โครงสร้างสัดส่วนคะแนน ชีววิทยาพื้นฐาน รหัสวิชา ว 30141 (ปรับปรุงปี 2562)

หน่วยที่	ชื่อหน่วย	ตัวชี้วัด	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก			
				คะแนนเก็บ	กลางภาค	ปลายภาค	รวมทั้งหมด
1	เซลล์และการลำเลียงสารผ่านเซลล์	ว1.2 ม4-6/1	15	11	5	-	16
2	ดุลยภาพของสิ่งมีชีวิตและภูมิคุ้มกัน	ว1.2 ม4-6/2 ว1.2 ม4-6/3 ว1.2 ม4-6/4 ว1.2 ม4-6/5 ว1.2 ม4-6/6 ว1.2 ม4-6/7	15	12	10	-	22
3	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพืช	ว1.2 ม4-6/8 ว1.2 ม4-6/9 ว1.2 ม4-6/10 ว1.2 ม4-6/11 ว1.2 ม4-6/12	10	7	5	-	12
สอบกลางภาค							
4	พันธุกรรม	ว1.3 ม4-6/1 ว1.3 ม4-6/2 ว1.3 ม4-6/3 ว1.3 ม4-6/4 ว1.3 ม4-6/5	15	8	-	14	22
5	ความหลากหลายทางชีวภาพ	ว1.3 ม4-6/6	15	7	-	6	13
6	ระบบนิเวศ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม	ว1.1 ม4-6/1 ว1.1 ม4-6/2 ว1.1 ม4-6/3 ว1.1 ม4-6/4	10	5	-	10	15
รวม		**22 ตัวชี้วัด**	80	50	20	30	100

ใบความรู้ที่ 1
เซลล์และทฤษฎีเซลล์

เซลล์เป็นหน่วยโครงสร้างพื้นฐานที่มีชีวิตที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า จำเป็นต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ช่วยในการศึกษารายละเอียดส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างของเซลล์ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ประวัติการค้นพบเซลล์

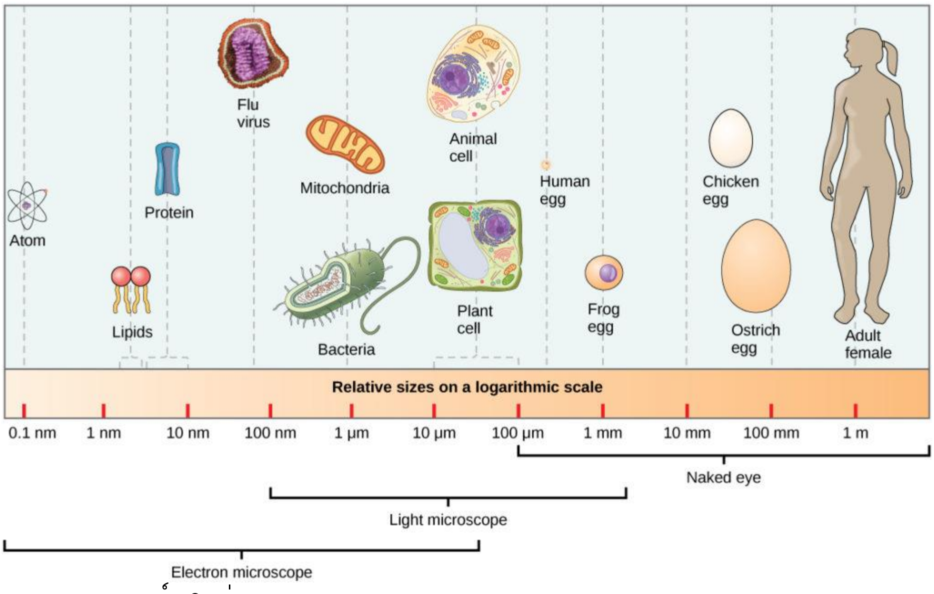
ปี ค.ศ.	นักชีววิทยา	ผลงานที่ค้นพบ
1665	Robert Hooke	ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบส่องดูชิ้นไม้คอร์ก พบว่า ประกอบด้วยช่องเล็ก ๆ เรียงติดกัน แต่ละช่องเรียกว่า "เซลล์" ซึ่งแปลว่าห้องว่าง (Empty room) (เป็นคนแรกที่นำคำว่า "เซลล์" มาใช้)
1673	Antony Van Leewenhook	ค้นพบจุลินทรีย์เป็นคนแรก
1831	Robert Brown	ศึกษาเซลล์พืชพบว่ามีก้อนกลมเล็ก อยู่ภายใน เรียกว่า นิวเคลียส
1838	Matthias Jakob Schleiden	เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดประกอบไปด้วยเซลล์
1839	Theodor Schwann	เนื้อเยื่อสัตว์ทุกชนิดประกอบไปด้วยเซลล์
	Schleiden และ Schwann	ทฤษฎีเซลล์ (Cell theory) "สิ่งมีชีวิตทั้งหลายประกอบไปด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์ เซลล์คือหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต"
1839	Johannes Purkinje	ศึกษาไข่และตัวอ่อน พบว่า ภายในมีของเหลวใสเหนียวและอ่อนนิ่มคล้ายวุ้น เรียกว่า โพรโทพลาซึม (Protoplasm)
1855	Rudolf Virchow	ศึกษาการเจริญของเซลล์ พบว่าเซลล์มีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวน จึงเพิ่มเติมทฤษฎีเซลล์ว่า "เซลล์ทุกเซลล์มีกำเนิดมาจากเซลล์ที่มีอยู่ก่อน"
1868	Thomas Henry Huxley	โพรโทพลาซึมเป็นรากฐานของชีวิตเนื่องจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ของเซลล์เกิดที่โพรโทพลาซึม
1880	Walther Flemming	ศึกษานิวเคลียสของเซลล์ต่าง ๆ พบว่าประกอบด้วยโครโมโซม (Chromosome)

ทฤษฎีของเซลล์

1. สิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์ (ผลิตภัณฑ์ของเซลล์ หมายถึง สิ่งที่เซลล์สร้างขึ้น เช่น ขน เล็บ ผม โปรตีน ฮอร์โมน เอนไซม์ เมือก เป็นต้น)
2. เซลล์เป็นหน่วยย่อยของสิ่งมีชีวิตทั้งในแง่โครงสร้างและการทำงานของร่างกาย
3. เซลล์ทุกเซลล์มีกำเนิดมาจากเซลล์ที่มีอยู่ก่อน

ขนาดของเซลล์ (Size of cell)

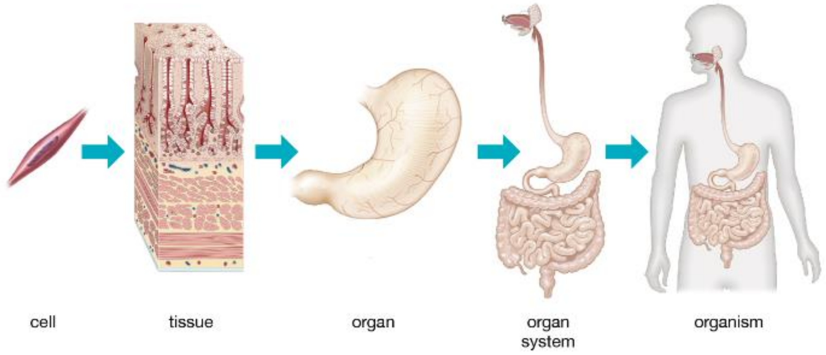
เซลล์แต่ละชนิดมีขนาดแตกต่างกัน ตั้งแต่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เช่น เซลล์แบคทีเรีย จนกระทั่งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น เซลล์ไข่ของสัตว์ปีก สัตว์เลื้อยคลาน



ภาพที่ 1 ขนาดของเซลล์ชนิดต่าง ๆ

ที่มา: https://courses.lumenlearning.com/wmopen-biology1/chapter/prokaryotes-and-eukaryotes/

การจัดระบบ (Organization) ของสิ่งมีชีวิต



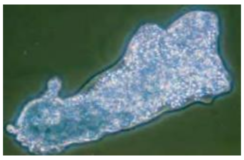
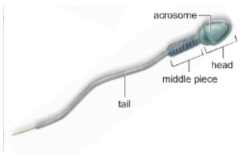
ภาพที่ 2 การจัดระบบของสิ่งมีชีวิต

ที่มา: https://kids.britannica.com/students/assembly/view/217841

รูปร่าง ลักษณะ และหน้าที่ของเซลล์

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีรูปร่างแตกต่างกัน เพื่อให้มีความเหมาะสมกับหน้าที่ ตำแหน่ง หรือรูปแบบการดำรงชีวิตของเซลล์ ตัวอย่างเช่น

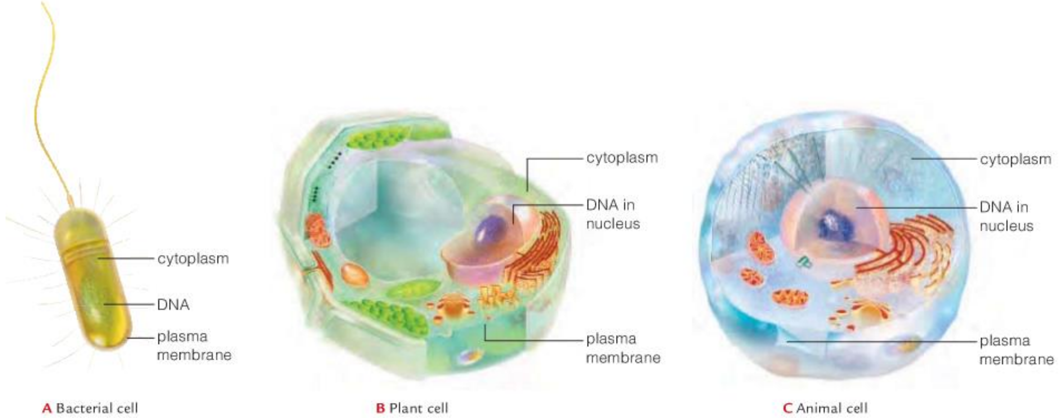
ตารางที่ 2 รูปร่าง ลักษณะ และหน้าที่ของเซลล์

