

บทที่ 2

เซลล์พืช (Plant Cells)

เซลล์ (cells) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต ในสิ่งมีชีวิตที่มีเซลล์เดียว ภายในเซลล์นี้จะมีกิจกรรมต่างๆ สมบูรณ์ในตัวเอง ส่วนในสิ่งมีชีวิตที่มีหลายเซลล์ เซลล์เหล่านั้นอาจรวมกันเป็นเนื้อเยื่ออย่างง่าย หรือรวมกันเป็นเนื้อเยื่อที่ซับซ้อน รวมทั้งมีการทำงานเป็นระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น ไม่ว่าสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการทำงานที่ซับซ้อนมากเพียงใดก็ตาม เซลล์ก็ยังคงเป็นหน่วยที่เล็กและมีความสำคัญมากที่สุดของสิ่งมีชีวิต

2.1 เซลล์พืช (plant cells)

คำว่าเซลล์ถูกเรียกโดย Robert Hooke (1665) จากการนำเปลือกชั้นนอกหรือคอร์ค (cork) ของต้นโอ๊กมาฉีกให้บางและส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่เขาประดิษฐ์ขึ้น ตามความหมายของ Hooke "เซลล์" หมายถึงห้องเล็ก ๆ ทั้งนี้เพราะว่าเปลือกชั้นนอกที่ Hooke นำมาศึกษานั้นเป็นโครงสร้างที่ไม่มีชีวิต

หลังจากนั้น การศึกษาเรื่องเซลล์ได้พัฒนามาเรื่อยๆ ตามความอยากรู้อยากเห็นของมนุษย์ ในปี 1938 นักพฤกษศาสตร์ชาวเบลเยียมชื่อ Matthias Jacob Schleiden และในปีถัดมา นักสัตววิทยาชาวเยอรมันชื่อ Theodor Schwann ทั้งสองได้ร่วมกันเขียนรายงานชื่อ *Microscope Investigation on the Similarity of the Structure and Growth in Animals and Plants* ซึ่งในรายงานนี้สรุปได้ว่า เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานในโครงสร้างของพืชและสัตว์ ต่อมาได้มีการศึกษากว้างขวางมากยิ่งขึ้น และเป็นที่ยอมรับว่าสิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบขึ้นด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์

เซลล์พืชจัดเป็น Eucaryotic cell ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0.01-1.0 มม. แต่ก็มีเซลล์ที่มีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่านี้ เช่น เซลล์ที่ผลของพืชสกุลแดงมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 มม. เซลล์เส้นใย (fiber) ของพืชในวงศ์ Utricaceae เช่น ป่านรามิ (*Bochmeria mivia*) บางเซลล์อาจมีความยาวถึง 200 มม. (1 มม. = 1.0×10^{-3} ม.)

รูปร่างของเซลล์พืชมีลักษณะแตกต่างกันตามชนิดและหน้าที่ของแต่ละเซลล์ เช่นรูปดาว รูปเส้นด้าย รูปไต รูปกระดูก หรือรูปหลายเหลี่ยมที่มีแต่ละด้านยาวเกือบเท่าๆ กัน อย่างไรก็ตามเซลล์พืชส่วนใหญ่มักมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกสั้น ยาว หรือรูปหลายเหลี่ยม

2.2 โครงสร้างของเซลล์พืช

จากการค้นพบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทำให้ทราบว่าภายในเซลล์พืชประกอบด้วยโครงสร้างที่เล็กที่สุดคือสารโมเลกุลเล็ก (micromolecule) สารเหล่านี้เมื่อรวมกันจะเกิดเป็นสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecule) สารโมเลกุลใหญ่จะประกอบกันเป็นโครงสร้างต่างๆ ภายในเซลล์ หรือประกอบเป็นออร์แกเนลล์ชนิดต่างๆ โครงสร้างของเซลล์พืชประกอบส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

1. ผนังเซลล์ (cell wall)
2. เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane)
3. โพรโทพลาซึม (protoplasm)

2.2.1 ผนังเซลล์ (cell wall)

ผนังเซลล์เป็นโครงสร้างที่พบในเซลล์พืชเกือบทุกชนิด หน้าที่หลักของผนังเซลล์คือกำหนดขอบเขตของโพรโทพลาซึม นอกจากนี้ยังทำให้เซลล์มีรูปร่างคงที่และเซลล์คงสภาพอยู่ได้นาน แม้ว่าเซลล์นั้นจะไม่มีชีวิตก็ตาม ชนิดของผนังเซลล์จะเป็นตัวกำหนดลักษณะของเนื้อเยื่อ เช่นในเนื้อเยื่อที่อยู่นอกสุด (peripheral tissue) ของโครงสร้าง ผนังเซลล์ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ (desiccation) ผนังเซลล์มีส่วนทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรง (mechanical support) โดยเฉพาะความหนาและความแข็งของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับขบวนการที่สำคัญต่างๆ เช่นการดูดซึมน้ำ (absorption) การเคลื่อนย้ายสาร (translocation) การคายน้ำ (transpiration) และการขับสาร (secretion) เป็นต้น

2.2.1.1 จุดกำเนิดของผนังเซลล์ (origin of cell wall)

ในการแบ่งเซลล์ของพืชปกติ (vegetative cells) หลังจากมีการแบ่งนิวเคลียสได้เป็น 2 นิวเคลียสแล้ว จะมีแผ่นกั้นเซลล์ (cell plate) ขึ้นมาขึ้นระหว่างนิวเคลียสทั้งสอง บริเวณแผ่นกั้นเซลล์จะเป็นแนวกึ่งกลางของ phragmoplast (spindle fiber) ของแต่ละนิวเคลียส จากนั้นแผ่นกั้นเซลล์จะค่อยๆ ยืดยาวออกจนไปชนกับผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary wall) ของเซลล์เดิม

