หน่วยที่

2

เซลล์: หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจมาศ จิตรสมบูรณ์

ตอนที่

2.1

เซลล์และสิ่งมีชีวิต

เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ยังคงดำรงคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์ ซึ่งประกอบและกำหนดรูปร่าง โครงสร้างและการทำหน้าที่ของเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ ในสิ่งมีชีวิต โครงสร้างหลักภายในของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตต่างชนิดมีความคล้ายคลึงกัน และองค์ประกอบระดับโมเลกุลของสิ่งมีชีวิตต่างชนิดมีความแตกต่างกัน การศึกษาเรื่องเซลล์เป็นหัวใจสำคัญนำไปสู่ความเข้าใจคุณสมบัติที่เหมือนกันและแตกต่างกันระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด

1. ความหมายและความสำคัญของการศึกษาเรื่องเซลล์

1.1 ความหมายของเซลล์

เซลล์ (Latin *cella* = ห้องเล็กๆ) คือ หน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิตที่ยังคงรักษาคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิต เซลล์เป็นโครงสร้างพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์ เซลล์เกิดจากการจัดระเบียบของสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ กลุ่มคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิปิด และกรดนิวคลิอิค อย่างเป็นระบบซับซ้อน ก่อให้เกิดคุณสมบัติต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต และเกิดวิวัฒนาการของเซลล์ที่เป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตทั้งด้านโครงสร้าง และหน้าที่การทำงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 ความสำคัญของการศึกษาเรื่องเซลล์

1.2.1 เซลล์เป็นโครงสร้างพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์ การศึกษาเรื่องเซลล์จึงเป็นหัวใจสำหรับการเรียนรู้เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต

1.2.2 เซลล์ช่วยกำหนดรูปร่าง โครงสร้างและกลไกการทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ เซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีรูปร่าง โครงสร้าง และกลไกการทำงานอันเป็นเอกลักษณ์ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด เช่น เซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์แต่ละชนิดมีองค์ประกอบระดับโมเลกุลที่แตกต่างกัน ทำให้โครงสร้างและการทำงานของเซลล์แตกต่างกัน เป็นผลให้เกิดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะแตกต่างกัน ในขณะเดียวกัน

โครงสร้างหลักภายในของเซลล์ต่างชนิดมีความคล้ายคลึงกัน การศึกษาเรื่องเซลล์ช่วยให้เข้าใจคุณสมบัติที่เหมือนกัน และแตกต่างกันระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด

1.2.3 การศึกษาเรื่องเซลล์ช่วยให้เข้าใจกลไกการทำงานของเนื้อเยื่อต่างๆ ภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ระบบโครงสร้างพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วย 2 ส่วนคือ เซลล์และเนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อเป็นกลุ่มเซลล์ที่ร่วมกันทำหน้าที่เฉพาะ มักประกอบด้วยเซลล์ที่มีขนาด รูปร่าง และการจัดระเบียบแบบเดียวกัน ร่างกายของคนประกอบด้วยเซลล์ประมาณ 10^{13} เซลล์ กลุ่มเซลล์เหล่านี้ร่วมกันทำหน้าที่เฉพาะ เกิดเป็นเนื้อเยื่อชนิดต่างๆ ภายในร่างกาย ความรู้เกี่ยวกับเรื่องเซลล์จำเป็นช่วยให้เข้าใจกลไกการทำงานของเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายของสิ่งมีชีวิต

1.2.4 ช่วยการศึกษาด้านพันธุศาสตร์ เซลล์เกิดใหม่เป็นผลจากการแบ่งตัวของเซลล์เดิม อันเป็นกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางกรรมพันธุ์หรือจีน (gene) จากเซลล์หนึ่งสู่อีกเซลล์หนึ่ง โครงสร้างและการทำงานของเซลล์เป็นผลสืบเนื่องจากการทำงานร่วมกันระหว่างจีนและสภาวะแวดล้อม การศึกษาเรื่องเซลล์จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญขององค์ความรู้ทางด้านพันธุศาสตร์

2. หน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิตคือ เซลล์

เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิตที่ยังคงรักษาคุณสมบัติของสิ่งมี เช่น การคงไว้ของโครงสร้างที่ซับซ้อน ปฏิกริยาชีวเคมีต่างๆ (metabolic acitivities) ความสามารถในการเจริญและสืบพันธุ์ เป็นต้น เซลล์จัดเป็นหน่วยพื้นฐานของชีวิต เพราะปฏิกริยาชีวเคมีอันซับซ้อนที่เกิดในสิ่งมีชีวิตขึ้นกับปฏิกริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ จัดเซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดเพราะเราสามารถนำเซลล์เพียงเซลล์เดียวจากสิ่งมีชีวิตมาเก็บและเพาะเลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสม เซลล์สามารถเจริญเติบโต แบ่งตัวเกิดเป็นเซลล์ใหม่เพิ่มขึ้นและยังคงรักษาคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิต แต่ส่วนประกอบอื่นที่เล็กกว่าระดับเซลล์จะสูญเสียคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นสิ่งที่เรียกว่าชีวิต จะไม่เกิดขึ้นในระดับการจัดระเบียบของสารที่เล็กกว่าระดับเซลล์

3. ประวัติการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์

3.1 เซลล์และจุดกำเนิดของสิ่งมีชีวิตบนโลก (origin of life)

จุดกำเนิดของเซลล์คือ จุดกำเนิดของสิ่งมีชีวิตบนโลก สิ่งมีชีวิตแรกบนโลกเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ในปี ค.ศ. 1936 โอพาลิน (Oparin) ได้ ตั้งสมมุติฐานว่า ในสภาพแวดล้อมตอนที่โลกเกิดใหม่และเย็นลงนั้น มีการสังเคราะห์สารอินทรีย์โมเลกุลง่ายๆ ขึ้นเอง และเชื่อมต่อกันเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น น้ำตาลเชื่อมต่อกันเป็นโพลีแซคคาร์ไรด์ (polysaccharide) กรดไขมัน (fatty acid) และกลีเซอร์รอล (glycerol) เป็นลิปิด (lipid) กรดอะมิโน (amino acid) เป็นโปรตีน (protein) สารประกอบพวกไนโตรเจน รวมตัวกับน้ำตาลและกลุ่มฟอสเฟต (phosphate) เกิดเป็นนิวคลิโอโปรตีน

(nucleoprotein) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ที่ได้วิวัฒนาการขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการมีชีวิต นั่นคือ สามารถจำลองตนเอง เปลี่ยนแปลงได้ และต้องการสารอาหารเข้าไปหล่อเลี้ยง ส่วนสารอินทรีย์อื่นๆ จะจัดระเบียบห่อหุ้มนิวคลิโอโปรตีนทั้งหมดเกิดเป็นเซลล์เริ่มแรก หรือจุดกำเนิดของสิ่งมีชีวิตบนโลก

3.2 ประวัติของการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์

ค.ศ. 1590 Zaccharias Janssen และHans Janssen ช่างทำแว่นตาชาวฮอลันดาพ่อลูกได้ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ชนิด compound microscope ที่ประกอบด้วยแว่นขยาย 2 อัน

ค.ศ. 1632-1723 ในปี ค.ศ. 1673 Antony van Leeuwenhoek นักวิทยาศาสตร์ฮอลันดาซึ่งได้รับเกียรติว่าเป็นผู้ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ ได้ดัดแปลงกล้องจุลทรรศน์แบบง่าย (simple microscope) เพื่อใช้ส่องดูเซลล์ชนิดต่างๆ เช่น โปรโตซัว (protozoa) เซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์สืบพันธุ์ตัวผู้ และเซลล์กล้ามเนื้อลาย เป็นต้น Leeuwenhoek ได้วาดรูปเซลล์และส่งรายงานไปยังราชสมาคมแห่งกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ

ค.ศ. 1635-1703 Robert Hooke นักพฤกษศาสตร์อังกฤษ เป็นคนแรกที่พบและตั้งชื่อเซลล์ เขาใช้ microscope ที่ดีกว่า Leeuwenhoek ส่องดูไม้คอร์ก (ส่วนนอกของเปลือกไม้โอ๊ค) ที่เฉือนเป็นแผ่นบางๆ เห็นเป็นห้องเล็กๆ จึงตั้งชื่อว่า เซลล์ (cellulae) ซึ่งหมายถึงห้องเล็กๆ เซลล์ที่เห็นเป็นเซลล์ที่ตายแล้วมีแต่ผนังเซลล์ที่แข็งเพราะมีเซลลูโลส แต่ไม่มีโปรโตปลาสซึม (protoplasm) ความหมายของเซลล์ครั้งแรกนี้จึงหมายถึงส่วนที่เป็นช่องๆ เท่านั้น

ค.ศ. 1776-1847 Rene J.H. Dutrochet นักพฤกศาสตร์ชาวฝรั่งเศส กล่าวไว้ในปี ค.ศ. 1824 ว่าเนื้อเยื่อทั้งหลายของพืชและสัตว์ประกอบด้วยเซลล์เล็กๆ

ค.ศ. 1773-1858 Robert Brown นักพฤกศาสตร์ชาวอังกฤษเป็นคนแรกที่พบและตั้งชื่อนิวเคลียส (nucleus) ในเซลล์ที่มีชีวิตของพืช ในปี ค.ศ. 1831

ค.ศ. 1804-1881 Matthias Jakob Schleiden นักพฤกศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1838 ระบุว่าเนื้อเยื่อของพืชทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์ เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานในพืช Schleiden เป็นผู้ริเริ่มการศึกษาวิชาด้านพืชวิทยาเกี่ยวกับเซลล์ (plant cytology)

ค.ศ. 1810-1882 Theodor Schwann นักสัตววิทยาชาวเยอรมันขยายข้อความเพิ่มเติมจาก Schleiden ในปี ค.ศ 1839 ว่านอกจากเนื้อเยื่อของพืชทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์ เนื้อเยื่อของสัตว์ทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์เช่น กัน ไข่ (eggs) ก็จัดเป็นเซลล์ และสิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีต้นกำเนิดจากหนึ่งเซลล์ Schleiden เป็นผู้ริเริ่มคำว่าทฤษฎีเซลล์ (cell theory)

ค.ศ. 1839 Schleiden และSchwann ได้รับเกียรติร่วมกันในการตั้งทฤษฎีเซลล์ (cell theory) ซึ่งระบุว่า สิ่งมีชีวิตทั้งมวลประกอบด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์

ค.ศ. 1821-1902 Rudolf Ludwig Karl Virchow นักพยาธิวิทยา (pathologist) ชาวเยอรมันศึกษาเซลล์เนื้อเยื่อมนุษย์ ระหว่างปี ค.ศ. 1855 –1858 ได้กล่าวว่า " *Omnis cellula e cellula*" ซึ่งหมายความว่า เซลล์ต้องมาจากเซลล์ที่มีอยู่เดิมเท่านั้น ไม่สามารถเกิดเองได้ แม้แต่เนื้อเยื่อที่เกิดโรค (diseased tissues) มาจากเซลล์ปกติที่เกิดความผิดพลาดในการแบ่งเซลล์ ในสมัยของ Schwann และ Schleiden ยังเข้าใจผิดว่าเซลล์ใหม่แยกตัวออกมาจากนิวเคลียสของเซลล์แม่ ไม่ได้เกิดจากการแบ่งเซลล์ ซึ่งจัดเป็น free cell fomation theory

ค.ศ. 1844-1912 Eduard Strasburger นักชีววิทยาชาวเยอรมัน ได้กล่าวว่านิวเคลียสเกิดมาจากนิวเคลียสที่มีชีวิตซึ่งมีมาแต่เดิมเท่านั้น

ค.ศ. 1843-1905 Walther Flemming นักชีววิทยาชาวออสเตรียพบโครโมโซม (chromosome) เป็นคนแรก และตั้งชื่อว่าโครมาติน (chromatin) ในปี ค.ศ. 1880

ค.ศ. 1834-1914 August weismann นักสัตววิทยาชาวเยอรมัน ตั้งทฤษฎีในปี ค.ศ. ประมาณ 1887 เรียกว่า theory of the continuity of germ plasm ซึ่งระบุว่าสามารถศึกษาเซลล์ที่มีชีวิตในปัจจุบันเพื่อย้อนกลับไปหาบรรพบุรุษแต่ดั้งเดิมของเซลล์ได้

4. ทฤษฎีเซลล์ (Cell Theory)

ในปี ค.ศ. 1839 นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมัน M. J. Schleiden และนักสัตววิทยาชาวเยอรมัน Theodor Schwann ได้รับเกียรติร่วมกันว่าเป็นผู้ตั้งทฤษฎีเซลล์ ซึ่งระบุว่าสิ่งมีชีวิตทั้งมวลประกอบด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์ ปลายปี ค.ศ. 1850 นักพยาธิวิทยาชาวเยอรมัน Rudolf Virchow ระบุว่าสัตว์ทุกชนิดประกอบด้วยหน่วยย่อยของชีวิต (vital units) และแต่ละหน่วยย่อยมีลักษณะที่สมบูรณ์ของสิ่งมีชีวิต เขาสรุปว่า เซลล์ทุกชนิดที่เกิดใหม่ต้องมาจากเซลล์ดั้งเดิมเท่านั้น ทฤษฎีเซลล์ที่สมบูรณ์ในปัจจุบัน (modern cell theory) มี 6 ประการดังนี้คือ

1. สิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์หนึ่งเซลล์หรือมากกว่าหนึ่งเซลล์
2. เซลล์มีความสามารถในการทวีจำนวนได้ เซลล์ใหม่เกิดจากเซลล์ที่มีอยู่เดิมเท่านั้นซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการแบ่งเซลล์ ยกเว้นบางกรณีที่เกิดจากการหลอมรวมกันระหว่างเซลล์สืบพันธุ์ของพ่อ (sperms) และแม่ (eggs)
3. เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งที่มีชีวิตทุกชนิด สิ่งมีชีวิตที่เล็กที่สุดคือ เซลล์หนึ่งเซลล์ และเซลล์เป็นหน่วยย่อยพื้นฐานทั้งด้านโครงสร้างและหน้าที่การทำงานในสิ่งมีชีวิตที่มีหลายเซลล์ (muticellular organisms)
4. เซลล์แต่ละชนิดมีเยื่อหุ้มเซลล์อยู่ภายนอก เพื่อแยกตัวจากสิ่งแวดล้อมภายนอกและเซลล์อื่น
5. เซลล์ทุกชนิดมีความคล้ายคลึงกันมากทางด้านชีวเคมี (biochemistry)
6. เซลล์ส่วนใหญ่มักมีขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ถึงแม้ทฤษฎีเซลล์ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่ามีความถูกต้อง แต่มีข้อยกเว้นในบางกรณี เช่น ไวรัสไม่ได้ประกอบด้วยเซลล์ แต่มีสารพันธุกรรมที่สามารถสืบพันธุ์ได้ถ้าอาศัยในร่างกายของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น (host) ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) และคลอโรพลาส (chloroplasts) เป็นเพียงส่วนประกอบของเซลล์ แต่มีสารพันธุกรรม และสามารถเพิ่มจำนวน (reproduce) ภายในเซลล์ได้

5. เครื่องมือและเทคนิคของการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์

เซลล์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมากยกเว้นเซลล์บางชนิดที่มีขนาดใหญ่ เช่น เซลล์ของไข่ไก่ เซลล์อะซิตาบูลาเลีย (*Acetabularia* sp.) ซึ่งเป็นเซลล์มาร์รีนโปรติส (marine protist) ที่เพียงเซลล์เดียวอาจยาวถึง 5 ซม. โดยปกติเซลล์ทั่วไปมีขนาดประมาณ 10-100 □m ซึ่งเล็กจนไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เพราะสายตาคนโดยปกติไม่สามารถเห็นวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 มม. ได้ ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ และส่วนประกอบของเซลล์จึงต้องอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า กล้องจุลทรรศน์ช่วยในการศึกษา

5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์

ประเภทของกล้องจุลทรรศน์ที่เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ มี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

5.1.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) ใช้แสงสว่าง (light) ส่องวัตถุที่ต้องการดูและระบบเลนส์แก้วเพื่อควบคุมแสง กำลังขยายประมาณ 1000-2000 เท่า ตัวอย่าง กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงคือ bright field microscope, dark field microscope, phase contrast microscope และfluorescence microscope เป็นต้น

5.1.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน (electron microscope) เป็นกล้องที่มีกำลังขยายสูงมาก เพราะใช้ลำแสงอิเล็คตรอนแทนที่จะใช้แสงสว่างและใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic field) แทนที่จะใช้ระบบเลนส์แก้วเหมือนกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนมีกำลังขยายประมาณ 25,000-400,000 เท่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักคือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนประเภทส่องกราด (scanning electron microscope) และแบบทรานซิชั่น (transmission electron microscope)

5.2 เทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์

เซลล์ที่ยังมีชีวิตส่วนใหญ่มักจะไม่มีสี โครงสร้างต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์มักจะมีการหักเหของแสงใกล้เคียงกัน ทำให้เซลล์โปร่งแสงและใส การส่องดูเซลล์เพื่อศึกษาส่วนประกอบภายในจึงค่อนข้างลำบาก แลดูไม่ชัดเจน ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ จึงนิยมใช้ เทคนิคดังต่อไปนี้คือ

5.2.1 การตรึงเซลล์ (fixation) คือ การทำให้เซลล์ตาย ทรงรูปและอยู่กับที่ ไม่เปลี่ยนแปลงต่อไป มักใช้สารจำพวก แอลกอฮอล์ (alcohol) ฟอร์มอลดีไฮด์ (formaldehyde) เมอร์คิวลิค คลอไรด์ (mercuric chloride) กรดน้ำส้ม (acetic acid) หรือสารประเภทอื่นที่สามารถฆ่าเซลล์ ทำให้โปรตีนภายในเซลล์ตกตะกอนเป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว มีผลให้เซลล์ตายและทรงรูปเดิมไว้ ไม่เน่าเปื่อยเปลี่ยนแปลงต่อไป วิธีเตรียมเซลล์เพื่อการศึกษามักเริ่มด้วยขั้นตอนการตรึงเซลล์ ก่อนที่จะมีวิธีการอื่นเพิ่มเติม

5.2.2 การย้อมสีเซลล์ (cell staining) เซลล์ที่ตรึงแล้ว เมื่อย้อมด้วยสีบางชนิด โครงสร้างบางอย่างจะติดสีไม่เหมือนกัน เช่น เมื่อย้อมเซลล์ด้วยฮีมาโตไซริน (hematoxylin) ซึ่งได้จากเปลือกต้นล็อควูด (logwood) นิวเคลียสจะติดสีน้ำเงินเข้ม ส่วนไซโตรปลาสซึมจะไม่ติดสี ทำให้เราเห็นนิวเคลียสชัดเจนกว่าส่วนอื่นของเซลล์ เนื่องจากนิวเคลียสมีกรดนิวคลิอิคสูง จึงมีฤทธิ์เป็นกรดมากกว่าส่วนที่เป็นไซโตรปลาสซึม และสีฮีมาโตซารินมีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน จึงสามารถจับกับกรดนิวคลิอิคได้ง่าย เกิดเป็นฮีมาโตไซลิน นิวคลิเอด (hematoxylin nucleate) ส่วนสีอีโอซิน (eosin) มีฤทธิ์เป็นกรด สามารถย้อมโปรตีนอื่นๆ ภายในไซโตรปลาสซึมได้ดีกว่านิวเคลียส ดังนั้น ถ้าเอาเซลล์มาย้อม 2 หนด้วยสีฮีโมไซลิน แล้วย้อมซ้ำอีกหนด้วยสีอีโอซิน จะทำให้เห็นนิวเคลียสติดสีน้ำเงินท่ามกลางไซโตรปลาสซึมที่เป็นสีชมพู เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

สรุป

เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ยังคงรักษาคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิต ทฤษฎีเซลล์ในปัจจุบันระบุว่า สิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบด้วยหนึ่งเซลล์หรือมากกว่าหนึ่งเซลล์ สิ่งมีชีวิตที่เล็กที่สุดคือ เซลล์หนึ่งเซลล์ และเซลล์เป็นหน่วยย่อยพื้นฐานที่กำหนดรูปร่าง โครงสร้าง หน้าที่ และกลไกการทำงานในสิ่งมีชีวิต และเซลล์ใหม่ต้องเกิดจากเซลล์ที่มีอยู่เดิมเท่านั้น เนื่องเซลล์ส่วนใหญ่มักมีขนาดเล็กมากประมาณ 10-100 μm ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงต้องใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือพื้นฐานในการศึกษารูปร่าง โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการศึกษาเซลล์มี 2 ประเภทหลักคือ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็คตรอน ตัวอย่างชนิดของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงได้แก่ bright field microscope, phase contrast microscope และfluorescence microscope เป็นต้น กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็คตรอนมีสองชนิดคือ กล้องอิเล็คตรอนแบบส่องกราด และกล้องอิเล็คตรอนแบบทรานซิชั่น เทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการเตรียมเซลล์เพื่อการศึกษาคือ การตรึงและการย้อมสีเซลล์

กิจกรรมต่อเนื่องตอนที่ 2.1

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มย่อย ติดตามข่าวการศึกษาและวิจัยด้านชีววิทยาจากข่าวทีวี หนังสือพิมพ์ วารสาร หรือสื่ออินเทอร์เน็ตต่างๆ ในปัจจุบัน โดยเลือกหัวข้อที่มีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับการศึกษาระดับเซลล์ทางด้านต่างๆ เช่น ด้านการรักษาโรค สรีรวิทยา พยาธิวิทยา สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น พร้อมกับส่งตัวแทนแต่ละกลุ่มเพื่ออภิปรายว่าการศึกษาในระดับเซลล์จำเป็นและมีประโยชน์ต่องานวิจัยเรื่องที่ค้นมาอย่างไร แต่ละกลุ่มจะต้องเสนองานวิจัยที่แตกต่างกันในแต่ละด้าน และการนำเสนอไม่ควรเกิน 5-10 นาทีต่อกลุ่ม
2. ให้นักศึกษาเข้าศึกษาปฏิสัมพันธ์ผ่านจอภาพ การบรรยายหน่วยที่ 2 เรื่องเซลล์: หน่วยพื้นฐานของชีวิต เพื่อทำแบบฝึกหัดระบุสิ่งที่กำหนดให้ว่าเป็นเซลล์เดียว หลายเซลล์ หรือจัดเป็นเซลล์ได้หรือไม่
3. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มเพื่ออภิปรายทฤษฎีเซลล์ที่เรียนในบทเรียนว่ายังมีความถูกต้องหรือไม่ โดยยกตัวอย่างและเหตุผลประกอบการอภิปราย
4. ให้นักศึกษาเข้าศึกษาปฏิสัมพันธ์ผ่านจอภาพ การบรรยายหน่วยที่ 2 เรื่องเซลล์: หน่วยพื้นฐานของชีวิต ในภาคผนวก เพื่อศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับหลักการทำงาน ข้อแตกต่าง และการใช้ประโยชน์ของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและแบบอิเล็คตรอน รวมทั้งหลักการทำงานและการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและแบบอิเล็คตรอนชนิดต่างๆ ที่ระบุในบทเรียน (เน้นเฉพาะหลักการที่สำคัญเท่านั้น ไม่ลงรายละเอียด)
5. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มค้นคว้าเพิ่มเติมและนำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์เพิ่มเติมจากที่ระบุในบทเรียนกลุ่มละหนึ่งข้อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่

2.2

ลักษณะทั่วไปและการจำแนกเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

เซลล์มีขนาด และรูปร่างแตกต่างกันมากมาย ขึ้นกับชนิดของสิ่งมีชีวิต และชนิดของเซลล์ที่ทำหน้าที่แตกต่างกันในส่วนต่างๆ ภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต เซลล์ของสิ่งมีชีวิตบนโลกจำแนกตามหลักไฟโลเจนเนติก (Phylogenetic) ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ โปรคาริโอติก เซลล์ (procaryotic cells) และยูคารีโอติกเซลล์ (eucaryotic cells) สามารถจำแนกสิ่งมีชีวิตที่เป็นโปรคาริโอติกเซลล์ได้เป็น 2 โดเมนตามหลักไฟเลติก (phyletic) คือ ยูแบคทีเรีย (eubacteria) และอาร์เคียแบคทีเรีย (archaebacteria) สิ่งมีชีวิตที่เหลือทั้งหมดซึ่งเป็นยูคาริโอติกเซลล์อยู่ในโดเมนยูคาร์ยา

1. ขนาดและรูปร่างของเซลล์

เซลล์มีขนาดและรูปร่างต่างกันมากมายขึ้นกับชนิดของเซลล์ และชนิดของสิ่งมีชีวิต ขนาดของเซลล์มีตั้งแต่เล็กมากจนถึงใหญ่มาก เซลล์ที่มีขนาดเล็ก ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ช่วยในการมองเห็น ได้แก่ เซลล์แบคทีเรียมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.2-1 μm อนุภาคไวรัสซึ่งไม่มีคุณสมบัติของเซลล์มีขนาดเล็กกว่าเซลล์ คือ ประมาณ 10-100 nm เซลล์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดได้แก่ไข่แดงของนกกระจอกเทศ ซึ่งมี เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7. 5 cm. ไข่นก ไข่ไก่ ที่นับว่าเป็นเซลล์ หมายถึงเฉพาะส่วนที่เป็นไข่แดงเท่านั้น ไข่ขาวและเปลือกเป็นส่วนที่เซลล์หรือต่อมในท่อนำไข่สร้างออกมาปกคลุมเซลล์ไว้ ส่วนของโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ที่มีชีวิตจะเป็นแผ่นเล็กๆ บางๆ อยู่ที่ผิวด้านหนึ่งของไข่แดงเท่านั้นเรียกว่า บลาสโตเดิม (blastoderm) ไข่แดงที่เหลือเป็นส่วนที่ไม่มีชีวิตของเซลล์ ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมอาหารอยู่ในแวคคิวโอล (vacuole) ของเซลล์ เซลล์สาหร่ายสีเขียวรูปร่างคล้ายเห็ด หรือแก้วแชมเปญ ในสกุล (genus) อะซีทาบูลาเรีย (*Acetabularia*) ทั้งต้นเป็นเซลล์เดียว ยาวถึง 5 cm. มีนิวเคลียส (nucleus) อยู่ที่โคน เซลล์ประสาทของสัตว์บางเซลล์อาจยาวมากกว่า 1 m. แต่กว้างไม่กี่ไมโครเมตร เซลล์พืชโดยเฉลี่ยใหญ่กว่าเซลล์สัตว์ เพราะมีแวคคิวโอลใหญ่และผนังเซลล์ (cell wall) หนา เซลล์ส่วนใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-40 μm เซลล์ในร่างกายคนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-20 μm ภาพที่ 2.1 แสดงขนาดของเซลล์เปรียบเทียบกับขนาดของสิ่งมีชีวิต อนุภาคไวรัส และองค์ประกอบย่อยภายในเซลล์

รูปร่างของเซลล์ไม่แน่นอนแล้วแต่ชนิดและหน้าที่ของเซลล์ ส่วนใหญ่เซลล์มีการปรับรูปร่างจนเหมาะสมกับการทำหน้าที่ เช่น เซลล์ของอะมีบาร์ (amoeba) ยูกลีนา (euglena) เปลี่ยนแปลงรูปร่างอยู่เสมอขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาวะแวดล้อมต่างๆ

สาเหตุที่เซลล์ส่วนใหญ่ที่มีขนาดเล็ก มีข้อได้เปรียบดังนี้คือ

1. การควบคุมการทำงานของเซลล์ที่มีขนาดเล็กโดยนิวเคลียสมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลที่นิวเคลียสส่งออกเพื่อควบคุมกลไกการทำงานต่างๆ ภายในเซลล์ มีระยะการเดินทางและใช้เวลาน้อยลง เมื่อเซลล์มีขนาดเล็ก