รูปร่าง	รายละเอียดของเซลล์	รูปร่าง	รายละเอียดของเซลล์
	เซลล์เม็ดเลือดแดงมีรูปทรงกลมเว้าทั้ง 2 ด้าน มีหน้าที่ลำเลียงแก๊ส		เซลล์เม็ดเลือดขาว มีรูปร่างกลม มีหน้าที่ทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย
	อะมีบาเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีรูปร่างไม่แน่นอน ดำรงชีวิตอยู่ในน้ำ		Sperm เป็นเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ ซึ่งจะผสมกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย

ชนิดของเซลล์

เซลล์เป็นหน่วยเล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต แบ่งออกได้ 2 ชนิด

1. เซลล์โพรคาริโอต (Prokaryotic cell) มีสารพันธุกรรมอยู่ในบริเวณโครงสร้างที่เรียกว่า นิวคลีออยด์ (Nucleoid) ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และไม่มีโปรตีนฮีสโตนภายในไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) ไม่มีออร์แกเนลล์ชนิดที่มีเยื่อหุ้ม และโครงร่างภายในไซโตพลาสซึม ผนังเซลล์ประกอบด้วย Peptidoglycan พบในไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) แบคทีเรีย (bacteria) และไมโครพลาสมา (Microplasma)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของเซลล์โพรคาริโอตและยูคาริโอต
ที่มา: Mader, Sylvia S. (2009)

2. เซลล์ยูคารีโอต (Eukaryotic cell) เซลล์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่าชนิดแรก และมีนิวเคลียสที่เห็นได้ชัดเจน แยกจากบริเวณไซโตพลาสซึม และมีเยื่อหุ้มนิวเคลียส หุ้มล้อมรอบสารพันธุกรรม ซึ่งมีโปรตีนฮีสโตน เป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้พบออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้มจำนวนหลายชนิด รวมทั้งออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มอยู่ภายในไซโตพลาสซึม พบในเซลล์พืช สัตว์ สาหร่าย โพรโทซัว และ เห็ดรา

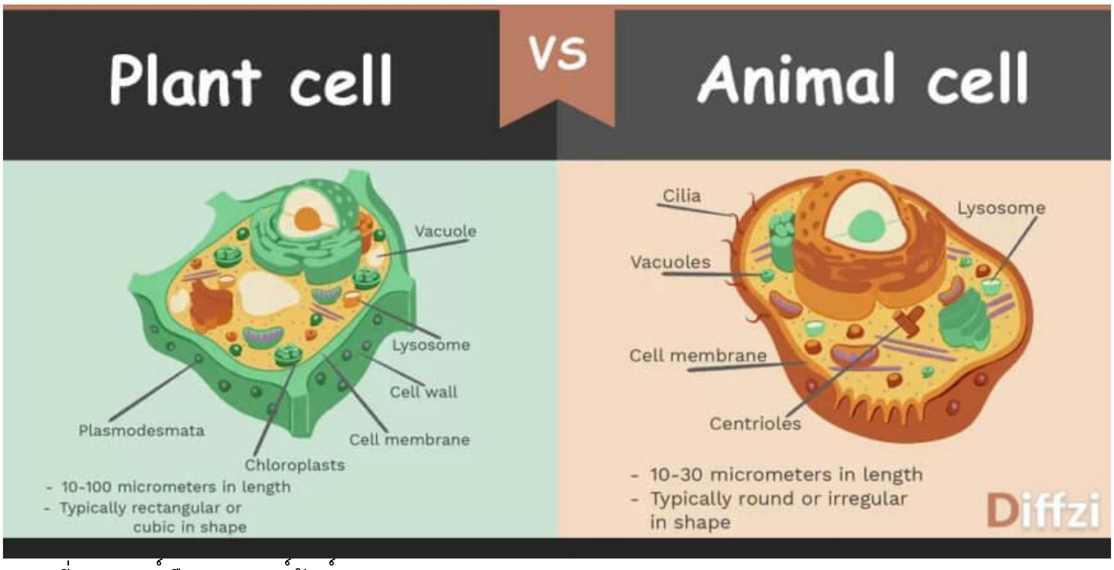
โครงสร้าง	**โพรแคริโอต**	**ยูแคริโอต**
เยื่อหุ้มนิวเคลียส	ไม่มี	มี
นิวเคลียส	ไม่มี แต่มีบริเวณที่มี DNA เรียกว่า Nucleoid	มีนิวเคลียสแท้จริง
ขนาดไรโบโซม	70s	70s, 80s
สารพันธุกรรม	มีโครโมโซมแท่งเดียวเป็นวงกลม เกิดจาก DNA (ไม่รวมโปรตีน) อาจพบ Plasmid ได้ในบางเซลล์	มีโครโมโซมหลายแท่ง เกิดจาก DNA รวมกับโปรตีน Histone
ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม	ไม่มี	มี
Cytoskeleton	ไม่มี	มี
การสืบพันธุ์	ไม่อาศัยเพศ - Binary fission แยกเป็น 2 เซลล์ อาศัยเพศ - Conjugation	การแบ่งเซลล์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Mitosis และ Meiosis
ผนังเซลล์ (ถ้ามี)	แบคทีเรีย - Peptidoglycan อาร์เคีย - Glycoprotein	พืช - Cellulose ฟังไจ - Chitin
ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต	แบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	โพรทิสต์ ฟังไจ พืช สัตว์

เซลล์พืช เซลล์สัตว์

เซลล์พืชและเซลล์สัตว์มีองค์ประกอบพื้นฐานที่เหมือนกันแต่จะมีออร์แกเนลล์บางชนิดที่แตกต่างกันออกไป เช่น บางอย่างพบในเซลล์พืชและบางอย่างไม่พบในเซลล์สัตว์

1) ผนังเซลล์ที่เป็นเซลลูโลส แวคิวโอลขนาดใหญ่ และคลอโรพลาสต์ สามอย่างนี้จะพบในเซลล์พืชแต่ไม่พบในเซลล์สัตว์

2) เซนทริโอล จะพบในเซลล์สัตว์แต่ไม่พบในเซลล์พืช



ภาพที่ 4 เซลล์พืชและเซลล์สัตว์
ที่มา: https://diffzi.com/plant-cell-vs-animal-cell/

บรรณานุกรม

Mader, Sylvia S. (2009). **Concepts of Biology**. 1st ed. McGraw-Hill Co., New York.

โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ สาขาวิชาชีววิทยา. (ม.ป.ป.). **เอกสารประกอบการเรียนการสอนรายวิชา ว30161 พื้นฐานของสิ่งมีชีวิต บทที่ 3 โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์.**

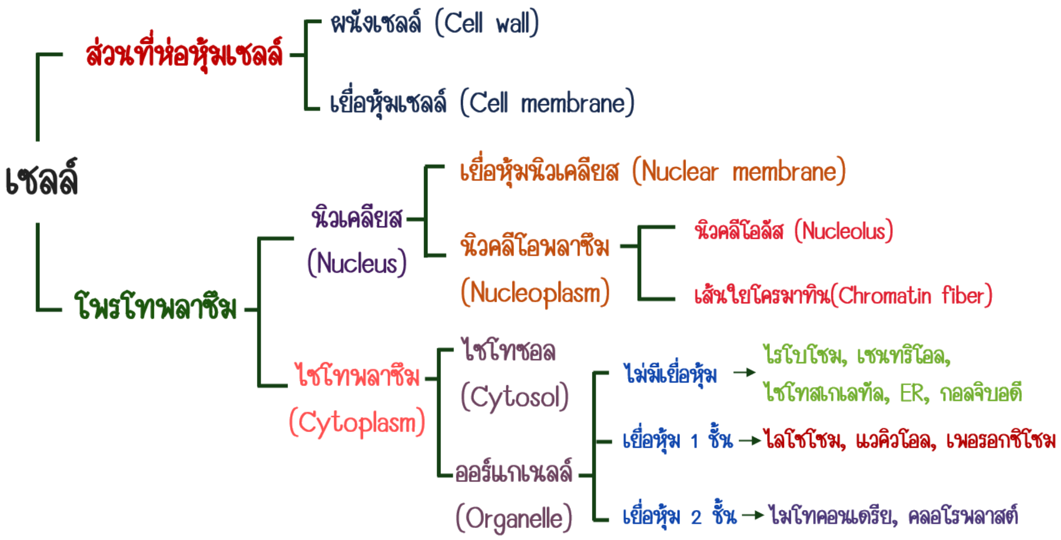
https://diffzi.com/plant-cell-vs-animal-cell/

https://kids.britannica.com/students/assembly/view/217841

Prokaryotes and Eukaryotes | Biology for Majors I (lumenlearning.com)

ใบความรู้ที่ 2
โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ (ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์)

เซลล์ (Cell) เป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต ทั้งสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่ประกอบด้วยเซลล์ต่าง ๆ ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ เซลล์จะทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของโครงสร้างต่าง ๆ ของเซลล์



จากแผนผัง โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ยูคาริโอตแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. **ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์** ทำหน้าที่เป็นส่วนที่กำหนดขอบเขตของเซลล์ โดยเซลล์ทุกชนิดประกอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ส่วนผนังเซลล์ (Cell wall) จะอยู่ด้านนอกเยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรง ซึ่งจะพบในสิ่งมีชีวิตบางชนิดเท่านั้น เช่น แบคทีเรีย สาหร่าย ฟังไจ และพืช

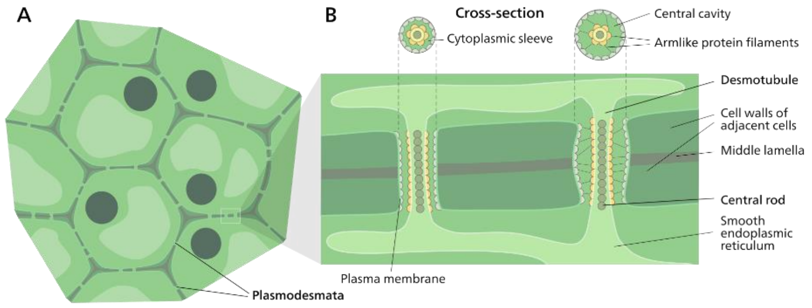
2. **โพรโทพลาซึม (Protoplasm)** เป็นส่วนของเซลล์ที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งหมดประกอบด้วย

- นิวเคลียส (Nucleus) เป็นที่อยู่ของสารพันธุกรรม จึงมีหน้าที่หลักในการควบคุมการทำงานของเซลล์
- ไซโทพลาซึม (Cytoplasm) เป็นส่วนที่อยู่นอกนิวเคลียส แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ไซโทซอล (Cytosol) เป็นส่วนที่เป็นของเหลว และออร์แกเนลล์ (Organelle) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายอวัยวะของเซลล์

1. ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์

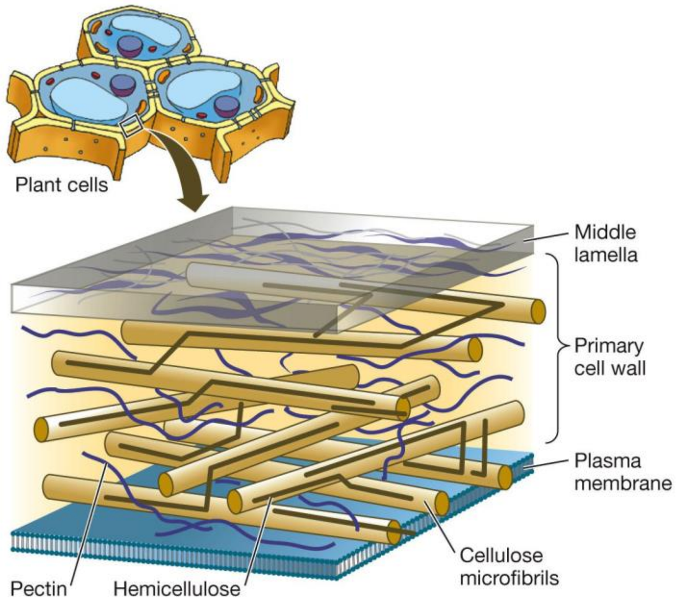
- **ผนังเซลล์** เป็นโครงสร้างที่หุ้มด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ พบได้ในเซลล์พืช สาหร่าย แบคทีเรียและฟังไจ ไม่พบในเซลล์สัตว์ มีหน้าที่ทำให้เซลล์คงรูปและเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์

ผนังเซลล์ของพืชมีช่องเล็ก ๆ เปิดไปถึงเซลล์ข้างเคียงเรียกว่า Plasmodesmata แบ่งผนังเซลล์พืชเป็น 3 ชั้น คือ Middle lamella, Primary cell wall และ Secondary cell wall



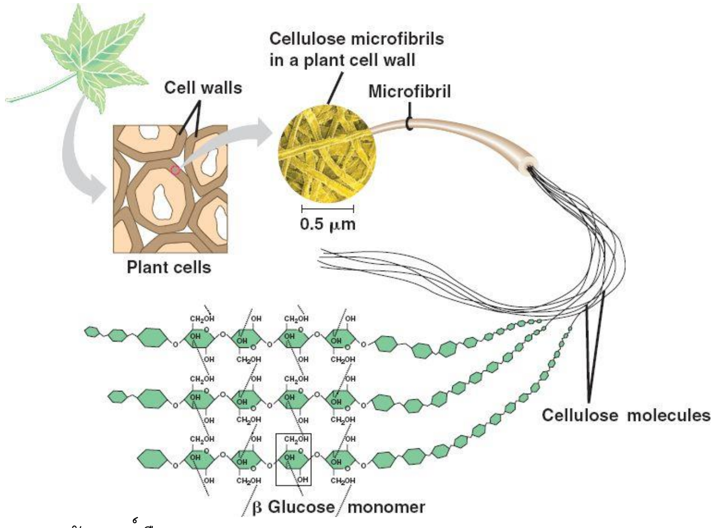
ภาพที่ 1 Plasmodesmata

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Plasmodesma#/media/File:Plasmodesmata_en.svg



ภาพที่ 2 ผนังเซลล์ของพืช

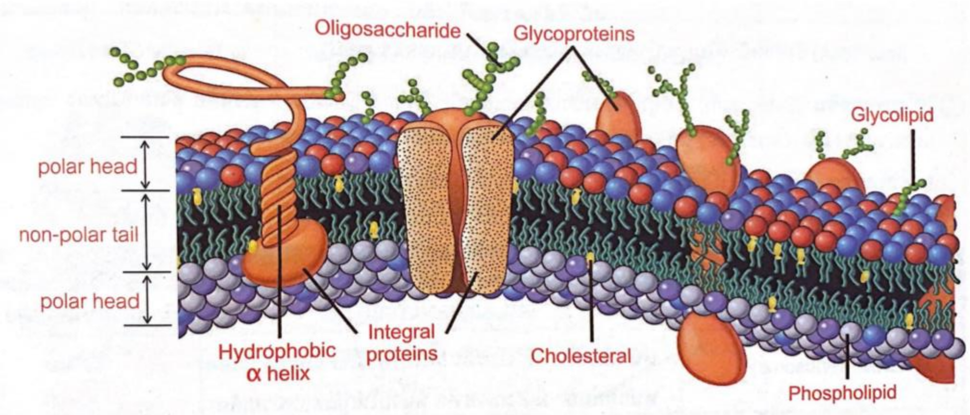
ที่มา: 360 Concepts in Biology Part 1. (2560).



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของผนังเซลล์พืช

ที่มา: https://silviapvadi.wordpress.com/2015/04/13/3eso-polysaccharides-cellulose/

- เยื่อหุ้มเซลล์ พบได้ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ทำหน้าที่กำหนดขอบเขตของเซลล์ ภายในเซลล์มีของเหลวเรียกว่า Cytoplasm เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) ซึ่งยอมให้สารบางชนิดผ่านเข้าออกเท่านั้น และมีโครงสร้างแบบ ฟลูอิด-โมเซอิก (Fluid-Mosaic Model)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์
ที่มา: สรุปชีววิทยามัธยมปลาย Ultra Biology. (2557).

องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

1) Phospholipid bilayer เป็นโครงสร้างหลักของเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีโมเลกุล 2 ส่วน คือ ส่วนมีขั้ว (Polar head) และส่วนไม่มีขั้ว (Non-polar tail) โดยเรียงตัวเป็นสองชั้นคือ หันด้านมีขั้วออกจากเซลล์และเข้าสู่บริเวณที่มีน้ำ ส่วนด้านหางที่ไม่มีขั้วจะจับกันเองที่บริเวณไม่มีน้ำ สาเหตุที่มีการเรียงตัวเช่นนี้ เพราะส่วนมีขั้วมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนหางไม่มีขั้วไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic)

2) Proteins แบ่งการจัดเรียงตัวได้ 2 ลักษณะ คือ Integral protein (แทรกตัวผ่านเยื่อหุ้มเซลล์) และ Peripheral protein (พบได้ทั้งผิวเยื่อหุ้มเซลล์ด้าน ECM และ Cytoplasm) ทำหน้าที่ลำเลียงสารผ่านเข้าออกเยื่อหุ้มเซลล์ มีหลายชนิดตามหน้าที่ เช่น

- โปรตีนลำเลียง (Transport protein) ทำหน้าที่ลำเลียงสาร เช่น โปรตีนที่ลำเลียงกลูโคส
- โปรตีนตัวรับ (Receptor protein) ทำหน้าที่ตอบสนองต่อสารเคมีที่มากระตุ้น เช่น ตัวรับของฮอร์โมนอิซูลิน
- โปรตีนเอนไซม์ (Enzymatic protein) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์

3) Cholesterol เป็นสารช่วยให้เยื่อหุ้มเซลล์ไหลลื่น มีความยืดหยุ่น โดยจะแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้น Phospholipid

4) Oligosaccharide (คาร์โบไฮเดรต) พบเฉพาะด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามการทำพันธะ คือ 1) Carbohydrate + Protein เรียกว่า Glycoprotein ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ 2) Carbohydrate + Lipid เรียกว่า Glycolipid เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ของสมองและเส้นประสาท

ใบความรู้ที่ 3
โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ (โพรโทพลาซึม)

2. โพรโทพลาซึม (Protoplasm)

คือส่วนที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งหมด ประกอบด้วยนิวเคลียสและไซโทพลาซึม

นิวเคลียส (Nucleus)

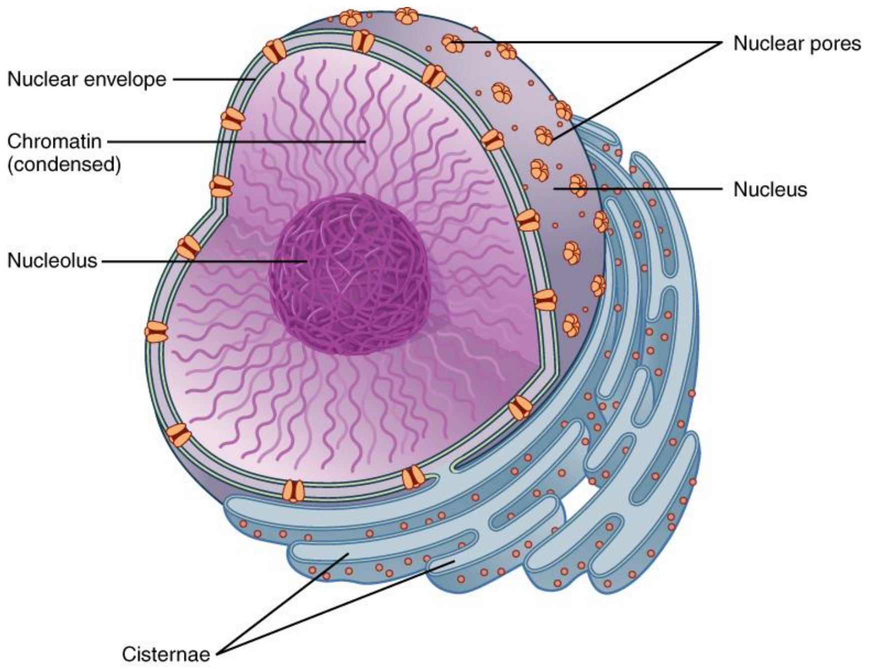
เป็นโครงสร้างที่เห็นได้ชัดเจน พบได้ในสิ่งมีชีวิตยูคาริโอต พบอยู่กลางเซลล์หรือค่อนไปทางด้านใดด้านหนึ่ง มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของเซลล์ รวมถึงเป็นที่อยู่ของสารพันธุกรรม องค์ประกอบแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. เยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear membrane) มีโครงสร้างคล้ายเยื่อหุ้มทั่วไป แต่แตกต่างตรงที่เป็นเยื่อหุ้มที่มีรูพรุน เรียกว่า "Nuclear pore" และมีเม็ดไรโบโซมเกาะอยู่

2. นิวคลีโอพลาซึม (Nucleoplasm) คือส่วนที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มนิวเคลียส แบ่งเป็น 2 ส่วน

