เพราะกระบวนการแปลรหัสเกี่ยวข้องกับไรโบโซมซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม

บทที่ 17 พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

1) **ตอบ 4.** ในการแยก DNA ด้วยหลักการเจลอิเล็กโทรโฟริซิสใช้แผ่นเจล เช่น agarose และ polyacrylamide เป็นตัวกลาง

ข้อ 1. ผิด เพราะการเคลื่อนที่ของ DNA เกิดจากประจุลบของหมู่ฟอสเฟตในโมเลกุล

ข้อ 2. ผิด เพราะโมเลกุลขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า

ข้อ 3. ผิด เพราะแถบ DNA ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้สีย้อม เช่น อีธิเดียมโบรไมด์ และเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต

2) **ตอบ 2.** primer เป็น DNA สายสั้นๆ ที่มีลำดับเบสคู่สมกันกับส่วนของ DNA ที่ต้องการ โดยเข้าเกาะสาย DNA เป็นจุดเริ่มต้นและกำหนดบริเวณในการสร้างสาย DNA

ข้อ 1. ligase เป็นเอนไซม์ใช้ในการเชื่อมต่อสาย DNA

ข้อ 3. bacterial cell หรือเซลล์แบคทีเรียใช้ในการการโคลนยีนโดยอาศัยพลาสมิดของแบคทีเรีย

ข้อ 4. restriction enzyme หรือเอนไซม์ตัดจำเพาะ ใช้ในการตัดสาย DNA ตรงตำแหน่งที่ต้องการ

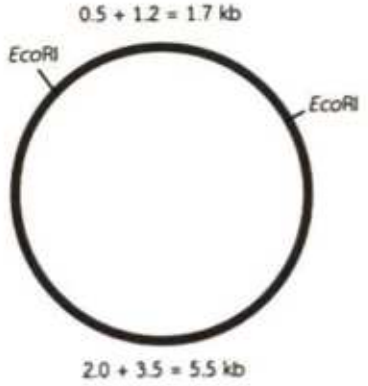
3) **ตอบ 4.** ไพรเมอร์ C และ D อยู่คร่อมยีน N ที่ต้องการและสามารถเพิ่มจำนวนด้วยวิธี PCR

ข้อ 1. ผิด เพราะเอนไซม์ *Bam*HI จะตัดตั้งแต่ตำแหน่งก่อนยีน N ถึงหลังยีน O

ข้อ 2. ผิด เพราะเอนไซม์ *Hind*III จะตัดยีน N ออกเป็น 2 ท่อน

ข้อ 3. ผิด เพราะไพรเมอร์ B และ D เป็นไพรเมอร์ในทิศเดียวกันไม่สามารถใช้เพิ่มจำนวนยีนได้

4) **ตอบ 4.** เอนไซม์ *Eco*RI จะตัดพลาสมิด 2 ตำแหน่ง ทำให้พลาสมิดขาดออกเป็นดีเอ็นเอสายตรง 2 สาย



5) **ตอบ 2.**

*Bam*HI (5'-G/GATCC-3') โดยตัดตรงตำแหน่งในกรอบสี่เหลี่ยม

5' atggca gagcag gtggcc ctgagc cggacc cacgtg tgcg(ggatcc)tgcg 3'

6) **ตอบ 1.** ความรู้เรื่องขนาดของโครโมโซมสามารถทราบได้จากการศึกษาคาริโอไทป์ ทั้งนี้โครงการจีโนมมนุษย์ทำให้เราทราบถึงตำแหน่งของยีนและแผนที่เครื่องหมายทางพันธุกรรม

7) **ตอบ 2.** เป็นตำแหน่งที่การเรียงลำดับเบสในทิศทาง 5' ไป 3' เหมือนกันทั้งสองสายของ DNA

8) **ตอบ 3.** การเกิดจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่ที่สร้างสารเคมีที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อาจเกิดจากการกลายพันธุ์ของจุลินทรีย์ ไม่ใช่ความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

9) **ตอบ 2.** รูปแบบของแถบ DNA เหมือนกับพ่ออยู่ฝ่ายเดียว

10) **ตอบ 2.** ผิด เพราะการบำบัดด้วยยีนจะนำยีนที่ต้องการแทรกเข้าไปในไวรัส และนำเข้าสู่เซลล์ของผู้ป่วย ก่อนนำเซลล์ที่ได้รับยีนใส่เข้าไปในร่างกายผู้ป่วยเพื่อให้สร้างโปรตีนที่ต้องการ

บทที่ 18 วิวัฒนาการ

1) **ตอบ 3.** ถูกต้อง เพราะวิวัฒนาการระดับจุลภาค หมายถึง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของยีนพูลในประชากรทีละเล็กทีละน้อย ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร

ข้อ 1. ผิด เพราะมิวเทชันทำให้เกิดทั้งลักษณะใหม่ที่เป็นประโยชน์หรือเป็นโทษแก่สิ่งมีชีวิตในประชากรก็ได้

ข้อ 2. ผิด เพราะมิวเทชันทำให้เกิดความแปรผันในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศได้

