



หนังสือเรียน

รายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์ชีวภาพ

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔

ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๕

ISBN 978-616-576-350-9

จำนวน ๒๓๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธน วังจันทา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับชีวิตในสิ่งแวดล้อม องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต การดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์ การดำรงชีวิตของพืช พันธุกรรมความหลากหลายทางชีวภาพและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการดำรงชีวิต และรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของโลก รวมทั้งการพัฒนาความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ได้เป็นอย่างดี

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี

(ธน วังจันทา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นสำหรับผู้เรียนเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต และรู้เท่าทันกับการเปลี่ยนแปลงของโลก อาทิเช่น ชีวิตในสิ่งแวดล้อม องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต การดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์ การดำรงชีวิตของพืช พันธุกรรม ความหลากหลายทางชีวภาพและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ เล่มนี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

สสวท.

(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับตัวชี้วัด ตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้ผู้เรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนมีดังนี้



คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่ผู้เรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งผู้เรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว



จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อซึ่งผู้เรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ



ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งผู้เรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหา นั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท



ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา



ตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง



กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งผู้เรียนควรลงมือ ปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

 กิจกรรมเสนอแนะ การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้	 ความรู้เพิ่มเติม ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล
 รู้หรือไม่ ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน	 ศัพท์น่ารู้ ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติมและสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน
 แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม ข้อมูลแหล่งค้นคว้าที่ส่งเสริมการเรียนรู้ในเนื้อหาบทเรียน ผู้เรียนอาจศึกษาข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น	 การเชื่อมโยงความรู้ เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ
 สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียนเพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด	 แบบฝึกหัดท้ายบท คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้วซึ่งผู้เรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้
 สื่อ AR (Augmented Reality) สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย ม.ปลาย"	

สารบัญ		
บทที่	เนื้อหา	หน้า
1	การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์	1
	1.1 การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์	3
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	18
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	18
		
	การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์	
2	การรักษาคุณภาพของร่างกายมนุษย์	20
	2.1 การรักษาคุณภาพของน้ำและสารในร่างกาย	23
	2.2 การรักษาคุณภาพของกรด-เบส ของเลือด	35
	2.3 การรักษาคุณภาพของอุณหภูมิภายในร่างกาย	41
	2.4 ระบบภูมิคุ้มกัน	44
	2.4.1 กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะ	46
	2.4.2 กลไกการต่อต้านหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมแบบจำเพาะ	49
	2.4.3 ความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน	56
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	64
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	66

สารบัญ		
บทที่	เนื้อหา	หน้า
3	การดำรงชีวิตของพืช	68
	3.1 สารอินทรีย์ในพืช	71
	3.1.1 สารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง	72
	3.1.2 สารอินทรีย์ที่ไม่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง	78
	3.2 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	80
	3.2.1 ปัจจัยภายนอก	82
	3.2.2 ปัจจัยภายใน	88
	3.3 การตอบสนองของพืชต่อสิ่งเร้า	101
	3.3.1 การตอบสนองที่มีทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า	102
	3.3.2 การตอบสนองที่มีทิศทางไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า	103
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	105
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	106



การดำรงชีวิต
ของพืช

สารบัญ		
บทที่	เนื้อหา	หน้า
4	พันธุกรรมและวิวัฒนาการ	108
	4.1 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม	111
	4.1.1 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล	118
	4.2 ยีนกับการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม	131
	4.3 การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม	136
	4.4 เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ	141
	4.5 วิวัฒนาการและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต	152
	4.5.1 ความหลากหลายทางพันธุกรรม	153
	4.5.2 การคัดเลือกโดยธรรมชาติ	157
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	168
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	169

5	ชีวิตในสิ่งแวดล้อม	172
	5.1 ระบบนิเวศ	175
	5.1.1 ไบโอม	177
	5.1.2 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ของระบบนิเวศ	191
	5.1.3 การเปลี่ยนแปลงขนาดของประชากร	194
	5.2 มนุษย์กับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	199
	5.2.1 ปัญหาและผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	201
	5.2.2 การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	205
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	209
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	210



พันธุกรรมและ
วิวัฒนาการ



ชีวิตในสิ่งแวดล้อม

สารบัญ

ภาคผนวก

เนื้อหา

หน้า

ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	213
สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน	214
แนวทางการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติโดยหลักการ 3 R	218
ประเภทของขยะและการแยกขยะ	220
คำศัพท์	222
บรรณานุกรม	226
ที่มาของรูป	230
คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	232

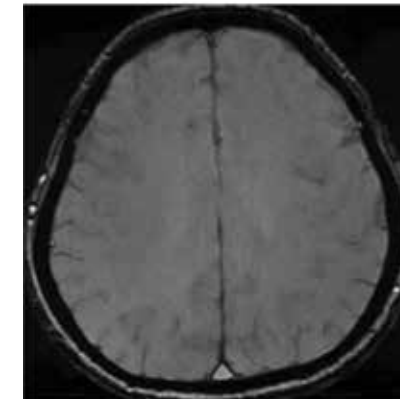
บทที่

1

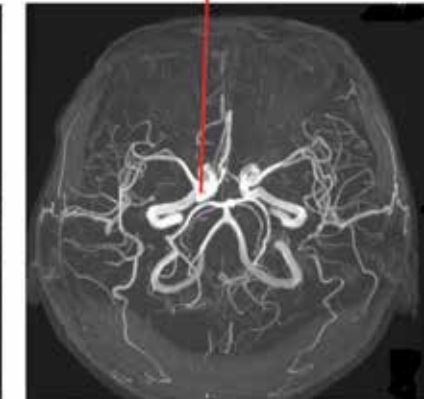
| การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์



ipst.me/7633



ไม่ฉีดสาร



ฉีดสาร

รูปด้านบนแสดงการตรวจวินิจฉัยหลอดเลือดในสมองด้วยเทคนิคเอ็มอาร์ไอ (Magnetic Resonance Imaging: MRI) โดยฉีดสารเข้าสู่หลอดเลือดเพื่อให้แตกต่างจากพื้นหลังทำให้เห็นหลอดเลือดชัดเจน ซึ่งสารดังกล่าวจะคงอยู่ในหลอดเลือดและไม่เข้าสู่เซลล์ผนังหลอดเลือด เพราะเหตุใดสารที่ฉีดจึงไม่สามารถเข้าสู่เซลล์ผนังหลอดเลือดได้ นักเรียนสามารถนำความรู้เรื่องการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ไปใช้อธิบายในประเด็นดังกล่าวได้



