

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไป ประกอบด้วย ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ คือ สารห่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์ในเซลล์บางชนิด ช่วยให้ความแข็งแรง พยุงรูปร่างของเซลล์ นิวเคลียสที่มีสารพันธุกรรมบรรจุอยู่ ทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ และไซโทพลาสซึมของเซลล์มีลักษณะเป็นของเหลวใส ประกอบด้วยสารเคมีที่จำเป็นสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ และออร์แกเนลล์ซึ่งมีทั้งแบบที่มีเยื่อหุ้มและไม่มีเยื่อหุ้ม รวมถึงโครงสร้างที่เกิดจากการรวมตัวของออร์แกเนลล์ด้วย

จุดมุ่งหมายการเรียนรู้

1. สามารถอธิบายลักษณะองค์ประกอบของเซลล์ได้
2. สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของผนังเซลล์ในสิ่งมีชีวิตพวกพืช รา และแบคทีเรียได้
3. สามารถอธิบายองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้มเซลล์ และบอกหน้าที่ของสารชีวโมเลกุลนั้นได้
4. บอกลักษณะและหน้าที่การทำงานของออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ของเซลล์ได้

1. องค์ประกอบของเซลล์

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไป ประกอบด้วยส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ และโพรโทพลาสซึม (protoplasm) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ไซโทพลาสซึมและนิวเคลียส ซึ่งถือได้ว่าโพรโทพลาสซึมนี้เป็นพื้นฐานของเซลล์ที่มีชีวิต ดังที่ทราบแล้วว่ากล้องจุลทรรศน์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในการศึกษาค้นคว้าเรื่องเซลล์ โดยเฉพาะกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ซึ่งทำรายละเอียดหรือส่วนประกอบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตได้ดียิ่งขึ้นเซลล์ องค์ประกอบของเซลล์มีดังต่อไปนี้

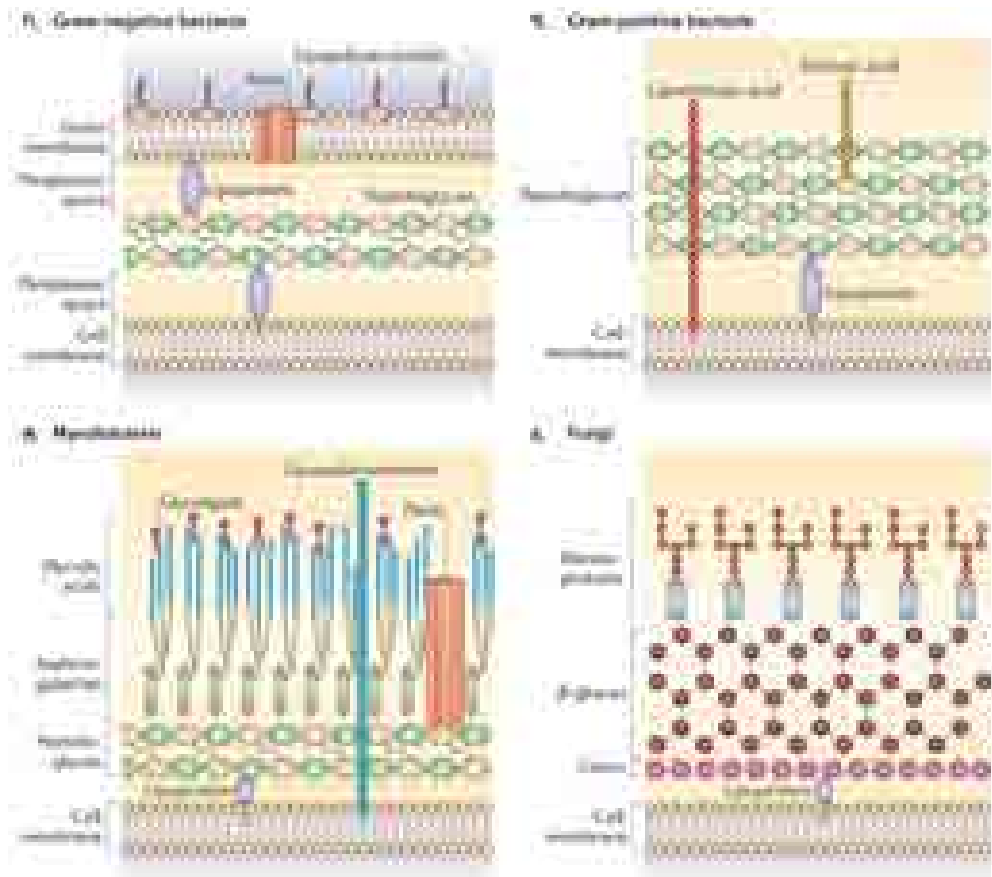
1.1 ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์

สารห่อหุ้มเซลล์ (cell coat) เป็นสารพวกพอลิแซ็กคาไรด์ที่รวมกับสารอื่น เช่น โปรตีน และลิพิด สารห่อหุ้มเซลล์อยู่ใกล้กันบรรจบกัน ทำให้เซลล์มีการติดต่อกัน (cell junction) การ

จำกันได้ระหว่างเซลล์ (cell-cell recognition) ในกรณีของบริเวณผิวหน้าของแบคทีเรียอาจพบแฟลกเจลลา และพิลไลด้วย

1.1.1 ผนังเซลล์ (cell wall)

ผนังเซลล์เป็นส่วนที่อยู่รอบนอกของเซลล์พบในแบคทีเรีย ฟังไจ สาหร่าย และพืช การที่ทราบว่าเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีผนังเซลล์นั้น โดยนำเซลล์ไปใส่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าเซลล์ (hypertonic solution) เพื่อดูการเกิดพลาสโมลิซิส (plasmolysis) คือ ปรากฏการณ์ที่เยื่อหุ้มเซลล์แยกออกจากผนังเซลล์เนื่องจากสูญเสียน้ำออกไปยังสารละลายรอบข้างเซลล์จึงเหี่ยว ซึ่งจะกล่าวถึงในบทถัดไป ถ้าหากเซลล์ยังคงรูปร่างอยู่ได้ก็แสดงว่ามีผนังเซลล์ ส่วนเซลล์ใดมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปแสดงว่าไม่มีผนังเซลล์ ชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบและการจัดเรียงตัวของผนังเซลล์สามารถนำมาใช้ในการจำแนกสิ่งมีชีวิตได้ เช่น ผนังเซลล์ของแบคทีเรียและไมโคแบคทีเรีย (mycobacteria) เป็นสารประกอบพวกกรดเทโคอิก (teichoic acid) และเพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) ผนังเซลล์ของเห็ดและรา เป็นพวกไคติน (chitin) (รูปที่ 3.1) ส่วนผนังเซลล์พืชประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 3.2 ก.)



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบ (ก.) แบคทีเรียแกรมบวก (ข.) ไมโครแบคทีเรีย (ค.) และเห็ดรา (ง.)

ที่มา: <https://www.pinterest.com/pin/565905509417041536/>

ผนังเซลล์มีคุณสมบัติทั่วไป คือ พลาสติกซิตี (plasticity) การเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ในขณะที่เซลล์เปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือขนาด อีลาสติซิตี (elasticity) การกลับคืนสู่สภาพเดิม และความแข็งแรง (tensile strength) ความสามารถของผนังเซลล์ที่ทนต่อการกระทำของแรงต่าง ๆ ได้ดี เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์

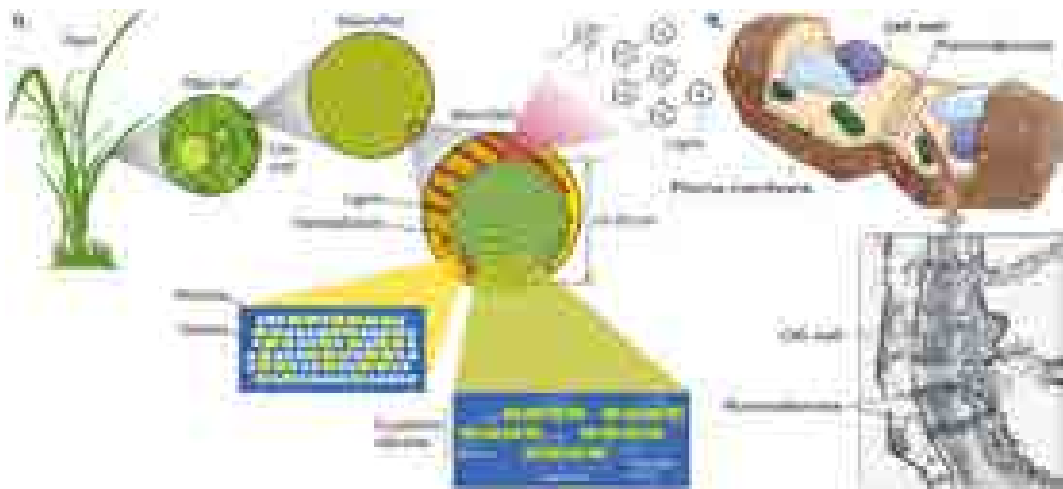
ผนังเซลล์พืช

เซลล์พืชแต่ละเซลล์เชื่อมติดกันด้วยชั้นที่เรียกว่า มิดเดิล ลามลลา (middle lamella) เกิดในช่วงที่มีการแบ่งไซโทพลาซึม โดยจะเกิดขึ้นก่อนการสร้างผนังเซลล์ ชั้นนี้

4 | บทที่ 1 องค์ประกอบของเซลล์ และหน้าที่การทำงาน

ประกอบด้วยสารเคมีพวกเพกทิน (pectin) ซึ่งอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมเพกเตต (calcium pectate) หรือแมกนีเซียม เพกเตต (magnesium pectate) มีลักษณะอ่อนนุ่มคล้ายวุ้น ถูกทำลายได้ง่ายด้วยกรดหรือเอนไซม์ จึงทำให้เซลล์แยกเป็นอิสระได้ ในพืชแต่ละชนิดชั้นของมิดเดิล ลามেলা อาจหนาไม่เท่ากัน ผนังเซลล์พืชแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary wall) เกิดขึ้นครั้งแรกขณะเซลล์มีการเจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลล์ เมื่อการแบ่งไซโทพลาซึมสิ้นสุดลง เซลล์ใหม่จะเริ่มขยายขนาดเซลล์พร้อม ๆ กับสร้างและสะสมผนังเซลล์ปฐมภูมิใหม่ทั้งสองด้านของมิดเดิล ลามেলা โดยองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ ปฐมภูมิคือ เซลลูโลส (cellulose) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยที่สานกันไปมาเป็นกลุ่ม เรียกว่า เซลลูโลส ไมโครไฟบริล (cellulose microfibril) โดยสะสมซ้อนทับกันไปมาบนมิดเดิลลามেলা



รูปที่ 3.2 เซลลูโลส ไมโครไฟบริล ที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ปฐมภูมิ (ก.) และพลาสติกโมเดสมาของเซลล์พืชสองเซลล์ที่อยู่ติดกัน (ข.)

ที่มา: ก. <http://swanca.ca/main/index.php/what-we-do/item/10-bio-plastic-from-lignin>

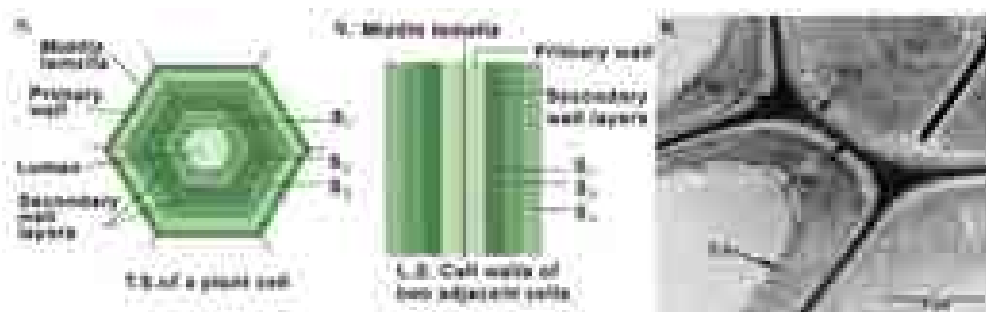
ข. <http://www.mun.ca/biology/desmid/brian/BIOL2060/BIOL2060-04/CB04.html>

หลังจากการสะสมผนังเซลล์ปฐมภูมิเสร็จสิ้นลง ในบางบริเวณจะมีความหนาน้อยกว่าบริเวณอื่น ทั้งนี้เกิดขึ้นจากการสะสมผนังเซลล์ปฐมภูมิที่ไม่สม่ำเสมอ เรียกบริเวณนี้ว่า รอยบางเทคโนโลยีชีววิทยาของเซลล์

ปฐมภูมิ (primary pit fields) โดยบริเวณนี้จะมีกลุ่มของสายของไซโทพลาซึม หรือที่เรียกว่า พลาสโมเดสมา (plasmodesma) แทรกผ่านระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิและมิตติเลลาเมลลาของเซลล์สองเซลล์ที่อยู่ติดกัน ซึ่งเป็นช่องทางการติดต่อระหว่างเซลล์ข้างเคียง (รูปที่ 3.2 ข.)

นอกจากนี้โครงสร้างของผนังเซลล์ปฐมภูมียังประกอบด้วยสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เซลลูโลส ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารพวกเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเพกทิน โดยมีสัดส่วนของสารประกอบต่าง ๆ ที่พบ โดยประมาณเป็น เซลลูโลสร้อยละ 25-30 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 30 เพคตินร้อยละ 35 และไกลโคโพรตีน (glycoprotein) ร้อยละ 1-5 นอกจากนี้ยังมีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญอีกอย่างหนึ่งของผนังเซลล์ปฐมภูมิ เซลล์พืชที่มีผนังเซลล์ปฐมภูมิ ได้แก่ เซลล์พาเรงคิมา (parenchyma cell) คอลเลงคิมา (collenchyma cell) เซลล์ชั้นผิว (epidermal cell) และเซลล์เนื้อเยื่อเจริญ (meristematic cell) เป็นต้น

2. ผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary wall) เซลล์บางชนิดของพืช เช่น เซลล์เส้นใย (fiber cell) สเกลอริต (scleried) เทรคีด (tracheid) และเซลล์เวสเซล (vessel member) หลังการสร้างผนังเซลล์ปฐมภูมิเสร็จสิ้นลง การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผนังเซลล์ยังไม่สิ้นสุด กล่าวคือจะเกิดการสะสมผนังเซลล์ทุติยภูมิทับลงไปบนผิวของผนังเซลล์ปฐมภูมิด้านในอีกชั้นหนึ่ง โดยเกิดการสะสมผนังเซลล์ทุติยภูมิระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิกับเยื่อหุ้มเซลล์ เซลล์ที่มีผนังเซลล์ทุติยภูมิต่าง ๆ ผนังเซลล์ทุติยภูมิอาจแบ่งได้เป็นชั้นย่อย ๆ หลายชั้น ตามแนวหรือทิศทางการเรียงตัวของไมโครไฟบริล โดยชั้นนอกสุดจะเรียก S1 ชั้นกลางเรียก S2 และชั้นในสุดเรียก S3 (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 ลักษณะการเรียงตัวของผนังเซลล์ทุติยภูมิแบบภาคตัดขวาง (ก.) ตัดตามยาว (ข.) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ค.)

ที่มา: ก. และ ข. <http://www.tutorvista.com/content/biology/biology-iii/cell->

organization/cell-wall.php

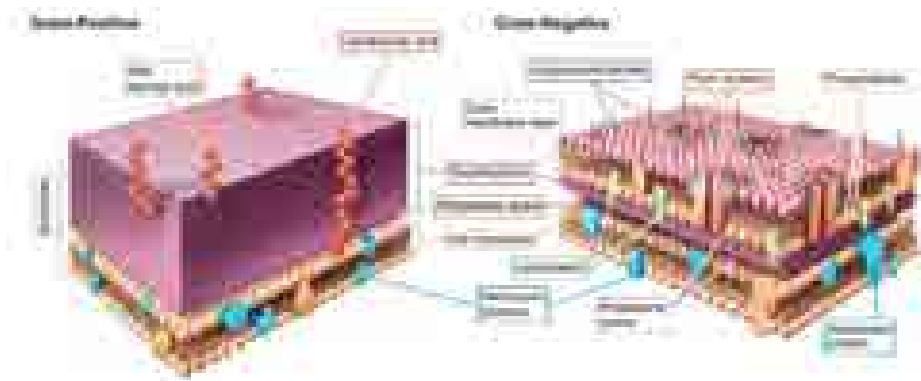
ค. Ma et al. (2011)

ผนังเซลล์ทุติยภูมิมีองค์ประกอบที่แตกต่างจากผนังเซลล์ปฐมภูมิคือ การไม่พบสารประกอบพวกไกลโคโปรตีน อีกทั้งยังมีสัดส่วนของเซลลูโลสมากกว่าผนังเซลล์ปฐมภูมิ นอกจากนี้ยังมีการสะสมสารประกอบพวกลิกนิน (lignin) ซึ่งการสะสมผนังเซลล์ทุติยภูมินี้อาจเกิดไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดเป็นรอยบางหรือลวดลายต่าง ๆ ขึ้นบนผนังเซลล์ทุติยภูมิได้เช่นกัน เรียกรอยบางบนผนังเซลล์ทุติยภูมิว่า รอยเว้า หรือ พิต (pit) ซึ่งมักจะเกิดตรงกันระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกัน

หากทำการย่อยเอาผนังเซลล์ของพืชออกไปแล้ว เซลล์พืชที่ไม่มีผนังเซลล์ (naked plant cell) มีเพียงส่วนเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ล้อมรอบองค์ประกอบภายในเซลล์เอาไว้ เรียกว่า โพรโทพลาสต์ (protoplast) เมื่อนำไปเพาะเลี้ยงในสภาพที่เหมาะสม ก็จะสามารถสร้างผนังเซลล์ขึ้นใหม่และเกิดการแบ่งเซลล์ต่อจนสามารถพัฒนาไปเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ได้ ด้วยลักษณะพิเศษดังกล่าวนี้จึงมีการนำโพรโทพลาสต์ไปใช้ประโยชน์ในการสร้างพืชชนิดใหม่ จากเทคนิคการรวมโพรโทพลาสต์ (protoplast fusion) ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทต่อ ๆ ไป