ข้อ 4. ผิด เพราะการคัดเลือกโดยธรรมชาติไม่ใช่กระบวนการเดียวที่ทำให้ประชากรที่มีลักษณะไม่เหมาะสมต้องตาย แต่อาจเกิดจากการคัดเลือกคู่ผสมพันธุ์แบบไม่สุ่ม ปรากฏการณ์คอขวด หรือผลกระทบจากผู้ก่อตั้งก็ได้ นอกจากนี้การคัดเลือกโดยธรรมชาติไม่จำเป็นต้องทำให้ประชากรที่มีลักษณะไม่เหมาะสมต้องตาย แต่อาจทำให้ไม่สามารถสืบพันธุ์ถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมสู่ลูกหลานได้ ซึ่งมีความหมายเหมือนกันตายไปจากประชากรนั่นเอง

2) **ตอบ 4.** เพราะมิวเทชันที่เกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์ทำให้เกิดลักษณะใหม่และสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลานภายในประชากร

ข้อ 1. การเลือกคู่ผสมพันธุ์ หมายถึง สมาชิกทุกตัวในประชากรมีโอกาสผสมพันธุ์ไม่เท่ากัน ไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดลักษณะใหม่ในประชากร

ข้อ 2. ปรากฏการณ์คอขวด เกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ส่งผลให้ประชากรลดจำนวนอย่างรวดเร็ว ทำให้เหลือแอลลีลเป็นไปอย่างสุ่ม ไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดลักษณะใหม่ในประชากร

ข้อ 3. การคัดเลือกโดยธรรมชาติ คัดเลือกลักษณะที่มีอยู่แล้วในประชากรที่เหมาะสมที่สุดกับสภาพแวดล้อมในขณะนั้น

3) **ตอบ 3.** กำหนดให้คนที่มีจีโนไทป์ AA = 90 คน และ aa = 10 คน รวมทั้งหมด 100 คน
หาความถี่แอลลีล A (p) = 90 × 2/200 = 0.9
a (q) = 10 × 2/200 = 0.1
จากสมการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก $p^2 + 2pq + q^2 = 1$
จะได้ ความถี่จีโนไทป์ AA = $p^2 = 0.9^2 = 0.81$
ความถี่จีโนไทป์ Aa = 2pq = 2 × 0.9 × 0.1 = 0.18
ความถี่จีโนไทป์ aa = $q^2 = 0.1^2 = 0.01$
ดังนั้น จำนวนคนที่มีจีโนไทป์ AA = 0.81 × 100 = 81 คน
จำนวนคนที่มีจีโนไทป์ Aa = 0.18 × 100 = 18 คน
จำนวนคนที่มีจีโนไทป์ aa = 0.01 × 100 = 1 คน

4) **ตอบ 2.** เพราะการผสมพันธุ์แบบสุ่มของสมาชิกในประชากรที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ประชากรอยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีลของประชากรในรุ่นถัดๆ ไป ส่งผลให้ไม่เกิดวิวัฒนาการ
ข้อ 1. การคัดเลือกสายพันธุ์พืชและสัตว์โดยมนุษย์ เป็นรูปแบบที่คล้ายกับการคัดเลือกโดยธรรมชาตินำไปสู่การเกิดวิวัฒนาการ
ข้อ 3. การผสมพันธุ์ระหว่างกระรอกสปีชีส์เดียวกันแต่เคยอยู่แยกกันคนละเกาะ ทำให้เกิดการถ่ายเทยีนระหว่างประชากรสองกลุ่ม ประชากรจึงไม่อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก และเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีลของประชากรในรุ่นถัดๆ ไป มีแนวโน้มทำให้เกิดวิวัฒนาการ
ข้อ 4. การเกิดมิวเทชันในระดับยีนทำให้สมาชิกบางส่วนประชากรมีลูกน้อยลง ส่งผลให้สมาชิกบางส่วนมีความสามารถในการดำรงชีวิตต่ำลง เป็นปัจจัยสนับสนุนให้เกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาตินำไปสู่การเกิดวิวัฒนาการ

5) **ตอบ 3.** แนวคิดสปีชีส์ทางชีววิทยา หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่เป็นสปีชีส์เดียวกัน จะสามารถ**ผสมพันธุ์กันได้ในธรรมชาติ และให้กำเนิดลูกที่ไม่เป็นหมัน** ส่วนแนวคิดที่สิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกัน **เพราะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยา** (เช่น โครงสร้างภายนอก อวัยวะภายใน) คือ แนวคิดสปีชีส์ทางด้านสัณฐานวิทยา

6) **ตอบ 1.** สิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดมีเสียงร้องแตกต่างกัน ส่งผลให้พฤติกรรมการส่งเสียงร้องเรียกหาคู่ผสมพันธุ์แตกต่างกัน จึงเป็นกลไกที่ป้องกันการผสมพันธุ์ระหว่างสองสปีชีส์

7) **ตอบ 2.** กำหนดให้ความถี่จีโนไทป์ AA = 0.20 Aa = 0.60 และ aa = 0.20 คน **รวมทั้งหมด** 100 คน
หาความถี่แอลลีล A (p) = 0.20 + (0.60/2) = 0.5
a (q) = 0.20 + (0.60/2) = 0.5
เมื่อมีการแต่งงานกันแบบสุ่มผ่านไปหนึ่งชั่วรุ่น ถือว่าประชากรเข้าสู่ภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
จากสมการของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก $p^2 + 2pq + q^2 = 1$
จะได้ ความถี่จีโนไทป์ AA = $p^2 = 0.5^2 = 0.25$
ความถี่จีโนไทป์ Aa = 2pq = 2 × 0.5 × 0.5 = 0.50
ความถี่จีโนไทป์ aa = $q^2 = 0.5^2 = 0.25$