คำถามสำคัญ

โครงสร้างและสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์สัมพันธ์กับการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์อย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้าง และสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ที่สัมพันธ์กับการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์
2. อธิบาย และเปรียบเทียบการลำเลียงสารเข้า และออกจากเซลล์โดยการแพร่แบบธรรมดา ออสโมซิส การแพร่แบบฟาซิลิเทต แอ็กทีฟทรานสปอร์ต เอกโซไซโทซิส และเอนโดไซโทซิส



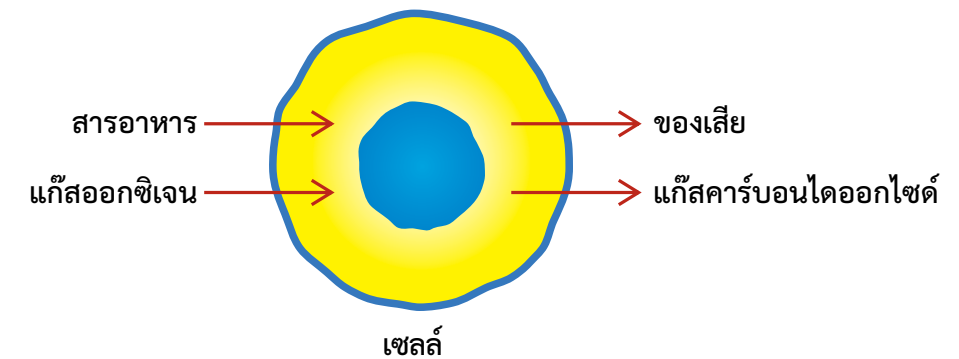
ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (✓) หรือ ผิด (✗) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

- ☐ 1. เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต
- ☐ 2. เซลล์มีส่วนห่อหุ้มเซลล์ เรียกว่า เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งยอมให้สารทุกชนิดผ่านเข้าและออกได้อย่างอิสระเพื่อให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้
- ☐ 3. การแพร่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารโดยใช้พลังงานจลน์ของโมเลกุล
- ☐ 4. ออสโมซิสเป็นการแพร่ของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงโดยไม่จำเป็นต้องผ่านเยื่อเลือกผ่าน

1.1 การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

สารที่ฉีดเข้าสู่หลอดเลือดเพื่อการตรวจวินิจฉัยหลอดเลือดด้วยเทคนิคเอ็มอาร์ไอจะคงอยู่ในหลอดเลือดเนื่องจากไม่สามารถลำเลียงเข้าสู่เซลล์ได้ ซึ่งต่างจากสารหลายชนิดที่เซลล์นำเข้าและออกจากเซลล์ได้ เช่น สารอาหารและแก๊สออกซิเจนที่เซลล์ลำเลียงเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการหายใจระดับเซลล์ ทำให้ได้พลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ รวมทั้งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจและของเสียที่ลำเลียงออกจากเซลล์เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานต่าง ๆ ของเซลล์ (รูป 1.1) การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์นั้นมีบทบาทสำคัญในการรักษาคุณภาพของเซลล์



รูป 1.1 การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์



เชื่อมโยงกับสุขภาพ

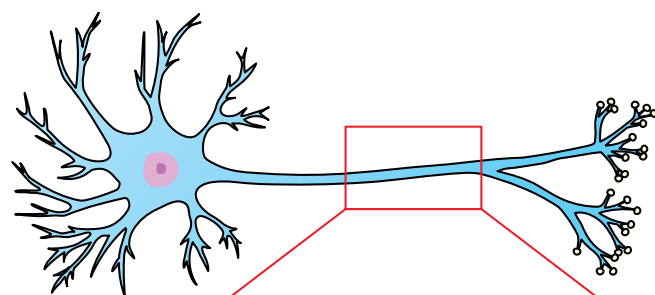
อหิวาตกโรคเป็นโรคติดเชื้อในทางเดินอาหารเฉียบพลันที่เกิดจากแบคทีเรียชนิดหนึ่ง สารพิษจากแบคทีเรียนี้จะทำให้มีการลำเลียงไอออนชนิดต่าง ๆ และน้ำจำนวนมากออกจากเซลล์เข้าสู่ลำไส้เล็ก ผู้ป่วยจึงถ่ายเป็นน้ำปริมาณมาก การเสียคุณภาพของน้ำและไอออนนี้ส่งผลให้มีอาการขาดน้ำอย่างรวดเร็วและรุนแรง ซึ่งถ้าไม่ได้รับการรักษาทันเวลาจะมีโอกาสเสียชีวิตสูง

นอกจากการควบคุมชนิดของสารที่ผ่านเข้าและออกจากเซลล์แล้ว เซลล์ยังสามารถควบคุมปริมาณสารที่ผ่านเข้าออกได้ด้วย ทำให้ความเข้มข้นของสารชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ เช่น ในกรณีของไอออนภายในและภายนอกเซลล์ประสาทที่มีความสำคัญต่อการเกิดและการส่งกระแสประสาท ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าของร่างกาย (รูป 1.2) โครงสร้างใดของเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมสารที่ผ่านเข้าและออกจากเซลล์



ความรู้เพิ่มเติม

ไอออนเป็นสารที่มีประจุโดยไอออนอาจมีประจุบวก เช่น โซเดียมไอออน (Na^+) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือมีประจุลบ เช่น คลอไรด์ไอออน (Cl^-)



ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)

ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)

	Na^+	K^+	Cl^-
ภายนอกเซลล์	150	5	120
ภายในเซลล์	15	140	10

ภายนอกเซลล์

ภายในเซลล์

รูป 1.2 ความเข้มข้นของไอออนภายในและภายนอกเซลล์ประสาทของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

เยื่อหุ้มเซลล์กับการลำเลียงสาร

เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (selectively permeable membrane) ในการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ สารบางชนิดสามารถลำเลียงเข้าหรือออกจากเซลล์ได้ในขณะที่สารบางชนิดไม่สามารถลำเลียงเข้าหรือออกจากเซลล์ได้ ซึ่งจะศึกษาสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ได้จากกิจกรรม 1.1



กิจกรรม 1.1 สมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์

จุดประสงค์

1. ศึกษาสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์
2. วิเคราะห์ผลจากการทำกิจกรรม และสรุปสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต เช่น แหนที่มีรากติดอยู่ สไปโรไจรา สาหร่ายเซลล์เดียว ยีสต์
2. สีนีวทรีลเรด (neutral red) 0.5%
3. สีส้มอาหารสีแดง
4. น้ำกลั่น
5. เอทิลแอลกอฮอล์ 70% หรือแอลกอฮอล์ล้างแผล
6. สไลด์พร้อมกระจกปิดสไลด์
7. เข็มเย็บ
8. หลอดหยด
9. พู่กัน
10. จานเพาะเชื้อ
11. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