ผนังเซลล์แบคทีเรีย

ส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ในแบคทีเรีย คือ สารประกอบที่เรียกว่า เปปติโดไกลแคน (peptidoglycan) อันประกอบขึ้นจากโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตสายยาว โดยมีเพปไทด์ (peptide) สายสั้น ๆ เชื่อมระหว่างสายของคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลที่เป็นหน่วยย่อยของสายคาร์โบไฮเดรต มี 2 ชนิด คือ กรดเอ็น อะซิติลมูรามิก (N-acetylmuramic acid) หรือ เขียนย่อว่า NAM และ เอ็น อะซิติล กลูโคซามีน (N-acetylglucosamine) หรือ เขียนย่อว่า NAG น้ำตาลทั้งสองชนิดจะเชื่อมต่อกันและเรียงตัวสลับกันไปตลอดความยาวของสายคาร์โบไฮเดรต ส่วนเพปไทด์สายสั้นนั้นจะเชื่อมระหว่างโมเลกุลของ NAM ของสายคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ติดกันเข้าด้วยกัน ทำให้สายคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในเปปติโดไกลแคนสามารถยึดอยู่ด้วยกัน (รูปที่ 3.4)

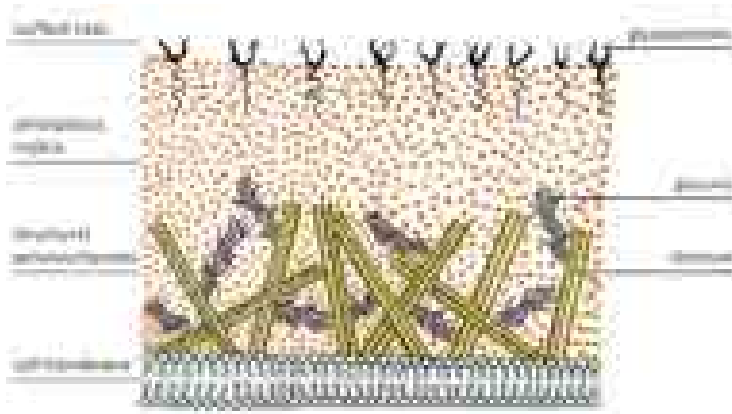


รูปที่ 3.4 ความแตกต่างระหว่างผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ
ที่มา: <https://goo.gl/xhSdCf>

ผนังเซลล์ของแบคทีเรียอาจมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก (gram positive bacteria) และกลุ่มแบคทีเรีย (gram negative bacteria) แบคทีเรียแกรมบวก จะมีชั้นของเปปทิโดไกลแคนหนาล้อมรอบเยื่อหุ้มเซลล์ ส่วนแบคทีเรียแกรมลบ จะมีชั้นของเปปทิโดไกลแคนบาง ๆ อยู่รอบเยื่อหุ้มเซลล์ และมีเยื่อหุ้มต่อหุ้มรอบผนังเซลล์อีกชั้นหนึ่ง นักวิทยาศาสตร์สามารถใช้ประโยชน์จากความแตกต่างของโครงสร้างผนังเซลล์นี้ ช่วยในการจำแนกชนิดของแบคทีเรีย

ผนังเซลล์รา

ผนังเซลล์ของราก็ประกอบไปด้วยไคติน หน่วยย่อยเป็นเอ็น อะซิติล กลูโคซามีน ต่อเป็นสายยาวไม่มีแขน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผนังเซลล์ในอาณาจักรฟังไจ (fungi) แต่ปริมาณไคตินในของผนังเซลล์ของแต่ละกลุ่มจะแตกต่างกัน เช่น ในยีสต์ทำขนมปัง มีไคตินเพียงเล็กน้อย คือ ร้อยละ 1 ของน้ำหนักแห้งผนังเซลล์เท่านั้น ในราบางกลุ่มไคตินจะถูกเอนไซม์ไคติน ดีอะเซทิเลส (chitin deacetylase) เปลี่ยนเป็นไคโตซาน (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 ลักษณะผนังเซลล์ของรา

ที่มา: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cell_wall_structure_of_Fungi.png

1.1.2 เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane)

เยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ จะประกอบด้วยโปรตีนและลิพิดเป็นหลัก บางครั้งอาจพบคาร์โบไฮเดรตอยู่ด้วย ซึ่งอาจจะรวมอยู่กับโปรตีนในรูปของไกลโคโปรตีนหรือรวมกับลิพิดในรูปของไกลโกลิพิดก็ได้ นอกจากนี้ยังพบแร่ธาตุต่าง ๆ และเอนไซม์อีกหลายชนิด

1) องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้มเซลล์

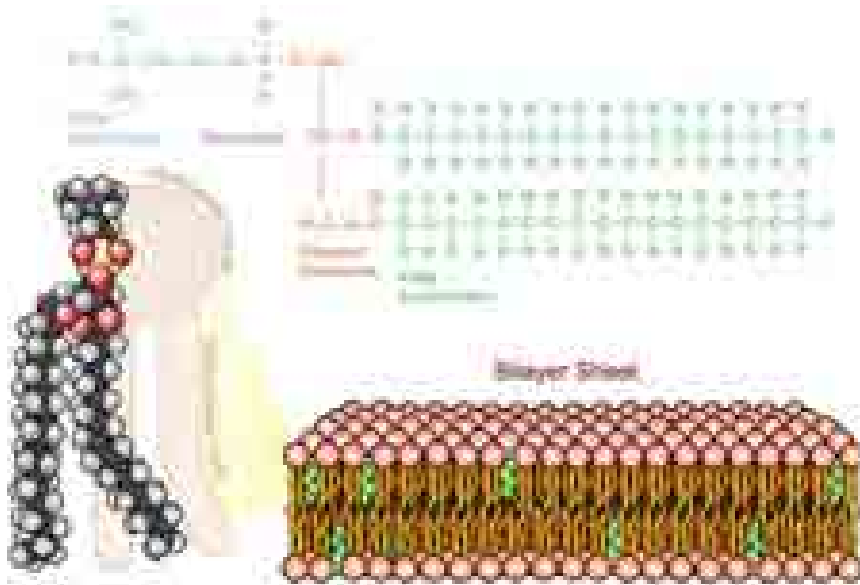
เยื่อหุ้มเซลล์ถึงแม้จะเป็นเยื่อบาง ๆ แต่มีประกอบด้วยสารชีวโมเลกุล (biomolecule) 3 ประเภท ได้แก่ ลิพิด โปรตีน คาร์โบไฮเดรต

ลิพิดที่เยื่อหุ้ม (membrane lipid)

ลิพิดที่เป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อหุ้มเซลล์คือ ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล กรดไขมัน (fatty acid) 2 โมเลกุล และกรดฟอสฟอริก 1 โมเลกุล เมื่อรวมตัวกันโครงสร้างของโมเลกุลจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของกรดฟอสฟอริกจะละลายน้ำได้ดีหรือเป็นส่วนหัวที่ชอบน้ำ เรียกว่า ไฮโดรฟิลิก เฮด (hydrophilic head) และสายไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันที่ไม่ละลายน้ำหรือส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ เรียกว่า ไฮโดรโฟบิก เทล (hydrophobic tail) อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน โมเลกุลลักษณะนี้ เรียกว่า แอมฟิพาติก โมเลกุล (amphipathic molecule)

เนื่องจากสภาวะแวดล้อมทั้ง ภายในและภายนอกเซลล์ล้วนมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักโมเลกุลของฟอสโฟลิพิด จะเรียงตัวกันเป็นแผ่น 2 ชั้น เอาด้านหัวที่ชอบน้ำออกข้างนอก และ

เอาด้านหางที่ไม่ชอบน้ำซ่อนไว้ข้างใน ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างของเยื่อบาง ๆ ของฟอสโฟลิพิดประกบกัน 2 ชั้น เรียกว่า ฟอสโฟลิพิดไบแลร์ (phospholipid bilayer) (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 ลักษณะโมเลกุลของฟอสโฟลิพิด และฟอสโฟลิพิดไบแลร์

ที่มา: <https://www.ck12.org/biology/Phospholipid-Bilayers/lesson/Phospholipid-Bilayers-BIO/>

โปรตีนที่เยื่อหุ้ม (membrane protein)

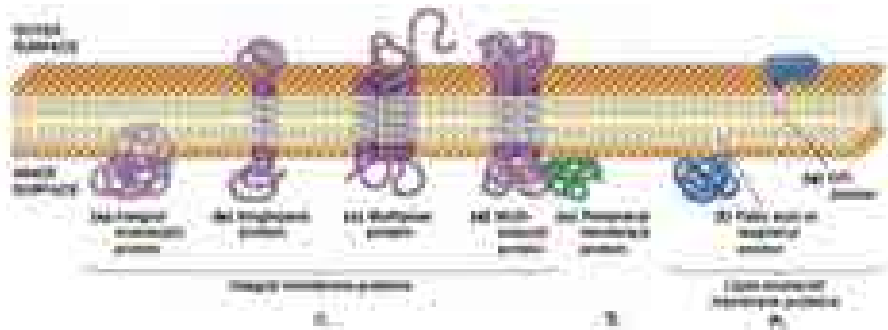
โปรตีนเป็นชีวโมเลกุลอีกชนิดหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนแต่ละโมเลกุลก็มีส่วนที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำอยู่ด้วยกันเช่นเดียวกับฟอสโฟลิพิด เยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยโปรตีนหลากหลายชนิดแทรกตัวอยู่กับฟอสโฟลิพิด โดยที่โมเลกุลของโปรตีนเหล่านี้มักจะอยู่รวมกลุ่มกันในเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ต่างชนิดกัน มักจะมีชนิดและการเรียงตัวของโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์แตกต่างกันไป โปรตีนมีการจัดเรียงตัว 2 ลักษณะ คือ

1. โปรตีนภายใน (Integral Protein) เป็นโปรตีนที่โมเลกุลแทรกอยู่ในชั้นของฟอสโฟลิพิด โดยส่วนที่ไม่มีประจุ (non polar) อยู่ด้านใน ส่วนที่มีประจุ (polar) ทะลุออกมาออกชั้นฟอสโฟลิพิดเข้าหาหน้า โมเลกุลของโปรตีนยึดหยุ่นโดยเคลื่อนไหวทางด้านข้างได้ ทำให้เกิดรู (pore) ของเยื่อเซลล์ ซึ่งทำให้น้ำแพร่ผ่านเข้าออกได้ หรือโมเลกุลประกบกันเป็นช่อง (channel) ซึ่งทำให้

ไอออน (ions) ของสารผ่านได้ หรือทำหน้าที่เป็นตัวพา (carrier protein) นำสารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่เข้าสู่เซลล์ได้

2. โปรตีนภายนอก (Peripheral Protein) เป็นโปรตีนที่วางตัวอยู่นอกชั้นฟอสโฟลิพิด ส่วนใหญ่อยู่ด้านไซโทพลาซึม

นอกจากนี้ยังมีโปรตีนที่ยึดติดกับลิพิด (lipid-anchored membrane protein) เป็นโปรตีนที่อยู่บนผิวของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ยึดติดกับลิพิดที่ฝังอยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีนเหล่านี้แทรกตัวและมีตำแหน่งอยู่บนฟอสโฟลิพิดไบแลร์ในลักษณะเดียวกับส่วนหางของกรดไขมัน โปรตีนที่ยึดติดกับลิพิดนี้สามารถอยู่ได้ทั้งสองฝั่งของเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นจึงทำหน้าที่คล้ายกับสมอในการทำหน้าที่ยึดโปรตีนกับเยื่อหุ้มเซลล์ (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 โปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์ ได้แก่ โปรตีนภายใน (ก.) โปรตีนภายนอก (ข.) และโปรตีนที่ยึดติดกับลิพิด (ค.)

ที่มา: <https://goo.gl/nzZ4Vy>

หน้าที่ของโปรตีนที่เยื่อหุ้มมีหลายอย่าง ดังนี้

1. เป็นโครงสร้างของเยื่อหุ้มทำให้คงรูปได้
2. เป็นตัวขนส่งสาร (transporter) โดนอาจทำหน้าที่เป็นตัวพา เช่น ตัวพาที่นำ

กลูโคส หรือกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์ หรือเป็นช่อง เช่น ช่องที่นำไอออนพวกโซเดียมหรือโพแทสเซียม เป็นต้น

3. เอนไซม์ โปรตีนที่อยู่บนเยื่อหุ้มและทำหน้าที่เป็นเอนไซม์มีหลายชนิด หากเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นปฏิกิริยาด้านนอกของเยื่อหุ้ม เรียกว่า เอ็กโทเอนไซม์ (extoenzyme) และหากกระตุ้นปฏิกิริยาด้านในเซลล์ เรียกว่า เอนโดเอนไซม์ (endoenzyme)

4. การเกาะติดของเซลล์ (cell adhesion) การที่เซลล์เกาะติดกันได้ อาจเนื่องมาจากการมีโปรตีนที่เยื่อหุ้มจับกันได้พอดี

5. การลำเลียงอิเล็กตรอน (electron transport) ได้แก่ กลุ่มโปรตีนรับส่งอิเล็กตรอนในการหายใจระดับเซลล์ของไมโทคอนเดรียและการสังเคราะห์ด้วยแสงของคลอโรพลาสต์

6. การถ่ายโอนพลังงานแสง (light transduction) เช่น โปรตีนที่จับกับคลอโรฟิลล์ที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยา (reaction center) ที่เยื่อหุ้ม และจับพลังงานแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

7. เกี่ยวข้องกับการรับและส่งสัญญาณ เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับ (receptor) ของฮอร์โมนหรือสารควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึม แล้วส่งสัญญาณต่อไปยังโมเลกุลเป้าหมาย

คาร์โบไฮเดรตที่เยื่อหุ้ม (membrane carbohydrate)

นอกจากโปรตีนและฟอสโฟลิพิดแล้ว เยื่อหุ้มเซลล์ยังมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบด้วย โดยมีลักษณะเป็นสายพอลิแซ็กคาไรด์สายสั้น ๆ ที่มีการแตกแขนง และประกอบด้วยน้ำตาลหน่วยย่อยเพียงไม่เกิน 15 โมเลกุล พบอยู่เฉพาะผิวด้านนอกของเซลล์เท่านั้น โดยที่บางโมเลกุลจะเชื่อมต่ออยู่กับลิพิด เรียกว่า ไกลโคลิพิด (glycolipid) บางโมเลกุลเชื่อมต่ออยู่กับโปรตีน เรียกว่า ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) คาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เหล่านี้ มีความสำคัญมากต่อกระบวนการจดจำกันระหว่างเซลล์ เซลล์ชนิดเดียวกันจะมีชนิดของคาร์โบไฮเดรตบนผิวนอกของเยื่อหุ้มเซลล์คล้ายคลึงกัน ในขณะที่เซลล์ต่างชนิดกัน ก็จะมีชนิดของคาร์โบไฮเดรตบนผิวนอกของเยื่อหุ้มเซลล์แตกต่างกัน หน้าที่ของคาร์โบไฮเดรตที่เยื่อหุ้ม มีดังนี้

1. เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางสรีรวิทยา โปรตีนที่อยู่ในรูปไกลโคโปรตีนทำหน้าที่ขนส่งและเอนไซม์

2. เกี่ยวข้องกับการเกิดหมู่เลือด ABO และ MN เนื่องจากไกลโคโปรตีนและไกลโคลิพิดที่เยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนที่แตกต่างกันของหมู่เลือด เช่น หมู่เลือด A มีน้ำตาลเอ็น-แอสซีทิลกาแลกโทซามีนจับที่ตำแหน่งหนึ่งในโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตที่เกาะผิวเซลล์ ส่วนหมู่เลือด B เป็นน้ำตาลกาแล็กโทส

3. เกี่ยวข้องกับชนิดของเซลล์ เซลล์ต่างชนิดกันมีคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบของไกลโคโปรตีนที่เยื่อหุ้มแตกต่างกัน

4. เกี่ยวข้องกับการจดจำเซลล์ เซลล์หลาย ๆ เซลล์รวมกันเป็นเนื้อเยื่อได้เพราะเซลล์สามารถจดจำเซลล์อื่นได้ว่าเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ จึงมีการปฏิเสธหรือไม่ยอมรับในกรณีการถ่ายเปลี่ยนเนื้อเยื่อ (transplanted tissue) ของสิ่งมีชีวิตที่มีความแตกต่างกัน

5. เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวของโปรตีนที่เยื่อหุ้ม เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตจับอยู่กับโปรตีนจึงป้องกันการหลุดของโปรตีนออกจากเยื่อหุ้ม หรืออาจมีผลทำให้โครงสร้างของโปรตีนที่เยื่อหุ้มเสถียรมากยิ่งขึ้น

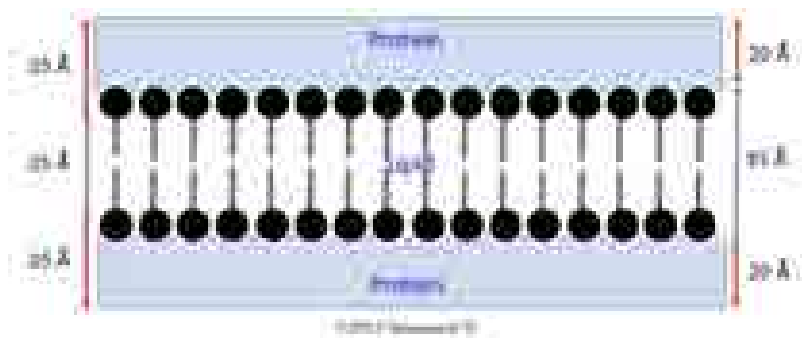
6. เกี่ยวข้องกับการเกาะติดของเซลล์ เป็นหน้าที่ของไกลโคโปรตีน CAM's (cell adhesion molecules) ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทถัดไป

จะเห็นได้ว่า โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยชีวโมเลกุล ทั้งลิพิด โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต จัดเรียงตัวอยู่ด้วยกันโดยมีรูปแบบที่จำเพาะ ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะสมบัติพิเศษของเยื่อหุ้มเซลล์ขึ้นมา และทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์

2) แบบจำลองของเยื่อหุ้มเซลล์

ยูนิต เมมเบรน (unit membrane)

ปี ค.ศ. 1950 เจ เดวิส โรเบิร์ตสัน (J. Davis Robertson) ได้ศึกษาเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยแถบ 3 แถบ (trilaminar) คือ แถบที่บ 2 แถบอยู่ข้างนอกหนา 25-25 อังสตรอม และแถบบางสีจาง หนา 25-35 อังสตรอม เขาจึงได้เสนอแบบจำลองของเยื่อหุ้มชื่อ ยูนิต เมมเบรน ซึ่งประกอบด้วยแถบที่บ จาง ที่บ (รูปที่ 3.8) ส่วนที่ติดสีที่บ 2 แถบ คือ โปรตีนและไขมันที่เป็นส่วนไฮโดรฟิลิก ส่วนตรงกลางแถบบางคือกรดไขมันส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิก นอกจากนี้เขายังพบว่าเยื่อหุ้มของเอนโดพลาสมิก เรติคูลัม มีลักษณะ 3 แถบเช่นกัน