2. เซลล์ที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสูงกว่าเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ ในการแลกเปลี่ยนสารและแก๊ซต่างๆ กับสิ่งแวดล้อม สัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีผลอย่างมากต่อการทำงานของเซลล์ ถ้าขนาดเซลล์เพิ่มขึ้น ปริมาตรจะเพิ่มมากกว่าการเพิ่มของพื้นที่ผิว เช่น ถ้าเราเพิ่มสี่เหลี่ยมลูกบาศก์จากด้านละ 1 cm. เป็น 10 cm. พื้นที่ผิวเพิ่ม จาก 1 เป็น 10^2=100 เท่า แต่ปริมาตรเพิ่มจาก 1 เป็น 10^3= 1000 เท่า ดังนั้นถ้าเซลล์มีขนาดโตขึ้นสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจะลดลงอย่างมาก เซลล์ที่มีขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่าเซลล์ขนาดเล็ก ทำให้พื้นที่ผิวไม่พอต่อการแลกเปลี่ยนสารที่เป็นของเสีย (waste) กับสารอาหาร (nutrients) หรือการลำเลียงสารเข้าออกเซลล์จะไม่เพียงพอ เซลล์ที่มี metabolism สูงมักมีขนาดเล็กกว่าเซลล์ที่มี metabolism ต่ำ เซลล์ที่มีความสามารถในการดูดซึมสูง เช่น เซลล์เยื่อบุผิวลำไส้เล็กมีการม้วนตัวของเยื่อหุ้มเซลล์เกิดเป็นโครงสร้างเรียกว่า ไมโครวิลไล (microvilli) เพื่อเพิ่มสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรให้สูงขึ้น ช่วยให้การดูดซึมสูงขึ้น

2. การจำแนกเซลล์ของสิ่งมีชีวิตบนโลก

แม้สิ่งมีชีวิตในโลกจะมีความหลากหลายสูง และการจัดหมวดหมู่ของสิ่งมีชีวิตอาจจะใช้ระบบ **Phylogeny** ที่จัดโดยใช้หลักความสัมพันธุ์ด้านวิวัฒนาการ และการเปรียบเทียบการเรียงลำดับเบสของ 16S rRNA หรือใช้ระบบ **Phenetic taxonomy** ที่จัดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายกันเข้าหมวดหมู่เดียวกัน แต่สามารถจำแนกเซลล์ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1 โปรคาริโอติค เซลล์ (prokaryotic cells ; pro = before, karyon = nucleus)

เป็นเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริงเนื่องจากสารพันธุกรรมไม่มีเยื่อนิวเคลียสห่อหุ้ม (nuclear membrane) และไม่มีออแกนเนลล์ (organelles) หรืออวัยวะที่มีเยื่อหุ้ม ภายในเซลล์ สิ่งมีชีวิตที่ประกอบด้วย โปรคาริโอติค เซลล์ เรียก**โปรคาริโอตส์ (prokaryotes)** ซึ่งได้แก่สิ่งมีชีวิตในโดเมนอาร์เคีย และยูแบคทีเรีย ลักษณะที่สำคัญของโปรคาริโอตส์คือ เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (single cell or unicellular organism) ที่ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง และสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction)

2.1.1 โดเมนอาร์เคีย เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่ส่วนใหญ่สามารถสังเคราะห์อาหารขึ้นเองโดยเปลี่ยนสารอนินทรีย์ที่มีโมเลกุลง่ายๆ ให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เรียกว่าพวกออทโตโทรปส์ (**autotrophs** = self feeders, Gr, *auto* = self, *trophos* = feeder) และเป็นออทโตโทรปส์ แบบเคมโมซินทีซีส (**chemosynthesis**) ซึ่งหมายถึงพวกที่ใช้สารเคมีอนินทรีย์เป็นแหล่งของพลังงานในการสังเคราะห์อาหาร นอกจากนั้น พวกอาร์เคียอาจจะเป็นพวกที่ไม่สามารถสังเคราะห์อาหารเองได้จากสารอนินทรีย์ ต้องกินหรือดูดซึมอาหารจากสิ่งมีชีวิตอื่น เรียกว่าเฮทเทอร์โรโทปส์ (**heterotrophs** = different feeders, Gr, *heteros* = other or different, *trophos* = feeder) และเป็นเฮทเทอร์โรโทปส์แบบดูดซึมอาหารจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น พวกอาร์เคียส่วนใหญ่อาศัยในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ในน้ำพุร้อน น้ำเค็ม หรือในสภาวะที่ขาดออกซิเจน (anaerobic environment) อาร์เคียต่างจากแบคทีเรียที่ลำดับเบสของ rRNA และส่วนประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และผนังเซลล์ (cell wall) เชื่อว่าอาร์เคียเป็นเซลล์บรรพบุรุษ (ancestor) ของแบคทีเรียที่สามารถรอดชีวิตและอาศัยในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงคล้ายกับสภาวะของโลกในโบราณกาล ตัวอย่างของอาร์เคีย ได้แก่ มีทาโนแบคทีเรีย (*Methanobacterium*) เป็นต้น

2.1.2 โดเมนยูแบคทีเรีย มีเมตาบอลิซึมที่แตกต่างกันมากมาย เช่น เป็นเฮทเทอร์โร-โทรป ที่ดูดซึมอาหารจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น หรืออาจเป็นออโตโทรปแบบเคมโมซินทีซีส หรือแบบที่สามารถสังเคราะห์แสง พวกที่สามารถเคลื่อนไหวได้มีแฟคเจร่า (flagella) ตัวอย่างยูแบคทีเรีย ได้แก่ไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria)

2.2 ยูคาริโอติค เซลล์ (eukaryotic cell (eu= แท้, karyon = nucleus)

เป็นเซลล์ที่นิวเคลียสมีเยื่อห่อหุ้ม หรือมี nucleus อย่างแท้จริง ที่ประกอบด้วยโครโมโซม (chromosome) ภายในเซลล์มีออร์แกนเนลล์ และมักมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) ยูคาริโอติค เซลล์มีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนกว่าโปรคาริโอติค เซลล์ สิ่งมีชีวิตที่ประกอบด้วยยูคาริโอติคเซลล์ เรียกว่ายูคาริโอตส์ (**eukaryotes**) ซึ่งได้แก่สิ่งมีชีวิตในโดเมนยูคาร์ยา ซึ่งอาจเป็นสิ่งมีชีวิตเพียงเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ (multicellular organism) มีฟีโนไทป์ (phenotype) และอาหาร (nutrition) ที่มีความหลากหลาย ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในโดเมนยูคาร์ยาได้แก่ สิ่งมีชีวิตในโลกที่เหลือทั้งหมดยกเว้นพวกโปรคาริโอตส์ เช่น พวกโปรโตซัว เห็ด รา พืช และสัตว์ต่างๆ เป็นต้น

สรุป

เซลล์มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันมากมาย ขึ้นกับชนิดและหน้าที่ของเซลล์ เซลล์ของสิ่งมีชีวิตในโลกจำแนกได้เป็นสองประเภทคือ โปรคาริโอติค เซลล์ และยูคาริโอติค เซลล์ สิ่งมีชีวิตที่เป็นโปรคาริโอติคเซลล์ และยูคาริโอติค เซลล์ เรียกว่า โปรคาริโอคส์ และยูคาริโอคส์ ตามลำดับ โปรคาริโอคส์ได้แก่สิ่งมีชีวิตในโดเมนอาร์เคีย และยูแบคทีเรีย ยูคาริโอคส์ได้แก่สิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่เหลือในโดเมนยูคาร์ยา ลักษณะที่สำคัญของโปรคาริโอคส์คือ เป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็นเซลล์เดียว ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริงและไม่มีออร์แกนเนลล์ เซลล์ของพวกยูคาริโอคส์มีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าโปรคาริโอคส์ เป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียสที่แท้จริงซึ่งประกอบด้วยโครโมโซม และมีออร์แกเนลล์

กิจกรรมต่อเนื่องตอนที่ 2.2

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มย่อย ค้นคว้าเพิ่มเติม แบ่งกลุ่มย่อย และนำเสนอโดยใช้เวลาไม่เกิน 10-15 นาทีต่อกลุ่มในหัวข้อดังนี้
   1.1 ขนาดและรูปร่างของเซลล์ต่างชนิดในส่วนต่างๆ ในร่างกายของคนที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน
   1.2 อธิบายว่าเหตุใดเซลล์ที่มีขนาดใหญ่กว่าจึงมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าเซลล์ที่มีขนาดเล็ก
   1.3 อภิปรายว่าอนุภาคของไวรัสสามารถจัดเป็นเซลล์ได้หรือไม่
   1.4 ความแตกต่างระหว่างโดเมนอาร์เคียและยูแบคทีเรียพร้อมทั้งยกตัวอย่างจุลินทรีย์ในโดเมนทั้งสอง
   1.5 รายงานเพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดและจำแนกสิ่งมีชีวิตเป็นออโตโทปส์ และเฮทเทอร์โรโทป
2. ให้นักศึกษาเข้าศึกษาผ่านปฏิสัมพันธ์ทางจอภาพ การบรรยายหน่วยที่ 2 เรื่องเซลล์: หน่วยพื้นฐานของชีวิต เพื่อทำแบบฝึกหัดดังนี้
   2.1 ระบุว่าเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่กำหนดให้ว่าจัดเป็นโปรคาริโอติค หรือยูคาริโอติคเซลล์
   2.2 ระบุสิ่งมีชีวิตที่กำหนดให้ว่าจัดเป็นออโตโทปส์ หรือเฮทเทอร์โรโทปส์

ตอนที่

2.3

โครงสร้างและหน้าที่ขององค์ประกอบของเซลล์

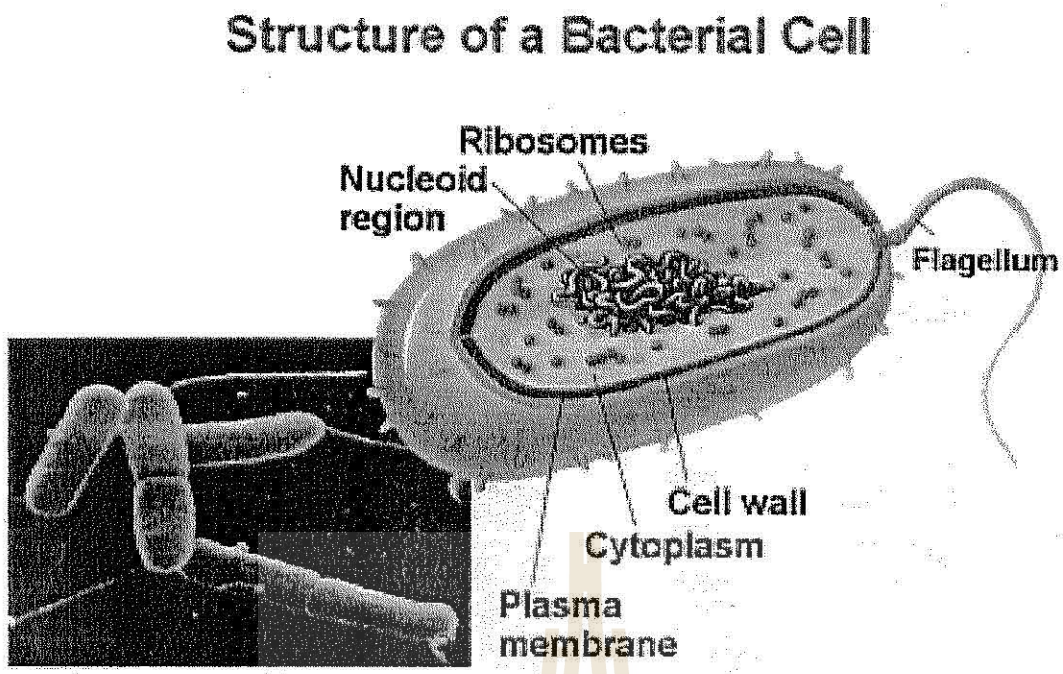
ถึงแม้เซลล์ต่างชนิดจะมีขนาดและรูปร่างต่างกัน แต่โครงสร้างภายในไม่แตกต่างกันมากนัก โครงสร้างหลักของเซลล์ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ภายในโปรโตพลาสซึมประกอบด้วยไซโตพลาสซึม (cytoplasm) และนิวเคลียส (nucleus) ไซโตพลาสซึมที่อยู่รอบนอกนิวเคลียส ทำหน้าที่เกี่ยวกับ เมตาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ สังเคราะห์และสะสมสิ่งต่างๆ ภายในเซลล์ ไซโตปลาสซึมประกอบด้วยอวัยวะของเซลล์ (cell organelles) และอินคลูชั่น (inclusion) นิวเคลียสเป็นส่วนที่มีสารพันธุกรรมและเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานต่างๆ ภายในเซลล์ ถึงแม้โครงสร้างของเซลล์อาจจะดูเรียบง่าย แต่ก็มีความซับซ้อนอีกมากที่นักวิทยาศาสตร์ยังต้องเรียนรู้และศึกษาค้นคว้าต่อไป

1. โครงสร้างและหน้าที่ขององค์ประกอบหลักในโปรคาริโอติค เซลล์

โครงสร้างของเซลล์โปรคาริโอตส์ มีความซับซ้อนน้อยกว่ายูคาริโอตส์ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 สำหรับเซลล์แบคทีเรีย มีโครงสร้างแบบง่ายๆ ดังนี้คือ

1. มีขนาดเล็ก หนาประมาณ 1-10 μm ยาวประมาณ 2-3 μm กว้าง ประมาณ 0.8 μm
2. มีเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) และผนังเซลล์ (cell wall) ห่อหุ้มไซโตปลาสซึมซึ่งประกอบด้วยบริเวณที่เรียกว่านิวคลีออยด์ (nucleoid region) ที่เป็นดีเอ็นเอ (DNA) ของเซลล์ และในไซโตปลาสซึมมีไรโบโซม (ribosome)
3. ไม่มีส่วนประกอบย่อยและออร์แกนเนล

สำนักวิชาเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของเซลล์แบคทีเรีย (Raven and Johnson, 1995 b)

โครงสร้างและหน้าที่ขององค์ประกอบหลักในแบคทีเรีย มีดังนี้คือ

1.1 เยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane)

เยื่อหุ้มเซลล์มีโครงสร้างและหน้าที่หลักเหมือนกันทั้งในโปรคาริโอติคและยูคาริโอติคเซลล์

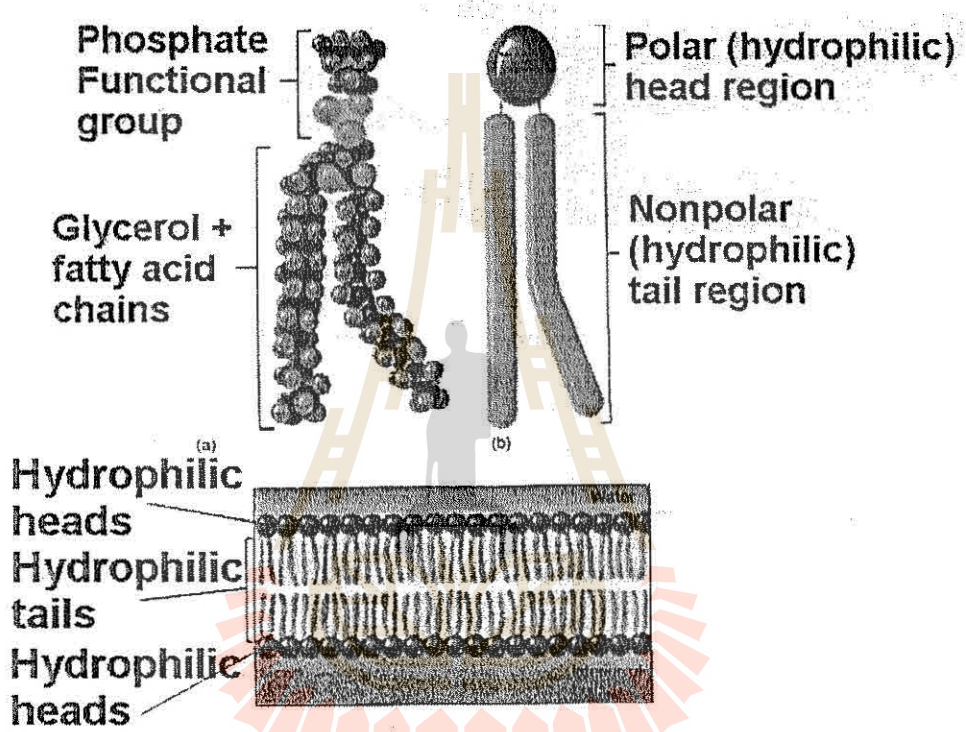
1.1.1 ลักษณะที่สำคัญ

1) เป็นผนังหรือเยื่อบางๆ 2 ชั้น หนาประมาณ 75 อังสตรอม (angstrom –A) ห่อหุ้มโปรโตปลาสซึมของเซลล์

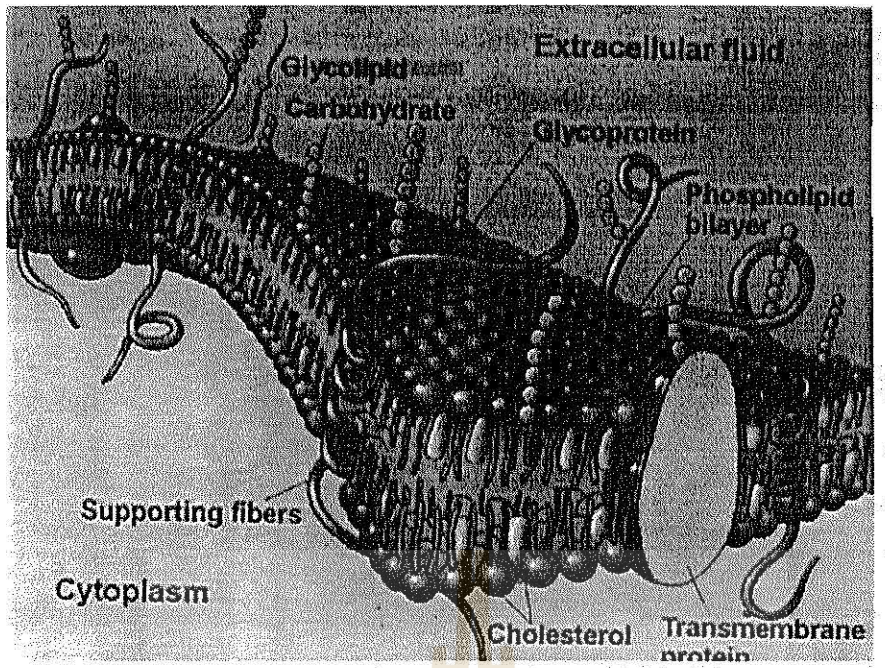
2) มีรูพรุนให้สารผ่านเข้าออกได้ และมีคุณสมบัติที่เรียกว่า **semipermeable membrane** ยอมให้สารต่างๆ ผ่านเข้าออกได้ ไม่เหมือนกัน เช่น น้ำ โมโนแซคคาร์ไรด์ กรดอะมิโน ออกซิเจน ยูเรีย และกลีเซอร์รอล (glycerol) เกลือแร่ เป็นต้น สามารถผ่านเข้าออกง่าย สารที่ละลายได้ในไขมัน หรือรวมตัวกับไขมันผ่านเข้าออกได้ง่ายเช่น กัน แต่โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ผ่านเข้าออกไม่ได้เลย

3) ประกอบด้วยฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เรียงตัวเป็น 2 ชั้น ในลักษณะหันด้านหัวโพลาร์ (polar head) ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งเป็นกลุ่มของแอลกอฮอล์และหมู่ฟอสเฟต (phosphate group) อยู่ด้านนอกสัมผัสกับน้ำ และหันส่วนหางที่เป็น hydrocarbon chain หรือ nonpolar tail ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ชนกันด้านใน เพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับน้ำ (ภาพที่ 2.2) โปรตีนชนิดต่างๆ ฝังหรือเกาะกับไขมันสองชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์ โดย ฝังส่วนที่เป็น

นอนโพลาร์ของโปรตีนที่ส่วนหางของโมเลกุลไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ ฟอสโฟลิปิดบางโมเลกุลมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ทำให้เกิดการหักงอของหาง ช่วยเพิ่มสภาพความเป็นของไหล (fluidity) ให้กับเยื่อหุ้มเซลล์ บางครั้งที่เยื่อหุ้มเซลล์มีไขันชนิดอื่นๆ เช่น คลอเรสเตอรอล (cholesterol) แทรกอยู่ด้วย โดยเฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์สัตว์ในยูคาริโอดส์ แต่เยื่อหุ้มเซลล์ของโปรคาริโอดส์ ไม่มีคลอเรสเตอรอลเป็นองค์ประกอบ (ภาพที่ 2.3) ทำให้ส่วนหางของฟอสโฟลิปิด ไม่ติดกันเกินไป ช่วยเพิ่มสภาพความเป็นของไหลให้กับเยื่อหุ้มเซลล์เช่น กัน



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของโมเลกุลฟอสโฟลิปิด (a, b) และการจัดเรียงตัว 2 ชั้นของ ฟอสโฟลิปิดในน้ำ (c) โดยหันส่วนหัวที่เป็นโพลาร์ หรือhydrophilic head อยู่ด้านนอกสัมผัสกับน้ำ ส่วนหางที่เป็น hydrophobic tails ชนกันอยู่ด้านใน (Raven and Johnson, 1995 a)



ภาพที่ 2.3 **เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดเรียงตัวเป็นเยื่อไขมัน 2 ชั้น แสดงโปรตีน, supporting fibers, ไกลโคโปรตีน คลอเรสเตอรอล ที่แทรกอยู่หรือเกาะที่ผิวของเยื่อหุ้มไขมัน (Raven and Johnson, 1995 a)**

โครงสร้างที่เป็นเส้นแตกแขนงในภาพที่ 2.3 คือ คาร์โบไฮเดรต ที่เป็นส่วนของไกลโคโปรตีน (glycoprotein) หรือไกลโคลิปิด (glycolipid) ซึ่งมีเฉพาะผิวด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์

4) เยื่อหุ้มเซลล์อยู่ในสภาพของไหล (fluidity) ไม่อยู่กับที่ สามารถลื่นไหลไปมา มีความยืดหยุ่นและยืดหดได้ ดังที่ S.J. Singer และJ. Leonard (1966) ได้เสนอโมเดลของโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ **(the fluid mosaic model)** ซึ่งระบุว่า เยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยโมเลกุลของไขมันเรียง 2 ชั้น ไม่อยู่กับที่ สามารถไหลเคลื่อนไปมาได้ โมเลกุลของโปรตีนอาจอยู่ด้านข้าง หรือแทรกซ้อนระหว่างโมเลกุลของไขมัน นอกจากนั้น โมเลกุลของไขมันและโปรตีนสามารถมีอันตรกิริยา (interaction) ร่วมกันได้

1.1.2 หน้าที่

1) ห่อหุ้มป้องกันโปรโตพลาสซึม

2) ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ โดยเฉพาะอาหารและน้ำ

3) เยื่อหุ้มไมโตคอนเดรีย (mitochondria) ในยูคาริโอตส์ สามารถผลิตพลังงาน

4) สามารถสังเคราะห์สารบางอย่าง เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย หรือพวกโปรคาริโอตส์ มักมีการม้วนยื่นเข้าไปภายในเซลล์ เกิดโครงสร้างเรียกว่า มีโซโซม (**mesosomes**; Gr. *Mesos* = middle, *soma* = body) ซึ่งทำหน้าที่แยก DNA ที่จำลองตนเองแล้ว ออกไปที่ขั้วทั้งสองของเซลล์

เป็นที่เกิดปฏิกริยาที่ให้พลังงานสำหรับเซลล์ นอกจากนั้นในแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์แสงและไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) เอนไซม์ และรงควัตถุ (pigments) ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ที่พับตัวไปมาและยื่นเข้ามาภายในเซลล์ เรียกว่า ไทลาคอยด์ (thylakoids)

5) มีหน้าที่เกี่ยวกับการเพิ่มและแบ่งตัวของส่วนประกอบของนิวเคลียส ??

1.2 ผนังเซลล์ (cell wall)

แบคทีเรียมีผนังเซลล์ที่แข็งและหนาประมาณ 100 A ห่อหุ้มเยื่อหุ้มเซลล์ และแบคทีเรียบางชนิดมีสารลักษณะคล้ายวุ้นเป็นชั้นเมือก (capsule) ห่อหุ้มผนังเซลล์อีกชั้นหนึ่ง

1.2.1 ลักษณะที่สำคัญ

1) ผนังเซลล์เป็นผนังแข็ง ไม่มีชีวิตซึ่งโปรโตปลาสซึมสร้างขึ้นมาห่อหุ้มเยื่อหุ้มเซลล์

2) ประกอบด้วยสารประกอบเพพทิโดไกลแคน (peptidoglycan) หรือมิวรีน (murein) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮดรตที่มีกรดอะมิโนเป็นส่วนประกอบ ผนังเซลล์ของโปรคาริโอดส์ต่างจากผนังเซลล์ของพืชในยูคาริโอดส์ ซึ่งส่วนประกอบเป็นเซลลูโลส (cellulose)

1.2.2 หน้าที่

ผนังเซลล์ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้แก่โปรโตปลาสซึม

1.3 บริเวณนิวคลีออยด์ (Nucleoid region; L. *nucleus* =kernel, Gk-eides = like)

1.3.1 ลักษณะที่สำคัญ

มีโครงสร้างเป็นเส้นหนา 3-5 nm ขดอยู่บริเวณกึ่งกลางของเซลล์ มีโครงสร้างคล้ายนิวเคลียส แต่มีขอบเขตไม่ชัดเจน เพราะไม่มีเยื่อหุ้มส่วนที่เป็นนิวคลิออยด์ เป็น ดีเอ็นเอของเซลล์ ที่มีรูปร่างเป็นวงกลม (circular DNA) และไม่มีโปรตีนที่เป็นฮิสโตน (histone) อยู่ร่วมด้วยเหมือนในยูคาริโอดส์ เมื่อยืดส่วนที่เป็นนิวคลิออยด์ออกจะมีความยาวประมาณ 1 mm.