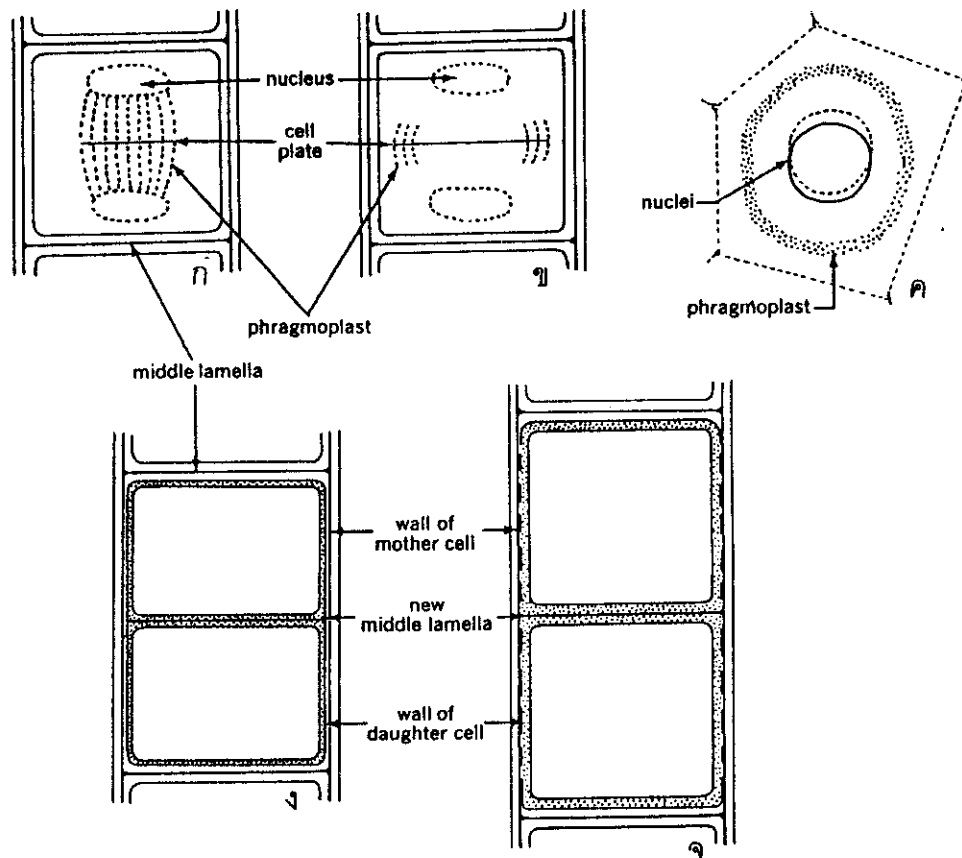
หรือเซลล์แม่ (mother cell) ต่อมา phragmoplast จะค่อยๆ โคนงออกเพื่อล้อมรอบนิวเคลียส และจางหายไป แผ่นกั้นเซลล์ประกอบด้วยสารประกอบเพคติน (pectic substance) จากนั้น dictyosomes จะมีการสร้าง vesicles ที่ประกอบด้วย polysaccharide wall materials สำหรับทำหน้าที่ประสาน (matrix) ในขณะที่เยื่อหุ้มเซลล์มีการสังเคราะห์เซลลูโลสเพื่อมาสะสมบริเวณ แผ่นกั้นเซลล์ ต่อมาแผ่นกั้นเซลล์จะพัฒนาไปเป็น middle lamella การสะสมของ vesicles และเซลลูโลสจะเกิดบนแผ่นกั้นเซลล์ทั้งสองด้านของไซโทพลาซึม ตำแหน่งแรกๆ ที่เป็นแผ่นกั้นเซลล์จะมีการสะสมของเซลลูโลสและพัฒนาเป็นผนังเซลล์ปฐมภูมิและพัฒนาไปเรื่อยๆ จนเป็นผนังเซลล์ที่สมบูรณ์ ผนังเซลล์ปฐมภูมิที่เกิดขึ้นจะอยู่ด้านใน (ติดกับไซโทพลาซึม) ในขณะที่ด้านนอกจะเป็นผนังเซลล์ปฐมภูมิของเซลล์เดิมหรือเซลล์แม่ (ภาพที่ 2.1)

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าการสะสมของสารเพื่อสร้างผนังเซลล์มี 2 ลักษณะได้แก่ **apposition** ซึ่งเป็นการสะสมที่มีการทับซ้อนของสารใหม่ๆ ไปบนสารเดิมที่มีอยู่แล้ว ส่วน **intussusception** เป็นการแทรก (insert) สารที่จะสะสมเข้าไปในโครงสร้างเดิม

2.2.1.2 ส่วนประกอบของผนังเซลล์

ผนังเซลล์เป็นโครงสร้างชั้นนอกสุดของเซลล์พืช ทำหน้าที่กำหนดขอบเขตของเซลล์ ให้ความแข็งแรงและทำให้เซลล์คงรูปอยู่ได้ ผนังเซลล์เป็นส่วนที่เกิดจากการสะสมของสารที่สร้างจากไซโทพลาซึมและส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกไป สารที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ได้แก่

1. **เซลลูโลส (cellulose)** เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบขึ้นด้วยกลูโคส (glucose) มาต่อกันด้วย α -1,4-glycosidic bond (ภาพที่ 2.3 ฉ., ข.) จำนวนโมเลกุลของกลูโคสที่ประกอบเป็นเซลลูโลสอยู่ระหว่าง 300-3 000 โมเลกุล เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ในผนังเซลล์ปฐมภูมิมีเซลลูโลสประมาณ ¼ ส่วน ในผนังเซลล์ทุติยภูมิมีเซลลูโลสประมาณ ½ ส่วน (Salisbury and Ross, 1991) เซลลูโลสมีคุณสมบัติยึดหยุ่นได้ดี ดูดซับน้ำและยอมให้น้ำผ่านได้ โดยเฉลี่ยแล้วเนื้อไม้ (wood) มีเซลลูโลสประมาณ 75 % ของน้ำหนักแห้ง ผนังเซลล์เส้นใยของฝ้าย ลินินมีเซลลูโลสเกือบ 100 % เซลลูโลสมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เซลโลเฟน (cellophane) rayon แลคเกอร์และน้ำมันชักเงาอื่น ๆ



ภาพที่ 2.1 แสดงจุดกำเนิดและการเจริญของผนังเซลล์ ก. แผ่นกั้นเซลล์แยกเซลล์ใหม่ 2 เซลล์ ออกจากกัน ข., ค. แผ่นกั้นเซลล์ยืดยาวออก (ข. มองด้านข้าง, ค. มองด้านผิว) ง. เมื่อการแบ่งเซลล์สมบูรณ์ เซลล์ลูกแต่ละเซลล์มีผนังเซลล์ปฐมภูมิ (เส้นทึบ) เกิดขึ้น จ. ขณะที่เซลล์ลูกขยายขนาดและมีผนังเซลล์ปฐมภูมินหนามากขึ้น ผนังเซลล์ปฐมภูมิของเซลล์แม่จะขาดออกเป็นช่องๆ (จาก Esau, 1977)

2. **Hemicellulose** เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโทส แมนโนส หรือไซโลสมาต่อกันเป็นสายยาว hemicellulose ละลายน้ำได้ค่อนข้างยาก มักพบ hemicellulose อยู่ร่วมกับสารประกอบชนิดอื่นๆ

3. **สารประกอบเพคติน (pectic substance)** พบในรูปของ proto-pectin ซึ่งไม่ละลายน้ำหรือละลายได้ไม่ดี ส่วนเพคตินและกรดเพคติน (pectic acid) ละลายน้ำได้ดี สารประกอบเพคตินทำหน้าที่เก็บน้ำได้ดี มักพบสารประกอบเพคตินในเซลล์ของผักและผลไม้

โดยเฉพาะในชั้น middle lamella

4. **Lignin** ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน lignin ไม่ละลายน้ำ และไม่มีคุณสมบัติการยืดหยุ่น มักพบในเซลล์ที่มีอายุมากโดยเฉพาะเซลล์ที่มีผนังเซลล์ทุติยภูมิ

5. **Suberin** เป็นสารไขมันโมเลกุลใหญ่ ไม่ละลายน้ำหรือแม้แต่สารที่ละลายไขมัน พบมากในคอร์คหรือพบปนอยู่กับเซลลูโลส

6. **คิวทิน (cutin)** เป็นสารที่มีลักษณะคล้าย suberin มักพบที่ผนังเซลล์ด้านนอกของ epidermis โดยรวมกันเป็นชั้น เรียกชั้นคิวทิเคิล (cuticle)

7. **Wax** เป็นสารไขมันที่ละลายได้ดีในสารที่ละลายไขมัน มักพบอยู่ร่วมกับคิวทินหรือ suberin หรือฉาบอยู่ที่ผิวของคิวทิเคิลอีกชั้นหนึ่ง