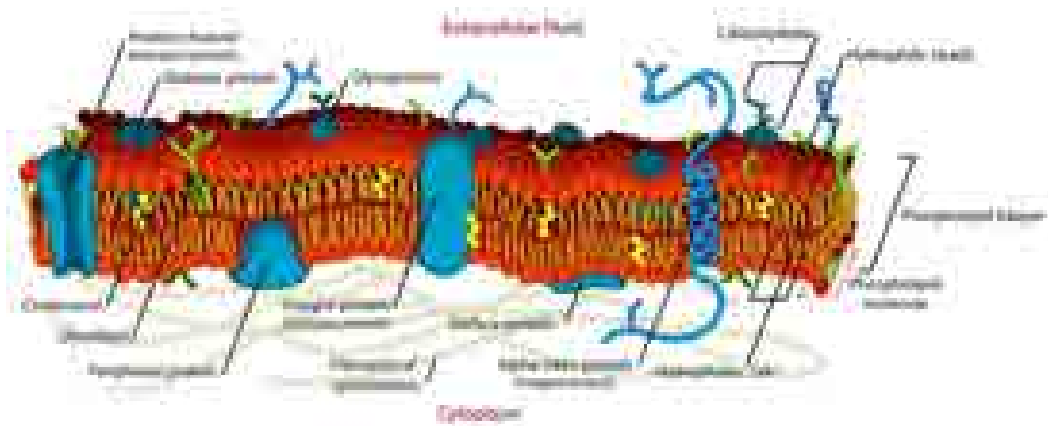


รูปที่ 3.8 แบบจำลองเมมเบรนแบบยูนิต เมมเบรนของเดวิส โรเบิร์ตสัน

ที่มา: ณัฐพงษ์ ศรีสมุทร (2556)

แบบจำลองฟลูอิด-โมเซอิก (fluid-mosaic model)

ในปี ค.ศ. 1972 เอส โจนธาณ ซิงเกอร์ (S. Jonathan Singer) และ การ์ธ แอล นิโคลสัน (Garth L. Nicolson) ได้เสนอแบบจำลองฟลูอิด-โมเซอิก เพื่ออธิบายโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยเชื่อว่าเยื่อหุ้มเซลล์มีสมบัติเป็นไดนามิก (dynamic) คือ มีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา มีโครงสร้างประกอบด้วยโปรตีน กับไขมันชนิดฟอสโฟลิพิด โดยที่ลิพิดจะเป็นตัวที่เป็นของไหลที่ยอมให้โมเลกุลของลิพิดและโปรตีนสามารถหมุนตัวหรือเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปมาได้ในแนวระนาบ นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่าโมเลกุลโปรตีนสามารถยึดเกาะที่ผิว หรือฝังตัวอยู่ในโครงสร้างหลัก (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 แบบจำลองเมมเบรนแบบฟลูอิด-โมเซอิกของซิงเกอร์ และนิโคลสัน

ที่มา: <http://www.macroevolution.net/fluid-mosaic-model.html>

การที่โมเลกุลของฟอสโฟลิพิดและโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถเคลื่อนตัวได้เหมือนล่องลอยอยู่บนผิวของเหลว นั่น เนื่องจากโมเลกุลเหล่านี้ยึดอยู่ด้วยกันได้ด้วยแรงอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) ซึ่งเป็นแรงที่อ่อนกว่าแรงยึด

ระหว่างพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) ดังนั้นโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดและโปรตีนจะสามารถเคลื่อนตัวสลับกันไปมาอยู่บนระนาบของแผ่นเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ปัจจุบันยังคงยอมรับแบบจำลองนี้อยู่

3) สมบัติทางกายภาพ เยื่อหุ้มเซลล์มีสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ประจุที่ผิวของเซลล์ (surface charge) ตามปกติที่ผิวของเยื่อหุ้มเซลล์จะมีประจุไฟฟ้าอยู่ด้วย ทดลองได้โดยนำกระแสไฟฟ้าผ่านในของเหลวที่มีเซลล์อยู่ด้วย ถ้าหากเซลล์เคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก แสดงว่าผิวของเซลล์มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ แต่เซลล์บางชนิด เช่น เซลล์พวกโปรโตซัวจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ แสดงว่าผิวของเซลล์มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ซึ่งประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์นี้เกิดจากโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

2. ความต่างศักย์ไฟฟ้า (electrical potential) ความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดจากไอออนและโปรตีนที่กระจายอยู่ในโพรงทอพลาซึมและภายนอกเซลล์ไม่เท่ากัน จึงเกี่ยวข้องกับการนำไอออนของสารต่าง ๆ เข้าสู่เซลล์ซึ่งจะต้องผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เสียก่อน

3. การเป็นของไหลของเยื่อหุ้ม (membrane fluidity) เกิดจากชั้นลิพิดและโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มมีการเคลื่อนที่ได้ในเยื่อหุ้ม การเคลื่อนที่ของลิพิดมีหลายแบบ ได้แก่ การแพร่ด้านข้าง (lateral diffusion) แบบหมุนกลับ (rotation) การแกว่ง (swing) การงอหรือหดตัว (flexion) และการแพร่แบบขวาง หรือแบบฟลิป-ฟลอป (transverse diffusion หรือ flip-flopping) (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 การเคลื่อนที่ของลิพิดบนเยื่อหุ้มฟอสโฟลิพิดไบแลย์ คือ การแพร่ด้านข้าง (ก.) แบบหมุนกลับ (ข.) การแกว่ง (ค.) การงอหรือหดตัว (ง.) และการแพร่แบบขวาง หรือแบบฟลิป-ฟลอป (จ.)

ที่มา: <https://animalcellbiology.files.wordpress.com/2011/08/lipid-movement.png>

4) **หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์** เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เป็นเสมือนรั้ว กั้นเซลล์แต่ละเซลล์ออกจากกัน และกั้นเซลล์กับสิ่งแวดล้อม ควบคุมการเคลื่อนย้ายสารผ่านเข้าออกเซลล์ รักษาสมดุลของสภาพแวดล้อมภายในเซลล์ ที่เยื่อเซลล์มีสารพวกไกลโคโปรตีนทำให้เซลล์จำกันได้ในกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน ซึ่งมีความสำคัญมากในระยะเวลาที่มีการแบ่งเซลล์และพัฒนาเป็นตัวอ่อน ในระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไปทำหน้าที่เฉพาะ (differentiation) เพื่อสร้างเนื้อเยื่อและอวัยวะ ซึ่งเป็นเซลล์ชนิดเดียวกันจับกลุ่มอยู่ด้วยกัน ที่เยื่อเซลล์ยังมีโปรตีนตัวรับเป็นตัวรับสาร ทำให้มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน เซลล์บางชนิดเยื่อเซลล์มีคุณสมบัติพิเศษในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือมีตัวรับที่ทำปฏิกิริยาจำเพาะกับสารเคมีบางชนิด ทำให้สามารถสื่อสารหรือส่งข่าวถึงกันได้ (Cell-Cell Communication) เช่น เซลล์ประสาทสื่อสารกันได้ ในรูปของกระแสไฟฟ้า และเซลล์ที่สื่อสารกันในรูปสารเคมี คือ ฮอรโมนชนิดต่าง ๆ

1.2 โพรโทพลาซึม

โพรโทพลาซึมเป็นของเหลวที่พบภายในเซลล์ประกอบด้วยออร์แกเนลล์ (organelles) และอนุภาคต่าง ๆ มากมาย ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญและการดำรงชีวิตของเซลล์ โพรโทพลาซึมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ นิวเคลียสและไซโทพลาซึม โดยที่นิวเคลียสจะเป็นที่เก็บข้อความพันธุกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ไว้ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ได้ทั้งหมด ส่วนไซโทพลาซึมจะมีออร์แกเนลล์และอนุภาคต่าง ๆ ตลอดจนเอนไซม์ ดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเออยู่ด้วย ซึ่งจะมีการทำงานเป็นระบบจนทำให้เซลล์สามารถดำเนินกิจกรรมได้ด้วยดี ดังนั้นโพรโทพลาซึมจึงเป็นรากฐานของชีวิต

1.2.1 นิวเคลียส

นิวเคลียสเป็นส่วนที่สำคัญของเซลล์ มีรูปกลมหรือรูปไข่ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาจะมีลักษณะหนาที่บวกว่าส่วนอื่น ๆ ของเซลล์ เซลล์โดยทั่วไปจะมี 1 นิวเคลียส ในเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์ตับ เซลล์กระดูกอ่อน (cartilage) และพารามีเซียม (paramecium) จะมี 2 นิวเคลียส ส่วนเซลล์ที่มีนิวเคลียสเป็นจำนวนมาก ได้แก่ เซลล์พวกเส้นใยของกล้ามเนื้อ เซลล์บางชนิด เช่น เซลล์เม็ดเลือดแดงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและซีฟทิวบ์ (sieve tube) ของโฟลเอ็ม (phloem) ที่เจริญเต็มที่จะไม่มีนิวเคลียส ตำแหน่งของนิวเคลียสในเซลล์จะไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกิจกรรมของเซลล์ ขนาดของนิวเคลียสจะแตกต่างกันไปในเซลล์แต่ละชนิด

องค์ประกอบทางเคมี

สารเคมีต่าง ๆ ที่พบในนิวเคลียสจะมีทั้งดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ และโปรตีนที่ทำหน้าที่ในด้านโครงสร้างและเอนไซม์ ตลอดจนแร่ธาตุต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีสารตัวกลางอีกหลายชนิด เช่น

อะซีดีลโคเอนไซม์เอ โมโนฟอสเฟต (monophosphate) และไตรฟอสเฟต (triphosphate) เป็นต้น สำหรับสารต่าง ๆ ที่สำคัญมีดังนี้

1. ดีเอ็นเอ ในนิวเคลียสเป็นส่วนประกอบของโครโมโซม
2. อาร์เอ็นเอ ในนิวเคลียสเป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอลัส (nucleolus)
3. โปรตีน มีหลายชนิด ดังนี้

- โปรตามีน (protamine) เป็นโปรตีนที่มีประจุสุทธิเป็นบวก (basic protein) ประกอบด้วยกรดอะมิโนอาร์จินีน (arginine) เป็นจำนวนมาก โปรตามีนจะเชื่อมเกาะกับดีเอ็นเอทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

- ฮิสโตน (histone) เป็นโปรตีนที่มีประจุสุทธิเป็นบวก มีขนาดใหญ่กว่าโปรตามีน ฮิสโตนที่พบในนิวเคลียสของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะมิโนไลซีนและอาร์จินีน โปรตีนนี้จะเชื่อมเกาะกับดีเอ็นเอด้วยพันธะไอออนิก (ionic bond)

- เรซิดิวอัลโปรตีน (residual protein) เป็นที่มีประจุสุทธิเป็นลบ (acidic protein) จะรวมกับโครมาตินในระยะอินเตอร์เฟส การรวมนี้จะมีลักษณะที่เฉพาะซึ่งจะมีผลในการกระตุ้นการจำลองโครโมโซมด้วย

4. เอนไซม์ ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก และเมแทบอลิซึมของนิวคลีโอไซด์ (nucleosides) ได้แก่ อะดีนีนไดอะมิเนส (adenosine diaminase) นิวคลีโอไซด์ฟอสโฟริเลส (nucleoside phosphorylase) และดีเอ็นเอพอลิเมอเรส (DNA polymerase) ส่วนเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการจับเกาะของดีเอ็นเอ ได้แก่ นิวคลีโอไทด์ ไตรฟอสฟาเทส (nucleotide triphosphatase) ฮิสโตนอะซิเตเลส (histone acetylase) และนิโคตินาไมด์ อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ซินทีเทส (NAD synthetase) นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจที่ไม่ใช้แก๊สออกซิเจน (anaerobic respiration) ในกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) อีกด้วย เช่น อัลโดเลส (aldolase)

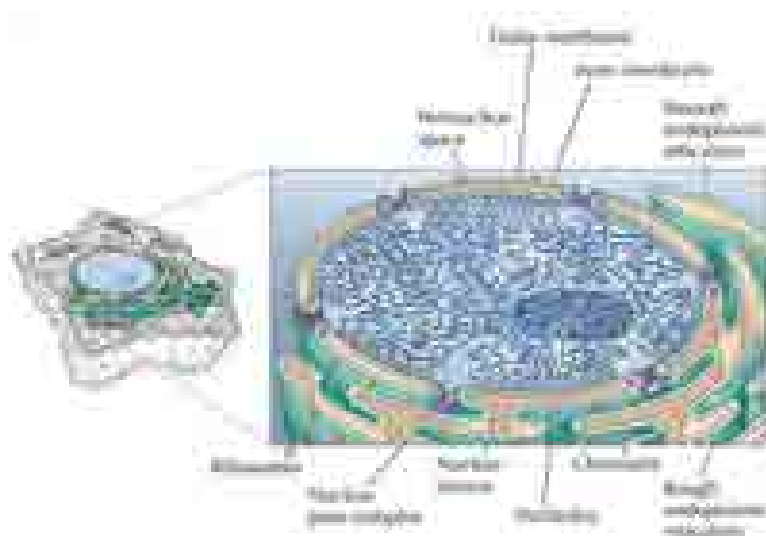
5. แร่ธาตุ ส่วนมากประกอบด้วยฟอสฟอรัส โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม

โครงสร้างของนิวเคลียส

1. เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane หรือ nuclear envelope) ลักษณะเป็นเยื่อ 2 ชั้นเรียงซ้อนกัน แต่ละชั้นมีความหนา 100 อังสตรอม แต่ละชั้นห่างกัน 100-300 อังสตรอม ช่องว่างที่ห่างกันนี้เรียกว่า เพอรินิวเคลียร์สเปซ (perinuclear space) ที่เยื่อหุ้มนี้จะมีรู

อยู่มากมายเรียกว่า แอนนูลัส (annulus หรือ nuclear pore) เป็นทางผ่านของสารต่าง ๆ จากนิวเคลียสไปสู่ไซโทพลาซึม เช่น อาร์เอ็นเอ ไรโบโซม

นอกจากนี้ที่เยื่อหุ้มนิวเคลียสยังเชื่อมต่อกับเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม เพื่อลำเลียงสารผ่านเข้าและออกจากนิวเคลียสและเยื่อหุ้มนิวเคลียส จะมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับเยื่อหุ้มของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมอีกด้วย (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 เยื่อหุ้มนิวเคลียสเชื่อมต่อกับเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม

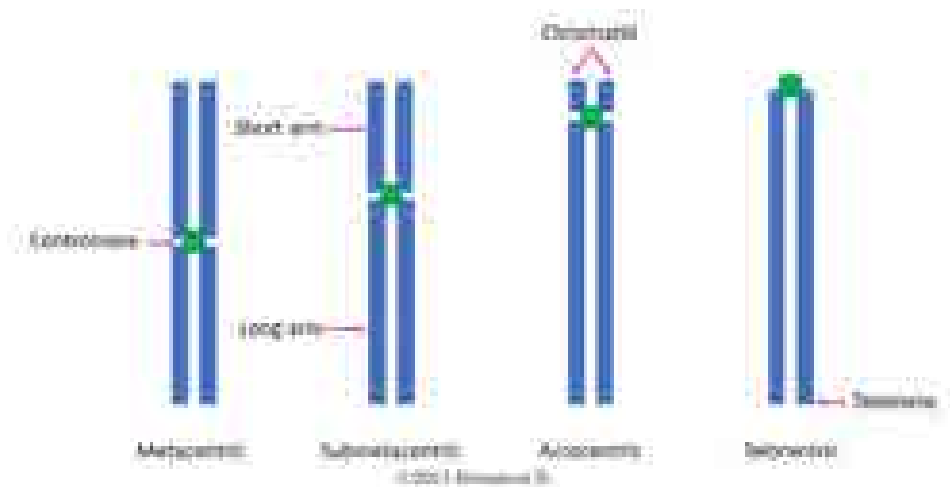
ที่มา: <http://oregonstate.edu/instruction/bi314/summer09/nucleus.html>

2. นิวคลีโอพลาซึม (nucleoplasm) หรือนิวคลีโอโซม (nucleosome) เป็นส่วนของเหลวที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มนิวเคลียส และโครมาติน (chromatin) ที่ประกอบด้วยดีเอ็นเอ และโปรตีนหุ้มโดยรอบเป็นเส้นใยเล็ก ๆ พันเป็นร่างแห เมื่อแบ่งเซลล์จะหดเห็นเป็นแท่ง เรียกว่าโครโมโซม (chromosome) หน้าที่ถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ในเซลล์โปรคาริโอตมี 1 โครโมโซม เป็นดีเอ็นเอวงแหวนสายคู่ โครโมโซมในเซลล์ยูคาริโอต มีลักษณะเป็นเส้นยาว ๆ ขดไปมาอยู่ภายในนิวเคลียส ประกอบด้วยดีเอ็นเอ และโปรตีน จำนวนและรูปร่างของโครโมโซมในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีจำนวนคงที่ และแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ เช่น แดงกวาง 14 แท่ง มะละกอ 18 แท่ง ข้าว 24 แท่ง อ้อย 80 แท่ง สุนัข 78 แท่ง แมว 38 แท่ง และคน 46 แท่ง เป็นต้น ปกติโครโมโซมจะอยู่เป็นคู่ ๆ ในเซลล์ร่างกาย (autosome) เท่ากับจำนวนชุดของยีน (gene) จึงใช้

สัญลักษณ์ในการเขียนจำนวนโครโมโซมเป็น $2n$ (diploid) เช่น คนมีจำนวนโครโมโซม $2n = 46$ ส่วนในเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) จะมีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์ร่างกาย คือ n (haploid) เป็นผลจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทที่ 4

การศึกษาโครโมโซมทำในระยะเมทาเฟส (metaphase) ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสจะเห็นได้ว่า 1 โครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิด (chromatid) และโครมาทิดทั้ง 2 ยึดติดกันตรงตำแหน่งเซนโทรเมียร์ (centromere) ลักษณะของโครโมโซม จำแนกตามตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ได้ดังนี้ (รูปที่ 3.12) คือ