1.3.2 หน้าที่

เป็นสารพันธุกรรม หรือโครโมโซมของโปรคาริโอดส์ ทำหน้าที่คล้ายกับนิวเคลียสในยูคาริโอดส์แบคทีเรีย บางชนิดมีพลาสมิด (plasmid) มีลักษณะเป็นวงแหวนของดีเอ็นเอขนาดเล็กที่อาจอยู่เป็นอิสระหรือสามารถแทรก หรือแยกออกจากโครโมโซม ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้ถูกประยุกตร์ใช้ทางวิศวกรรมพันธุศาสตร์ (genetic engineering)

1.4 ไรโบโซม (ribosome)

1.4.1 ลักษณะสำคัญ

1) เป็นโครงสร้างที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในเซลล์ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 A และมีจำนวนประมาณ 20,000-30,000 ในหนึ่งเซลล์

2) ประกอบด้วยโปรตีนกว่า 50 ชนิดอยู่ร่วมกับ RNA (ribonucleic acid)

3) ไรโบโซมกระจายอยู่ทั่วไปในไซโตปลาสซึมของโปรคาริโอตส์ ไม่ได้เกาะติดกับเยื่อด้านใน (internal membrane) เหมือนในยูคาริโอตส์

1.4.2 หน้าที่ สังเคราะห์โปรตีน

1.5 แฟลเจร่า (flagella)

แบคทีเรียหลายชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้โครงสร้าง flagella ที่ยื่นออกจากเซลล์ เคลื่อนที่โดยการหมุนควงคล้ายสว่าน

1.5.1 ลักษณะสำคัญ

1) เป็นโครงสร้างยาวคล้ายแส้ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.01-0.02 µm ยาว 10-11 µm

2) ประกอบด้วยโมเลกุลของโปรตีนแฟลจาลิน (flagellin) พันกันคล้ายเชือก ไม่มีไมโครทิบบลู(microtubule) เหมือนแฟลเจร่า ในยูคาริโอตส์

1.5.2 หน้าที่ ช่วยในการเคลื่อนที่

1.6 พิลไล (pili)

1.6.1 ลักษณะสำคัญ รูปร่างเป็นแท่งยื่นออกจากเซลล์

1.6.2 หน้าที่ ไม่ได้ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ แต่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเกาะกันระหว่างเซลล์ของ แบคทีเรีย และการถ่ายทอดสารพันธุกรรมจาก แบคทีเรีย หนึ่งไปสู่ แบคทีเรีย อื่น

2. โครงสร้างและหน้าที่ขององค์ประกอบหลักในยูคาริโอติค เซลล์

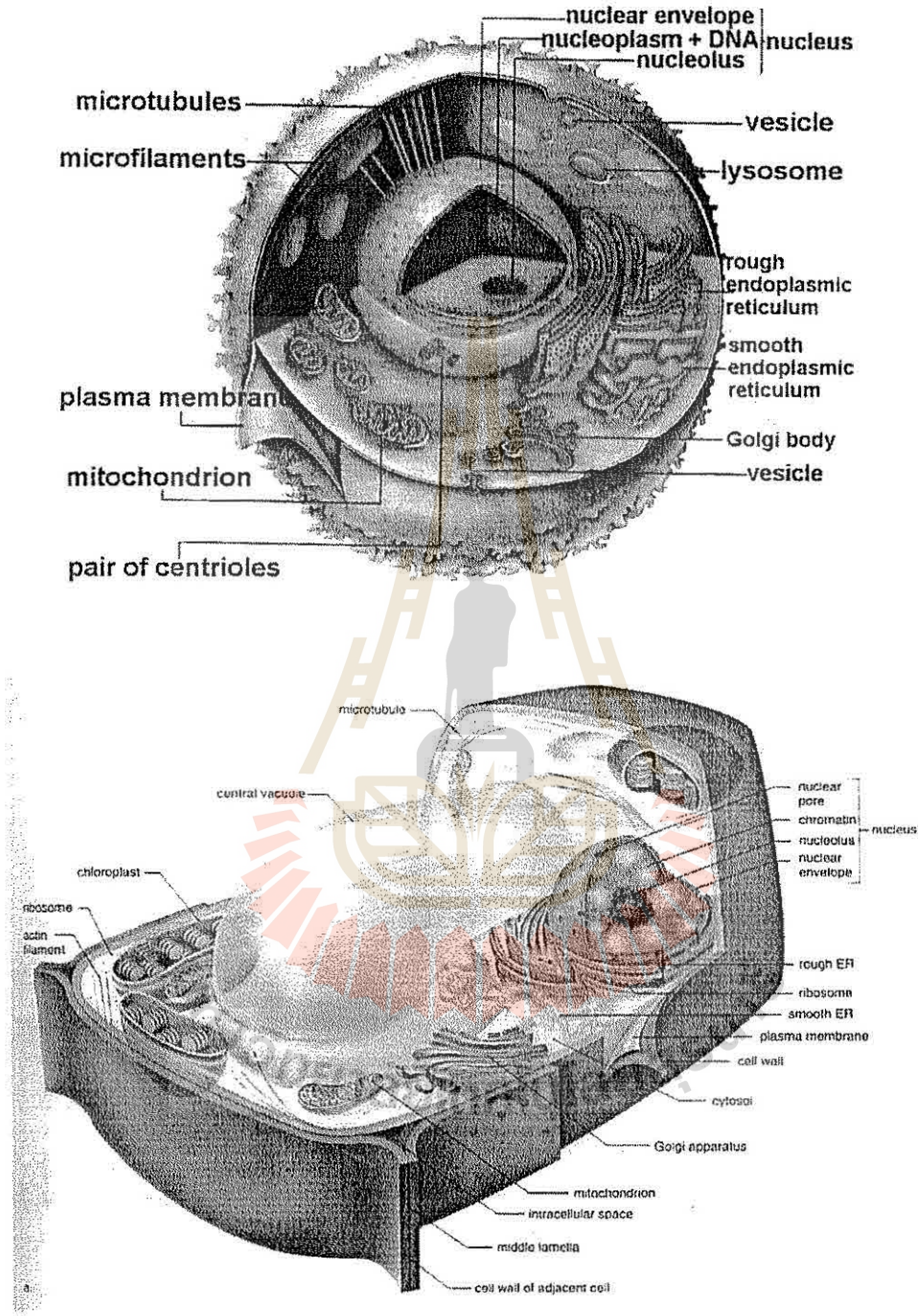
โครงสร้างของยูคาริโอติคเซลล์มีความซับซ้อนมากกว่ายูคาริโอติค เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ยูคาริโอติค เซลล์ มีโครงสร้างหลักทั่วไปคือ

1. เซลล์ของยูคาริโอตส์มีโครงสร้าง 3 ส่วนหลักคือ เยื่อหุ้มเซลล์ นิวเคลียสที่แท้จริง และไซโตปลาสซึม

2. ยูคาริโอติค เซลล์ทุกชนิดมีไซโตสเกลเลตัน (cytoskeleton) ทำหน้าที่รักษารูปทรงของเซลล์และประสานงานต่างๆ ภายในเซลล์

3. มีออแกนเนลที่มีเยื่อหุ้ม ทำหน้าเป็นอวัยวะภายในเซลล์ แยกส่วนที่เกิดปฏิกริยาเคมีต่างๆ ภายในเซลล์ออกจากกัน และเอื้ออำนวยให้ปฏิกริยาเคมีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันเกิดขึ้นตามขั้นตอนภาย

ในเซลล์ เช่น เมื่อโมเลกุลของแป้งถูกเปลี่ยนแปลงโดยขบวนการของปฏิกริยาเคมีหนึ่งจะถูกเก็บในออแกนเนลหนึ่ง หลังจากนั้นจึงถูกปล่อยออกมาใช้งานด้วยขบวนการเคมีอีกชนิดหนึ่ง เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์สัตว์ (a) (Starr, 1994) และเซลล์พืชในยูคาริโอติคเซลล์ (b) (Raven and Johnson, 1995 a)

โครงสร้างและหน้าที่ขององค์ประกอบหลักในยูคาริโอติคเซลล์ มีรายละเอียดดังนี้คือ

2.1 เยื่อหุ้มเซลล์

2.1.1ลักษณะสำคัญ มีโครงสร้างและส่วนประกอบเหมือนกับเยื่อหุ้มเซลล์ในโปรคาริโอตส์

2.1.2 หน้าที่

1) แบ่งส่วน (compartmentation) ต่างๆ ของเซลล์ออกจากกัน เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่แยกแต่ละเซลล์ออกจากกัน เยื่อหุ้มนิวเคลียส และเยื่อหุ้มออร์แกนเนลล์ ทำหน้าที่แยกนิวเคลียส และออร์แกนเนลล์ต่างๆ ออกจากกัน ทำให้แต่ละส่วนภายในเซลล์สามารถทำงานได้โดยไม่ถูกรบกวนจากส่วนอื่นๆ

2) ห่อหุ้มและควบคุมการผ่านเข้าออกของสารเช่น เดียวกับในโปรคาริโอตส์

3) เป็นที่สำหรับเกิดขบวนการชีวเคมี เป็นตำแหน่งให้เอนไซม์หรือสารต่างๆ จัดเรียงตัวกันในตำแหน่งที่เหมาะสม ช่วยให้เกิดปฏิกริยาเคมีต่างๆ ได้อย่างมีระเบียบ ไม่รบกวนขบวนการอื่นภายในเซลล์ เช่น การเรียงตัวของโปรตีนที่ใช้ในขบวนการถ่ายทอดอิเล็คตรอนในเยื่อหุ้มเซลล์ของไมโตคอนเดรีย (mitochondria) และเยื่อคลอโรพลาส (chloroplast) ที่ก่อให้เกิดการการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมี และพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมี และก่อให้เกิดการสังเคราะห์ ATP ซึ่งเป็นพลังงานหลักภายในเซลล์ แต่เยื่อหุ้มเซลล์ในยูคาริโอตส์ไม่ได้ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเกิดปฏิกริยาที่ให้พลังงานหรือการสังเคราะห์แสงโดยตรงเหมือนในโปรคาริโอตส์

2.2 ผนังเซลล์ (cell wall)

2.2.1 ลักษณะสำคัญ

1) ผนังเซลล์มีเฉพาะในเซลล์พืชเท่านั้น ไม่มีในเซลล์สัตว์

2) ส่วนประกอบของผนังเซลล์ในเซลล์พืชต่างจากในแบคทีเรีย ในเซลล์พืชประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) โมเลกุลของเซลลูโลสเรียงขนานกันและรวมกันอยู่เป็นมัด เรียกว่า ไมโครไฟบิล (microfibril) โดยมีสารพวกเพ็คตริน (pectin) เป็นตัวเชื่อม

3) ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary wall) และทุติยภูมิ (secondary) ของพืชประกอบด้วยสารอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ลิกนิน (lignin) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้เซลล์ คิวติน (cutin) เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ เป็นต้น สำหรับผนังเซลล์ตติยภูมิ (tertiary wall) ซึ่งพบน้อยมาก จะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตพวกไซแลน (xylan) แทนที่จะเป็นเซลลูโลส

4) ส่วนประกอบของผนังเซลล์ของราและยีสต์ (yeast) เป็นไคติน (chitin)

2.2.2 หน้าที่

1) ห่อหุ้ม ให้ความแข็งแรงและปกป้องอันตรายให้แก่เซลล์

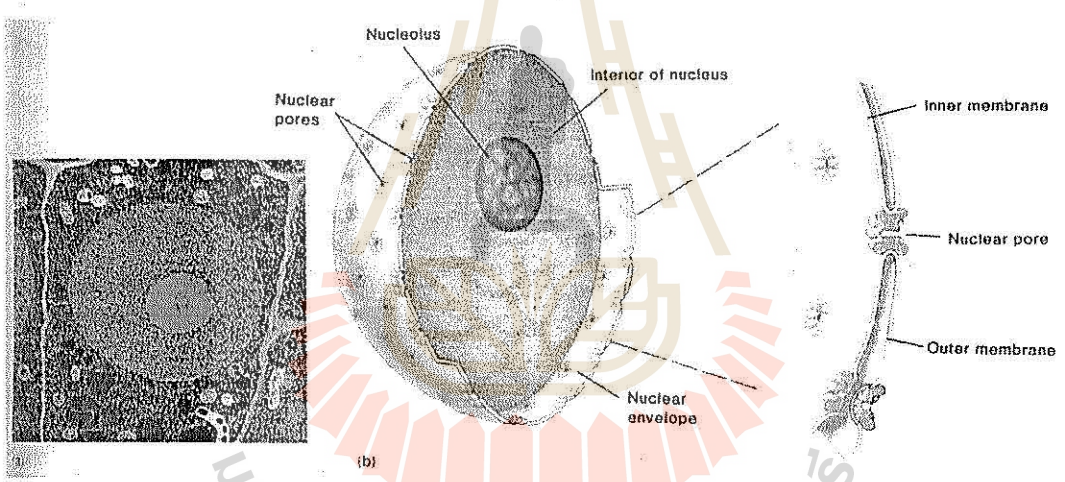
2) ป้องกันเซลล์ไม่ให้รับน้ำมากเกินไป

3) ช่วยรักษารูปร่างของเซลล์ ทำให้เซลล์คงรูปอยู่ได้

2.3 นิวเคลียส (nucleus) (Greek = nut, Latin เพี้ยนจาก nux = เมล็ด แก่นผลไม้)

ยูคาริโอติคเซลล์มีนิวเคลียสที่แท้จริง ซึ่งหมายถึง นิวเคลียสมีเยื่อหุ้ม (nuclear membrane) เพื่อแยกส่วนประกอบต่างๆ ภายในนิวเคลียส จากไซโตปลาสซึม ซึ่งแตกต่างจากโปรคาริโอติคเซลล์ที่สารพันธุกรรม หรือนิวคลีออยด์ไม่มีเยื่อห่อหุ้ม ยูคาริโอติคเซลล์แทบทุกชนิดมีนิวเคลียส ยกเว้นพวก sieve tube member ที่พัฒนาเต็มที่ของพืชดอก และเซลล์เม็ดเลือดแดงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (mammals) ทุกชนิดที่สูญเสียนิวเคลียสเมื่อเซลล์พัฒนาเต็มวัย

2.3.1 ลักษณะสำคัญ นิวเคลียสมีรูปร่างกลมหรือรูปไข่ ภายในหนึ่งเซลล์มักมีหนึ่งนิวเคลียสที่มีขนาดใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 μm และมักอยู่ส่วนกลางเซลล์ แต่บางเซลล์อาจมีมากกว่าหนึ่งนิวเคลียส เช่น เซลล์กล้ามเนื้อลายตามแขนขาและร่างกายมีนิวเคลียสขนาดเล็กหลายนิวเคลียสภายในหนึ่งเซลล์ โครงสร้างของนิวเคลียส แบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane หรือnuclear envelope) นิวคลีโอลัส (nucleolus) และโครมาติน(chromatin; Gk, *chroma* = color, *teino* = stretch) ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 **แสดงโครงสร้างของนิวเคลียส (Raven and Johnson, 1995 a)**

สาระสำคัญเกี่ยวกับโครงสร้างของนิวเคลียส มีดังนี้คือ

1) เยื่อหุ้มนิวเคลียส เป็นเยื่อหุ้ม 2 ชั้น มีคุณสมบัติยอมให้สารบางชนิดผ่านเข้าออกเท่านั้น **(semipermeable membrane)** ช่องว่างระหว่างเยื่อทั้งสองเป็นส่วนของเพอรินิวเคลียร์ (perinuclear compartment) บริเวณผิวเยื่อนิวเคลียสมีรูเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป เรียกว่านิวเคลียร์พอร์ (nuclear pore) เส้นผ่าศูนย์กลางของนิวเคลียร์พอร์ยาวประมาณ 70 nm และอยู่ห่างกันประมาณ 50-80 nm นิวเคลียร์พอร์ เกิดในบริเวณที่เยื่อหุ้มนิวเคลียสทั้งสองชั้นเชื่อมติดกัน มีลักษณะเป็นรูป 8 เหลี่ยมแบบมีขอบ (annulus) ทั้งสองด้านของเยื่อ นิวเคลียร์พอร์ไม่ใช่รูกลวงแต่มีโปรตีนฝังตัวอยู่และทำหน้าที่เป็นทาง (channel) ติดต่อระหว่างนิวเคลียสและไซโตปลาสซึม มีโมเลกุล 2 ประเภทที่

สามารถผ่านเข้าออกรูนี้ สารประเภทแรกคือ โปรตีนที่เข้าสู่นิวเคลียสเพื่อรวม (incorporated) กับโครงสร้างของนิวเคลียส หรือโปรตีนที่ใช้เร่งปฏิกริยาที่เกิดภายในนิวเคลียส สารประเภทที่สองคือองค์ประกอบย่อย (subunit) ของไรโบโซม (ribosome) ซึ่งถูกสร้างภายในนิวเคลียสก่อนถูกลำเลียงสู่ไซโตปลาสซึม บางส่วนของเยื่อหุ้มนิวเคลียสมีการติดต่อกับรัฟเอ็นโดพลาสมิค เล็ดทิคิวลัม (rough endoplasmic reticulum ;RER)

เยื่อหุ้มนิวเคลียสมีหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารระหว่าง ไซโตปลาสซึม และนิวคลิโอ-ปลาสซึม (nucleoplasm) หรือนิวคลิโอโซม (nucleosome) ซึ่งหมายถึงส่วนของโปรโตพลาสซึมที่อยู่ภายในนิวเคลียส นอกจากสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถผ่านเยื่อหุ้มนิวเคลียส สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ก็สามารถผ่านได้เช่น กัน เช่น กรดนิวคิอิค (nucleic acid) น้ำตาล และโพลิเพพไทด์ (polypeptide)

2) นิวคลิโอลัส (พหูพจน์คือ นิวคลิโอไล = nucleoli) เป็นกลุ่มของอาร์เอ็นเอ (RNA) และโปรตีนที่อยู่ในนิวเคลียส มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอาร์เอ็นเอ นอกนั้นเป็นโปรตีน นิวคลิโอลัสมีรูปร่างเป็นทรงกลม ไม่มีเยื่อหุ้ม สามารถย้อมติดสี แต่ไม่ติดสีเดียวกับโครโมโซม (chromosome) นิวคลิโอลัส ถูกสร้างโดยโครโมโซม และมีองค์ประกอบ 4 แบบ คือ เป็นเส้นใย (fibril) เม็ดเล็กๆ (granule) metrix และมีส่วนที่จับ (associate) กับโครมาติน (chromatin) หรือบริเวณเฉพาะของโครโมโซม เรียก nucleolus organizer ส่วนที่เป็นเส้นใยและเม็ดเล็กๆ ประกอบด้วยไรโบนิวคลิโอโปรตีน (ribonucleoprotein) หรือไรโบโซม (ribosome) ส่วนที่เป็น metrix เป็นโปรตีน ส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครมาตินเป็นส่วนของโครโมโซม ที่มีหน่วยพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์ rRNA ของนิวคลิโอลัส

หน้าที่ของนิวคลิโอลัสคือ สังเคราะห์ ไรโบโซม และโปรตีน ที่เกี่ยวข้องกับ ไรโบโซม หน่วยย่อยของ ribosome (ribosome subunit) ที่สร้างเสร็จผ่าน nuclear pore รวมกับโปรตีนของไรโบโซมที่สร้างขึ้นในไซโตปลาสซึม เกิดเป็นไรโบโซมที่สมบูรณ์

3) โครโมโซม คือ โมเลกุลของดีเอ็นเอ ที่จับกับโปรตีน โครโมโซม มีจำนวนจำกัดตามชนิดของสิ่งมีชีวิตและมีจำนวนเท่ากันในสิ่งที่มีชีวิต species เดียวกัน เช่น ข้าว มีจำนวน chromosome 24, domestic mouse 40, human 46 โครงสร้างของโครโมโซม มีลักษณะสั้นหรือใหญ่หรือเล็กแล้วแต่ชนิดของพืชหรือสัตว์ และขึ้นกับวงจรการเติบโตและการแบ่งตัวของเซลล์ ส่วนประกอบของโครโมโซมเป็นนิวคลิโอโปรตีน (nucleoprotein) คือ กรดนิวคลิอิค ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดีเอ็นเอ (DNA) และโปรตีน มีไขมัน แคลเซียม แม็คนีเซียม และเหล็กรวมอยู่ด้วยแต่น้อยมาก ส่วนประกอบของโปรตีนใน chromoโครโมโซม มี 2 ชนิดคือ ฮิสโตน (histone) และที่ไม่ใช่ ฮิสโตน โปรตีนทั้งสองทำหน้าที่รักษารูปร่างของเส้นใยและควบคุมปฏิกริยาของดีเอ็นเอระหว่างเส้นใย โครโมโซม ส่วนที่มีฮิสโตนกาะอยู่จะทำให้จีนบริเวณนั้นไม่ทำงาน ส่วนที่ไม่มีฮิสโตน จีนจะทำงานได้ดี แคลเซียม

เป็นตัวเชื่อมฮิสโตนกับกรดนิวคลิอิคเข้าด้วยกัน นิวคลิโอโซม หมายถึงสายดีเอ็นเอพันอยู่รอบโปรตีนฮิสโตนนั่นเอง

หน้าที่ของโครโมโซมเป็นที่ตั้งของจีนควบคุมลักษณะและการถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ เช่น สีตา ผม

*2.2.3 หน้าที่*ของนิวเคลียส

1) นิวเคลียสเป็นศูนย์กลางควบคุมขบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ ดังนี้ คือ

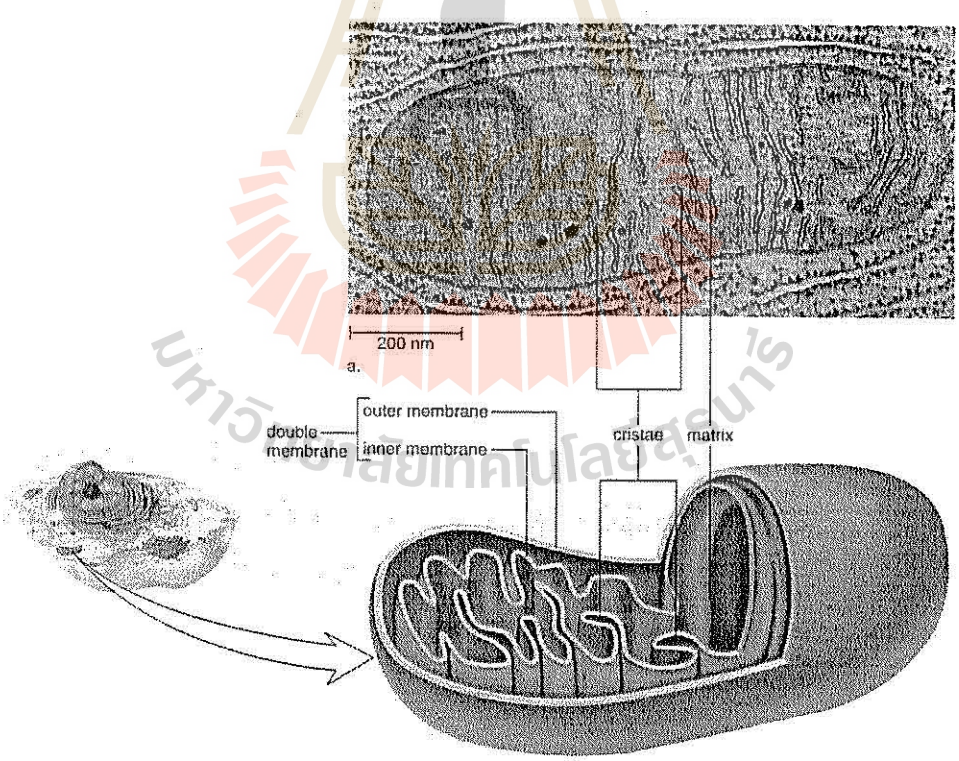
2) ควบคุมการแบ่งเซลล์ นิวเคลียสทำหน้าที่เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ หรือการสืบพันธุ์ของเซลล์ ตลอดจนการถ่ายทอดลักษณะทางกรรมพันธุ์ จากพ่อแม่ไปยังลูกหลาน

3) เป็นแหล่งเก็บสารพันธุกรรม (DNA) และควบคุมลักษณะต่างๆ ของสิ่งที่มีชีวิต

4) สังเคราะห์ โปรตีน และเอ็นไซม์ซึ่งควบคุมขบวนการเมตาบอลิสมต่างๆ

5) เป็นแหล่งผลิตองค์ประกอบย่อย (subunits) ของไรโบโซมเพื่อส่งต่อไปยังไซโตปลาสซึม

2.4 ไมโตคอนเดรีย (Mitochondria; เอกพจน์ mitochondrion; mitos = เส้น, condros = เม็ด)



ภาพที่ 2.6 **แสดงโครงสร้างของไมโตคอนเดรียจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน (Mader, 2001)**

2.4.1 ลักษณะทั่วไป

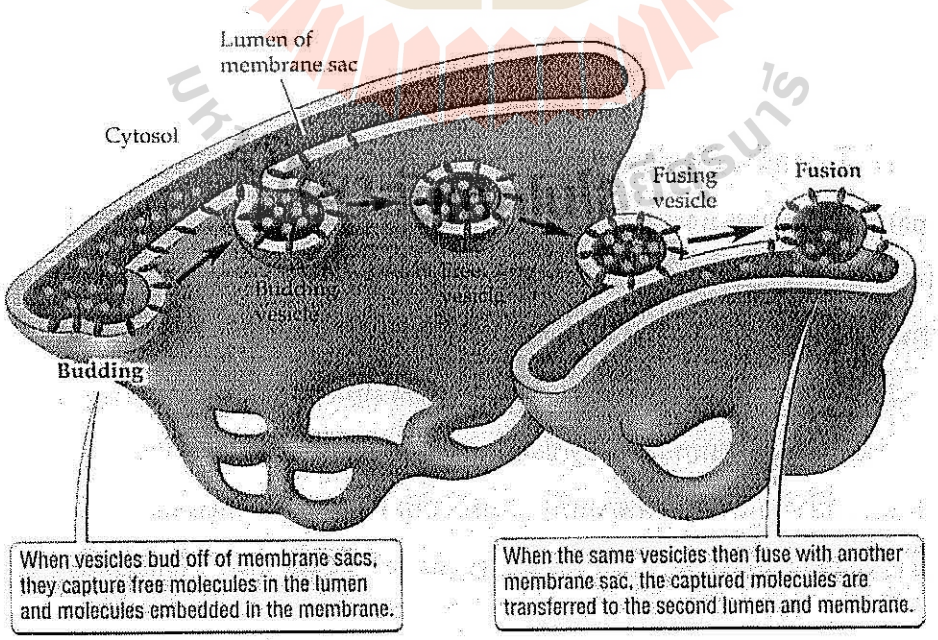
1) ไมโตคอนเดรียในเซลล์ต่างชนิดและในสภาพที่แตกต่างกัน จะมีรูปร่างต่างกันไป เช่น อาจเป็นแท่งยาวหรือเม็ดกลมก็ได้ เป็นต้น มีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 1-3 μm

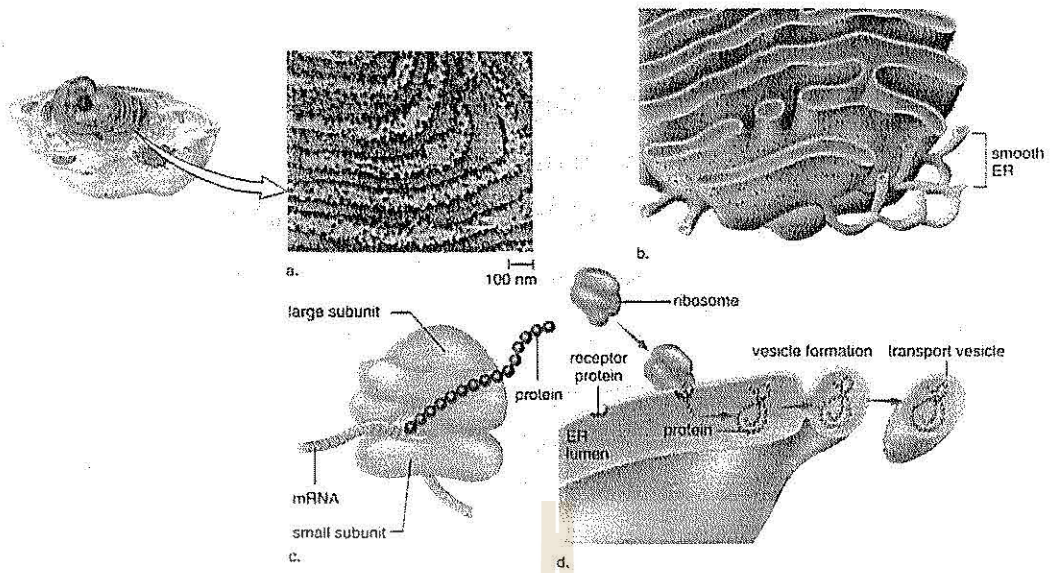
2) โครงสร้าง เป็นอวัยวะภายในที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น เยื่อชั้นนอกเรียบ เชื่อว่าเป็นส่วนที่ได้จากเอ็นโดพลาสมิคเร็ดทิคิวลัม (endoplasmic reticulum) ส่วนเยื่อชั้นในมีการม้วนตัวยื่นเข้าไปภายในเป็นจำนวนมาก เรียกคริสตี้ (cristae) ทำให้ไมโตรคอนเดรียถูกแบ่งเป็นสองส่วน (compartment) คือ ส่วนภายในเรียก แมดทริส (matrix) และส่วนภายนอก (outer coompartment) บนผิวเยื่อที่แบ่ง compartment ของไมโตคอนเดรียมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการออกซิเดชั่น (oxidative metabolism) เพื่อสร้างพลังงานให้แก่เซลล์

