

# บทที่ 5

## เซลล์และการแบ่งเซลล์

### (CELL AND CELL DIVISION)

ยุพา วรรณยศ

เซลล์ คือ หน่วยที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต ซึ่งคำว่าเซลล์นี้ Robert Hooke นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ เป็นคนแรกที่น่ามาใช้เมื่อประมาณศตวรรษที่ 17 โดยเขาได้ตัดไม้คอร์กออกเป็นชิ้นบาง ๆ นำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ เห็นประกอบด้วยช่องสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ เต็มไปหมด เขาเรียกช่องเหล่านี้ว่า **Cell** (คำว่า cell มาจากภาษาลาตินว่า cellular แปลว่า a small apartment) เซลล์ที่เขาเห็นนี้เป็นเซลล์ที่ตายแล้ว เพราะเป็นเพียงเซลล์ว่าง ๆ ที่ไม่มีสารอื่น ๆ อยู่ใน ภายใน ส่วนเซลล์ที่มีชีวิตจะต้องประกอบด้วยสารที่ค่อนข้างเหลวอยู่ภายใน ซึ่งสารเหล่านี้ต่อมาได้ชื่อว่า **Protoplasm** แปลว่าสารที่มีชีวิต

หลังจากที่มีการค้นพบเซลล์แล้ว ก็ได้มีการศึกษาเรื่องเซลล์กันมาเรื่อย ๆ จนเวลาผ่านไปกว่า 200 ปีต่อมา จึงสรุปเรื่องราวของเซลล์ออกมาได้ว่า

1. สิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดต้องประกอบด้วยเซลล์
2. กิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งที่มีชีวิตจะมาจากเซลล์
3. เซลล์ที่มีชีวิตจะมาจากสิ่งที่มีชีวิต

ซึ่งข้อสรุปทั้ง 3 ข้อข้างบนนี้ได้ถูกตั้งเป็น “ทฤษฎีของเซลล์” เป็นทฤษฎีที่มีความสำคัญเนื่องจากใช้ได้กับสิ่งที่มีชีวิตทุกชนิด

ส่วนประกอบภายในของ protoplasm ถูกค้นพบเพิ่มขึ้นตามลำดับ จนถึงปี ค.ศ. 1831 Robert Brown นักพฤกษศาสตร์ชาวอังกฤษพบว่าเซลล์จะต้องประกอบด้วย **Nucleus** (คำว่า nucleus มาจากภาษาลาตินแปลว่า แก่น) ในปี ค.ศ. 1862 Kolliker นำคำว่า **Cytoplasm** (ไซโทพลาซึม) มาใช้ หมายถึงสารต่าง ๆ ที่อยู่รอบนอกนิวเคลียส

เซลล์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ มักวัดขนาดกันเป็นไมครอน ( $\mu$ )

$$1 \mu = \frac{1}{1000} \text{ มิลลิเมตร}$$

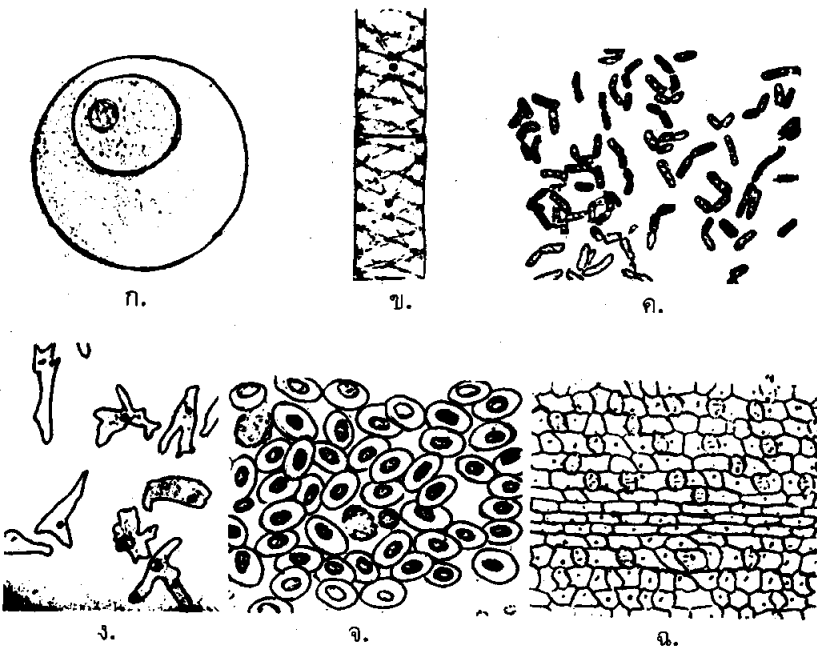
แต่อย่างไรก็ตาม เซลล์บางชนิดก็มีขนาดใหญ่ เช่น เซลล์ไข่ ไข่ของนกบางชนิดก็ใหญ่มาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางหลายนิ้ว เซลล์ที่มีขนาดเล็กมาก เช่น เซลล์ของแบคทีเรียและไวรัส

## ชนิดของเซลล์

ดูจากการจัดระเบียบภายในเซลล์ทำให้แบ่งเซลล์ออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. **Prokaryotic cell** ได้แก่ เซลล์ที่มีรูปร่างง่าย ๆ และมี DNA (Deoxy ribonucleic acids เป็นสารประกอบที่พบในโครโมโซม) กระจายอยู่ในเซลล์โดยไม่มีเยื่อหุ้ม จึงจัดว่าไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง ตัวอย่างได้แก่ เซลล์ของแบคทีเรีย (รูปที่ 5-1 ค.) และเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (Division Cyanophycophyta)

2. **Eukaryotic cell** เป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียส คือ เซลล์จะประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีเยื่อหุ้ม ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ก็จะแบ่งแยกหน้าที่กันทำโดยเฉพาะ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบและหน้าที่ของเซลล์ชนิดนี้