1. อะโครเซนทริก (acrocentric) เป็นโครโมโซมที่มีเซนโทรเมียร์อยู่ที่ปลายสุดด้านใดด้านหนึ่ง
2. เทโลเซนทริก (telocentric) เป็นโครโมโซมที่มีเซนโทรเมียร์อยู่ใกล้ปลายด้านใดด้านหนึ่ง
3. ซับเมทาเซนทริก (submetacentric) เป็นโครโมโซมที่มีเซนโทรเมียร์อยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของแขนทำให้แขนทั้ง 2 ข้างจะยื่นออกจากเซนโทรเมียร์ไม่เท่ากัน
4. เมทาเซนทริก (metacentric) เห็นโครโมโซมเป็นรูปตัว X แขนของโครโมโซมจะยื่นออกมาจากเซนโทรเมียร์เท่ากันหรือเกือบเท่ากัน

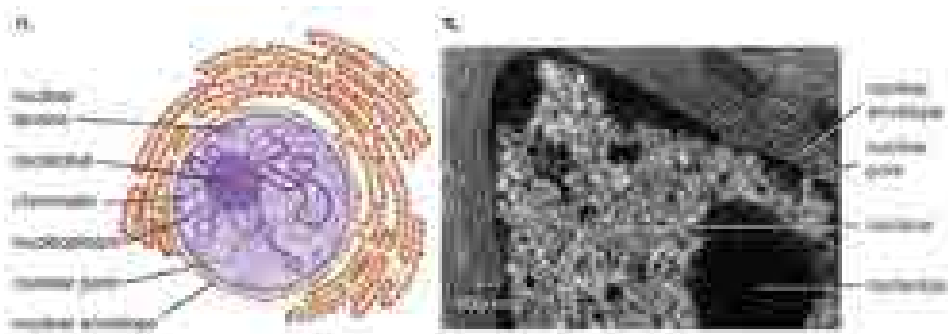


รูปที่ 3.12 ชนิดของโครโมโซมจำแนกตามตำแหน่งของเซนโทรเมียร์

ที่มา: อนุรักษ์ ศรีสมุทร (2556)

3. นิวคลีโอไลต์ เป็นอนุภาคหนาที่บที่อยู่ภายในนิวเคลียส ในเซลล์ที่มีกิจกรรมของเซลล์สูงมาก เช่น เซลล์ไข่ เซลล์ประสาท หรือ นิวรอน (neurons) เซลล์มะเร็ง และเซลล์จากต่อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน จะมีนิวคลีโอไลต์ขนาดใหญ่ นิวคลีโอไลต์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญพัฒนาของเซลล์ เซลล์หรือตัวอ่อนที่ขาดส่วนนี้ไปจะทำให้อายุสั้น ปริมาณโปรตีนในนิวคลีโอไลต์จะมากกว่าอาร์เอ็นเอมาก ในนิวคลีโอไลต์ยังพบเอนไซม์หลายชนิด เช่น แอซิดฟอสฟาเทส นิวคลีโอไทด์ ฟอสฟอรีเลส (nucleotide phosphorylase) เอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์นิวคลีโอไทด์ ไนอะซิน ไดนิวคลีโอไทด์ (nicotinamide adenine dinucleotide : NAD)

นิวคลีโอไลต์มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ไรโบโซม นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนฮิสโตนอีกด้วย



รูปที่ 3.13 นิวคลีโอไลต์ เป็นบริเวณหนาที่บที่อยู่ภายในนิวเคลียส (ก.) และภาพนิวคลีโอไลต์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา: [https://bio.libretexts.org/TextMaps/Map%3A_Microbiology_\(OpenStax\)/03%3A_The_Cell/3.4%3A_Unique_Characteristics_of_Eukaryotic_Cells](https://bio.libretexts.org/TextMaps/Map%3A_Microbiology_(OpenStax)/03%3A_The_Cell/3.4%3A_Unique_Characteristics_of_Eukaryotic_Cells)

1.2.2 ไซโทพลาซึม

ไซโทพลาซึมของเซลล์มีลักษณะเป็นของเหลวใสอยู่ภายในเซลล์ ประกอบด้วยออร์แกเนลล์และสารเคมีพวกน้ำตาล กรดอะมิโน โปรตีนที่จำเป็นสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ สามารถแยกไซโทพลาซึมได้ 2 บริเวณ คือ เอ็กโทพลาซึม (ectoplasm) เป็นส่วนไซโทพลาซึมที่อยู่ด้านนอกติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นส่วนที่บางใส ไม่มีออร์แกเนลล์หรืออนุภาคต่าง ๆ หรือถ้ามีก็น้อยมาก ในสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำบางชนิด เช่น ยูกลีนา ชั้นนี้จะเปลี่ยนแปลงเป็นเยื่อเพลลิเคิล (pellicle) ซึ่งมี

ความหนาและเหนียว เซลล์จึงคงรูปร่างอยู่ได้ และเอนโดพลาซิม (endoplasm) เป็นส่วนไซโทพลาซิมที่อยู่ด้านใน จะมีออร์แกเนลล์และอนุภาคต่าง ๆ อยู่มากมาย เป็นบริเวณเกิดกิจกรรมสำคัญต่าง ๆ ของเซลล์

ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม (membranous organelles)

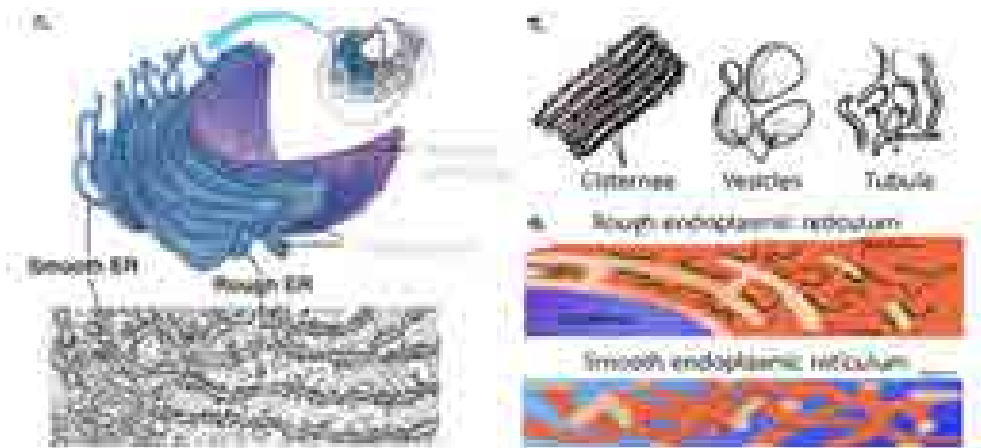
1) เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum: ER)

เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมเป็นออร์แกเนลล์ที่มีระบบเยื่อหุ้ม เยื่อหุ้มมีความหนา 50-70 ไมโครเมตร ประกอบด้วยโปรตีนและลิพิดที่มีการจัดเรียงตัวเป็นยูนิต เมมเบรนเหมือนกับเยื่อหุ้มเซลล์ เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมมีโครงสร้างเป็นระบบท่อที่มีการเชื่อมประสานกันทั่วเซลล์ ภายในท่อมี่ของเหลวอยู่ด้วย เรียกว่า ไฮยาโลพลาซิม (hyaloplasm) หรือซิสเตอร์นอล สเปซ (cisternal space) ส่วนของเหลวที่อยู่ภายนอก เรียกว่า ไซโตโซลิก สเปซ (cytosolic space) เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมมีรูปร่างลักษณะได้หลายแบบ เช่น เป็นถุงแบน ๆ เรียกว่า ซิสเตอร์นี (cisternae) หรือเป็นกระเปาะ (vesicles) หรือเป็นท่อ (tubules) ในเซลล์แต่ละชนิดอาจพบได้ทั้งสามแบบ แต่โดยทั่วไปแล้ว เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมจะมีสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ (รูปที่ 3.14) เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมจำแนกเป็น 2 ชนิดตามรูปร่างลักษณะ ดังนี้

ก. เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระ (rough endoplasmic reticulum: RER)

เรียกอีกอย่างว่า แกรนูลา เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (granular endoplasmic reticulum: GER) เป็นเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมที่ผิวด้านนอกของเยื่อหุ้มมีไรโบโซมมาเกาะจึงมีลักษณะขรุขระ มีโครงสร้างเป็นท่อ หน้าที่ของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระมีดังนี้

- 1) ลำเลียงสารไปยังส่วนต่าง ๆ ของเซลล์
- 2) สังเคราะห์โปรตีน
- 3) การสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)



รูปที่ 3.14 ลักษณะของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมที่เชื่อมติดกับเยื่อหุ้มนิวเคลียส (ก.) รูปร่างแบบต่างๆ (ข.) และ เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระและชนิดเรียบ (ค.)

ที่มา: ก. http://askmissteong.blogspot.com/2012/03/cell-structure-and-function-tutorial_20.html

ข. <http://cdn.yourarticlelibrary.com/wp-content/uploads/2014/03/image189.png>

ค. <http://www.biologyexams4u.com/2014/02/functions-of-rough-endoplasmic.html>

ข. เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบ (smooth endoplasmic reticulum: SER)

เรียกอีกอย่างว่า อะแกรนูลา เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (agranular endoplasmic reticulum: AER) เป็นเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมที่ผิวด้านนอกของเยื่อหุ้มไม่มีไรโบโซมมาเกาะจึงมีลักษณะเรียบ โดยหน้าที่ที่สำคัญมีดังนี้

1) กำจัดสารพิษ (detoxification)

2) กระตุ้นการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อ

3) เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายไกลโคเจน โดยเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบในเซลล์ตับจะมีเอนไซม์กลูโคส-6-ฟอสฟาเทส (glucose-6-phosphatase) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงกลูโคส-6-ฟอสเฟต (glucose-6-phosphate) ให้เป็นกลูโคสเพื่อนำไปใช้ต่อไป

4) สังเคราะห์สเตียรอยด์ฮอร์โมน ซึ่งเป็นฮอร์โมนเพศที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของเพศชายและเพศหญิง เช่น แอนโดรเจน (androgen) เป็นฮอร์โมนที่มีผลในการกระตุ้นลักษณะต่าง ๆ ของเพศชาย กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนที่กล้ามเนื้อและกระดูก ตลอดจนทำงานร่วมกับฮอร์โมนบางชนิดในกระบวนการผลิตเซลล์อสุจิอีกด้วย

5) สะสมสารต่าง ๆ สารที่มีสะสมในเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบเรียกว่า ไซโมเจน (zymogen) ซึ่งมักจะเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในสภาวะยังไม่พร้อมที่จะทำปฏิกิริยา

6) ลำเลียงสารไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของเซลล์

7) สังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์

8) เกี่ยวข้องกับการขับเกลือออกจากร่างกาย

นอกจากหน้าที่ดังกล่าวแล้วยังมีรายงานว่าเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบยังเกี่ยวข้องกับการดูดซึมลิพิดเข้าสู่ร่างกาย จึงมีพบมากในเซลล์วิลไล (villi) ของลำไส้เล็ก

เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบและขรุขระนอกจากจะแตกต่างกันในเรื่องของการมีหรือไม่มีไรโบโซมมาเกาะที่ผิวด้านนอกของเมมเบรนแล้ว ยังแตกต่างกันดังนี้

1. ความคงทน (stability) ของโครงสร้าง เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบจะมีความคงทนได้น้อยกว่า กล่าวคือในเซลล์ที่ได้รับบาดเจ็บหรือเซลล์ที่ตายใหม่ ๆ เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบจะคงสภาพได้ในช่วงระยะสั้น ๆ ในขณะที่เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระยังคงสภาพได้นานหลายวันหลังจากเซลล์ตาย ซึ่งความคงทนได้ดั่งนี้เกิดเนื่องจากมีไรโบโซมมาเกาะนั่นเอง จากการศึกษาสมบัติทางด้านเคมีและเอนไซม์ที่เยื่อหุ้มทั้งของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบและขรุขระจะยังคงเหมือนเดิม แต่การที่ไรโบโซมมาเกาะทำให้สมบัติของเยื่อหุ้มเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระจึงมีความคงทนดีขึ้น

2. รูปร่างของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบมีลักษณะเป็นท่อ ส่วนของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระมีลักษณะเป็นซิสเตอร์นี

2) กอลจิคอมเพลกซ์ (Golgi complex)

กอลจิคอมเพลกซ์ หรือ กอลจิแอฟพาราตัส (Golgi Apparatus) เป็นออร์แกเนลล์ที่พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1890 โดยคามิลโล กอลจิ (Camillo Golgi) นักชีววิทยาชาวอิตาลีเลียน มีโครงสร้างเป็นท่อที่มีระบบเยื่อหุ้ม และเป็นยูนิตเมมเบรน (รูปที่ 3.15) รูปร่างของกอลจิแอฟพาราตัสมีทั้งเป็นซิสเตอร์นี ท่อและกระเปาะ คล้ายกับเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม โดยที่ซิสเตอร์นีแต่ละอันจะเป็นถุงแบน ๆ เยื่อหุ้มหนา 60 อังสตรอม กว้าง 100-150 อังสตรอม กอลจิแอฟ

พาราตัสมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปหลายอย่าง เช่น กอลจิโอโซม (golgiosomes) กอลไจโบดี (golgi body) ดิคไทโอโซม (dictyosomes) โดยที่ดิคไทโอโซมใช้เรียกกอลไจแอฟพาราตัสที่พบในเซลล์พืช และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ส่วนกอลไจคอมเพล็กซ์ จะใช้เรียกกอลไจแอฟพาราตัสที่พบในเซลล์สัตว์มีกระดูกสันหลัง หน้าที่ของกอลไจแอฟพาราตัส ได้แก่

1. เกี่ยวข้องกับการสร้างอะโครโซม (acrosome) ที่พบในส่วนหัวของเซลล์อสุจิ โดยในระยะแรกของการสร้างสเปิร์มาติด (spermatid) จะมีกอลไจแอฟพาราตัสจำนวนมากมาเรียงตัวที่ส่วนหัวของสเปิร์มาติดและขยายขนาดเพิ่มขึ้น เคลื่อนย้ายเข้าใกล้นิวเคลียสและยึดเกาะอย่างหนาแน่นกับเยื่อหุ้มนิวเคลียสจนกระทั่งปกคลุมส่วนหัวของนิวเคลียสไว้ทั้งหมด ต่อมาเมื่อถึงระยะสเปิร์มาทีลิโอซิส (spermateliosis) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของสเปิร์มาติดเป็นเซลล์อสุจินั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณดังกล่าวนี้อีก จนเป็นอะโครโซมในที่สุด โดยอะโครโซมนี้จะใช้เจาะเยื่อหุ้มของเซลล์ไข่เพื่อการปฏิสนธิ

2. จัดเรียงตัวของสาร โดยเซลล์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อส่งออกมาใช้ภายนอกเซลล์ จะต้องนำโปรตีนที่ได้จากการสังเคราะห์ของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระมาจัดเรียงตัวหรือจัดสภาพใหม่ที่กอลไจแอฟพาราตัส ทั้งนี้เพื่อให้โปรตีนที่ได้มีสภาพเหมาะสมที่จะใช้กิจกรรมต่าง ๆ

3. เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไกลโคโปรตีน กล่าวคือ โปรตีนที่ได้จากการสังเคราะห์ของเอนโด พลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระจะถูกนำไปรวมกับโพลีแซคคาไรด์ในกอลไจแอฟพาราตัส ในการนี้จะต้องใช้เอนไซม์ ทรานส์เฟอเรส (transferase) หลายชนิดเคลื่อนย้ายสารพวกโพลีแซคคาไรด์เพื่อรวมกับโปรตีน ซึ่งมีอยู่ในกอลไจแอฟพาราตัส

4. สะสมสารต่าง ๆ ที่เซลล์สร้างขึ้นก่อนจะนำไปใช้ต่อไป

5. เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แผ่นกั้นเซลล์ หรือเซลล์เพลท (cell plate) ของเซลล์พืช

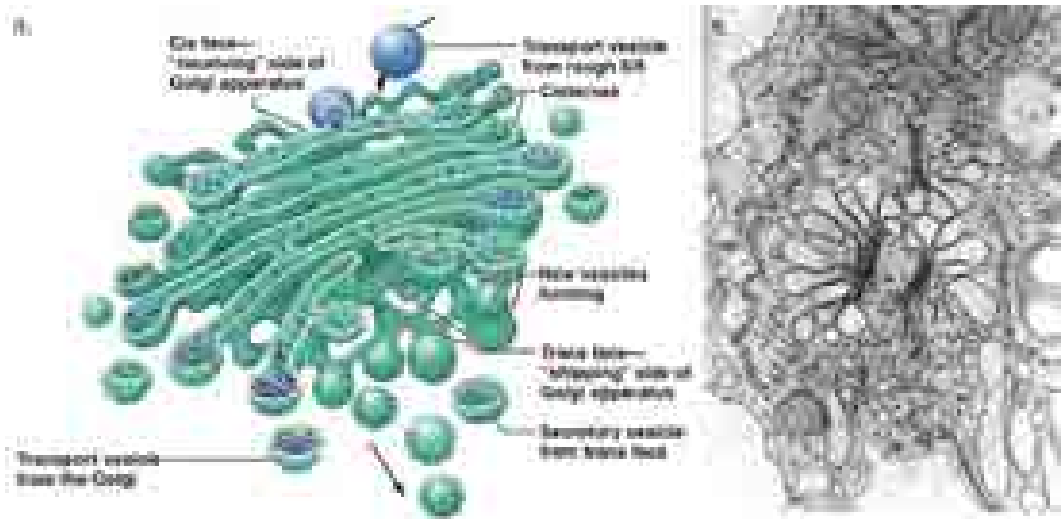
6. เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไลโซโซม (lysosome)

7. เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารเมือก (mucilage)

8. เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อะซีทิลโคลีน (acetylcholine)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกอลไจแอฟพาราตัสเป็นออร์แกเนลล์ที่สำคัญต่อเซลล์ยูคาริโอตโดยทั่วไป ซึ่งแต่ละเซลล์ของอวัยวะต่าง ๆ จะมีหน้าที่แตกต่างกันไป จึงทำให้หน้าที่ของกอลไจแอฟพาราตัสแตกต่างกันไปด้วย จากหน้าที่ทั้งหมดของกอลไจแอฟพาราตัสดังที่ได้กล่าวมานี้ จะเห็น

ได้ว่าเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารต่าง ๆ โดยร่วมกับเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมเป็นสำคัญ ดังนั้นถ้าหากขาดออร์แกเนลล์อย่างใดอย่างหนึ่งไป จะทำให้หน้าที่ของเซลล์บกพร่องได้



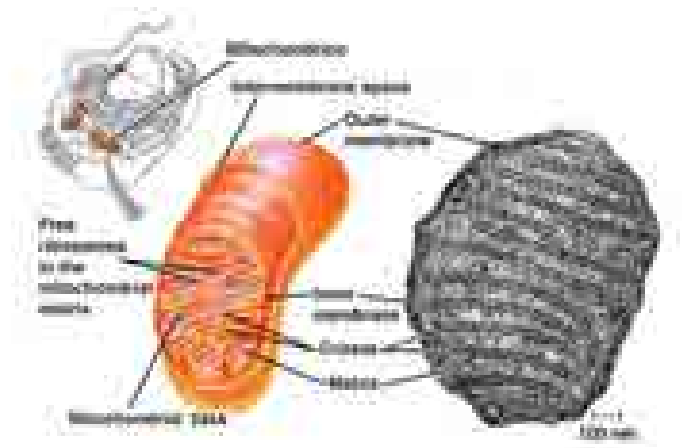
รูปที่ 3.15 การจัดสภาพของสารใหม่ที่กอลจีโอพพาราตัส (ก.) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ข.)