3) เป็นออร์แกนเนลล์ที่เป็นอิสระจากการควบคุมของนิวเคลียสบางส่วน มีดีเอ็นเอและไรโบโซมของตัวเอง เชื่อว่าไมโตรคอจเดรียมีต้นกำเนิดจากแบคทีเรีย (symbiotic aerobic bacteria) ที่เข้ามาอาศัยภายในเซลล์และมีวิวัฒนาการอยู่ร่วมกันกับเซลล์ ตามทฤษฎีของเอ็นโดซิมไบโอซิส (Endosymbiosis theory)

2.4.2 หน้าที่ เป็นศูนย์การผลิตพลังงานให้กับเซลล์ เพราะเป็นแหล่งเกิดปฏิกริยาทางเคมีที่เปลี่ยนพลังงานในอาหารให้เป็นพลังงานในรูปที่เซลล์สามารถนำไปใช้ได้ โดยพลังงานที่ได้อยู่ในรูปของสารประกอบ ATP (adenosine triphosphate)

2.5 เอ็นโดพลาสมิค เรทธิคิวลัม (Endoplasmic reticulum ; ER; Gk. *Endon* = ภายในไซโตปลาสซึม, L. *reticulum* = เครือข่าย) โครงสร้างของ ER แสดงในภาพที่ 2.7





ภาพที่ 2.7 **แสดงรูปร่างและโครงสร้างของเอ็นโดพลาสมิค เล็ททิคิวลัม (a) แสดง rough ER ซึ่งเยื่อผิวนอกมีไรโบโซมติดอยู่ (b) แสดง smooth ER และส่วนของ smooth ER ที่เป็นโครงสร้างที่ต่อเนื่องจาก rough ER (c) แสดงไรโบโซมที่กำลังสังเคราะห์โปรตีน (d) แสดงการเกาะของไรโบโซมที่ผิว ER และสายโปรตีนที่ถูกสังเคราะห์เข้าสู่ท่อด้านใน (lumen) ของ ER การเกิดถุงหุ้มโปรตีน (vesicle) และการลำเลียงโปรตีนไปสู่เป้าหมายต่างๆ ภายในเซลล์ (e) แสดงการเกิดถุงหุ้มโปรตีนในส่วนที่เป็น SER การหลุดออก (bud off) ของโปรตีนที่มีถุงหุ้ม และการหลอมรวมระหว่างเยื่อของถุงหุ้มโปรตีนกับ เยื่อของเป้าหมายที่ต้องการลำเลียงโปรตีนไปสู่ (Mader, S. S 2001 และCaine et al., 2001)**

2.5.1 ลักษณะสำคัญ

1) โครงสร้าง เป็นท่อหรือถุงเล็กๆ แบนๆ ของเยื่อที่ม้วนตัวซ้อนๆ กัน เรียกคริสเทอร์นา **(cisterna)** ท่ออาจมีบางแห่งพองเป็นกระเปาะเรียกว่าเวสซิเคอร์ **(vesicle)** ผนังท่อมีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น และเป็นท่อที่ติดต่อถึงกันหมดในไซโตปลาสซึม คือ ท่อเชื่อมกับเยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มนิวเคลียส และออร์แกนเนลล์ ต่างๆ ภายในเซลล์

2) องค์ประกอบทางเคมี เหมือนเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นเยื่อไขมัน 2 ชั้นและมีเอนไซม์ต่างๆ เกาะอยู่ที่ผิว ภายในท่อมีของเหลวใสๆ อยู่เป็นแมททริส (matrix) ซึ่งมีสารหลายอย่างด้วยกัน ER ที่มีไรโบโซม เกาะที่ผิวรียกลัฟเอ็นโดพลาสมิค เล็ททิคิวลัม **(rough endoplasmic reticulum RER)** ส่วนที่ไม่มีไรโบโซม เกาะเรียก สะมูทเอ็นโดพลาสมิค เล็ททิคิวลัม **(smooth endoplasmic**

reticulum ;SER) เป็นเปอร์เซ็นต์ส่วนน้อยของของ ER RER มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการสร้างและดัดแปลงโปรตีน ส่วน SER เกี่ยวข้องกับการเมตาโบไลท์ลิปิด

2.5.2 หน้าที่

1) ER ทำหน้าที่ขนส่งหรือลำเลียงสิ่งต่างๆ ภายในเซลล์

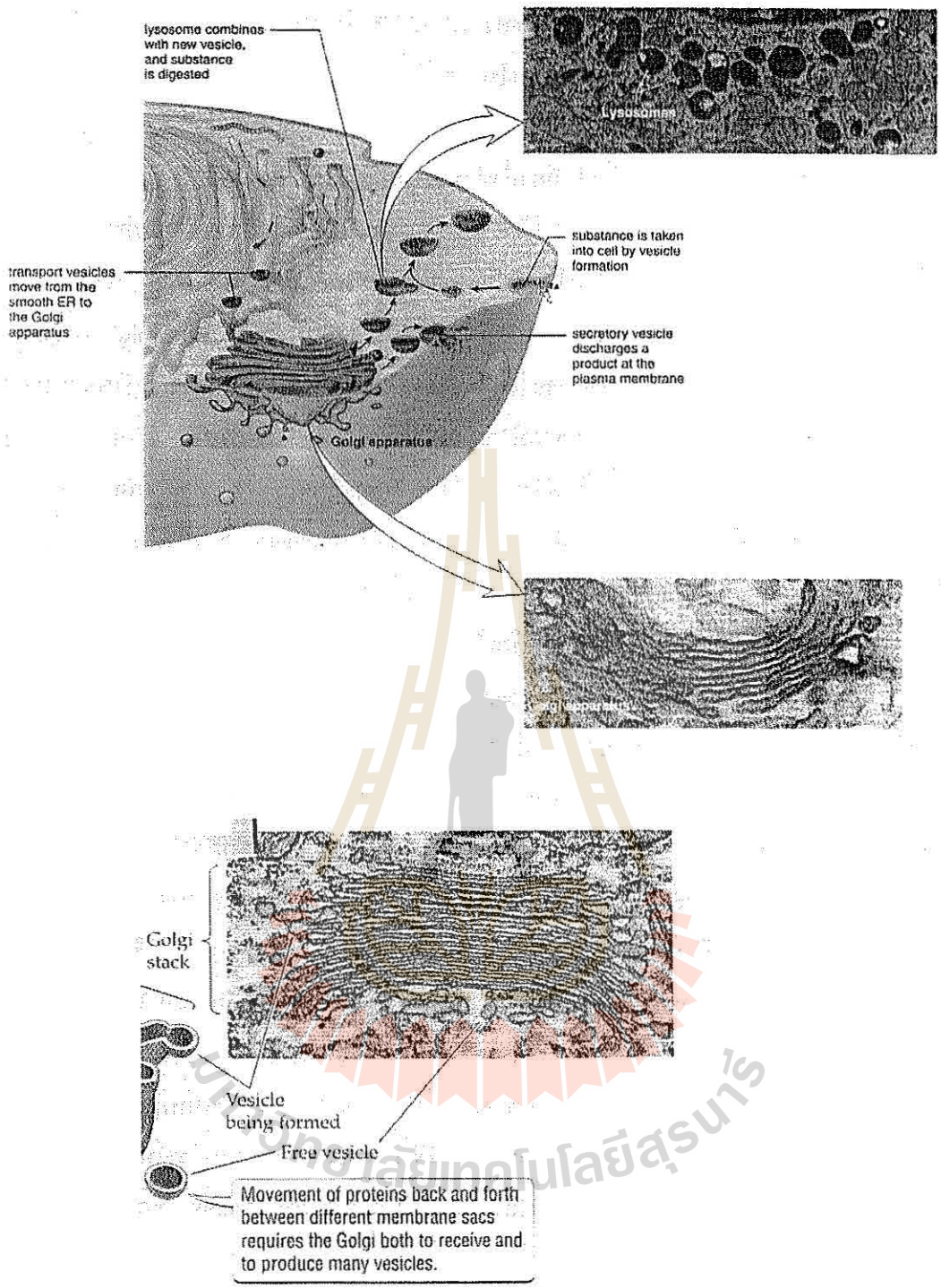
2) เป็นช่องทางผ่านของอาหารหรือเมตาโบไลท์ (metabolites) ที่แพร่สู่เซลล์

3) RER ทำงานร่วมกับไรโบโซมในการสร้างโปรตีน และเอนไซม์ต่างๆ แล้วลำเลียงออกนอกเซลล์หรือสู่ออร์แกนเนลล์ที่ต้องการ โดยทำงานร่วมกับ SER และกอลจิ (golgi complex) โปรตีนบางชนิดเมื่อเข้าสู่ลูเมนใน RER จะได้รับการเปลี่ยนแปลง (modification)โดยการเติมคาร์โบไฮเดรตซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล หรือโอลิโกแซคคาร์ไรด์ (oligosaccharide) ที่โมเลกุล ของโปรตีนโดยเอนไซม์ในลูเมน โปรตีนที่ได้รับการเติมกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เรียกไกลโคโปรตีน (**glycoproteins**) เอนไซม์บางชนิดใน RER ช่วยในการม้วนตัว (folding) ของโปรตีน เพื่อให้ เกิดโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบและถูกต้อง

4) SER ที่อยู่ต่อเนื่องจาก RER มักเป็นบริเวณที่เยื่อ ER ทำหน้าที่เป็นถุง (vesicles) หุ้มโปรตีนในลูเมน หรือหุ้มโปรตีนที่ฝังตัว (embedded) ที่เยื่อ (ภาพที่ 2.8 e) นอกจากทำหน้าที่ขนส่ง หรือลำเลียงโปรตีนไปยังเป้าหมายของเซลล์ แล้ว SER ยังมีส่วนในการสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecules) เช่น กรดไขมัน (fatty acid) ฟอสโฟกลีเซอร์ไรด์ (phosphoglycerides) สเตียร์รอยด์ (steroid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเยื่อเซลล์ SER ในเซลล์ที่แตกต่างกันอาจมีหน้าที่ซึ่งแตกต่างกัน เช่น SER ในเซลล์ตับทำหน้าที่ลดฤทธิ์ (detoxification) ของยาและเมตาโบไลท์ของยาที่เป็นอันตราย เช่น แอมฟีทามีน (amphetamines) โคดีอีน (codeine) และฟีโนบาบิทอล (phenobarbital) ซาร์โคพลาสมิค เลททิคิวลัม (sarcoplasmic reticulum) ซึ่งเป็น SER ใน เซลล์กล้ามเนื้อ ทำหน้าที่เก็บและหลั่งแคลเซียมอิออน ที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ SER ในอัณฑะ ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนเทสโทสเตอร์โรน (testosterone) เป็นต้น SER มี เอนไซม์หลายชนิดอยู่ที่เยื่อของถุง ในตำแหน่งที่ช่วยให้การทำงานของเอนไซม์ดีขึ้น เนื่องจากมีเอนไซม์หลายชนิดที่ไม่สามารถทำงานได้ ถ้าอยู่เป็นรูปอิสระในไซโตปลาสซึม แต่ถ้าอยู่ตามผนังของเยื่อ จะสามารถทำงานได้

2.6 โกลจิ บอดี้ (Golgi bodies)

เป็นชื่อที่ตั้งเพื่อเป็นเกียรติแก่แพทย์ชาวอิตาเลี่ยน **Camillo Golgi** ผู้ ค้นพบเกี่ยวกับโครงสร้างนี้เป็นคนแรกใน ปี คศ. 1898 และได้รับรางวัลโนเบลในปี คศ. 1906 กอลจิ บอดี้ ทั้งหมดภายในเซลล์เรียกรวมว่า กอลจิ คอมเพล็ซ (golgi complex) หรือโกลจิ แอบพาราตัส (Golgi apparatus) (ภาพที่ 2.8)



ภาพที่ 2.8 แสดงกอลจิแอปพาราตัสในยูคาริโอติคเซลล์ (ดัดแปลงจาก Maders, 2001 และ Caine et al., 2000)

2.6.1 ลักษณะที่สำคัญ

1) เป็นท่อหรือถุงเยื่อแบนๆ หลายถุงที่โค้งเรียงซ้อนกองกันหนาประมาณ 3 μm แต่ละถุงเรียกว่า cisterna (pl. cisternae, L. *cisterna* = ที่เก็บน้ำ) มักจะพบถุงเวสซิเคอร์ ใกล้กับขอบของถุงโกลจิที่ซ้อนกัน ถุงเวสซิเคอร์เหล่านี้ทำหน้าที่ลำเลียงโปรตีนที่สร้างจาก ER สู่กอลจิ และลำเลียงโปรตีนระหว่างเยื่อแบนของกอลจิด้วยกัน

2) ในเซลล์สัตว์มี ปรมาณ 10-20 กอลจิ บอดี้ และมักอยู่เป็นกลุ่มใกล้ ER หรือนิวเคลียส โดยหันด้านใน (inner face) ของกอลจิ เข้าหา ER และหันด้านนอก (outer face) สู่เยื่อหุ้มเซลล์ เวสสิเคอร์จะหลุดจากกอลจิทางด้านนอก ถุงเวสสิเคอร์อาจจะเป็นไลโซโซม หรือเคลื่อนไปสู่เยื่อหุ้มเซลล์ และหลั่ง (secrete) ออกนอกเซลล์ด้วยขบวนการเอ็กโซไซโตซิส (exocytosis)

3) ในเซลล์พืชมีหลายร้อยกอลจิ บอดี้ ซึ่งในเซลล์พืช มักเรียกว่า ไดซิโอโซม (dicyosome , Gr. *dyktkyon*= ตาข่าย *soma* = ร่างกาย) และมักพบกระจายทั่วไปในไซโตปลาสซึม

4) golgi bodies มักมีมากในเซลล์ที่ต่อมต่างๆ (glandular cells) ซึ่งสร้างสารที่หลั่งโดยกอลจิ บอดี้

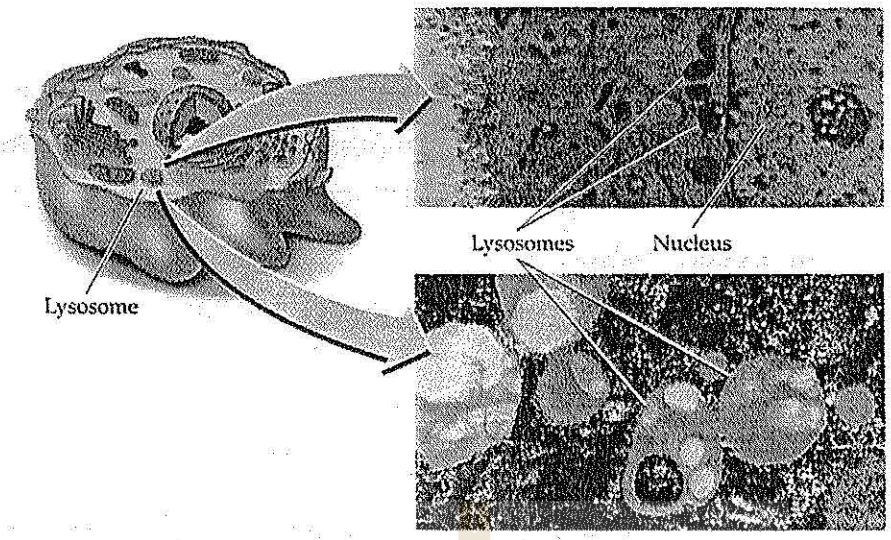
2.6.2 หน้าที่

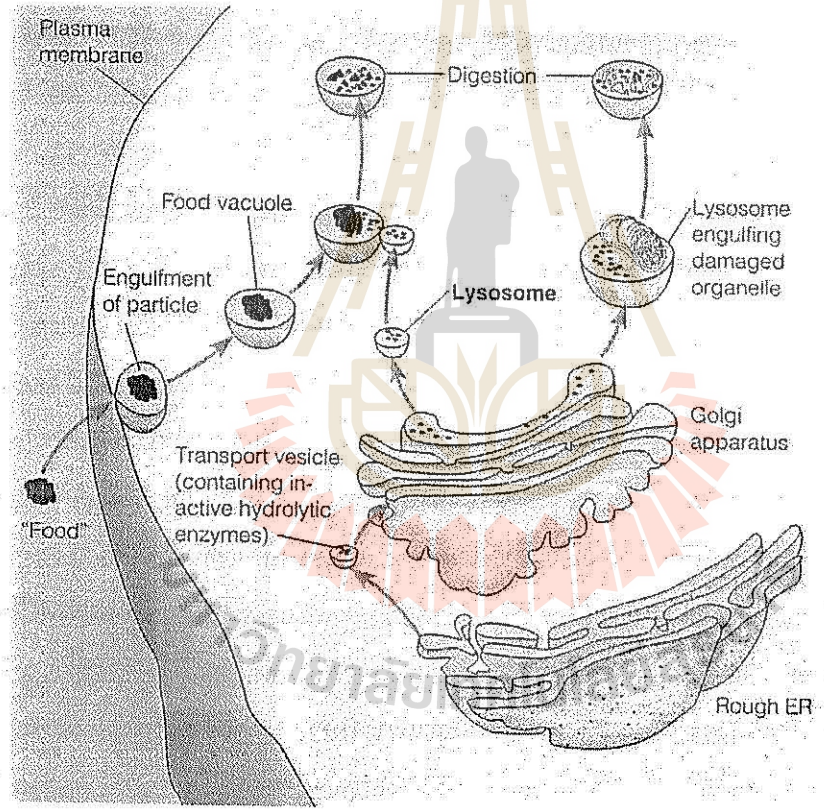
1) เปลี่ยนแปลง (modified) จัดระเบียบ (sort) บรรจุ (package) และลำเลียง (shiping) พวกโปรตีน และไขมัน ที่ถูกสังเคราะห์ภายในเซลล์ ออกสู่บริเวณอื่นภายนอกเซลล์ เช่น อาจจะเติมหมู่ฟอสเฟต หรือสารกลุ่มอื่นให้กับคาร์โบไฮเดรต ทดแทนโมโนเมอร์เดิมในคาร์โบไฮเดรตด้วยโมโนเมอร์ใหม่เพิ่มเติมจากการดัดแปลงโปรตีน และไขมันที่เกิดใน ER ได้เป็นไกลโคโปรตีน หรือไกลโคลิปิดใหม่ (glycolipid) ก่อนที่จะจัดระเบียบ (sorting) และลำเลียงสู่ภายนอกเซลล์ โดยบางกรณี กลุ่มสารที่เพิ่มเติมหรือดัดแปลงที่กอลจิ ทำหน้าที่เปรียบสเหมือนสัญญาณ (signal molecule) หรือป้าย (tag) ที่ระบุว่าโปรตีนหรือไขมันโมเลกุลนี้ควรอยู่ที่ใดในเซลล์

2) ER และกอลจิ คอมเพล็ยส ทำหน้าที่ร่วมกันในการสังเคราะห์โปรตีน ไกลโคโปรตีน และไขมันเพื่อนำไปสร้างเยื่อใหม่ หรือลำเลียงออกสู่ภายนอกเซลล์เพื่อทำหน้าที่ต่างๆ เช่น โปรตีนเกี่ยวกับการย่อยไกลโคเจน (glycogen) การกำจัดสารพิษ การรับส่งสัญญาณกระตุ้นจากเซลล์เส้นประสาทเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อ ใน arcoplasmic reticulum ในเซลล์พืช กอลจิ คอมเพล็สทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ผนังเซลล์ด้วย

3) เป็นแหล่งสร้างคาร์โบไดรตจากน้ำตาล และคาร์โบไฮเดรตอาจรวมกับโปรตีนเป็น ไกลโคโปรตีน และมิวโคโพลีแซ็คคาร์ไรด์ (mucopolysaccharide) ซึ่งสะสมเป็นเมือก (mucus) อยู่ที่ผิวนอกของเซลล์เยื่อเมือก (mucus cell)

2.7 ไลโซโซม (Lysosomes, Gk. *Lyo* = loose, *soma* = body, ความหมายรวมคือ breakdown body) เป็นถุงที่บรรจุเอนไซม์มากมายที่สามารถสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ต่างๆ ได้ (ภาพที่ 2.9)





ภาพที่ 2.10 **แสดงไลโซโซม ภายในเซลล์ (a) (Caine et al., 2000) การสร้างไลโซโซมโดย RER และกอลจิ แอ๊ปพาราตัส และตัวอย่างการทำหน้าที่ของไลโซโซมภายในเซลล์ โดยการหลอมรวมกับแวคคิวโอที่มีอาหาร และการกำจัดไมโตคอนเดรียเก่าของเซลล์(Campbell et al., 2000)**

2.7.1 ลักษณะสำคัญ

1) เป็นถุงเยื่อชั้นเดียว ลักษณะค่อนข้างกลม ขนาดใกล้เคียงกับเพอออกซิโซม (peroxisomes) และเล็กกว่าไมโตคอนเดรีย

2) เยื่อหุ้มผิวมีคุณสมบัติพิเศษคือ ไม่ยอมให้สารผ่าน **(impermeable membrane)** ไม่ยอมให้เอนไซม์ภายในออกนอกถุง และด้วยกลไกที่ยังไม่ทราบแน่นอน เยื่อหุ้มไลโซโซมมีความทนทานต่อการย่อยสลายของเอนไซม์ที่บรรจุภายใน มีโปรตีนทำหน้าที่ปั๊มไฮโดรเจนที่เยื่อผิวเพื่อรักษา pH ภายในให้เป็นกรด นอกจากนั้นที่เยื่อผิวยังมีบริเวณที่รองรับ (docking sites) สารที่จะถูกสลายโดยไลโซโซม และรองรับเอนไซม์ที่ถูกลำเลียงในเวสซิเคอร์เข้าสู่ไลโซโซม จากกอลจิ แอปพารา ตัส

3) ไลโซโซมอยู่กระจายทั่วไปในไซโตปลาสซึมของเซลล์สัตว์ (ยกเว้นเม็ดเลือดแดง mammals) สร้างโดย RER และกอลจิ คอมเพล็ซ เอนไซม์ ในไลโซโซมสร้างโดยไรโบโซมบน ER เอนไซม์ถูกส่งต่อมายัง กอลจิ คอมเพล็ซในรูปเวสสิเคอร์ กอลจิ แอ๊ปพาราตัสดัดแปลงเอนไซม์ให้อยู่ในรูปที่แอ็คทีฟ เยื่อหุ้มผิวของกอลจิ ม้วนตัวหุ้มเอนไซม์ที่ถูกดัดแปลงแล้ว และปลดปล่อยออกเป็นถุงไลโซโซม

4) เอนไซม์ต่างๆ ในไลโซโซมสามารถทำงานได้ ต่อเมื่อ pH ภายในไลโซโซมเป็นกรด pH ที่เหมาะสมคือ pH 5 ซึ่งเกิดโดยการปั๊มไฮโดรเจน อิออนเข้าภายในไลโซโซม ถ้า pH ภายในไม่ต่ำพอ เอนไซม์ ไม่ แอ็คทีฟ (active) ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ เรียกไลโซโซมในระยะนี้ว่า ไลโซโซม ปฐมภูมิ (primary lysosomes) แต่เมื่อมีการหลอมรวมของเยื่อหุ้มผิวกับออร์แกนเนลอื่นๆ เช่น แวคคิวโอ (vacuole) ที่มีอาหารภายใน pH จะลดต่ำลง เอนไซม์จะแอ็คทีฟ และสามารถย่อยสลายอาหารได้ เรียกไลโซโซมในระยะนี้ว่า ไลโซโซมทุติยภูมิ (secondary lysosome)

5) ตัวอย่างเอนไซม์ ในไลโซโซมได้แก่ ribonuclease, deoxyribonuclease, protease, glycosidase (ย่อย polysaccharide และglycoside), lipase, phospholipase, และsulfatase เป็นต้น

2.7.2 หน้าที่

1) เก็บสะสมเอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวกับการย่อยสลาย (hydrolytic enzymes) สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีนไขมัน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลิอิค

2) ทำลายจุลินทรีย์ และสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่เข้าสู่เซลล์

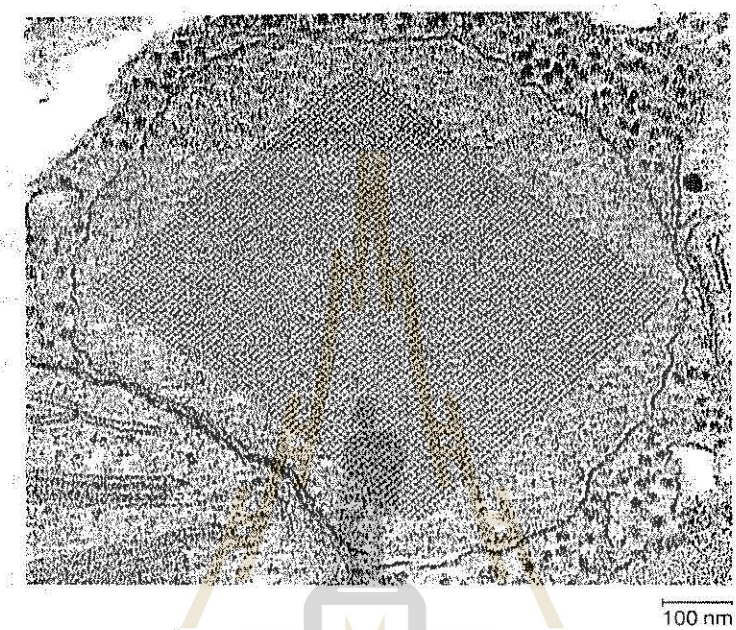
3) ย่อยส่วนประกอบของเซลล์ที่ชำรุด ทำลายเซลล์ที่มีอายุ และนำโปรตีนหรือโมเลกุลของสารอื่นที่ใช้แล้ว กลับมาใช้ใหม่ (recycle proteins หรือโมเลกุลอื่น) เช่น ในเนื้อเยื่อบางชนิด ไมโตคอนเดรีย ถูกย่อยโดยไลโซโซมทุกๆ 10 วันเนื่องจากมีการสร้างไมโตคอนเดรียขึ้นใหม่

4) ไลโซโซมทำหน้าที่ป้องกันการย่อยสลายตัวอง ซึ่งเป็นขบวนการที่ต้องใช้พลังงาน (ยังไม่ทราบ กลไกที่แน่นอน) เมื่อไรที่เซลล์ขาดพลังงาน (metabolically inactive) เซลล์จะตาย เนื่อง

จาก เอไซม์ที่ถูกเก็บไว้ในไลโซโซมย่อยสลายเยื่อของตัวเอง หลุดกระจายสู่ไซโตปลาสซึม เกิดการสลายตัวเองของเซลล์ เรียกว่า ออโตไลซิส (autolysis)

2.8 เพอร์ออ๊กซิโซม (Peroxisomes)

จัดเป็นไมโครบอดี้ (microbody) พวกหนึ่ง (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 **แสดงเพอร์ออ๊กซิโซมในใบยาสูบ (ดัดแปลงจาก Mader, 2001)**

2.8.1 ลักษณะสำคัญ

1) เป็นถุงเยื่อชั้นเดียวคล้ายไลโซโซม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.5 □m มีทั่วไปในยูคาริโอติคเซลล์ทั้งในเซลล์พืชและสัตว์ พบเป็นจำนวนมากในเซลล์ที่เมตาโบไลท์ลิปิด ในตับ และในเซลล์ยีสต์ที่เพอร์ออกซิโซมลดพิษของแอลกอฮอล์

2) เป็นถุงเยื่อที่บรรจุเอนไซม์เฉพาะจากไซโตโซล (cytosol) ที่ออกซิไดซ์โมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดเล็ก และทำให้เกิดการสร้างไฮโดรเจน เพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ซึ่งถูกสลายต่อทันทีได้ น้ำและออกซิเจน โดยเอนไซม์แคททาเลส (catalase) ใน เพอร์อ๊อกซิโซม