2.1 นิวคลีโอลัส (Nucleolus) ทำหน้าที่สังเคราะห์ไรโบโซม (rRNA+ribosomal protein)

2.2 เส้นใยโครมาทิน (Chromatin fiber) คือส่วนที่เป็นสารพันธุกรรม เมื่อแบ่งเซลล์โครมาทินจะขดตัวแน่นจนเป็นแท่งเรียกว่า โครโมโซม



ภาพที่ โครงสร้างของนิวเคลียส

ที่มา: https://cooljargon.com/ebooks/anatomy_and_physiology/m46073/index.cnxml.html

ไซโทพลาซึม (Cytoplasm)

เป็นส่วนที่ล้อมรอบนิวเคลียสอยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ออร์แกเนลล์ (Organelle) และไซโทซอล (Cytosol)

ออร์แกเนลล์

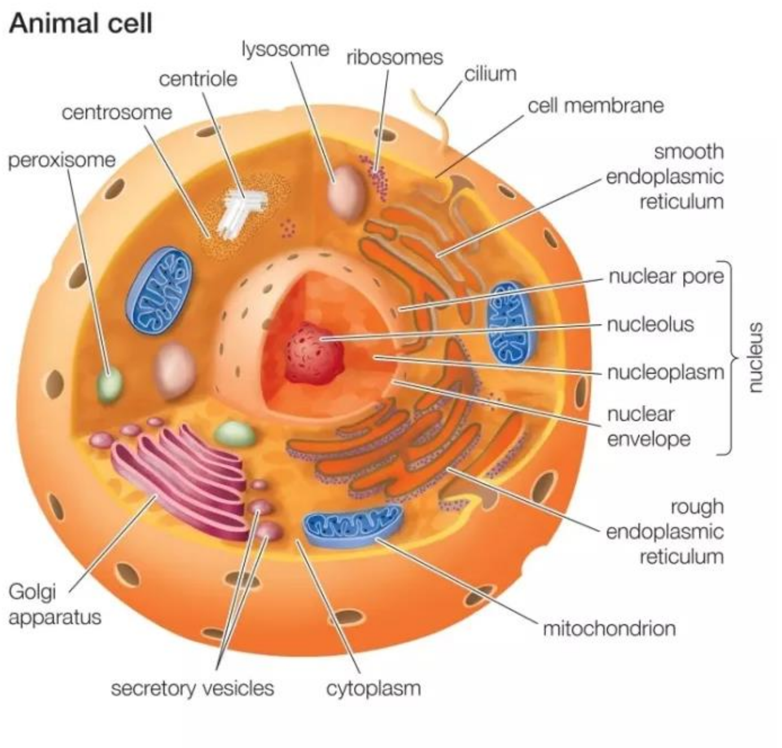
ออร์แกเนลล์ เป็นอวัยวะต่าง ๆ เพราะเป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน ดังนี้

โครงสร้าง	รายละเอียด
ออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม	
1. ไรโบโซม (Ribosome)	มีหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนสำหรับใช้ภายในเซลล์และส่งออกไปใช้นอกเซลล์
2. ไซโทสเกเลตอน (Cytoskeleton)	ไมโครฟิลาเมนท์ (Microfilament) เกิดจากเส้นใยโปรตีนแอกทิน มีหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ขิงเซลลี เช่น อะมีบา เซลล์เม็ดเลือดขาว และมีหน้าที่ค้ำจุนใน Microvilli เยื่อบุลำไส้เล็ก
	ไมโครทูบูล (Microtubule) ประกอบด้วยโปรตีนพวกทูบูลินเรียงต่อกันเป็นวงเห็นเป็นท่อ มีหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของเซลล์ (เป็นส่วนประกอบของซิเลียและแฟลเจลลัม : (9+2)
	อินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนท์ (Intermediate filament) จัดเรียงตัวเป็นร่างแหตามรูปร่างของเซลล์ พบที่โปรตีนเคราทินที่ผิวหนัง ขน และเล็บ
3. เซนทริโอล (Centriole)	ประกอบด้วยไมโครทูบูล 9 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ท่อ เรียงกันเป็นวงกลม เรียกว่า 9+0 มีหน้าที่สร้างเส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) ดึงโครโมโซมในขณะที่มีการแบ่งเซลล์
ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น	
4. เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum)	ชนิดผิวขรุขระ (Rough endoplasmic reticulum ; RER) มีไรโบโซมเกาะที่ผิวด้านนอก พบมากในเซลล์ที่มีการสังเคราะห์โปรตีนหรือเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น เซลล์ในตับอ่อน
	ชนิดผิวเรียบ (Smooth endoplasmic reticulum ; SER) ไม่มีไรโบโซมเกาะที่ผิวด้านนอก หน้าที่สังเคราะห์ไขมันหรือสารสเตอรอยด์ และยังทำหน้าที่กำจัดสารพิษ พบมากในเซลล์ตับ ต่อมหมวกไต อัณฑะ รังไข่ เป็นต้น
5. กอลจิคอมเพล็กซ์ (Golgi complex)	เป็นแหล่งบรรจุและขนส่งสารต่าง ๆ ไปใช้ และช่วยเติมหมูคาร์โบไฮเดรตให้กับโปรตีนหรือลิพิดที่มาจาก ER แล้วบรรจุใส่ถุง vesicle
6. ไลโซโซม (Lysosome)	มีเอนไซม์สำหรับย่อยสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ และย่อยสลายเนื้อเยื่อหรือเซลล์ที่หมดอายุ เช่น การย่อยสลายคอร์ปัสลูเทียมหลังการตกไข่ การย่อยสลายหางลูกอ๊อดก่อนกลายเป็นกบ เรียกกระบวนการนี้ว่า ออโตไลซิส (Autolysis)
7. แวคิวโอล (Vacuole)	ฟูดแวคิวโอล (Food vacuole) ใช้สะสมอาหาร พบในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว

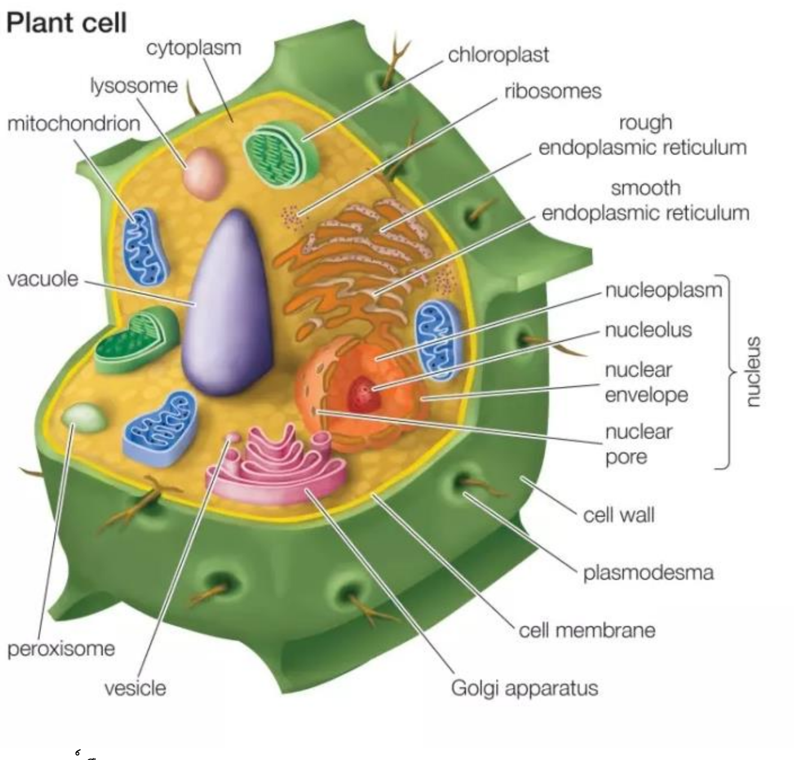
โครงสร้าง	รายละเอียด
	คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (Contractile vacuole) ทำหน้าที่กำจัดของเสียหรือน้ำออกจากเซลล์ ควบคุมสมดุลของสารละลายภายในเซลล์ พบในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น พารามีเซียม
	แซบแวคิวโอล (Sap vacuole) เป็นแวคิวโอลที่สะสมสารละลายต่าง ๆ เช่น โปรตีน น้ำตาล เกลือแร่ และรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีต่าง ๆ ได้แก่ แอนโทไซยานิน ซึ่งทำให้เซลล์กลีบดอกไม้มีสี เช่น ชบา
ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น	
8. ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)	มีเยื่อหุ้มชั้นนอกทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารและเยื่อชั้นในพบย่นไปมายื่นเข้าข้างใน เรียก "คริสตี้" (Cristae) และมีของเหลวภายใน เรียก "เมทริกซ์" (Matrix) มีหน้าที่สร้างพลังงานให้แก่เซลล์ในรูป ATP
9. พลาสติด (Plastid)	ลิวโคพลาสต์ (Leucoplast) ไม่มีสี มีหน้าที่สะสมแป้ง น้ำมัน หรือโปรตีน
	โครโมพลาสต์ (Chromoplast) มีสีส้มแดง เพราะมีรงควัตถุพวกแคโรทีน (Carotene) หรือมีสีน้ำตาลเหลือง เพราะมีรงควัตถุพวกแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll)
	คลอโรพลาสต์ (Chloroplast) มีสีเขียว จะมีรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ไซโทซอล

เป็นส่วนของไซโทพลาซึม มีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีอยู่ประมาณร้อยละ 50-60 ของปริมาตรเซลล์ทั้งหมด ไซโทซอลที่อยู่ติดกับเยื่อหุ้มเซลล์เรียกว่า เอ็กโทพลาซึม (Ectoplasm) ไซโทซอลบริเวณด้านใน เรียกว่าเอนโดพลาซึม (Endoplasm) ไซโทซอลเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์ต่าง ๆ และโครงสร้างอื่น ๆ เช่น เม็ดไขมัน เม็ดสี ในเซลล์สัตว์ ergastic substance ในเซลล์พืช



ภาพที่ โครงสร้างของเซลล์สัตว์
ที่มา: https://www.thoughtco.com/animal-cells-vs-plant-cells-373375



ภาพที่ โครงสร้างของเซลล์พืช
ที่มา: https://www.thoughtco.com/animal-cells-vs-plant-cells-373375