8. **กัม (Gum)** เกิดจากการสลายคาร์โบไฮเดรตและมีกรดอินทรีย์ที่มีเกลืออินทรีย์เป็นส่วนประกอบ กัมละลายในอัลกอฮอล์ เมื่อถูกน้ำจะพองตัว มักพบในบริเวณที่มีบาดแผล

9. **เมือก (mucilage)** ลักษณะคล้าย gum เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่อุ้มน้ำได้ดี มักพบปนอยู่กับเซลลูโลส

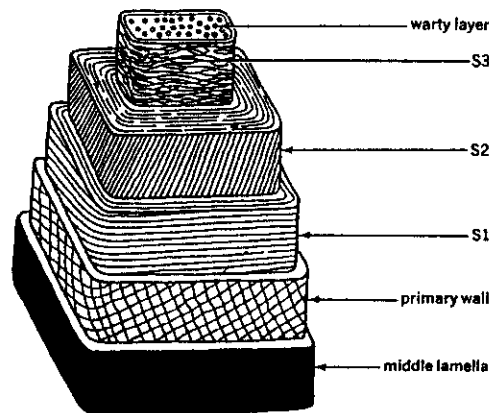
10. **น้ำ (water)** โดยพบปะปนอยู่กับส่วนประกอบในชั้นต่างๆ ของผนังเซลล์ ปริมาณน้ำในผนังเซลล์ของพืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณแตกต่างกัน

2.2.1.3 ชั้นของผนังเซลล์ (cell wall layers)

เซลล์ทุกเซลล์จะต้องมีผนังเซลล์ปฐมภูมิ ซึ่งพัฒนามาจากแผ่นกั้นเซลล์ เซลล์บางชนิดจะมีการสร้างผนังเซลล์ทุติยภูมิเพิ่มโดยจะสร้างเข้าด้านใน เซลล์ที่มีการสร้างผนังเซลล์ทุติยภูมิ มักจะไม่มีโพทโทพลาซึมเพราะผนังเซลล์ทุติยภูมิขัดขวางการลำเลียงน้ำและอาหารระหว่างเซลล์ บริเวณที่เคยเป็นโพทโทพลาซึมจะเหลือเพียงช่องว่าง เรียกช่องว่างนี้ว่า **lumen** ดังนั้น ส่วนของผนังเซลล์ทุติยภูมิจึงอยู่ติดกับโพทโทพลาซึม ในขณะที่ผนังเซลล์ปฐมภูมิจะเป็นผนังเซลล์ที่อยู่นอกสุด (ภาพที่ 2.2) แต่ละเซลล์จะเชื่อมติดกัน (cement) ด้วยชั้น middle lamella (intercellular lamella) การใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษา middle lamella มักทำได้ยาก ต้องใช้ microchemical test หรือใช้ maceration technique จึงจะสังเกตเห็น โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นมุมที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ เพราะเป็นบริเวณที่มีชั้น middle lamella หนาที่สุด

ผนังเซลล์ปฐมภูมิเป็นผนังเซลล์ที่มีความหนาไม่มาก จึงมักพบในเซลล์ที่ยังมีชีวิตและมีกิจกรรมของเซลล์มาก เช่น mesophyll cells storage parenchyma ในรากและ tuber ส่วนในเซลล์คอลเลงคิมา หรือเซลล์เอนโดสเปิร์ม (endosperm) ของเมล็ดมักมีผนังเซลล์ปฐมภูมิหนา

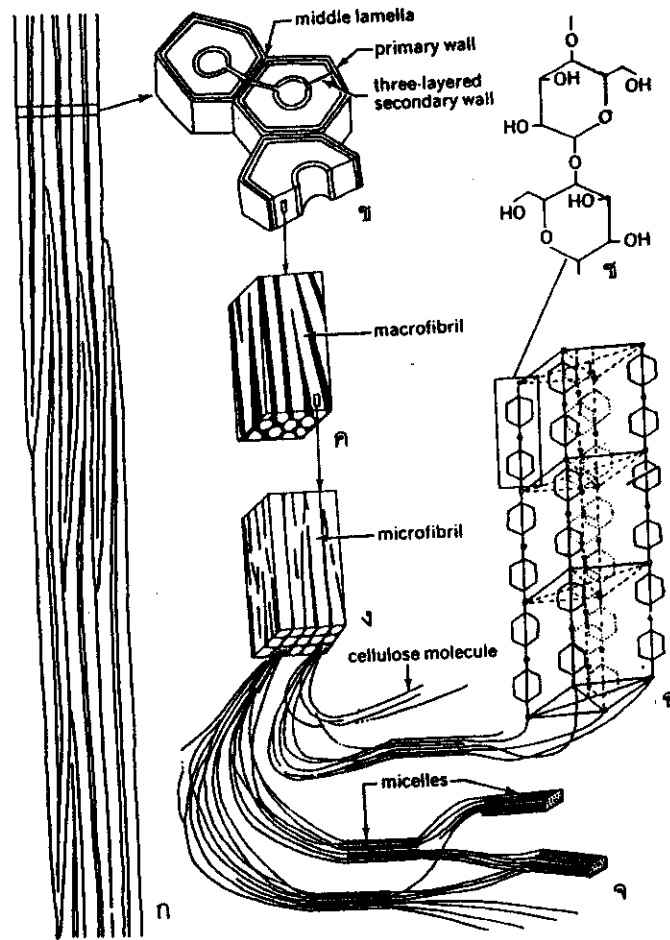
ผนังเซลล์ทุติยภูมิของเซลล์บางชนิด เช่นเซลล์เส้นใย (fiber) หรือเซลล์สเกลอเรงคิมา (sclerenchyma) อาจมีความหนาเป็นพิเศษ จากความแตกต่างในการเรียงตัวของ microfibrils ในผนังเซลล์สามารถแบ่งชั้นของผนังเซลล์ได้ถึง 3 ชั้น (ภาพที่ 2.2) คือ ชั้น S_1 เป็นชั้นที่ติดกับผนังเซลล์ปฐมภูมิ ชั้น S_2 เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด และชั้น S_3 เป็นชั้นที่อยู่ติดกับ lumen มีความบางมากที่สุดหรืออาจไม่สามารถแยกเป็นชั้นได้ ในกรณีที่ S_3 มีความหนาและเห็นได้ชัดเจน อาจจัดผนังเซลล์ในชั้นนี้เป็นผนังเซลล์ทุติยภูมิ (tertiary wall) ในเซลล์เส้นใยและเทรคีด (tracheid) ของเนื้อไม้มักพบ **warty layer** ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีเซลลูโลส (noncellulosic) ปนอยู่กับเศษชิ้นส่วนของโพรโทพลาซึม



ภาพที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงชั้น middle lamella, ผนังเซลล์ปฐมภูมิและผนังเซลล์ทุติยภูมิที่ประกอบด้วยชั้น S_1 , S_2 และ S_3 (จาก Raven และคณะ, 1986)

ปกติแล้วเมื่อศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์อาจไม่สามารถแยกผนังเซลล์ได้ชัดเจน เช่น ไม่สามารถแยกผนังเซลล์ปฐมภูมิออกจากชั้น middle lamella ได้ บางครั้งจึงเรียกผนังเซลล์ทั้งสองชั้นนี้รวมกันว่า **compound middle lamella**

ในเซลล์เวสเซล (vessel) และเทรคีด (tracheid) ของไซเลม การสร้างผนังเซลล์ทุติยภูมิ หรือ thickening wall จะเกิดไม่ตลอดเซลล์ กล่าวคืออาจสร้างเป็นวงแหวนเรียกว่า **annular thickening wall** สร้างเป็นเกลียวเรียกว่า **spiral thickening wall** สร้างเป็นโครงข่ายชั้นบันไดเรียกว่า **scalariform thickening wall** สร้างเป็นร่างแหเรียกว่า **reticulate thickening wall** หรือสร้างผนังเซลล์ทุติยภูมิเกือบเต็มเซลล์โดยเหลือไว้เฉพาะบริเวณ pits เรียกว่า **pitted thickening wall** (ภาพที่ 6.4 ค., ง.)



ภาพที่ 2.3 แสดงผนังเซลล์และโครงสร้างของผนังเซลล์ ก. เซลล์เส้นใย
 ข. เซลล์ตัดตามขวาง แสดงชั้นต่างๆ ของผนังเซลล์ ค.-ง. ส่วนของผนังเซลล์
 ที่ขยายมากขึ้นประกอบด้วย macrofibril, microfibril และ micelles
 จ., ฉ. กลูโคสที่ประกอบเป็นเซลลูโลส (จาก Esau, 1977)



ภาพที่ 2.4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงผนังเซลล์ปฐมภูมิของเซลล์พาเรงคิมาจาก coleoptile ของ *Avena* มีสาย microfibrils สานกันทั้งในแนวตั้งและในแนวนอน (จาก Esau, 1977)

จากการที่ผนังเซลล์มีสารที่เป็นส่วนประกอบแตกต่างกันทำให้ผนังเซลล์มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน ผนังเซลล์ที่มีเซลลูโลสมากจะมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี ในขณะที่ผนังเซลล์ขยายออกไปแล้วและสามารถหดกลับสู่สภาพเดิมได้อีก เรียกคุณสมบัตินี้ว่า **elasticity** ในขณะที่ผนังเซลล์ไม่สามารถหดกลับสู่สภาพเดิมได้ เรียกคุณสมบัตินี้ว่า **plasticity** และถ้าผนังเซลล์ไม่สามารถขยายตัวได้หรือมีความทนทานต่อแรงกระทำ เรียกคุณสมบัตินี้ว่า **tensile strength**

2.2.1.4 ช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular spaces)

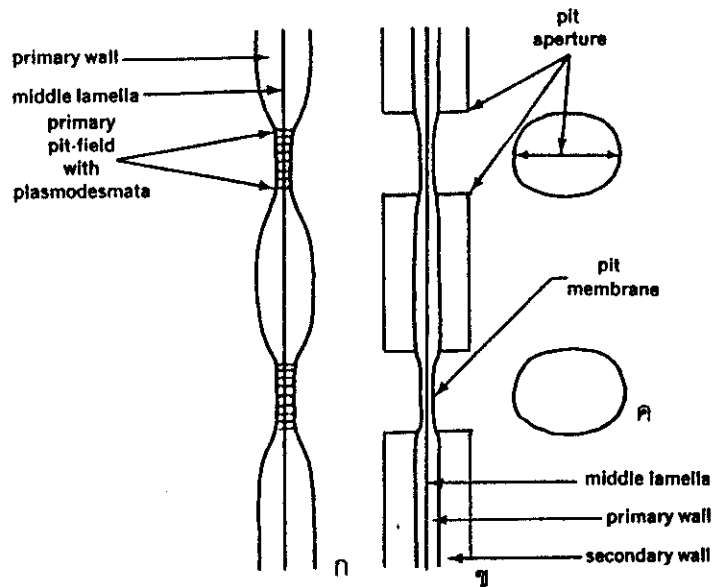
เนื้อเยื่อพืชมักจะมีช่องว่างระหว่างเซลล์ปริมาณมาก โดยเฉพาะในเซลล์ที่เจริญเต็มที่แล้ว อย่างไรก็ตาม อาจพบช่องว่างระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อเจริญได้ด้วย ช่องว่างระหว่างเซลล์มักเกิดจากการแบ่งเซลล์ โดยการแยกตัวของ middle lamella กับผนังเซลล์ปฐมภูมิที่เกิดขึ้นใหม่หรือเป็นบริเวณที่เซลล์เชื่อมต่อกับเซลล์อื่นๆ เรียกช่องว่างระหว่างเซลล์ในลักษณะนี้ว่า **schizogeny** หรือ schizogenous intercellular space ส่วน **lysigeny** หรือ lysigenous intercellular space เป็นช่องว่างระหว่างเซลล์ที่เกิดจากการสลายตัวของผนังเซลล์หรือเซลล์ตาย ช่องว่างระหว่างเซลล์เป็นที่บรรจุสารต่างๆ (secreted materials)

2.2.1.5 Pits, Primary pits, and Plasmodesmata

Pits คือท่อขนาดเล็ก (canal) ที่พบในเซลล์ที่มีผนังเซลล์ทุติยภูมิ บริเวณที่มี pits เป็นบริเวณที่เซลล์ไม่มีการสะสมของผนังเซลล์ทุติยภูมิ ปกติแล้ว pits จะเกิดกับเซลล์สองเซลล์ที่อยู่ติดกันเสมอเรียกว่า **pit pair** มีส่วนน้อยเท่านั้นที่เกิดเฉพาะเซลล์ใดเซลล์หนึ่ง เรียกว่า **blind pits** โครงสร้างของ pits ประกอบด้วย pit chamber และ pit membrane (ภาพที่ 2.5 ข., ค.) ซึ่งเป็นส่วนที่ประกอบด้วยผนังเซลล์ปฐมภูมิของแต่ละเซลล์ และชั้น middle lamella

Primary pits (หรือ primordial pits) คือ pits ที่เกิดในเซลล์ที่มีเฉพาะผนังเซลล์ปฐมภูมิ เป็นบริเวณที่มีส่วนของผนังเซลล์ปฐมภูมิบางกว่าปกติ และบริเวณนี้มักมีสายของไซโทพลาซึม (cytoplasmic strands) หรือ plasmodesma แทรกอยู่ เรียกบริเวณ primary pits ที่มี plasmodesmata จำนวนมากกว่า **primary pit fields** (ภาพที่ 2.5 ก.) ในขณะที่บริเวณ primary pits มีการสร้างผนังเซลล์ทุติยภูมิและพัฒนาไปเป็น pits plasmodesmata อาจถูกเบียดให้เล็กลงหรือถูกเบียดให้เชื่อมติดกัน เมื่อเกิดเป็น pits และเซลล์ตายทำให้บริเวณนี้เป็นท่อขนาดเล็กและแตกแขนงได้ เรียก pit ในลักษณะนี้ว่า **ramiform pits** หรือ branched pits