3) เกิดจาก SER

2.8.2 หน้าที่

1) บรรจุเอนไซม์ที่สลายไขมันให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปไมโตคอนเดรีย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหายใจของเซลล์

2) มีกลุ่มเอนไซม์ที่เกี่ยวกับขบวนการออกซิเดชั่น (oxidative enzymes) เช่น oxidase, catalase ที่ใช้ในการทำลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่เกิดจากขบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ของเซลล์ เพื่อมิให้เซลล์ได้รับอันตรายจากขบวนการออกซิเดชั่นต่างๆ ที่เกิดในไมโตรคอนเดรีย และคลอโรพลาส

3) มีเอนไซม์ที่ช่วยในการกำจัดสารพิษต่างๆ เช่น แอลกอฮอล์ ซึ่งในปฏิกริยาก่อให้เกิด ไฮโดรเจน เพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide)

4) เพอร์ออกซิโซมในพืชเรียกไกลออกซิโซม (glyoxysomes) สามารถออกซิไดซ์กรดไขมันให้เป็นน้ำตาลหรือคาร์โบไฮเดรต ซึ่งพืชใช้ในการงอกของเมล็ดได้

5) เกี่ยวข้องกับขบวนการหายใจในพืชซึ่งขาดออกซิเจน และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงได้

2.9 ไรโบโซม (ribosome)

2.9.1 ลักษณะสำคัญ

1) มีขนาดเล็กมาก 100-250 A เห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนเท่า

2) เกาะอยู่ที่ผิวของท่อ ER เยื่อหุ้มนิวเคลียส ไมโตรคอนเดรีย และคลอโรพลาส บางส่วนเป็นอิสระกระจายทั่วไปในไซโตปลาสซึม

3) ส่วนประกอบเป็นไรโบนิวคลิโอโปรตีน (ribonucleoprotein) ประกอบด้วย rRNA และโปรตีนในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

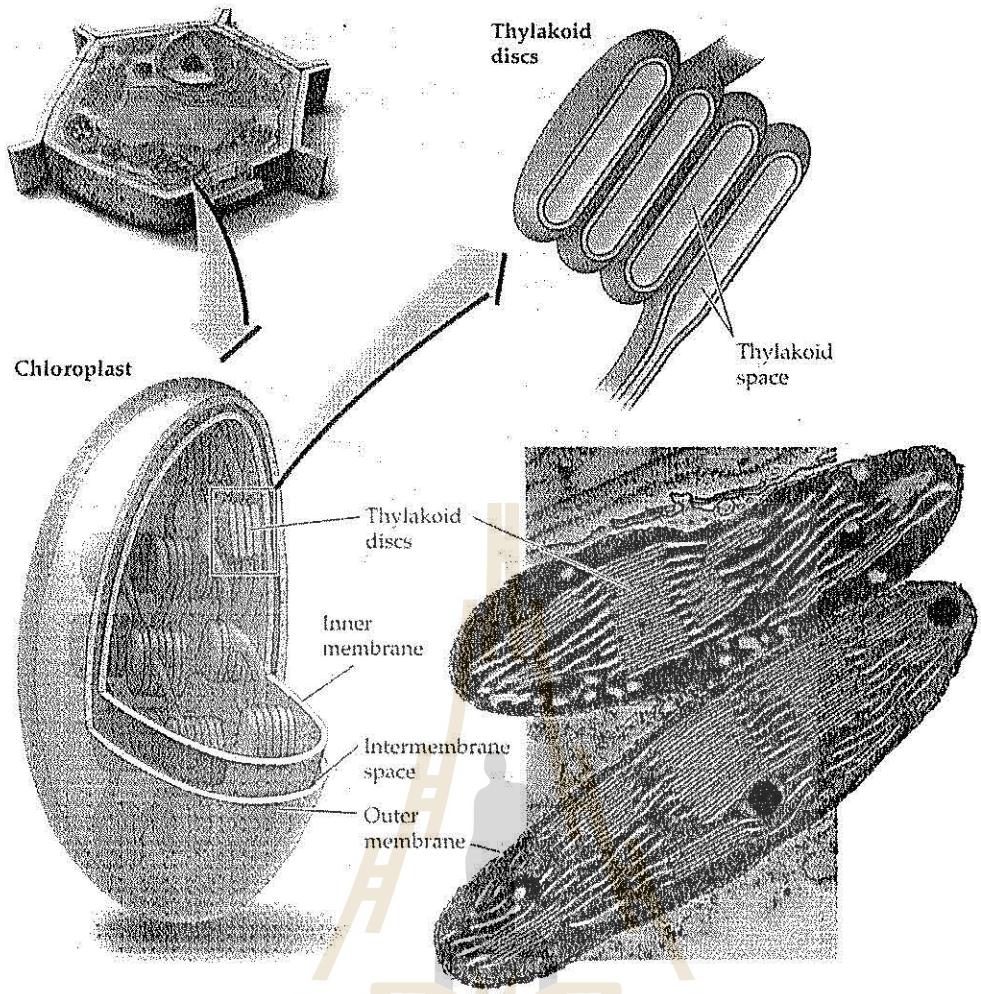
4) ขนาดของไรโบโซม ยึดตามความเร็วที่ใช้ปั่น (centrifugation) ในการตกตะกอน มีหน่วยเป็น Svedberg unit (S) ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้ในการวัดความเร็วของการตกตะกอนของอนุภาคต่างๆ ในการปั่น ถ้า S มีค่าสูง ไรโบโซมมีขนาดใหญ่และตกตะกอนเร็วกว่า S ที่มีค่าต่ำ ในขณะที่มีการสร้างโปรตีน ไรโบโซมในยูคาริโอตส์ประกอบด้วยหน่วยย่อย 40S และ60S ซึ่งแตกต่างจากไรโบโซมในโพคาริโอตส์ที่เป็นชนิด 70S (ประกอบด้วยหน่วยย่อย 30 และ50S)

5) ไรโบโซมที่เกาะหรือยึดกับ mRNA เป็นกลุ่มหรือเป็นแถวเรียกว่า โพลีโซม (polysome)

2.9.2 หน้าที่

เป็นแหล่งสร้างโปรตีนในเซลล์

2.10 คลอโรพลัส (Chloroplast) (Gr. *chloros*=สีเขียว, *plastos*=รูปร่าง)



ภาพที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของ chloroplast (Cain et al., 2000)

2.10.1 ลักษณะสำคัญ

1) จัดเป็นพลาสติด (plastid) ชนิดหนึ่งที่มีสีเขียวของรงควัตถุ (pigment) ชนิดคลอโรฟิล (chlorophyll) มากกว่ารงควัตถุ ชนิดอื่นๆ พลัสติดเป็นออร์แกนเนลที่มีเฉพาะในพืชเท่านั้น ยกเว้นแบคทีเรีย เห็ด รา และblue green algae ที่อาจมีพลัสติดเช่น กัน ขนาดและรูปร่างของพลัสติดแตกต่างกันในพืชต่างชนิด เช่น ทรงกลม รูปไข่ หรือสายยาว พลัสติดทำหน้าที่ผลิตและเป็นแหล่งสะสมอาหาร ในพืชมีพลัสติด 3 ชนิดคือ ลิวโคพลัส (leucoplast) ไม่มีสี คลอโรพลัส (chloroplast) มีสีเขียว และโครโมพลัส (chromoplast) มีสีอื่นๆ เช่น สีเหลืองหรือน้ำตาลของแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) หรือสีแดงของคาโรทีน (carotene) เป็นต้น

2) คลอโรพลัส มักมีรูปร่างเป็นรูปไข่ หรือกลม อาจมีสีเขียว เหลืองอมเขียว หรือสีทองน้ำตาล ตามธรรมชาติจะมีคลอโรฟิลซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวมากที่สุด ขนาดมักใหญ่กว่าไมโตคอนเดรีย

3) ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน คลอโรฟิล(chlorophyll) คลอโรพลัสเป็นออร์แกนเนลที่มี DNA ที่มีรูปร่างเป็นวงกลม (circular DNA) มีการสร้าง RNA และโปรตีนที่ใช้เฉพาะสำหรับการสังเคราะห์แสงในคลอโรพลัส

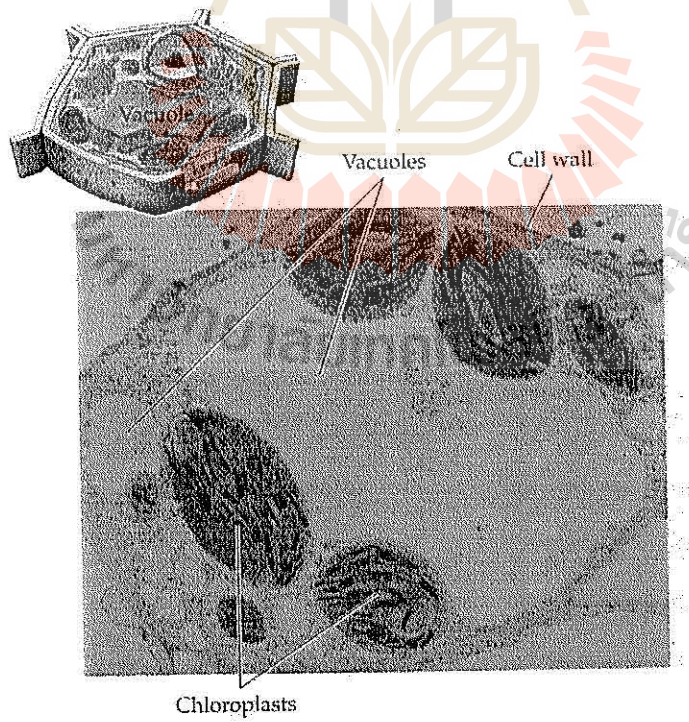
4) โครงสร้างของคลอโรพลัสเป็นเยื่อหุ้มผิว 2 ชั้น เยื่อชั้นในมีการม้วนตัวทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อน มีลักษณะเป็นถุงกลมและแบนเรียก ไทลาคอยด์ (**thylakoids**) เรียงซ้อนเป็นตั้งแต่ละตั้งเรียก กรานัม (**granum** , pleural- grana) ปฏิกริยาการสังเคราะห์แสงเกิดในไทลาคอยด์ ระหว่าง กรานัม มีเยื่อเชื่อมต่อกันเรียกลาเมลลา (**lamella**) ของกึ่งเหลวคล้ายวุ้นภายในโครงสร้างของคลอโรพลัส เรียกสโตร์มา (**stroma**) ซึ่ง มีเอนไซม์ต่างๆ ละลายอยู่มาก รวมทั้ง DNA และRNA ด้วย (ภาพที่ 2.

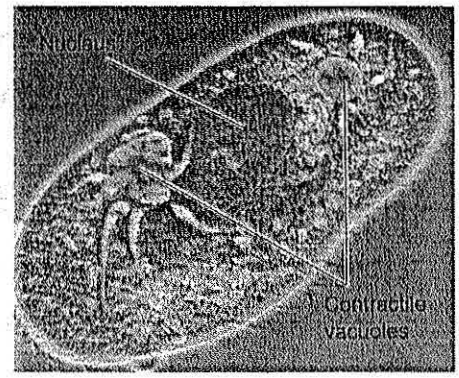
5) เชื่อว่ามีต้นกำเนิดจาก symbiotic anaeobic photosynthetic bacteria

2.10.2 หน้าที่

เป็นแหล่งหรือโรงงานสำคัญในการสังเคราะห์แสง เอนไซม์ รงควัตถุ และโมเลกุลอื่นๆ ที่ฝังตัวอยู่ในเยื่อหุ้มผิวของคลอโรพลัส ใช้พลังงานจากแสงสว่างในการสังเคราะห์ ATP ซึ่งใช้ในการสร้างน้ำตาล แป้ง (starch) และผลผลิตอื่นๆ

2.11 แวคคิวโอ (Vacuoles ; L. *vacuus* = ว่าง) ควบคุมน้ำภายในเซลล์





ภาพที่ 2.12 **แสดง contractile vacuoles ในโปรติส (b) และ Central racuoly ในเซลล์พืช (a) (Campkell et al., 2000) (Cain et al., 2000)**

2.11.1 ลักษณะสำคัญ

1) เป็นออร์แกนเนลที่มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว เนื้อที่ใสกว่าส่วนอื่นๆ ในไซโตปลาสซึม มีของเหลวภายใน (cell sap) ที่ส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ เกลืออินทรีย์ และเกลืออนินทรีย์ต่างๆ เช่น น้ำตาล อิออน ผลิตผลของเสียจากเมตาบอลิซึมของเซลล์ รวมทั้งก๊าซ กรดต่างๆ และบางครั้งมีรงควัตถุอยู่ด้วย

2) เซลล์ส่วนใหญ่มีแวคคิวโอมากกว่าหนึ่ง ภายในเซลล์ แวคคิวโออาจเกิดชั่วคราว เช่น แวคคิวโออาหาร (food vacuole) ซึ่งเกิดระหว่างขบวนการกลืนกิน (phagocytosis) หรืออาจอยู่ถาวรในเซลล์ส่วนใหญ่ ที่แวคคิวโอมีบทบาทสำคัญในการรักษาปริมาณน้ำภายในเซลล์ และรักษาการคงรูปร่าง (integrity) ของเซลล์ เช่น คอนแทรคไทล์แวคคิวโอ (contractile vacuoles) แวคคิวโอในเซลล์พืชใหญ่กว่าในเซลล์สัตว์มาก ในเซลล์ที่มีอายุมาก แวคคิวโอจะมีขนาดใหญ่และมีจำนวนน้อยกว่าเซลล์ที่มีอายุน้อย เนื่องจากเกิดการรวมตัวของ กลุ่มแวคคิวโอเล็กๆ เข้าด้วยกันเป็นแวคคิวโอกลาง (central vacuole) ซึ่งบางครั้งอาจจะครอบครองพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 50-90% ภายในเซลล์

2.11.2 หน้าที่

1) เป็นบริเวณที่เก็บสารประกอบอินทรีย์ สารประกอบอนินทรีย์ เอนไซม์ ผลผลิตจากขบวนการเมตาบอลิซึมและของเสียต่างๆ

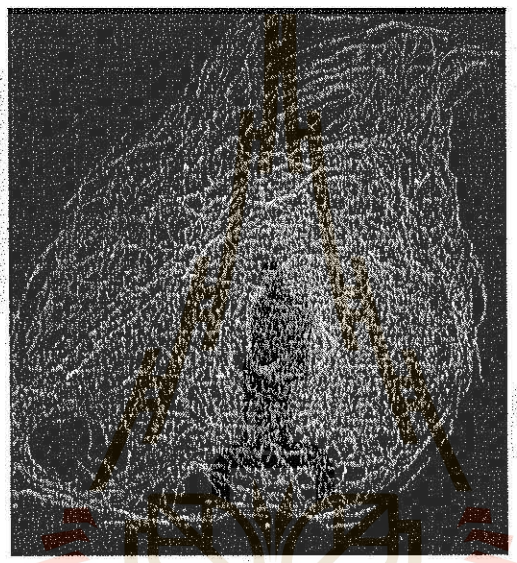
2) เป็นที่พักสำหรับอาหารที่จะเข้าสู่ โปรโตปลาสซึม เช่น แวคคิวโออาหารซึ่งเก็บน้ำตาล กรดอะมิโนและเกลือแร่)

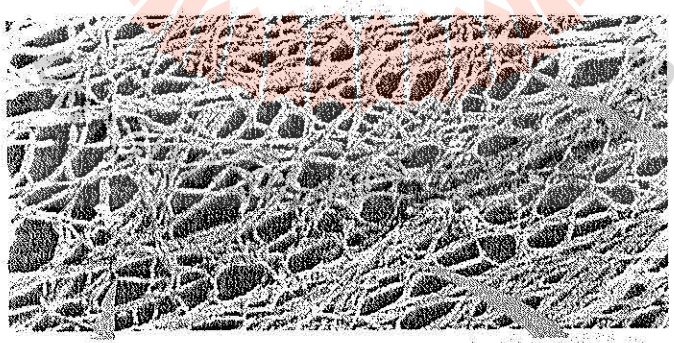
3) เป็นที่พักของของเสียที่ขับออกจากไซโตปลาสซึม

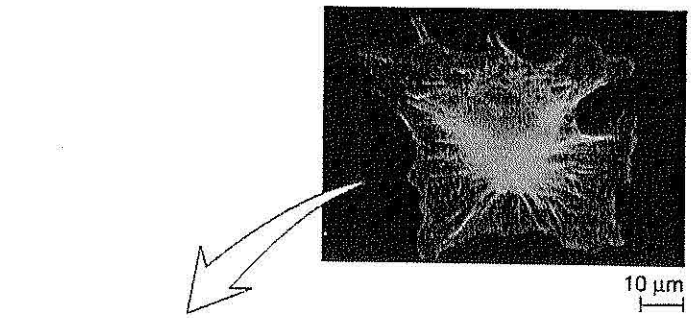
4) ช่วยเพิ่มอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของเซลล์ เพราะของเหลวในแวคคิวโอมีความดันต่อเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์เต่ง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับเซลล์ ช่วยเร่งอัตราการดูดซึมเกลือแร่ต่างๆ ของเซลล์ได้

2.12 โครงร่างของเซลล์ (Cytoskeleton; Gk, *kytos* = เซลล์ และ*skeleton* = โครงกระดูก หรือซากโครงร่าง): รักษารูปทรงและการเคลื่อนไหวของเซลล์

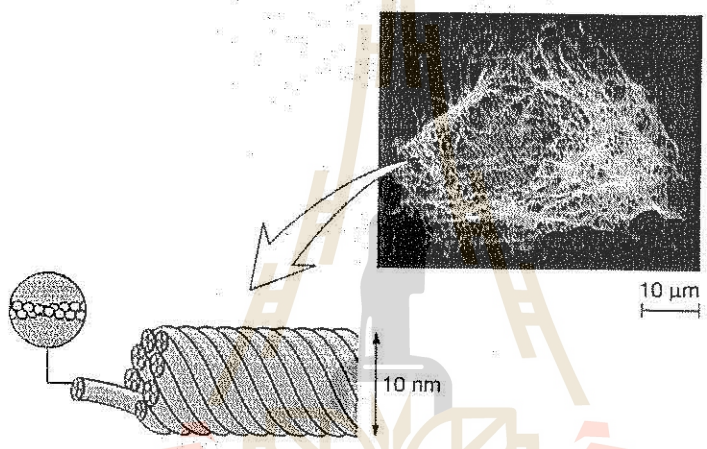
เป็นเครือข่ายของเส้นใย (filaments) และท่อขนาดเล็ก (tubules) ที่ประสานและเชื่อมต่อซึ่งกันและกันจากนิวเคลียสสู่เยื่อหุ้มเซลล์ในยูคาริโอติค เซลล์ (ภาพที่ 2.13)



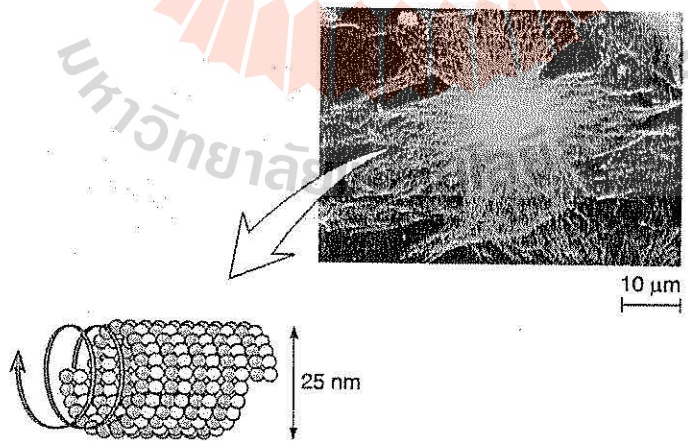




b. Actin filament

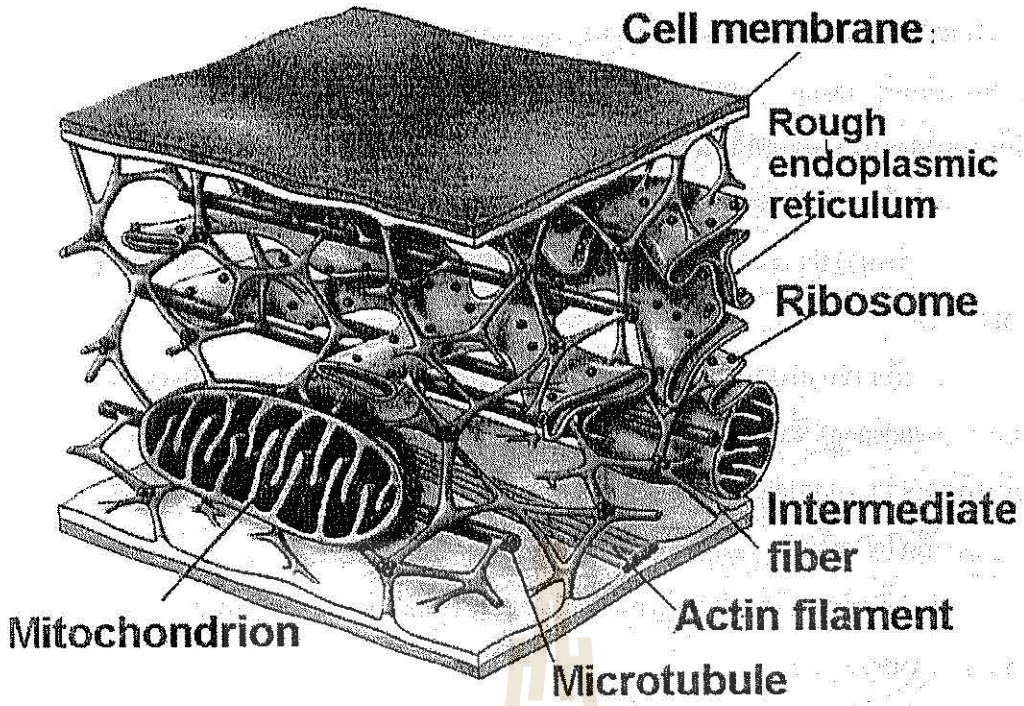


c. Intermediate filament



d. Microtubule

มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.13 แสดงโครงร่างของเซลล์ซึ่งย้อมด้วยแอนติบอดี้ที่ปิดฉลากด้วยสารเรืองแสงสีเขียวและนิวเคลียสที่ติดสีส้ม (a) แสดงส่วนหนึ่งของโครงร่างของเซลล์ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนเพื่อแสดงขนาด หน่วยประกอบย่อยและตำแหน่งที่ของเส้นใยแอ็คตินฟิลาเม้นท์ อินเทอร์มีเดียท์ ฟิลาเม้นท์ และไมโครทิปบลู เมื่อย้อมด้วยแอนติบอดี้ที่จำเพาะ (b) (Campbell et al., 2000 และ Maders, 2001) และรูปวาดจำลองแสดง โครงร่างของเซลล์ ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนชนิดต่างๆ ที่ช่วยจับยึดอวัยวะต่างๆ ภายในเซลล์ (c) (Raven and Johnson, 1995 ก)

2.12.1 ลักษณะสำคัญ

1) โครงร่างของเซลล์ เป็นโครงสร้างเส้นใยและท่อขนาดเล็กที่อยู่กระจายทั่วไปในไซโตปลาสซึม (ภาพที่ 2.13a) โครงร่างของเซลล์ เป็นระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (dynamic system) ถูกสร้างขึ้นใหม่และถูกทำลายอย่างรวดเร็วทุกนาที หรือวินาที

2) โครงร่างของเซลล์ประกอบจากโปรตีนเส้นใย (fibers) หลักสามชนิดที่มีความหนาแตกต่างกัน (ภาพที่ 2.13 c) ดังนี้คือ

ไมโครฟิลาเม้นท์ (microfilaments) หรือแอ็คติน ฟิลาเม้นท์ (actin filaments) เป็นเส้นใยยาวและบางที่สุดในโครงร่างของเซลล์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7 nm และอาจยาวหลาย cm มักเกิดรวมกันเป็นมัด (bundles) หรือประสานกันเป็นเครือข่ายยุ่งเหยิง (meshlike network) เมื่อย้อมด้วยแอนติบอดีที่จำเพาะซึ่งปิดฉลากด้วยสารเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent antibody) ไมโครฟิลาเม้นท์มีลักษณะเส้นใยที่หนาแน่น แลดูซับซ้อน และอยู่ทางด้านในของเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่

2.13b) หน่วยย่อย (subunit) ของไมโครทิบบลูประกอบจากโปรตีนที่มีลักษณะกลม (globular protein) ของแอ็คติน (actin) โมเลกุลสองสายมาพันกันเป็นเกลียว แอ๊คตินไมโครฟิลาเม้นท์ช่วยให้เซลล์เปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเคลื่อนที่ด้วยการเพิ่มหรือลดจำนวนของหน่วยย่อยแอ็คติน

หน้าที่ของไมโครฟิลาเม้นท์คือ

1. รักษารูปร่างของเซลล์ให้คงรูป เปรียบเหมือนโครงกระดูกที่ช่วยรักษารูปร่างร่างกายของสิ่งมีชีวิต

2. เกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลื่อนที่แบบคลืบคลาน (crawling) ของเซลล์ เช่น การเกิดขาเทียม (pseudopod) ซึ่งก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของเซลล์แบบอมีบา (amoeboid movement) ในเซลล์เม็ดเลือดขาว การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเยื่อหุ้มเซลล์ในขบวนการเอ็นโดไซโตซิส (endocytosis) เอ็คโซไซโตซิส (exocytosis) เป็นต้น

3. แอ็คตินไมโครฟิลาเม้นท์มักมีอันตรกิริยา (interaction) ร่วมกับโปรตีนเส้นใยชนิดอื่นเพื่อช่วยการหดตัวของเซลล์

4. ช่วยในการจับยึดอวัยวะต่างๆภายในเซลล์ (anchoring organelles)

5. เกี่ยวข้องกับการคอดของเยื่อหุ้มเซลล์ในการแบ่งไซโตปลาสซึมในเซลล์สัตว์ โดยแอ็คตินโมเลกุลทำงานร่วมกับไมโอซิน (myosin) โปรตีน

ข. อินเทอร์มีเดียท์ ฟิลาเม้นท์ (intermediate filaments) เป็นเส้นใยหนาขนาดกลางอยู่ระหว่างแอ็คติน ฟิลาเม้นท์ และไมโครทิบบลู มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8-12 nm ยาวประมาณ 10-100 μm ประกอบจากโปรตีนที่แตกต่างกันหลายกลุ่มที่มีลักษณะเป็นเส้น (fibrous proteins) และประสานกันคล้ายเชือก

หน้าที่ของอินเทอร์มีเดียท์ ฟิลาเม้นท์คือ

1) ลักษณะที่เป็นแท่งคล้ายเชือกของอินเทอร์มีเดียท์ไฟเบอร์ช่วยเสริมให้เซลล์สามารถทนต่อแรงกดดัน (reinforcing rods for bearing tension) ทำหน้าที่คล้ายกับเอ็น (tendon) ของเซลล์ ช่วยไม่ให้เซลล์ยืดออกมากเกินควร

2) ช่วยจับยึดอวัยวะต่างๆ ภายในเซลล์ (anchoring organelles)

ค. ไมโครทิบบลู (microtubules; Gk. mikros = เล็กๆ และL. *tubus* = ท่อ) เป็นเส้นใยที่มีขนาดหนาที่สุดในโครงร่างของเซลล์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 nm ยาวประมาณ 50 □m มีลักษณะเป็นท่อกลวงตรง (straight, hollow tubules) ประกอบจากโปรตีนที่มีลักษณะกลมทิบบลูลิน (tubulins) เรียงขนานกัน โดยแต่ละหน่วยย่อยคือ ทิบบลูลิน 1 คู่ (ภาพที่ 2.14b) ไมโครทิบบลูสามารถยืดยาวหรือหดสั้นได้ด้วยการเพิ่มหรือลดจำนวนของแต่ละหน่วยย่อย พบได้ในไซโตปลาสซึม โดยเฉพาะเซลล์ที่กำลังแบ่งเซลล์ ในเซลล์หลายชนิด มีส่วนที่ควบคุมการสร้างไมโครทิบบลู (microtubule organizing center; MOTC) เรียก เซ็นโตรโซม (centrosome, Gk. *centrum* = กึ่งกลาง และ*soma* = ร่างกาย)

