บทที่ 4
เซลล์ : การจัดโครงสร้างภายใน

เค้าโครงเรื่อง

4.1 การจัดโครงสร้างภายในยูแคริโอทิกเซลล์

4.2 โครงสร้างและหน้าที่ของยูแคริโอทิกเซลล์ออร์แกเนลล์

4.2.1 โครงสร้างทำหน้าที่สร้างพลังงาน

4.2.2 โครงสร้างทำหน้าที่ควบคุม

4.2.3 โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการผลิต

4.2.4 โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลาย

4.2.5 โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการสะสมและการกำจัด

4.2.6 โครงสร้างทำหน้าที่ค้ำจุนรูปทรงและการเคลื่อนที่

4.3 ความหลากหลายของเซลล์

4.3.1 ความหลากหลายของเซลล์สัตว์

4.3.2 ความหลากหลายของเซลล์พืช

สิ่งมีชีวิตแรกเริ่มที่พัฒนามาเป็นเซลล์มีโครงสร้างอย่างง่ายได้แก่ พวก โพรแคริโอท เมื่อเซลล์มีวิวัฒนาการมากขึ้น มีโครงสร้างที่เหมาะสมแบ่งหน้าที่ทำงานผสานกันเป็นเซลล์ของพวกโปรติสท์และวิวัฒนาการต่อมาจนเป็นเซลล์ของสัตว์และพืชซึ่งเป็นพวกยูแคริโอท ดังที่พบเห็นอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างโพรแคริโอทิกเซลล์และยูแคริโอทิกเซลล์คือ การไม่มีหรือมีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ไมโทคอนเดรีย และไมโครทิวบุล (รายละเอียดดูจากตาราง 4-1) อย่างไรก็ตาม เซลล์ทั้งสองประเภทมีกลไกการทำงานหลักคือ กระบวนการเมแทบอลิซึม และการถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ด้วยการทำงานของกรดนิวคลิอิกและเอนไซม์

ตาราง 4-1 เปรียบเทียบลักษณะของโพรแคริโอทิก และยูแคริโอทิกเซลล์

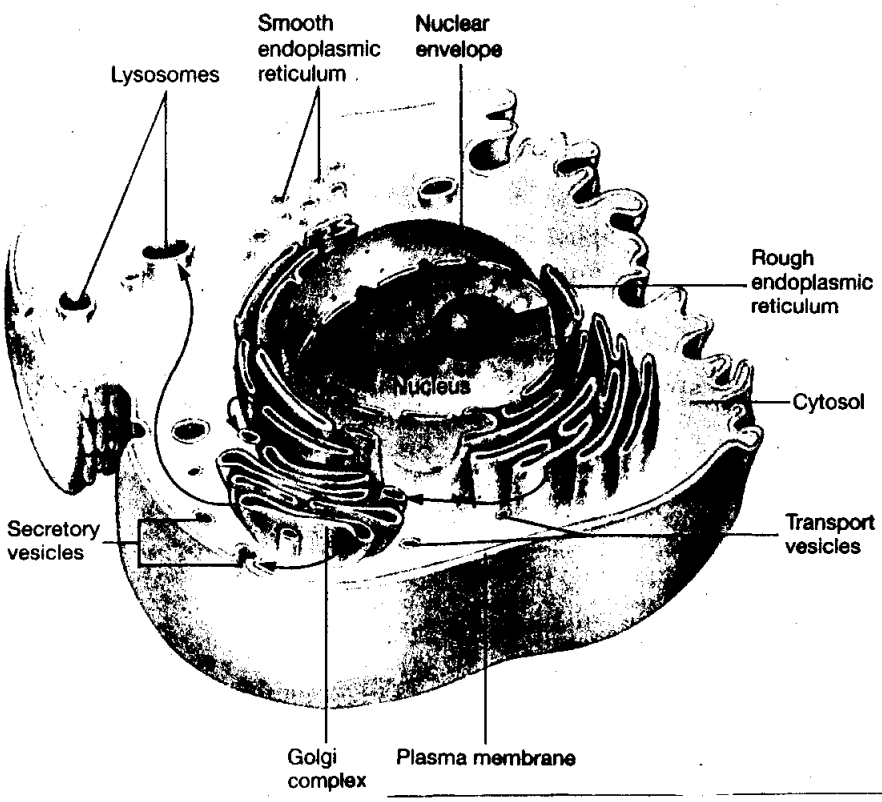
ลักษณะ	โพรแคริโอทิกเซลล์	ยูแคริโอทิกเซลล์
ขนาด	ส่วนใหญ่ 1-10 ไมครอน (ช่วงอาจตั้งแต่ 0.2-500 ไมครอน)	10-20 ไมครอน (เซลล์สัตว์) 30-50 ไมครอน (เซลล์พืช)
ผนังเซลล์	ส่วนใหญ่เป็นสารไคทินและกรดอะมิโน	พบเฉพาะโปรติสท์บางกลุ่ม และเซลล์พืชเป็นพวกเซลลูโลส และไคทิน ไม่พบในเซลล์สัตว์
เยื่อหุ้มเซลล์	มี	มี
นิวเคลียส	ลักษณะเป็นกลุ่มของกรดนิวคลีอิก ไม่มีเยื่อหุ้ม	มีเยื่อบางสองชั้นหุ้มนิวเคลียส
โครโมโซม	เป็นวง	เป็นเส้น
ไรโบโซม	มีหน่วยเดียว	มี 2 หน่วยย่อยขนาดใหญ่กว่า และส่วนประกอบที่แตกต่าง
เอนโดพลาสมิก เรทิคิวลัม	ไม่มี	มี
โกลจิคอมเพลกซ์	ไม่มี	มี
ไลโซโซม	ไม่มี	ส่วนใหญ่มี
ไมโทคอนเดรีย	ไม่มี	มี
แวคิวโอล	ไม่มี	มีในเซลล์พืชและโปรติสท์บางชนิด
ไมโครทิวบุล	ไม่มี	มีในเซลล์ทุกชนิดยกเว้น เซลล์พืชชั้นสูง

เนื่องจากยูแคริโอทิกเซลล์มีออร์แกเนลล์และกลไกการทำงานที่สมบูรณ์และเป็นเซลล์ของสัตว์และพืช ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดกระจายอยู่ทั่วโลก การศึกษาและการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์จึงนิยมใช้ยูแคริโอทิกเซลล์เป็นตัวอย่าง

4.1 การจัดโครงสร้างภายในยูแคริโอทิกเซลล์

ยูแคริโอทิกเซลล์ถือเป็นโครงสร้างที่เล็กที่สุดและสมบูรณ์แบบที่สุดของการดำรงชีวิต โดยมีขอบเขตคือเยื่อหุ้มเซลล์ล้อมรอบส่วนของโพรโทพลาซึมที่อยู่ภายในไว้ ภายในโพรโทพลาซึมมีการแยกนิวเคลียสซึ่งเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานทั้งหมดของเซลล์ ส่วนที่เหลือเรียก **ไซโทพลาซึม (cytoplasm)** ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสัณฐาน (เห็นได้ด้วยเทคนิกทางกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน) ได้แก่ **เซลล์ออร์แกแนลล์ (cell organelles)** และเส้นใยโครงสร้างค้ำจุนเซลล์ ส่วนที่เป็นอสัณฐานล้อมเซลล์ออร์แกเนลล์ไว้คือ ของเหลวเรียก **ไซโทซอล**

รูป 4-1 ภาพจำลองแสดงลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญของยูแคริโอทิกเซลล์



จาก Solomon, Elda P., et al. 1993

(cytosol) ซึ่งประกอบด้วยไอออนและโมเลกุลของสารขนาดเล็กที่ไม่สามารถแสดงให้เห็นด้วยเทคนิคของกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน ลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์ดูรายละเอียดในรูปที่ 4-1 และตาราง 4-2 ลักษณะที่ต่างกันของเซลล์สัตว์และเซลล์พืชดูรายละเอียดในตารางที่ 4-3