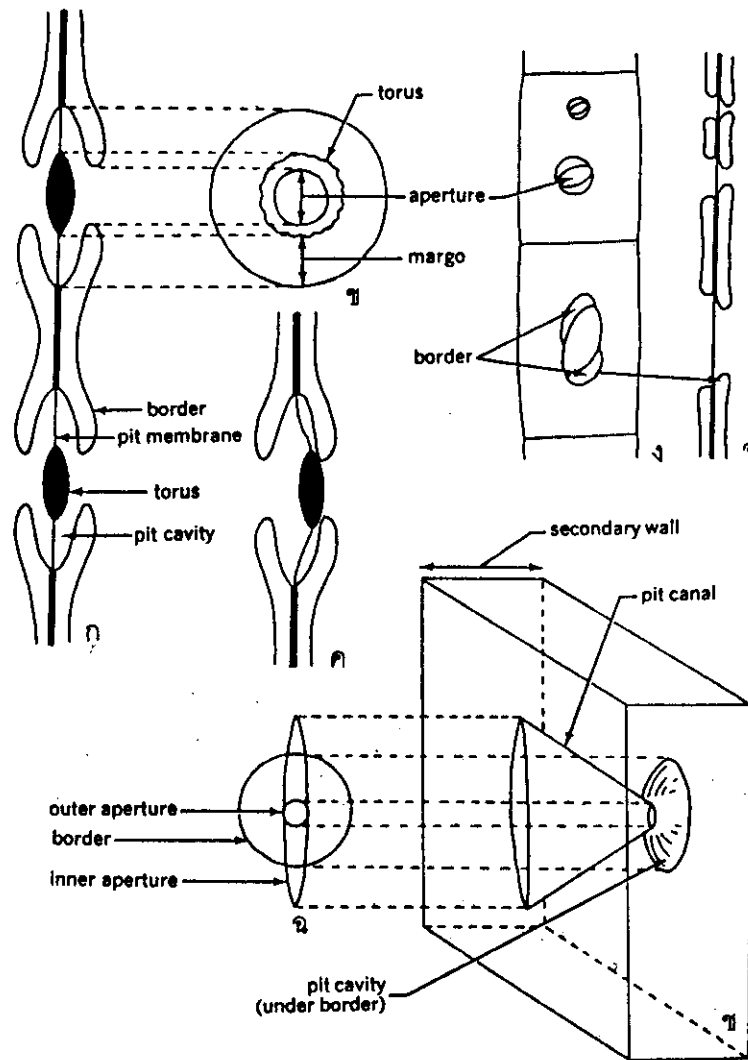
แบ่งชนิดของ pits ได้เป็น **simple pits** คือ pits ที่มีความกว้างของ pit aperture มีขนาดเกือบเท่ากันตลอด (ภาพที่ 2.5 ข.) ส่วน **bordered pits** เป็น pits ที่มีส่วนของผนังเซลล์ทุดิยภูมิยื่นยาวออกมาคลุม pit cavity ทำให้ pit aperture มีขนาดเล็กกว่า pit chamber (ภาพที่ 2.5 ก.- ค.) pit pair ที่พบอาจเป็น simple pit pair หรือ bordered pit pair ซึ่งเป็น pit pair ที่ผนังเซลล์ของเซลล์สองเซลล์ที่อยู่ติดกันเป็น pits ชนิดเดียวกัน แต่ในบางครั้งเซลล์หนึ่งเป็น simple pits ส่วนอีกเซลล์หนึ่งที่อยู่ติดกันเป็น bordered pits เรียกกรณีนี้ว่า **half bordered pit pair** (ภาพที่ 2.6 ง., จ.) เช่น พบในเซลล์ xylem parenchyma (เป็น simple pits) ที่อยู่ติดกับทเรคีดหรือ vessel member (เป็น bordered pits) มีส่วนน้อยที่การสร้าง pits เกิดกับเซลล์เพียงเซลล์เดียว หรือเป็น blind pits ซึ่ง blind pits ไม่สามารถลำเลียงสารได้



ภาพที่ 2.5 แสดง primary pit field, simple pits และส่วนประกอบของ pits ก. primary pit field ข. simple pits และ ค. คือภาพ ข. เมื่อมองทางด้านข้าง (จาก Esau, 1977)

ในทเรคีดของพืชพวก Gymnosperm โดยเฉพาะพืชวงศ์สนภูเขา (Pinaceae) ที่มี pits เป็นแบบ bordered pit pair และบริเวณ pit membrane มักมีกลุ่มของสาร lignin หรือสารที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ทุดิยภูมิชนิดอื่นๆ มาสะสมอยู่ เรียกกลุ่มของสาร lignin นี้ว่า **torus** ส่วน pit membrane บริเวณอื่นจะบาง (ภาพที่ 2.6 ก.-ค.) ความหนาของ torus มัก

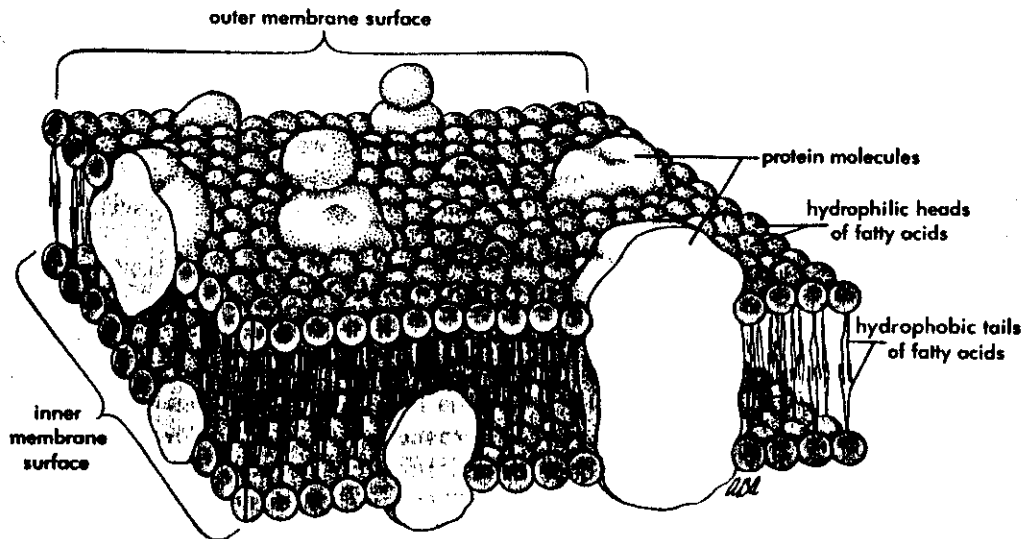
หนาในขนาดใกล้เคียงกับ pit aperture ทั้งนี้เพราะ torus ทำหน้าที่ปิดหรือเปิด pit aperture เมื่อภาวะความดันภายในเซลล์ทั้งสองไม่เท่ากัน



ภาพที่ 2.6 แสดง bordered pit ก.- ค. ส่วนประกอบของ bordered pit pair ง.- จ. half bordered pit pair ฉ., ข. bordered pits ที่ประกอบด้วย inner aperture, outer aperture และ reduce border (จาก Esau, 1977)

2.2.2 เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane)

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นเยื่อบางๆ ที่อยู่ถัดจากผนังเซลล์เข้าไปด้านใน ทำหน้าที่ล้อมรอบ โพรโทพลาซึม อาจเรียกเยื่อหุ้มเซลล์นี้ว่า plasmalemma หรือ plasma membrane นอกจากนี้เยื่อหุ้ม อาจเป็นเยื่อ (endomembrane) ที่ทำหน้าที่หุ้มออร์แกเนลล์อื่นๆ ภายในเซลล์ ด้วย หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์คือควบคุมการผ่านเข้า – ออกของสารระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์หรือระหว่างภายนอก ออร์แกเนลล์กับภายในออร์แกเนลล์ทำให้เกิดความสมดุลเพื่อให้ขบวนการเมแทบอลิซึมดำเนินไปด้วยดี ส่วนหน้าที่อื่นๆ ขึ้นอยู่กับหน้าที่ของออร์แกเนลล์ที่มันห่อหุ้มไว้ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ได้แก่โปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตอีกเล็กน้อย



ภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์แบบ fluid - mosaic model (จาก Rost และคณะ, 1984)

โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะเป็น unit membrane ที่ประกอบด้วยโปรตีนและไขมัน ปริมาณของโปรตีนและไขมันแตกต่างกันตามชนิดของเยื่อหุ้ม เช่น เยื่อหุ้มไมโทคอนเดรีย (mitochondria) มีปริมาณโปรตีนมากกว่าไขมัน ลักษณะการรวมกันของโมเลกุลโปรตีนและไขมันซึ่งเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือ แบบ **fluid – mosaic model** (ภาพที่ 2.7) มีลักษณะคือ unit membrane ประกอบด้วยโมเลกุลของโปรตีนเป็นก้อนกลมๆ (globular protein) ส่วนโมเลกุลของไขมันเรียงเป็นสองแถว ในไขมันหนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยปลาย

ด้านหนึ่งละลายน้ำได้และมีประจุไฟฟ้า (polar phospholipids) เรียกว่า **hydrophilic** ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งไม่ละลายน้ำและไม่มีการประจุ (non-polar phospholipids) เรียกว่า **hydrophobic** การจัดเรียงของโมเลกุลมีลักษณะคือชั้นของไขมันจะหันส่วนที่ไม่ละลายน้ำและไม่มีการประจุเข้าหากัน (หันส่วนที่ละลายน้ำได้และมีประจุออกจากกัน) โดยมีโพทินแทรกอยู่ในชั้นของไขมันและกระจายอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ (ภาพที่ 2.7) การที่โมเลกุลของไขมันหันส่วนที่ละลายน้ำได้และมีประจุออกจากกันจะทำให้เยื่อหุ้มสามารถนำไอออน (ion) เข้าสู่เซลล์ได้ดีขึ้น

2.2.3 โพรโทพลาซึม (protoplasm)

โพรโทพลาซึมเป็นของเหลวโปร่งใส มีความหนืดและมีออร์แกเนลล์ชนิดต่างๆ อยู่ในของเหลวนี้ โพรโทพลาซึมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ **นิวเคลียส (nucleus)** และ **ไซโทพลาซึม (cytoplasm)**

นิวเคลียสเป็นโครงสร้างที่สำคัญที่สุดของเซลล์เพราะทำหน้าที่ควบคุมกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์และทำหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม นิวเคลียสประกอบด้วยเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) นิวคลีโอลัสหรือพลาสโมโซม (nucleolus หรือ plasmosome) นิวคลีโอพลาซึม (nucleoplasm) และโครโมโซม (chromosome)

ไซโทพลาซึมคือส่วนของโพรโทพลาซึมที่อยู่รอบนอกนิวเคลียส ภายในไซโทพลาซึมมีโครงสร้างต่างๆ แขนงลอยอยู่ เช่นออร์แกเนลล์ต่างๆ นอกจากนี้ยังมี inclusion หรือ ergastic substance หลายชนิด เช่นเม็ดแป้ง (starch grain) โพทิน ไขมันและน้ำมันหรือผลึก (crystal) ของสารต่างๆ เป็นต้น

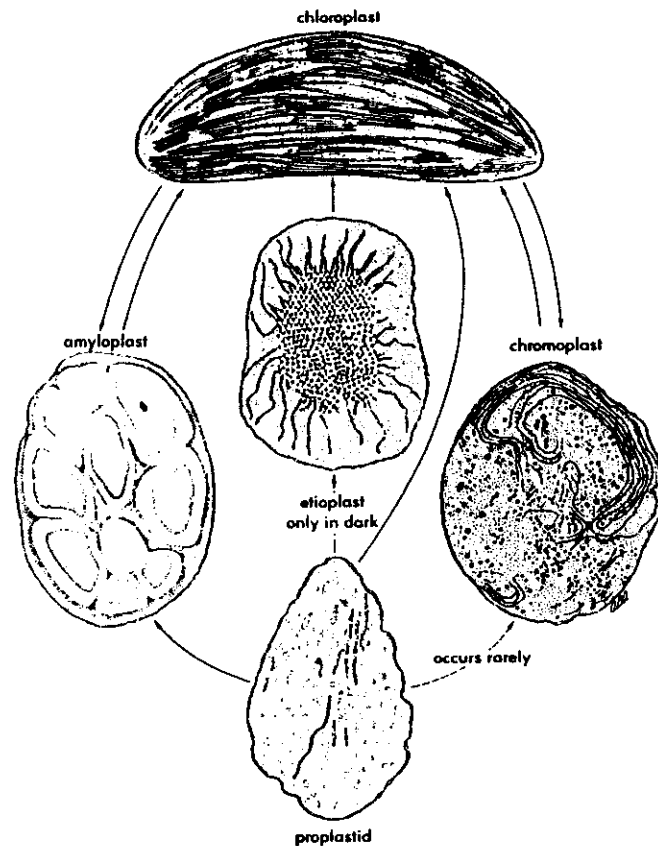
ออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์พืชมีหลายชนิด ชนิดที่มีพบมากและมีความสำคัญได้แก่ เม็ดสี (plastids) ไรโบโซม (ribosome) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) แวกิวโอล (vacuole) ร่างแหเอ็นโดพลาซึม (endoplasmic reticulum) dictyosome (หรือ Golgi bodies) microtubules และอื่นๆ

2.2.3.1 เม็ดสี (plastids)

เม็ดสีเป็นออร์แกเนลล์ที่พบเฉพาะในเซลล์พืช มีเยื่อหุ้มสองชั้น ภายในมีส่วนประกอบต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของเม็ดสี นอกจากนี้อาจมี DNA ด้วยก็ได้ เม็ดสีมี 3 ชนิดได้แก่

1. **Proplastid** หรือลิวโคพลาสต์ (leucoplast) เป็นเม็ดสีที่ไม่มีสารสี (pigment) จัดเป็นต้นกำเนิด (precursor) ของเม็ดสีชนิดอื่นๆ proplastid มีหลายชนิด เช่นชนิดที่ทำหน้าที่

สะสมแป้งเรียกว่า **amyloplast** เช่นที่พบในลำต้นมันฝรั่ง ถ้ามีไขมันและน้ำมันสะสมอยู่มาก เรียกว่า **elaioplast** ส่วน **etioplast** เป็น proplastid ขนาดเล็กที่พบในส่วนของเซลล์ที่ไม่ได้รับแสง proplastid สามารถเปลี่ยนไปเป็นเม็ดสีชนิดอื่นๆ ได้ (ภาพที่ 2.8)

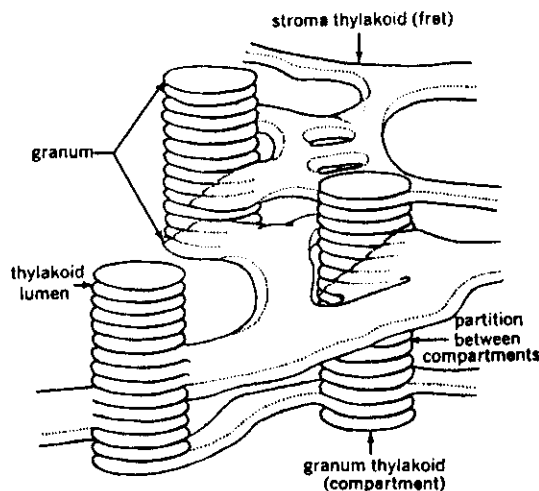


ภาพที่ 2.8 เม็ดสีชนิดต่างๆ มี proplastid ทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดของเม็ดสีชนิดอื่นๆ (จาก Ross และคณะ 1984)

