



คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



ชีววิทยา

เล่ม ๓

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๕





คู่มือครู

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชีววิทยา

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

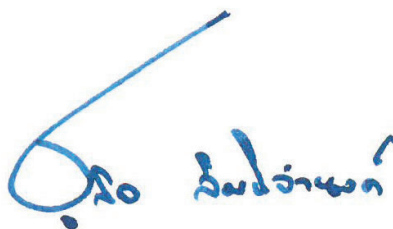
พ.ศ. ๒๕๖๒

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการในการพัฒนามาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และยังมีบทบาทหน้าที่ในการรับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดทำหนังสือเรียน คู่มือครู แบบฝึกทักษะ กิจกรรม และสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนวิธีการจัดการเรียนรู้และการวัดและการประเมินผล เพื่อให้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่มที่ ๓ นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการใช้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่มที่ ๓ โดยครอบคลุมเนื้อหาตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ในสาระชีววิทยา โดยมีตารางวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อการจัดทำหน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ มีแนวการจัดการเรียนรู้ การให้ความรู้เพิ่มเติมที่จำเป็นสำหรับครูผู้สอน รวมทั้งการเฉลยคำถาม และแบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากรทางการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไปโรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. ได้มีการจัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน และเพื่อให้ครูผู้สอนสามารถสอนและจัดกิจกรรมต่าง ๆ ตามหนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดทำคู่มือครูสำหรับใช้ประกอบหนังสือเรียนดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ ได้บอกแนวการจัดการเรียนการสอนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนเกี่ยวกับ การสืบพันธุ์ของพืชดอก โครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอก การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง รวมทั้งการควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของโรงเรียน ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สอน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้อคู่มือครูเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

วิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่าง ๆ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกทั้งในชีวิตและการทำงาน นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังช่วยพัฒนาวิธีคิดและทำให้มีทักษะที่จำเป็นในการตัดสินใจและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ การจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่สำคัญตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มีดังนี้

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะ ขอบเขต และข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสาร และความสามารถในการตัดสินใจ
5. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์ และสภาพแวดล้อมในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
6. เพื่อนำความรู้ความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่า
7. เพื่อให้มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

คู่มือครูเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นควบคู่กับหนังสือเรียน สำหรับให้ครูได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้และมีทักษะที่สำคัญตามจุดประสงค์การเรียนรู้ในหนังสือเรียน ซึ่งสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ รวมทั้งมีสื่อการเรียนรู้ในเว็บไซต์ที่สามารถเชื่อมโยงได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท ซึ่งครูสามารถใช้ส่งเสริมให้นักเรียนบรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตามครูอาจพิจารณาตัดแปลงหรือเพิ่มเติมการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียนได้ โดยคู่มือครูมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้เป็นผลลัพธ์ที่ควรเกิดกับนักเรียนทั้งด้านความรู้และทักษะ ซึ่งช่วยให้ครูได้ทราบเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับ

ผลการเรียนรู้ได้ ทั้งนี้ครูอาจเพิ่มเติมเนื้อหาหรือทักษะตามศักยภาพของนักเรียน รวมทั้งอาจสอดแทรกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นได้

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และ จิตวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละผลการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้

ผังมโนทัศน์

แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหลัก ความคิดรอง และความคิดย่อย เพื่อช่วยให้ครูเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาภายในบทเรียน

สาระสำคัญ

การสรุปเนื้อหาสำคัญของบทเรียน เพื่อช่วยให้ครูเห็นกรอบเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งลำดับของเนื้อหาในบทเรียนนั้น

เวลาที่ใช้

เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งครูอาจดำเนินการตามข้อเสนอแนะที่กำหนดไว้ หรืออาจปรับเวลาได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความที่เป็นความรู้พื้นฐาน ซึ่งนักเรียนควรมีก่อนที่จะเรียนรู้เนื้อหาในบทเรียนนั้น

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามและเฉลยที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียนตามที่ระบุไว้ในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูได้ตรวจสอบและทบทวนความรู้ให้นักเรียนก่อนเริ่มกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละบทเรียน

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้ออาจมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบมีดังนี้

- จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้ หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งสามารถวัดและประเมินผลได้ ทั้งนี้ครูอาจตั้งจุดประสงค์เพิ่มเติมจากที่ให้ไว้ ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

- **ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น**
เนื้อหาที่นักเรียนอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย ซึ่งเป็นข้อมูลให้ครูได้พึงระวังหรืออาจเน้นย้ำในประเด็นดังกล่าวเพื่อป้องกันการเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้
- **แนวการจัดการเรียนรู้**
แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการนำเสนอทั้งในส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด ทั้งนี้ครูอาจปรับหรือเพิ่มเติมกิจกรรมจากที่ให้ได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งควรให้นักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง โดยองค์ประกอบของกิจกรรมมีรายละเอียดดังนี้

- **จุดประสงค์**
เป้าหมายที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมนั้น
- **วัสดุและอุปกรณ์**
รายการวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารเคมี ที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม ซึ่งครูควรเตรียมให้เพียงพอสำหรับการจัดกิจกรรม
- **การเตรียมล่วงหน้า**
ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้าสำหรับการจัดกิจกรรม เช่น การเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต
- **ข้อเสนอแนะสำหรับครู**
ข้อมูลที่ให้ครูแจ้งต่อนักเรียนให้ทราบถึงข้อควรระวัง ข้อควรปฏิบัติ หรือข้อมูลเพิ่มเติมในการทำกิจกรรมนั้น ๆ
- **ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม**
ตัวอย่างผลการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบผลการทำกิจกรรมของนักเรียน
- **อภิปรายและสรุปผล**
ตัวอย่างข้อมูลที่ควรได้จากการอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม ซึ่งครูอาจใช้คำถามท้ายกิจกรรมหรือคำถามเพิ่มเติม เพื่อช่วยให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นที่ต้องการ รวมทั้งช่วยกระตุ้นให้นักเรียนช่วยกันคิดและอภิปรายถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลของกิจกรรมเป็นไปตามที่คาดหวัง หรืออาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

นอกจากนี้อาจมีความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ควรนำไปเพิ่มเติมให้นักเรียน เพราะเป็นส่วนที่เสริมจากเนื้อหาที่มีในหนังสือเรียน

แนวทางการวัดและประเมินผล

แนวทางการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งประเมินทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ควรเกิดขึ้นหลังจากได้เรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผลที่ได้จากการประเมินจะช่วยให้ครูทราบถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

เครื่องมือวัดและประเมินผลมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบรูปแบบต่างๆ แบบประเมินทักษะ แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ซึ่งครูอาจเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการวัดและประเมินผลจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีผู้พัฒนาไว้แล้ว ดัดแปลงจากเครื่องมือที่ผู้อื่นทำไว้แล้ว หรือสร้างเครื่องมือใหม่ขึ้นเอง ตัวอย่างของเครื่องมือวัดและประเมินผล ดังภาคผนวก

เฉลยคำถาม

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียนและคำถามท้ายบทเรียนในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบการตอบคำถามของนักเรียน

- เฉลยคำถามระหว่างเรียน

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียนซึ่งมีทั้งคำถามชวนคิด ตรวจสอบความเข้าใจ และแบบฝึกหัด ทั้งนี้ครูควรใช้คำถามระหว่างเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเริ่มเนื้อหาใหม่ เพื่อให้สามารถปรับการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อไป

- เฉลยคำถามท้ายบทเรียน

แนวคำตอบของแบบฝึกหัดท้ายบท ซึ่งครูควรใช้คำถามท้ายบทเรียนเพื่อตรวจสอบว่า หลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องใด เพื่อให้สามารถวางแผนการทบทวนหรือเน้นย้ำเนื้อหาให้กับนักเรียนก่อนการทดสอบได้

8

การสืบพันธุ์
ของพืชดอก

8	การสืบพันธุ์ของพืชดอก	1
	ผลการเรียนรู้	1
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	2
	ผังมโนทัศน์	4
	สาระสำคัญ	6
	เวลาที่ใช้	6
	เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน	7
8.1	โครงสร้างของดอกและชนิดของผล	8
8.2	วัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก	17
8.3	การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก	20
8.4	การใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของผลและเมล็ด	32
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8	38

9

โครงสร้างและ
การเจริญเติบโตของ
พืชดอก

9	โครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอก	43
	ผลการเรียนรู้	43
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	44
	ผังมโนทัศน์	48
	สาระสำคัญ	50
	เวลาที่ใช้	51
	เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน	52
9.1	เนื้อเยื่อพืช	54
9.2	โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก	61
9.3	โครงสร้างและการเจริญเติบโตของลำต้น	74
9.4	โครงสร้างและการเจริญเติบโตของใบ	85
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9	96

10

การลำเลียงของพืช

10	การลำเลียงของพืช	107
	ผลการเรียนรู้	107
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	108
	ผังมโนทัศน์	110
	สาระสำคัญ	112
	เวลาที่ใช้	112
	เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน	113
10.1	การลำเลียงน้ำ	114
10.2	การแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำ	123
10.3	การลำเลียงธาตุอาหาร	134
10.4	การลำเลียงอาหาร	140
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10	145

11

การสังเคราะห์
ด้วยแสง

11	การสังเคราะห์ด้วยแสง	153
	ผลการเรียนรู้	153
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	154
	ผังมโนทัศน์	158
	สาระสำคัญ	160
	เวลาที่ใช้	161
	เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน	162
11.1	การศึกษาที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง	163
11.2	กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช	172
11.3	โฟโตเรสไพเรชัน	192
11.4	การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	196
11.5	ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง	201
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11	221

สารบัญ	บทที่ 8 - 12	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
12 การควบคุม การเจริญเติบโตและ การตอบสนอง ของพืช	12 การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช	229
	ผลการเรียนรู้	229
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	230
	ผังมโนทัศน์	232
	สาระสำคัญ	234
	เวลาที่ใช้	234
	เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน	235
	12.1 ฮอโมนพืช	237
	12.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด	245
	12.3 การตอบสนองของพืชในลักษณะการเคลื่อนไหว	252
	12.4 การตอบสนองต่อภาวะเครียด	259
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12	261
ภาคผนวก	คำแนะนำการใช้สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน	267
	ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล	273
	บรรณานุกรม	285
	คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู	287

บทที่

| การสืบพันธุ์ของพืชดอก

8

ipst.me/8811

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก
2. อธิบายและเปรียบเทียบกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของพืชดอกและอธิบายการปฏิสนธิของพืชดอก
3. อธิบายการเกิดเมล็ดและการเกิดผลของพืชดอก โครงสร้างของเมล็ดและผล และยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่างๆ ของเมล็ดและผล

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายเกี่ยวกับจำนวนรังไข่และการเจริญเป็นผลชนิดต่าง ๆ
2. อธิบายวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความมุ่งมั่นอดทน

ผลการเรียนรู้

2. อธิบายและเปรียบเทียบกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของพืชดอกและอธิบายการปฏิสนธิของพืชดอก

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและเปรียบเทียบกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของพืชดอก
2. อธิบายการปฏิสนธิของพืชดอก

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต	1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความมุ่งมั่นอดทน

ผลการเรียนรู้

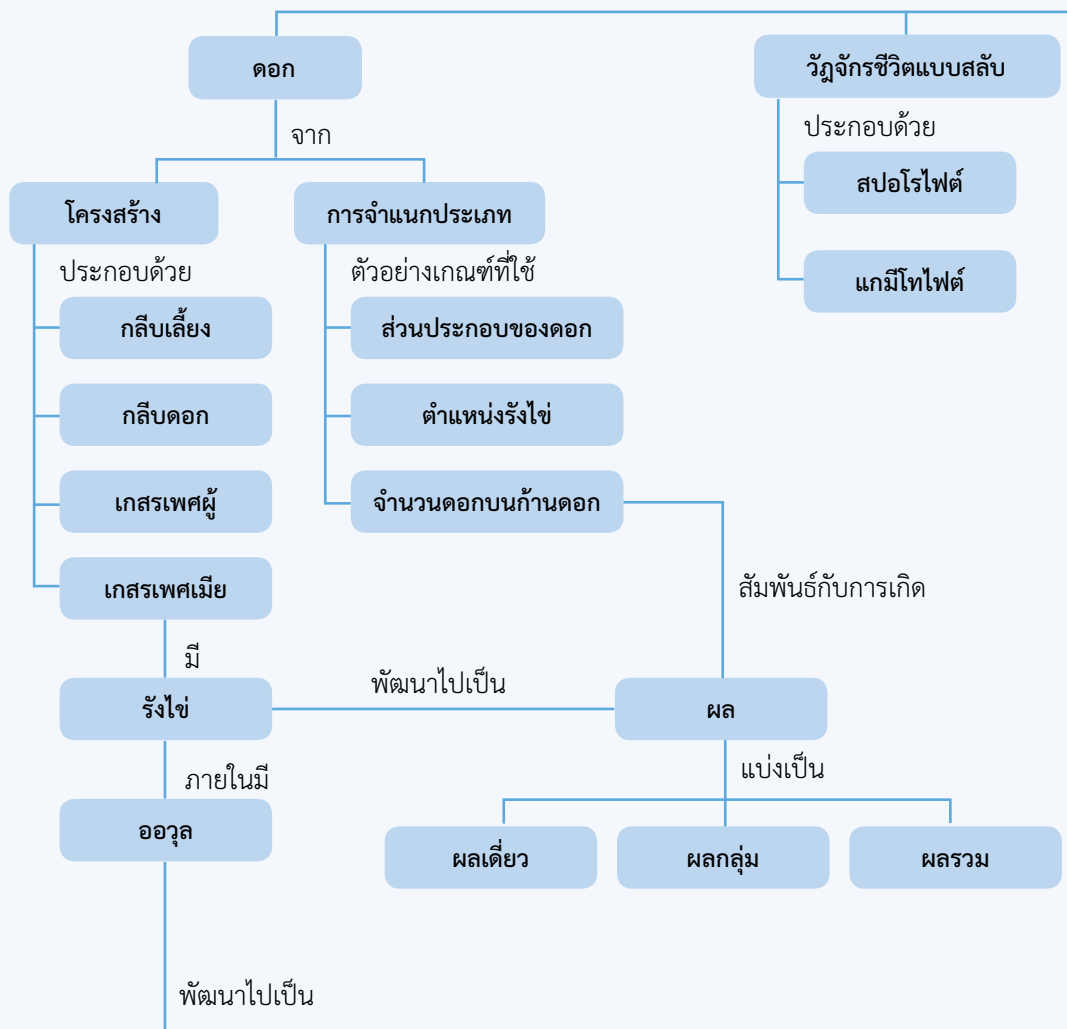
- อธิบายการเกิดผลและการเกิดเมล็ดของพืชดอก โครงสร้างของเมล็ดและผล และยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่างๆ ของเมล็ดและผล

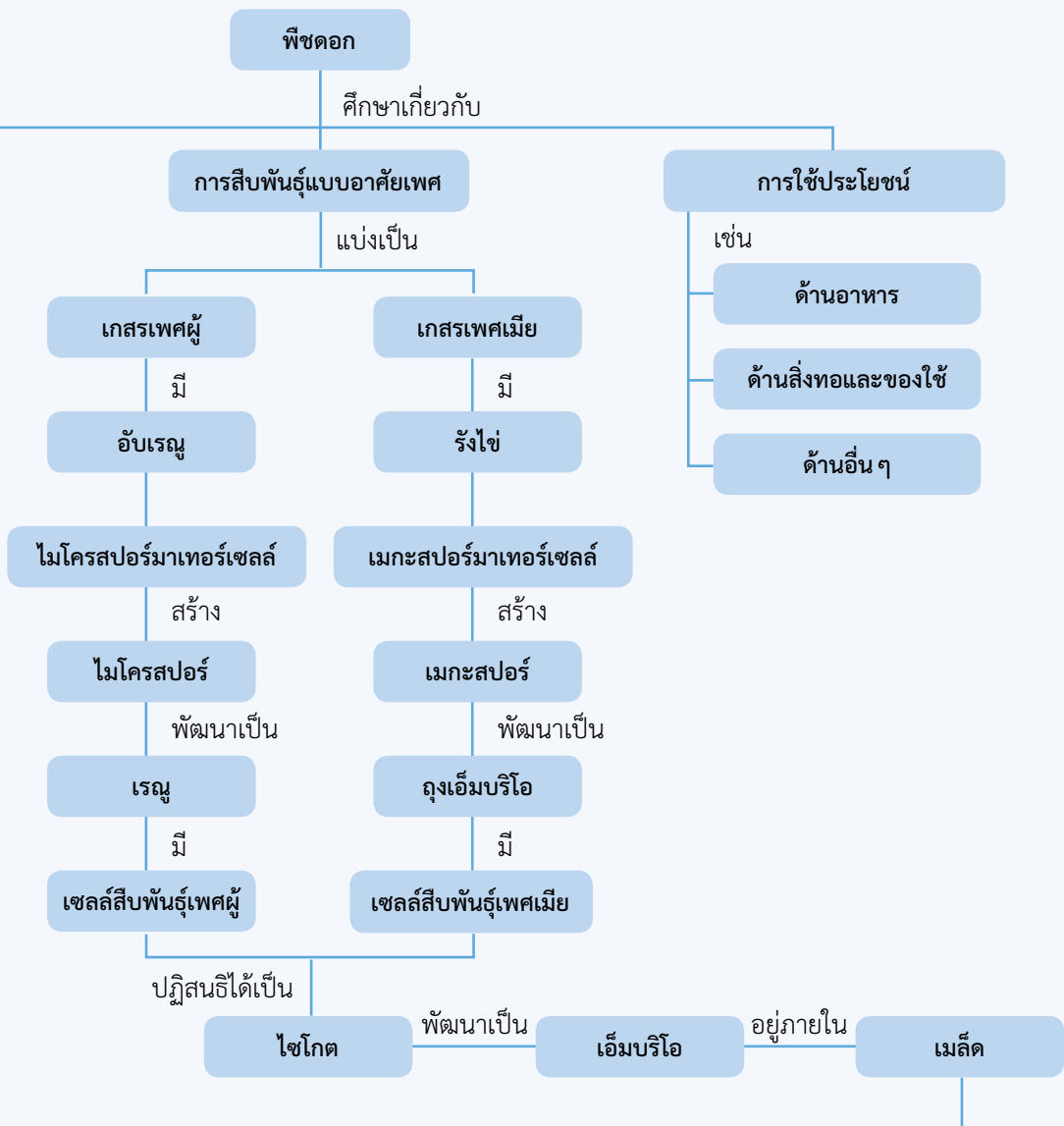
จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายการเกิดผลและการเกิดเมล็ดของพืชดอก
- อธิบายโครงสร้างของผลและเมล็ด
- สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่างๆ ของผลและเมล็ด

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ 2. การสื่อสารสารสนเทศและ การรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความมุ่งมั่นอดทน

ผังมโนทัศน์ บทที่ 8





สาระสำคัญ

ดอกโดยทั่วไปมีส่วนประกอบ 4 ชั้น คือ ชั้นกลีบเลี้ยง ชั้นกลีบดอก ชั้นเกสรเพศผู้ และชั้นเกสรเพศเมีย อาจจำแนกประเภทของดอกได้โดยใช้เกณฑ์ที่เป็นส่วนประกอบของดอก ตำแหน่งรังไข่ หรือจำนวนดอกที่อยู่บนก้านดอก ส่วนประกอบของดอกที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์โดยตรง คือชั้นเกสรเพศผู้ และชั้นเกสรเพศเมีย ซึ่งจำนวนรังไข่เกี่ยวข้องกับการเจริญเป็นผลชนิดต่าง ๆ

พืชดอกมีวิวัฒนาการชีวิตแบบสลับ ประกอบด้วยสเปอโรไฟต์และแกมีโทไฟต์ ซึ่งสเปอโรไฟต์เป็นระยะที่สร้างสปอร์ คือไมโครสปอร์และเมกะสปอร์ที่อาจสร้างในดอกเดียวกันหรือต่างดอกหรือต่างต้น ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์แบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้ไมโครสปอร์ จากนั้นไมโครสปอร์จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและพัฒนาไปเป็นแกมีโทไฟต์เพศผู้ซึ่งทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ ส่วนเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์แบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้เมกะสปอร์ จากนั้นเมกะสปอร์จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและพัฒนาไปเป็นแกมีโทไฟต์เพศเมียซึ่งทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย เมื่อมีการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียจะได้ไซโกตและพัฒนาไปเป็นเอ็มบริโอแล้วเจริญเติบโตเป็นสเปอโรไฟต์ต่อไป

การปฏิสนธิของพืชดอกเป็นการปฏิสนธิคู่ โดยคู่หนึ่งเป็นการรวมกันของสเปิร์มเซลล์เซลล์หนึ่งกับเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกตซึ่งจะเจริญและพัฒนาไปเป็นเอ็มบริโอ อีกคู่หนึ่งเป็นการรวมกันของสเปิร์มเซลล์อีกเซลล์หนึ่งกับโพลาร์นิวคลีไอ ได้เป็นเอนโดสเปิร์มนิวเคลียสซึ่งจะเจริญและพัฒนาต่อไปเป็นเอนโดสเปิร์ม

ภายหลังการปฏิสนธิจึงจะมีการเจริญและพัฒนาไปเป็นผล และออวูลจะมีการเจริญและพัฒนาไปเป็นเมล็ด โครงสร้างของผลประกอบด้วยผนังผลและเมล็ด ส่วนโครงสร้างของเมล็ดประกอบด้วยเปลือกเมล็ด เอ็มบริโอ และเอนโดสเปิร์ม โครงสร้างแต่ละส่วนของผลและเมล็ดมีประโยชน์ต่อพืชและต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ซึ่งมนุษย์ใช้ประโยชน์จากโครงสร้างของผลและเมล็ดในด้านต่าง ๆ

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 10 ชั่วโมง

8.1	โครงสร้างของดอกและชนิดของผล	3 ชั่วโมง
8.2	วิวัฒนาการชีวิตแบบสลับของพืชดอก	1 ชั่วโมง
8.3	การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก	4 ชั่วโมง
8.4	การใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของผลและเมล็ด	2 ชั่วโมง
รวม		10 ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (✓) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

- ☒ 1. ดอกโดยทั่วไปประกอบด้วยกลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย
- ☒ 2. ดอกแต่ละชนิดอาจมีส่วนประกอบต่าง ๆ แตกต่างกัน
- ☒ 3. พืชดอกสามารถสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศได้
- ☒ 4. ถ้าเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียอยู่ต่างดอกหรือต่างต้นกัน จำเป็นต้องมีพาหะช่วยในการถ่ายเรณู
- ☒ 5. ในการถ่ายเรณูแต่ละครั้งจะมีเรณูจำนวนมากตกลงบนยอดเกสรเพศเมีย
- ☒ 6. การปฏิสนธิในพืชดอกเป็นการปฏิสนธิคู่
- ☒ 7. หลังการปฏิสนธิของพืชดอก รังไข่จะพัฒนาไปเป็นผลและออวุลจะพัฒนาไปเป็นเมล็ด
- ☐ 8. ดอกทุกดอกจะพัฒนาไปเป็นผลเสมอ
- ☐ 9. เมล็ดของพืชดอกอาจมีหรือไม่มีผลห่อหุ้ม
- ☐ 10. แหล่งอาหารสำหรับเอ็มบริโอ คือ ใบเลี้ยงและเนื้อของผล

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจนำเข้าสู่บทเรียนด้วยการกระตุ้นความสนใจของนักเรียนเกี่ยวกับโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ของพืชดอก โดยให้ศึกษารูปนำบทที่เป็นรูปดอกบัวหลวงและส่วนต่างๆ ของบัวหลวง เช่น ฝักบัว เมล็ด และดื่บัว และใช้คำถามถามนักเรียนว่า ส่วนต่างๆ ของบัวหลวงนี้เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์อย่างไร ซึ่งนักเรียนอาจจะร่วมกันตอบได้ว่า ดอกบัวเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการสืบพันธุ์ เมล็ดอยู่ในผลที่ติดอยู่บนฝักบัวซึ่งเป็นผล ดื่บัวเป็นเอ็มบริโอที่อยู่ภายในเมล็ด อย่างไรก็ตามนักเรียนอาจจะตอบได้หรือตอบไม่ได้ ครูจะยังไม่สรุปแต่ให้นักเรียนศึกษาต่อไปในบทเรียน

จากนั้นครูนำดอกไม้หรือภาพดอกไม้ชนิดต่างๆ มาให้นักเรียนศึกษา แล้วใช้คำถามถามนักเรียนเพื่อร่วมกันอภิปรายว่า

- ดอกไม้ที่เห็นนี้มีลักษณะที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
- ดอกที่มีลักษณะแตกต่างกันทำหน้าที่เหมือนกันหรือไม่ อย่างไร

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ดอกไม้แต่ละชนิดจะมีลักษณะ รูปร่าง และโครงสร้างที่แตกต่างกัน เช่น ขนาด สี กลิ่น และจำนวนกลีบดอก แม้ว่าดอกจะมีลักษณะที่แตกต่างกันแต่ทำหน้าที่เดียวกันคือ ใช้ในการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเพื่อดำรงพันธุ์ จากนั้นครูอธิบายเพิ่มเติมว่า ลักษณะดอกไม้ที่แตกต่างกันนี้เป็นผลมาจากวิวัฒนาการทำให้เกิดความหลากหลายของดอกไม้ และพืชดอกจะเป็นกลุ่มพืชที่มีวิวัฒนาการสูงที่สุดในอาณาจักรพืช

8.1 โครงสร้างของดอกและชนิดของผล

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายเกี่ยวกับจำนวนรังไข่และการเจริญเป็นผลชนิดต่าง ๆ

แนวการจัดการเรียนรู้

8.1.1 โครงสร้างและประเภทของดอก

ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับโครงสร้างของดอกที่นักเรียนเคยเรียนมาแล้วในระดับชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษาตอนต้น โดยให้นักเรียนยกตัวอย่างดอกไม้ที่นักเรียนรู้จักเพื่ออภิปรายร่วมกันว่า ดอกไม้ชนิดต่างๆ ที่ได้ยกตัวอย่างมานี้มีโครงสร้างและส่วนประกอบที่เหมือนกันหรือไม่ อย่างไร

จากการอภิปรายนักเรียนอาจตอบได้ว่า ดอกไม้แต่ละชนิดที่นักเรียนยกตัวอย่างมานี้จะมี ส่วนประกอบที่เหมือนกัน เช่น มีกลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย ทั้งนี้ครูจะยังไม่สรุป คำตอบเนื่องจากดอกไม้ที่นักเรียนยกตัวอย่างมานี้อาจมีความหลากหลาย บางชนิดอาจมีโครงสร้าง ที่ครบทั้ง 4 ส่วน และบางชนิดอาจมีโครงสร้างที่ไม่ครบทั้ง 4 ส่วน

ครูให้นักเรียนศึกษารูปที่ 8.1 โครงสร้างดอกและรูปที่ 8.2 ดอกไม้สมบูรณ์ของป๊อปปี้ เพื่อ เปรียบเทียบโครงสร้างของดอกสมบูรณ์และดอกไม้สมบูรณ์ ซึ่งนักเรียนสามารถสรุปได้ว่า ดอกที่มี ส่วนประกอบทั้ง 4 ส่วน คือ กลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย เรียกว่าดอกสมบูรณ์ ถ้าขาดส่วนประกอบใดไปจะเรียกว่า ดอกไม้สมบูรณ์ ครูให้นักเรียนพิจารณาต่อไปว่า ดอกที่มีทั้ง เกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียอยู่ภายในดอกเดียวกัน เรียกว่า ดอกสมบูรณ์เพศ ถ้าดอกชนิดใดมีเฉพาะ เกสรเพศผู้หรือเกสรเพศเมียอย่างใดอย่างหนึ่ง เรียกว่า ดอกไม้สมบูรณ์เพศ และให้นักเรียนตอบคำถาม ในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



ดอกสมบูรณ์เพศจำเป็นจะต้องเป็นดอกสมบูรณ์ด้วยหรือไม่ อย่างไร



ไม่จำเป็น ดอกสมบูรณ์เพศที่มีเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียในดอกเดียวกันอาจจะขาดส่วนของ กลีบเลี้ยงหรือกลีบดอก

โครงสร้างของดอกอาจจำแนกโดยใช้เกณฑ์อื่นได้อีก เช่น ตำแหน่งของรังไข่เมื่อเทียบกับตำแหน่ง วงกลีบ โดยครูให้นักเรียนศึกษารูป 8.3 โครงสร้างของดอกแบ่งตามตำแหน่งรังไข่ ซึ่งจำแนกเป็นดอก ที่มีรังไข่เหนือวงกลีบและดอกที่มีรังไข่ใต้วงกลีบ และศึกษารูป 8.4 การจัดเรียงตัวของดอก ซึ่งเป็น แผนภาพแสดงดอกเดี่ยวและดอกช่อเพื่ออภิปรายร่วมกัน ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า ดอกเดี่ยวคือ ดอก ที่มีดอกเพียง 1 ดอกบนก้านดอก และดอกช่อคือ ดอกที่มีดอกย่อยมากกว่า 1 ดอกติดอยู่บนก้าน ช่อดอก

ตัวอย่างของดอกเดี่ยว



กุหลาบ



ตำลึง



บัวหลวง



สายหยุด

ตัวอย่างของดอกช่อ



เข็ม



หญ้าหนวดแมว



กล้วยไม้สกุลหวาย

นอกจากนี้ครูอาจให้ข้อมูลเพิ่มเติมแก่นักเรียนว่า ดอกไม้บางชนิดอาจมีลักษณะที่พิเศษนอกเหนือจากที่ได้ศึกษาไปแล้ว โดยลักษณะพิเศษดังกล่าว เช่น บางชนิดมีเกสรเพศผู้ที่เป็นหมัน เกสรเพศผู้ที่ใช้สืบพันธุ์ได้มีเพียงอับเรณูยาว ๆ เท่านั้น พบได้ในดอกพุทธรักษา บางชนิดมีกลีบเลี้ยงที่คล้ายกลีบดอก สีสันสวยงาม เช่น ดอนย่า นอกจากนี้บางชนิดมีใบประดับที่มีสีสันสวยงามคล้ายกับกลีบดอก เช่น โป๊ยเซียน

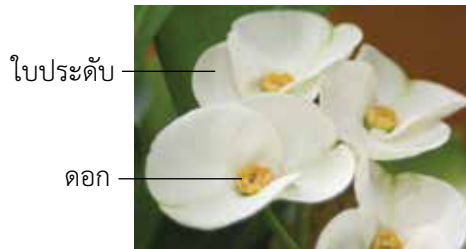


พุทธรักษา





ดอนย่า



โป๊ยเซียน

ครูชี้แจงกับนักเรียนเพิ่มเติมว่า ดอกช่อบางชนิดอาจมีรูปร่างลักษณะที่มองคล้ายเป็นดอกเดี่ยว เช่น ดอกทานตะวัน โดยให้นักเรียนศึกษารูป 8.5 ทานตะวัน และอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับลักษณะของดอกทานตะวัน

ครูสอบถามความรู้เดิมของนักเรียนที่เคยเรียนมาแล้วเกี่ยวกับการพัฒนาไปเป็นเมล็ดและผล หลังการปฏิสนธิ จากนั้นถามนักเรียนว่า การเจริญเป็นผลชนิดต่าง ๆ เกี่ยวข้องกับจำนวนรังไข่อย่างไร ครูอาจให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับชนิดของผล ซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ ผลเดี่ยว ผลกลุ่ม และ ผลรวม จากนั้นทำกิจกรรมที่ 8.1 โครงสร้างของดอกและชนิดของผล หรืออาจให้นักเรียนทำกิจกรรม พร้อมทั้งศึกษาเกี่ยวกับชนิดของผลด้วยตนเอง



กิจกรรม 8.1 โครงสร้างของดอกและชนิดของผล

จุดประสงค์

- 1. ศึกษาและจำแนกประเภทของดอก โดยพิจารณาจากส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างหลัก จำนวนเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมีย และจำนวนรังไข่ในแต่ละดอก
- 2. ศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะของดอกและผลชนิดต่างๆ

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

2 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ดอกชนิดต่างๆ	อย่างน้อยกลุ่มละ 1 ชนิด
2. ผลชนิดเดียวกับดอกในข้อ 1	อย่างน้อยกลุ่มละ 1 ชนิด
3. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอหรือแว่นขยาย	1 กล้อง
4. เช็มเปีย	3 อัน
5. ปากคีบ	3 อัน
6. ใบมีดโกน	3 ใบ

การเตรียมล่วงหน้า

ครูอาจมอบหมายล่วงหน้าให้นักเรียนนำดอกชนิดต่างๆ ทั้ง 8 กลุ่มมาศึกษา โดยเลือกดอกและผลที่มีในท้องถิ่น เช่น กล้วยไม้ หางนกยูงไทย มะเขือ บัวหลวง จำปี สับปะรด ยอ ทานตะวัน และพุทธรักษา มากกลุ่มละ 1 ชนิดหรือดอกและผลอื่นๆ ที่นักเรียนหาได้ที่จะศึกษา แต่ให้นำมาเฉพาะที่จำเป็นต้องศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นจะสร้างนิสัยในการทำลายสิ่งแวดล้อมให้แก่นักเรียน

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

- 1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเลือกชนิดของดอกทั้ง 8 กลุ่ม โดยไม่ให้ซ้ำกันหรือซ้ำกันน้อยที่สุด เพื่อให้ให้นักเรียนได้ศึกษาดอกที่หลากหลาย ครูอาจใช้เทคนิคการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการกลุ่ม เมื่อสังเกตว่านักเรียนได้ทำปฏิบัติการของตนเสร็จแล้ว เหลือเวลาเล็กน้อยให้นักเรียนแยกย้ายไปศึกษาผลการศึกษากลุ่มอื่นๆ โดยเลือกนักเรียนคนหนึ่งอยู่ประจำกลุ่มของตน

เพื่อเสนอผลการทำกิจกรรมของกลุ่มให้กับเพื่อน ๆ ส่วนสมาชิกของกลุ่มที่เหลือจะไปศึกษาผลการทำกิจกรรมของกลุ่มอื่น หลังจากนั้นให้แต่ละคนกลับตามกลุ่มและบอกถึงการสังเกตผลการศึกษาของกลุ่มอื่น ๆ ที่ศึกษาดอกไม้แตกต่างไปจากกลุ่มของตนเองแล้วให้นักเรียนสรุปผลการศึกษาของกลุ่ม

2. ลักษณะต่าง ๆ ของดอกขึ้นกับชนิดของดอกที่นักเรียนนำมาศึกษา ครูอาจแนะนำให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก <http://www.sc.chula.ac.th/thaiplants/flowers/index.htm> ดอกและส่วนประกอบของดอก จัดทำโดย หน่วยปฏิบัติการวิจัยพรรณไม้ประเทศไทย ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

จากการศึกษาโครงสร้างและลักษณะของดอกทั้ง 8 กลุ่ม ตัวอย่างของดอกที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม สรุปได้ดังตารางบันทึกผล

กลุ่มของดอก (ตัวแทนของชนิดดอก)	จำนวนดอกบน ก้านดอก		ส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างหลัก				จำนวนเกสร		จำนวนรังไข่ ในแต่ละดอก	ตำแหน่ง รังไข่
	ดอก เดี่ยว	ดอกช่อ	กลีบ เลี้ยง	กลีบ ดอก	เกสร เพศผู้	เกสร เพศเมีย	เพศผู้	เพศเมีย		
1 (กล้วยไม้สกุลหวาย)		✓	✓	✓	✓	✓	1	1	1	ใต้วงกลีบ
2 (หางนกยูงไทย)		✓	✓	✓	✓	✓	10	1	1	เหนือ วงกลีบ
3 (มะเขือ)	✓		✓	✓	✓	✓	5	1	1	เหนือ วงกลีบ
4 (จำปี)	✓		✓	✓	✓	✓	มาก	มาก	มาก	เหนือ วงกลีบ
5 (ลิ้นปรด)		✓	✓	✓	✓	✓	6	1	1	ใต้วงกลีบ

กลุ่มของดอก (ตัวแทนของชนิดดอก)	จำนวนดอกบน ก้านดอก		ส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างหลัก				จำนวนเกสร		จำนวนรังไข่ ในแต่ละดอก	ตำแหน่ง รังไข่
	ดอก เดี่ยว	ดอกช่อ	กลีบ เลี้ยง	กลีบ ดอก	เกสร เพศผู้	เกสร เพศเมีย	เพศผู้	เพศเมีย		
6 (ผักทอง)	✓		✓	✓	✓ (แยก ดอก)	✓ (แยก ดอก)	มาก	1	1	ใต้วงกลีบ
7 (ทานตะวัน)		✓	✓	✓	✓	✓	5	1	1	ใต้วงกลีบ
8 (พุทธรักษา)		✓	✓	✓	✓	✓	1 (4)*	1	1	ใต้วงกลีบ

* พุทธรักษามีเกสรเพศผู้ 1 อัน และเกสรเพศผู้ที่เป็นหมัน 4 อัน

2. จำแนกประเภทของดอกโดยใช้เกณฑ์ต่างๆ ได้ดังนี้

2.1 เกณฑ์จำนวนดอกบนก้านดอก

- ดอกเดี่ยว เช่น กะดังงา พริก ผักทอง
- ดอกช่อ เช่น กล้วยไม้ หางนกยูงไทย เข็ม ทานตะวัน

2.2 เกณฑ์จำแนกตามส่วนประกอบ

- ดอกสมบูรณ์ เช่น บัวหลวง มะเขือ พริก
- ดอกไม่สมบูรณ์ เช่น ผักทอง ตำลึง บวบ

2.3 เกณฑ์ตำแหน่งรังไข่

- รังไข่เหนือวงกลีบ เช่น หางนกยูงไทย จำปี มะเขือ พริก บัวหลวง
- รังไข่ใต้วงกลีบ เช่น กล้วยไม้ ผักทอง ทานตะวัน พุทธรักษา

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? จำนวนเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียในดอกแต่ละชนิดมีจำนวนเท่ากันหรือแตกต่างกันอย่างไร

 มีทั้งที่เท่ากันและแตกต่างกัน เช่น

- มะเขือและทานตะวันมีเกสรเพศผู้ 5 อัน ซึ่งแตกต่างจากกล้วยไม้สกุลหวายที่มีเกสรเพศผู้ 1 อันและผักทองที่มีเกสรเพศผู้จำนวนมาก

- หางนกยูงไทยและมะเขือมีเกสรเพศเมีย 1 อัน ซึ่งแตกต่างจากจำปีที่มีเกสรเพศเมียจำนวนมาก

? จำนวนรังไข่ในแต่ละดอกของพืชต่างชนิดกัน มีจำนวนเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

 ดอกบางชนิดมีจำนวนรังไข่ใน 1 ดอกเท่ากัน คือ มีจำนวนรังไข่ 1 รังไข่ เช่น กลั้วไม้สกุลหวาย หางนกยูงไทย มะเขือ ซึ่งแตกต่างจากดอกจำปีที่มีหลายรังไข่

ตอนที่ 2

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูให้แต่ละกลุ่มศึกษาลักษณะของผล โดยที่เป็นผลชนิดเดียวกับดอกที่ได้ศึกษาแล้วจากตอนที่ 1 และจัดผลออกเป็นกลุ่มๆ โดยพิจารณาลักษณะต่างๆ เช่น ลักษณะผล จำนวนดอกบนก้านดอก จำนวนรังไข่ใน 1 ดอก จำนวนรังไข่ที่เจริญเป็น 1 ผล และชนิดของผล โดยบันทึกผลลงในตารางแล้วนำเสนอผลการศึกษานำชั้นเรียน ซึ่งนักเรียนอาจหาข้อมูลเพิ่มเติมเรื่องชนิดของผลจากหนังสือเรียนประกอบการทำกิจกรรม ผลจากการศึกษาอาจเป็นดังตาราง

ชื่อพืช	จำนวนรังไข่ ใน 1 ดอก	จำนวนรังไข่ที่เจริญเป็น 1 ผล	ชนิดของผล
มะเขือ	1 ดอกมี 1 รังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผล	ผลเดี่ยว
ตะขบ	1 ดอกมี 1 รังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผล	ผลเดี่ยว
อัญชัน	1 ดอกมี 1 รังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผล	ผลเดี่ยว
กลั้ว	1 ดอกย่อยมี 1 รังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผล	ผลเดี่ยว
การเวก	1 ดอกมีหลายรังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผลย่อย	ผลกลุ่ม
บัวหลวง	1 ดอกมีหลายรังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผลย่อย	ผลกลุ่ม
ลับपर्ด	1 ดอกย่อยมี 1 รังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผลย่อย	ผลรวม
ยอ	1 ดอกย่อยมี 1 รังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผลย่อย	ผลรวม
หม่อน	1 ดอกย่อยมี 1 รังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผลย่อย	ผลรวม
ขนุน	1 ดอกย่อยมี 1 รังไข่	1 รังไข่เจริญเป็นผล 1 ผลย่อย	ผลรวม

หลังทำกิจกรรมครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม โดยครูอาจทบทวนความรู้เกี่ยวกับหน้าที่ของดอกที่นักเรียนเคยศึกษามาแล้วโดยใช้คำถามถามนักเรียนว่า โครงสร้างและส่วนประกอบของดอกมีความสัมพันธ์กับหน้าที่ของดอกอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปว่า โครงสร้างและส่วนประกอบของดอกมีความสัมพันธ์กับหน้าที่ของดอก คือใช้ในการสืบพันธุ์ ดอกทุกชนิดถึงจะแตกต่างกัน แต่จะมีโครงสร้างเหมาะสมเพื่อทำหน้าที่สืบพันธุ์เหมือนกัน โดยกลีบเลี้ยงปกตีมักมีสีเขียว ทำหน้าที่ป้องกันส่วนประกอบอื่นๆ ของดอกอ่อนที่อยู่ด้านในเอาไว้ กลีบดอกมักมีรูปร่างและสีอันสวยงามเพื่อดึงดูดแมลงหรือสัตว์อื่น ๆ ในการผสมพันธุ์ ส่วนเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียซึ่งอาจมีจำนวนแตกต่างกันในดอกแต่ละชนิดแต่ทำหน้าที่เหมือนกันคือ เป็นอวัยวะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับชนิดของผล โดยใช้ผลจากการทำกิจกรรม 8.1 ตอนที่ 2 ประกอบกับรูป 8.6 ดอกและผลเดี่ยว 8.7 ดอกและผลกลุ่ม และ 8.8 ช่อดอกและผลรวมของยอ ประกอบการอภิปราย ครูอาจยกตัวอย่างเพิ่มเติมว่า ผลของมะม่วง แตงโม ทูเรียน กล้วย มังคุด ละครูด มะนาว ส้มโอ พักทองและแตงกวาเป็นผลเดี่ยว ผลนมแมว สายหยุดและสตรอเบอรี่ เป็นผลกลุ่ม ส่วนผลรวมนั้นดังเช่นที่ยกตัวอย่างในหนังสือเรียน



ตรวจสอบความเข้าใจ

? ชนิดของดอกและจำนวนรังไข่ภายในดอกมีความสัมพันธ์กับชนิดของผลอย่างไร



- รังไข่ 1 รังไข่ ที่อยู่ในดอกเดี่ยว 1 ดอกหรือดอกย่อย 1 ดอกในดอกช่อ เมื่อเจริญเป็นผล ผลนั้นจะเป็นผลเดี่ยว
- รังไข่หลายรังไข่ที่อยู่ในดอกเดี่ยว 1 ดอกเมื่อเจริญเป็นผล ผลนั้นจะเป็นผลกลุ่ม
- รังไข่ของดอกย่อยแต่ละดอกที่อยู่ชิดกันแน่นจะเจริญร่วมกันขึ้นมาเป็นผลย่อยที่อยู่เบียดชิดกันบนแกนช่อดอกจนดูคล้ายเป็นผล 1 ผล ผลนั้นจะเป็นผลกลุ่ม

8.2 วัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยถามนักเรียนเกี่ยวกับวัฏจักรชีวิตของพืชดอกที่เคยเรียนมาแล้วว่า วัฏจักรชีวิตของพืชดอกเป็นอย่างไร ซึ่งนักเรียนอาจตอบได้ว่า พืชดอกเมื่อเจริญเติบโตและมีดอก ดอกจะมีการสืบพันธุ์เปลี่ยนแปลงไปเป็นผล ภายในผลมีเมล็ด เมื่อเมล็ดงอก ต้นอ่อนที่อยู่ภายในเมล็ดจะเจริญเติบโตเป็นพืชต้นใหม่ พืชต้นใหม่จะเจริญเติบโตออกดอกเพื่อสืบพันธุ์มีผลต่อไปได้อีกหมุนเวียนต่อเนื่องเป็นวัฏจักรชีวิตของพืชดอก

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษารูปที่ 8.9 วัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืช แล้วให้ข้อมูลนักเรียนว่า วัฏจักรชีวิตของพืชทุกกลุ่ม ทั้งพืชดอกและพืชไร้ดอกเป็นวัฏจักรชีวิตแบบสลับ ประกอบด้วย ระยะที่สร้างสปอร์ เรียกว่า สปอโรไฟต์ และระยะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ เรียกว่า แกมีโทไฟต์ โครงสร้างของสปอโรไฟต์ประกอบขึ้นจากเซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด หรือเซลล์ที่อยู่ในสภาพดิพลอยด์ (diploid; $2n$) ส่วนแกมีโทไฟต์ประกอบขึ้นจากเซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซม 1 ชุด หรือเซลล์ที่อยู่ในสภาพแฮพลอยด์ (haploid; n) จากนั้นครูเชื่อมโยงเรื่องการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสและไมโทซิส เพื่ออธิบายว่าสปอร์มาเทอร์เซลล์แบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้สปอร์ซึ่งโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง จากนั้นสปอร์จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเจริญและพัฒนาเป็นแกมีโทไฟต์และทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ ต่อมาจะมีการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียได้เป็นไซโกต ซึ่งมีโครโมโซม 2 ชุด

จากนั้นครูอาจถามนักเรียนเกี่ยวกับวัฏจักรชีวิตของพืชดอกที่เคยเรียนมา ดังนี้

- โครงสร้างพืชต่าง ๆ ที่พบในวัฏจักรชีวิตของพืชดอก โครงสร้างใดเป็นสปอโรไฟต์และโครงสร้างใดเป็นแกมีโทไฟต์
- นักเรียนเคยเห็นแกมีโทไฟต์เพศผู้และแกมีโทไฟต์เพศเมียของพืชดอกหรือไม่ อย่างไร

นักเรียนอาจจะตอบได้หรือไม่ได้ขึ้นอยู่กับความรู้เดิม ครูให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า ต้นไม้ที่เห็นนั้นคือสปอโรไฟต์ ส่วนแกมีโทไฟต์เพศผู้และแกมีโทไฟต์เพศเมียนักเรียนอาจจะไม่เคยเห็น เนื่องจากมีขนาดเล็กและอยู่ภายในดอก จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษารูปที่ 8.10 วัฏจักรชีวิตของเฟิร์นและพืชดอก โดย

ให้ศึกษาวัฏจักรชีวิตของเฟิร์นซึ่งเป็นพืชมีท่อลำเลียงที่ไร้เมล็ดก่อน ซึ่งแกมีโทไฟต์แยกออกจากสปอโรไฟต์ เพื่อให้นักเรียนเห็นความแตกต่างของสปอโรไฟต์และแกมีโทไฟต์ได้ชัดเจนมากขึ้น จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยอาจใช้คำถามดังนี้

- นักเรียนเคยเห็นสปอโรไฟต์และแกมีโทไฟต์ของเฟิร์นหรือไม่ อย่างไร
- แกมีโทไฟต์ของเฟิร์นอยู่บนสปอโรไฟต์หรือไม่ อย่างไร
- สปอร์สร้างมาจากโครงสร้างใด และมีจำนวนชุดของโครโมโซมเป็นดิพลอยด์หรือแฮพลอยด์
- เซลล์สืบพันธุ์ของเฟิร์นสร้างมาจากโครงสร้างใด

จากการอภิปราย นักเรียนอาจจะไม่เคยเห็นสปอโรไฟต์ของเฟิร์น แต่บางคนอาจจะเคยเห็นและบอกได้ว่าเป็นโครงสร้างที่คล้ายรูปหัวใจ สามารถเจอในที่ที่มีความชื้น จากนั้นนักเรียนควรสรุปได้จากการศึกษาวัฏจักรชีวิตของเฟิร์นว่า ต้นที่เห็นเป็นสปอโรไฟต์ เมื่อสปอโรไฟต์โตเต็มที่ สปอร์มาเทอร์เซลล์ในอับสปอร์จะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้สปอร์ซึ่งมีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อมีการกระจายสปอร์ สปอร์จะหลุดจากสปอโรไฟต์และถ้าสปอร์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นเหมาะสม สปอร์จะงอกแล้วแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเจริญเป็นแกมีโทไฟต์ ซึ่งจะมีโครงสร้างที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ต่อไป

จากนั้นอภิปรายเพื่อเปรียบเทียบความเหมือนและความต่างกันของวัฏจักรชีวิตของเฟิร์นและพืชดอก จากการอภิปรายของนักเรียนควรสรุปได้ว่า พืชทุกกลุ่มไม่ว่ามีดอกหรือไม่มีดอกก็ตาม จะมีช่วงชีวิตเป็น 2 ระยะสลับกัน คือ สปอโรไฟต์และแกมีโทไฟต์ ในพืชดอกนั้นแกมีโทไฟต์ซึ่งทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์นั้นเกิดขึ้นที่ดอก ทั้งเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ (สเปิร์ม) และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย (เซลล์ไข่) เมื่อสเปิร์มและเซลล์ไข่ปฏิสนธิจะได้เป็นไซโกตซึ่งมีการพัฒนาและเจริญเติบโตต่อไปจนเป็นผลและเมล็ด เมื่อเมล็ดงอกเป็นต้นอ่อนและมีการเจริญเติบโตระยะนี้จะเรียกว่า สปอโรไฟต์

ครูอาจเน้นให้เห็นว่า มีความแตกต่างกันของการกระจายสปอร์ของเฟิร์นและพืชดอก คือในพืชดอกนั้น สปอร์ไม่ได้หลุดออกจากสปอโรไฟต์ เมื่อสปอร์พัฒนาเป็นแกมีโทไฟต์ แกมีโทไฟต์ของพืชดอกจึงไม่ได้อยู่อย่างอิสระ แต่มีขนาดเล็กและเป็นส่วนที่อยู่ในดอก โดยทั่วไปจึงจะมองไม่เห็นแกมีโทไฟต์ของพืชดอกด้วยตาเปล่า ซึ่งต่างจากเฟิร์นที่สปอร์หลุดจากสปอโรไฟต์และงอกเป็นแกมีโทไฟต์ที่สามารถมองเห็นได้เป็นแผ่นสีเขียวบาง ๆ จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



การกระจายสปอร์ของเฟิร์นและพืชดอกแตกต่างกันอย่างไร



เฟิร์นมีการกระจายสปอร์ออกไปจากต้นสปอโรไฟต์ ส่วนพืชดอกไม่มีการกระจายสปอร์ซึ่งเมกะสปอร์และไมโครสปอร์จะอยู่ภายในดอกบนต้นสปอโรไฟต์

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- ส่วนประกอบของดอกที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์โดยตรงคือชั้นเกสรเพศผู้และชั้นเกสรเพศเมีย
- จำนวนรังไข่เกี่ยวข้องกับการเจริญเป็นผลชนิดต่างๆ
- พืชดอกมีวิวัฒนาการชีวิตแบบสลับประกอบด้วยระยะที่สร้างสปอร์และระยะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์

ด้านทักษะ

- การสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูลจากการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน
- ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำจากการทำกิจกรรมและการนำเสนอ

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็นและความมุ่งมั่นอดทนจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน

8.3 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายและเปรียบเทียบกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของพืชดอก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอกโดยใช้คำถามถามนักเรียนว่า ระยะเวลาที่มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืช นักเรียนควรตอบได้ว่า แกมีโทไฟต์ เป็นระยะที่มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์

8.3.1 การสร้างไมโครสปอร์และเมกะสปอร์ และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 8.11 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของพืชดอก ดังนี้ การสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เกิดที่อับเรณูของเกสรเพศผู้ ภายในอับเรณูจะมีไมโครสปอมาโทไรต์เซลล์ที่แบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้เป็นไมโครสปอร์จำนวน 4 เซลล์ โดยไมโครสปอร์แต่ละเซลล์นี้จะแบ่งแบบไมโทซิสต่อไปได้เป็น 2 นิวเคลียสคือ เจเนอเรทิฟนิวเคลียสกับทิวบ์นิวเคลียส ซึ่งเรียกไมโครสปอร์ที่ผ่านการแบ่งเซลล์แล้วนี้ว่าเรณู ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสเปิร์มเพื่อปฏิสนธิกับเซลล์ไข่

ส่วนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียเกิดขึ้นที่เกสรเพศเมีย โดยจะมีเมกะสปอร์มาโทไรต์เซลล์ที่แบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้เป็นเมกะสปอร์จำนวน 4 เซลล์โดยเมกะสปอร์ 3 เซลล์สลายไป เหลือ 1 เซลล์ที่แบ่งเซลล์แบบไมโทซิส 3 ครั้งติดต่อกัน ได้ 8 นิวเคลียส แยกกันอยู่ที่ขั้วตรงข้าม ขั้วละ 4 นิวเคลียส โดย 3 นิวเคลียสของขั้วบนเคลื่อนที่ไปอยู่ตรงข้ามกับไมโครไฟล์ และสร้างเยื่อหุ้มล้อมรอบเรียกว่าแอนติโพแดล ส่วนอีก 3 นิวเคลียสของขั้วล่างเคลื่อนไปอยู่ทางด้านของไมโครไฟล์โดยมี 1 เซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นเซลล์ไข่ ส่วนอีก 2 เซลล์อยู่ด้านข้างเรียกว่า ซินเนอร์จิด และนิวเคลียสที่เหลืออีกอย่างละ 1 เซลล์ของขั้วบนและขั้วล่างจะเคลื่อนที่มาอยู่ตรงกลาง เรียกว่า โพลาร์นิวคลีไอ เกิดเป็นเซลล์ขนาดใหญ่อยู่ตรงกลางถูกเอ็มบริโอเรียกว่า เซนทรัลเซลล์

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

- ? การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์มีผลอย่างไรต่อลักษณะทางพันธุกรรมของพืชในรุ่นต่อไป
-  พืชรุ่นต่อไปจะมีลักษณะทางพันธุกรรมที่หลากหลาย เนื่องจากเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์แบ่งเซลล์แบบไมโอซิสทำให้เมกะสปอร์มีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อเมกะสปอร์แบ่งเซลล์แบบไมโทซิสจะได้เซลล์ไข่ที่มีจำนวนโครโมโซม 1 ชุด (n) และเมื่อเกิดการปฏิสนธิจะได้ไซโกตที่มี $2n$ ซึ่งจะเจริญไปเป็นเอ็มบริโอ
- ? ถ้าเริ่มจากไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ 1 เซลล์และเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ 1 เซลล์ เมื่อมีการสร้างสปอร์และพัฒนาไปเป็นแกมีโทไฟต์ จะได้เรณูและถุงเอ็มบริโอจำนวนเท่ากันหรือไม่อย่างไร
-  ไม่เท่ากัน จะได้เรณู 4 อันและถุงเอ็มบริโอ 1 อัน เนื่องจากเมกะสปอร์สลายไป 3 เซลล์ เหลือเพียง 1 เซลล์ที่พัฒนาไปเป็นถุงเอ็มบริโอ

จากนั้นครูอธิบายเพิ่มเติมว่าในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย คือเซลล์ไข่ นั้น สร้างในออวุลซึ่งอยู่ในรังไข่ ส่วนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ในพืชบางชนิดอาจยังไม่สร้างในทันทีแต่ต้องมีกระบวนการถ่ายเรณูก่อน

การถ่ายเรณูและการงอกของหลอดเรณู

ครูนำรูปพืชที่มีเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียอยู่ต่างดอกภายในต้นเดียวกัน เช่น ข้าวโพด ปัตตาเวีย และฟักทอง หรือพืชที่ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียอยู่ต่างต้น เช่น สลัด คำลิง และตาล มาให้นักเรียนศึกษาแล้วถามนักเรียนว่า เรณูจากเกสรเพศผู้จะมายังเกสรเพศเมียได้อย่างไร และพืชดอกมีกระบวนการอย่างไรที่ทำให้เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้มีโอกาสมาผสมกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียได้ ซึ่งคำตอบของนักเรียนอาจขึ้นอยู่กับพื้นฐานและประสบการณ์เดิมจากที่เคยเรียนมาแล้ว นักเรียนอาจตอบได้ว่า การถ่ายเรณูในธรรมชาติอาจเกิดขึ้นโดยอาศัยลม น้ำ แมลง หรือสัตว์อื่นๆ เป็นตัวกลางในการนำเรณูจากอับเรณูไปยังยอดเกสรเพศเมีย

พืชบางชนิดที่เป็นดอกสมบูรณ์เพศอาจผสมกันเองภายในดอกได้เนื่องจากตำแหน่งของเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียมีความจำเพาะเหมาะสมกันที่จะเอื้อให้เรณูจากอับเรณูสามารถติดบนยอดเกสรเพศเมียได้ อย่างไรก็ตามในดอกสมบูรณ์เพศ เกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียอาจจะเจริญไม่พร้อมกัน ทำให้การถ่ายเรณูเกิดจากต่างดอกกัน จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



การถ่ายเรณูมีความสำคัญต่อการสืบพันธุ์ของพืชอย่างไร



ทำให้เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้มีโอกาสผสมกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียได้



การถ่ายเรณูในดอกเดียวกันมีผลดีหรือผลเสียต่อพืชอย่างไร



มีผลดีคือ ถ้าต้นพันธุ์เป็นพันธุ์แท้รุ่นลูกที่ได้จะมีพันธุ์กรรมเหมือนเดิม ผลเสียคือ ทำให้รุ่นลูกมีความหลากหลายทางพันธุกรรมน้อยกว่าการผสมข้ามต้น ซึ่งอาจจะส่งผลให้การต้านทานโรคลดลง และลักษณะด้อยปรากฏในรุ่นต่อไปได้ง่าย



การป้องกันการถ่ายเรณูในดอกเดียวกัน มีวิธีการอย่างไร



โดยการตัดเกสรเพศผู้ทิ้งไปก่อนที่ดอกจะบาน หรือก่อนเกสรเพศผู้จะเจริญเต็มที่



การป้องกันไม่ให้เรณูจากดอกอื่นมาผสม มีวิธีการอย่างไร



วิธีป้องกันไม่ให้เรณูจากดอกอื่นมาผสมคือ ใช้ถุงพลาสติกใสคลุมดอกที่ต้องการให้ติดผลไว้โดยปล่อยให้เกสรเพศเมียและเพศผู้ภายในดอกเดียวกันผสมกันเอง แล้วจึงเปิดถุงพลาสติกออกเมื่อเห็นว่าเริ่มจะติดผล

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคโนโลยีการถ่ายเรณู เพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชเศรษฐกิจในท้องถิ่น เช่น เชิญปราชญ์ชาวบ้านหรือเจ้าหน้าที่เกษตรมาให้ความรู้เรื่องเทคโนโลยีการถ่ายเรณู และควรให้นักเรียนช่วยกันวิเคราะห์ว่าเหตุใดจึงต้องใช้เทคโนโลยีการถ่ายเรณู และเทคโนโลยีการถ่ายเรณูมีผลต่อการดำรงชีวิตของคนในท้องถิ่นอย่างไร และพืชในลักษณะใดที่ต้องใช้เทคโนโลยีการถ่ายเรณูช่วยในการเพิ่มผลผลิต จากนั้นครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติม ดังนี้

- นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่ายังมีวิธีการใดอีกบ้างที่จะช่วยในการถ่ายเรณูให้มากขึ้น



อาจเพิ่มจำนวนแมลงที่ช่วยในการถ่ายเรณู เช่น เลี้ยงแมลงจำพวกผึ้ง หรือมนุษย์อาจช่วยเขี่ยเรณูมาติดที่ยอดเกสรเพศเมียของดอกเดียวกันหรือต่างดอกก็ได้

- นักเรียนสามารถใช้ความรู้ด้านการถ่ายเรณูมาใช้ในการผลิตพืชให้มีลักษณะตามต้องการ หรือได้สายพันธุ์ใหม่ได้อย่างไร



การคัดเลือกต้นพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ที่มีลักษณะตามต้องการ แล้วถ่ายเรณูแบบข้ามต้นจะทำให้ได้พืชที่มีลักษณะต่าง ๆ หลากหลายและอาจจะได้พืชสายพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะตามต้องการ

- นักเรียนคิดว่า การใช้สารฆ่าแมลงจะมีผลกระทบต่อการสืบพันธุ์ของพืชดอกอย่างไร และมีผลต่อเนื่องถึงมนุษย์ในด้านใดบ้าง จะมีวิธีการแก้ไขอย่างไร
- ✎ สารเคมีที่ใช้ฆ่าแมลงนั้น ส่วนใหญ่เป็นสารพิษที่เป็นอันตราย ถ้าใช้สารเคมีเหล่านั้นฉีดพ่นในส่วนผลไม้หรือไม้ดอกจะทำให้แมลงตาย และอาจทำให้ผู้ฉีดสารฆ่าแมลงได้รับอันตรายจากสารพิษ แมลงที่เป็นประโยชน์ที่ช่วยในการถ่ายเรณูจึงมีจำนวนลดน้อยลงทำให้การถ่ายเรณูเกิดขึ้นน้อย และสารพิษบางอย่างอาจจะตกค้างอยู่นานทำให้สารพิษปะปนมากับผลไม้ มนุษย์ที่รับประทานผลไม้ก็จะได้รับสารพิษเข้าไปด้วย สารพิษบางอย่างเมื่อตกลงสู่พื้นดินจะสะสมอยู่ในดินเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในดินที่มีประโยชน์ เช่น ไส้เดือนดิน และจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ให้แก่พืช วิธีการแก้ปัญหาควรใช้สารฆ่าแมลงที่ได้จากพืช เช่น สารที่สกัดจากใบสะเดา ตะไคร้หอม หรือใช้สารเคมีชนิดที่สลายตัวได้เร็ว

จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.2 เพื่อศึกษารูปร่างลักษณะของเรณูและการงอกของหลอดเรณู



กิจกรรม 8.2 รูปร่างลักษณะของเรณูและการงอกของหลอดเรณู

จุดประสงค์

เพื่อศึกษารูปร่างลักษณะของเรณูและการงอกของหลอดเรณู

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

1 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ดอกชนิดต่าง ๆ	อย่างน้อยกลุ่มละ 2 ชนิด
2. สารละลายน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 10%	1 ขวด
3. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	1 กล้อง
4. เข็มเย็บ	1 อัน
5. ปากคีบ	1 อัน
6. สไลด์	2 แผ่น
7. กระจกปิดสไลด์	2 แผ่น

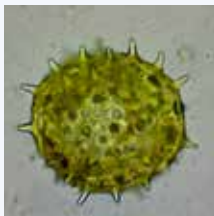
การเตรียมล่วงหน้า

ครูอาจมอบหมายนักเรียนไว้ล่วงหน้าให้นำดอกชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้ตัวอย่างดอกที่จะเห็นการงอกของหลอดเรณูได้คือ แพงพวยฝรั่ง อัญชัน วานกาบหอย บัวจีน ในกรณีที่ใช้ดอกแพงพวยฝรั่งควรเลือกใช้พันธุ์ดั้งเดิมที่มีดอกสีม่วงจะเห็นการงอกของหลอดเรณูได้ชัดเจนกว่าดอกสีขาว ถ้าใช้ดอกสีขาวอาจไม่เห็นการงอกหรือถ้างอกก็ต้องใช้เวลาานานมาก

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูอาจแนะนำว่าแต่ละกลุ่มควรจะใช้ดอกแพงพวยฝรั่งเพื่อสังเกตการงอกของหลอดเรณูได้ชัดเจน และดอกอีกชนิดหนึ่งเป็นดอกไม้ชนิดอื่น ๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบรูปร่างลักษณะเรณู จำนวนเรณูและการงอกของหลอดเรณู

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



เรณูของข้าว



เรณูของอัญชัน



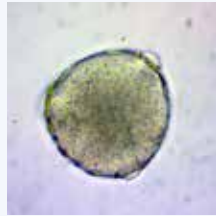
เรณูของลิลลี่



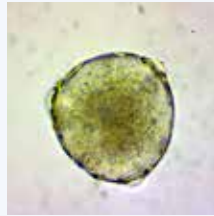
เรณูของพุทธรักษา

ในการทำกิจกรรมนี้ครูแนะนำนักเรียนว่า ให้สังเกตการงอกของหลอดเรณูทุกสัปดาห์ โดยในช่วง 5 นาทีแรกนั้น นักเรียนจะต้องสังเกตอย่างต่อเนื่องจนครบ 5 นาที โดยเฉพาะถ้าใช้ดอกแพงพวยฝรั่ง เรณูจะงอกหลอดเรณูเร็วมาก รวมทั้งให้สังเกตจำนวนของหลอดเรณูที่งอกจากเรณู ระหว่างที่รอผลกิจกรรมของเรณูจากพืชชนิดแรกให้นักเรียนเปลี่ยนไปสังเกตการการงอกของเรณูของพืชอีกหนึ่งชนิดโดยสังเกตต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาทีเช่นกัน จากนั้นจึงเปลี่ยนไปศึกษาสไลด์ของเรณูชนิดแรกอีกครั้งหนึ่งซึ่งเป็นนาทีที่ 10 บันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทุก 10 นาทีของเรณูจากพืชทั้ง 2 ชนิดจนครบ 30 นาที

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม เรณูของแพลงพวยฝรั่ง



เริ่มศึกษา



นาทีที่ 2



นาทีที่ 5



นาทีที่ 10



นาทีที่ 20



นาทีที่ 30

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

- ?** รูปร่างลักษณะของเรณูและจำนวนเรณูมีความเหมาะสมในการถ่ายเรณูอย่างไร
-  ลักษณะรูปร่างของเรณูที่แตกต่างกันจะมีผลต่อรูปแบบของการถ่ายเรณู การที่รูปร่างของเรณูมีได้หลากหลาย เช่น กลม รี และสามเหลี่ยม อาจจะเหมาะสมกับการติดไปกับแมลง หรือสัตว์ที่เป็นพาหะถ่ายเรณูหรือบางชนิดอาจเหมาะกับการปลิวไปตามลม การมีลักษณะผิวขรุขระ มีหนามหรือปุ่มยื่นออกมา มีความเหนียวขึ้นทำให้ติดไปกับแมลงได้ง่ายและเมื่อตกบนยอดเกสรเพศเมียแล้วจะไม่ปลิวไปตามลม การที่เรณูมีจำนวนมาก เป็นการเพิ่มโอกาสให้เรณูสามารถไปตกบนยอดเกสรเพศเมียทั้งในดอกเดียวกันและข้ามดอกโดยวิธีการต่าง ๆ กันได้มาก เมื่อมีการถ่ายเรณูแล้วจะมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เพื่อเข้าไปผสมกับเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกตและเจริญต่อไป
- ?** ในการทดลองเห็นการงอกของหลอดเรณูในดอกไม้ทุกชนิดหรือไม่อย่างไร
-  ขึ้นกับชนิดของดอกไม้ที่นักเรียนนำมาทำกิจกรรม ซึ่งอาจไม่พบการงอกของหลอดเรณูในดอกไม้บางชนิด
- ?** ในบางเรณูที่มีการงอกของหลอดเรณูมากกว่า 1 อัน แต่ละหลอดเรณูจะงอกยาวเท่ากันหรือไม่อย่างไร
-  ไม่เท่ากัน จะมีเพียง 1 อันเท่านั้นที่งอกยาวกว่าหลอดอื่น

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับรูปร่างลักษณะของเรณูและการงอกของหลอดเรณู นักเรียนควรสรุปได้ว่า เรณูของพืชต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างกันทั้งขนาด รูปร่าง ลักษณะ และจำนวน บางชนิดมีผิวขรุขระ บางชนิดมีหนาม หรือปุ่มยื่นออกมา มีความเหนียวขึ้น เมื่อตกบนยอดเกสรเพศเมียแล้วจะไม่ปลิวไปตามลม ซึ่งเหมาะสมต่อการถ่ายเรณูไปบนยอดเกสรเพศเมีย อย่างไรก็ตามเรณูของพืชบางชนิดจะไม่งอกในสารละลายน้ำตาลกลูโคส 10% จากนั้นครูอาจใช้คำถามถามนักเรียนเพิ่มเติมว่า เรณูของพืชที่ไม่งอกในสารละลายน้ำตาล 10% ถ้ามีการถ่ายเรณูในธรรมชาติ เรณูนี้จะงอกหรือไม่ นักเรียนอาจตอบได้ว่า เรณูควรจะงอกได้ในธรรมชาติเนื่องจากสารละลายน้ำตาลกลูโคส 10% อาจจะไม่เหมาะสมต่อการงอกของหลอดเรณู แต่บนยอดเกสรเพศเมียจะมีของเหลวที่มีองค์ประกอบอื่นๆ ที่กระตุ้นการงอกของหลอดเรณูได้

จากนั้นครูอธิบายว่า หลังการถ่ายเรณู เรณูจะงอกหลอดเรณูผ่านยอดเกสรเพศเมียแล้วผ่านก้านเกสรเพศเมียลงไปถึงรังไข่ สเปิร์มเซลล์ทั้ง 2 เซลล์จะเคลื่อนตามทิวบ์นิวเคลียสเข้าไปในหลอดเรณู ซึ่งจะผ่านเข้าไปในอวุลทางไมโครไพล์ แล้วปล่อยสเปิร์มเข้าไปภายในถุงเอ็มบริโอเพื่อเกิดการปฏิสนธิต่อไป

8.3.2 การปฏิสนธิ

ครูให้นักเรียนศึกษารูปที่ 8.12 การปฏิสนธิของพืชดอกและตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่เรื่องการปฏิสนธิคือว่า การปฏิสนธิของพืชดอกเกิดขึ้นได้อย่างไร และมีกระบวนการอย่างไร ครูอาจตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- ใน 1 เรณูมีสเปิร์มนิวเคลียสจำนวนเท่าใด แต่ละนิวเคลียสมีโครโมโซมกี่ชุด
- ใน 1 ถุงเอ็มบริโอมีเซลล์ไข่จำนวนเท่าใด และมีโครโมโซมกี่ชุด

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า ใน 1 เรณูจะมีสเปิร์มนิวเคลียส 2 สเปิร์มนิวเคลียส และแต่ละสเปิร์มนิวเคลียสมีโครโมโซม 1 ชุด ส่วนเซลล์ไข่มีจำนวน 1 เซลล์และมีโครโมโซม 1 ชุด ครูถามคำถามเพิ่มเติม ดังนี้

- กระบวนการปฏิสนธิเกิดขึ้นที่ใด
- ไซโกตเกิดได้อย่างไร และไซโกตมีโครโมโซมกี่ชุด
- เอนโดสเปิร์มเกิดได้อย่างไร และมีโครโมโซมกี่ชุด

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า กระบวนการปฏิสนธิเกิดขึ้นในรังไข่ โดยเกิดขึ้น 2 ครั้งในคราวเดียวกัน คู่แรกเกิดจากสเปิร์มนิวเคลียสหนึ่งไปปฏิสนธิกับเซลล์ไข่ซึ่งมี 1 เซลล์ ได้เป็นไซโกตซึ่งมีจำนวนเซลล์ 1 เซลล์และมีโครโมโซม 2 ชุด หรือ $2n$ ส่วนอีกคู่หนึ่งเกิดจากสเปิร์มนิวเคลียสอีกสเปิร์มหนึ่งไปผสมกับโพลาร์นิวคลีไอซึ่งมี 2 นิวเคลียสได้เป็นเอนโดสเปิร์มนิวเคลียสซึ่งมีโครโมโซม 3 ชุด หรือ $3n$ ซึ่งการปฏิสนธิทั้ง 2 ครั้งที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นพร้อมกันจึงเรียกว่า การปฏิสนธิคู่

ครูอาจตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้ใหม่กับความรู้เดิมที่นักเรียนได้เคยเรียนเรื่องการปฏิสนธิของสัตว์มาแล้วดังนี้

- การปฏิสนธิของพืชดอกแตกต่างจากการปฏิสนธิของสัตว์อย่างไร

จากการอภิปรายควรสรุปได้ว่า ในพืชมีการปฏิสนธิคู่ คือ สเปิร์มนิวเคลียสหนึ่งปฏิสนธิกับเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกต ($2n$) ซึ่งจะพัฒนาเป็นเอ็มบริโอ และอีกสเปิร์มนิวเคลียสหนึ่งผสมกับโพลาร์นิวคลีไอดีเอนโดสเปิร์มนิวเคลียส ($3n$) ซึ่งจะพัฒนาเป็นเอนโดสเปิร์มทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารของเอ็มบริโอ ส่วนในสัตว์นั้นมีสเปิร์ม 1 เซลล์ที่จะปฏิสนธิกับเซลล์ไข่ 1 เซลล์ได้เป็นไซโกต ($2n$) ซึ่งจะพัฒนาเป็นเอ็มบริโอ



ตรวจสอบความเข้าใจ

? เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ผสมกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียที่อยู่ในถุงเอ็มบริโอได้อย่างไร

เริ่มจากการถ่ายเรณู เมื่อเรณูตกลงยอดเกสรเพศเมีย ทิวบ์เซลล์จะงอกหลอดเรณูและเจเนอเรทิฟเซลล์แบ่งเซลล์ได้สเปิร์มเซลล์ 2 เซลล์ หลอดเรณูผ่านยอดเกสรเพศเมียลงไปถึงรังไข่ สเปิร์มเซลล์ 2 เซลล์จะเคลื่อนที่ตามทิวบ์นิวเคลียสภายในหลอดเรณูผ่านเข้าไปในอวุลทางไมโครไพล์ แล้วปล่อยสเปิร์มนิวเคลียสเข้าไปในถุงเอ็มบริโอเพื่อปฏิสนธิกับเซลล์ไข่และโพลาร์นิวคลีไอดีต่อไป

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- กระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียในพืชดอก
- การปฏิสนธิของพืชดอก

ด้านทักษะ

- การสังเกตจากการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน
- ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำจากการทำกิจกรรมและการนำเสนอ

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็นและความมุ่งมั่นอดทนจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน

8.3.3 การเกิดผลและเมล็ด

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยการทบทวนเกี่ยวกับกิจกรรม 8.1 ซึ่งนักเรียนทำกิจกรรมไปแล้ว หรือให้นักเรียนศึกษาภาพผลไม้ชนิดต่างๆ แล้วถามนักเรียนว่า ผลไม้แต่ละชนิดมีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งนักเรียนอาจตอบได้ว่า ผลไม้แต่ละชนิดมีรูปร่างลักษณะ ขนาด เปลือกของผลที่มองเห็นภายนอกแตกต่างกัน และเมื่อผ่าผลไม้แต่ละชนิดจะพบเมล็ดอยู่ข้างในซึ่งเมล็ดก็มีรูปร่างลักษณะและจำนวนที่แตกต่างกันด้วย

ผล

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 8.13 ดอกมะเขือและผลมะเขือ เพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบส่วนของดอกที่เจริญไปเป็นผล แล้วถามนักเรียนว่า ผลและเมล็ดของพืชพัฒนามาจากส่วนใดของดอก ซึ่งนักเรียนอาจตอบได้ว่า ผลพัฒนามาจากรังไข่ รังไข่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นผนังผล และเมล็ดพัฒนามาจากออวุล จากนั้นให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับผนังผลในรูป 8.14 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ผนังผลอาจแบ่งได้เป็น 3 ชั้น คือ ผนังผลชั้นนอก ผนังผลชั้นกลาง และผนังผลชั้นใน ผลบางชนิดสามารถแยกผนังผลออกเป็น 3 ชั้นได้ชัดเจน เช่น มะม่วงและมะพร้าว แต่ผลบางชนิดไม่สามารถแยกผนังผลเป็น 3 ชั้นออกจากกันได้อย่างชัดเจน เช่น เมล่อน มะเขือเทศ พักทอง และแตงโม ส่วนที่

เป็นเนื้อผลคือ ผนังผลชั้นกลางและผนังผลชั้นใน จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษารูป 8.15 ผลมีเนื้อ และรูป 8.16 ผลแห้ง แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับลักษณะของผนังผล ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่าลักษณะของผนังผลอาจอ่อนนุ่มมีลักษณะอวบน้ำ เรียกว่า ผลมีเนื้อ และผนังผลที่แห้งแข็ง เรียกว่า ผลแห้ง ซึ่งผลแห้งนั้นมี 2 แบบ คือ ผลแห้งแบบแตกและผลแห้งแบบไม่แตก

เมล็ดและเอ็มบริโอ

ครูให้นักเรียนศึกษาภาพเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ แล้วใช้คำถามถามนักเรียนว่า **เมล็ดของพืชแต่ละชนิดที่มีลักษณะแตกต่างกันนั้น มีกระบวนการเกิดที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร** ซึ่งนักเรียนอาจตอบว่า หลังการปฏิสนธิอวุลจะเจริญไปเป็นเมล็ด โดยผนังอวุลจะเปลี่ยนไปเป็นเปลือกเมล็ดซึ่งหุ้มล้อมเอ็มบริโอและเอนโดสเปิร์มที่อยู่ภายในเอาไว้ ครูให้นักเรียนศึกษารูป 8.17 การเจริญและพัฒนาของเอ็มบริโอและเอนโดสเปิร์ม เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเจริญและพัฒนาของเอ็มบริโอและเอนโดสเปิร์ม แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



การแบ่งเซลล์ของเอ็มบริโอในรูป 8.17 เป็นการแบ่งเซลล์แบบใด ทราบได้อย่างไร



แบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เนื่องจากต้นสपोโรไฟต์ประกอบด้วยเซลล์ที่มีโครโมโซม 2 ชุด ซึ่งต้นสपोโรไฟต์นี้เจริญเติบโตมาจากเอ็มบริโอ



การเจริญและการพัฒนาของเอ็มบริโอกับเอนโดสเปิร์มในเมล็ดพืชเกิดขึ้นพร้อมกันหรือไม่อย่างไร



เกิดขึ้นพร้อมกัน เอ็มบริโอจะมีการเจริญและพัฒนาต่อไปจนเห็นโครงสร้างได้ชัดเจนในระยะที่ 5 ซึ่งจะสังเกตเห็นเอนโดสเปิร์มเช่นเดียวกันซึ่งมีการเจริญและพัฒนาเป็นเนื้อเยื่อสะสมอาหารไว้สำหรับการเจริญของเอ็มบริโอ

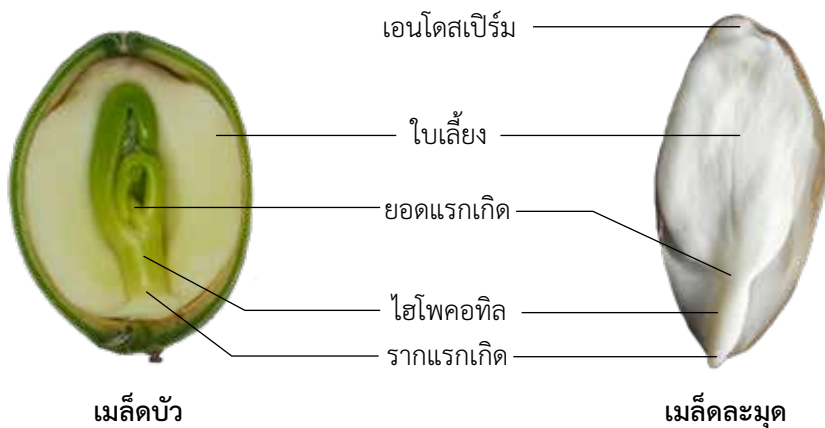
ในการศึกษาเกี่ยวกับเมล็ดและส่วนประกอบต่างๆ ครูอาจแจกเมล็ดที่แช่น้ำจนเปลือกนุ่มให้แก่ นักเรียนเพื่อสังเกตเมล็ดในประเด็นต่าง ๆ ต่อไปนี้

- ลักษณะภายนอกของเมล็ด
- ลักษณะภายในของเมล็ด
- ส่วนประกอบของเอ็มบริโอ
- จำนวนใบเลี้ยง

โดยเปรียบเทียบกับรูปที่ 8.19 ส่วนประกอบของเมล็ด พืชที่ควรจะให้ให้นักเรียนศึกษาควรแตกต่างจากที่มีอยู่ในหนังสือเรียนและควรมีทั้ง 3 ประเภท คือ

1. พืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าว หนาก และปาล์ม
2. พืชใบเลี้ยงคู่ที่ไม่มีเอนโดสเปิร์ม เช่น สะตอ บัว และพืชมงคล
3. พืชใบเลี้ยงคู่ที่มีเอนโดสเปิร์ม เช่น ละมุดและละหู่

เมล็ดที่นำมาศึกษา ถ้ามีเปลือกแข็งจะศึกษาภายในโดยการผ่าออกเป็น 2 ซีก ควรแช่น้ำก่อนเพื่อจะผ่าได้ง่าย เอ็มบริโอของเมล็ดถ้ามีขนาดเล็กมาก ครูอาจเตรียมแว่นขยายให้นักเรียนใช้สังเกตเพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของเมล็ดและเอ็มบริโอของพืชแต่ละชนิดว่าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



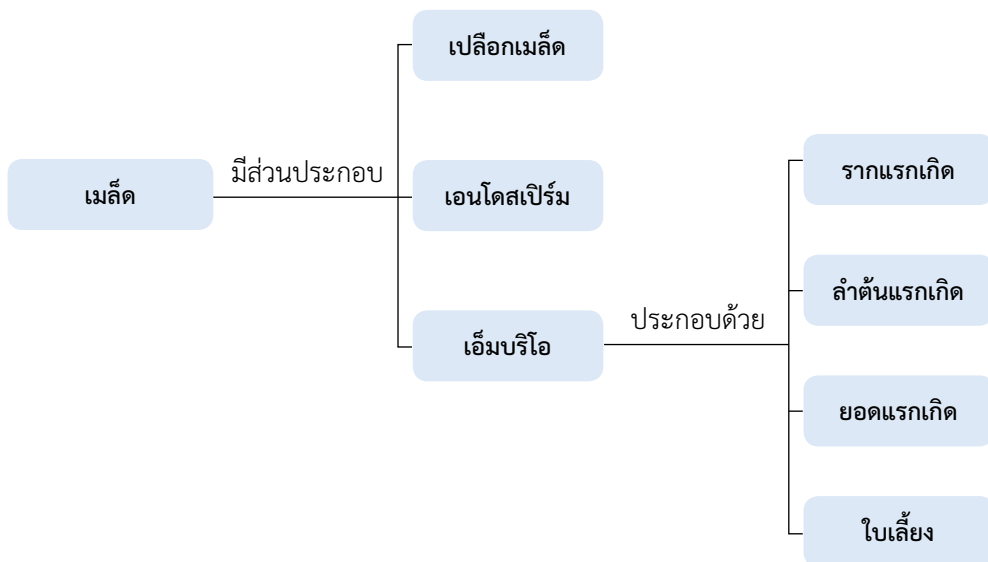
จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่ออภิปรายเกี่ยวกับความเหมือนและความแตกต่างของเมล็ดแต่ละชนิด ดังนี้