ข้อควรระวัง

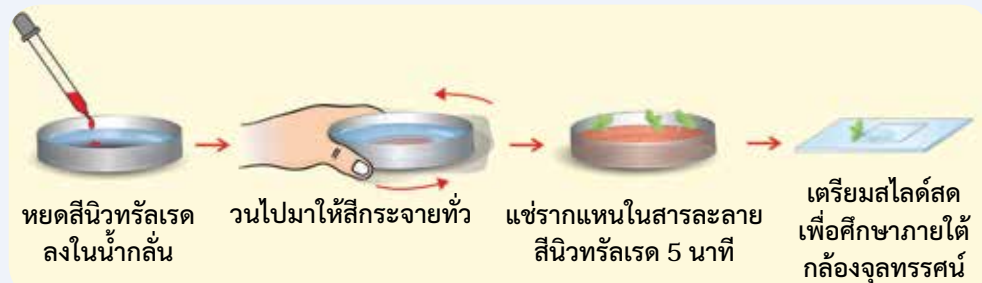
เนื่องจากสีนีวทรีลเรดเป็นพิษต่อเซลล์ ถ้าแช่ไว้นานหรือแช่ในสารละลายสีที่มีความเข้มข้นมากจะทำให้เซลล์ตายได้

วิธีการทำกิจกรรม

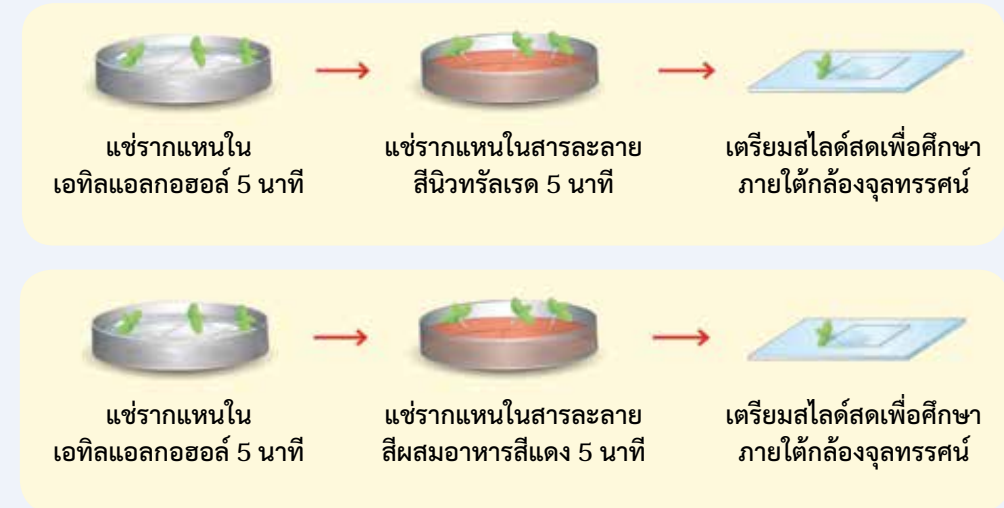
1. เตรียมสไลด์สดของตัวอย่างสิ่งมีชีวิตวิธีการดังภาพ และศึกษาสไลด์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ใช้แสงเชิงประกอบ สังเกตลักษณะภายในเซลล์ที่เลือกมาศึกษา เช่น รากแหวน บันทึกลักษณะของเซลล์ที่สังเกตได้



2. เตรียมสารละลายสีโดยใส่น้ำกลั่นประมาณ 15 มิลลิลิตร ในจานเพาะเชื้อแต่ละจานจำนวน 2 จาน หยดสีนิวทรัลเรด 1 หยด ลงในจานที่ 1 และหยดสีผสมอาหาร 1 หยด ลงในจานที่ 2 จับจานเพาะเชื้อวนไปมาให้สีกระจายทั่ว
3. นำตัวอย่างสิ่งมีชีวิตมาแช่ในสารละลายสีที่เตรียมไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
4. เตรียมสไลด์สดเพื่อศึกษาลักษณะภายในเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ บันทึกลักษณะของเซลล์ที่สังเกตได้และเปรียบเทียบกับผลที่ได้ในข้อ 1



5. ทำเพิ่มอีก 2 ชุด โดยแช่เซลล์ในเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 5 นาที ก่อนนำมาแช่ในสีนิวทรัลเรด หรือในสีผสมอาหารประมาณ 5 นาที จากนั้นเตรียมสไลด์สด ศึกษาลักษณะภายในเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ และบันทึกลักษณะของเซลล์ที่สังเกตได้



คำถามท้ายกิจกรรม

- ❓ หลังการแช่สีในข้อที่ 3 ลักษณะภายในเซลล์เปลี่ยนไปหรือไม่ อย่างไร และผลที่ได้ระหว่างสีทั้งสองชนิดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
- ❓ สีนิวทรัลเรดสามารถละลายได้ในลิพิด ส่วนสีผสมอาหารจะไม่ละลายในลิพิด จากผลที่ได้ในกิจกรรมและสมบัติการละลายของสีดังกล่าว สามารถสรุปถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการละลายของสารและความสามารถในการลำเลียงผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้อย่างไร
- ❓ ผลที่ได้ในชุดเซลล์ที่ผ่านการแช่เอทิลแอลกอฮอล์เหมือนหรือต่างจากผลในข้อ 1-4 อย่างไร เพราะเหตุใด

วิธีใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

1. วางกล้องบนโต๊ะปฏิบัติการแล้วเปิดสวิตช์หลอดไฟ
2. หมุนแป้นที่เลนส์ใกล้วัตถุติดอยู่เพื่อจัดให้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายต่ำสุดอยู่ตรงกับแนวาล้อง เมื่ออยู่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้องจะมีเสียงคลิกเบา ๆ
3. วางแผ่นสไลด์ที่ต้องการศึกษาบนแท่นวางวัตถุ ยึดแผ่นสไลด์เข้ากับที่จับ เลื่อนสไลด์ให้บริเวณที่ต้องการศึกษาไปอยู่ตรงกลางบริเวณที่แสงผ่าน
4. ปรับความเข้มของแสงให้พอเหมาะโดยหมุนปุ่มปรับความเข้มของแสง
5. หมุนปุ่มปรับภาพหยาบจนสไลด์อยู่ใกล้กับเลนส์ใกล้วัตถุมากที่สุด มองผ่านเลนส์ใกล้ตาพร้อมกับหมุนปุ่มปรับภาพหยาบเพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างสไลด์และเลนส์ใกล้วัตถุจนภาพเริ่มชัดจนมากที่สุด อาจเลื่อนสไลด์เพื่อให้ภาพที่ศึกษาอยู่ตรงกลาง และอาจปรับแสงให้เหมาะสมยิ่งขึ้นโดยใช้ไดอะแฟรมหรือปุ่มปรับความเข้มแสง
6. หมุนปุ่มปรับภาพละเอียดจนได้ภาพที่คมชัด
7. ถ้าต้องการเพิ่มกำลังขยายให้สูงขึ้น หมุนแป้นที่เลนส์ใกล้วัตถุติดอยู่ให้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายสูงขึ้นในลำดับถัดไปให้อยู่ตรงกับแนวาล้อง (มีเสียงคลิก) จากนั้นปรับภาพให้คมชัดโดยใช้ปุ่มปรับภาพละเอียด อาจต้องปรับแสงให้เหมาะสมอีกครั้ง