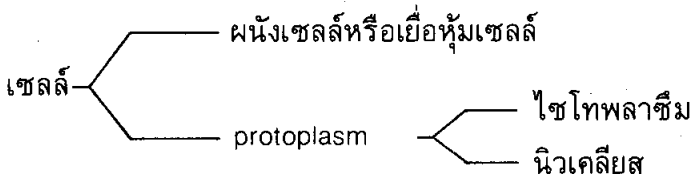
รูปที่ 5-1 แสดงรูปร่างของเซลล์ชนิดต่าง ๆ ก. ไข่ของ starfish ข. เซลล์ของสาหร่าย *Spirogyra* ค. แบคทีเรีย ง. อมیبา จ. เซลล์เม็ดเลือดแดงของนก ฉ. เซลล์ผิวหนัง

## รูปร่างของเซลล์

เซลล์จะมีรูปร่างแตกต่างกันเป็นหลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและหน้าที่ของเซลล์ เช่น เซลล์ของพืชมักจะมีรูปร่างหลายเหลี่ยม เนื่องจากพืชมีผนังเซลล์ที่ค่อนข้างแข็ง ส่วนเซลล์ของสัตว์มักจะไม่เป็นเหลี่ยม เพราะผนังเซลล์ของเซลล์สัตว์ค่อนข้างอ่อนนุ่ม หรือเซลล์ที่อยู่กันหลวม ๆ ก็จะมีรูปร่างกลมหรือรูปไข่ตัวอย่างเช่น เซลล์เม็ดเลือดแดง (รูปที่ 5-1 จ.) รูปร่างไม่แน่นอน เช่นเซลล์ของอัมบิซา (รูปที่ 5-1 ง.) และเซลล์เม็ดเลือดขาว เป็นต้น สรุปได้ว่าเซลล์มีรูปร่างได้หลายแบบ ตั้งแต่กลม เหลี่ยม ไปจนถึงรูปร่างที่ไม่แน่นอนและไม่คงที่

## ส่วนประกอบและโครงสร้างของเซลล์

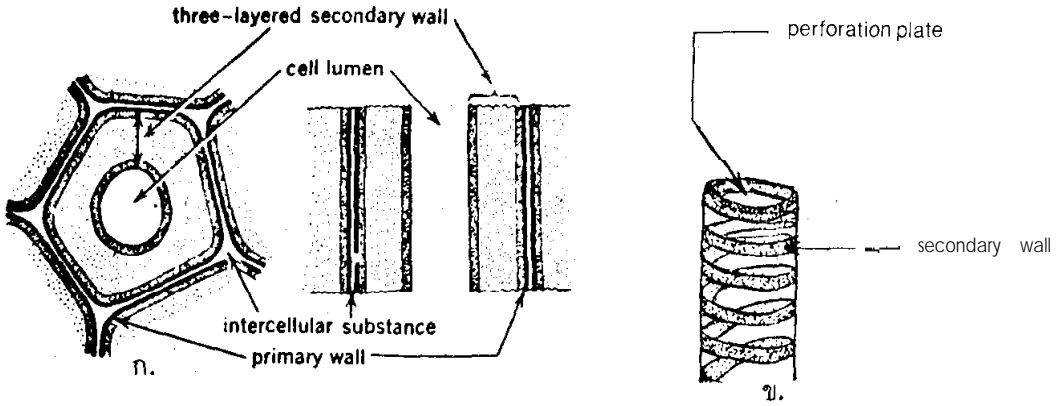
เซลล์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนนอกสุด ได้แก่ ผนังเซลล์หรือเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell wall หรือ Cell membrane) ถัดเข้าไปจากผนังเซลล์ ได้แก่ ส่วนที่สอง คือ protoplasm ซึ่ง protoplasm เองยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ นิวเคลียสที่อยู่บริเวณกลางเซลล์ ล้อมรอบด้วย protoplasm ที่เรียกว่าไซโทพลาซึม ดังแผนผัง



### 1. ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์

**ผนังเซลล์ (Cell wall)** พบในเซลล์พืชเป็นส่วนใหญ่ มีลักษณะค่อนข้างแข็ง และมีการขยายตัวจำกัด ดังนั้นจึงทำให้เซลล์มีรูปร่างและขนาดที่แน่นอน ในขณะที่เซลล์โตเต็มที่ ผนังเซลล์ชนิดนี้ประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ เซลลูโลสเป็น polysaccharide ชนิดหนึ่ง มีสูตร  $(C_6H_{10}O_5)_n$  นอกจากนี้ พบ polysaccharides อื่น ๆ อีก ได้แก่ พวกร Hemicellulose, Pectic substances (Polyuronide compounds) และลิกนินซึ่งพบเฉพาะในเซลล์พืชบางชนิด นอกจากสารที่กล่าวมาแล้ว ยังพบพวกอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารอื่น ๆ รวมทั้งน้ำด้วย ในเซลล์ที่ประกอบเป็นเนื้อเยื่อผิวที่ทำหน้าที่ปกคลุมส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช พบสารประกอบไขมันหลายชนิด เช่น คิวทิน (Cutin) ซูเบอร์อิน (Suberin) และแวกซ์ (Waxes) อยู่ด้วย โดยคิวทินจะพบมากในชั้น epidermis ซูเบอร์อินในเซลล์คอร์ก ส่วนแวกซ์พบปนอยู่กับคิวทินและซูเบอร์อิน

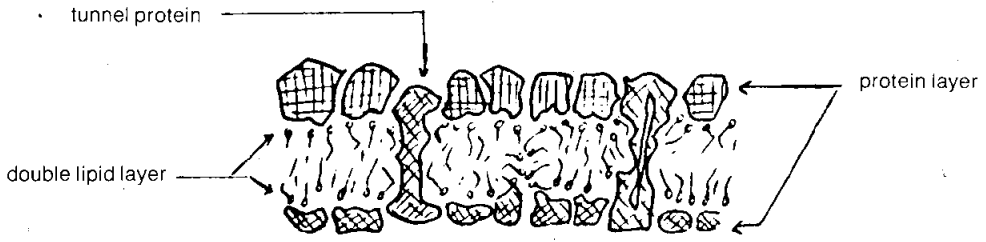
ปกติผนังเซลล์จะมีความหนา 2-3 ชั้น (รูปที่ 5-2 ก.) ชั้นนอกสุดเป็นชั้นที่เกิดก่อนได้แก่ ชั้น middle lamella ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารพวกเพกทิน ถัดเข้าไปเป็นชั้น primary wall ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ เซลล์บางชนิดมีลิกนินมาพอกอีกชั้นหนึ่ง เกิดเป็น secondary wall ขึ้น (รูปที่ 5-2 ข.)