- เมล็ดถั่ว เมล็ดละหู่ เมล็ดข้าวโพด ในภาพ 8.19 ในหนังสือเรียน ส่วนประกอบของเมล็ดมีลักษณะเหมือนและแตกต่างกันอย่างไร
- ✎ ลักษณะที่เหมือนกันคือ มีใบเลี้ยงและเอ็มบริโออยู่ภายในส่วนที่ห่อหุ้ม ลักษณะที่ต่างกันดังตาราง

ข้อเปรียบเทียบ	ถั่ว	ละหุ่ง	ข้าวโพด
1. เป็นส่วนที่เปลี่ยนแปลงมาจาก	ออวุล	ออวุล	ออวุลและรังไข่
2. ส่วนที่ห่อหุ้ม	มีเปลือกหุ้มเมล็ด 1 ชั้น	มีเปลือกหุ้มเมล็ด 2 ชั้น	มีเปลือกหุ้มผลและ เปลือกหุ้มเมล็ด
3. เอนโดสเปิร์ม	ไม่มี	มี	มี
4. จำนวนใบเลี้ยง	2 ใบ	2 ใบ	1 ใบ
5. บริเวณที่สะสมอาหาร	ใบเลี้ยง	เอนโดสเปิร์ม	เอนโดสเปิร์ม

- สรุปส่วนประกอบของเมล็ดเป็นแผนผังความคิดไว้อย่างไร

✎ นักเรียนควรสรุปเป็นแผนผังความคิดได้ดังนี้



- ส่วนประกอบอะไรบ้างที่พบในเมล็ดละหุ่งและเมล็ดข้าวโพดแต่ไม่พบในเมล็ดถั่ว
- ✎ เอนโดสเปิร์ม
- ส่วนใดของเมล็ดที่เจริญไปเป็นลำต้น และส่วนใดที่เจริญไปเป็นราก
- ✎ ส่วนยอดแรกเกิดและลำต้นแรกเกิดเจริญไปเป็นลำต้น และส่วนรากแรกเกิดเจริญไปเป็นราก
- ในขณะที่เอ็มบริโองอกออกจากเมล็ด เอ็มบริโอได้อาหารมาจากส่วนใดของเมล็ด
- ✎ เมล็ดที่มีเอนโดสเปิร์มได้รับอาหารจากเอนโดสเปิร์ม ส่วนเมล็ดที่ไม่มีเอนโดสเปิร์มจะได้รับอาหารจากใบเลี้ยง

- เอนโดสเปิร์มของเมล็ดพืชมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ อย่างไร
- ✎ เอนโดสเปิร์มของพืชดอกมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญ เช่น เมล็ดข้าวที่รับประทานคือส่วนของเอนโดสเปิร์ม



ตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ข้าวสารที่ผ่านการขัดสีเอารำข้าวออกไป จะทำให้จมูกข้าวหรือเอ็มบริโอซึ่งอยู่ที่ปลายเมล็ดหลุดออกไปด้วย ข้าวสารจะงอกเป็นต้นกล้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
- ✎ งอกไม่ได้ เพราะเอ็มบริโอเป็นส่วนที่จะเจริญไปเป็นส่วนรากและลำต้นของต้นกล้า
- ? ถ้าเมล็ดไม่มีเอนโดสเปิร์ม จะงอกเป็นต้นกล้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
- ✎ งอกได้ เพราะเมล็ดพืชบางชนิดเมื่อโตเต็มที่จะไม่พบเอนโดสเปิร์มแต่จะมีใบเลี้ยงที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารแทนเอนโดสเปิร์ม

8.4 การใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของผลและเมล็ด

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของผลและเมล็ด

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างการนำผลและเมล็ดมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ นักเรียนอาจตอบได้หลายหลาย เช่น นำมาเป็นอาหาร เครื่องใช้ สิ่งทอหรืออื่นๆ ขึ้นกับความรู้เดิมของนักเรียน ครูยังไม่สรุปคำตอบ แต่ให้นักเรียนศึกษาต่อไปเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากส่วนของผลและเมล็ดในด้านต่างๆ เช่น

อาหาร

ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างผลไม้ต่างๆ ที่นำมารับประทานนั้น นักเรียนอาจตอบได้หลากหลาย เช่น มะม่วง แอปเปิ้ล ลิ้นจี่ ทุเรียน และเงาะ จากนั้นครูใช้คำถามเพื่อนำอภิปราย ดังนี้

- ส่วนเนื้อที่นำมารับประทานเป็นส่วนของผลหรือเมล็ด ทราบได้อย่างไร

คำตอบของนักเรียนอาจหลากหลายขึ้นกับความรู้เดิม ครูยังไม่สรุป ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและอาจสรุปได้ว่า เนื้อผลไม้ที่นำมารับประทานนั้นเป็นส่วนของผนังผล ซึ่งชั้นของผนังผลที่รับประทานได้นั้นขึ้นกับชนิดของพืช เช่น

- มะละกอ กี้ และมะม่วง รับประทานเฉพาะผนังผลชั้นกลาง ไม่รับประทานผนังผลชั้นนอก ซึ่งเป็นเปลือก
- มะเฟืองและมะเขือเทศ รับประทานผนังผลทั้ง 3 ชั้น

จากนั้นครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ในผลไม้บางชนิดที่นำมารับประทานมีเนื้อที่ไม่ได้เป็นผนังผล แต่เป็นเนื้อที่เกิดจากเยื่อหุ้มเมล็ด และใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่การอภิปรายดังนี้

- ถ้านักเรียนเคยรับประทานลิ้นจี่ ลำไย และทุเรียน กับเงาะและกระท้อน ลักษณะของเนื้อที่รับประทานนั้นแยกออกจากเมล็ดได้เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
- นักเรียนเคยสังเกตเนื้อส่วนที่รับประทานว่าติดกับส่วนใดของเมล็ดหรือไม่

คำตอบอาจมีได้หลากหลายขึ้นกับประสบการณ์เดิมของนักเรียน ครูให้นักเรียนศึกษารูป 8.21 เยื่อหุ้มเมล็ด และร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับส่วนเนื้อที่รับประทานได้ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด นักเรียนควรสรุปได้ว่า เนื้อที่เป็นส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดที่แยกออกจากเมล็ดได้ง่าย เช่น ในลิ้นจี่และลำไย จะเป็นส่วนที่เจริญมาจากก้านเมล็ด แต่ผลบางชนิดส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดแยกออกจากเมล็ดได้ยาก เช่น เงาะและกระท้อน จะเป็นส่วนที่เจริญมาจากเปลือกเมล็ด

ครูใช้คำถามถามนักเรียนเพิ่มเติมว่า เมล็ดพืชมีการสะสมแป้งและไขมันไว้ที่เมล็ด ซึ่งอาจสะสมในเอนโดสเปิร์มหรือใบเลี้ยง มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์อะไรบ้าง ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า มนุษย์นำเมล็ดมาใช้เป็นอาหาร โดยเมล็ดพืชที่สะสมแป้งอาจจะนำมารับประทานทั้งเมล็ด เช่น ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว หรืออาจนำเมล็ดไปบดให้ละเอียดจนกลายเป็นแป้ง เช่น แป้งสาลี ใช้ในการทำขนมปัง ส่วนเมล็ดพืชที่สะสมลิพิดไว้จะนำมาสกัดเพื่อผลิตน้ำมัน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



แป้งในเมล็ดข้าวเจ้าและถั่วเขียว สะสมอยู่ในโครงสร้างใดของเมล็ด



ในเมล็ดข้าวเจ้าจะสะสมแป้งในเอนโดสเปิร์ม ส่วนในเมล็ดถั่วเขียวจะสะสมแป้งในใบเลี้ยง

ครูนำเข้าสู่บทเรียนเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากเมล็ดพืชในด้านเครื่องปรุงอาหาร โดยอาจใช้รูปเครื่องเทศต่างๆ มาให้นักเรียนศึกษาหรือถามนักเรียนเกี่ยวกับเครื่องเทศที่นักเรียนรู้จัก ซึ่งเครื่องเทศที่นักเรียนตอบนั้น นอกจากส่วนของผลและเมล็ดแล้วอาจจะผลิตมาจากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบ ลำต้น ดอก และราก จากนั้นใช้คำถามถามนักเรียนว่า **นักเรียนเคยรับประทานเครื่องเทศต่างๆ หรือไม่ เครื่องเทศแต่ละชนิดมีกลิ่นแตกต่างกันอย่างไร และกลิ่นนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร** จากการอภิปราย ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปได้ว่า การใช้ประโยชน์จากผลและเมล็ดเป็นอาหารนั้น นอกจากจะรับประทานผลสดแล้วในพืชบางชนิดที่มีกลิ่นสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องเทศได้ กลิ่นนั้นเกิดจากน้ำมันหอมระเหยรวมทั้งสารอื่นๆ ที่พืชสร้างขึ้น ทำให้พืชแต่ละชนิดมีกลิ่นเฉพาะตัว นิยมทำให้แห้งเพื่อใช้ปรุงอาหาร เช่น ผลโป๊ยกั๊กใช้ทำพะโล้ เมล็ดพริกไทยใช้ปรุงอาหารต่างๆ

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับพริกไทยว่า รูปในหนังสือเรียนนั้น เป็นเมล็ดพริกไทยที่ระหว่างกระบวนการผลิตได้นำส่วนผนังผลที่ห่อหุ้มเมื่อดอกไปแล้ว แต่นักเรียนอาจเคยเห็นพริกไทยแห้งที่เป็นสีดำ ซึ่งจะเป็นแบบที่นำมาทำให้แห้งทั้งส่วนผลและเมล็ด ดังรูป



ผลพริกไทยแห้ง



เมล็ดพริกไทยแห้ง

เส้นใย

ครูนำเข้าสู่เรื่องการใช้ประโยชน์จากเส้นใย โดยอ้างอิงถามความรู้เดิมเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากต้นลินินที่สามารถนำมาทอเป็นผ้าลินินเพื่อตัดเป็นเครื่องนุ่งห่มได้ และใช้คำถามถามนักเรียนว่า

- เส้นใยควรมีสมบัติอย่างไรจึงจะสามารถนำมาใช้ทอเป็นเครื่องนุ่งห่ม
- ส่วนของผลและเมล็ดสามารถนำมาใช้ทำเครื่องนุ่งห่มได้หรือไม่

คำตอบของนักเรียนอาจมีหลากหลายขึ้นกับความรู้เดิม แต่ควรตอบได้ว่า เส้นใยควรมีลักษณะเหนียว เซลล์รูปร่างยาว ผนังเซลล์หนา และแข็งแรงทำให้เหมาะสมกับนำมาทำเป็นเส้นด้ายเพื่อใช้ทอผ้า จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับฝ้ายและนุ่น โดยบอกว่าส่วนเส้นใยที่เห็นนั้นเป็นส่วนของเมล็ด จากนั้นบอกสมบัติของเส้นใยที่ได้จากฝ้ายและนุ่น แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า สมบัติของเส้นใยเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างไร ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า เส้นใยฝ้ายมีสมบัติเหนียว เซลล์รูปร่างยาว สามารถนำมาปั่นเป็นด้ายเส้นยาวได้ดี ส่วนเส้นใยของนุ่นนั้น มีลักษณะสั้น เซลล์สั้น ไม่เหนียว ไม่สามารถนำมาปั่นเป็นเส้นยาวได้ ไม่สามารถนำมาใช้ทำสิ่งทอได้ จึงนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น เช่น ใส่ในหมอนหรือที่นอน

จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.3 ผลิตภัณฑ์จากดอก ผล และเมล็ด



กิจกรรม 8.3 ผลิตภัณฑ์จากดอก ผล และเมล็ด

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของดอก ผล และเมล็ด

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

1 ชั่วโมง

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูแบ่งกลุ่มนักเรียนและมอบหมายให้หาข้อมูลผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่นักเรียนสนใจ โดยครูอาจแนะนำแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น อินเทอร์เน็ต วารสาร และหนังสือ หรือให้นักเรียนศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากในท้องถิ่น

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ผลิตภัณฑ์จากส่วนของดอก

นักเรียนอาจเลือกผลิตภัณฑ์เป็นชากุหลาบ และให้ข้อมูลเกี่ยวกับสายพันธุ์กุหลาบที่นำมาใช้ผลิต โครงสร้างและส่วนประกอบของดอกที่นำมาใช้ทำชา และประโยชน์ของชากุหลาบ



นอกจากนี้ นักเรียนอาจสนใจนำเสนอผลิตภัณฑ์จากส่วนอื่นๆ เช่น

ผล

- แยมผลไม้ เช่น ส้ม สตอเบอรี่ หม่อน
- ผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ

เมล็ด

- ขนม เช่น หัวครกหร่าน้ำผึ้ง เป็นขนมที่ทำมาจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์เคลือบด้วยน้ำตาล โดนด นิยมนำมาวางบนใบมะม่วงหิมพานต์ มีขายทางภาคใต้ เนื่องจากเป็นแหล่งปลูก มะม่วงหิมพานต์มาก
- สร้อยและต่างหูจากเมล็ดพืช เช่น มะค่า หรือนักเรียนอาจนำเสนอผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ผลิตจากพืชที่พบมากในท้องถิ่น เช่น

ตาล ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ส่วนต่างๆ ของตาล



ขนมตาล



ลูกตาลลอยแก้ว



จาวตาลเชื่อม



น้ำตาลโดนด

รวมทั้งให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนของตาลที่นำมาผลิตหรืออาจนำเสนอกระบวนการผลิต เช่น ขนมหาลทำมาจากเนื้อตาลที่ได้จากผลตาลแก่ ลูกตาลลอยแก้วทำมาจากส่วนของเอนโดสเปิร์มที่อยู่ภายในเมล็ด จาวตาลเชื่อมทำมาจากจาวตาลที่อยู่ภายในเมล็ดที่งอกแล้ว น้ำตาลโตนดทำมาจากการเคี้ยวน้ำตาลที่ได้จากช่อดอก

นอกจากนี้ นักเรียนอาจนำเสนอผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดอื่น เช่น
 มะพร้าว - น้ำมะพร้าว น้ำตาลสดมะพร้าว น้ำตาลมะพร้าว ไม้กวาดก้านมะพร้าว
 กัลย - กัลยฉาบ กัลยตาก กัลยกวาน
 ลำปะรด - ลำปะรดอบแห้ง ลำปะรดกวน ไอศกรีมลำปะรด

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- การเกิดผลและการเกิดเมล็ดของพืชดอก
- โครงสร้างของผลและเมล็ด
- การใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่างๆ ของผลและเมล็ด

ด้านทักษะ

- ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลจากการทำกิจกรรม
- ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อจากการทำกิจกรรมและการนำเสนอ

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

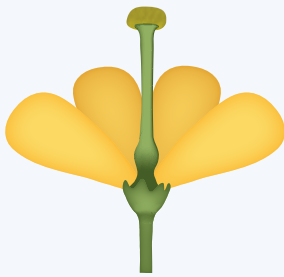
- ความอยากรู้อยากเห็นและความมุ่งมั่นอดทนจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน



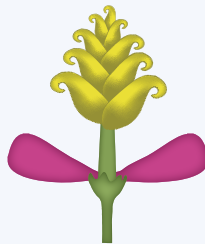
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง
 - ✓..... 1.1 หลังการปฏิสนธิ ออวุลเจริญและพัฒนาเป็นเมล็ด รังไข่เจริญและพัฒนาเป็นผล
 - ✓..... 1.2 ผลเดี่ยว เป็นผลที่เปลี่ยนแปลงมาจากดอก 1 ดอก ที่มี 1 รังไข่ ได้เป็น 1 ผล
 - ✓..... 1.3 พืชดอกมีวัฏจักรชีวิตแบบสลับ ประกอบด้วยสพอโรไฟต์ซึ่งเป็นระยะที่สร้างสปอร์และแกมีโทไฟต์ซึ่งเป็นระยะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์
 - ×..... 1.4 พืชดอกสร้างสปอร์ 2 แบบ คือ เมกะสปอร์ที่เกสรเพศผู้ และไมโครสปอร์ที่เกสรเพศเมีย
แก้ไขเป็น เมกะสปอร์ที่เกสรเพศเมีย และไมโครสปอร์ที่เกสรเพศผู้
 - ×..... 1.5 ไมโครสปอร์ภายในอับเรณูแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้ 2 เซลล์ คือ เจเนอเรทิฟเซลล์และทิวบ์เซลล์ เรียกโครงสร้างที่มี 2 เซลล์นี้ว่า เรณู
แก้ไขเป็น ไมโทซิส
 - ✓..... 1.6 ถุงเอ็มบริโอที่เจริญเต็มที่ประกอบด้วยแอนติโพแดล 3 เซลล์ เซนทรัลเซลล์ 1 เซลล์ ที่มี 2 นิวเคลียส เซลล์ไข่ 1 เซลล์ และซินเนอร์จิด 2 เซลล์
 - ✓..... 1.7 ไมโครไพล์ คือช่องเปิดที่ผนังของออวุลเป็นทางผ่านเข้าไปของหลอดเรณู เมื่อเกิดการปฏิสนธิและเป็นทางผ่านของรากแรกเกิดเมื่อมีการงอกของเมล็ด
 - ✓..... 1.8 การปฏิสนธิคู่ของพืชดอกเกิดขึ้น เมื่อสเปิร์มเซลล์หนึ่งเข้าปฏิสนธิกับเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกต ซึ่งจะพัฒนาต่อไปเป็นเอ็มบริโอ และสเปิร์มอีกเซลล์หนึ่งเข้าปฏิสนธิกับโพลาร์นิวคลีไอได้เป็นเอนโดสเปิร์มนิวเคลียส ซึ่งจะพัฒนาต่อไปเป็นเอนโดสเปิร์ม
 - ✓..... 1.9 แหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ คือ ใบเลี้ยงและเอนโดสเปิร์ม

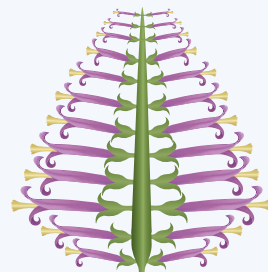
2. จับคู่ดอกและผล พร้อมทั้งอธิบายว่าเพราะเหตุใดดอกที่กำหนดให้จึงเจริญไปเป็นผลที่นักเรียนเลือก



ก.



ข.



ค.

2.1 ก.



2.2 ค.



2.3 ข.



2.4 ก.



2.5 ค.

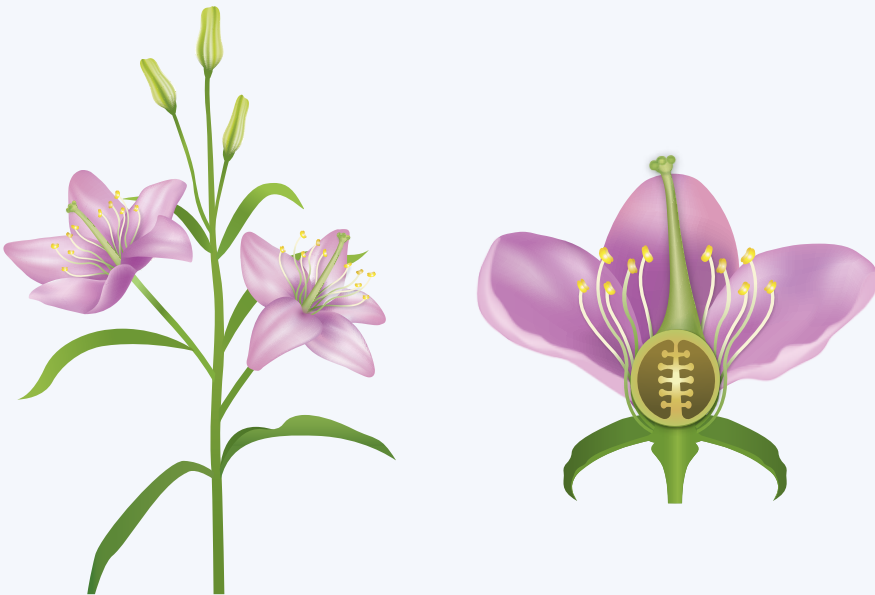


2.6 ข.



-  - ดอกแบบ ก. เจริญไปเป็นผลในข้อ 2.1 และ 2.4 เนื่องจากเป็นผลเดี่ยวเกิดจากดอกที่มีรังไข่ 1 รังไข่ใน 1 ดอก
- ดอกแบบ ข. เจริญไปเป็นผลในข้อ 2.3 และ 2.6 เนื่องจากเป็นผลกลุ่มที่แต่ละผลย่อยติดอยู่บนฐานดอกเดียวกันจึงเป็นผลที่เกิดมาจากดอก 1 ดอกที่มีรังไข่มากกว่า 1 รังไข่อยู่บนฐานดอก
- ดอกแบบ ค. เจริญไปเป็นผลในข้อ 2.2 และ 2.5 เนื่องจากเป็นผลรวมที่ผลย่อยอยู่เบียดชิดกันบนแกนช่อดอกแต่ละผลย่อยเจริญมาจากรังไข่ 1 รังไข่ใน 1 ดอกย่อยที่อยู่บนดอกช่อ
- หมายเหตุ : ครูอาจให้ความรู้แก่นักเรียนเพิ่มเติมเกี่ยวกับชื่อของผลต่าง ๆ ดังนี้ 2.1 มะนาว 2.2 สับปะรด 2.3 การเวก 2.4 พริกหวาน 2.5 หม่อน 2.6 สายหยุด

3. ต้นไม้ชนิดหนึ่งมีดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ จงตอบคำถามต่อไปนี้



- 3.1 ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์และเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ของดอกทุกดอกบนต้นนี้มีจีโนไทป์ที่เหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด
-  มีจีโนไทป์ที่เหมือนกัน เพราะเป็นเซลล์ของสปอโรไฟต์ที่เจริญเติบโตมาจากไซโกตเดียวกัน
- 3.2 แกมีโทไฟต์เพศผู้และแกมีโทไฟต์เพศเมียที่อยู่ภายในดอกเดียวกัน มีชุดของแอลลีลที่เหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด
-  แตกต่างกัน เพราะแกมีโทไฟต์พัฒนาจากสปอร์ที่สร้างจากสปอร์มาเทอร์เซลล์แบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ซึ่งทำให้เกิดการแปรผันทางพันธุกรรมจากการจัดกลุ่มอย่างอิสระของแอลลีลจากแต่ละยีนและการเกิดครอสซิงโอเวอร์
- 3.3 จากไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ 1 เซลล์ จะได้เรณูจำนวนเท่าใด และเรณูทั้งหมดนั้นมีชุดของแอลลีลที่เหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด
-  จะได้เรณูจำนวน 4 เรณู เพราะไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ 1 เซลล์ แบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้ไมโครสปอร์ 4 เซลล์ ไมโครสปอร์แต่ละเซลล์จะพัฒนาไปเป็นเรณู ซึ่งแต่ละเรณูมีชุดของแอลลีลที่แตกต่างกัน เนื่องจากเกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
- 3.4 ในการพัฒนาเป็นผล กลีบดอกและเกสรเพศผู้จะหลุดร่วงหลังการปฏิสนธิ มีจำนวนออวุลทั้งหมดดังที่เห็นในรูป ให้อาหารรูปผลและเมล็ดโดยให้มีจำนวนเมล็ดในผลมากที่สุดเท่าที่จะมีได้
-  นักเรียนอาจวาดรูปผลได้หลายแบบ แต่ต้องยังมีกลีบเลี้ยงติดอยู่ที่ก้านผล และมีเมล็ดจำนวน 10 เมล็ด ตัวอย่างรูปวาดของนักเรียนอาจเป็นดังนี้



3.5 ถ้ามีเรณูจำนวนมากตกบนยอดเกสรเพศเมีย แต่มีเพียง 5 เรณูที่งอกหลอดเรณูลงไปถึงถุงเอ็มบริโอและมีสเปิร์มผสมกับเซลล์ไข่ได้สำเร็จ เมื่อรังไข่ของดอกนี้พัฒนาไปเป็นผลจะมีเมล็ดกี่เมล็ด เพราะเหตุใด



มี 5 เมล็ด เพราะแต่ละอวุลต้องการสเปิร์มของเรณู 1 เรณูมาปฏิสนธิกับเซลล์ไข่และโพลาร์นิวคลีไอ เมื่อมี 5 เรณูที่งอกหลอดลงมาถึงถุงเอ็มบริโอในอวุลแต่ละอันและเกิดการปฏิสนธิจึงได้เมล็ด 5 เมล็ด ส่วนอีก 5 อวุลที่ไม่ได้รับการปฏิสนธิจะไม่พัฒนาเป็นเมล็ด

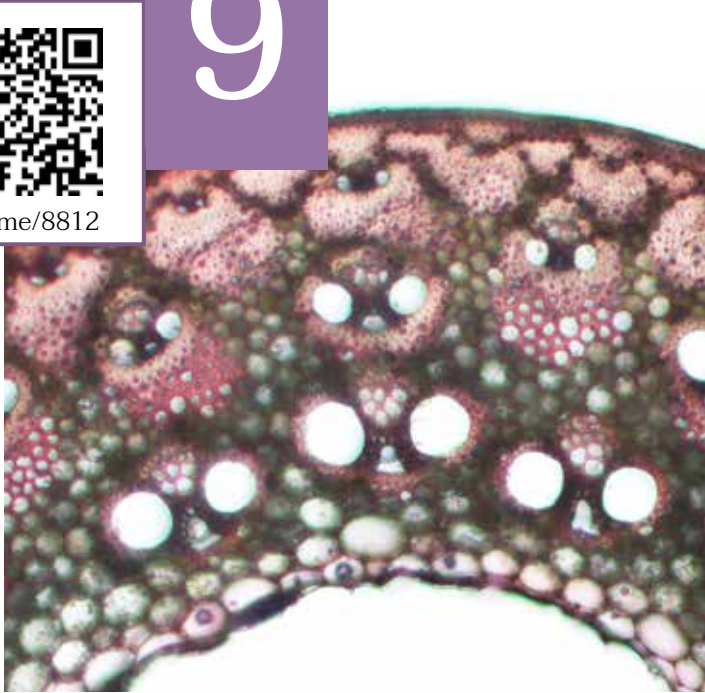
บทที่

| โครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอก

9



ipst.me/8812



ผลการเรียนรู้

1. อธิบายเกี่ยวกับชนิดและลักษณะของเนื้อเยื่อพืช และเขียนแผนผังเพื่อสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืช
2. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและรากพืชใบเลี้ยงคู่จากการตัดตามขวาง
3. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่จากการตัดตามขวาง
4. สังเกต และอธิบายโครงสร้างภายในของใบพืชจากการตัดตามขวาง

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายเกี่ยวกับชนิดและลักษณะของเนื้อเยื่อพืช และเขียนแผนผังเพื่อสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายลักษณะและหน้าที่ และระบุบริเวณที่พบเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรของพืชดอก
2. เขียนแผนผังเพื่อสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืชดอก

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การลงความเห็นจากข้อมูล 2. การจำแนกประเภท 3. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	1. การใช้วิจารณญาณ 2. ความใจกว้าง 3. ความอยากรู้อยากเห็น

ผลการเรียนรู้

2. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและรากพืชใบเลี้ยงคู่จากการตัดตามขวาง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของรากพืชดอก
2. สังเกต และอธิบายโครงสร้างของปลายรากตัดตามยาว
3. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การจำแนกประเภท 3. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความมุ่งมั่นอดทน 3. ความใจกว้าง 4. การยอมรับความเห็นต่าง 5. ความซื่อสัตย์

ผลการเรียนรู้

3. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่จากการตัดตามขวาง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของลำต้นพืชดอก
2. สังเกต และอธิบายโครงสร้างของปลายยอดตัดตามยาว
3. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การจำแนกประเภท 3. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความมุ่งมั่นอดทน 3. ความใจกว้าง 4. การยอมรับความเห็นต่าง 5. ความซื่อสัตย์

ผลการเรียนรู้

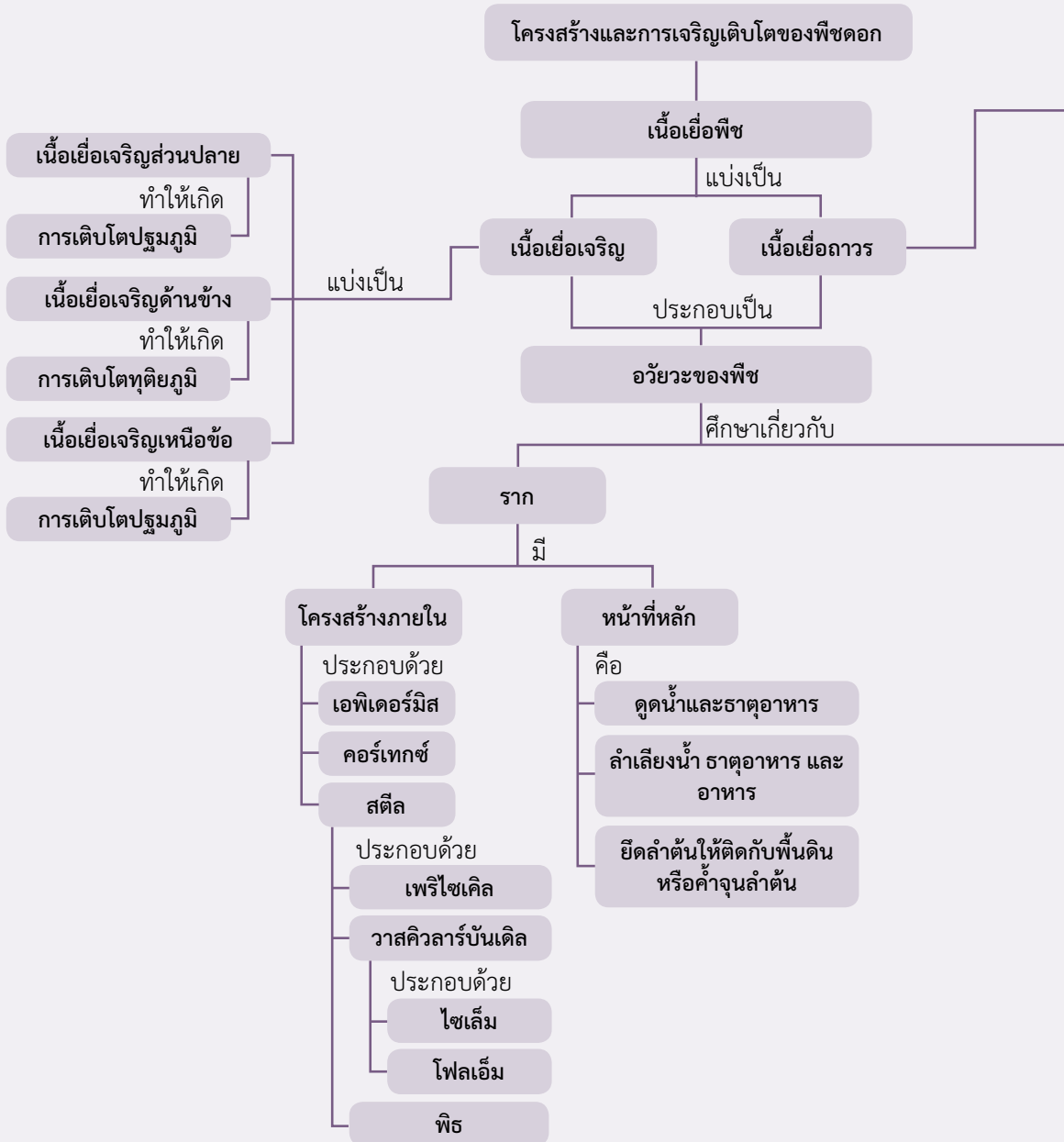
4. สังเกต และอธิบายโครงสร้างภายในของใบพืชจากการตัดตามขวาง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของใบพืชดอก
2. สังเกต และอธิบายโครงสร้างภายในของใบพืชตัดตามขวาง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การจำแนกประเภท 3. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความมุ่งมั่นอดทน 3. ความใจกว้าง 4. การยอมรับความเห็นต่าง 5. ความซื่อสัตย์

ผังมโนทัศน์ บทที่ 9



แบ่งได้ 3 ระบบ

ระบบเนื้อเยื่อผิว

มี

เอพิดอร์มิส

เพริเดอร์ม

ระบบเนื้อเยื่อพื้น

มี

พาเรงคิมา

คอลเลงคิมา

สเกลอเรนคิมา

ระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง

มี

ไซเล็ม

โฟลเอ็ม

ลำต้น

มี

โครงสร้างภายใน

ประกอบด้วย

เอพิดอร์มิส

คอร์เทกซ์

สตีล

ประกอบด้วย

วาสคิวลาร์บันเดล

ประกอบด้วย

ไซเล็ม

โฟลเอ็ม

พิธ

หน้าที่หลัก

คือ

สร้างใบ

ซูกิ่ง ก้าน ใบ ดอก

และผล

ลำเลียงน้ำ

ธาตุอาหาร

และอาหาร

ใบ

มี

โครงสร้างภายใน

ประกอบด้วย

เอพิดอร์มิส

แบ่งเป็น

ด้านบน

ด้านล่าง

มีโซฟิลล์

ประกอบด้วย

แพลลิสเซดมีโซฟิลล์

สปองจีมีโซฟิลล์

วาสคิวลาร์บันเดล

ประกอบด้วย

ไซเล็ม

โฟลเอ็ม

หน้าที่หลัก

คือ

สังเคราะห์ด้วยแสง

แลกเปลี่ยนแก๊ส

คายน้ำ

สาระสำคัญ

พืชดอกมีเนื้อเยื่อประกอบด้วยเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวร เนื้อเยื่อเจริญประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ที่สามารถแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส มีการเติบโตขยายขนาด และเปลี่ยนแปลงเพื่อไปทำหน้าที่เฉพาะ ส่วนเนื้อเยื่อถาวรเป็นกลุ่มเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อเจริญ แบ่งได้เป็น 3 ระบบ คือ ระบบเนื้อเยื่อผิว ระบบเนื้อเยื่อพื้น ระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง ซึ่งทำหน้าที่ต่างกัน ทั้งเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรจะมีลักษณะ และหน้าที่เฉพาะของเนื้อเยื่อแต่ละชนิด

ราก คือ ส่วนแกนของพืชที่ทั่วไปเจริญอยู่ใต้ระดับผิวดิน ทำหน้าที่ยึดหรือค้ำจุนให้พืชเจริญเติบโตอยู่กับที่ได้ และยังมีหน้าที่สำคัญในการดูดน้ำและธาตุอาหารในดิน เพื่อส่งไปยังส่วนต่างๆ ของพืช โครงสร้างภายในของรากระยะการเติบโตปฐมภูมิ เมื่อตัดตามขวางจะเห็นโครงสร้างแบ่งเป็น 3 ชั้น เรียงจากด้านนอกเข้าไป คือ เอพิเดอร์มิส คอร์เทกซ์ และสตีล ในระยะการเติบโตทุติยภูมิของรากเอพิเดอร์มิสอาจจะถูกแทนที่ด้วยเพริเดอร์ม ลักษณะมัดท่อลำเลียงจะเปลี่ยนไปเนื่องจากการสร้างเนื้อเยื่อท่อลำเลียงเพิ่มขึ้น

ลำต้น คือ ส่วนแกนของพืชที่โดยทั่วไปเจริญอยู่เหนือระดับผิวดินถัดขึ้นมาจากราก ทำหน้าที่สร้างใบและชูใบ ลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหารที่พืชสร้างขึ้นส่งไปยังส่วนต่างๆ โครงสร้างภายในของลำต้นระยะการเติบโตปฐมภูมิ เมื่อตัดตามขวางจะเห็นโครงสร้างแบ่งเป็น 3 ชั้น เรียงจากด้านนอกเข้าไป คือ เอพิเดอร์มิส คอร์เทกซ์ และสตีล ลำต้นในระยะการเติบโตทุติยภูมิ จะมีเส้นรอบวงเพิ่มขึ้น และมีโครงสร้างแตกต่างจากเดิม เนื่องจากการสร้างเพริเดอร์ม และเนื้อเยื่อท่อลำเลียงเพิ่มขึ้น

ใบมีหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง แลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำ ใบของพืชดอกประกอบด้วย ก้านใบ แผ่นใบ เส้นกลางใบ และเส้นใบ พืชบางชนิดอาจไม่มีก้านใบ ที่โคนก้านใบอาจพบหรือไม่พบหูใบ โครงสร้างภายในของใบตัดตามขวาง ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ เอพิเดอร์มิส มีโซฟิลล์ และวาสคิวลาร์บันเดล

นอกจากนี้พืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีรูปแบบการจัดเรียงเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน ซึ่งสัมพันธ์กับรูปแบบการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของต้นพืชเอง

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 17 ชั่วโมง

9.1 เนื้อเยื่อพืช	2 ชั่วโมง
9.2 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก	6 ชั่วโมง
9.3 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของลำต้น	6 ชั่วโมง
9.4 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของใบ	3 ชั่วโมง
รวม	17 ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (✓) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

- ☒ 1. เซลล์พืชทุกชนิดมีผนังเซลล์หุ้มอยู่ด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์
- ☐ 2. เซลล์ทุกชนิดของพืชมีคลอโรพลาสต์
- ☒ 3. เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช
- ☒ 4. พืชดูดน้ำและธาตุอาหารผ่านทางเซลล์ขนราก
- ☒ 5. ราก ลำต้น และใบ เป็นอวัยวะที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก
- ☐ 6. พืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีรากแก้ว
- ☒ 7. รากทำหน้าที่ช่วยยึดโครงสร้างของลำต้นพืชให้ติดอยู่กับดินหรือวัสดุปลูก
- ☒ 8. ลำต้นทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหาร ไปยังส่วนต่างๆ ของพืช

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนเกี่ยวกับเรื่องสิ่งมีชีวิตมีการจัดระบบซึ่งเป็นหนึ่งในลักษณะเฉพาะที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต จากนั้นใช้รูปเนื้อเยื่อลำต้นไม้ตัดตามขวางจากรูปนำบท ประกอบกับการใช้คำถามถามนักเรียนว่า

- จากรูปเนื้อเยื่อลำต้นไม้ ไม้เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวหรือสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์
- ✎ ไม้เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์
- พืชซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีหลายเซลล์มีการจัดระบบภายในอย่างไร
- ✎ พืชมีการจัดระบบภายในเริ่มจากเซลล์ที่เป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต เซลล์หลายเซลล์ทำหน้าที่เฉพาะร่วมกันเป็นเนื้อเยื่อ จากการทำงานร่วมกันของเนื้อเยื่อเกิดเป็นอวัยวะ

ครูใช้รูปนำบททั้งหมดประกอบเพื่อบอกนักเรียนว่า หลังจากที่เราเรียน เรื่อง โครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอก รู้จักชนิดของเนื้อเยื่อพืช และเข้าใจการจัดเรียงเนื้อเยื่อในอวัยวะต่างๆ ของพืชแล้ว นักเรียนจะเข้าใจมากขึ้นว่า เพราะเหตุใดมนุษย์จึงเลือกใช้อวัยวะของพืชแต่ละชนิดในวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน

ครูใช้คำถามในบทนำของหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่เนื้อหาถามนักเรียนว่า

- โครงสร้างภายในของพืชมีการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อในแต่ละอวัยวะอย่างไร และสัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ อย่างไร
- ✎ คำตอบอาจมีได้หลากหลายซึ่งนักเรียนจะได้คำตอบหลังจากเรียน เรื่อง เนื้อเยื่อพืช โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก ลำต้น ใบ และผ่านการทำกิจกรรม 9.1 9.2 และ 9.3

9.1 เนื้อเยื่อพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายลักษณะและหน้าที่และระบุบริเวณที่พบเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรของพืชดอก
2. เขียนแผนผังเพื่อสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืชดอก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูใช้คำถามนำในหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่เนื้อหาถามนักเรียนว่า

- ราก ลำต้น และใบประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไรบ้าง เนื้อเยื่อแต่ละชนิดมีลักษณะและทำหน้าที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
-  คำตอบอาจมีได้หลากหลายซึ่งนักเรียนจะได้คำตอบหลังจากเรียน เรื่อง เนื้อเยื่อพืช

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเนื้อเยื่อพืชในหนังสือเรียนเพื่อสรุปว่าเนื้อเยื่อพืชเป็นกลุ่มของเซลล์พืชที่มีการเจริญและเปลี่ยนแปลงเพื่อทำหน้าที่เฉพาะ และใช้คำถามเพื่ออภิปราย ดังนี้

- ลักษณะร่วมที่สำคัญของเซลล์พืชคืออะไร
- ผนังเซลล์พืชประกอบด้วยอะไรบ้าง
- ผนังเซลล์แต่ละส่วนมีลักษณะและความสำคัญอย่างไร

จากการอภิปรายร่วมกันโดยใช้รูป 9.1 นักเรียนควรอธิบายได้ว่า ผนังเซลล์ของพืชเป็นลักษณะร่วมกันของเซลล์พืชแต่ละชนิด โดยเซลล์พืชมีผนังเซลล์เป็นกรอบล้อมอยู่รอบนอกและให้ความแข็งแรงแก่โครงสร้างเซลล์พืช ผนังเซลล์ของเซลล์ ประกอบด้วย มิติเซลลูลาเมลลา ผนังเซลล์ปฐมภูมิ และผนังเซลล์ทุติยภูมิ โดยแต่ละส่วนมีลักษณะและความสำคัญที่ต่างกัน