หมายเหตุ ศึกษาส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบได้จากภาคผนวก

จากกิจกรรม 1.1 จะเห็นได้ว่าสีย้อมละลายได้ในลิพิดจะลำเลียงเข้าสู่เซลล์ได้ แต่สีย้อมที่ไม่ละลายในลิพิดจะไม่สามารถลำเลียงเข้าสู่เซลล์ นั่นคือเยื่อหุ้มเซลล์มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งเมื่อเยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน เช่น จากการแช่เซลล์ในแอลกอฮอล์ในการทำกิจกรรม สีย้อมทั้งสองจะสามารถลำเลียงเข้าสู่เซลล์ได้

เยื่อหุ้มเซลล์มีโครงสร้างและสมบัติที่สัมพันธ์กับการทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านดังกล่าวอย่างไร



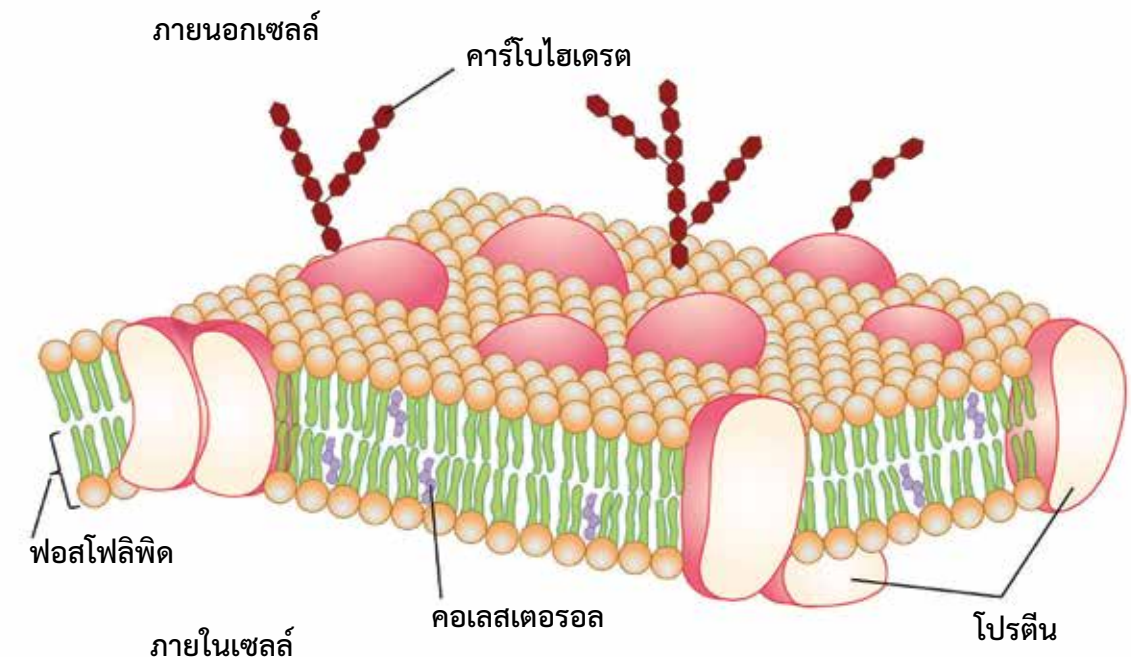
รู้หรือไม่

ลิพิด คืออะไร

- ลิพิดเป็นกลุ่มของสารชีวโมเลกุลซึ่งไม่ชอบน้ำ ซึ่งมีหลายชนิด และมีโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีหลายแบบ เช่น ไขมัน (fat) น้ำมัน (oil) ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ขี้ (wax) สเตอรอยด์ (steroid)

โครงสร้างและสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ที่สัมพันธ์กับวิธีการลำเลียงสาร

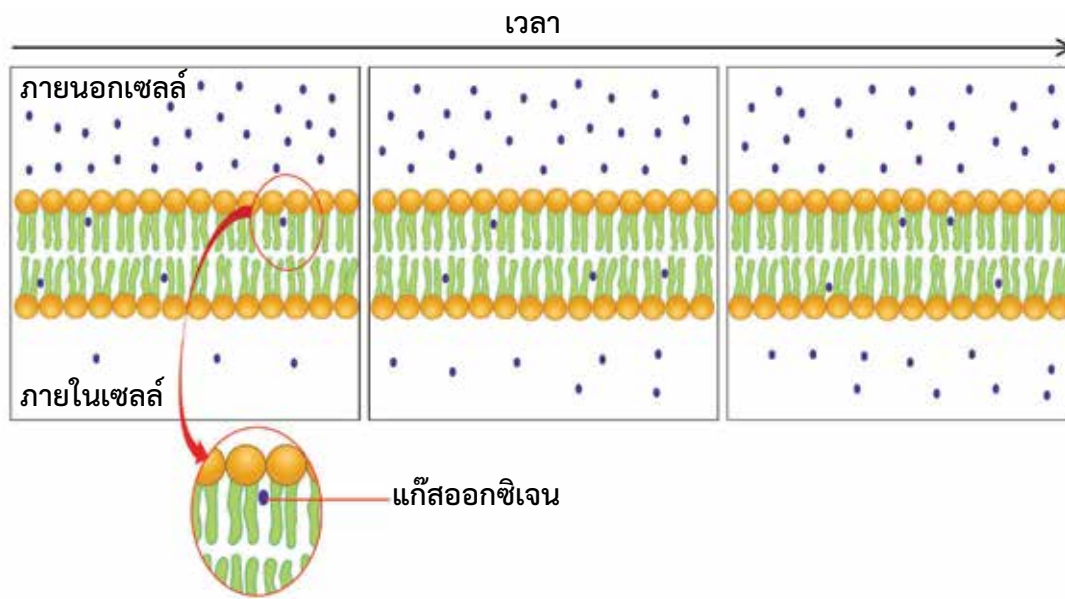
เยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ที่เรียงตัวกันเป็นชั้น 2 ชั้น และมีโปรตีนแทรกอยู่ทั่วไป นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) และคอเลสเตอรอล (cholesterol) ประกอบอยู่ด้วย ดังรูป 1.3