8) **ตอบ 1.** gene flow หรือการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน หมายถึง การเคลื่อนย้ายและอพยพของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจากประชากรหนึ่งไปยังอีกประชากรหนึ่ง และเกิดการผสมพันธุ์ระหว่างกัน ทำให้แอลลีลจากประชากรหนึ่งถูกถ่ายเทไปยังอีกประชากรหนึ่งได้ จึงทำให้สิ่งมีชีวิตที่เกิดการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ยังคงมียีนพูลร่วมกัน และถือว่าเป็นสปีชีส์เดียวกัน เป็นอุปสรรคต่อการเกิดสปีชีส์ใหม่จากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์

9) **ตอบ 3.** ถูกต้อง เพราะการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนจากมดที่มาจากขอนไม้ ทำให้ยีนพูลของประชากรมดบนเกาะเปลี่ยนแปลงไป

ข้อ 1. ผิด เพราะในประชากรขนาดใหญ่ มิวเทชันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีลในระดับที่ต่ำมาก ทำให้ยีนพูลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ข้อ 2. ผิด เพราะการคัดเลือกพันธุ์ข้าวของเกษตรกร ไม่ใช่การคัดเลือกโดยธรรมชาติ แต่เป็นการคัดเลือกโดยฝีมือมนุษย์ (artificial selection)

ข้อ 4. ผิด เพราะการที่ประชากรตั๊กแตนส่วนใหญ่ถูกลมพัดจากเกาะไปยังแผ่นดินใหญ่ ทำให้ประชากรตั๊กแตนบนเกาะเหลือน้อยลงมาก ถือเป็นปรากฏการณ์คอขวดที่ทำให้ความถี่แอลลีลเปลี่ยนแปลง และประชากรไม่อยู่ในภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก

10) **ตอบ 4.** สมมติฐานแรก หรือสมมติฐานพหุภูมิภาค กล่าวว่ามนุษย์ในปัจจุบันเชื้อชาติต่างๆ มีวิวัฒนาการมาจากมนุษย์โบราณที่แพร่กระจายในบริเวณต่างๆ แต่ดั้งเดิมอยู่แล้ว โดยเป็นวิวัฒนาการแบบขนานกันมาเป็นมนุษย์ปัจจุบัน ส่วนสมมติฐานที่สอง หรือสมมติฐานออกจากแอฟริกา กล่าวว่ามนุษย์ในปัจจุบันมีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษเดียวกัน คือ *Homo erectus* ในแอฟริกา และอพยพออกสู่ภูมิภาคต่างๆ จนกำเนิดเป็นมนุษย์เชื้อชาติต่างๆ

บทที่ 19 ความหลากหลายทางชีวภาพ

1) **ตอบ 1.** แอมฟิเบียนหรือสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกอยู่ในไฟลัมคอร์ดาตา ซึ่งมีแท่งประสาทกลวงด้านหลัง ส่วนแอนเนลิด นีมาโทด อาร์โทรพอด เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังซึ่งมีแท่งประสาทตันด้านท้อง

2) **ตอบ 2.** สิ่งมีชีวิตที่ไม่มีนิวเคลียสจัดอยู่ในพวกโพรคาริโอต ซึ่งเป็นกลุ่มของแบคทีเรียเท่านั้น ส่วนแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ คือ ไซยาโนแบคทีเรียอยู่ในอาณาจักรย่อยยูแบคทีเรีย

3) **ตอบ 4.** 1) และ 4) ความเหมือนและแตกต่างของพืชดอกและพืชกลุ่มสนและปรง (พืชเมล็ดเปลือย) เป็นดังนี้

ลักษณะ	พืชดอก	พืชกลุ่มสนและปรง
1) กระบวนการปฏิสนธิ (ต่าง)	การปฏิสนธิซ้อน	การปฏิสนธิครั้งเดียว
2) การถ่ายละอองเรณู	เกิดขึ้นโดยลม หรือแมลง	เกิดขึ้นโดยลม
3) การมีเมล็ด	มี อยู่ภายในผล	มี ติดอยู่บนกิ่ง ใบ หรือโคน
4) การเกิดผลชนิดต่างๆ (ต่าง)	มี	ไม่มี

4) **ตอบ 1.** รูปที่แสดงคือเห็ดซึ่งอยู่ในไฟลัมเบสิดิโอไมโคตา และสร้างสปอร์อาศัยเพศแบบเบสิดิโอสปอร์

5) **ตอบ 2.** B E A C โดยลำดับการเกิดเซลล์ยูคาริโอตเป็นดังนี้

D	B	E	A	C
เซลล์ในระยะเริ่มแรกเป็นเซลล์โพรคาริโอต สารพันธุกรรมลอยอยู่ในไซโทพลาซึม	เยื่อหุ้มเซลล์มีการคอดและเว้าเข้าไปล้อมรอบสารพันธุกรรม	เยื่อหุ้มเซลล์ที่ล้อมรอบสารพันธุกรรมพัฒนาเป็นเยื่อหุ้มนิวเคลียส เกิดนิวเคลียสและมีเอนโดพลาสมิกเรติคิวลัม	บรรพบุรุษเซลล์ยูคาริโอตมีการเขมือบเซลล์โพรคาริโอตที่ใช้ออกซิเจนสังเคราะห์อาหาร อยู่ร่วมกันเป็นไมโทคอนเดรีย	บรรพบุรุษเซลล์ยูคาริโอตมีการเขมือบเซลล์โพรคาริโอตที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ อยู่ร่วมกันเป็นคลอโรพลาสต์