ตาราง 4-2 โครงสร้างและหน้าที่ของยูแคริโอทิกเซลล์

โครงสร้าง	หน้าที่
เยื่อหุ้มเซลล์	ขอบเขตของสารภายในเซลล์ ควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร
ผนังเซลล์	เสริมความแข็งแรงและป้องกันอันตรายให้เซลล์พืช
นิวเคลียส	ศูนย์กลางควบคุมกลไกการทำงานของเซลล์แยกจากส่วนอื่นของเซลล์ด้วยเยื่อหุ้มนิวเคลียส
นิวคลีโอลัส	แหล่งสังเคราะห์ rRNA และไรโบโซม
โครโมโซม	แหล่งรวบรวมยีนที่กำหนดลักษณะถ่ายทอดทางพันธุกรรมและกลไกการทำงานของเซลล์
ไรโบโซม	ช่วยสังเคราะห์โปรตีน
ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม	
เอนโดพลาสมิก เรทิคิวลัม (E.R.)	แหล่งสังเคราะห์โปรตีน สิพิด ลำเลียงสารภายในเซลล์และสู่ภายนอกเซลล์
โกลจิคอมเพลกซ์	ปรับเปลี่ยน สะสม โปรตีน เพื่อใช้ภายในเซลล์หรือคัดหลั่งออกนอกเซลล์
ไลโซโซม	สะสมเอนไซม์เพื่อการย่อยสลาย คัดหลั่ง หรือขจัดของเสีย
แวคิวโอล	เก็บและลำเลียงสารที่สลาย น้ำ หรือของเสีย
ไมโครบอดีส์ (peroxisome, glyoxysome)	แหล่งปฏิกิริยาย่อยสลายพิเศษ
ไมโทคอนเดรีย	แหล่งผลิตพลังงาน ของการหายใจระดับเซลล์

โครงสร้าง	หน้าที่
พลาสติด	แหล่งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
ไซโทสเกเลทัน (ออร์แกเนลล์ไม่มีเยื่อหุ้ม)	
ไมโครทิวบุล	โครงสร้างค้ำจุนเซลล์ ศูนย์รวมให้เกิดการแบ่งเซลล์ (เซนทริโอล) การเคลื่อนที่ของเซลล์ (ซิเลียและแฟลเจลลา)
ไมโครฟีลาเมนท์	เปลี่ยนแปลงรูปร่างเซลล์ เคลื่อนที่แบบอะมีบา
ไมโครเทรเบคิวลี	ค้ำจุนและยึดเซลล์ออร์แกเนลล์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม

ตาราง 4-3 เปรียบเทียบโครงสร้างที่ต่างกันของเซลล์สัตว์และเซลล์พืช

โครงสร้าง	เซลล์สัตว์	เซลล์พืช
ผนังเซลล์	ไม่มี	มีส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส
พลาสติด	ไม่มี	มีหลายชนิดตามลักษณะหน้าที่
เพอรอกซิโซม	มี	มี
ไกลออกซิโซม	ไม่มี	มี
ไมโครทิวบุล		
ซิเลียและแฟลเจลลา	มี	ไม่มี
เซนทริโอล	มี	ไม่มี
ชิงเกลทไมโครทิวบุล	มี	มีเฉพาะช่วงการแบ่งเซลล์
ไมโครฟิลาเมนท์	มี	ไม่มี
ไมโครเทรเบคิวลี	มี	ไม่มี

4.2 โครงสร้างและหน้าที่ของยูแคริโอทิกเซลล์ออร์แกเนลล์

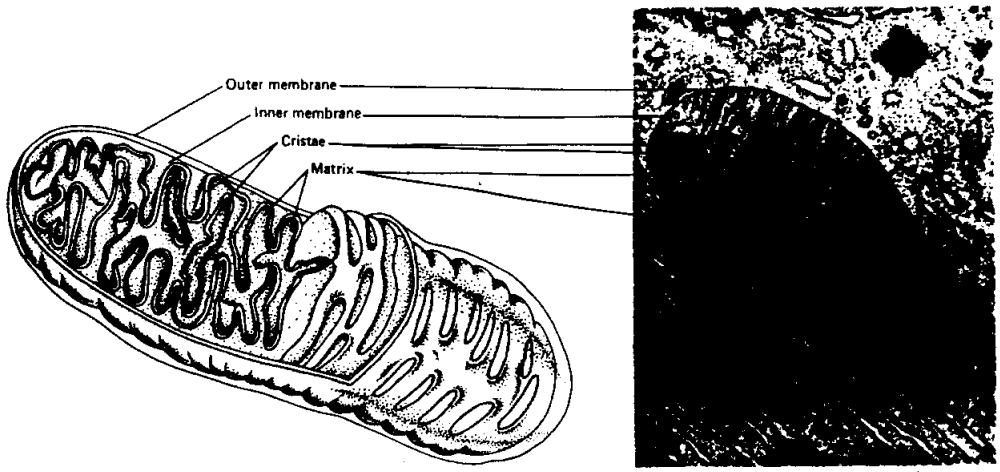
จากรูป 4-1 จะเห็นได้ว่า เซลล์ออร์แกเนลล์มีลักษณะโครงสร้างแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ พวกที่มีเยื่อหุ้มและไม่มีเยื่อหุ้ม โดยมีรูปทรงต่างกันออกไป โครงสร้างที่มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกัน และมีต้นกำเนิดจากแหล่งเดียวกัน จะทำงานผสมผสานกัน เป็นระบบต่อเนื่อง เช่น กลุ่มโครงสร้างของ **ระบบแวคิวโอลาร์ (vacuolar system)** ซึ่งเป็นระบบท่อกลวงแตกแขนง มีเยื่อบางที่มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกับเยื่อหุ้มเซลล์ ได้แก่ เอนโดพลาสมิก เรทิคิวลัม โกลจิคอมเพลกซ์ และไลโซโซม เพื่อเป็นการง่ายต่อการศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ในปัจจุบันจึงนิยมจัดหมวดหมู่โครงสร้างของเซลล์ออร์แกเนลล์โดยยึดหน้าที่เป็นหลัก

4.2.1 **โครงสร้างทำหน้าที่สร้างพลังงาน** พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีพแบบ **สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotroph)** ต้องกินอาหารเข้าไปเพื่อการสร้างพลังงานมีออร์แกเนลล์หลักที่ทำหน้าที่นี้คือ **ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)** สิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีพแบบ **สร้างอาหารได้เอง (autotroph)** มีออร์แกเนลล์ทำหน้าที่สร้างพลังงานคือ **พลาสติด (plastid)**

(1) **ไมโทคอนเดรีย** (เอกพจน์คือ mitochondrion) เป็นออร์แกเนลล์ที่หุ้มด้วยเยื่อบาง 2 ชั้น ส่วนประกอบของเยื่อบางคล้ายเยื่อหุ้มเซลล์ ลักษณะทรงกลมหรือรูปแท่งกลมสั้นยาวประมาณ 2-9 ไมครอน จำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดการทำงานของเซลล์ เซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ตับมีจำนวนไมโทคอนเดรียมากเกินกว่า 1000 อันภายในหนึ่งเซลล์ เยื่อบางชั้นในพับยื่นเข้าไปในห้องที่เรียกว่า **เมทริกซ์ (matrix)** ส่วนที่พับยื่นเรียกว่า **คริสตี (cristae เอกพจน์ คริสตา)** เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเยื่อบางชั้นใน ช่องระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อบางชั้นในเรียกอินเทอร์เมมเบรนสเปซ (intermembrane space) ภายในช่องนี้และเมทริกซ์ มีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับ **กระบวนการหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration)** ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของไมโทคอนเดรีย (รูป 4-2) โปรตีนทุกชนิดรวมทั้งเอนไซม์ในไมโทคอนเดรีย สร้างขึ้นโดยรหัสของ DNA ในนิวเคลียสแล้วนำเข้ามาเก็บไว้ในส่วนต่าง ๆ ของไมโทคอนเดรีย นอกจากนี้ไมโทคอนเดรียยังมี DNA ของตนเองแต่ในปริมาณที่น้อยมาก สามารถสร้างโปรตีนได้เพียงไม่กี่ชนิด แต่สร้างเยื่อบางได้ด้วยตนเอง จึงทำให้ไมโทคอนเดรียแบ่งตัวเองได้ ถือว่าเป็น **ออร์แกเนลล์กึ่งอัตโนมัติ (semiautonomous organelle)**

รูป 4-2 ไมโทคอนเดรีย จากเซลล์ตับอ่อนของค้างคาว ให้สังเกตเยื่อบางชั้นในที่พับซ้อนเข้าไปในเมทริกซ์เรียกคริสตี

ก. ภาพจำลอง ข. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน



จาก Villee, Claude A., et al. 1989

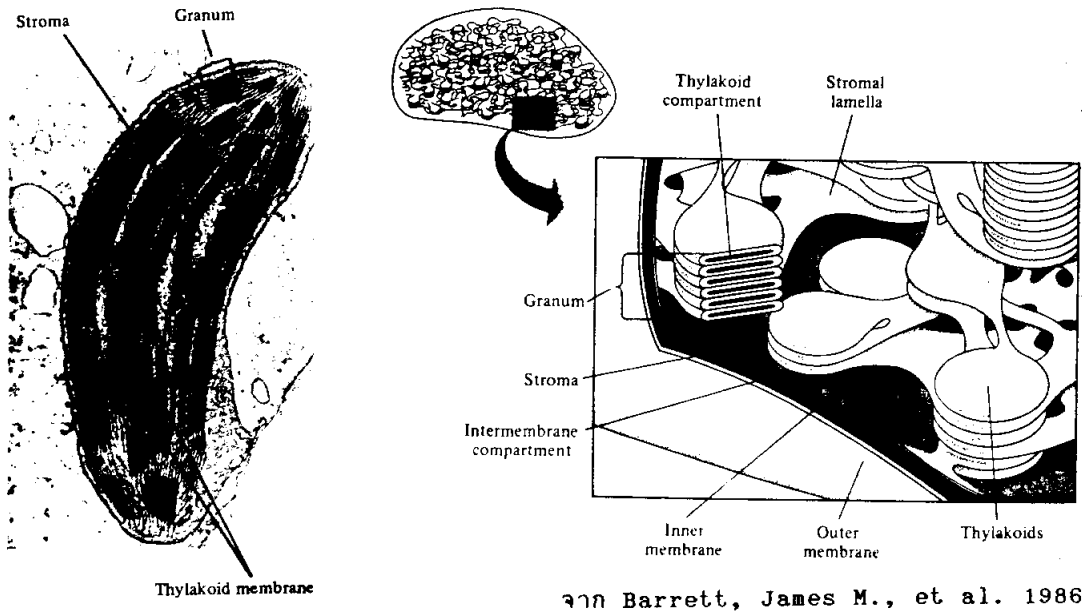
(2) **พลาสติด (plastid)** เป็นแหล่งผลิตและสะสมอาหารของเซลล์สาหร่ายและเซลล์พืช การเรียกชื่อนิยมเรียกตามสารสีหรืออาหารที่สะสมที่มีอยู่ในพลาสติด เช่น **คลอโรพลาสท์ (chloroplast)** มีสารสีเขียวของคลอโรฟิลเอและบี **โครโมพลาสท์ (chromoplast)** มีสารสีเหลืองหรือสีส้มแดงของสารพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoid) **ลิวโคพลาสท์ (leucoplast)** ไม่มีสารสีเป็นแหล่งสะสมอาหาร ถ้าเป็นพวกแป้งและน้ำตาลเรียก เอไมโลพลาสท์ (amyloplast) ถ้าสะสมไขมันเรียก อีไลโอพลาสท์ (elaioplast) และถ้าสะสมโปรตีนเรียก เอลิวโรเนพลาสท์ (aleuroneplast)

คลอโรพลาสท์ ถือเป็นตัวแทนของพลาสติดสำหรับนำเสนอให้เห็นลักษณะโครงสร้างและหน้าที่ ลักษณะทั่วไปรูปแท่งโค้งสั้นปลายสองข้างมนรี มีเยื่อบางสองชั้นหุ้ม ภายในเรียก **สโทรมา (stroma)** มีของเหลวส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เยื่อบางชั้นในพับเป็นแผ่นเรียงซ้อนเป็นแถวตามระนาบเดียวกับเยื่อบางหุ้มชั้นนอกเรียก **ลาเมลลา ((lamella พหูพจน์ lamellae)** ในพืชชั้นสูงมีลักษณะเป็นถุงเรียก **ไทลาคอยด์ (thylakoid)** ซึ่งมักจะซ้อนทับกันเป็นตั้งเรียก **กรานัม (granum พหูพจน์ grana)** (รูป 4-3) สารสีหลักของคลอโรพลาสท์คือ คลอโรฟิลเอและบี กระจายอยู่ในแผ่นลาเมลลา

(ไทลาคอยด์) นอกจากนี้ยังมีสารสีอื่นเช่น แคโรทีน กรดอะมิโนบางชนิด ฟอสโฟลิพิด และเอนไซม์ (รวมทั้งโคเอนไซม์) หลายชนิดโดยเฉพาะพวกไซโทโครม คลอโรพลาสท์มีกรดนิวคลิอิกที่มี DNA เป็นส่วนประกอบหลักเช่นเดียวกับไมโทคอนเดรีย จึงสามารถสร้างเยื่อหุ้มและแบ่งตัวเองได้ ถือเป็นเซลล์ออร์แกเนลล์กึ่งอัตโนมัติ

รูป 4-3 คลอโรพลาสท์ ให้สังเกตแผ่นลาเมลลา (stromal lamella) ที่เชื่อมต่อระหว่างกรานา

ก. ภาพจากกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน ข. ภาพจำลองแสดงรายละเอียดภายใน



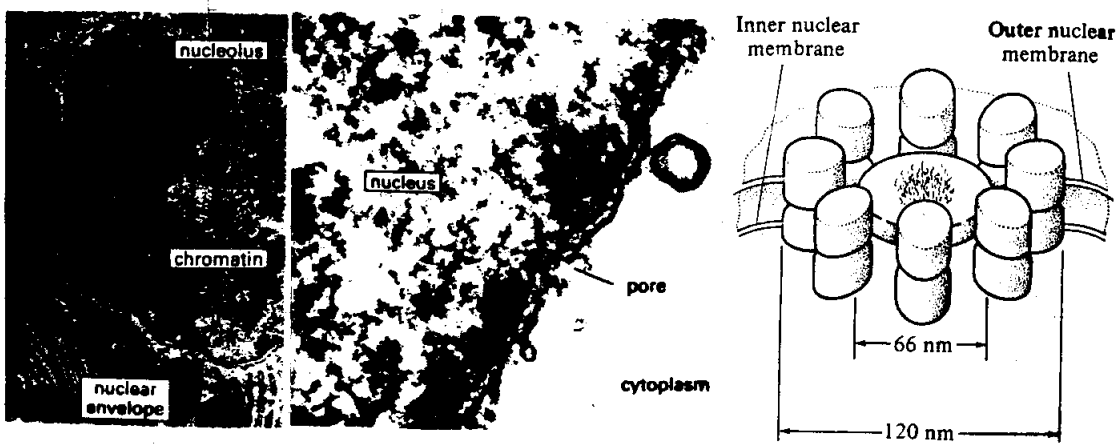
จาก Barrett, James M., et al. 1986

4.2.2 **โครงสร้างทำหน้าที่ควบคุม** คือนิวเคลียส ประกอบด้วยเยื่อหุ้มนิวเคลียสซึ่งเป็นเยื่อบาง 2 ชั้นที่มีส่วนประกอบหลักคล้ายเยื่อหุ้มเซลล์ ภายในมีสารพันธุกรรม DNA RNA และโปรตีน เมื่อเซลล์ยังไม่มีการแบ่งตัว DNA ยังไม่อยู่ในสภาพบิดเป็นเกลียวจึงเห็นไม่ชัด เรียกว่า **โครมาทิน (chromatin)** ส่วนที่เห็นทึบเป็นแหล่งรวมของ RNA เรียกว่า **นิวคลิโอลัส (nucleolus)** ซึ่งเป็นแหล่งผลิตไรโบโซม บริเวณนี้จะคลายตัวจนมองไม่เห็นเมื่อจะมีการแบ่งเซลล์โดยเส้น DNA บิดเกลียวถ่ายแบบตัวเองเป็นเส้น **โครโมโซม (chromosome)** (รูป 4-4 ก) เยื่อหุ้มนิวเคลียสมีรูซึ่งล้อมรอบด้วยก้อนโปรตีน 8 หน่วย เรียกรูนี้ว่า **นิวเคลียร์พอร์ (nuclear pore)** (รูป 4-4 ข) กลางรูมีโปรตีนและ RNA ซึ่งประกอบกันเป็นโมเลกุล