2. **โครโมพลาสต์ (chromoplast)** เป็นเม็ดสีที่มีสารสีชนิด carotene (สีแสด สีแดง) และ xanthophyll (สีน้ำตาล สีเหลือง) ในปริมาณมาก นอกจากนี้อาจพบสารสีเขียวของคลอโรฟิลล์ด้วยก็ได้ โครโมพลาสต์เป็นเม็ดสีที่พบในกลีบดอก ในผิวนอกของผลหรือในรากของแครอท เป็นต้น

3. **คลอโรพลาสต์ (chloroplast)** เป็นเม็ดสีที่มีสีเขียวเพราะมีสารสีคือคลอโรฟิลล์อยู่มาก นอกจากนี้อาจมี carotene, xanthophyll อยู่ด้วย พบคลอโรพลาสต์ในเซลล์พืชส่วนที่

อ่อนและได้รับแสง เช่นใบ ลำต้น หรือผลอ่อน ภายในคลอโรพลาสต์มีส่วนประกอบสองส่วนคือ สโตรมา (stroma) และ **thylakoid** สโตรมาเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ภายในมีสารพวกโพรตีน เม็ดแป้ง หยดน้ำมัน DNA และเอนไซม์สำหรับปฏิกิริยาไม่ใช้แสง (dark reaction) ของ ขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง thylakoid เป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างกลม - แบน (dish) หรือ คล้ายเหรียญ thylakoid จะเรียงเป็นตั้งๆ ตั้งหนึ่งอาจมี 2-100 อันก็ได้ เรียกตั้งของ thylakoid นี้ว่า **grana** (ภาพที่ 2.8, 2.9, 2.10) ในหนึ่งคลอโรพลาสต์อาจมีมากกว่าหนึ่ง grana ก็ได้ และมี intergrana หรือ stroma thylakoids ซึ่งเป็นสายของเยื่อหุ้มทำหน้าที่เชื่อม ระหว่าง grana ภายใน grana มีคลอโรฟิลล์หรือสารสีอื่นๆ บริเวณ grana เป็นที่ เกิดปฏิกิริยาใช้แสง (light reaction) ในขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง



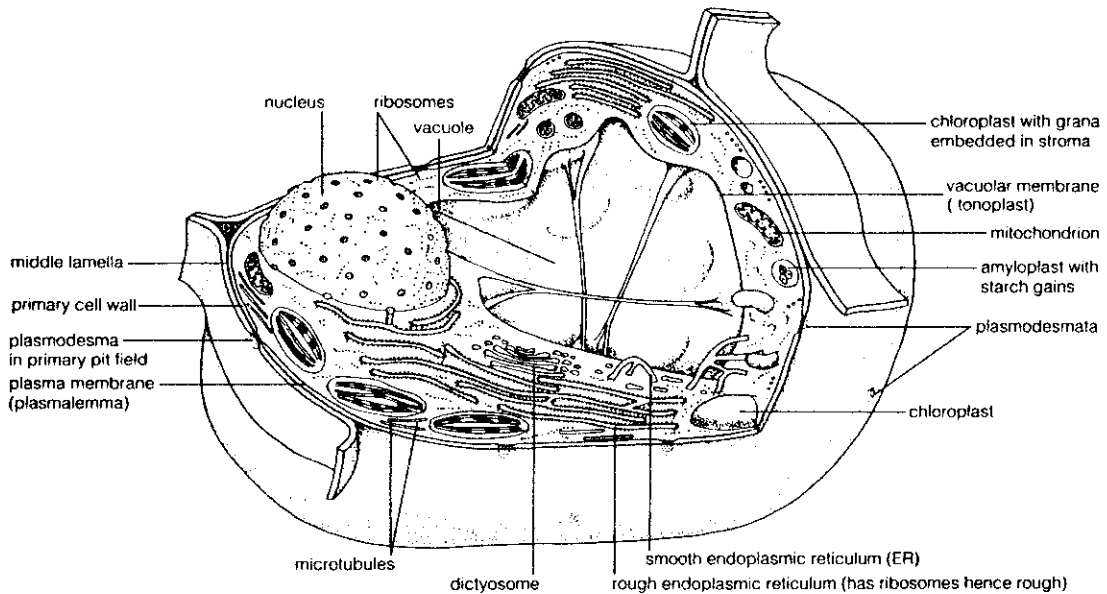
ภาพที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ ประกอบด้วยเยื่อหุ้ม และ thylakoids ที่เรียงซ้อนกันเป็น grana แต่ละ grana เชื่อมต่อกัน ด้วย stroma thylakoids และมีของเหลวคือสโตรมา (จาก Esau, 1977)

2.2.3.2 ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)

ไมโทคอนเดรียเป็นออร์แกเนลล์ที่พบได้ทั้งในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ รูปร่างกลม เป็นท่อนหรือรูปร่างไม่แน่นอนเพราะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือมีการเชื่อมรวมกันของ ไมโทคอนเดรียที่อยู่ใกล้กัน ไมโทคอนเดรียมีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น เยื่อหุ้มชั้นใน (cristae) จะยื่นและ พับไปมาในของเหลวหรือเมทริกซ์ (matrix) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเยื่อหุ้มชั้นใน (ภาพที่

2.10, 2.11) ภายในเมทริกซ์มีสารพวกโพรีทินโดยเฉพาะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการหายใจระดับเซลล์ อาจพบไรโบโซมและ DNA ด้วยก็ได้

หน้าที่ของไมโทคอนเดรียคือเป็นบริเวณที่มีการหายใจระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) หรือเป็นบริเวณที่มีการสร้างพลังงานในรูปของ ATP นอกจากนี้อาจทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โพรีทินสำหรับการแบ่งตัวเพื่อเพิ่มจำนวนของไมโทคอนเดรีย



ภาพที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของเซลล์พืช ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ นิวเคลียส และออร์แกเนลล์หลายชนิด (จาก Salisbury and Ross, 1991)

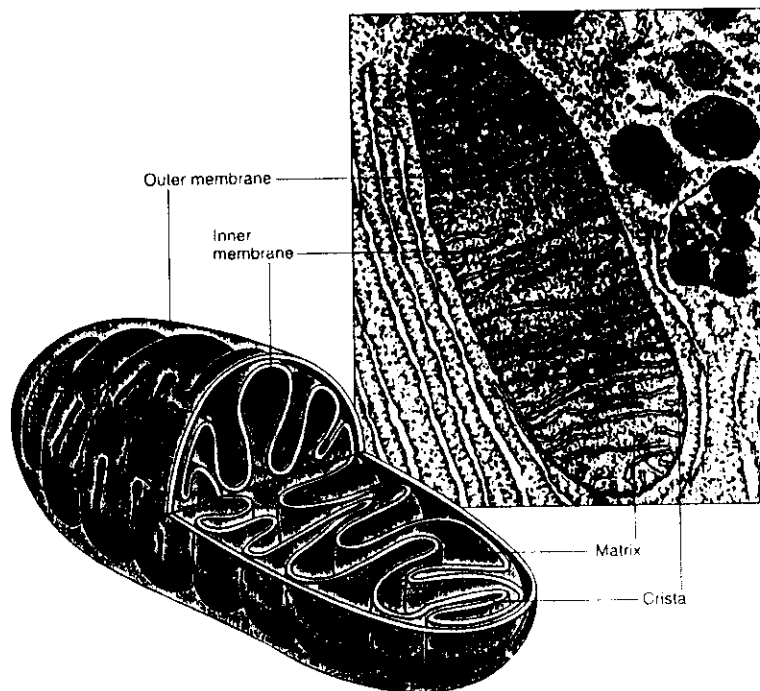
2.2.3.3 ร่างแหเอนโดพลาซิม (endoplasmic reticulum หรือ ER)