รูปที่ 5-2 แสดงชนิดของผนังเซลล์ ก. primary wall จากเซลล์ต้นยาสูบที่ยังอ่อนอยู่ ข. secondary wall ของเซลล์ที่พบในไซเลม

**เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane)** พวก eukaryotic cell โดยทั่ว ๆ ไปจะมีเยื่อหุ้มเซลล์หุ้มอยู่ เยื่อหุ้มเซลล์นี้จัดเป็นสิ่งที่มีความมีชีวิตชนิดหนึ่งของเซลล์ จากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาไม่เห็น) พบว่าเยื่อหุ้มเซลล์ทุกชนิดจะมีลักษณะคล้ายกัน คือ ประกอบด้วยชั้นซ้ำ ๆ 2 ชั้น แต่ละชั้นหนาประมาณ  $25\text{\AA}$  (ย่อมาจาก Angstrom เป็นหน่วยวัดความยาวที่สั้นมาก คือ  $10,000,000\text{ angstroms}$  มีค่าเท่ากับ  $39.37\text{ นิ้ว}$  หรือ  $1 \times 10^{-8}$  เซนติเมตร) ตรงกลางชั้นทั้งสองมีสีอ่อนกว่า หนาประมาณ  $35\text{\AA}$  (รูปที่ 5-3) ส่วนตรงกลางที่มีสีอ่อนมีไขมันที่เป็น bimolecular lipid อยู่ ไขมันมีการเรียงตัวโดยหันปลาย (Polar end) ไปทางด้านนอก ทั้งหมดนี้เรียกหนึ่ง unit membrane โดย Robertson การเข้าและออกของสารต่าง ๆ จากเซลล์จะถูกควบคุมโดยเยื่อหุ้มเซลล์ คือ เยื่อหุ้มเซลล์บางชนิดมีคุณสมบัติให้สารผ่านได้ง่าย (Permeable) หรือไม่ยอมให้สารผ่าน (Impermeable) หรืออาจจะยอมให้สารบางอย่างผ่านได้ บางอย่างผ่านไม่ได้ (Selective permeable หรือ differentially permeable)

**2. Protoplasm** ได้แก่ สารต่าง ๆ ที่อยู่ถัดจากผนังเซลล์หรือเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป มีลักษณะครึ่งแข็งครึ่งเหลว ประกอบด้วยก้อนสารเล็ก ๆ จำนวนมากที่มีหน้าที่เฉพาะแตกต่างกันออกไป (รูปที่ 5-6 ก. และ ข.) ก้อนสารเหล่านี้ถูกจำแนกออกเป็นก้อนสารที่มีชีวิตเรียก



รูปที่ 5-3 แสดงเยื่อหุ้มเซลล์ ประกอบด้วยชั้น 3 ชั้น คือ โปรตีน-ไขมัน-โปรตีน

**Organelles** และก้อนสารที่ไม่มีชีวิตเรียก **Inclusions** ก้อนสารต่าง ๆ เหล่านี้ที่สำคัญได้แก่ Plastids, Lysosomes, Ribosomes, Endoplasmic reticulum, Golgi complexes (Golgi bodies), Vacuoles, Mitochondrias, Centrioles, Inclusions และนิวเคลียส นอกจากนี้ก็มีพวกน้ำ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ต่าง ๆ อยู่อีก ดังตารางที่ 5-1

จำนวนของ organelles ต่อเซลล์นั้น Clowes และ Juniper (Esau, 1977) ได้คำนวณออกมาเป็นบางชนิด ดังตารางที่ 5-2.

ตารางที่ 5-1 ส่วนประกอบทางเคมีของ protoplasm (Wilson, 1961)

ชนิดสาร	ปริมาณ (%)	ลักษณะที่ปรากฏ
น้ำ	85-90	Free and bound
โปรตีน	7-10	Albumines, globulins, histones, protamines, และ nucleoproteins
Fatty substances	1-2	Lipids
สารอินทรีย์อื่น ๆ	1-1.5	คาร์โบไฮเดรต
สารอนินทรีย์	1-1.5	Na, K, Ca, Mg, Cl, SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub>

ตารางที่ 5-2 แสดงจำนวนของ organelles ที่พบในเซลล์พืชโดยเฉลี่ย (Esau, 1977)

ชนิด	จำนวนต่อเซลล์
นิวเคลียส	1
พลาสติด	20
ไมโทคอนเดรีย	700
Dictyosomes	400
ไรโบโซม	500,000
เอนไซม์ (โมเลกุล)	500,000,000 หรือมากกว่า ซึ่งทำให้เกิดเอนไซม์ได้กว่า 10,000 ชนิด

## ไซโทพลาซึม (Cytoplasm)

ไซโทพลาซึมได้แก่ protoplasm ที่อยู่รอบนอกนิวเคลียส มีลักษณะเหมือนกับ protoplasm ที่กล่าวแล้ว มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. พลาสติด (Plastids) เป็น organelle ที่พบในเซลล์ของพืชและสิ่งมีชีวิตง่าย ๆ พลาสติดที่พบในเซลล์แต่ละชนิด จะมีขนาด จำนวน รูปร่าง ตลอดจนส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันไป และแบ่งออกเป็นหลายชนิดตามสีที่พบโดยไม่เกี่ยวกับหน้าที่ เช่น แบ่งเป็น ลิวโคพลาสต์ (Leucoplasts) เป็นพลาสติดที่ไม่มีสี คลอโรพลาสต์ (Chloroplasts) พลาสติดที่มีสีเขียว และโครโมพลาสต์ (Chromoplasts) ที่มักมีสีเหลือง ส้มแดง

โดยปกติพืชจะทำหน้าที่สร้างอาหารพวกน้ำตาล แต่ถ้ามีน้ำตาลมากเกินไป น้ำตาลที่มากเกินไปจะถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง แป้งจะถูกเก็บไว้ในลิวโคพลาสต์ ลิวโคพลาสต์จึงเป็นพลาสติดที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร และมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ว่าจะมีการสะสมอาหารชนิดใด คือ

Amyloplast สะสมแป้งและน้ำตาล

Elaiooplasts สะสมพวกไขมัน (Oil)

Aleuroneoplasts สะสมโปรตีน

พวกคลอโรพลาสต์ซึ่งมีสีเขียว เนื่องจากมีรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์อยู่ โดยทั่วไปก็เป็นพวก Chlorophyll a ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) และ Chlorophyll b ( $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ) ทำหน้าที่สำคัญคือ ช่วยในการสังเคราะห์แสง ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์แสงจะกล่าวถึงในหัวข้อ Metabolism

โครโมพลาสต์ คือ พลาสติดที่มักมีสีเหลืองหรือสีส้ม เนื่องจากมีรงควัตถุพวก Carotenoids ประกอบอยู่ โดยอาจพบอยู่ในลักษณะที่ละลายอยู่หรือแขวนเป็นเม็ดเล็ก ๆ หรือเป็นผลึกอยู่ในพลาสติด อาจพบเชื่อมติดอยู่กับเม็ดแป้ง รงควัตถุที่พบมีหลายสี เช่น สีแดง ของ Carotenes ( $C_{40}H_{56}$ ) หรือสีเหลืองของ Xanthophylls [ $C_{40}H_{54}(OH)_2$ ] โครโมพลาสต์มักจะเกิดจากคลอโรพลาสต์ แต่อาจเกิดจากพลาสติดที่ไม่ค่อยเจริญ ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงด้วย เพราะมีคลอโรฟิลล์รวมอยู่ ถ้ามีแต่ carotenoids จะไม่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง

รูปร่างและโครงสร้างของพลาสติด ที่จะกล่าวต่อไปจะกล่าวเฉพาะพวกคลอโรพลาสต์ เพราะเป็นพลาสติดที่สำคัญ

โดยทั่วไป คลอโรพลาสต์มีรูปร่างเป็นรูปไข่ หุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ที่หนา 2 ชั้น (2 units membrane) คลอโรพลาสต์จะคงรูปร่างอยู่ได้ด้วยสารที่บรรจุอยู่ภายในเรียกว่า **Stroma**

เป็นสารที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ภายใน stroma จะมีเม็ดสารเล็ก ๆ ฝังอยู่โดยเรียงตัวกันเป็นชั้น ๆ เรียกว่า Grana (รูปที่ 5-4) มีลักษณะคล้ายเป็นเยื่อบาง ๆ ซ้อนกันอยู่หลายชั้น ส่วนใหญ่พบอยู่บริเวณตรงกลางของคลอโรพลาสต์ และเชื่อมต่อกันด้วยเยื่อบาง ๆ ที่ยื่นออกไปเป็นทิวใน stroma เรียกว่า Stroma lamellae ซึ่งในเซลล์พืชชั้นสูง grana จะมีขนาดประมาณ  $0.5 \mu$  ส่วน stroma lamella จะหนาประมาณ  $20-30 \text{ \AA}$  ส่วนที่เรียงตัวเป็นชั้น ๆ นั้นประกอบด้วยโปรตีนเป็นแกนมีคลอโรฟิลล์มาพอกหนาหนึ่งชั้นหรือมากกว่า โดยพอกปนอยู่กับสารอื่น ๆ อีกที่หนึ่งที่ทำหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง เช่น carotenoids และ pyridine nucleotide Stroma ประกอบด้วยสารประกอบพวก lipoproteins ที่ไม่มีสี (เกิดจากการรวมกันของโปรตีน กับ lipid เช่น lecithin, cephalin, fatty acid ส่วนพวก phospholipid protein เรียกว่า lecithoproteins พบมากในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ เช่น ในน้ำมัน เลือด ในนิวเคลียส ไข่แดง เยื่อหุ้มเซลล์ และคลอโรพลาสต์ เป็นต้น) เป็นตำแหน่งที่มี enzyme (เอนไซม์) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงระยะที่ 2 อยู่ คือ carbon dioxide fixation และ phosphate transfer

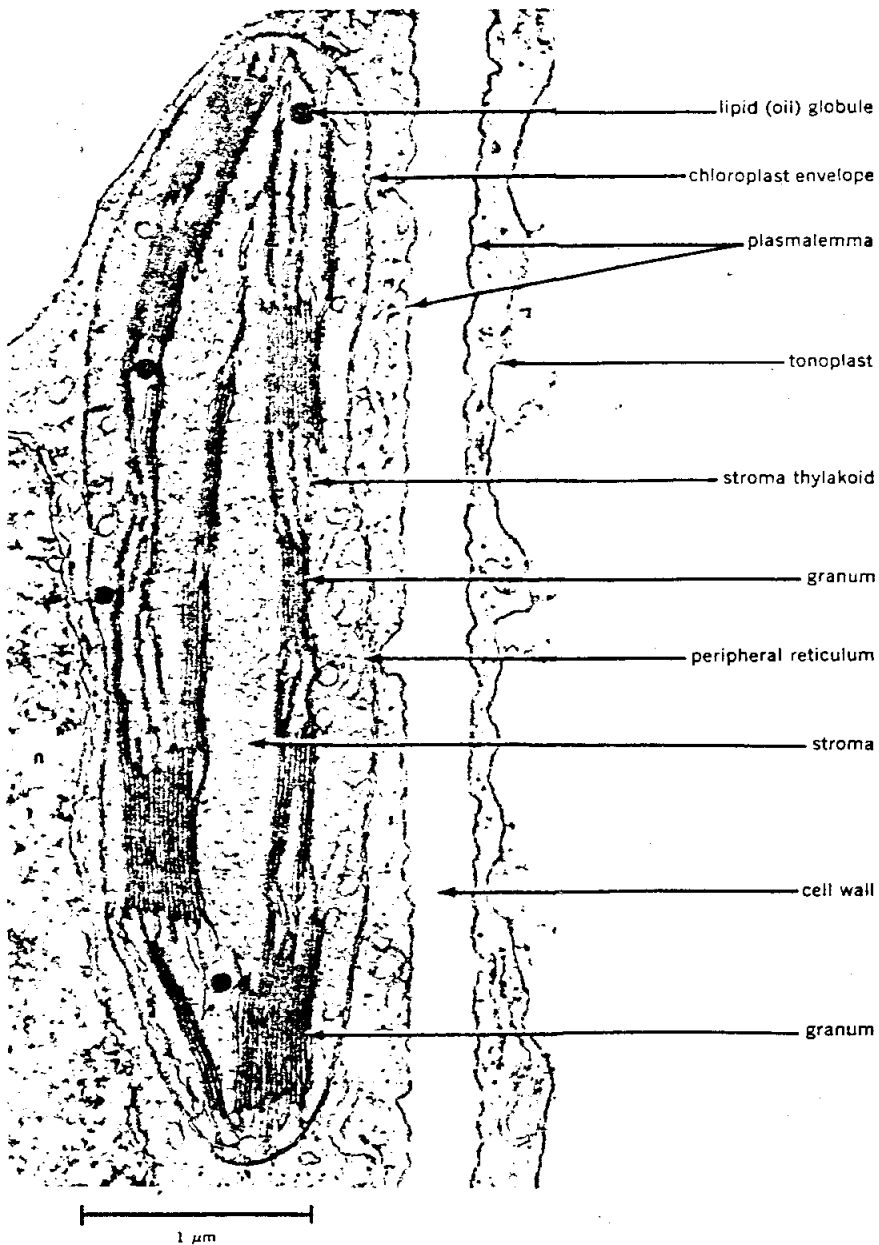
**2. Lysosome (The digester หรือ Suicide sacs)** ในปี ค.ศ. 1949 นักชีววิทยาได้ค้นพบ organelles ในเซลล์ชนิดหนึ่งที่มีเอนไซม์ที่ช่วยในการย่อยอาหาร (Digestive enzyme หรือ Lysosomal hydrolase) มีลักษณะเป็นถุงเล็ก ๆ และถูกเรียกว่า "Lysosome" โดย de Duve และคณะ Lysosome นี้พบมากในเซลล์สัตว์ มีรูปร่างหลายแบบ มีขนาดประมาณ  $0.25-0.50 \mu$  จากการศึกษาพบว่า lysosome อาจมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการ metabolism บางอย่างของเซลล์ เช่น เกี่ยวข้องกับ Phagocytosis และ Pinocytosis นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับการทำงานของไมโทคอนเดรียด้วย