เชิงซ้อนทำหน้าที่ปิดเปิดปากรู (รูป 4-4 ค)

รูป 4-4 ก และ ข. ภาพจากกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นส่วนประกอบหลักของนิวเคลียส ค. ภาพจำลองแสดงหน่วยย่อยล้อมรอบรูนิวเคลียสและโปรตีนที่ทำหน้าที่ปิดเปิด nm คือนาโนมิเตอร์ จาก Barrett, James M., et al. 1986

ก. ข. ค.

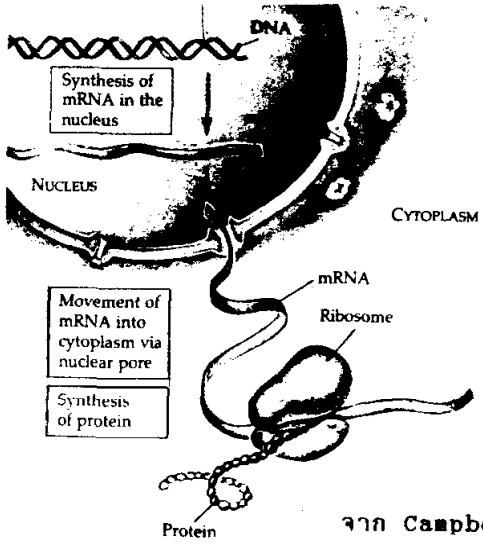


หน้าที่สำคัญของนิวเคลียสคือ ควบคุมกลไกการทำงานต่าง ๆ ของเซลล์โดยผ่านทางการถอดรหัสจาก DNA สู่ mRNA แล้วส่งออกมาสู่ไซโทพลาซึมผ่านทางนิวเคลียร์พอร์ (รูป 4-5) tRNA และ rRNA (ในไรโบโซม) เมื่อสร้างแล้ว ถูกส่งผ่านออกมา เช่นเดียวกัน การสร้างโปรตีนโดยเฉพาะเอนไซม์ จะทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมและชีวเคมีต่าง ๆ ของเซลล์ ยีนซึ่งเป็นหน่วยกำหนดลักษณะถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่อยู่ในโครโมโซม ทำหน้าที่กำหนดลักษณะจากชั่วรุ่นถัดไป ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 8

4.2.3 **โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการผลิต** ได้แก่ ไรโบโซม เอนโดพลาสมิก เรทิคิวลัม และโกลจิคอมเพลกซ์

(1) **ไรโบโซม (ribosome)** เป็นออร์แกเนลล์ขนาดเล็กประมาณ 20-30 นาโนมิเตอร์ ไม่มีเยื่อหุ้ม มีส่วนประกอบหลัก 2 อย่างคือ rRNA ซึ่งสร้างโดย RNA ในนิวคลีโอลัสและโปรตีนซึ่งสร้างในไซโทซอลแล้วส่งผ่านนิวเคลียร์พอร์เข้าไปรวมกับ rRNA ในปริมาณที่เท่ากันได้เป็นไรโบโซม เมื่อสร้างเสร็จแล้ว ถูกส่งกลับออกมาอยู่ในไซโทซอลเป็น **ไรโบโซมอิสระ (free ribosome)** บางส่วนจะเข้าไปเกาะติดอยู่กับผิวนอกของเอนโดพลาสมิก เรทิคิวลัม

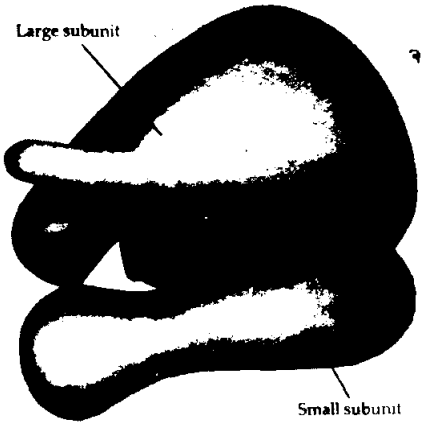
รูป 4-5 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของนิวเคลียสควบคุมการสร้างโปรตีน



จาก Campbell, Neil A. 1990

เรียกว่า **พันธะไรโบโซม (bound ribsome)** ไรโบโซม มี 2 หน่วยคือ **หน่วยเล็ก (small subunit)** และ **หน่วยใหญ่ (large subunit)** หน่วยเล็กประกอบด้วย rRNA หนึ่งโมเลกุลและโปรตีน 33 ชนิด หน่วยใหญ่ประกอบด้วย rRNA 3 โมเลกุล และโปรตีน 45 ชนิด (รูป 4-6) หน้าที่หลักของไรโบโซมคือ เป็นตำแหน่งที่ tRNA นำกรดอะมิโนเข้ามาจับเพื่อให้เข้าคู่ตรงกันระหว่างโคดอนในเส้น mRNA และ แอนติโคดอนใน tRNA โปรตีนที่สร้างขึ้นด้วยความช่วยเหลือของไรโบโซมอิสระจะนำมาใช้ภายในไซโทซอล โปรตีนที่สร้างขึ้นด้วยความช่วยเหลือของพันธะไรโบโซมจะถูกส่งเข้าในไลโซโซม หรือคัดหลั่งออกไปนอกเซลล์ ไรโบโซมทั้งสองประเภทปรับเปลี่ยนสัดส่วนและหน้าที่การทำงานกันได้