ครูใช้คำถามนำเพื่อให้ได้ข้อสรุปถึงประเภทของเนื้อเยื่อพืชที่แบ่งตามความสามารถในการแบ่งเซลล์หรืออธิบายให้นักเรียนฟังว่า เนื้อเยื่อพืชแบ่งตามความสามารถในการแบ่งเซลล์ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญ และเนื้อเยื่อถาวร จากนั้นครูใช้คำถามนำในหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่เนื้อหาเกี่ยวกับเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรถามนักเรียนว่า

- เนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรพบที่ส่วนใดของพืช เนื้อเยื่อแต่ละชนิดมีหน้าที่ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชดอกอย่างไร
- ✎ คำตอบอาจมีได้หลากหลายซึ่งนักเรียนจะได้คำตอบหลังจากเรียน เรื่อง เนื้อเยื่อเจริญ และเนื้อเยื่อถาวร

9.1.1 เนื้อเยื่อเจริญ

ครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเนื้อเยื่อเจริญในหนังสือเรียนแล้วอภิปรายร่วมกัน โดยใช้คำถามดังนี้

- เนื้อเยื่อเจริญประกอบด้วยเซลล์อะไร เซลล์มีลักษณะ และมีสมบัติอย่างไร
- เซลล์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของเนื้อเยื่อเจริญจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรต่อไป
- หากแบ่งประเภทเนื้อเยื่อเจริญตามตำแหน่งที่อยู่ จะแบ่งได้กี่ประเภท อะไรบ้าง

จากการอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรจะสรุปได้ว่า เนื้อเยื่อเจริญประกอบด้วยเซลล์เจริญที่มีผนังเซลล์ปฐมภูมิบาง มีนิวเคลียสขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดของเซลล์ แบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวนได้ตลอดชีวิตของเซลล์ และเซลล์ที่ได้จากการแบ่งส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อเยื่อถาวรเพื่อทำหน้าที่เฉพาะต่อไป เนื้อเยื่อเจริญแบ่งตามตำแหน่งที่อยู่ได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง และเนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ

ทั้งนี้ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมว่าเซลล์ลูกส่วนหนึ่งที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสจะเปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะ และเซลล์ลูกอีกส่วนหนึ่งที่เหลือจะยังคงทำหน้าที่เป็นเซลล์เจริญเพื่อทำหน้าที่แบ่งเซลล์ต่อไป

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับลักษณะและชนิดของเนื้อเยื่อเจริญโดยใช้รูป 9.2 9.3 และ 9.4 เพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

1. เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายพบที่บริเวณปลายยอดมีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้ลำต้นและกิ่งยาวขึ้น รวมทั้งสร้างลำต้น กิ่ง และใบ และพบที่บริเวณปลายรากมีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้รากยาวขึ้น โดยการเจริญเติบโตที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายจัดเป็นการเติบโตปฐมภูมิ
2. เนื้อเยื่อเจริญด้านข้างอยู่ในแนวขนานกับเส้นรอบวงมีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนออกทางด้านข้างทำให้รากและลำต้นขยายขนาดใหญ่ขึ้น โดยการเติบโตที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ของ

เนื้อเยื่อเจริญด้านข้างจัดเป็นการเติบโตทุติยภูมิ พบในรากและลำต้นของพืชใบเลี้ยงคู่ทั่วไปและพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เนื้อเยื่อเจริญด้านข้างเรียกอีกอย่างว่า แคมเบียม แบ่งตามการทำหน้าที่ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- วาสคิวลาร์แคมเบียม มีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้เกิดเนื้อเยื่อท่อลำเลียงเพิ่มขึ้นในการเติบโตทุติยภูมิ วาสคิวลาร์แคมเบียมพบอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหาร
- คอร์กแคมเบียมมีหน้าที่แบ่งเซลล์ให้คอร์กและเนื้อเยื่ออื่นๆ เพื่อทำหน้าที่แทนเนื้อเยื่อผิวเดิมในการเติบโตทุติยภูมิในพืชบางชนิด



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การขยายขนาดทางด้านข้างของลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เช่น จันทน์ผา หมากผู้หมากเมีย มะพร้าว และปาล์ม อาจเทียบได้กับการเติบโตทุติยภูมิของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ต่างกันที่การขยายขนาดของลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเหล่านี้ไม่ได้เกิดจากการแบ่งเซลล์ของวาสคิวลาร์แคมเบียม แต่เกิดขึ้นจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญพิเศษที่เจริญมาจากเนื้อเยื่อเจริญในระยะการเติบโตปฐมภูมิและการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ถาวรบางชนิด นอกจากนี้การที่ลำต้นของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวขยายขนาดทางด้านข้างมากขึ้นยังเกิดจากการขยายขนาดของเซลล์ที่มีอยู่เดิมด้วย

- เนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อเป็นเนื้อเยื่อเจริญอยู่ระหว่างข้อ มีหน้าที่แบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนทำให้ปล้องของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวยืดยาว



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

Intercalary มีความหมายว่า “ระหว่างข้อ” หรือ ปล้อง นั่นเอง โดยเซลล์ภายในปล้องของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะแบ่งเซลล์ทั้งปล้อง แต่เนื้อเยื่อส่วนบนของปล้องจะแก่ก่อนส่วนล่าง จึงเหลือเนื้อเยื่อเจริญส่วนล่างของปล้องซึ่งอยู่เหนือข้อล่าง ยังเจริญแบ่งตัวต่อไปได้อีกทำให้ปล้องยืดยาวได้มากกว่าเดิม จึงเป็นที่มาของเนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ หรือ intercalary meristem

9.1.2 เนื้อเยื่อถาวร

ครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเนื้อเยื่อถาวร และรูป 9.5 ซึ่งแสดงตำแหน่งของระบบเนื้อเยื่อในพืชใบเลี้ยงคู่ ในหนังสือเรียน แล้วอภิปรายร่วมกัน โดยใช้คำถามดังนี้

- เนื้อเยื่อถาวรเปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่ออะไร
- เนื้อเยื่อถาวรประกอบด้วยเซลล์อะไร เซลล์มีลักษณะเป็นอย่างไร

จากการอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรจะสรุปได้ว่าเนื้อเยื่อถาวรเปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อเจริญ ประกอบด้วยเซลล์ที่เจริญเต็มที่ มีรูปร่างคงที่ ทำหน้าที่ต่าง ๆ ตามลักษณะโครงสร้างของเซลล์ ส่วนใหญ่จะไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้อีกต่อไป

ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าเนื้อเยื่อถาวรแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบเนื้อเยื่อผิว ระบบเนื้อเยื่อพื้น ระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง จากนั้นครูใช้รูป 9.5 ซึ่งแสดงเนื้อเยื่อถาวรในหนังสือเรียนและให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

1. ระบบเนื้อเยื่อผิว ประกอบด้วยเอพิเดอร์มิสทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อด้านในของพืชในระหว่างการเติบโตปฐมภูมิ และเพริเดอร์มเป็นเนื้อเยื่อที่เจริญขึ้นมาแทนเอพิเดอร์มิสของรากและลำต้นพืชบางชนิดในระหว่างการเติบโตทุติยภูมิ พร้อมกับชี้ตำแหน่งในรูปพร้อมอธิบายนักเรียนว่าจะพบระบบเนื้อเยื่อนี้อยู่ด้านนอกของอวัยวะต่าง ๆ ของพืช
2. ระบบเนื้อเยื่อพื้น ประกอบด้วยเนื้อเยื่ออื่นที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อผิวและเนื้อเยื่อท่อลำเลียง พร้อมกับชี้ตำแหน่งในรูปพร้อมอธิบายนักเรียนว่าจะพบระบบเนื้อเยื่อพื้นเป็นส่วนใหญ่ในอวัยวะต่าง ๆ ของพืช
3. ระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง ประกอบด้วยไซเล็มและโฟลเอ็ม พร้อมกับชี้ตำแหน่งในรูปพร้อมอธิบายนักเรียนว่า ระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียงจะติดต่อกันเป็นเส้นทางลำเลียง น้ำ ธาตุอาหาร และอาหารไปทั้งต้นของพืช



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

เนื้อเยื่อพื้นส่วนใหญ่มักพบพาเรงคิมาแทรกอยู่ตามส่วนต่างๆ ของพืชมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อเยื่อพื้นชนิดอื่นๆ

ครูเชื่อมโยงเข้าสู่ชนิดเนื้อเยื่อถาวร โดยอาจใช้คำถามถามนักเรียนว่า

- เนื้อเยื่อถาวรที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชมีอะไรบ้าง
- ✎ เอพิเดอร์มิส พาเรงคิมา คอลเลงคิมา สเกลอเรนคิมา ไซเล็ม โพลเอม
- เนื้อเยื่อถาวรแต่ละชนิดมีลักษณะและหน้าที่ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชดอกอย่างไร
- ✎ คำตอบอาจมีได้หลากหลายซึ่งนักเรียนจะได้คำตอบหลังจากเรียนเรื่องเนื้อเยื่อถาวร

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะและหน้าที่ของเนื้อเยื่อถาวรโดยใช้รูป 9.6-9.10 ซึ่งแสดงเนื้อเยื่อถาวรทั้ง 6 ชนิด ในหนังสือเรียนเพื่อให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับลักษณะและประเภทของเนื้อเยื่อถาวรทั้ง 6 ชนิด ซึ่งมีความหลากหลายทั้งลักษณะและหน้าที่

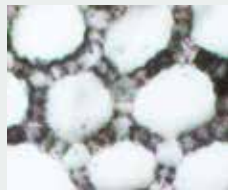


ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

พาเรงคิมาอาจพบองค์ประกอบภายในเซลล์ที่แตกต่างกัน เช่น คอลเลงคิมา (chlorenchyma) เป็นพาเรงคิมาที่มีคลอโรพลาสต์อยู่ภายในเซลล์ หรือเซลล์ของเนื้อเยื่อพื้นอาจมีการจัดเรียงตัวอย่างหลวมๆ ทำให้มีช่องว่างระหว่างเซลล์ขนาดใหญ่ เรียกว่า แอเรนคิมา (aerenchyma) ดังรูป



คอลเลงคิมา



แอเรนคิมา



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

เทรคิตพบจำนวนมากในพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperm) พืชมีท่อลำเลียงไร้เมล็ด พบได้บ้างในพืชดอก ส่วนเวสเซลเมมเบอร์พบจำนวนมากในพืชดอก (angiosperm)

ครูใช้รูป 9.11 ซึ่งแสดงการจัดเรียงเนื้อเยื่อถาวรของลำต้นหม่อนน้อยและข้าวโพดเพื่อสรุปว่าพืชแต่ละชนิดมีการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อถาวรที่ต่างกัน แต่มีองค์ประกอบของระบบเนื้อเยื่อที่เหมือนกัน จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปเกี่ยวกับเนื้อเยื่อพืช โดยใช้คำถามตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ

? ให้นักเรียนเขียนแผนผังสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืช พร้อมทั้งบอกหน้าที่และความสำคัญของเนื้อเยื่อลงในแผนผัง



เนื้อเยื่อพืช

แบ่งตามความสามารถในการแบ่งเซลล์

เนื้อเยื่อเจริญ

ประกอบด้วยเซลล์เจริญที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวนได้ตลอดชีวิตของเซลล์ และเซลล์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์บางส่วนจะเจริญไปเป็นเนื้อเยื่อถาวร บางส่วนจะยังคงทำหน้าที่เนื้อเยื่อเจริญต่อไป

แบ่งตามตำแหน่งที่อยู่

เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย

เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด

มีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้ลำต้นยาวขึ้นรวมทั้งสร้างลำต้น กิ่ง และใบ

เนื้อเยื่อเจริญปลายราก

มีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้รากยาวขึ้น

เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง

มีหน้าที่แบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนออกทางด้านข้าง ทำให้รากและลำต้นขยายขนาดใหญ่ขึ้น

วาสคิวลาร์แคมเบียม

มีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้เกิดเนื้อเยื่อท่อลำเลียงเพิ่มขึ้นในการเติบโตทุติยภูมิ

คอร์กแคมเบียม

มีหน้าที่แบ่งเซลล์ให้คอร์กและเนื้อเยื่ออื่นๆ เพื่อทำหน้าที่แทนเนื้อเยื่อผิวเดิมในการเติบโตทุติยภูมิในพืชบางชนิด

เนื้อเยื่อเจริญเนื้อข้อ

มีหน้าที่แบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนทำให้ปล้องของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวยืดยาวเห็นได้ชัดเจน

เนื้อเยื่อถาวร

เปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อเจริญประกอบด้วยเซลล์ที่เจริญเต็มที่ มีรูปร่างคงที่ ทำหน้าที่ต่างๆ ตามลักษณะโครงสร้างของเซลล์ ส่วนใหญ่จะไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้อีกต่อไป

ประกอบด้วย

เอพิเดอร์มิส

เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นนอกสุดของพืช ทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อด้านใน

พาเรงคิมา

ทำหน้าที่เป็นเนื้อเยื่อพอง

คอลเลงคิมา

ทำหน้าที่พยุงและทำให้เกิดความแข็งแรงแก่โครงสร้างพืช

สเกลอเรนคิมา

ทำให้เกิดความแข็งแรงกับโครงสร้างของพืช

ไซเล็ม

ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและธาตุอาหารจากรากไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช

โฟลเอ็ม

ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่สังเคราะห์จากใบไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช

ในการสรุปความรู้เนื้อเยื่อพืชเป็นรูปแบบแผนผังจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ ครูอาจแบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มเพื่อสรุปแผนผัง ดังนี้

1. ค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิด โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ที่สามารถใช้ค้นหาจากอินเทอร์เน็ตได้
2. เลือกวิธีการนำเสนอแผนผังระหว่างการเขียนหรือวาดแผนผังลงในกระดาษ ใช้โปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ แอปพลิเคชันจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือแท็บเล็ต
3. ออกแบบแผนผังสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืช พร้อมทั้งติดหรือใส่รูปที่สืบค้นได้ลงในแผนผัง และใส่หน้าที่หรือความสำคัญอย่างย่อของเนื้อเยื่อพืช
4. นำเสนอแผนผังสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืชต่อชั้นเรียน
5. ร่วมกันตรวจสอบข้อมูลเพื่อให้ได้แผนผังที่ถูกต้อง

ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างและหน้าที่เฉพาะซึ่งทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นระบบเพื่อทำให้พืชเจริญเติบโต โดยเนื้อเยื่อพืชมีการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกันอยู่ภายในโครงสร้างราก ลำต้น และใบ จากนั้นใช้คำถามในหนังสือเรียนเพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่เรื่อง โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก ลำต้น และใบว่า

- รูปแบบการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อพืชภายในโครงสร้างราก ลำต้น และใบ แตกต่างกันและสัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของแต่ละอวัยวะอย่างไร
- ✎ คำตอบอาจมีได้หลากหลายซึ่งนักเรียนจะได้คำตอบหลังจากเรียน เรื่อง โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก ลำต้น และใบ

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- ชนิดและลักษณะของเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรของพืช จากการอภิปรายร่วมกัน การทำแบบฝึกหัด และจากการเขียนแผนผังเพื่อสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืช

ด้านทักษะ

- การลงความเห็นจากข้อมูล การจำแนกประเภท จากการอภิปรายร่วมกัน และการทำแบบฝึกหัด
- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล และการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปราย ร่วมกัน และการเขียนแผนผังเพื่อสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืช

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณ์ญาณ ความเป็นกลาง และความอยากรู้อยากเห็น จากการสังเกตพฤติกรรมในการนำเสนอ และการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล

9.2 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของรากพืชดอก
2. สังเกต และอธิบายโครงสร้างของปลายรากตัดตามยาว
3. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูใช้รูปวาดพืชจากรูป 9.5 ซึ่งแสดงเนื้อเยื่อถาวรหรือใช้พืชจริงที่ถอนขึ้นมาจากดินให้เห็นส่วนของราก เพื่อทบทวนเกี่ยวกับรากว่าเป็นอวัยวะที่งอกออกจากเมสโทเดิร์มลงสู่ดินตามแรงโน้มถ่วงของโลก ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารเพื่อส่งไปยังส่วนต่างๆ ของพืช รวมทั้งยึดลำต้นให้ติดกับพื้นดินหรือค้ำจุนลำต้นให้พืชเจริญเติบโตอยู่กับที่ได้ จากนั้นใช้คำถามในหนังสือเรียนถามนักเรียนว่า

- โครงสร้างของรากประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไร มีความเหมาะสมต่อการทำหน้าที่อย่างไร
- ✎ คำตอบอาจมีได้หลากหลายซึ่งนักเรียนจะได้คำตอบหลังจากเรียน เรื่อง โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก

จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.1 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก



กิจกรรม 9.1 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก

จุดประสงค์

1. อภิปราย และบันทึกเกี่ยวกับลักษณะการงอกของรากพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
2. อธิบายการเจริญเติบโตและโครงสร้างภายนอกของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
3. ระบุและอธิบายโครงสร้างภายในของปลายรากพืชตัดตามยาว
4. เตรียมรากพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง เพื่อศึกษาเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
5. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปลักษณะของเนื้อเยื่อรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว แต่ละบริเวณจากด้านนอกเข้าไปสู่ด้านใน
6. เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

2 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

ตอนที่ 1 โครงสร้างภายนอกและการเจริญเติบโตของราก

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. เมล็ดถั่วเขียว และเมล็ดข้าวโพด	20 เมล็ด
2. กล่องพลาสติกใสรูปสี่เหลี่ยมที่มีความสูงหรือความยาวของกล่องประมาณ 15-20 cm หรืออาจใช้ขวดน้ำพลาสติกแทน	2 กล่อง หรือ 2 ขวด
3. กระบะเพาะ	2 กระบะ
4. ดินสำหรับเพาะ	5 กิโลกรัม ต่อห้อง

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
5. ทิชชู	1 ม้วน
6. แว่นขยาย	1 อัน
7. น้ำ	1 ขวด

ตอนที่ 2 โครงสร้างภายในของราก

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. สไลด์ถาวรโครงสร้างปลายรากตัดตามยาว	1 แผ่น
2. รากถั่วเขียวและข้าวโพดที่ได้จากการเพาะอายุประมาณ 2 สัปดาห์ อาจใช้รากจากต้นอ่อนพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดอื่น เช่น หมอน้อย จามจุรี และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวชนิดอื่น เช่น ข้าว หรือหญ้าขน แทนได้	พืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เลือกชนิดละ 3 ต้น
3. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	1 กล้อง
4. สไลด์และกระจกปิดสไลด์	10 ชุด
5. ไขมีดโกน	3 ใบ
6. พู่กัน	1 อัน
7. เข็มเปีย	1 อัน
8. หลอดหยด	1 อัน
9. จานเพาะเชื้อ	3 จาน
10. ทิชชู	1 ม้วน
11. ปีกเกอร์ขนาด 50 mL หรือขวดแก้วปากกว้างสำหรับใส่น้ำ	1 ใบ
12. สีซาฟรานิน (safranin) ความเข้มข้น 1% หรือน้ำยาอุทัย	1 ขวด
13. น้ำ	1 ขวด

การเตรียมล่วงหน้า

1. ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษารายละเอียดของกิจกรรม 9.1 โดยเฉพาะวัสดุและอุปกรณ์ และวิธีการทำกิจกรรม เพื่อเตรียมการล่วงหน้าก่อนถึงวันทำกิจกรรมจริง
2. การเตรียมต้นถั่วเขียวและข้าวโพดอายุ 2 สัปดาห์
ครูมอบหมายให้นักเรียนเพาะถั่วเขียวและข้าวโพดโดยให้นักเรียนปฏิบัติตามวิธีการเตรียมในหนังสือเรียน
3. ครูควรฝึกเตรียมสไลด์สดของรากพืชและศึกษาโครงสร้างภายในของรากพืชใบเลี้ยงคู่และใบเลี้ยงเดี่ยวทุกระยะการเจริญเติบโตที่ต้องการศึกษาล่วงหน้าก่อนสอนจริง เพื่อให้เข้าใจวิธีการเตรียมสไลด์สดและสามารถสาธิตวิธีการได้อย่างชำนาญ โดยอาจสาธิตก่อนเริ่มทำกิจกรรมโครงสร้างภายในของรากตัดตามขวาง หรือหลังจากการศึกษาสไลด์ถาวรของโครงสร้างปลายราก นอกจากนี้การศึกษาโครงสร้างตัดตามขวางของรากก่อนสอนจริง จะช่วยให้ครูสามารถให้คำแนะนำและตอบคำถามแก่นักเรียนได้อย่างมั่นใจ โดยครูสามารถศึกษาวิธีการตัดเนื้อเยื่อรากตามขวางและวิธีการเตรียมสไลด์สดของรากพืชในหนังสือเรียนได้

แนวการจัดกิจกรรม

ครูแจ้งจุดประสงค์ของกิจกรรมที่ 9.1 โดยอาจแสดงไวนั้นกระดานหน้าชั้นเรียน และอธิบายจุดประสงค์แต่ละข้อกับนักเรียนให้ชัดเจน โดยเน้นว่าเมื่อจบกิจกรรมและการเรียนเรื่องโครงสร้างและการเจริญเติบโตของรากแล้ว นักเรียนต้องเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวางได้

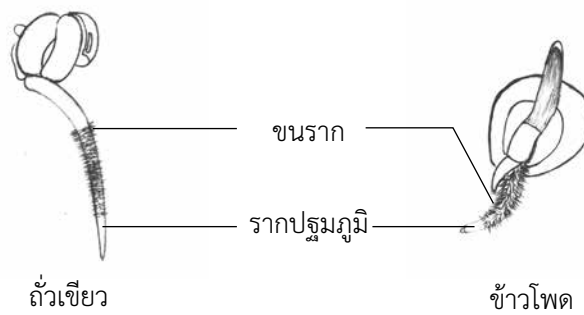
ครูและนักเรียนร่วมกันทำความเข้าใจวิธีการทำกิจกรรมตอนที่ 1 โครงสร้างภายนอกและการเจริญเติบโตของราก พร้อมกับเน้นให้นักเรียน บันทึกผลโดยการวาดรูปหรือถ่ายรูปเมล็ดที่งอกในแต่ละวัน และระบุชนิดรากลงในรูปด้วย

ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษาการงอกของเมล็ดถั่วเขียวและเมล็ดข้าวโพด จากนั้นครูใช้รูป 9.12 ซึ่งแสดงลักษณะของรากพืชใบเลี้ยงคู่ และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่งอกจากเมล็ด เพื่อร่วมกันอภิปรายผลและสรุปเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของรากในขณะเจริญเติบโต เพื่อให้นักเรียนใช้ข้อมูลประกอบการบันทึกผลการทดลอง

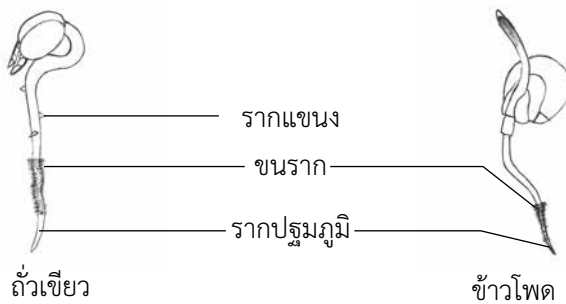
ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

รูปวาดจากการศึกษาโครงสร้างภายนอกของรากถั่วเขียวและข้าวโพดจากเมล็ดที่กำลังงอก

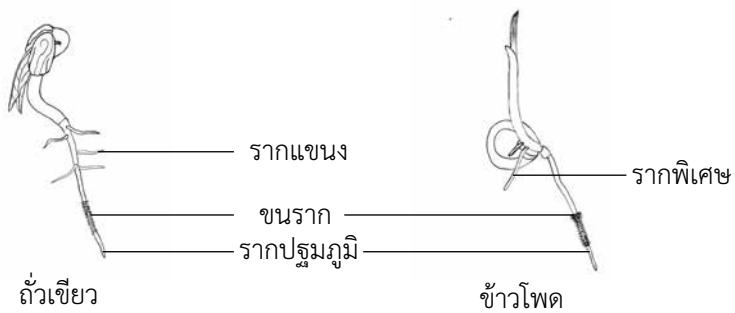
วันที่ 1



วันที่ 2

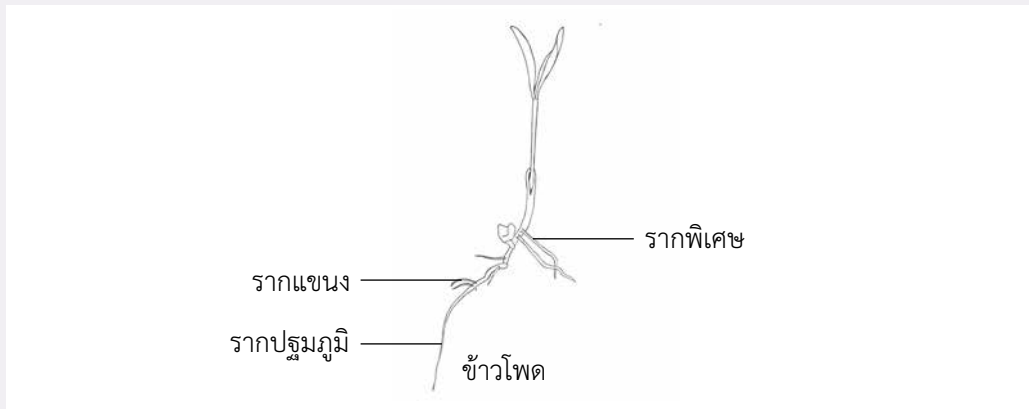


วันที่ 3



จากตัวอย่างผลการทำกิจกรรมของข้าวโพดในวันที่ 3 ยังไม่เกิดรากแขนง ดังนั้นครูอาจให้นักเรียนเพาะเลี้ยงต่อเพื่อสังเกตว่ารากแขนงจะเกิดในวันที่เท่าไร

สำหรับตัวอย่างการทำกิจกรรมในครั้งนี้ พบว่ารากแขนงของข้าวโพดจะสังเกตได้ชัดเมื่อเพาะข้าวโพดไปแล้ว 6-7 วัน โดยมีลักษณะดังรูป



เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

- ?** ส่วนใดของเมล็ดที่งอกออกมาก่อน งอกมาจากตำแหน่งใดของเมล็ดและตำแหน่งที่งอกของเมล็ดถั่วเขียวและเมล็ดข้าวโพดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
-  ส่วนที่งอกออกมาก่อน คือ ส่วนที่จะเจริญไปเป็นราก โดยรากจะงอกออกมาจากรูเล็กใกล้รอยแผลเป็นซึ่งเกิดจากก้านของออวุลหลุดออกไปเช่นเดียวกันทั้งของเมล็ดถั่วเขียว และเมล็ดข้าวโพด
- ?** การงอกและการเจริญเติบโตของรากถั่วเขียวและรากข้าวโพดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
-  เหมือนกันคือ ถั่วเขียวและข้าวโพดงอกรากที่โผล่พ้นเมล็ดออกมาก่อนคือรากปฐมภูมิหรือรากแก้ว และจะมีรากทุติยภูมิหรือรากแขนงเจริญออกมาจากรากปฐมภูมิ ส่วนที่ต่างกันคือข้าวโพดจะมีรากปฐมภูมิหรือรากแก้วเจริญออกมาช่วงระยะหนึ่งแล้วจะหยุดการเจริญเติบโต แต่จะมีรากพิเศษงอกออกมาจากบริเวณอื่นอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งไม่พบลักษณะนี้ในถั่วเขียว

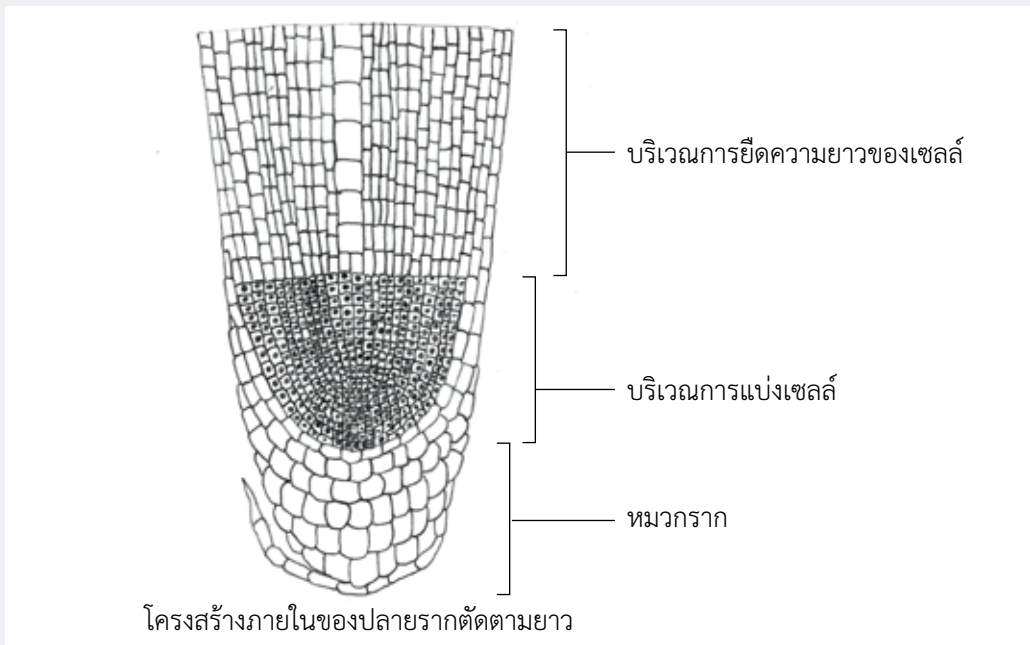
ครูและนักเรียนร่วมกันทำความเข้าใจวิธีการทำกิจกรรมตอนที่ 2.1 โครงสร้างปลายรากตัดตามยาว พร้อมกับเน้นให้นักเรียนบันทึกผลโดยการวาดรูปโครงสร้างปลายรากที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุบริเวณต่างๆ

ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างภายในของปลายราก จากนั้นครูใช้รูป 9.13 ซึ่งแสดงปลายรากพืชตัดตามยาวบริเวณต่างๆ เพื่อร่วมกันสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของปลายรากซึ่งแบ่งเป็นบริเวณต่างๆ โดยในแต่ละบริเวณจะมีเซลล์ที่แตกต่างกันซึ่งเหมาะสมกับการทำหน้าที่ที่แตกต่างกัน

ระหว่างการทำกิจกรรมตอนที่ 2.1 ให้ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเลื่อนหาเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูบริเวณต่างๆ ของโครงสร้างปลายรากที่สามารถมองเห็นได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยให้นักเรียนทุกคนในกลุ่มมีส่วนร่วมในการตรวจสอบความเข้าใจนี้

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

รูปวาดจากการศึกษาโครงสร้างภายในของปลายรากตัดตามยาว



ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลการทำกิจกรรมว่า หากดูเปรียบเทียบรูปที่เห็นจากสไลด์ถาวรกับรูป 9.13 ซึ่งแสดงปลายรากพืชตัดตามยาวแสดงบริเวณต่างๆ แล้วพบว่ารูปร่างที่ได้จากการศึกษาสไลด์ถาวรจะเห็นห่อหุ้มรากถึงบริเวณการยืดตามยาวของเซลล์โดยใช้รูป 9.12 ก. ชี้ให้นักเรียนเห็นว่า บริเวณการยืดตามยาวของเซลล์มีความยาวมากทำให้ไม่สามารถทำสไลด์เนื้อเยื่อปลายรากตัดตามยาวจนถึงบริเวณการเปลี่ยนสภาพและเจริญเต็มที่ของเซลล์ได้ เพราะพื้นที่ของสไลด์และระยะศึกษาของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงที่มีจำกัดจึงทำให้ขนาดของเนื้อเยื่อที่ใช้ศึกษาจำกัดไปด้วย ดังนั้นรูปที่ได้จากการศึกษาโครงสร้างปลายรากตัดตามยาวจากสไลด์ถาวรจึงไม่เห็นบริเวณการเปลี่ยนสภาพและการเจริญเต็มที่ของเซลล์

ครูและนักเรียนร่วมกันทำความเข้าใจวิธีการทำกิจกรรมตอนที่ 2.2 โครงสร้างภายในของรากตัดตามขวาง พร้อมกับเน้นให้นักเรียนพยายามตัดเนื้อเยื่อของรากให้ครบวง และบันทึกผลโดยการวาดรูปหรือถ่ายรูปโครงสร้างภายในของรากตัดตามขวางที่มีการเติบโตปฐมภูมิที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุบริเวณต่างๆ และบันทึกรายละเอียดเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของเนื้อเยื่อแต่ละบริเวณของรากถั่วเขียวและข้าวโพดในรูปแบบตาราง

ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างภายในของรากตัดตามขวาง จากนั้นครูใช้รูป 9.14 ซึ่งแสดงรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง ระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ เพื่อร่วมกันสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีการเติบโตปฐมภูมิมีเนื้อเยื่อแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น เหมือนกัน ได้แก่ เอพิเดอร์มิส คอร์เทกซ์ และสตีล แต่มีการจัดเรียงของเนื้อเยื่อในชั้นสตีลที่แตกต่างกัน

ระหว่างการทำกิจกรรมตอนที่ 2.2 ครูอาจตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเลืมนหาเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูบริเวณต่างๆ ของโครงสร้างภายในของรากระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ โดยให้นักเรียนในกลุ่มทุกคนมีส่วนร่วมในการตรวจสอบความเข้าใจนี้

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

วิธีการปิดกระจกปิดสไลด์ไม่ให้มีฟองอากาศทำได้โดยวางขอบกระจกปิดสไลด์ด้านหนึ่งให้สัมผัสกับสไลด์โดยวางทำมุมประมาณ 45° ใช้เข็มช่วยประคองปิดกระจกปิดสไลด์ เพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศ

กรณีที่มีฟองอากาศในสไลด์ สามารถไล่ฟองอากาศได้โดยให้ใช้หลอดหยดหยดน้ำเข้าด้านข้างของกระจกปิดสไลด์ ใช้กระดาษเยื่อซับน้ำที่ด้านตรงข้ามกับด้านที่หยดน้ำเข้าเพื่อให้ น้ำเข้าไปแทนที่ฟองอากาศ หากเนื้อเยื่อบางวิธีการนี้อาจทำให้เนื้อเยื่อพับหรือเบี้ยว หรืออาจใช้ เข็มเขี่ยเคาะที่กระจกปิดสไลด์เบา ๆ เพื่อให้ฟองอากาศแตก หากทำวิธีการดังกล่าวแล้วยังคงมี ฟองอากาศอยู่ให้น้ำเนื้อเยื่อฟุ้งออกมาแล้ว เริ่มทำสไลด์ใหม่

หากต้องการฝักรชิ้นส่วนของพืชลงในโพลีเมอร์ สามารถทำตามข้อเสนอนี้ในหน้า 56 ของ หนังสือเรียนและดูตัวอย่างได้จากรูป



การฝังใบลงในโพลีเมอร์



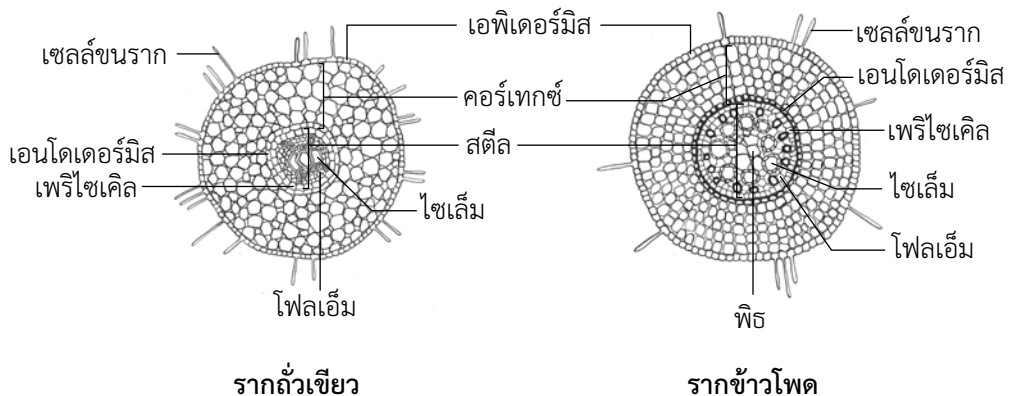
ตัดโพลีเมอร์ให้เป็นชิ้นบางตามขวาง



ชิ้นส่วนของพืชหลุดออกมาหลังการแช่น้ำ

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

รูปวาดจากการศึกษาโครงสร้างภายในของรากระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ



ตารางเปรียบเทียบชนิดของเซลล์หรือเนื้อเยื่อและการจัดเรียงเนื้อเยื่อบริเวณรากแก้วเขียว และข้าวโพดที่มีการเติบโตปฐมภูมิ

ชั้นเนื้อเยื่อ	รากแก้วเขียว	รากข้าวโพด
1. เอพิเดอร์มิส	เอพิเดอร์มิสเรียงเป็นแถวเดียว ประกอบด้วยเซลล์ผิวและเซลล์ขนราก	เอพิเดอร์มิสเรียงเป็นแถวเดียว ประกอบด้วยเซลล์ผิวและเซลล์ขนราก
2. คอร์เทกซ์	ประกอบด้วยเซลล์พาราเควอมา ด้านในสุดพบเอนโดเดอร์มิส	ประกอบด้วยเซลล์พาราเควอมา ด้านในสุดพบเอนโดเดอร์มิส
3. สตีล		
3.1 เพรโซเคิล	ประกอบด้วยเซลล์พาราเควอมาเรียงเป็นวง 1- 2 แถว	ประกอบด้วยเซลล์พาราเควอมาเรียงเป็นวง 1- 2 แถว
3.2 วาสคิวลาร์บันเดล	กลุ่มเซลล์ในไซเล็ม เห็นเรียงเป็นแฉกมี 4 แฉก และมีกลุ่มเซลล์ในโฟลเอ็มแทรกอยู่ระหว่างแฉก	ไซเล็มมีจำนวนแฉกมากกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ นับได้มากกว่า 10 แฉก และมีกลุ่มเซลล์ในโฟลเอ็มแทรกอยู่ระหว่างแฉก
3.3 ฟิส	ไม่มี	ประกอบด้วยเซลล์พาราเควอมา

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? จากการศึกษาโครงสร้างปลายรากตัดตามยาวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ โครงสร้างที่อยู่ปลายสุดของรากคืออะไร มีความสำคัญต่อพืชอย่างไร

 หมวกราก มีความสำคัญต่อพืชคือป้องกันอันตรายให้กับเนื้อเยื่อเจริญที่อยู่ถัดขึ้นไปขณะที่รากซอนไชลงสู่ดิน

? ถ้าต้องการศึกษาการแบ่งเซลล์ไมโทซิสระยะต่าง ๆ ของปลายรากหอมควรเลือกศึกษาที่บริเวณใดของโครงสร้างปลายรากตัดตามยาว

 บริเวณการแบ่งเซลล์

? จากการศึกษาโครงสร้างภายในของรากระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิของรากพืชใบเลี้ยงคู่ และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เนื้อเยื่อชั้นใดบ้างที่มีลักษณะคล้ายกัน

 เอพิเดอร์มิส และคอร์เทกซ์

- ?** นักเรียนจะบอกได้อย่างไรว่า สไลด์โครงสร้างของรากที่ศึกษาอยู่เป็นของรากพืชใบเลี้ยงคู่หรือรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
-  บอกได้จากการจัดเรียงเนื้อเยื่อของวาสคิวลาร์บันเดลในชั้นสตีลและพิธ ถ้าบริเวณสตีลของสไลด์ที่ศึกษาอยู่พบไซเล็มปฐมภูมิตรงกลางรากและโฟลเอ็มปฐมภูมิอยู่ระหว่างแฉกโดยจำนวนแฉกมีประมาณ 4-6 แฉก สไลด์นี้คือรากพืชใบเลี้ยงคู่ ถ้าบริเวณสตีลของสไลด์ที่ศึกษาอยู่พบพิธอยู่ตรงกลางและไซเล็มปฐมภูมิมีจำนวนแฉกมาก สไลด์นี้คือรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

ครูใช้รูป 9.16 ซึ่งแสดงลำดับการเติบโตทุติยภูมิของรากพืชใบเลี้ยงคู่จากระยะเริ่มมีวาสคิวลาร์แคมเปียมถึงระยะเกิดคอร์กแคมเปียม อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของรากระยะที่มีการเติบโตทุติยภูมิว่า การเติบโตทุติยภูมิของรากพืชใบเลี้ยงคู่ทำให้รากมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากมีการสร้างเนื้อเยื่อถาวรเพิ่มจากการแบ่งเซลล์ของวาสคิวลาร์แคมเปียมและคอร์กแคมเปียมทำให้เกิดเนื้อเยื่อทุติยภูมิ

ครูใช้รูป 9.17 ซึ่งแสดงรากพืชใบเลี้ยงคู่ระยะการเติบโตทุติยภูมิจากรากระยะแก่มาตัดตามขวาง เพื่ออธิบายเกี่ยวกับเพริเดอร์ม

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นเพิ่มเติมเพื่อตอบคำถามชวนคิดในหนังสือเรียน



ชวนคิด

? ให้นักเรียนยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากรากพืช โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของราก เพื่ออธิบายเหตุผลว่า เพราะเหตุใดพืชชนิดดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในด้านนั้น



การใช้ประโยชน์จากรากหญ้าแฝก

มนุษย์ปลูกหญ้าแฝกเพื่อใช้ประโยชน์จากโครงสร้างและการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกที่สามารถเจริญลึกลงไปในดิน ทำให้เกิดเป็นกำแพงดินซึ่งช่วยป้องกันการพังทลายของดิน ดินถล่มจากน้ำท่วมฉับพลัน เนื่องจากรากของหญ้าแฝกมีลักษณะพิเศษต่างจากรากทั่วไป คือ สามารถเจริญเติบโตตามแนวดิ่งลงไปในดินหรือใต้ดินได้ 2-2.5 เมตร ซึ่งมากกว่ารากหญ้าคาที่เจริญเติบโตลงไปในแนวดิ่งได้เพียง 50 เซนติเมตร นอกจากนี้การทำหน้าที่ร่วมกันของรากฝอยของหญ้าแฝกที่มี 2 ขนาด ทำให้อากของหญ้าแฝกเกาะดินได้ดี ซึ่งมีรากฝอยขนาดใหญ่ทำหน้าที่เจาะและซอนไชลงดิน ส่วนรากฝอยขนาดเล็กจะเจริญแตกแขนงออกมาจากรากฝอยขนาดใหญ่ทำหน้าที่เป็นร่างแหช่วยในการยึดเกาะดิน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้หญ้าแฝกเป็นพืชที่เหมาะสมแก่การปลูกเพื่อป้องกันการพังทลายของดินจากน้ำท่วมฉับพลัน

(ที่มา: บทความเรื่อง “หญ้าแฝก” กำแพงดินธรรมชาติ ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ หรือ สวทช.)



