# สารบัญ

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 06




สารชีวโมเลกุล 11

Unit 1 สารอินทรีย์ 12
Unit 2 สารอนินทรีย์ 30

ชีววิทยาของเซลล์ 33

Unit 1 การศึกษาชีววิทยา 34
Unit 2 โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ 41
Unit 3 การสื่อสารและลำเลียงสารระหว่างเซลล์ 50
Unit 4 การแบ่งเซลล์ 60
Unit 5 การหายใจระดับเซลล์ 69

โครงสร้างและหน้าที่ของสัตว์ 78

Unit 1 ระบบย่อยอาหาร 79
Unit 2 ระบบแลกเปลี่ยนแก๊ส 92
Unit 3 ระบบไหลเวียนโลหิต 99
Unit 4 ระบบภูมิคุ้มกัน 110
Unit 5 ระบบขับถ่าย 118
Unit 6 การรักษาดุลยภาพของร่างกาย 127
Unit 7 ระบบประสาทและอวัยวะรับสัมผัส 132
Unit 8 ระบบฮอร์โมนและต่อมไร้ท่อ 153
Unit 9 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต 167
Unit 10 การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต 180
Unit 11 พฤติกรรมของสัตว์ 199


GANBATTE

## โครงสร้างและหน้าที่ของพืช 205

Unit 1 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอก 206
Unit 2 การสืบพันธุ์ของพืช 217
Unit 3 การลำเลียงน้ำและธาตุอาหารของพืช 228
Unit 4 การสังเคราะห์ด้วยแสง 234
Unit 5 การตอบสนองของพืช 246






## พันธุศาสตร์และพันธุวิศวกรรม 254

Unit 1 ยีนและโครโมโซม 255
Unit 2 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม 263
Unit 3 เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ 278

## วิวัฒนาการและความหลากหลายทางชีวภาพ 291

Unit 1 วิวัฒนาการ 292
Unit 2 ความหลากหลายทางชีวภาพ 299
Unit 3 พันธุศาสตร์ประชากร 315

## นิเวศวิทยา 323

Unit 1 ระบบนิเวศ 324
Unit 2 ประชากร 343
Unit 3 ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 349

## แนวข้อสอบ 356

ชุดที่ 1 แนวข้อสอบชีววิทยาและเฉลย 357
ชุดที่ 2 แนวข้อสอบชีววิทยา 9 วิชาสามัญและเฉลย 357

**ประวัตินักเขียน** 358

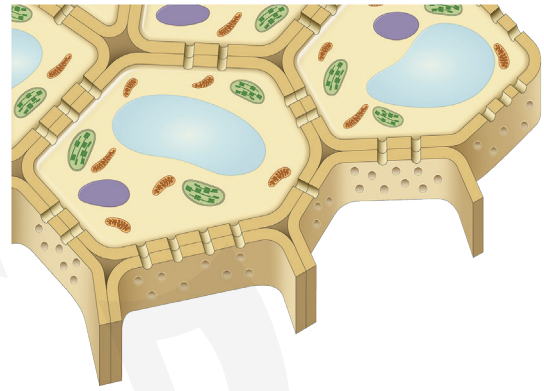
**จากใจนักเขียน** 359


GANBATTE

# ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์

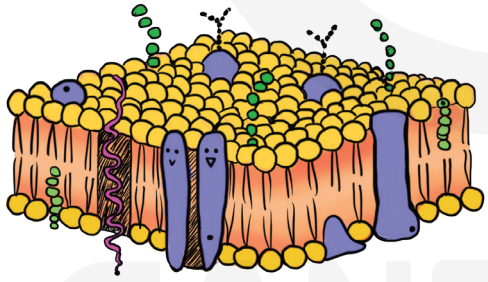
แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผนังเซลล์ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของเซลล์ทุกชนิด **ยกเว้น** เซลล์สัตว์ และถัดเข้าไปคือเยื่อหุ้มเซลล์

## ผนังเซลล์ (Cell wall)



ผนังเซลล์ทำหน้าที่เสริมสร้างความแข็งแรงให้กับเซลล์ เป็นสารชีวโมเลกุลจำพวกคาร์โบไฮเดรต ในพืชและสาหร่ายจะมีเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนประกอบหลักผนังเซลล์ ในเห็ดราจะมีเพปทิโดไกลแคน (Peptidoglycan) เป็นส่วนประกอบหลักผนังเซลล์ ในแบคทีเรียจะมีไคทิน (Chitin) เป็นส่วนประกอบหลักผนังเซลล์

## เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane หรือ Plasma membrane)



เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เพิ่มความยืดหยุ่นและเสริมสร้างความแข็งแรง รวมทั้งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) ควบคุมการเข้า-ออกของสารต่างๆ ให้กับเซลล์ มีโครงสร้างเป็นฟอสโฟลิพิดเรียงตัวกัน 2 ชั้น เรียกว่า ฟอสโฟลิพิดไบเลเยอร์ (Phospholipid bilayer) ส่วนหัวมีลักษณะชอบน้ำหรือละลายน้ำได้เนื่องจากเป็นโมเลกุลมีขั้ว ส่วนหางมีลักษณะไม่ชอบน้ำหรือไม่ละลายน้ำเนื่องจากเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว โดยโครงสร้างนี้จะหันด้านหัวออกด้านนอก และหันด้านหางเข้าด้านในเป็นเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ทำให้น้ำไม่สามารถผ่านเข้า-ออกจากเซลล์ได้โดยตรง จึงเรียกว่าเป็นเยื่อเลือกผ่าน

นอกจากนี้เยื่อหุ้มเซลล์ยังมี

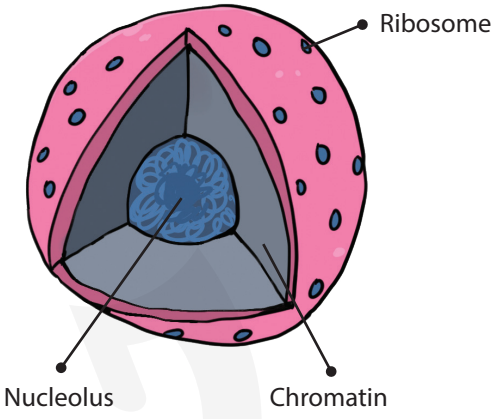
- ช่องโปรตีน (Protein channel) แทรกอยู่ระหว่างชั้นของฟอสโฟลิพิด เป็นช่องทางผ่านของสารเข้า-ออกจากเซลล์ โดยมีโปรตีนบางส่วนที่ไม่อยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์ เรียกว่า เพอริเฟอรอลโปรตีน (Peripheral protein)
- มีคาร์โบไฮเดรตที่เป็นไกลโคโปรตีนไว้ติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์
- มีคอเลสเตอรอลแทรกในชั้นฟอสโฟลิพิด เพื่อเสริมสร้างความยืดหยุ่นให้กับเซลล์และทำให้เซลล์ไม่แข็งตัวเมื่ออากาศหนาว ซึ่งทั้งหมดเป็นโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ยอมรับในปัจจุบันนี้ เรียกว่า ฟลูอิดโมเซอิกโมเดล (Fluid mosaic model)

# โพรโทพลาซึม (Protoplasm)

โพรโทพลาซึม คือ ส่วนประกอบด้านในทั้งหมดของเซลล์ที่ถัดจากส่วนที่ห่อหุ้มเอาไว้ด้วยผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ประกอบด้วยนิวเคลียส และไซโทพลาซึม