ที่มา: ก. <http://zoologybk.com/golgi-complex.php>

ข. <http://bscb.org/learning-resources/softcell-e-learning/golgi-apparatus/>

3) ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)

ไมโทคอนเดรียพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1850 โดยคอลลิกเกอร์ (Kolliker) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น มีรูปร่างไม่แน่นอน จะเปลี่ยนแปลงตามหน้าที่และกิจกรรมของเซลล์ เช่น ในเซลล์ตับมีรูปร่างแบบรูปไข่ เซลล์ยีสต์เป็นแบบวงรี ที่เซลล์ไตเป็นแบบรูปท่อนจนถึงรูปไข่ ในเซลล์ไฟโบบลาสต์เป็นรูปเรียวยาวคล้ายเส้นด้าย ในเซลล์ของตัวอ่อนระยะแรกจะมีรูปร่างแบบวงรี โดยส่วนมากจะมีรูปร่างแบบท่อนสั้นจนถึงเรียวยาวหรือกลม สำหรับขนาดของไมโทคอนเดรียก็เปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพทางสรีรวิทยาของเซลล์ แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2-1 ไมโครเมตร และยาว 5-7 ไมโครเมตร (รูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.16 ลักษณะและโครงสร้างของไมโทคอนเดรีย

ที่มา : <https://sites.google.com/site/mitochondria58205673/home/what-is-mitochondria>

เยื่อหุ้มชั้นนอกของไมโทคอนเดรียเรียบ แต่เยื่อหุ้มชั้นในมีลักษณะขด ยื่นเข้าไปด้านในจำนวนมากเรียกว่า คริสตี (cristae) ช่องว่างภายในไมโทคอนเดรียเรียกว่า เมทริกซ์ (matrix) ที่มีดีเอ็นเอและไรโบโซมของไมโทคอนเดรียอยู่ ช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มทั้งสองเรียกว่า อินเตอร์เมมเบรนสเปซ (intermembrane space)

ไมโทคอนเดรียจะอยู่กระจัดกระจายทั่วไปในไซโทพลาซึม แต่จะมีตำแหน่งแน่นอนในเซลล์บางชนิด ตามปกติตำแหน่งของไมโทคอนเดรียจะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของเซลล์ที่ต้องการใช้พลังงาน โครงสร้างใดต้องการพลังงานมากก็จะมีไมโทคอนเดรียในโครงสร้างนั้นมาก เช่น เซลล์อสุจิจะมีไมโทคอนเดรียจำนวนมากเรียงตัวเป็นเกลียวหุ้มรอบแอกเซียลฟิลาเมนต์ (axial filament) ของแฟลกเจลลา เพื่อให้พลังงานที่จะใช้ในการเคลื่อนที่เข้าปฏิสนธิกับไข่ ในเซลล์ตับอ่อนที่ทำหน้าที่สร้างเอนไซม์หลายชนิดจะมีไมโทคอนเดรียจำนวนมากอยู่รอบ ๆ เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดขรุขระ เพื่อให้พลังงานในการสังเคราะห์โปรตีน เซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างสารสเตียรอยด์ เช่น เซลล์ในรังไข่และอัณฑะ ไมโทคอนเดรียจะอยู่รอบ ๆ เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบเพื่อให้พลังงานในการสังเคราะห์ฮอร์โมนสเตียรอยด์ เซลล์บุผิวของลำไส้เล็กก็มีไมโทคอนเดรียจำนวนมากที่ผิวของเซลล์ด้านที่อยู่ชิดกับช่องว่างของลำไส้เพื่อให้พลังงานในการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ภายในเซลล์

ดีเอ็นเอในไมโทคอนเดรีย

ไมโทคอนเดรียเป็นออร์แกเนลล์ที่มีสารพันธุกรรมหรือดีเอ็นเอของตนเอง (mitochondrial DNA) ซึ่งมีอยู่ 1 อันหรือมากกว่าขึ้นอยู่กับขนาดของไมโทคอนเดรีย องค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับดีเอ็นเอของนิวเคลียส (nuclear DNA) มีคุณสมบัติอื่น ๆ แตกต่างกันที่สำคัญคือ

1) การทนต่อความร้อน ดีเอ็นเอของไมโทคอนเดรียจะทนต่อความร้อนสูง ๆ ได้ดีกว่าดีเอ็นเอของนิวเคลียส

2) การสังเคราะห์โปรตีน ดีเอ็นเอของไมโทคอนเดรียมีสารพันธุกรรมอยู่น้อย จึงควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนได้น้อยกว่าดีเอ็นเอของนิวเคลียส

ไรโบโซมในไมโทคอนเดรีย

ไรโบโซมในไมโทคอนเดรียจะมีขนาดใกล้เคียงกับไรโบโซมของเซลล์โปรคาริโอต เช่น ไรโบโซมใน ไมโทคอนเดรียของฟังไจมีขนาด 73S ประกอบด้วยหน่วยย่อยใหญ่ ขนาด 50S มีอาร์เอ็นเอที่เป็นองค์ประกอบของไรโบโซม คือ ไรโบโซมอล อาร์เอ็นเอ หรือ อาร์เอ็นเอไรโบโซม (ribosomal RNA; rRNA) ขนาด 23-27S และหน่วยย่อยเล็ก ขนาด 30-33S มีอาร์เอ็นเอไรโบโซม ขนาด 16-18S แต่โดยทั่วไปแล้วมีขนาดของไรโบโซมโดยเฉลี่ยเป็น 70S และประกอบด้วยหน่วยย่อย 50S และ 30S ไรโบโซมนี้จะพบเป็นโพลีไรโบโซมได้เช่นกันจึงสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้ ซึ่งกลไกในการสังเคราะห์จะเกิดเช่นเดียวกับที่เกิดในไซโทพลาซึม

หน้าที่ของไมโทคอนเดรีย

ไมโทคอนเดรียมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารที่ให้พลังงานกับเซลล์ที่เรียกว่า อดีโนซีนไตรฟอสเฟต หรือเอทีพี (adenosine triphosphate; ATP) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในปฏิกิริยาชีวเคมี นอกจากนี้ ยังเกี่ยวข้องกับวัฏจักรไกลออกซิเลส (glyoxylate cycle) คือการเปลี่ยนกรดไขมันให้เป็นคาร์โบไฮเดรต วัฏจักรนี้พบเฉพาะในพืชเท่านั้น เพราะสัตว์ไม่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรไกลออกซิเลสจึงไม่สามารถเปลี่ยนกรดไขมันเป็นคาร์โบไฮเดรตได้

4) **พลาสติด (plastid)** พบในเซลล์พืชทุกชนิด มีขนาดตั้งแต่ 5-100 ไมครอน อาจมีรูปร่างกลม หรือรี พลาสติดจำแนกตามชนิดของรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบได้ 3 ชนิด คือ

1. ลิวโคพลาสต์ (leucoplast) เป็นพลาสติดที่มีขนาดประมาณ 2.5 ไมครอน มีรูปร่างแบนท่อนหรือกลมรีคล้ายรูปไข่พบตามเนื้อเยื่อสะสมอาหารของรากหรือผลหรือลำต้นใต้ดิน เซลล์สืบพันธุ์และเซลล์ของต้นอ่อน ลิวโคพลาสต์จะเป็นแหล่งสะสมอาหารของพืช จำแนกได้หลายชนิดตามลักษณะของอาหารที่สะสม คือ สะสมแป้ง เรียกว่าอะไมโลพลาสต์ (amyloplast)

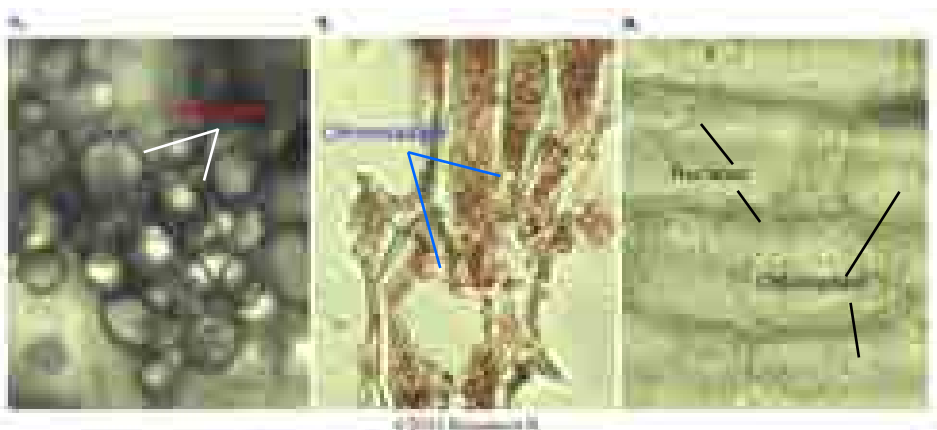
(รูปที่ 3.17 ก.) สะสมโปรตีน เรียกว่า โปรทีโนพลาสต์ (protenoplast) และสะสมลิพิด เรียกว่า อีไลโอพลาสต์ (elaioplast)

2. โครโมพลาสต์ (chromoplast) เป็นพลาสติดที่ประกอบด้วยรงควัตถุอื่น ๆ นอกจากสีเขียว มีรูปร่างได้หลายแบบ เช่น กรม รูปร่างท่อที่เรียวยาว เส้นยาวพระจันทร์ หรือคล้ายจาน ภายในมีรงควัตถุที่สำคัญเป็นพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoid) และไฟโคบิลิน (phycobilin) โดยที่แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุสีส้ม แดง และเหลือง (รูปที่ 3.17 ข.) พบมากในผลไม้สุก เช่น มะละกอ สำหรับไฟโคบิลินประกอบด้วยรงควัตถุพวกไฟโคอีริทริน (phycoerythrin) มีสีแดง และไฟโคไซยานิน (phycocyanin) มีสีน้ำเงิน

3. คลอโรพลาสต์ เป็นพลาสติดที่มีสีเขียว ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก เป็นออร์แกเนลล์ที่สำคัญในพืชสีเขียว (รูปที่ 3.17 ค.)

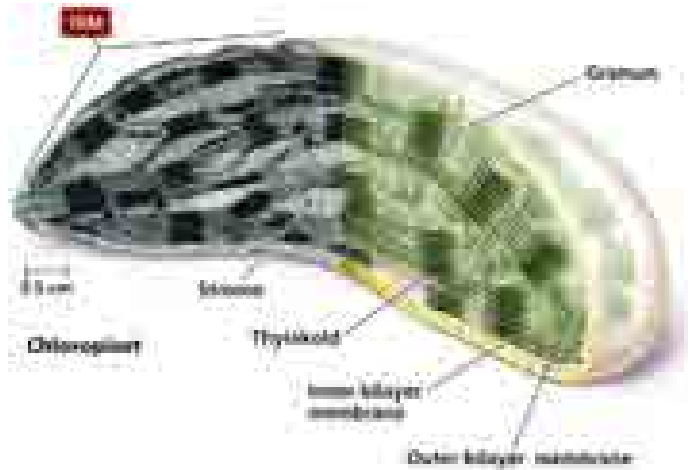
โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ คลอโรพลาสต์ประกอบด้วยเยื่อหุ้ม 2 ชั้น แต่ละชั้นหนา 8-10 นาโนเมตร และอยู่ห่างกัน 10-20 นาโนเมตร เยื่อหุ้มมีผิวเรียบเนื่องจากไม่มีอนุภาคใดมาเกาะ ภายในคลอโรพลาสต์ประกอบด้วยโครงสร้างสำคัญ 2 ชนิด คือ

1. กรานา (grana) เกิดจากกลุ่มของลามลลา (lamella) หรือไทลาคอยด์ (thylakoid) หลาย ๆ อันมาวางเรียงซ้อนกัน ทำให้มีลักษณะหนาที่มากกว่าส่วนอื่น ๆ (รูปที่ 3.18) ในแต่ละคลอโรพลาสต์มีได้หลายกรานา ซึ่งจะเชื่อมต่อกันด้วยเยื่อที่เรียกว่า อินเตอร์กรานา (intergrana) ทั้งกรานาและอินเตอร์กรานาประกอบด้วยคลอโรฟิลล์และรงควัตถุอื่น ๆ เช่น ไฟโคบิลิน และแซนโทฟิลล์ ตลอดจนเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบในปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงสว่าง (photochemical reaction) บรรจุอยู่



รูปที่ 3.17 พลาสต์ 3 ชนิด คือ ลิวโคพลาสต์ (ก.) โครโมพลาสต์ (ข.) และคลอโรพลาสต์ (ค.)

ที่มา: อนุรักษ์ ศรีสมุทร (2556)



รูปที่ 3.18 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์

ที่มา : <https://goo.gl/BYitje>

2. สโตรมา (stroma) เป็นของเหลวที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ จะมีทั้งดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ ไรโบโซม ผลิตภัณฑ์ของสารบางชนิด ตลอดจนเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบที่ไม่ต้องใช้แสงสว่าง (dark reaction) และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์หลายชนิด เช่น คตะเลส (catalase) ไซโทโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) เป็นต้น

ไรโบโซมในคลอโรพลาสต์

ไรโบโซมในคลอโรพลาสต์ มีขนาด 70S เช่นเดียวกับในไมโทคอนเดรีย และเซลล์พวกโพรคาริโอต มีหน่วยย่อยใหญ่ขนาด 50S หน่วยย่อยเล็กขนาด 30S ไรโบโซมนี้มีอาร์เอ็นเอไรโบโซมประมาณร้อยละ 44 และโปรตีนร้อยละ 56 โปรตีนดังกล่าวนี้จะแตกต่างจากโปรตีนของไรโบโซมในไมโทคอนเดรียและไซโทพลาซึม

ดีเอ็นเอในคลอโรพลาสต์

เช่นเดียวกับไมโทคอนเดรีย ในคลอโรพลาสต์มีดีเอ็นเอแบบวงแหวนเกลียวคู่ แต่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน ดีเอ็นเอนี้สามารถจำลองตัวเองและกำหนดการสร้างอาร์เอ็นเอได้ ทั้งนี้ เพราะมีเอนไซม์ดีเอ็นเอโพลีเมอเรส และอาร์เอ็นเอโพลีเมอเรส (RNA polymerase) อยู่ด้วย

ในคลอโรพลาสต์นอกจากจะมีดีเอ็นเอ และไรโบโซมแล้ว ยังพบว่ามีทีอาร์เอ็นเอ หรืออาร์เอ็นเอถ่ายโอน (transfer RNA; tRNA) และเอ็มอาร์เอ็นเอ หรืออาร์เอ็นเอนำรหัส (messenger RNA; mRNA) อีกด้วย ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์ของดีเอ็นเอนั่นเอง ดังนั้นในคลอโรพลาสต์จึงสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้เช่นกัน

หน้าที่ของคลอโรพลาสต์

เนื่องจากคลอโรพลาสต์มีรงควัตถุอยู่หลายชนิด ดังนั้นจึงทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงพลังงานแสงมาเป็นพลังงานเคมีในโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต และได้ออกซิเจนเป็นผลผลิตจากวัฏจักรคัลวินคือคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

5) ไลโซโซม (Lysosomes)

ไลโซโซมเป็นถุงบรรจุเอนไซม์สำหรับการย่อยสลาย มักมีลักษณะกลม เป็นแหล่งย่อยสลายสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ (intracellular digestion) จึงมีความสำคัญเกี่ยวกับกลไกต่อต้านป้องกันเชื้อโรคของโปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ กรดนิวคลีอิก และซัสเตรต (substrates) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ไลโซโซมพบอยู่ในเซลล์ทุกชนิด ยกเว้นเซลล์เม็ดเลือดแดง

ไลโซโซมเป็นออร์แกเนลล์ที่พบครั้งแรกโดยคริสเตียน เดอ ดูฟ (Christian de Duve) และคณะในปี ค.ศ. 1949 โครงสร้างมีระบบเยื่อหุ้มชั้นเดียวห่อหุ้ม รูปร่างกลมรี (รูปที่ 3.19) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15-0.8 ไมครอน เยื่อหุ้มนี้นี้มีสมบัติแตกต่างจากเยื่อหุ้มอื่น ๆ ของเซลล์ คือ ไม่ยอมให้เอนไซม์ต่าง ๆ ผ่านได้ แต่ถูกทำให้ฉีกขาดได้ง่ายด้วยแรงดันออสโมซิส ผงซักฟอก เครื่องตีปนรังสีอัลตราไวโอเล็ต และเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน เช่น โปรตีเอส (proteases) ไลโซโซมแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. ไลโซโซมปฐมภูมิ (primary lysosome) หรือ แกรนูลสะสม (storage granules) ไลโซโซมนี้สร้างใหม่จากกอลจิแอปพาราตัสและยังไม่เคยทำการย่อยสารใด
2. ไลโซโซมทุติยภูมิ (secondary lysosome) หรือ แวกิวโอลย่อยสลาย (digestive vacuoles) เป็นไลโซโซมปฐมภูมิที่มีการย่อยเกิดขึ้น แต่ยังคงเหลือน้ำย่อยพอที่จะย่อยต่อไปได้อีก