ตรวจสอบความเข้าใจ

? เพราะเหตุใดบริเวณของรากที่มีการเติบโตปฐมภูมิสามารถดูดซึมน้ำได้ แต่บริเวณรากที่มีการเติบโตทุติยภูมิดูดซึมน้ำไม่ได้



เนื่องจากบริเวณของรากที่มีการเติบโตปฐมภูมิ เนื้อเยื่อผิวด้านนอกของรากคือ เอพิเดอร์มิส และขนรากที่มีผนังเซลล์บางทำให้สามารถดูดซึมน้ำผ่านเซลล์ได้ ส่วนบริเวณรากที่มีการเติบโตทุติยภูมิ เนื้อเยื่อผิวด้านนอกของรากเป็นเพริเดอร์มซึ่งด้านนอกสุดของเนื้อเยื่อเพริเดอร์มเป็นคอร์ก ประกอบด้วยเซลล์คอร์กเรียงตัวติดกันแน่นหลายชั้นและเซลล์คอร์กที่เจริญเต็มที่ที่ไม่มีชีวิตจึงทำให้บริเวณที่มีการเติบโตทุติยภูมิดูดซึมน้ำไม่ได้

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- โครงสร้างภายนอกและบอกหน้าที่ของรากพืชดอก โครงสร้างของปลายรากตัดตามยาว และการเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจากการตัดตามขวาง จากการเรียน และการทำกิจกรรม

ด้านทักษะ

- การสังเกต การจำแนกประเภท จากการทำกิจกรรม
- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากรูปวาด คำบรรยายของรูปตัวอย่างพืช และบันทึกผลการทดลอง

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น ความมุ่งมั่นอดทน ความใจกว้าง การยอมรับความเห็นต่าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม
- ความซื่อสัตย์ จากการทำรายงานของกิจกรรม

9.3 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของลำต้น

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของลำต้นพืชดอก
2. สังเกต และอธิบายโครงสร้างของปลายยอดตัดตามยาว
3. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูใช้รูป 9.5 ซึ่งแสดงเนื้อเยื่อถาวรและคำถามในหนังสือเรียนถามนักเรียนว่า

- โครงสร้างของลำต้นประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไร มีความเหมาะสมต่อการทำหน้าที่ของลำต้นอย่างไร
-  คำตอบอาจมีได้หลากหลายซึ่งนักเรียนจะได้คำตอบหลังจากเรียน เรื่อง โครงสร้างและการเจริญเติบโตของลำต้น

จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.2 โครงสร้างภายนอกและภายในของลำต้น



กิจกรรม 9.2 โครงสร้างภายนอกและภายในของลำต้น

จุดประสงค์

1. อธิบายและสรุปโครงสร้างภายนอกของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
2. ระบุและอธิบายโครงสร้างภายในของปลายยอดพืชตัดตามยาว
3. เตรียมสไลด์เนื้อเยื่อลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวางและศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบบันทึกภาพที่เห็นจากกล้องจุลทรรศน์
4. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปลักษณะของเนื้อเยื่อลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวแต่ละบริเวณจากด้านนอกเข้าไปสู่ด้านในตามลำดับ
5. เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

3 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ต้นถั่วเขียว และต้นข้าวโพดที่เพาะแล้วจากกิจกรรม 9.1 หรืออาจใช้พืชอื่น - พืชใบเลี้ยงคู่ เช่น หม่อนน้อย ต้อยติ่ง กะเพรา โหระพา และชบา - พืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น กล้วยาชน กล้วยาแพรก วาสนา ใผ่เขียว กวนอิม	พืชใบเลี้ยงคู่ และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เลือกชนิดละ 3 ต้น
2. สไลด์ถาวรปลายยอดพืชใบเลี้ยงคู่	1 แผ่น
3. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	1 กล้อง
4. สไลด์และกระจกปิดสไลด์	10 ชุด
5. ใบมีดโกน	3 ใบ
6. พู่กัน	1 อัน
7. เข็มเย็บ	1 อัน
8. หลอดหยด	1 อัน
9. จานเพาะเชื้อ	3 จาน
10. ทิชชู	1 ม้วน
11. ปีกเกอร์ขนาด 50 mL หรือขวดแก้ว ปากกว้างสำหรับใส่น้ำ	1 ใบ
12. สีซาฟรานินความเข้มข้นประมาณ 1% หรือน้ำยาอุทัย	1 ขวด
13. น้ำ	1 ขวด

การเตรียมล่วงหน้า

1. ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษารายละเอียดของกิจกรรม 9.2 โดยเฉพาะวัสดุและอุปกรณ์ และวิธีการทำกิจกรรม เพื่อเตรียมการล่วงหน้าก่อนถึงวันทำกิจกรรมจริง
2. ครูควรศึกษาโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และใบเลี้ยงเดี่ยวทุกระยะการเจริญเติบโตที่ต้องการล่วงหน้าก่อนสอนจริง เพื่อให้ครูสามารถให้คำแนะนำและตอบคำถามแก่นักเรียนได้อย่างมั่นใจ

ครูแจ้งจุดประสงค์ของกิจกรรม 9.2 โดยแสดงไบบนกระดานหน้าชั้นเรียน และอธิบายจุดประสงค์แต่ละข้อกับนักเรียนให้ชัดเจน โดยเน้นว่าเมื่อจบกิจกรรมและการเรียนเรื่องโครงสร้างภายนอกและภายในของลำต้นแล้ว นักเรียนต้องเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวได้ตามขวางได้

ครูและนักเรียนร่วมกันทำความเข้าใจวิธีการทำกิจกรรม 9.2 ตอนที่ 1 โครงสร้างภายนอกของลำต้น พร้อมกับเน้นให้นักเรียน บันทึกผลการสังเกตลักษณะภายนอกของลำต้นเปรียบเทียบระหว่างพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในรูปแบบของตาราง

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตารางบันทึกลักษณะภายนอกของลำต้นถั่วเขียวและข้าวโพด

ลักษณะภายนอก	ลำต้นถั่วเขียว	ลำต้นข้าวโพด
1. ข้อและปล้อง	เห็นไม่ชัดเจน	เห็นได้ชัดเจน
2. ตำแหน่งที่เกิดใบ และตามซอก	เกิดใบอยู่ตรงข้อบริเวณที่มีก้านใบติดอยู่ ซอกใบมีตาตามซอกซึ่งต่อไปจะเจริญเป็นกิ่งหรือดอก	เกิดใบอยู่ตรงข้อ โดยมีก้านใบซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นกาบใบหุ้มบริเวณข้อ ไม่เห็นตาตามซอกใฝ่ออกมา และไม่ค่อยมีการแตกกิ่ง
3. ผิว สีของลำต้น และรูปร่างของลำต้น	ผิวของลำต้นขรุขระ มีขน สีของลำต้นอาจมีสีเขียวหรือมีสีอื่นปน รูปร่างของลำต้นค่อนข้างกลม	ผิวของลำต้นเรียบ สีของลำต้นมีสีเขียว รูปร่างของลำต้นค่อนข้างกลมหรือรี

ครูและนักเรียนใช้ลำต้นจริงของพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เลือกศึกษาโครงสร้างภายนอก เพื่อร่วมกันสรุปเกี่ยวกับลักษณะภายนอกของลำต้นที่สังเกตได้



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ปลายยอดพืชใบเลี้ยงคู่มีใบอ่อนขนาดเล็กซ้อนกันอยู่หุ้มยอดอัดกันแน่น ส่วนปลายยอดพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีใบอ่อนขนาดเล็กซ้อนกันอยู่โดยมีใบม้วนตามยาวหุ้มยอด

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? ลักษณะที่สำคัญของโครงสร้างภายนอกของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

 ส่วนที่เหมือนกันของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ผิวของลำต้นอาจเรียบหรือ ขรุขระ มีขน สีของลำต้นมีสีเขียวหรือมีสีอื่นปน

ส่วนที่ต่างกันของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น

- ข้อและปล้องเห็นได้ไม่ชัดเจนในพืชใบเลี้ยงคู่แต่เห็นได้ชัดเจนในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
- ตามตามซอกเห็นได้ชัดในพืชใบเลี้ยงคู่ ส่วนในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวไม่เห็นตามซอก

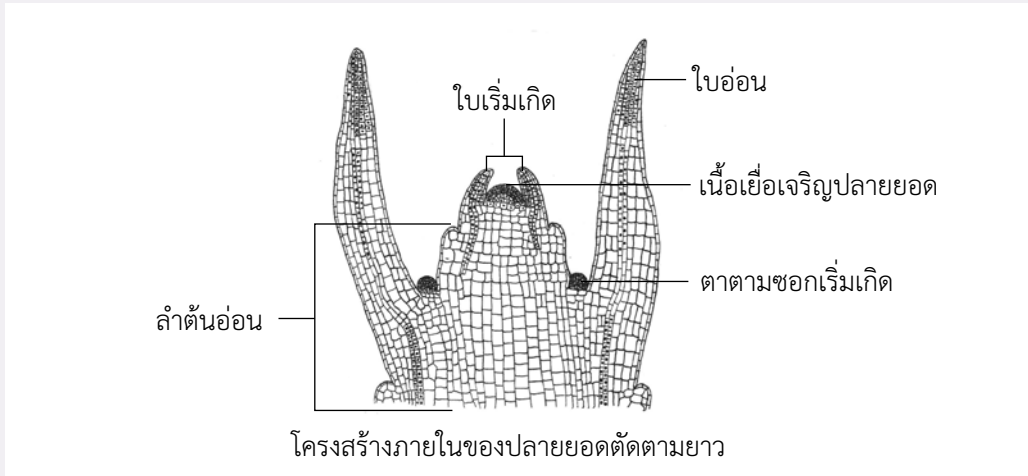
ครูและนักเรียนร่วมกันทำความเข้าใจวิธีการทำกิจกรรมตอนที่ 2.1 โครงสร้างภายในปลายยอดตัดตามยาว พร้อมกับเน้นให้นักเรียนบันทึกผลโดยการวาดรูปหรือถ่ายรูปโครงสร้างปลายยอดที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุบริเวณต่างๆ

ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างภายในของปลายยอด จากนั้นครูใช้รูป 9.18 ซึ่งแสดงปลายยอดพืชตัดตามยาว เพื่อร่วมกันสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างปลายยอดซึ่งแบ่งเป็นบริเวณต่างๆ โดยในแต่ละบริเวณจะมีเซลล์ที่แตกต่างกันซึ่งเหมาะสมกับการทำหน้าที่ที่แตกต่างกัน

ระหว่างการทำกิจกรรมตอนที่ 2.1 ให้ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเลื้อนหาเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูบริเวณต่างๆ ของโครงสร้างปลายยอดทั้ง 4 บริเวณ โดยให้นักเรียนในกลุ่มทุกคนมีส่วนร่วมในการตรวจสอบความเข้าใจนี้

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

รูปวาดจากการศึกษาโครงสร้างภายในของปลายยอดตัดตามยาว



ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อตอบคำถามในหนังสือเรียนหน้า 69

- ?** กลุ่มเซลล์บริเวณปลายยอดแต่ละบริเวณ มีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
- ✎** ปลายยอดสุดของพืชเป็นเนื้อเยื่อเจริญเหมือนกัน เซลล์จะมีขนาดเล็กและมีการแบ่งเซลล์ตลอดเวลา เนื้อเยื่อถัดจากตำแหน่งใบเริ่มเกิดลงมาเป็นเซลล์ที่มีแนวการแบ่งเซลล์ตั้งฉากกับแกนยาวของลำต้น เซลล์ที่ได้นี้มีการขยายขนาดทั้งด้านความยาวและความกว้าง จากนั้นจะเปลี่ยนสภาพและเจริญเต็มที่เพื่อเป็นเซลล์ชนิดต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อถาวรเพื่อทำหน้าที่เฉพาะต่อไป
- ?** เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างปลายยอดกับรูปร่างปลายราก มีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
- ✎** ลักษณะที่เหมือนกันคือ เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายประกอบด้วยเซลล์เจริญที่มีขนาดเล็กจำนวนมากคล้ายกัน ส่วนที่ต่างกันคือ เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายรากมีหมวกกรากหุ้มอยู่ แต่เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอดมีใบเริ่มเกิดและใบอ่อนหุ้ม นอกจากนี้ปลายรากจะไม่มีการแตกแขนงแต่ปลายยอดจะมีการแตกแขนงซึ่งแขนงนี้เจริญมาจากตาตามซอกเริ่มเกิด

ครูและนักเรียนร่วมกันทำความเข้าใจวิธีการทำกิจกรรมตอนที่ 2.2 โครงสร้างภายในของลำต้นตัดตามขวาง พร้อมกับเน้นให้นักเรียนบันทึกผลโดยการวาดรูปหรือถ่ายรูปโครงสร้าง

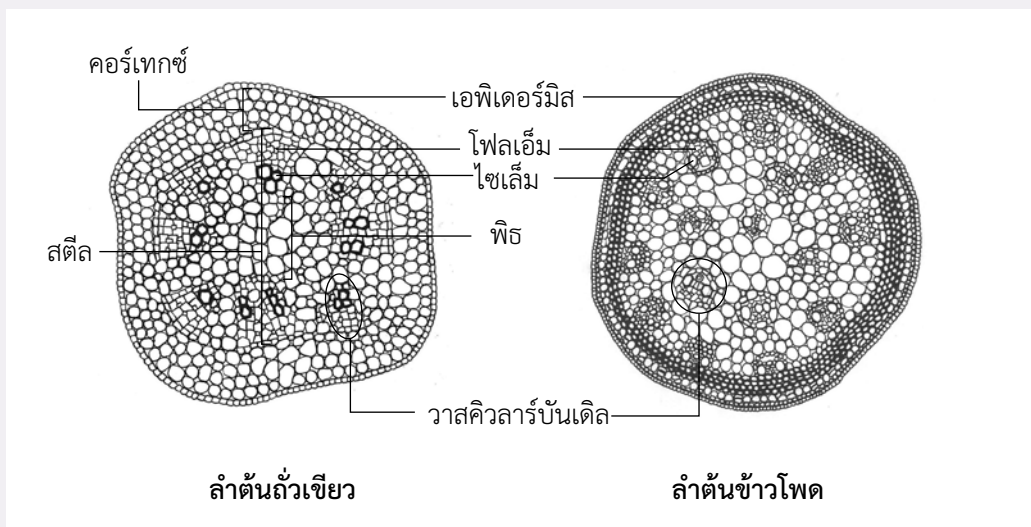
ภายในของลำต้นตัดตามขวางที่มีระยะการเติบโตปฐมภูมิที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุบริเวณต่าง ๆ และบันทึกรายละเอียดเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของเนื้อเยื่อแต่ละบริเวณของลำต้นถั่วเขียวและข้าวโพดในรูปแบบตาราง

ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างภายในของลำต้นตัดตามขวาง จากนั้นครูใช้รูป 9.20-9.21 ซึ่งแสดงลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง เพื่อร่วมกันสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีการเติบโตปฐมภูมิมีเนื้อเยื่อแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น เหมือนกัน ได้แก่ เอพิเดอร์มิส คอร์เทกซ์ และสตีล แต่มีการจัดเรียงของเนื้อเยื่อในชั้นสตีลที่ต่างกัน

ระหว่างการทำกิจกรรมตอนที่ 2.2 ให้ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มค้นหาเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูบริเวณต่างๆ ของโครงสร้างภายในของลำต้นระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ โดยให้นักเรียนในกลุ่มทุกคนมีส่วนร่วมในการตรวจสอบความเข้าใจนี้

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

รูปวาดจากการศึกษาโครงสร้างภายในของลำต้นระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ



ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลการทำกิจกรรมว่า วาสคิวลาร์บันเดิลในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะเรียงตัวกระจายอยู่ทั่วเนื้อเยื่อพื้น ทำให้ขอบเขตของคอร์เทกซ์และพิธไม่ชัดเจนจึงทำให้ไม่สามารถระบุบริเวณของคอร์เทกซ์และพิธลงในรูปร่างได้ ซึ่งต่างจากลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ที่สามารถระบุขอบเขตบริเวณของคอร์เทกซ์และพิธได้ชัดเจน

ตารางเปรียบเทียบชนิดของเซลล์หรือเนื้อเยื่อและการจัดเรียงเนื้อเยื่อบริเวณลำต้นถั่วเขียวและข้าวโพดที่มีการเติบโตปฐมภูมิ

ชั้นเนื้อเยื่อ	ลำต้นถั่วเขียว	ลำต้นข้าวโพด
1. เอพิเดอร์มิส	เอพิเดอร์มิสเรียงเป็นแถวเดี่ยว ประกอบด้วยเซลล์ผิว เซลล์คุมและขน	เอพิเดอร์มิสเรียงเป็นแถวเดี่ยว ประกอบด้วยเซลล์ผิวและเซลล์คุม
2. คอร์เทกซ์	มีบริเวณชัดเจน ประกอบด้วยเซลล์จำนวน 5-8 ชั้น ส่วนใหญ่เป็นพาเรงคิมา	ไม่ชัดเจน ประกอบด้วยเซลล์จำนวน 2-3 ชั้น ส่วนใหญ่เป็นพาเรงคิมา และมักพบสเกลอเรนคิมาอยู่ถัดจากพาเรงคิมาเข้ามาด้านใน
3. สตีล		
3.1 วาสคิวลาร์บันเดิล	วาสคิวลาร์บันเดิลจำนวนหลายกลุ่มเรียงตัวเป็นหนึ่งวง แต่ละกลุ่มประกอบด้วยไซเล็มปฐมภูมิอยู่ด้านใน และโฟลเอ็มปฐมภูมิอยู่ด้านนอกโดยเรียงตัวในแนวรัศมีเดียวกัน	วาสคิวลาร์บันเดิลเรียงตัวกระจายอยู่ทั่วเนื้อเยื่อพื้น โดยไซเล็มปฐมภูมิอยู่ด้านในและโฟลเอ็มปฐมภูมิอยู่ด้านนอกเรียงตัวในแนวรัศมีเดียวกัน มีลักษณะเฉพาะคล้ายหัวกะโหลกคน
3.3 พิช	เห็นได้ชัดเจน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา	ไม่สามารถแยกพิธได้ชัดเจนเนื่องจากวาสคิวลาร์บันเดิลเรียงตัวแบบกระจาย

คำถามท้ายกิจกรรม

? เนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ และการจัดเรียงตัวของวาสคิวลาร์บันเดลในลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

ลักษณะที่เหมือนกัน คือ ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 บริเวณ คือ เอพิดอร์มิส คอร์กเทกซ์ สตีล

ลักษณะที่ต่างกัน คือ ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่มีคอร์กเทกซ์ชัดเจน ในชั้นสตีลมีวาสคิวลาร์บันเดลหลายกลุ่มเรียงเป็นระเบียบเป็นวง แต่ละกลุ่มมีเนื้อเยื่อทอลำเลียงด้านในเป็นไซเล็มและด้านนอกเป็นโฟลเอ็มเรียงตัวในแนวรัศมีเดียวกัน ส่วนลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีวาสคิวลาร์บันเดลกระจายทั่วเนื้อเยื่อพื้น ทำให้เห็นขอบเขตของพิธและคอร์กเทกซ์ไม่ชัดเจน ไซเล็มและโฟลเอ็มเรียงตัวในแนวรัศมีเดียวกัน มีลักษณะเฉพาะคล้ายหัวกะโหลกคน

? โครงสร้างตัดตามขวางที่เห็นในกล้องจุลทรรศน์เป็นส่วนของลำต้นไถลยอดหรือใกล้โคนลำต้น ทราบได้อย่างไร

 ทราบได้จากการสังเกตเนื้อเยื่อผิวและการจัดเรียงของวาสคิวลาร์บันเดล

ถ้ามองเห็นว่าเนื้อเยื่อผิวด้านนอกเป็นเนื้อเยื่อเอพิดอร์มิสซึ่งลำต้นพืชส่วนใหญ่มีชั้นเดียว และในชั้นสตีลพบวาสคิวลาร์บันเดลมีจำนวนหลายกลุ่มเรียงเป็นระเบียบรอบลำต้น ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดเรียงของเนื้อเยื่อที่พบในการเติบโตปฐมภูมิ ดังนั้นโครงสร้างที่เห็นเป็นส่วนของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ไถลยอด

ถ้ามองเห็นว่าเนื้อเยื่อผิวด้านนอกเป็นเพริเดอร์มโดยมีคอร์กหลายชั้นเรียงตัวอยู่ชั้นนอกสุด และในชั้นสตีลพบเนื้อเยื่อทอลำเลียงเกิดเพิ่มขึ้นจนเชื่อมเป็นวง โดยมีวาสคิวลาร์แคมเปียมอยู่ระหว่างโฟลเอ็มและไซเล็ม ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดเรียงของเนื้อเยื่อที่พบในการเติบโตทุติยภูมิ ดังนั้นโครงสร้างที่เห็นเป็นส่วนของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ใกล้โคน

? เปรียบเทียบเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ ของรากและลำต้นว่าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ข้อเปรียบเทียบ	ความเหมือน/ความแตกต่าง	
	ราก	ลำต้น
1. เอพิเดอร์มิส	- เซลล์เรียงตัวเป็นแถวเดียว - มีขนราก - ไม่มีปากใบ - เซลล์ผิวไม่มีคิวทินเคลือบ	- เซลล์เรียงตัวเป็นแถวเดียว - มีขน หรือต่อม - มีปากใบ - พบคิวทินสะสมเป็นชั้นคิวทิเคิล
2. คอร์เทกซ์	- ขอบเขตกว้างเมื่อเทียบกับสตีล - ในระยะการเติบโตปฐมภูมิ - ส่วนใหญ่พบพาราเควมา - พบเอนโดเดอร์มิส	- ขอบเขตแคบเมื่อเทียบกับสตีล - ในระยะการเติบโตปฐมภูมิ - ส่วนใหญ่พบพาราเควมา - ไม่พบเอนโดเดอร์มิส หรือเห็นไม่ชัดเจน
3. สตีล	- ขอบเขตแคบเมื่อเทียบกับคอร์เทกซ์ในระยะการเติบโตปฐมภูมิ - พบเพริไซเคิล - วาสคิวลาร์บันเดิลมี 1 กลุ่มลักษณะเป็นแหก - มีพิชเฉพาะในรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว	- ขอบเขตกว้าง เมื่อเทียบกับคอร์เทกซ์ในระยะการเติบโตปฐมภูมิ - ไม่พบเพริไซเคิล - วาสคิวลาร์บันเดิลมีหลายกลุ่ม - มีพิชเฉพาะในพืชใบเลี้ยงคู่ แต่พืชใบเลี้ยงเดี่ยวเห็นขอบเขตไม่ชัดเจน ในลำต้นที่แก่ของพืชบางชนิดบริเวณกลาง ๆ ลำต้นซึ่งอาจรวมทั้งพิชและเนื้อเยื่ออื่นอาจสลายไปกลายเป็นช่องเรียกช่องพิช
4. จุดกำเนิดของแขนง	รากแขนงเจริญมาจากเพริไซเคิล	กิ่งเจริญมาจากตาตามซอกซึ่งมีกำเนิดมาจากเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอด

ครูใช้รูป 9.22 ซึ่งแสดงลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดพืชล้มลุกระยะที่มีการเติบโตทุติยภูมิ อธิบายเกี่ยวกับการเติบโตทุติยภูมิของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ว่าทำให้ลำต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมกับนักเรียนเกี่ยวกับลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดพืชล้มลุกที่มีการเติบโตทุติยภูมิ จะมีวาสคิวลาร์แคมเปียมที่อยู่ในมัดท่อลำเลียง ทำหน้าที่แบ่งเซลล์สร้างเนื้อเยื่อท่อลำเลียงทุติยภูมิภายในกลุ่มท่อลำเลียงเดิม และมีวาสคิวลาร์แคมเปียมที่อยู่ระหว่างมัดท่อลำเลียงโดยจะเชื่อมเรียงตัวเป็นวงต่อกับวาสคิวลาร์แคมเปียมที่อยู่ในกลุ่มท่อลำเลียง โดยจะแบ่งเซลล์สร้างไซเล็มทุติยภูมิด้านในและโฟลเอ็มทุติยภูมิด้านนอก

ครูใช้รูป 9.23 ซึ่งแสดงลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดไม้ต้นระยะที่มีการเติบโตทุติยภูมิอธิบายเกี่ยวกับการเติบโตทุติยภูมิของพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดไม้ต้น และเพริเดิร์ม

ครูใช้รูป 9.24 ซึ่งแสดงเนื้อไม้ และเปลือกไม้ของลำต้นพืชที่มีอายุมาก อธิบายเกี่ยวกับ เนื้อไม้ แก่นไม้ และวงปี

จากนั้นครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อตอบคำถามในหนังสือเรียน

? จำนวนวงปีของต้นไม้บอกอะไรได้บ้าง

✎ บอกอายุของต้นไม้ จากจำนวนวงปีที่เห็น

? ความกว้างของชั้นวงปีที่เกิดจากไซเล็มที่มีสีจางบอกให้ทราบเรื่องอะไร

✎ บอกให้ทราบว่าในฤดูกาลนั้นของปีมีน้ำอุดมสมบูรณ์ เซลล์มีการเจริญเติบโตดีโดยเฉพาะไซเล็มจะมีเซลล์ขนาดใหญ่กว่าปกติ



ชวนคิด

? ให้นักเรียนยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของลำต้นเพื่ออธิบายเหตุผลว่า เพราะเหตุใดพืชชนิดดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในด้านนั้น



การใช้ประโยชน์จากลำต้นยางพารา

ปัจจุบันมีการนำไม้ยางพารามาใช้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ ไม้แปรรูป เพื่อทดแทนไม้ป่าขนาดใหญ่ในธรรมชาติ เนื่องจากยางพาราเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดไม้ต้นและมีเนื้อไม้ โดยในการเติบโตทุกฤดูมี วาสคิวลาร์แคมเปียมจะแบ่งเซลล์เข้าด้านในเกิดเป็นไซเล็มที่ประกอบด้วยเวสเซลเมมเบอร์และไฟเบอร์จำนวนมากซึ่งเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์ที่แข็งแรง จึงทำให้ไม้จากยางพาราเหมาะแก่การนำมาใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ไม้แปรรูป



การใช้ประโยชน์จากลำต้นไม้ไผ่

ไผ่เป็นพืชที่นิยมนำมาใช้ผลิตเป็นเครื่องจักสานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเนื้อเยื่อของลำต้นไผ่มีไฟเบอร์จำนวนมาก ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์ที่แข็งแรง จึงทำให้ลำต้นไผ่ยืดหยุ่น เหนียว เหมาะสำหรับนำมาใช้ทำเครื่องจักสาน



ตรวจสอบความเข้าใจ

? จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดกับการเติบโตปฐมภูมิของลำต้น และเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างกับการเติบโตทุติยภูมิของลำต้น



เนื้อเยื่อเจริญปลายยอดทำหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้ลำต้นและกิ่งยาวขึ้น โดยมีเนื้อเยื่อภายในที่ประกอบด้วย เอพิเดอร์มิส เนื้อเยื่อพื้นและเนื้อเยื่อท่อลำเลียงปฐมภูมิ ซึ่งพบในโครงสร้างระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ ดังนั้นการเจริญเติบโตที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อส่วนปลายนี้จึงจัดเป็นการเติบโตปฐมภูมิ

ส่วนเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างทำหน้าที่แบ่งเซลล์ให้ลำต้นขยายขนาดใหญ่ขึ้น เนื้อเยื่อภายในลำต้นนี้มีเนื้อเยื่อท่อลำเลียงทุติยภูมิและ / หรือเพริเดอร์มิกเกิดขึ้น ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่พบในระยะที่มีการเติบโตทุติยภูมิ ดังนั้นการเจริญเติบโตที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างจัดเป็นการเติบโตทุติยภูมิ

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- โครงสร้างภายนอกและบอกหน้าที่ของลำต้นพืชดอก โครงสร้างของปลายยอดตัดตามยาว การเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจากการตัดตามขวาง จากการเรียน และการทำกิจกรรม

ด้านทักษะ

- การสังเกต การจำแนกประเภท จากการทำกิจกรรม
- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากรูปวาด คำบรรยายของรูปตัวอย่างพืช และบันทึกผลการทดลอง

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น ความมุ่งมั่นอดทน ความใจกว้าง การยอมรับความเห็นต่างจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม
- ความซื่อสัตย์จากการทำรายงานของกิจกรรม

9.4 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของใบ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของใบพืชดอก
2. สังเกต และอธิบายโครงสร้างภายในของใบพืชตัดตามขวาง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูใช้ใบพืชให้นักเรียนสังเกตโครงสร้างภายนอกของใบ อธิบายเกี่ยวกับหน้าที่ของใบ จากนั้นใช้คำถามถามนักเรียนว่า

- โครงสร้างของใบประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไร มีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ด้วยแสง และการแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำอย่างไร
- ✎ คำตอบอาจมีได้หลากหลายซึ่งนักเรียนจะได้คำตอบหลังจากเรียน เรื่อง โครงสร้างและการเจริญเติบโตของใบ

จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.3 โครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายในของใบ



กิจกรรม 9.3 โครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายในของใบ

จุดประสงค์

1. อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายนอกของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
2. เตรียมสไลด์ใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวางเพื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ บันทึกภาพจากกล้องจุลทรรศน์
3. เปรียบเทียบโครงสร้างภายในของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

2 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ใบไม้ชนิดต่างๆ - พืชใบเลี้ยงคู่ เช่น หม่อนน้อย โหระพา เข็ม โมก ผักทอง ตำลึง คื่นห้าน้ำ - พืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าวโพด กล้วยขน วานกาบหอย	พืชใบเลี้ยงคู่ และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เลือก ชนิดละ 4 ต้น ต่อ ห้อง
2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	1 กล้อง
3. สไลด์และกระจกปิดสไลด์	10 ชุด
4. ใบมีดโกน	3 ใบ
5. ฟู่กัน	1 อัน

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
6. เช็มเซีย	1 อัน
7. หลอดหยด	1 อัน
8. จานเพาะเชื้อ	3 จาน
9. ทิชชู	1 ม้วน
10. ปีกเกอร์ขนาด 50 mL หรือขวดแก้วปากกว้างสำหรับใส่น้ำ	1 ใบ
11. สีซาฟรานินความเข้มข้น 1% หรือน้ำยาอุทัย	1 ขวด
12. น้ำ	1 ขวด

การเตรียมล่วงหน้า

1. ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษารายละเอียดของกิจกรรม 9.3 โดยเฉพาะวัสดุและอุปกรณ์ และวิธีการทำกิจกรรม เพื่อเตรียมการล่วงหน้าก่อนถึงวันทำกิจกรรมจริง
2. ครูควรศึกษาโครงสร้างภายในของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบเลี้ยงเดี่ยวที่ต้องการศึกษาล่วงหน้าก่อนสอนจริง เพื่อให้ครูสามารถให้คำแนะนำและตอบคำถามแก่นักเรียนได้อย่างมั่นใจ

แนวการจัดกิจกรรม

ครูแจ้งจุดประสงค์ของกิจกรรม 9.3 โดยอาจแสดงไวกั้นกระดานหน้าชั้นเรียน และอธิบายจุดประสงค์แต่ละข้อกับนักเรียนให้ชัดเจน โดยเน้นว่าเมื่อจบกิจกรรมและการเรียนเรื่องโครงสร้างและการเจริญเติบโตของใบแล้ว นักเรียนต้องอธิบายโครงสร้างภายในของใบพืชจากการตัดตามขวางได้

ครูและนักเรียนร่วมกันทำความเข้าใจวิธีการทำกิจกรรมตอนที่ 1 โครงสร้างภายนอกของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว พร้อมกับเน้นให้นักเรียน บันทึกผลจากการสังเกตลักษณะภายนอกของใบเปรียบเทียบระหว่างใบพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในรูปแบบของตาราง

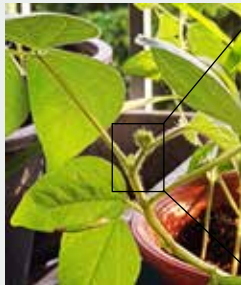
ครูใช้รูป 9.18 ก. ปลายยอดพืชตัดตามยาว อธิบายเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของใบ

ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างภายนอกของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จากนั้นครูใช้รูป 9.25 ซึ่งแสดงโครงสร้างภายนอกของใบ เพื่อร่วมกันสรุปกับนักเรียนเกี่ยวกับโครงสร้างภายนอกของใบพืช และเพื่อให้นักเรียนใช้ข้อมูลประกอบการบันทึกผลการทดลอง



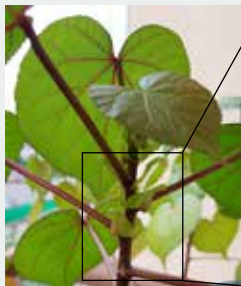
ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

พืชที่พบหูใบ เช่น ถั่วเขียว โพทะเล ฝ้าย ดังรูป



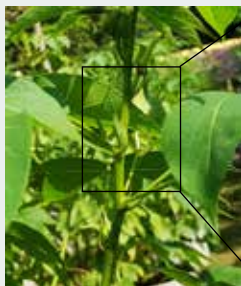
หูใบ

ถั่วเขียว



หูใบ

โพทะเล



หูใบ

ฝ้าย

จากนั้นครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อตอบคำถามในหนังสือเรียนหน้า 80

? การที่ใบของพืชมีลักษณะเป็นแผ่นแบนเหมาะสมต่อการสร้างอาหารของพืชอย่างไร

 ใบของพืชที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนทำให้ใบมีพื้นที่ผิวในการรับแสงมาก ซึ่งช่วยให้สารสีในใบพืชดูดกลืนแสงได้มากและนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

? การที่เส้นใบแตกแขนงไปทั่วแผ่นใบช่วยส่งเสริมการทำหน้าที่ของใบอย่างไร

 ช่วยในการลำเลียงโครงสร้างของใบ และทำให้พืชสามารถลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหารได้ทั่วทั้งแผ่นใบ

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ลักษณะภายนอกของใบ	ใบถั่วเขียว	ใบข้าวโพด
1. ก้านใบ	มีก้านใบ	ไม่มีก้านใบ แต่มีกาบใบ
2. แผ่นใบ	แผ่นใบกว้าง เส้นใบแยกออกจากเส้นกลางใบแตกแขนงไปทั่วทั้งแผ่นใบแบบร่างแห	แผ่นใบแคบ เส้นใบแยกออกจากโคนใบแบบเรียงขนานกัน
3. หูใบ	มี หูใบเป็นแผ่นสีเขียว	ไม่มี

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? ลักษณะใบของพืชแต่ละชนิดเหมือนหรือต่างกันอย่างไร

 ลักษณะที่เหมือนกันคือ ใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีโครงสร้าง 2 ส่วน คือ แผ่นใบและก้านใบ แผ่นใบเป็นแผ่นแบน มีสีเขียวและมีเส้นใบ ลักษณะที่ต่างกัน คือ มีขนาดรูปร่าง และลักษณะการเรียงตัวของเส้นใบ ความเข้มของสีเขียวที่ใบด้านบนและด้านล่างไม่เท่ากัน หรือผิวใบด้านบนสีเข้มกว่าผิวใบด้านล่าง หรือพืชบางชนิดมีผิวใบด้านบนและด้านล่างต่างสีกัน และผิวใบด้านบนมักจะมันกว่าผิวใบด้านล่าง อาจมีก้านใบหรือไม่มีก็ได้ ขอบใบและปลายใบอาจมีลักษณะแตกต่างกันไป เช่น หยักเว้ามากน้อยต่างกัน ผิวใบบางชนิดอาจมีขนหรือต่อม

ครูและนักเรียนร่วมกันทำความเข้าใจวิธีการทำกิจกรรมตอนที่ 2 โครงสร้างภายในของใบ พืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว พร้อมกับเน้นให้นักเรียนบันทึกผลโดยการวาดรูปหรือถ่ายรูป

โครงสร้างภายในของใบที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุบริเวณต่าง ๆ และบันทึกรายละเอียดเปรียบเทียบเนื้อเยื่อแต่ละชั้นของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในรูปแบบตาราง

ครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างภายในของใบพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จากนั้นครูใช้รูป 9.26 โครงสร้างภายในของใบพืชตัดตามขวาง เพื่อร่วมกันสรุปกับนักเรียนเกี่ยวกับโครงสร้างใบของพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

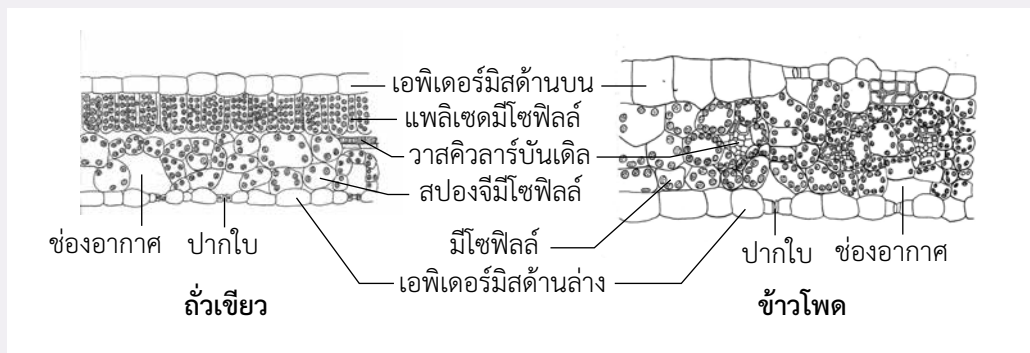
ระหว่างการทำกิจกรรมตอนที่ 2 ให้ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มค้นหาเนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ ของโครงสร้างใบของพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง โดยให้นักเรียนในกลุ่มทุกคนมีส่วนร่วมในการตรวจสอบความเข้าใจนี้

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

การวางชิ้นตัวอย่างใบให้วางด้านที่เป็นรอยตัดชิ้นด้านบน

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

รูปวาดจากการศึกษาโครงสร้างภายในของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว



ตารางเปรียบเทียบชนิดของเซลล์หรือเนื้อเยื่อและการจัดเรียงเนื้อเยื่อของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

ชั้นเนื้อเยื่อ	ใบถั่วเขียว	ใบข้าวโพด
1. เอพิเดอร์มิส	เอพิเดอร์มิสด้านบนมีขนาดเท่า ๆ กัน และเอพิเดอร์มิสด้านล่างเรียงเป็นแถวเดียว พบปากใบที่เอพิเดอร์มิสด้านล่างจำนวนมาก	เอพิเดอร์มิสด้านบนมีเซลล์ขนาดใหญ่อยู่ร่วมกับเซลล์ขนาดเล็ก และเอพิเดอร์มิสด้านล่างเรียงเป็นแถวเดียว พบปากใบทั้งเอพิเดอร์มิสด้านบนและเอพิเดอร์มิสด้านล่างจำนวนมาก
2. มีโซฟิลล์	มีรูปร่าง 2 แบบ คือ แฟลชีเซดมีโซฟิลล์ประกอบด้วยเซลล์พาเรnciaที่มีรูปร่างยาว และสpongมีโซฟิลล์ประกอบด้วยเซลล์พาเรnciaที่มีรูปร่างไม่แน่นอน	มีโซฟิลล์ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายกัน
3. วาสคิวลาร์บันเดล	มีวาสคิวลาร์บันเดลขนาดใหญ่อยู่บริเวณเส้นกลางใบ และวาสคิวลาร์บันเดลขนาดเล็กเห็นไม่ชัดเจนบริเวณแผ่นใบ	มีวาสคิวลาร์บันเดลขนาดใหญ่อยู่บริเวณเส้นกลางใบ และวาสคิวลาร์บันเดลขนาดเล็กเห็นได้ชัดเจนบริเวณแผ่นใบ พบเซลล์บันเดลชีทล้อมรอบวาสคิวลาร์บันเดล

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลการทำกิจกรรมว่า ถั่วเขียวเป็นพืชที่มีเส้นใบย่อยแบบเป็นร่างแห ทำให้มีโอกาสที่เมื่อตัดตามขวางแล้วอาจเห็นวาสคิวลาร์บันเดลตามยาวดังรูปในตัวอย่างผลการทำกิจกรรมได้ ซึ่งต่างจากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีเส้นใบย่อยแบบขนาน ทำให้เมื่อตัดตามขวางจะเห็นวาสคิวลาร์บันเดลตามขวางในทุกเส้นใบที่ตัดผ่าน

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? วาสคิวลาร์บันเดลในเส้นใบมีการเรียงตัวแตกต่างจากรากและลำต้นอย่างไร