เมื่ออาหารเข้าสู่เซลล์ Lysosomes จำนวนหนึ่งจะเข้ามาและหุ้มอาหารเข้าไปในเยื่อหุ้ม lysosomes อาหารจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ อาหารที่ย่อยแล้วจะซึมผ่านเยื่อหุ้ม lysosomes ออกมาสู่ไซโทพลาซึม ส่วนเอนไซม์ยังคงอยู่ภายใน lysosome ไม่ออกมาทำอันตรายเซลล์ แต่ถ้า lysosomes ถูกทำให้แตกออกโดยสาเหตุต่าง ๆ เช่นการที่เซลล์ขาดออกซิเจน มีวิตามินเอ มากไป หรือไปสัมผัสกับ carcinogen บางอย่างเหล่านี้ เอนไซม์ภายใน lysosome จะออกมาทำอันตรายเซลล์ได้

ความจริงอีกอย่างหนึ่ง คือ มักพบ lysosomes มีจำนวนมากในเซลล์ของคนแก่นักชีววิทยาจึงคิดว่า lysosomes จะมีผลต่ออายุของสิ่งที่มีชีวิต

---

เอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเซลล์

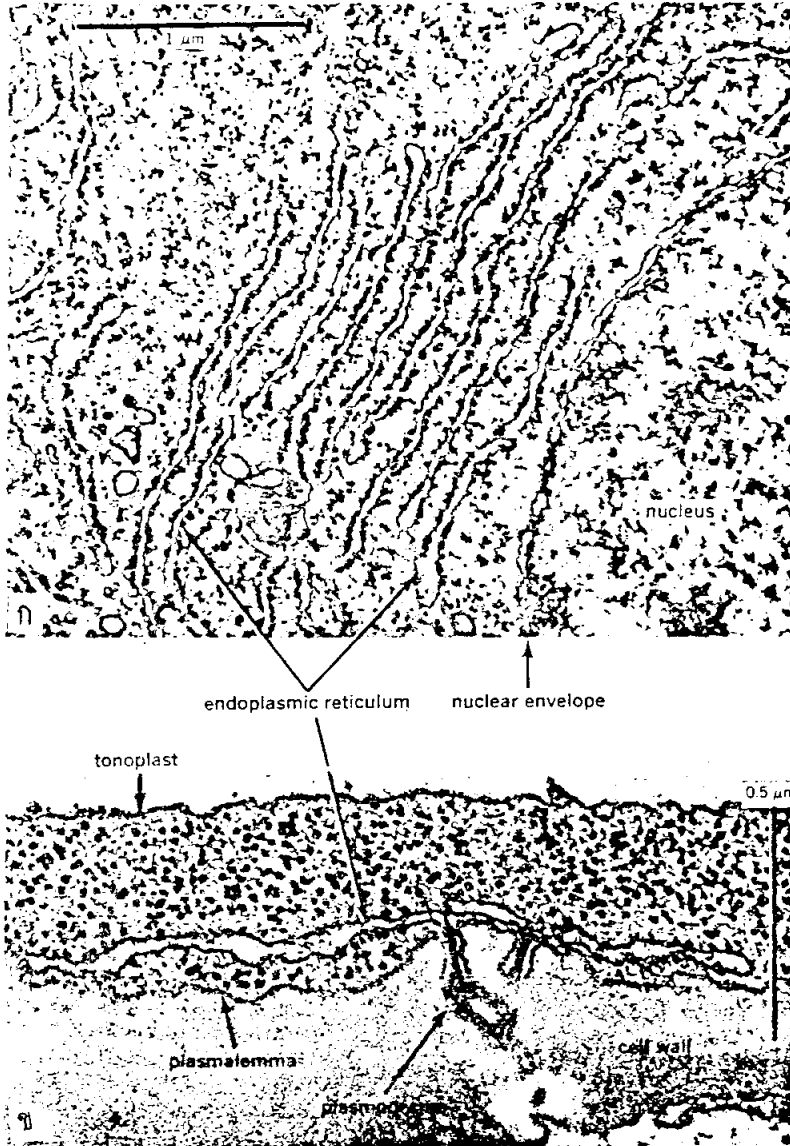


รูปที่ 5-4 แสดงคลอโรพลาสต์ของใบยาสูบ (*Nicotina tabacum*) (จาก Esau, 1977)