รูป 1.3 โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์

การแพร่แบบธรรมดา

เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยชั้นลิพิด สารที่ละลายได้ในลิพิดจะสามารถลำเลียงผ่านชั้นลิพิดนี้ได้ เช่น สีสันที่เรดในกิจกรรม 1.1 กรดไขมัน รวมทั้งวิตามิน A D E และ K นอกจากนี้สารขนาดเล็กบางชนิด เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งถึงแม้จะไม่ละลายในลิพิดแต่มีขนาดเล็กพอและไม่มีประจุ จึงสามารถแทรกผ่านระหว่างโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดที่มีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาได้ การลำเลียงสารด้วยวิธีนี้จัดเป็นการแพร่แบบธรรมดา (simple diffusion) ซึ่งเกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำ ดังกรณีตัวอย่างการแพร่ของแก๊สออกซิเจนจากปลาสมาเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงในรูป 1.4

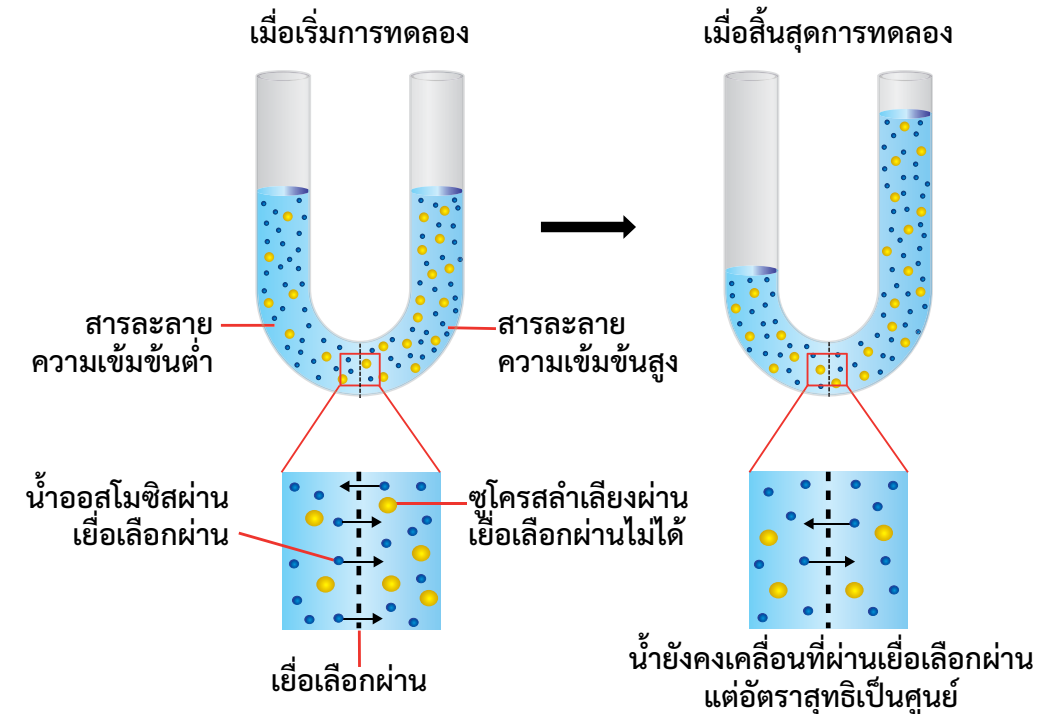


รูป 1.4 การแพร่แบบธรรมดาของแก๊สออกซิเจนจากปลาสมาเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง

ออสโมซิส

โมเลกุลของน้ำสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่านได้ น้ำเป็นตัวทำละลาย ดังนั้นการแพร่ของน้ำจะเกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำผ่านเยื่อเลือกผ่านไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูง เรียกการแพร่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านนี้ว่า **ออสโมซิส** (osmosis)

ออสโมซิสสามารถสังเกตได้โดยใช้หลอดรูปตัวยูที่มีเยื่อเลือกผ่าน เช่น เซลโลเฟน กั้นระหว่างสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน (รูป 1.5) ในตอนเริ่มต้นสารละลายซูโครสทางด้านซ้ายของเยื่อเลือกผ่านจะมีความเข้มข้นน้อยกว่าทางด้านขวา น้ำจึงมีการเคลื่อนที่สุทธิจากหลอดด้านซ้ายผ่านเยื่อเลือกผ่านไปยังหลอดด้านขวา ในขณะที่ซูโครสไม่สามารถผ่านได้ เมื่อเวลาผ่านไป ระดับของสารละลายในด้านซ้ายของหลอดจะต่ำลงในขณะที่ระดับของสารละลายในด้านขวาจะสูงขึ้น จนในที่สุดความเข้มข้นของซูโครสทั้งสองด้านจะใกล้เคียงกัน