 วาสคิวลาร์บันเดลในเส้นใบจะมีไซเล็มและโฟลเอ็มหลายกลุ่มเรียงเป็นแนวระนาบเดียวตามแนวแผ่นใบ มีขนาดกลุ่มแตกต่างกัน กลุ่มที่มีขนาดใหญ่อยู่บริเวณเส้นกลางใบ กลุ่มที่มีขนาดเล็กลดหลั่นกันไปอยู่ที่บริเวณเส้นใบและเส้นใบย่อยโดยมีไซเล็มอยู่ด้านบนและโฟลเอ็มอยู่ด้านล่าง ซึ่งต่างจากลำต้นที่มีการเรียงวาสคิวลาร์บันเดลเป็นวง โดยมีโฟลเอ็มอยู่ด้านบนและไซเล็มอยู่ด้านล่าง ซึ่งพบได้ในราก ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ส่วนวาสคิวลาร์บันเดลในลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะมีหลายกลุ่มเรียงกระจายทั่วเนื้อเยื่อพื้น

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นความรู้เพิ่มเติมเพื่อตอบคำถามชวนคิดในหนังสือเรียน



ชวนคิด

? ให้นักเรียนยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของใบเพื่ออธิบายเหตุผลว่า เพราะเหตุใดพืชชนิดดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในด้านนั้น



การใช้ประโยชน์จากใบบัว

มนุษย์ใช้ใบบัวในการห่ออาหารมาตั้งแต่โบราณ เนื่องจากใบบัวมีแผ่นใบที่กลม ใหญ่ มีเส้นใบสานเป็นร่างแห ทำให้เหนียวไม่ฉีกขาดง่าย เหมาะกับการใช้ห่ออาหาร นอกจากนี้ บริเวณเอพิเดอร์มิสด้านบนยังมีชั้นคิวทิเคิลหนา ซึ่งสร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและทำให้น้ำสามารถล้นไปมาบนใบจับฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ช่วยทำความสะอาดผิวใบ อีกทั้งบัวยังไม่มีผลหรือพืชอยู่ภายใน

การใช้ประโยชน์จากใบกล้วย

มนุษย์ใช้ประโยชน์จากใบกล้วยในการห่ออาหาร ขนม ประดิษฐ์บายศรี กระถาง และยังใช้ ก้านใบในการทำเชือกกล้วยมาตั้งแต่โบราณ เนื่องจากใบกล้วยมีแผ่นใบที่ใหญ่ สามารถฉีก แบ่งเป็นแผ่นตามเส้นใบได้ง่าย อีกทั้งมีความเหนียวและพับได้ง่าย หากพิจารณาที่โครงสร้าง ภายในตัดตามขวางของใบกล้วยจะพบว่า มีช่องอากาศขนาดใหญ่อยู่ระหว่างวาสคิวลาร์บันเดิล ซึ่งลักษณะนี้เองที่ทำให้ใบกล้วยฉีกแบ่งได้ง่าย และเนื่องจากโครงสร้างของใบกล้วยมี ไฟเบอร์จำนวนมากทั้งเอพิเดอร์มิสด้านบนและเอพิเดอร์มิสด้านล่าง จึงทำให้ใบกล้วยมีความเหนียวและยืดหยุ่น



ตรวจสอบความเข้าใจ

? โครงสร้างและการเรียงตัวของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ สัมพันธ์กับหน้าที่ของใบอย่างไร

✎ เอพิเดอร์มิสซึ่งมีทั้งด้านบนและด้านล่างประกอบด้วยเซลล์เรียงกันเป็นชั้นเดี่ยวป้องกันเซลล์ด้านในและพบคลอโรพลาสต์เฉพาะเซลล์คุม ทำให้เกิดการเปิดปิดปากใบได้ อาจมีขนเพื่อปกป้องผิวใบ ถัดจากเอพิเดอร์มิสด้านบนลงมาเป็นชั้นที่มีเซลล์รูปร่างยาวเรียงชิดกันในแนวตั้งฉากกับผิว โดยรอบเซลล์จะไม่สัมผัสกันเรียกว่า แพลซิเดมีไซฟิลล์ แต่ละเซลล์มีคลอโรพลาสต์อยู่หนาแน่น ถัดจากชั้นแพลซิเดมีไซฟิลล์จะพบเซลล์ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนเรียกชั้นนี้ว่า สpongijiไซฟิลล์ แต่ละเซลล์มีคลอโรพลาสต์ เซลล์มีการเรียงตัวแบบหลวม ๆ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากเหมาะกับการให้อุณหภูมิเย็นอยู่และมีการคายน้ำต่อไป ทั้งแพลซิเดมีไซฟิลล์และสpongijiไซฟิลล์ จึงทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง ใบพืชจะหันด้านแพลซิเดมีไซฟิลล์รับแสง ทำให้พืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ตรวจสอบความเข้าใจ

? โครงสร้างของราก ลำต้น และใบ สัมพันธ์กับหน้าที่อย่างไร

จากโครงสร้างภายนอกของรากจะพบว่ามียากปฐมภูมิและรากทุติยภูมิเจริญเติบโตและแตกแขนงขนานไขลงไปในดินช่วยให้พืชยึดลำต้นให้ติดกับพื้นดินได้ การเจริญเติบโตของรากนี้เกิดจากการแบ่งเซลล์ของเซลล์เจริญในบริเวณการแบ่งเซลล์ของโครงสร้างปลายราก และเซลล์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ส่วนหนึ่งจะยืดตามยาวและขยายด้านกว้างทำให้รากมีความยาวมากและขนาดเพิ่มขึ้น และบริเวณการเปลี่ยนสภาพและการเจริญเต็มที่ของเซลล์จะพบขนรากและเซลล์ผิวที่มีผนังบางซึ่งสามารถดูดน้ำและธาตุอาหารจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่โครงสร้างภายในของรากพืช จากนั้นน้ำและธาตุอาหารที่เข้าสู่รากจะเคลื่อนที่ไปตามแนวระนาบผ่านคอร์เทกซ์ เอนโดเดอร์มิส เข้าสู่ไซเล็ม แล้วน้ำจะเคลื่อนที่จากไซเล็มของรากไปสู่ไซเล็มของลำต้นและใบต่อไป นอกจากนี้ยังมีโฟลเอ็มที่ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงไปสู่เซลล์ต่าง ๆ รวมทั้งรากด้วย

จากโครงสร้างภายนอกของลำต้นจะพบว่าลำต้นของพืชจะทำหน้าที่ชูกิ่ง ก้าน ใบ ดอกและผล ส่วนของปลายยอดมีหน้าที่สำคัญในการเพิ่มความสูงให้กับต้นพืชหรือความยาวของกิ่ง โดยเกิดจากการแบ่งเซลล์ของเซลล์เจริญที่พบในเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด เซลล์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ส่วนหนึ่งจะขยายขนาดจากนั้นจะเปลี่ยนสภาพเจริญเต็มที่ที่เป็นเนื้อเยื่อถาวรที่ทำหน้าที่เฉพาะอยู่ภายในโครงสร้างของลำต้น โดยมีเอพิเดอร์มิสหรือเพริเดอร์มที่ทำหน้าที่ปกป้องเนื้อเยื่อภายใน ส่วนคอร์เทกซ์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อพื้นที่ทำหน้าที่พองและค้ำจุนลำต้น และบางส่วนอาจทำหน้าที่สะสมสารที่พืชสร้างขึ้น ในส่วนของสตีลจะมีวาสคิวลาร์บันเดิลที่มีไซเล็มเป็นท่อลำเลียงน้ำและธาตุอาหารต่อจากรากไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช นอกจากนี้ยังมีโฟลเอ็มที่ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช

จากโครงสร้างภายนอกของใบจะพบว่าแผ่นใบของพืชที่มีลักษณะแบนมีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อรับแสงมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและช่วยในการระบายความร้อน ส่วนโครงสร้างของใบจะมีเอพิเดอร์มิสด้านบนและด้านล่างช่วยปกป้องเนื้อเยื่อที่อยู่ภายใน และพบปากใบอยู่ที่เอพิเดอร์มิสด้านล่าง ในส่วนของมีโซฟิลล์ประกอบด้วยเซลล์พาเรเนไคมาที่มีคลอโรพลาสต์จำนวนมาก ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง ในใบพบบวาสคิวลาร์บันเดิลที่มีไซเล็มเป็นท่อลำเลียงน้ำและธาตุอาหารจากลำต้น

ไปสู่เซลล์ในใบพืช และมีโฟลเอ็มที่ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช

- ?** การทำหน้าที่ร่วมกันของราก ลำต้น และใบ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชอย่างไร
-  การทำหน้าที่ร่วมกันของราก ลำต้น และใบ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช ดังนี้ รากทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่พืช และลำเลียงผ่านส่วนของลำต้นไปสู่ส่วนต่างๆ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ รวมถึงในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ส่วนใบเป็นโครงสร้างที่มีเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์จำนวนมากจึงทำหน้าที่หลักในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารให้กับพืช จากนั้นพืชจะลำเลียงอาหารที่ได้ไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และการทำงานประสานกันที่ต่อเนื่องของราก ลำต้นและใบนี้ทำให้พืชสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- โครงสร้างภายนอกและบอกหน้าที่ของใบพืชดอก โครงสร้างภายในของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจากการตัดตามขวาง จากการเรียน และการทำกิจกรรม

ด้านทักษะ

- การสังเกต การจำแนกประเภท จากการทำกิจกรรม
- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากรูปวาด คำบรรยายของรูปตัวอย่างพืช และบันทึกผลการทดลอง

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น ความมุ่งมั่นอดทน ความใจกว้าง การยอมรับความเห็นต่างจากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม
- ความซื่อสัตย์จากการทำรายงานของกิจกรรม



เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9

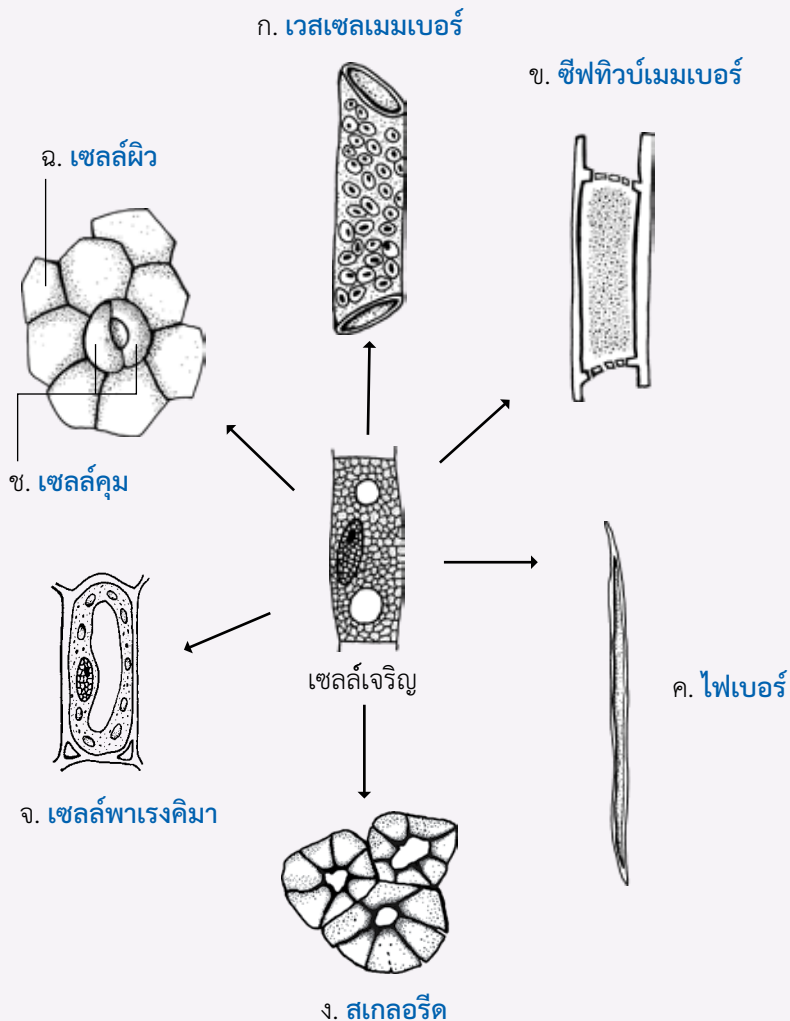
1. จงใส่เครื่องหมายถูก (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

-1.1 ระบบเนื้อเยื่อแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบเนื้อเยื่อผิว ระบบเนื้อเยื่อพิน และระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง
-1.2 เอพิเดอร์มิสเป็นเนื้อเยื่อผิวทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อด้านในของพืช พบได้ทั่วไปที่ราก ลำต้น ใบ และที่อื่น ๆ
-1.3 พืชลำเลียงน้ำและธาตุอาหารผ่านทางไซเล็มซึ่งมีเซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียง 2 ชนิด คือ ซีฟทิวบ์เมมเบอร์ และเวสเซลเมมเบอร์
แก้ไขเป็น เทรคีด
-1.4 เอนโดเดอร์มิสในบริเวณคอร์เทกซ์ของรากมีสารลิกนินสะสมเป็นแถบเล็ก ๆ รอบเซลล์ ยกเว้นด้านที่ขนานกับเอพิเดอร์มิส เรียกแถบนี้ว่า พลาสโมเดสมาดา
แก้ไขเป็น ชูเบอร์ริน
แถบแคสพาเรียน
-1.5 บริเวณคอร์เทกซ์และพิธประกอบด้วย วาสคิวลาร์บันเดิล และเนื้อเยื่อพิน
แก้ไขเป็น ตัด วาสคิวลาร์บันเดิล ออก
-1.6 คอร์กแคมเปียมเป็นเนื้อเยื่อเจริญ เมื่อแบ่งเซลล์จะได้เซลล์คอร์กทางด้านนอกของลำต้น
-1.7 กระพี้ไม้เป็นเนื้อไม้ส่วนนอกที่ยังทำหน้าที่ลำเลียงน้ำมีสีจางกว่าเนื้อไม้ส่วนใน เมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้นกระพี้ไม้จะเปลี่ยนมาเป็นเปลือกไม้
แก้ไขเป็น แก่นไม้
-1.8 ในระยะการเติบโตทุติยภูมิของพืชดอกที่มีเนื้อไม้เนื้อเยื่อชั้นนอกสุดคือ เพริเดิร์ม

✓.....1.9 เซลล์เพลิวเซด และเซลล์สปองจีเป็นเซลล์พาเรงคิมาที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสงในใบ

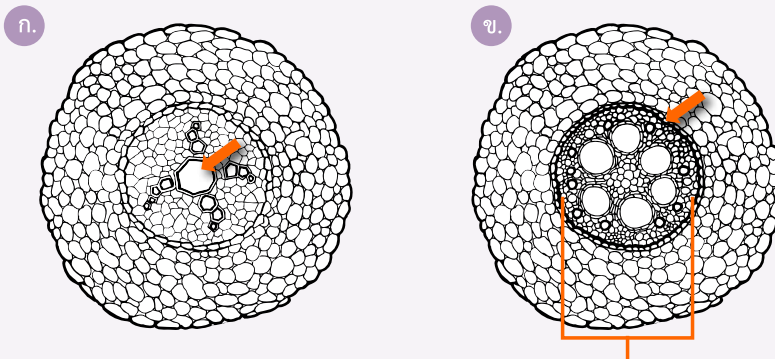
✓.....1.10 วาสคิวลาร์บันเดิลในใบพืชพบที่เส้นกลางใบ เส้นใบ และเส้นใบย่อย โดยพบไซเลมอยู่ด้านบน และโฟลเอ็มอยู่ด้านล่าง

2. จากแผนภาพแสดงเซลล์ที่เกิดจากการเปลี่ยนสภาพของเนื้อเยื่อเจริญ จงเติมชื่อเซลล์ลงในรูปและหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน



- ซีฟทิวิบ์เมมเบอร์** 2.1 เซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ลำเลียงอาหารผ่านรูทูลระหว่างเซลล์ในทิศทางขึ้นลงและด้านข้าง
- ไฟเบอร์** 2.2 เซลล์ที่ไม่มีชีวิตรูปร่างยาว หัวท้ายของเซลล์เรียบแหลมมีสารลิกนินมาสะสมเพิ่มเติมที่ผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์หนามาก ทำหน้าที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับไซเล็มและโฟลเอ็ม
- เซลล์ผิว** 2.3 เซลล์ที่อยู่ชั้นนอกสุดของส่วนต่างๆ ของพืชที่มีการเติบโตปฐมภูมิ
- เซลล์พาเรงคิมา** 2.4 เซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น สังเคราะห์ด้วยแสง สะสมเม็ดแป้ง เป็นต้น
- เวสเซลเมมเบอร์** 2.5 เซลล์รูปร่างค่อนข้างยาวมีสารลิกนิน มาสะสมเป็นลวดลายต่างๆ ด้านหัวและด้านท้ายของเซลล์มีช่องทะลุถึงกัน ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ และธาตุอาหาร
- สเกลอริด** 2.6 เซลล์ที่ไม่มีชีวิตที่มีสารลิกนินมาสะสมเพิ่มเติมทำให้ผนังเซลล์หนามาก มีรูปร่างหลายแบบพบในส่วนที่แข็งของพืช เช่น กะลามะพร้าว
- เซลล์คุม** 2.7 เซลล์ที่ควบคุมการเปิดปิดของรูปากใบ

3. จากรูปเนื้อเยื่อรากพืชตัดตามขวาง



3.1 จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

จากรูป ก. เซลล์ที่ชี้คือ **เวสเซลเมมเบอร์** ...ซึ่งอยู่ตรงกลางของเนื้อเยื่อชั้น **สตีล**...

จากรูป ข. ส่วนที่ชี้คือเซลล์ของชั้นเนื้อเยื่อ **เอนโดเดอร์มิส**...

ซึ่งอยู่ด้านในสุดของเนื้อเยื่อชั้น.....**คอร์เทกซ์**.....

บริเวณตรงกลางของรูป (เครื่องหมายปีกกา) เป็นเนื้อเยื่อชั้น.....**สตีล**.....

3.2 จงตอบคำถามต่อไปนี้

รูป ก. เป็นรากของพืชใบเลี้ยงคู่หรือใบเลี้ยงเดี่ยว เพราะเหตุใด

 รูป ก. เป็นรากของพืชใบเลี้ยงคู่ เพราะไซเล็มที่อยู่ตรงกลางมีจำนวนแฉก 4 แฉก

รูป ข. เป็นรากของพืชใบเลี้ยงคู่หรือใบเลี้ยงเดี่ยว เพราะเหตุใด

 รูป ข. เป็นรากของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เพราะมีจำนวนแฉกของไซเล็มมาก ในที่นี้นับได้ประมาณ 10 แฉก และพบพิธอยู่ตรงกลาง

4. จากรูปการตัดลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ตามขวาง จงเติมชื่อเนื้อเยื่อลงในรูปวาดเนื้อเยื่อพืชตัดตามขวางที่มีความสัมพันธ์กัน



4.1 เนื้อเยื่อหมายเลข 1 2 3 มีการเติบโตปฐมภูมิหรือการเติบโตทุติยภูมิ เพราะเหตุใด
 เนื้อเยื่อหมายเลข 1 มีการเติบโตปฐมภูมิ เพราะประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย ยืนยันได้จากการที่ยังไม่มีเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างเกิดขึ้น ส่วนเนื้อเยื่อหมายเลข 2 และ หมายเลข 3 มีการเติบโตทุติยภูมิ เพราะมีเนื้อเยื่อส่วนที่เกิดเพิ่มขึ้นจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง ได้แก่ วาสคิวลาร์แคมเบียม และคอร์กแคมเบียม

4.2 เนื้อเยื่อชั้นใดที่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 1 แต่ไม่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 2 และ 3 เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

เอพิเดอร์มิสและคอร์เทกซ์ คือเนื้อเยื่อที่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 1 แต่ไม่พบในหมายเลข 2 และ 3 เพราะในการเติบโตทุติยภูมิคอร์กแคมเบียมจะแบ่งเซลล์ให้คอร์กออกทางด้านนอกต้นเอพิเดอร์มิสและคอร์เทกซ์ให้หลุดลอกออกไป

คำอธิบาย

สำหรับพืชใบเลี้ยงคู่ที่เป็นไม้ต้น เมื่อนำมาศึกษาอาจยังพบชั้นคอร์เทกซ์อยู่ในเนื้อเยื่อหมายเลข 2 และ 3 แต่จะมีการเปลี่ยนสภาพเซลล์ มีผนังเซลล์หนา เซลล์ตาย มีลักษณะคล้ายกับส่วนที่เป็นเพริเดอร์มรวมอยู่ในส่วนของเปลือกไม้

4.3 เนื้อเยื่อชั้นใดที่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 2 แต่ไม่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 3 เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

โฟลเอ็มปฐมภูมิ คือเนื้อเยื่อที่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 2 แต่ไม่พบในหมายเลข 3 เพราะวาสคิวลาร์แคมเบียมแบ่งเซลล์ให้เนื้อเยื่อทุติยภูมิมากขึ้นและเซลล์ของไซเลมทุติยภูมิมีความแข็งแรงและเพิ่มจำนวนมากขึ้นจนดันเนื้อเยื่อในลำดับถัดไปออกไปทางด้านนอกทำให้โฟลเอ็มปฐมภูมิซึ่งไม่แข็งแรงถูกดันออกด้านนอกและอาจถูกเบียดจนสลายไป

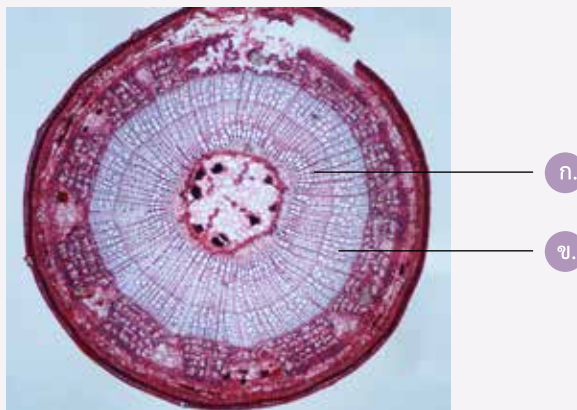
4.4 จากรูปวาดเนื้อเยื่อหมายเลข 3 ลำต้นพืชส่วนนี้มีอายุกี่ปี ทราบได้อย่างไร

ลำต้นพืชส่วนนี้มีอายุ 1 ปี ทราบได้จากจำนวนวงปีที่มี 1 วง

คำอธิบาย

วงปีในรูปวาดของเนื้อเยื่อหมายเลข 3 คือ 1 วง เนื่องจากภายใน 1 วงปี ประกอบด้วยไซเลมแถบสีจางและไซเลมแถบสีเข้ม สามารถอ่านเพิ่มเติมได้ในหนังสือเรียนหน้า 75 เกี่ยวกับการสร้างเนื้อไม้

5. การกานตันไม้ทำได้โดยใช้มิดหรือขวานฟันเปลือกรอบลำต้นให้เป็นแถบกว้างลึกถึง กระทบไม้ของลำต้น ทำให้ต้นไม้ยืนต้นตาย เพราะเหตุใด
 - ✎ การกานตันไม้ได้ทำลายส่วนเปลือกไม้ซึ่งมีเนื้อเยื่อลำเลียงอาหาร และทำลายกระทบไม้ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ เมื่อถูกทำลายโดยรอบต้นทำให้ตัดเส้นทางการลำเลียงน้ำและอาหารทั้งหมด ทำให้ต้นไม้ตายได้ในที่สุด
6. ถ้าในท้องถิ่นพบพืชที่ใกล้สูญพันธุ์และชุมชนมีความต้องการที่จะขยายพันธุ์เพื่อรักษาสายพันธุ์พืชชนิดนี้ไว้ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ชุมชนควรเลือกใช้ส่วนใดของพืชเป็นชิ้นส่วนเริ่มต้น พร้อมให้เหตุผลโดยใช้ความรู้จากเรื่องเนื้อเยื่อพืช
 - ✎ ชุมชนอาจเลือกใช้ยอดหรือตาข้างเป็นส่วนที่มีเนื้อเยื่อเจริญที่สามารถแบ่งเซลล์และเจริญเติบโตไปเป็นส่วนต่างๆ ของพืชได้ ซึ่งการเลือกใช้ส่วนของพืชที่มีเนื้อเยื่อเจริญจะช่วยเพิ่มโอกาสที่จะได้ต้นใหม่จำนวนมากและรวดเร็ว หรืออาจใช้ส่วนของรากลำต้นที่ยังไม่แก่มากหรือใบ ซึ่งเป็นส่วนที่เซลล์ยังมีชีวิต ไม่มีผนังเซลล์ทุติยภูมิ มีสมบัติที่สามารถกลับไปเป็นเนื้อเยื่อเจริญและแบ่งเซลล์ได้ หรืออาจใช้ส่วนที่มีเนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง เช่น ลำต้นและราก เป็นชิ้นส่วนเริ่มต้นได้เช่นกัน
7. จากรูปแสดงลำต้นที่มีวงปีอายุ 2 ปี



7.1 วงปี ก. และ วงปี ข. วงปีใดคือปีที่ 1 และวงปีใดคือปีที่ 2 เพราะเหตุใด

 วงปี ก. คือปีที่ 1 วงปี ข. คือปีที่ 2 เพราะส่วนวงปี ก. เป็นวงปีที่ห่างจากวาสคิวลาร์แคมเปียมและอยู่ใกล้พีธจึงเป็นวงปีที่มีอายุเป็นปีที่ 1 ส่วนวงปี ข. อยู่ใกล้วาสคิวลาร์แคมเปียมซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างทำหน้าที่แบ่งเซลล์ให้ไซเล็มเข้าด้านในและโฟลเอ็มออกทางด้านนอก ดังนั้นไซเล็มที่เป็นวงปีที่อยู่ติดกับวาสคิวลาร์แคมเปียมจึงเป็นวงปีที่มีอายุเป็นปีที่ 2

7.2 วงปี ก. หรือ วงปี ข. มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า เพราะเหตุใด

 วงปี ก. มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า เพราะมีความกว้างของไซเล็มหรือวงปีที่กว้างกว่าวงปี ข. ซึ่งเป็นผลมาจากวาสคิวลาร์แคมเปียมแบ่งเซลล์ให้เนื้อเยื่อในวงปี ก. ได้มากกว่า วงปี ข. การที่เซลล์จะสามารถแบ่งเซลล์ได้นั้นต้องใช้พลังงานและธาตุอาหารต่างๆ มาสร้างเป็นโครงสร้างของเซลล์ ดังนั้นวงปี ก. ที่กว้างกว่าสามารถอนุมานได้ว่าในปีนั้นมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า วงปี ข.

8. จงเปรียบเทียบชนิดของเซลล์หรือเนื้อเยื่อและการจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายในตัดตามขวางของพืชต่อไปนี้

8.1 รากและลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ในระยะการเติบโตปฐมภูมิ



ชั้นเนื้อเยื่อ	รากพืชใบเลี้ยงคู่	ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่
1. เอพิเดอร์มิส	เอพิเดอร์มิสเรียงเป็นแถวเดียว ประกอบด้วยเซลล์ผิวและเซลล์ขนราก	เอพิเดอร์มิสเรียงเป็นแถวเดียว ประกอบด้วยเซลล์ผิวและอาจพบขน
2. คอร์กเทกซ์	ประกอบด้วยพาเรงคิมาด้านในสุดพบเนื้อเยื่อเอนโดเดอร์มิสบริเวณคอร์กเทกซ์ของรากกว้างกว่าลำต้น	ประกอบด้วยพาเรงคิมาและอาจพบคอลเลงคิมาบริเวณที่เป็นเหลี่ยมหรือเป็นสันของลำต้น บริเวณคอร์กเทกซ์ของลำต้นจะแคบกว่าราก
3. สตีล		
3.1 เฟริไซเคิล	ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาเรียงเป็นวง 1-2 แถว	ไม่มี
3.2 วาสคิวลาร์บันเดิล	กลุ่มเซลล์ในไซเล็ม เห็นเรียงเป็นแฉกมี 4 แฉกและมีกลุ่มเซลล์ในโฟลเอ็มแทรกอยู่ระหว่างแฉก	มีวาสคิวลาร์บันเดิลจำนวนหลายกลุ่มเรียงตัวเป็นหนึ่งวง แต่ละกลุ่มประกอบด้วยไซเล็มปฐมภูมิอยู่ด้านใน และโฟลเอ็มปฐมภูมิอยู่ด้านนอก โดยเรียงตัวในแนวรัศมีเดียวกัน
3.3 พิธ	ไม่มี	ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา

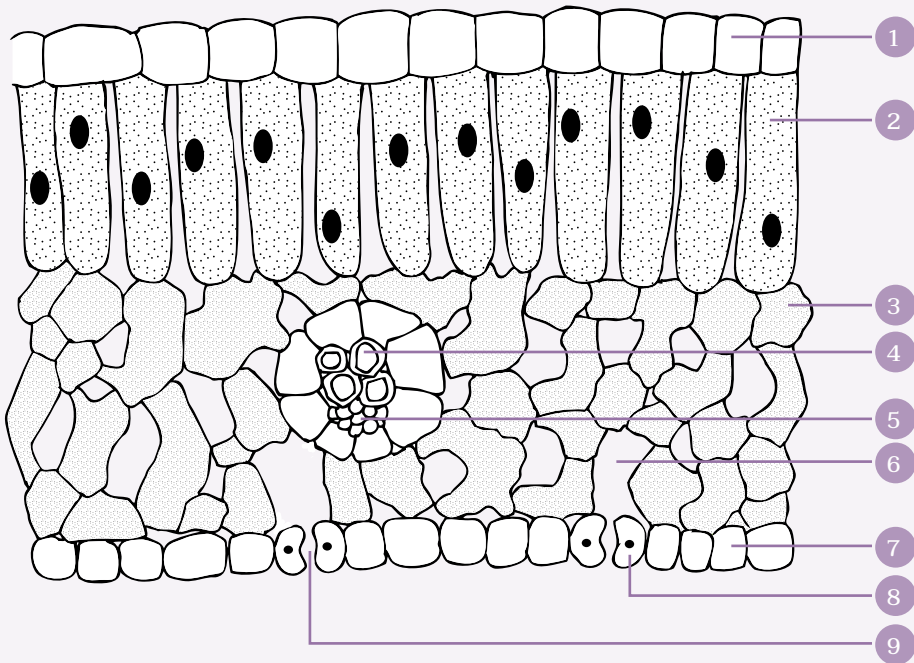
8.2 รากและลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว



ชั้นเนื้อเยื่อ	รากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว	ลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
1. เอพิเดอร์มิส	เอพิเดอร์มิสเรียงเป็นแถวเดียว ประกอบด้วยเซลล์ผิวและเซลล์ขนราก	เอพิเดอร์มิสเรียงเป็นแถวเดียว ประกอบด้วยเซลล์ผิว
2. คอर्टेกซ์	ประกอบด้วยพาเรงคิมาด้านในสุดพบเนื้อเยื่อเอนโดเดอร์มิสบริเวณคอर्टेกซ์ของรากกว้างกว่าลำต้น	ประกอบด้วยพาเรงคิมาบริเวณคอर्टेกซ์ของลำต้นจะแคบกว่าราก บางครั้งอาจพบว่าไม่สามารถแยกขอบเขตของคอर्टेกซ์และสตีลได้ชัดเจน
3. สตีล		
3.1 เพรไซเคิล	ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาเรียงเป็นวง 1-2 แถว	ไม่มี
3.2 กลุ่มท่อลำเลียง	ไซเล็มมีจำนวนแฉกมากกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ นับได้มากกว่า 10 แฉก และมีกลุ่มเซลล์ในโฟลเอ็มแทรกอยู่ระหว่างแฉก	กลุ่มท่อลำเลียงเรียงตัวกระจายอยู่ทั่วเนื้อเยื่อพื้น ทำให้เห็นขอบเขตของพืชและคอर्टेกซ์ไม่ชัดเจน โดยไซเล็มอยู่ด้านในและโฟลเอ็มอยู่ด้านนอกเรียงตัวในแนวรัศมีเดียวกัน แต่เวสเซลเมมเบอร์ที่อยู่ในไซเล็มจำนวน 2-3 เซลล์ จะมีขนาดใหญ่เป็นพิเศษ ทำให้กลุ่มท่อลำเลียงมีลักษณะคล้ายหัวกะโหลกมนุษย์ และอาจมีบันเดิลชีท
3.3 พิช	ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา	ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาปล้องของลำต้นบางชนิดเมื่ออายุมากขึ้น บริเวณกลางลำต้นซึ่งอาจรวมทั้งพิชและเนื้อเยื่ออื่นอาจสลายไปกลายเป็นช่อง เรียกว่า ช่องพิช

9. จากรูปเนื้อเยื่อพืชตัดตามขวาง

9.1 แสดงโครงสร้างภายในของใบพืชชนิดหนึ่ง ให้ระบุชื่อเนื้อเยื่อ เซลล์ หรือ ส่วนประกอบของใบพืชลงตามหมายเลข 1-9 พร้อมทั้งระบุหน้าที่

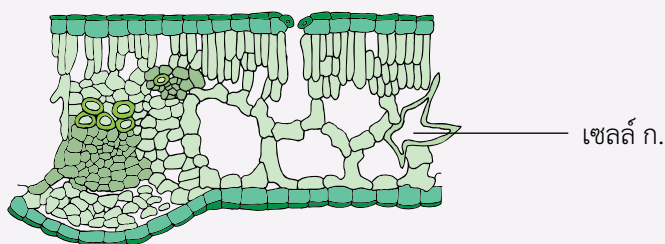


- \ หมายเลข 1 คือ **เอพิเดอร์มิสด้านบน** มีหน้าที่ **ป้องกันเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านใน**
- หมายเลข 2 คือ **แพลลิสเมโซฟิลล์** มีหน้าที่ **สังเคราะห์ด้วยแสง**
- หมายเลข 3 คือ **สปองจีเมโซฟิลล์** มีหน้าที่ **สังเคราะห์ด้วยแสง เป็นชั้นที่มีช่องอากาศขนาดใหญ่จำนวนมากสำหรับเก็บอากาศ**
- หมายเลข 4 คือ **ไซเล็ม** มีหน้าที่ **ลำเลียงน้ำและธาตุอาหารไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของใบพืช**
- หมายเลข 5 คือ **โฟลเอ็ม** มีหน้าที่ **ลำเลียงอาหารที่ใบสังเคราะห์ไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช**
- หมายเลข 6 คือ **ช่องอากาศ** มีหน้าที่ **เก็บอากาศเพื่อให้ได้ออกซิเจนมากพอไว้ใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์ และเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ไว้สำหรับใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง**
- หมายเลข 7 คือ **เอพิเดอร์มิสด้านล่าง** มีหน้าที่ **ป้องกันเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านใน**

หมายเลข 8 คือ เซลล์คุม มีหน้าที่ เกี่ยวกับการเปิดปิดของปากใบ

หมายเลข 9 คือ รูปากใบ มีหน้าที่ เป็นช่องทางแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างใบพืชกับ
อากาศภายนอกใบพืช และเป็นช่องทางระเหยของน้ำจากภายใน
ออกสู่ภายนอกในรูปของไอน้ำ

9.2 จากรูปวาดพืชชนิดหนึ่งพบปากใบอยู่ที่เอพิเดอร์มิสด้านบน และมีโครงสร้าง
ในชั้นสpongymesophyllเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ และพบเซลล์ ก. อยู่ที่นี่



9.2.1 เซลล์ ก. คือ เซลล์ชนิดใด ทำหน้าที่อะไร

✎ สเกลอริด ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับโครงสร้างของใบ

9.2.2 หากพิจารณาจากโครงสร้างของใบพืชนี้จะเป็นพืชที่เจริญเติบโตอยู่ใน
สภาพแวดล้อมแบบใด เพราะเหตุใด

✎ เมื่อพิจารณาโครงสร้างของใบพืช พืชนี้เป็นพืชที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพ
แวดล้อมที่มีน้ำสูงถึงใบด้านล่างหรือใบปรึมน้ำ เนื่องจากไม่พบปากใบที่
เอพิเดอร์มิสด้านล่างของใบ แสดงว่าด้านล่างของใบพืชชนิดนี้ไม่สัมผัสกับ
อากาศแต่จะสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่ไม่มีอากาศหรือมีอากาศน้อย นั่นคือ
น้ำ ประกอบกับโครงสร้างของชั้นสpongymesophyllมีการจัดเรียงตัวกันแบบ
หลวมๆ ทำให้เกิดช่องอากาศขนาดใหญ่ซึ่งใช้เป็นพื้นที่เก็บสะสมอากาศไว้ใช้
ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ และช่องอากาศขนาดใหญ่นี้ช่วยให้
ใบพืชมีน้ำหนักเบาและลอยน้ำได้ นอกจากนี้ปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิส
ด้านบนช่วยให้พืชนี้ใช้เป็นช่องทางในการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างใบพืชกับ
อากาศภายนอกได้

บทที่

10

| การลำเลียงของพืช

ipst.me/8813

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารของพืช
2. สืบค้นข้อมูล สังเกต และอธิบายการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืช
3. สืบค้นข้อมูล อธิบายความสำคัญของธาตุอาหาร และยกตัวอย่างธาตุอาหารที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช
4. อธิบายกลไกการลำเลียงอาหารในพืช

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารของพืช
2. สืบค้นข้อมูล สังเกต และอธิบายการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่ราก และการลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของพืช
2. สืบค้นข้อมูล สังเกตการคายน้ำของพืช และอธิบายการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืชผ่านทางปากใบ
3. อธิบายและยกตัวอย่างปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช
4. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงธาตุอาหารของพืช

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณญาณ 2. ความซื่อสัตย์

ผลการเรียนรู้

3. สืบค้นข้อมูล อธิบายความสำคัญของธาตุอาหาร และยกตัวอย่างธาตุอาหารที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายความสำคัญของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช
2. ยกตัวอย่างธาตุอาหารที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และยกตัวอย่างการนำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การจำแนกประเภท 3. การลงความเห็นจากข้อมูล 4. การจัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณญาณ 2. ความใจกว้าง 3. ความซื่อสัตย์

ผลการเรียนรู้

4. อธิบายกลไกการลำเลียงอาหารในพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายกลไกการลำเลียงอาหารในพืช

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา	1. การใช้วิจารณญาณ 2. ความใจกว้าง

ผังมโนทัศน์ บทที่ 10



การลำเลียงของพืช

ศึกษาเกี่ยวกับ

การลำเลียงธาตุอาหาร

ศึกษาเกี่ยวกับ

การลำเลียง

ความสำคัญของธาตุอาหาร

การลำเลียงอาหาร

มีทิศทาง

จากแหล่งสร้างไปแหล่งรับ

เกิดจาก

ความแตกต่างของ
ความเข้มข้นของ
สารละลาย

ทำให้เกิด

ความแตกต่างของ
ความดัน

สาระสำคัญ

การเคลื่อนที่ของน้ำในพืชเป็นไปตามความแตกต่างของศักย์ พืชจะลำเลียงน้ำและธาตุอาหารต่าง ๆ จากดินทางเซลล์ขนรากแล้วลำเลียงผ่านชั้นคอร์เทกซ์เข้าสู่ไซเล็มในชั้นสตีล ซึ่งเป็นการลำเลียงน้ำในแนวระนาบ และลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชในแนวตั้งทางไซเล็ม ในภาวะปกติการลำเลียงน้ำจากรากสู่ยอดของพืชอาศัยแรงดึงจากการคายน้ำร่วมกับแรงโคฮีชัน แรงแอดฮีชัน แต่ในภาวะที่บรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากจนไม่สามารถเกิดการคายน้ำได้ตามปกติและมีปริมาณน้ำในดินมากเพียงพอ การลำเลียงน้ำจะอาศัยความดันราก ซึ่งอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์กัตเตชัน

พืชมีการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำผ่านทางปากใบเป็นส่วนใหญ่ ปากใบพบได้ที่ใบและลำต้นอ่อน เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายนอกต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในใบ ทำให้น้ำภายในใบแพร่ออกมาทางรูปากใบ เรียกว่า การคายน้ำ โดยมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ ลม อุณหภูมิ ปริมาณน้ำในดิน ความเข้มแสง

พืชแต่ละชนิดต้องการธาตุอาหารที่ต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ พืชได้รับธาตุอาหารจากดินผ่านทางรากแล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชพร้อมกับการลำเลียงน้ำในไซเล็ม ความรู้เกี่ยวกับสมบัติของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร

อาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจากแหล่งสร้าง จะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นซูโครสและลำเลียงผ่านทางโฟลเอ็มโดยอาศัยกลไกการลำเลียงอาหารในพืชซึ่งเกี่ยวข้องกับความแตกต่างของความดันในซีฟทิวบเมมเบอร์ระหว่างบริเวณแหล่งสร้างและแหล่งรับ

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 9 ชั่วโมง

10.1 การลำเลียงน้ำ	2 ชั่วโมง
10.2 การแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำ	3 ชั่วโมง
10.3 การลำเลียงธาตุอาหาร	2 ชั่วโมง
10.4 การลำเลียงอาหาร	2 ชั่วโมง
รวม	9 ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (✓) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