3. Endoplasmic reticulum (ER) เริ่มรู้จักกันในปี ค.ศ. 1945 โดย Porter; Claude และ Fullam ที่ร่วมกันศึกษา พบ ER มีลักษณะคล้ายร่างแหอยู่ในไซโทพลาสซึม จากการศึกษต่อมาโดย Porter และ Thompson พบว่า ร่างแหที่กล่าวประกอบด้วยเส้นที่มีลักษณะเป็นท่อสานกันอยู่ส่วนในของไซโทพลาสซึม ร่างแหดังกล่าวจึงถูกเรียกว่า endoplasmic reticulum ร่างแหเหล่านี้เมื่อดูด้วยกล้อง stereoscope เห็นมีส่วนที่ยื่นออกไปแบน ๆ เรียก cisternae



(รูปที่ 5-5 ก. และ ข.) นอกจากนี้ยังสังเกตเห็น ER บางส่วนมีผิวเรียบ บางส่วนมีผิวขรุขระ หลังจากการศึกษาพบว่าส่วนที่ขรุขระเกิดจากมี bump เล็ก ๆ ของ ribosome มาเกาะอยู่ อาจพบ ER เชื่อมติดอยู่กับเยื่อหุ้มนิวเคลียส ส่วนหน้าที่ยังไม่รู้แน่นอน Porter ให้ความเห็นว่าจะมีหน้าที่ดังนี้ คือ



รูปที่ 5-5 ก. Endoplasmic reticulum (ER) ในเซลล์ของใบยาสูบ (*Nicotiana tabacum*) ที่มีผิวขรุขระเพราะมี ribosome เกาะอยู่จำนวนมาก  
 ข. ER ในใบผักกาดหวาน (*Beta vulgaris*) ที่มีผิวค่อนข้างเรียบ เพราะมี ribosome จำนวนน้อย

(1) ทำหน้าที่สร้างเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นใน

(2) แบ่งไซโทพลาซึมออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อสะดวกต่อการกระจายของ metabolites

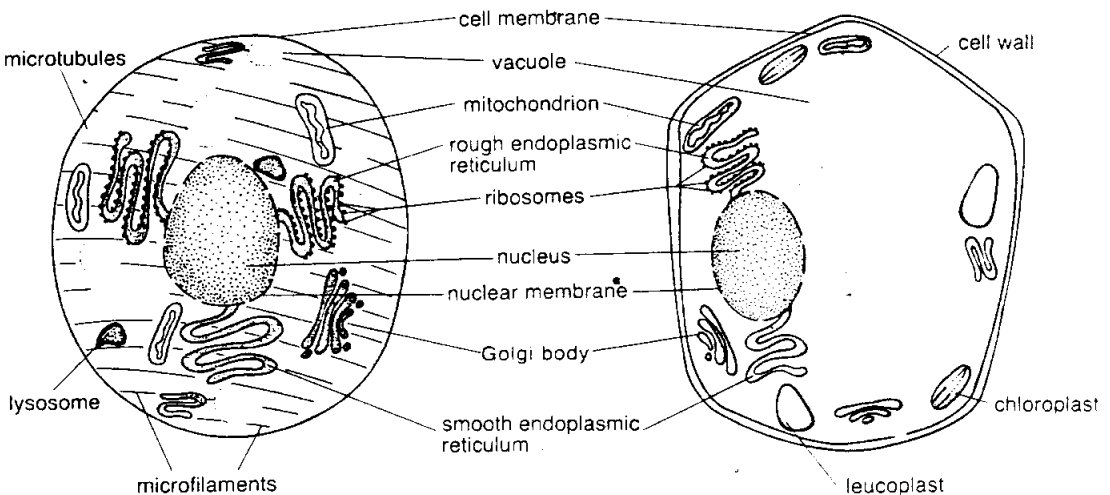
(3) ทำหน้าที่รับและส่งความรู้สึกระหว่างเซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ประสาท พบว่าส่วน cisternae อาจทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนด้วย เนื่องจากพบมีไรโบโซมมาเกาะอยู่ที่ผิวของ cisternae มองเห็นผิวขรุขระ การที่ไรโบโซมเกี่ยวข้องอยู่กับการสร้างโปรตีน จึงเป็นหลักฐานได้ว่า ER มีหน้าที่ในการสร้างโปรตีน และจากการดูรูปร่างของ ER อาจชี้ได้ว่า ER น่าจะมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสารพวกน้ำตาลเอมิโนแอซิด และ ATP ของเซลล์ด้วย นอกจากนี้พบว่า ER ยังมีความเกี่ยวข้องกับบางอย่างกับ Cytoplasmic strands หรือ Plasmodesmata โดยพบว่า cisternae ที่อยู่ 2 ข้างของผนังเซลล์ของเซลล์ 2 เซลล์ที่อยู่ติดกัน จะมาเชื่อมต่อกันด้วยส่วนที่มีลักษณะเป็นร่างแห (Desmotubule) ทำหน้าที่เป็นแกนของ plasmodesma

4. **Ribosomes** เป็นเม็ดสารเล็ก ๆ อยู่ภายในเซลล์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ  $170-230^{\circ}\text{A}$  ประกอบด้วยเอนไซม์และ RNA อยู่จำนวนมากพอ ๆ กับโปรตีน RNA มีหน้าที่ในการสร้างโปรตีน Ribosome จึงเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน ในการสังเคราะห์โปรตีนนั้น ไรโบโซมจะถูกรวมกันเป็น polyribosomes หรือ polysomes โดย mRNA จะเป็นผู้นำคำสั่งมาจากนิวเคลียส ไรโบโซมพบเกิดอยู่ทั่วไปทั้งในนิวเคลียส พลาสติด ไมโทคอนเดรีย และในไซโทพลาซึม พบมากในเซลล์ ที่ทำหน้าที่สร้างโปรตีน เช่น ตับ และเนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายราก ไรโบโซมจะพบกระจายทั่วเซลล์โดย ER ดังนั้น ER และไรโบโซมจึงทำงานร่วมกัน โดยรวมกันจ่ายโปรตีนให้แก่เซลล์