หน้าที่ของไมโครทิบบลูคือ

1. ให้ความแข็งแกร่งและรักษารูปร่างของเซลล์

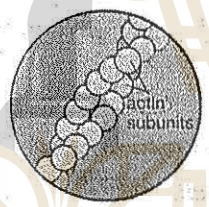
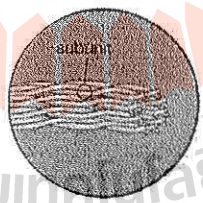
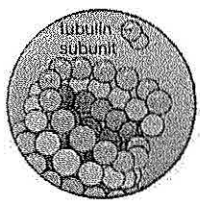
2. ช่วยยึดเกาะออร์แกนเนลล์ภายในเซลล์ ช่วยเป็นทางให้ออร์แกนเนลล์อื่นเคลื่อนที่ภายในเซลล์ เช่น ไลโซโซมอาจเคลื่อนไปตามไมโครทิบบลูเพื่อไปยังแวคคิวโออาหาร ช่วยนำทางในการเคลื่อนที่ของโครโมโซมเมื่อเกิดการแบ่งเซลล์

3. เป็นส่วนประกอบของซิลีย (cilia) แฟคเจลั่ม (flagelllem) โครงสร้างของเซ็นติโอล (centrioles) และสะปินเดอร์ (spindle)

รายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบของโครงร่างของเซลล์ทั้ง 3 ชนิดสรุปอยู่ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สาระสำคัญเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของไมโครฟิลาเม้นท์ อินเทอร์มีเดียท ฟิลาเม้นท์ และไมโครทิบบลู (Audesirk et al., 1999)

Table 6-2 Components of the Cytoskeleton

	Structure	Protein Structure	Function
Microfilaments	Twisted double strands, each consisting of a string of protein subunits;about 7 nm in diameter and up to several centimeters long (in muscle cells)	Actin 	Muscle contraction; changes in cell shape, including cytoplasmic division in animal cells; cytoplasmic movement; movement of pseudopodia
Intermediate Filaments	Consist of eight subunits composed of ropelike protein strands; 8–12 nm in diameter and 10–100 µm in length	Protein varies with tissue type 	Maintenance of cell shape; attachments of microfilaments in muscle cells; support of nerve cell extensions; attach cells together (desmosomes)
Microtubules	Tubes consisting of spiraling two-part protein subunits; about 25 nm in diameter and can be 50 µm in length	Tubulin 	Movement of chromosomes during cell division; movement of organelles within cytoplasm; movement of cilia and flagella

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.12.2 หน้าที่

โครงร่างของเซลล์มีหน้าที่โดยรวมดังนี้คือ

1) ควบคุมการคงรูปและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์

2) ช่วยในการเคลื่อนที่ของเซลล์

3) ช่วยในการเคลื่อนที่ของออร์แกนเนลล์ภายในเซลล์ เช่น ไมโครฟีลาเม้นท์ที่ยึดถุงเวสสิเคอร์ระหว่างขบวนการเอ็นโดไซโตซิส หรือช่วยนำทางของถุงเวสสิเคอร์เมื่อหลุดออกจาก ER หรือกอลจิ

4) เป็นโครงสร้างที่เป็นที่ยึดเกาะ (scaffold) ของเอนไซม์ หรือโมเลกุลขนาดใหญ่อื่นๆ ซึ่งอยู่ใน ไซโตบลาสซึม (ภาพที่ 2.14 c) เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาบอลิซึม หรือไรโบโซม จับกับแอ็คติน ฟิลาเม้นท์ โครงร่างของเซลล์ จึงเป็นโครงสร้างที่ทำงานร่วมกับ ER ในการควบคุมกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์

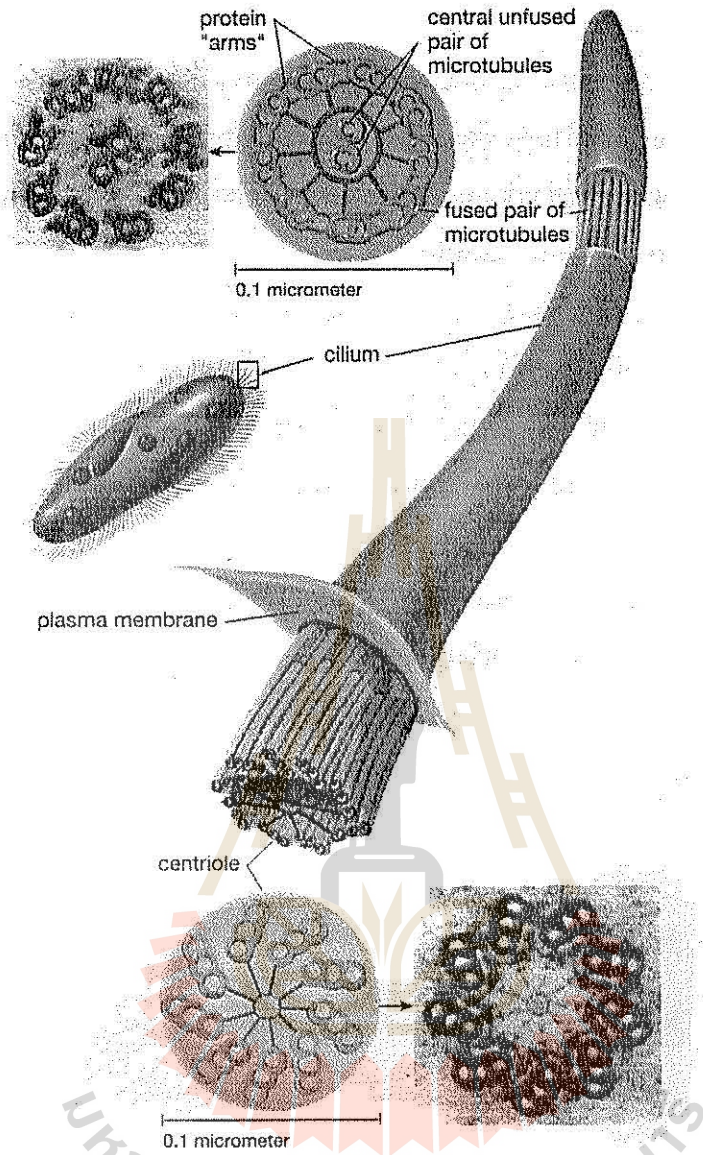
5) จำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์ เช่น ไมโครทิบบลูในการดึงโครโมโซมไปยังนิวเคลียสของเซลล์ลูก (daughter cells) หรือการแยกไซโตปลาสซึมออกจากกันระหว่างการแบ่งเซลล์

6) งานวิจัยปัจจุบันชี้แนะว่าโครงร่างเซลล์ช่วยควบคุมกิจกรรมต่างๆ (activities) ภายในเซลล์ โดยช่วยส่งสัญญาณ (singnals) จากผิวภายนอกสู่ภายในเซลล์

2.13 ซีเลีย (cilia ; เอกพจน์ = ซีเลียม; **cilium,** L. *cillium* = ขนตา) และ**แฟกจิลา (flagella** ; เอกพจน์ = แฟคเจลัม; flagellum, L. *flagello* = แส้)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Cilia และFlagella : การเคลื่อนที่ของเซลล์



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของซิเลียและแฟคเจลา (Fig. 6-18Audesirk et al., 1999)

2.13.1 ลักษณะสำคัญ

1) ทั้งซีเลียและแฟคเจลาเป็นอวัยวะที่มีลักษณะคล้ายเส้นด้ายหรือแส้ที่ยื่นออกจากเยื่อหุ้มผิวเซลล์ ที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ในลักษณะเป็นลูกคลื่น หรือแข็งที่อคล้ายพาย เซลล์ใช้ซีเลียหรือแฟคเจลา ในการเคลื่อนที่และการกินอาหาร ซีเลียมีขนาดสั้นกว่าและมีจำนวนมากกว่า แฟคเจลา

2) ทั้งซีเลียและแฟลเจลามีโครงสร้างที่เหมือนกันคือ มี ส่วนก้าน (shaft) ประกอบด้วยท่อไมโครทิบบลูจำนวน 9 คู่ โดยมีไมโครทิบบลู 8 คู่ล้อมรอบไมโครทิบบลู 1 คู่ตรงกลางเป็นวงกลม (ภาพที่ 2.15) เรียกการจัดเรียงตัวในลักษณะเช่น นี้ว่า "การเรียงตัวแบบ 9+2" (9+2 array) แต่ละคู่ของไมโครทิบบลูทั้ง 8 ประกอบด้วย 2 ท่อของไมโครทิบบลูหลอม (fuse) ติดกัน และมีโปรตีนเรียก ไดนีน (dynein) อยู่ด้านข้างยึดแต่ละคู่ของไมโครทิบบลูเข้าด้วยกัน (ภาพที่ 2. 15) เมื่อมี ATP ไดนีนทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ช่วยขับเคลื่อนการเคลื่อนไหวของไมโครทิบบลูคู่ที่ติดกัน ส่วนคู่ของไมโครทิบบลู ที่อยู่กลางไม่ได้หลอมติดกัน

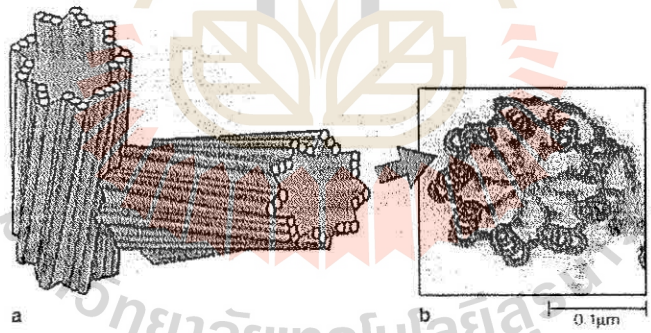
3) ส่วนฐาน (basal body) ของซีเลียและแฟลเจลา ซึ่งอยู่ในไซโตปลาสซึมมีการจัดเรียงตัวในลักษณะเช่น เดียวกับเซ็นตริโอล (centrioles) คือ มีไมโครทิบบลู 9 กลุ่มล้อมรอบเป็นวงแหวน แต่ละกลุ่มประกอบด้วยไมโครทิบบลู 3 ท่อ และไม่มีไมโครทิบบลูตรงกึ่งกลาง (ภาพที่ 2.15) เรียกลักษณะการเรียงตัวแบบนี้ว่า "การเรียงตัวแบบ 9+0" (9+0 arrangement)

2.13.2 หน้าที่

1) ช่วยในการเคลื่อนที่ของเซลล์

2) ช่วยพัดน้ำจากภายนอกเข้าสู่เซลล์

2.14 เซ็นติโอล์ (Centrioles; Gk. *Centrum* = ศูนย์กลาง)



ภาพที่ 2.15 **โครงสร้างของเซ็นตริโอล และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ของ basal body จาก protistan (Seccinobacculus) (a) (Maders et al., 2001) (b) (Starr, 1994)**

2.14.1 ลักษณะสำคัญ

1) เป็นออร์แกนเนลที่มีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอกสั้นๆ เกิดจากกลุ่มไมโครทิบบลู 9 กลุ่มเรียงตัวล้อมรอบเป็นวงแหวน โดยไม่มีไมโครทิบบลูในบริเวณกึ่งกลาง (ภาพที่ 2.16) เรียกลักษณะการเรียงตัวดังกล่าวว่าเป็นแบบ "9+0" (9+0 arrangement) โดยแต่ละกลุ่มย่อยประกอบด้วยไมโครทิบบลู 3 ท่อ เชื่อมติดกัน (triplet)

2) มีขนาดเล็กมาก ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนในการมองเห็น โดยเฉลี่ยเซ็นตริโอล ยาวประมาณ 0.3-0.5 μm กว้างประมาณ 0.15 μm ในเซลล์หลายชนิดมีส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการสร้าง การสลาย การเคลื่อนตัว และการจัดเรียงตัวของไมโครทิบบลู ที่เป็นโครงสร้างช่วยการยึดเกาะ (scaffold structures) ต่างๆ ภายในเซลล์ เรียกว่า microtuble organizing center (MTOC) หรือเซ็นโตรโซม (centrosome) ซึ่งมีโปรตีนและสารอื่นในไซโตปลาสซึมเป็นส่วนประกอบ เซ็นโตรโซมในเซลล์สัตว์และโปรติส (protists) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซ็นตริโอลหนึ่งคู่ ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกัน และมักอยู่ใกล้เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear envelope) ดังนั้นเซ็นตริโอลน่าจะเกี่ยวข้องกับขบวนการสร้างหรือสลายไมโครทิบบลูเช่น กัน

3) มีดีเอ็นเอ ของตนเอง สามารถแบ่งตัวได้ก่อนแบ่งนิวเคลียสเล็กน้อย ในเซลล์สัตว์ภายหลังการจำลองตนเอง เซ็นติโอล แต่ละคู่จะอยู่ในแนวตั้งฉากกัน และเป็นส่วนหนึ่งของเซ็นโตรโซมที่แยกจากกันไปแต่ละขั้วของเซลล์ลูก ในเซลล์พืชและฟังไจ มีสิ่งที่คล้ายเซ็นโตรโซม แต่ไม่มีเซ็นตริโอล ดังนั้นเซ็นตริโอลจึงไม่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ไมโครทิบลูในไซโตปลาสซึม

2.14.2 หน้าที่

1) เกี่ยวข้องกับการสร้างและการจัดเรียงตัว (organization) ของไมโครทิบบลูในเซลล์เปรียบเสมือนโรงงานผลิตส่วนประกอบของโครงร่างเซลล์ เช่น สร้างไมโครทิบบลูที่เกาะกับไคเนโตคอล (kinetochore) ของโครโมโซม เพื่อดึงโครโมโซมแยกจากกัน ขณะที่มีการแบ่งนิวเคลียส และสร้าง ไมโครทิบบลู ที่กระจายในไซโตบลาสซึม

2) ทำหน้าที่ช่วยในการแบ่งเซลล์ ช่วยให้เกิดในระนาบ (plane) ที่เหมาะสม

3) เป็นโครงสร้างส่วนฐาน (basal body) ของซีเลียและแฟลเจลัม โดยเซ็นตริโอลจะเคลื่อนตัวไปใกล้กับเยื่อหุ้มผิวเซลล์ และเริ่มสร้างไมโครทิบบลูแทงเลยออกไปเกิดเป็นส่วนแกนของซีเลียและแฟลเจลัม

2.15 อินครูชั่น (Inclusion)

2.15.1 ลักษณะสำคัญ เป็นสิ่งที่ไม่มีชีวิตต่างๆ ในไซโตปลาสซึม ประกอบด้วยผลิตผลจากเมตาบอลิซึม เช่น ของเสียต่างๆ และอาหารที่สะสมภายในเซลล์ ตัวอย่างของสิ่งต่างๆ เหล่านี้มีทั้งไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และรงควัตถุ (pigments) ต่างๆ

2.15.2 หน้าที่ เป็นสิ่งจำเป็นช่วยให้ขบวนการต่างๆ ของเซลล์ดำเนินไปตามปกติ เปรียบดังน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ที่ทำให้เครื่องยนต์เดินไปได้เป็นปกติ อินคลูชั่นในเซลล์พืชและสัตว์จะแตกต่างกัน

ตัวอย่างอินคลูชั่นในพืชเช่น กรดมาลิก (malic acid) ในแอปเปิล กรดทาทาริค (tartaric acid) ในมะขาม และมะดัน แอลคอลอยด์ (alkaloid) และคาเฟอีน (caffeine) ในกาแฟ ทีโอไฟลีน

(theophylline) ในชา น้ำตาล ใน cell sap, เมล็ดแป้ง (starch grain) และแคลเซียม ออ๊กซาเลท (calcium oxalate) ในแวคคิวโอ

อินคลูชั่นในเซลล์สัตว์ เช่น ไข่แดงของเปือกไก่ อยู่ใน vacuole glycogen granule แหล่งสะสม คาร์โบไฮเดรต ไขมัน รงควัตถุต่างๆ และเมลานิน (melanin) ในเซลล์ใต้ผิวหนัง

3. การเปรียบเทียบเซลล์ในสิ่งมีชีวิตต่างชนิด

3.1 ลักษณะพื้นฐานที่สำคัญของโปรคาริโอตส์ และยูคาริโอตส์

สิ่งมีชีวิตในโลก สามารถจัดแบ่งได้เป็นโปรคาริโอติค หรือยูคาริโอติค เซลล์ (ยกเว้น ไวรัสที่ไม่มีคุณสมบัติของเซลล์) ลักษณะพื้นฐานสำคัญที่มีร่วมกันทั้งโปรคาริโอติค และยูคาริโอติค เซลล์คือ

1. มีเยื่อหุ้มผิวเซลล์
2. มีดีเอ็นเอ เป็นสารพันธุกรรมของเซลล์
3. มีเอนไซม์ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นโปรตีน และส่วนน้อยเป็นอาร์เอ็นเอ เรียกไรโบไซม์ ช่วยควบคุมปฏิกริยาทั้งหมดที่เกิดภายในเซลล์
4. มีอาร์เอ็นเอเป็นตัวถ่ายทอดคำสั่งจากดีเอ็นเอ
5. สังเคราะห์ โปรตีนที่ไรโบโซม
6. ใช้เอทีพีเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้น

3.2 ลักษณะสำคัญที่ต่างกันระหว่างโปรคาริโอติค และยูคาริโอติค เซลล์

ถึงแม้ทั้งโปรคาริโอติค และยูคาริโอติคเซลล์จะมีลักษณะพื้นฐานสำคัญร่วมกัน แต่เซลล์ทั้งสองประเภทมีโครงสร้างบางชนิดที่แตกต่างกัน เช่น เดียวกับโครงสร้างบางชนิดในยูคาริโอติค เซลล์ที่มีเฉพาะในพืช หรือในสัตว์เท่านั้น ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนประกอบต่างๆ ระหว่างโปรคาริโอติด และยูคาริโอติด เซลล์ (Starr, 1994)

Table 3.3 Summary of Typical Components of Prokaryotic and Eukaryotic Cells

Cell Component	Function	Prokaryotic	Eukaryotic			
		Monaran	Protistan	Fungus	Plant	Animal
Cell wall	Protection, structural support	✓*	✓*	✓	✓	none
Plasma membrane	Control of substances moving into and out of cell	✓	✓	✓	✓	✓
Nucleus	Physical separation and organization of DNA	none	✓	✓	✓	✓
DNA	Encoding of hereditary information	✓	✓	✓	✓	✓
RNA	Transcription, translation of DNA messages into specific proteins	✓	✓	✓	✓	✓
Nucleolus	Assembly of ribosomal subunits	none	✓	✓	✓	✓
Ribosome	Protein synthesis	✓	✓	✓	✓	✓
Endoplasmic reticulum	Initial modification of many newly forming proteins; lipid synthesis	none	✓	✓	✓	✓
Golgi body	Final modification of proteins, lipids; sorting and packaging them for use inside cell or for export	none	✓	✓	✓	✓
Lysosome	Intracellular digestion	none	✓	✓*	✓*	✓
Mitochondrion	ATP formation	**	✓	✓	✓	✓
Photosynthetic pigment	Light–energy conversion	✓*	✓*	none	✓	none
Chloroplast	Photosynthesis, some starch storage	none	✓*	none	✓	none
Central vacuole	Increasing cell surface area, storage	none	none	✓*	✓	none
Cytoskeleton	Cell shape, internal organization, basis of cell motion	none	✓*	✓*	✓*	✓
Complex flagellum, cilium	Movement	none	✓*	✓*	✓*	✓

*Known to occur in at least some groups.
**Aerobic reactions do occur in many groups, but mitochondria are not involved.

จากตารางที่ 2. **โครงสร้างที่พบเฉพาะในยูคาริโอดส์ แต่ไม่มีในโปรคาริโอดส์** ได้แก่ นิวเคลียส ER ไมโครทิบบลู เซ็นตริโอลล์ โกลจิ บอดี ไมโตคอนเดรีย คลอโรพลาส ไลโซโซม แวคคิวโอลล์ **และโครงสร้างที่พบเฉพาะใน พืช และไม่พบในสัตว์** ได้แก่ ผนังเซลล์ แวคคิวโอกลาง และคลอโรพลาส

4. ทฤษฎีเอ็นโดซิมไบโอซีส (Endosymbiosis theory)

นักวิทยาศาสตร์บางคน โดยเฉพาะ Lynn Margulis เชื่อในทฤษฎีเอ็นโดซิมไบโอซิส ที่ระบุว่า ไมโตคอนเดรีย คลอโรพลาส และเซ็นตริโอล์ มีต้นกำเนิดจากเซลล์ของแบคทีเรีย ที่เข้าไปอาศัยอยู่ใน ยูคาริโอดส์แบบ ซิมไบโอซิส (symbiosis) และภายหลังได้เกิดการวิวัฒนาการ จนเป็นอวัยวะหนึ่งของเซลล์ยูคาร์ริโอดส์ เช่น ไมโตคอนเดรีย และคลอโรพลาส น่าจะเกิดจากการวิวัฒนาการของ aerobic heterotrohic bacteria และไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ตามลำดับ โดยเซลล์เจ้าบ้าน (host cell) ยูคาร์ริโอดส์ ได้ผลประโยชน์ตอบแทนคือ ก๊าซออกซิเจน จากไมโตคอนเดรีย หรืออาหารที่สังเคราะห์ขึ้นจากไซยาโนแบคทีเรีย แม้แต่แฟคเจร่า ของยูคาริโอดส์ เชื่อว่าได้มาจากสไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โรคีท โปรคาริโอตส์ (spirochete prokaryote) ที่มาจับ (attach) กับเซลล์เจ้าบ้าน หลักฐานที่สนับสนุนทฤษฎีเอ็นโดซิมไบโอซิส คือ

1. ไมโตคอนเดรีย และคลอโรพลาส มีขนาด และโครงสร้างใกล้เคียงกับขนาดของแบคทีเรีย
2. อวัยวะทั้งสองถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มผิวสองชั้น เยื่อหุ้มผิวชั้นนอกอาจได้จากถุงเวสสิเคอร์ที่เกิดจากการกลืนกินเซลล์แบคทีเรีย เยื่อหุ้มผิวชั้นในอาจเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียเอง
3. ทั้งไมโตคอนเดรียและคลอโรพลาสสามารถทวีจำนวน (reproduce) อย่างเป็นอิสระจากการแบ่งเซลล์ ต่างมีสารพันธุกรรมที่สามารถเพิ่มปริมาณด้วยการจำลองตนเอง คล้ายกับวิธีสืบพันธุ์ด้วยการแบ่งเซลล์ในแบคทีเรีย นอกจากนั้น ดีเอ็นเอในอวัยวะทั้งสองมีลักษณะเป็นวงกลมเหมือนกับดีเอ็นเอในเซลล์แบคทีเรีย
4. ถึงแม้โปรตีนส่วนใหญ่ในคลอโรพลาส และไมโตครอนเดรียจะถูกสังเคราะห์โดยเซลล์ยูคาริโอตส์ แต่อวัยวะทั้งสองมีไรโบโซมของตนเองที่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้ และไรโบโซมของอวัยวะทั้งสองคล้ายกับไรโบโซมของแบคทีเรีย
5. ลำดับเบสในอาร์เอ็นเอของไรโบโซมในคลอโรพลาส และไมโตครอนเดรียชี้แนะว่าอวัยวะทั้งสองน่าจะกำเนิดจากยูแบคทีเรีย (eubacteria)

สรุป

โปรคาริโอติคและยูคาริโอติค เซลล์มีโครงสร้างและหน้าที่ขององค์ประกอบของเซลล์บางอย่างเหมือนกันและแตกต่างกัน ส่วนประกอบหลักทั้งของโปรคาริโอติค และยูคาริโอติคเซลล์คือ เยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์ (ไม่มีในเซลล์สัตว์ ของยูคาริโอติค เซลล์) ทำหน้าที่ห่อหุ้มไซโตปลาสซึม และแลกเปลี่ยนสารกับสิ่งแวดล้อม มีสารพันธุกรรมที่เป็นดีเอ็นเอ และมีไรโบโซม ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน เซลล์ของแบคทีเรียหรือยูคาริโอตส์บางชนิดอาจมีแฟคเจร่า ช่วยในการเคลื่อนที่ของเซลล์ และมีรงค์วัตถุช่วยการสังเคราะห์แสง ลักษณะเด่นที่สำคัญของโปรคาริโอติค เซลล์คือ ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง สารพันธุกรรม หรือดีเอ็นเออยู่ในไซโตบลาสซึมโดยไม่มีเยื่อหุ้มเรียกว่า นิวคลิออยด์ ไม่มีอวัยวะที่มีเยื่อหุ้ม หรือออร์แกนเนลล์ภายในเซลล์ และไม่มีไซโตสเกลเลตัน ซึ่งแตกต่างจากยูคาริโอติค เซลล์ที่สารพันธุกรรมมีเยื่อหุ้มชัดเจน เรียกว่านิวเคลียส อยู่บริเวณกึ่งกลางเซลล์ และโครงสร้างภายในมีอวัยวะที่มีเยื่อหุ้มทำหน้าที่แยกส่วนการเกิดปฏิกริยาเคมีต่างๆ ภายในเซลล์ และประสานการเกิดปฏิกริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกันให้เกิดตามขั้นตอนอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ออร์แกนเนลล์ที่มีเฉพาะในยูคาริโอติค เซลล์ ได้แก่ ไมโตคอนเดรีย ทำหน้าที่เป็นแหล่งผลิตพลังงานให้เซลล์ เอ็นโดพลาสมิค เรทติคิวลัม ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน สเตียรอยด์ ลิปิด และเก็บรักษาแคลเซียม โดยมีกอลจิ บอดี้ ร่วมทำหน้าที่ช่วยการสังเคราะห์ การบรรจุ และการกระจายไปยัง

เป้าหมายต่างๆ ภายในเซลล์ เพอร์ออกซิโซม ช่วยเก็บเอ็นไซม์ที่สลายไขมัน ทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ รวมทั้งอนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดภายในเซลล์ ไลโซโซม ช่วยเก็บสะสมเอ็นไซม์ที่สลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จุลินทรีย์ และทำลายส่วนประกอบที่ชำรุดต่างๆ ภายในเซลล์ แวคคิวโอล เป็นแหล่งเก็บสารประกอบอินทรีย์ อนินทรีย์ ที่พักของอาหาร ของเสียจากขบวนการเมตาบอลิซึม และรงควัตถุต่างๆ มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับความแต่งของเซลล์ และรักษาความสมดุลย์ของน้ำภายในเซลล์ และคลอโรพลาสที่มีมีเฉพาะในเซลล์พืช หรือในโปรติส ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง นอกจากนั้น ยูคาริโอติคเซลล์ทุกชนิดมีไซโตสเกลเลตัน ช่วยยึดเกาะออร์แกนเนลล์ รักษารูปทรง และประสานงานต่างๆ ภายในเซลล์ โปรตีนที่สำคัญของไซโตสเกลเลตัน ได้แก่ ไมโครฟิลลาเม้นท์ ไมโครทิบบลู และอินเทอร์มีเดียท ไฟเบอร์ ทฤษฎีเอ็นโดซิมไบโอซิส ระบุว่าออร์แกนเนลล์บางชนิดในยูคาริโอดส์ เช่น คลอโรพลาส ไมโตคอนเดรีย เซ็นตริโอลล์ และแฟลเจร่า เป็นเซลล์แบคทีเรียที่เข้าไปอาศัยอยู่ในเซลล์ยูคาริโอติค แบบซิมไบโอซิส และเกิดวิวัฒนาการร่วมกันจนเป็นอวัยวะส่วนหนึ่งของยูคาริโอติค เซลล์

กิจกรรมต่อเนื่องตอนที่ 2.3

1. ให้นักศึกษาเข้าศึกษาผ่านปฏิสัมพันธ์ทางจอภาพ การบรรยายหน่วยที่ 2 เรื่องเซลล์: หน่วยพื้นฐานของชีวิต เพื่อทำแบบฝึกหัดดังนี้
   1.1 ศึกษาโครงสร้างสามมิติ และระบุชื่อของส่วนประกอบต่างๆ ภายในโปรคาริโอติค และยูคาริโอติคเซลล์จากรูปที่กำหนดให้
   1.2 ศึกษาหน้าที่ของส่วนประกอบต่างๆ ภายในโปรคาร์ริโอติค และยูคาริโอติค เซลล์ โดยการคลิกแต่ละส่วนประกอบของเซลล์ และอ่านคำบรรยายของหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบจากรูป เพื่อทบทวนการบรรยายในห้องเรียน ก่อนทำแบบฝึกหัดการจับคู่ระหว่างส่วนประกอบของเซลล์ และหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบจากโจทย์ที่กำหนดให้
   1.3 ทำแบบฝึกหัดการเปรียบเทียบเซลล์แบคทีเรีย เซลล์พืช และเซลล์สัตว์ ในด้านของโครงสร้างภายนอก (exterior structure) โครงสร้างภายใน (interior structure) และอวัยวะภายในเซลล์ (orgnaelles) และการวิวัฒนาการจากโจทย์ที่กำหนด
2. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มย่อย ค้นคว้าเพิ่มเติม และนำเสนอโดยใช้เวลาไม่เกิน 10-15 นาทีต่อกลุ่มในหัวข้อดังนี้
   2.1 จากความรู้เรื่องเซลล์ และบทเรียนที่แล้วเรื่องเคมีพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต อภิปรายการคาดการณ์ว่าสิ่งมีชีวิตจากนอกโลกถ้ามีอยู่จริง น่าจะมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่เหมือน

หรือแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตในโลก เพราะเหตุใด (เฉลย: บทความ "All life forms share fundamental feautures" ใน Campbell , 2000?????)