ใบความรู้ที่ 4
กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและรายละเอียดโครงสร้างของเซลล์ ที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยขยายศักยภาพทางด้านการมองเห็นของมนุษย์ไปพร้อม ๆ กับความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์ในหลายแขนง โดยมีประวัติเริ่มต้นการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ ดังรูป

ปี พ.ศ. 2100 — 2150 — 2200 — 2250

- ช่วงปี พ.ศ. 2133-2143 เริ่มประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ที่ให้ภาพขยายได้ 3-10 เท่า และมีการปรับและพัฒนาคุณภาพของกล้องจุลทรรศน์
- ประมาณปี พ.ศ. 2208 โรเบิร์ต ฮุค ได้ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ เพื่อใช้ศึกษาสิ่งต่าง ๆ รอบตัว และสามารถมองเห็นผนังเซลล์ครั้งแรกจากเซลล์ของเปลือกไม้โอ๊ค นอกจากนี้ยังเป็นผู้ให้นิยามคำว่า เซลล์
- ประมาณปี พ.ศ. 2217 อันโตนี วาน เลเวนฮุค ใช้กล้องจุลทรรศน์เลนส์เดียวที่ประดิษฐ์ขึ้นเองซึ่งมีกำลังขยายประมาณ 200 เท่า ในการสังเกตสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ และได้อธิบายลักษณะของโพรทิสต์และแบคทีเรีย

กล้องจุลทรรศน์จำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง (Light microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope)

กล้องจุลทรรศน์
- **กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง**
  - **แบบใช้แสงธรรมดา**
  - **แบบสเตอริโอ**
- **กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน**
  - **แบบส่องผ่าน** (Transmission electron microscope ;TEM)
  - **แบบสเตอริโอ** (Scanning electron Microscope ; SEM)

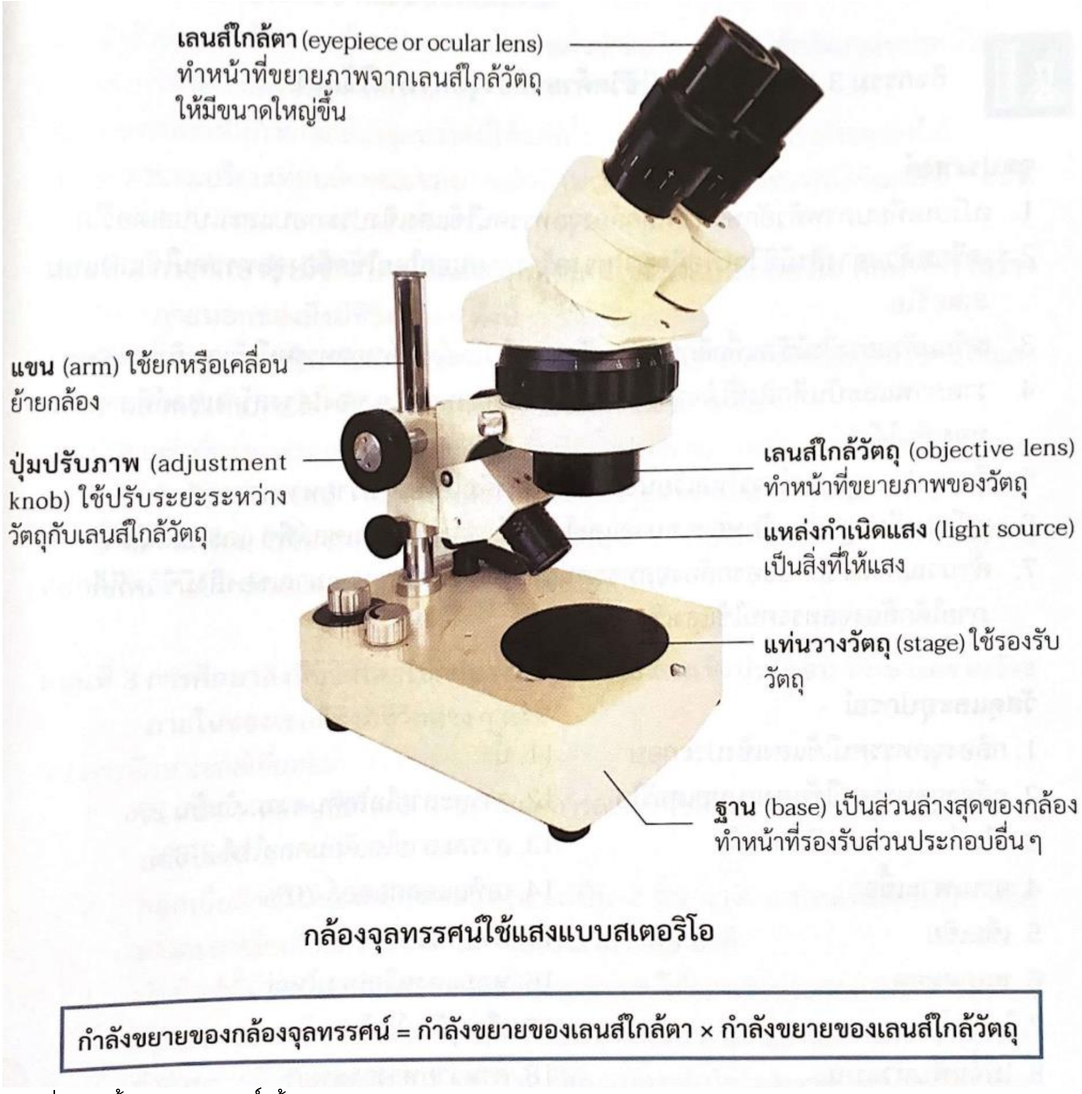
กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

กล้องจุลทรรศน์ที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการชีววิทยาทั่วไป คือ กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงจะใช้ลำแสงที่เป็นช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้และชุดของเลนส์แก้ว ทำให้เกิดภาพขยาย ซึ่งภาพปรากฏให้เห็นได้โดยตรงในลำกล้อง กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ (Compound light microscope) และกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ (Stereoscopic microscope)

1. **กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ** เป็นกล้องชนิดเลนส์ประกอบ นิยมใช้ศึกษาโครงสร้างภายในของสิ่งมีชีวิตระดับเนื้อเยื่อและเซลล์ ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพเสมือนหัวกลับและกลับซ้ายเป็นขวา

ภาพที่ 1 กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
ที่มา: หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1

2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ เป็นกล้องชนิดเลนส์ประกอบสามารถใช้ศึกษาโครงสร้างภายนอกของวัตถุที่ทึบแสง มีกำลังขยายต่ำกว่ากล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ ซึ่งภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพ 3 มิติ และเป็นภาพเสมือนหัวตั้งไม่กลับซ้ายขวา



ภาพที่ 2 กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

ที่มา: หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1

กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน

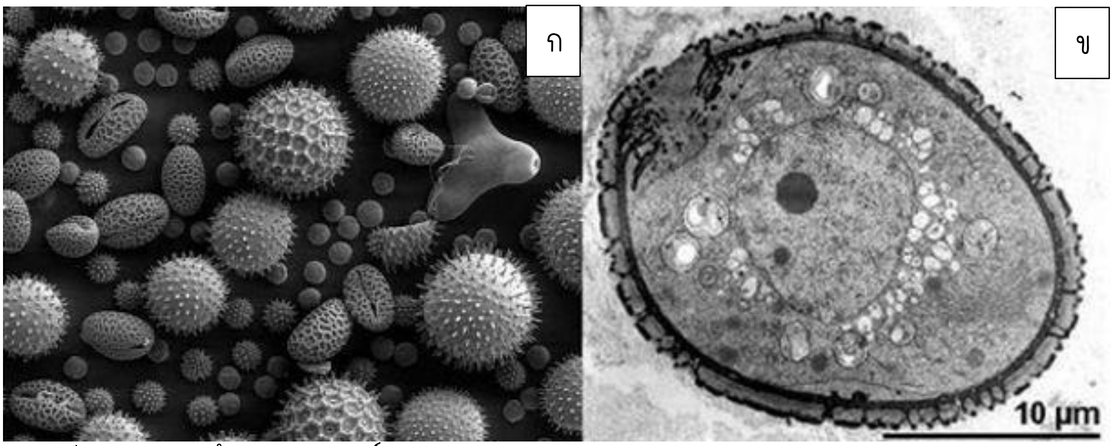
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงมาก เนื่องจากใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีคลื่นความถี่สูงมาใช้แทนแสง ทำให้สามารถเห็นรายละเอียดของวัตถุได้มาก จึงใช้ศึกษาสิ่งที่มีขนาดเล็กที่ไม่สามารถศึกษาได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีองค์ประกอบหลักดังนี้ แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ชุดเลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และจอรับภาพ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope ; TEM) มีหลักการทำงานเริ่มจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนยิงลำอิเล็กตรอนผ่านเลนส์รวมไปยังตัวอย่างชิ้นบางซึ่งย้อมด้วยสารประกอบโลหะหนักที่ทึบลำอิเล็กตรอน ลำอิเล็กตรอนจะส่องผ่านตัวอย่างบริเวณที่ย้อมโลหะหนักได้มากน้อยแตกต่างกันไปตามปริมาณของโลหะหนักที่ย้อมติด จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะส่องผ่านไปยังชุดเลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ฉายแล้วเกิดภาพบนจอรับภาพ วัตถุระสงค์ในการเลือกใช้กล้อง TEM คือ เพื่อศึกษาโครงสร้างภายในของวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตซึ่งมีความบางมาก ปัจจุบันกล้องชนิดนี้พัฒนาไปมากจนมีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 1 ล้านเท่า

2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron Microscope ; SEM) มีหลักการทำงานเริ่มจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนยิงลำอิเล็กตรอนผ่านเลนส์รวม ผ่านขดลวดส่องกราดเพื่อควบคุมลำอิเล็กตรอนให้ผ่านเลนส์ใกล้วัตถุกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่เคลือบด้วยโลหะประเภททองคำ ทำให้อิเล็กตรอนจากทองคำหลุดกระจายออกมาและจะถูกตรวจจับด้วยเครื่องตรวจจับอิเล็กตรอนแล้วแปลสัญญาณเป็นภาพ 3 มิติ วัตถุประสงค์ในการเลือกใช้กล้อง SEM คือ เพื่อศึกษาโครงสร้างผิวด้านนอกของวัตถุ ปัจจุบันกล้อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 400,000 เท่า