5. **Golgi complex** (The packages) พบในเซลล์ของสัตว์ โดยเฉพาะในส่วนที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการ secretory function พบในอวัยวะพวก epididymus ตับ ตับอ่อน รู้จักครั้งแรกโดย Camillo Golgi ในปี ค.ศ. 1898 ปัจจุบันพบในเซลล์ของพืชบางชนิดด้วย พบมีลักษณะเป็นถุงหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ (รูปที่ 5-6) มีขนาดต่าง ๆ กันและเรียงขนานกันอยู่ หน้าที่ยังไม่รู้แน่ แต่เกี่ยวข้องเป็นพิเศษกับการสร้างของเหลวที่มีประโยชน์ต่อเซลล์ (Secretion) และทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งภายในเซลล์ โดยโปรตีนหลายอย่างจะถูกห่อหุ้มอยู่ภายในเยื่อหุ้มของ golgi complex เคลื่อนที่ไปทั่วเซลล์ Lysosomes ก็ถูกสร้างโดย golgi complex แล้วเคลื่อนที่เข้าสู่ไซโทพลาซึม ในเซลล์พืชอาจพบมีจำนวนเป็นร้อย แต่ในเซลล์สัตว์อาจพบ golgi complex เพียงอันเดียว

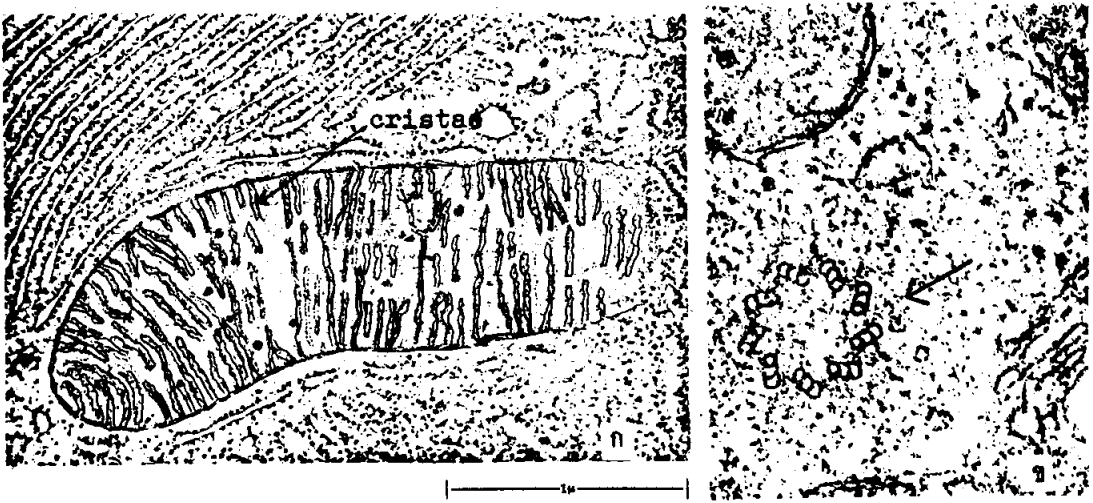
6. **แวคิวโอล (Vacuoles)** ได้แก่ ช่องว่างที่มีสารพวกของแข็งหรือของเหลวก็ตาม อยู่ภายในและมีเยื่อบาง ๆ หุ้มอยู่เรียก **Tonoplast** แวกิวโอลมีขนาดต่าง ๆ กัน แบ่งออกเป็นหลายชนิดตามหน้าที่ เช่น **Contractile vacuoles** เป็นแวคิวโอลที่ทำหน้าที่ขับของเสียพวกของเหลวออกจากเซลล์ **Food vacuoles** คือ แวกิวโอลที่มีอาหารบรรจุอยู่ และทำหน้าที่ย่อยอาหารเหล่านั้นด้วย โดยทำหน้าที่ร่วมกับ Lysosomes แวกิวโอลทั้ง 2 แบบที่กล่าวข้างบนนี้พบอยู่ในสิ่งที่มีชีวิตชั้นต่ำ เช่น อมิบาและพารามีเซียม แวกิวโอลที่พบอยู่ในเซลล์พืชเรียก **Sap vacuoles** เป็นแวคิวโอลที่มีขนาดใหญ่ ช่วยทำให้เซลล์เต่ง นอกจากนี้ อาจมีการสร้างสารบางชนิดที่ใช้ในกระบวนการ metabolism ด้วย

7. **ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)** เป็น organelles ที่มีรูปร่างหลายแบบ ตั้งแต่กลมเป็นแท่งไปจนถึงหยักเป็นพู่ หุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ 2 ชั้น เยื่อชั้นในจะพับยื่นออกมาเป็นชั้นตั้งฉากกับแกนยาวของไมโทคอนเดรีย เรียกส่วนที่ยื่นออกมาว่า **Cristae** (รูปที่ 5-7) cristae จะฝังอยู่ในสารที่มีลักษณะละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน อาจมีการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ไมโทคอนเดรียเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ เซลล์จะได้พลังงานประมาณ 95% จากกระบวนการทางเคมีที่เกิดในไมโทคอนเดรีย ดังนั้น จึงพบไมโทคอนเดรียมากในเซลล์ที่ต้องใช้พลังงานสูง และมีหน้าที่สำคัญต่อกระบวนการหายใจของเซลล์ โดยเฉพาะจะทำหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน Krebs citric acid cycle ซึ่งใช้สารพวกแอซิเตตและไพรูเวตเป็นแหล่งพลังงาน เอนไซม์ทั้งหลายที่ใช้ใน Krebs cycle จะกระจายอยู่ตามผิวของ cristae



รูปที่ 5-6 แสดงส่วนประกอบของเซลล์สัตว์ (ซ้าย) และเซลล์พืช (ขวา) (Bauer et al, 1981)

8. **Centrioles** มีลักษณะเป็น organelles กลม ๆ ขนาดเล็ก ทำหน้าที่สำคัญในการแบ่งเซลล์ของเซลล์สัตว์ ขนาดยาวประมาณ 300–400  $m\mu$  (millimicron) มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 150  $m\mu$  มักพบเป็นคู่ มีรูปร่างคล้ายแส้ (Flagella) เพียงแต่มีเส้นใยกระดูก 3 เส้น ทั้งหมด 9 กระจุก เรียงกันเป็นวง ต่างจากการเรียงตัวที่พบในแส้ที่มีเส้นใยกระดูก 2 เส้น นอกจากนี้ยังไม่มีเส้นใยตรงกลาง (รูปที่ 5–7) Centrioles ทำหน้าที่สำคัญ 2 อย่าง คือ เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ คือ ทำหน้าที่เป็นขั้วของเซลล์ในขณะที่เซลล์กำลังมีการแบ่งตัว และเป็นศูนย์กลางของการเกิดขนหรือแส้ โดย centriole อาจทำหน้าที่ทั้ง 2 อย่าง เช่น ที่พบใน spermatid (Cell which matures of form the sperm) ของคน หางของสเปิร์มเกิดจาก centrioles อันหนึ่ง