## นิวเคลียส (Nucleus)

นิวเคลียสเป็นตัวบรรจุสารพันธุกรรมในดีเอ็นเอที่อยู่บนโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งในสภาวะทั่วไปจะอยู่ในรูปแบบของเส้นใยโครมาทิน (Chromatin fibers) ทำหน้าที่ควบคุมกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น การแบ่งเซลล์ การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และการสังเคราะห์ สารประกอบด้วยเยื่อหุ้มนิวเคลียส นิวคลีโอลัส และเส้นใยโครมาทิน




**เยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear membrane)** โครงสร้างเหมือนเยื่อหุ้มเซลล์ คือ เป็นเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน โดยมีไรโบโซมเกาะที่บริเวณเยื่อหุ้มด้วย พบรูเล็กๆ เรียกว่า นิวเคลียร์พอร์ (Nuclear pore) ใช้สำหรับเป็นทางผ่านเข้า-ออกของสาร เรียกเยื่อหุ้มนิวเคลียสได้อีกชื่อว่า Nuclear envelope

**นิวคลีโอลัส (Nucleolus)** เป็นส่วนของนิวเคลียส มีลักษณะเป็นก้อนอนุภาคหนาทึบ ทำหน้าที่สังเคราะห์อาร์เอ็นเอและโปรตีน พบเฉพาะในเซลล์ของยูแคริโอต

**เส้นใยโครมาทิน (Chromatin fibers)** เป็นเส้นใยเล็กๆ พันกันเป็นร่างแหที่บรรจุรหัสพันธุกรรม ประกอบด้วยโปรตีนและดีเอ็นเอ ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะและการทำงานของสิ่งมีชีวิต เมื่อเซลล์กำลังแบ่งตัวจะหดสั้นลงเป็นแท่ง เรียกว่า โครโมโซม ถ้านำไปย้อมสีจะพบส่วนที่ติดสีเข้มและสีอ่อน ส่วนที่ติดสีเข้มจะเป็นส่วนที่ไม่มียีนหรือมีน้อย เรียกว่า เฮเทอโรโครมาทิน (Heterochromatin) ส่วนที่ติดสีจางกว่าจะเป็นส่วนที่มียีน เรียกว่า ยูโครมาทิน (Euchromatin)

## ไซโทพลาซึม (Cytoplasm)

ไซโทพลาซึม คือ ส่วนประกอบที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ แต่ไม่นับรวมนิวเคลียส ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นของกึ่งเหลว เรียกว่า ไซโทซอล และโครงสร้างที่เป็นของแข็ง เรียกว่า ออร์แกเนลล์

**ไซโทซอล (Cytosol)** เป็นของเหลว ประกอบด้วยน้ำ อิเล็กโทรไลต์ และสารอินทรีย์ต่างๆ เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีของเซลล์ (Metabolism)

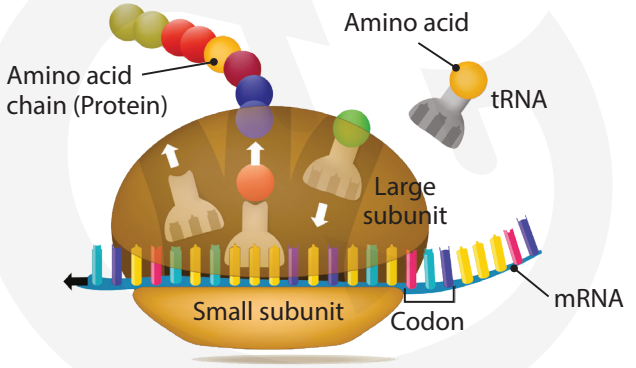
**ออร์แกเนลล์ (Organelle)** แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ ได้แก่ กลุ่มที่ไม่มีเยื่อหุ้ม กลุ่มที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น และกลุ่มที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น

## ออร์แกเนลล์กลุ่มที่ไม่มีเยื่อหุ้ม

ได้แก่ ไรโบโซม ไซโทสเกเลตอน และเซนทริโอล

**ไรโบโซม (Ribosome)** ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน สามารถพบได้ 3 บริเวณ

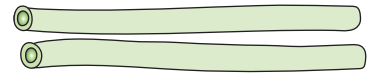
1. พบได้ที่เยื่อหุ้มนิวเคลียสเพื่อสังเคราะห์โปรตีนสำหรับใช้ในนิวเคลียส
2. พบลอยอิสระอยู่ในไซโทซอลเพื่อสังเคราะห์โปรตีนสำหรับใช้ในเซลล์ โดยโปรตีนส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นด้วยไรโบโซมอิสระเหล่านี้
3. พบเกาะอยู่กับเอนโดพลาสมิกเรติคิวลัมชนิดผิวขรุขระ เพื่อสังเคราะห์โปรตีนสำหรับส่งออกนอกเซลล์

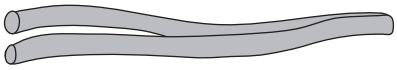


Ribosome

**ไซโทสเกเลตอน (Cytoskeleton)** เป็นเส้นใยโปรตีนที่เชื่อมกันเป็นร่างแห ทำหน้าที่ช่วยค้ำจุนรูปร่างของเซลล์ ยึดเกาะออร์แกเนลล์ และเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ สามารถแบ่งไซโทสเกเลตอนตามองค์ประกอบได้ 3 ชนิด ได้แก่ ไมโครทิวบูล มีขนาดหนาที่สุด อินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนท์ มีขนาดกลาง และไมโครฟิลาเมนท์ มีขนาดบางที่สุด

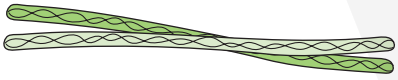
**ไมโครทิวบูล (Microtubule)** ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนทิวบูลิน (Tubulin) มีเซนโทรโซม (Centrosome) เป็นศูนย์ควบคุมการประกอบไมโครทิวบูลบริเวณใกล้กับนิวเคลียส ภายในเซนโทรโซมจะมีเซนทริโอล (Centriole) ที่ประกอบด้วยไมโครทิวบูล 3 ท่อ 9 ชุด (9 + 0) ซึ่งช่วยสร้างเส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) ทำหน้าที่ดึงให้เซลล์แยกไปที่ขั้วเซลล์ระหว่างการแบ่งเซลล์ นอกจากนี้ยังมีไมโครทิวบูลที่ประกอบด้วยไมโครทิวบูล 2 ท่อ 9 ชุด (9 + 2) มีหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนที่ของเซลล์ โดยพบที่ซิเลีย (Cilia) และแฟลเจลลัม (Flagellum) ที่ถูกควบคุมการทำงานโดยเบซัลบอดี (Basal body)


Microtubules



Intermediate filaments

**อินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนท์ (Intermediate filament)** ทำหน้าที่คงสภาพรูปร่างของเซลล์ ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนไอเอฟ (IF protein) ซึ่งมีความต่างกันหลายชนิด เช่น โปรตีนเคอราทิน (Keratin) ที่เป็นองค์ประกอบของขน ผม เล็บ เป็นต้น



Microfilaments

**ไมโครฟิลาเมนท์ (Microfilament)** ทำหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนไหวของเซลล์ ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนแอกทิน (Actin) และเส้นใยโปรตีนไมโอซิน (Myosin) ช่วยในการเคลื่อนที่ของอะมีบา (Amoeboid movement), เท้าเทียม (Pseudopodium) ควบคุมทิศทางการไหลเวียนของไซโทพลาซึม (Cytoplasmic streaming), การเคลื่อนที่ของเท้าท่อ (Tube feet) และการเคลื่อนไหวของ Microvilli