รูป 4-6 ภาพจำลองรูปร่างและส่วนประกอบของไรโบโซม

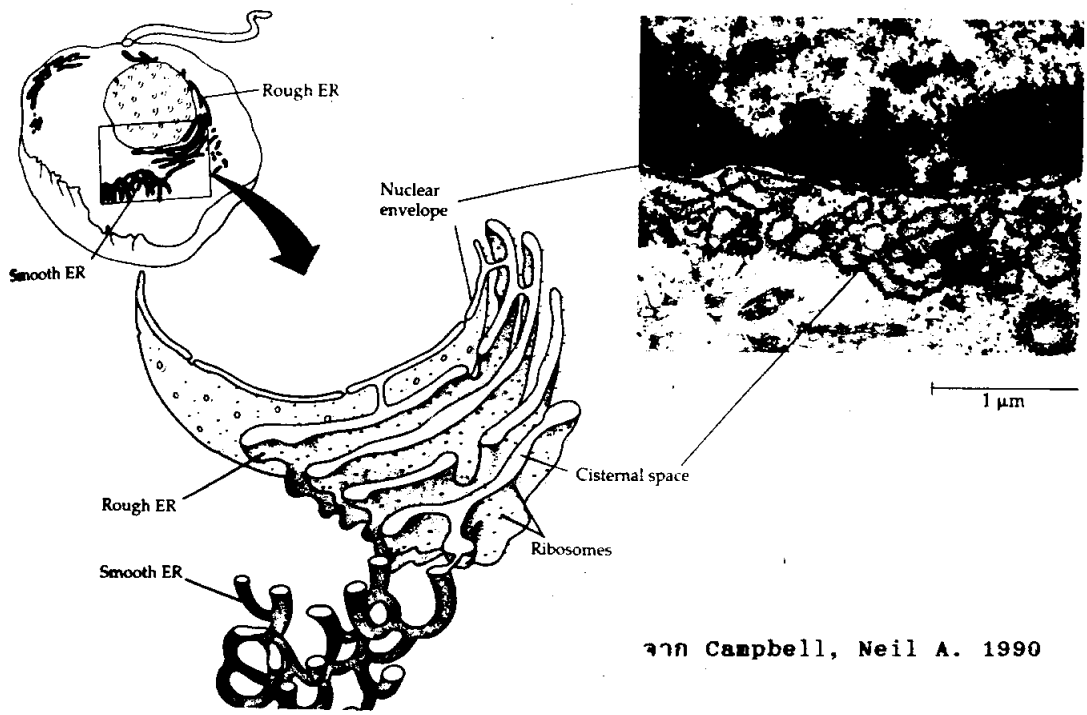


จาก Campbell, Neil A. 1990

(2) **เอนโดพลาสมิก เรทิคิวลัม** เป็นโครงสร้างระบบท่อที่แตกแขนงเป็นเครือข่ายกระจายไปทั่วเซลล์ ผนังของท่อเป็นเยื่อบาง 2 ชั้นมีต้นกำเนิดมาจากเยื่อหุ้มนิวเคลียสชั้นนอก จึงมีส่วนประกอบคล้ายคลึงกับเยื่อหุ้มนิวเคลียสและเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอนมีลักษณะเป็นถุงเรียก **ซิสเทอร์นา (cisterna พหูพจน์ cisternae)** บริเวณใกล้นิวเคลียสมีพันธะไรโบโซมมาเกาะเรียก **rough ER** บริเวณห่างจากนิวเคลียสออกไปใกล้กับส่วนที่ไปต่อกับโกลจิคอมเพลกซ์ไม่มีไรโบโซมมาเกาะเรียก **smooth ER** (รูป 4-7) ส่วน rough ER ทำหน้าที่รับโปรตีนที่สร้างขึ้นจากพันธะไรโบโซมแล้วลำเลียงต่อมายังส่วนของ smooth ER ซึ่งทำหน้าที่สังเคราะห์ลิพิด เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ทำลายพิษของยาและสารพิษอื่น สารสเทรอยด์ที่สำคัญคือ ฮอร์โมนเพศก็ผลิตจากส่วน smooth ER ของเซลล์ต่อมหมวกไต

รูป 4-7 เอนโดพลาสมิก เรทิคิวลัม (ER) ให้สังเกตความต่อเนื่องของเยื่อบางของ ER กับเยื่อหุ้มนิวเคลียส

ก. ภาพจำลอง ข. ภาพจากกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน

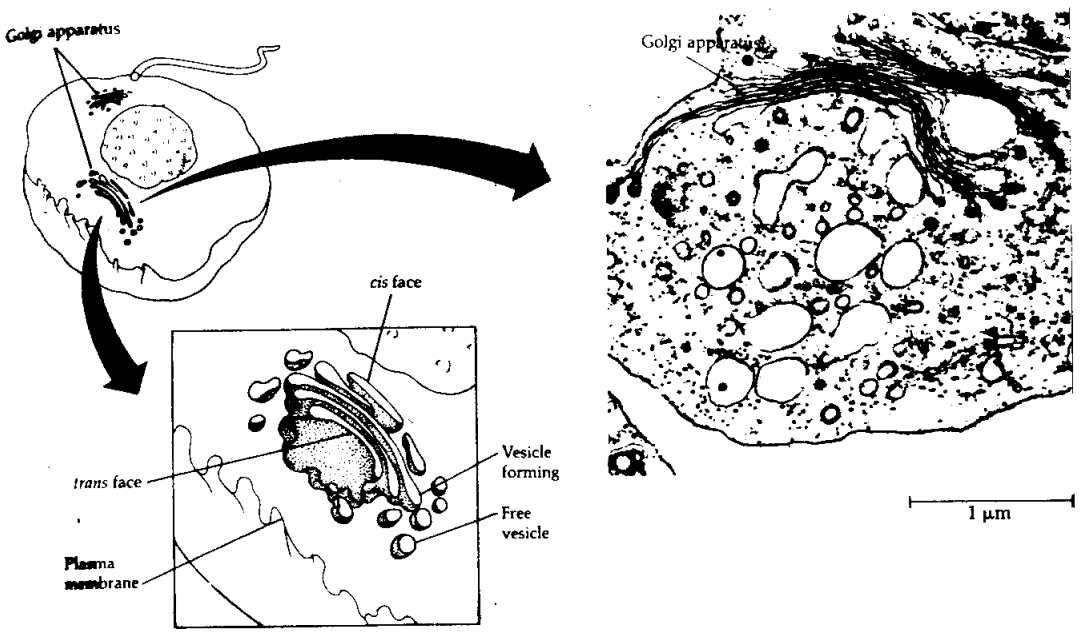


จาก Campbell, Neil A. 1990

(3) **โกลจิ คอมเพลกซ์*** เป็นระบบท่อที่มีเยื่อบางสองชั้นหุ้มต่อเนื่องมาจาก **smooth ER** มีลักษณะเป็นถุงบางเช่นเดียวกับ ER แต่พับซ้อนกันเป็นรูปโค้ง เยื่อบางทางด้าน ER มีสัดส่วนโมเลกุลและความหนาน้อยกว่าเรียก **cis face** เยื่อบางทางด้านตรงข้ามกับ ER มีสัดส่วนโมเลกุลและความหนามากกว่า เรียก **trans face** (รูป 4-8) โกลจิคอมเพลกซ์ทำหน้าที่รับสารที่สร้างขึ้นจาก ER มาเปลี่ยนแปลงและสะสมไว้ใน **ถุง (vesicle)** ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ จนหลุดออกเป็นถุงอิสระ เปลี่ยนแปลงหน้าที่เป็นไลโซโซม หรือนำไปชิดกับเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อเป็นสารคัดหลั่งออกจากเซลล์ต่อไป

รูป 4-8 โกลจิคอมเพลกซ์ ให้สังเกตลักษณะโค้งและตำแหน่งที่แน่นอนเพียง 1-2 แห่งภายในเซลล์ และการหลุดออกเป็นถุงอิสระ

ก. ภาพจำลอง ข. ภาพจากกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน



จาก Campbell, Neil A. 1990

---

*บางตำราเรียกโกลจิคอมเพลกซ์ว่า **Golgi apparatus** ซึ่งปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม ชื่อที่เลิกใช้แล้วคือ dictyosome

4.2.4 **โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลาย** ได้แก่ ไลโซโซม และไมโครบอดีส์ (เพอรอกซิโซม และไกลออกซิโซม)

(1) **ไลโซโซม** เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อบางชั้นเดียวหุ้ม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.1-0.8 ไมครอน มีหลายแบบ จะกล่าวถึงเฉพาะแบบปฐมภูมิซึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก trans face ของโกลจิคอมเพลกซ์ จำนวนของไลโซโซมมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเซลล์ ถ้าเป็นเซลล์ทำหน้าที่กินหรือขจัดสิ่งแปลกปลอมจะมีไลโซโซมมาก ภายในบรรจุด้วยเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด ส่วนใหญ่ทำงานที่ pH ประมาณ 5.0 เอนไซม์ที่สำคัญคือ กลุ่มเอนไซม์ย่อยสลายด้วยน้ำของคาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน และกรดนิวคลิอิก เมื่อเซลล์ตาย เอนไซม์หลุดออกมาจากเยื่อหุ้มอย่างรวดเร็ว มาย่อยไซโทพลาซึม จึงทำให้เกิดการเน่าชิ้นได้โดยไม่จำเป็นต้องมีจุลชีพมาทำลาย ความผิดปกติของไลโซโซมก่อให้เกิดโรคได้ เช่นโรคพอมเพ'ส (Pompe's disease) ไลโซโซมไม่มีเอนไซม์สำหรับย่อยสลายพอลิแซกคาไรด์ จึงทำให้เกิดการสะสมของไกลโคเจนในเซลล์ตับมากกว่าปกติ