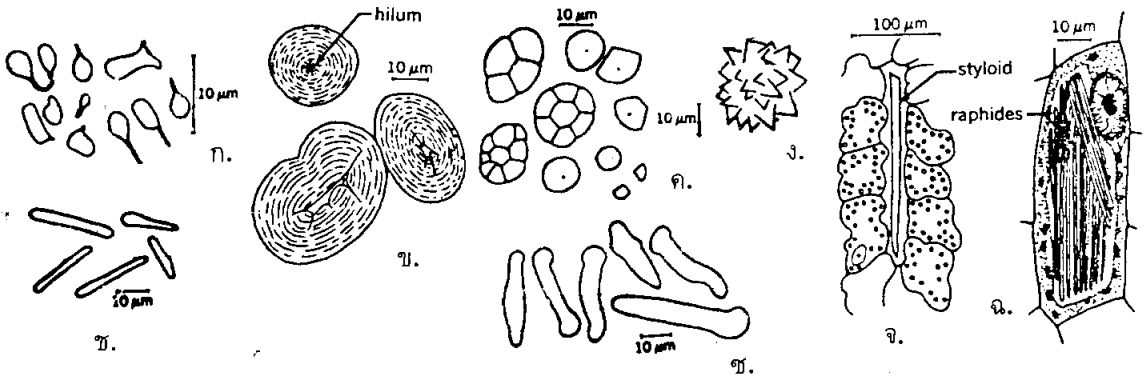
รูปที่ 5–7 ก. ไมโทคอนเดรียที่พบในเซลล์ของตับอ่อน ข. centrioles แสดงส่วนประกอบภายในที่ประกอบด้วยกระดูกเส้นใย กระจุกละ 3 เส้น (ลูกศรชี้) เรียงกันเป็นวง 9 กระจุก

9. **Inclusions หรือ Ergastic substances** ได้แก่ สิ่งที่ไม่มีชีวิตภายในเซลล์ อาจจะมีประโยชน์หรือไม่มีประโยชน์ต่อเซลล์ก็ได้ ที่สำคัญ ได้แก่

**เม็ดแป้ง (Starch)** เม็ดแป้งจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบมากในพืช มีรูปร่างหลายแบบ (รูปที่ 5–8 ข., ซ., และ ซ.) มองเห็นเป็นชั้น ๆ รอบจุดที่เรียกว่า hilum; hilum อาจพบอยู่ตรงกลางหรือเอียงไปข้างหนึ่ง (รูปที่ 5–8 ข.) แต่ละชั้นที่เห็นจะประกอบสารพวกคาร์โบไฮเดรต 2 ชนิด คือ amylase และ amylopectin เม็ดแป้งพบในคลอโรพลาสต์ โดยเฉพาะในขณะที่มีการสังเคราะห์แสง คลอโรพลาสต์จะมีการแตกออก และมารวมกันใหม่เป็น amyloplasts ซึ่งใน amyloplast จะมีเม็ดแป้งประกอบอยู่หนึ่งถึงหลายชนิด เม็ดแป้งเองเมื่อแห้งลงจะมี

การแตก โดยแตกในแนวรัศมีจากจุด hilum มักพบสะสมอยู่ในเซลล์พวพาเรโนโคมา พาเรโนโคมาเป็นเซลล์ทั่ว ๆ ไปในส่วนของต้นพืชที่มีการสะสมอาหาร เช่นใน rhizome ใบเลี้ยง และเอนโดสเปิร์ม เป็นต้น

**แทนนิน (Tannins)** เป็นสารพวก phenol derivative พบมากในพืช อาจพบอยู่ในลักษณะเป็นเม็ด หรือผง มีสีเหลือง แดง น้ำตาล พบในทุกส่วนของพืช ทั้งในไซโทพลาซึมและแวคิวโอล



รูปที่ 5—8 แสดง Ergastic substances หรือ Inclusions ชนิดต่างๆ ก. โครโมพลาสติก ในกลีบดอก Gai-lardia ข. แฉ่งในเมล็ดถั่ว ค. และ ง. ผลึกรูปดอกกุหลาบ (Druses) จ. ผลึกแบบแท่ง (Styloids) ในใบของ Iris ฉ. ผลึกรูปเข็ม (Raphides) ในรากองุ่น ช. และ ซ. เม็ดแป้งที่พบใน laticifer ของพืชพวก Euphorbia

**ผลึก (Crystal)** ผลึกที่พบมักเป็นสารประกอบพวก Calcium oxalate มีรูปร่างหลายแบบ เช่น คล้ายเข็มอยู่กันเป็นกลุ่ม เป็นแท่งยาว ๆ (รูปที่ 5—7 จ. และ ฉ.) หรือเป็นรูปคล้ายดอกไม้ เรียกว่าผลึกรูปดอกกุหลาบ (รูปที่ 5—8 ค. และ ง.) นอกจากนี้ยังพบผลึกพวก calcium carbonate อีก ผลึกชนิดหลังนี้ไม่พบในพืชชั้นสูงมากนัก มักจะห้อยแขวนอยู่กับผนังเซลล์เรียกว่า Cystoliths (รูปที่ 5—9)

**โปรตีน** มักพบอยู่ในลักษณะเป็นก้อนแข็ง เรียก aleurone grains พบในผลและเมล็ดของพืช หรือในใบเลี้ยง

### นิวเคลียส (Nucleus)

นิวเคลียสเป็นส่วนประกอบของเซลล์ที่ได้รับความสนใจมากหลังจากการค้นพบโดย Robert Brown ในปี ค.ศ. 1835 แล้ว โดยทั่วไปมีรูปร่างค่อนข้างกลม แต่อาจจะรีแบน