Tutor Channel on Tour

ชีววิทยา

ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

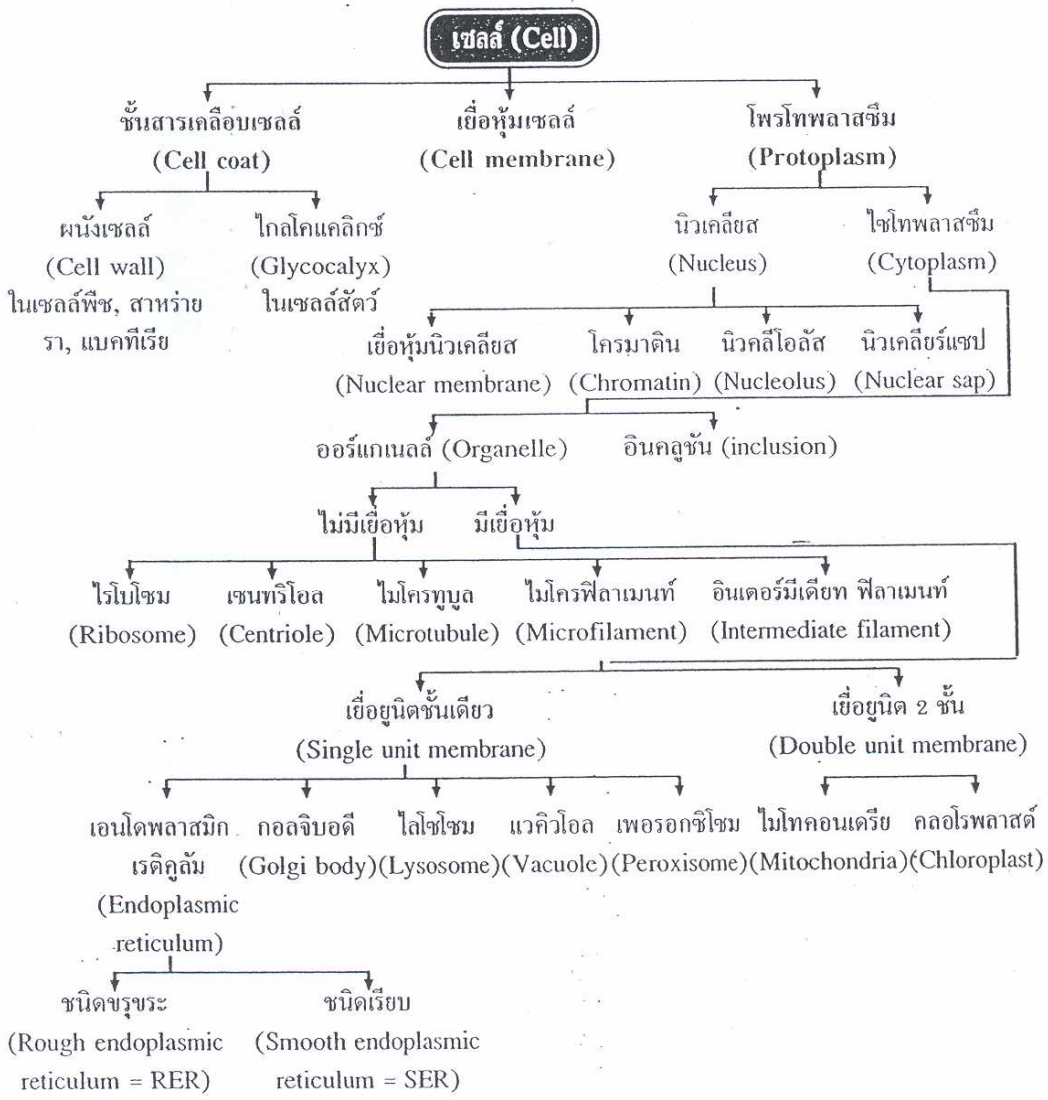
เซลล์ของสิ่งมีชีวิต (Cells of organisms)

ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์

โครงสร้างของเซลล์

โครงสร้างของเซลล์ ที่ได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน มีดังนี้



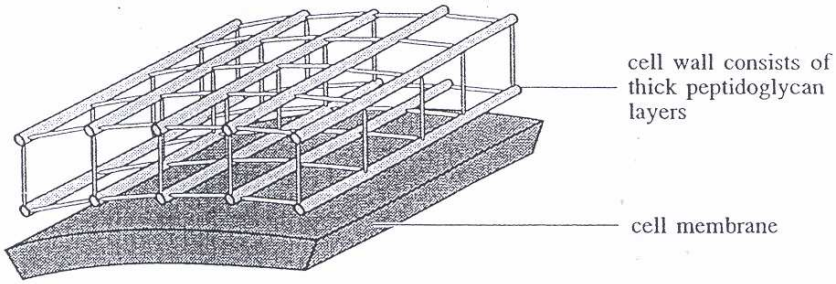
Tutor Channel on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

ชั้นสารเคลือบเซลล์ (Cell Coat)

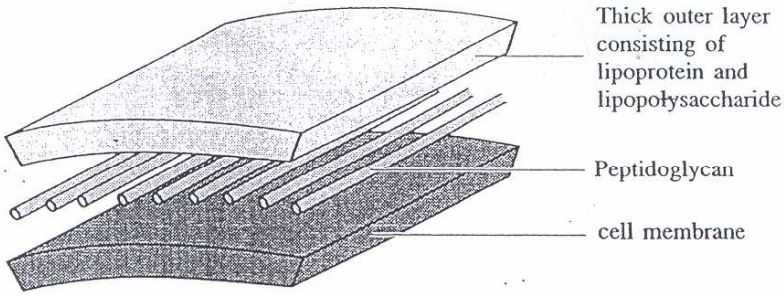
1. ผนังเซลล์ (Cell wall)

ผนังเซลล์พบในเซลล์พืช, สาหร่าย, แบคทีเรีย, เห็ด, รา, ยีสต์ แต่ไม่พบในเซลล์สัตว์

- เป็นชั้นที่มีความแข็งแรง ทนทาน ช่วยให้เซลล์ทรงรูปอยู่ได้
- ประกอบขึ้นจากเซลลูโลส (Cellulose) เป็นสำคัญ สำหรับในพืชและสาหร่าย ส่วนในแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินประกอบขึ้นจากสารเพปทิโดไกลแคน (Peptidoglycan) (สารเชิงซ้อนของคาร์โบไฮเดรตและเพปไทด์)
- มีสารชนิดอื่นๆ เป็นองค์ประกอบขึ้นกับสิ่งมีชีวิต เช่น
  1. ในไดอะตอม จะมีซิลิกา (Silica)
  2. ในเห็ด รา จะมีไคติน (Chitin)
  3. ในพืชจะมีพวกลิกนิน (Lignin) และเพคติน (Pectin) เป็นต้น โดยในเซลล์พืชนั้นเซลลูโลสเปรียบเสมือนโครงเหล็ก ส่วนลิกนินและเพคตินเปรียบเสมือนคอนกรีตล้อมรอบโครงเหล็ก



Gram-positive cell wall



Gram-negative cell wall

ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งประกอบด้วยสารเพปทิโดไกลแคน โดยไม่มีเซลลูโลสแต่อย่างใด

2. ไกลโคแคลิกซ์ (Glycocalyx)

- ชั้นที่อ่อนนุ่ม
- พบในเซลล์สัตว์
- ประกอบขึ้นจากสารพวกโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต จึงเรียกไกลโคโปรตีน (Glycoprotein)
- ทำหน้าที่รับรู้ระหว่างเซลล์ข้างเคียง (Recognition) ถ้าสูญเสียการรับรู้ระหว่างเซลล์ข้างเคียงจะทำให้เซลล์แบ่งตัวไม่หยุดยั้ง ทำให้เกิดเนื้องอกและเป็นมะเร็งในที่สุด

เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane)

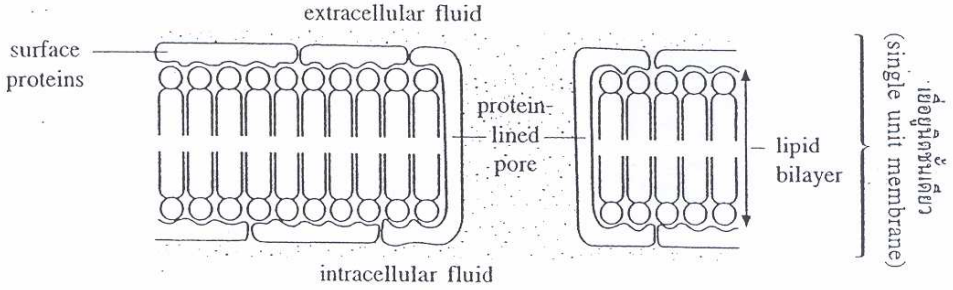
ประกอบด้วยไขมัน (Phospholipid) โปรตีน นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรตเล็กน้อย

โครงสร้าง

สมมติฐานอธิบายโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์มี 2 แนวคิดที่สำคัญ คือ Unit membrane และ Fluid mosaic model

1. เยื่อยูนิต (Unit membrane)

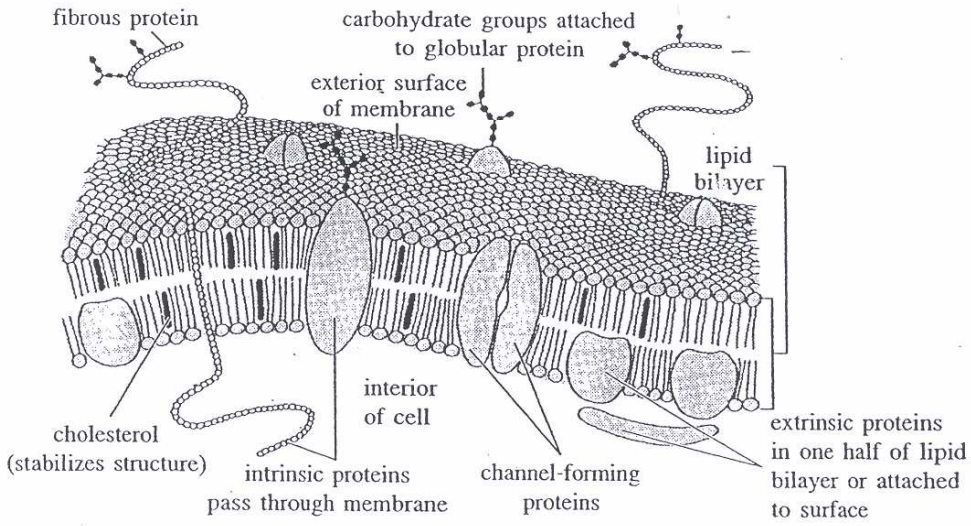
ไขมันจะเรียงตัวเป็น 2 ชั้น และมีโปรตีนขนาบอยู่ 2 ข้างของไขมัน



เยื่อยูนิตของเยื่อหุ้มเซลล์ตามโครงแบบของ Davson-Danielli

2. ฟลูอิด-โมเสค โมเดล (Fluid-mosaic model)

ไขมันจะเคลื่อนที่ได้และมีโปรตีนลักษณะเป็นก้อนแทรกอยู่ในระหว่างชั้นของไขมัน นักชีววิทยายอมรับฟลูอิด-โมเสค โมเดลมากกว่า



***Fluid mosaic model* ของเยื่อหุ้มเซลล์**

หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ ของเซลล์ทุกชนิดจะคัดเลือกสารที่จะผ่านเข้าออกเซลล์เรียกว่ามีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ช่วยให้เซลล์รักษาสภาวะสมดุลของเซลล์ไว้ได้

ไซโทพลาซึม (cytoplasm)

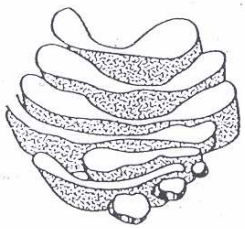
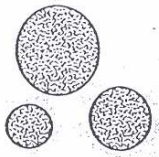
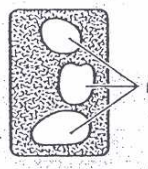
1. cytoplasmic inclusion เป็นส่วนที่ไม่มีชีวิต เช่น อาหารสะสม ได้แก่ หยดไขมัน เม็ดแป้ง หรือพวกผลึกต่าง ๆ

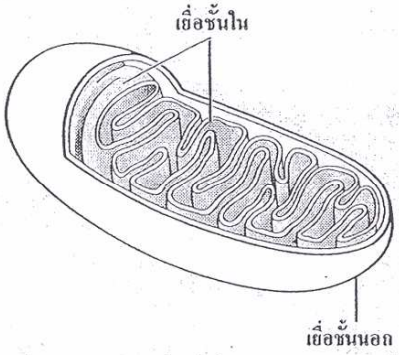
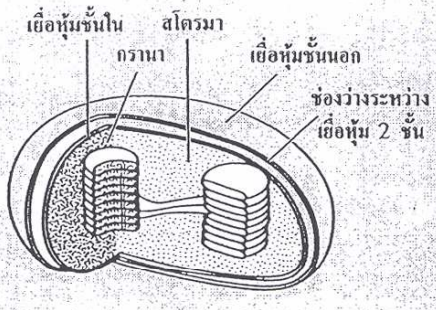
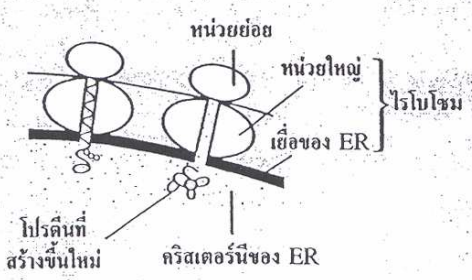
2. Organelle (ออร์แกเนลล์) เป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่เฉพาะอย่างของเซลล์ เปรียบเสมือนบุคลากรในบริษัท หรือคนงานในโรงงานอุตสาหกรรม

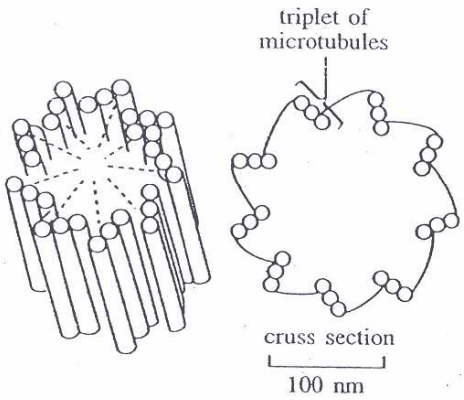
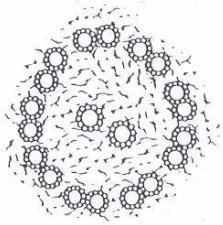
หน้าที่ของออร์แกเนลล์ต่าง ๆ

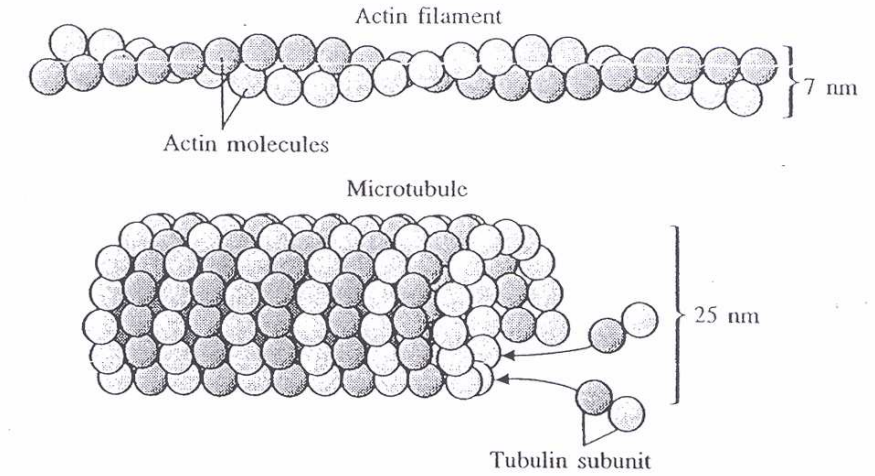
ออร์แกเนลล์	หน้าที่
ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อยูนิตชั้นเดียว	
1. เอนโดพลาสมิก เรติคิวลัม (endoplasmic reticulum) มีลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ ชั้นเดียวพับซ้อนไปมา แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ	
1.1 เอนโดพลาสมิก เรติคิวลัมชนิดขรุขระหรือชนิดหยาบ (Rough endoplasmic reticulum = RER) โครงสร้าง เป็น ER ที่มีไรโบโซมเกาะอยู่มากมาย	- สร้างโปรตีนส่งออกไปใช้นอกเซลล์ (exoprotein) - พบมากในตับอ่อน ลำไส้เล็ก ต่อมใต้สมอง - ลำเลียงสารภายในเซลล์ (Intracellular transport)
1.2 เอนโดพลาสมิก เรติคิวลัมชนิดเรียบ (Smooth endoplasmic recticulum = SER) โครงสร้างเป็น ER ที่ไม่มีไรโบโซมเกาะอยู่	1. สร้างไขมันเติมเข้าไปในโปรตีนที่สร้างจาก RER กลายเป็น lipoprotein 2. สร้างสารสเตียรอยด์ จึงพบมากในต่อมหมวกไตชั้นนอก คอร์ปัสลูเทียมในรังไข่ และเซลล์อินเตอร์สติเชียลในอัณฑะ 3. กำจัดสารพิษในร่างกายจึงพบ SER มากในเซลล์ตับ 4. ดูดซึมไขมัน พบมากในเซลล์ผนังของวิลลัส

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

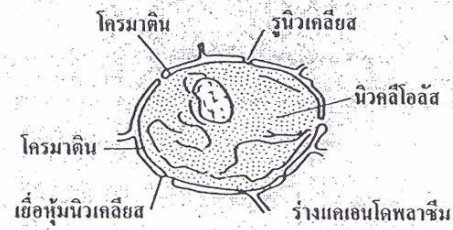
ออร์แกเนลล์	หน้าที่
2. กอลจิ คอมเพลกซ์ (Golgi complex) โครงสร้าง ลักษณะเป็นถุงแบนๆ โดยปลายถุงพองเป็นกระเปาะและเรียงซ้อนกันเป็นตั้งๆ ตั้งละ 5-15 ถุง 	1. รับโปรตีนมาจาก RER แล้วนำมาตกแต่งโดย - อัดให้แน่น - สร้างคาร์โบไฮเดรตเพิ่มเติมเข้าไปกลายเป็น glycoprotein - สร้างเยื่อล้อมรอบโปรตีนและหลุดออกมาเป็นถุง (Transport vesicle) 2. สร้างคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง ไกลโคเจน และเซลลูโลส 3. สร้างสารอีนาเมล (enamel) เคลือบฟัน 4. สร้างเมือก จึงพบมากในต่อมสร้างเมือก ต่อมน้ำลาย
3. ไลโซโซม (lysosome) โครงสร้าง เป็นถุงกลมๆ ภายในบรรจุเอนไซม์ hydrolytic สำหรับย่อยอาหารและบรรจุเอนไซม์ acid phosphatase - พบเฉพาะในเซลล์สัตว์ 	1. ย่อยอาหารที่เซลล์กินเข้าไป ซึ่งย่อยได้ทั้งโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เทียบได้กับลำไส้เล็กและตับอ่อน 2. ย่อยสลายออร์แกเนลล์ตัวเอง และย่อยสลายเซลล์เมื่อเซลล์อ่อนแอหมดอายุ เรียกกระบวนการนี้ว่า Autolysis 3. กำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้าไปในเซลล์ เช่น แบคทีเรีย จึงพบมากในเซลล์เม็ดเลือดขาวพวก Monocyte และ Neutrophil
4. แวคิวโอล (Vacuole) มี 4 ชนิดคือ 1. Sap vacuole พบในเซลล์พืช  2. Food vacuole พบในโพรโตซัวและสัตว์ชั้นต่ำ 3. Contracttile vacuole พบเฉพาะในโพรโตซัวน้ำจืด 4. Fat vacuole พบในเซลล์ไขมัน	1. เก็บสะสมของเสีย เช่น ผลึก Calcium oxalate 2. บรรจุรงควัตถุ Anthocyanin ทำให้กลีบดอกมีสีแดง ชมพู ม่วง น้ำเงิน 3. สะสม sucrose, คาเฟอีน, น้ำมันหอมระเหย - บรรจุอาหารที่เซลล์กินเข้ามาเพื่อรอการย่อยจากน้ำย่อยของไลโซโซม - ขจัดน้ำที่มากเกินพอออกจากเซลล์ เทียบได้กับไตของคนเรา - เก็บสะสมไขมัน

ออร์แกเนลล์	หน้าที่
5. เพอรอกซิโซม (Peroxisome)	- ภายในบรรจุเอ็นไซม์ Catalase ใช้ย่อยสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ให้เป็น H_2O และ O_2
ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อยูนิต 2 ชั้น 1. ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)  	- เป็นแหล่งสร้างพลังงานในรูปสารอินทรีย์พลังงานสูง (ATP = Adenosine triphosphate) จากการหายใจแบบใช้ O_2 ของเซลล์เปรียบเสมือนเป็นโรงผลิตไฟฟ้าของเซลล์ (Powerhouse of cell) - พบมากในแคมเบียมของพืช ในคนมีมากที่สุดในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ
2. คลอโรพลาสต์ (Chloroplast)  	- เป็นเม็ดสี (plastid) ที่มีสีเขียวทำหน้าที่สังเคราะห์แสงพบเฉพาะในสาหร่าย (ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) และพืช
ออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มรอบ 1. ไรโบโซม (ribosome)  	- เป็นออร์แกเนลล์ที่มีขนาดเล็กสุด - สร้างโปรตีนโดยพบอยู่ในโครงสร้างต่อไป 1. อยู่เป็นอิสระในไซโทพลาซึม สร้างโปรตีนไว้ใช้ในเซลล์เอง เช่น พบในเซลล์กล้ามเนื้อ 2. เกาะอยู่ที่ผิวนอกของ ER กลายเป็น RER ทำหน้าที่สร้างโปรตีนส่งไปใช้นอกเซลล์ 3. เกาะอยู่ที่เยื่อหุ้มนิวเคลียส 4. บรรจุอยู่ในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์

ออร์แกเนลล์	หน้าที่
2. เซนทริโอล (Centriole) - พบเฉพาะในเซลล์สัตว์ - ประกอบขึ้นจากหลอดโปรตีนไมโครทูบูล (microtubule) จัดเรียงตัวเป็นสูตรรหัส 9 + 0 (nine triplets) 	1. เกี่ยวข้องกับการให้กำเนิดซีเลียและแฟลเจลลัม โดยโครงสร้างทั้งสองนี้ประกอบด้วยหลอดไมโครทูบูลจัดเรียงตัวเป็น 9 + 2  2. เปลี่ยนแปลงไปเป็นเบซัลบอดี (basal body) ซึ่งอยู่ที่ฐานของแต่ละซีเลียและแฟลเจลลัมเพื่อควบคุมการโบกพัดโดยเบซัลบอดีมีโครงสร้างเหมือนเซนทริโอล 3. ให้กำเนิดไมโทติกสปินเดิล (mitotic spindle) ไปเกาะที่ปมไคเนโตคอร์ของโครโมโซม เพื่อแยกโครโมโซมออกจากกัน ดังนั้นรอบๆ เซนทริโอล จะมีไมโทติกสปินเดิลมากมายเรียก แอสเทอร์ (Aster)
3. ไมโครทูบูล (microtubule) โครงสร้าง เป็นหลอดโปรตีนที่ประกอบด้วยโมเลกุลโปรตีน tubulin	1. เป็นองค์ประกอบในเซนทริโอล ซีเลีย แฟลเจลลัม เบซัลบอดีและไมโททิก สปินเดิล 2. เป็นองค์ประกอบในไซโทพลาซึมเป็นโครงสร้างค้ำจุนของเซลล์ (Cytoskeleton) 3. การลำเลียงสารออกนอกเซลล์ (exocytosis)
4. ไมโครฟิลาเมนต์ (microfilament) เช่น Actin	1. เป็นโครงร่างของเซลล์ (Cytoskeleton) ร่วมกับไมโครทูบูล 2. ก่อให้เกิดซูโดโปเดียม (Pseudopodium) 3. ทำให้เกิดการหดตัวและคลายตัวของเซลล์กล้ามเนื้อ 4. ช่วยในการแบ่งไซโทพลาซึมของเซลล์สัตว์ เมื่อมีการแบ่งเซลล์ (cleavage furrow) 5. ช่วยในการยืดหดของไมโครวิลลัส ทำให้ดูดซึมอาหารได้ดีขึ้น
5. อินเทอร์มีเดียท ฟิลาเมนต์ (intermediate filament) เช่น Keratin, Desmin, Vimentin	- เป็นโครงร่างของเซลล์ร่วมกับไมโครทูบูลและไมโครฟิลาเมนต์



โครงแบบของ Cytoskeleton 3 ชนิด ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน

ออร์แกเนลล์	หน้าที่
นิวเคลียส (Nucleus) ประกอบด้วย 1. เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) - เป็นเยื่อยูนิต 2 ชั้น 2. รูนิวเคลียส (nuclear pore) 3. โครมาติน (Chromatin) 4. นิวคลีโอลัส (Nucleolus) - ประกอบด้วย RNA + โปรตีน - ไม่มีเยื่อหุ้ม  	- คัดเลือกสารที่จะผ่านเข้าออกนิวเคลียสกับไซโท-พลาซึม - เป็นช่องเล็ก ๆ ที่เยื่อหุ้มนิวเคลียสเป็นช่องให้สารผ่านเข้า-ออก - บรรจุ DNA ซึ่งเป็นสารพันธุกรรมควบคุมกิจกรรมชีวิตของเซลล์ - สร้างไรโบโซม

ประเภทของเซลล์

เซลล์จำแนกตามนิวเคลียสเป็น 2 ประเภทคือ

1. โพรแคริโอติกเซลล์

โพรแคริโอติกเซลล์ (Prokaryotic cell) เป็นเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียส และไม่มีออร์แกเนลล์ชนิดมีเยื่อหุ้ม ไม่มีไมโครทูบูลและเซนทริโอล ไม่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส มีเฉพาะไรโบโซมขนาดเล็ก (70 S) ได้แก่ เซลล์แบคทีเรียสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae หรือ cyanobacteria)

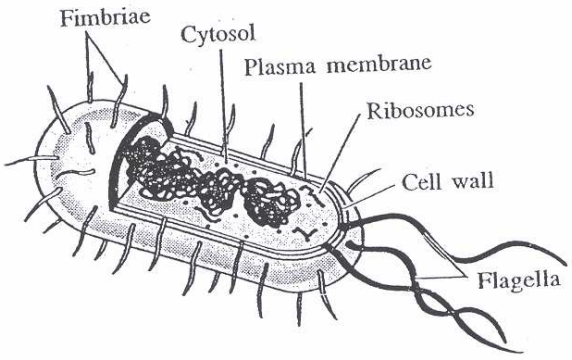
2. ยูแคริโอติก เซลล์ (Eukaryotic cell)

ยูแคริโอติก เซลล์ (Eukaryotic cell) เป็นเซลล์ที่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสและมีออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม มีไรโบโซมขนาดใหญ่ (80 S) ได้แก่ เซลล์โพรโตซัว สาหร่ายต่างๆ (ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) เห็ด รา ยีสต์ เซลล์พืช และสัตว์ต่างๆ

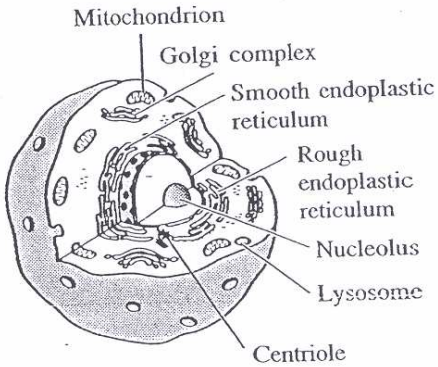
ประเภทของเซลล์

Prokaryotic cell	Eukaryotic cell
ตัวอย่าง แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไมโคพลาสมา คลามายเดีย	โพรโตซัว สาหร่าย (ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) เห็ด-รา-ยีสต์ ราเมือก พืชและสัตว์
◉ ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสจึงเรียกว่าไม่มีนิวเคลียส แต่มักเรียกเป็นนิวคลีออยด์ (nucleoid)	◉ มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสจึงเรียกว่ามีนิวเคลียส
◉ ไม่มีออร์แกเนลล์ชนิดมีเยื่อหุ้ม	◉ มีออร์แกเนลล์ชนิดมีเยื่อหุ้ม
◉ ไม่มี Centriole	◉ มี Centriole (ในเซลล์สัตว์)
◉ ไม่มี Cytoskeleton — Microtubule, Microfilament, Intermediate filament	◉ มี Cytoskeleton
◉ ไม่มี Meiosis	◉ มี Meiosis
◉ ผนังเซลล์เป็นสาร Peptidoglycan	◉ ผนังเซลล์เป็นสาร Cellulose

สิ่งที่เหมือนกัน — มี Ribosome, มี DNA, มี RNA



โพรแคริโอติกเซลล์



ยูแคริโอติก เซลล์

วัฏจักรของเซลล์และการแบ่งเซลล์

วัฏจักรของเซลล์ (cell cycle)

วัฏจักรของเซลล์ หมายถึง ช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ในขณะที่เซลล์มีการแบ่งตัว ซึ่งประกอบด้วยการเตรียมตัวให้พร้อมที่จะแบ่งตัว และกระบวนการแบ่งเซลล์ ดังแผนภาพ

1. ระยะอินเตอร์เฟส (Interphase)

ระยะนี้เป็นระยะเตรียมตัวที่จะแบ่งเซลล์ในวัฏจักรของเซลล์ ซึ่งแบ่งเป็น 3 ระยะย่อย คือ

ระยะ G_1 เป็นระยะก่อนการสร้าง DNA ซึ่งเซลล์มีการเติบโตเต็มที่ ระยะนี้จะมีการสร้างสารบางอย่าง เพื่อจะใช้สร้าง DNA ในระยะต่อไป ใช้เวลานานประมาณ 4 ชั่วโมง

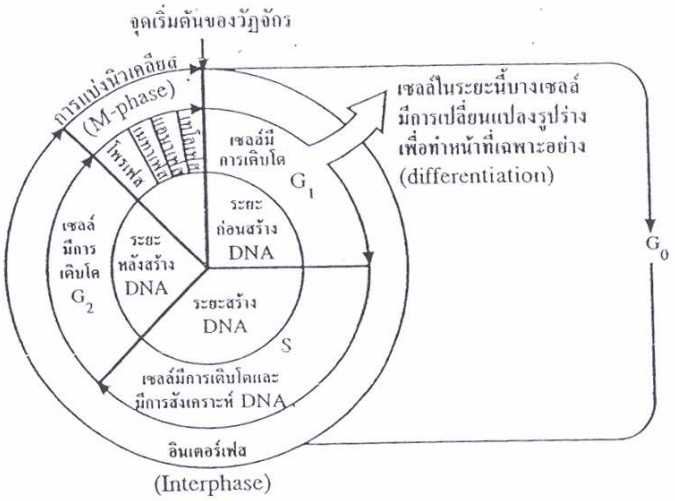
ระยะ S เป็นระยะสร้าง DNA (DNA replication) โดยเซลล์มีการเติบโตและมีการสังเคราะห์ DNA อีก 1 ตัว หรือมีการจำลองโครโมโซมอีก 1 เท่าตัว แต่โครโมโซมที่จำลองขึ้นยังคิดกับท่อนเก่าที่ปมเซนโทรเมียร์ (Centromere) ระยะนี้ใช้เวลานานที่สุดประมาณ 10 ชั่วโมง

ระยะ G_2 เป็นระยะหลังสร้าง DNA ซึ่งเซลล์มีการเติบโตและเตรียมพร้อมที่จะแบ่งโครโมโซม และไซโทพลาซึมต่อไป ใช้เวลานานประมาณ 4 ชั่วโมง

2. ระยะ M (M-phase)

ระยะ M (M-phase) เป็นระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียส ซึ่งโครโมโซมจะมีการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอนก่อนที่จะถูกแบ่งแยกออกจากกัน ประกอบด้วย 4 ระยะย่อย คือ โพรเฟส เมทาเฟส แอนาเฟส และเทโลเฟส

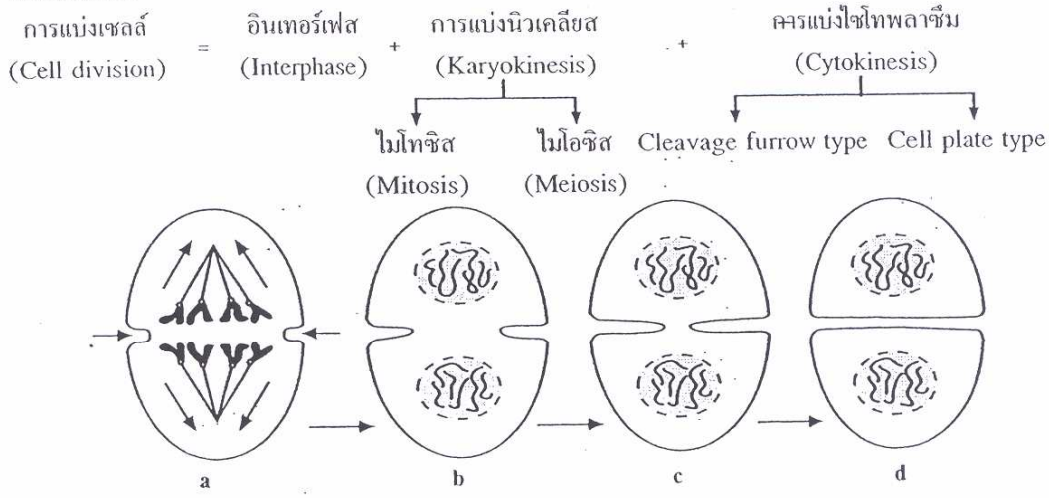
ในเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์เนื้อเยื่อเจริญของพืช เซลล์ไขกระดูกเพื่อสร้างเม็ดเลือดแดง เซลล์บุผิวพบว่า เซลล์จะมีการแบ่งตัวอยู่เกือบตลอดเวลา จึงกล่าวได้ว่า เซลล์เหล่านี้อยู่ในวัฏจักรของเซลล์ตลอด แต่เซลล์บางชนิดเมื่อแบ่งเซลล์แล้วจะไม่แบ่งตัวอีกต่อไป นั่นคือ เซลล์จะไม่เข้าสู่วัฏจักรของเซลล์อีก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเซลล์จะเข้าสู่ G_0 จนกระทั่งเซลล์ชราภาพ (Cell aging) และตายไป (Cell death) ในที่สุด แต่เซลล์บางชนิดจะพักตัวหรืออยู่ใน G_0 ชั่วระยะหนึ่ง ถ้าจะกลับมาแบ่งตัวอีก ก็จะเข้าสู่วัฏจักรของเซลล์ต่อไปดังแผนภาพ



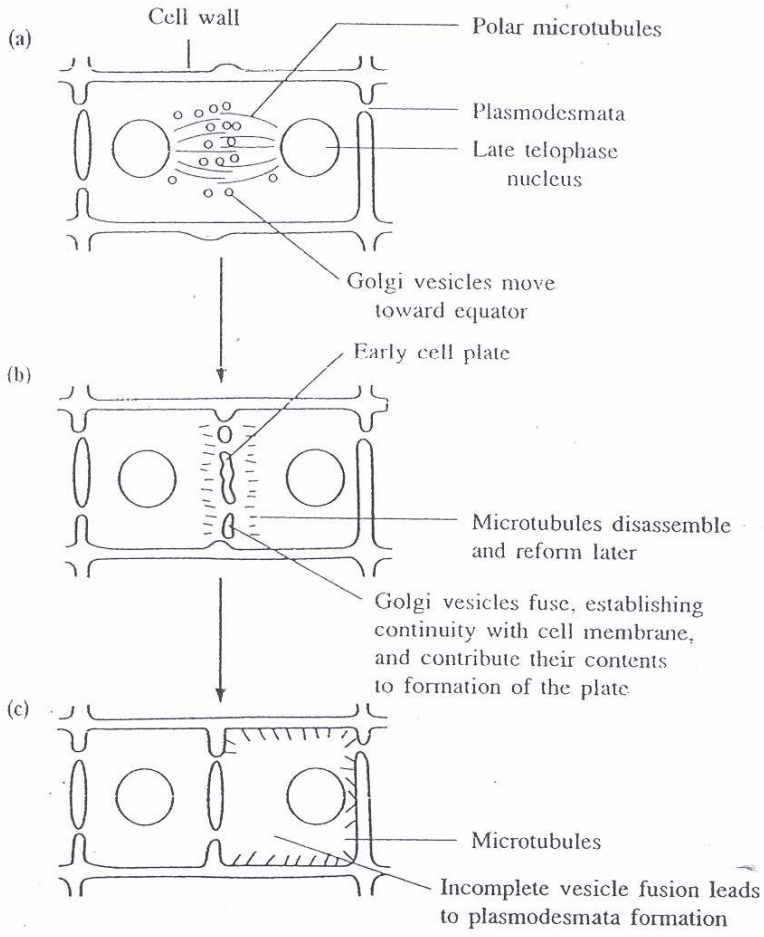
วัฏจักรของเซลล์แสดงระยะต่าง ๆ และกระบวนการที่เกิดขึ้นขั้นตอนต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส

การแบ่งเซลล์ (cell division)

การแบ่งเซลล์ จะมี 3 ขั้นตอน คือ อินเทอร์เฟส (Interphase) การแบ่งนิวเคลียส (Karyokinesis) และการแบ่งไซโทพลาซึม (Cytokinesis) การแบ่งนิวเคลียสจะมี 2 แบบ คือ การแบ่งแบบไมโทซิส (Mitosis) และการแบ่งแบบไมโอซิส (Meiosis) ส่วนการแบ่งไซโทพลาซึม จะมี 2 แบบ คือ แบบที่เยื่อหุ้มเซลล์คอดกิ่วจาก 2 ข้าง เข้าใจกลางเซลล์เรียกว่า เป็นแบบ Cleavage furrow type ซึ่งพบในเซลล์สัตว์กับแบบที่มีการสร้างเซลล์เพลท (Cell plate) มาก่อตัวบริเวณกึ่งกลางเซลล์ขยายไป 2 ข้างของเซลล์ เรียกว่า เป็นแบบ Cell plate type ซึ่งพบในเซลล์พืช



การแบ่งไซโทพลาซึมของเซลล์สัตว์โดยรอยคอดจะเริ่มต้นที่แนวกลางเซลล์ตรงตำแหน่งลูกศร และ เว้าเป็นร่องแคบลึกเข้าไปในไซโทพลาซึม โดยการแบ่งนี้เกิดจากแถบไมโครฟิลาเมนต์ที่ยื่นออกมารอบๆ เซลล์ตรงรอยคอด