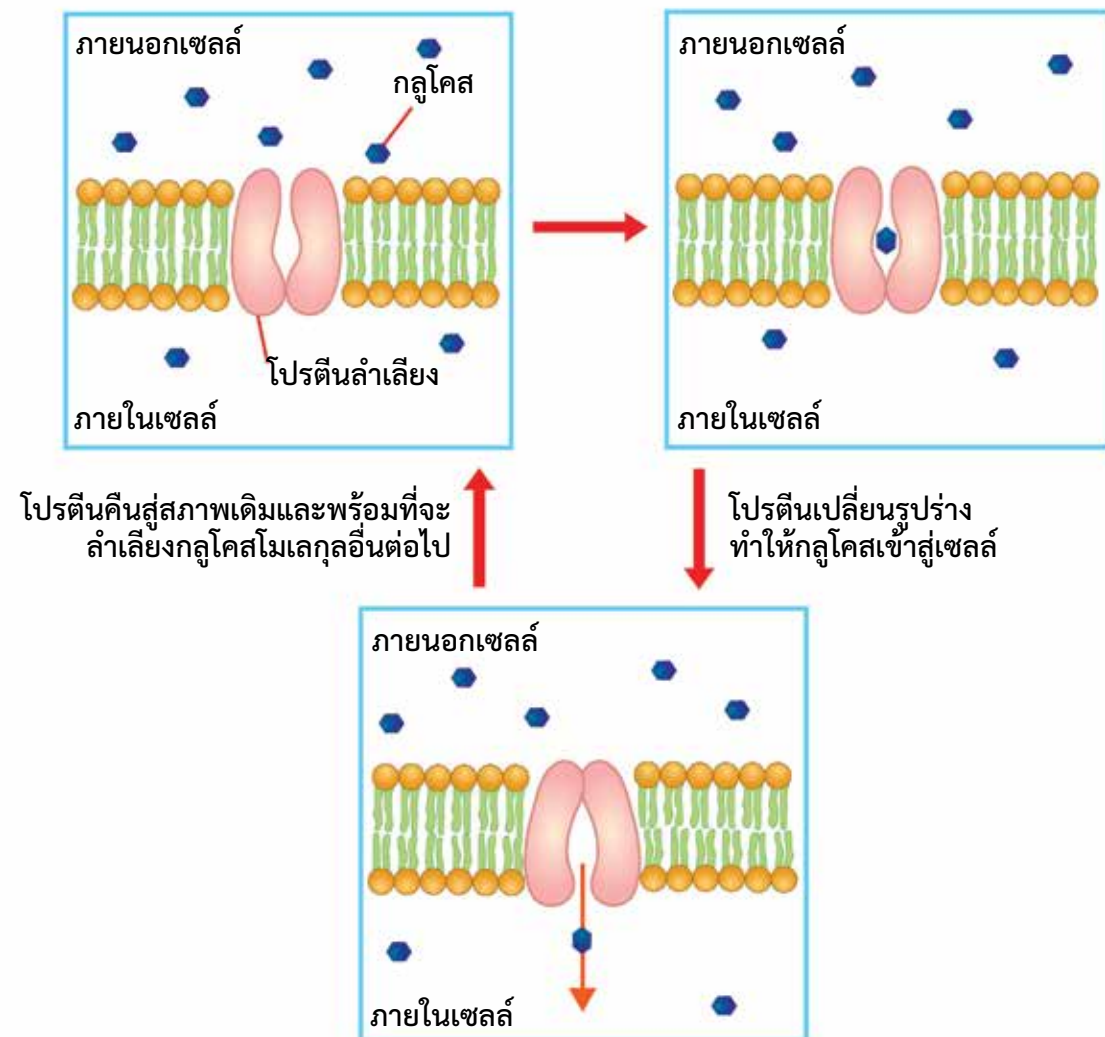


รูป 1.5 ออสโมซิส

ตัวอย่างหนึ่งของการนำหลักการออสโมซิสมาใช้ในชีวิตประจำวัน คือ น้ำเกลือที่ให้ผู้ป่วยทางหลอดเลือด ซึ่งมีความเข้มข้นเทียบเท่ากับความเข้มข้นของสารในเลือดและภายในเซลล์ ทำให้เซลล์ไม่เสียคุณภาพ การดื่มน้ำเกลือแร่เพื่อชดเชยเกลือแร่ที่สูญเสียไปกับเหงื่อหลังจากการออกกำลังกาย การดื่มน้ำเกลือหรือน้ำตาลความเข้มข้นสูง

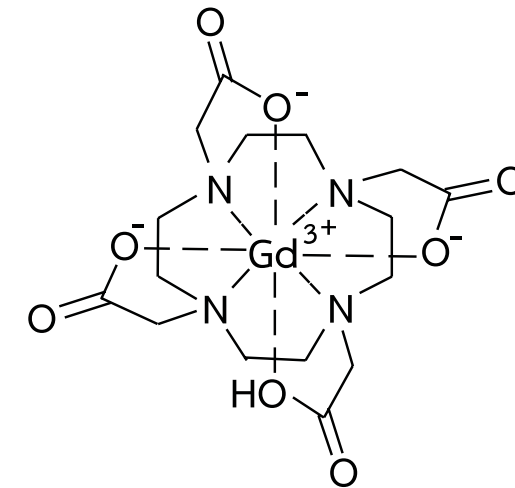
การแพร่แบบฟาซิลิเทต

สำหรับสารที่ไม่สามารถผ่านชั้นลิพิดได้ บางชนิดจะลำเลียงเข้าหรือออกจากเซลล์ผ่านโปรตีนลำเลียง (transport protein) ที่แทรกอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งมีทิศทางการลำเลียงจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำ จัดเป็นการแพร่แบบฟาซิลิเทต (facilitated diffusion) ดังในกรณีของการลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง (รูป 1.6) และการลำเลียงไอออนชนิดต่าง ๆ ซึ่งโปรตีนลำเลียงส่วนใหญ่จะมีความจำเพาะกับชนิดของสารที่ลำเลียง



รูป 1.6 การลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงโดยการแพร่แบบฟาซิลิเทต

จากข้อมูลข้างต้น สามารถนำไปใช้อธิบายในกรณีการฉีดสาร เช่น gadoteric acid เข้าในหลอดเลือด เพื่อเพิ่มความแตกต่างของหลอดเลือดกับเนื้อสมองในการตรวจวินิจฉัยโดยเทคนิคเอ็มอาร์ไอ (รูป 1.7)



รูป 1.7 โครงสร้างโมเลกุลของ gadoteric acid

โมเลกุลของ gadoteric acid มีประจุจึงไม่ละลายในลิพิด และมีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถลำเลียงผ่านชั้นลิพิดได้ นอกจากนี้ที่เยื่อหุ้มเซลล์ของหลอดเลือดไม่มีโปรตีนจำเพาะที่สามารถลำเลียง gadoteric acid ได้ ดังนั้นสารดังกล่าวจึงยังคงอยู่ภายในหลอดเลือดหลังการฉีด