6) **ตอบ 3.** ยูกลีนา เพราะเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวที่สังเคราะห์ด้วยแสงและมีคลอโรพลาสต์

7) **ตอบ 4.** คลอโรพลาสต์ เพราะยูกลีนาต้องใช้คลอโรพลาสต์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

8) **ตอบ 3.** 5 ไฟลัม พยาธิใบไม้-แพลทีเฮลมินทิส, ดาวทะเล-เอไคโนเดอมาตา, ลิ่นทะเล-มอลลัสคา, ขนนกทะเล-ไนดาเรีย, แม่เพรียง-แอนเนลิดา

พิจารณา 1. 4 ไฟลัม แมงกะพรุน-ไนดาเรีย, พยาธิไส้เดือน-นีมาโทดา, ปลิงทะเล อีแปะทะเล-เอไคโนเดอมาตา, พยาธิใบไม้-แพลทีเฮลมินทิส

พิจารณา 2. 3 ไฟลัม เพรียงหิน ยุง กั้ง-อาร์โทรโพดา, ดอกไม้ทะเล-ไนดาเรีย, เพรียงหัวหอม-คอร์ดาตา

พิจารณา 4. 4 ไฟลัม ฟองน้ำ-พอริเฟอรา, กุ้ง เพรียงหิน-อาร์โทรโพดา, พยาธิใบไม้-แพลทีเฮลมินทิส, อีแปะทะเล-เอไคโนเดอมาตา

9) **ตอบ 1.** ภาพ A แสดงกลุ่มไม่มีโพรงลำตัว พบในแพลทีเฮลมินทิส เช่น พยาธิใบไม้ ภาพ B แสดงกลุ่มมีโพรงลำตัวแท้ พบในไฟลัมมอลลัสคา แอนเนลิดา อาร์โทรโพดา เอไคโนเดอมาตา และคอร์ดาตา ดังนั้น พยาธิใบไม้ในเลือดอยู่ในไฟลัมแพลทีเฮลมินทิส และซาลามานเดอร์อยู่ในไฟลัมคอร์ดาตา

จากตารางใช้เฉลยข้อ 10)-11)

ตัวอักษร	ไฟลัม	ตัวอักษร	ไฟลัม
A พยาธิเส้นด้าย	นีมาโทดา	E กบ	คอร์ดาตา
B กุ้ง	อาร์โทรโพดา	F หอยทาก	มอลลัสกา
C ดอกไม้ทะเล	ไนดาเรีย	G แม่นทะเล	เอไคโนเดอมาตา
D พลานาเรีย	แพลทีเฮลมินทิส	H แม่เพรียง	แอนเนลิดา

10) **ตอบ 3.** E G โดยกลุ่มที่มีทวารหนักเกิดก่อนปากคือกลุ่มดิวเทอโรสโทม ได้แก่ ไฟลัมเอไคโนเดอมาตา (G) และคอร์ดาตา (E)

11) **ตอบ 4.** F (มอลล์สกา) H (แอนเนลิดา) รวมถึง D (แพลทีเฮลมินทิส) มีลักษณะตัวอ่อนคล้ายกัน คือ โทรโคฟอร์ ส่วน A (นีมาโทดา) และ B (อาร์โทรโพดา) มีตัวอ่อนลอกคราบ

12) **ตอบ 2.** ผิด เพราะพืชกลุ่ม B คือ ไฟลัมเทอโรไฟตา ได้แก่ หวายทะนอย หญ้าถอดปล้อง เฟิน ส่วนมะเมื่อยอยู่ในไฟลัมนีโทไฟตา (กลุ่ม C)

พิจารณา 1. ถูกต้อง เพราะพืชกลุ่ม A คือ กลุ่มมอส ลิเวอร์เวิร์ต ฮอร์นเวิร์ต มีระยะแกมีโทไฟต์เด่นกว่าระยะสปอโรไฟต์

พิจารณา 3. ถูกต้อง เพราะพืชกลุ่ม C คือ กลุ่มพืชเมล็ดเปลือย (จิมโนสเปิร์ม) ไม่มีเนื้อเยื่อผลหุ้มเมล็ดและออวุลติดบนกิ่ง

พิจารณา 4. ถูกต้อง เพราะพืชกลุ่ม D คือ พืชดอกเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่ยุคครีเทเชียสเป็นต้นมา

จากไดโคโตมัสคีย์ของอาณาจักรโพรทิสตา ใช้เฉลยข้อ 13)-15)

1. ก ไม่มีไมโทคอนเดรีย..... ดูข้อ 2
1. ข มีไมโทคอนเดรีย..... ดูข้อ 3
2. ก มีแฟลเจลลาหลายเส้น..... ไดโพลโมนาดิดา
2. ข มีแฟลเจลลาเป็นคู่..... **(A) พาราบาซาลา**
3. ก มีช่องว่างแอลวีโอไลใต้เยื่อหุ้มเซลล์..... แอลวีโอลาตา ดูข้อ 4
3. ข เซลล์สืบพันธุ์มีแฟลเจลลาสองเส้น..... สตรามิโนไพลส์ ดูข้อ 6
4. ก สังเคราะห์ด้วยแสงได้..... **(B) ไดโนแฟลเจลเลต**
4. ข สังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้..... ดูข้อ 5
5. ก ไม่มีโครงสร้างในการเคลื่อนที่มักเป็นปรสิต..... **(C) เอพิคอมเพลกซา**
5. ข ใช้ซิเลียในการเคลื่อนที่..... **(D) ซิลิเอต**
6. ก มีสารสีน้ำตาลฟิวโคแซนทิน..... ดูข้อ 7
6. ข ไม่มีสารสีน้ำตาล..... ดูข้อ 8
7. ก มีขนาดใหญ่โครงสร้างซับซ้อน..... **(E) สาหร่ายสีน้ำตาล**
7. ข มีขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า..... **(F) ไดอะตอม**
8. ก มีสารสีแดงไฟโคอีริทริน..... **(G) สาหร่ายสีแดง**
8. ข ไม่มีสารสีอื่นนอกเหนือจากสีเขียว..... **(H) สาหร่ายสีเขียว**