แผนภาพแสดงการแบ่งเซลล์พืช โดยการสร้างเซลล์เพลทขึ้นกลางเซลล์

On Tour ปีเสือ พศ.๒๕๕๓ ใน แม่ฮ่องสอน

การแบ่งเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส (mitosis)

การแบ่งเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส (mitiosis) เป็นการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ของร่างกายในการเจริญเติบโตในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ หรือเป็นการแบ่งเซลล์เพื่อการสืบพันธุ์ในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (Binaryfission) และเป็นการแบ่งเนื้อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในพืช

- ไม่มีการลดจำนวนชุดโครโมโซม ($2n \longrightarrow 2n$ หรือ $n \longrightarrow n$)
- เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์จะได้ 2 เซลล์ใหม่ที่มีโครโมโซมเท่า ๆ กัน และเท่ากับเซลล์ตั้งต้น
- พบที่เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด, ปลายราก, แคมเบียมของพืชหรือเนื้อเยื่อบุผิว, ไขกระดูกในสัตว์, การสร้างสเปิร์มและไข่ของพืช และการแบ่งตัวของโพรโทซัว
- มี 5 ระยะ คือ อินเตอร์เฟส (Interphase), โพรเฟส (Prophase), เมทาเฟส (Metaphase), แอนาเฟส (Anaphase) และเทโลเฟส (Telophase)

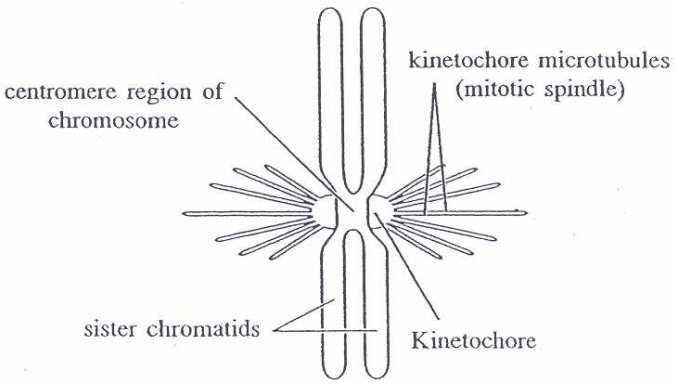
สรุปขั้นตอนการแบ่งแบบไมโทซิส

	ระยะการแบ่ง	การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ
การแบ่งนิวเคลียส	อินเตอร์เฟส (Interphase)	- เพิ่มจำนวนโครโมโซม (Duplication) ขึ้นมาอีกชุดหนึ่ง และติดกันอยู่ที่เซนโทรเมียร์ (centromere) (1 โครโมโซม มี 2 โครมาทิด) - มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีมากที่สุด (metabolic stage) - เซนตริโอล แบ่งเป็น 2 อัน - ใช้เวลานานที่สุด, โครโมโซมมีความยาวมากที่สุด
	โพรเฟส (Prophase)	- โครมาทิดหดสั้น ทำให้มองเห็นเป็นแท่งชัดเจน - เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสหายไป - เซนตริโอลเคลื่อนไป 2 ข้างของเซลล์ และสร้างไมโทติกสปินเดิลไปเกาะที่ไคเนโตคอร์ (kine tochore) ระยะนี้จึงมีเซนตริโอล 2 อัน
	เมตาเฟส (Metaphase)	- โครโมโซมเรียงตัวตามแนวกึ่งกลางของเซลล์ (equatorial plane) - เหมาะต่อการนับโครโมโซมและศึกษารูปร่างโครงสร้างของโครโมโซม - เซนโทรเมียร์จะแบ่งครึ่ง ทำให้โครมาทิดเริ่มจะแยกจากกัน - โครโมโซมหดสั้นมากที่สุด สะดวกต่อการเคลื่อนที่
	แอนาเฟส (Anaphase)	- โครมาทิดถูกดึงแยกออกจากกันกลายเป็นโครโมโซมอิสระ - โครโมโซมภายในเซลล์เพิ่มเป็น 2 เท่าตัว หรือจาก 2n เป็น 4n (Tetraploid) - มองเห็นโครโมโซมมีรูปร่างคล้ายอักษรรูปตัว V, J, I - ใช้เวลาสั้นที่สุด
	เทโลเฟส (Telophase)	- โครโมโซมลูก (Daughter Chromosome) จะไปรวมอยู่ขั้วตรงข้ามของเซลล์ - เยื่อหุ้มนิวเคลียส และนิวคลีโอลัสเริ่มปรากฏ
		- มีการแบ่งไซโทพลาซึม - เซลล์สัตว์ เยื่อหุ้มเซลล์คอดเข้าไปบริเวณกลางเซลล์ (Cleavge furrow) - เซลล์พืช เกิดเซลล์เพลท (Cell plate) กั้นตรงแนวกลางเซลล์ขยายออกไปติดกับผนังเซลล์เดิม - ได้ 2 เซลล์ใหม่ เซลล์ละ 2n เหมือนเดิมทุกประการ

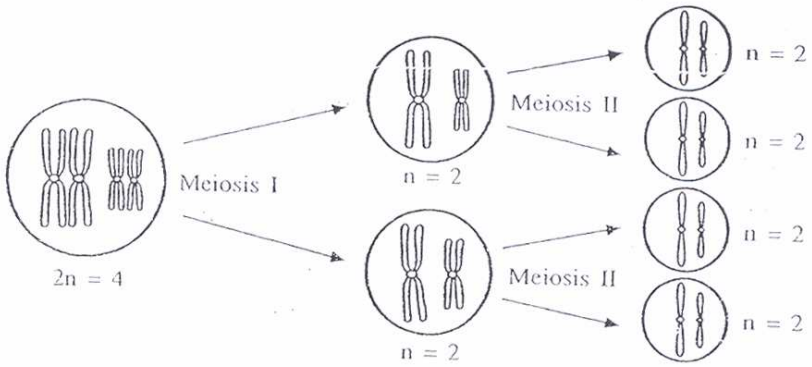
on Tour ยิ่งยวด พิ.ศ.๒๕๖๓ ใน แผ่นดินยุทธ

สรุปการเปลี่ยนแปลงสำคัญที่เกิดขึ้นในการแบ่งเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส

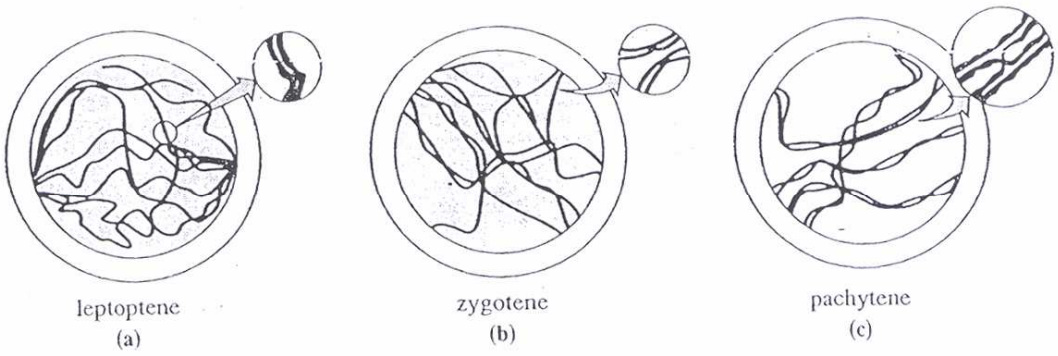
ระยะ		การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ
ไมโอซิส I	อินเตอร์เฟส I	- จำลองโครโมโซมขึ้นมาอีก 1 เท่าตัว แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิด
	โปรเฟส I	- โฮโมโลกัส โครโมโซมมาจับคู่แนบชิดกัน (Synapsis) ทำให้มีกลุ่มโครโมโซม กลุ่มละ 2 ท่อน (Bivalent) แต่ละกลุ่มประกอบด้วย 4 โครมาทิด (Tetrad) - เกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิด (Crossing over)
	เมทาเฟส I	- คู่ของโฮโมโลกัส โครโมโซม เรียงตัวอยู่ตามแนวศูนย์กลางของเซลล์
	แอนาเฟส I	- โฮโมโลกัส โครโมโซม แยกคู่ออกจากกันไปยังแต่ละข้างของขั้วเซลล์
	ทีโลเฟส I	- เกิดนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส และแต่ละนิวเคลียสมีจำนวนโครโมโซมเป็นแฮพลอยด์ (n)
ไมโอซิส II	อินเตอร์เฟส II	- เป็นระยะพักชั่วครู่ แต่ไม่มีการจำลองโครโมโซมขึ้นมาอีกหรืออาจไม่มีในเซลล์บางชนิด
	โปรเฟส II	- โครโมโซมหดสั้นมาก ทำให้เห็นแต่ละโครโมโซมมี 2 โครมาทิด
	เมทาเฟส II	- โครโมโซมจะมาเรียงตัวอยู่แนวศูนย์กลางของเซลล์
	แอนาเฟส II	- เกิดการแยกของโครมาทิด ที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกันไปยังขั้วแต่ละข้างของเซลล์ทำให้โครโมโซมเพิ่มจาก n ⟶ 2n
	ทีโลเฟส II	- เกิดนิวเคลียสใหม่เป็น 4 นิวเคลียส และแบ่งไซโทพลาซึมเกิดเป็น 4 เซลล์สมบูรณ์ แต่ละเซลล์มีจำนวนโครโมโซมเป็นแฮพลอยด์ (n) หรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของเซลล์เริ่มต้น

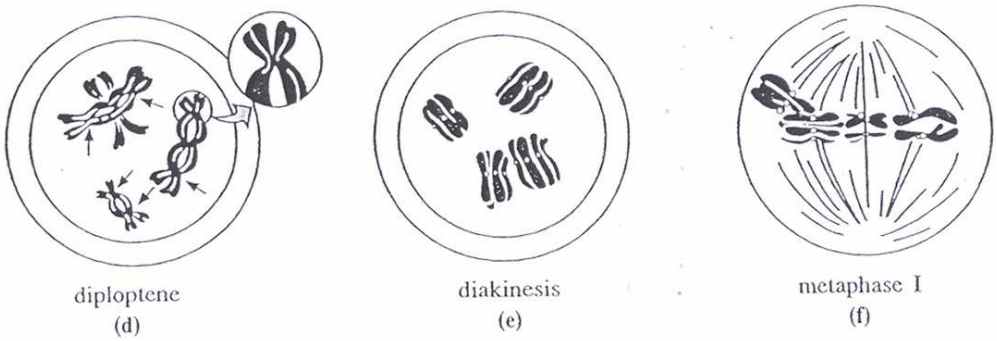


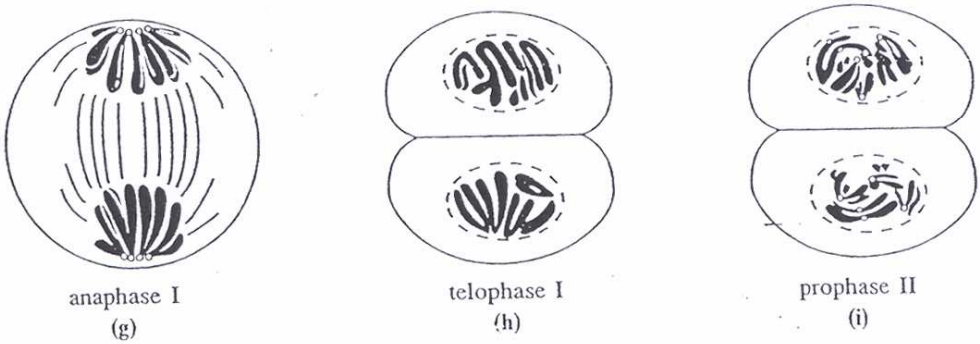
โครโมโซมเมทาเฟส แสดงตำแหน่งไคเนโตคอร์ และซิสเตอร์โครมาทิด

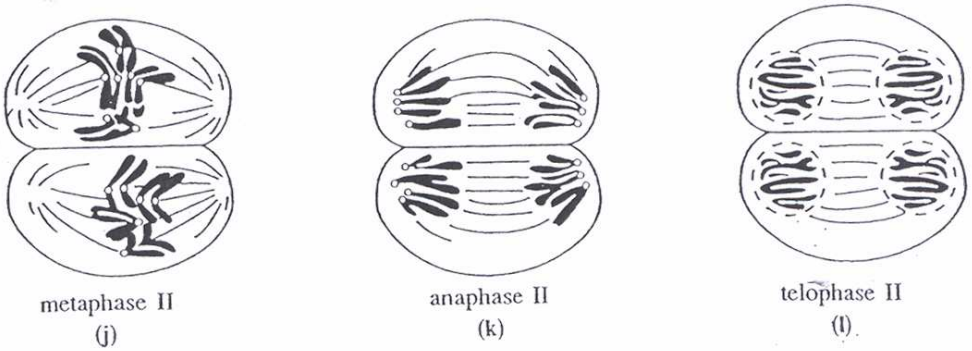


เซลล์ตั้งต้น และผลลัพธ์ของการแบ่งไมโอซิส









แผนภาพแสดงขั้นตอนการแบ่งไมโอซิส a–l

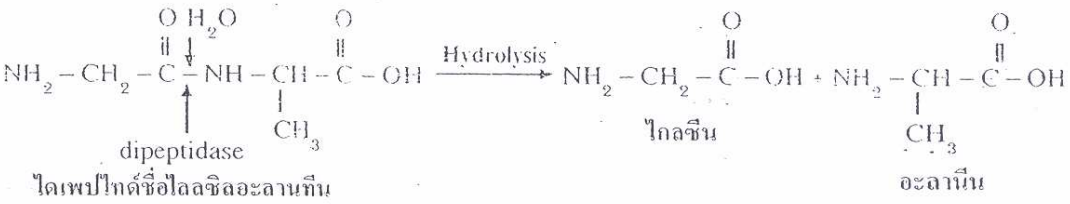
on Tour ยิ่งยง พศ.ศธ.ลพ ใน เมืองปุษกร

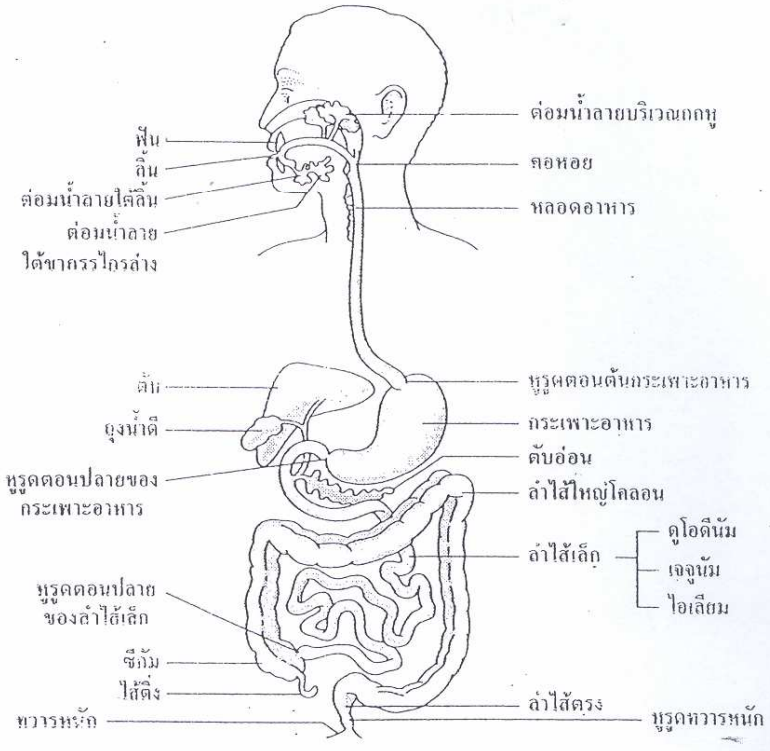
ระบบย่อยอาหารและการสลายสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน
(Digestive System and Food break down for ATP synthesis)

การย่อยอาหาร

การย่อยอาหาร (Digestion) มี 2 ขั้นคือ

1. การย่อยเชิงกล (Mechanical digestion) ได้แก่
   - การบด การเคี้ยว
   - การบีบตัวของท่อทางเดินอาหาร
     - Tonic contraction ➡ การบีบตัวแบบคลื่นคลุกเคล้าพบในกระเพาะอาหาร
     - Peristalsis ➡ การบีบตัวของท่อทางเดินอาหารส่วนหลอดอาหาร กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กเป็นจังหวะลูกคลื่นต่อเนื่องกันและมีความแรงมากที่สุด
   - Fat emulsification
2. การย่อยเชิงเคมี (chemical digestion)
   - ➡ เป็นการเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ระหว่าง H_2O กับอาหารโดยตรง
   - ➡ ปฏิกิริยานี้ต้องใช้ Enzyme ชนิดจำเพาะกับอาหารดังสมการ





ภาพแสดงระบบทางเดินอาหารของคน

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

สรุปการย่อยอาหาร

1. **การย่อยอาหารเกิดขึ้นมากที่สุดที่ลำไส้เล็กตอนต้น**

คือ ดูโอดีนัม (Duodenum) เพราะสร้างน้ำย่อยเอง, รับน้ำย่อยและสารเคมีจากตับอ่อน และรับน้ำดีจากตับ

2. **อวัยวะสร้างน้ำย่อย สำหรับย่อย**

2.1 คาร์โบไฮเดรต สร้างจาก — ต่อมน้ำลาย, ตับอ่อน, ลำไส้เล็ก

2.2 โปรตีน สร้างจาก — กระเพาะอาหาร, ตับอ่อน, ลำไส้เล็ก

2.3 ไขมัน สร้างจาก — ตับอ่อน, ลำไส้เล็ก

ดังนั้น ตับอ่อนและลำไส้เล็กจึงเป็นอวัยวะสร้างน้ำย่อยย่อยอาหารได้ครบ 3 ประเภท เทียบกับ Lysosome ในเซลล์สัตว์

3. **ลำดับการย่อยอาหารแต่ละประเภท**

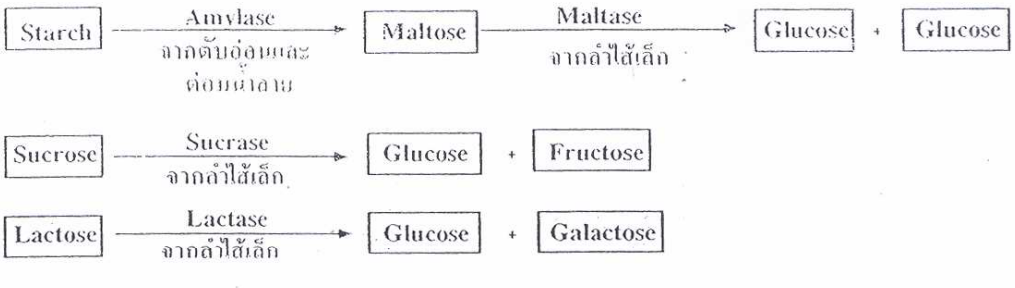
3.1 คาร์โบไฮเดรตถูกย่อยเป็นอันดับแรกสุดในปาก

3.2 โปรตีนถูกย่อยเป็นอันดับสองในกระเพาะอาหาร

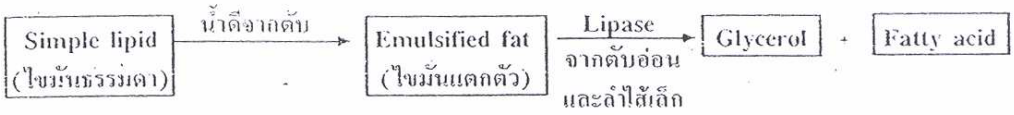
3.3 ไขมันถูกย่อยเป็นอันดับสุดท้ายในลำไส้เล็ก

4. **การย่อยอาหารแต่ละประเภท**

4.1 คาร์โบไฮเดรต

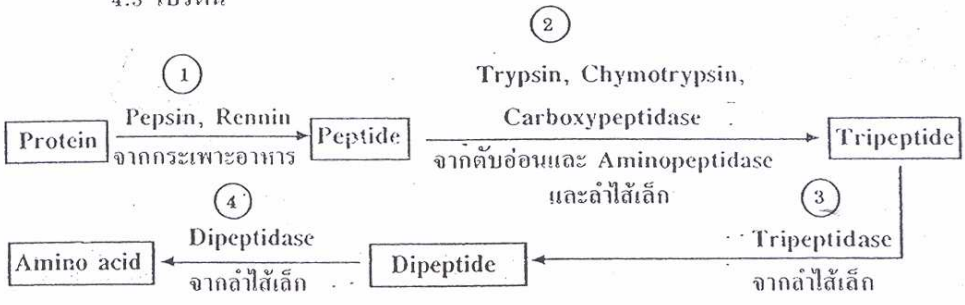


4.2 ไขมัน



ดังนั้น การขาดน้ำดี จะทำให้การย่อยไขมันเกิดขึ้นไม่ได้ จึงควรงดการบริโภคไขมัน

4.3 โปรตีน

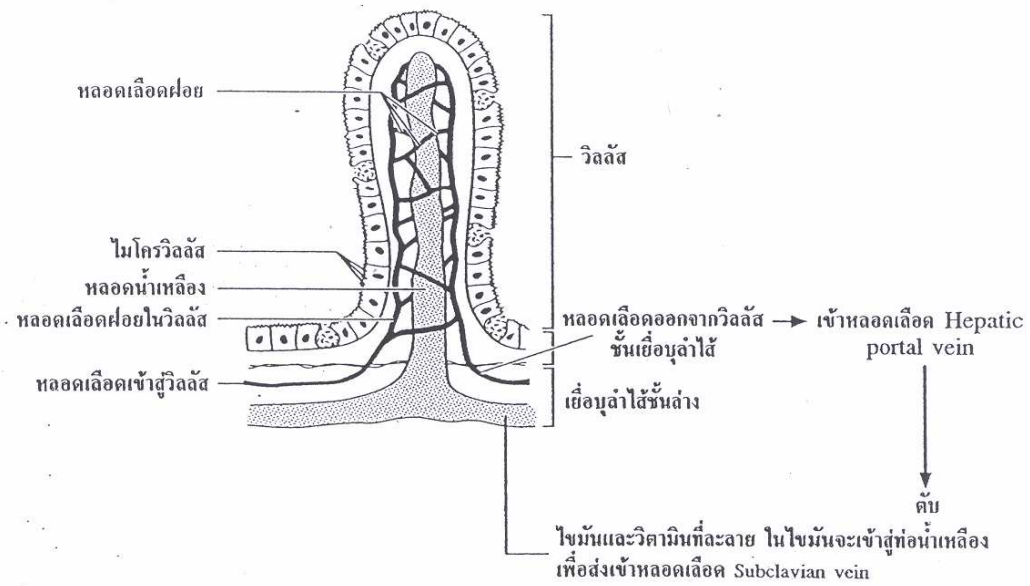


on Tour ปีเลขอ พศ.ศศ.ลม ใน แก้ไขปุ่มกด

การดูดซึมอาหาร

1. การดูดซึมอาหารเกิดมากที่สุดที่ลำไส้เล็กตอนกลาง คือ เจจูนัม (jejunum) เพราะมีวิลลัส (villus) หนาแน่นมากที่สุด

2. การดูดซึม
- กลูโคส, กรดอะมิโน, แร่ธาตุ, วิตามินที่ละลายในน้ำ(วิตามิน B และ C) จะเข้าสู่หลอดเลือดฝอยภายในวิลลัส —เข้าสู่→ หลอดเลือด Hepatic portal vein —เข้า→ ตับ —ออก→ หลอดเลือด Hepatic vein → Inferior Vena cava → หัวใจห้องบนขวา
- กรดไขมัน, กลีเซอรอล, วิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามิน A, D, E, K) จะเข้าสู่ท่อน้ำเหลือง (lacteal) ภายในวิลลัส → ท่อน้ำเหลือง → เส้นเลือด Subclavian vein บริเวณไหล่ → Superior vena cava → หัวใจห้องบนขวา



ภาพแสดงโครงสร้างของวิลลัส 1 อัน

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

การสลายโมเลกุลอาหารแบบใช้ออกซิเจน

ปฏิกิริยาการสลายกลูโคส (Glucose Catabolism)

การสลายกลูโคสภายในเซลล์เกิดได้ 2 กรณี คือ แบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน การหายใจแบบใช้ออกซิเจนประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลง 4 ขั้นตอน ดังแผนภาพ คือ ไกลโคลิซิส (glycolysis) การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์-เอ หรือไพรูเวท ออกซิเดชัน วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport)

ข้อสรุปลักษณะสำคัญของแต่ละขั้นตอนในการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

1. **ไกลโคลิซิส (glycolysis = Anaerobic breakdown of glycogen (glucose) to pyruvic acid)**

   (1) ไกลโคลิซิสเป็นกระบวนการสลายกลูโคสไปเป็นกรดไพรูวิก (pyruvic acid = $C_3H_4O_3$) ซึ่งเกิดที่ไซโทพลาซึมของเซลล์ ไม่ว่าจะใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนหายใจก็ตาม

   (2) ถ้าเริ่มต้นจากกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 1 โมเลกุล จะได้ผลลัพธ์ดังนี้ คือ

   2.1 ได้กรดไพรูวิก ($C_3H_4O_3$) 2 โมเลกุล

   2.2 ใช้พลังงาน 2 ATP และเกิดพลังงาน 4 ATP เพราะฉะนั้นได้พลังงานสุทธิ 2 ATP

   2.3 เกิด H 4 อะตอม ซึ่งจะมีตัวพามารับไปคือ NAD^+ กลายเป็น NADH + H^+ 2 โมเลกุล

   2.4 สมการรวบยอดของไกลโคลิซิส

$$\underset{\text{(กลูโคส)}}{C_6H_{12}O_6} + 2ADP + 2\,Pi \longrightarrow \underset{\text{(กรดไพรูวิก)}}{2C_3H_4O_3} + 2ATP + 2\,NADH + H^+$$

2. **การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ หรือไพรูเวท ออกซิเดชัน** สรุปสิ่งที่ต้องการทราบ ดังนี้

   (1) กรดไพรูวิกที่เกิดจากไกลโคลิซิส แต่ละโมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับโคเอนไซม์เอ (COASH) ได้เป็นอะซิติลโคเอนไซม์เอ โดยการทำงานของกลุ่มเอนไซม์ pyruvate dehydrogenase complex ซึ่งเกิดภายในไมโทคอนเดรีย

   (2) เกิดผลลัพธ์สำคัญ ดังนี้

   2.1 เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล / 1 โมเลกุลของกลูโคส (2 โมเลกุลของกรดไพรูวิก)

   2.2 จากกลูโคส 1 โมเลกุล จะทำให้เกิด H 4 อะตอม ซึ่งจะเข้าร่วมกับ NAD^+ กลายเป็น NADH + H^+ 2 โมเลกุล สมการรวบยอดเป็นดังนี้

$$\underset{\text{(กรดไพรูวิก)}}{2C_3H_4O_3} \xrightarrow[2\,CoASH]{-2CO_2} \underset{\text{(อะซิติลโคเอ)}}{2CH_3 - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - S - CoA} + 2NADH + H^+$$

(โคเอนไซม์เอ)

3. **วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)** สรุปสิ่งที่ต้องการดังนี้

   (1) สารตั้งต้นของวัฏจักรเครบส์ คือ อะซิติลโคเอ (2C) กับกรดออกซาโลอะซิติก (4C) เมื่อสาร 2 ชนิดนี้เข้ามารวมกัน โดยเกิดปฏิกิริยาจะได้เป็นกรดซิตริก (6C) กรดซิตริกจะมีการ

on Your ปลอดภัย พศ.ศธ.สพม ใน แก้ไขปรับปรุง

เปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน โดยการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ในระหว่างปฏิกิริยาจะมีการลดจำนวน C ในกรดซิตริกจาก 6C ⟶ 5C ⟶ 4C ซึ่งได้สาร 4C กลับมาดามเดิม ปฏิกิริยาช่วงนี้มีลักษณะเป็นวัฏจักรเครบส์ตามชื่อของ Sir Hans Krebs ผู้ศึกษาพบวัฏจักรนี้

(2) ลักษณะและผลลัพธ์สำคัญจากปฏิกิริยา

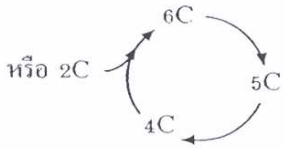
2.1) วัฏจักรเครบส์เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนอะซิติลโคเอไปเป็น CO_2

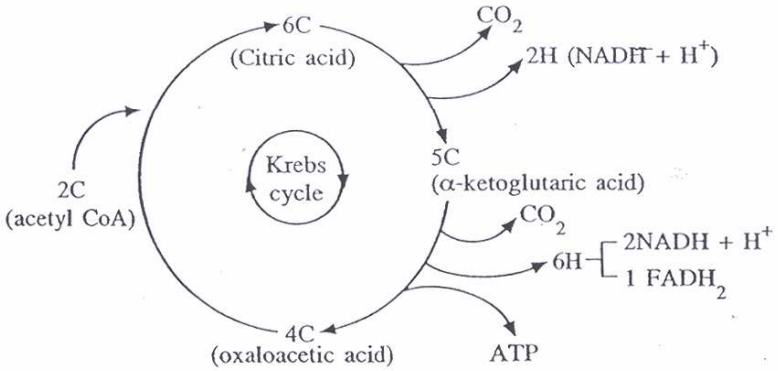
2.2) เกิดขึ้นโดยมีออกซิเจนเป็น inducer เกิดขึ้นภายในไมโทคอนเดรีย แต่ O_2 ไม่ได้เข้าร่วมปฏิกิริยา

2.3) ถ้าเริ่มต้นจากกลูโคส 1 โมเลกุล หรืออะซิติลโคเอ 2 โมเลกุล จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. เกิด CO_2 ทั้งสิ้น 4 โมเลกุล
2. เกิดพลังงานอิสระในรูป GTP (ATP) 2 โมเลกุล (1 ATP/Krebs cycle)
3. เกิด H ทั้งหมด 16 อะตอม (8H/Krebs cycle) ซึ่งจะเข้ารวมกับตัวพา 2 ชนิด คือ NAD^+ และ FAD ดังนี้คือ 12 H เข้ารวมกับ NAD^+ กลายเป็น NADH + H 6 โมเลกุล, 4 H เข้ารวมกับ FAD กลายเป็น $FADH_2$ 2 โมเลกุล
4. ลำดับการเปลี่ยนแปลงจำนวน C เป็นดังนี้

6C ⟶ 5C ⟶ 4C หรือ 2C ⟶ 6C ⟶ 5C ⟶ 4C





แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวน C และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรเครบส์

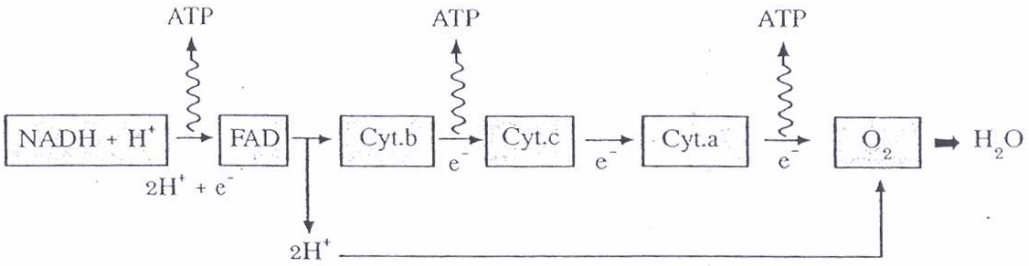
(3) สมการรวบยอดของวัฏจักรเครบส์

$$2C_3H_4O_3 + 2\ ADP + 2\ Pi + 6\ NAD^+ + 2\ FAD \longrightarrow 4\ CO_2 + 2\ ATP + 6\ NADH + H^+ + 2\ FADH_2$$

4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport)

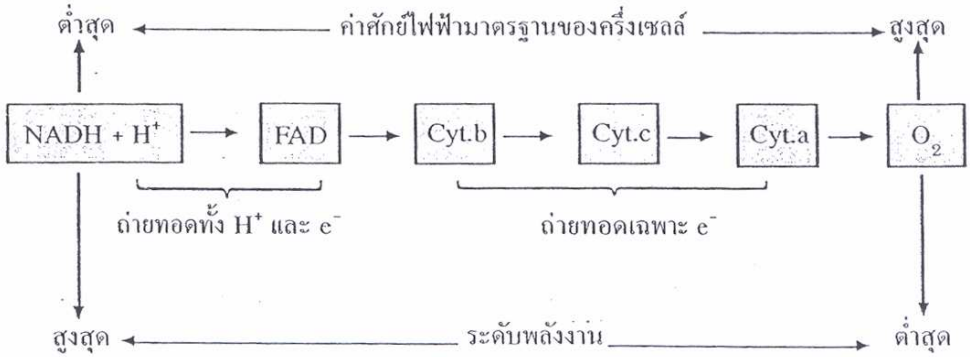
สรุปลักษณะและผลลัพธ์สำคัญที่ต้องทราบ

1. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของ NADH + H^+ และ $FADH_2$ กับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน ซึ่งเกิดขึ้นที่เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย และที่เยื่อหุ้มเซลล์ของโปรคาริโอต ทำให้ได้พลังงานในรูป ATP เกิดขึ้นมากที่สุดถึง 32-34 ATP/1 โมเลกุลของกลูโคส
2. เกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนอิสระภายในเซลล์โดยออกซิเจนจะเป็นตัวรับโปรตอนและอิเล็กตรอน (Proton and electron acceptor) เกิดเป็น H_2O ทั้งสิ้น 12 โมเลกุล/1 โมเลกุลของกลูโคส
3. NADH + H^+ และ $FADH_2$ เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะได้พลังงาน 3 ATP และ 2 ATP ต่อโมเลกุลเรียงตามลำดับ
4. การมี O_2 ในเซลล์ทำให้เกิดการหายใจอย่างสมบูรณ์ เพราะเกิดปฏิกิริยาการสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ได้ทั้งหมด
5. ลำดับการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เป็นดังนี้

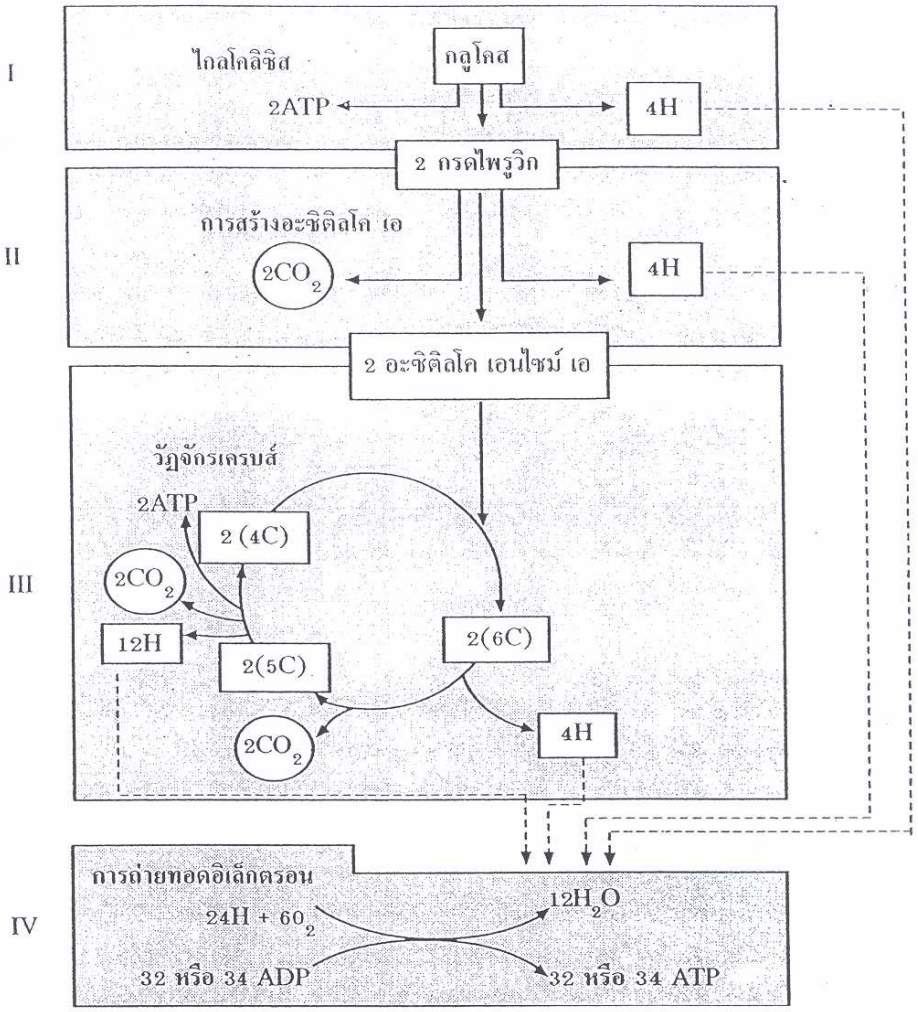


Cyt. = cytochrome

6. ถ้าเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ และระดับพลังงานของสารต่างๆ สรุปได้ดังนี้



Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ



แผนภาพแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล

ตำแหน่งการหายใจแบบใช้ O_2 ในเซลล์

1. ไกลโคลิซิส เกิดที่ไซโทพลาซึมของเซลล์
2. การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ และวัฏจักรเครบส์เกิดที่แมทริกซ์ (Matrix) ของไมโทคอนเดรีย
3. ระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เกิดที่คริสตี (cristae) ของไมโทคอนเดรีย

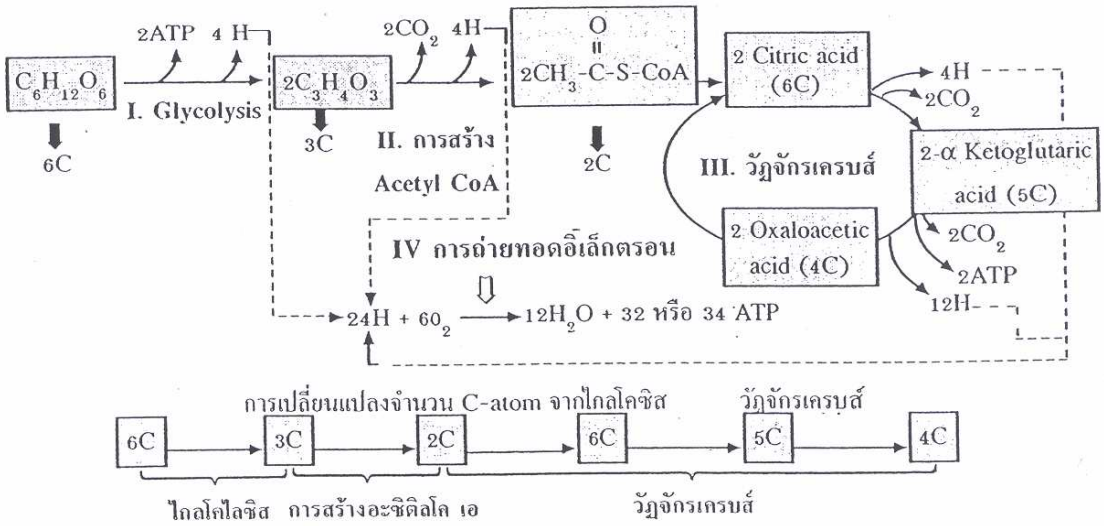
ตารางสรุปปริมาณ ATP และสมมูลรีดิวซ์จากการเผาผลาญกลูโคส 1 โมเลกุล