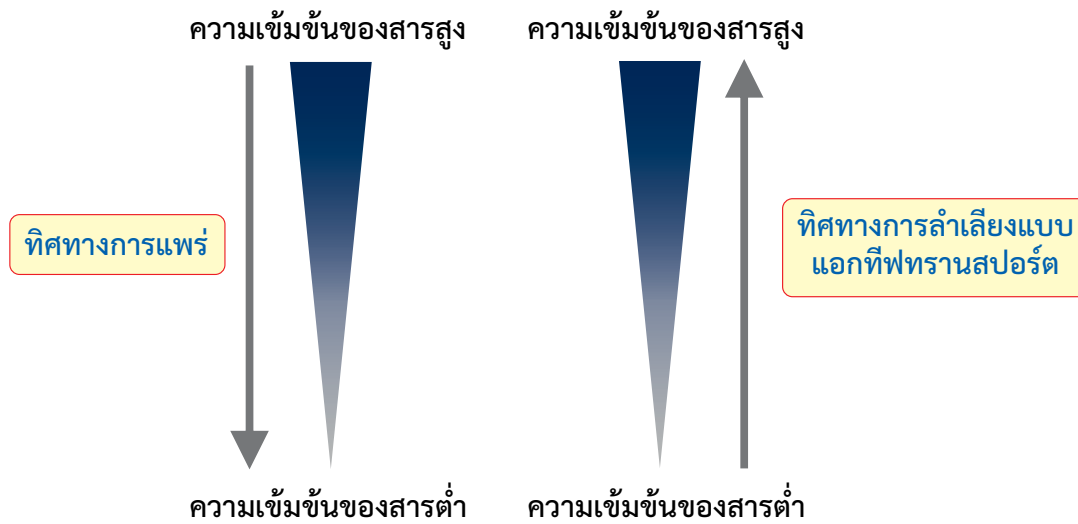
ตรวจสอบความเข้าใจ



เพราะเหตุใดการใช้สีผสมอาหารที่ได้รับรองมาตรฐานจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ในปริมาณที่แนะนำ จึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

แอกทีฟทรานสปอร์ต

การลำเลียงสารเข้าหรือออกจากเซลล์โดยวิธีต่าง ๆ ข้างต้นเกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำ แต่ในบางกรณีเซลล์สามารถลำเลียงสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงได้ (รูป 1.8) โดยใช้พลังงานจากภายในเซลล์ เช่น จาก ATP เรียกกระบวนการนี้ว่า แอกทีฟทรานสปอร์ต (active transport) ซึ่งเกิดผ่านโปรตีนลำเลียง เช่น ในกรณีของการหลั่งไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหาร (รูป 1.9) ทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนภายในกระเพาะอาหารสูงกว่าในเซลล์ถึงหมื่นเท่าได้



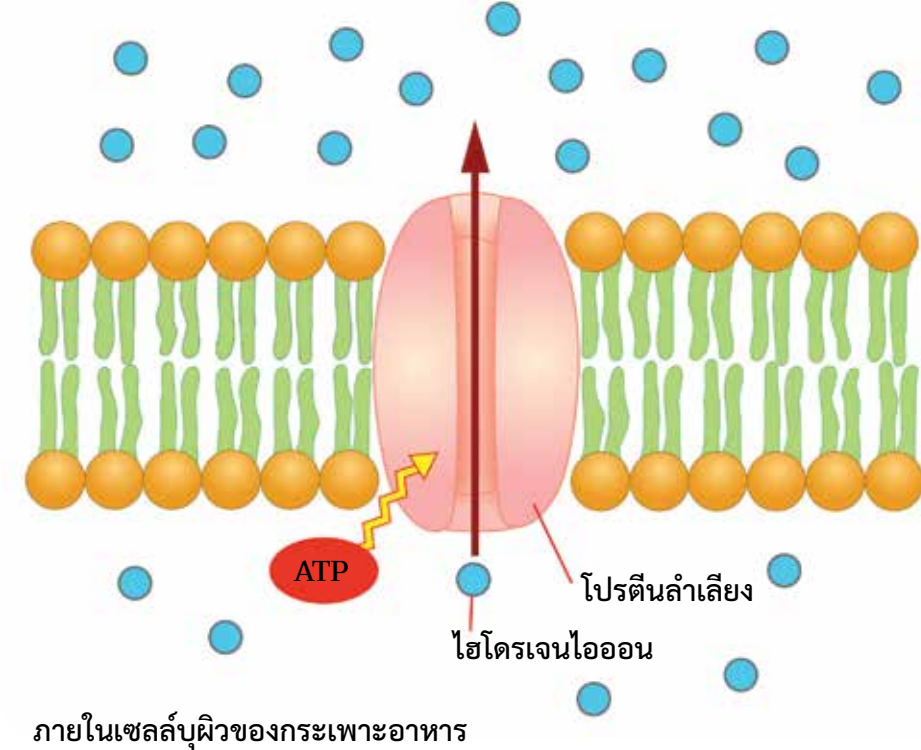
รูป 1.8 ทิศทางการลำเลียงสารในกรณีของการแพร่และแอกทีฟทรานสปอร์ต



ความรู้เพิ่มเติม

ATP เป็นสารพลังงานสูงที่เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์

ภายในกระเพาะอาหาร



รูป 1.9 การหลั่งไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่ภายในกระเพาะอาหารโดยแอกทีฟทรานสปอร์ต



เชื่อมโยงกับสุขภาพ

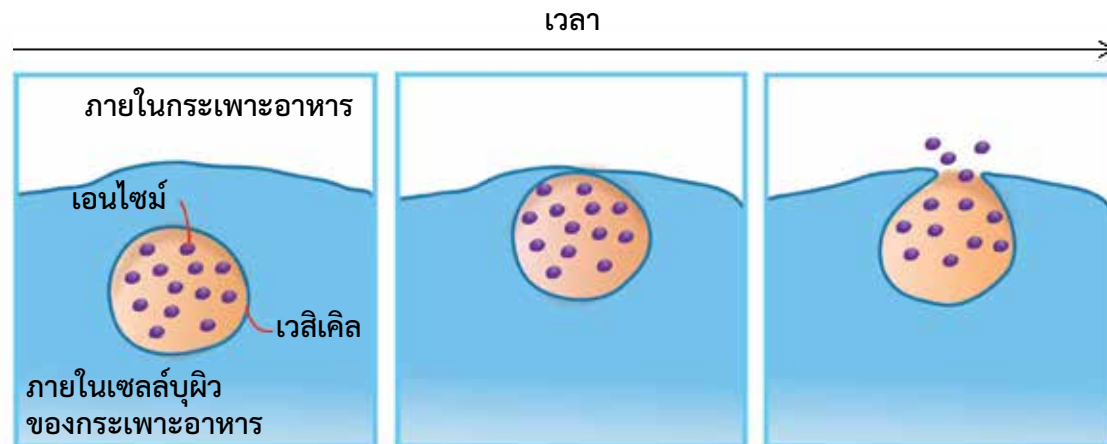
ยาลดกรดบางประเภทจะยับยั้งการหลั่งไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่กระเพาะอาหารโดยจับกับโปรตีนที่ลำเลียงไฮโดรเจนไอออน ทำให้ไม่สามารถลำเลียงได้ตามปกติ ปริมาณกรดที่หลั่งสู่กระเพาะอาหารจึงลดลง ทำให้ช่วยลดการทำลายเยื่อบุภายในของกระเพาะอาหาร