13) **ตอบ 4.** กลุ่มที่จัดเป็นสาหร่าย ได้แก่ (B) ไดโนแฟลเจลเลต (E) สาหร่ายสีน้ำตาล (F) ไดอะตอม (G) สาหร่ายสีแดง และ (H) สาหร่ายสีเขียว

14) **ตอบ 3.** ผิด เพราะสาเหตุของปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬ คือ (B) ไดโนแฟลเจลเลต ไม่ใช่ (G) สาหร่ายสีแดง

พิจารณา 1. ถูกต้อง เพราะ (A) พาราบาซาลา ได้แก่ ไตรโคนิมฟาที่ดำรงชีวิตแบบภาวะพึ่งพาในลำไส้ปลวก

พิจารณา 2. ถูกต้อง เพราะ (C) เอพิคอมเพลกซา ได้แก่ พลาสโมเดียมเป็นสาเหตุของโรคมาลาเรียโดยมียุงเป็นพาหะ

พิจารณา 4. ถูกต้อง เพราะ (H) สาหร่ายสีเขียวมีความใกล้ชิดทางวิวัฒนาการกับอาณาจักรพืชมากที่สุด

15) **ตอบ 2.** ภาพหมายเลข 1 คือ ไดอะตอม (F) ภาพหมายเลข 2 คือ พารามีเซียม อยู่ในกลุ่มซิลิเอต (D)

บทที่ 20 ระบบนิเวศ

1) **ตอบ 2.** ปลวก - โพรโทซัวในลำไส้ปลวก เพราะแบคทีเรีย A สร้างสารที่ B ต้องการในการเติบโต และในทางกลับกันแบคทีเรีย B ก็สร้างสารที่ A ต้องการ ดังนั้น จึงมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพากัน (+, +) ซึ่งเหมือนกับความสัมพันธ์ระหว่างปลวกกับโพรโทซัวในลำไส้ปลวก
   ข้อ 1. แบคทีเรีย-ไวรัสแบคทีริโอฟาจ เป็นความสัมพันธ์แบบภาวะปรสิต
   ข้อ 3. ปลา-แพลงก์ตอน เป็นความสัมพันธ์แบบภาวะการล่า
   ข้อ 4. หนู-แบคทีเรียเลปโตสไปรา (ทำให้เกิดโรคฉี่หนู) เป็นความสัมพันธ์แบบภาวะปรสิต

2) **ตอบ 1.** ระบบนิเวศ เพราะเกี่ยวข้องกับทั้งปัจจัยทางกายภาพ (ดิน) และกลุ่มสิ่งมีชีวิต (หญ้าและเสือ)
   ข้อ 2. ห่วงโซ่อาหาร เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพลังงานเป็นลำดับขั้นผ่านการกินอาหาร
   ข้อ 3. สังคมของสิ่งมีชีวิต เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไป
   ข้อ 4. ภาวะการได้ประโยชน์ร่วมกัน เป็นรูปแบบความสัมพันธ์แบบหนึ่งในสังคมของสิ่งมีชีวิต

3) **ตอบ 1.** ป่าพรุ (peat swamp forest) เพราะดินเป็นดินอินทรีย์หรือดินพรุ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์และมีน้ำจืดขังอยู่ตลอดปี ทำให้น้ำมีความเป็นกรดสูงมีสีน้ำตาลแดง
   ข้อ 2. ป่าชายเลน ขึ้นตามแนวชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำ เป็นลักษณะน้ำกร่อยและดินเลน
   ข้อ 3. ป่าดิบชื้น พบในพื้นที่ที่มีฝนตกชุกเกือบตลอดปี มีชั้นดินลึกและเก็บความชื้นได้ดี
   ข้อ 4. ป่าดิบแล้ง ดินมักเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย

4) **ตอบ 4.** 4) คือ ขั้นดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ซึ่งเปลี่ยนไนไตรท์หรือไนเตรทกลับเป็นแก๊สไนโตรเจนซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้
   ข้อ 1. 1) การตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) คือ การเปลี่ยนแก๊สไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมหรือไนเตรท ซึ่งพืชนำไปใช้ได้
   ข้อ 2. 2) ขั้นแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) คือ การเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียม ซึ่งพืชนำไปใช้ได้
   ข้อ 3. 3) ขั้นไนตริฟิเคชัน (nitrification) คือ การเปลี่ยนแอมโมเนียมเป็นไนไตรท์หรือไนเตรทซึ่งพืชนำไปใช้ได้