กระบวนการ	ATP สุทธิที่เกิดขึ้น	จำนวนสมมูลรีดิวซ์	ATP ที่ได้จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
1. ไกลโคลิซิส กลูโคส → 2 กรดไพรูวิก ($C_6H_{12}O_6$) ($C_3H_4O_3$)	2ATP	2 NADH + H^+	→ 4-6 ATP
2. การสร้างอะซิติลโคเอ 2 กรดไพรูวิก → 2 อะซิติลโคเอ + $2CO_2$		2NADH + H^+	→ 6 ATP
3. วัฏจักรเครบส์ 2 อะซิติลโคเอ → $4CO_2$	2ATP	2 NADH + H	→ 6 ATP
4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน 24 H + $6O_2$ → $12H_2O$			32 หรือ 34 ATP
พลังงานสุทธิ	รวม ATP ทั้งสิ้น 36 - 38 ATP/Glucose		

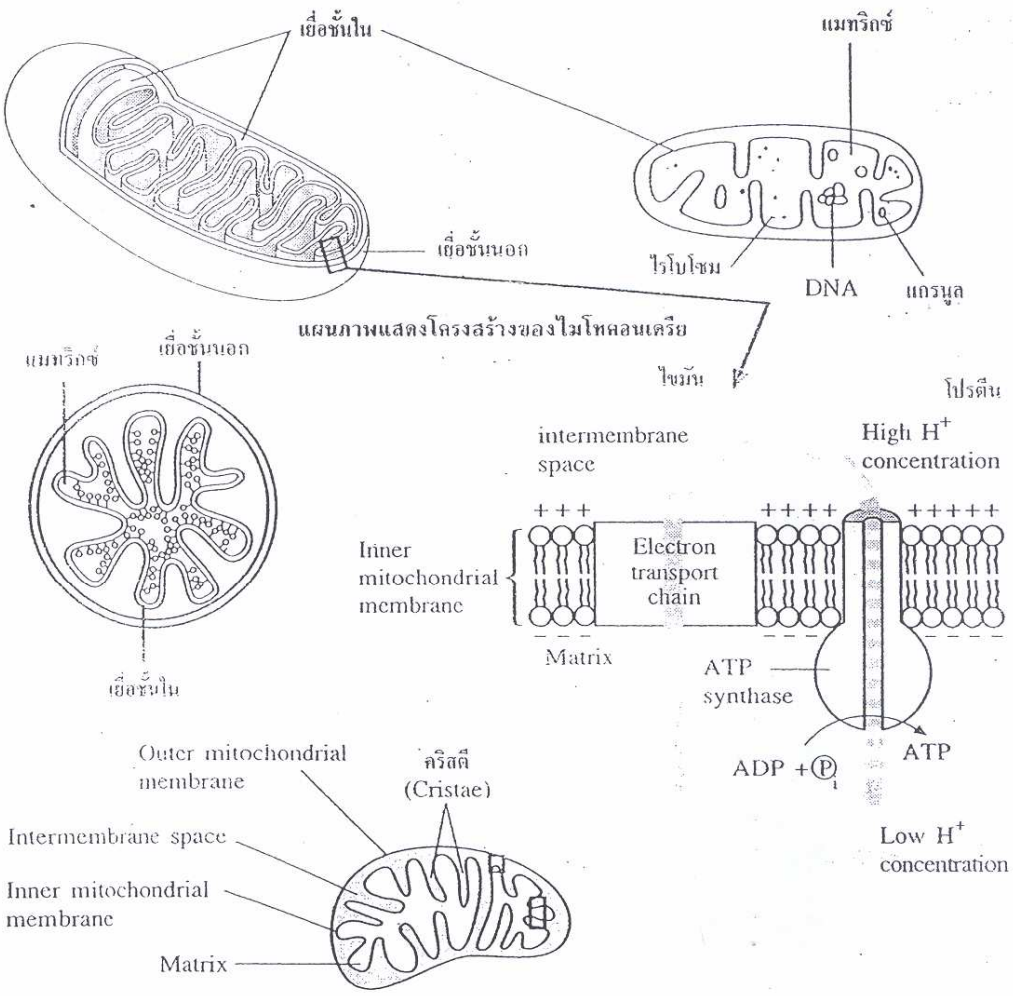
ข้อควรทราบพิเศษ 1. กลูโคส 1 โมเลกุลสลายแบบใช้ O_2 ภายในเซลล์ตับ ไต และหัวใจ จะได้ 38 ATP/กลูโคส

2. กลูโคส 1 โมเลกุลสลายแบบใช้ O_2 ภายในเซลล์กล้ามเนื้อลาย และเซลล์สมอง จะได้ 36 ATP/กลูโคส

สรุป การเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยา การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล แบบใช้ O_2



Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ



ภาพแสดงภาคตัดขวางของไมโทคอนเดรีย

การสลายโมเลกุลอาหาร แบบไม่ใช้ออกซิเจน

การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration)

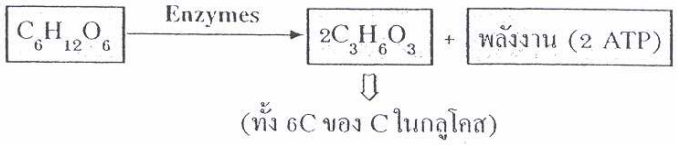
สิ่งมีชีวิตบางชนิดหายใจโดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน (O_2) เช่น ยีสต์ แบคทีเรียบางชนิด และเมล็ดพืช ในสัตว์ชั้นสูงเนื้อเยื่อบางชนิดในร่างกายสามารถหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ดีเป็นพิเศษคือกล้ามเนื้อลาย

1. ปฏิกิริยาการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ เป็นดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{Enzymes}} \underset{\text{(2/3 ของ C ในกลูโคส)}}{2C_2H_5OH} + \underset{\left(\frac{1}{3}\text{ ของ C ในกลูโคส}\right)}{2CO_2} + \text{พลังงาน (2 ATP)}$$

ในกระบวนการนี้ได้ เอธิลแอลกอฮอลล์ คาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงาน กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ ที่ทำให้เกิดเอธิลแอลกอฮอล์ เรียกว่า การหมัก (alcoholic fermentation)

2. **ปฏิกิริยาการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลาย** เป็นดังสมการ

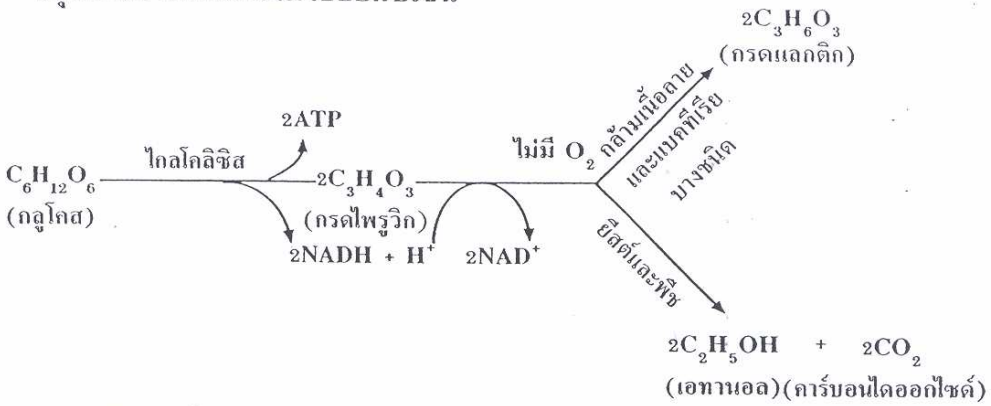


ในกระบวนการนี้ได้ กรดแลกติก และพลังงาน เรียกปฏิกิริยาการหมักนี้ว่า Lactate fermentation กรดแลกติกเมื่อสะสมมากจะทำให้กล้ามเนื้อล้า (fatique) แต่ถ้ามีไม่มากนักจะถูกลำเลียงไปที่ตับ เพื่อนำกลับมาสร้างเป็นกลูโคสใหม่ (Corie cycle)

ข้อควรระมัดระวังเป็นพิเศษ

การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลายจะได้กรดแลกติกแต่ไม่มี CO_2 เกิดขึ้นเหมือนกับกรณีของยีสต์ ซึ่งนอกเหนือจากเอธิลแอลกอฮอล์ยังได้ CO_2 จากปฏิกิริยาด้วย

สรุปการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน



ข้อสรุปเกี่ยวกับการหายใจแบบไม่ใช้ O_2

1. ในสภาวะไม่มี O_2 อิสระในเซลล์ กรดไพรูวิกจะเป็นตัวรับไฮโดรเจนตัวสุดท้าย (H-acceptor) กลายเป็นกรดแลกติกในกล้ามเนื้อลาย แบคทีเรียบางชนิด เอทานอลและ CO_2 ในยีสต์และพืช
2. ปฏิกิริยาที่ $NADH + H^+$ ไปรีดิวซ์กรดไพรูวิก เรียกการหมัก (fermentation)
3. การหายใจแบบไม่ใช้ O_2 เป็นการหายใจแบบไม่สมบูรณ์เนื่องจากสลายสารอินทรีย์ได้น้อยกว่าแบบใช้ O_2
4. จำนวนคาร์บอนในกรดไพรูวิก 3 อะตอมนั้น จะเปลี่ยนไปเป็นกรดแลกติกทั้ง 3 อะตอม สำหรับในกล้ามเนื้อลายและแบคทีเรียบางชนิด จะเปลี่ยนไปเป็นเอทานอลเพียง 2 อะตอม $\left(\frac{2}{3}\right.$ ของ C ในกรดไพรูวิก$\left.\right)$ ส่วนคาร์บอนอีก 1 อะตอม $\left(\frac{1}{3}\right.$ ของ C ในกรดไพรูวิก$\left.\right)$ ก็จะกลายเป็น CO_2 สำหรับในยีสต์และพืช
5. จะได้พลังงานเพียง 2 ATP/glucose ซึ่งน้อยเป็น 18-19 เท่าของแบบใช้ O_2 (36-38 ATP)

การสังเคราะห์ด้วยแสง

(Photosynthesis)

ความหมายและปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง

ความหมายของการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. การสังเคราะห์ด้วยแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่ผู้ผลิตนำพลังงานแสงมาใช้สร้างอาหารจำพวกน้ำตาลจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับไฮโดรเจน (H) ของน้ำ (H_2O) หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และได้แก๊สออกซิเจน (O_2) หรือกำมะถัน (S) เป็นผลิตผลพลอยได้

น้ำตาลที่ถูกสร้างขึ้นนี้นับว่าสำคัญยิ่ง เพราะเป็นอาหารหลักที่สิ่งมีชีวิตทั้งหลายจะนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการต่าง ๆ ของการดำรงชีวิต เช่น การหายใจ การสร้างสารที่จำเป็นอื่น ๆ ต่อไป ไม่ว่าจะเป็นแป้ง ไขมัน หรือโปรตีน เป็นต้น

2. ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของผู้ผลิต

การสังเคราะห์ด้วยแสงของผู้ผลิตกลุ่มต่าง ๆ จะใช้วัตถุดิบและเกิดผลิตผลที่ต่างกันดังนี้

2.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและสาหร่าย เป็นดังนี้

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{คลอโรพลาสต์}]{\text{พลังงานแสง}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

2.2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของแบคทีเรียสีเขียวและแบคทีเรียสีม่วง (Green sulfur bacteria and Purple sulfur bacteria) เป็นดังนี้

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow[\text{แบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ หรือแบคทีริโอวิริดิน}]{\text{พลังงานแสง}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของผู้ผลิต 2 กลุ่มดังกล่าว สรุปได้ดังนี้

1. การสังเคราะห์ด้วยแสงของผู้ผลิตต้องเกิดน้ำตาลเสมอ
2. ผลิตผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นอาจเป็นแก๊สออกซิเจน หรือกำมะถันก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าใช้น้ำหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นวัตถุดิบ ถ้าใช้น้ำจะได้แก๊สออกซิเจน ถ้าใช้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ก็จะได้กำมะถัน (S)

ความสำคัญของการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. เป็นกระบวนการสร้างสารอินทรีย์ได้มากที่สุดในโลกของสิ่งมีชีวิต (Biosphere)
2. เป็นกระบวนการช่วยลด CO_2 ซึ่งเป็นการช่วยลดปัญหาปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green house effect) และช่วยเพิ่ม O_2
3. เป็นกระบวนการนำพลังงานจากนอกโลก (พลังงานแสง) มาเปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์เคมีในรูปสารอาหารอินทรีย์ถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหาร

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

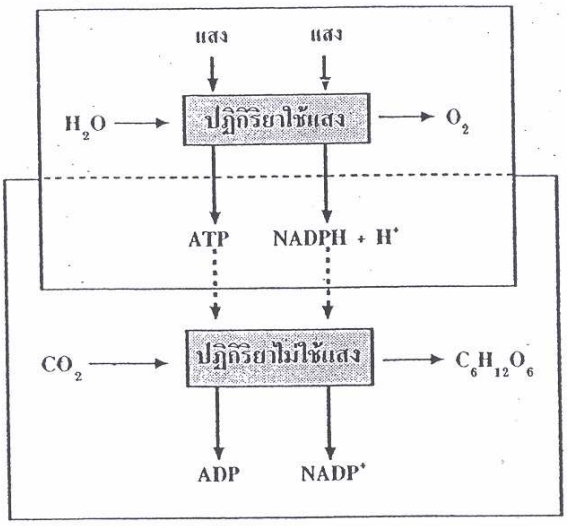
ขั้นตอนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมี 2 ขั้นตอน

1. **ปฏิกิริยาใช้แสง (Light reaction หรือ Photochemical reaction)** เป็นปฏิกิริยาที่พืชรับพลังงานแสงมาใช้สร้างอาหารอินทรีย์พลังงานสูง 2 ชนิด คือ ATP และ NADPH + H^+ โดยใช้ H_2O เข้าร่วมปฏิกิริยา และได้ O_2 เป็นผลิตผลพลอยได้

2. **ปฏิกิริยาไม่ใช้แสง (Dark reaction หรือ Enzyme reaction)** เป็นปฏิกิริยาที่พืชสร้างน้ำตาลจาก CO_2 กับ H ของ H_2O ที่อยู่ในรูป NADPH + H^+ โดยอาศัยพลังงานจาก ATP เข้าร่วม

ดังนั้นปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเขียนเป็นแผนภูมิได้ดังต่อไปนี้



แผนภูมิแสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ปฏิกิริยาใช้แสง (Light reaction)

ปฏิกิริยาใช้แสงจะเกิดขึ้นได้ต้องใช้ปัจจัยดังต่อไปนี้ คือ

1. รงควัตถุ (Pigment) แบ่งเป็น 2 ระบบ คือ

1.1 **รงควัตถุระบบ 1 (Pigment system) I** เป็นส่วนประกอบของระบบแสง 1 (Photosystem I)

รงควัตถุระบบ 1 ทำหน้าที่รับพลังงานแสง ซึ่งประกอบด้วยรงควัตถุชนิดสำคัญ คือ คลอโรฟิลล์ เอ ชนิดรับแสงที่มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ได้ดี จึงเรียกว่าคลอโรฟิลล์ เอ P700 พบในพืชและสาหร่ายทุกกลุ่ม

1.2 **รงควัตถุระบบ 2 (Pigment system II)** เป็นส่วนประกอบของระบบแสง 2 (Photosystem II)

รงควัตถุระบบ 2 ทำหน้าที่รับพลังงานแสง ซึ่งประกอบด้วยรงควัตถุดังนี้ คือ

- คลอโรฟิลล์ เอ ชนิดรับแสงที่มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร พบในพืชและสาหร่ายทุกกลุ่ม
- คลอโรฟิลล์ บี พบเฉพาะในพืชและสาหร่ายสีเขียว
- คลอโรฟิลล์ ซี พบเฉพาะในสาหร่ายสีน้ำตาลและสีน้ำตาลแกมเหลือง
- คลอโรฟิลล์ ดี พบเฉพาะในสาหร่ายสีแดง
- แคโรทินอยด์ (Carotenoids) พบในพืชและสาหร่ายทุกกลุ่ม
- ไฟโคบิลิน (Phycobilin) ได้แก่ ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) พบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและไฟโคอิริทริน (Phycoerythrin) พบในสาหร่ายสีแดง

on Tour ยิ่งยง ผศ.ดร.ลม ใน แก่งยุทธ

2. **พลังงานแสง**

รงควัตถุทั้งระบบ 1 และระบบ 2 จะทำหน้าที่รับพลังงานแสง โดยพลังงานแสงจะทำหน้าที่

2.1 กระตุ้นให้อิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์มีพลังงานสูงขึ้น จนกระทั่งอิเล็กตรอนหลุดออกจากคลอโรฟิลล์ เรียกว่าเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน (Photoxidation) ซึ่งนับว่าเป็นปฏิกิริยาแรกสุดของการสังเคราะห์ด้วยแสง

2.2 แยกสลายน้ำในปฏิกิริยาที่เรียกว่า โฟโตลิซีส (Photolysis) ทำให้เกิดโปรตรอน (H^+), อิเล็กตรอน (e^-) พลังงานสูง และ O_2 ดังสมการ

$$H_2O \xrightarrow{\text{แสง}} 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2$$

2.3 ใช้สร้างสารอินทรีย์พลังงานสูง 2 ชนิด คือ ATP และ $NADPH + H^+$

3. **น้ำ (H_2O)**

น้ำจะถูกพืชนำไปสลายให้เป็นโปรตอนและอิเล็กตรอนเพื่อนำไปใช้สร้างน้ำตาลในปฏิกิริยาไม่ใช้แสง และมีผลทำให้เกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้ (O_2)ปล่อยออกทางปากใบของพืช โดยน้ำเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเป็นลำดับสุดท้าย

4. **ADP และ Pi**

ADP และ Pi ทำหน้าที่รับพลังงานที่ถ่ายทอดออกมาจากอิเล็กตรอน เกิดเป็น ATP ดังสมการปฏิกิริยาการสร้าง ATP โดยอาศัยพลังงานแสงเช่นนี้เรียก Photophosphorylation

$$ADP + Pi + \text{พลังงาน} \longrightarrow ATP$$

5. **$NADP^+$**

$NADP^+$ เป็นสารทำหน้าที่รับโปรตอนและอิเล็กตรอนจากน้ำกลายเป็นสารอินทรีย์พลังงานสูง คือ $NADPH + H^+$ โดย $NADP^+$จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเป็นลำดับสุดท้าย ดังสมการ

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

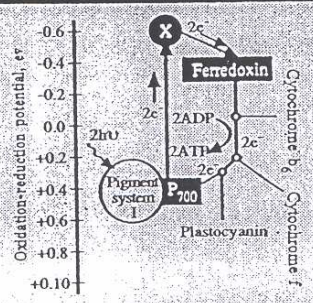
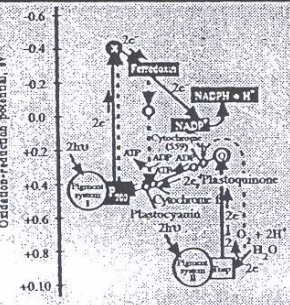
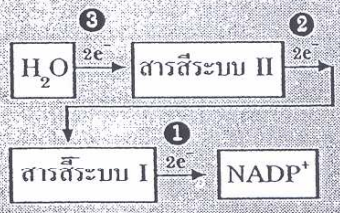
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาใช้แสง

เมื่อคลอโรฟิลล์ เอ P700 ในรงควัตถุระบบ I ของระบบแสง I ได้รับพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นพอเหมาะ (700 nm) จะถ่ายทอดพลังงานให้อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอน (e^-) ในคลอโรฟิลล์ เอ P700 มีระดับพลังงานสูงขึ้นหรืออิเล็กตรอนอยู่ในสภาวะตื่นตัว (Excited state) จนกระทั่งจุดหนึ่งอิเล็กตรอนหลุดออกไป ซึ่งจะมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดขึ้น 2 ลักษณะ คือ

- การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic electron transfer)
- การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Noncyclic electron tranfer)

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

ตารางเปรียบเทียบการถ่ายอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรและไม่เป็นวัฏจักร

สิ่งเปรียบเทียบ	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร
	 *แผนภาพการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรหรือสารสีระบบ I (Pigment system I) ได้รับพลังงาน 2 โฟตอน (Photon) หรือ 2hV อิเล็กตรอนจากสารสีจำนวน 2 อิเล็กตรอนจะอยู่ในสภาวะตื่นตัว (Excited state)*	 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Noncyclic electron transfer) การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบนี้เกิดขึ้นโดยเมื่ออิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ เอ P 700 หลุดออกไปแล้ว สาร $NADP^+$ จะรับอิเล็กตรอนไป คลอโรฟิลล์ เอ P 700 ของสารสีระบบ 1 จึงได้อิเล็กตรอนทดแทนมาจากน้ำ (H_2O) เป็นลำดับสุดท้าย ดังนั้นลำดับการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรจึงสรุปได้ดังนี้ 
1. ระบบรงควัตถุที่เกี่ยวข้อง	เฉพาะรงควัตถุระบบ I	ทั้งรงควัตถุระบบ I และรงควัตถุระบบ II
2. ความยาวคลื่นที่เกี่ยวข้อง	ความยาวคลื่น 700 nm	ความยาวคลื่น 680 nm ขึ้นไป (680 และ 700 nm)
3. โฟโตลิซิสของน้ำ	ไม่เกิด	เกิดขึ้น
4. แก๊สออกซิเจน (O_2)	ไม่เกิด	เกิด
5. $NADPH + H^+$	ไม่เกิด	เกิด
6. ATP	←	เกิด →
ผลิตภัณฑ์ที่เกิดโดยรวม	เกิดเฉพาะ ATP	เกิดทั้ง ATP, $NADPH + H^+$ และ O_2

ปฏิกิริยาไม่ใช้แสง (Dark reaction)

ปฏิกิริยาไม่ใช้แสง จะเกิดแตกต่างกัน 3 วิถี ดังนี้

⊙ พืช ซี-3 (C_3-Plants)

→ พืช ซี-3 เป็นพืชที่สร้างสารอินทรีย์ที่อยู่ตัวชนิดแรก จากการตรึง CO_2 เป็นสาร 3C คือ PGA (Phorphoglyceric acid)โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกวัฏจักรแคลวิน (Calvin cycle) เกิดใน Mesophyll cell ได้แก่ Palisade cell และ Spongy cell ของใบ

→ พืช ซี-3 จะใช้ RuBP (Ribulose bisphosphate) เป็นตัวตรึง CO_2 จากอากาศ (CO_2 Fixer)

→ ตัวอย่างพืช ซี-3 ได้แก่ พืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวส่วนใหญ่ พืช ซี-3 เป็นพืชส่วนใหญ่ของโลก

ปฏิกิริยาไม่ใช้แสงของพืช C_3

ปฏิกิริยาไม่ใช้แสง จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยปัจจัย ดังต่อไปนี้

1. **แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)**

ผู้ผลิตจะใช้ CO_2 เป็นวัตถุดิบในการสร้างน้ำตาล โดยนำไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน (H) ของน้ำที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์พลังงานสูง NADPH + H^+ โดยอาศัยพลังงานจาก ATP เข้าร่วม

2. **น้ำตาลไรบูโลสบิสฟอสเฟต (RuBP = Ribulose bisphosphate)**

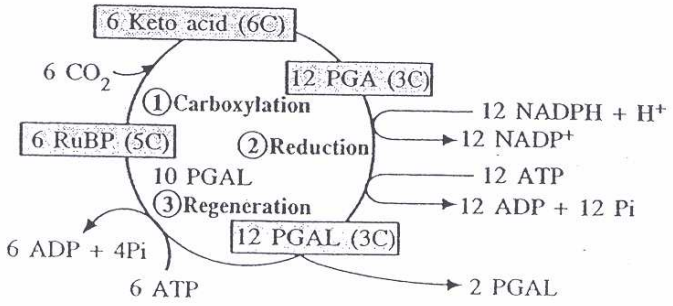
RuBP จะเป็นสารที่ทำหน้าที่รับ CO_2 (CO_2 Fixer) กลายเป็นกรดคีโต (Keto acid) ซึ่งกรดนี้ไม่อยู่ตัวจะสลายไปเป็นกรดฟอสโฟกลีเซอริก (Phosphoglyceric acid = PGA)

3. **NADPH + H^+**

NADPH + H^+ ที่สร้างขึ้นในปฏิกิริยาใช้แสง จะถูกนำมาใช้รีดิวซ์ PGA ให้เป็นฟอสโฟกลีเซอรัลดีไฮด์ (Phosphoglyceraldehyde = PGAL) ซึ่งเป็นน้ำตาลตัวแรกสุดที่เป็นผลลัพธ์ของการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้น NADPH + H^+ จึงทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (Reducer หรือ Reductant) นั่นเอง

4. **ATP**

ATP ที่สร้างขึ้นในปฏิกิริยาใช้แสง (ทั้ง Cyclic และ noncyclic photophosphorylation) จะนำมาเป็นสารให้พลังงานในการสร้างน้ำตาลฟอสโฟกลีเซอรัลดีไฮด์และไรบูโลสบิสฟอสเฟต วัฏจักรแคลวิน (Cavin cycle) สรุปเป็นลำดับปฏิกิริยาได้ดังแผนภาพ



ภาพแสดงลำดับการเปลี่ยนแปลงในวัฏจักรแคลวิน

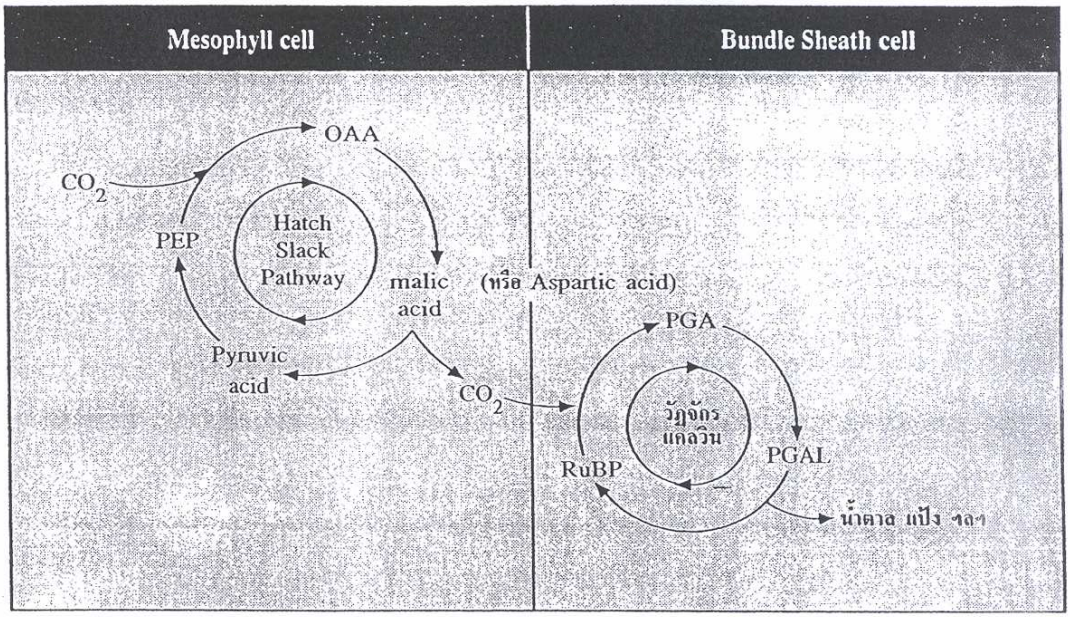
Tutor Channel on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

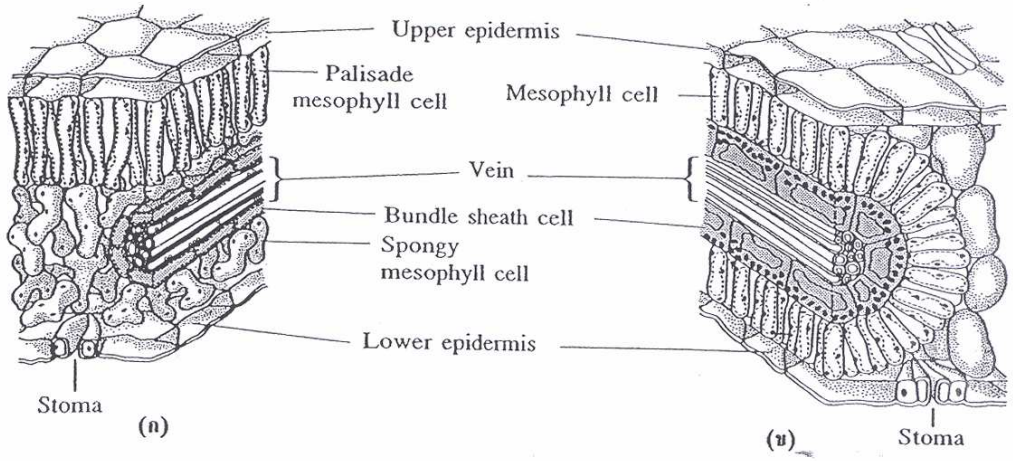
⊙ พืช ซี-4 (C_4-Plant)

→ พืช ซี-4 เป็นพืชที่สร้างสารอินทรีย์ชนิดแรกสุด จากการตรึง CO_2 เป็นสาร 4C คือ OAA (Oxaloacetic acid) ซึ่งเกิดในปฏิกิริยา Hatch-Slack Pathway ภายใน Mesophyll cell ของใบโดยมี PEP (Phosphoenolpyruvate) เป็นตัวตรึง CO_2 จากอากาศ ซึ่งเป็นการตรึง CO_2 ครั้งที่ 1 ต่อมาจะมีการตรึง CO_2 ครั้งที่ 2 ในเนื้อเยื่อโดย RuBP ในวัฏจักรแคลวิน ภายใน Bundle sheath cell ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์พาเรงคิมาที่มีคลอโรพลาสต์อยู่ภายในและอยู่ล้อมรอบมัดท่อลำเลียง

→ ตัวอย่างพืช ซี-4 ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หญ้าเขตร้อน (หญ้าแพรก หญ้าแห้วหมู) ผักโขมจีน และบานไม่รู้โรย ซึ่งเป็นพืชเขตร้อน

ปฏิกิริยาอย่างละเอียดของการตรึง CO_2 ของพืช ซี-4 ทั้งชนิดที่สร้างกรดมาลิกหรือกรดแอสปาร์ติก สรุปได้ดังแผนภาพ ซึ่งกรดทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นสารที่มี C 4 อะตอม จะช่วยพา CO_2 ไปให้ RuBP ในคลอโรพลาสต์ของบันเดิลชีทเซลล์ (Bundle sheath cell) ซึ่งล้อมรอบเนื้อเยื่อลำเลียงและติดอยู่กับมีโซฟิลล์เซลล์



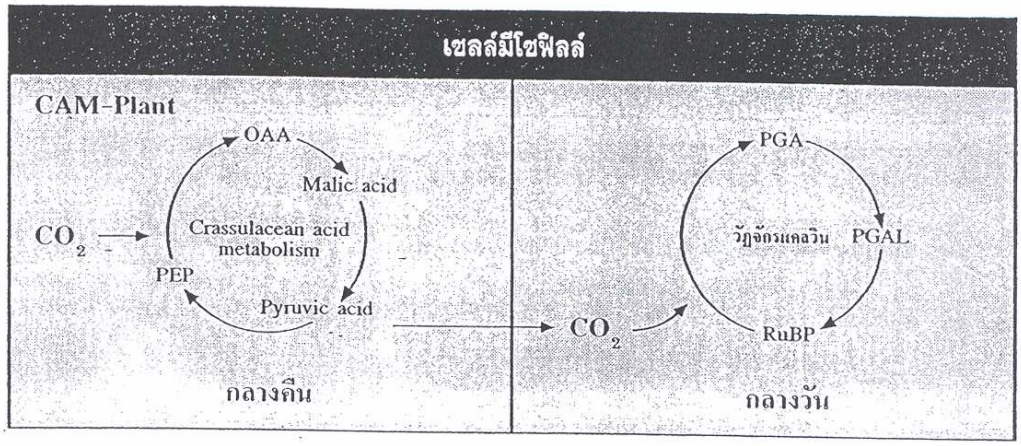


โครงสร้างส่วนหนึ่งของใบ แสดงเซลล์บันเดิลชีทเซลล์ของพืช C_3 (ก) และพืช C_4 (ข)

⊙ พืช ซี เอ เอ็ม (CAM-Plant)

→ พืชซีเอเอ็ม เป็นพืชที่ตรึง CO_2 โดย PEP ในเวลากลางคืน (เพราะปากใบเปิดเวลากลางคืน) เกิดเป็นออกซาโลอะซิติก แล้วเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก (Malic acid) เก็บสะสมใน Sap vacuole ปฏิกิริยานี้เรียก Crassulacean acid metabolism พอเวลากลางวัน กรดมาลิกจะเกิด Decarboxylation ปล่อย CO_2 เข้าสู่วัฏจักรแคลวินต่อไป

→ พืชซีเอเอ็ม เป็นพืชทนแล้ง อวบน้ำ เช่น กระบองเพชร ว่านหางจระเข้ สับปะรด ศรนารายณ์ กล้วยไม้



เปรียบเทียบปฏิกิริยาไม่ใช้แสงของพืช CAM-Plant

ตารางเปรียบเทียบพืช C3, C4 และพืชซีเอเอ็ม

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืชซีเอเอ็ม
1. จำนวนครั้งของการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์	1 ครั้ง	2 ครั้ง	2 ครั้ง
2. สารที่ตรึง CO_2 และตำแหน่งที่เกิดการตรึง CO_2	RuBP ตรึงในเซลล์มีโซฟิลล์	PEP ตรึงในเซลล์มีโซฟิลล์ และ RuBP ตรึงในเซลล์บันเดิลชีท	ทั้ง PEP และ RuBP ตรึงในเซลล์มีโซฟิลล์
3. การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของ PEP เกิดขึ้นในเวลา	-	กลางวัน	กลางคืน
4. การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของ RuBP เกิดขึ้นในเวลา	กลางวัน	กลางวัน	กลางวัน
5. สารตัวแรกที่เกิดจากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ	PGA (3 C)	OAA (4 C)	OAA (4 C)
6. การเกิดวัฏจักรแคลวิน	เกิด	เกิด	เกิด
7. PGAL	เกิดในทุกเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์	เกิดในเซลล์บันเดิลชีท	เกิดในทุกเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์
8. บันเดิลชีท	อาจมีหรือไม่มี	มี	ไม่มี
9. คลอโรพลาสต์ในบันเดิลชีท	อาจมีหรือไม่มี	มี	-

on Tour ปีเสือ พศ.ศธ.สพ ใน แก่งยุทธ

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืชซีเอเอ็ม
10. การเกิดโฟโตเรสปิเรชัน	มี	มีน้อยมาก	มี
11. ประสิทธิภาพของการใช้น้ำต่อการตรึง CO_2 1 โมเลกุล	ต่ำ เพราะใช้น้ำมาก	สูง เพราะใช้น้ำน้อย ต่อการตรึง CO_2 1 โมเลกุล	สูงมาก
12. การเสียน้ำต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 1กรัม	400-500 กรัม	250-300 กรัม	50-100 กรัม
13. ตัวอย่างพืช	พืชทั่ว ๆ ไป เช่น มะม่วง กล้วย	พืชเมืองร้อน เช่น อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หญ้าแห้วหมู หญ้าแพรก ผักโขมจีน	พืชที่สามารถเจริญเติบโตในที่แห้งแล้ง เช่น กระบองเพชร สับปะรด กล้วยไม้ ป่านศรนารายณ์ กุหลาบหิน ว่านตายหงายเป็น

แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ
ปฏิกิริยาใช้แสงและปฏิกิริยาไม่ใช้แสง

1. ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พลังงานแสงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีเก็บไว้ในสารชนิดใด

   ก = ATP ข = NADPH ค = NADPH และ $FADH_2$

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

2. ถ้าปล่อยให้พืชรับ $^{14}CO_2$ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จะพบ ^{14}C ในสารอินทรีย์ในข้อใด

   ก = PGA ข = PGAL ค = RuBP ง = $NADPH + H^+$ จ = ATP

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

3. ข้อใดเป็นลำดับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของน้ำและกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

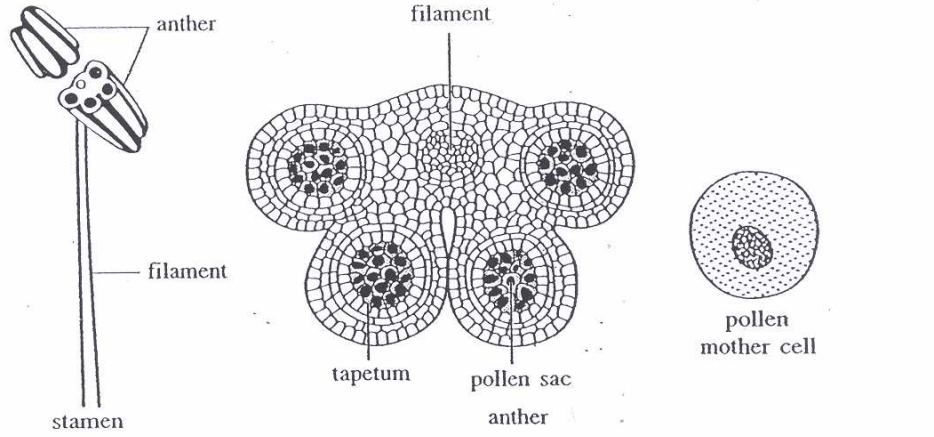
   1. H_2O ⟶ P-680 ⟶ ตัวนำอิเล็กตรอน ⟶ P-700 ⟶ NADPH
   2. H_2O ⟶ P-700 ⟶ ตัวนำอิเล็กตรอน ⟶ P-680 ⟶ NADPH
   3. H_2O ⟶ ตัวนำอิเล็กตรอน ⟶ P-680 ⟶ P-700 ⟶ NADPH
   4. H_2O ⟶ P-680 ⟶ P-700 ⟶ ตัวนำอิเล็กตรอน ⟶ NADPH

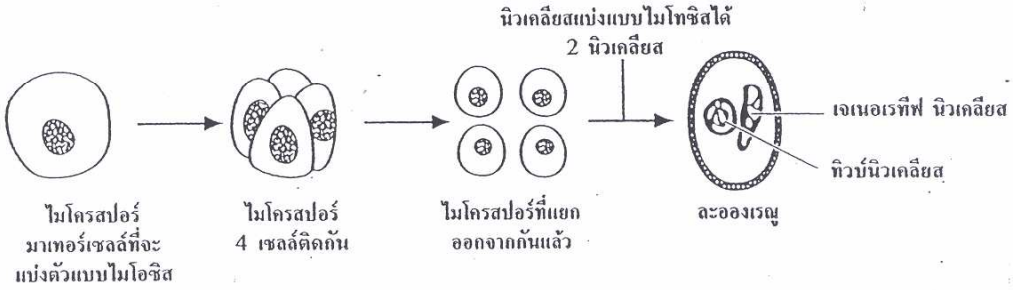
การสืบพันธุ์ของพืชดอก
(Reproduction of Angiosperms)

การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของพืชดอกและการปฏิสนธิ

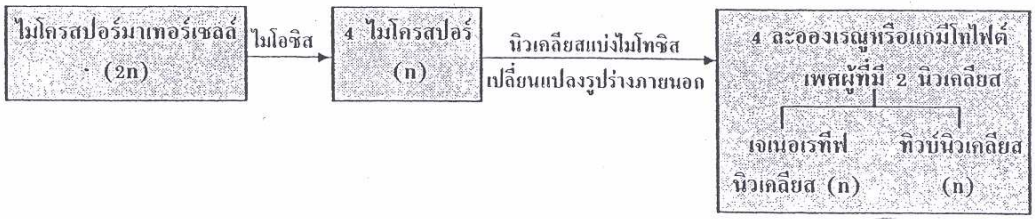
1. การสร้างละอองเรณู หรือแกมีโทไฟต์เพศผู้ (Pollen grain or Male gametophyte)

ภายในอับละอองเรณู (Pollen sac หรือ Microsporangium) มีกลุ่มเซลล์กลุ่มหนึ่งเรียกแต่ละเซลล์นั้นว่า ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ (Microspore mother cell) แต่ละเซลล์จะแบ่งตัวแบบไมโอซิสทำให้ได้เซลล์ใหม่เกิดขึ้น เรียก ไมโครสปอร์ มีจำนวนโครโมโซมเป็นแฮพลอยด์ (1 ไมโครสอร์มาเทอร์เซลล์แบ่งไมโอซิสได้ 4 ไมโครสปอร์) ต่อมานิวเคลียสของแต่ละไมโครสปอร์จะแบ่งตัวแบบไมโทซิส ทำให้ได้ไมโครสปอร์ละ 2 นิวเคลียส นิวเคลียสอันหนึ่งเรียก ทิวบ์นิวเคลียส (Tube nucleus) และอีกอันเรียก เจเนอเรทีฟนิวเคลียส (Generative nucleus) ในขณะเดียวกันจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายนอก ซึ่งจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชเรียกไมโครสปอร์ที่มี 2 นิวเคลียส และเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายนอกแล้วนี้ว่าละอองเรณู (Pollen grain) ซึ่งจัดเป็นแกมีโทไฟต์เพศผู้ระยะเริ่มแรก (Young male gametophyte)





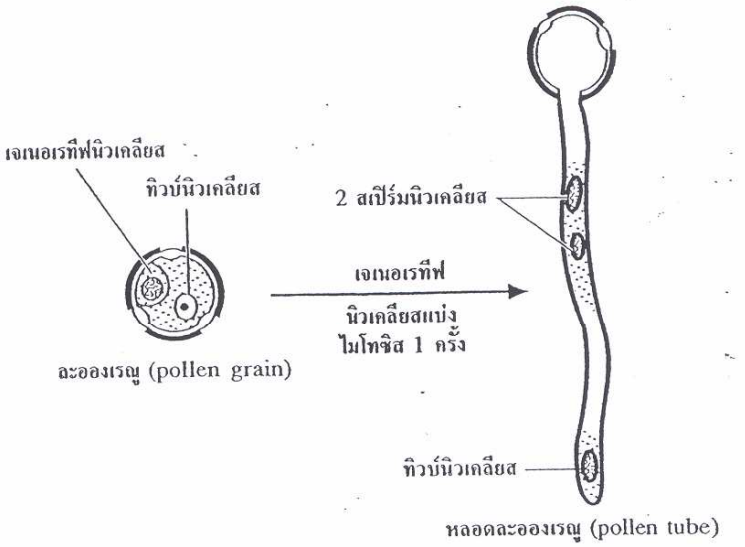
สรุปแผนผังการสร้างละอองเรณูของพืชดอก

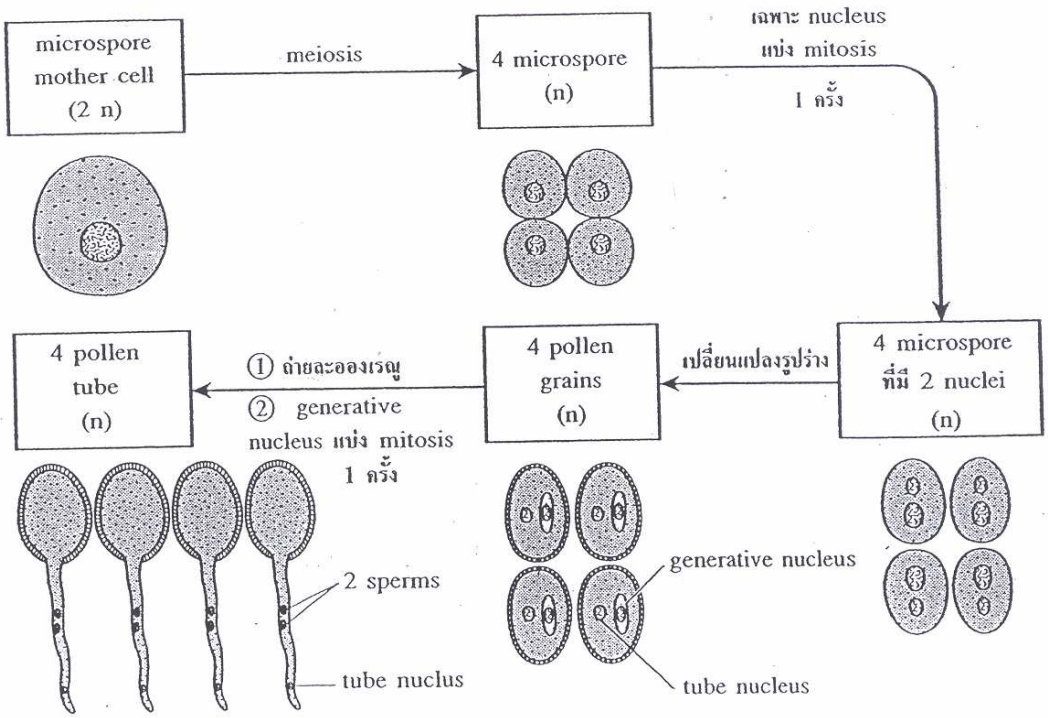


ในพืชดอกบางชนิดพบว่า เจเนอเรทีฟ นิวเคลียสในละอองเรณูจะแบ่งไมโทซิส 1 ครั้ง ได้เป็นสเปิร์ม 2 ตัว ทันที ดังนั้นภายในละอองเรณูอาจมี 3 นิวเคลียส คือ 1 ทิวบ์นิวเคลียส และ2 สเปิร์ม

on Tour ยเลยร ผศ.ดร.สมาน แก่งยุทธ

เมื่อเกิดการถ่ายละอองเรณู (Pollination) โดยละอองเรณูไปตกติดบนยอดเกสรตัวเมีย ทิวบ์นิวเคลียสจะเคลื่อนนำหน้าทำให้เกิดหลอดละอองเรณู เจเนอเรทีฟนิวเคลียสจะแบ่งไมโทซิส 1 ครั้ง ได้เป็น 2 สเปิร์ม (n,n) ดังนั้นภายในหลอดละอองเรณูจึงมี 3 นิวเคลียส คือ 1 ทิวบ์นิวเคลียส และ 2 สเปิร์ม หลอดละอองเรณูจัดเป็นแกมีโทไฟต์เพศผู้ที่เติบโตเต็มที่ (Mature male gametophyte)





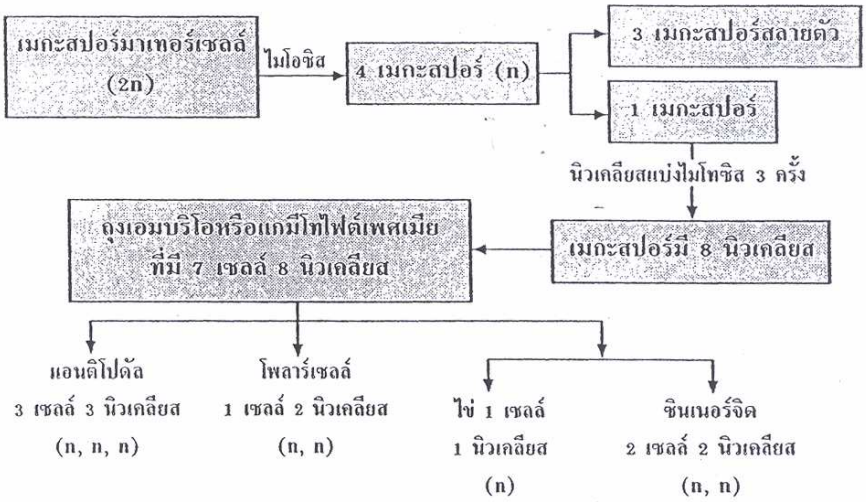
2. การสร้างถุงเอมบริโอ หรือแกมีโทไฟต์เพศเมีย (Embryo sac or Female gametophyte)

ภายในรังไข่มีออวุล (Ovule) ซึ่งอาจมีออวุลเดียวหรือหลายออวุล ภายในออวุลมีเซลล์ขนาดใหญ่เซลล์หนึ่งเรียก เมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ (Megaspore mother cell) จะแบ่งตัวแบบไมโอซิสทำให้ได้ 4 เมกะสปอร์ และมีโครโมโซมเป็น n ต่อมา 3 เมกะสปอร์จะสลายไปเหลือเพียง 1 เมกะสปอร์ ซึ่งนิวเคลียสของเมกะสปอร์จะแบ่งตัวแบบไมโทซิส 3 ครั้ง ได้ 8 นิวเคลียส แต่เป็น 7 เซลล์ ซึ่งเรียงตัวเป็น 3 กลุ่ม คือ

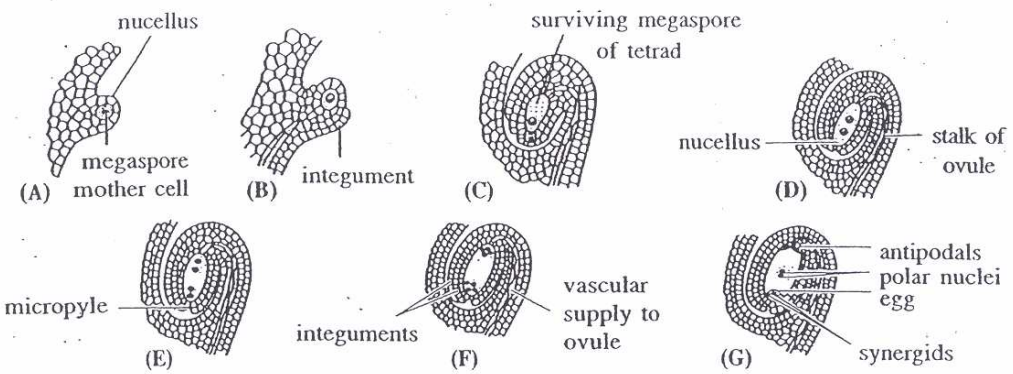
1. สามนิวเคลียสจะมีเยื่อหุ้มแต่ละนิวเคลียสเป็น 3 เซลล์ อยู่ด้านเดียวกับบริเวณรูเล็กๆ ที่เรียกว่า ไมโครไพล์ (Micropyle) นิวเคลียสอันกลางเป็นไข่ (Egg) และสองอันขนาบข้างไข่เรียก ซินเนอร์จิด (Synergid)
2. สามนิวเคลียสจะมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสเป็น 3 เซลล์ และอยู่ด้านตรงข้ามกับไมโครไพล์เรียก แอนติ-โปดัลเซลล์ (Antipodal cells)
3. สองนิวเคลียสที่เหลืออยู่ตรงกลางเรียกแต่ละนิวเคลียสนี้ว่า โพลาร์นิวเคลียส (Polar nucleus) และนิวเคลียสทั้งสองมีเยื่อหุ้มรวมกันจึงเป็น 1 เซลล์ แต่มี 2 นิวเคลียส

เมกะสปอร์ระยะที่ประกอบด้วย 7 เซลล์ 8 นิวเคลียส เรียกว่า ถุงเอมบริโอ หรือแกมีโทไฟต์เพศเมีย ซึ่งจะมีเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิสนธิคือ เซลล์ไข่และเซลล์ที่มีโพลาร์นิวเคลียส 2 อัน

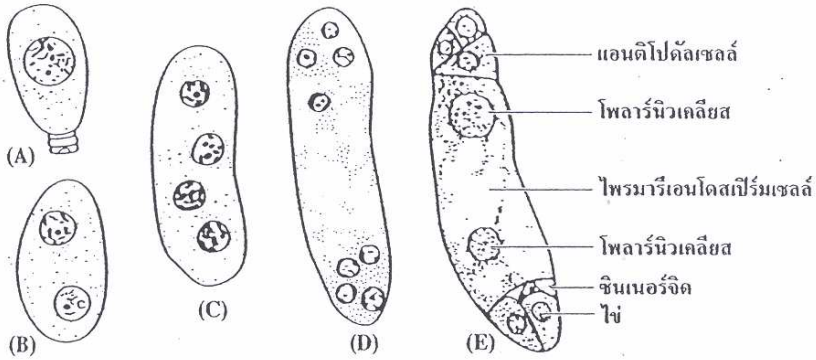
สรุปแผนผังการเกิดถุงเอมบริโอของพืชดอก



Tutor Channel on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ



การเจริญของเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์และเมกะสปอร์ (A → C)
และระยะต่าง ๆ ของการเจริญเป็นถุงเอมบริโอ (D → F) และถุงเอมบริโอ (G)



แผนภาพแสดงการเกิดถุงเอมบริโอ A เมกะสปอร์ B, C, D นิวเคลียสของเมกะสปอร์ แบ่งเป็นไมโทซิส ครั้งที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ ถุงเอมบริโอประกอบด้วย 7 เซลล์ 8 นิวเคลียส

ข้อควรทราบพิเศษ

1. ในพืชดอกบางชนิด โพลาร์นิวเคลียส (n) 2 อัน อาจเชื่อมรวมกันเป็น 1 โพลาร์นิวเคลียสที่มีโครโมโซมเป็น 2n ดังนั้นภายในถุงเอมบริโอจึงมี 7 เซลล์ 7 นิวเคลียส

2. การสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของพืชดอก

จะต่างกันที่ — จำนวนครั้งของการแบ่งไมโทซิส — ในเพศผู้แบ่ง 2 ครั้ง / ในเพศเมียแบ่ง 3 ครั้ง
จำนวนเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้

ในเพศผู้ได้ 8 สเปิร์ม/ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ ในเพศเมียได้ 1 ไข่/เมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

การถ่ายละอองเรณูและการปฏิสนธิ

1. *การถ่ายละอองเรณู (Pollination)*

การถ่ายละอองเรณู หมายถึง กระบวนการที่ละอองเรณูไปตกติดที่ยอดเกสรตัวเมียด้วยวิธีการใดๆ ก็ตาม เช่น อาศัยลม น้ำ ดีดกระเด็นไปเอง หรืออาศัยแมลงเป็นพาหะ โดยเฉพาะแมลงนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการถ่ายละอองเรณูได้มากและสำคัญที่สุดสำหรับพืชดอก

2. *การปฏิสนธิ (Fertilization)*

การปฏิสนธิเป็นกระบวนการที่ตัวอสุจิตัวหนึ่งเข้ารวมกับไข่ และตัวอสุจิอีกตัวเข้ารวมกับ 2 โพลาร์นิวเคลียส เรียกการปฏิสนธิที่เกิดลักษณะเช่นนี้ว่า การปฏิสนธิซ้อน (Double fertilization) ซึ่งเกิดเฉพาะในพืชมีดอกเท่านั้น เช่น จอก แหน ไข่น้ำ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายข้าวเหนียว สนทะเล และสนปฏิพัทธ์ เป็นต้น

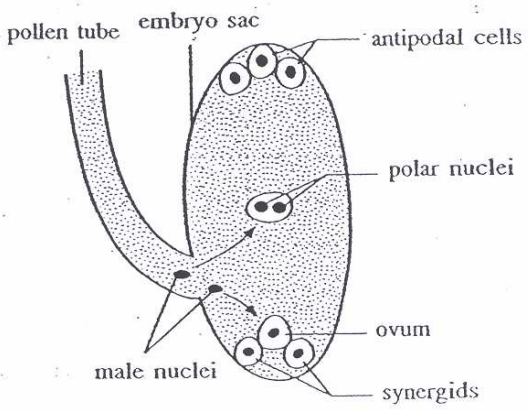
สเปิร์ม 1 (n) + ไข่ (n) ⟶ ไซโกต (2n) ⟶ เอมบริโอ (2n) } การปฏิสนธิซ้อน
สเปิร์ม 2 (n) + โพลาร์นิวเคลียส (n, n) ⟶ เอนโดสเปิร์ม (3n) } (Double fertilization)

ลำดับการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก สรุปได้ดังนี้

1. เกิดการถ่ายละอองเรณู (Pollination)
2. ละอองเรณูงอก (Germination)
3. ละอองเรณูเกิดเป็นหลอดยาวเรียกหลอดละอองเรณู (Pollen tube) ในขณะที่หลอดละอองเรณูกำลังงอก เจเนอเรทีฟนิวเคลียสจะแบ่งไมโทซิสได้เป็น 2 สเปิร์มนิวเคลียส เพราะฉะนั้นในระยะนี้จึงพบว่าในหลอดละอองเรณูจะมี 3 นิวเคลียส คือ หนึ่งทิวบ์นิวเคลียส และสองสเปิร์มนิวเคลียส
4. หลอดละอองเรณูแทงเข้าไปในออวุลทางรูไมโครไพล์
5. เกิดการปฏิสนธิ ระหว่างสเปิร์มนิวเคลียสกับไข่และโพลาร์นิวเคลียสได้เป็นไซโกต (2n) และไพรมารีเอนโดสเปิร์ม (3n) ตามลำดับ เรียกการปฏิสนธิซ้อน (Double fertilization)

หลังจากนั้นไซโกตจะเจริญเป็นเอมบริโอ และไพรมารีเอนโดสเปิร์มจะเจริญเป็นเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มเพื่อสะสมอาหาร แต่ในพืชหลายชนิดเอนโดสเปิร์มจะสลายตัวไปก่อนที่เมล็ดจะเติบโตเต็มที่ อาหารจึงสะสมที่ใบเลี้ยงแทน เช่น ในพวกถั่ว มะขาม ฯลฯ

6. นิวเคลียสที่เหลือของหลอดละอองเรณู และถุงเอมบริโอจะสลายตัวไป



แผนภาพการปฏิสนธิซ้อนของพืชดอก

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ
การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของพืชดอกและการปฏิสนธิ

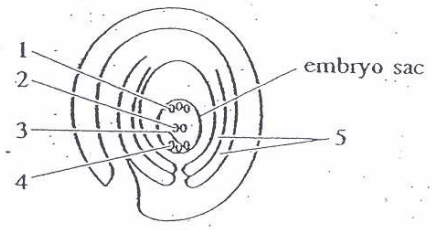
1. ข้อใดคือแกมีโทไฟต์เพศผู้ที่เจริญเต็มวัยแล้ว (Mature male gametophyte)
   1. Pollen grain ระยะที่มี 2 sperm cells
   2. Microspore ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส
   3. Pollen grain ระยะที่มี Generative cell และ Tube cell
   4. Microspore ที่มีผนังหนาประกอบด้วย Generative cell และ Tube cell

2. เซลล์ของพืชดอกในข้อใดที่มีจำนวนโครโมโซม 1 ชุด (n)

   ก = โพลาร์นิวเคลียส
   ข = ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์
   ค = ไซโกต
   ง = ทิวบ์นิวเคลียส

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

ใช้ภาพนี้ตอบคำถามข้อ 3-4



3. ภายในถุงเอมบริโอ (Embryo sac) มีนิวเคลียส 4 ชนิด คือ Antipodal nuclei, Polar nuclei, Egg nucleus และ Synergidae ข้อใดต่อไปนี้แสดงนิวเคลียส 4 ชนิด ตามหมายเลขในแผนภาพถูกต้อง

ข้อ	1	2	3	4
1	Antipodal nuclei	Egg nucleus	Synergidae	Polar nuclei
2	Antipodal nuclei	Polar nuclei	Egg nucleus	Synergidae
3	Synergidae	Egg nucleus	Polar nuclei	Antipodal nuclei
4	Polar nuclei	Synergidae	Egg nucleus	Antipodal nuclei

4. หลังจากเกิดปฏิสนธิแล้วโครงสร้างหมายเลขใดจะเจริญเป็นต้นอ่อน (Embryo) และเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) ตามลำดับ

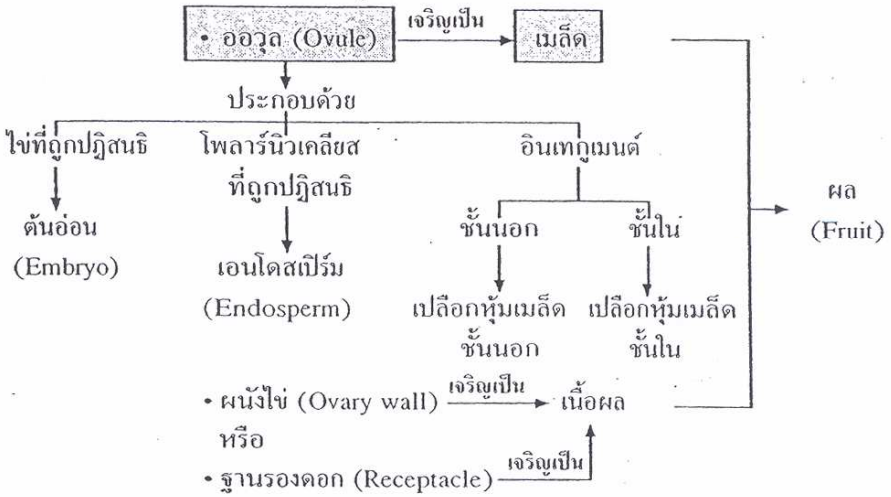
   1. 2 และ 1
   2. 2 และ 3
   3. 3 และ 2
   4. 4 และ 3

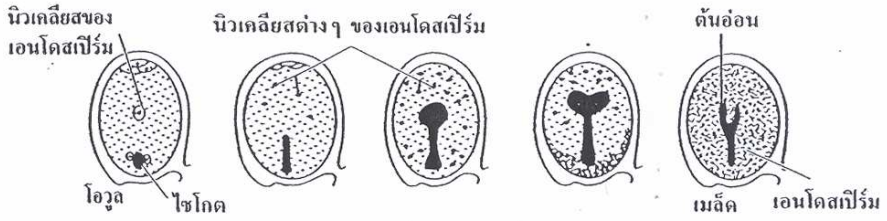
การเจริญของพืชดอกในระยะเอมบริโอ

การเจริญเปลี่ยนแปลงหลังการปฏิสนธิของพืชดอก

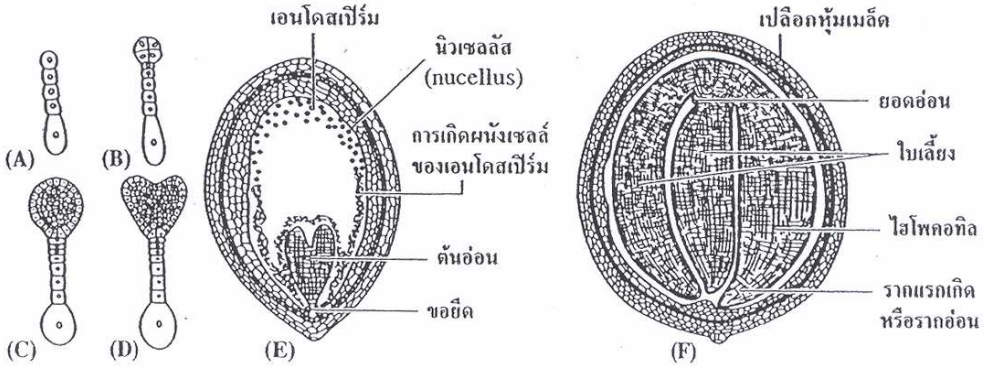
หลังจากการปฏิสนธิแล้ว พบว่า

ส่วนต่างๆ ของพืชจะมีการเจริญเปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างต่างๆ ดังนี้





ภาพแสดงการแบ่งเซลล์และการเกิดรูปร่างของพืชดอกโดยต้นอ่อนได้อาหารจากเอนโดสเปิร์ม



ระยะต่างๆ ของการเจริญพัฒนาของเอมบริโอพืช

(A-D) = การ Differentiation ของเอมบริโอ E = ต้นอ่อนและเมล็ด (F) = เมล็ดเติบโตเต็มที่

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

โครงสร้างเฉพาะในเมล็ดบางชนิด เช่น

- ในเมล็ดถั่วเขียว จะมีรอยแผลเป็น (Hilum) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เคยยึดออวุลให้ติดกับผนังรังไข่ มีรูเล็กๆ เรียก ไมโครไพล์ (Micropyle) เหนือรอยแผลเป็น เป็นทางให้น้ำและแก๊สผ่านเข้าสู่ภายในเมล็ดและเป็นทางให้แรดิเคิลเจริญออกมาเมื่องอก

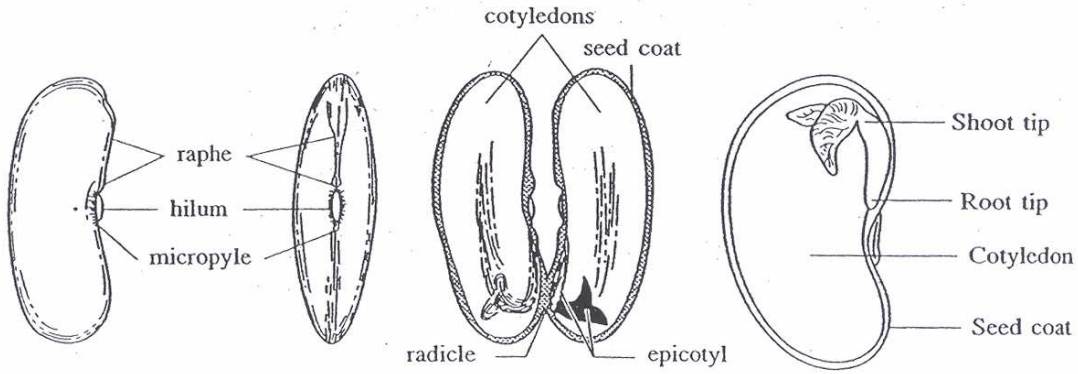
- ในเมล็ดละหุ่งมีเยื่อลักษณะคล้ายฟองน้ำ (Caruncle) อยู่ที่ขั้วของเมล็ดซึ่งจะดูดน้ำได้ดี และปิดรูไมโครไพล์ไว้

สรุปโครงสร้างของเมล็ดพืช

- เมล็ด
  - เปลือกหุ้มเมล็ด (Seed coat)
  - เอนโดสเปิร์ม (Endosperm)
  - เอมบริโอ (Embryo)
    - ใบเลี้ยง (Cotyledon)
    - เอพิคอทิล (Epicotyl)
    - ไฮโพคอทิล (Hypocotyl)
    - แรดิเคิล (Radicle)
- โครงสร้างเฉพาะอื่นๆ ในเมล็ดบางชนิด
  - รอยแผลเป็น (Hilum)
  - ไมโครไพล์ (Micropyle)
  - เยื่อคล้ายฟองน้ำ (Caruncle)

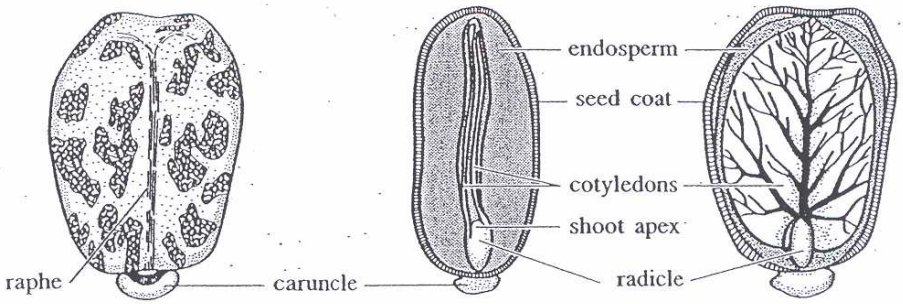
ข้อควรทราบพิเศษ

เอนโดสเปิร์มของพืชบางชนิดจะแข็ง เช่น เมล็ดข้าวโพด เมล็ดละหุ่ง เมล็ดข้าว แต่เอนโดสเปิร์มของพืชบางชนิด เช่น มะพร้าว จะมีทั้งแข็งและเหลว เช่น เนื้อมะพร้าวเป็นเอนโดสเปิร์มที่แข็ง (Freshy endosperm) ส่วนน้ำมะพร้าวเป็นเอนโดสเปิร์มที่เหลว (Liquid endosperm) สำหรับจาวมะพร้าวเป็นใบเลี้ยง เปลือกหุ้มเมล็ด คือ เยื่อสีน้ำตาลที่ติดกับเนื้อมะพร้าว เปลือกนอกสุดของผลมะพร้าวเป็นเปลือกผลชั้นนอก (Exocarp) กาบมะพร้าวที่เป็นเส้นใยเปลือกผลชั้นกลาง (Mesocarp) ส่วนกะลามะพร้าวเป็นเปลือกผลชั้นใน (Endocarp)

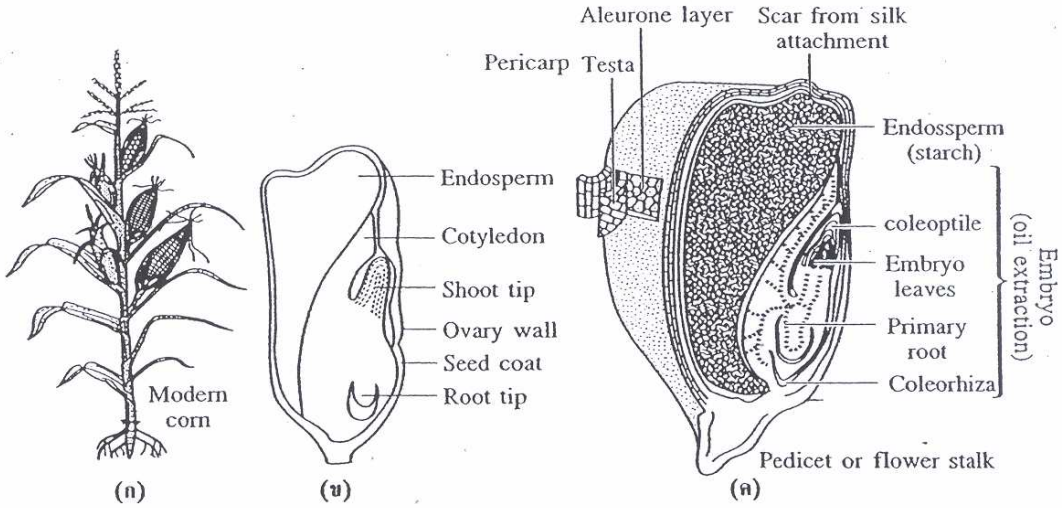


รูปร่างลักษณะของถั่ว (Rost et all, 1984)

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ



โครงสร้างของเมล็ดละหุ่ง (Rost et al, 1984)

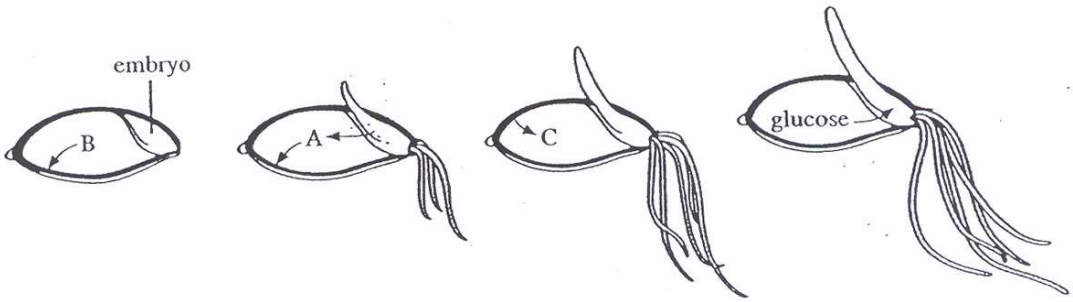


ข้าวโพด : (ก) ต้นและฝัก (ข) และ (ค) ผลและเมล็ดข้าวโพด
(Simpson and Conner-Ogorzaly, 1986)

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ
การเจริญของพืชดอกในระยะเอมบริโอ

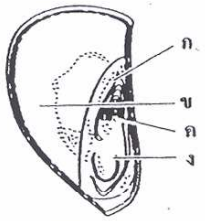
1. ในกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวบาร์เลย์ ฮอร์โมน (A) ส่วนของพืช (B) และเอนไซม์ (C) คืออะไร



1. A = IAA B = Seed coat C = Hydrolytic enzyme
2. A = IAA B = Aleurone layer C = Proteolytic enzyme
3. A = GA B = Seed coat C = Proteolytic enzyme
4. A = GA B = Aleurone layer C = Hydrolytic enzyme

2. สาเหตุการพักตัวของเมล็ดมีหลายประการ ยกเว้นข้อใด
   1. เปลือกหุ้มเมล็ดแข็ง
   2. มีกรดแอบไซซิกในเมล็ดสูง
   3. เอ็มบริโอในเมล็ดยังไม่เจริญเต็มที่
   4. เอ็มบริโอในเมล็ดมีส่วนประกอบผิดปกติ

3.



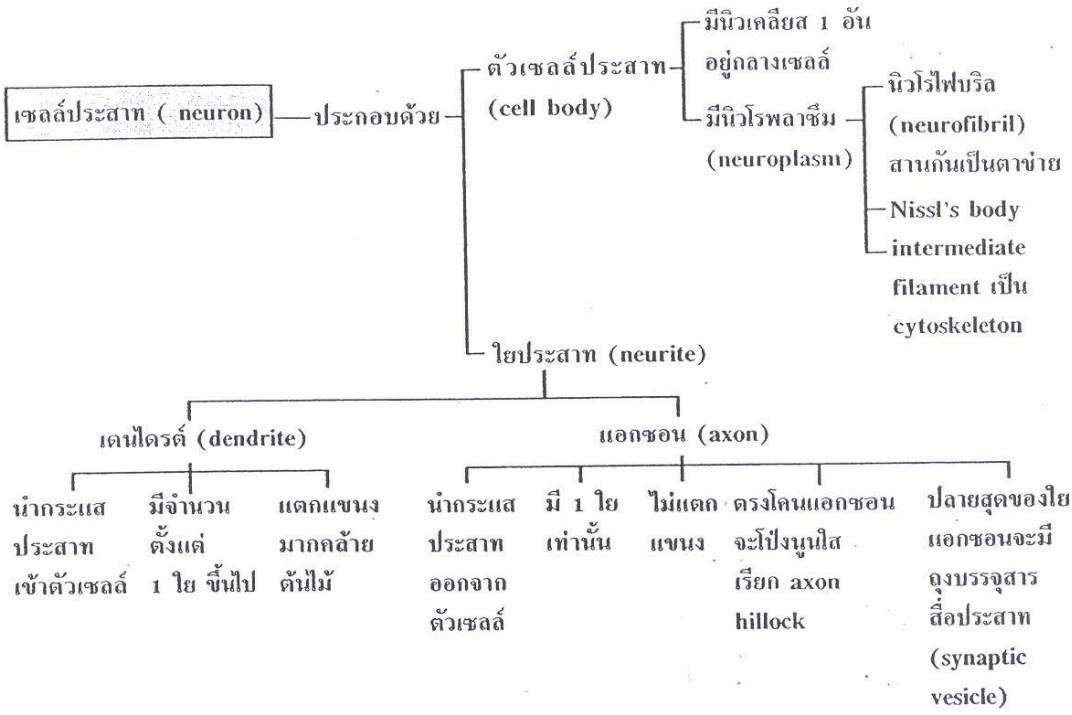
ผ่าตามแนวหน้าตัดแคบ

โครงสร้างในข้อใดของเมล็ดข้าวโพดเปรียบเทียบได้กับเนื้อเมล็ดถั่วลิสง
1. ข้อ ก 2. ข้อ ข
3. ข้อ ค 4. ข้อ ง

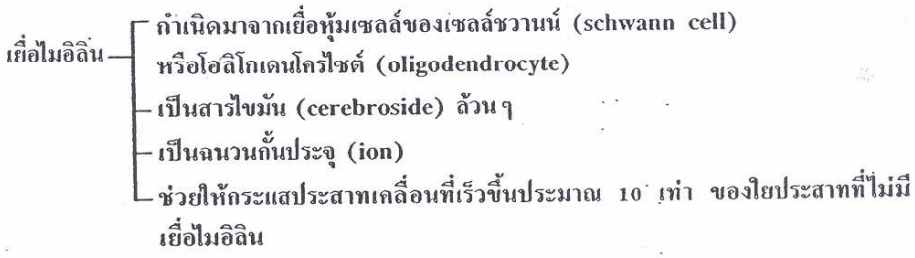
4. เอมบริโอของเมล็ดพืชประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ
   1. ไฮโพคอทิล (Hypocotyl) เอพิคอทิล (Epicotyl) และใบเลี้ยง
   2. แรดิเคิล (Radicle) และใบเลี้ยง
   3. เอพิคอทิล (Epicotyl) ใบเลี้ยง และแรดิเคิล (Radicle)
   4. ใบเลี้ยง เอพิคอทิล (Epicotyl) ไฮโพคอทิล และแรดิเคิล (Radicle)

5. ส่วนของถั่วลิสงต้ม ข้าว และมะพร้าว ที่นำมารับประทานโดยตรงเป็นโครงสร้างใดตามลำดับ
   1. ผล เมล็ด เนื้อผล
   2. ใบเลี้ยง ผล เมล็ด
   3. เมล็ด เอนโดสเปิร์ม เอนโดสเปิร์ม
   4. เอนโดสเปิร์ม ใบเลี้ยง ใบเลี้ยง

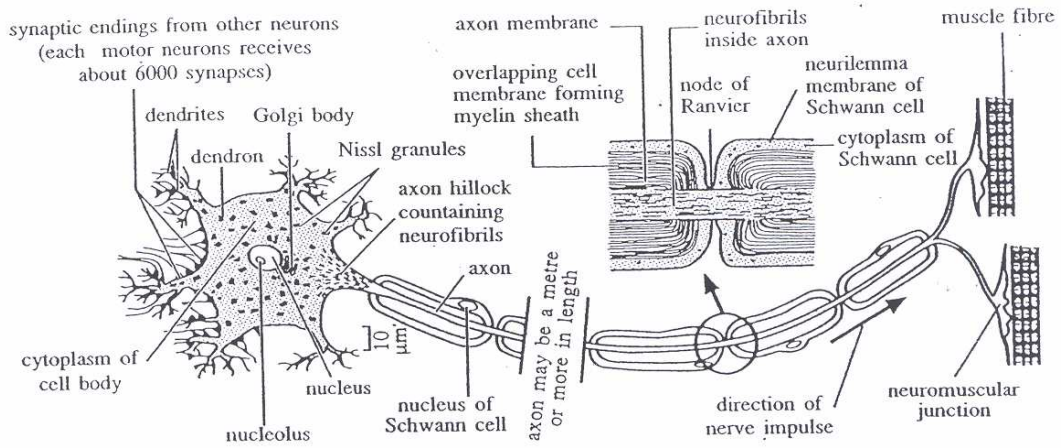
เซลล์ประสาทและการทำงานของเซลล์ประสาท



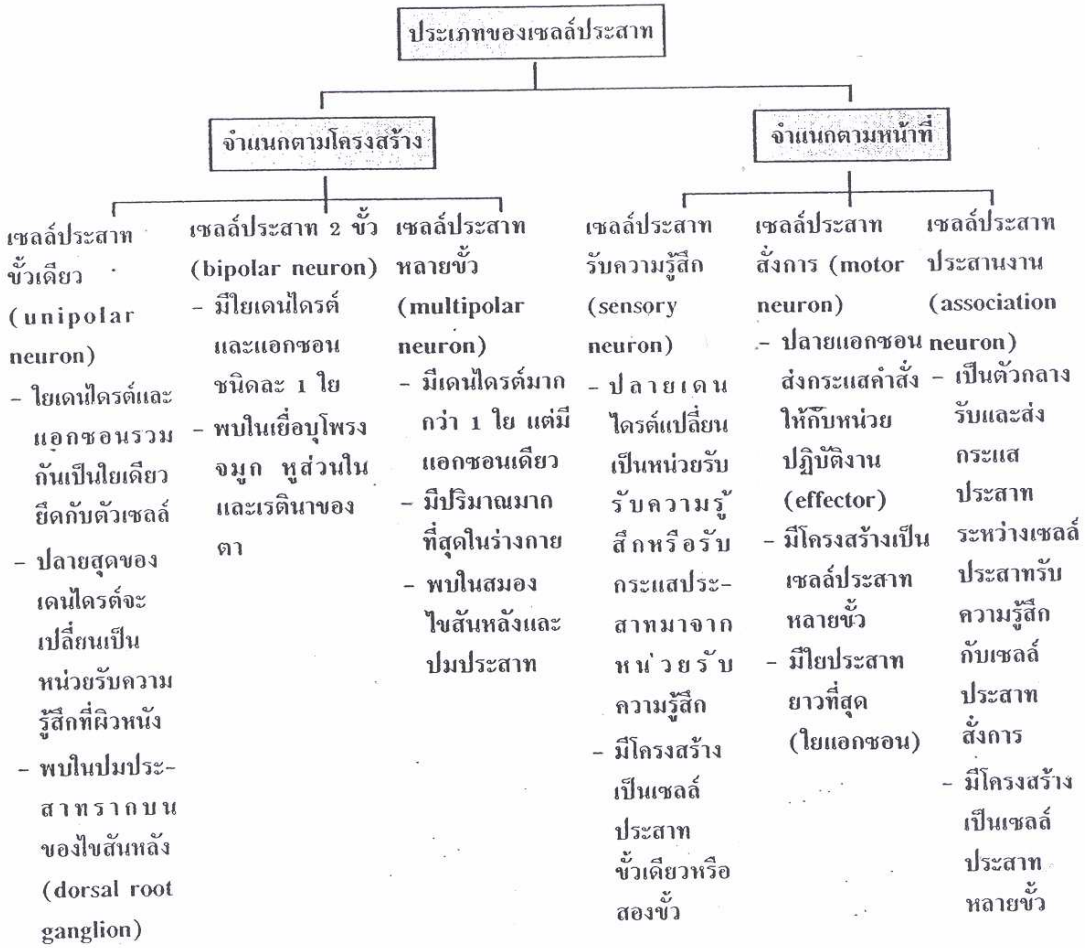
- ใยประสาทที่ยาว ๆ จะมีเยื่อไมอิลิน (Myelin sheath) หุ้มรอบเป็นระยะ ๆ โดย

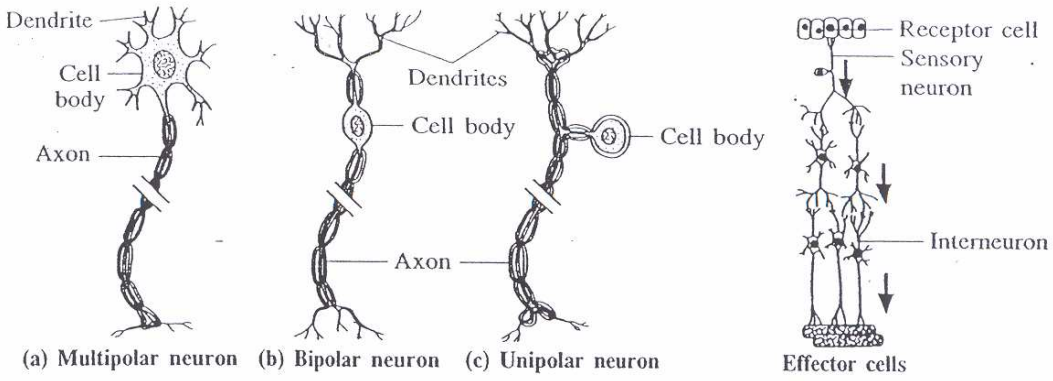


- บริเวณรอยคอดที่รอยต่อของเยื่อไมอิลิน เรียก Node of Ranvier ซึ่งไม่มีเยื่อไมอิลินจึงเป็นตำแหน่งที่มีการแลกเปลี่ยนไอออน (K^+ และ Na^+)



โครงสร้างของเซลล์ประสาทสั่งการในสัตว์มีกระดูกสันหลัง

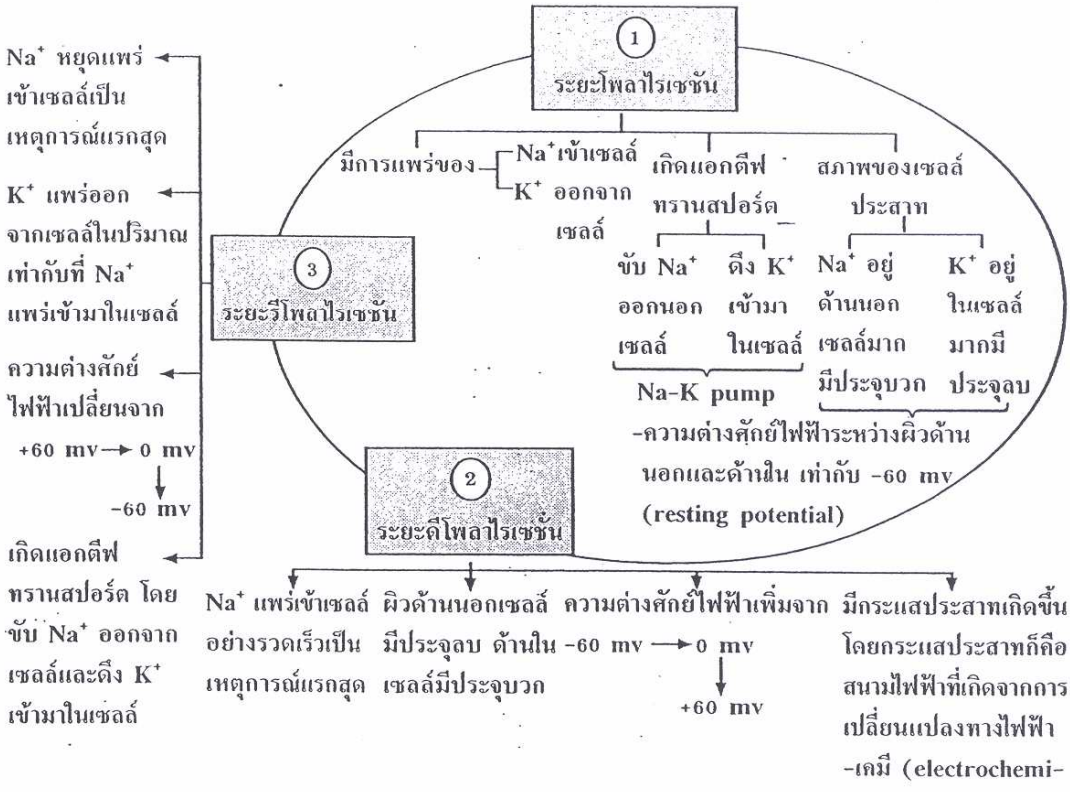




แผนภาพแสดงการติดต่อประสานงานระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึก เซลล์ประสาทประสานงาน และเซลล์ประสานสั่งการ โดยเซลล์ประสาทรับความรู้สึก รับกระแสความรู้สึกมาจากเซลล์รับความรู้สึก (Receptor cell) และเซลล์ประสาทสั่งการส่งกระแสคำสั่งให้กับเซลล์ปฏิบัติงาน (Effector cells)

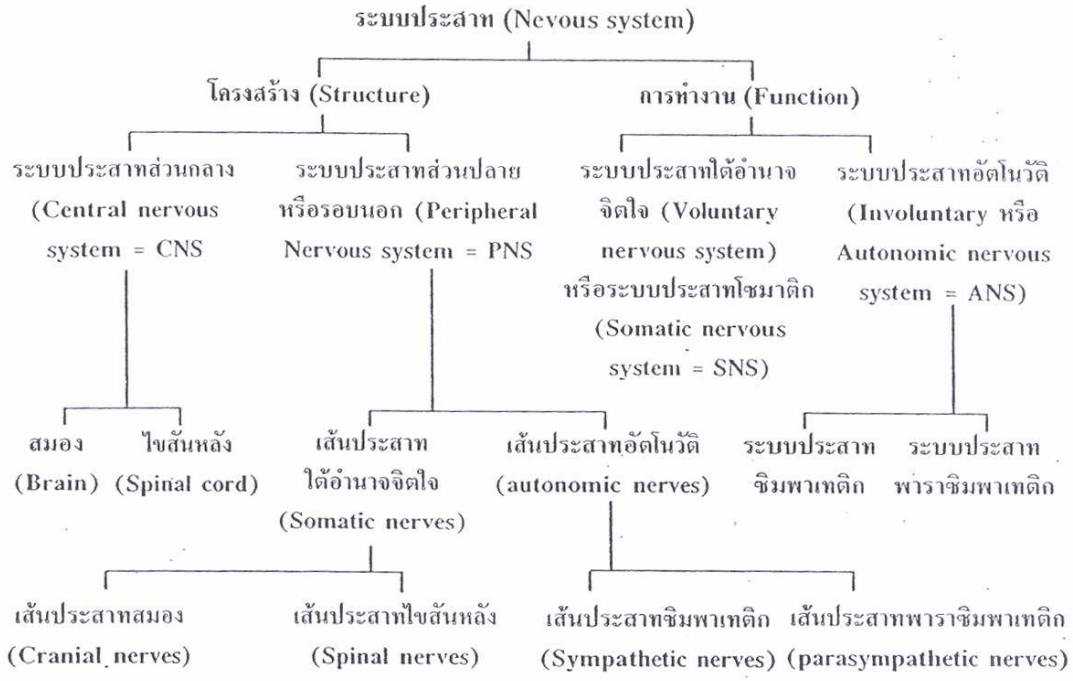
การทำงานของเซลล์ประสาท

วงจรการทำงานของเซลล์ประสาทแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะโพลาไรเซชัน (Polarization) เป็นระยะพัก ระยะดีโพลาไรเซชัน (Depolarization) เป็นระยะที่ถูกกระตุ้นและระยะรีโพลาไรเซชัน (Repolarization) เป็นระยะที่เซลล์ประสาทฟื้นสภาพกลับไปสู่ระยะโพลาไรเซชันเพื่อรอรับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าต่อไป



Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

โครงสร้างและการทำงานของระบบประสาท สมอง และเส้นประสาทสมอง



ส่วนต่าง ๆ ของสมอง

สมองแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ สมองส่วหน้า (Forebrain) สมองส่วนกลาง (Midbrain) และสมองส่วนท้าย (Hindbrain)

สมองแต่ละส่วนจะมีพัฒนาการต่างกัน ในสัตว์ที่มีวิวัฒนาการต่างกันสรุปได้ดังนี้

1. สมองส่วนหน้าจะมีพัฒนาการมากขึ้น (รอยหยัก, ขนาดต่อน้ำหนักตัว) เมื่อสัตว์มีวิวัฒนาการสูงขึ้น ดังนั้นพัฒนาการของสมองส่วนหน้าของ

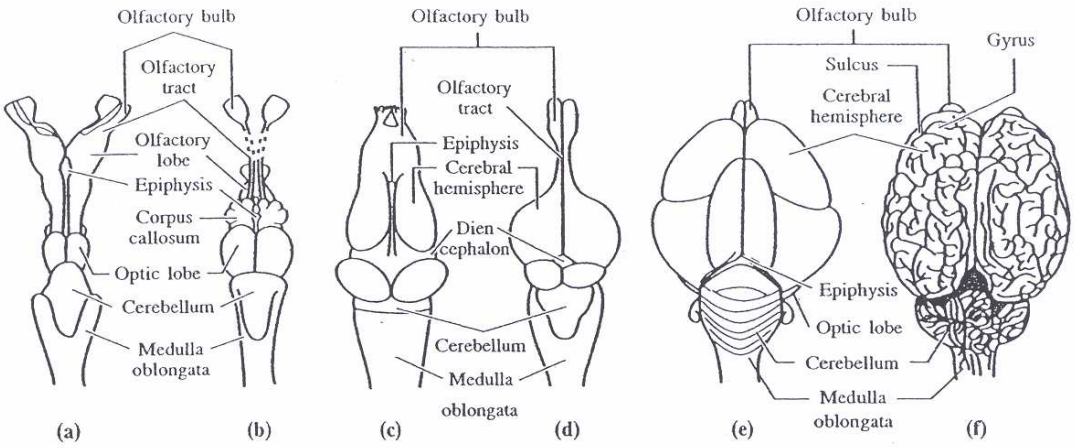
ม้า > หนู > จระเข้ > กบ > ปลา

2. สมองส่วนกลางจะมีขนาดเล็กลง เมื่อสัตว์มีวิวัฒนาการสูงขึ้น ดังเช่นขนาดสมองส่วนกลางของ

ปลา > กบ > จระเข้ > หนู > ม้า

3. สมองส่วนท้ายจะพัฒนาดีในสัตว์ที่เคลื่อนที่ได้ 3 มิติ ได้ดี ได้แก่ ปลาและนกรวมทั้งในคนซึ่งสามารถใช้มือได้อย่างประณีตสละสลวยละเอียดอ่อน

Tutor Channel on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ



แผนภาพเปรียบเทียบสมองส่วนต่าง ๆ ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง 6 ชนิด คือ
(a) ปลาฉลาม (b) ปลาคอด (c) กบ (d) จระเข้ (e) ห่าน (f) ม้า

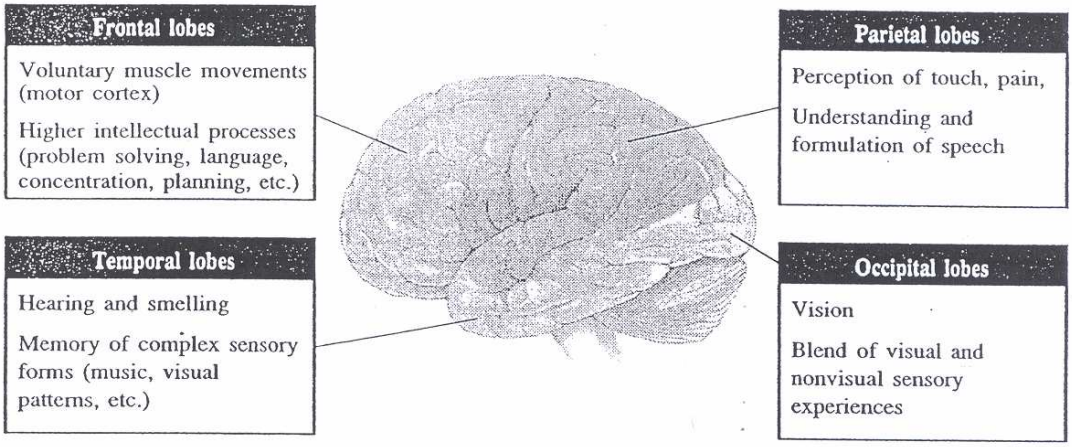
หน้าที่ของสมองส่วนต่าง ๆ

สมองส่วนหน้า	สมองส่วนกลาง	สมองส่วนท้าย
1. ซีรีบรัม (Cerebrum) 1.1 ศูนย์กลางการเรียนรู้ (learning) ได้แก่ ความคิด การจำ การวิเคราะห์ระดับสติปัญญา 1.2 ศูนย์กลางการรับรู้ (sensation) ได้แก่ การรับสัมผัส การมองเห็น การได้ยิน การรับรส การดมกลิ่น และความเจ็บปวด 1.3 การทำงานของกล้ามเนื้อลาย (muscle movement) 1.4 การพูด (speech) 1.5 การควบคุมบุคลิกภาพ (personality) 1.6 ควบคุมทักษะ (skill) 1.7 ศูนย์อารมณ์ (emotion) เช่น ความรัก ความโกรธ ความอิจฉาริษยา	1. optic lobe (ศูนย์กลางการมองเห็น) เจริญดีในปลา แต่ในสัตว์ชั้นสูงจะมีขนาดเล็กลง 2. Corpora quadri gemina ในคน ทำหน้าที่เกี่ยวกับรีเฟลกซ์ของแสงและการได้ยิน	1. พอนส์ (Pons) 1.1 การเคี้ยวอาหาร 1.2 การหลั่งน้ำลาย 1.3 การเคลื่อนไหวและการแสดงออกของใบหน้า 2. เมดุลลา ออบลองกาตา (Medulla oblongata) 2.1 ศูนย์กลางควบคุมระบบประสาทอัตโนวัติ (Autonomic center) 2.2 ศูนย์ควบคุมการหายใจ (respiratory center) ซึ่งไวต่อ CO_2 มากที่สุด ไวต่อ O_2 น้อยที่สุด 2.3 ควบคุมการเต้นของหัวใจและการไหลเวียนของโลหิต

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

สมองส่วนหน้า	สมองส่วนกลาง	สมองส่วนท้าย
1.8 การแสดงพฤติกรรมทางสังคม (social behavior) 2. ทาลามัส (Thalamus) 2.1 เป็นศูนย์รวมและแยกประสาทไปยังสมองส่วนต่างๆ เป็น Relay stations เทียบกับร่างแหประสาท (nerve net) ในไฮดรา 2.2 ศูนย์รับรู้และการตอบสนองต่อความเจ็บปวด (Thalamic pain) 3. ไฮโพทาลามัส (Hypothalamus) ทำหน้าที่ 3.1 เป็นศูนย์กลางควบคุมระบบประสาทอัตโนวัติ (Autono-mic center) 3.2 ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (Thermostat) 3.3 ควบคุมปริมาณน้ำในร่างกายโดยควบคุมการหลั่งฮอร์โมน ADH 3.4 ควบคุมความหิวความอิ่ม 3.5 ควบคุมความดันเลือด 3.6 เกี่ยวกับการนอนหลับ 3.7 เกี่ยวกับความใคร่ ความรู้สึกทางเพศ 3.8 ความเสียใจ ความดีใจ ความเศร้าโศก 3.9 สร้างฮอร์โมนประสาท เช่น ADH และ Oxytocin เพราะภายในไฮโพทาลามัส มีกลุ่มเซลล์นิวโรซีครีตอรี (neurotory cell) เป็นเซลล์ประสาทที่เปลี่ยนมาสร้างฮอร์โมนประสาท (Neurohor-mone)		2.4 ควบคุม Peristalsis และการหลั่งน้ำย่อย 2.5 ควบคุมการไอ การจาม 3. ซีรีเบลลัม (cerebellum) 3.1 ควบคุมการทรงตัวของร่างกาย 3.2 ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลายที่ก่อให้เกิดความประณีต สละสลวย 3.3 ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อลายให้สัมพันธ์กับนัยต์ตา

สมองส่วนหน้า	สมองส่วนกลาง	สมองส่วนท้าย
4. ออลแฟคทอรี บัลบ์ (Olfactory bulb) 4.1 เป็นศูนย์กลางการรับกลิ่น เจริญดีในปลา แต่ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่เจริญ 4.2 สำหรับสุนัข ดมกลิ่นได้ดีมากนั้นน่าจะมาจากการมีเซลล์ประสาทรับกลิ่นหนาแน่นมากที่เยื่อบุโพรงจมูก		



แผนภาพแสดงพู (Lobe) ใหญ่ ๆ ของสมอง 4 พู Cerebrum — **Frontal lobes**, **Parietal lobes**, **Temporal lobes**, **Occipital lobes**

ข้อควรทราบพิเศษ

1. ก้านสมอง (Brain stem) คือ ส่วนของสมองส่วนกลาง + พอนส์ + เมดุลลา ออบลองกาตา

2. บุคคลที่ได้รับการกระทบกระเทือนสมองอย่างรุนแรงจนกลายสภาพเป็นบุคคลที่เรียกว่าเจ้าชายนิทราหรือเจ้าหญิงนิทราเป็นเพราะสมองส่วน Cerebrum ไม่สามารถรับรู้และตอบสนองได้นั่นเอง

3. บุคคลที่ป่วยเป็นโรคสุราเรื้อรัง (Alcoholism) เนื่องจาก Cerebrum ถูกทำลายให้เสื่อมสภาพไปมากจึงทำให้ประสิทธิภาพการรับรู้และการตอบสนองด้อยลงมาก เพราะ Alcohol ไปมีผลต่อ Cerebrum มากที่สุด

เส้นประสาทสมอง (Cranial nerves)

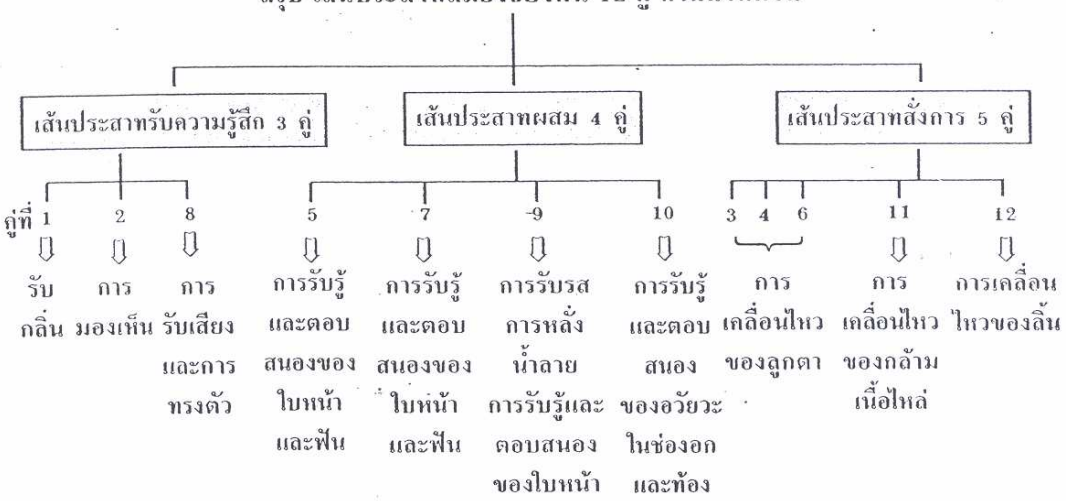
เส้นประสาทสมองเป็นเส้นประสาทติดต่อระหว่าง

1. หน่วยรับความรู้สึกกับสมอง เรียกว่าเส้นประสาทรับความรู้สึก (Sensory nerve)
2. สมองกับหน่วยปฏิบัติงาน เรียกว่า เส้นประสาทสั่งการ (Motor nerve)
3. หน่วยรับความรู้สึกกับสมอง และสมองกับหน่วยปฏิบัติงานเรียกว่า เส้นประสาทผสม (Mixed nerve)

เส้นประสาทสมองมนุษย์มี 12 คู่

คู่ที่	ชื่อ	หน้าที่	อวัยวะติดต่อ	หน้าที่
1	Olfactory nerve	รับความรู้สึก	จากเยื่อบุโพรงจมูก → สมอง	รับกลิ่น
2	Optic nerve	รับความรู้สึก	จากเรตินาของตา → สมอง	การมองเห็น
3	Oculomotor nerve	สั่งการ	จากสมอง → กล้ามเนื้อลูกตา	การเคลื่อนไหวของลูกตา
4	Trochlea nerve	สั่งการ	จากสมอง → กล้ามเนื้อลูกตา	การเคลื่อนไหวของลูกตา
5	Trigeminal nerve	ผสม	จากใบหน้าและฟัน → สมอง จากสมอง → ใบหน้าและฟัน	การรับรู้และการตอบสนองของใบหน้าและฟัน
6	abducens nerve	สั่งการ	จากสมอง → กล้ามเนื้อลูกตา	การเคลื่อนไหวของลูกตา
7	Facial nerve	ผสม	จากตุ่มรับรส → สมอง จากสมอง → ต่อมน้ำลายและกล้ามเนื้อใบหน้า	การรับรส การหลั่งน้ำลายและการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อใบหน้า
8	Auditory nerve	รับความรู้สึก	จากหูส่วนใน → สมอง	การได้ยินและการทรงตัว
9	Glossopharyngeal nerve	ผสม	จากตุ่มรับรส, คอหอย → สมอง จากสมอง → ต่อมน้ำลาย, คอหอย	การรับรส, การหลั่งน้ำลายและการรับรู้และการตอบสนองของคอหอย
10	Vagus nerve	ผสม	จากอวัยวะในช่องอก, ท้อง สมอง จากสมอง → อวัยวะในช่องอก ช่องท้อง	การรับรู้และการตอบสนองของอวัยวะในช่องอกและช่องท้อง
11	Accessory nerve	สั่งการ	จากสมอง → กล้ามเนื้อไหล่	การเคลื่อนไหวของไหล่
12	Hypoglossal nerve	สั่งการ	จากสมอง → ลิ้น	การเคลื่อนไหวของลิ้น

สรุป เส้นประสาทสมองของคน 12 คู่ ทำหน้าที่ดังนี้



สัดส่วนของเส้นประสาทรับความรู้สึก : ผสม : สั่งการ = 3 : 4 : 5

แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ
โครงสร้างและการทำงานของระบบประสาท
สมอง และเส้นประสาทสมอง

1. ข้อใดระบุหน้าที่ของสมองส่วนต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

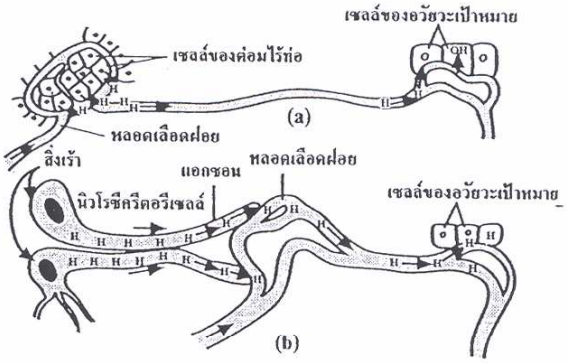
	ซีรับรัม	ซีรีเบลลัม	เมดุลลา ออบลองกาตา
1	ความจำ การเรียนรู้	การมองเห็น	การทรงตัว
2	ความคิด สติปัญญา	การพูด	การเต้นของหัวใจ
3	ความรู้สึก วิจารณญาณ	การทรงตัว	การหายใจเข้าออก
4	ความมีไหวพริบ การได้ยิน	การเดิน	การบีบตัวของหลอดเลือด

2. แพทย์เวรกำลังยืนตรวจคนไข้ซึ่งนอนอยู่บนเตียง ขณะนั้นคนทั้งสองใช้สมองส่วนใดบ้าง
   1. ทั้งสองคนใช้สมองส่วนซีรีเบลลัมและเมดุลลา
   2. ทั้งสองคนใช้ซีรีบรัม ซีรีเบลลัม และเมดุลลา
   3. แพทย์เวรใช้ซีรีบรัม ซีรีเบลลัมและเมดุลลา ส่วนคนไข้ใช้ซีรีเบลลัมและเมดุลลา
   4. แพทย์เวรใช้ซีรีเบลลัมและเมดุลลา ส่วนคนไข้ใช้ซีรีบรัมและซีรีเบลลัม
3. ในการที่คนดื่มเครื่องดองของเมาแล้วทำให้เดินไม่ตรงทาง เนื่องจากสมองส่วนใดทำงานผิดปกติ
   1. ซีรีบรัม 2. ซีรีเบลลัม 3. เมดุลลา 4. ถูกต้องทุกข้อที่กล่าวมา
4. อาการคลื่นไส้ อาเจียนเป็นปฏิกิริยาที่ร่างกายบังคับไม่ได้ สมองส่วนที่ควบคุมอาการดังกล่าวคือ
   1. ซีรีบรัม 2. ซีรีเบลลัม 3. เมดุลลา 4. ถูกต้องทุกข้อที่กล่าวมา

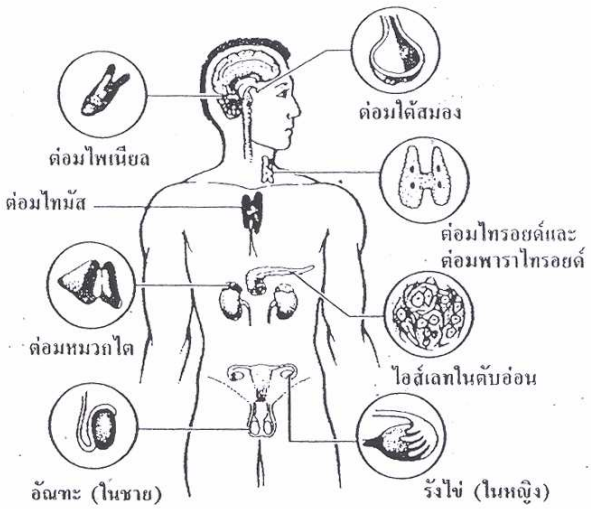
บทบาทหน้าที่ของฮอร์โมน

ฮอร์โมน (Hormone)

ฮอร์โมน คือ สารเคมีที่สร้างขึ้นจากเนื้อเยื่อส่วนหนึ่งของร่างกายโดยเฉพาะจากต่อมไร้ท่อ (Endocrine gland) แล้วส่งเข้าสู่กระแสโลหิต กระจายไปทั่วร่างกาย ไปมีผลต่ออวัยวะเป้าหมาย โดยเหนี่ยวนำให้เกิดการเจริญเติบโต กระตุ้นหรือยับยั้งการทำงาน ฮอร์โมนสามารถออกฤทธิ์ได้โดยใช้ปริมาณ เพียงเล็กน้อย



ภาพแสดงฮอร์โมนที่หลั่งจากต่อมไร้ท่อ (a) หรือนิวโรซีครีตอรี เซลล์ (b) จากไฮโพทาลามัส ซึ่งฮอร์โมนจะถูกลำเลียงในกระแสเลือดไปยังอวัยวะเป้าหมาย



ภาพแสดงตำแหน่งที่อยู่ของต่อมไร้ท่อบางต่อมในร่างกายคน

จุดเด่นของต่อมไร้ท่อ

1. ต่อมไร้ท่อที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และมีหลอดเลือดมาเลี้ยงมากที่สุด ที่มีปริมาณไอโอดีนสูงสุด คือ ต่อมไทรอยด์
2. ต่อมไร้ท่อที่มีขนาดเล็กที่สุด และมีจำนวนต่อมมากที่สุด คือ ไอส์เลตออฟ แลงเกอร์ฮานส์
3. ต่อมไร้ท่อที่สร้างออร์โมนมากชนิดที่สุด คือ อะดรีนัลคอร์เทกซ์
4. ต่อมไร้ท่อที่ประกอบด้วยเซลล์มีรูปร่างแตกต่างกันมากที่สุด คือ ต่อมใต้สมองส่วนหน้า
5. อวัยวะที่ทำหน้าที่เป็นทั้งต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อ ได้แก่ ตับอ่อน กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก
6. ต่อมไร้ท่อที่อยู่ตำแหน่งบนสุด คือ ต่อมไพเนียบ ส่วนต่อมไร้ท่อที่อยู่ตำแหน่งล่างสุด คือ เซลล์อินเตอร์สติเชียล ในอัณฑะ
7. ต่อมไร้ท่อที่ได้รับฉายาว่า

7.1 The Mater gland คือ ต่อมใต้สมอง เนื่องจากสร้างฮอร์โมนไปควบคุมการทำงานของต่อมอื่นๆ มาก

7.2 The Gland of emergency (ต่อมฉุกเฉิน) คือ อะดรีนัล เมดัลลา

หน้าที่ของฮอร์โมน

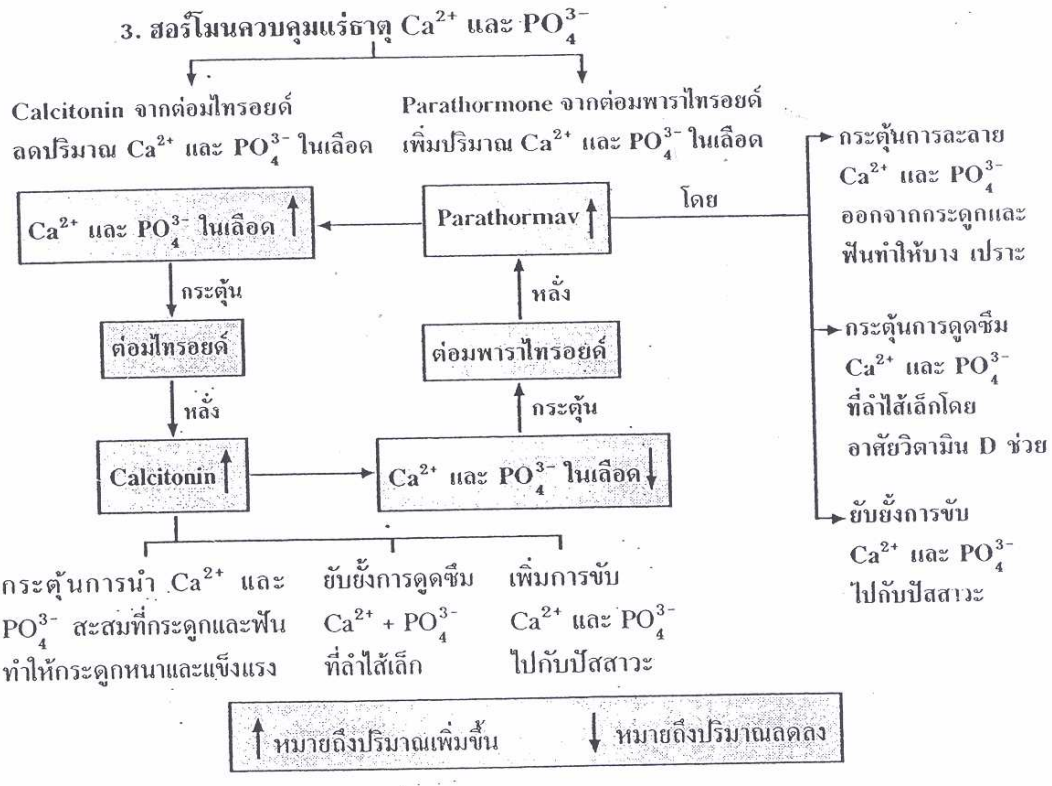
1. ฮอร์โมนกระตุ้นการเติบโต

- ในวัยเด็ก
  - ฮอร์โมนโกรท (GH) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า
  - ฮอร์โมนไทรอกซิน (Thyroxin) จากต่อมไทรอยด์ กระตุ้นการเจริญพัฒนาของสมอง ด้วยฮอร์โมนมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย และสมองมากที่สุด และกระตุ้น Meta- morphosis ของลูกอ๊อดไปเป็นกบตัวเต็มวัย
- ในวัยรุ่น
  - เพศชาย ได้แก่ Testosterone จาก Interstitial cells of Leydig ในอัณฑะ
  - เพศหญิง ได้แก่ Estrogen จาก Gruatian fotlicle ในรังไข่

2. ฮอร์โมนควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด

- ลดปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือด คือ Insulin จาก β-cells ของ Islets of Langerhans ในตับอ่อน
- เพิ่มปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือด
  - Gducagon จาก α -cells ของ Islets of Langer- hans ในตับอ่อน
  - Cortisol (มีฤทธิ์แรงสุด) จาก Adre- nal Cortex
  - Adrenalin และ Noradrenalin จาก Adrenal medulla
  - Thyroxin จาก Thyroid gland
  - GH จาก ต่อมใต้สมองส่วนหน้า

3. ฮอร์โมนควบคุมแร่ธาตุ Ca^{2+} และ PO_4^{3-}



4. ฮอร์โมนควบคุม Na^+, K^+ และ Cl^-

⇩

Aldosterone จาก Adrenal cortex

- กระตุ้นการดูด Na^+ กลับคืนที่ท่อหน่วยไตตอนปลาย
- ยับยั้งการดูด K^+ และ Cl^- กลับที่ท่อหน่วยไตตอนปลาย

5. ฮอร์โมนควบคุมปริมาณน้ำ ⇨ ADH หรือ Vasopressin จากต่อมใต้สมองส่วนท้าย (ADH สร้างจาก Neurosecretory cells ใน hypothalamus แต่ลำเลียงมากับใยแอกซอนมาเก็บสะสมไว้ที่ต่อมใต้สมองส่วนท้าย)