(2) **ไมโครบอดีส์** เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อบางชั้นเดียวหุ้มเช่นเดียวกันกับไลโซโซม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.5 ไมครอน ลักษณะที่ต่างออกไปคือมีผ..กอยู่ภายใน (รูป 4-9) ลักษณะรูปร่างและหน้าที่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อและชนิดของสิ่งมีชีวิตเท่าที่ศึกษากันในปัจจุบันแบ่งไว้ 2 กลุ่ม คือ ก. เพอรอกซิโซม และ ข. ไกลออกซิโซม

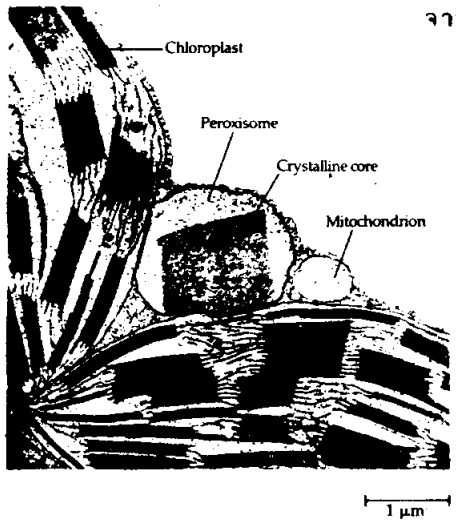
ก. **เพอรอกซิโซม** เป็นไมโครบอดีส์ที่ภายในมีเอนไซม์ เพอรอกซิเดส ออกซิเดส และคาทาเลส รวมทั้งเอนไซม์อื่นในกลุ่มให้ปฏิกิริยา รีดอกซ์ พบครั้งแรกโดย เจ รอดิน (J. Rhodin, 1954) ในเซลล์ไตของหมู ต่อมามีรายงานพบออร์แกเนลล์ชนิดนี้ทั้งในสัตว์และพืช (รูป 4-9) ข้อมูลที่ทราบจนถึงปัจจุบันพบว่าเพอรอกซิโซมของเซลล์ตับมีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา เบทา-ออกซิเดชันของกรดไขมัน (แต่ปฏิกิริยาต่างกับเอนไซม์ออกซิเดชันในไมโทคอนเดรีย) แล้วได้สารสุดท้ายเป็น อะเซทิลโคเอ (acetyl-CoA)

จากการศึกษามิญชเคมีด้วยกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอนพบว่า เพอรอกซิโซมและไมโทคอนเดรียมีกลไกการทำงานสัมพันธ์กัน ผลผลิตจากเพอรอกซิโซม อาจใช้เป็นสารต้นปฏิกิริยาสำหรับเอนไซม์ในไมโทคอนเดรีย เช่น ไกลออกซิเลทที่ผลิตขึ้นในเพอรอกซิโซมแล้วถูกเปลี่ยนเป็นไกลซีนด้วยปฏิกิริยาทรานสแอมิเนชัน เมื่อไกลซีนซึมผ่านเข้าไปในไมโทคอนเดรีย อาจถูก

เปลี่ยนได้เป็นหลายสาร (กรดอะมิโนหรือรวมกับฮีม)

รูป 4-9 ไมโครบอดีส์ชนิดเพอรอกซิโซมในเซลล์ในพืช ให้สังเกตผลึกที่อยู่ภายใน

จาก Campbell, Neil A. 1990



ข. **ไกลออกซิโซม** เป็นไมโครบอดีส์ที่พบครั้งแรกโดยไบรเดนบาก และบีเวอรส์ (R.W.Breidenback and H. Beevers 1967) ในเซลล์ที่กำลังงอกจากเมล็ดพืชที่มีน้ำมันภายในมีเอนไซม์ **ไกลออกซิเลทไซเคิล (glyoxylate cycle)** จึงตั้งชื่อออร์แกเนลล์ตามชนิดเอนไซม์ที่พบ อย่างไรก็ตาม ถือว่า ไกลออกซิโซมคือ รูปหนึ่งของเพอรอกซิโซมเมื่อไมโครบอดีส์มีเอนไซม์ไกลออกซิเลทไซเคิล (เช่น ไอโซซิเตรทไลเอส และมาเลท ซินเทเทส) นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์ชนิดอื่นของวัฏจักรเครบส์ด้วย กล่าวโดยรวมไกลออกซิโซมสลายไขมันเพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์โบไฮเดรต

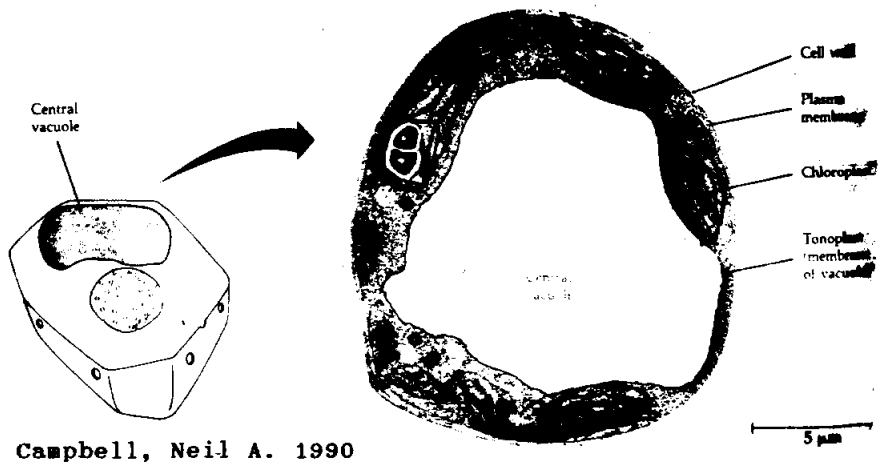
4.2.5 **โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการสะสมและการกำจัด** ได้แก่แวคิวโอลและพลาสติด พลาสติดนอกจากทำหน้าที่ในการผลิตแล้วยังทำหน้าที่สะสมสารที่ผลิตไว้ด้วย (ดู 4.2.1(2)) แต่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการกำจัด

แวคิวโอล เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อบางชั้นเดียวหุ้ม พบในเซลล์พืชและฟังไจ มีลักษณะเป็นถุงเช่นเดียวกับไลโซโซมของเซลล์สัตว์ แต่ขนาดใหญ่กว่ามาก บางครั้งกินพื้นที่มากกว่าครึ่งของพื้นที่ทั้งหมดของเซลล์ (รูป 4-10) พืชสะสมอาหาร เกลือ สารสี และของเสียไว้ในแวคิวโอล เพราะพืชไม่มีระบบกำจัดของเสียเช่นเดียวกับสัตว์ ของเสียจากกระบวนการ

เมแทบอบอลิซึมที่เป็นพิษต่อเซลล์พืชจะถูกสะสมไว้ในรูปของผลึกในแวคิวโอล ในกระบวนการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน ผลึกเหล่านี้ถูกละลายหมดจึงปรากฏเห็นเป็นช่องว่างในภาพถ่าย

แวคิวโอลที่พบในโปรโตซัวบางชนิดทำหน้าที่ต่างกัน โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภทคือ ประเภทสะสมอาหาร และประเภทการกำจัด เช่น *Plasmodium* กินไซโทพลาซึมของเม็ดเลือดแดงเข้าไปเก็บไว้ใน **food vacuole** เพื่อรอการย่อยสลาย *Paramecium* เก็บน้ำส่วนเกิน (ที่แพร่เข้าไปในตัวด้วยกระบวนการออสโมซิส) ไว้ใน **contractile vacuole** เพื่อรอการขับออก

รูป 4-10 แวคิวโอลในเซลล์พืชให้สังเกตเยื่อหุ้มแวคิวโอลเรียกว่า โทโมพลาสท์



จาก Campbell, Neil A. 1990

4.2.6 **โครงสร้างทำหน้าที่ค้ำจุนรูปทรงและการเคลื่อนที่** ได้แก่ ไมโครทิวบูล ไมโครฟิลาเมมท์ อินเทอร์มีเดียท ฟิลาเมนท์ และไมโครเทรเบคิวลี