-  1. พืชมีการลำเลียง O_2 และ CO_2 เข้าและออกจากเซลล์โดยการแพร่แบบธรรมดา
-  2. น้ำมีการเคลื่อนที่สุทธิผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูงไปต่ำโดยออสโมซิส
-  3. พืชมีทิศทางการลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจากรากไปสู่ยอดพืชทางเดียว
-  4. ไซเลมมีเวสเซลเมมเบอร์และซีฟทิวบ์เมมเบอร์ ซึ่งทำหน้าที่หลักในการลำเลียงน้ำและธาตุอาหาร
-  5. โพลเอมมีเทรคีด ซึ่งทำหน้าที่หลักในการลำเลียงอาหาร
-  6. ปากใบเป็นโครงสร้างที่มีหน้าที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับอากาศ พบได้ที่เนื้อเยื่อผิวของใบ
-  7. ใบพืชมีวาสคิวลาร์บันเดิล ประกอบด้วยไซเลมและโพลเอมซึ่งเชื่อมต่อกับวาสคิวลาร์บันเดิลในลำต้นและราก
-  8. พืชต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน การขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดจะส่งผลให้พืชแสดงอาการที่แตกต่างกัน
-  9. อาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคือน้ำตาล
-  10. ชั้นมีโซฟิลล์ของใบประกอบด้วยเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์จำนวนมาก จึงเป็นบริเวณที่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงมาก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เดิมให้กับนักเรียนว่า น้ำ ธาตุอาหาร และอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงล้วนมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช จากนั้นครูใช้รูปนำบทหรือรูปต้นไม้ที่มีความสูงมากมาเปรียบเทียบกับอาคารที่มีความสูงใกล้เคียงกัน แล้วให้ข้อมูลนักเรียนว่า อาคารที่มีความสูงมากจะมีเครื่องสูบน้ำเพื่อส่งน้ำไปสำรองในถังเก็บน้ำที่อยู่ชั้นบนสุดของอาคาร เพื่อปล่อยลงมาใช้ภายในอาคาร ในขณะที่พืชซึ่งไม่มีกลไกดังกล่าวแต่ก็ต้องมีการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารที่ได้จากพื้นดินขึ้นไปสู่ลำต้นด้านบนเช่นกัน

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยใช้คำถามในหนังสือเรียนว่าพืชมีกลไกในการลำเลียงน้ำจากดินไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้อย่างไร หรืออาจใช้คำถามดังนี้

- พืชที่มีความสูงมากดังรูป มีกระบวนการในการลำเลียงน้ำจากรากขึ้นสู่ลำต้นและส่วนยอดได้อย่างไร

จากการอภิปรายร่วมกันของนักเรียนอาจยังไม่ได้คำตอบที่ถูกต้อง ครูอาจรวบรวมคำตอบของนักเรียนมาเพื่อสรุป โดยยังไม่ต้องบอกว่าคำตอบที่ได้นั้นผิดหรือถูก ซึ่งนักเรียนจะสามารถสรุปได้เมื่อศึกษาเนื้อหาในบทเรียนนี้

10.1 การลำเลียงน้ำ

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่ราก และการลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของพืช

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับความสำคัญของน้ำที่มีต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืช โดยน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์พืช ช่วยรักษาความเต่งของเซลล์ มีผลต่อการขยายขนาดของเซลล์ เป็นตัวทำละลาย มีส่วนสำคัญในกระบวนการต่างๆ ของเซลล์ และช่วยในการรักษาอุณหภูมิในเซลล์พืชให้คงที่

จากนั้นครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับการแพร่และออสโมซิส และถามนักเรียนโดยใช้คำถามดังนี้

● การเคลื่อนที่ของน้ำโดยออสโมซิสเป็นผลมาจากอะไร

นักเรียนอาจตอบว่าเป็นผลจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลาย โดยครูอาจทบทวนความรู้ให้นักเรียนว่า น้ำสามารถออสโมซิสผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยโมเลกุลน้ำมีการเคลื่อนที่ไปมาผ่านเยื่อหุ้มเซลล์อยู่ตลอดเวลา แต่เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่สุทธิจะพบว่าน้ำมีการเคลื่อนที่สุทธิจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูงจนกระทั่งสารละลายภายในเซลล์มีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายภายนอกเซลล์หรือเข้าสู่ภาวะสมดุลของการแพร่ โดยในภาวะสมดุลนี้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จะยังคงเกิดขึ้นอยู่ แต่การเคลื่อนที่สุทธิของน้ำจะเป็นศูนย์

จากนั้นครูให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่าการเคลื่อนที่ของน้ำนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยศักย์ (water potential) โดยอธิบายเกี่ยวกับศักย์และปัจจัยที่ทำให้ศักย์เปลี่ยนแปลง ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า ศักย์ คือ พลังงานอิสระของน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยน้ำจะมีการเคลื่อนที่สุทธิจากบริเวณที่มีศักย์สูงไปบริเวณที่มีศักย์ต่ำ ศักย์จะเปลี่ยนแปลงได้จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำ เช่น การมีตัวละลาย แร่งดัน และแรงดึง ครูอาจให้นักเรียนศึกษารูป 10.1 ในหนังสือเรียนหรือวิดีโอเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายแตกต่างกัน เพื่อแสดงถึงศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับศักย์

1. ศักย์มีหน่วยเป็นหน่วยของความดัน เช่น bar, atm, MPa (Megapascal)
2. สัญลักษณ์ของศักย์ใช้แทนด้วย Ψ อ่านว่า psi (ไซ)
3. ศักย์เป็นผลรวมของพลังงานอิสระของน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อพลังงานอิสระของโมเลกุลน้ำ ดังนั้นการพิจารณาศักย์จึงต้องดูจากหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น สารละลายที่ได้รับแรงดันและแรงดึงในเวลาเดียวกัน ค่าของศักย์จะขึ้นอยู่กับผลรวมจากทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ตัวละลาย แร่งดัน และแรงดึง
4. ในพืชยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับศักย์ เช่น อุณหภูมิ แรงโน้มถ่วงของโลก แรงที่โมเลกุลน้ำกระทำกับโมเลกุลต่างๆ ของผนังเซลล์ โปรตีนภายในเซลล์ เม็ดแป้ง อนุภาคดิน

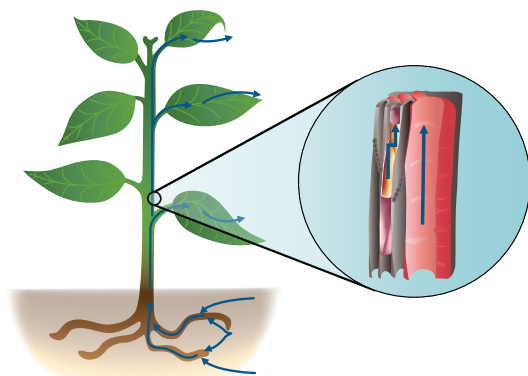
ครูสามารถยกตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับชลศัลย์มาใช้ในการศึกษาเซลล์พืช จากกล่องความรู้เพิ่มเติม โดยครูสามารถอ่านความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับโพรงทอพลาสต์ได้จาก link ใน QR code ของหน้าประจำบท จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ

- ?** ของเหลวใน 2 บริเวณ มีความเข้มข้นของตัวละลายและความดันเท่ากัน แต่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าของเหลวในบริเวณที่อุณหภูมิสูงเคลื่อนที่ไปบริเวณที่อุณหภูมิต่ำ จากข้อมูลข้างต้นให้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ พลังงานอิสระของน้ำ ชลศัลย์ และทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำ
- ✎** เมื่อพบว่าของเหลวในบริเวณที่อุณหภูมิสูงเคลื่อนที่ไปบริเวณที่อุณหภูมิต่ำ แสดงว่าอุณหภูมิมิผลต่อพลังงานอิสระของน้ำ โดยเมื่ออุณหภูมิสูง พลังงานอิสระของน้ำจะสูงขึ้น ทำให้ชลศัลย์สูงขึ้น น้ำจึงมีการเคลื่อนที่จากบริเวณที่อุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่อุณหภูมิต่ำ

ครูใช้รูป 10.2 ในหนังสือเรียน และรูปการเรียงต่อกันเป็นท่อของเวสเซลเมมเบอร์และเทรคีดไนไซเล็ม เพื่อให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า การลำเลียงน้ำในพืชมีทิศทางการใด ซึ่งนักเรียนควรสรุปได้ว่า น้ำและธาตุอาหารจะเคลื่อนที่จากดินเข้าสู่รากและเข้าสู่ไซเล็มไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชผ่านเวสเซลเมมเบอร์และเทรคีดซึ่งเป็นเซลล์ที่เรียงต่อกัน มีลักษณะคล้ายท่อ โดยจะมีทิศทางการลำเลียงจากรากขึ้นสู่ยอด การลำเลียงน้ำในพืชอาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ การลำเลียงน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่รากพืช การลำเลียงน้ำเข้าสู่ไซเล็ม และการลำเลียงน้ำภายในไซเล็ม จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายว่าการลำเลียงน้ำในแต่ละช่วงควรจะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาต่อไป

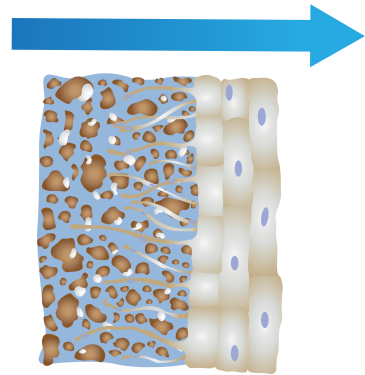


รูปทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำและธาตุอาหารในพืช

10.1.1 การลำเลียงน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่รากพืช

ครูตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียนว่า พืชมีการลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่รากได้อย่างไร ซึ่งนักเรียนอาจตอบว่าเกิดจากออสโมซิส จากนั้นครูทบทวนเรื่องออสโมซิสเพื่อให้เพื่อนำมาอธิบาย โดยตั้งคำถามดังนี้

- สารละลายในดินกับสารละลายในเซลล์ขนราก มีความเข้มข้นแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ออสโมซิสของสารละลายในดินกับสารละลายในเซลล์ขนรากแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- การเคลื่อนที่ของน้ำจากดินเข้าสู่รากอธิบายได้ด้วยออสโมซิสอย่างไร



รูปทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่รากพืช

นักเรียนควรตอบได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลายในดินต่ำกว่าในเซลล์ขนราก ออสโมซิสของสารละลายในดินจึงสูงกว่าสารละลายในเซลล์ขนราก และอธิบายได้ว่าการเคลื่อนที่ของน้ำจากดินเข้าสู่รากเกิดจากความแตกต่างระหว่างออสโมซิสของสารละลายในดินกับสารละลายในเซลล์ขนราก ดังรูปการเคลื่อนที่ของน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่รากพืช โดยน้ำบางส่วนอาจผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ไซโทพลาซึมของเซลล์ขนรากโดยออสโมซิสและการแพร่แบบฟาซิลิเทต และน้ำบางส่วนอาจเคลื่อนที่ผ่านไปตามผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมว่าน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านตามผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์อาจไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อเข้าสู่ไซโทพลาซึม แต่จะซึมผ่านไปตามผนังเซลล์ของเซลล์พืชซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยเซลลูโลสสานกัน และซึมผ่านไปตามช่องว่างระหว่างเซลล์

จากนั้นครูทบทวนเกี่ยวกับโครงสร้างของปลายรากพืช โดยใช้คำถามดังนี้

- บริเวณใดของรากพืชที่มีความสามารถในการดูดน้ำได้มากกว่าบริเวณอื่น
- ลักษณะของเซลล์ขนรากมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่รากพืชอย่างไร

นักเรียนควรตอบได้ว่า บริเวณที่มีความสามารถในการดูดน้ำได้มากคือบริเวณที่มีเซลล์ขนราก โดยเซลล์ขนรากมีผนังด้านนอกยื่นยาวออกไปคล้ายขนและยาวกว่าความกว้างของเซลล์หลายเท่าเพื่อ

เพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและธาตุอาหาร ส่วนที่ยื่นยาวออกไปของเซลล์ขนรากไม่มีคิวทินเคลือบ จึงทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่รากพืชได้ง่ายกว่าบริเวณอื่น ซึ่งครูอาจทบทวนว่าบริเวณที่พบเซลล์ขนรากคือ บริเวณการเปลี่ยนสภาพและการเจริญเต็มที่ของเซลล์ (region of cell differentiation and maturation)

10.1.2 การลำเลียงน้ำเข้าสู่ไซเล็ม

ครูนำรูป 10.3 ในหนังสือเรียนที่แสดงภาพตัดขวางของรากพืชใบเลี้ยงคู่มาให้นักเรียนศึกษา โดยเน้นที่ไซเล็มและเอนโดเดอร์มิส จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียนว่า **น้ำเข้าสู่ไซเล็มได้อย่างไร** โดยครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากหนังสือเรียนเพื่อหาคำตอบ และใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลดังนี้

- การลำเลียงน้ำในรากมีกี่แบบ อะไรบ้าง แต่ละแบบแตกต่างกันอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลนักเรียนควรอธิบายได้ว่าการลำเลียงน้ำในรากมี 3 แบบ และสามารถใช้อธิบายรูป 10.3 ในหนังสือเรียนเพื่อประกอบการอธิบายว่า เมื่อน้ำเข้าสู่รากและเข้าสู่เซลล์แล้วเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งสู่เซลล์หนึ่งทางพลาสมาเดสมาตา เรียกการลำเลียงน้ำแบบนี้ว่า แบบซิมพลาสต์ ทั้งนี้ครูอาจเน้นย้ำว่า โมเลกุลของน้ำในระหว่างการเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งสู่เซลล์หนึ่งผ่านพลาสมาเดสมาตาจะไม่ผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ส่วนการลำเลียงน้ำแบบอพอพลาสต์ น้ำจะไม่ผ่านเข้าสู่เซลล์ แต่จะเคลื่อนที่ไปตามผนังเซลล์หรือช่องว่างระหว่างเซลล์ และการลำเลียงน้ำแบบทรานส์เมมเบรน น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของสองเซลล์ที่ติดกัน ดังนั้นการลำเลียงน้ำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จะพบในแบบทรานส์เมมเบรนเท่านั้น

ครูควรเน้นว่าโมเลกุลของน้ำที่ลำเลียงแบบอพอพลาสต์เมื่อมาถึงเอนโดเดอร์มิสซึ่งตามผนังเซลล์จะมีแถบแคสพาเรียน น้ำจะไม่สามารถลำเลียงแบบอพอพลาสต์ผ่านไปได้อีก จึงต้องผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อเข้าสู่เซลล์แล้วเปลี่ยนมาลำเลียงแบบซิมพลาสต์หรือแบบทรานส์เมมเบรนผ่านผนังเซลล์ด้านที่ขนานกับเอพิเดอร์มิสซึ่งเป็นด้านที่ไม่มีการสะสมของซูเบอร์รินแทน การลำเลียงจึงเกิดขึ้นต่อเนื่องจนเข้าสู่ไซเล็ม นอกจากนี้แต่ละโมเลกุลอาจเปลี่ยนรูปแบบการลำเลียงไปมาได้ระหว่างการเคลื่อนที่เข้าสู่ไซเล็ม

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ

? โมเลกุลน้ำจากดินมีโอกาสที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่ไซเล็มโดยไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

 ไม่ได้ เนื่องจากโมเลกุลน้ำที่เข้าสู่รากและผ่านการลำเลียงน้ำในรากแบบซิมพลาสต์และแบบทรานส์เมมเบรนนั้น จะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์ขนรากตั้งแต่ชั้นการลำเลียงน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่รากพืช ส่วนโมเลกุลน้ำที่เข้าสู่รากและผ่านการลำเลียงน้ำในรากแบบอพอพลาสต์นั้น จะต้องเปลี่ยนมาเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อเข้าสู่เซลล์ก่อนที่จะผ่านเอนโดเดอร์มิสเข้าสู่ไซเล็ม

นอกจากนี้ ครูควรถามคำถามเพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของน้ำในรากกับชลศัkyโดยใช้คำถามถามนักเรียนว่า **จากทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำในรากที่ศึกษามา นักเรียนคิดว่าชลศัkyในบริเวณต่าง ๆ ของรากควรเป็นอย่างไร** ซึ่งนักเรียนควรตอบได้ว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในรากควรเป็นไปตามความแตกต่างของชลศัky ดังนั้นชลศัkyบริเวณเซลล์ขนรากควรจะสูงกว่าในเซลล์ของคอร์เทกซ์และไซเล็มตามลำดับ โดยครูอธิบายเพิ่มเติมว่าเนื่องจากน้ำภายในไซเล็มได้รับแรงดึงจากการคายน้ำซึ่งทำให้ชลศัkyลดลง จึงเกิดความแตกต่างของชลศัkyในบริเวณต่าง ๆ ของรากขึ้น จากนั้นครูใช้คำถามถามนักเรียนว่า **เมื่อน้ำลำเลียงถึงไซเล็มแล้วจะเคลื่อนที่ต่อไปได้อย่างไร**

10.1.3 การลำเลียงน้ำภายในไซเล็ม

ครูทบทวนความรู้ให้แก่ นักเรียนว่า เมื่อน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่ไซเล็มของรากแล้ว จะเคลื่อนที่ขึ้นไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของลำต้นผ่านทางไซเล็ม และอาจเชื่อมโยงความเข้าใจระหว่างการลำเลียงน้ำตามไซเล็มและโครงสร้างของไซเล็มในลำต้น โดยนำดอกไม้สีขาว ที่มีก้านตรง ยาว มาผ่าก้านตามยาว อาจผ่าเป็น 2-4 แฉก นำแต่ละแฉกไปจุ่มในน้ำที่มีสีย้อมอาหารสีต่างกัน นานประมาณ 3-5 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ดอกไม้ที่มีกลีบหลายสีในดอกเดียวกัน นำมาให้ นักเรียนดูแล้วถามว่าเหตุการณ์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร



รูปการเคลื่อนที่ของน้ำสีขึ้นสู่ดอก

นักเรียนควรตอบได้ว่า เกิดจากการที่น้ำสีเคลื่อนที่ขึ้นไปตามไซเล็มในก้านดอก ซึ่งเชื่อมต่อไปจนถึงส่วนของดอก และเนื่องจากในก้านดอกมีวาสคิวลาร์บันเดิลหลายกลุ่มกระจายกันอยู่ในก้านดอก แต่ละกลุ่มอาจต่อเนื่องไปยังกลีบดอกที่บริเวณต่างกัน สีของกลีบดอกจึงแตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าไซเล็มที่เชื่อมต่อไปยังกลีบดอกในบริเวณนั้นถูกจุ่มอยู่ในน้ำสีใด

จากนั้นครูใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่เนื้อหาว่าการเคลื่อนที่ของน้ำจากรากขึ้นไปสู่ส่วนต่างๆ ของลำต้นในทิศทางที่ตรงข้ามกับทิศทางของแรงโน้มถ่วงของโลกนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร นักเรียนอาจตอบว่าเป็นผลจากการคายน้ำ ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า การคายน้ำจะทำให้เกิดแรงดึงน้ำจากบริเวณใบต่อเนื่องไปจนถึงราก ทำให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบน นอกจากนี้การลำเลียงน้ำจากรากสู่ยอดของพืชยังใช้การซึมตามรูเล็ก และความดันราก ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในหัวข้อนี้

การซึมตามรูเล็ก ครูอาจใช้รูปการซึมตามรูเล็กของน้ำในหลอดแคปิลลารี หรือใช้หลอดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันหลาย ๆ ขนาด มาวางในแก้วที่มีน้ำสี แสดงระดับน้ำที่แตกต่างกันในแต่ละหลอด เพื่อให้นักเรียนเห็นภาพการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นมาตามความสูงของหลอด ซึ่งเป็นผลจากแรงโคฮีชันและแรงแอดฮีชัน จะเห็นได้ว่าในหลอดขนาดเล็กน้ำสีจะขึ้นสูงได้มากกว่าหลอดขนาดใหญ่ ดังนั้นไซเล็มซึ่งมีเซลล์ที่มีรูปร่างยาวเรียงต่อกันจนคล้ายท่อขนาดเล็ก จึงสามารถลำเลียงน้ำขึ้นไปโดยอาศัยการซึมตามรูเล็กได้เช่นกัน



รูปการซึมตามรูเล็ก

แรงดึงจากการคายน้ำ ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าการซึมตามรูเล็กเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะลำเลียงน้ำขึ้นไปถึงส่วนยอดของพืชที่มีความสูงมาก ๆ ได้จึงต้องอาศัยแรงดึงจากการคายน้ำร่วมด้วย

ครูใช้รูป 10.4 และ 10.5 ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนบอกได้ว่าการคายน้ำเกิดขึ้นที่ใบ และเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดแรงดึงต่อเนื่องกันจากใบจนถึงราก เป็นผลให้น้ำภายในไซเล็มลำเลียงจากรากขึ้นมาจนถึงลำต้นและใบตามลำดับ โดยเชื่อมโยงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างภายในของราก ลำต้น และใบ เพื่อให้นักเรียนเห็นเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการลำเลียงน้ำซึ่งเชื่อมต่อกัน และใช้คำถามถามนักเรียนเพื่อให้อภิปรายร่วมกันดังนี้

- การเคลื่อนที่ของน้ำจากรากขึ้นสู่ด้านบนซึ่งเป็นผลจากแรงดึงจากการคายน้ำนี้เป็นไปตามความแตกต่างของศักย์หรือไม อย่างไร

จากการอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรสรุปได้ว่า เป็นไปตามความแตกต่างของศักย์ โดยแรงดึงจากการคายน้ำทำให้ศักย์ในบริเวณใบลดลง จนกระทั่งเกิดความแตกต่างของศักย์ที่ใบกับศักย์ที่รากที่สูงเพียงพอ น้ำจึงเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนในทิศทางที่สวนกับทิศทางของแรงโน้มถ่วงของโลก

ความดันราก ครูนำต้นพืชขนาดเล็ก เช่น ดาวเรือง ดาวกระจาย ที่ตัดลำต้นบริเวณเหนือพื้นดินประมาณ 5 เซนติเมตร มารดน้ำให้ชุ่มแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จะสังเกตเห็นน้ำบริเวณเหนือรอยตัด จากนั้นครูใช้คำถามถามนักเรียนว่า น้ำบริเวณเหนือรอยตัดมาจากไหน และเกิดขึ้นได้อย่างไร นักเรียนอาจตอบว่าเกิดจากการซึมตามรูเล็ก ครูให้ข้อมูลแก่นักเรียนว่านอกจากแรงดึงจากการคายน้ำและการซึมตามรูเล็กแล้วในบางครั้งการเคลื่อนที่ของน้ำจากรากขึ้นสู่ด้านบนอาจอาศัยความดันราก จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับความดันรากในหนังสือเรียน นักเรียนควรอธิบายได้ว่าในกรณีที่พืชไม่มีการคายน้ำและน้ำในดินมีมากพอจนทำให้เกิดความดันราก ซึ่งความดันรากที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้ศักย์ที่รากสูงขึ้น น้ำจึงเคลื่อนที่ไปตามไซเล็มขึ้นสู่ด้านบนซึ่งศักย์ต่ำกว่า นักเรียนจะสังเกตเห็นหยดน้ำบริเวณรอยตัด แล้วใช้รูป 10.6 ในหนังสือเรียน เพื่อถามนักเรียนว่า

- กัดเตชันเกิดได้ในภาวะใด
- ความดันรากสามารถอธิบายการเกิดกัดเตชันได้อย่างไร

นักเรียนควรตอบได้ว่ากัตเตชัน คือ ปรากฏการณ์ที่พืชสูญเสียน้ำในรูปของหยดน้ำผ่านทางรูหยาดน้ำ เกิดในภาวะที่พืชไม่เกิดการคายน้ำเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูงมากหรือปากใบปิด และน้ำในดินเคลื่อนที่เข้าสู่รากจนความดันรากมีมากพอ น้ำจะเคลื่อนที่ออกมาทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า รูหยาดน้ำ ซึ่งอยู่ปลายสุดของไซเล็มบริเวณขอบใบหรือปลายใบ โดยครูอาจนำรูปรูหยาดน้ำจากอินเทอร์เน็ตมาให้นักเรียนศึกษาเพื่อประกอบการอธิบาย จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



การคายน้ำและกัตเตชันเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



เหมือนกัน โดยเป็นการสูญเสียน้ำของพืช แต่แตกต่างกันในรูปของน้ำและตำแหน่งที่สูญเสียน้ำ โดยการคายน้ำพืชจะสูญเสียน้ำในรูปของไอน้ำ เกิดขึ้นผ่านทางปากใบเป็นหลัก ในขณะที่กัตเตชันพืชจะสูญเสียน้ำในรูปหยดน้ำผ่านทางรูหยาดน้ำ

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำในไซเล็มว่าน้ำจะเคลื่อนที่จากรากขึ้นสู่ด้านบนโดยอาศัยการซึมตามรูเล็ก แรงดึงดูดจากการคายน้ำ และความดันราก โดยร่วมกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้ำกับผนังท่อของไซเล็มเรียกว่า แรงแอดฮีชัน และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันเรียกว่า แรงโคฮีชัน จึงสามารถดึงน้ำขึ้นไปในท่อไซเล็มได้เป็นสายไม่ขาดตอน

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- กลไกการลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่ราก และการลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช จากการอธิบาย การอภิปราย การตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และการทำแบบฝึกหัด

ด้านทักษะ

- การสังเกต จากการอธิบาย การอภิปราย และการทำแบบฝึกหัด

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณ์ญาณ จากการอภิปรายและพฤติกรรมในการตอบคำถามในชั้นเรียน

10.2 การแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล สืบเกิดการคายน้ำของพืช และอธิบายการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืชผ่านทางปากใบ
2. อธิบายและยกตัวอย่างปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างภายในของใบพืช โดยใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่าจากโครงสร้างภายในของใบพืชที่ได้ศึกษามาแล้ว เซลล์คุมอยู่บริเวณชั้นเนื้อเยื่อใด มีหน้าที่อะไร และมีความสำคัญอย่างไร ซึ่งนักเรียนควรตอบได้ว่าเซลล์คุมอยู่บริเวณเนื้อเยื่อเอพิเดอร์มิส ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเปิดปิดปากใบซึ่งเป็นช่องทางหลักในการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช มีความสัมพันธ์กับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงรวมถึงการลำเลียงน้ำ ซึ่งนักเรียนได้ศึกษามาแล้ว

จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.1 เพื่อศึกษาปากใบและการคายน้ำของพืช



กิจกรรม 10.1 ปากใบของพืชกับการคายน้ำ

จุดประสงค์

1. อธิบายลักษณะของเซลล์คุม รูปากใบ และเซลล์เอพิเดอร์มิสที่ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์
2. สังเกตและเปรียบเทียบจำนวนปากใบที่เอพิเดอร์มิสด้านบนและเอพิเดอร์มิสด้านล่างของใบพืช และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปากใบกับการคายน้ำของพืช

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

1 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ต้นขบหาหรือกิ่งขบหา	1 ต้น หรือ 1 กิ่ง
2. ใบของพืชกลุ่มต่างๆ ได้แก่ ● พืชบก เช่น ถั่ว กุหลาบ ข้าวโพด ว่านกาบหอย หัวใจม่วง ชะพลู พลับพลึงตีนเป็ด สับปะรดสี ลีลาวดี ● พืชที่ใบปรึมน้ำ เช่น บัวสาย ● พืชที่ใบอยู่ใต้น้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก	ใบของพืชบก พืชที่ใบปรึมน้ำ และพืชที่ใบอยู่ใต้น้ำอย่างละ 1-2 ชนิด ชนิดละ 3-5 ใบ
3. ใบมีดโกน	3 ใบ
4. ฟูกัน เข็มเย็บ ปากคีบ	2 ชุด
5. จานเพาะเชื้อ หลอดหยด	2 ชุด
6. น้ำ	1 ขวด
7. ทิชชู	1 ม้วน
8. น้ำยาทาเล็บชนิดใสไม่มีสี	1 ขวด
9. สไลด์และกระจกปิดสไลด์	10 ชุด
10. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	1 กล้อง

การเตรียมการล่วงหน้า

ครูเตรียมต้นขบหาหรือตัดกิ่งขบหาโดยให้รอยตัดยังแช่อยู่ในน้ำ เพื่อนำมาให้นักเรียนศึกษาการคายน้ำ และมอบหมายให้นักเรียนนำใบของพืชกลุ่มต่างๆ มาศึกษาปากใบในชั้นเรียน ทั้งพืชบก เช่น ถั่ว กุหลาบ ข้าวโพด ว่านกาบหอย หัวใจม่วง ชะพลู พลับพลึงตีนเป็ด สับปะรดสี ลีลาวดี พืชที่ใบปรึมน้ำ เช่น บัวสาย และพืชที่ใบอยู่ใต้น้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก เป็นต้น

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ในการทำกิจกรรมตอนที่ 2 ครูอาจสาธิตวิธีการลอกเยื่อผิวใบให้นักเรียนดูเป็นตัวอย่างก่อนให้นักเรียนลงมือปฏิบัติ ในกรณีที่พืชบางชนิดอาจลอกผิวใบได้ยาก ครูอาจแนะนำให้นักเรียนใช้ยาทาเล็บชนิดใส ไม่มีสี ในการป้ายที่ผิวใบพืชเพื่อลอกผิวใบมาศึกษา และในการเปรียบเทียบ

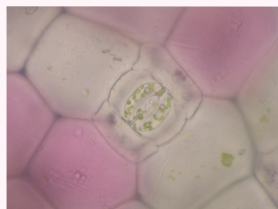
จำนวนปากใบของพืช นักเรียนไม่จำเป็นต้องนับจำนวนปากใบ แต่ให้ประมาณจากสิ่งที่เห็นว่าความหนาแน่นของปากใบบริเวณผิวใบด้านบนและผิวใบด้านล่างมีความแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

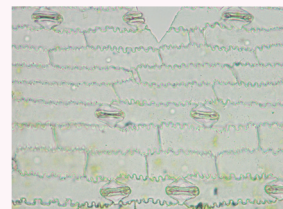
ในการทำกิจกรรมตอนที่ 1 จากการอภิปรายผลของตัวอย่างการทดลอง นักเรียนควรได้ข้อสรุปว่าชบามีการคายน้ำที่บริเวณผิวใบด้านบนและผิวใบด้านล่าง เนื่องจากกระดาศโคบอลต์คลอไรด์เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีชมพู และสรุปได้ว่าในเวลาที่เหมาะสมผิวใบด้านล่างมีการคายน้ำมากกว่าผิวใบด้านบน เนื่องจากในนาที่ที่ 10 กระดาศโคบอลต์คลอไรด์ที่ผิวใบด้านล่างเริ่มสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนเป็นสีชมพู ส่วนผิวใบด้านบนยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

ในการทำกิจกรรมตอนที่ 2 จากการลอกผิวใบเพื่อนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จะสังเกตเห็นเซลล์ผิว เซลล์คุม และเซลล์ข้างเคียงเซลล์คุมซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าผิวใบที่ได้จากการใช้น้ำยาทาเล็บจะไม่เห็นคลอโรพลาสต์ในเซลล์คุม เนื่องจากการใช้น้ำยาทาเล็บไม่ใช่การลอกเซลล์ในเอพิเดอร์มิสมาศึกษา แต่เป็นการศึกษารอยประทับของเซลล์ในเอพิเดอร์มิสเท่านั้น จึงไม่เห็นคลอโรพลาสต์ซึ่งอยู่ภายในเซลล์คุม ดังรูป

ลักษณะผิวใบที่ได้จากการลอกเนื้อเยื่อเอพิเดอร์มิส

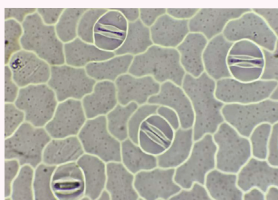


ว่านกาบหอย

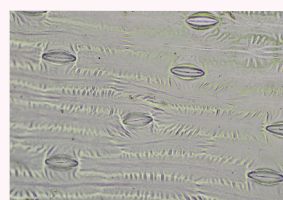


ข้าวโพด

ลักษณะผิวใบที่ได้จากการใช้น้ำยาทาเล็บ



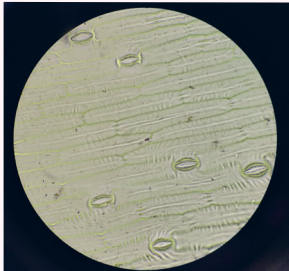
บัวเมซอน



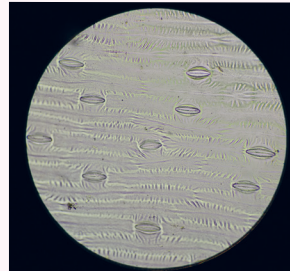
พลับพลึงดินเป็ด

โดยความหนาแน่นของปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิสด้านบนกับเอพิเดอร์มิสด้านล่างของพืชชนิดเดียวกันอาจแตกต่างกัน ดังรูป

ลักษณะลักษณะผิวใบของพลับพลึงตีนเป็ดที่กำลังขยาย 400 เท่า



เอพิเดอร์มิสด้านบน



เอพิเดอร์มิสด้านล่าง

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? นักเรียนสรุปเกี่ยวกับการคายน้ำของชบาจากการเปลี่ยนสีของกระดาษโคบอลต์คลอไรด์ได้อย่างไร

 เนื่องจากการเปลี่ยนสีของกระดาษโคบอลต์คลอไรด์สัมพันธ์กับความชื้น จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนสีของกระดาษโคบอลต์คลอไรด์ที่ผิวใบด้านบนและผิวใบด้านล่างของชบา มีความเร็วแตกต่างกัน โดยผิวใบด้านล่างมีการเปลี่ยนสีของกระดาษโคบอลต์คลอไรด์เร็วกว่า จึงสรุปได้ว่าชบามีการคายน้ำที่ผิวใบด้านล่างมากกว่าผิวใบด้านบน

? เซลล์คุมแตกต่างจากเซลล์อื่น ๆ ในชั้นเอพิเดอร์มิสอย่างไร

 แตกต่างคือ เซลล์คุมมีรูปร่างคล้ายไต โดยจะมี 2 เซลล์ ประกบกันเป็นคู่ทางด้านกว้าง หรือในพืชบางชนิดอาจพบเซลล์คุมรูปร่างคล้ายดัมเบล 2 เซลล์ มาประกบกัน ทำให้เกิดเป็นช่องตรงกลาง เรียกช่องนี้ว่า รูปากใบ ภายในเซลล์คุมมีคลอโรพลาสต์ จึงมักเห็นเซลล์คุมเป็นสีเขียว แต่เซลล์เอพิเดอร์มิสทั่วๆ ไปมักไม่มีคลอโรพลาสต์และจะมีลักษณะค่อนข้างเหลี่ยมหรือบางเซลล์มีลักษณะมีรอยหยัก นอกจากนี้อาจเห็นเอพิเดอร์มิสบางเซลล์มีลักษณะเป็นเส้น เรียก ขน (hair)

? ความหนาแน่นของปากใบขาสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสีของกระดาษโคบอลต์คลอไรด์อย่างไร

 ความหนาแน่นของปากใบขาสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสีของกระดาษโคบอลต์คลอไรด์ โดยเมื่อทดสอบด้วยกระดาษโคบอลต์คลอไรด์กับใบขา พบว่าผิวใบด้านล่างซึ่งมีความหนาแน่นของปากใบมากกว่า กระดาษโคบอลต์คลอไรด์จะเปลี่ยนสีเร็วกว่าบริเวณผิวใบด้านบนซึ่งมีความหนาแน่นของปากใบน้อยกว่า

? ความหนาแน่นของปากใบที่เอพิเดอร์มิสด้านบนและเอพิเดอร์มิสด้านล่างของพืชชนิดเดียวกัน แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

 แตกต่างกัน โดยที่เอพิเดอร์มิสด้านบนอาจมีความหนาแน่นของปากใบมากกว่าหรือน้อยกว่าที่เอพิเดอร์มิสด้านล่างก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ถ้าเป็นพืชบกโดยทั่วไป อาจมีจำนวนปากใบอยู่ที่เอพิเดอร์มิสด้านล่างมากกว่าเอพิเดอร์มิสด้านบน เช่น ขบา หัวใจม่วง ข้าวโพด เป็นต้น หรือบางชนิดอาจไม่พบปากใบที่เอพิเดอร์มิสด้านบน ส่วนพืชน้ำที่มีใบปริ่มน้ำ เช่น บัวสาย พบปากใบเฉพาะที่เอพิเดอร์มิสด้านบน ในขณะที่พืชน้ำที่ใบอยู่ใต้น้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก ไม่พบปากใบ

จากการทำกิจกรรมครูให้นักเรียนอภิปรายและสรุปร่วมกัน ซึ่งนักเรียนควรอธิบายได้ว่าพืชมีการคายน้ำผ่านทางปากใบ โดยปากใบประกอบด้วยเซลล์คุมและรูปากใบ พืชแต่ละชนิดอาจมีจำนวนปากใบและลักษณะของเซลล์คุมแตกต่างกันไป ซึ่งสัมพันธ์กับการคายน้ำและลักษณะการดำรงชีวิตของพืช

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ

? มีผู้ทำการศึกษาความหนาแน่นของปากใบพืช 3 ชนิด ได้แก่ ลีลาวดีซึ่งเป็นพืชบก บัวสายซึ่งเป็นพืชน้ำที่มีใบปรึมน้ำ และสับปะรดสีซึ่งเป็นพืชทนแล้ง ได้ผลดังตาราง สัดส่วนของความหนาแน่นของปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิสด้านบนและเอพิเดอร์มิสด้านล่างสัมพันธ์กับการคายน้ำและลักษณะการดำรงชีวิตของพืชหรือไม่ อย่างไร

ชนิดพืช	ตำแหน่ง เอพิเดอร์มิส	ตำแหน่ง ของบริเวณที่ศึกษา	จำนวนปากใบ ในขอบเขตที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยจำนวนปากใบ ในขอบเขตที่ศึกษา
ลีลาวดี	ด้านบน	1	0	0
		2	0	
		3	0	
	ด้านล่าง	1	33	35
		2	37	
		3	34	
บัวสาย	ด้านบน	1	38	37
		2	30	
		3	42	
	ด้านล่าง	1	0	0
		2	0	
		3	0	
สับปะรดสี	ด้านบน	1	0	0
		2	0	
		3	0	
	ด้านล่าง	1	5	6
		2	6	
		3	6	

 ความหนาแน่นของปากใบจะบอกถึงอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืช ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะการดำรงชีวิตของพืช ดังนี้

- สีสาวดีซึ่งเป็นพืชบกทั่วไป เอพิเดอร์มิสด้านล่างมีความหนาแน่นของปากใบมาก แต่ไม่พบปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิสด้านบน เนื่องจากพืชบกอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแก๊สต่าง ๆ และความชื้นในบรรยากาศน้อย การมีปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิสที่ผิวใบด้านบนน้อยจะช่วยลดการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ
- บัวสายซึ่งเป็นพืชน้ำที่มีใบปรึมน้ำ เอพิเดอร์มิสด้านบนมีความหนาแน่นของปากใบมาก ส่วนเอพิเดอร์มิสด้านล่างไม่มีปากใบ เนื่องจากพืชน้ำได้รับน้ำอยู่ตลอดเวลา แต่ได้รับแก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำน้อย การมีรูปากใบที่เอพิเดอร์มิสด้านบนมากจะช่วยให้การคายน้ำเกิดได้รวดเร็ว และทำให้ได้รับแก๊สจากบรรยากาศมาก
- สับปะรดสีซึ่งเป็นพืชทนแล้ง มีปากใบน้อยเมื่อเทียบกับพืชบกทั่วไปและพืชน้ำ โดยไม่พบปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิสด้านบนเลย เนื่องจากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง การมีปากใบน้อยจะช่วยให้ลดการสูญเสียน้ำ นอกจากนี้ปากใบของพืชทนแล้งยังมักจะฝังตัวลึกกว่าระดับชั้นเนื้อเยื่อเอพิเดอร์มิส ผิวใบทั้งด้านบนและด้านล่างยังมีสารคิวทินเคลือบอยู่ พืชทนแล้งจึงมีสภาพโครงสร้างของใบเหมาะสมที่จะทำให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยสูญเสียให้น้ำน้อยที่สุด

10.2.1 กลไกการเปิดปิดปากใบ

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 10.7 ในหนังสือเรียนเกี่ยวกับลักษณะของปากใบในเวลากลางวันและกลางคืน แล้วใช้คำถามในหนังสือเรียนถามนักเรียนว่าการเปิดและปิดของปากใบเกิดขึ้นได้อย่างไร คำตอบที่ได้อาจยังไม่ถูกต้อง ครูควรรวบรวมคำตอบของนักเรียน จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการเปิดปิดปากใบของใบพืชจากหนังสือเรียน และรูป 10.8 และ 10.9 ในหนังสือเรียน โดยมีคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้น ดังนี้

- การเปิดปิดปากใบเป็นผลมาจากอะไร
- ลักษณะของเซลล์คุมสัมพันธ์กับการเปิดปิดปากใบอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลนักเรียนควรอธิบายได้ว่าการเปิดปิดปากใบของพืชเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความต่งของเซลล์คุม ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์คุม โดยความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์คุมจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนที่เข้าและออกของโพแทสเซียมไอออน หรือสารต่าง ๆ และการสะสมของซูโครส โดยในเวลาเช้าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์คุมสูงขึ้นส่งผลให้น้ำมีการเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ จนทำให้เซลล์คุมเต่ง เซลล์คุมจะโค้งตัวและทำให้ปากใบเปิด เมื่อถึงเวลาเย็นความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์คุมต่ำลงส่งผลให้น้ำมีการเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ ทำให้เซลล์คุมสูญเสียความต่ง เซลล์คุมจะแนบกันสนิท นั่นคือปากใบปิด ทั้งนี้ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมว่า นอกจากโพแทสเซียมไอออนและซูโครสแล้ว การเปลี่ยนแปลงความต่งของเซลล์คุมยังมีไอออนและสารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอีกหลายชนิด

10.2.2 การแลกเปลี่ยนแก๊ส

ครูนำเข้าสู่เนื้อหาเพื่อให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของการแลกเปลี่ยนแก๊สที่มีต่อการดำรงชีวิตของพืช โดยใช้คำถาม ดังนี้