5) **ตอบ 3.** สาหร่ายซูแซนเทลเลกับปะการัง กระบวนการ 1) คือ การตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) เกิดโดยแบคทีเรียในปมรากถั่ว เป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพากัน (+, +) ระหว่างแบคทีเรียกับต้นพืช จึงสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่ายซูแซนเทลเลและปะการัง
   ข้อ 1. แบคทีเรียกับราเพนนิซิเลียม เป็นความสัมพันธ์แบบภาวะต่อต้าน (0, -)
   ข้อ 2. ตัวอ่อนของตัวต่อในหนอนผีเสื้อ เป็นความสัมพันธ์แบบปรสิตเทียม (+, -)
   ข้อ 4. โพรโทซัวไดโนแฟลเจลเลตกับปลาทะเล เป็นความสัมพันธ์แบบภาวะต่อต้าน (0, -)

6) **ตอบ 4.** กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่จะดำรงอยู่นานที่สุดจนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งคือ กลุ่มสิ่งมีชีวิตในป่าผลัดใบเขตอบอุ่น เพราะป่าผลัดใบเขตอบอุ่นเป็นสังคมสมบูรณ์ซึ่งจะมีการคงสภาพได้เป็นระยะเวลานาน
   ข้อ 1. ผิด เพราะเป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบปฐมภูมิ คือ เริ่มจากพื้นที่ว่างเปล่าแล้วจึงมีไลเคน มอสและพืชต้นเล็กๆ เป็นพืชเบิกนำ
   ข้อ 2. ผิด เพราะป่าสนยังไม่ใช่สังคมสมบูรณ์ ยังสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นป่าผลัดใบเขตอบอุ่นได้
   ข้อ 3. ผิด เพราะในประเทศไทยไม่มีระบบนิเวศป่าผลัดใบเขตอบอุ่น

7) **ตอบ 1.** เพราะเมื่อสิ่งมีชีวิต C_1 ลดจำนวนลง ส่งผลให้ C_2 เพิ่มขึ้น C_1 ลดลง และ P เพิ่มขึ้น พีระมิดพลังงานจึงมีฐานกว้างขึ้น

ข้อ 2. ถูกต้อง เพราะเมื่อ P เพิ่มขึ้น สิ่งมีชีวิต S จึงต้องมีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น

ข้อ 3. ถูกต้อง เพราะสิ่งมีชีวิต C_1 ลดลง C_2 จึงได้รับพลังงานจาก C_1 ลดลง

ข้อ 4. ถูกต้อง เพราะสิ่งมีชีวิต C_2 มากขึ้น C_3 จึงได้รับพลังงานจาก C_2 มากขึ้น

8) **ตอบ 2.** 2) คือ บริเวณชายฝั่ง มีความหลากหลายทางชีวภาพและผลผลิตมวลชีวภาพสูงสุด เพราะเป็นบริเวณที่แสงแดดส่องถึงและได้รับธาตุอาหารจากแผ่นดิน จึงเกิดระบบนิเวศที่อุดมสมบูรณ์ เช่น แนวปะการังและหญ้าทะเล

ข้อ 1. 1) คือ เขตน้ำขึ้นน้ำลง

ข้อ 2. 3) คือ ทะเลเปิดช่วงที่แสงส่องถึง มีความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่าชายฝั่ง

ข้อ 4. 4) คือ ท้องน้ำที่แสงส่องไม่ถึง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

9) **ตอบ 1.** 1) สิ่งมีชีวิตที่อยู่เขตน้ำขึ้นน้ำลงต้องปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตลอดเวลาจากน้ำขึ้นน้ำลง เช่น แสงแดด ความชื้น ความเค็ม และความแรงของคลื่นทะเล

10) **ตอบ 3.** 3) คือ ไบโอมป่าผลัดใบเขตอบอุ่น ซึ่งพบในประเทศญี่ปุ่นและมี 4 ฤดูชัดเจน ดอกซากุระบานในฤดูใบไม้ผลิ ใบไม้เปลี่ยนสีและร่วงหล่นในฤดูใบไม้ร่วง

ข้อ 1. 1) คือ ไบโอมป่าดิบชื้น

ข้อ 2. 2) คือ ไบโอมป่าดิบแล้ง

ข้อ 4. 4) คือ ไบโอมป่าสนไทกา

บทที่ 21 ประชากร

1) **ตอบ 3.** 960 ต้น จากการวางแปลงทั้งหมด 16 แปลง นับจำนวนต้นพืชได้ 480 ต้น โดยพื้นที่ทั้งหมดมี 32 แปลง ขนาดประชากรทั้งหมด จึงเท่ากับ (480/16) × 32 = 960 ต้น

2) **ตอบ 3.** สิ่งมีชีวิตที่มีกราฟการรอดชีวิตรูปแบบที่ 1 (Type I survivorship curve) ได้แก่ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ขนาดใหญ่เพราะออกลูกต่อครั้งจำนวนน้อยแต่มีการเลี้ยงดูของพ่อแม่ ทำให้มีอัตราการรอดชีวิตสูงในวัยเด็ก

3) **ตอบ 2.** ในการทำให้พื้นที่รองรับประชากรสิ่งมีชีวิตได้มากขึ้น ต้องลด environmental resistance (ตัวต้านทานในสิ่งแวดล้อม) และเพิ่ม carrying capacity (ศักยภาพการรองรับประชากร)

4) **ตอบ 1.** การเกิด = การตาย, การอพยพเข้า < การอพยพออก การเปลี่ยนแปลงประชากรในช่วง II ⟶ III คือ ช่วงที่ประชากรลดลง ซึ่งสามารถเกิดจากการอพยพเข้าน้อยกว่าการอพยพออก