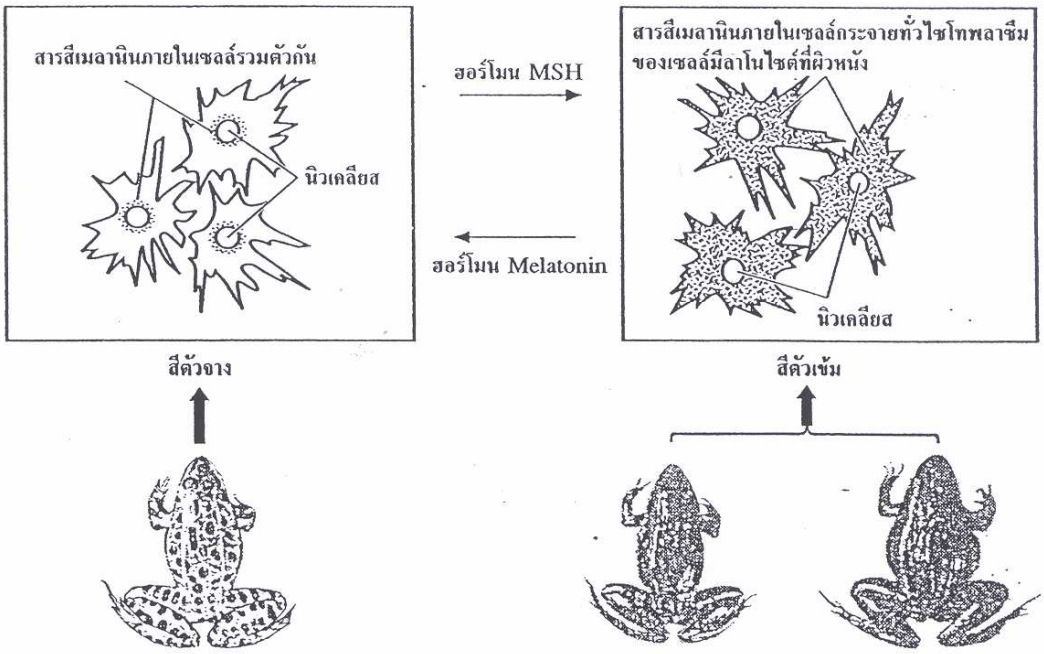
⇩

เพิ่มการดูดน้ำกลับคืนที่ท่อหน่วยไตตอนปลายมากที่สุดโดยถ้า

- ร่างกายขาดน้ำ —กระตุ้น→ ADH ↑
- ร่างกายมีน้ำมาก —ยับยั้ง→ ADH ↓

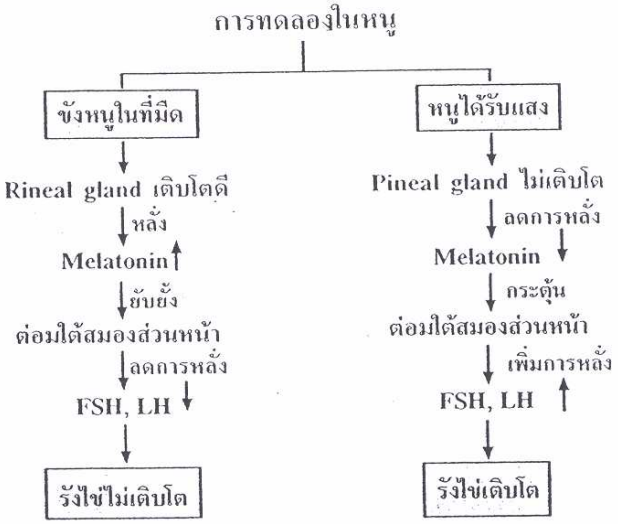
6. ฮอร์โมนควบคุมสีตัว

- MSH จากต่อมใต้สมองส่วนกลางทำให้สีตัวเข้ม
- Melatonin จากต่อมไพเนียลทำให้สีตัวจาง

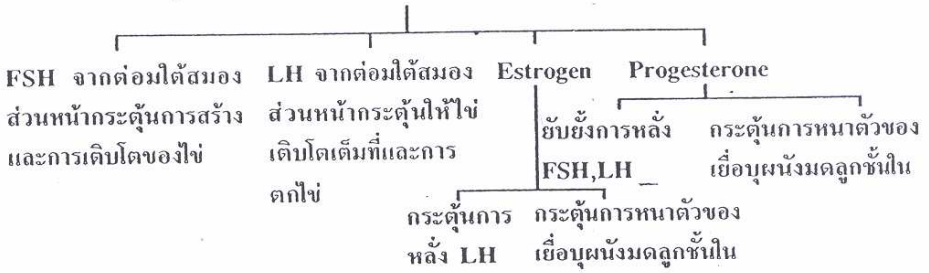


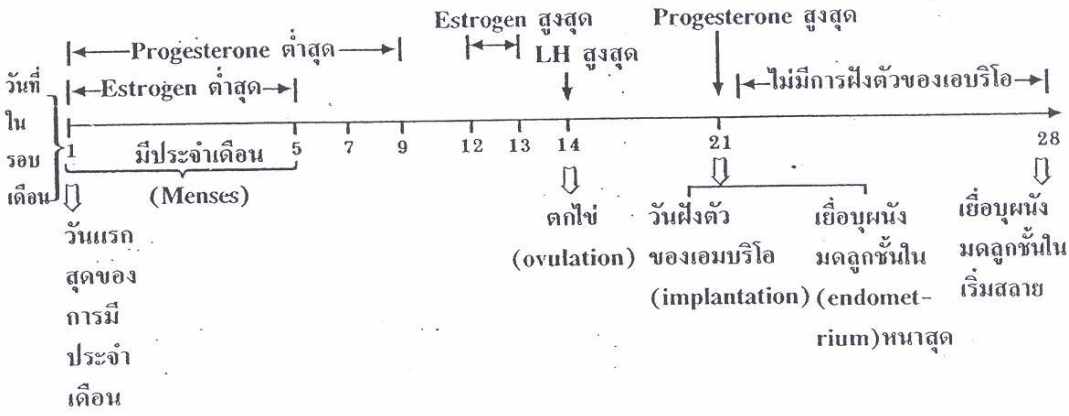
ภาพแสดงการเปลี่ยนสีตัวของกบที่ถูกตัดต่อมใต้สมอง (ซ้าย) เปรียบเทียบกับกบปกติ (กลาง) และกบที่ถูกตัดต่อมใต้สมองที่ได้รับการฉีด MSH ทุกวัน (ขวา)

7. ฮอร์โมนควบคุมการเติบโตทางเพศ
- FSH และ LH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า กระตุ้นการเติบโตทางเพศ
- Melatonin จากต่อมไพเนียล ยับยั้งการเติบโตทางเพศ

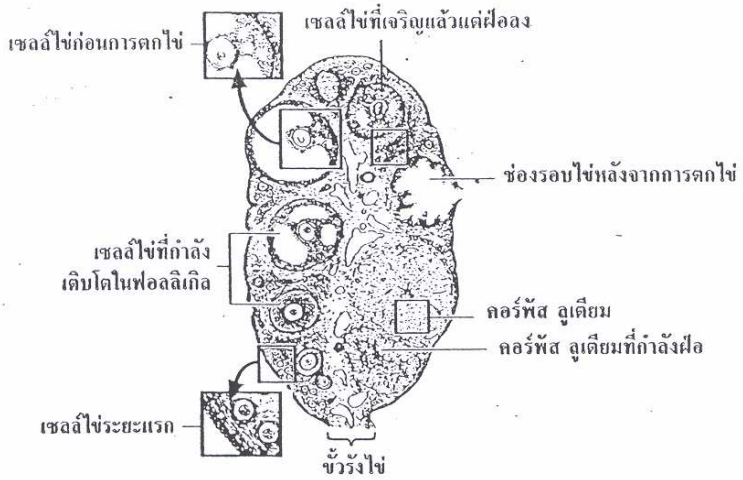


8. ฮอร์โมนควบคุมรอบเดือน (Menstrual cycle)

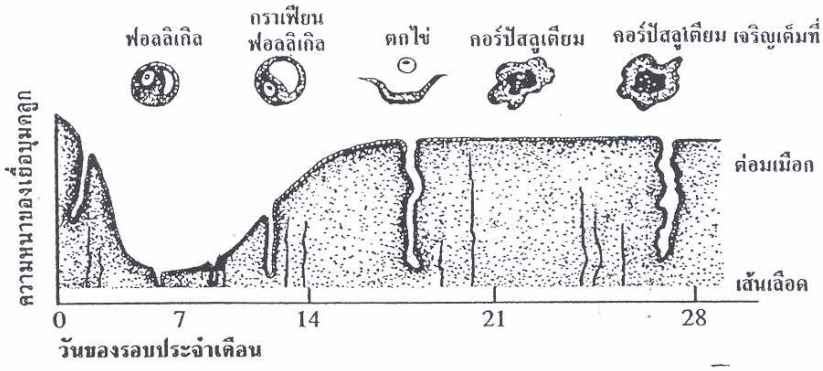




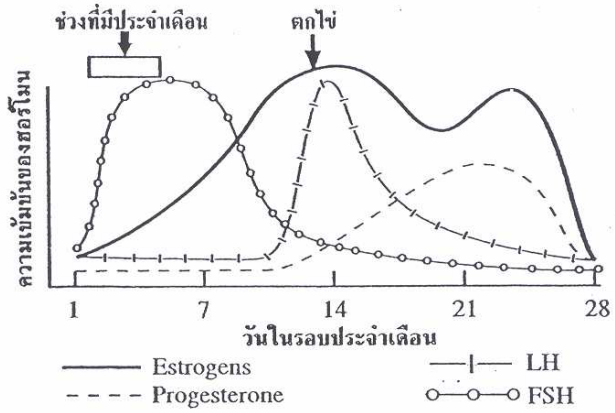
Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ



รังไข่แสดงให้เห็นพัฒนาของเซลล์ในระยะต่าง ๆ กัน ตั้งแต่เริ่มเติบโตจนตกไข่ ทั้งแสดงถึงเนื้อเยื่อรอบเซลล์ไข่ที่เปลี่ยนไปเป็นคอร์พัส ลูเตียม (Corpus luteum) หลังการตกไข่แล้ว



แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงต่าง ๆ ของรอบประจำเดือน



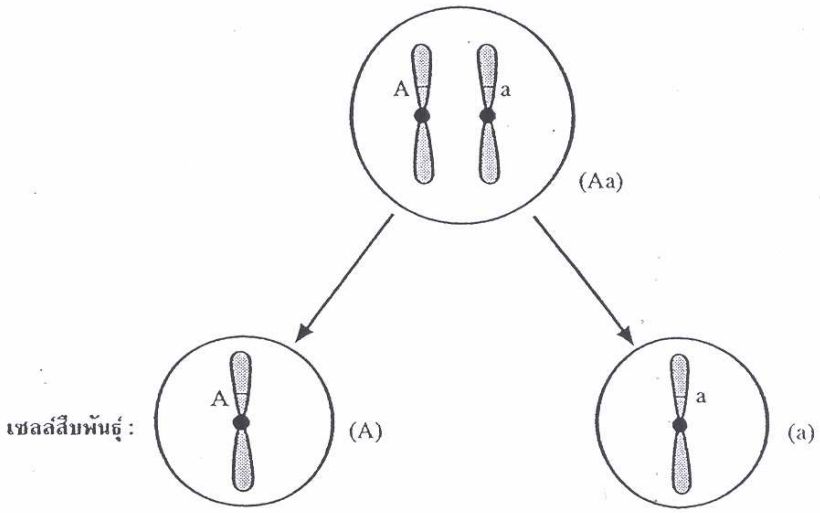
แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนในรอบประจำเดือน

การถ่ายทอดทางพันธุกรรม
(Inheritance)

กฎพันธุกรรมของเมนเดล

กฎข้อที่ 1 กฎแห่งการแยก (Law of Segregation)

สาระสำคัญของกฎ ยีนที่อยู่คู่กัน จะแยกตัวออกจากกันไปอยู่ในแต่ละเซลล์สืบพันธุ์ ดังนั้นภายในเซลล์สืบพันธุ์จะไม่มียีนที่เป็นคู่กันเลย

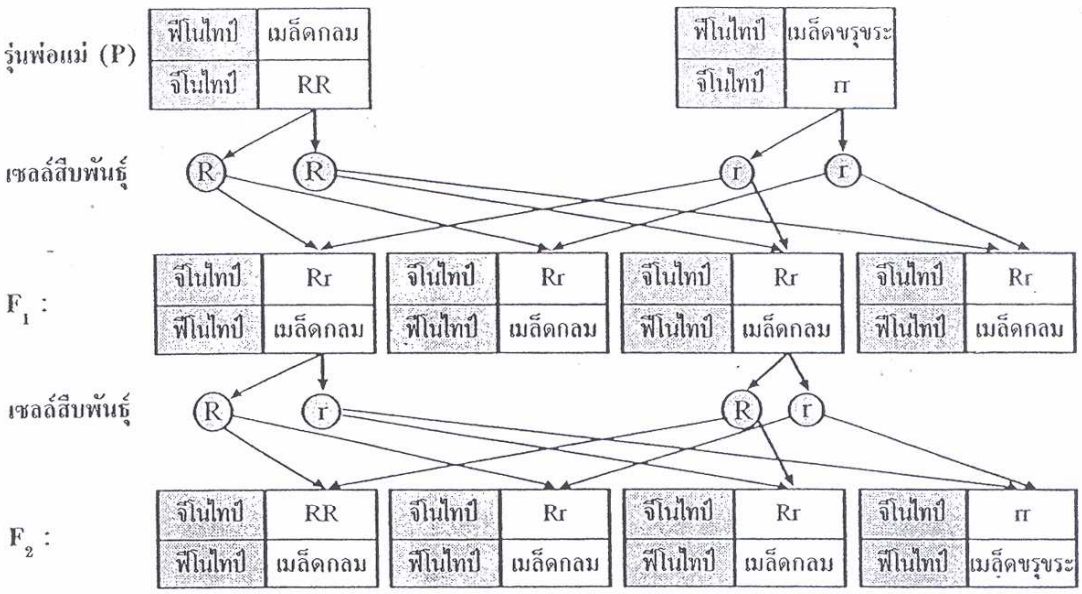


สัดส่วนของเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้ตามกฎแห่งการแยก A : a = 1 : 1

กฎข้อนี้ เมนเดลได้จากการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะโดยพิจารณายีนคู่เดียว (Monohybrid cross)

ตัวอย่างที่ 1 ถ้านำถั่วลันเตารุ่นพ่อแม่ (P) ลักษณะเมล็ดกลมกับเมล็ดขรุขระที่ต่างเป็นพันธุ์แท้มาผสมกันจะได้รุ่นลูก (F_1) มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ชนิดเดียวกันทั้งหมด และปล่อยให้รุ่น F_1 ผสมกันเองได้รุ่นหลาน (F_2) จะได้จีโนไทป์แตกต่างกันเป็น 3 ชนิด ในสัดส่วน 1 : 2 : 1 และได้ฟีโนไทป์แตกต่างกันเป็น 2 ชนิด ในสัดส่วน 3 : 1 ซึ่งพิจารณาได้ดังนี้

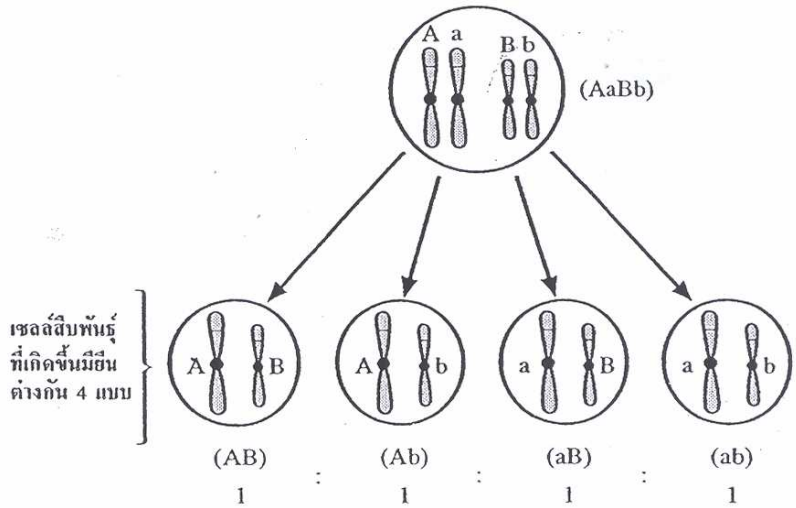
Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ



สัดส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์จากการผสมโดยพิจารณายีนคู่เดียว (monohybrid cross)

กฎข้อที่ 2 กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (Law of independent assortment)

กฎข้อนี้มีสาระสำคัญดังนี้ : ยีนที่เป็นคู่กันเมื่อแยกออกจากกันแล้ว แต่ละยีนจะไปกับยีนอื่นใดก็ได้อย่างอิสระ นั่นคือ เซลล์สืบพันธุ์จะมีการรวมกลุ่มของหน่วยพันธุกรรมของลักษณะต่างๆ โดยการรวมกลุ่มที่เป็นไปอย่างอิสระ จึงทำให้สามารถทำนายผลที่เกิดขึ้นในรุ่นลูกรุ่นหลานได้ กฎข้อนี้เมนเดล ได้จากการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะโดยพิจารณาจากยีน 2 คู่ (dihybrid cross)



ดังนั้นเราสามารถใช้สูตรหาชนิดเซลล์สืบพันธุ์คือ 2^n

(n = จำนวนคู่ของ heterozygous gene)

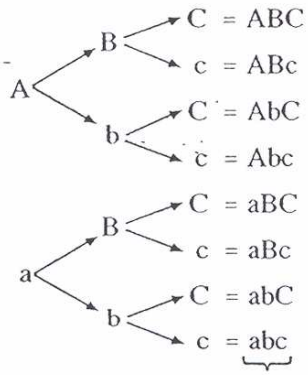
Tutor Channel on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

ตัวอย่างที่ 2 สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจีโนไทป์ AaBbCc จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่มียีนต่างกันได้กี่แบบ

วิธีที่ 1 ใช้สูตร ชนิดเซลล์สืบพันธุ์ $= 2^n$

$= 2^3 = 8$ ชนิด

วิธีที่ 2 ใช้กฎแห่งการรวมกลุ่มโดยอิสระ



เซลล์สืบพันธุ์ต่างกัน 8 ชนิด

ข้อควรทราบ

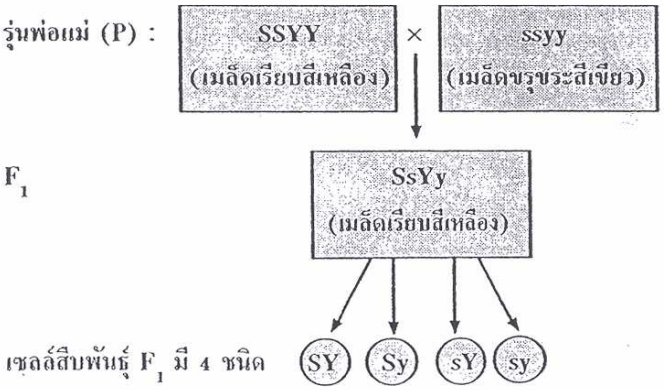
1. ยีนที่อยู่ในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกันจะต้องไม่มียีนที่เป็นคู่อัลลีลกัน
2. โครโมโซมที่อยู่ในเซลล์สืบพันธุ์เดียวกัน จะต้องไม่มีโครโมโซมที่เป็นคู่กัน หรือเป็นโฮโมโลกัสกัน เนื่องจากเซลล์สืบพันธุ์มักเกิดจากการแบ่งเซลล์ที่มีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส

ตัวอย่างที่ 2 ถ้าผสมถั่วเมล็ดเรียบสีเหลืองที่เป็น homozygous dominance กับถั่วเมล็ดขรุขระสีเขียวที่เป็น homozygous recessive จะได้ลูก F_1 ถ้านำ F_1 ผสมกันเอง จงหา F_2 genotype และ F_2 phenotype

วิธีทำ

1. สร้างตาราง Punnet square
2. สร้างเส้นแบบแตกแขนง (Branching หรือ Forked-line method)
3. ใช้หลักความน่าจะเป็น (Probability) โดยผสมทีละลักษณะ

ตารางพันเนต (Punnet Square) ของ F_2



F_2 Genotype :-

เซลล์ลืบพันธุ์เพศผู้ / เซลล์ลืบพันธุ์เพศเมีย	SY	Sy	sY	sy
SY	SSYY	SSYy	SsYY	SsYy
Sy	SSYy	SSyy	SsYy	Ssyy
sY	SsYY	SsYy	ssYy	ssYy
sy	SsYy	Ssyy	ssYy	ssyy

จากตาราง จีโนไทป์มี 9 ชนิด (16 Combinations) คือ

$\frac{1}{16}$ SSYY $\frac{2}{16}$ Ssyy $\frac{2}{16}$ SSYy $\frac{1}{16}$ ssYY $\frac{1}{16}$ SSyy

$\frac{2}{16}$ ssYy $\frac{2}{16}$ SsYY $\frac{1}{16}$ ssyy $\frac{4}{16}$ SsYy

สูตร หาชนิดจีโนไทป์ = 3^n (n = จำนวนคู่ของ heterozygous gene) เช่น จากกรณีตัวอย่างผสม YySs เข้าด้วยกัน จะเห็นว่า n = 2 คือจำนวนคู่ของ heterozygous gene มี 2 คู่ ดังนั้นชนิดจีโนไทป์จึงมี 9 ชนิด ($3^2 = 9$)

จากตารางพันเนตมีฟีโนไทป์ 4 ชนิด คือ

$\frac{9}{16}$ เมล็ดเรียบสีเหลือง (S-Y-) $\frac{3}{16}$ เมล็ดขรุขระสีเหลือง (ssY-)

$\frac{3}{16}$ เมล็ดเรียบสีเขียว (S-yy) $\frac{1}{16}$ เมล็ดขรุขระสีเขียว (ssyy)

สูตร หาชนิดของฟีโนไทป์คือ 2^n (n = จำนวนคู่ของ heterozygous gene)

จากกรณีตัวอย่างมี heterozygous gene 2 คู่ คือ Ss และ Yy ดังนั้นจำนวนชนิดฟีโนไทป์เท่ากับ $2^2 = 4$ ชนิด

แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ
กฎพันธุกรรมของเมนเดล

1. ถ้าผสม AaBbCc กับ AaBbCc จงหาสัดส่วนของลูกที่มีจีโนไทป์ทุกคู่ยีนเป็นโฮโมไซกัส (Homozygous)
   1. $\frac{1}{4}$ 2. $\frac{1}{8}$ 3. $\frac{1}{16}$ 4. $\frac{1}{64}$

ใช้ข้อความต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 2 และ 3

ถ้าผสมถั่วลันเตาต้นสูงกับต้นสูง ได้ลูกต้นสูงต่อต้นเตี้ยเท่ากับ 3 ต่อ 1 ถ้านำเมล็ดในรุ่นลูกไปปลูกโดยการหยอดหลุม หลุมละ 3 เมล็ด

2. จงหาโอกาสที่ทั้ง 3 เมล็ด จะงอกเป็นต้นสูง
   1. $\frac{3}{4}$ 2. $\frac{3}{8}$ 3. $\frac{9}{64}$ 4. $\frac{27}{64}$
3. จงหาโอกาสที่งอกเป็นต้นสูง 2 เมล็ด และต้นเตี้ย 1 เมล็ด
   1. $\frac{3}{4}$ 2. $\frac{3}{16}$ 3. $\frac{9}{64}$ 4. $\frac{27}{64}$
4. สามี-ภรรยาคู่หนึ่ง ถนัดมือขวา มีลักยิ้มทั้งคู่ ลูกคนแรกถนัดมือซ้าย ไม่มีลักยิ้ม จงหาโอกาสที่จะได้ลูกคนต่อไปเพศชาย ถนัดมือขวาและไม่มีลักยิ้ม
   1. $\frac{3}{4}$ 2. $\frac{3}{16}$ 3. $\frac{3}{32}$ 4. $\frac{9}{32}$
5. ถ้าผสม Tt Ss Yy $\otimes$ Tt Ss yy จงหาชนิด genotype ของรุ่นลูกทั้งหมด
   1. 6 2. 9 3. 16 4. 18

ยีนในโครโมโซมเพศหรือการถ่ายทอดลักษณะที่เกี่ยวเนื่องกับเพศ (Sex linked inheritance)

1. การถ่ายทอดลักษณะที่เกี่ยวเนื่องกับเพศ

การถ่ายทอดลักษณะที่เกี่ยวเนื่องกับเพศ หมายถึง พันธุกรรมของลักษณะซึ่งถูกควบคุมโดยยีนที่มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมเพศ ยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศอาจจะปรากฏบนโครโมโซม X หรือบนโครโมโซม Y แต่โดยทั่วไปส่วนใหญ่มักปรากฏที่โครโมโซม X ดังนั้น ยีนที่อยู่บนโครโมโซม X แต่ไม่อยู่บนโครโมโซม Y เรียกว่า X- linked gene เช่น

1.1 **ลักษณะตาบอดสีแดง-เขียว (Red-green color blindness)** หรือ X-linked recessive ที่พบบ่อยที่สุดในคน โดยยีนที่นำลักษณะตาบอดสีและตาปกติอยู่บนโครโมโซม X เท่านั้น

พันธุกรรมลักษณะตาบอดสี มียีนที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 อัลลีล คือ C และ c ซึ่งมีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้

จีโนไทป์		ฟีโนไทป์
ชาย	หญิง	
X^cY	X^cX^c	ตาบอดสี
X^CY	X^CX^c (พาหะ)	ตาปกติ
	X^CX^C (ไม่เป็นพาหะ)	ตาปกติ

1.2 **ฮีโมฟีเลีย (Hemophilia)** เป็นโรคทางพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนด้อยที่อยู่บนโครโมโซม X(X-linked recessive) จึงมักเป็นกับเพศชายเหมือนกับตาบอดสี คนที่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย เมื่อเกิดบาดแผลเลือดจะแข็งตัวช้า เนื่องจากขาดปัจจัยในการแข็งตัวของเลือด เช่น Thromboplastin ทำให้เสียเลือดมากจนอาจถึงแก่ความตายได้

โรคนี้ควบคุมด้วยยีนด้อยในโครโมโซม X มียีนที่เกี่ยวข้อง 2 อัลลีล คือ H และ h มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้

จีโนไทป์		ฟีโนไทป์
ชาย	หญิง	
X^hY	X^hX^h	โรคฮีโมฟีเลีย
X^HY	X^HX^h (พาหะ)	ปกติ
	X^HX^H (ไม่เป็นพาหะ)	ปกติ

1.3 **โรคภาวะพร่องเอนไซม์** กลูโคส-6 ฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส (Glucose-6-Phosphate dehydrogenase deficiency) หรือ G-6-PD เป็นภาวะที่ถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์แบบ X-linked recessive และมียีนที่เกี่ยวเนื่อง (Link) กับยีนโรคฮีโมฟีเลีย ผู้มีภาวะพร่องเอนไซม์นี้เม็ดเลือดแดงจะถูกทำลายได้โดยง่าย มีอาการแพ้ยา และอาหารบางชนิดอย่างรุนแรง โรคนี้พบมากทั่วโลก ในประเทศไทยก็พบมากและนับว่าเป็นปัญหาทางสาธารณสุขของประเทศ ซึ่งเกิดกับเพศชายประมาณร้อยละ 2.8 ในภาคใต้ 13.5 ในภาคกลาง 12.8 ในภาคเหนือ และ 14.3 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

โรคนี้ควบคุมโดยยีนด้อยในโครโมโซม X มียีนที่เกี่ยวข้อง 2 อัลลีล คือ G และ g ซึ่งมีจีโนไทป์ และฟีโนไทป์ ดังนี้

จีโนไทป์		ฟีโนไทป์
ชาย	หญิง	
X^gY	X^gX^g	ภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD
X^GY	X^GX^g (พาหะ)	ปกติ
	X^GX^G (ไม่เป็นพาหะ)	ปกติ

1.4 โรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบ (Muscular dystrophy) เป็น X-linked recessive ที่พบในครอบครัวคนไทย ซึ่งพบว่าเกิดเฉพาะกับเพศชายเท่านั้น

ยีนที่ควบคุมพันธุกรรมนี้มี 2 อัลลีล คือ D และ d ซึ่งมีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้

จีโนไทป์		ฟีโนไทป์
ชาย	หญิง	
X^dY	X^dX^d	กล้ามเนื้อแขนขาลีบ
X^DY	X^DX^d (พาหะ)	ปกติ
	X^DX^D (ไม่เป็นพาหะ)	ปกติ

ตัวอย่าง สามีภรรยาคู่หนึ่งไม่มีใครเป็นฮีโมฟีเลีย แต่ลูกคนหนึ่งเป็นโรคนี้ จงหาโอกาสที่จะได้ลูกคนต่อไปเป็นเพศชายปกติ

วิธีคิด $X^hY \otimes X^HX^h$

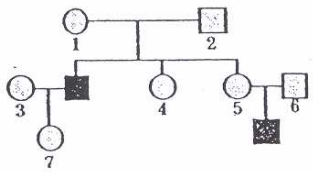
$\downarrow$

X^HY (ลูกเป็นฮีโมฟีเลียต้องเป็นเพศชายเท่านั้น)

โอกาสที่ลูกคนต่อไปเป็นเพศชายปกติ เท่ากับ $\frac{1}{2}Y \otimes \frac{1}{2}X^H = \frac{1}{4}X^HY$ หรือ 0.25 หรือ 25% ตอบ

แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ
โครโมโซมและยีนบนโครโมโซม

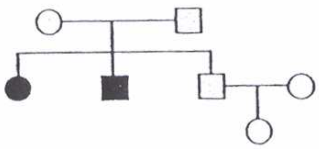
1. ครอบครัวต่อไปนี้มีบุคคลที่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย 2 คน (แรเงา) บุคคลใดบ้างที่เป็นพาหะของยีนโรคฮีโมฟีเลียอย่างแน่นอน

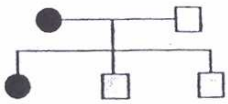


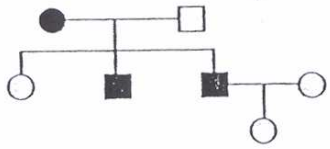
1. 5 และ 7
2. 3, 4 และ 5
3. 1, 3, 4 และ 5
4. 3, 4, 5 และ 7

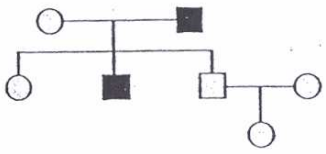
Tutor Channel on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

2. จากประวัติการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมอย่างหนึ่ง (แรเงา) ของ 4 ครอบครัว แผนภาพใดที่แสดงว่าลักษณะที่มีอยู่น้อยในประชากรถูกควบคุมด้วยยีนด้อยในออโตโซม (autosome)

1. 

2. 

3. 

4. 

3. หญิงปกติมีพ่อตาบอดสีแดง แม้มีอาการพร่องเอนไซม์ A ซึ่งควบคุมด้วยยีนด้อยบนโครโมโซม x หญิงคนนี้แต่งงานกับชายลักษณะปกติ โอกาสที่จะมีลูกชายตาบอดสีและพร่องเอนไซม์ A ร้อยละเท่าใด (ไม่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างคู่ยีน)

1. 0 2. 25 3. 50 4. 75

4. หมู่เลือด A, B, AB และ O ควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 9 คนที่เป็น Down syndrome และมีเลือดหมู่ B จะมีจีโนไทป์ของหมู่เลือดเป็นแบบใด

ก. I^BI^B ข. I^Bi ค. $I^BI^BI^B$ ง. I^BI^Bi จ. I^Bii

1. ก หรือ ข 2. ค หรือ ง 3. ก หรือ ค 4. ค หรือ ง หรือ จ

5. ประชากรสมดุลประชากรหนึ่ง มีอุบัติการณ์ (Incidence) ของเพศชายที่เป็นโรคฮีโมฟีเลีย ร้อยละ 9 จงหาสัดส่วนของเพศหญิงที่เป็นพาหะ (Carrier) ของโรคนี้

1. 0.08 2. 0.16 3. 0.21 4. 0.42

ยีนและโครโมโซม
(Gene and Chromosome)

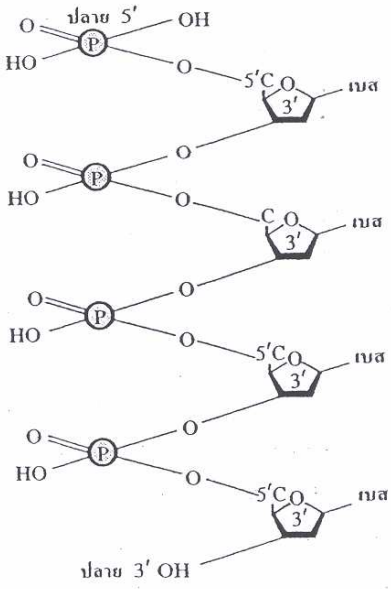
DNA และ RNA

DNA

DNA เป็นสารพันธุกรรมที่พบเป็นส่วนใหญ่ในสิ่งมีชีวิต มีโครงสร้างดังนี้

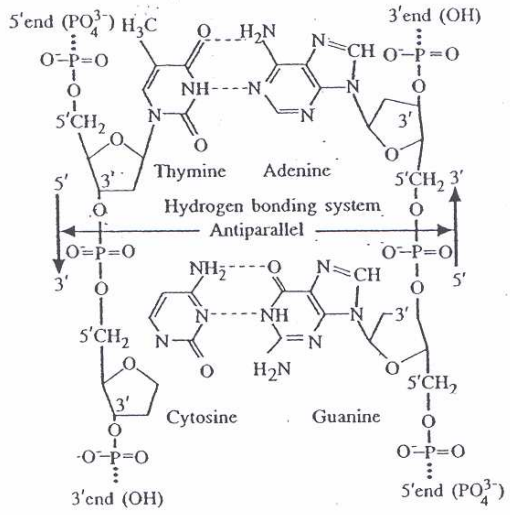
1. DNA เป็นพอลีเมอร์ (Polymer) ประกอบขึ้นจากหน่วยย่อย (Monomer) เรียกว่า นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) โดยแต่ละนิวคลีโอไทด์ประกอบด้วยน้ำตาลดีออกซีไรโบส, เบสชนิดใดชนิดหนึ่งใน 4 ชนิด คือ เบสอะดีนีน (A), กวานีน (G), ไซโทซีน (C) หรือไทมีน (T) และกรดฟอสฟอริก ชนิดละ 1 โมเลกุล โดยนิวคลีโอไทด์แต่ละหน่วย จะมีหมู่ฟอสเฟตเชื่อมกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ของน้ำตาลและมีเบสเชื่อมกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของน้ำตาล

2. แต่ละนิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว โดยมีการสร้างพันธะระหว่างหมู่ฟอสเฟตของนิวคลีโอไทด์หนึ่งกับน้ำตาลของนิวคลีโอไทด์อีกหนึ่งที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3′ (อ่านว่า 3 ไพร์ม) เกิดเป็นพอลีเมอร์ (Polymer) สายยาว เรียกว่า พอลินิวคลีโอไทด์ (Polynucleotide) ซึ่งมีปลายด้านหนึ่งเป็นคาร์บอนตำแหน่งที่ 5′ ของน้ำตาล (อ่านว่า 5 ไพร์ม) จับกับหมู่ฟอสเฟสและอีกปลายหนึ่งเป็นคาร์บอนตำแหน่งที่ 3′ ซึ่งมีหมู่ OH ของน้ำตาล ดังภาพ



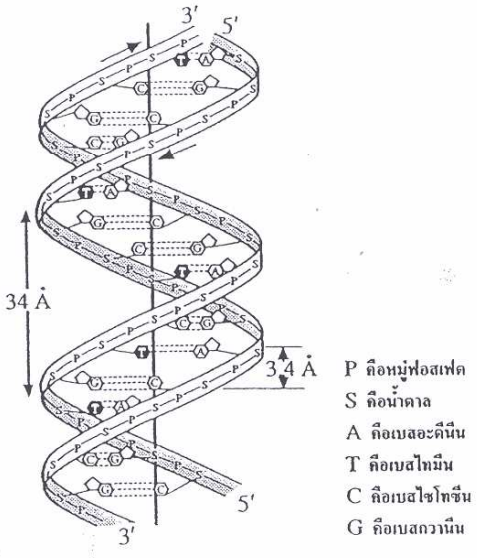
ภาพแสดงโครงสร้างของพอลีนิวคลีโอไทด์ แสดงให้เห็นปลายด้านหนึ่งที่เป็น 5′ และปลายอีกด้านหนึ่งเป็น 3′

3. DNA โมเลกุลหนึ่งประกอบขึ้นจากพอลีนิวคลีโอไทด์ 2 สาย โดยสายทั้งสองนี้ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ระหว่างคู่เบส A กับ T ด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ และ C กับ G ด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ

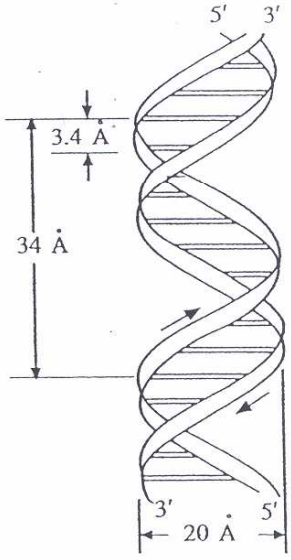


ภาพแสดงการจับกันระหว่าง A กับ T และ C กับ G ใน DNA ด้วยพันธะไฮโดรเจน จำนวน 2 และ 3 พันธะเรียงตามลำดับ

4. พอลีนิวคลีโอไทด์สองสายในโมเลกุลของ DNA นั้น แต่ละสายจะมีทิศทางจาก 5′→3′ ขนานกันแบบตรงข้าม (Antiparallel) และจะมีการบิดพันรอบกันเป็นเกลียวเวียนขวา เรียก α-double helix โดยการบิด 1 รอบ จะเป็นระยะทาง 34 อังสตรอม (Å) หรือ 3.4 นาโนเมตร (nm) จะประกอบด้วยเบส 10 คู่



ภาพแสดงโครงสร้างของ DNA (ซ้ายมือ)



ภาพแสดงลักษณะการเรียงตัวของ Phosphate sugar ซึ่งเป็นรูป Helix และการเกาะกันของ Bases

การจำลองตัวเอง DNA (DNA replication)

ในขณะที่เซลล์จะมีการแบ่งตัว จะมีการเพิ่มจำนวนโครโมโซมอีก 1 เท่าตัว ในระยะอินเตอร์เฟสของไมโทซิส และอินเทอร์เฟส-1 ของไมโอซิส