2.2 Actin filament หรือMicrofilament พบในเซลล์ประเภทใดบ้าง และอธิบายหลักการสั้นๆ เกี่ยวกับกลไกของ actin filament ที่ช่วยในการเคลื่อนที่ของเซลล์ หรือออร์แกนเนลภายในเซลล์ (เฉลย: Actin filament for structure and movement p. 72 ใน Mader. S. S. 1998) อภิปรายว่าอนุภาคของไวรัสสามารถจัดเป็นเซลล์ได้หรือไม่

2.3 ออร์แกนเนลชนิดใดบ้างที่จัดเป็น endomembrane system ของเซลล์ และการทำงานของแต่ละออร์แกนเนลล์ใน endomembrane system มีความสัมพันธ์ กันอย่างไร (เฉลย: A review of the endomembrane system P. 62, Campbell et al., 2000)

2.4 อ่านหัวข้อ "Abnormal lysosomes can cause fatal diseases" p. 61 ใน Campbell et al., 2000 (หรือบทความอื่นที่เกี่ยวข้อง) และนำเสนอหัวข้อ "ความผิดปกติของ lysosome มีผลกระทบต่อสุขภาพอย่างไร"

2.5 อภิปรายว่ายูคาริโอติคเซลล์ได้ประโยชน์อะไรจากการมีโปรคาริโอติคเซลล์เข้าไปอาศัยอยู่ตามทฎษีของ endosymbiosis (เฉลย: The evolution of organelles, p. 107, Caine et al., 2000)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่

2.4

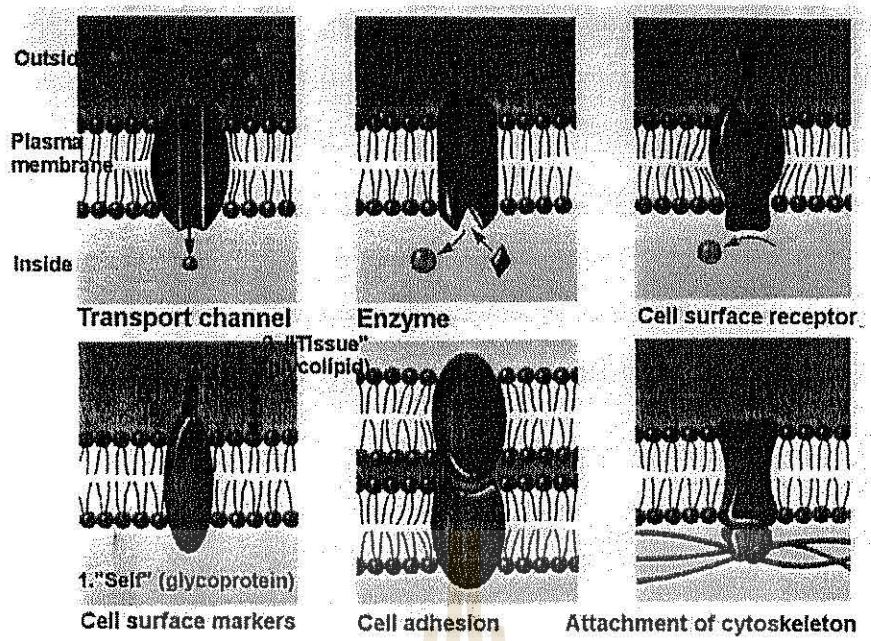
การตอบสนองของเซลล์ต่อสิ่งแวดล้อม

เซลล์มีการติดต่อและตอบสนองกับสิ่งแวดล้อมภายนอกตลอดเวลา ในด้านการลำเลียงอาหาร แก๊ซ สารเคมี หรือแม้กระทั่งการนำเซลล์อื่นเข้าสู่ภายใน รวมทั้งการขับถ่ายของเสีย หรือปล่อยสารชนิดต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ขบวนการติดต่อและตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก และระหว่างเซลล์ด้วยกัน เกิดผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ โดยมีโปรตีนหลายชนิดที่เยื่อหุ้มผิว และภายในไซโตปลาสซึมทำหน้าที่ซึ่งแตกต่างกันในการรับส่งสัญญาณต่างๆ (signal transduction) ระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ การติดต่อ และการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก หรือระหว่างเซลล์ด้วยกันเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในสิ่งมีชีวิต เพราะปราศจากความสามารถดังกล่าว สิ่งมีชีวิตไม่อาจดำรงอยู่ได้

1. บทบาทและหน้าที่ของโปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์

เซลล์มีการติดต่อหรือตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมรอบตัวผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ โดยมีโปรตีนหลายชนิด ที่ฝังตัวหรือลอยอยู่ในเยื่อไขมัน 2 ชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีนเหล่านี้ไม่ได้อยู่นิ่ง แต่มีการเคลื่อนไหวไปมา และอาจเกิดปฏิกริยาร่วมกัน (interaction) เพื่อทำหน้าที่แตกต่างกันดังนี้คือ (แสดงในภาพที่ 2.16)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.16 แสดงโปรตีนที่ผิวเซลล์ซึ่งมีบทบาทและหน้าที่แตกต่างกัน (Raven and Johnson, 1995 b)

1.1 ช่องทางลำเลียงสาร (Transport Channel)

โปรตีนที่ผิวเซลล์ทำหน้าที่เป็นช่องทางให้สารผ่านเข้าออกจากเซลล์ ก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนสารต่างๆ ระหว่างเซลล์ด้วยกัน หรือระหว่างเซลล์กับสิ่งแวดล้อมภายนอก

1.2 ตัวพา (Carrier Protein)

โปรตีนทำหน้าที่เป็นตัวพาจำเพาะ (specific carrier) จับกับสารเฉพาะกลุ่ม เพื่อลำลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

1.3 ตัวรับรู้ที่ผิว (Cell Surface Receptor)

โปรตีนทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้ รับส่งสัญญาณต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่เซลล์ โดยตัวรับรู้ (receptor) สามารถจับกับโมเลกุลของตัวส่งสัญญาณเรียกว่า ลีแกน (ligand) อย่างเฉพาะเจาะจง ทำให้เกิดสัญญาณ หรือคำสั่งเฉพาะให้เซลล์ปฏิบัติหน้าที่ ตามต้องการ โดยลีแกนไม่จำเป็นต้องเดินทางผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เข้าสู่ภายในเซลล์ โดยตรง เช่น คอมพีเม้นท์โปรตีนชนิด 5a (complement protein 5a; C5a) สามารถจับกับตัวรับรู้ (C5a receptor) บนผิวของแมสเซลล์ (mast cell; เซลล์ชนิดหนึ่งของระบบภูมิคุ้มกันที่เกี่ยวข้องกับโรคภูมิแพ้) ทำให้เกิดการหลั่งสารต่างๆ ที่ก่อให้เกิดอาการอักเสบ และอาการของโรคภูมิแพ้ เป็นต้น

1.4 เครื่องหมายจำแนกชนิดเซลล์ (cell surface marker)

โปรตีนจำเพาะที่เยื่อหุ้มผิวบางพวกทำหน้าที่เป็นเครื่องหมาย (marker) เพื่อจำแนกชนิดเซลล์ ช่วยในการจดจำระหว่างเซลล์ ต่างกลุ่ม ทำให้การทำงานร่วมกันระหว่างกลุ่มเซลล์ต่างชนิดภายในร่างกายเกิดขึ้นอย่างถูกต้อง เช่น เซลล์เม็ดเลือดขาวของระบบภูมิคุ้มกัน จะเลือกทำลายเฉพาะเซลล์ซึ่งมีโปรตีนเครื่องหมายที่แปลกปลอมอยู่ที่ผิวเท่านั้น โดยไม่กินหรือทำลายเซลล์ของร่างกายตนเอง เซลล์ที่ทำหน้าที่ช่วยในการตอบสนองของเซลล์ภูมิคุ้มกันชนิดอื่น หรือฆ่าเซลล์แปลกปลอมมีโปรตีนเครื่องหมายที่ผิวต่างกัน คือ โปรตีน CD4 และCD8 ตามลำดับ เป็นต้น

1.5 เอ็นไซม์ (enzyme)

เป็นโปรตีนช่วยเร่งปฏิกริยาเคมีต่างๆ ในขบวนการเมตาบอลิซึมให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในร่างกายของสิ่งมีชีวิต

1.6 การจับยึดเซลล์ (cell adhesion)

เป็นโปรตีน ที่ช่วยให้เซลล์มีการจับยึดหรือติดกันได้ดีขึ้น ทำให้เกิดการติดต่อเพื่อทำหน้าที่ร่วมกันระหว่างเซลล์ดีขึ้น เช่น สารที่หลั่งจากเซลล์ ที่ได้รับบาดเจ็บสามารถกระตุ้นให้ เกิดโมเลกุลของแอ็ดฮีชั่น (adhesion molecules) บนเยื่อบุผิวของเส้นเลือด ทำให้เซลล์ของเม็ดเลือดขาวเข้ามาเกาะและทำหน้าที่ได้ดีขึ้น ตัวอย่างแอ็ดฮีชั่นโมเลกุลได้แก่ อีแลม-วัน (ELAM-1) หรืออี-ซีเล็คติน (E-selectin) และไอแคม-วัน (ICAM-1) เป็นต้น

1.7 ที่ยึดเกาะโครงร่างของเซลล์ (attachment of cytoskeleton)

เป็นโปรตีนที่ช่วยยึดไซโตสเกลเลตันภายในเซลล์ให้อยู่ในตำแหน่งที่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างเหมาะสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. การลำเลียงสารผ่านเข้าออกของเซลล์

การลำเลียงสารต่างๆผ่านเยื่อของเซลล์เกิดขึ้นตลอดเวลา สารที่เป็นวัตถุดิบในการสร้างอาหารให้กับเซลล์ต้องลำเลียงเข้าสู่เซลล์ในขณะที่ของเสียต้องถูกกำจัดโดยการขับถ่ายออกนอกเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ ควบคุมและรักษาความเข้มข้นของสารต่างๆ ภายในเซลล์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และในยูคาริโอติค เซลล์มีระบบเยื่อภายในห่อหุ้มออร์แกนเนลล์ ต่างๆ เพื่อควบคุมให้สารต่างๆ ในออร์แกนเนลล์ อยู่ในระดับที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการลำเลียงสารผ่านเยื่อ

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นเซมิเพอร์มีเอเบอร์ เมมเบรน (semipermeable membrane) มีคุณสมบัติยอมให้สารหรืออิออนบางชนิดเท่านั้นให้ผ่านเยื่อ และผ่านด้วยอัตราเร็วไม่ทัดเทียมกัน ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้คือ

2.1.1 คุณสมบัติในการละลายของสาร สารที่ละลายในไขมันผ่านเข้าออกได้ดีดีกว่าสารที่ไม่ละลายในไขมัน

2.1.2 ขนาดและน้ำหนักโมเลกุล สารขนาดเล็กที่ผ่านรูพรุนของเยื่อได้ สามารถผ่านเข้าออกได้ดีกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น กลูโคส กรดอมิโน น้ำ ผ่านเข้าออกได้ด้วยวิธีการแพร่ ส่วนสารประกอบอินทรีย์ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่ เช่น แป้ง ลิปิด โปรตีนเข้าออกโดยการแพร่ไม่ได้ ต้องอาศัยขบวนการพิเศษในการลำเลียงสารผ่านเยื่อ

2.2 กลไกการผ่านเข้าออกของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

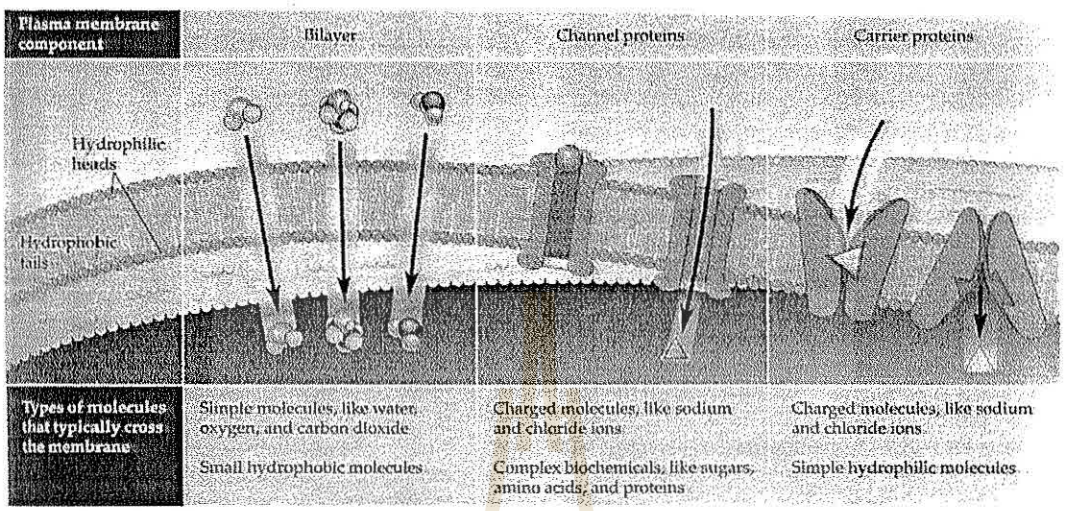
กลไกการผ่านเข้าออกของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ มี 3 ประเภทคือ ขบวนการลำเลียงสารที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง (passive transport) ไม่ต้องอาศัยพลังงาน และขบวนการที่ต้องอาศัยพลังงานภายในเซลล์โดยการสร้างถุงจากเนื้อเยื่อ หรือการลำเลียงแบบแอ๊คทีฟ

2.2.1 ขบวนการลำเลียงสารที่ไม่อาศัยพลังงาน

1) การแพร่แบบธรรมดา (simple or passive diffusion) (ภาพที่ 2.) เป็นการลำเลียงสารโมเลกุลขนาดเล็กผ่านเยื่อจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ไม่ใช้พลังงาน การแพร่ของสารขึ้นกับความเข้มข้นของสาร ความสามารถในการละลายตัวในไขมันของสารหรือค่าพาร์ทิชั่น โคเอฟฟิเชียน (partition coefficient) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณสารที่ละลายได้ในไขมันต่อปริมาณสารที่ละลายได้ในน้ำ สารที่มีขนาดเล็กและไม่มีประจุจะสามารถแพร่ผ่านเยื่อได้ดีกว่าด้วยวิธีการแพร่แบบธรรมดา ตัวอย่างเช่น การแพร่ของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เซลล์เม็ดโลหิตแดง การแพร่ของน้ำ และการแพร่ของแอลกอฮอล์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นต้น

2) การแพร่โดยผ่านช่องทางโปรตีน (protein channel) หรืออาศัยตัวพา (facilitate diffusion) (ภาพที่ 2.) เป็นการลำเลียงสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง สู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า โดยไม่อาศัยพลังงาน สำหรับสารที่มีขนาดใหญ่ และละลายในน้ำได้ดี (hydrophilic substance) การลำเลียงอาจเกิดโดยการผ่านช่องทางของโปรตีนที่ผิว ถ้าสารมีขนาดและประจุที่เหมาะสม หรืออาจเกิดโดยอาศัยโปรตีนจำเพาะที่เป็นตัวพา (passive carrier protein) ช่วยลำเลียงสาร โปรตีนที่เป็นตัวพาจำเพาะจับกับสาร พาสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อผ่านเรียบร้อย จึงปล่อยสารที่ลำเลียง และตัวพากลับเป็นอิสระ พร้อมที่จะทำหน้าที่ลำเลียงสารใหม่ได้อีกรอบ ต่างจากการแพร่แบบธรรมดา ที่ต้องอาศัยตัวพาบนเยื่อหุ้มเซลล์ และมีสภาวะการอิ่มตัวเมื่อความเข้มข้นของสารภายในเซลล์ สูง ลักษณะที่สำคัญอีกประการคือ ความจำเพาะของตัวพา ที่ช่วยการแพร่ผ่านเยื่อของ

โมเลกุลที่จำเพาะ หรือกลุ่มโมเลกุลที่มีโครงสร้างคล้ายกันเท่านั้น ตัวอย่างการแพร่แบบอาศัยตัวพา เช่น การลำเลียงกลูโคส กรดอะมิโนบางชนิด และการเคลื่อนที่ของแคลเซียม (calcium) เข้าสู่เซลล์ เป็นต้น



ภาพที่ 2.17 **แสดงการลำเลียงสารแบบ simple diffusion (a) passive transport ที่อาศัย channel protein (b) และcarrier protein ใน facilitate difffusion (c) (Caine et al., 2000)**

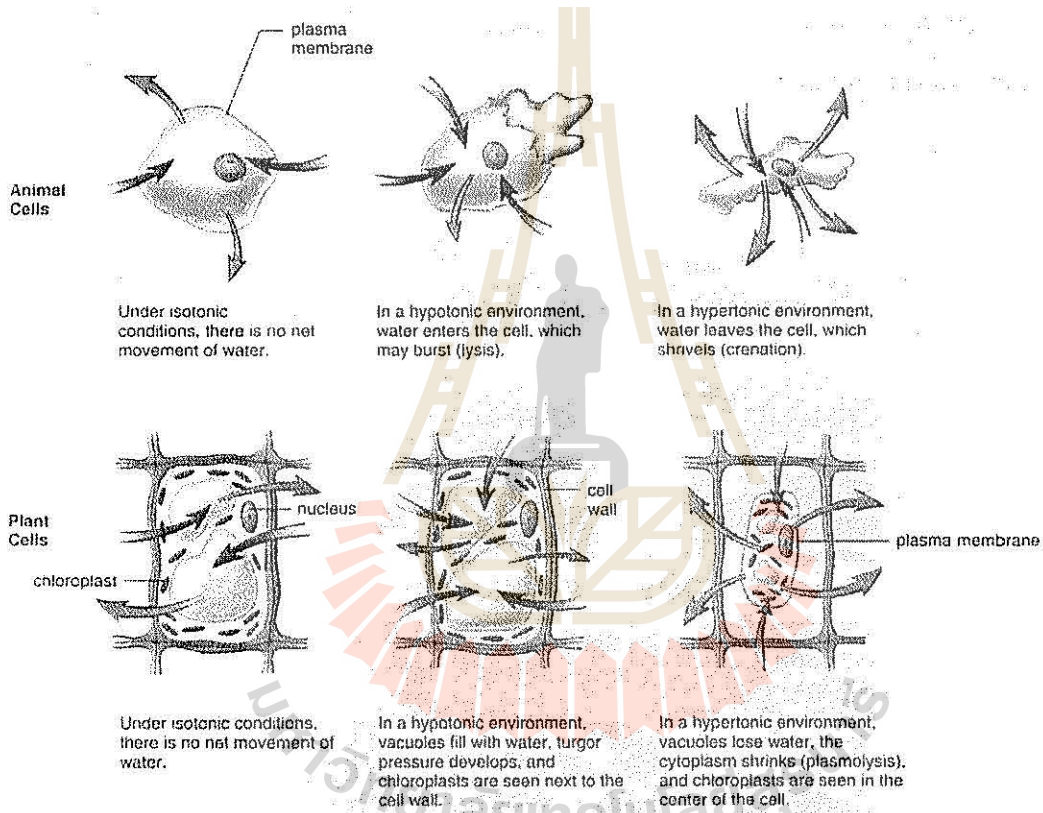
3) ออสโมซิส (osmosis) เป็นขบวนการเคลื่อนที่หรือการแพร่ของน้ำผ่านเยื่อ ในการตอบสนองต่อความเข้มข้นหรือความดันที่แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ การเคลื่อนที่ของน้ำหรือตัวทำละลายเกิดจากสารละลายที่เจือจาง (มีโมเลกุลของน้ำมาก) ผ่านเยื่อไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า (มีโมเลกุลของน้ำน้อย) เกิดในกรณีที่เยื่อยอมให้โมเลกุลของน้ำผ่านได้สะดวกแต่ไม่ให้โมเลกุลของตัวถูกละลาย (solute) ผ่าน หรืออาจกล่าวได้ว่าขบวนการออสโมซิสเป็นขบวนการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อจากบริเวณที่สารมีความเข้มข้นต่ำสู่บริเวณที่สารมีความเข้มข้นสูงกว่านั่นเอง ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของน้ำจากดินเข้าสู่เซลล์รากพืช การเคลื่อนที่ของน้ำจากเนื้อเยื่อเข้าสู่โลหิตฝอยในร่างกาย เป็นต้น

ขบวนการออสโมซิสมีความสำคัญต่อการรักษาความสมดุลย์ของน้ำภายในเซลล์ที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่าง สามารถจำแนกสารละลาย (solution) ที่อยู่ภายนอกเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวของน้ำให้เข้า หรือออกจากเซลล์ได้ เป็น 3 แบบ (ภาพที่ 2.) คือ

ก. **ไอโซโทนิค โซลูชั่น (Isotonic solution)** คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายเท่ากับภายในเซลล์ เซลล์ที่อยู่ในไอโซโทนิค โซลูชั่น จะคงสภาพเดิม เพราะไม่เกิดผลรวมของการเคลื่อนที่ของน้ำที่เข้าหรือออกจากเซลล์

ข. ไฮโปโทนิค โซลูชั่น (hypotonic solution) คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายน้อยกว่าภายในเซลล์ ในสารละลายไฮโปโทนิค เซลล์จะเต่ง (turgor; L. *turgor*, บวม)และอาจแตก (lysis) เนื่องจากเกิดออสโมซิสของน้ำจากสารละลายที่เจือจางกว่าจากภายนอกเคลื่อนเข้าสู่เซลล์

ค. ไฮเปอร์โทนิค โซลูชั่น (hypertonic solution) คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงกว่าภายในเซลล์ ในสารละลายไฮเปอร์โทนิค เซลล์จะเกิดการเหี่ยว (shrink) เรียกพลาสโมไลซิส (plasmolysis) เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์ซึ่งเป็นสารละลายที่เจือจางกว่าออกสู่ภายนอกที่มีความเข้มข้นมากกว่า

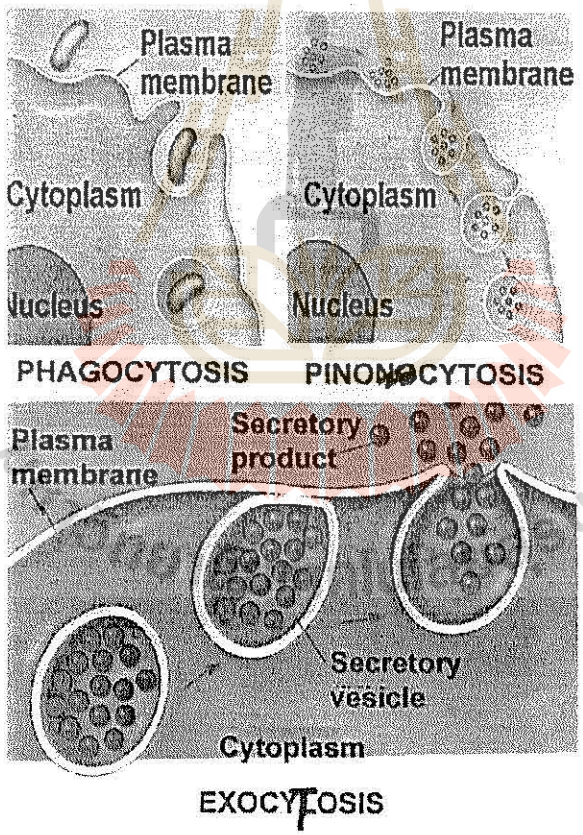


***ภาพที่ 2.8* แสดงขบวนการออสโมซิสในเซลล์สัตว์ และเซลล์พืช เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมของสารละลายที่เป็น isotonic (a) hypotonic (b) และhypertonic (c) ลูกศรที่แสดงหมายถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำออกหรือเข้าสู่เซลล์ (Mader, 2001)**

2.2.2 ขบวนการลำเลียงสารแบบสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane vesicles) เป็นการลำเลียงสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ ที่ต้องใช้พลังงาน มี 3 ประเภทคือ

ก. **เอ็นโดไซโตซิส** (Endocytosis; Gr, *endo* = ภายใน, *kytos* = เซลล์) เป็นการลำเลียงสารเข้าสู่เซลล์ โดยเยื่อหุ้มเซลล์โอบล้อมสารที่ต้องการลำเลียง หลุดจากเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดเป็นถุง (vesicle) ของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ห่อหุ้มสารเข้าสู่ภายในเซลล์ (ภาพที่ 2.) การกลืนกินสารที่เป็นอนุภาค เรียก ฟาร์โกไซโตซิส (**phagocytosis** =cellular eating) เช่น การกลืนกินจุลินทรีย์ของเซลล์เม็ดเลือดขาวแมคโครฟาจ (macrophage) การกลืนกินสารที่เป็นของเหลว (fluid droplet) หรืออนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก เรียกพิโนไซโตซิส (**pinocytosis = cellular drinking**) เช่น เซลล์ที่บุผนังลำไส้เล็ก ใช้ขบวนการนี้ในการลำเลียงสาร

ข. **เอ็กโซไซโตซิส** (Exocytosis ; Gr, *exo* = ภายนอก, *kytos* = เซลล์) เป็นการลำเลียงสารออกจากเซลล์ โดยสารที่ลำเลียงถูกห่อหุ้มเป็นถุงภายในเซลล์ เยื่อของถุงที่ห่อหุ้มสารหลอมรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ แล้วปล่อยสารออกสู่ภายนอกเซลล์ (ภาพที่ 2.) เช่น การหลั่งสารที่เป็นน้ำตา จากต่อมน้ำตาเวลาร้องไห้ หรือการหลั่งสารฮอร์โมน จากตับอ่อน (pancreas) สู่กระแสโลหิต เป็นต้น



ภาพที่ 2.19 แสดงการลำเลียงสารแบบ **phagocytosis, pinocytosis และexocytosis (Raven and Johnson, 1995 a)**