ข้อ 2. การเกิด > การตาย, การอพยพเข้า > การอพยพออก ทำให้ประชากรเพิ่มขึ้น

ข้อ 3. การเกิด > การตาย, การอพยพเข้า < การอพยพออก อาจทำให้ประชากรคงที่

ข้อ 4. การเกิด > การตาย, การอพยพเข้า = การอพยพออก ทำให้ประชากรเพิ่มขึ้น

5) **ตอบ 4.** ตำแหน่งที่ขนาดประชากรเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล

6) **ตอบ 4.**

จากสูตร ประชากรทั้งหมด = $\frac{(\text{จำนวนสัตว์ที่จับครั้งแรก} \times \text{จำนวนสัตว์ที่จับได้ครั้งหลัง})}{(\text{จำนวนสัตว์ที่มีเครื่องหมายของครั้งหลัง})}$

จำนวนสัตว์ที่จับครั้งแรกแล้วทำเครื่องหมาย = 100 ตัว

จำนวนสัตว์ที่จับได้ครั้งหลังทั้งหมด = 100 ตัว

จำนวนสัตว์ที่จับมาครั้งหลังแล้วมีเครื่องหมาย = 20 ตัว

แทนค่า ประชากรทั้งหมด = (100 × 100)/20 = 500 ตัว

7) **ตอบ 2.** ความหนาแน่นประชากรไม่ขึ้นกับขนาดของพื้นที่ที่ศึกษา แต่ขึ้นกับขนาดของพื้นที่ที่ประชากรอาศัยอยู่จริง

8) **ตอบ 4.** พีระมิดรูปดอกบัวตูม ซึ่งมีอัตราการเพิ่มประชากรลดลง ทำให้อนาคตจะมีวัยทำงานลดลง

ข้อ 1. พีระมิดฐานกว้างยอดแหลม มีอัตราการเพิ่มประชากรเพิ่มขึ้น ทำให้อนาคตจะมีวัยทำงานเพิ่มขึ้น

ข้อ 2. พีระมิดรูปกรวยปากแคบ มีอัตราการเพิ่มประชากรเพิ่มขึ้น ทำให้อนาคตจะมีวัยทำงานเพิ่มขึ้น

ข้อ 3. พีระมิดรูประฆังคว่ำ มีอัตราการเพิ่มประชากรคงที่ ทำให้อนาคตจะมีวัยทำงานเท่าเดิม

9) **ตอบ 1.** uniform distribution คือ การกระจายแบบสม่ำเสมอ มีระยะห่างระหว่างสมาชิกเท่าๆ กัน

10) **ตอบ 2.** 9 หน่วย/ตารางเมตร จากการวางกรอบประชากรทั้งหมด 3 กรอบ นับจำนวนสมาชิกได้ทั้งหมด 8 + 9 + 10 = 27 หน่วย หาค่าเฉลี่ยได้ 9 หน่วย/ตารางเมตร

บทที่ 22 มนุษย์กับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม

1) **ตอบ 1.** มีการแทนที่พันธุ์พื้นเมืองเดิม เพราะชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานมีความสามารถในการปรับตัวและแข่งขันได้ดีจนรุกรานและแทนที่พันธุ์พื้นเมืองเดิม และขัดขวางการเจริญเติบโตของพันธุ์อื่นๆ ได้

2) **ตอบ 1.** สวนพฤกษศาสตร์เป็นสวนที่มีพื้นที่มากกว่าสวนรุกขชาติ

ข้อ 2. ผิด เพราะสวนพฤกษศาสตร์สร้างขึ้นเพื่อการศึกษาวิจัย แต่สวนรุกขชาติสร้างขึ้นเพื่อเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ

ข้อ 3. ผิด เพราะสวนพฤกษศาสตร์เป็นแหล่งรวบรวมพันธุ์ไม้ทั้งในและนอกประเทศ แต่สวนรุกขชาติเป็นแหล่งรวบรวมพันธุ์ไม้ในท้องถิ่น

ข้อ 4. ผิด เพราะสวนพฤกษศาสตร์มีการจัดลำดับหมวดหมู่ของพันธุ์ไม้เพื่อการศึกษาวิจัย แต่สวนรุกขชาติไม่มีการจัดลำดับหมวดหมู่ของพันธุ์ไม้

3) **ตอบ 1.** เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ เพื่อการประมงและการว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ (เป็นประเภทที่มีความสะอาดที่สุด เพราะเกี่ยวข้องกับอาหารและการสัมผัสโดยตรง)

ข้อ 2. ไม่มีในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ

ข้อ 3. เป็นเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการอุตสาหกรรม

ข้อ 4. เป็นเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการคมนาคม (น้ำที่มี DO < 2.0 จัดว่าเป็นน้ำเสีย)

4) **ตอบ 1.** เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะการปลูกพืชวงศ์ถั่วทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น เพราะแบคทีเรียในปมรากถั่วช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้แก่ดินโดยการตรึงแก๊สไนโตรเจนให้อยู่ในรูปไนเตรท

5) **ตอบ 2.** โรงงานขนมจีนและโรงงานน้ำตาล เพราะโรงงานขนมจีนมีค่า BOD และ COD สูงที่สุด ส่วนโรงงานน้ำตาลมีค่า DO ต่ำที่สุดและค่า COD รองลงมา