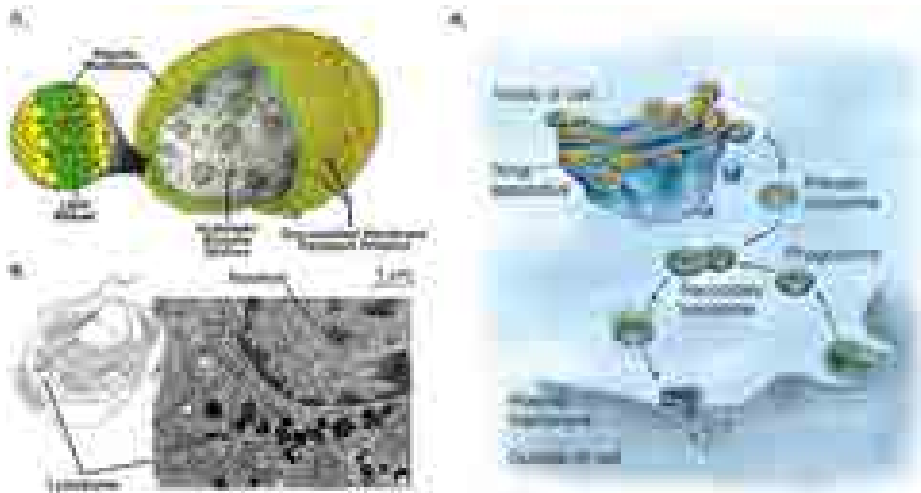
ชนิดของไลโซโซม

ไลโซโซมในเซลล์สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ จะมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปได้ตามอายุและกิจกรรมของเซลล์ จึงได้แบ่งไลโซโซมออกเป็น 4 ชนิด ตามกิจกรรมการย่อยสลายและสารที่อยู่ภายในดังนี้

1. แกรนูลสะสม หรือโปรโตไลโซโซม (protolysosomes) หรือไลโซโซมปฐมภูมิ เป็นไลโซโซมที่มีขนาดเล็ก ภายในมีเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารโดยมีน้ำเป็นตัวช่วยในการทำงานหรือไฮโดรไลติกเอนไซม์ (hydrolytic enzyme) อยู่หลายชนิด

2. เฮเทอโรไลโซโซม (heterolysosomes) มีชื่อเรียกหลายอย่าง ได้แก่ เฮเทอโรฟาโกโซม (heterophagosomes) หรือ เฮเทอโรฟาจิกแควคิวโอล (heterophagic vacuoles) หรือ ฟาโกไลโซโซม (phagolysosomes) หรือ ไลโซโซมทุติยภูมิ (secondary lysosomes) เป็นไลโซโซมที่เกิดจากการรวมตัวของสารต่าง ๆ ที่ได้จากระบวนการฟาโกไซโตซิส (phagocytosis) หรือพิโนไซโตซิส (pinocytosis) เพื่อการย่อยสลายต่อไป โดยในเซลล์ที่เกิดฟาโกไซโตซิสหรือพิโนไซโตซิสนั้น สิ่งแปลกปลอมหรือสารอาหารที่อยู่ภายในเซลล์จะมีเยื่อหุ้มที่เกิดจากการเว้าของเยื่อหุ้มเซลล์ห่อหุ้มเรียกว่า ฟาโกโซม (phagosomes) ต่อมาจะมีแกรนูลสะสมหลาย ๆ อันมาล้อมฟาโกโซมไว้แล้วหลอมรวมกันกลายเป็นเฮเทอโรฟาโกโซม สารที่อยู่ในภายในนี้จะถูกย่อยสลายเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และผ่านจากไลโซโซมเข้าสู่ไซโทพลาซึม สำหรับอัตราการย่อยสลายจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับจำนวนและสมบัติทางเคมีของสารตลอดจนความเฉพาะของเอนไซม์ในไลโซโซมด้วย

3. เรซิดูอัลบอดี (residual bodies) หรือทีโลไลโซโซม (telolysosomes) เป็นไลโซโซมที่เปลี่ยนแปลงมาจากเฮเทอโรฟาโกโซมที่ย่อยไม่สมบูรณ์ จึงมีกากอาหารหรือสารบางชนิดตกค้างอยู่ในเซลล์บางชนิด เช่น อะมีบาและพารามีเซียมจะมีวิธีกำจัดกากออกจากเซลล์ทางเยื่อหุ้มเซลล์ แต่เซลล์บางชนิดที่ไม่มีการแบ่งเซลล์จะมีเรซิดูอัลบอดีอยู่เป็นเวลานาน เช่น เซลล์ประสาท เซลล์ตับและเซลล์กล้ามเนื้อจะมีรงควัตถุสะสมอยู่ด้วยและจะมีมากขึ้นเมื่อเซลล์อายุยาวนาน ดังนั้นจึงใช้คำนวณอายุของเซลล์เหล่านี้ได้



รูปที่ 3.19 โครงสร้างของไลโซโซม (ก.) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ข.) และการเปลี่ยนจากไลโซโซมปฐมภูมิเป็นไลโซโซมทุติยภูมิ (ค.)

ที่มา : ก. <http://zoologybk.com/lysosome.php>

ข. <http://biology4isc.weebly.com/cell-organelles.html>

ค. [http://www.introbiol.org/cell/cell.php#\(1\)](http://www.introbiol.org/cell/cell.php#(1))

4. ออโทฟาโกโซม (autophagosomes) หรือไซโทไลโซโซม (cytolososomes) หรือออโทไลโซโซม (autolysosomes) หรือออโทฟาจิควิวอล (autophagic vacuoles) เป็นไลโซโซมที่เกิดเนื่องจากกินส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ตัวเอง เช่น ไมโทคอนเดรีย เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม ไมโครบอดี อนุภาคไกลโคเจนหรือโครงสร้างอื่น ๆ ของเซลล์ ไลโซโซมนี้จะพบเป็นจำนวนมากในเซลล์ที่เป็นโรคหรือมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาหรือสัณฐานวิทยา เช่น การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการเมแทมอร์โฟซิส (metamorphosis) จากลูกอ๊อดที่ใช้หางว่ายน้ำไปเป็นกบที่ไม่มีหาง เป็นต้น

หน้าที่ของไลโซโซม มีดังนี้

1. เกี่ยวข้องกับการย่อยสารต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ เช่น การอาหารหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เซลล์ การย่อยส่วนประกอบภายในเซลล์ที่มีอายุมากหรือเซลล์ไม่ต้องการใช้แล้ว การย่อยทำลายเซลล์ตัวเองขณะมีการเจริญเติบโต เช่น การเกิดรูปร่างของนิ้วมือและนิ้วเท้า การเปลี่ยนจากลูกอ๊อดที่มีหางเป็นกบที่ไม่มีหาง และการย่อยสารภายนอกเซลล์โดยไลโซโซมปล่อยเอนไซม์ออกนอกเซลล์

2. เกี่ยวข้องกับอะโครโซมของเซลล์อสุจิ ที่ส่วนหัวของอสุจิ กอลจิแอปพาราตัส ร่วมกับไลโซโซมกลายเป็นไลโซโซมชนิดพิเศษเรียกว่า อะโครโซม ภายในมีเอนไซม์พวกย่อยโปรตีน และไฮอะลูโรนิเดส (hyaluronidase) ย่อยสารเคลือบเซลล์ของเซลล์ไข่ที่มีพวกกรดไฮอะลูโรนิกและ แอซิดฟอสฟาเทสอยู่มาก

3. เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคและกลุ่มอาการในคน เช่น โรคที่เกิดจากการที่ไลโซโซม ปล่อยเอนไซม์ออกมาเป็นอันตรายต่อเซลล์ คือ ซิลิโคซิส (silicosis) ทำให้แมโครฟาจ (macrophage) ตายเป็นจำนวนมาก มีผลไปกระตุ้นเซลล์ไฟโบรบลาสต์ (fibroblast) ให้สร้างคอลลาเจนมากขึ้น เกิดเป็นเส้นใยจำนวนมากเรียกว่า ไฟโบรซิส (fibrosis) มีผลทำให้ความยืดหยุ่นของปอดลดลงมีผลเสียต่อ การทำงานของปอด

โรคหรือกลุ่มอาการที่เกิดจากขาดเอนไซม์ของไลโซโซม มีผลทำให้เกิดการสะสมสาร บางชนิดมากขึ้นภายในเซลล์ ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย เช่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง โครงกระดูก ผิดปกติไม่สมประกอบ (skeleton deformities) และสมองเสื่อม (mental retardation) เป็นต้น

6) แวกิวโอล (Vacuole)

แวกิวโอลเป็นโครงสร้างที่พบในไซโทพลาซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิตหลายชนิด โดยเฉพาะเซลล์พืชชั้นสูงที่เจริญเต็มที่ สาหร่าย ฟังไจบางชนิด แวกิวโอลเป็นออร์แกเนลล์ที่มีลักษณะ เป็นถุง มีเยื่อหุ้มชั้นเดียวที่เรียกว่า โทโนพลาสต์ (tonoplast) เยื่อหุ้มนี้มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน ภายในประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลวที่เรียกว่า เซลล์แซพ (cell sap) ในเซลล์พืชที่มีอายุมากจะมีแวกิวโอลขนาดใหญ่ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณร้อยละ 90 ของพื้นที่เซลล์ทั้งหมด แวกิวโอลแบ่งได้ 6 ชนิด ตามลักษณะการเกิด ดังนี้

1. เซ็นทรัลแวกิวโอล (central vacuole) พบในพืชเท่านั้น เมื่อเซลล์เจริญเต็มที่จะมีขนาดใหญ่จนเกือบเต็มเซลล์ ทำให้นิวเคลียสและไซโทพลาซึมถูกดันไปอยู่ข้างเซลล์ (รูปที่ 3.20 ก.)

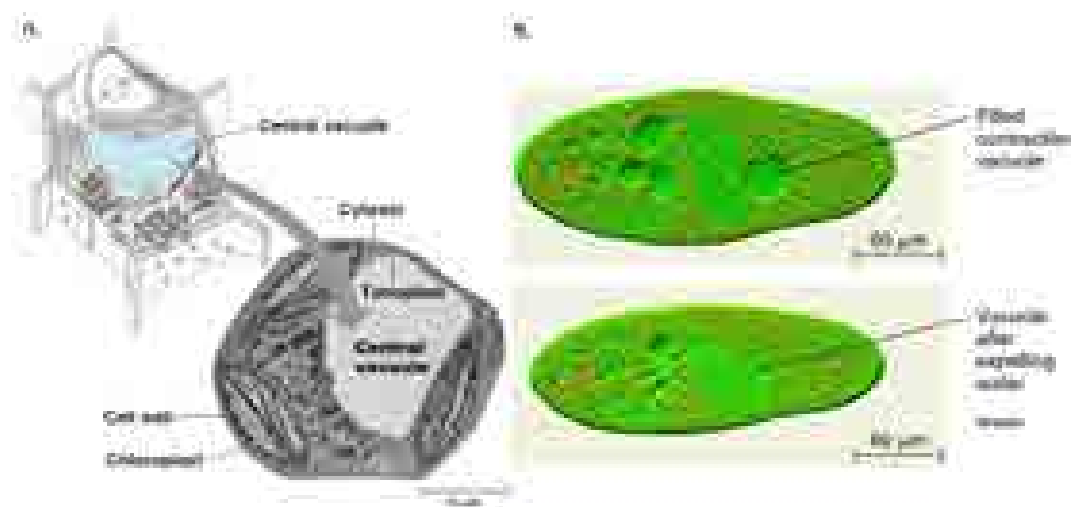
2. คอนแทรคไทล์แวกิวโอล (contractile vacuoles) เป็นแวกิวโอลที่พบในเซลล์ของโปรโตซัวน้ำจืดหลายชนิด มีหน้าที่ขับน้ำที่มากเกินไปเกินความต้องการและของเสียออกจากเซลล์ ซึ่งประกอบด้วยแวกิวโอลขนาดใหญ่สะสมน้ำ (central reservoir) ที่มีท่อเล็ก ๆ เชื่อมต่อกับแวกิวโอล และมีท่อนำน้ำไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ (รูปที่ 3.20 ข.) เมื่อภายในเซลล์มีน้ำมาก น้ำจะถูกปั๊มเข้าสู่ท่อเล็ก ๆ หลังจากนั้นจึงปล่อยสู่แวกิวโอล ขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานด้วย เมื่อน้ำเต็มแวกิวโอลจะหดตัวทำให้น้ำเคลื่อนที่ไปที่ท่อและออกสู่รูที่เยื่อหุ้มเซลล์

3. ฟูดแวคิวโอล (food vacuoles) เป็นแวคิวโอลที่เกิดจากการนำ อาหารเข้าสู่เซลล์โดยการยื่นเว้าของเยื่อหุ้มเซลล์ออกมาล้อมรอบอนุภาคของอาหาร จนกระทั่งหลุดเข้าสู่ภายในเซลล์ ดังนั้น เยื่อหุ้มของฟูดแวคิวโอลก็คือส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์นั่นเอง

4. แก๊สแวคิวโอล (gas vacuoles) มีพบในเซลล์พวกโพรคาริโอตหลายชนิดที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ เช่น แบคทีเรีย และไซยาโนแบคทีเรีย ยอมให้แก๊สโมเลกุลใหญ่ ๆ ผ่านเข้าออกได้อย่างอิสระ จึงพบแก๊สหลายชนิดปนกัน แก๊สแวคิวโอลมีความสำคัญเกี่ยวกับการลอยตัวของเซลล์ในน้ำ และให้แก๊สที่สะสมอยู่นำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ นอกจากนี้ยังใช้ป้องกันอันตรายเมื่อได้รับความเข้มข้นของแสง

5. พิโนไซโทติกแวคิวโอล (pinocytotic vacuoles) เป็นแวคิวโอลที่มีการเกิดคล้ายคลึงกับฟูดแวคิวโอลแต่อาหารที่นำเข้าสู่เซลล์จะอยู่ในรูปของเหลวหรือสารละลาย

6. นิวคลีโอลาร์แวคิวโอล (nucleolar vacuole) เป็นแวคิวโอลที่พบในนิวคลีโอลัสของเซลล์พืช ฟังไจ และสัตว์ ทำหน้าที่สะสมน้ำและสารละลายต่าง ๆ จากนั้นจะปล่อยเข้าสู่นิวคลีโอลาซึม และไซโทพลาซึม เพื่อขับออกจากเซลล์ต่อไปอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.20 เซ็นทรัลแวคิวโอลในเซลล์พืช (ก.) และคอนแทรคไทล์แวคิวโอลในเซลล์โปรโตซัวน้ำจืด (ข.)

ที่มา : ก

http://projects.ncsu.edu/project/bio183de/Black/plantcell/plantcell_reading/

vacuoles.htm

ข. <https://www.thinglink.com/scene/708425600922025984>

7) ไมโครบอดี (Microbody)

ไมโครบอดีเป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้มเพียงชั้นเดียว มีขนาดเล็ก รูปร่างกลมรีแบน รูปไข่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.5 ไมครอน (รูปที่ 3.21) ภายในประกอบด้วยเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase) เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) หรือคะตะเลส (catalase) ไมโครบอดีมีลักษณะสำคัญที่แตกต่างจากออร์แกเนลล์อื่น ๆ ก็คือ จะมีหน้าที่ไม่จำเพาะหน้าที่จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์และสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้เพราะไมโครบอดีมีองค์ประกอบของเอนไซม์แตกต่างกันไปนั่นเอง ดังนั้นจึงจำแนกไมโครบอดีได้เป็น 5 ชนิด ตามหน้าที่ที่แตกต่างกัน ได้แก่ เพอรอกซิโซม (peroxisomes) ไกลออกซิโซม (glyoxysomes) สเฟียโรโซม (spherosomes) ไกลโคโซม (glycosome) และไฮโดรจีโนโซม (hydrogenosome)

ก. เพอรอกซิโซม เพอรอกซิโซมเป็นไมโครบอดีที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ถึงมากกว่า 1 ไมโครเมตร มีเยื่อหุ้มเพียงชั้นเดียว หนาประมาณ 6.5-8 นาโนเมตร ออร์แกเนลล์นี้พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 โดย โรดิน (Rhodin) ได้ศึกษาพบว่าในเซลล์ไตของหนูจะมีออร์แกเนลล์ที่มีโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างไปจากที่เคยพบไว้แล้ว จึงได้ตั้งชื่อว่า ไมโครบอดี ต่อมาศึกษาพบไมโครบอดีนี้ทั้งเซลล์พืชและสัตว์ เพอรอกซิโซมมีหน้าที่สำคัญ ดังนี้

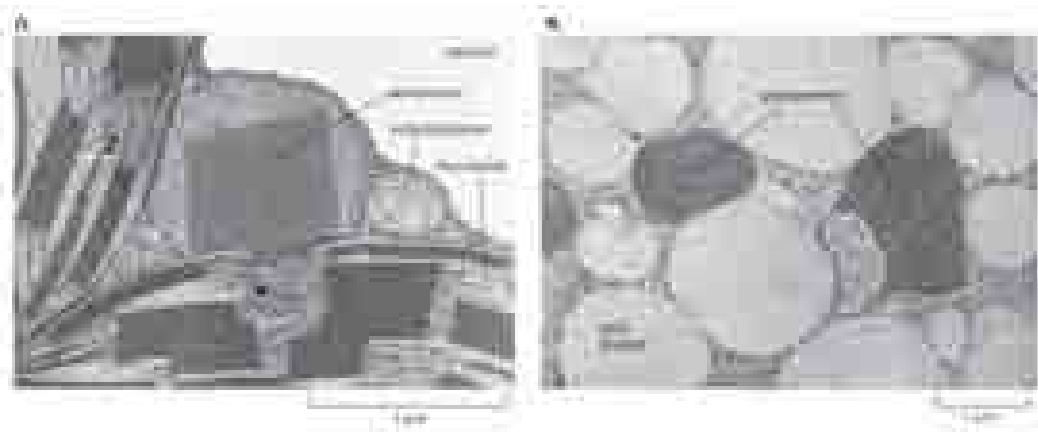
1. เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของนิวคลีโอไทด์กลุ่มพิวรีน (purine) ได้แก่ อะดีนีน (adenine) และกัวนีน (guanine) ในเซลล์ตับและไตของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ และสัตว์ปีกจะมีเพอรอกซิโซมที่มีเอนไซม์ยูริคแอซิดออกซิเดส (uric acid peroxidase) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์กรดยูริคที่ได้จากเมแทบอลิซึมของพิวรีน

2. ป้องกันเซลล์ ในเพอรอกซิโซมจะมีเอนไซม์ออกซิเดสหลายชนิด ทำหน้าที่ออกซิไดส์สารต่าง ๆ เช่น กรดอะมิโน กรดยูริค ไกลออกซิเลต ฯลฯ แล้วให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกมา สารนี้เป็นพิษต่อเซลล์ จึงถูกเอนไซม์คะตะเลสเปลี่ยนให้เป็นน้ำและแก๊สออกซิเจน

3. เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต ในโปรโตซัวจะมีเพอรอกซิโซมที่ประกอบด้วยเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จะเปลี่ยนแปลงสารหลายชนิดให้เป็นกรดแอลฟา-คีโตน (α-keto acid) ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

ข. ไกลออกซิโซม ไกลออกซิโซมเป็นไมโทครบอดีที่พบในเซลล์พืช ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรไกลออกซีเลต (glyoxylate cycle) จึงให้ชื่อว่า ไกลออกซิโซม นอกจากนี้ยังพบในจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่ คลอเรลลา (*Chlorella* sp.) นิวโรสปอรา (*Neurospora* sp.) และพอลิโทเมลลา (*Polytomella* sp.)

ไกลออกซิโซมมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของลิพิด จากการศึกษาในเมล็ดละหุ่งที่กำลังงอกนั้น ลิพิดจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้ในการสร้างพลังงานและการสังเคราะห์สารไปใช้สร้างโครงสร้างต่าง ๆ จนกว่าต้นอ่อนจะสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ตามปกติแล้วลิพิดที่สะสมไว้ภายในเซลล์จะถูกย่อยสลายเป็นกรดไขมันด้วยเอนไซม์ไลเปส (lipase) ที่อยู่ในไซโทพลาซึม กรดไขมันจะแพร่เข้าสู่ไกลออกซิโซม และถูกเปลี่ยนให้อะซิติลโคเอนไซม์ เอ (acetyl CoA) จำนวนมาก เพื่อเข้าสู่วัฏจักรไกลออกซีเลตต่อไป



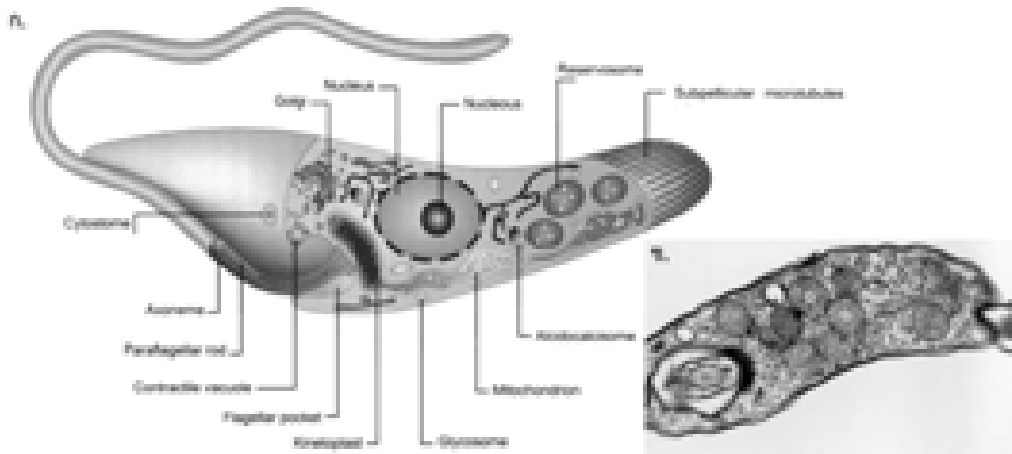
รูปที่ 3.21 ลักษณะของเพอโรซิโซม (ก.) และไกลออกซิโซม (ข.) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
ที่มา : <http://reasonandscience.heavenforum.org/t2162-peroxisomes>

ค. สเตียโรโซม สเตียโรโซมมีพบเป็นจำนวนมากในเซลล์พืช โดยเฉพาะเซลล์ที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง มีขนาดเล็กกว่าไมโทคอนเดรียและจะไหลเวียนได้อย่างรวดเร็วในเซลล์ที่เกิดไซโคลซิส (cyclosis) ภายในจะมีโปรตีนสะสมอยู่มากมาย นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสและอื่น ๆ อีกหลายชนิดซึ่งทำหน้าที่เคลื่อนย้ายหมู่ฟอสเฟตจากกลีเซอรอลและนำกลีเซอรอลมาเชื่อมต่อกับกรดไขมันเป็นลิพิด ดังนั้นในสเตียโรโซมดังกล่าวนี้จึงมีลักษณะเป็นอนุภาคไขมันขนาดใหญ่ภายในเซลล์ที่มีเมมเบรนห่อหุ้ม

สเฟียโรโซมในพืชจะทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโฟโตเรสไพเรชัน (photorespirations) โดยการออกซิไดซ์ของไกลโคเลตซึ่งเป็นสารประกอบ 2 คาร์บอนอะตอมที่สร้างจากคลอโรพลาสต์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงให้เป็นไกลออกซิเลตและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ง. ไกลโคโซม อาจจัดเป็นเพอรอกซิโซมชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีเอนไซม์คะตะเลสและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับบีตา-ออกซิเดชัน (β -oxidation) ของกรดไขมัน แต่แตกต่างจากเพอรอกซิโซมเนื่องจากมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับไกลโคไลซิสซึ่งมากกว่าร้อยละ 90 ของโปรตีนทั้งหมดในไกลโคโซม ออร์แกเนลล์ไกลโคโซมนี้พบในโปรโตซัวกลุ่มทริพาโนโซมส์ (trypanosomes) (รูปที่ 3.22)

ไกลโคโซมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งมีทั้งหมด 10 ขั้นตอน โดยเกิดที่ไกลโคโซม 7 ขั้นตอน และที่เหลือเกิดในไซโทพลาซึม การที่เกิดเช่นนี้ พบว่าอัตราการเกิดไกลโคไลซิสของทริพาโนโซมส์จะเร็วกว่าพวกเซลล์ยูคาริโอตอื่น ๆ

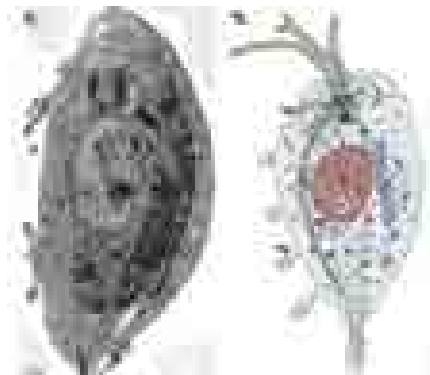


รูปที่ 3.22 โปรโตซัวกลุ่มทริพาโนโซมส์ที่มีไกลโคโซมภายในเซลล์ (ก.) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงไกลโคโซมด้วยตัวอักษร G (ข.)

ที่มา : Souza (2008)

จ. ไฮโดรจีโนโซม เป็นไมโครบอดีที่พบในโปรโตซัวที่เคลื่อนที่ด้วยแฟลกเจลลา กลุ่ม ไตรโคโมนาทิดส์ (trichomonatids) (รูปที่ 3.23) มีลักษณะเป็นถุงเยื่อหุ้ม ที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันไพรูเวต (pyruvate) ให้กลายเป็นแอสีเทต (acetate) โดยอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาถูกส่งไปยังตัวรับคือออกซิเจน แต่ถ้าเป็นสภาพที่ไร้ออกซิเจนตัวรับอิเล็กตรอนจะเป็นโปรตอนแทนออกซิเจน ได้เป็นไฮโดรเจน

หน้าที่ไฮโดรจีโนโซมเกี่ยวข้องกับการเกิดออกซิเดชันไพรูเวตและสร้าง ATP แทนไมโทคอนเดรีย เนื่องจากโปรโตซัวกลุ่มนี้ไม่มีไมโทคอนเดรีย จากการศึกษาต่อมาพบว่าพวกไตรโคโมนาทิดส์มีระบบเอนไซม์ฟลาวินออกซิเดสคะตะเลสอยู่ที่ไซโทพลาซึม ดังนั้นจึงไม่สอดคล้องกับการจัดเป็นไมโครบอดี



รูปที่ 3.23 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ก.) และแผนภาพ (ข.) ไฮโดรจีโนโซมที่แสดงโดยตัวอักษร H ในเซลล์ของโปรโตซัว *Tritrichomonas foetus*

ที่มา : Benchimol (2009)

ออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม (Non-membranous organelles)

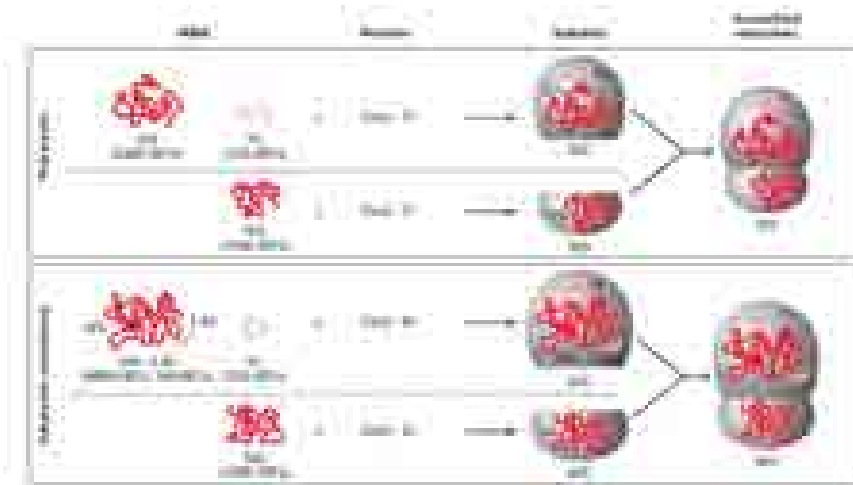
1) ไรโบโซม

ไรโบโซมเป็นออร์แกเนลล์ที่ประกอบด้วยโปรตีนรวมกับไรโบโซมอาร์เอ็นเอ สร้างจากนิวคลีโอไลต์ สามารถพบได้ทั้งในเซลล์ของโปรคาริโอตและเซลล์ของยูคาริโอต มีลักษณะกลมและมีขนาดเล็กมาก ไม่มีเยื่อหุ้ม และมักมีจำนวนมากภายในเซลล์ มี 2 หน่วยย่อย (subunit) คือ

หน่วยย่อยใหญ่ (large subunit) ขนาด 50S ในเซลล์โปรคาริโอต และขนาด 60S ในเซลล์ยูคาริโอต

หน่วยย่อยเล็ก (small subunit) ขนาด 30S ในเซลล์โปรคาริโอต และขนาด 40S ในเซลล์ยูคาริโอต

หน่วยย่อยใหญ่และหน่วยย่อยเล็กประกบกันเป็นไรโบโซมขนาด 70S และ 80S ในเซลล์โปรคาริโอตและเซลล์ยูคาริโอต ตามลำดับ (รูปที่ 3.24)



รูปที่ 3.24 การสร้างไรโบโซมขนาด 70S ในเซลล์โปรคาริโอต และขนาด 80S ในเซลล์ยูคาริโอต

ที่มา : <https://goo.gl/7vw33A>

ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตพบไรโบโซม 3 แบบ คือ กระจายทั่วไปในไซโทพลาซึม เรียงเป็นแถวในไซโทพลาซึม เรียกว่า พอลิไรโบโซม หรือ พอลิโซม (polyribosome หรือ polysome) สองแบบแรกนี้จะสังเคราะห์โปรตีนสำหรับใช้ในไซโทพลาซึมของเซลล์ และแบบที่เกาะบนเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (RER) จะทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนส่งออกไปใช้นอกเซลล์ ไรโบโซมทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน ในเซลล์ที่มีการสังเคราะห์โปรตีนสูงจะพบว่า มีนิวคลีโอลัส และไรโบโซมเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น ในเซลล์ตับของคน

2) ไซโทสเกลิตอน (cytoskeleton)

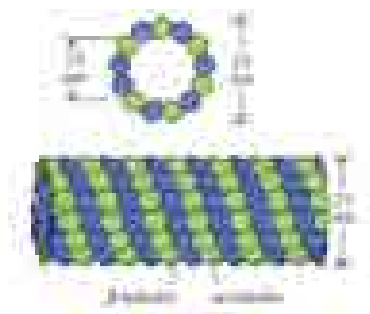
ไซโทสเกลิตอน คือ เส้นใยที่สานกันเป็นร่างแห กระจายอยู่ทั่วทั้งไซโทพลาซึมภายในเซลล์ มีหน้าที่รักษาโครงร่าง ทำให้เซลล์สามารถคงรูปอยู่ได้ และทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของเซลล์ ซึ่งรวมถึงการเคลื่อนตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ เช่น ออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ ออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ภายในเซลล์ สามารถล่องลอยอยู่ในไซโทพลาซึมได้เพราะมีไซโทสเกลิตอนช่วยยึด

เหนียวไว้ สามารถจำแนกไซโทสเกลิทอนตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลและขนาดของเส้นใยได้ เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. ไมโครทิวบูล (Microtubule)

ไมโครทิวบูลมีลักษณะเป็นท่อกลวง มีขนาดของเส้นใยใหญ่ที่สุด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 นาโนเมตร มีความยาวต่าง ๆ ตั้งแต่ประมาณ 25 นาโนเมตร ไปจนถึง 200 นาโนเมตร โครงสร้างผนังท่อประกอบไปด้วยโมเลกุลของโปรตีนที่มีรูปร่างเป็นก้อนกลม ชื่อว่า ทูบูลิน (tubulin) อยู่รวมกันเป็นไดเมอร์ (dimer) คือประกอบด้วยก้อนโปรตีน 2 ก้อน ได้แก่ แอลฟา-ทูบูลิน ซับยูนิต (α -tubulin subunit) และบีตา-ทูบูลิน ซับยูนิต (β -tubulin subunit) อยู่ด้วยกัน (รูปที่ 3.25) ไมโครทิวบูลสามารถขยายความยาวของท่อได้โดยการต่อเติมโมเลกุลของทูบูลินไดเมอร์นี้ขึ้นเป็นสายยาวที่พันเกลียวเป็นโครงสร้างผนังท่อ และในทางกลับกันก็สามารถสลายโครงสร้างท่อให้สั้นลงได้ด้วยกระบวนการหลุดออกของทูบูลินไดเมอร์ และสามารถต่อกลับเป็นโครงสร้างท่อใหม่ได้ในบริเวณต่าง ๆ ในไซโทพลาซึมของเซลล์

ไมโครทิวบูลมีหน้าที่รักษารูปร่างเซลล์ ทำให้เซลล์คงรูปอยู่ได้ โดยช่วยรับแรงกดดันต่าง ๆ และยังทำหน้าที่เป็นแนวเส้นทางที่ออร์แกเนลล์ภายในเซลล์จะมาจับโดยอาศัยมอเตอร์โปรตีน (motor protein) แล้วเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นทางนี้ไปตามบริเวณต่าง ๆ ของเซลล์ได้ นอกจากนี้ ไมโครทิวบูลยังมีหน้าที่ช่วยในการแยกตัวของโครโมโซมในระหว่างกระบวนการแบ่งเซลล์ เป็นแกนโครงสร้างของซีเลียและแฟลกเจลลาในเซลล์บางชนิด และเป็นองค์ประกอบของเซนโทรโซมและเซนทริโอล (centrosomes และ centrioles) ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโครโมโซมขณะแบ่งเซลล์



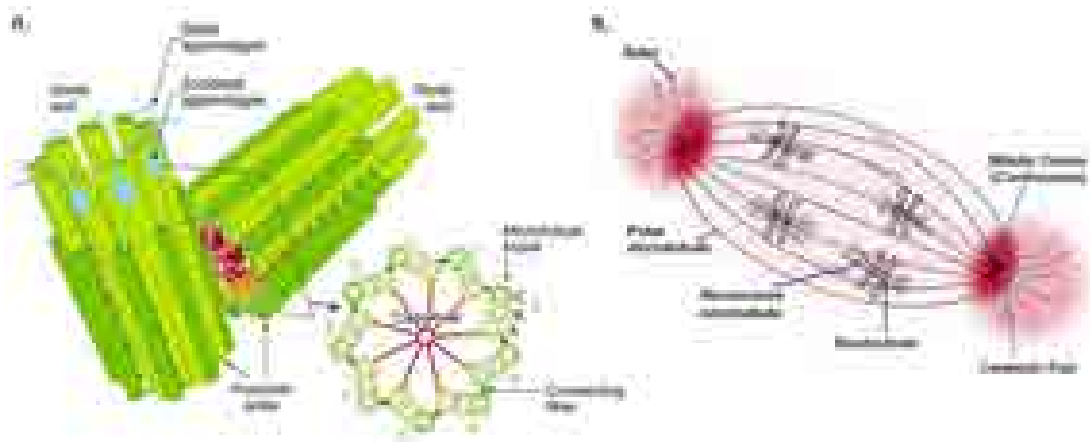
รูปที่ 3.25 หน่วยย่อยของไมโครทิวบูล ได้แก่ แอลฟา-ทูบูลิน ซับยูนิต และบีตา-ทูบูลิน ซับยูนิต เรียงต่อกันเป็นสายยาวแล้วม้วนตัวเป็นเกลียว

ที่มา : <http://oregonstate.edu/instruction/bi314/summer09/cytoskel.html>

โครงสร้างที่มีไมโครทิวบูลเป็นส่วนประกอบ

ก. เซนโทรโซมและเซนทริโอล ในเซลล์สัตว์ไมโครทิวบูลจะรวมกลุ่มกันบริเวณใกล้นิวเคลียสมีลักษณะเป็นทรงกระบอกสองอันวางตัวในแนวตั้งฉากกัน เรียกว่า เซนโทรโซม ทรงกระบอกแต่ละอันนี้ คือ เซนทริโอลซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มพบในเซลล์สัตว์ทุกชนิดและเซลล์ของโปรโตซัวบางชนิด แต่ละอันประกอบด้วยไมโครทิวบูล เรียงตัวกันเป็นวงกลม 9 กลุ่มและในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยไมโครทิวบูล 3 อัน ตรงกลางเซนทริโอลไม่มีไมโครทิวบูลอยู่ โครงสร้างของเซนทริโอลจึงเป็นแบบ 9+0 (รูปที่ 3.26 ก.) เซนทริโอลแต่ละอันจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 250 นาโนเมตร

เซนทริโอลทำหน้าที่สร้างเส้นใยโปรตีน เรียกว่า ไมโทติก สปินเดิล (mitotic spindle) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโครโมโซมในการบวนการแบ่งเซลล์ของสัตว์ ในเซลล์พืชไม่มีเซนทริโอลจึงใช้โพลาร์แคป (polar cap) ทำหน้าที่แทน เส้นใยไมโทติก สปินเดิลประกอบด้วยไมโครทิวบูลเรียง ตัวเป็น 9+0 (9+0 = 9) คือ มีไมโครทิวบูลเพียง 9 เส้นและรอบ ๆ เซนทริโอลจะมีไมโทติกสปินเดิลยื่นออกมาโดยรอบมากมายซึ่งเรียกว่า แอสเทอร์ (aster) (รูปที่ 3.26 ข.)