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

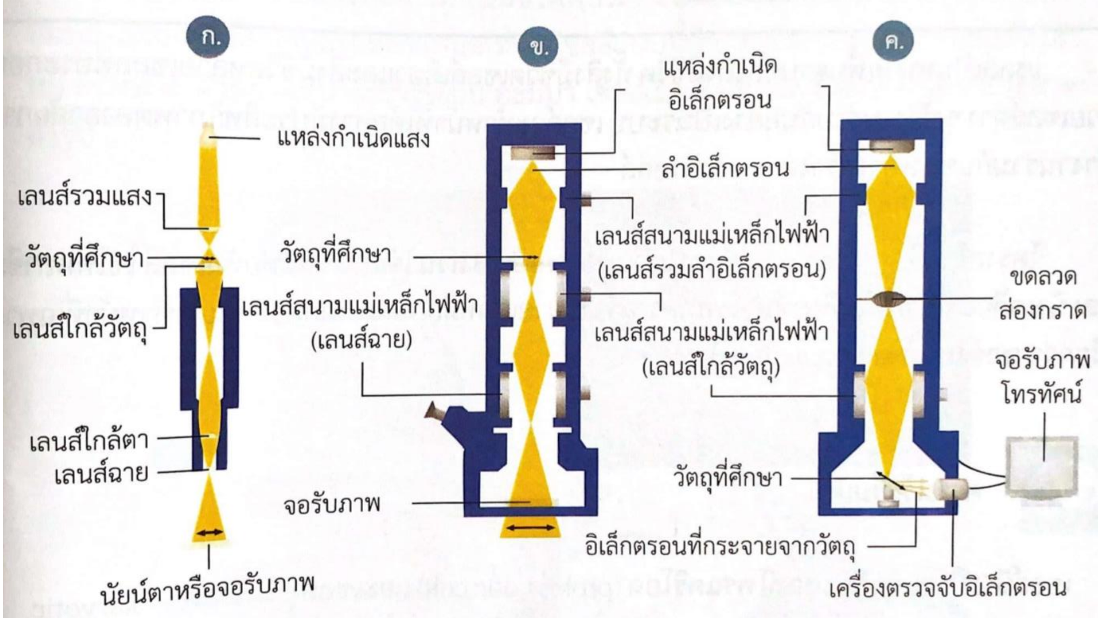
ลักษณะที่เปรียบเทียบ	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
1. แสงที่ใช้	แสงสว่างในช่วงที่ตามองเห็นได้	ลำแสงอิเล็กตรอน
2. ชนิดของเลนส์	เลนส์แก้ว	เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า
3. กำลังขยาย	1,000-1,500 เท่า	200,000-500,000 เท่าขึ้นไป
4. วัตถุที่เล็กที่สุดที่มองเห็น	0.2 ไมโครเมตร	0.0004 ไมโครเมตร
5. ตัวกลาง	อากาศ	สุญญากาศ
6. ภาพที่ได้	ภาพเสมือนหัวกลับดูได้จากเลนส์ใกล้ตา	ภาพปรากฏบนจอรับภาพเรืองแสง
7. วัตถุที่ส่องดู	มีชีวิตหรือไม่มีชีวิต	ไม่มีชีวิตเท่านั้น



ภาพที่ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ก TEM ข. SEM

ที่มา: https://www.majordifferences.com



ภาพที่ รูปเส้นทางเดินลำแสงและลำอิเล็กตรอน

ก. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง ข. TEM ค. SEM

ที่มา: หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1

การคำนวณหาขนาดของวัตถุหรือขนาดของภาพจากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

1. หากำลังขยายของกล้อง

กำลังขยายของกล้อง = กำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา x กำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ

2. หากำลังขยายของภาพ

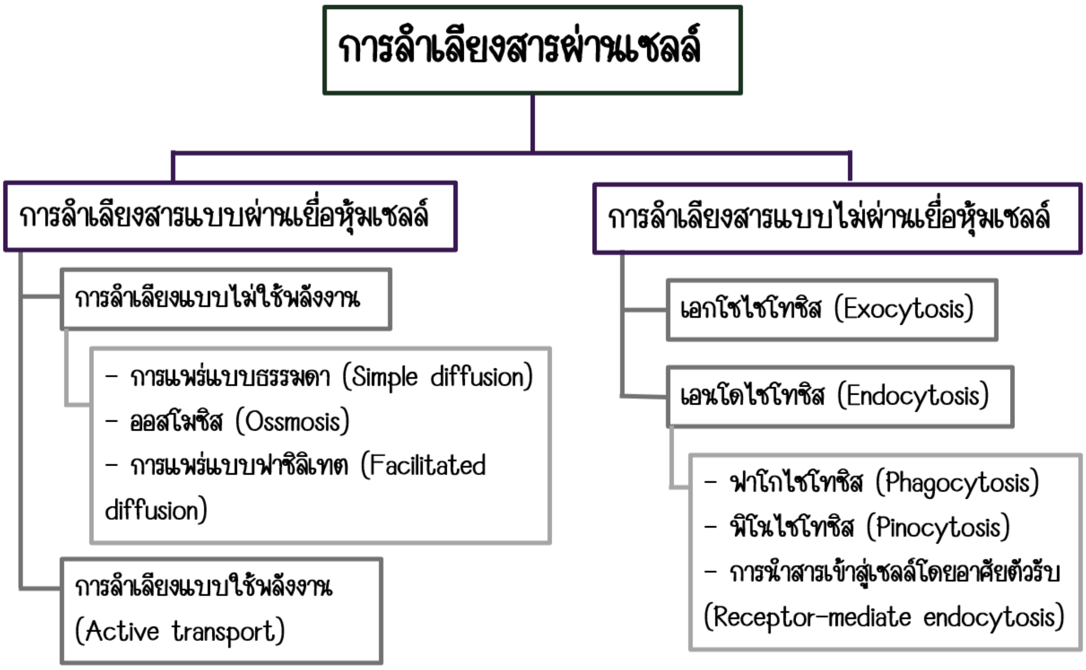
$$\text{หากำลังขยายของภาพ} = \frac{\text{ขนาดของภาพ}}{\text{ขนาดของวัตถุ}}$$

3. หาเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ} = \frac{\text{กำลังขยายเลนส์ต่ำสุด x เส้นผ่านศูนย์กลางจอภาพกำลังขยายต่ำสุด}}{\text{กำลังขยายของเลนส์ที่กำลังศึกษา}}$$

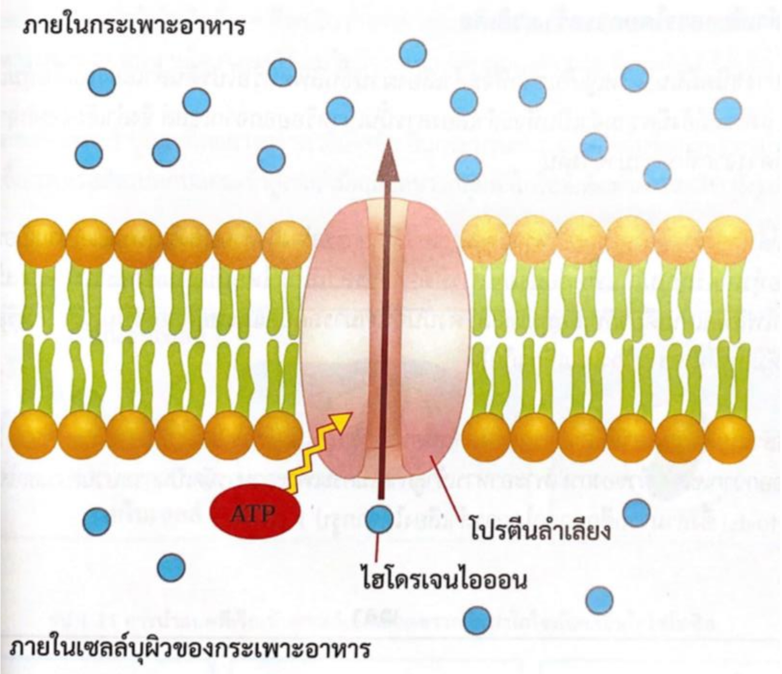
ใบความรู้ที่ 6
การลำเลียงสารแบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

เซลล์จะดำรงชีวิตอยู่ได้ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบและออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่แตกต่างกันและยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ เซลล์ด้วย การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์นั้นมีความสำคัญต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก เนื่องจากเซลล์ที่มีชีวิตต้องการสารอาหารเพื่อผลิตเป็นพลังงานสำหรับใช้ในเซลล์และในขณะเดียวกันก็ต้องมีการนำของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ออกนอกเซลล์ สารต่าง ๆ เหล่านี้เข้าและออกจากเซลล์โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งเป็นเยื่อเลือกผ่าน โดยยอมให้น้ำและสารอาหารขนาดเล็กบางชนิดผ่านเข้าออกเซลล์ได้อย่างอิสระ ส่วนสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน และกรดนิวคลีอิก เซลล์ต้องมีกลไกพิเศษบางอย่างในการนำสารดังกล่าวเข้าและออกจากเซลล์ โดยจำแนกได้เป็น การลำเลียงสารแบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์



การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

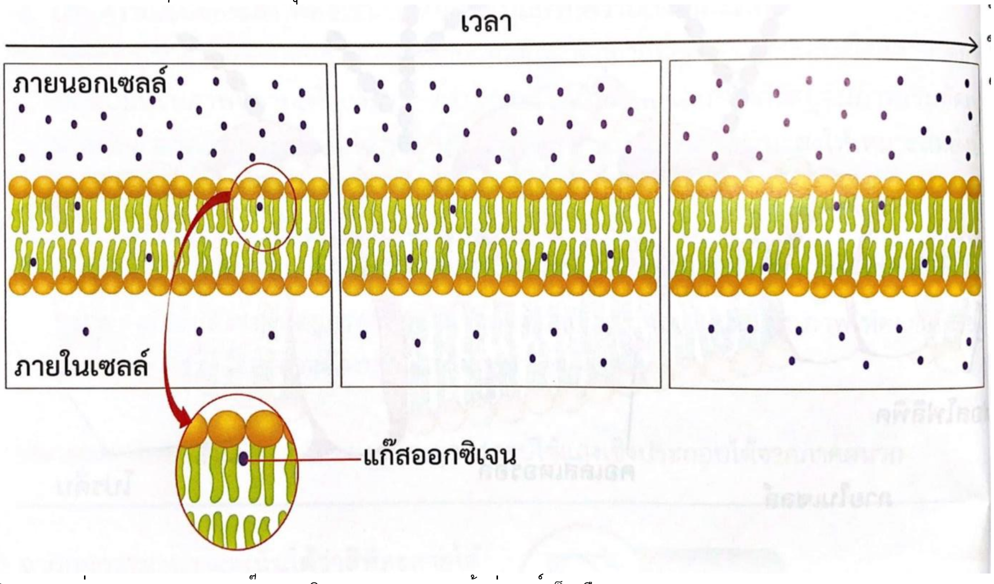
1. Active transport เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง โดยอาศัยโปรตีนเป็นตัวพา (Carrier protein) และต้องใช้พลังงาน (ATP) เช่น การลำเลียงโซเดียม โพแทสเซียมเข้าและออกจากเซลล์ประสาท (Sodium-potassium pump) การดูดซึมสารอาหารที่ลำไส้เล็ก การดูดแร่ธาตุเข้าสู่รากพืช เป็นต้น



ภาพที่ 1 การหลั่งไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่ภายในกระเพาะอาหารโดยแอคทีฟทรานสปอร์ต
ที่มา: หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

2. Passive transport เป็นการนำสารผ่านเข้าออกเซลล์โดยไม่ใช้พลังงาน มีหลายวิธี ดังนี้

2.1 การแพร่แบบธรรมดา (Simple diffusion) คือการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือไอออนของสาร จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ จนกว่าทุกบริเวณจะมีความเข้มข้นของสารนั้นเท่ากัน เรียกว่า สมดุลของการแพร่ (เมื่อเกิดสมดุลของการแพร่ สารยังคงเคลื่อนที่ตลอดเวลา) สารที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยวิธีการนี้ได้แก่สารที่ละลายได้ดีในลิพิด เช่น กรดไขมัน วิตามิน A D E และ K และสารขนาดเล็กอื่น ๆ ที่ไม่มีประจุ เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพที่ 2 การแพร่แบบธรรมดาของแก๊สออกซิเจนจากพลาสมาเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง
ที่มา: หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแพร่ของสาร

1) อุณหภูมิ

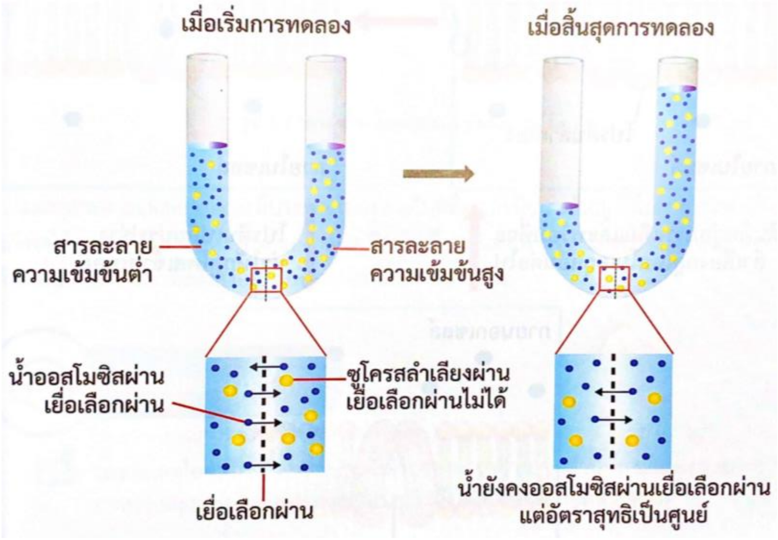
2) ความแตกต่างของความเข้มข้นของอนุภาคสาร 2 บริเวณ

3) ความสามารถในการละลาย

4) ขนาดและอนุภาคของสาร

5) ความหนาแน่นของตวกลาง

2.2 ออสโมซิส (Osmosis) อาจกล่าวได้ว่าเป็นการแพร่ของน้ำ (ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย) ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) จากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งการออสโมซิสของน้ำทำให้ปริมาตรของเซลล์เปลี่ยนแปลงได้

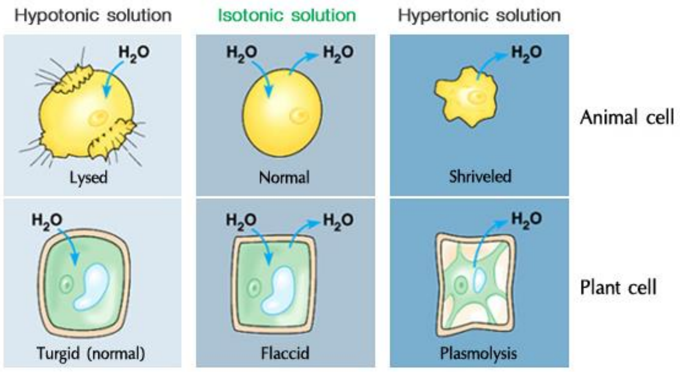


ภาพที่ 3 ออสโมซิส

ที่มา: หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

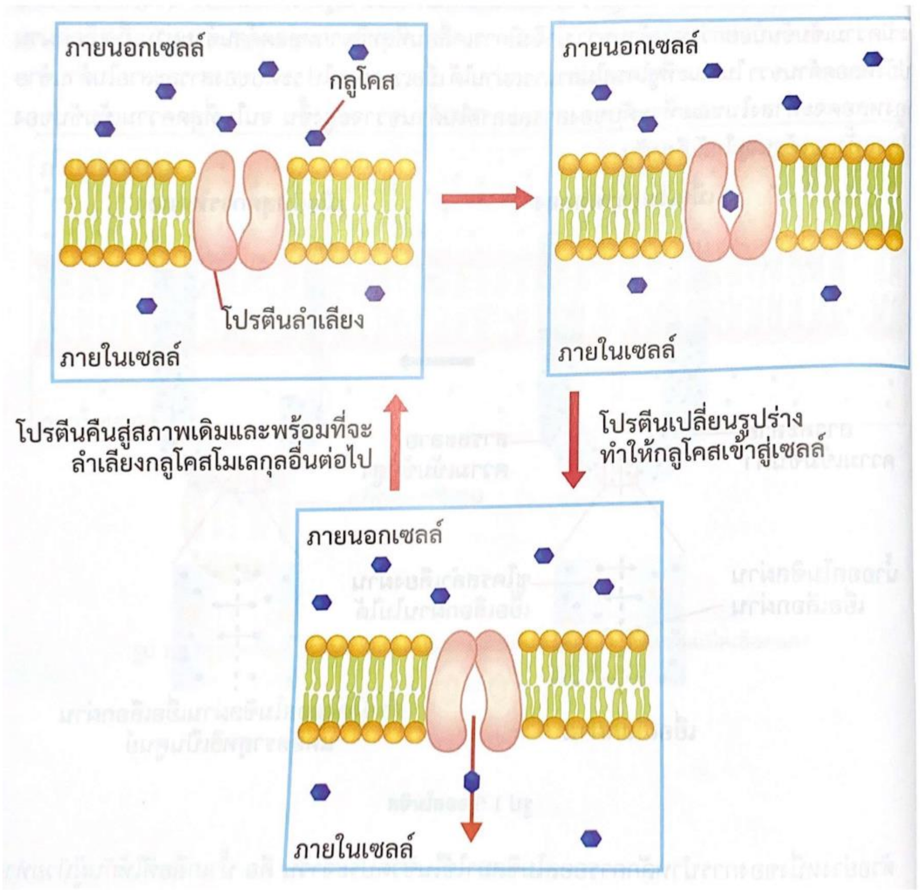
สารละลาย

- สารละลายไอโซโทนิก (Isotonic solution) สารละลายภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นเท่ากับภายในเซลล์ เซลล์นั้นจะมีปริมาตรคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น
- สารละลายไฮเพอร์โทนิก (Hypertonic solution) สารละลายภายนอกเซลล์จะมีความเข้มข้นสูงกว่าภายในเซลล์ ทำให้น้ำออสโมซิสออกจากเซลล์ ส่งผลทำให้เซลล์เหี่ยว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Plasmolysis
- สารละลายไฮโพโทนิก (Hypotonic solution) สารละลายภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นต่ำกว่าภายในเซลล์ ทำให้น้ำออสโมซิสจากสารละลายภายนอกสาภายในเซลล์ ส่งผลทำให้เซลล์เกิดการเต่งหรือแตกได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Plasmoptysis



ภาพที่ 4 สารละลาย
ที่มา: https://sufitya.wordpress.com/page/3/

2.3 การแพร่แบบฟาซิลิเทต (Facilitated diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำ โดยมีโปรตีนเป็นตัวพา (Carrier protein) สารนั้นเข้าสู่เซลล์โดยไม่ต้องใช้พลังงาน (ATP) จากเซลล์ เช่น การลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง และการลำเลียงไอออนชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 5 การลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงโดยการแพร่แบบฟาซิลิเทต
ที่มา: หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

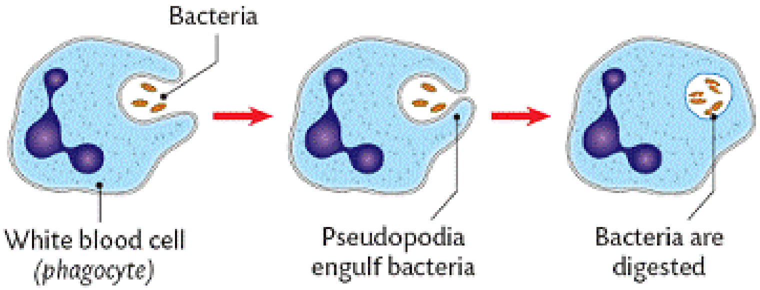
ใบความรู้ที่ 7
การลำเลียงสารแบบไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนรูปร่างได้ ทำให้เซลล์สามารถลำเลียงสารโมเลกุลใหญ่ผ่านเข้าออกเซลล์ได้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

เอนโดไซโทซิส (Endocytosis)

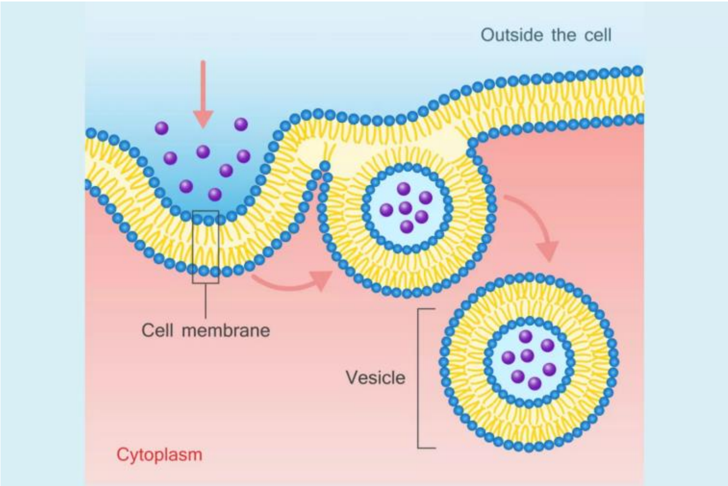
เป็นการลำเลียงสารที่มีโมเลกุลใหญ่จากสิ่งแวดล้อมภายนอกสู่ภายในเซลล์ แบ่งออกเป็น 3 วิธี

1. ฟาโกไซโทซิส (Phagocytosis) เป็นการลำเลียงสารที่มีสถานะเป็นของแข็งเข้าสู่เซลล์ โดยการยื่นส่วนของไซโทพลาซึมไปโอบล้อมสาร แล้วสร้างเป็นเวสิเคิล (Vesicle) นำเข้าไปภายในเซลล์ เช่น การกินอาหารของอะมีบา การกินเชื้อโรคของเม็ดเลือดขาวบางชนิด เป็นต้น



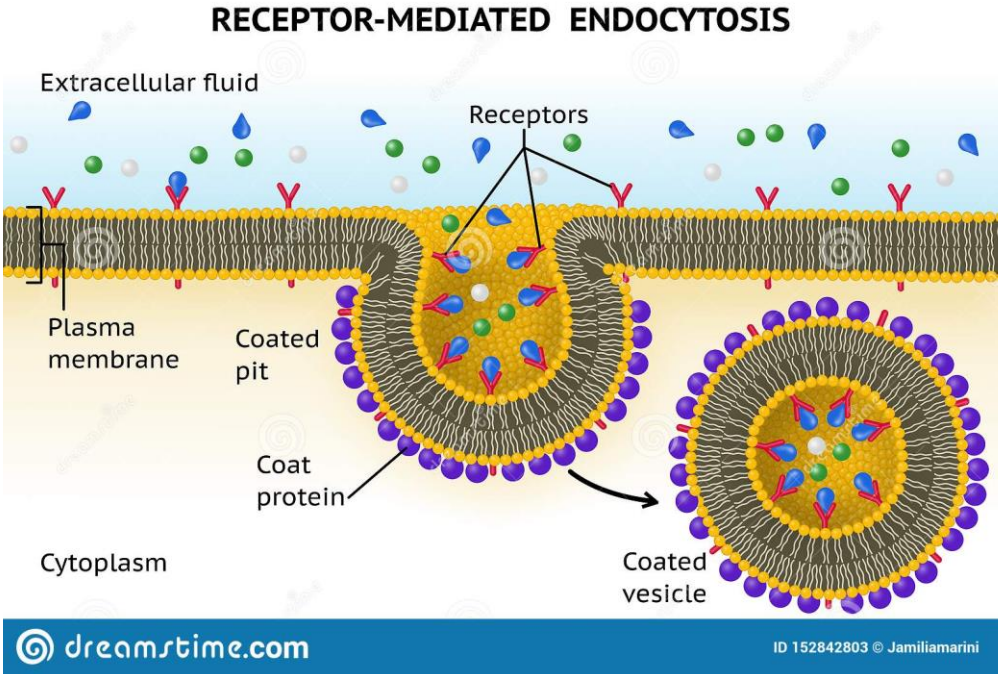
ภาพที่ 1 การกินเชื้อโรคของเม็ดเลือดขาว
ที่มา: https://socratic.org/questions/what-are-the-2-main-functions-of-white-blood-cells

2. พิโนไซโทซิส (Pinocytosis) เป็นการลำเลียงสารที่มีสถานะเป็นของเหลวเข้าสู่เซลล์ โดยจะมีการเว้าเข้าไปของไซโทพลาซึมจนเกิดเป็นเวสิเคิล เช่น การนำสารเข้าสู่เซลล์ที่หน่วยไต และการนำสารเข้าสู่เซลล์ที่เยื่อบุลำไส้

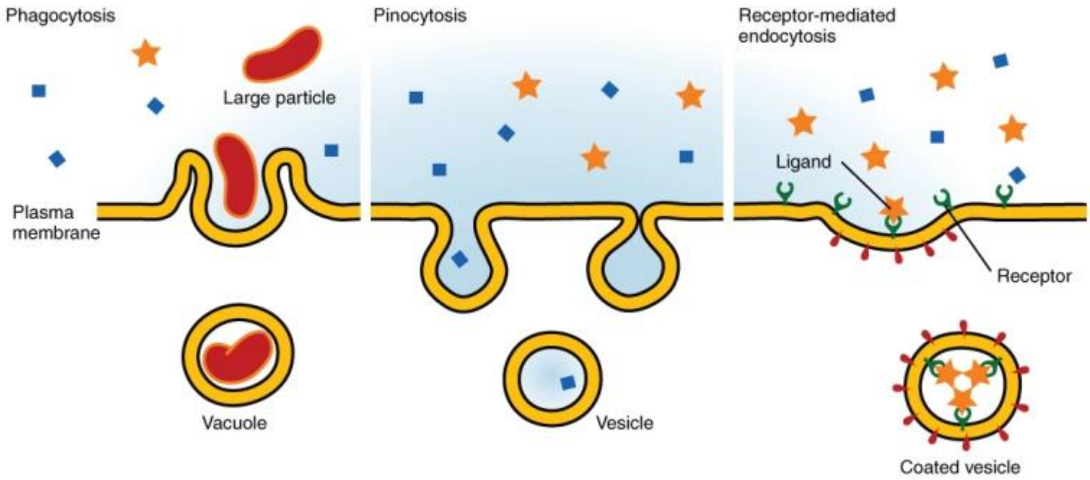


ภาพที่ 2 การลำเลียงสารแบบพิโนไซโทซิส
ที่มา: https://www.thoughtco.com/what-is-endocytosis-4163670

3. การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor-Mediated endocytosis) เป็นการลำเลียงสารเข้าสู่เซลล์ที่เกิดขึ้น โดยมีโปรตีนที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์เป็นตัวรับ ซึ่งสารที่ถูกลำเลียงเข้าสู่เซลล์ด้วยวิธีนี้ต้องมีความจำเพาะในการจับตัวกับโปรตีนตัวรับ (Receptor protein) ที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ จึงจะสามารถนำเข้าสู่เซลล์ได้ เช่น การนำฮอร์โมนเข้าสู่เซลล์



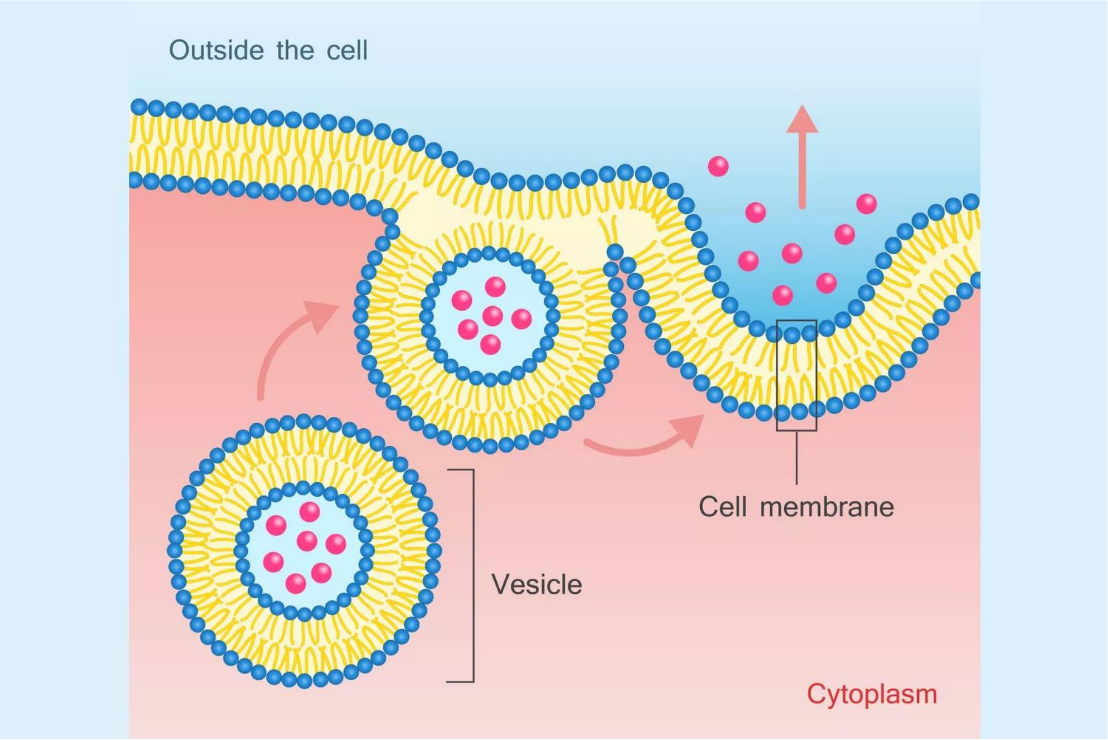
ภาพที่ 3 การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ
ที่มา: https://www.dreamstime.com/receptor-mediated-endocytosis-includes-membrane-proteins-called-receptors-bind-specific-molecules-ligands-image152842803



ภาพที่ 4 การนำสารเข้าสู่เซลล์ทั้ง 3 วิธี
ที่มา: https://rujraweessite.wordpress.com/

เอกโซไซโทซิส (Exocytosis)

เป็นการลำเลียงสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ออกจากเซลล์ โดยสารเหล่านั้นจะบรรจุอยู่ในเวสิเคิล (Vesicle) แล้วค่อย ๆ เคลื่อนเข้ามารวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ จากนั้นสารในเวสิเคิลจะถูกปล่อยออกสู่นอกเซลล์ เช่น การหลั่งฮอร์โมนอินซูลินของเซลล์ตับอ่อนเข้าสู่กระแสเลือด การหลั่งเอนไซม์ของเซลล์บริเวณกระเพาะอาหาร หรือการนำของเสียออกจากเซลล์ของอะมีบา เป็นต้น



ภาพที่ 5 เอกโซไซโทซิส
ที่มา: https://www.thoughtco.com/what-is-exocytosis-4114427