ร่างแหเอนโดพลาซิมเป็นออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์สัตว์มากกว่าเซลล์พืช มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น เยื่อหุ้มทั้งสองอยู่ห่างกันประมาณ 4-5 นาโนเมตร ทำให้มีลักษณะเป็นท่อขนาดเล็ก ภายในท่อมีของเหลวใสคือ **hyaloplasm** ร่างแหเอนโดพลาซิมจะเชื่อมต่อกันตลอดทั้งเซลล์ ปลายของท่อจะเปิดติดต่อกับเยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มนิวเคลียสหรือเยื่อหุ้ม dictyosome ร่างแหเอนโดพลาซิมแบ่งได้เป็น 2 ชนิดย่อยคือ

1. **Rough endoplasmic reticulum** หรือ RER เป็นร่างแหเอนโดพลาซิมที่มีไรโบโซมติดอยู่ที่ผิวของเยื่อหุ้มชั้นนอก (ภาพที่ 2.10) ร่างแหเอนโดพลาซิมชนิดนี้มีหน้าที่ใน

การสังเคราะห์โพริน มีหน้าที่เกี่ยวกับการลำเลียงสาร สังเคราะห์ triglyceride หรือเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เยื่อหุ้มออร์แกเนลล์บางชนิด เช่นเยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มนิวเคลียส เป็นต้น

2. Smooth endoplasmic reticulum หรือ SER เป็นร่างแหเอนโดพลาซิมที่ไม่มีไรโบโซมติดอยู่ที่ผิวของเยื่อหุ้ม (ภาพที่ 2.10) ร่างแหเอนโดพลาซิมชนิดนี้มีหน้าที่เกี่ยวกับการลำเลียงสาร สังเคราะห์ triglyceride สังเคราะห์ steroid หรือเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน



ภาพที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของไมโทคอนเดรีย มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือเยื่อหุ้มชั้นนอก และมีเยื่อหุ้มชั้นใน (cristae) ยื่นเข้าไปในช่องเหลวหรือเมทริกซ์ (จาก Mauseth, 1995)

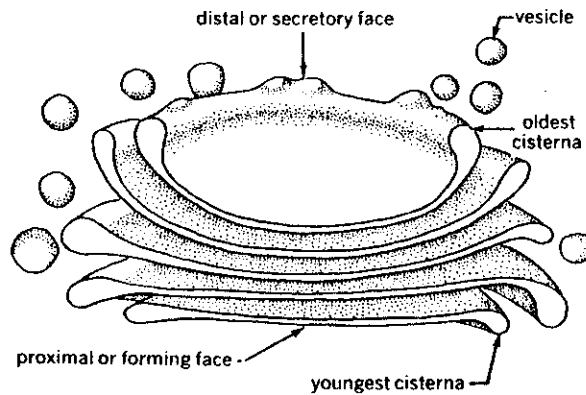
2.2.3.4 ไรโบโซม (ribosome)

ไรโบโซมเป็นออร์แกเนลล์ขนาดเล็ก แต่ละไรโบโซมประกอบด้วย 2 หน่วยย่อยที่มีขนาดไม่เท่ากัน คือ 60S และ 40S (S = Svedberg unit of sedimentation coefficient) ภายในไรโบโซมประกอบด้วย RNA และโพรินชื่อ histone การจำแนกชนิดของไรโบโซมมักใช้บริเวณที่พบไรโบโซมเป็นเกณฑ์ เช่นพบในนิวเคลียสในคลอโรพลาสต์ บนสายของร่าง

แหวนโตพลาซึมหรือกระจายอยู่ในไซโทพลาซึม

2.2.3.5 Dictyosome (Golgi bodies)

Dictyosome เป็นออร์แกเนลล์ที่พบมากในเซลล์พืช ลักษณะเป็นแผ่นแบนๆ เกือบกลม ตรงกลางบวมคล้ายจานซ้อนๆกันโดยมีเส้นใยเป็นตัวเชื่อม dictyosome ประกอบด้วยเยื่อหุ้ม ลักษณะคล้าย SER ขอบของแต่ละ dictyosome พองออกเป็นถุงเรียกว่า **cistern** (ภาพที่ 2.12) ปลายของ cistern พองและขาดออกเป็นถุงขนาดเล็ก (vesicle) ภายในท่อหรือถุงขนาดเล็กนี้มีสารที่จำเป็นต่อการสร้างแผ่นกั้นเซลล์ การสังเคราะห์เซลลูโลสและการสร้างเมือกในเซลล์ของเหวมกราก



ภาพที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของ dictyosome ที่ประกอบด้วย 5 cisternae โดยมี vesicle ที่ติดอยู่บน cisterna และมีบาง vesicle หลุดออก (จาก Esau, 1977)

2.2.3.6 แวกิวโอล (vacuole)

แวกิวโอลเป็นออร์แกเนลล์ที่เยื่อหุ้มเพียงชั้นเดียว พบมากในเซลล์พืช โดยเฉพาะเซลล์ที่มีอายุมากหรือเซลล์ที่เจริญเต็มที่ แวกิวโอลมีลักษณะเป็นถุงประกอบด้วยเยื่อหุ้มเพียงชั้นเดียว เรียกว่า **ทอโนพลาสต์ (tonoplast)** ภายในถุงมีของเหลวใส เรียกว่า **cell sap** (ภาพที่ 2.10) ภายใน cell sap มีสารละลายหรือสารแขวนลอยชนิดต่างๆ อยู่มาก เช่น สารสี เม็ดแป้ง ผลึกหรือสารชนิดอื่นๆ ที่เกิดจากขบวนการเมแทบอลิซึม

สารสีที่พบมากในแวกิวโอลคือ **anthocyanin** ซึ่งจะมีสีม่วงแดงเมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นเบส และมีสีแดงเมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นกรด **flavone** มีสีเหลือง สีส้ม สารสีเหล่านี้มักพบในแวกิวโอล

ในเซลล์ของกลีบดอกและส่วนของพืชที่มีสี

นอกจากออร์แกเนลล์ที่ได้กล่าวมาแล้ว เซลล์พืชอาจมีออร์แกเนลล์ชนิดอื่นๆ เช่นขนเซลล์และเส้นเซลล์ (cilia และ flagella) เป็นออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์พืชที่เคลื่อนที่ได้โดยเฉพาะเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) ขนเซลล์และเส้นเซลล์เป็นโครงสร้างที่ยื่นออกมาจากเซลล์ ลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกสั้นๆ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 - 0.25 ไมครอน ขนเซลล์มีความยาวประมาณ 5-10 ไมครอน ส่วนเส้นเซลล์ยาวประมาณ 150 ไมครอนหรือมากกว่า แท่งทรงกระบอกประกอบขึ้นจาก microtubule

การศึกษาขนเซลล์และเส้นเซลล์นิยมใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิด dark field microscope หรือ phase contrast ถ้าใช้ light microscope ต้องปรับไดอะแฟรม (diaphragm) ให้แคบมากๆ จึงจะเห็นได้ชัดเจน

~~~~~