รูปที่ 3.26 คู่ของเซนทริโอลตั้งฉากกันเป็นเซนโทรโซม (ก.) และเส้นใยไมโทติก สปินเดิล (ข.)

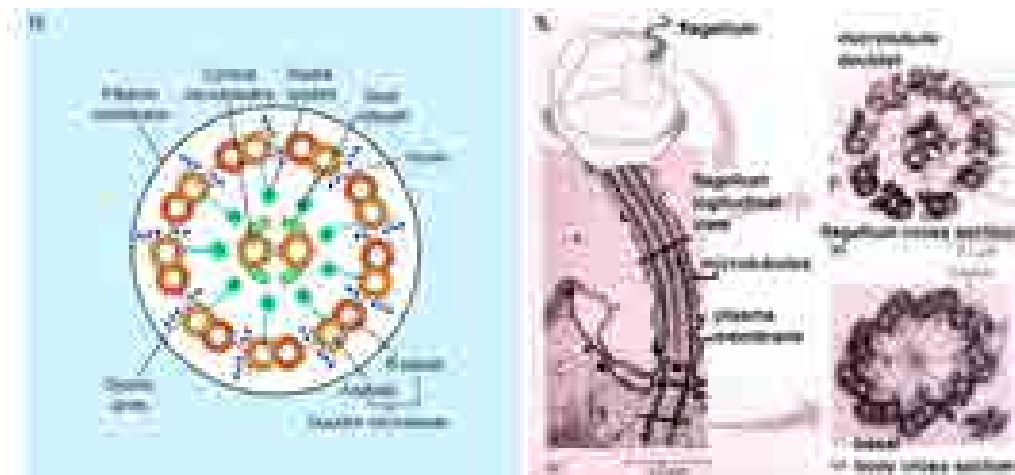
ที่มา : ก. Schatten and Simerly (2015)

ข. <http://biology.tutorvista.com/animal-and-plant-cells/centrioles.html>

ข. **ซีเลียและแฟลกเจลลา** ในเซลล์ยูคาริโอตเซลล์เดี่ยวบางพวก เช่น ยูกลีนา (euglena) พารามีเซียม (paramecium) และเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ หรือ สเปิร์ม (sperm) จะมีโครงสร้างพิเศษที่ช่วยในการเคลื่อนที่ซึ่งมีไมโครทิวบูลเป็นองค์ประกอบ คือ ซีเลียและแฟลกเจลลา

โครงสร้างของซีเลียนั้น ประกอบด้วยไมโครทิวบูลเรียงตัวกันเป็นวง ซึ่งด้านนอกของวงจะประกอบด้วยไมโครทิวบูลทั้งหมด 9 ชุด แต่ละชุดจะมีไมโครทิวบูล 2 อัน ส่วนตรงกลางของซีเลียนั้นจะมีไมโครทิวบูลอยู่ 2 ชุด แต่ละชุดจะมีไมโครทิวบูล 2 อันเช่นเดียวกัน แทนสัญลักษณ์ของไมโครทิวบูลในซีเลียด้วยตัวเลขเป็น 9+2 ไมโครทิวบูล 2 อันในแต่ละชุดจะเชื่อมกันด้วยแขนโปรตีนไคนีน (Dynien arm) และเมื่อคู่ไมโครทิวบูลในแต่ละชุดเกิดการเลื่อนหรือสไลด์ ก็จะทำให้ซีเลียสามารถโค้งงอได้

ส่วนแฟลกเจลลาประกอบด้วยการจัดตัวของไมโครทิวบูลเป็น 9+2 เช่นเดียวกับซีเลีย แต่มีจำนวนเส้นต่อเซลล์น้อยกว่า บริเวณโคนของแฟลกเจลลัมจะยึดกับโครงสร้างภายในเซลล์ที่เรียกว่า เบซัลบอดี (basal body) หรือ ไคนีโทโซม (kinetosome) ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของไมโครทิวบูลเป็น 9+0 เหมือนเซนทริโอล (รูปที่ 3.27) ถ้าตัดเบซัลบอดีออกแฟลกเจลลานั้นจะเสียความสามารถในการทำให้เซลล์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.27 การจัดตัวของไมโครทิวบูลเป็น 9+2 ในซีเลียและแฟลกเจลลา (ก.) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กทรอนิกส์แสดงส่วนเบซัลบอดีที่มีการจัดตัวของไมโครทิวบูลเป็น 9+0 (ข.)

ที่มา : ก

https://en.wikipedia.org/wiki/Flagellum#/media/File:Eukaryotic_flagellum.svg

ข. <https://goo.gl/CeY7ai>

2. ไมโครฟิลาเมนต์ (Microfilament)

ไมโครฟิลาเมนต์เป็นไซโทสเกิลีตอนชนิดที่มีขนาดเล็กที่สุด มีโครงสร้างเป็นเส้นยาว มีลักษณะตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 นาโนเมตร โครงสร้างประกอบด้วยโมเลกุลโปรตีนที่มีลักษณะเป็นก้อนกลม เรียกว่า แอกทิน (actin) แต่ละโมเลกุลของแอกทินที่ประกอบกันขึ้นเป็นไมโครฟิลาเมนต์ นี้จะเรียกว่า แอกทิน ซับยูนิต (actin subunit) (รูปที่ 3.28) ดังนั้นจึงอาจเรียกไมโครฟิลาเมนต์ อีกชื่อหนึ่งว่า แอกทินฟิลาเมนต์ (actin filament) แอกทิน ซับยูนิตแต่ละหน่วยมารวมกันกลายเป็นสายฟิลาเมนต์แอกทิน โดยต้องการ ATP ความยาวของไมโครฟิลาเมนต์แตกต่างกันไป อาจประกอบด้วยแอกทินตั้งแต่ 10 จนถึง 1,000 โมเลกุล โดยมีปลายบวกและปลายลบคล้ายกับไมโครทูบูล



รูปที่ 3.28 โครงสร้างไมโครฟิลาเมนต์ที่ประกอบด้วยแอกทิน ซับยูนิตเรียงต่อกันเป็นสายยาว 2 สาย พันกันเป็นเกลียว

ที่มา : <http://www.buzzle.com/articles/cytoskeleton-structure-components-and-function.html>

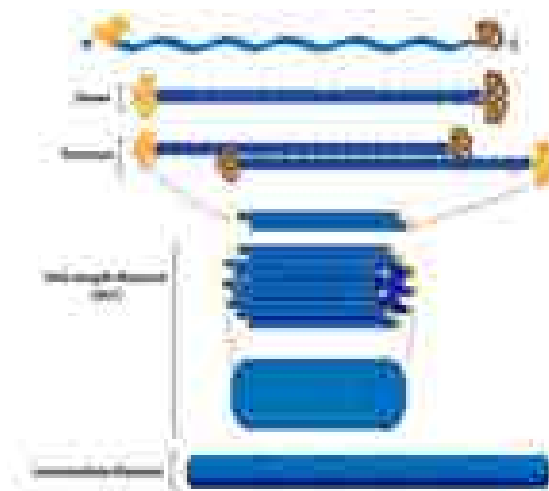
นอกจากนี้ แอกทินฟิลาเมนต์กับไมโอซิน ยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเคลื่อนตัวของไซโทพลาซึม และการเคลื่อนที่ของเซลล์แบบอื่น ๆ อีก เช่น ทำให้เกิดร่องแยกของไซโทพลาซึมในกระบวนการแบ่งเซลล์ (cleavage furrow) และการเคลื่อนที่แบบอะมีบา (amoeboid movement) ในเซลล์บางชนิด

3. ฟิลาเมนต์มัธยันตร์ (Intermediate filament)

ฟิลาเมนต์มัธยันตร์มีขนาดของเส้นใยเล็กกว่าไมโครทิวบูล แต่ใหญ่กว่าไมโครฟิลาเมนต์เล็กน้อย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-12 นาโนเมตร จัดเป็นชนิดของไซโทสเกลิตอนที่มีความหลากหลายของชนิดย่อย แต่ละชนิดย่อยก็มีองค์ประกอบของซับยูนิตที่จำเพาะ แต่เป็นโปรตีนในกลุ่มเดียวกัน คือพวกเคราติน (keratin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีรูปร่างเป็นเส้นยาว (รูปที่ 3.29)

โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของฟิลาเมนต์มัธยันตร์มีลักษณะเป็นสายฟิลาเมนต์ (keratin α helix) ไม่ใช่ก้อนกลมเหมือนทิวบูลิน หรือแอกทิน ขั้นตอนการเกิดเป็นฟิลาเมนต์มัธยันตร์สรุปได้ดังนี้

1. พอลิเพปไทด์ 2 สายพันกัน (intertwined) กลายเป็นไดเมอร์ที่มีลักษณะขด (coiled coil dimer)
2. ไดเมอร์ 2 อันที่มีทิศทางตรงข้ามกันมารวมกันเป็นเทตระเมอร์ (tetramer)
3. แต่ละเทตระเมอร์มารวมกันเป็นโพรโตฟิลาเมนต์
4. แต่ละโพรโตฟิลาเมนต์รวมกันเป็นฟิลาเมนต์มัธยันตร์



รูปที่ 3.29 โครงสร้างของฟิลาเมนต์มัธยันตร์ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็นโปรตีนในกลุ่มเคราติน

ที่มา : <https://www.mechanobio.info/topics/cytoskeleton-dynamics/cytoskeleton/intermediate-filament/>

ฟิลาเมนต์มัธยันตร์มีหน้าที่รักษารูปร่างของเซลล์ โดยช่วยรับแรงดึงเช่นเดียวกับไมโครฟิลาเมนต์ และเป็นโครงสร้างค้ำจุนพื้นฐานของเซลล์ เนื่องจากไม่มีการสลายตัวหรือจัดตัวใหม่กลับไปมาภายในเซลล์เหมือนกับไมโครทิวบูล และไมโครฟิลาเมนต์

ฟิลาเมนต์มัธยันตร์เป็นไซโทสเกีลิตอนที่คงทนถาวรมาก เมื่อเทียบกับไซโทสเกีลิตอนชนิดอื่น ยกตัวอย่างเช่น เซลล์ที่ตายแล้วของผิวหนังที่หลุดลอกออก ยังคงมีเคราตินซึ่งเป็นฟิลาเมนต์มัธยันตร์ หลงเหลืออยู่ภายในเซลล์ นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าฟิลาเมนต์มัธยันตร์เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ให้ความแข็งแรงแก่เซลล์ และทำให้ออร์แกเนลล์บางชนิดถูกยึดอยู่กับที่ได้ ตัวอย่างที่สำคัญ เช่น การรักษาตำแหน่งของนิวเคลียส ร่องแหงของฟิลาเมนต์มัธยันตร์ จะคลุมล้อมรอบนิวเคลียสไว้ให้อยู่ในตำแหน่งจำเพาะภายในเซลล์

จะเห็นได้ว่าไซโทสเกีลิตอนทั้งสามชนิดนี้ จะทำงานภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตทำให้เซลล์สามารถคงรูปอยู่ได้ และช่วยในการเคลื่อนตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในไซโทพลาซึม ทำให้เซลล์สามารถดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ได้ รวมไปถึงช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของเซลล์ได้ด้วย

บทสรุป

เซลล์ของสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วยส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ และโพรโทพลาซึม ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ ได้แก่ ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์พบในเซลล์ของแบคทีเรีย รา และพืช โดยมีส่วนประกอบหลักแตกต่างกัน คือ แบคทีเรียเป็นเพปทิโดไกลแคน ราเป็นพวกไคติน ส่วนผนังเซลล์พืชคือเซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ไซโทพลาซึมและนิวเคลียส เยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยโปรตีนและลิพิดเป็นหลัก ส่วนคาร์โบไฮเดรตพบบ้างเล็กน้อย ฟอสโฟลิพิดเป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อหุ้มเซลล์เรียงตัวเป็น 2 ชั้น เรียกว่า ฟอสโฟลิพิดไบแลร์ เอาด้านหัวไฮโดรฟิลิกออกข้างนอก และเอาด้านหางไฮโดรโฟบิกไว้ข้างใน โพรโทพลาซึมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ นิวเคลียสและไซโทพลาซึม ในนิวเคลียสจะมีทั้งดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ และโปรตีน นิวเคลียสทำหน้าที่ถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์ ไซโทพลาซึมเป็นของเหลวใส ประกอบด้วยสารเคมีพวกน้ำตาล กรดอะมิโน และออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ได้แก่ พวกที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือ ไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ พวกที่มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว ได้แก่ เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม กอลจีแอฟพาราตัส ไลโซโซม แวกิวโอล และไมโครบอดี และออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม คือ ไรโบโซม และไซโทสเกีลิตอน ซึ่งมี 3 ชนิด ได้แก่ ไมโครทิวบูล ไมโครฟิลาเมนต์ และฟิลาเมนต์มัธยันตร์

คำถามท้ายบท

1. ลักษณะของเซลล์แบคทีเรีย โปรโตซัว รา ฟีซ และสัตว์ มีองค์ประกอบพื้นฐานใดของเซลล์ที่คล้ายคลึงกัน

.....

.....

.....

2. ผนังเซลล์ในสิ่งมีชีวิตพวกแบคทีเรีย รา และพืช มีองค์ประกอบเหมือนหรือต่างกันอย่างไร

.....

.....

.....

3. องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้มเซลล์มีอะไรบ้าง และแต่ละส่วนนั้นทำหน้าที่ใด

.....

.....

.....

4. ออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ของเซลล์มีหน้าที่การทำงานอย่างไรบ้าง

.....

.....

.....

5. การจำแนกออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ของเซลล์ออกเป็นกลุ่มจะใช้ลักษณะใดเป็นเกณฑ์ และจำแนกได้อย่างไร

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง

ณัฐพงษ์ ศรีสมุทร. 2556. เอกสารประกอบการสอนวิชาชีววิทยาของเซลล์. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขต
กาฬสินธุ์.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชาสุวรรณพินิจ. 2548. **จุลชีววิทยาทั่วไป**. พิมพ์ครั้งที่ 5. พิมพ์ที่โรง
พิมพ์

แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

ลัดดา เอกสมทราเมษฐ์. 2549. **ชีววิทยาของเซลล์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 264
หน้า.

Albert, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Robert, K. and Watson, J.D. 1993. **Molecular
Biology**

of the Cell, 5th Edition. New York: Garland Publishing. 1,392

Benchimol, M. 2009. Hydrogenosomes under microscopy. **Tissue and Cell**. 41(3):
151-168.

Garrett, H. and Grisham, C. M. 1999. **Biochemistry, 2nd ed**. Saunders College, New
York.

http://askmissteong.blogspot.com/2012/03/cell-structure-and-function-tutorial_20.html

<http://biology4isc.weebly.com/cell-organelles.html>

<http://biology.tutorvista.com/animal-and-plant-cells/centrioles.html>

<http://bscb.org/learning-resources/softcell-e-learning/golgi-apparatus/>

<http://cdn.yourarticlelibrary.com/wp-content/uploads/2014/03/image189.png>

<http://oregonstate.edu/instruction/bi314/summer09/cytoskel.html>

<http://oregonstate.edu/instruction/bi314/summer09/nucleus.html>

http://projects.ncsu.edu/project/bio183de/Black/plantcell/plantcell_reading/vacuoles.htm

<http://reasonandscience.heavenforum.org/t2162-peroxisomes>

<http://swanca.ca/main/index.php/what-we-do/item/10-bio-plastic-from-lignin>

<http://zoologybk.com/golgi-complex.php>

<http://zoologybk.com/lysosome.php>

[http://www.introbiol.org/cell/cell.php#\(1\)](http://www.introbiol.org/cell/cell.php#(1))

<http://www.macroevolution.net/fluid-mosaic-model.html>

<http://www.mun.ca/biology/desmid/brian/BIOL2060/BIOL2060-04/CB04.html>

<http://www.tutorvista.com/content/biology/biology-iii/cell-organization/cell-all.php>

<https://animalcellbiology.files.wordpress.com/2011/08/lipid-movement.png>

[https://bio.libretexts.org/TextMaps/Map%3A_Microbiology_\(OpenStax\)/03%3A_The_Cell/3.](https://bio.libretexts.org/TextMaps/Map%3A_Microbiology_(OpenStax)/03%3A_The_Cell/3.)

[4%3A_Unique_Characteristics_of_Eukaryotic_Cells](https://bio.libretexts.org/TextMaps/Map%3A_Microbiology_(OpenStax)/03%3A_The_Cell/3.4%3A_Unique_Characteristics_of_Eukaryotic_Cells)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cell_wall_structure_of_Fungi.png

https://en.wikipedia.org/wiki/Flagellum#/media/File:Eukaryotic_flagellum.svg

<https://goo.gl/7vw33A>

<https://goo.gl/BYitje>

<https://goo.gl/CeY7ai>

<https://goo.gl/nzZ4Vy>

<https://goo.gl/tw13Lr>

<https://goo.gl/xhSdCf>

<https://sites.google.com/site/mitochondria58205673/home/what-is-mitochondria>

<https://www.ck12.org/biology/Phospholipid-Bilayers/lesson/Phospholipid-Bilayers-BIO/>

<https://www.mechanobio.info/topics/cytoskeleton-dynamics/cytoskeleton/intermediate-filament/>

<https://www.pinterest.com/pin/565905509417041536/>

<https://www.thinglink.com/scene/708425600922025984>

Kooman, J. and Roehm, K.H. 2005. **Color Atlas of Biochemistry 2nd ed.**, Thieme,

New York.

Ma, J.F., Yang, G.H., Mao, J.Z. and Xu, F. 2011. Characterization of anatomy, ultrastructure

and lignin microdistribution in *Forsythia suspensa*. **Ind Crop Prod.** 33:358e63.

Schatten, G. and Simerly, C. 2015. LEGOs® and legacies of centrioles and centrosomes.

EMBO reports. 16(9): 1052-1054.

Souza, W. 2008. Electron microscopy of trypanosomes: a historical view. **Memórias do**

Instituto Oswaldo Cruz. 103(4): 313-325. <https://dx.doi.org/10.1590/S0074-02762008000400001>.

บันทึก

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ความคลาดเคลื่อนจากแผนการสอน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอการดำเนินการเพื่อปรับปรุงวิธีสอน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....