6) **ตอบ 3.** ผู้ที่อาศัยอยู่บนตึกสูงมีโอกาสได้รับคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสียรถยนต์ในปริมาณใกล้เคียงกันกับผู้ที่อาศัยในระดับเดียวกับถนน เพราะแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะผสมเข้ากับอากาศได้ง่ายและลอยขึ้นไปในระยะสูงๆ ได้ ดังนั้น ผู้ที่อาศัยอยู่บนตึกสูงจึงมีโอกาสได้รับคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสียรถยนต์ในปริมาณใกล้เคียงกันกับผู้ที่อาศัยในระดับเดียวกับถนน

ข้อ 1. ผิด เพราะหากได้รับคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณมาก ทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้

ข้อ 2. ผิด เพราะคาร์บอนมอนอกไซด์จะเข้าไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงลำเลียงออกซิเจนได้น้อยลงและร่างกายขาดออกซิเจน

ข้อ 4. ผิด เพราะคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นมลสารที่เกิดจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

7) **ตอบ 4.** โดยชนิดพันธุ์ต่างถิ่นบางชนิดอาจเป็นสาเหตุให้ความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศลดลงและทำให้ประชากรชนิดพันธุ์พื้นเมืองเดิมบางชนิดลดลง เช่น หอยเชอรี่ ปลาซัคเกอร์ ต้นไมยราพยักษ์ ในขณะที่หลายชนิดมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ผักและผลไม้เมืองหนาว

8) **ตอบ 3.** หนูเล็กนำขี้เลื่อยมามาบีบอัดเป็นถ่านใช้เป็นเชื้อเพลิง เพราะการรีไซเคิล (recycle) คือ การแปรสภาพทรัพยากรจากรูปเดิมให้เป็นรูปใหม่เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่หรือใช้ประโยชน์ที่ต่างจากเดิม โดยขี้เลื่อยที่อัดเป็นถ่านคือการแปรสภาพเป็นรูปใหม่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

ข้อ 1. คือ การนำมาใช้ซ้ำ (reuse)

ข้อ 2. คือ การนำมาใช้ซ้ำ (reuse)

ข้อ 4. คือ การลดปริมาณการใช้ (reduce)

9) **ตอบ 2.** การล่าสัตว์เพื่อเกมกีฬา เพราะไม่ใช่สาเหตุสำคัญของการลดลงสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ เช่น ช้าง เสือ วัวแดง เป็นสาเหตุการล่าที่พบได้น้อยในประเทศไทย โดยการล่าที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเพื่อนำชิ้นส่วนมาเป็นยาบำรุง เช่น อุ้งตีนหมี องคชาตเสือ และนำส่วนต่างๆ มาเป็นเครื่องประดับ เช่น หนังเสือ งาช้าง นอแรด เขากวาง เป็นต้น

10) **ตอบ 3.** การเผาวัชพืช ทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ วิธีที่ถูกต้องคือการฝังกลบวัชพืชบนหน้าดิน

ข้อ 1. ถูก เพราะการทำนากุ้งกุลาดำต้องผันน้ำทะเลเข้าพื้นที่ทำให้เกิดปัญหาดินเค็ม

ข้อ 2. ถูก เพราะสารพิษจากขยะมูลฝอยจะซึมไปตามดินและเข้าสู่โซ่อาหารผ่านสิ่งมีชีวิตที่กินซากพืชซากสัตว์เป็นอาหาร เช่น ไส้เดือนดิน ไรและแมลงในดิน

ข้อ 4. ถูก เพราะการปลูกพืชแบบขั้นบันไดตามไหล่เขาช่วยลดอัตราความเร็วและปริมาณการไหลบ่าของน้ำ

สรุปเข้ม + ข้อสอบ

ฉบับสมบูรณ์

ชีววิทยา ม.ปลาย

มั่นใจเต็ม 100

ถ้าหาก ชีววิทยา คือ วิชาที่มีเนื้อหาเยอะ มีศัพท์ที่อ่านยาก จดจำยาก และสับสนง่าย เป็นกระดูกชิ้นโตสำหรับการก้าวไปสู่รั้วมหาวิทยาลัย เป็นวิชาที่เด็กเก่งเท่านั้นที่ทำคะแนนได้สูง แล้วมันจริงเหรอ?

ถ้าหากมีบางอย่างที่ทำให้เราเข้าใจได้ว่า เนื้อหามันมีจุดเชื่อมโยงกันอยู่ เมื่อเข้าใจก็ง่ายต่อการจดจำ, เรื่องไหนที่ยากก็มีเทคนิคจดจำให้ง่าย และจุดไหนมักจะออกข้อสอบบ่อยๆ ก็มีบอกเราเอาไว้หมด แถมด้วยแนวข้อสอบที่ลองวัดฝีมือสักตั้ง ถ้าใครกำลังหาบางอย่างที่ว่านั้นอยู่ บางอย่างที่ว่าก็คือ ทั้งหมดที่รวมไว้ในหนังสือเล่มนี้อัพเดตเนื้อหาล่าสุด ตรงตามหลักสูตร พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) พร้อมทุกสนามสอบ TCAS

เนื้อหาครบ ถูกต้อง เน้นจุดที่ออกสอบ

ภาพประกอบชัด สีสันสดใส จดจำง่ายขึ้น

วิดีโอเสริมความเข้าใจ ทบทวนได้ตลอดเวลา

เนื้อหา + แนวข้อสอบ พร้อมรับมือ ทุกสนามสอบ TCAS แบบใหม่

จัดจำหน่ายโดย IDC

ISBN 978-616-487-150-2

9 786164 871502

ราคา 495 บาท