การลำเลียงสารโดยการสร้างเวสิเคิล

สารบางชนิดมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะลำเลียงผ่านชั้นลิพิดหรือโปรตีนลำเลียงในเยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยตรง แต่เซลล์ยังมีความจำเป็นที่จะลำเลียงสารนั้นเข้าหรือออกจากเซลล์ จึงลำเลียงออกจากเซลล์โดยวิธีที่ต่างจากที่กล่าวมาข้างต้น

เซลล์ลำเลียงสารขนาดใหญ่เข้าหรือออกจากเซลล์โดยการสร้างถุงหรือเวสิเคิล (vesicle) จากเยื่อหุ้มเซลล์หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์เพื่อล้อมรอบสารที่ต้องการลำเลียง โดยเยื่อหุ้มดังกล่าวมีโครงสร้างเป็นชั้นฟอสโฟลิพิดเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นจึงสามารถคอดและหลุดออกเป็นเวสิเคิลหรือรวมตัวกับเยื่อหุ้มอื่นที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกันได้

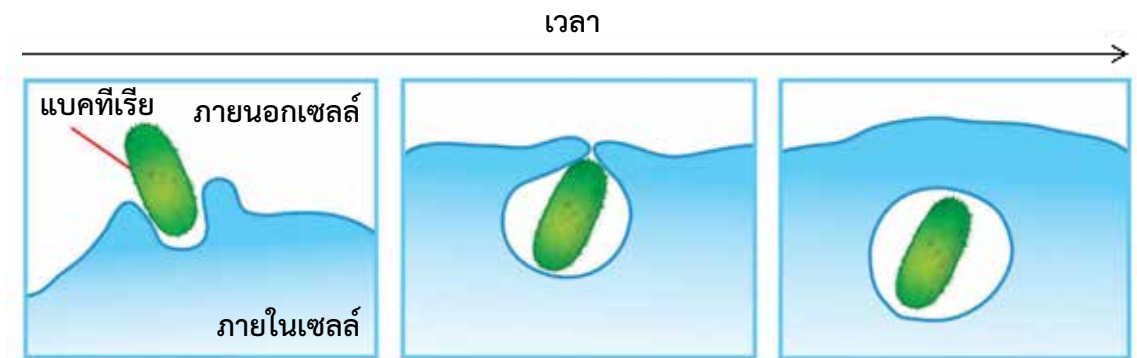
การลำเลียงสารโดยวิธีนี้สามารถแบ่งตามทิศทางการลำเลียงสาร ในกรณีของการหลั่งเอนไซม์ย่อยอาหารออกจากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่ภายในกระเพาะอาหารจัดเป็นกระบวนการเอกโซไซโทซิส (exocytosis) ซึ่งสามารถศึกษาหลักการลำเลียงได้จากกรุป 1.10



รูป 1.10 การหลั่งเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารจากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่ภายในกระเพาะอาหารโดยเอกโซไซโทซิส

ตัวอย่างของเอกโซไซโทซิสอื่น ๆ ที่พบในร่างกาย เช่น การหลั่งเมือกออกมาปกคลุมผิวภายในทางเดินอาหารหรือทางเดินหายใจ การหลั่งเอนไซม์จากเซลล์ตับอ่อนเข้าสู่ท่อเพื่อส่งไปลำไส้เล็ก

การลำเลียงสารเข้าสู่เซลล์โดยการสร้างเวสิเคิลจัดเป็นกระบวนการเอนโดไซโทซิส (endocytosis) เช่น การนำเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์เพื่อทำลายต่อไป ดังรูป 1.11



รูป 1.11 การนำแบคทีเรียเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์โดยเอนโดไซโทซิส



ความรู้เพิ่มเติม

เซลล์เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์จะนำเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่เซลล์โดยเอนโดไซโทซิส แล้วนำไปทำลายด้วยเอนไซม์ในไลโซโซมซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ชนิดหนึ่ง



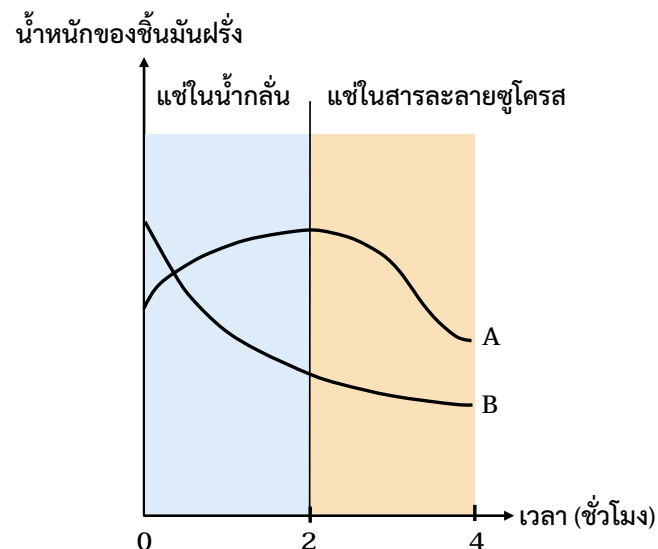
สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

เซลล์มีการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ โดยมีการควบคุมทั้งชนิดและปริมาณสารที่ผ่านเข้าออก เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านในการลำเลียงสารดังกล่าวโดยโครงสร้างและสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์มีความสัมพันธ์กับการลำเลียงสารซึ่งมีหลายวิธี กระบวนการดังกล่าวนี้ ทำให้เซลล์รักษาดุลยภาพไว้ได้และเซลล์สามารถทำงานได้ตามปกติ ซึ่งส่งผลให้สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่ได้



แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

1. การแพร่แบบธรรมดา การแพร่แบบฟาซิลิเทต และแอกทีฟทรานสปอร์ตที่เกิดขึ้นในเซลล์เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
2. จากการทดลองแช่ชิ้นมันฝรั่งขนาดเท่ากันในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายซูโครสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยชั่งน้ำหนักของชิ้นมันฝรั่งทุก ๆ 5 นาที ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง เส้นกราฟ A หรือ B มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้ เพราะเหตุใด



3. การที่โปรตีนลำเลียงในเยื่อหุ้มเซลล์มีความจำเพาะกับชนิดของสารที่ลำเลียงมีประโยชน์ต่อเซลล์อย่างไร
4. จากภาพถ่ายเซลล์เม็ดเลือดขาวของหนูซึ่งถ่ายหลังจากหยดยีสต์ที่ย้อมด้วยสียืนวทรัลเรดลงไป นักเรียนคิดว่าเซลล์เม็ดเลือดขาวนำยีสต์เข้าสู่เซลล์ด้วยวิธีใด ให้เหตุผลพร้อมทั้งวาดภาพแสดงกลไกการลำเลียงที่เกิดขึ้น