(1) **ไมโครทิวบูล** ลักษณะเป็นแท่งกลวงเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 นาโมมิเตอร์ ยาวตั้งแต่ 200 นาโมมิเตอร์ถึง 25 ไมครอน ผนังของแท่งกลวงเป็นก้อนโปรตีนชนิด **ทิวบุลิน (tubulin)** ซึ่งเกิดจากการรวมเป็นพอลิเมอร์ของแอลฟาทิวบุลินและเบตาทิวบุลินบิดเป็นเกลียวผสานกันเมื่อดูจากภาคตัดขวางจะเห็นแอลฟาและเบตาทิวบุลินหน่วยย่อยเรียงสลับกัน 13 หน่วย ไมโครทิวบูลอาจเกิดขึ้นหรือสลายไปด้วยการทำงานของเอนไซม์และปัจจัยอื่น เช่น การเกิดสปินเดิลไฟเบอร์ ในช่วงต้นของการแบ่งเซลล์ระยะเมทาเฟส แล้วสลายไปในช่วงปลายของระยะแอนาเฟส

แท่งไมโครทิวบุล จัดโครงสร้างได้ 3 ลักษณะ คือ

ก. **ซิงเกลท์ (singlet)** เป็นแท่งเดี่ยวของไมโครทิวบุล ซึ่งดูจากภาคตัดขวางมีหน่วยย่อย 13 หน่วย พบในซิเลีย แฟลเจลลา และหางของตัวอสุจิ โดยเรียงขนานตามแนวยาว ทำหน้าที่เป็นแกน นอกจากนี้ยังพบในระยะการแบ่งเซลล์ปรากฏเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า สปินเดิลไฟเบอร์ พบที่ปลายละอองเรณูที่งอกเข้าไปในเกสรตัวเมียของพืช และเป็นโครงสร้างเสริมความแข็งแรงของอวัยวะเคลื่อนที่ (axopodia) ในโปรโตซัวบางชนิด (รูป 4-11 ข)

ข. ดับเบลท (doublet) เป็นแท่งคู่ของไมโครทิวบุลโดยมี 3 หน่วยย่อยมาร่วมกัน ดูจากภาคตัดขวางจึงเห็นหน่วยย่อยทั้งหมดเป็น 23 หน่วย พบเรียงกันจำนวน 9 วงล้อมรอบเส้นซิงเกลท 2 เส้นที่เป็นแกนกลาง (รูป 4-11 ข) พบที่ซิเลีย แฟลเจลลา และหางของตัวอสุจิแต่ละวงของดับเบลทยึดกับแกนกลางด้วยสารประกอบโปรตีนที่เรียกว่า สโปค (spoke) ด้านนอกของดับเบลทมีโปรตีนยึดหดได้เรียกไดเนอิน (dynein) ซึ่งทำงานภายใต้การให้พลังงานจาก ATP จึงทำให้โครงสร้างสามารถบิดและโค้ง เป็นผลให้โครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่ทำงานได้สมบูรณ์

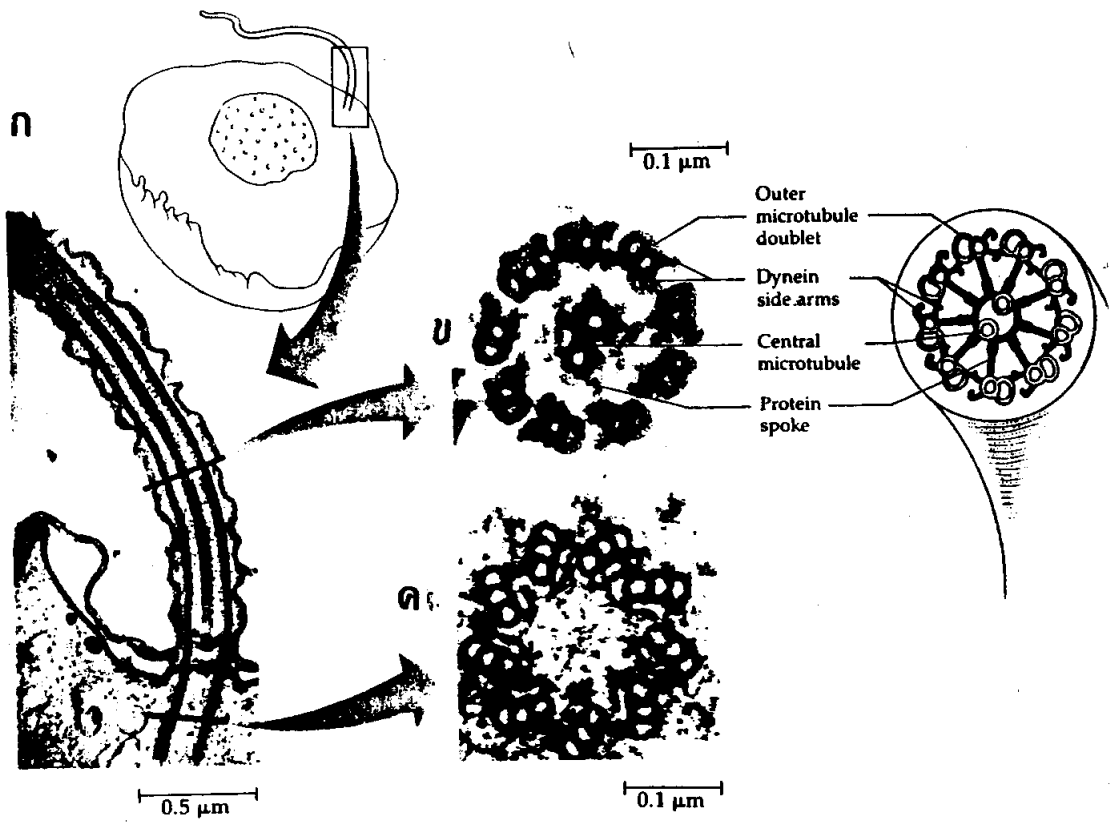
ค. **ทริเพลท (triplet)** เป็นแท่งไมโครทิวบุล 3 แท่ง เรียงขนานโดยมี 3 หน่วยย่อยมาเชื่อมร่วมกัน 2 ตำแหน่ง เมื่อดูจากภาคตัดขวางจึงมีหน่วยย่อยทั้งหมดเป็น 33 หน่วย ทริเพลทจะเรียงกันเป็นวงล้อม 9 วง ประกอบเป็นฐาน (basal body) ของโคนซิเลียและแฟลเจลลา (รูป 4-11 ค) นอกจากนี้ยังเป็นโครงสร้างของเซนทริโอล (centriole) ในเซลล์สัตว์ ทำหน้าที่เป็นขั้วของการแบ่งเซลล์

(2) **ไมโครฟิลาเมนท์** เป็นแท่งตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7 นาโมมิเตอร์ ประกอบด้วยก้อนโปรตีนเรียก **จี-แอกทิน (G-actin)** ซึ่งต่อกันเป็นเส้นยาว 2 เส้น บิดเป็นเกลียว จึงทำให้ไมโครฟิลาเมนท์ยืดหดได้ และเป็นหน้าที่หลักสำหรับการเคลื่อนที่ พบไมโครฟิลาเมนท์ได้มากในเซลล์กล้ามเนื้อโดยเรียงขนานตามยาวของเซลล์ เมื่อแอกทินไปต่อกับไมโอซิน (myosin) ซึ่งเป็นโปรตีนในกล้ามเนื้ออีกชนิดหนึ่งจะทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้ด้วยการทำงานของเอนไซม์มี ATPase

โปรโตซัวหลายชนิด เช่น อะมีบา มีไมโครฟิลาเมนท์ในตีนเทียมช่วยสำหรับการเคลื่อนที่ โปรโตซัวพวกที่เกาะติดอยู่กับที่ ไมโครฟิลาเมนท์จะอยู่ที่ส่วนก้านทำให้ส่วนที่ทำหน้าที่

เป็นตัวยึดหรือหดเพื่อการกินอาหารหรือหลบศัตรู

รูป 4-11 ไมโครทิวบูลแบบต่าง ๆ ในซิเลียของยูแคริโอทิกเซลล์ ภาพถ่ายจากกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน ก. ภาคตัดยาว ข. และ ค. ภาคตัดขวาง ให้สังเกต ดับเบลทล้อมรอบ ซิงเกลทในลักษณะ 9+2 ในรูป ข.