2.2.3 ขบวนการลำเลียงแบบแอ็คทีฟ (Active Transport) เป็นการลำเลียงสารย้อนความเข้มข้น คือ ลำเลียงสารจากที่มีความเข้มข้นน้อยผ่านเยื่อไปสู่ที่มีความเข้มข้นมากกว่า โดยอาศัยพลังงาน การลำเลียงแบบแอ็คทีฟเป็นขบวนการสำคัญที่ช่วยให้เซลล์รักษาระดับความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ภายในเซลล์ เซลล์ต้องใช้พลังงานที่ได้จากการแตกตัวของ ATP และใช้โปรตีนจำเพาะ (specific protein) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ กลไกการเกิดมี 2 แบบ คือ การลำเลียงแอ็คทีฟแบบควบโดยตรง **(direct coupled active transport)** โดยโปรตีนที่ทำหน้าที่ลำเลียงสารทำหน้าที่สลาย ATP ด้วย และการลำเลียงแบบควบทางอ้อม **(indirect coupled active transport)** ที่โปรตีนที่ทำหน้าที่ลำเลียงสารและสลาย ATP เป็นคนละตัว ขบวนการลำเลียงแบบแอ็คทีฟมี 3 ประเภทคือ (ภาพที่ 2.20)

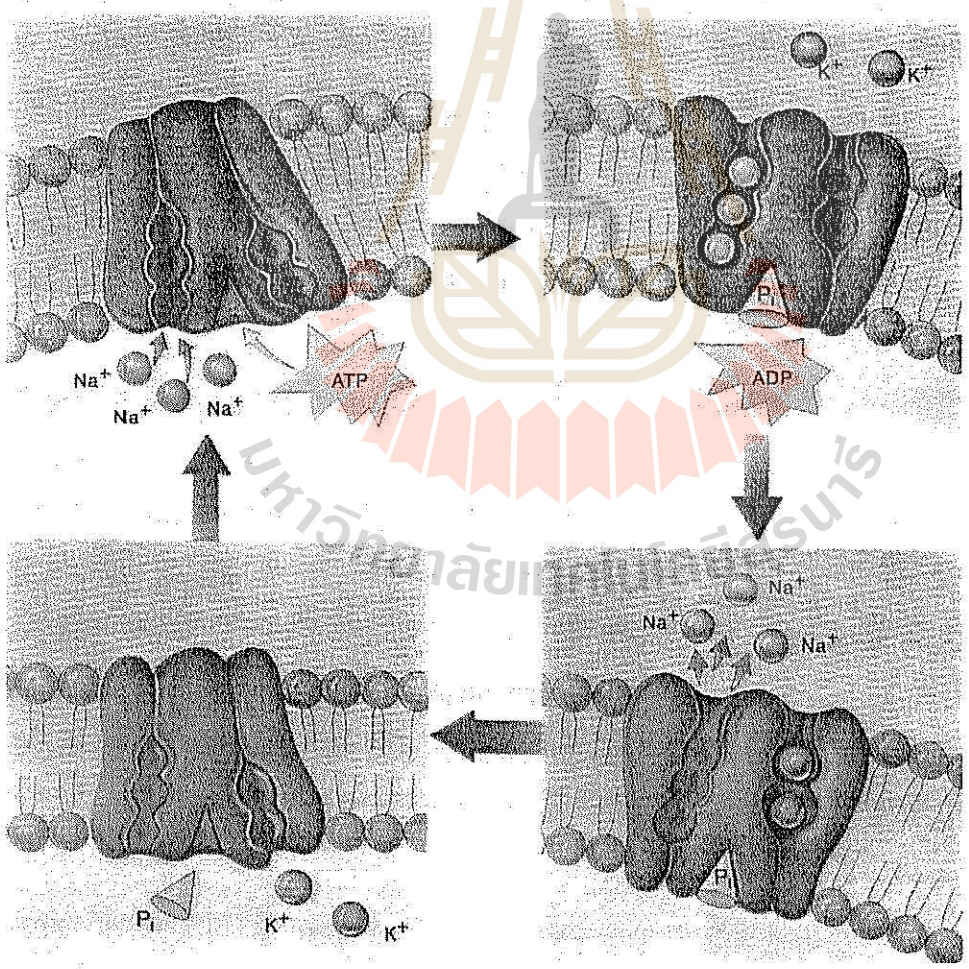
ก. โซเดียมและโปตัสเซียมปั๊ม (sodium-potassium pump) เป็นการลำเลียงแบบ direct coupled active transport ผ่านโปรตีนช่องทางพิเศษ เรียกว่า โซเดียมและโปตัสเซียมปั๊ม โปรตีนชนิดนี้จะลำเลียงโซเดียมอิออน (Na^+) ออกจากเซลล์ ในขณะที่ ปั๊มโปตัสเซียมอิออน (K^+) เข้ามาภายในเซลล์ทุกครั้งในอัตราส่วน $Na^+ : K^+$ เท่ากับ 3:2 โดยอาศัยพลังงานจากการแตกตัวของ ATP **การลำเลียงอิออนสองชนิดพร้อมกันแต่ไปในทิศทางตรงข้ามเรียกว่า เค้าเตอร์ทรานสปอร์ต (ountertransport) หรือแอนติพอร์ต (antiport)**

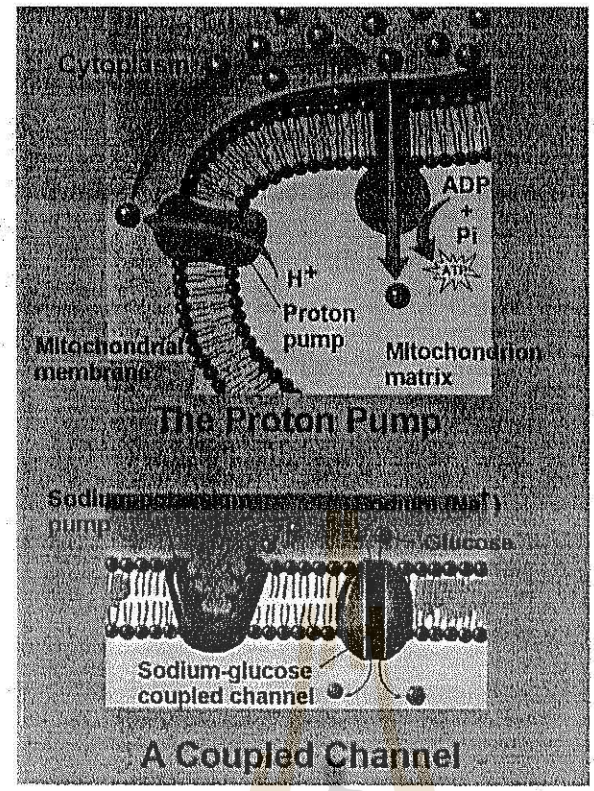
ระบบโซเดียม -โปตัสเซียม เอทีพีเอส (Na^+, K^+-ATPase system)หรือโซเดียม-โปตัสเซียมปั๊มเป็นขบวนการรักษาความเข้มข้นของ Na^+ และK^+ ภายในเซลล์ เนื่องจากภายในเซลล์สัตว์ส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของ Na^+ ต่ำ (10 millimole) และK^+ สูง (120-160 millimole) กว่าสิ่งแวดล้อมภายนอก การรักษาความแตกต่างความเข้มข้นของ Na^+ ส่งผลให้เกิดการลำเลียงน้ำตาลและกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์ร่วมด้วย

ข. โปรตอน ปั๊ม (proton pump) เป็นการลำเลียงโปรตอน (H^+) ออกนอกเซลล์ผ่านช่องทางโปรตีนพิเศษ เรียกว่าโปรตอน ปั๊ม โดยใช้พลังงานจากโมเลกุล ที่มีพลังงานสูง หรือจากการสังเคราะห์แสง ความเข้มข้นที่สูงขึ้นจากการสะสม H^+ ภายนอกเซลล์ทำให้เกิดการย้อนกลับของ H^+ กลับเข้าสู่เซลล์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า โดยใช้ ช่องทางโปรตีนพิเศษเรียกว่า**เอทีพีเอส (ATPase)** การลำเลียงกลับสู่เซลล์ของ H^+ จะกระตุ้นให้เกิดขบวนการสังเคราะห์ ATP ควบกันไปด้วย โปรตอน ปั๊ม จึงเป็นขบวนการสำคัญในการสร้าง **ATP ของเซลล์**โดยใช้พลังงานจากเมตาบอลิซึมที่เกิดจากการเผาผลาญ อาหาร หรือใช้พลังงานจากการสังเคราะห์แสง โปรตอน ปั๊ม มักอยู่ตามเยื่อของออร์แกนเนลล์ โดยเฉพาะไมโตครอนเดรีย และคลอโรพลาสไม่จำเป็นที่จะต้องอยู่ที่ เยื่อหุ้มเซลล์เท่านั้น

ค. คลับเพอร์ แชนเนลล์ (coupled-channel) เป็นการลำเลียงสารเข้าสู่เซลล์โดยใช้ช่องทางพิเศษพ่วงกับการลำเลียง Na^+ หรือH^+ ในการกลับเข้าสู่เซลล์ คลับเพอร์ แชนเนลล์ หมายถึงช่องทาง 2 ช่อง แต่สารที่จำเป็นต่อเซลล์ถูกลำเลียงโดยใช้เพียงหนึ่งช่องทาง ส่วนอีกช่องทางหนึ่งมักจะเป็นโซเดียม-โปตัสเซียม ปั๊ม หรือโปรตอน ปั๊ม ที่ทำหน้าที่รักษาความความเข้มข้นของ Na^+ หรือH^+

ของเซลล์ให้คงที่ เมื่อการสะสมของ Na^+ หรือH^+ ภายนอกเซลล์สูงขึ้น เกิดการแพร่กลับเข้าสู่เซลล์ และมีการลำเลียงสารที่จำเป็นต่อเซลล์พ่วงเข้ามาด้วย วิธีนี้จัดเป็น indirect coupled active transport การแตกตัวเพื่อให้พลังงานเกิดขึ้นคนละตำแหน่งกับการลำเลียงสารผ่านเยื่อ ตัวอย่างเช่น เซลล์ของไตจำเป็นต้องลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์ และสิ่งแวดล้อมภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นของกลูโคสต่ำกว่าภายใน ใน ที่เยื่อหุ้มเซลล์ มีช่องทางโปรตีนพิเศษที่ยอมให้โมเลกุลของกลูโคสผ่านเข้ามาภายใต้เงื่อนไขว่าจะต้องมี Na^+ เข้ามาด้วยเท่านั้น ภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นของ Na^+ สูงกว่าภายในเซลล์เสมอ เนื่องจากเซลล์มี Na^+-K^+ pump การแพร่กลับของ Na^+ สู่เซลล์อาศัย ตัวพาที่มีตำแหน่งให้ ทั้ง Na^+ และกลูโคสจับ โดยตำแหน่งนี้จะจับกับกลูโคส ได้ต่อเมื่อตัวพา จับกับ Na^+ แล้วเท่านั้น เมื่อมีการจับทั้ง Na^+ และกลูโคสแล้ว ตัวพามีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และลำเลียงสารทั้งสองผ่านเยื่อเข้าสู่เซลล์พร้อมกัน **การลำเลียงสารผ่านเยื่อในทิศทางเดียวกันและพร้อมกันของตัวพา เรียกว่า cotransport or symport** เช่น การลำเลียงน้ำตาล กรดอมิโนจากลำไส้เล็กผ่านเข้าสู่เซลล์ที่บุผนังลำไส้ เป็นต้น





ภาพที่ 2.20 แสดงขบวนการลำเลียงสารแบบ active transport ชนิดต่างๆ **(Raven and Johnson, 1995 a)**

3. ชนิดของรอยต่อระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์

เซลล์สามารถมีปฏิกริยาร่วมกันหรือติดต่อสื่อสารกับเซลล์อื่น ผ่านรอยต่อ (junction) ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ของสองเซลล์ที่อยู่ติดกัน เรียกรอยต่อที่เกิดขึ้นในเซลล์พืช ว่า พลาสโมเดสมาตา รอยต่อระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์มี 3 ชนิด (ภาพที่ 2.) คือ

3.1 แอ็ดเฮียริ่ง หรือแอ็ดฮีชั่น จังชั่น (Adhering or Adhesion junction)

รอยต่อที่เกิดเรียก เดสโมโซม (desmosomes) เป็นรอยต่อที่ทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ให้อยู่ติดกัน โดยเยื่อหุ้มเซลล์ของทั้งสองเซลล์ที่อยู่ติดกัน ไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง แต่เชื่อมติดกันด้วยอินเทอร์เซลล์ลูลาร ฟิลาเม้นท์ (intercellular filament) ที่เชื่อมแผ่นไซโตปลาสซึม (cytoplasmic plaque) ของทั้งสองเซลล์ซึ่งยึดกับใยโครงร่างภายใน (filament of cytoskeleton) ของแต่ละเซลล์ ให้ติดกันเหมือนการออ๊ก (weld) เซลล์ให้อยู่ด้วยกัน (ภาพที่ 2.) มักพบในเซลล์บริเวณเนื้อเยื่อ หรืออวัยวะ ที่ต้องการการยึดหดตัสูง เช่น ที่ผิวหนัง หัวใจ กระเพาะปัสสาวะ และกระเพาะอาหาร เป็นต้น

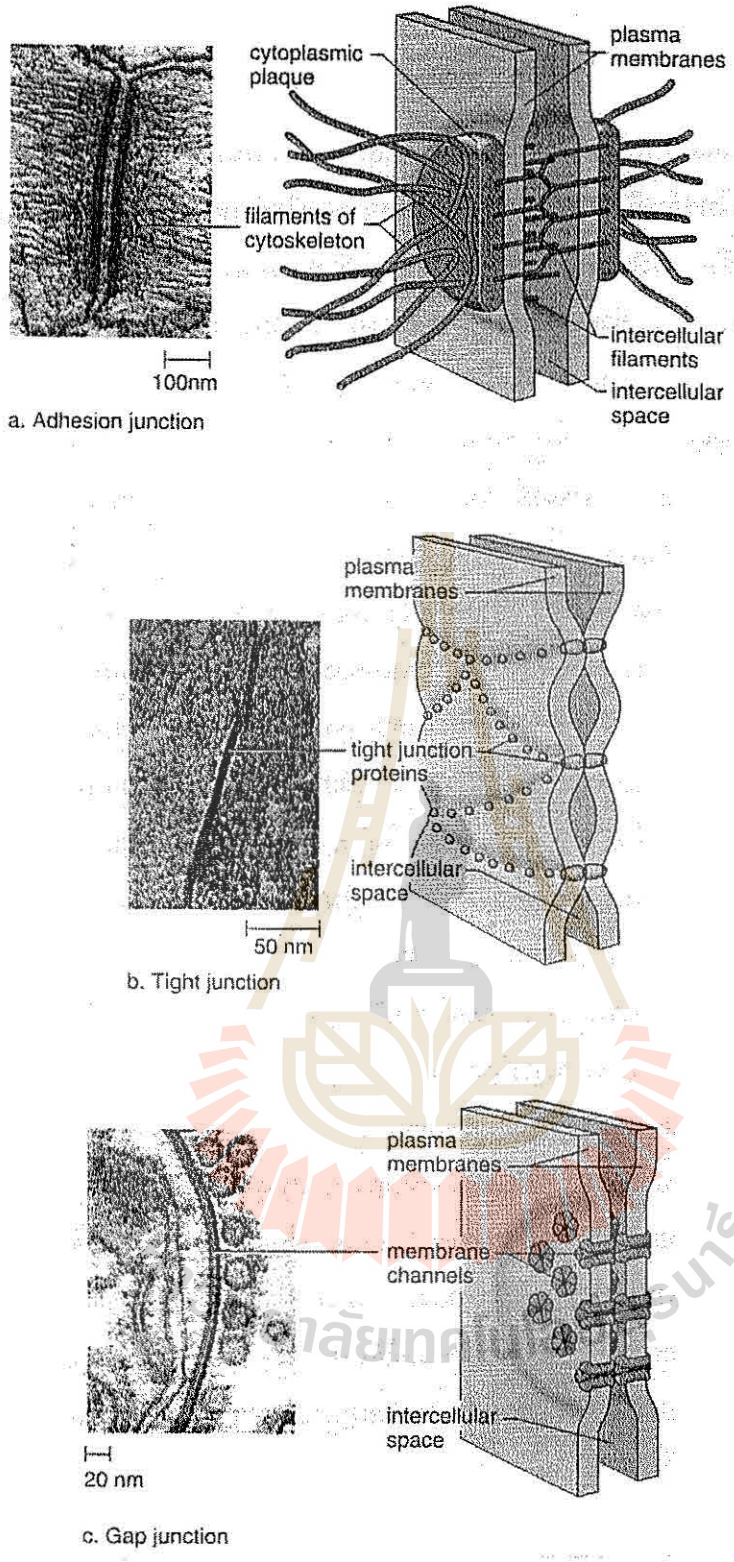
3.2 ออร์แกนไหนซิ่ง จังชั่น (Organizing junction)

รอยต่อเรียก tight junction เป็นรอยต่อระหว่างเซลล์ที่แน่นกว่า adhering junction โดยโปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์ตรงรอยต่อ (tight junction protein) ของแต่ละเซลล์เชื่อมติดกัน (ภาพที่ b) รอยต่อระหว่างเซลล์ถูกปิดผนึกแน่น ป้องกันไม่ให้มีการแลกเปลี่ยนสารภายในของเซลล์ที่อยู่ติดกัน พบในรอยต่อของเซลล์กลุ่มเยื่อบุผิว เช่น เซลล์ที่เยื่อบุกระเพาะอาหาร และลำไส้ ป้องกันการการรั่วไหลของกรดออกภายนอกเซลล์ หรือเซลล์ที่บุท่อไต (kidney tubule) ป้องกันไม่ให้น้ำปัสสาวะไหลออกนอกท่อ เป็นต้น

3.3 คอมมูนิเคติ้ง จังชั่น (Communicating junction)

รอยต่อเรียก gap junction เป็นรอยต่อเพื่อการสื่อสาร (communicate) ระหว่างเซลล์ ให้มีการติดต่อหรือแลกเปลี่ยนสารในไซโตปลาสซึมระหว่างเซลล์ ที่อยู่ติดกัน เกิดจากการเชื่อมกันระหว่างช่อง (channel) ที่เหมือนกันของเยื่อหุ้มเซลล์ (identical plasma membrane channel) โดยแต่ละช่องประกอบจากโปรตีนที่ผิวเยื่อหุ้มเซลล์หกโปรตีนรวมกัน (ภาพที่ 2. C) gap junction ช่วยเพิ่มความแข็งแกร่ง (strength) ให้เซลล์ และเป็นทางให้มีการแลกเปลี่ยนสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก หรืออิออนระหว่างเซลล์ พบตามเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ และกล้ามเนื้อเรียบ ที่การไหลของอิออนเข้าสู่เซลล์จำเป็นสำหรับการหดตัวของเซลล์ในทั้งอวัยวะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.21 แสดงรอยต่อระหว่างเซลล์ ทั้งสามชนิดคือ Adhering junction (A) Tight junction (B) และGap junction (C) (Mader, S. S. 2001)

สรุป

เซลล์มีการติดต่อและตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก และระหว่างเซลล์ด้วยกันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ตลอดเวลา โดยมีโปรตีนที่ฝังตัว หรือลอยอยู่ระหว่างเยื่อไขมันทั้งสองของเยื่อหุ้มเซลล์ ร่วมทำหน้าที่แตกต่างกันดังนี้คือ 1) เป็นช่องทางลำเลียงสาร 2) ตัวพา 3) ตัวรับรู้ 4) เป็นเครื่องหมายจำแนกชนิดของเซลล์ 5) เอนไซม์ 6) ช่วยยึดโครงร่างของเซลล์ กลไกการลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์มี 3 ประเภทคือ 1) ขบวนการที่ไม่ใช้พลังงาน เกิดการเคลื่อนที่ของสาร หรือลำเลียงสารจากบริเวณที่สารมีความเข้มข้นสูงสู่บริเวณที่สารมีความเข้มข้นต่ำกว่า มี 3 กลุ่มหลักคือ ก. การแพร่แบบธรรมดา ข. การแพร่แบบอาศัยตัวพา และค. การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อจากสารละลายที่เจือจางสู่สารละลายที่เข้มข้นกว่าในขบวนการออสโมซิส 2) ขบวนการลำเลียงสารแบบสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์ มี 2 ประเภทคือ การเกิดเอ็นโดไซโตซิส และเอ็กโซไซโตซิส ซึ่งเป็นขบวนการกลืนกินสารหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่เซลล์ และขบวนการหลั่งสารสู่ภายนอกเซลล์ตามลำดับ การกลืนกินสารที่เป็นของแข็งที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เรียก ฟาร์โกไซโตซิส และการกลืนกินสารที่เป็นอนุภาคขนาดเล็ก หรือสารที่เป็นของเหลว เรียก pinocytosis 3) ขบวนการลำเลียงแบบแอ็คทีฟ ทรานสปอร์ต ที่สามารถลำเลียงสารย้อนความเข้มข้นได้ มี 3 ประเภทคือ ก. Na^+-K^+ pump ข. H^+ pump ค. couple-channel ขบวนการลำเลียงสารแบบสร้างถุง และแบบแอ็คทีฟ จำเป็นต้องใช้พลังงานซึ่งได้จากการสลาย ATP ภายในเซลล์ การลำเลียงสารสองชนิดพร้อมกันผ่านเยื่อแต่ในทิศทางตรงข้าม เรียก counter transport หรือantiport ส่วนการลำเลียงสารสองชนิดผ่านเยื่อไปในทิศทางเดียวกัน เรียกว่า cotransport หรือ symport การเกิดปฏิกริยาร่วมกัน และการสื่อสารระหว่างเซลล์เกิดผ่านรอยต่อที่เชื่อมระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกัน มี 3 ชนิดคือ 1) adhering junction รอยต่อคือ desmosome เป็นรอยต่อที่เชื่อมระหว่างเซลล์ด้วย intercellular filament พบตามเซลล์ในอวัยวะที่มีการยืดหดสูง 2) organizing junction รอยต่อเรียก tight junction เป็นรอยต่อที่เชื่อมด้วย tight junction protein พบในเซลล์ที่ทำหน้าที่ป้องกัน (barrier) ไม่ให้เกิดการรั่วไหลของสารในบางอวัยวะ และ3) communicating junction รอยต่อเรียก gap junction เป็นรอยต่อเพื่อการสื่อสาร หรือแลกเปลี่ยนสารระหว่างเซลล์ รอยต่อเกิดจากการเชื่อมกันของ plasma membrane channel ที่เหมือนกัน บนเยื่อหุ้มระหว่างเซลล์ โดย gap junction พบในเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ หรือหัวใจ

กิจกรรมต่อเนื่องตอนที่ 2.4

1. ให้นักศึกษาเข้าศึกษาผ่านปฏิสัมพันธ์ทางจอภาพ การบรรยายหน่วยที่ 2 เรื่องเซลล์: หน่วยพื้นฐานของชีวิต เพื่อทำแบบฝึกหัดดังนี้

1.1 ระบุชนิดของการลำเลียงสารจากโจทย์ที่กำหนดให้

1.2 ระบุตัวอย่างชนิดของสารที่ถูกลำเลียงด้วยกลไกชนิดต่างๆ

1.3 อ่านเพิ่มเติมเกี่ยวกับบทความการติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์และสิ่งแวดล้อมภายนอก (singnal transduction) (เขียนบทสรุปง่ายๆ เกี่ยวกับ signal transduction โดยอาจใช้ p. 150-154 "How cell surface receptor initiate changes inside the cell" ใน Caine, M. L., Damman, H., Lue, R. A. and Yoon, C. K. 2000. Discover Biology. Sinauer Associates: Sundrland, Massachusetts.

2. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มย่อย ค้นคว้าเพิ่มเติม และนำเสนอโดยใช้เวลาไม่เกิน 10-15 นาทีต่อกลุ่มในหัวข้อดังนี้

2.1 ความสำคัญของโปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกัน ถ้าผิดปกติสามารถก่อให้เกิดปัญหา และส่งผลกระทบต่อสุขภาพคนได้อย่างไร อภิปรายโดยการยกตัวอย่าง (เฉลย: p. 83 Mader, 2001)

2.2 อ่านบทความ " Faulty membrane can overload the blood with cholesterol" ใน Campbell N. A., Mitchell, L. G., and Reece, J. B. ., 2000, pp. 85 Biology: Concepts and connections. Addison Wesley Longman: San Francisco. เพื่ออภิปรายความสำคัญโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้ที่เยื่อหุ้มเซลล์

2.3 อ่านบทความ " Chloride channels and cystic fibrosis" p. 5-15 ใน Raven and Johnson, 1995. Understnading Biology. Wm. C. Brown Bublishers: Dubuque. เพื่ออภิปรายความสำคัญโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นช่องทางให้สารผ่าน

2.4 ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการลำเลียงสารเพิ่มเติมอย่างน้อยอีก 3 ประการ เสริมจากตัวอย่างที่ให้ในบทเรียน

2.5 อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหาค่า partition coefficient และการใช้ประโยชน์ รวมทั้งสารละลายใดที่ใช้เป็นมาตรฐานในการหาค่า partition coefficient ของสาร

2.6 ความสำคัญของขบวนการแพร่แบบธรรมดา และออสโมซิสต่อเซลล์ในด้านชีววิทยาโดยการยกตัวอย่าง (เฉลย: การแลกเปลี่ยนแก๊ซระหว่างปอดและโลหิตฝอย การแพร่ของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เข้าหรือออกจากเซลล์ หรือการออสโมซิสของน้ำ และแรงดันของความเต่ง (turgor pressue) จาก osmosis ช่วยให้พืชตั้งตรง (Mader, 2001 p. 87) หรือตัวอย่างอื่นๆ

Reference เพิ่มเติม

Mader, S. S. 2001. Biology. 7th ed. McGraw Hill: Boston.QH 308.2 M23 2001.

Caine, M. L., Damman, H., Lue, R. A. and Yoon, C. K. 2000. Discover Biology. Sinauer Associates: Sundrland, Massachusetts.QH 308.2 D57 2000

Campbell N. A., Mitchell, L. G., and Reece, J. B. ., 2000, pp. 85 Biology: Concepts and connections. Addison Wesley Longman: San Francisco. QH 308.2 C34 2000.

McGrath, D. A. 1999. World of Biology. The Gale Group:Detroit.. QH302.5.W671999.

ตารางที่ 3.2 สรุปกลไกต่างๆของการลำเลียงสารผ่านเข้าออก plasma membrane ของเซลล์ (Raven and Johnson, 1995 a)

Table 5.1 Mechanisms for Transport Across Plasma Membranes

Process	Passage through Membrane	How It Works	Example
Processes That Do Not Require Energy			
Diffusion	Imperfections in lipid bilayer	Random movement of molecules from areas of high concentration to areas of low concentration	Movement of oxygen into cells
Osmosis	Imperfections in lipid bilayer	Diffusion of water across a selectively permeable membrane	Movement of water into plant leaf cells
Facilitated diffusion	Carrier protein	Molecule binds to carrier protein and is transported across; movement is in direction of lowest concentration	Movement of calcium into cells
Processes That Require Energy			
Endocytosis	Membrane vesicle	Large particle (phagocytosis) or small particle (pinocytosis) is engulfed by membrane, which forms vesicle around it	Ingestion of bacteria by white blood cells (phagocytosis); nursing of human egg cells (pinocytosis)
Exocytosis	Membrane vesicle	Vesicle fuses with plasma membrane and ejects its contents	Secretion of mucus
Active Transport Processes			
Sodium-potassium pump	Protein channel	Export of three Na^+ ions for every import of two K^+ ions	Found in all cells
Proton pump	Protein channel	Export of protons (H^+ ions) against a concentration gradient	Chemiosmotic generation of ATP, found in chloroplasts and mitochondria
Coupled channels	Protein channels	Import of molecule with Na^+ or H^+ using the concentration gradient established by the pumps of these ions	Import of glucose into cell

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี