

การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

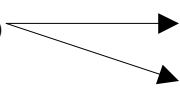
สมบัติสำคัญที่สุดประการหนึ่งของเซลล์สิ่งมีชีวิต คือ “สามารถควบคุมหรือคัดเลือกสาร” ผ่านเข้าออกเยื่อหุ้มเซลล์ เซลล์สิ่งมีชีวิตจึงดำรงอยู่ได้ โดยมีองค์ประกอบเคมีภายในเซลล์แตกต่างจากสิ่งแวดล้อมภายนอกทั้งชนิดและปริมาณสารเคมี รักษาสภาพเซลล์ให้คงสมบูรณ์อยู่และให้เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ ของเซลล์ ซึ่งต้องการสารวัตถุดิบจากภายนอกและมีของเสียเกิดขึ้นที่กำจัดทิ้ง ตลอดจนอาจมีผลผลิตเกิดขึ้นที่จะต้องส่งออกไปนอกเซลล์ เซลล์มีการแลกเปลี่ยนสารกับสิ่งแวดล้อมแบบคัดเลือกได้เช่นนี้ เพราะเยื่อหุ้มเซลล์มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane)

ประเภทของการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ จำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. การลำเลียงสารโดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1.1 การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยไม่ใช้พลังงานจากเซลล์ (Passive transport) ได้แก่

- การแพร่ (Diffusion) 
 - การแพร่ธรรมดา (Simple diffusion)
 - การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion)
- การออสโมซิส (Osmosis)

1.2 การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยใช้พลังงานจากเซลล์ (Active transport)

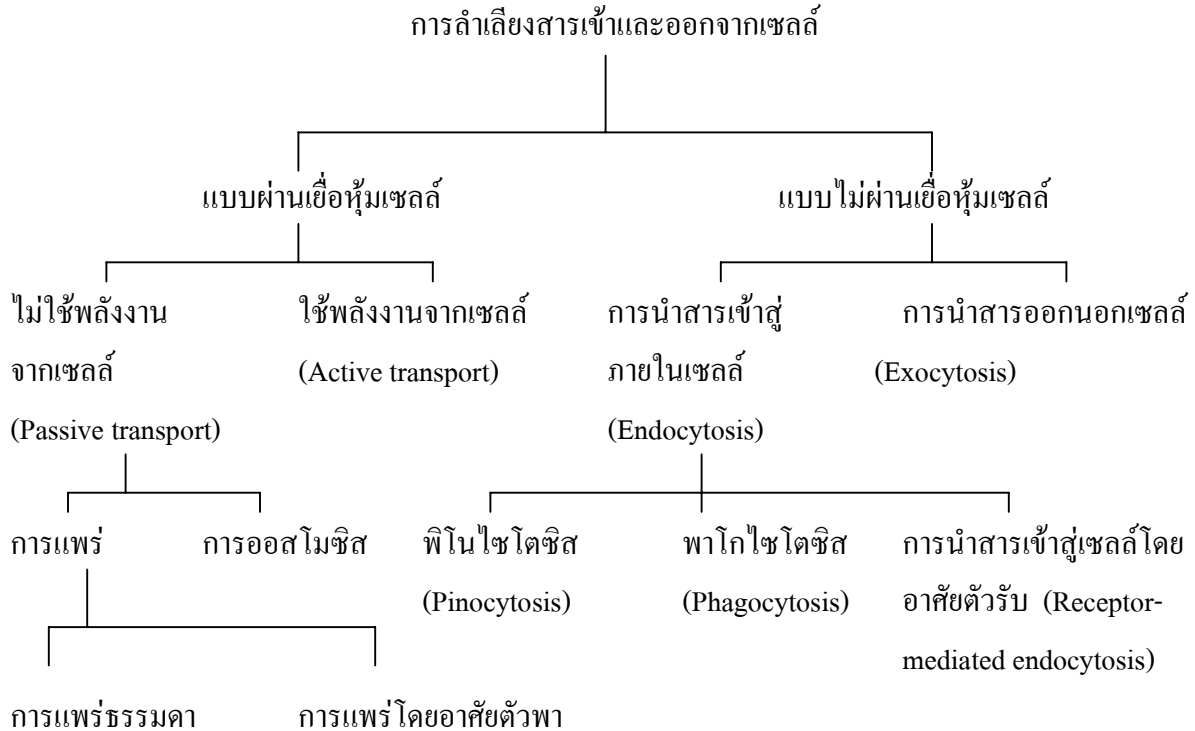
2. การลำเลียงสารไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์ มี 2 ลักษณะ คือ

2.1 การนำสารเข้าสู่ภายใน (Endocytosis) มี 3 วิธี คือ

- ฟิโนไซโตซิส (Pinocytosis)
- ฟาโกไซโตซิส (Phagocytosis)
- การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor-mediated endocytosis)

2.2 การนำสารออกนอกเซลล์ (Exocytosis)

สรุปการลำเลียงสาร

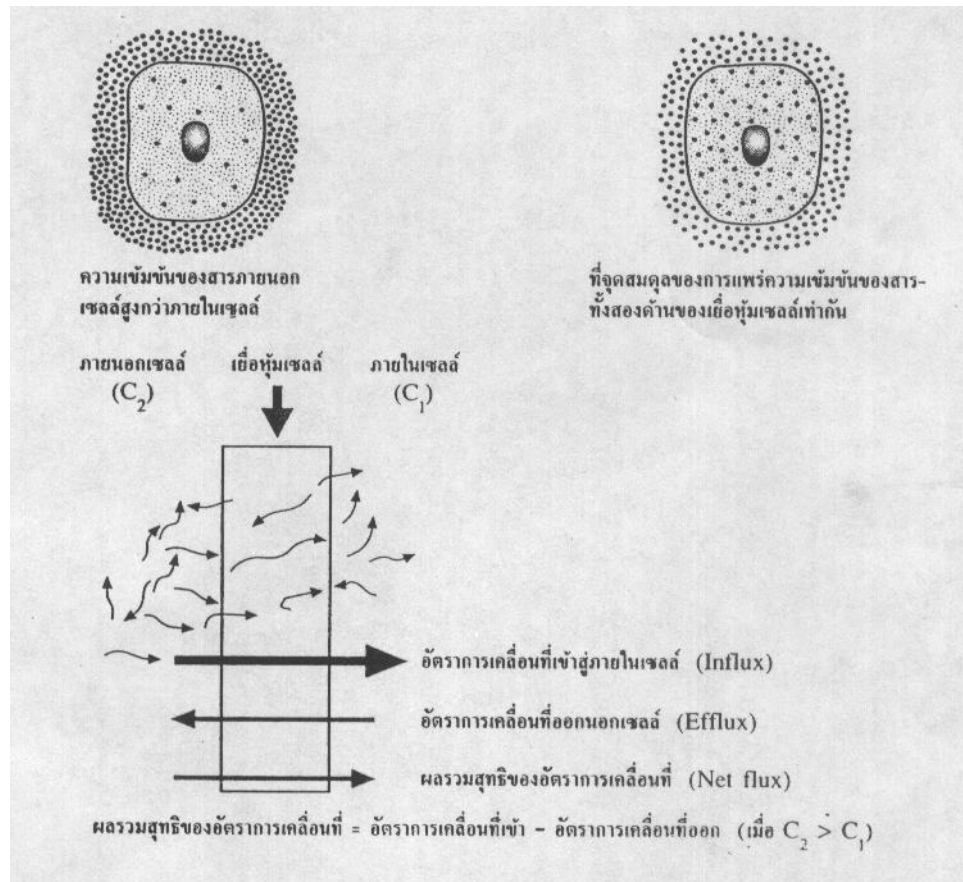


1. การลำเลียงสาร โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

1.1) การลำเลียงโดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และไม่ใช้พลังงานจากเซลล์

1.1.1 การแพร่ (Diffusion) คือ การเคลื่อนที่ของโมเลกุล หรืออออนของสารโดยอาศัยพลังงานจลน์ในโมเลกุลหรืออออนของสารเอง ทิศทางการแพร่จะเกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำเสมอจนในที่สุดบริเวณทั้งสองจะมีความเข้มข้นเท่ากัน ซึ่งเรียกว่า **จุดสมดุลของการแพร่** ณ จุดนี้ อัตราการแพร่ไปและกลับมีค่าเท่ากัน จึงมีลักษณะเป็น **สมดุลจลน์ (Dynamic equilibrium)** การแพร่แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

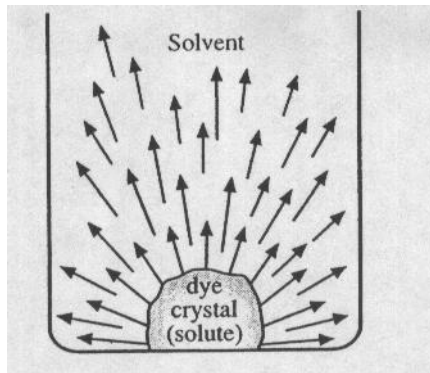
- **การแพร่ธรรมดา (Simple diffusion)** คือ การเคลื่อนที่ของโมเลกุล หรืออออนของสารเนื่องจากผลต่างความเข้มข้นโดยไม่อาศัยพลังงานจลน์ในโมเลกุลหรืออออนของมันเอง ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากเซลล์และไม่อาศัยตัวพาใด ๆ ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของสารละลายชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ภายนอกเซลล์โดยมีเยื่อหุ้มเซลล์กั้นขวาง ดังรูป



การแพร่ของสารนั้นเป็นการเคลื่อนที่อย่างไม่มีทิศทางแน่นอน เพราะทิศทางที่แต่ละโมเลกุลจะเคลื่อนที่ขึ้นกับโอกาสที่จะกระทบกับโมเลกุลของอนุภาคอื่น ๆ ตัวอย่างการแพร่ของสารเช่น

1. การแพร่ในของแข็ง เช่น แก๊สด่างทับทิม และแก๊สเคมีสีนบบลูแพร่ในวุ้น
2. การแพร่ในของเหลว เช่น น้ำตาล กลีอแพร่ในน้ำ
3. การแพร่ในก๊าซ เช่น การแพร่ของน้ำหอมในอากาศ การแพร่ของก๊าซหรือควันไฟ

ในอากาศ



ภาพแสดงการแพร่ของโมเลกุลของสีจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ

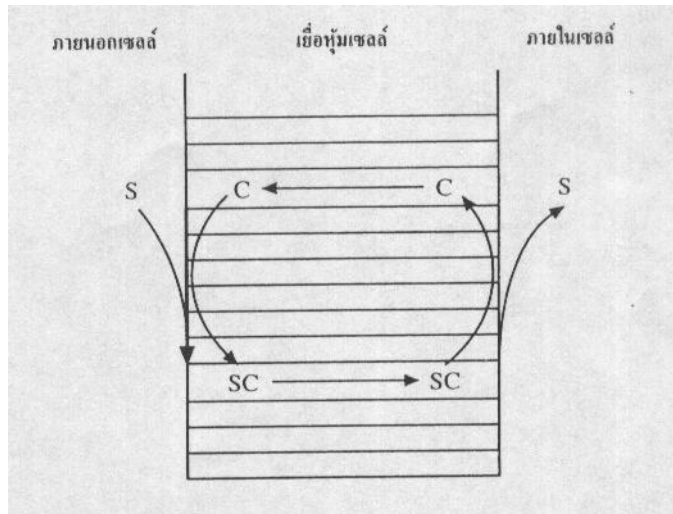
ปัจจัยที่ควบคุมการแพร่

1. ความเข้มข้นของสารที่จะแพร่ สารชนิดเดียวกัน แต่มีความเข้มข้นต่างกัน กลุ่มที่มีความเข้มข้นมากกว่าจะมีความสามารถในการแพร่ดีกว่า
2. อุณหภูมิ การเพิ่มระดับอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับสารจะทำให้สารเกิดการแพร่ไปได้เร็ว
3. ความดัน การเพิ่มความดันให้กับสารจะมีผลทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น
4. สิ่งเจือปนและตัวกลาง สิ่งเจือปนในสารตัวกลางที่จะแพร่ผ่านจะเป็นสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของสารทำให้เกิดการแพร่ช้าลง

ตัวกลางที่สารจะแพร่ผ่าน เช่น การแพร่ของก๊าซออกซิเจนในตัวกลางที่เป็นอากาศจะเร็วกว่าตัวกลางที่เป็นน้ำ เนื่องจากโมเลกุลน้ำอยู่กันอย่างหนาแน่น และมีแรงยึดเหนี่ยวกันสูง ทำให้การแพร่ในน้ำช้าลง

5. สถานะของสารที่จะแพร่ สารชนิดเดียวกันแต่อยู่ต่างสถานะกันความเร็วในการแพร่จะไม่เท่ากัน เช่น 'ไอน้ำจะแพร่ได้เร็วกว่าน้ำ' เพราะไอน้ำเป็นก๊าซมีแรงยึดเหนี่ยวน้อย และมีพลังงานจลน์สูง ส่วนน้ำมีแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าและมีพลังงานจลน์ต่ำกว่า

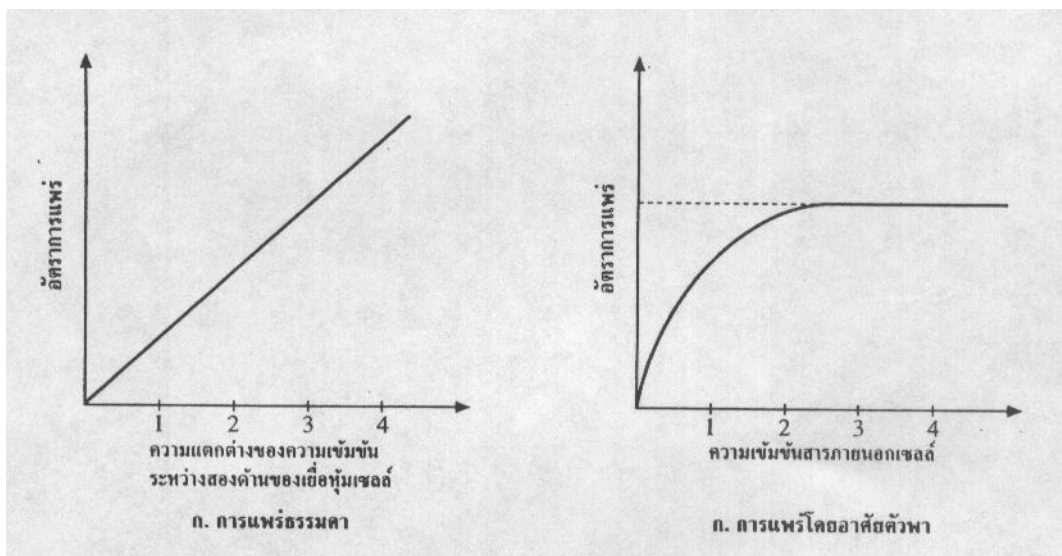
- การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion) คือ การแพร่ของโมเลกุลหรือไอออนของสารโดยอาศัยตัวพา (Carrier) ซึ่งเป็นสารจำพวกโปรตีนที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์เป็นตัวนำไปโดยไม่ต้องใช้พลังงานจากเซลล์



แสดงการเคลื่อนที่ของสาร (S) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยอาศัยตัวพา carrier (C)

คุณลักษณะของการแพร่โดยอาศัยตัวพา

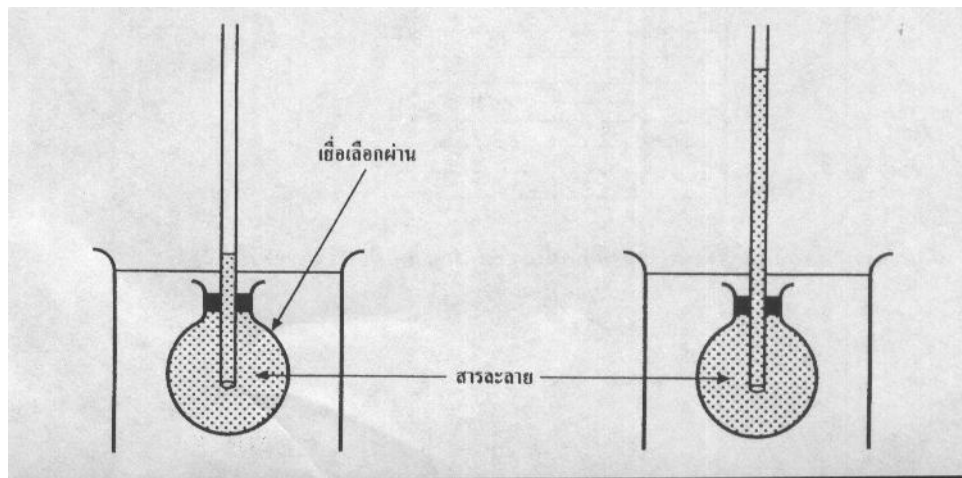
1. การเคลื่อนที่โดยอาศัยตัวพาจะถึงจุดสมดุลของการแพร่เร็วกว่าการแพร่ธรรมดา เนื่องจากตัวพาช่วยขนส่งสาร ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบนี้ เช่น การลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงของคน การลำเลียงกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์ ฯลฯ
2. ถ้าพิจารณาอัตราการเคลื่อนที่ของสารระหว่างการแพร่ธรรมดากับการแพร่โดยอาศัยตัวพา เมื่อความเข้มข้นระหว่าง 2 ด้านของเยื่อหุ้มเซลล์ต่างกันมาก ๆ จะพบว่าอัตราการแพร่จะไม่แปรตามระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เนื่องจากตัวพามีปริมาณจำกัด ทุกตัวต้องทำหน้าที่ขนส่งสารทั้งหมด ดังนั้นความเข้มข้นของสารที่มากเกินไปจึงไม่ทำให้อัตราการแพร่เร็วขึ้นได้อีก ซึ่งต่างจากการแพร่ธรรมดา ดังกราฟ



1.1.2 การออสโมซิส (Osmosis) คือ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านโดยทิศทางเคลื่อนที่คือน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความหนาแน่นของน้ำมาก (สารละลายเจือจาง) ไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของน้ำน้อย (สารละลายเข้มข้น) จนกระทั่งถึงจุดสมดุลเมื่ออัตราการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านไปและกลับมีค่าเท่า ๆ กัน ซึ่งการออสโมซิสอาจถือได้ว่าเป็นการแพร่อย่างหนึ่ง

ออสโมมิเตอร์ (Osmometer) คือ เครื่องมือที่ใช้แสดงการเกิดออสโมซิส และสามารถวัดแรงดันที่เกิดจากกระบวนการออสโมซิสได้อีกด้วย

แรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) คือ แรงดันที่ทำให้เกิดออสโมซิสของน้ำ



แรงดันออสโมซิสของสารละลายต่างชนิดกัน จะมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากสาเหตุสำคัญคือ ความเข้มข้นของสารละลายนั้นไม่เท่ากัน เพราะจำนวนโมเลกุลหรือไอออนในสารละลายนั้นมีปริมาณไม่เท่ากันนั่นเอง ซึ่งสรุปได้ว่า

1. น้ำบริสุทธิ์มีแรงดันออสโมติกต่ำสุด เนื่องจากไม่มีตัวถูกละลายใด ๆ เจือปน
2. สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (ตัวถูกละลายมีจำนวนมาก) จะมีแรงดันออสโมติกสูง ส่วนสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ (ตัวถูกละลายมีจำนวนน้อย) จะมีแรงดันออสโมติกต่ำ
3. น้ำจะแพร่จากบริเวณที่มีแรงดันออสโมติกต่ำ ไปยังบริเวณที่มีแรงดันออสโมติกสูง

เสมอ

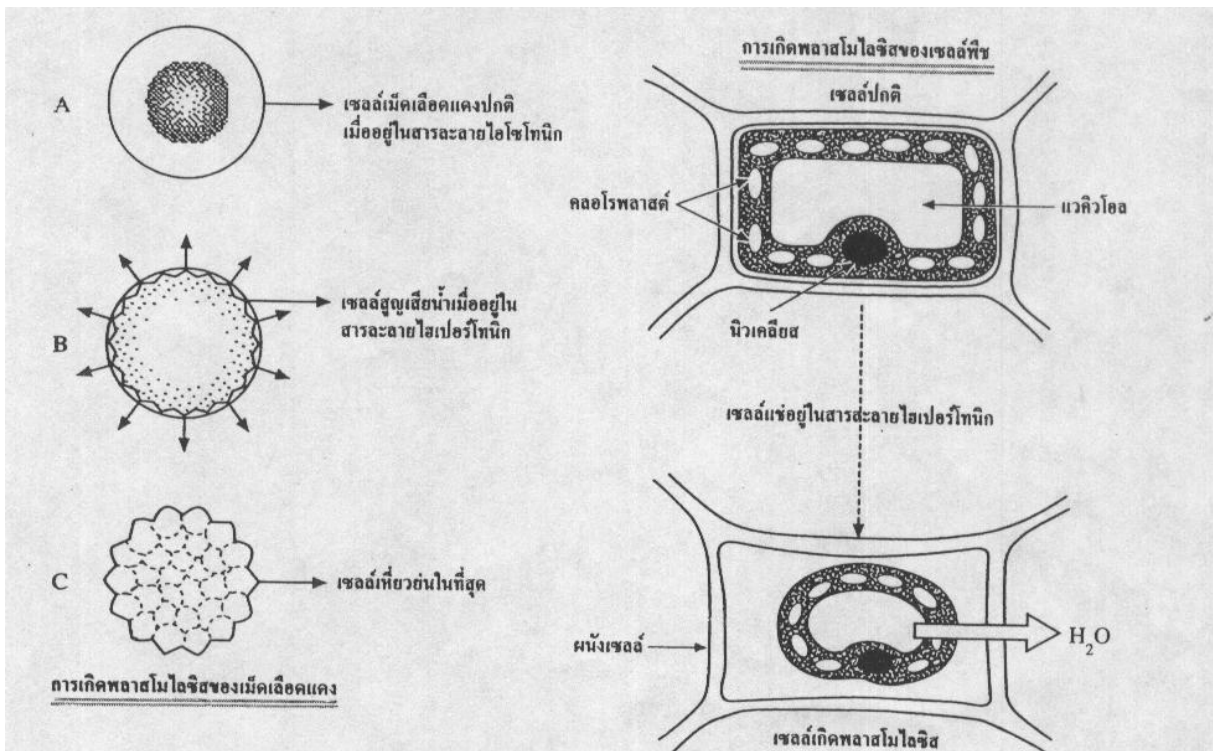
แรงดันเต่ง (Turgor pressure) คือ แรงดันที่เกิดขึ้นภายในอันเนื่องมาจากน้ำแพร่เข้าไป ซึ่งแรงดันเต่งสูงสุดจะมีค่าเท่ากับแรงดันออสโมติกของสารละลาย นั่นคือ ที่จุดสมดุลของการแพร่

$$\text{แรงดันเต่งมีค่าสูงสุด} = \text{แรงดันออสโมติก}$$

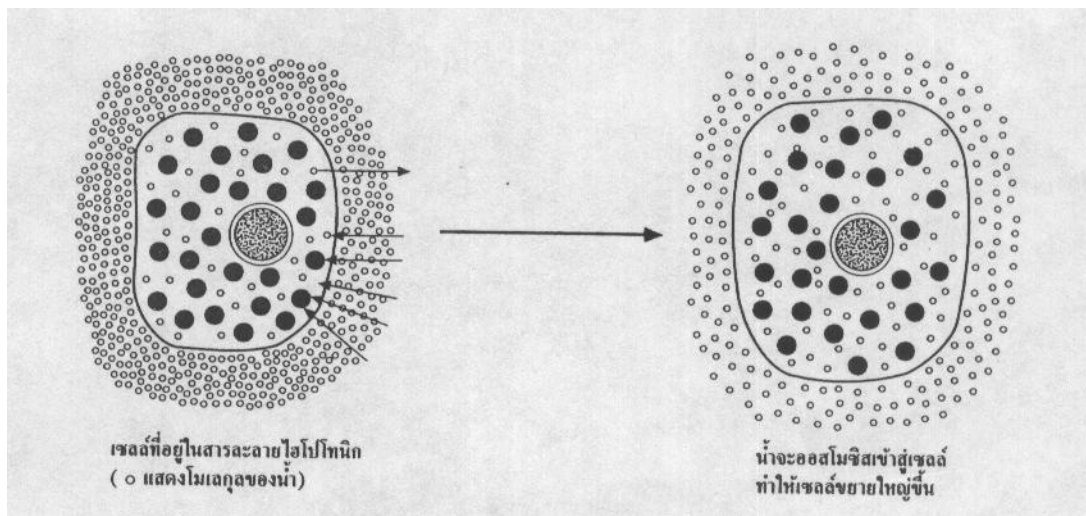
แรงดันเต่งมีความสำคัญมากในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เพราะทำให้เซลล์สามารถรักษารูปร่างได้ เช่น การรักษารูปร่างลักษณะของเซลล์สัตว์หรือในพืช การที่ใบการเต็มที ยอดตั้งตรงดี ใบผักกรอบ เนื่องจากภายในเซลล์มีแรงดันเต่งมากนั่นเอง

ประเภทของสารละลายที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิส แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. สารละลายไฮเปอร์โทนิก (Hypertonic Solution) คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ ดังนั้น ถ้าเซลล์อยู่ในภาวะที่มีสารละลายไฮเปอร์โทนิกอยู่ล้อมรอบ เยื่อหุ้มเซลล์จะหดตัวและเหี่ยวแฟบลงเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากเซลล์ เราเรียกกระบวนการแพร่ของน้ำออกมาจากไซโทพลาสซึมและมีผลทำให้เซลล์มีปริมาณเล็กลงนี้ว่า **พลาสโมไลซิส (Plasmolysis)**



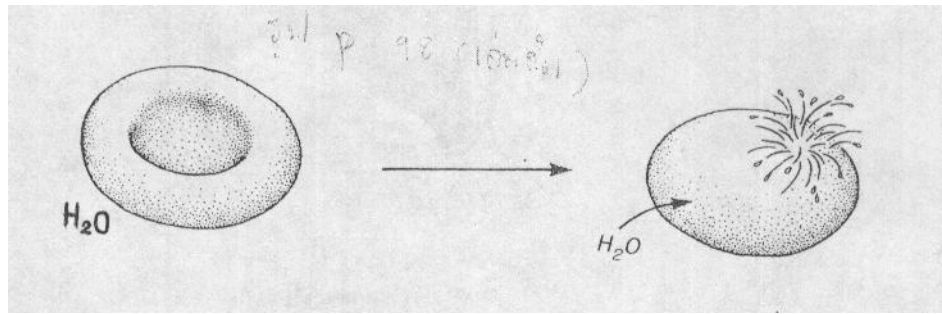
2. สารละลายไฮโปโทนิก (Hypotonic Solution) คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์ ดังนั้นถ้าเซลล์อยู่ในภาวะที่มีสารละลายไฮโปโทนิกล้อมรอบ เซลล์จะขยายขนาดหรือมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการแพร่ของน้ำ จากสารละลายภายนอกเข้าสู่ภายในเซลล์ และทำให้เซลล์เกิดแรงดันเพิ่มขึ้น ดันให้เซลล์ยืดยาวออกไปเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **พลาสโมไลซิส (Plasmoptysis)**



ภาพแสดงเซลล์การเกิดพลาสโมไลซิสของเซลล์

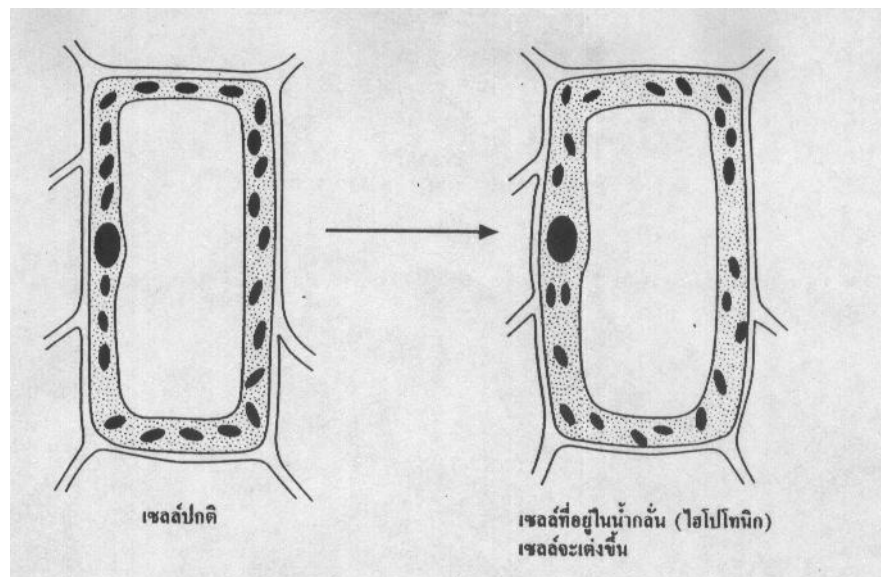
ถ้าพิจารณาในแง่ของแรงดันออสโมติก จะพบว่า สารละลายไฮโปโทนิก จะมีแรงดันออสโมติกต่ำกว่าแรงดันออสโมติกภายในเซลล์ น้ำจึงแพร่เข้าสู่เซลล์ ผลจากการเกิดพลาสโมไลซิสระหว่างเซลล์สัตว์และเซลล์พืชจะแตกต่างกันคือ

2.1 ในกรณีของเซลล์สัตว์ เช่น ถ้านำเซลล์เม็ดเลือดแดงมาใส่ลงในน้ำกลั่น (ไฮโปโทนิก ต่อเซลล์เม็ดเลือดแดง) น้ำจะแพร่เข้าสู่เซลล์ ทำให้เกิดแรงดันเต่งภายในเซลล์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณน้ำที่แพร่เข้าไป จนถึงจุดหนึ่งจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตกออก สารต่าง ๆ ภายในเซลล์จะละลายออกมาข้างนอก การแตกของเซลล์เม็ดเลือดแดง เมื่อแช่อยู่ในสารละลายไฮโปโทนิก เรียกว่า ฮีโมไลซิส (Haemolysis)



ภาพแสดงเซลล์การเกิดอิมโมไลซิสของเซลล์เม็ดเลือดแดง

2.2 ในกรณีของเซลล์พืช เช่น เซลล์ของเชื้อหอม ลักษณะของขบวนการเกิดก็เช่นเดียวกันกับในเซลล์สัตว์ แต่เซลล์พืชจะไม่แตกออก เนื่องจากผนังเซลล์ (Cell wall) มีแรงดันต้านเอาไว้

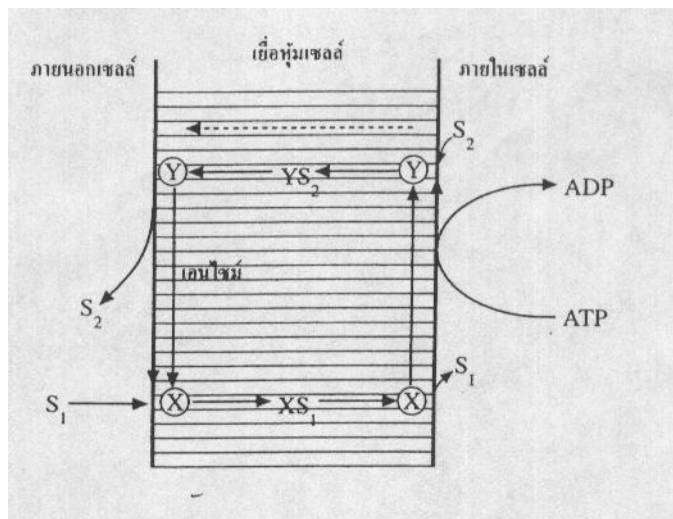


ภาพแสดงการเกิดพลาสโมไลซิสของเซลล์พืช

3. สารละลายไอโซโทนิก (Isotonic solution) คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ ดังนั้นเซลล์ที่อยู่ในภาวะที่มีสารละลายไอโซโทนิกล้อมรอบ จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นซึ่งมีความสำคัญมากในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะการคงรูปร่างของเซลล์สัตว์ การที่เม็ดเลือดแดงไหลเวียนอยู่ในน้ำเลือดโดยไม่เหี่ยวแฟบหรือพองโตจนแตก เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายน้ำเลือดเป็นไอโซโทนิกต่อสารละลายภายในเม็ดเลือดแดง นั่นเอง

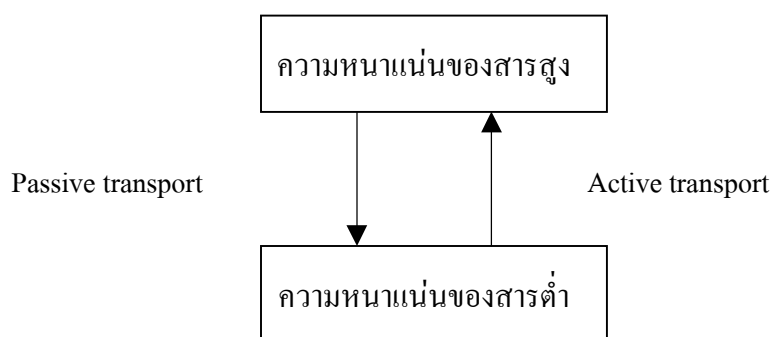
1.2) การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยใช้พลังงานจากเซลล์ (Active transport) คือ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือไอออนของสารจากบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยไปสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นมากกว่าโดยอาศัยพลังงานในรูป ATP จากเซลล์ กระบวนการนี้นับได้ว่ามีความสำคัญมากอย่างหนึ่งที่ทำให้เซลล์สามารถรักษาสภาวะสมดุลอยู่ได้

กระบวนการเกิดแอกทีฟทรานสปอร์ต



กระบวนการแอกทีฟทรานสปอร์ต มีคุณลักษณะสำคัญ ดังนี้

1. เป็นกระบวนการลำเลียงสารจากบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารต่ำไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารสูงกว่า โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งต่างจากการแพร่ที่มีการเคลื่อนที่ของสารจากบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารต่ำ



2. กระบวนการนี้ต้องอาศัยพลังงานจากเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารให้พลังงานสูง คือ ATP (Adenosine triphosphate) การใช้พลังงานนี้เกิดที่ผนังด้านในของเยื่อหุ้มเซลล์ แต่ในกระบวนการแพร่ไม่ใช้พลังงานจากเซลล์ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะใช้พลังงานจลน์ภายในตัวของมันเอง

3. ต้องอาศัยตัวพา (Carrier) คล้ายการแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion) แต่กลไกการทำงานของตัวพาในกระบวนการแอกทีฟทรานสปอร์ตมีความซับซ้อนกว่า

ตัวอย่างกระบวนการแอกทีฟทรานสปอร์ต

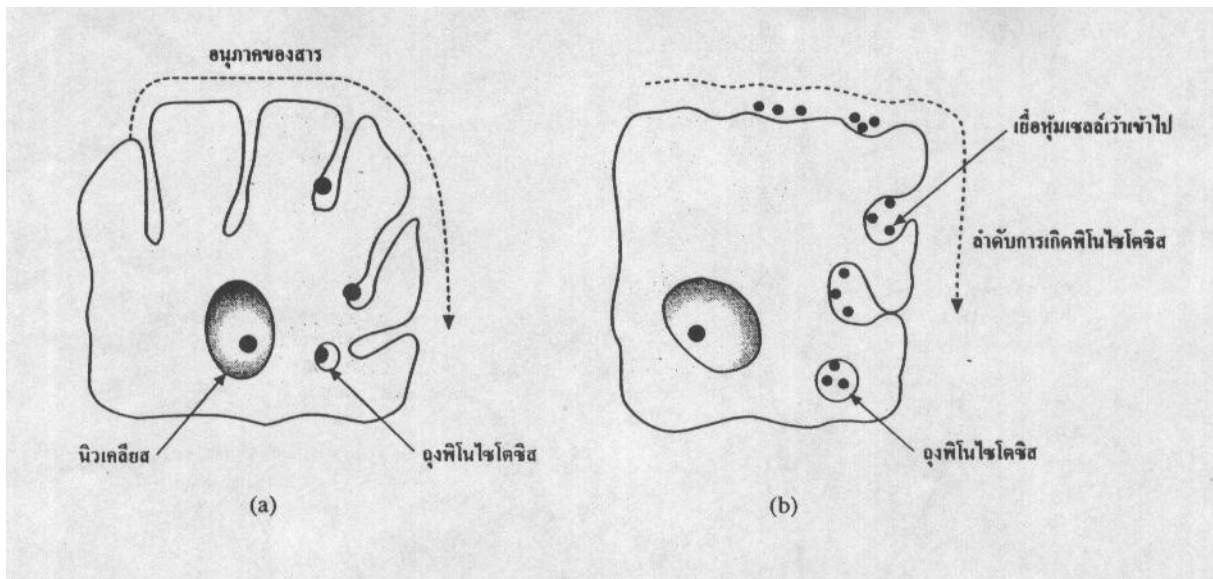
- การดูดกลับสารที่ท่อของหน่วยไต
- การสะสมกลูโคสเพื่อเปลี่ยนรูปเป็นไกลโคเจนของเซลล์ตับ
- การดูดซึมสารอาหารของเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้เล็กเมื่อความเข้มข้นของสารอาหารต่ำกว่า
- $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ pump หรือการขับ Na^+ และการรับ K^+ ของใยประสาท
- การลำเลียงแร่ธาตุของเซลล์รากพืชเมื่อความเข้มข้นของแร่ธาตุในดินต่ำกว่าของเซลล์ราก

2. การลำเลียงสารแบบไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยการสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์

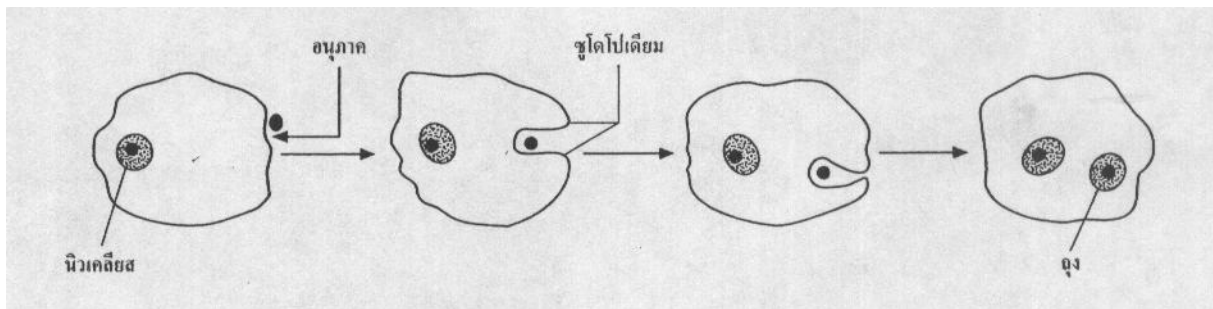
การลำเลียงสารแบบไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยการสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นวิธีการที่สารถูกนำเข้าหรือออกจากเซลล์ โดยที่เยื่อหุ้มเซลล์จะห่อหุ้มหรือโอบล้อม เอาสารนั้นเข้าเป็นถุง หลังจากนั้นเยื่อหุ้มเซลล์ส่วนที่เป็นถุงก็จะหลุดออกจากเยื่อหุ้มเซลล์ส่วนอื่น ๆ กลายเป็นถุงเล็ก ๆ (Vesicle) เคลื่อนที่เข้าสู่ภายในเซลล์ หรือเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ การที่เซลล์ต้องนำสารเข้าหรือออก โดยวิธีนี้เนื่องจากสารมีโมเลกุลใหญ่ หรือด้วยสาเหตุอื่นใดก็ตามที่ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยตรง การลำเลียงสารโดยวิธีนี้ต้องอาศัยพลังงานจากเซลล์เข้าร่วมด้วยแบ่งเป็น 2 ลักษณะ

2.1 การนำสารเข้าสู่ภายในเซลล์ (Endocytosis) มี 3 วิธี คือ

2.1.1 พิโนไซโตซิส (Pinocytosis = Cell drinking) คือ วิธีการนำสารที่เป็นของเหลวหรือสารละลายเข้าสู่เซลล์ โดยการทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เว้าเข้าไปในไซโทพลาสซึมที่ละน้อยจนกลายเป็นถุงเล็ก ๆ (Vesicle) และถุงนี้จะปิดสนิทหลุดเข้ามาอยู่ในไซโทพลาสซึม ตัวอย่างการนำสารเข้าโดยวิธีนี้ เช่น การนำสารเข้าสู่เซลล์ที่หน่วยไต, การนำไขมันเข้าสู่เซลล์เยื่อบุของลำไส้ เป็นต้น



2.1.2 ฟาโกไซโตซิส (Phagocytosis = Cell eating) คือ วิธีการนำสารที่มีลักษณะเป็นของแข็งหรือเซลล์ขนาดเล็ก ๆ เข้าสู่เซลล์โดยการสร้างซูโดโปเดียม (Pseudopodium) โอบล้อมสารนั้นแล้วเกิดเป็นถุงหลุดเข้าไปภายในเซลล์ ตัวอย่างเช่น การจับเชื้อโรคจำพวกแบคทีเรียของเซลล์เม็ดเลือดขาว การกินอาหารของอะมีบา



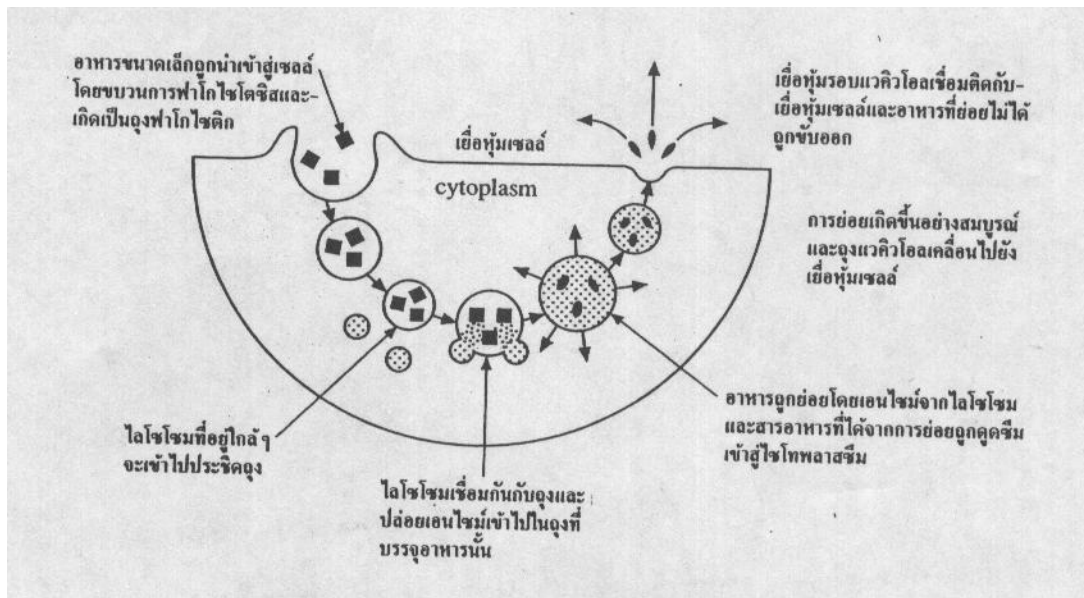
ภาพแสดงการเกิดฟาโกไซโตซิส

กระบวนการทั้งสองแบบมีขั้นพื้นฐานที่เหมือนกันคือ

1. การจับกันระหว่างสารกับผิวของเยื่อหุ้มเซลล์
2. การบุ้มเข้าไปข้างในของเยื่อหุ้มเซลล์
3. การเกิดเป็นถุงเยื่อ (Vesicle) หลุดเข้าไปในเซลล์
4. ต้องใช้พลังงานในรูป ATP จากเซลล์

2.1.3 การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor – mediated endocytosis) เป็น เอนโดไซโทซิสที่ใช้ตัวรับ (Receptor) บนเยื่อหุ้มเซลล์ ตัวรับทำหน้าที่จับสารก่อน จากนั้นจึงเกิดการเว้าของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยสารที่ลำเลียงต้องมีความจำเพาะจับกับตัวรับ

2.2 การนำสารออกสู่ภายนอกเซลล์ (Exocytosis) คือ การนำสารออกสู่ภายนอกเซลล์ เป็นกระบวนการที่เซลล์กำจัดสารออกนอกเซลล์ เช่น กากอาหารที่เหลือจากการย่อยของเสียของเซลล์ ฯลฯ หรือการหลั่งสารที่เป็นประโยชน์โดยเซลล์สร้างขึ้นแล้วส่งออกนอกเซลล์ เช่น เอนไซม์ ฮอร์โมน สารพิษ ฯลฯ



ความสำคัญของการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

1. ทำให้เซลล์สามารถรักษาคูณสมบัติต่าง ๆ ภายในเซลล์ให้ค่อนข้างคงที่เสมอ ซึ่งช่วยให้เซลล์ดำรงสภาพอยู่เป็นปกติ
2. เป็นวิธีการที่เซลล์ได้อาหาร ก๊าซ และสารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเซลล์ และเซลล์สามารถอาศัยกระบวนการเหล่านี้ได้ กำจัดสารที่ไม่ต้องการออกสู่ภายนอก
3. ทำให้ร่างกายหรือตัวสิ่งมีชีวิตดำรงชีพอยู่ได้ตามปกติ เนื่องจากผลลัพธ์สุทธิจากการทำงานของเซลล์แต่ละเซลล์ เช่น เม็ดเลือดขาว กำจัดเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกายโดยวิธีฟาโกไซโทซิส เซลล์ของต่อมต่าง ๆ หลั่งเอนไซม์หรือฮอร์โมนที่ควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกาย เป็นต้น