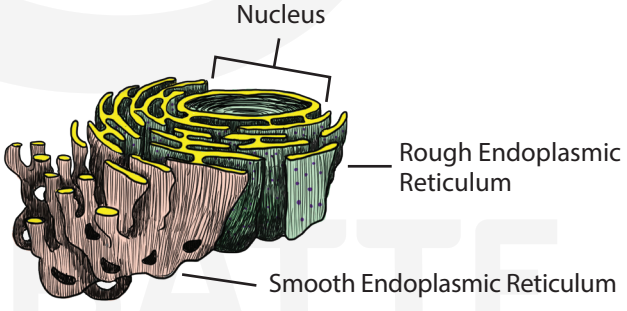
**เซนทริโอล (Centriole)** เป็นออร์แกเนลล์ที่ช่วยในการสร้างเส้นใยสปินเดิล **ไม่พบ**ในเซลล์พืช ประกอบขึ้นจากไมโครทิวบูล

## ออร์แกเนลล์กลุ่มที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น

ได้แก่ เอนโดพลาสมิกเรติคิวลัม แวคิวโอล กอลจิบอดี ไลโซโซม และเพอร์อกซิโซม

### เอนโดพลาสมิกเรติคิวลัม (Endoplasmic Reticulum : ER)

มี 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดผิวเรียบ และชนิดผิวขรุขระ

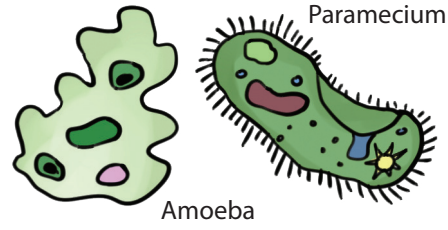



**ชนิดผิวเรียบ (Smooth Endoplasmic Reticulum : SER)** ทำหน้าที่สร้างสารประกอบไขมัน เช่น Phospholipid, Steroid กำจัดสารพิษ และกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยเป็นตัวเก็บแคลเซียมไอออน พบได้ที่ตับอัณฑะ รังไข่ ต่อมหมวกไตชั้นนอก และเซลล์กล้ามเนื้อ

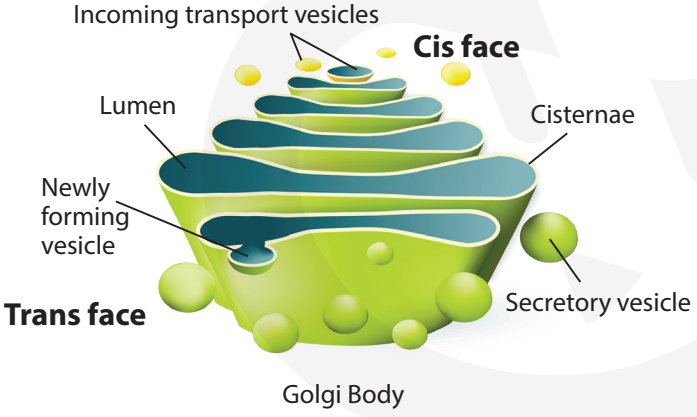
**ชนิดผิวขรุขระ (Rough Endoplasmic Reticulum : RER)** ขรุขระเนื่องจากมีไรโบโซมเกาะอยู่บนเยื่อหุ้มด้านนอก ทำหน้าที่สร้างโปรตีนเพื่อส่งออกภายนอกเซลล์ พบได้ที่เซลล์ตับอ่อน เซลล์ต่อมไร้ท่อ เซลล์เยื่อบุทางเดินอาหาร เซลล์เม็ดเลือดขาว

**แวคิวโอล (Vacuole)** เป็นเวสิเคิลขนาดใหญ่ที่มีหน้าที่หลากหลาย แบ่งเป็น 3 ชนิดย่อย ดังนี้

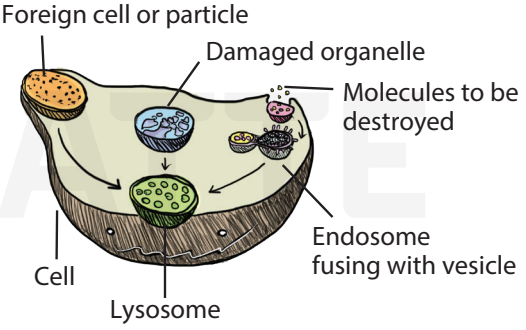
- **ฟูดแวคิวโอล (Food vacuole)** บรรจุอาหาร พบในอะมีบา พารามีเซียม
- **คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (Contractile vacuole)** รักษาสมดุลน้ำและเกลือแร่ พบในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น โพรโทซัวน้ำจืด
- **แซปหรือเซ็นทรัลแวคิวโอล (Sap/Central vacuole)** สะสมสารต่างๆ เช่น สี น้ำมันหอมระเหย พบได้ในพืช

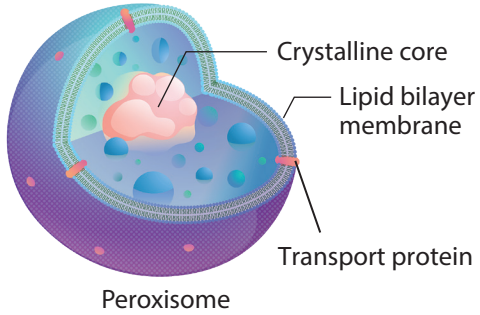



**กอลจิบอดี (Golgi body)** มีรูปร่างลักษณะคล้ายชาม เรียกว่า ซิสเทอร์นา (Cisterna หรือ Flattened sac) มีอีกชื่อว่า กอลจิคอมเพล็กซ์ (Golgi complex) หรือกอลจิแอพพาราตัส (Golgi apparatus) ทำหน้าที่เติมคาร์โบไฮเดรตและลิพิดให้โปรตีนที่ออกจาก ER พบได้ในต่อมน้ำลาย ต่อมน้ำนม และเซลล์พืช โดยเวสิเคิลจะขนส่งสารจาก ER มารวมกับกอลจิบอดีที่ด้านรับ (Cis face หรือ Receiving side) ก่อนจะเกิดกระบวนการเติมสาร เช่น คาร์โบไฮเดรตหรือลิพิด และขนส่งออกไปอีกด้านหนึ่ง (Trans face หรือ Shipping side)




**ไลโซโซม (Lysosome)** เป็นออร์แกเนลล์ที่บรรจุเอนไซม์เอาไว้สำหรับย่อยอาหารที่เซลล์กินเข้าไป พบในสัตว์เซลล์เดียว หรือย่อยเชื้อโรคพบในเซลล์เม็ดเลือดขาว และย่อยเซลล์ตัวเอง (Autolysis) เช่น หางของลูกอ๊อด



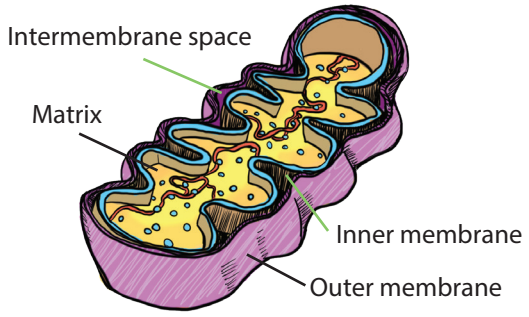




**เพอร็อกซิโซม (Peroxisome)** เป็นออร์แกเนลล์ที่เหมือนไลโซโซม แต่บรรจุเอนไซม์คะตาเลส (Catalase) สำหรับทำปฏิกิริยากับสารพิษบางชนิด เพื่อทำให้เป็นสารที่ไม่มีพิษ พบได้ในเซลล์พืช ตับ ไต

## ออร์แกเนลล์กลุ่มที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น

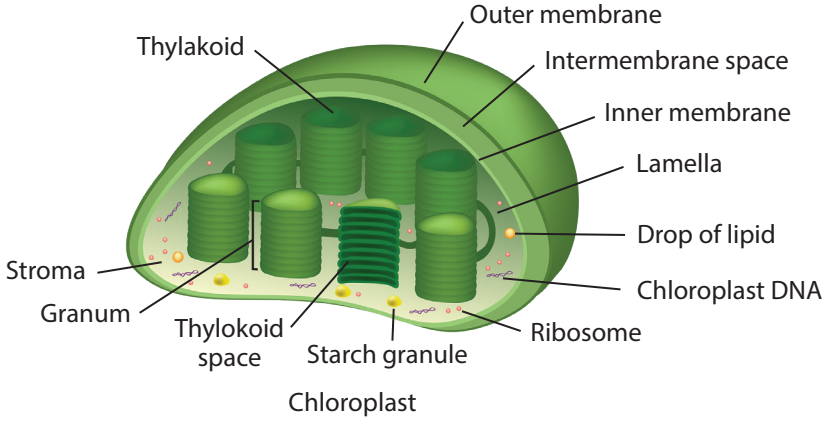
ได้แก่ ไมโทคอนเดรีย และพลาสติด

**ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)** เป็นหนึ่งในออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น (Phospholipid bilayer) ภายในมีของเหลวเรียกว่า เมทริกซ์ (Matrix) ช่องว่างตรงกลางระหว่างเนื้อเยื่อทั้งสองเรียกว่า ช่องอินเทอร์เมมเบรน (Intermembrane space) มีส่วนที่ยื่นเข้าไปในออร์แกเนลล์เรียกว่า Cristae เป็นออร์แกเนลล์ที่มีดีเอ็นเอและไรโบโซมเป็นของตัวเอง ทำหน้าที่สร้างพลังงาน (ATP) โดยกระบวนการหายใจระดับเซลล์พบได้ในเซลล์ที่มีการใช้พลังงานเยอะ เช่น หัวใจ สมอง กล้ามเนื้อ เซลล์อสุจิ




**พลาสติด (Plastid)** เป็นออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์พืช มี 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับประเภทของรงควัตถุที่พบ ได้แก่

- **โครโมพลาสต์ (Chromoplast)** มีรงควัตถุสีต่างๆ **ยกเว้น** สีเขียว เช่น สีส้มจากแคโรทีนอยด์ในแคร์รอต สีแดงของพริก
- **ลิวโคพลาสต์ (Leucoplast)** ทำหน้าที่สะสมแป้งจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พบได้ในบริเวณที่ไม่มีสี เช่น ที่รากสะสมอาหาร ผลไม้ เช่น กล้วย และสามารถพัฒนาไปเป็นอะไมโลพลาสต์ (Amyloplast), อีไลโอพลาสต์ (Elaioplasts) และโปรติโนพลาสต์ (Proteinoplasts)
- **คลอโรพลาสต์ (Chloroplast)** เป็นหนึ่งในออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น (Phospholipid bilayer) ภายในมีของเหลวเรียกว่า สโตรมา (Stroma) ส่วนที่เว้าเข้าไปในสโตรมากลายเป็นลาเมลลา (Lamella) มีลักษณะเป็นเยื่อบางกลมๆ เรียกว่า กรานา (Grana) ถ้าวางซ้อนกันเป็นชั้นเรียกว่า กรานุม (Granum) และเรียกเยื่อลาเมลลาว่า เยื่อไทลาคอยด์ (Thylakoid) ภายในมีโครงสร้างที่ซ้อนกันเป็นชั้น เป็นออร์แกเนลล์ที่มีดีเอ็นเอและไรโบโซมเป็นของตัวเอง ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้รงควัตถุสีเขียวอย่างคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)



Chapter

6

Level

Easy Moderate Hard

# พันธุศาสตร์และพันธุวิศวกรรม

Unit 1 ยีนและโครโมโซม
Unit 2 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม
Unit 3 เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

# ยีนและโครโมโซม

## การค้นพบสารพันธุกรรม

สารพันธุกรรมได้มีการค้นพบและทดลองจากนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน สามารถเรียงตามลำดับการศึกษาความรู้ทางด้านพันธุกรรมดังนี้

### โยฮันน์ เฟรดริช มิเชอร์ (Johann Friedrich Miescher : F. Miescher)

โยฮันน์ เฟรดริช มิเชอร์ ได้ศึกษาส่วนประกอบในนิวเคลียสของเซลล์เม็ดเลือดขาวที่ติดมากับผ้าพันแผล สกัดสารออกมาพบธาตุ C, H, O, N และ P เป็นองค์ประกอบและมีสีขาวเรียกว่า นิวคลีอิน (Nuclein) หมายถึง สารที่มาจากนิวเคลียส ต่อมาได้เปลี่ยนชื่อใหม่เป็นกรดนิวคลีอิก เนื่องจากภายหลังพบว่ามีสมบัติเป็นกรด

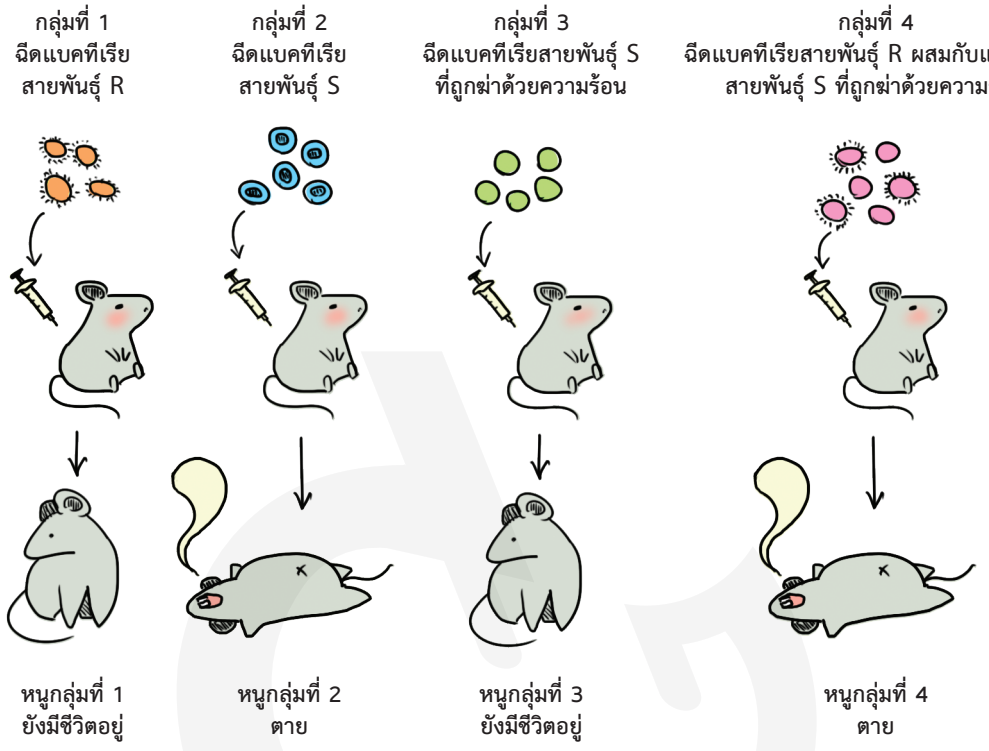
### โรเบิร์ต ฟอยล์เกน (Robert Feulgen : R. Feulgen)

โรเบิร์ต ฟอยล์เกน นำสีฟุคซิน (Fuchsin) มาย้อมเซลล์ ซึ่งสีนี้มีคุณสมบัติย้อมติด DNA และให้สีแดง พบว่าสีนี้ย้อมติดสีแดงที่เฉพาะนิวเคลียสของเซลล์ที่ทำการย้อม และรวมตัวหนาแน่นที่โครโมโซม จึงสรุปได้ว่ามี DNA อยู่ที่โครโมโซม

### เฟรเดอริก กริฟฟิท (Frederick Griffith : F. Griffith)

เฟรเดอริก กริฟฟิท พิสูจน์ว่าสารพันธุกรรมคือ DNA โดยเริ่มการทดลองจากการนำแบคทีเรีย *Streptococcus pneumoniae* ซึ่งทำให้เกิดโรคปอดบวมในหนู เชื้อแบคทีเรียชนิดนี้มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกัน 2 ลักษณะ ได้แก่

| | |
|---|---|
| สายพันธุ์ S (Smooth) มีผิวเรียบ เพราะมีแคปซูลห่อหุ้ม ทำให้เกิดอาการรุนแรงและตาย | สายพันธุ์ R (Rough) ผิวไม่เรียบ เพราะไม่มีแคปซูลห่อหุ้ม ไม่ทำให้เกิดอาการรุนแรงถึงตาย |




เฟรเดอริก กริฟฟิท ทำการทดลองดังนี้

- ฉีดสายพันธุ์ R เข้าไปในหนู → หนูไม่ตาย
- ฉีดสายพันธุ์ S เข้าไปในหนู → หนูตาย
- ฉีดสายพันธุ์ S (ที่ฆ่าด้วยความร้อน) เข้าไปในหนู → หนูไม่ตาย
- ฉีดสายพันธุ์ S (ที่ฆ่าด้วยความร้อน) + ผสมกับสายพันธุ์ R → หนูตาย และตรวจพบสายพันธุ์ S ในตัวหนู

สรุปผลการทดลองได้ว่า มีสารบางอย่างจากสายพันธุ์ S (แม้ตายแล้ว) สามารถส่งต่อไปให้สายพันธุ์ R เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสายพันธุ์ S ได้ (ยังไม่ทราบว่าสารที่ส่งต่อไปนั้นคือสารประกอบชนิดใด)

## ออสวอลด์ แอเวอรี (Oswald Avery : O. T. Avery) คอลลิน แมคลอยด์ (Colin MacLeod : C. MacLeod) และแมคลิน แมคคาร์ที (Maclyn McCarty : M. McCarty)

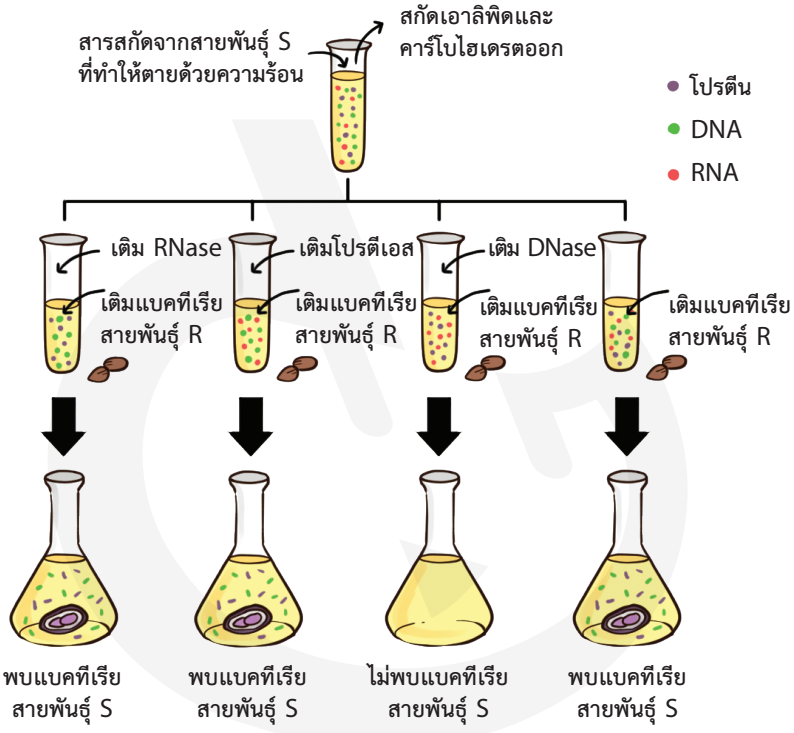
ออสวอลด์ แอเวอรี, คอลลิน แมคลอยด์ และแมคลิน แมคคาร์ที ได้ทำการทดลองต่อจากกริฟฟิท เพื่อจะหาว่า สารที่ทำการส่งไปนั้นคือสารชนิดใด โดยนำแบคทีเรียสายพันธุ์ S มาทำให้ตายด้วยความร้อน แล้วสกัดเอา RNA, DNA และโปรตีน มาใส่ในหลอดทดลอง 4 หลอด

หลอดที่ 1 เติมเอนไซม์ RNase (Ribonuclease) เพื่อย่อยสลาย RNA (ดังนั้นหลอดนี้ไม่มี RNA)

หลอดที่ 2 เติมเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) เพื่อย่อยสลายโปรตีน (ดังนั้นหลอดนี้ไม่มีโปรตีน)

หลอดที่ 3 เติมเอนไซม์ DNase (Deoxyribonuclease) เพื่อย่อยสลาย DNA (ดังนั้นหลอดนี้ไม่มี DNA)
หลอดที่ 4 เป็นชุดทดลองควบคุม ไม่มีการเติมเอนไซม์อื่นใดเพิ่มเติม

ในแต่ละหลอดทำการเติมแบคทีเรียสายพันธุ์ R และนำไปเพาะเลี้ยงไว้ในอาหารวุ้น เพื่อตรวจสอบแบคทีเรียที่เกิดขึ้น



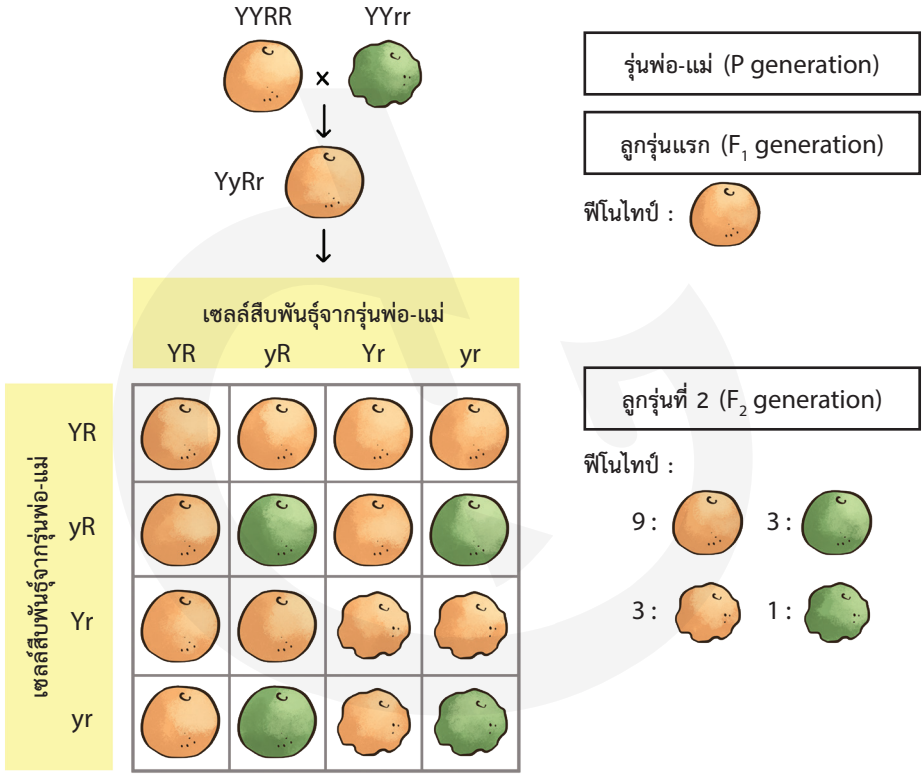

การตรวจสอบแบคทีเรียที่พบในหลอด พบว่า

- หลอดที่ 1 พบสายพันธุ์ S → สิ่งที่สายพันธุ์ S ส่งต่อให้สายพันธุ์ R ไม่ใช่ RNA (เนื่องจากหลอดที่ 1 ไม่มี RNA)
- หลอดที่ 2 พบสายพันธุ์ S → สิ่งที่สายพันธุ์ S ส่งต่อให้สายพันธุ์ R ไม่ใช่โปรตีน (เนื่องจากหลอดที่ 2 ไม่มีโปรตีน)
- หลอดที่ 3 ไม่พบสายพันธุ์ S → สิ่งที่สายพันธุ์ S ส่งต่อให้สายพันธุ์ R คือ DNA
- หลอดที่ 4 พบสายพันธุ์ S → ชุดควบคุม

สรุปผลการทดลองได้ว่า สารบางอย่างจากสายพันธุ์ S ที่สามารถส่งต่อไปให้สายพันธุ์ R ได้คือ DNA เพราะในหลอดทดลองที่ 3 ได้ทำการย่อยสลาย DNA ไปแล้ว ทำให้เมื่อตรวจสอบจึงไม่พบแบคทีเรียสายพันธุ์ S ในหลอดทดลองที่ 3

## การผสมพันธุ์โดยพิจารณา 2 ลักษณะ (Dihybrid cross)

การผสมพันธุ์โดยพิจารณา 2 ลักษณะไปพร้อมๆ กัน เป็นการทดลองโดยนำถั่วเมล็ดกลมสีเหลือง (เด่นพันธุ์แท้) ผสมกับเมล็ดขรุขระสีเขียว (ด้อยพันธุ์แท้) ได้ลูกรุ่น $F_1$ เมล็ดกลมสีเหลืองทั้งหมด จากนั้นนำลูกรุ่น $F_1$ มาผสมกันเอง จะได้ลูกรุ่น $F_2$ มีลักษณะฟีโนไทป์ เมล็ดกลมสีเหลือง : เมล็ดกลมสีเขียว : เมล็ดขรุขระสีเหลือง : เมล็ดขรุขระสีเขียว ในอัตราส่วน 9 : 3 : 3 : 1

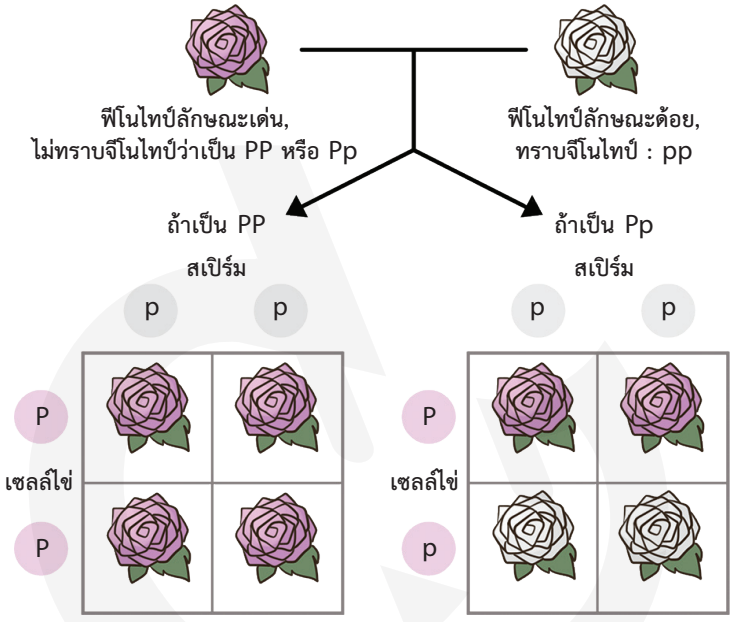



จากการที่เมนเดลศึกษาการผสมพันธุ์ลักษณะเดียวและ 2 ลักษณะ ทำให้เมนเดลสามารถตั้งกฎความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยกตัวได้ 2 ข้อ ได้แก่

กฎข้อที่ 1 คือ กฎแห่งการแยก (Law of Segregation) ได้มาจาก Monohybrid หรือการผสมพันธุ์โดยพิจารณาลักษณะเดียวว่า แอลลีลที่อยู่เป็นคู่กันจะแยกออกจากกันในระหว่างสร้างเซลล์สืบพันธุ์ และจะกลับมาเข้าคู่กันใหม่เมื่อมีการผสมระหว่างเซลล์สืบพันธุ์ เช่นเดียวกับการพิจารณา 1 ลักษณะที่เมื่อนำลูกรุ่น $F_2$ มาผสมกัน ลูกรุ่น $F_3$ มีอัตราส่วนฟีโนไทป์ 3 : 1

กฎข้อที่ 2 คือ กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (Law of Independent assortment) ได้มาจาก Dihybrid หรือการผสมพันธุ์โดยพิจารณา 2 ลักษณะว่า แอลลีลที่อยู่เป็นคู่ๆ นั้นสามารถจับคู่กันได้อย่างอิสระในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ เช่นเดียวกับลักษณะทั้งสองที่เมื่อนำมาผสมกันจะเห็นว่า ลักษณะรูปร่างเมล็ดและสีเมล็ดจะเป็นอิสระต่อกัน สามารถไปรวมกลุ่มกันได้อย่างอิสระ ทำให้รุ่นลูกมีอัตราส่วนฟีโนไทป์ 9 : 3 : 3 : 1

**Test cross** คือ การทดสอบดูจีโนไทป์ของลักษณะที่แสดงออกมาในลักษณะเด่นว่า เป็นพันธุ์แท้ (Homozygous dominant) หรือพันทาง (Heterozygous) โดยนำไปผสมกับด้อยพันธุ์แท้ (Homozygous recessive) แล้วดูรุ่นลูกว่ามีลักษณะของฟีโนไทป์แบบใด ทำให้สามารถดูย้อนกลับได้ว่า รุ่นพ่อ-แม่เป็นพันธุ์แท้หรือพันทาง




## ลักษณะพันธุกรรมนอกเหนือกฎเมนเดล

ลักษณะพันธุกรรมนอกเหนือกฎเมนเดล คือ ลักษณะพันธุกรรมที่ยีนเด่นไม่สามารถข่มยีนด้อยได้อย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วยการข่มไม่สมบูรณ์ การข่มร่วมกัน มัลติเปิลแอลลีล และพอลิยีน

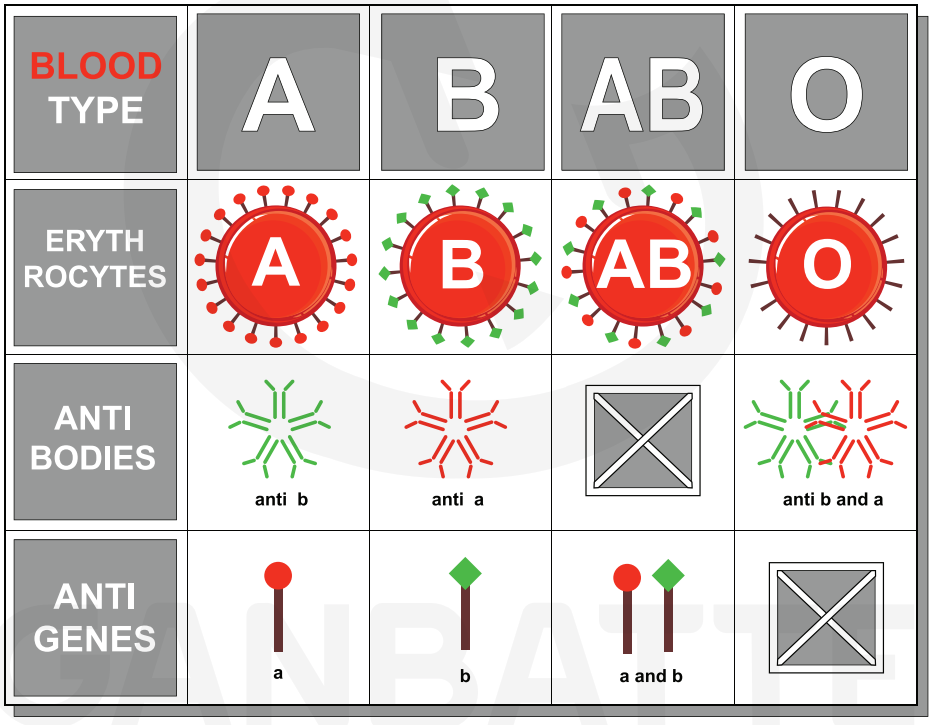
| | |
|---|---|
| **ข่มไม่สมบูรณ์ (Incomplete dominant)** | คือ ลักษณะพันธุกรรมที่ยีนเด่นข่มยีนด้อยไม่สมบูรณ์ ทำให้แสดงออกกลางๆ ของ 2 ลักษณะ หรือลักษณะเด่นพันทางแสดงออกไม่เหมือนกับลักษณะเด่นพันธุ์แท้ เช่น สีดอกไม้สีฟ้าที่มียีนเด่นสีน้ำเงินและยีนด้อยสีขาวรวมกัน เมื่อผสมเด่นพันธุ์แท้ (สีน้ำเงิน) กับด้อยพันธุ์แท้ (สีขาว) เข้าด้วยกัน และเป็นลักษณะยีนเด่นข่มยีนด้อยไม่สมบูรณ์ ทำให้ได้อัตราส่วนของ สีน้ำเงิน : สีฟ้า : สีขาว ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 โดยที่เป็นสีฟ้าเพราะมีทั้งยีนเด่นและยีนด้อย |

**ข่มร่วมกัน หรือเด่นร่วม (Codominant)**

คือ ลักษณะพันธุกรรมที่ยีนเป็นยีนเด่นทั้ง 2 ยีน ทำให้แสดงออกเท่ากันทั้ง 2 ยีน เช่น หมู่เลือด ABO (หมู่เลือด AB ที่มียีน $I^{A,B}I^{}$), สีขนวัว (ที่รุ่นลูกมีลักษณะน้ำตาลแกมแดงแทนที่จะมีสีแดงล้วนหรือสีขาวล้วนแบบรุ่นพ่อ-แม่)

**หมู่เลือด ABO** เป็นการพิจารณาหมู่เลือดโดยดูตามแอนติเจนที่อยู่บนผิวของเม็ดเลือดแดง แบ่งเป็น 4 ชนิด ได้แก่ A, B, AB และ O หมู่เลือด A มีจีโนไทป์ $I^{A,A}I^{}$, $I^{A,}i$ หมู่เลือด B มีจีโนไทป์ $I^{B,B}I^{}$, $I^{B,}i$ ซึ่งหมู่ AB จะแสดงลักษณะข่มร่วมเนื่องจากมีจีโนไทป์ $I^{A,B}I^{}$ และหมู่เลือด O มีจีโนไทป์ ii

## CLASSIFICATION OF BLOOD GROUPS




**เพิ่มเติม**

หลักการให้เลือด คือ แอนติเจนของผู้ให้ต้องไม่ตรงกับแอนติบอดีของผู้รับ ถ้าตรงกันจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดีจับกลุ่มกันตกตะกอน (Agglutination) ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้รับได้

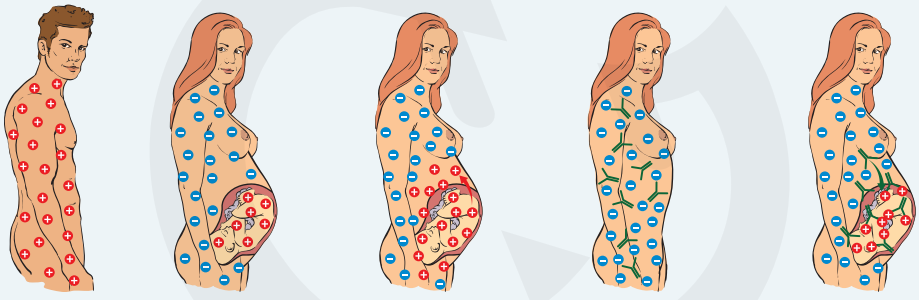
**หมู่เลือด MN** มี 3 ชนิด แบ่งตามแอลลีล $L^M$ และ $L^N$ ได้ดังนี้ หมู่เลือด M มีจีโนไทป์ $L^ML^M$, หมู่เลือด MN แสดงลักษณะข่มร่วมเนื่องจากมีจีโนไทป์ $L^ML^N$ และหมู่เลือด N มีจีโนไทป์ $L^NL^N$

**เพิ่มเติม**

**หมู่เลือด Rh (ไม่ใช่ลักษณะข่มร่วม)** พิจารณาหมู่เลือดโดยใช้แอนติเจน-ดี (Antigen-D) เป็นตัวบ่งบอกหมู่เลือดระบบ Rh แบ่งออกเป็น 2 หมู่ ได้แก่

$Rh^+$ (Rh positive) คือ หมู่เลือดที่มีแอนติเจน-ดีอยู่ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง ในคนไทยมีหมู่เลือด $Rh^+$ ประมาณ 99.7%

$Rh^-$ (Rh negative) คือ หมู่เลือดที่ไม่มีแอนติเจน-ดีอยู่ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง ในคนไทยพบว่ามีหมู่เลือดนี้เพียง 0.3%



เพศชายที่มีหมู่เลือด $Rh^+$ | เพศหญิงที่มีหมู่เลือด $Rh^-$ กับทารกที่มีหมู่เลือด $Rh^+$ | ทารกที่มีหมู่เลือด $Rh^+$ จะสร้างแอนติเจน-ดีไปให้แม่ | แม่จะสร้างแอนติบอดีสะสมไว้ในร่างกายหลังจากที่ลูกคนแรกคลอดแล้ว | ถ้าทารกคนต่อไปมีหมู่เลือด $Rh^+$ แอนติบอดีที่แม่สะสมไว้จะเข้าทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดงของทารก อาจทำให้ทารกเป็นโรคโลหิตจางหรือดีซ่านได้

## มัลติเปิลแอลลีล (Multiple allele)

มัลติเปิลแอลลีล คือ ลักษณะพันธุกรรมที่ถูกควบคุมโดยยีน 2 ยีน เหมือนลักษณะอื่น เช่น Tt, Mm แต่มัลติเปิลแอลลีลจะมีรูปแบบของแอลลีลมากกว่า 2 รูปแบบ เช่น สีขนกระต่ายและหมู่เลือด ABO (หมู่เลือด ABO เข้าเกณฑ์ทั้ง 2 รูปแบบ)

ขนกระต่ายแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่

- ชนิดปกติ (Agouti) ขนสีน้ำตาล ควบคุมโดยแอลลีล $c^+$ หรือ C
- ชนิดชินชิลลา (Chinchilla) ขนสีเทา ควบคุมโดยแอลลีล $c^{ch}$
- ชนิดฮิมาลายัน (Himalayan) ขนสีขาวเกือบทั้งตัว **ยกเว้น** บริเวณจมูก หาง และเท้า ควบคุมโดยแอลลีล $c^h$
- ชนิดแอลบิโน (Albino) ขนสีขาว ควบคุมโดยแอลลีล c

# เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ

## การจำลองดีเอ็นเอ

- เอนไซม์ที่ใช้จำลองตัวเองของดีเอ็นเอ
- ขั้นตอนการสังเคราะห์

## การสังเคราะห์โปรตีน

- การถอดรหัส
- การแปลรหัส

## พันธุวิศวกรรม

- การโคลนยีนจากการทำ DNA ลูกผสม
- PCR : Polymerase Chain Reaction

## ชนิดของอาร์เอ็นเอ

- Ribosomal RNA (rRNA)
- Messenger RNA (mRNA)
- Transfer RNA (tRNA)

CANBATTE

Chapter

7

Level ☐ Easy ■ Moderate ☐ Hard

# วิวัฒนาการและความหลากหลายทางชีวภาพ


Unit 1 วิวัฒนาการ
Unit 2 ความหลากหลายทางชีวภาพ
Unit 3 พันธุศาสตร์ประชากร

Unit 1

# วิวัฒนาการ

## แนวคิดเกี่ยวกับเรื่องวิวัฒนาการ

แนวคิดเกี่ยวกับเรื่องวิวัฒนาการประกอบด้วยหลากหลายแนวคิด โดยมีแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ที่ได้รับความนิยมดังนี้

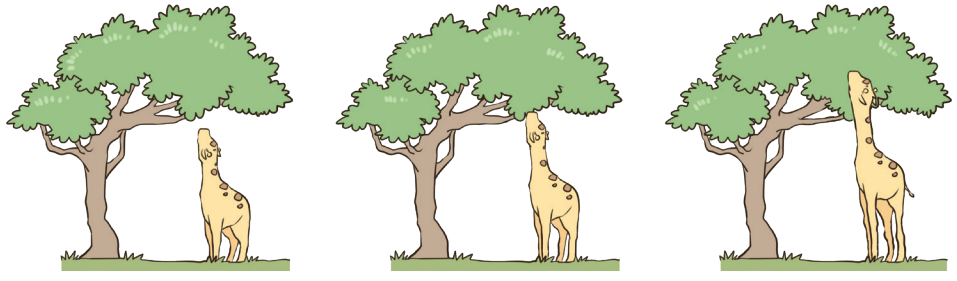
### ฌอง แบพติสท์ เดอ ลามาร์ก (Jean-Baptiste de Lamarck)

ฌอง แบพติสท์ เดอ ลามาร์ก (ค.ศ. 1744-1829) นักชีววิทยาชาวฝรั่งเศส เชื่อว่าสภาพแวดล้อมและอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะ จึงเสนอทฤษฎีวิวัฒนาการของลามาร์กขึ้น มีใจความสำคัญ 2 ข้อ ได้แก่

**กฎการใช้และไม่ใช้ (Law of Use and disuse)** กล่าวว่าอวัยวะหรือชิ้นส่วนของอวัยวะที่ถูกใช้งานมากๆ จะมีการแปรเปลี่ยนให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตในสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป อวัยวะใดที่ใช้เสมอจะมีแนวโน้มเพิ่มขนาดขึ้น อวัยวะใดที่ไม่ได้ใช้จะค่อยๆ เสื่อมสลายหายไป

**กฎแห่งการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นใหม่ (Law of Inheritance of Acquired characters)** กล่าวว่าลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป และมีประโยชน์ต่อการดำรงชีวิต จะถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลานได้ เพื่อดำรงเผ่าพันธุ์ต่อไป

ทั้งหมดอธิบายจากลามาร์กเชื่อว่า สมัยก่อนยีราฟคอสั้น เมื่ออาหารที่เป็นต้นไม้ต้นเตี้ยหมดไป ยีราฟจะเริ่มมีคอที่ยาวขึ้นเพื่อกินต้นไม้ต้นที่สูงขึ้น ยีราฟจึงค่อยๆ มีคอที่ยาวขึ้นในรุ่นลูกหลานต่อมา

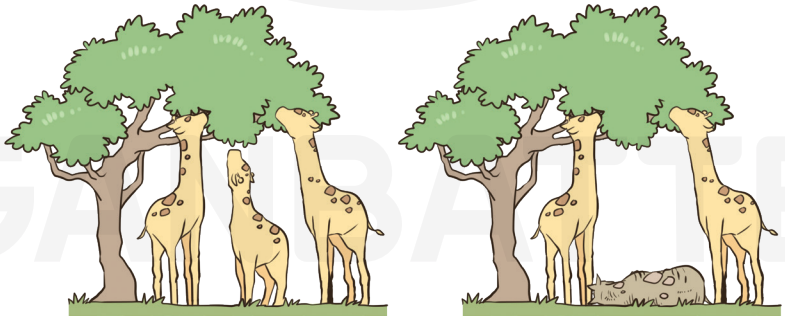


## ชาลส์ โรเบิร์ต ดาร์วิน (Charles Robert Darwin)

ชาลส์ ดาร์วิน (ค.ศ. 1809-1882) นักธรรมชาติวิทยาชาวอังกฤษ ได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งการศึกษาวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต จากการที่ดาร์วินได้เดินทางสำรวจหมู่เกาะกาลาปากอส (Galapagos) พร้อมกับเรือสำรวจของราชนาวีอังกฤษ บีเกิล (H.M.S. Beagle) และได้แนวความคิดจากหนังสือ Principles of Geology ของนักธรณีวิทยา ชาลส์ ไลเอลล์ (Charles Lyell) ที่กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา ดาร์วินได้ตีพิมพ์หนังสือเรื่อง กำเนิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตโดยการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (The Origin of Species by Means of Natural Selection) โดยเสนอแนวคิดเรื่องกลไกของวิวัฒนาการที่เกิดจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ เรียกว่า ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (Theory of Natural selection) มีใจความว่า

> **ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (Theory of Natural selection)** บอกว่า สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะผลิตลูกหลานเป็นจำนวนมาก และลูกหลานแต่ละตัวอาจมีความแตกต่างกัน ลูกหลานเหล่านี้จะมีการดิ้นรนแก่งแย่งเพื่อความอยู่รอดของชีวิต เนื่องมาจากทรัพยากรธรรมชาติที่จำกัด พวกที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจะถูกธรรมชาติคัดเลือกให้รอดชีวิตได้ดีกว่า และมีโอกาสสืบพันธุ์ให้ลูกหลานต่อไป

ทั้งหมดอธิบายจากอดีตที่ดาร์วินเชื่อว่า ในอดีตยีราฟมีทั้งชนิดคอสั้นและชนิดคอยาว แต่เมื่ออาหารที่เป็นต้นไม้ต้นเตี้ยหมดไป ยีราฟคอสั้นจึงสูญพันธุ์เนื่องจากไม่สามารถกินอาหารที่เป็นต้นไม้ต้นสูงได้ จึงเหลือแต่ยีราฟคอยาวและสืบพันธุ์ให้รุ่นลูกหลานต่อมา



## ฮิวโก มารี เดอ ฟรีส์ (Hugo Marie de Vries)

ฮิวโก มารี เดอ ฟรีส์ (ค.ศ. 1843-1935) นักพฤกษศาสตร์ชาวฮอลแลนด์ เสนอทฤษฎีการผ่าเหล่า (Mutation theory) โดยเมื่อนำเสนอความรู้เกี่ยวกับความผันแปรของหน่วยพันธุกรรมมาอธิบายร่วมกับทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน จึงอธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้ดังนี้ เมื่อมีการผ่าเหล่าเกิดขึ้นอาจจะได้ลักษณะที่เป็นประโยชน์ หรือลักษณะที่ไม่เป็นผลดีต่อสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ซึ่งจะคัดเลือกด้วยวิธีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ลักษณะที่เป็นประโยชน์จะคงอยู่