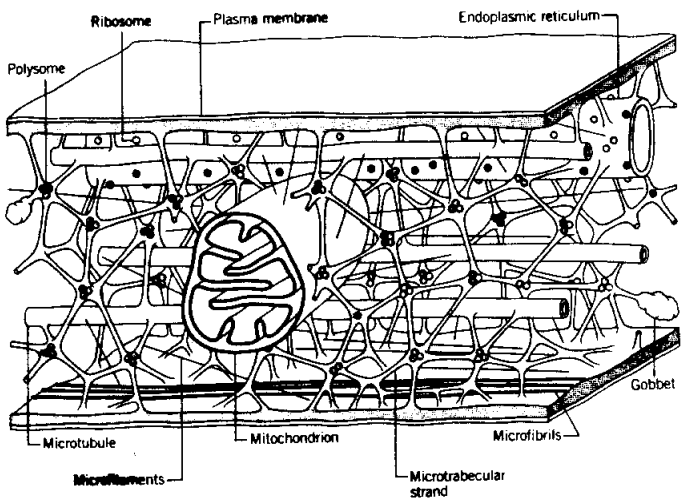
จาก Campbell, Neil A. 1990

ในเซลล์พืชสามารถพบไมโครฟิลาเมนท์ในบริเวณที่มีการไหลของไซโทพลาซึม (cytoplasmic streaming) คือบริเวณช่องระหว่างรอบแวคิวโอลและเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งเรียกอีกชื่อว่า **ไซโคลซิส (cyclosis)** จึงทำให้ไมโครฟิลาเมนท์ทำหน้าที่ดันการไหลของสารให้หมุนกระจายไปรอบเซลล์

(3) **อินเทอร์มิเดียทฟิลาเมนท์** เป็นเส้นใยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8-10 นาโนมิเตอร์ คืออยู่ระหว่างขนาดของไมโครฟิลาเมนท์และไมโครทิวบุล ซึ่งเป็นที่มาของการตั้งชื่อเส้นใยชนิดนี้ มีส่วนประกอบหลักเป็นพอลิเพบไทด์ที่เสถียรจึงค่อนข้างแข็งและเหนียว มีเอนไซม์สำหรับสร้างให้เป็นพอลิเมอร์หรือสลายออกได้เช่นเดียวกับไมโครทิวบุล จึงอาจพบถาวรได้เช่นบริเวณรอบนิวเคลียส ทำหน้าที่ค้ำจุนให้นิวเคลียสอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม อินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนท์อาจทำให้ยืดยาวไปตามส่วนของไซโทพลาซึมได้ เช่นใน แอกซอนของเซลล์ประสาท กล่าวโดยรวมมีหน้าที่หลักเพียงประการเดียวคือ ค้ำจุนโครงสร้างของเซลล์ โดยเฉพาะมีมากในเซลล์ที่ต้องรับแรงเค้นมาก

(4) **ไมโครเทรเบคิวลี (เอกพจน์ microtrabecula)** คือโครงสร้างที่เป็นส่วนประกอบของไซโทซอลซึ่งเดิมไม่สามารถเห็นได้ด้วยกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายปกติ ประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นเส้นใยโปรตีนโยงใยเป็นตาข่ายโปร่งหลายชั้นเรียก **ไมโครเทรเบคิวลาร์ แลททิส (microtrabecular lattice)** ส่วนที่เป็นของเหลวเรียก **อินเทอร์เทรเบคิวลาร์ สเปซ (intertrabecular space)** ซึ่งเป็นแหล่งสารละลายของสารที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเมแทบอลิซึม ปลายแขนงของไมโครเทรเบคิวลี ยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์และออร์แกเนลล์ จึงมีหน้าที่หลักค้ำจุนโครงสร้างของเซลล์ และยึดออร์แกเนลล์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม (รูป 4-12)

รูป 4-12 ภาพจำลองโครงสร้างของไมโครเทรเบคิวลี ให้สังเกตการมีเครือข่ายโยงใยยึดออร์แกเนล์และเยื่อหุ้มเซลล์ จาก Sheeler P, & Donald E. Bianci 1987



4.3 ความหลากหลายของเซลล์

ตามทฤษฎีวิวัฒนาการ เซลล์ใช้เวลานับล้านปี วิวัฒน์มาจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กคล้ายไวรัสที่มีส่วนประกอบหลักเป็นกรดนิวคลีอิกและโปรตีน ให้มีกลไกการทำงานซับซ้อนสมบูรณ์ขึ้นภายในเซลล์เดียว การที่เซลล์ต้องปรับตัวให้มีชีวิตรอดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง จึงทำให้มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้เหมาะสม ตัวอย่างที่เห็นชัดคือ โปรติสท์ พวก *Euglena* ที่มีลักษณะโครงสร้างคาบเกี่ยวระหว่างการดำรงชีพแบบสร้างอาหารด้วยตนเองแบบพืชกับการดำรงชีพแบบเคลื่อนที่ได้เพื่อหาอาหารซึ่งจะเป็นลักษณะของสัตว์ทั่วไป

4.3.1 **ความหลากหลายของเซลล์สัตว์** โปรติสท์ในกลุ่มพวกโปรโตซัวถือเป็นสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีพแบบสัตว์ คือสร้างอาหารเองไม่ได้ต้องหาอาหารกินจึงพัฒนาโครงสร้างเพื่อการเคลื่อนที่ เช่น มีซิเลีย หรือแฟลเจลลา เพื่อความสะดวกในการหาอาหาร แม้แต่ในกลุ่มพวกที่เกาะติดอยู่กับที่ก็ต้องปรับโครงสร้างให้ส่วนที่เป็นก้านยึดติดกับวัตถุนั้นให้สามารถยืดได้หรือหดได้ สัตว์หลายเซลล์แรกเริ่มเช่น พวกฟองน้ำ มีเซลล์ต่างกัน 2 แบบ เพื่อแบ่งหน้าที่การทำงานที่ไม่สลับซับซ้อน เมื่อสัตว์มีโครงสร้างพัฒนาเป็นเนื้อเยื่อจะมีกลุ่มเซลล์ลักษณะคล้ายคลึงกัน ทำงานผสานกันและมีกลุ่มเซลล์ต่างกันทำงานผสานกันเป็นอวัยวะเป็นระบบ และเป็นแต่ละตัวในที่สุด ความหลากหลายของเซลล์เหล่านี้เป็นที่มาของการศึกษาเรื่องวิวัฒนาการ การศึกษาเรื่องเนื้อเยื่อและการจัดหมวดหมู่ของสัตว์

4.3.2 **ความหลากหลายของเซลล์พืช** สาหร่ายเซลล์เดียว ถือเป็นโปรติสท์ที่เป็นต้นกำเนิดของสาหร่ายหลายเซลล์ และพืช ความหลากหลายของสาหร่ายเซลล์เดียวมีมากเช่นเดียวกับพวกโปรโตซัวจึงทำให้ต้องจัดหมวดหมู่ไว้หลายดิวิชัน เมื่อสาหร่ายพัฒนามาเป็นพืชมีเนื้อเยื่อช่วยกันทำงานลักษณะของเซลล์แต่ละเนื้อเยื่อก็ต่างกันเพื่อความเหมาะสมของแต่ละหน้าที่

กล่าวโดยสรุป ความหลากหลายของเซลล์สัตว์มีความสลับซับซ้อนทั้งโครงสร้างและการทำงานมากกว่าเซลล์พืช อาจเนื่องมาจากเซลล์สัตว์สร้างอาหารเองไม่ได้ จึงต้องพัฒนากลไกระบบการทำงานเพื่อการอยู่รอดมากกว่าเซลล์พืช รายละเอียดโครงสร้างของเซลล์แต่ละประเภทแต่ละชนิดจะกล่าวถึงในเรื่องของเนื้อเยื่อและอนุกรมวิธานของสัตว์และพืช