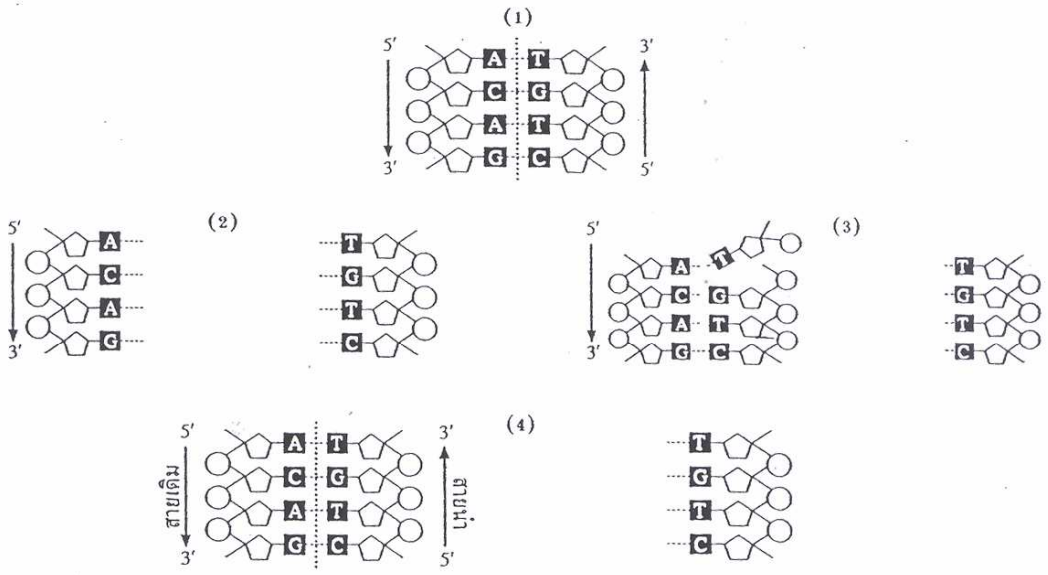
นั่นคือ ในขณะมีการแบ่งเซลล์ก็จะมีการสร้าง DNA ขึ้นมาและมีการแยก DNA ออกจากกัน เราเรียกการเพิ่มจำนวนของ DNA ในขณะที่มีการแบ่งเซลล์นี้ว่า การจำลองตัวเองของ DNA หรือ DNA replication

ขั้นตอนการสังเคราะห์ DNA จากข้อมูลปัจจุบันมีดังนี้

1. สายพอลีนิวคลีโอไทด์ แยกตัวออกจากกันโดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างคู่เบส A กับ T และ C กับ G สลายตัวโดยการทำงานของเอนไซม์เฮลิเคส (Helicase)

2. การสังเคราะห์พอลีนิวคลีโอไทด์ใหม่ 2 สาย เพื่อให้แต่ละสายไปจับคู่กับสายเดิม จะเกิดการสังเคราะห์พอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่ จากทิศ 5′→3′ เสมอ แต่มีวิธีการสังเคราะห์แตกต่างกัน 2 รูปแบบ คือ

2.1 การสังเคราะห์พอลินิวคลีโอไทด์ที่เป็นสายนำ (Leading strand) จะใช้ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์อิสระเดี่ยวๆ เข้ามาต่อ โดยเริ่มที่ปลาย 3′ (-OH) ของสายพอลีนิวคลีโอไทด์เดิม ทั้งนี้จะเกิดโดยนิวคลีโอไทด์ (ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์) เข้ามาเกาะเบสที่ว่างโดยอะดีนีนนิวคลีโอไทด์จะเข้าเกาะกับไทมีนนิวคลีโอไทด์ และไซโทซีนนิวคลีโอไทด์จะเกาะกับกวานีนนนิวคลีโอไทด์ และยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (A กับ T และ C กับ G เสมอ) นิวคลีโอไทด์ที่มาเกาะจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเตอร์และเชื่อมต่อกันเรื่อยๆ โดยการทำงานของเอนไซม์ DNA polymerase จนสิ้นสุดกระบวนการทำให้ได้พอลีนิวคลีโอไทด์สายใหม่ยาวออกไปในทิศจาก 5′ ไป 3′

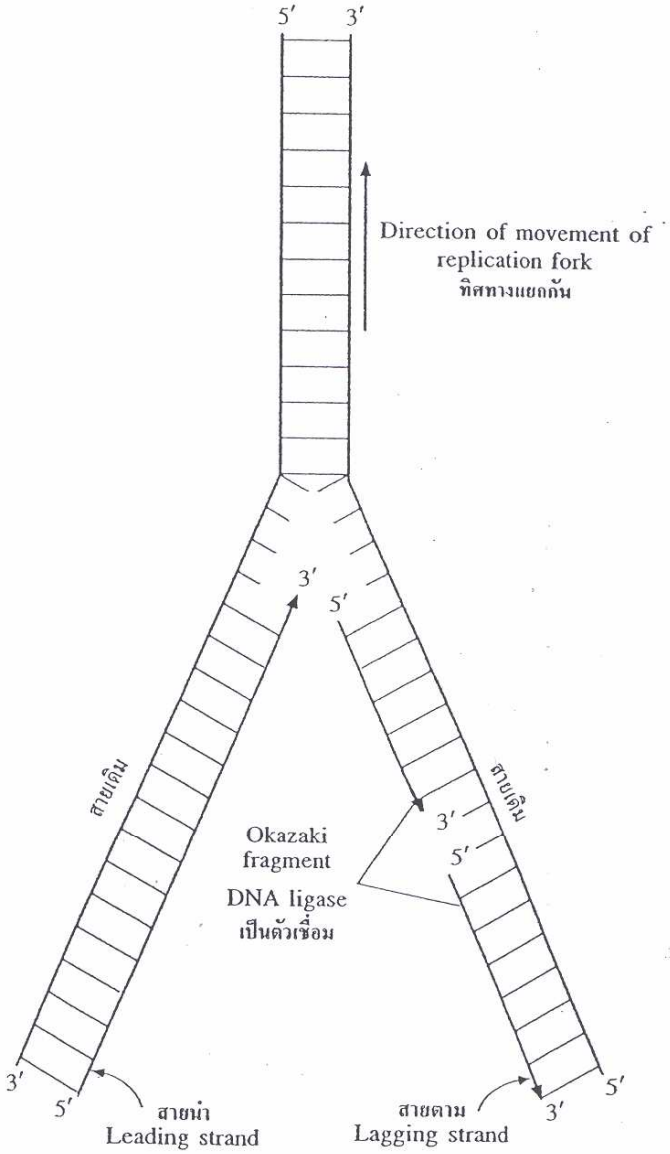


ภาพแสดง Replication ของ DNA

1. *โมเลกุล DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย*
2. *เส้นพอลินิวคลีโอไทด์แยกตัวออกจากกัน โดยการทำงานของเอนไซม์Helicase*
3. *นิวคลีโอไทด์เริ่มเข้าจับคู่กับเส้นพอลินิวคลีโอไทด์เดิม*
4. *เมื่อสิ้นสุดการสร้างจะได้พอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่ จากทิศ 5′→3′ (สายนำ)*

2.2 การสังเคราะห์พอลินิวคลีโอไทด์สายตาม (Lagging strand)

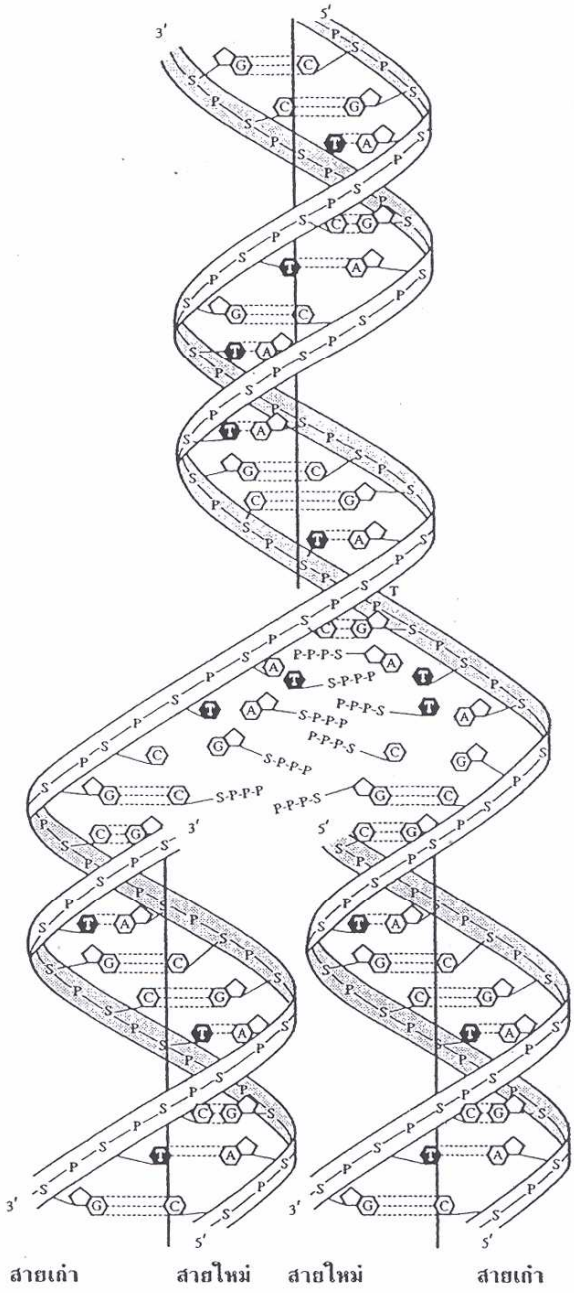
การสังเคราะห์พอลินิวคลีโอไทด์สายตามจะต้องสร้างทีละช่วง โดยใช้ชิ้นส่วนสั้น ๆ ประมาณ 1,000 - 2,000 นิวคลีโอไทด์ เรียกว่า **Okazaki fragment** มาเชื่อมต่อเป็นสายยาวเส้นเดียวเมื่อปลาย 3′ มาอยู่ชิดกับปลาย 5′ ของอีกเส้นที่อยู่ข้าง ๆ โดยอาศัย **เอนไซม์ดีเอนเอไลเกส (DNA ligase)**



ภาพการสังเคราะห์เส้นโอคาซากิ นำมาเชื่อมต่อกันโดยเอนไซม์ DNA ligase ในการสังเคราะห์พอลินิวคลีโอไทด์สายตาม

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

3. พอลีนิวคลีโอไทด์ 2 สาย (สายนำและสายตาม) จะพันรอบกันและบิดเป็นเกลียวเป็น DNA ใหม่ 2 โมเลกุล โดย DNA แต่ละโมเลกุลประกอบด้วยพอลีนิวคลีโอไทด์สายเก่า 1 สาย และสายใหม่ 1 สาย เรียกการจำลอง DNA แบบนี้ว่าเป็นแบบกึ่งอนุรักษ์ (semi-conservative replication)



ภาพ ดีเอ็นเอ เรพลิเคชัน (DNA replication)

Tutor Channel on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

RNA

โมเลกุลของ RNA มีลักษณะสำคัญดังนี้

1. RNA เป็นกรดนิวคลีอิกชนิดหนึ่ง ที่ประกอบขึ้นจากหน่วยย่อย (monomer) เรียกนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) โดยแต่ละนิวคลีโอไทด์ประกอบด้วยสาร 3 ชนิด ชนิดละ 1 โมเลกุล ดังนี้
   1. น้ำตาลไรโบส (ribose = $C_5H_{10}O_5$)
   2. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)
   3. เบสไนโตรเจนชนิดใดชนิดหนึ่งใน 4 ชนิด คือ
      3.1 เบสพิวรีน (purine) ได้แก่ อะดีนีน (A) หรือ กวานีน (G)
      3.2 เบสไพริมิดีน (pyrimidine) ได้แก่ ไซโตซีน (C) หรือ ยูราซิล (uracil = U)
2. นิวคลีโอไทด์ต่าง ๆ จำนวนมากมายมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (phosphodiester bond) กลายเป็นพอลิเมอร์ (polymer) สายยาว คือ โมเลกุล RNA

ดังนั้น RNA จะมีความแตกต่างจาก DNA หลายลักษณะ ดังตาราง

สิ่งเปรียบเทียบ	DNA	RNA
1. ชนิดน้ำตาล	ดีออกซีไรโบส ($C_5H_{10}O_4$)	ไรโบส ($C_5H_{10}O_5$)
2. หมู่ฟอสเฟต	มี	มี
3. ชนิดเบส	A, G, C, T	A, G, C, U
4. โครงสร้างโมเลกุล	ส่วนใหญ่เป็นเกลียวคู่ (A + G/T + C = 1) โดยอาจเป็นเส้นตรงหรือเป็นวงก็ได้ บางชนิดเป็นสายเดี่ยว (A + G/T + C ≠ 1) โดยอาจเป็นสายตรงหรือเป็นวงก็ได้ เช่นกัน	ส่วนใหญ่เป็นสายเดี่ยว (A + G/U + C ≠ 1) มีบางชนิดเป็นสายคู่ (A + G/U + C = 1) ซึ่งทั้ง 2 แบบ เท่าที่พบเป็นสายตรง ไม่พบเป็นวง และแม้จะเป็นสายคู่ แต่ไม่มีการพันรอบกันเป็นเกลียวเหมือนใน DNA
5. ขนาดโมเลกุล	ใหญ่กว่า	เล็กกว่า
6. ปริมาณในเซลล์	น้อยกว่า	มากกว่า DNA 5-10 เท่า
7. หน้าที่	- เป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ - เป็นต้นแบบในการสังเคราะห์โปรตีน	- เป็นสารพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น ไวรอยด์ และไวรัสที่ทำให้เกิดไข้หวัดใหญ่ (Influenza), โปลิโอ (Polio virus), SARS, ไข้หวัดนก, เอดส์ (ADIS), ใบด่างของยาสูบ (Tobacco mosaic virus) และ Ebola เป็นต้น - เป็นหน่วยปฏิบัติงานในการสังเคราะห์โปรตีน

ชนิดของ RNA

RNA เป็นกรดนิวคลีอิกชนิดหนึ่ง ซึ่ง RNA มีหลายชนิด เช่น

1. mRNA (messenger RNA)
2. rRNA (ribosomal RNA)
3. tRNA (transfer RNA)

RNA ชนิดต่างๆ นี้ สังเคราะห์จาก DNA ในนิวเคลียส โดยกระบวนการที่เรียกว่า ทรานสคริบชัน (transcription)

RNA ชนิดต่างๆ จะมีปริมาณ ขนาดโมเลกุล และหน้าที่ต่างๆ ดังตาราง

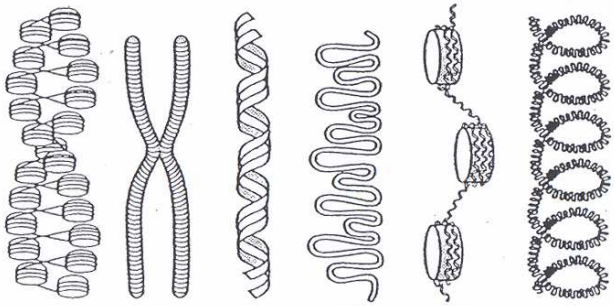
ชนิดของ RNA	ปริมาณในเซลล์	ขนาดโดยประมาณ (นิวคลีโอไทด์)	หน้าที่
1. rRNA	80-85% (มากสุด)	120-5,000 (ปานกลาง)	1. เป็นองค์ประกอบของไรโบโซม 2. เป็นแหล่งยึดของ RNA ในกระบวนการแปลงรหัส (Translocation) เมื่อมีการสังเคราะห์โปรตีน
2. tRNA	10-15%	75-90 (น้อยสุด)	1. เป็นตัวถอดรหัสพันธุกรรมบน mRNA ออกมาเป็นลำดับกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์ เนื่องจากปลายด้านหนึ่งของ tRNA มีนิวคลีโอไทด์ 3 หน่วยเป็น **Anticodon** ที่สัมพันธ์กับรหัสพันธุกรรม (Codon) ใน mRNA 2. เป็นตัวนำกรดอะมิโนไปยังแหล่งสร้างโปรตีน โดยกรดอะมิโนแต่ละชนิดจะมี tRNA ของตัวเอง ซึ่งในธรรมชาติกรดอะมิโนมี 20 ชนิด แต่ tRNA มีประมาณ80-100 ชนิด ดังนั้นกรดอะมิโนบางชนิดจึงมี tRNA ได้มากกว่า 1 ชนิด
3. mRNA	5-10%	ไม่แน่นอน	เป็นตัวนำข้อความพันธุกรรมจาก DNA มายังไซโทพลาซึมเพื่อเป็นต้นแบบสังเคราะห์พอลิเพปไทด์ดังนั้นในโมเลกุล mRNA จึงประกอบด้วยรหัสพันธุกรรม (Codon)

แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ
DNA และ RNA

1. เซลล์เกือบทุกเซลล์ในสัตว์ตัวหนึ่งมีขีนเหมือนกัน แต่ละเซลล์จะแตกต่างเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ เพราะเซลล์เหล่านั้นสร้างอะไรแตกต่างกัน
   1. โมเลกุล rRNA 2. โมเลกุล mRNA 3. โมเลกุล tRNA 4. ไรโบโซม
2. Codon และ Adticodon จะเป็นชื่อเรียกโครงสร้างในโมเลกุลสารใด

	Codon	Anticodon
1.	mRNA	tRNA
2.	DNA	mRNA
3.	rRNA	DNA
4.	DNA	tRNA

3. ในการวิเคราะห์เบสของ DNA ในสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งพบว่า
   ก. G + T/A + C = 1.01 ข. G + C/A + T = 1.52 ค. G + A/C + T = 0.99
   โครงสร้าง DNA นี้เป็นอย่างไร
   1. DNA สายคู่ ซึ่งมีเบส GC ประมาณ 60%
   2. DNA สายเดี่ยว ซึ่งมีเบส GC มากกว่า AT ประมาณ 1.5 เท่า
   3. DNA สายเดี่ยว เพราะมีปริมาณเบสไม่สมดุลกัน โดยมีเบสพิวรีนมากกว่าไพริมิดีน
   4. DNA สายคู่ เพราะเป็นไปตามกฎโดยมีเบสพิวรีนมากกว่าไพริมิดีน ประมาณ 1.5 เท่า
4. ในหลอดทดลองที่มี Double helix DNA ถ้าต้องการให้เกิดปฏิกิริยาจนกระทั่งได้ Nucleoside เอนไซม์ใดที่ไม่จำเป็นต้องใส่ในหลอดทดลอง
   1. เอนไซม์ที่ทำลายพันธะ Hydrogen 2. เอนไซม์ที่ทำลายพันธะ Phosphodiester
   3. เอนไซม์ที่ทำลายพันธะระหว่างเบสกับน้ำตาล 4. เอนไซม์ที่ทำลายพันธะระหว่างน้ำตาลกับฟอสเฟต
5. เรียงลำดับภาพแสดงการพันเกลียวของ DNA ไปเป็นโครโมโซม



   1. C, E, A, F, D, B 2. C, D, E, A, F, B
   3. C, A, D, E, F, B 4. C, E, A, D, F, B

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

การสังเคราะห์โปรตีน (Protein synthesis)

1. ขั้นตอนการสังเคราะห์โปรตีน

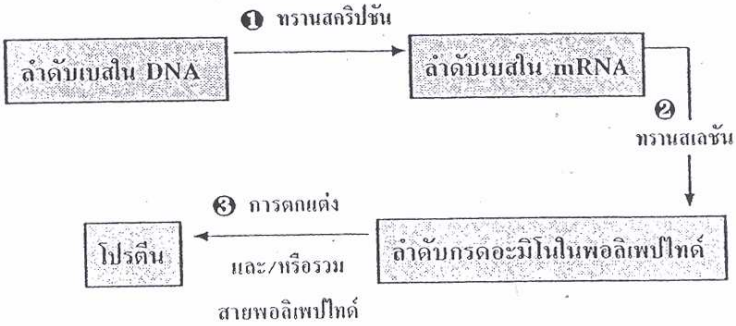
การสังเคราะห์โปรตีนเกิดในไซโทพลาซึม ซึ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. ทรานสคริปชัน (Transciption) เป็นกระบวนการสังเคราะห์ mRNA จาก DNA โดยลำดับเบสใน DNA จะถูกถอดออกมาเป็นลำดับเบสใน mRNA กระบวนการนี้เกิดในนิวเคลียส หลังจากนั้น mRNA จะถูกส่งออกไปยังไซโทพลาซึม

2. ทรานสเลชัน (Translation) เป็นกระบวนการถอดรหัสพันธุกรรมใน mRNA ออกมาเป็นลำดับกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์ (Polypeptide) โดยกระบวนการนี้เกิดในไซโทพลาซึม

3. การปรับตกแต่งโปรตีน (Modification) เป็นขั้นตอนที่พอลิเพปไทด์ที่สร้างขึ้นประกอบขึ้นจากกรดอะมิโนล้วน ๆ จะถูกปรับตกแต่งโดยกอลจิคอมเพลกซ์ให้เป็นโปรตีนที่ทำงานได้เหมาะสม เช่น อัดให้แน่น ดึงน้ำออกและสร้างคาร์โบไฮเดรตเพิ่มเติมเข้าไปเป็น Glycopretein หรือโดยร่างแหเอนโดพลาซึม หรือพอลิเพปไทด์มากกว่า 1 สาย จะรวมกันเป็นโปรตีน 1 โมเลกุล (Protein assembly)

สรุป



2. การสังเคราะห์โปรตีน

การสังเคราะห์โปรตีนเกี่ยวข้องกับสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. สิ่งจำเป็นในการสังเคราะห์โปรตีน ได้แก่
   - 1.1 กรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิด
   - 1.2 ไรโบโซม (rRNA + protein) ทำหน้าที่เป็นฐานรองรับสาย mRNA และ tRNA
   - 1.3 mRNA ทำหน้าที่ถอดรหัสพันธุกรรมจาก DNA เพื่อกำหนดลำดับกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์ที่จะสังเคราะห์ขึ้น ดังนั้นในโมเลกุล mRNA จึงประกอบด้วยรหัสพันธุกรรม (Codon)
   - 1.4 tRNA ชนิดต่าง ๆ ประมาณ 80 - 100 ชนิด ทำหน้าที่กระตุ้น และนำพากรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ไปเรียงตัวตามรหัสพันธุกรรมบน mRNA ที่พาดอยู่บนไรโบโซมและเป็นตัวแปลรหัสพันธุกรรมบน mRNA ที่พาดอยู่บนไรโบโซม
   - 1.5 เอนไซม์
     - Amino acid activating system
     - Peptide polymerase system
   - 1.6 ATP (หรือ GTP)
   - 1.7 Mg^{2+}, NH_4, K^+ และปัจจัยอื่น ๆ
2. การถอดรหัสพันธุกรรมจาก DNA (Transcription)
3. การแปลรหัสพันธุกรรม (translation) บน mRNA

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

3. ขั้นตอนต่าง ๆ ในการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์มีดังนี้

3.1. ทรานสคริปชัน (transcription)

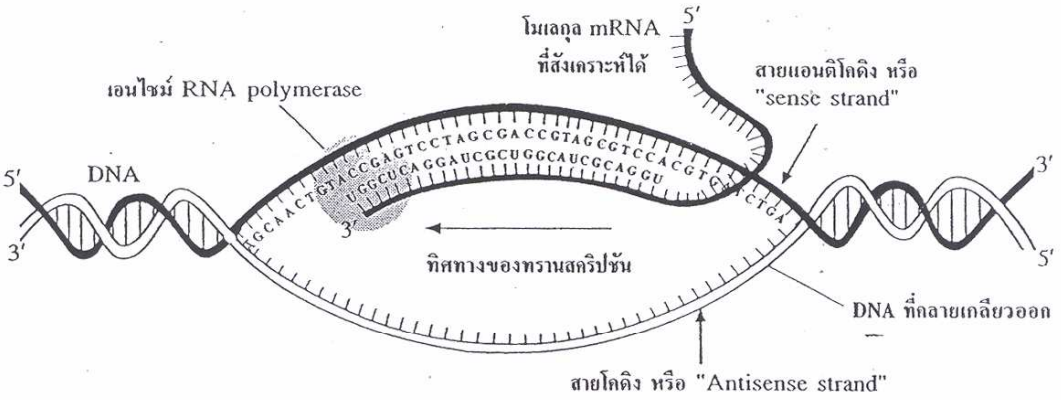
ทรานสคริปชันเป็นขั้นตอนการถอดรหัสพันธุกรรม โดยการที่ DNA ในนิวเคลียสสังเคราะห์ mRNA ขึ้นมา นั่นคือ ลำดับเบสของ DNA จะถูกถอดออกมาเป็นลำดับเบสใน mRNA ซึ่งเป็นรหัสพันธุกรรม นั่นคือ mRNA ที่ถูกสร้างขึ้นแล้วจะเคลื่อนที่ออกมายังไซโทพลาซึมของเซลล์

ในการสังเคราะห์ mRNA จาก DNA นี้ก็จะใช้พอลินิวคลีโอไทด์สายใดสายหนึ่งเป็นต้นแบบ สายที่ใช้เป็นต้นแบบสังเคราะห์ RNA นี้จะเรียกว่า "sense strand" ส่วนพอลินิวคลีโอไทด์สายที่ไม่ได้ใช้เป็นต้นแบบ เรียกว่า "antisense strand" หรือสายโคดิง (Coding strand) หรือสายแอนติโคดิง (Anticoding)

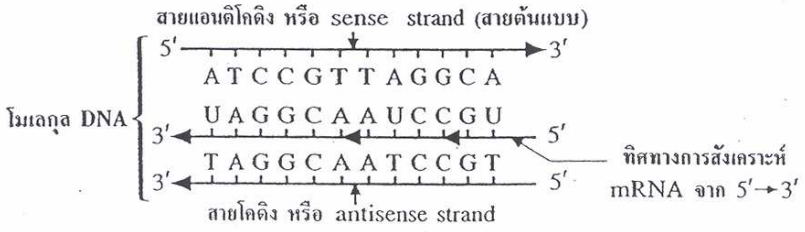
ทรานสคริปชัน มีขั้นตอนดังนี้

1. DNA คลายเกลียวออกจากกันเฉพาะตำแหน่งที่เป็นยีนเด่นที่จะแสดงออก โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างคู่เบส A กับ T และ C กับ G จะสลายไปโดยการทำงานของเอนไซม์เฮลิเคส (Helicase)

2. เมื่อ DNA คลายเกลียวแยกจากกันแล้ว จะมีการนำนิวคลีโอไทด์ของ RNA เข้าจับกับเบสของสายที่ใช้เป็นต้นแบบ (Sense strand) หรือสายแอติโคดิง (anticoding) โดยมีการจับคู่กันแบบเดียวกับ DNA แต่ใน mRNA ไม่มี T มีแต่ U ดังนั้น ถ้าเบสของ DNA เป็น A นิวคลีโอไทด์ของ mRNA ที่เข้าไปจับจะเป็น U และการสังเคราะห์ mRNA นี้จะเริ่มปลาย 3′ ไปยัง 5′ ของ DNA ดังนั้น การสังเคราะห์โมเลกุลของ mRNA จึงเริ่มจากปลาย 5′ ไปยังปลาย 3′ นิวคลีโอไทด์ ของ mRNA จะเชื่อมต่อกันโดยอาศัยเอนไซม์ชื่อ อาร์เอ็นเอ พอลิเมอเรส (RNA polymerase)



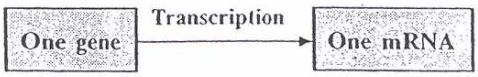
ภาพแสดงการสังเคราะห์ mRNA จาก DNA



ภาพแสดงการใช้พอลินิวคลีโอไทด์ของ DNA เป็นแม่พิมพ์ในการสร้าง mRNA

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

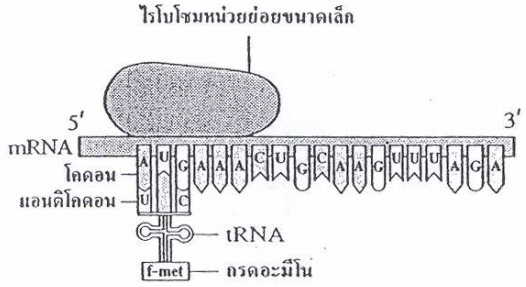
3. โมเลกุล mRNA ที่สังเคราะห์ขึ้นจะเคลื่อนออกจากนิวเคลียสไปยังไซโทพลาซึมและขณะเดียวกัน DNA บริเวณคลายเกลียวก็จะพันรอบกันตามเดิม ดังนั้นจะเห็นได้ว่า บริเวณคลายเกลียวของ DNA ที่เป็นต้นแบบสร้าง RNA ชนิดหนึ่ง ก็คือ ตำแหน่งที่เป็นยีนเด่น 1 ยีนนั่นเอง นั่นคือ



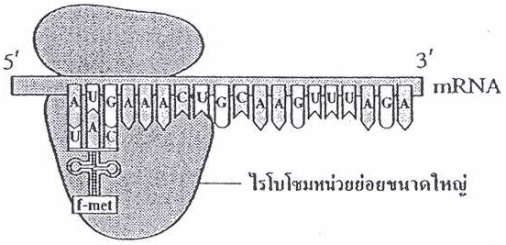
3.2 ทรานสเลชัน (Translation)

ทรานสเลชันเป็นขั้นตอนการแปลรหัสพันธุกรรมใน mRNA ออกมาเป็นลำดับกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการดังนี้

3.2.1 *กระบวนการเริ่มต้น (initiation)*

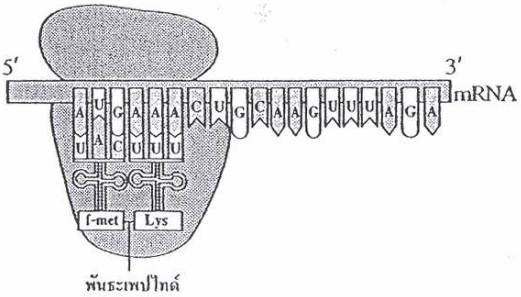


1. ไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดเล็ก (small subunit) และปัจจัยเริ่มต้น ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามาจับกับ mRNA
2. กรดอะมิโนเมไทโอนีนที่มีหมู่ฟอร์มิลที่ปลายสุด (N-formylmethionine : f-met) เป็นกรดอะมิโนตัวแรกที่ tRNA นำมายังรหัสหรือโคดอนเริ่มต้น AUG ทางปลาย 5′ ของ mRNA

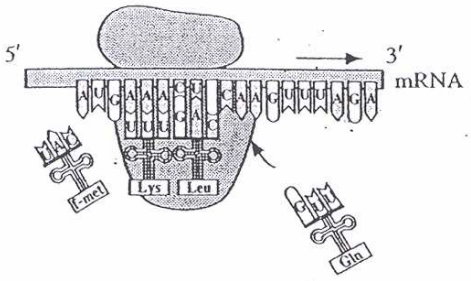


3. ไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดใหญ่ (large-subunit) จะเข้าประกบกับไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดเล็ก จึงทำให้เกิดเป็นไรโบโซมสมบูรณ์พร้อมจะทำหน้าที่ต่อไป

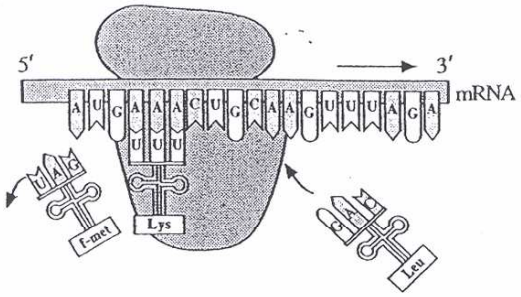
3.2.2 *กระบวนการต่อสายพอลิเพปไทด์ (elongation)*



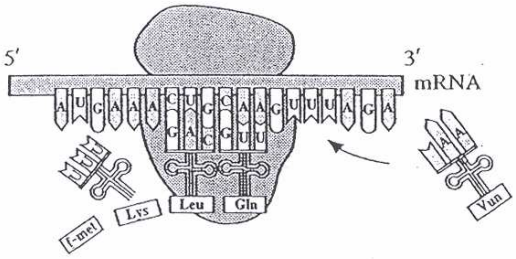
1. tRNA โมเลกุลที่ 2 ที่มีแอนติโคดอนเข้าคู่กับโคดอนถัดไปของ mRNA นำกรดอะมิโนตัวที่ 2 เข้ามาเชื่อมกับกรดอะมิโนตัวแรก แล้วสร้างพันธะเพปไทด์เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนทั้งสอง ได้เป็นไดเพปไทด์ (dipeptide)



2. ไรโบโซมจะเคลื่อนที่ไปยังโคดอนถัดไปในทิศทางจาก 5′ ไป 3′ tRNA โมเลกุลแรกจะหลุดออกไป

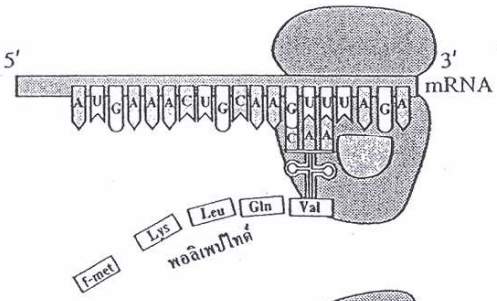


3. tRNA โมเลกุลที่ 3 ที่มีแอนติโคดอนเข้าคู่กับโคดอนลำดับถัดไป นำกรดอะมิโนตัวที่ 3 เข้าจับกับ mRNA ตรงโคดอนที่ว่าง แล้วสร้างพันธะเพปไทด์ระหว่างกรดอะมิโนตัวที่ 2 กับกรดอะมิโนตัวที่ 3 ได้เป็นไตรเพปไทด์ (tripeptide)

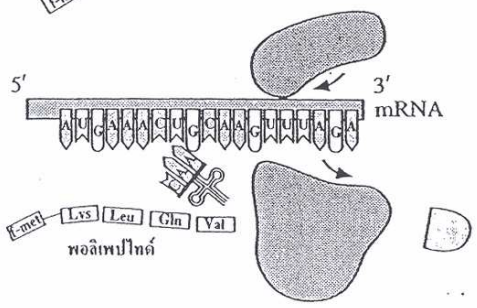


4. ไรโบโซมจะเคลื่อนที่ต่อไปทีละโคดอนตามลำดับและกระบวนการต่าง ๆ จะดำเนินต่อไปเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น จะได้สายที่มีกรดอะมิโนต่อกันเป็นสายยาว เรียกว่า พอลิเพปไทด์ (polypeptide)

3.2.3 *กระบวนการสิ้นสุดการสังเคราะห์ (Termination)*



1. เมื่อไรโบโซมเคลื่อนที่ต่อไปบน mRNA จนพบกับโคดอนหยุดการสร้าง (Stop codon) ได้แก่ UAA, UAG และ UGA รหัสใดรหัสหนึ่งจะไม่มี tRNA เข้ามาจับกับรหัส หยุดทำให้หยุดการแปลรหัส



2. พอลิเพปไทด์จับกับ tRNA ตัวสุดท้ายจะถูกตัดออกและแยกออกจากกันไป
3. ไรโบโซมหน่วยย่อยขนาดเล็กและหน่วยย่อยขนาดใหญ่จะแยกออกจากกัน และ mRNA จะหลุดออกจากไรโบโซม

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

สรุปขั้นตอนทรานสเลชัน

1. ไรโบโซมจะแยกออกเป็น 2 หน่วยย่อย (subunit) แล้วปลายด้าน 5′ ของ mRNA จะเข้าเกาะกับไรโบโซมหน่วยย่อยเล็ก (small subnit) ก่อน

2. tRNA โมเลกุลแรกที่นำกรดอะมิโนมาจะเข้าจับกับ mRNA ในไรโบโซม โดยอ่านรหัสพันธุกรรมบน mRNA ครั้งละ 3 นิวคลีโอไทด์ รหัสตัวแรกบน mRNA ทุกชนิดเหมือนกันหมด คือ AUG เรียกว่า ***initiating codon***

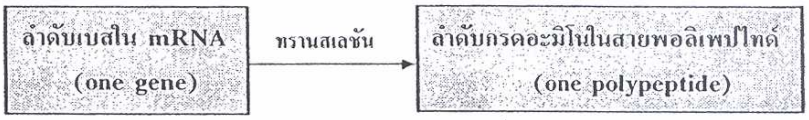
3. ไรโบโซมหน่วยใหญ่ (large subunit) เข้าไปรวม แล้ว tRNA โมเลกุลที่สองจะเข้าอ่านรหัสพันธุกรรมรหัสต่อมาบน mRNA

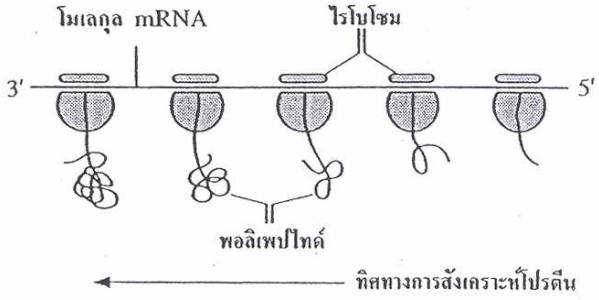
4. โปรตีนในไรโบโซมจะกระตุ้นให้เกิดพันธะเพปไทด์ระหว่างกรดอะมิโนตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ที่ tRNA นำมาพร้อมทั้งกรดอะมิโนตัวที่ 1 หลุดจาก tRNA และ tRNA โมเลกุลแรกจะหลุดออกจาก mRNA

5. ไรโบโซมจะเคลื่อนต่อไปบน mRNA โดยเคลื่อนจากปลาย 5′ ไปยังปลาย 3′ tRNA โมเลกุลใหม่จึงเข้าจับกับ mRNA ต่อไป แล้วมีการสร้างพันธะเพปไทด์ระหว่างกรดอะมิโนที่ tRNA นำมาอีก เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จึงได้สายพอลิเพปไทด์ที่มีลำดับของกรดอะมิโนตามรหัสบน mRNA

6. เมื่อไรโบโซมเคลื่อนที่ไปพบรหัสที่ทำหน้าที่หยุดการสังเคราะห์โปรตีนบน mRNA ได้แก่ รหัส UAA, UGA หรือ UAG ไรโบโซมก็จะแยกออกมาจาก mRNA การสังเคราะห์พอลิเพปไทด์จึงสิ้นสุดลง

ในการสังเคราะห์พอลิเพปไทด์นี้ mRNA แต่ละโมเลกุลอาจจะพาดเกาะอยู่บนไรโบโซมหลายๆ ไรโบโซม แต่ละไรโบโซมจะทำการสังเคราะห์สายของพอลิเพปไทด์ 1 สาย กลุ่มของไรโบโซมเหล่านี้เรียกว่า พอลิไรโบโซม (polyribosome) เนื่องจากในปัจจุบันมีกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง ทำให้สามารถมองเห็นภาพของกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนของใยไหมได้

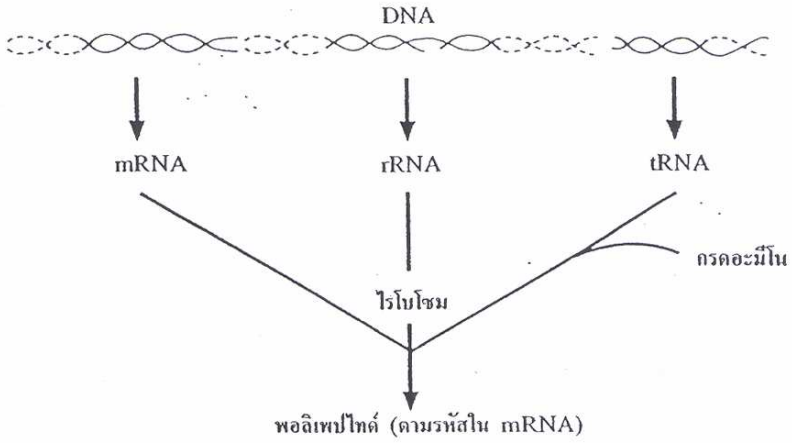




ภาพไรโบโซมหลายตัวเกาะบน mRNA (polyribosome) โดยไรโบโซมอันหนึ่งจะสร้างพอลิเพปไทด์ 1 สาย

ข้อควรทราบเพิ่มเติม

การสร้างพอลิเพปไทด์ของเซลล์ชนิดต่าง ๆ และสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ นั้นใช้กระบวนการเดียวกันหมด ยกเว้น gramicidins ซึ่งเป็นพอลิเพปไทด์ขนาดเล็ก (10 กรดอะมิโน) ซึ่งสังเคราะห์โดยแบคทีเรียบางชนิด จะไม่ใช้ไรโบโซม



ภาพแผนภูมิแสดงการสังเคราะห์พอลิเพปไทด์ จากการทำงานร่วมกันของหน่วยต่าง ๆ

รหัสพันธุกรรม (genetic code หรือ codon)

รหัสพันธุกรรม 1 รหัส ประกอบด้วยเบส 3 โมเลกุล (triplet code) ซึ่งเป็นรหัสสำหรับกรดอะมิโน 1 โมเลกุล ดังนั้นจึงมีรหัสพันธุกรรมทั้งหมด 64 รหัส แต่ใช้เป็นรหัสพันธุกรรมสำหรับกรดอะมิโน 20 ชนิด เพียง 61 รหัสเท่านั้น ดังนั้นกรดอะมิโน 1 ชนิด สามารถมีรหัสพันธุกรรมได้มากกว่า 1 รหัส และจากการศึกษาพบว่า รหัสเริ่มต้น (initiating codon) ในการสังเคราะห์พอลิเพปไทด์ คือ AUG ซึ่งเป็นรหัสสำหรับกรดอะมิโนเมไทโอนีน และรหัสอีก 3 รหัส คือ UAA, UGA และ UAG ซึ่งไม่เป็นรหัสของกรดอะมิโนใด ๆ แต่เป็นรหัสสำหรับหยุดการสังเคราะห์พอลิเพปไทด์ เมื่อพบรหัสเหล่านี้ใน mRNA การแปลรหัสจะสิ้นสุดลง เรียกรหัสนี้ว่า terminating codon (terminator)

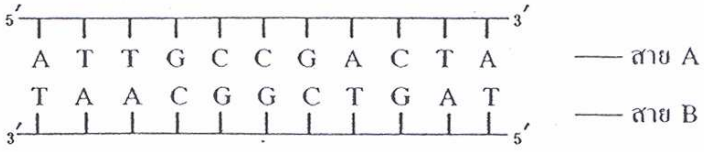
รหัสพันธุกรรมใน mRNA แต่ละรหัสประกอบด้วยเบส 3 โมเลกุลเรียงต่อกัน (triplet) เราเรียกแต่ละรหัสว่า โคดอน (codon)

ในการสังเคราะห์พอลิเพปไทด์ tRNA จะเป็นตัวนำกรดอะมิโนมายัง mRNA โดย tRNA จะเข้าจับกับ mRNA โดย tRNA แต่ละโมเลกุลจะมีเบส 3 โมเลกุลอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งของโมเลกุลที่จะเข้าคู่ (complementary) กับโคดอนของ mRNA เช่น tRNA ที่มี anticodon เป็น CGU จะเข้าคู่จำเพาะ กับ codon GCA บน mRNA โดยยึดหลัก A จับคู่กับ U และ C จับคู่ G นั่นเอง

Tutor Channel
on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

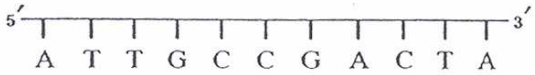
แบบทดสอบวัดทักษะวิชาการ
การสังเคราะห์โปรตีน

1. โมเลกุลของ DNA สายคู่ในภาพ กำหนดให้สายบนเป็นสาย A และสายล่างเป็นสาย B จงตอบคำถามต่อไปนี้

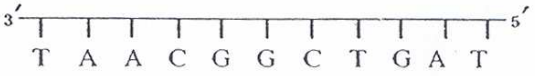


เมื่อมีการถอดรหัส (Transcription) โดยที่ RNA polymerase เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา จะได้

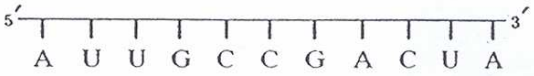
1. DNA สายเดี่ยวที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ เป็น



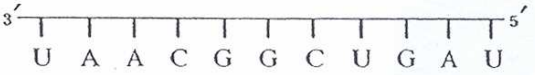
2. DNA สายเดี่ยวที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ เป็น



3. RNA สายเดี่ยวที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ เป็น



4. RNA สายเดี่ยวที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ เป็น



2. ถ้าลำดับเบสบน mRNA สายหนึ่งเป็น 3′ GCA-GCC 5′ ลำดับและชนิดของกรดอะมิโนที่แปลมาจากรหัสบน mRNA คือข้อใด

tRNA anticodon	กรดอะมิโน	tRNA anticodon	กรดอะมิโน
GGC	Proline	CGU	Alanine
UGC	Threonine	CCG	Glycine
ACG	cysteine	CGG	alanine

1. Cysteine-alanine 2. Threonine-proline 3. Proline-threonine 4. Alanine-alanine

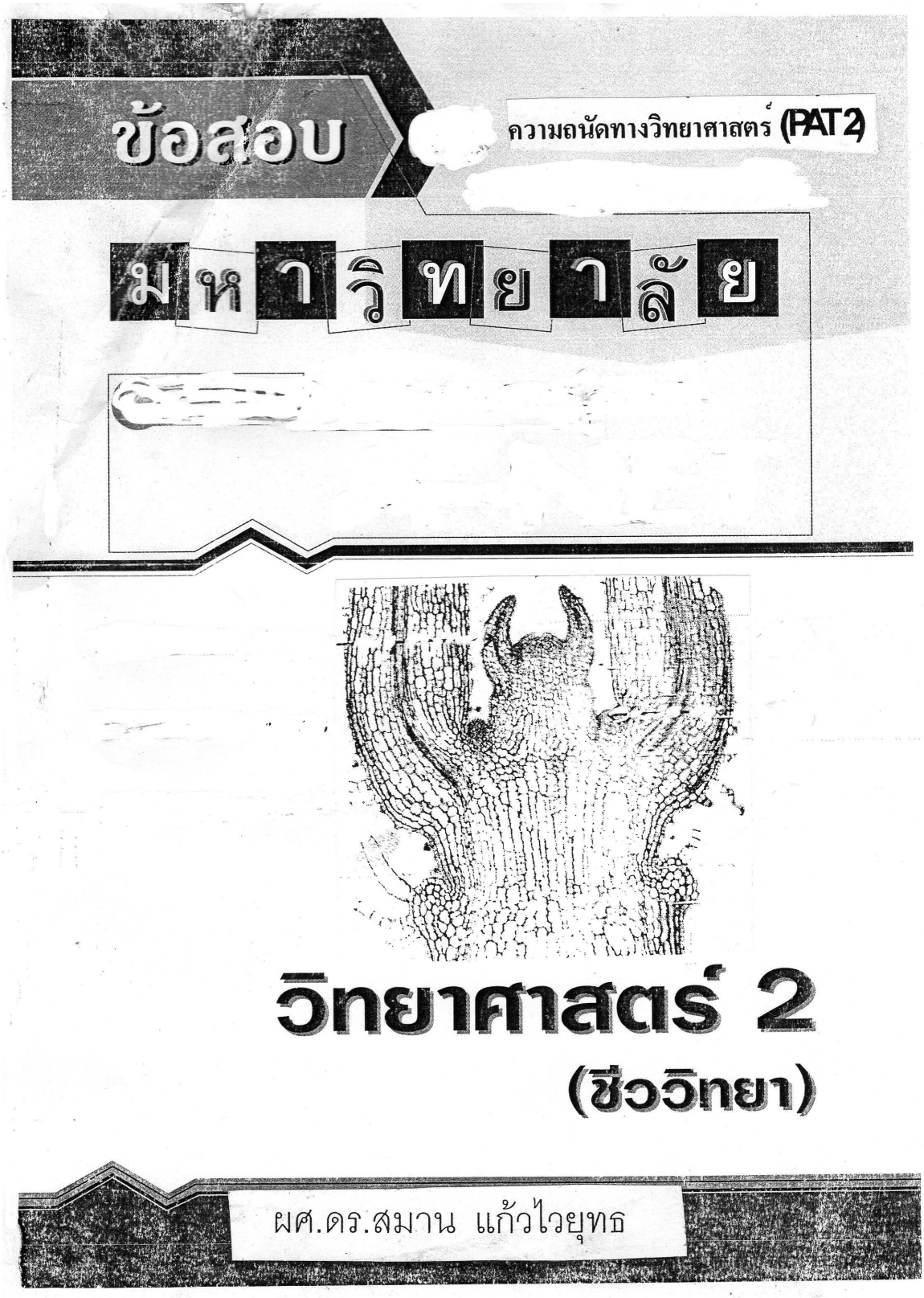
3. DNA สายหนึ่งมีลำดับเบส ดังภาพ

5′ CCCCTAAGAATAGATGGGCATGGG 3′

สารพอลิเพปไทด์ที่สร้างขึ้นจากข้อมูล DNA นี้ประกอบด้วยกรดอะมิโนกี่โมเลกุล

1. 5 2. 6 3. 7 4. 8

Tutor Channel on Tour ยโสธร ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ


ข้อสอบ
ความถนัดทางวิทยาศาสตร์ (PAT 2)
มหาวิทยาลัย
วิทยาศาสตร์ 2
(ชีววิทยา)
ผศ.ดร.สมาน แก้วไวยุทธ

1. สิ่งที่กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอแตกต่างจากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบธรรมดาคือข้อใด

ก. ใช้ศึกษาได้ทั้งวัตถุโปร่งแสงและทึบแสง
ข. เลนส์ใกล้วัตถุมีกำลังขยายน้อยกว่า 4X
ค. ภาพที่เห็นเป็นภาพ 3 มิติ และเป็นภาพจริง

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

2. เซลล์ของสิ่งมีชีวิตในข้อใด ไม่พบ ไลโซโซม

ก. กล้ามเนื้อลาย
ข. ตับ
ค. เม็ดเลือดแดงของคน
ง. สาหร่ายหางกระรอก

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

3. การลำเลียง Na^+ และ K^+ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทขณะถูกกระตุ้นเกิดโดยวิธีใด

1. การลำเลียงแบบใช้พลังงาน 2. การแพร่
3. การแพร่แบบฟาซิลิเทต 4. เอนโดไซโทซิส

4. ข้อใดถูก เกี่ยวกับระบบย่อยอาหารของคน

1. โปรตีนถูกย่อยในกระเพาะอาหารโดยเอนไซม์จากกระเพาะอาหารและตับอ่อน
2. ตับอ่อนสามารถสร้างเอนไซม์ย่อยอาหารได้ทุกชนิด
3. เกลือน้ำดี ทำให้ไขมันแตกเป็นหยดเล็กๆ และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันกับกลีเซอรอล
4. อาหารทุกชนิดที่ย่อยแล้ว จะลำเลียงเข้าหลอดเลือดฝอยที่เซลล์วิลลัสของลำไส้เล็ก หัวใจ และ ตับ ตามลำดับ

5. ถ้าอากาศภายนอกเย็นลง ร่างกายของคนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพื่อรักษาอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่

ก. กระตุ้นปฏิกิริยาการสลายสารอาหาร
ข. ขับปัสสาวะน้อยลง เพื่อเก็บความร้อนไว้ในร่างกาย
ค. หลอดเลือดฝอยที่ผิวหนังขยายตัว

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

6. การลำเลียงกลูโคสจากทางเดินอาหาร ไปยังเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ต้องผ่านอวัยวะใดตามลำดับ

1. ลำไส้เล็ก $\longrightarrow$ ตับ $\longrightarrow$ หัวใจ $\longrightarrow$ ปอด $\longrightarrow$ หัวใจ $\longrightarrow$ กล้ามเนื้อหัวใจ
2. ลำไส้เล็ก $\longrightarrow$ หัวใจ $\longrightarrow$ ปอด $\longrightarrow$ หัวใจ $\longrightarrow$ กล้ามเนื้อหัวใจ
3. ลำไส้เล็ก $\longrightarrow$ หัวใจ $\longrightarrow$ กล้ามเนื้อหัวใจ
4. ลำไส้เล็ก $\longrightarrow$ ตับ $\longrightarrow$ หัวใจ $\longrightarrow$ กล้ามเนื้อหัวใจ

7. กรณีในข้อใดที่ทำให้ทารกในครรภ์คนที่ 2 มีโอกาสเกิดอีรีโทรบลาสโทซิสฟีทาลิส

1. แม่มีหมู่เลือด Rh^+ ทารกในครรภ์คนแรกมีหมู่เลือด Rh^+ คนที่ 2 มีหมู่เลือด Rh^-
2. แม่มีหมู่เลือด Rh^+ ทารกในครรภ์คนแรก และ คนที่ 2 มีหมู่เลือด Rh^-
3. แม่มีหมู่เลือด Rh^- ทารกในครรภ์คนแรกมีหมู่เลือด Rh^- คนที่ 2 มีหมู่เลือด Rh^+
4. แม่มีหมู่เลือด Rh^- ทารกในครรภ์คนแรก และ คนที่ 2 มีหมู่เลือด Rh^+

8. สัตว์ในข้อใดที่ระยะเอ็มบริโอมีการสร้างถุงแอลแลนทอยส์ และถุงนี้ทำหน้าที่อะไร

1. กบ แลกเปลี่ยนแก๊สกับภายนอก
2. ไก่ เก็บสะสมอาหารและของเสียพวกกรดยูริก
3. กบ เก็บสะสมอาหารและแลกเปลี่ยนแก๊ส
4. ไก่ แลกเปลี่ยนแก๊สและเก็บของเสียพวกกรดยูริก

9. คำในข้อใดมีความเกี่ยวข้องกันน้อยที่สุด

1. ต่อมพาราไทรอยด์	แคลเซียม	กระดูก
2. ต่อมใต้สมองส่วนหลัง	โพรเจสเทอโรน	มดลูก
3. ลำไส้เล็ก	ซีครีทิน	ตับอ่อน
4. ต่อมหมวกไต	แอลโดสเตอโรน	ไต

10. สมองส่วนใดของคน เมื่อถูกทำลายแล้วมีผลทำให้การควบคุมการหายใจผิดปกติ

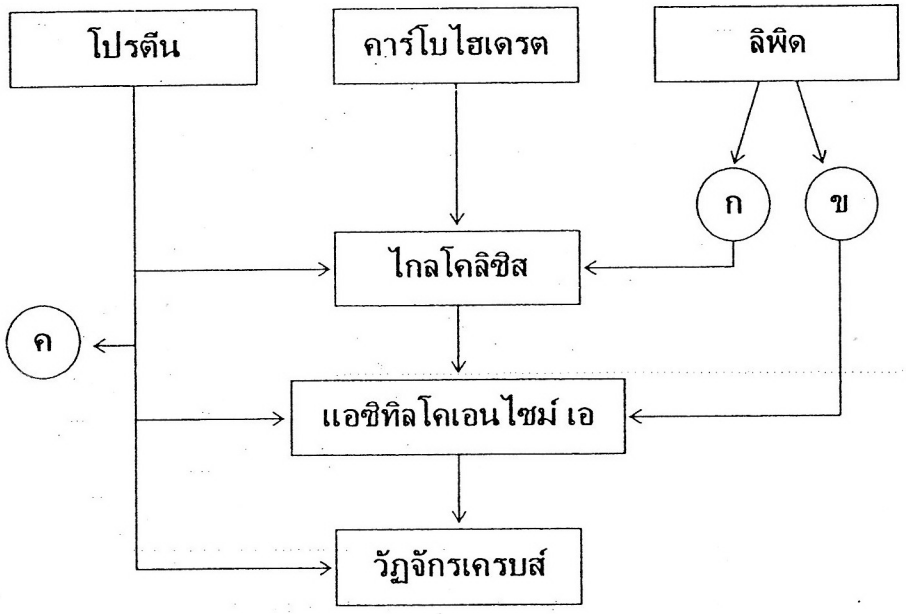
ก. เมดัลลาออบลองกาตา
ข. พอนส์
ค. เซรีบรัม

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

11. ม่านตา เป็นส่วนใดของนัยน์ตาคน

1. สเคลอรา 2. เรตินา
3. โครอยด์ 4. กล้ามเนื้อยึดเลนส์

12. แผนภาพ กระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์



ก ข และ ค คืออะไร ตามลำดับ

1. กรดไขมัน กลีเซอรอล NH_2^-
2. กรดไขมัน กลีเซอรอล NH_3
3. กลีเซอรอล กรดไขมัน NH_2^-
4. กลีเซอรอล กรดไขมัน NH_3

13. ข้อใดไม่ถูกต้อง

1. พลังงานที่ได้จากวัฏจักรเครบส์ ถูกเก็บไว้ในรูปของ NADH, $FADH_2$ และ ATP
2. เมื่อแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ ผ่านวัฏจักรเครบส์แล้วจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
3. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล ให้กรดไพรูวิก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ NADH อย่างละ 2 โมเลกุล
4. NADH และ $FADH_2$ ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยมีตัวให้อิเล็กตรอนอยู่ที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

14. ถ้าปีกยาวของแมลงหวี่เป็นลักษณะเด่น ปีกสั้นเป็นลักษณะด้อย และลำตัวสีเทาเป็นลักษณะเด่น ลำตัวสีดำเป็นลักษณะด้อย ในการผสมพันธุ์ระหว่างแมลงหวี่ปีกยาวตัวสีเทา กับแมลงหวี่ปีกสั้นตัวสีดำ ให้ลูกทั้งหมด 48 ตัว เป็นลักษณะปีกยาวตัวสีเทา 26 ตัว คาดว่าจะมีลูกลักษณะปีกสั้นตัวสีดำประมาณกี่ตัว

1. 13 ตัว
2. 9 ตัว
3. 3 ตัว
4. 1 ตัว

15. ข้อใดไม่ใช่ส่วนประกอบของโครโมโซม

1. ดีเอ็นเอ
2. ฮีสโตน
3. นิวคลีโอโซม
4. ไรโบโซม

16. ข้อใดสอดคล้องกับกฎแห่งการแยกของเมนเดล

1. เกิดจากการแยกของอัลลีลที่เป็นคู่กันในระยะไมโอซิส II
2. ยีนแต่ละคู่ที่แยกออกจากกันมารวมกลุ่มกันในเซลล์สืบพันธุ์
3. ยีน 2 คู่ที่มีความอิสระในการรวมกัน จะอยู่บนโครโซมต่างคู่กัน
4. เซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะได้รับโครโมโซม 1 แท่งจากฮอมอโลกัสโครโมโซมแต่ละคู่

17. ข้อใดไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้การผสมพันธุ์ถั่วลันเตาของเมนเดลประสบความสำเร็จจนทำให้เขาค้นพบ หลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

1. ถั่วลันเตามีหลายลักษณะในพันธุ์เดียวกัน และสามารถแยกแยะลักษณะออกได้ชัดเจน
2. ลักษณะของถั่วลันเตาทั้ง 7 ประการที่เมนเดลศึกษา อยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกัน
3. ดอกถั่วลันเตาเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ผสมพันธุ์ในดอกเดียวกัน
4. ถั่วลันเตาเป็นพืชอายุสั้น ปลูกง่าย โตเร็ว

18. ตารางรหัสพันธุกรรม

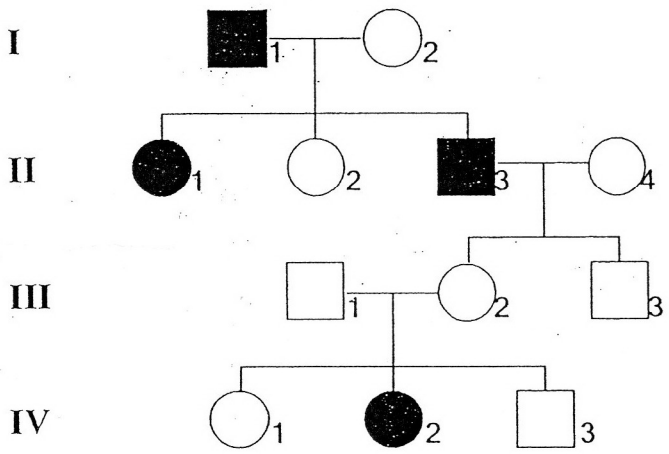
นิวคลีโอไทด์ลำดับที่ 2

นิวคลีโอไทด์ลำดับที่ 1	U	C	A	G	นิวคลีโอไทด์ลำดับที่ 3
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	Stop	Stop	A
	Leu	Ser	Stop	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

จากตาราง มิวเทชันที่ทำให้เบสลำดับที่ 5 ของ mRNA ที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ 5' AUGCACGUAA 3' หายไป จะส่งผลถึงสายพอลิเพปไทด์ที่ถูกสร้างขึ้นจาก mRNA นี้อย่างไร

1. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดของกรดอะมิโน
2. ชนิดของกรดอะมิโนในโคดอนที่ 2 เปลี่ยนแปลงไป
3. ทำให้สายพอลิเพปไทด์นี้สั้นลง เนื่องจากมีการสร้างรหัสหยุด
4. ข้อ 2 และ ข้อ 3 ถูก

จากเพดดีกรี จงตอบคำถามข้อ 19 และ 20



19. ลักษณะผิดปกติที่แสดงออกนี้ น่าจะมีการถ่ายทอดโดยพันธุกรรมแบบใด

1. autosomal dominant
2. autosomal recessive
3. X–linked inheritance
4. multiple alleles

20. ถ้ากำหนดให้ลักษณะเด่นแทนด้วย A และลักษณะด้อยแทนด้วย a จีโนไทป์ของบุคคลที่ II, 2 และ III, 1 ควรจะเป็นอย่างไร ตามลำดับ

1. Aa และ Aa 2. AA และ Aa 3. Aa และ AA 4. aa และ aa

21. ข้อใดไม่ถูกต้อง

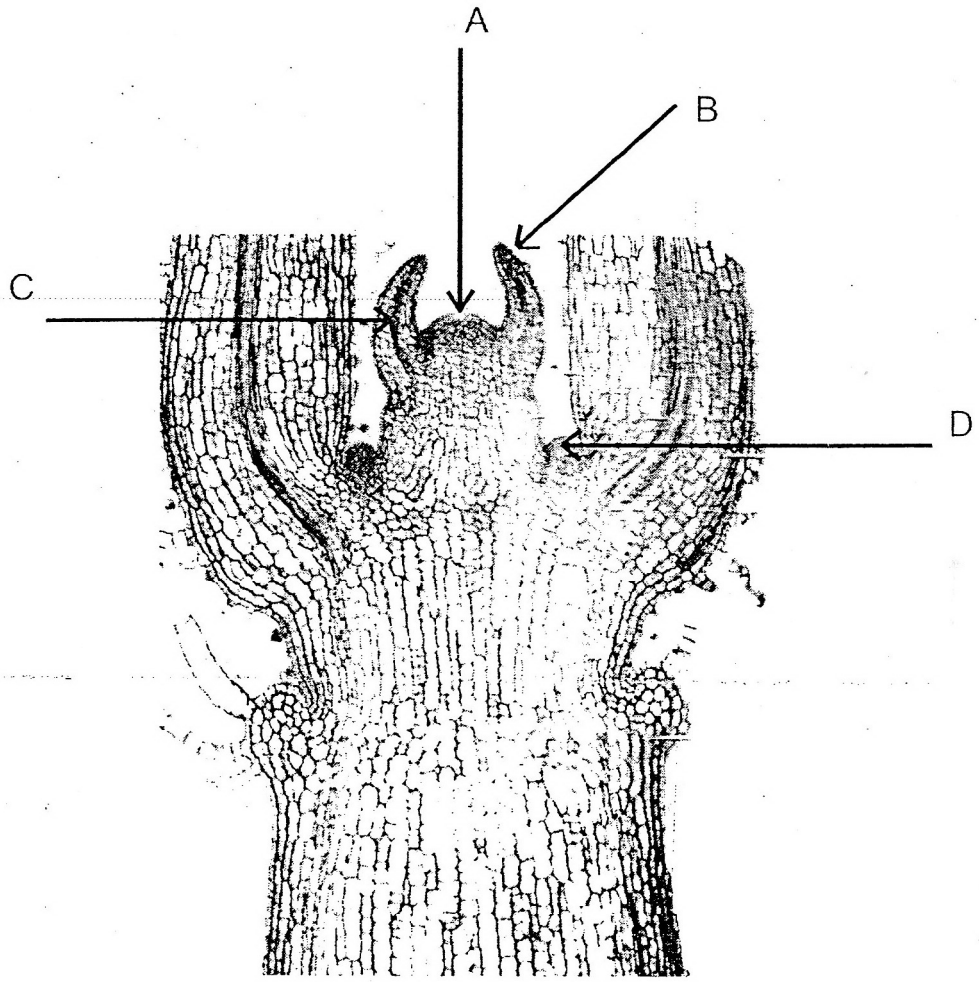
1. พีซีอาร์เป็นเทคนิคที่ใช้เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ จึงนับเป็นการโคลนยีนแบบหนึ่ง
2. เมื่อเอนไซม์ตัดจำเพาะตัดสายดีเอ็นเอแล้ว อาจทำให้สายที่ถูกตัดมีปลายเหนียวหรือปลายทู่ก็ได้ ขึ้นกับชนิดของเอนไซม์
3. ในการแยกดีเอ็นเอด้วยเจลอิเล็กโทรโฟริซิสนั้น ดีเอ็นเอที่มีขนาดใหญ่ มีประจุลบมาก จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกได้เร็วกว่าดีเอ็นเอที่มีขนาดเล็กกว่า
4. เราสามารถมองเห็นโมเลกุลดีเอ็นเอที่อยู่บนเจล หลังจากผ่านขั้นตอนเจลอิเล็กโทรโฟริซิสแล้ว โดยย้อมด้วยสีอีธิเดียมโบรไมด์ แล้วส่องด้วยแสงอัลตราไวโอเลต

22. ถ้า mRNA สายหนึ่งมีลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น 5' AUGACUCGAUAACUG 3'

ข้อใดถูกต้อง

1. ดีเอ็นเอสายแม่พิมพ์มีลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น 5' ATGACTCGATAACTG 3'
2. แอนติโคดอนมีลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น 5' ATGACTCGATAACTG 3'
3. โปรตีนที่ได้ มีกรดอะมิโน 3 ตัว
4. ข้อ 2 และ ข้อ 3 ถูก

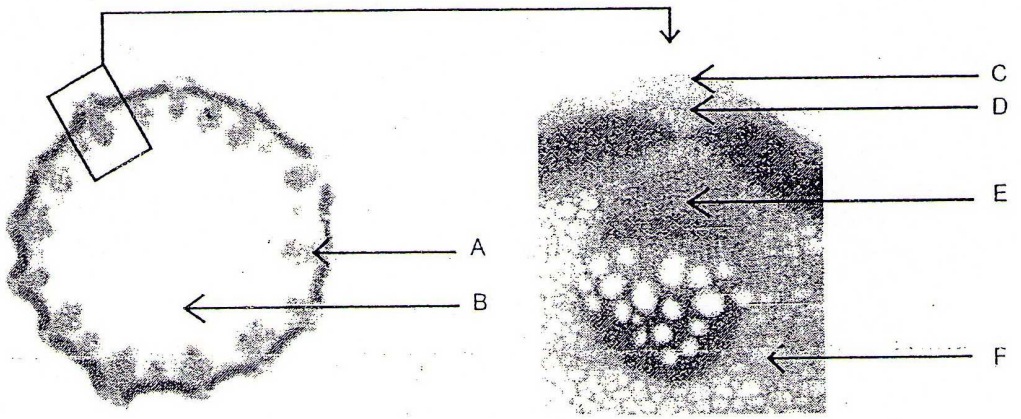
23. ภาพปลายยอดพืช



จากภาพ เนื้อเยื่อต้นกำเนิดใบ และเนื้อเยื่อต้นกำเนิดท่อลำเลียงคือบริเวณใด ตามลำดับ

1. A และ B
2. A และ C
3. B และ C
4. C และ D

24. ภาพลำต้นพืช



จากภาพ บริเวณใดเป็นเนื้อเยื่อพาเรงคิมา

1. B C และ D 2. B และ F 3. D และ E 4. B D และ F

25. ข้อใดถูก สำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคือ แก๊สออกซิเจน และ G3P (PGAL)
2. ในวัฏจักรคัลวิน RuBP สามารถตรึงได้ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ และ ออกซิเจน
3. Rubisco เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในพืช และพบในทุกเซลล์ที่มีชีวิตของพืช
4. เซลล์บันเดิลชีทของพืช C_4 มี PEP carboxylase และ Rubisco ช่วยกันตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

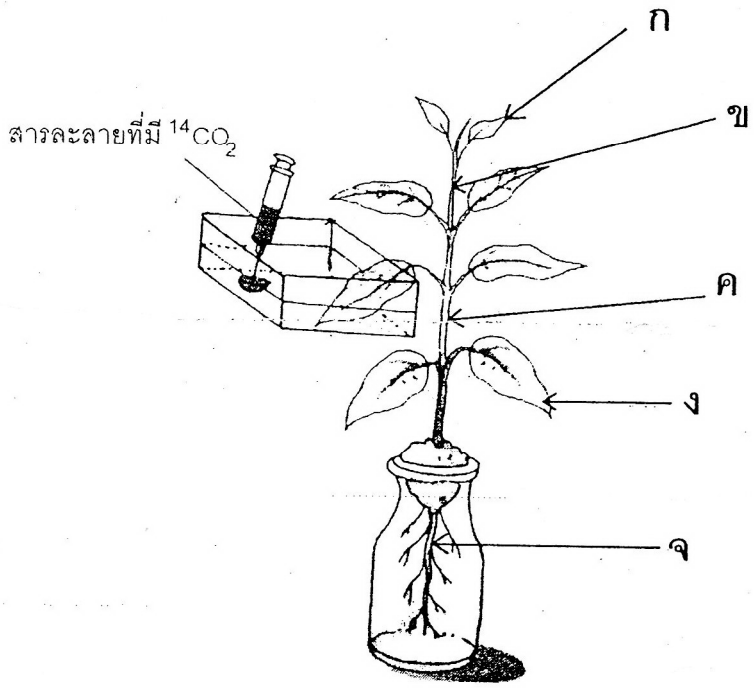
26. ข้อใดไม่ถูกต้อง

1. ในการสกัดสารสีจากใบคะน้ารวมกับใบโกสน ต้องใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด เพื่อแยกสารสีออกจากกันเป็น 2 กลุ่ม
2. คลอโรฟิลล์ เอ โมเลกุลพิเศษในระบบแสง สามารถให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงหากได้รับแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นเหมาะสม
3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรจนได้ NADPH นั้น ระบบแสง II รับอิเล็กตรอนมาจากการแตกตัวของน้ำ และ $NADP^+$ รับอิเล็กตรอนเป็นลำดับสุดท้าย
4. พืชมีสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงหลายชนิด แต่ละชนิดดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กัน แต่รวมทุกชนิดแล้วสามารถดูดกลืนแสงได้ทุกความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็น

27. ข้อใดไม่ถูกต้องการปรับตัวของพืชเพื่อรับแสง

1. เซลล์เอพิเดอร์มิสมีผนังด้านนอกโค้งนูนและหนา เคลือบด้วยสารคิวตินเพื่อช่วยรวมแสง
2. ช่องว่างใต้ปากใบ ช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ดี มีผลต่อการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
3. พืชที่ปลูกในที่ร่มมักจะมีใบหนา เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการรับแสง
4. การมีอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์เนื้อใบ และน้ำที่เคลือบผนังเซลล์ ทำให้แสงส่องผ่าน และสะท้อนไปยังทุกเซลล์ได้ดี

28. ทดลองปลูกพืชในสารละลายที่มีธาตุอาหารครบถ้วน แล้วให้สารละลายคาร์บอนไดออกไซด์ที่มี ^{14}C แก่ใบที่อยู่กลางๆ ลำต้น ดังภาพ



หลังจากให้พืชทดลองรับแสงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำส่วนต่างๆ ไปตรวจสอบหาสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ จะพบสารประกอบที่มี ^{14}C ที่ส่วนใดของพืช

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

29. ส่วนของพืชมีดอกที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ได้แก่

ก. อับเรณู
ข. อินเทกูเมนต์
ค. โพลานิวคลีไอ
ง. เอนโดสเปิร์ม

ส่วนใดมีโครโมโซมไม่เท่ากับ 2n

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

30. ตาราง การงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ได้มาจากแหล่งที่แตกต่างกัน 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

ถ้าพิจารณาจากดัชนีการงอก ควรเลือกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากแหล่งใดไปเพาะปลูก

1. แหล่งที่ 1 2. แหล่งที่ 2 3. แหล่งที่ 3 4. แหล่งที่ 4

31. ข้อใดเป็นลักษณะของพืชพวกมอส

ก. สร้างสปอร์ชนิดเดียว
ข. มีสปอโรไฟต์เด่นกว่าแกมีโทไฟต์
ค. มีอับสปอร์เป็นกลุ่ม
ง. แกมีโทไฟต์สร้างเซลล์สืบพันธุ์ 2 ชนิด

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

32. สัตว์ทุกชนิดในข้อใดที่มีสมมาตรแบบเดียวกัน

1. ปลิงทะเล กิ้งกือ และ พยาธิตัวตืด
2. แมงกะพรุน ทากเปลือย และ แมงดาทะเล
3. ฟองน้ำถูตัว หอยทาก และ กัลปังหา
4. หมึกกระดอง ปะการังอ่อน และ ทากดูดเลือด

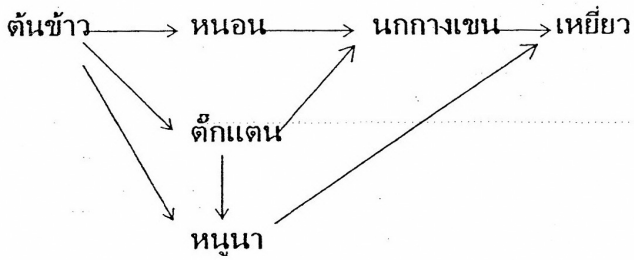
33. ในการศึกษาประชากรสัตว์ชนิดหนึ่ง ข้อใดมีโอกาสเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลน้อยที่สุด

1. ขนาดของพื้นที่ทั้งหมดที่ศึกษา
2. ความหนาแน่นประชากรเชิงนิเวศ
3. ความหนาแน่นประชากรอย่างหยาบ
4. ขนาดของพื้นที่ที่ประชากรนั้นอาศัยอยู่จริง

34. เถาวัลย์ที่พบในป่าดิบชื้นจัดเป็นไม้ในระดับใด

1. ไม้เรือนยอดชั้นบน
2. ไม้ยืนต้นชั้นบน
3. ไม้ชั้นกลาง
4. ไม้ชั้นล่าง

35. แผนภาพใยอาหาร



ผู้บริโภคลำดับ 2 ได้แก่สิ่งมีชีวิตใดบ้าง

1. หนูนา และ เหยี่ยว
2. นกกางเขน และ หนูนา
3. หนอน ตั๊กแตน และ หนูนา
4. หนูนา นกกางเขน และ เหยี่ยว

36. ข้อใดเป็นผลจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติที่สำคัญที่สุด

1. สมาชิกในประชากรมีลูกจำนวนไม่เท่ากัน
2. สมาชิกในประชากรมีโอกาสอยู่รอดได้ไม่เท่ากัน
3. สมาชิกในประชากรบางส่วนไม่สามารถมีลูกได้
4. สมาชิกในประชากรบางส่วนตายไปก่อนได้สืบพันธุ์

37. พฤติกรรมในข้อใดที่สิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลน้อยที่สุด

1. การเรียนรู้แบบฝังใจระหว่างลูกห่านกับแม่ห่าน
2. รีเฟล็กซ์แอกชันของการที่ขากระตุกเมื่อเคาะที่หัวเข่า
3. คางคกไม่กินผึ้งหรือแมลงที่มีลักษณะคล้ายผึ้ง
4. ปลาว่ายน้ำในลักษณะที่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์

38. ระบบนิเวศแบบใดที่ไม่พบในประเทศไทย

1. ป่าสน
2. ป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น
3. ทุ่งหญ้าสะวันนา
4. ทุนดรา

39. การปลูกพืชวงศ์ถั่วช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อย่างไร

1. เพิ่มสารอินทรีย์ให้แก่ดิน
2. เพิ่มธาตุไนโตรเจนให้แก่ดิน
3. ช่วยให้ดินสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น
4. เพิ่มประสิทธิภาพของดินในการดูดยึดธาตุอาหาร

40. เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบปฐมภูมิบนพื้นลาวาจากภูเขาไฟ สิ่งมีชีวิตที่จะเข้ามาอยู่ในพื้นที่นั้นได้เป็นกลุ่มแรกคือข้อใด

1. มอสและไลเคน
2. สาหร่ายและเห็ดรา
3. หญ้าและวัชพืช
4. ไม้ล้มลุก

เฉลยข้อสอบ

วิชา ความถนัดทางวิทยาศาสตร์

(1) 1	(2) 4	(3) 3	(4) 2	(5) 1	(6) 1	(7) 4	(8) 4	(9) 2	(10)2
(11)3	(12)4	(13)4	(14)1	(15)4	(16)4	(17)2	(18)4	(19)2	(20)1
(21)3	(22)3	(23)3	(24)2	(25)1	(26)1	(27)1	(28)3	(29)3	(30)3
(31)4	(32)1	(33)1	(34)4	(35)2	(36)4	(37)2	(38)4	(39)2	(40)2