- แก๊สที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการหายใจระดับเซลล์มีอะไรบ้าง
- พืชได้รับ CO_2 และ O_2 มาจากแหล่งใด

นักเรียนควรตอบได้ว่าแก๊สที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคือ CO_2 และแก๊สที่พืชใช้ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์คือ O_2 โดยพืชจะได้รับ CO_2 จากกระบวนการหายใจระดับเซลล์ และ O_2 จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้พืชยังได้รับ CO_2 และ O_2 จากการแลกเปลี่ยนแก๊สกับบรรยากาศ

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับบรรยากาศจากหนังสือเรียนและรูป 10.10 ในหนังสือเรียน ซึ่งนักเรียนควรอธิบายได้ว่า พืชมีการแลกเปลี่ยนแก๊สกับบรรยากาศผ่านทางปากใบ เมื่อความเข้มข้นของแก๊สในอากาศภายนอกแตกต่างจากภายในใบพืช แก๊สจะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ การแลกเปลี่ยนแก๊สมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชเนื่องจากพืชต้องใช้แก๊สในกระบวนการต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง มีการใช้ CO_2 และมีการสร้าง O_2 ส่วนกระบวนการหายใจระดับเซลล์มีการใช้ O_2 และมีการสร้าง CO_2 ซึ่งความเข้มข้นของแก๊สเหล่านี้ในเซลล์พืชมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดกระบวนการเหล่านี้ และนำไปสู่การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับบรรยากาศ

ครูอาจใช้คำถามเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน ดังนี้

- ถ้าความเข้มข้นของ CO_2 ในใบพืชต่ำกว่าในบรรยากาศ การแพร่ของ CO_2 ระหว่างใบพืชกับบรรยากาศจะเป็นอย่างไร
- ✎ เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ในใบพืชต่ำกว่าในบรรยากาศ ดังนั้น CO_2 จึงแพร่จากอากาศภายนอกเข้าสู่ใบพืช
- ในขณะที่พืชมีอัตราการหายใจระดับเซลล์สูงและมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำ จนทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 ในใบพืชสูงกว่าในบรรยากาศและความเข้มข้นของ O_2 ในใบพืชต่ำกว่าในบรรยากาศ การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างใบพืชกับบรรยากาศจะเป็นอย่างไร
- ✎ เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ในใบพืชสูงกว่าในบรรยากาศ การแลกเปลี่ยน CO_2 จะเกิดขึ้นโดย CO_2 แพร่จากใบพืชออกสู่อากาศภายนอก และในขณะเดียวกันเมื่อความเข้มข้นของ O_2 ในใบพืชต่ำกว่าในบรรยากาศ การแลกเปลี่ยน O_2 จะเกิดขึ้นโดย O_2 แพร่จากอากาศภายนอกเข้าสู่ใบพืช

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมว่า พืชบางชนิดจะเปิดปากใบในเวลากลางคืนและมีการแลกเปลี่ยนแก๊สกับบรรยากาศ ทำให้ได้ CO_2 ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่เนื่องจากในเวลากลางคืนไม่มีแสง พืชเหล่านั้นจึงมีกระบวนการตรึง CO_2 เก็บไว้ในรูปอื่น และในเวลากลางวันที่มีแสงจึงมีกระบวนการเปลี่ยนสารที่เก็บไว้มาเป็น CO_2 เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้แม้ปากใบจะปิด ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษารายละเอียดในเรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนแก๊สในพืช ซึ่งนักเรียนควรอธิบายได้ว่าการเปิดปิดของปากใบเป็นกลไกสำคัญสำหรับการแลกเปลี่ยนแก๊สของพืช โดยในระหว่างที่ปากใบเปิด พืชจะมีการคายน้ำซึ่งส่งผลให้เกิดแรงดึงจากการคายน้ำ พืชจำเป็นต้องได้รับแก๊สจากอากาศมาใช้ในการบวนการต่าง ๆ ในการดำรงชีวิต ครูให้ความรู้เพิ่มเติมแก่นักเรียนว่า พืชยังอาจมีการแลกเปลี่ยนแก๊สกับอากาศผ่านทางช่องทางอื่น ๆ นอกจากปากใบ เช่น ผ่านทางรอยแผลที่เปลือกของลำต้นหรือรากหรือผ่านทางเลนทิเซล ดังรูป 10.11 ในหนังสือเรียน จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียน



ตรวจสอบความเข้าใจ

- ?** จากการทำกิจกรรม 10.1 ในระหว่างที่กระดาศโคบอลต์คลอไรด์เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีชมพู การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างใบพืชกับบรรยากาศเกิดขึ้นหรือไม่ อย่างไร
-  ในระหว่างที่กระดาศโคบอลต์คลอไรด์เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีชมพู แสดงว่าพืชมีการเปิดปากใบซึ่งทำให้เกิดการคายน้ำและการแลกเปลี่ยนแก๊ส การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างใบพืชและบรรยากาศจะเกิดขึ้นโดยแก๊สจะมีการแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำผ่านทางปากใบ

10.2.3 การคายน้ำ

ครูให้ความรู้กับนักเรียนว่า พืชคายน้ำผ่านทางปากใบเป็นส่วนใหญ่ เกิดขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่าภายในใบพืช โดยการคายน้ำทำให้เกิดแรงดึงจากการคายน้ำซึ่งช่วยในการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารของพืช และช่วยในการรักษาอุณหภูมิของใบพืช จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช โดยครูใช้คำถามดังนี้

- ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช และปัจจัยเหล่านั้นมีผลอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลและอภิปรายร่วมกันนักเรียนควรสรุปได้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์ ลม อุณหภูมิ ปริมาณน้ำในดิน และความเข้มแสง เป็นปัจจัยหรือสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่อการเปิดปิดของปากใบและการคายน้ำของพืช นอกจากนี้ครูอาจใช้คำถามชวนคิดในหนังสือเรียนถามนักเรียนเพิ่มเติม ดังนี้



ชวนคิด

? พืชทั่วไปเมื่ออยู่ในบริเวณที่มี CO_2 สูงกว่าปกติ จะทำให้พืชเปิดรูปากใบแคบลง การที่ปัจจุบันบรรยากาศของโลกมี CO_2 ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น การคายน้ำของพืชจะได้รับผลกระทบอย่างไร

 อาจส่งผลให้พืชเปิดรูปากใบแคบลง การคายน้ำของพืชอาจลดลงและอาจทำให้พืชใช้น้ำน้อยลง แต่ในขณะเดียวกันการคายน้ำของพืชยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ หลายปัจจัย ซึ่งในขณะที่แก๊สเรือนกระจกเพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศสูงขึ้น โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและการเปิดปิดของปากใบ หากอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นการคายน้ำอาจเพิ่มมากขึ้นได้เช่นกัน

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- การแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืชผ่านทางปากใบ และปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช จากการตอบคำถามท้ายกิจกรรม การอธิบาย การอภิปราย และการทำแบบฝึกหัด

ด้านทักษะ

- การสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูล จากการทำกิจกรรมและการอภิปราย
- ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรมและการอภิปราย

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความซื่อสัตย์ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม การตอบคำถาม และการอภิปรายในชั้นเรียน

10.3 การลำเลียงธาตุอาหาร

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงธาตุอาหารของพืช
2. สืบค้นข้อมูลและอธิบายความสำคัญของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช
3. ยกตัวอย่างธาตุอาหารที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และยกตัวอย่างการนำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่เนื้อหาเพื่อให้นักเรียนเห็นถึงบทบาทของธาตุอาหารที่มีต่อการดำรงชีวิตของพืช โดยอาจยกตัวอย่างโพแทสเซียมไอออนซึ่งมีบทบาทต่อการเปิดปิดปากใบของพืชดังที่นักเรียนได้ศึกษามาแล้ว และใช้คำถามถามนักเรียน ดังนี้

- โพแทสเซียมไอออนมีบทบาทในการเปิดปิดปากใบอย่างไร
- พืชได้รับโพแทสเซียมไอออนมาจากแหล่งใด
- นอกจากโพแทสเซียมแล้วมีธาตุอาหารชนิดอื่นอีกหรือไม่ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช

จากการอภิปรายร่วมกันของนักเรียนครูได้ข้อสรุปว่าธาตุอาหาร เช่น โพแทสเซียม มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืช ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชมีหลายชนิดโดยทั่วไปพืชจะได้รับธาตุอาหารเหล่านี้จากดินผ่านทางราก นักเรียนจะได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารเข้าสู่รากพืช รวมถึงความสำคัญของธาตุอาหารที่มีต่อการดำรงชีวิตของพืชในหัวข้อนี้

10.3.1 การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารเข้าสู่พืช

ครูทบทวนความรู้นักเรียนเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่รากพืช จากนั้นถามนักเรียนว่า

- ธาตุอาหารสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่รากพืชด้วยวิธีการเดียวกับน้ำหรือไม่
- น้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยออสโมซิสรวมทั้งการแพร่แบบฟาซิลิเทต แล้วธาตุอาหารเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยวิธีใด

ครูให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้อื่นๆ เพื่อหาคำตอบ ซึ่งนักเรียนควรอธิบายได้ว่า การลำเลียงธาตุอาหารในพืชมีความซับซ้อนกว่าการลำเลียงน้ำ น้ำสามารถ

แพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยออสโมซิสหรือการแพร่แบบฟาซิลิเทต ในขณะที่ธาตุอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และเข้าสู่เซลล์พืชได้ต้องอาศัยโปรตีนลำเลียงบนเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งธาตุอาหารแต่ละชนิดมีกลไกในการเข้าสู่เซลล์พืชแตกต่างกันออกไป ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมโดยทบทวนเกี่ยวกับสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์และการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ซึ่งนักเรียนได้ศึกษามาแล้ว



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

พืชสามารถได้รับธาตุอาหารบางชนิดทางใบได้ โดยธาตุอาหารนั้นจะต้องอยู่ในรูปสารละลายที่มีส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งช่วยในการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารเข้าสู่ใบพืช ธาตุอาหารจะเข้าสู่เซลล์ที่ใบของพืชจากการแพร่ผ่านคิวทิเคิลและปากใบ

10.3.2 ความสำคัญของธาตุอาหาร

ครูใช้คำถามเพื่อนำนักเรียนเข้าสู่เนื้อหาว่าธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีอะไรบ้าง ซึ่งคำตอบของนักเรียนอาจมีได้หลากหลาย และอาจตอบในสิ่งที่ไม่ใช่ธาตุอาหาร ครูควรรวบรวมคำตอบของนักเรียนเพื่อสรุปและปรับเปลี่ยนแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากหนังสือเรียน โดยใช้ตาราง 10.1 และรูป 10.12 เพื่อประกอบการสืบค้นโดยใช้คำถามเพื่อนำการสืบค้น ดังนี้

- การแบ่งกลุ่มธาตุอาหารสำหรับพืชสามารถแบ่งโดยใช้เกณฑ์ใดบ้าง
- ถ้าพืชขาดธาตุอาหารจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างไร

จากการสืบค้นนักเรียนควรสรุปได้ว่า พืชต้องการธาตุอาหารหลายชนิดในการดำรงชีวิต โดยต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณที่ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ธาตุอาหารแต่ละชนิดยังมีบทบาทหน้าที่แตกต่างกันออกไป การแบ่งกลุ่มธาตุอาหารสามารถทำได้โดยใช้เกณฑ์ต่างๆ กัน เช่น ปริมาณที่พืชต้องการ บทบาทหน้าที่ ธาตุอาหารแต่ละชนิดล้วนมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช หากพืชได้รับธาตุอาหารชนิดใดก็ตามในปริมาณที่มากกว่าหรือน้อยกว่าความต้องการจะทำให้พืชแสดงอาการต่างๆ กัน นอกจากนี้ครูอาจถามนักเรียนเพิ่มเติมว่า

- เพราะเหตุใดจึงต้องใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นพืช

 เพราะดินอาจมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช การใส่ปุ๋ยให้แก่พืชจะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดิน

จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.2 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช



กิจกรรม 10.2 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับชนิดของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช
2. สืบค้นข้อมูลและอธิบายอาการของพืชเมื่อขาดธาตุอาหาร

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

1 ชั่วโมง

แนวการจัดกิจกรรม

1. ครูให้นักเรียนศึกษารูป 10.12 ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนสังเกตอาการของต้นแตงกวาที่แสดงออกเมื่อขาดธาตุอาหารที่แตกต่างกัน จากนั้นครูนำเข้าสู่กิจกรรมโดยถามนักเรียนว่าพืชแต่ละชนิดต้องการปริมาณและชนิดของธาตุอาหารแตกต่างกันหรือไม่ เมื่อพืชแต่ละชนิดได้รับธาตุอาหารน้อยเกินไปจะแสดงอาการเหมือนกันหรือไม่
2. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มสืบค้นข้อมูลและเลือกพืชในท้องถิ่นหรือพืชที่นักเรียนสนใจเพื่อทำการศึกษาในหัวข้อ ดังนี้
 - ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช
 - ชนิดของพืชที่นักเรียนเลือกศึกษา และเหตุผลที่นักเรียนเลือกพืชชนิดดังกล่าว
 - อาการเมื่อพืชที่นักเรียนเลือกได้รับธาตุอาหารบางชนิดน้อยเกินไป โดยนักเรียนอาจไม่จำเป็นต้องสืบค้นข้อมูลของธาตุอาหารทุกชนิด
 - แนวทางในการแก้ไขการขาดธาตุอาหารของพืช
3. ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลนอกชั้นเรียน โดยครูอาจแนะนำให้นักเรียนเลือกพืชที่มีข้อมูลการศึกษาแล้วพอสมควร เช่น ข้าว ทุเรียน มะนาว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและน่าเชื่อถือ ทั้งนี้ครูควรแนะนำให้นักเรียนใช้แหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ เช่น เอกสารจากกรมวิชาการ เกษตร แหล่งเว็บไซต์ทางวิชาการ หรือให้ตัวอย่างคำที่ใช้สำหรับสืบค้น เช่น อาการขาดธาตุ

อาหารของพืช plant nutrient deficiency และกระตุ้นให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นมาวิเคราะห์ และจัดกระทำข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ รวมทั้งให้นักเรียนออกแบบรูปแบบการนำเสนอข้อมูล โดยอาจทำในรูปแบบของแผ่นพับ infographic โปสเตอร์ หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น ไฟล์นำเสนอด้วยโปรแกรม power point เพื่อประกอบการนำเสนอ

4. ครูให้นักเรียนนำเสนอข้อมูลตามที่นักเรียนได้ออกแบบไว้ โดยอาจใช้วิธีการเวียนฐาน การนำเสนอหน้าชั้นเรียน โดยในขั้นตอนนี้อาจใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของธาตุอาหาร และการนำความรู้เกี่ยวกับอาการของพืชเมื่อได้รับธาตุอาหารน้อยเกินไปมาใช้ประโยชน์ เช่น
 - อาการขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดของพืชที่นักเรียนศึกษาเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
 - อาการขาดธาตุอาหารชนิดนี้ในพืชที่นักเรียนศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่เพื่อนทำการศึกษามือเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
 - อาการขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดสัมพันธ์กับหน้าที่ของธาตุอาหารนั้นที่นักเรียนเคยรู้มาหรือไม่ อย่างไร
 - การขาดธาตุอาหารส่งผลอย่างไรต่อผลผลิตของพืชที่นักเรียนศึกษา
 - ความรู้เกี่ยวกับอาการขาดธาตุอาหารพืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
5. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปข้อมูล เพื่อให้เห็นว่าธาตุอาหารมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารน้อยเกินไปจะมีการแสดงอาการที่แตกต่างกันไปตามชนิดของธาตุอาหาร ซึ่งอาจเหมือนหรือแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

-  ถ้าพืชต่างชนิดขาดธาตุอาหารชนิดเดียวกัน พืชจะแสดงอาการเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ให้ระบุชนิดพืช ธาตุอาหาร และอาการที่พืชแสดงออก
-  คำตอบอาจมีได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นักเรียนทั้งห้องได้จากการทำกิจกรรม ทั้งนี้ นักเรียนควรสรุปได้ว่าอาการที่พืชแสดงออกจะใกล้เคียงกัน โดยอาจแตกต่างกันออกไปบ้างตามชนิดพืช เช่น เมื่อขาดไนโตรเจนพืชต่างๆ จะแสดงอาการ ดังนี้
- ข้าว จะมีอาการต้นแคระแกร็น แตกกอน้อย ใบแคบ ใบแก่มีสีเขียวปนเหลือง สีเหลือง และตายในที่สุด

- ฝ้าย ใบแก่จะมีสีเหลืองและมีจุดสีน้ำตาลอยู่ทั่วไป ขนาดใบเล็กกว่าปกติ
- มันสำปะหลัง จะมีลำต้นเล็ก เตี้ย เติบโตช้า ใบมีสีเขียวอ่อนหรือค่อนข้างเหลือง
- ส้ม ใบจะเหลืองแล้วหลุดร่วง โดยมักพบในใบแก่ก่อน
- ยางพารา ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือส้ม ปลายใบและขอบใบจะค่อย ๆ แห้ง โดยอาการเกิดที่ใบแก่หรือใบล่างก่อน ขนาดของใบจะเล็กกว่าปกติ

จากนั้นครูให้ข้อมูลเพิ่มเติมแก่นักเรียนเพื่อเฉลยคำถามชวนคิดในหนังสือเรียนว่าเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารบางชนิดในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลต่อพืชได้เช่นกัน พร้อมยกตัวอย่างอาการที่พืชจะแสดงออกเมื่อได้รับธาตุอาหารบางชนิดมากเกินไป เช่น เมื่อข้าวได้รับไนโตรเจนมากเกินไป จะแสดงอาการเหี่ยวใบหรือบ้าใบ ใบมีขนาดใหญ่ สีเขียวเข้ม ลำต้นสูง อ่อนแอ ล้มง่าย เมล็ดลีบ ผลผลิตลดลง หรือเมื่อได้รับเหล็กมากเกินไป จะพบจุดสีน้ำตาลที่ใบซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของลำต้น โดยเริ่มจากปลายใบเข้าสู่โคนใบ ต่อมาจุดเหล่านี้จะขยายขนาดและรวมกันเป็นจุดใหญ่ระหว่างเส้นใบ หากมีอาการรุนแรงการเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลในหนังสือเรียนและอภิปรายร่วมกัน โดยใช้คำถามดังนี้

- พืชแต่ละชนิดต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่เท่ากันหรือไม่
- ในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโต พืชต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดเท่ากันในทุกช่วงหรือไม่

จากการอภิปรายร่วมกัน นักเรียนควรสรุปได้ว่า พืชต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณไม่เท่ากัน และปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการยังแตกต่างกันไปในแต่ละระยะการเจริญเติบโตและแตกต่างกันไปตามชนิดพืช จากนั้นครูนำเข้าสู่เนื้อหาการปลูกพืชในสารละลายหรือไฮโดรพอนิกส์ โดยเชื่อมโยงกับชีวิตประจำวันว่า ถ้าหากต้องการปลูกพืชแต่ไม่มีพื้นที่เพียงพอที่จะปลูกพืชบนดินได้ หรือหากต้องการปลูกพืชโดยควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับนักเรียนคิดว่าจะมีวิธีใดบ้าง ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปเกี่ยวกับการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์ โดยครูอาจใช้รูปการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์หรือรูป 10.13 ในหนังสือเรียนเพื่อเป็นตัวอย่างให้นักเรียนดู จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

 เพราะเหตุใดจึงมีการบีบอากาศเติมลงในสารละลายธาตุอาหารในการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์  เป็นการให้ออกซิเจนแก่รากพืช เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เพราะหากรากพืชไม่ได้รับออกซิเจนเป็นเวลานาน พืชอาจจะตายได้

 ในการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์ ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการนำธาตุอาหารเข้าสู่รากพืช  รูปของธาตุอาหาร pH ของสารละลาย ออกซิเจน

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับประโยชน์ที่ได้จากการนำความรู้เรื่องธาตุอาหารพืชมาใช้ ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่า พืชต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณไม่เท่ากัน ปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการแตกต่างกันไปในแต่ละระยะการเจริญเติบโตและแตกต่างกันไปตามชนิดพืช การได้รับธาตุอาหารที่มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้พืชแสดงอาการต่าง ๆ ความรู้เรื่องธาตุอาหารสามารถนำมาใช้ทั้งในการแก้ปัญหาเมื่อพืชเกิดอาการผิดปกติจากการได้รับธาตุอาหารมากหรือน้อยเกินไป การเลือกใช้ปุ๋ย การวางแผนการปลูกพืช รวมทั้งการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- กลไกการลำเลียงธาตุอาหารของพืช จากการอธิบายและการอภิปราย
- ความสำคัญของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและการใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช จากการตอบคำถามท้ายกิจกรรม การอธิบาย การอภิปราย และการทำแบบฝึกหัด

ด้านทักษะ

- การสังเกต การจำแนกประเภท การลงความเห็นจากข้อมูล และการจัดกระทำสื่อ จากการทำกิจกรรม การอธิบาย และการอภิปราย
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการทำกิจกรรม
- ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรม

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณญาณ ความใจกว้าง และความซื่อสัตย์ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม การตอบคำถาม และการอภิปรายในชั้นเรียน

10.4 การลำเลียงอาหาร

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายกลไกการลำเลียงอาหารในพืช

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำตัวอย่างรูปพืชที่มีการสะสมอาหารบริเวณรากและลำต้นใต้ดิน เช่น แครอท มันแกว หัวไชเท้า เผือก มันฝรั่ง มาให้นักเรียนศึกษาและใช้คำถามดังนี้

- อาหารที่พืชสะสมในบริเวณที่ไม่ได้มีการสังเคราะห์ด้วยแสงมาจากแหล่งใด
- กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ใบ พืชมีการลำเลียงอาหารที่สร้างขึ้นไปยังส่วนต่างๆ ได้อย่างไร

จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า พืชบางชนิดมีการสะสมอาหารในบริเวณรากและลำต้นใต้ดิน อาหารเหล่านี้ได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ใบแล้วลำเลียงจากใบไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช นอกจากนี้ เซลล์ของเนื้อเยื่อพืช เช่น บริเวณรากและลำต้น ต้องการอาหาร เพื่อนำพลังงานที่ได้จากอาหารนั้นไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ด้วย กระบวนการในการลำเลียงอาหารจากใบไปยังส่วนต่างๆ นักเรียนอาจยังตอบไม่ได้ ครูควรรวบรวมคำตอบของนักเรียน โดยนักเรียนจะได้ศึกษาในเนื้อหา

10.4.1 การศึกษาการเคลื่อนย้ายอาหารในพืช

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับตำแหน่งของเนื้อเยื่อไซเล็มและโฟลเอ็มในลำต้นพืช แล้วให้นักเรียนศึกษาการทดลองของมัลพิจี และรูป 10.14 ในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



ส่วนของเปลือกลำต้นที่ถูกลอกออกควรจะเป็นเนื้อเยื่อชนิดใด



ส่วนของเปลือกลำต้นที่ถูกลอกออกควรจะเป็นบริเวณเนื้อเยื่อเอพิเดอร์มิส คอर्टเทกซ์ และโฟลเอ็มซึ่งเรียงตัวเป็นวงอยู่ทางด้านนอกของลำต้น



เพราะเหตุใดน้ำตาลจึงไม่สามารถลำเลียงผ่านมายังส่วนด้านล่างของลำต้นจนทำให้เกิดการพองของเปลือกลำต้นเหนือรอยควั่น



เนื่องจากการที่โฟลเอ็มถูกลอกออกทำให้ท่อที่เกิดจากการเรียงตัวของซีฟทิวบ์เมมเบอร์ในเนื้อเยื่อโฟลเอ็มถูกตัดขาดจากกัน น้ำตาลที่ถูกลำเลียงมาตามโฟลเอ็มจึงไม่สามารถไปสู่ลำต้นที่อยู่ด้านล่างและมาสะสมอยู่บริเวณเหนือรอยควั่น จนทำให้เกิดการพองของเปลือกลำต้นเหนือรอยควั่น

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ



ถ้าทำการทดลองโดยควั่นรอบเปลือกลำต้นอ้อยและลอกส่วนเปลือกบริเวณรอยควั่นออก จะได้ผลเช่นเดียวกับการทดลองนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด



ได้ผลแตกต่างกัน เพราะอ้อยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีเนื้อเยื่อลำเลียงกระจายอยู่ทั่วไปในลำต้น เมื่อควั่นเปลือกของลำต้นออกไปจึงยังสามารถลำเลียงอาหารผ่านเนื้อเยื่อโฟลเอ็มที่อยู่ด้านในของลำต้น จึงไม่เกิดการสะสมของอาหารบริเวณเหนือรอยควั่น

ครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมจากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่ทำการทดลองต่อมาและรูป 10.15 ในหนังสือเรียน พร้อมใช้คำถามถามนักเรียนว่า

- จากการทดลองนักเรียนจะสรุปการลำเลียงน้ำตาลของโฟลเอ็มว่ามีทิศทางการลำเลียงอย่างไร
- เมื่อใบสร้างอาหารแล้ว น้ำตาลที่ใบพืชที่อยู่ส่วนล่างของลำต้นจะลำเลียงสู่ส่วนล่างของลำต้น น้ำตาลที่ใบพืชที่อยู่ใกล้ปลายยอดจะถูกลำเลียงไปสู่บริเวณยอด ดังนั้นใบพืชที่อยู่ตรงกลางลำต้นเมื่อสร้างน้ำตาลแล้วจะสามารถลำเลียงน้ำตาลไปได้ทั้ง 2 ทิศทางคือ ทิศทางด้านบน ลำเลียงขึ้นไปสู่ส่วนยอดและทิศทางด้านล่างลำเลียงลงสู่ส่วนราก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าท่อโฟลเอ็มในพืชจะเชื่อมโยงติดต่อกันตลอดลำต้นพืช พืชจึงสามารถเคลื่อนย้ายอาหารไปได้ทุก ๆ ส่วนของต้นพืช

ครูและนักเรียนสรุปร่วมกันว่า พืชมีการลำเลียงอาหารผ่านโพลีเอม โดยมีการลำเลียงจากใบ ซึ่งเป็นแหล่งสร้างไปยังบริเวณแหล่งรับ โดยมีทิศทางการลำเลียงทั้งขึ้นไปสู่ยอดและลงสู่ราก โดยสารที่พบในโพลีเอมส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครส จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียน



ตรวจสอบความเข้าใจ



ในการศึกษาการลำเลียงน้ำตาลในโพลีเอมของต้นพืชที่มีเนื้อไม้โดยให้ $^{14}\text{CO}_2$ ทำการทดลองโดยตัดใบในแต่ละต้นออกให้เหลือเพียง 1 ใบ แล้วทำลายโพลีเอมที่ตำแหน่ง X และ/หรือตำแหน่ง Y ก่อนให้ $^{14}\text{CO}_2$ กับต้นพืช ดังรูป

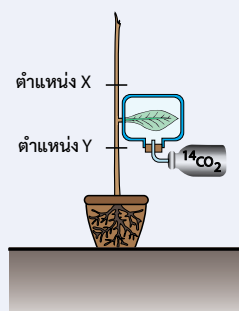
โดยทำการทดลอง 4 ชุด ดังนี้

การทดลองชุด ก. ไม่มีการทำลายโพลีเอม

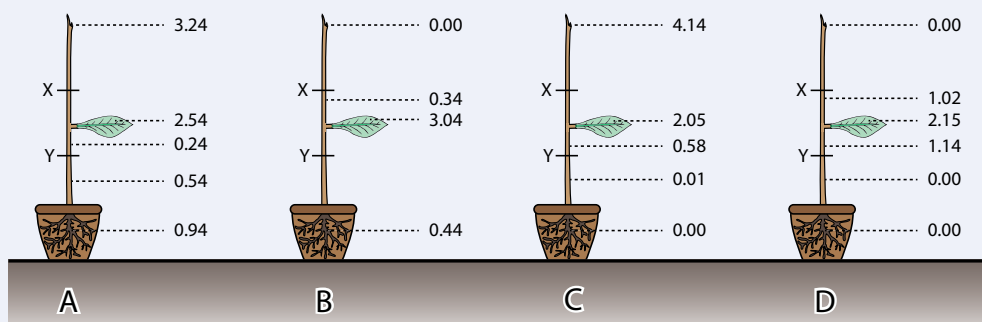
การทดลองชุด ข. ทำลายโพลีเอมที่ตำแหน่ง X

การทดลองชุด ค. ทำลายโพลีเอมที่ตำแหน่ง Y

การทดลองชุด ง. ทำลายโพลีเอมที่ตำแหน่ง X และ Y



จากนั้นตั้งชุดการทดลองให้ได้รับแสงแล้วตรวจสอบปริมาณสารประกอบที่มี ^{14}C ในตำแหน่งต่าง ๆ ของต้นพืช ได้ผลการทดลองที่แสดงปริมาณสารกัมมันตรังสี ^{14}C ในตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูป A, B, C และ D



ผลการทดลองที่ได้ในแต่ละรูปสัมพันธ์กับชุดการทดลองใด เพราะเหตุใด



ผลการทดลองที่ได้ในแต่ละรูปสัมพันธ์กับชุดการทดลองดังนี้

ผลการทดลอง A สัมพันธ์กับการทดลองชุด ก. เนื่องจากจากรูป A พบ ^{14}C ทั้งส่วนเหนือตำแหน่ง X และได้ตำแหน่ง Y แสดงว่า ไม่มีการทำลายโพลีเอมที่ตำแหน่ง X และตำแหน่ง Y

ผลการทดลอง B สัมพันธ์กับการทดลองชุด ข. เนื่องจากจากรูป B พบ ^{14}C ได้ตำแหน่ง Y แต่ไม่พบเหนือตำแหน่ง X แสดงว่า มีการทำลายโพลีเอมที่ตำแหน่ง X

ผลการทดลอง C สัมพันธ์กับการทดลองชุด ค. เนื่องจากจากรูป C พบ ^{14}C ส่วนเหนือตำแหน่ง X แต่ไม่พบได้ตำแหน่ง Y แสดงว่า มีการทำลายโพลีเอมที่ตำแหน่ง Y

ผลการทดลอง D สัมพันธ์กับการทดลองชุด ง. เนื่องจากจากรูป D ไม่พบ ^{14}C ทั้งส่วนเหนือตำแหน่ง X และได้ตำแหน่ง Y แสดงว่า มีการทำลายโพลีเอมทั้งที่ตำแหน่ง X และตำแหน่ง Y

10.4.2 กลไกการลำเลียงอาหาร

ครูใช้คำถามเพื่อนำนักเรียนเข้าสู่เนื้อหา ดังนี้

- การลำเลียงอาหารเหมือนหรือแตกต่างจากการลำเลียงธาตุอาหารหรือไม่ อย่างไร
- อาหารในโพลีเอมมีการเคลื่อนย้ายจากใบซึ่งเป็นบริเวณที่สร้างอาหารไปยังส่วนต่างๆ ของลำต้นได้อย่างไร

โดยครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันพร้อมทั้งศึกษาข้อมูลแบบจำลองการลำเลียงในโพลีเอมของมินซ์และรูป 10.16 ในหนังสือเรียน นักเรียนควรสรุปได้ว่า การลำเลียงอาหารแตกต่างจากการลำเลียงธาตุอาหาร โดยอาหารจะลำเลียงจากแหล่งสร้างไปแหล่งรับผ่านทางโพลีเอม ส่วนการลำเลียงธาตุอาหารส่วนใหญ่จะลำเลียงจากรากไปสู่ส่วนต่างๆ ของลำต้นผ่านทางไซเล็ม โดยอาหารที่พืชสร้างขึ้นบริเวณใบจะถูกลำเลียงเข้าทางซีฟทิวบ์ของโพลีเอม ซีฟทิวบ์ที่บริเวณแหล่งสร้างจึงมีความดันสูงขึ้นเนื่องจากน้ำจากเซลล์บริเวณข้างเคียงแพร่เข้ามา ทำให้สารละลายซึ่งมีซูโครสอยู่ถูกลำเลียงไปยังซีฟทิวบ์บริเวณแหล่งรับได้ และการลำเลียงอาหารจะเกิดขึ้นตลอดเวลาได้ เนื่องจากความแตกต่างของความดันระหว่างซีฟทิวบ์บริเวณแหล่งสร้างและซีฟทิวบ์บริเวณแหล่งรับ

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- กลไกการลำเลียงอาหารในพืช จากการอธิบาย การอภิปราย และการทำแบบฝึกหัด

ด้านทักษะ

- การสังเกตและการลงความเห็นจากข้อมูล จากการอธิบายและการอภิปราย
- การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการตอบคำถาม

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณญาณและความใจกว้างจากการพฤติกรรมในการตอบคำถามและการอภิปราย
ในชั้นเรียน

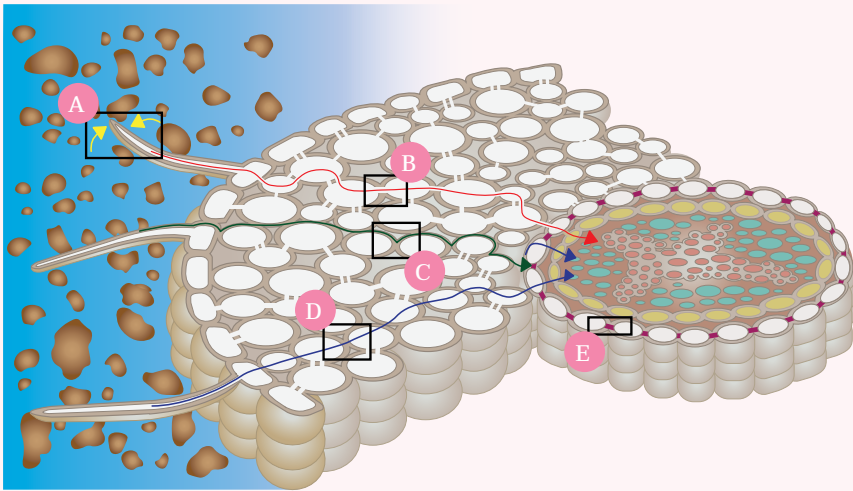


เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง
 -1.1 เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง พืชบางชนิดเกิดกัตเตชัน โดยพบหยดน้ำที่ขอบใบหรือปลายใบซึ่งผ่านออกมาทางเลนทิเซล
แก้ไขเป็น รูหยาดน้ำ
 -1.2 การลำเลียงอาหารในโฟลเอ็มจะลำเลียงในรูปของน้ำตาลกลูโคสไปยังส่วนต่างๆ ของพืชผ่านทางซีฟทิวบ์
แก้ไขเป็น ซูโครส
 -1.3 ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก พืชที่ขาดธาตุไนโตรเจนอย่างรุนแรงใบจะมีสีเหลืองทุกใบ
 -1.4 พืชลำเลียงน้ำผ่านทางไซเล็มซึ่งมีเซลล์ที่ทำหน้าที่ 2 ชนิด คือ ซีฟทิวบ์เมมเบอร์ และ เวสเซลเมมเบอร์
แก้ไขเป็น เทรคีด
 -1.5 การเปิดปิดของรูปากใบเกี่ยวข้องกับความเต่งของเซลล์คุมซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์คุมที่เกิดจากปริมาณ Na⁺ และซูโครส
แก้ไขเป็น K⁺

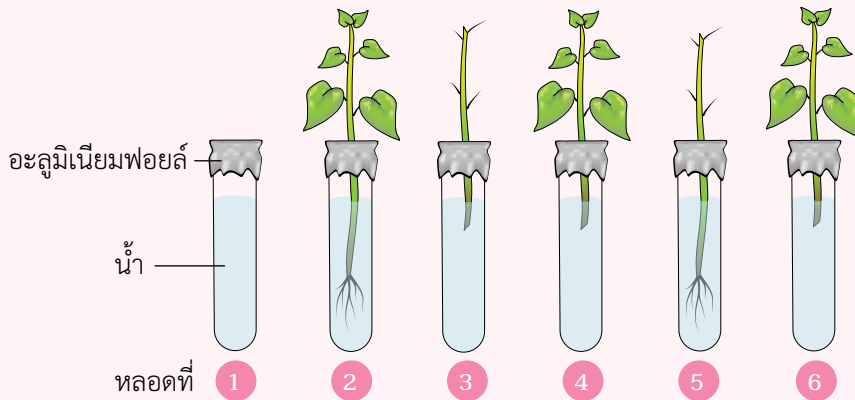
2. จาการูปการลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่เซลล์ขนราก และไปยังไซเล็ม จงเติมคำต่อไปนี้ลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

osmosis	Casparian strip	symplast pathway	apoplast pathway
cell wall	cell membrane	facilitated diffusion	transmembrane pathway
endodermis	plasmodesmata		



- A. น้ำในดินเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ขนรากผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยวิธี **osmosis** และ **facilitated diffusion**
- B. การลำเลียงน้ำแบบที่เรียกว่า **symplast pathway** เป็นการลำเลียงน้ำจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งผ่านทาง **plasmodesmata** เข้าสู่เซลล์ชั้นในจนถึงไซเล็ม
- C. การลำเลียงน้ำแบบที่เรียกว่า **apoplast pathway** เป็นการลำเลียงน้ำไปตาม **cell wall** หรือช่องว่างระหว่างเซลล์
- D. การลำเลียงน้ำแบบที่เรียกว่า **transmembrane pathway** เป็นการลำเลียงน้ำผ่าน **cell membrane** ของสองเซลล์ที่ติดกัน
- E. บริเวณผนังเซลล์ของเซลล์บางชนิดมีสารซูเบอรินมาสะสมเป็นแถบเล็ก ๆ เรียกว่า **Casparian strip** พบที่บริเวณ **endodermis** โดยสะสมที่ผนังเซลล์เกือบทุกด้าน ยกเว้นด้านที่ขนานกับเอพิเดอร์มิส ทำให้น้ำไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ด้านที่มีซูเบอรินสะสมอยู่ได้

3. จากการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดน้ำและการคายน้ำ โดยจัดชุดการทดลองดังรูป พืชที่นำมาทำการทดลองมีปากใบเฉพาะบริเวณใบเท่านั้น โดยพืชในหลอดที่ 3 และหลอดที่ 5 มีการตัดใบออกและเคลือบวาสลินที่รอยตัดทุกรอย แต่พืชในหลอดที่ 6 เคลือบรอยตัดของลำต้นที่อยู่ใต้น้ำ บันทึกผลการทดลองโดยวัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงหลังการทดลอง



3.1 ผลการทดลองควรเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

- หลอดที่ 2 และ 4 ระดับน้ำในหลอดทดลองจะลดลง เนื่องจากการคายน้ำผ่านทางปากใบ
หลอดที่ 1, 3, 5 และ 6 ระดับน้ำในหลอดไม่ลดลง เนื่องจาก
- หลอดที่ 1 ปากหลอดถูกปิด น้ำจึงไม่สามารถระเหยสู่บรรยากาศ
 - หลอดที่ 3 และ 5 ถูกตัดใบออก จึงไม่สามารถคายน้ำผ่านทางปากใบได้ และส่วนของรอยตัดถูกเคลือบด้วยวาสลิน น้ำจึงไม่สามารถออกสู่บรรยากาศผ่านทางรอยตัดได้เช่นกัน
 - หลอดที่ 6 รอยตัดของลำต้นที่อยู่ใต้น้ำถูกเคลือบด้วยวาสลินเช่นกัน น้ำจึงไม่สามารถเข้าสู่ลำต้นเพื่อออกสู่บรรยากาศได้

3.2 เพราะเหตุใดจึงต้องทำการทดลองในหลอดที่ 1 และหลอดที่ 2

- เพื่อยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการคายน้ำของต้นพืช ไม่ใช่จากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ

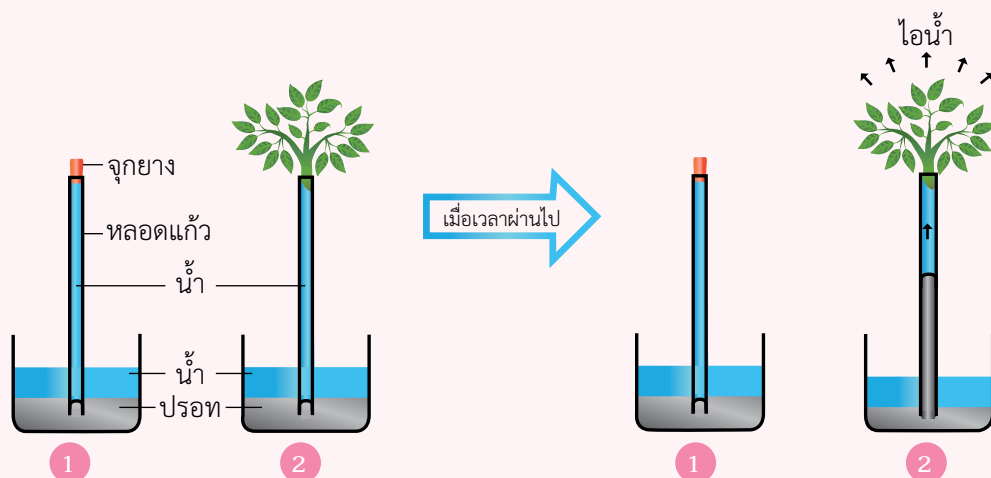
3.3 ถ้าจะทำการทดลองในลักษณะนี้ตรวจสอบว่าแสงมีผลต่อการคายน้ำหรือไม่ จะดัดแปลงการทดลองนี้อย่างไร

✎ ทำการทดลอง 2 ชุดการทดลอง โดยจัดเฉพาะหลอดทดลองที่ 1 และ 2 ในแต่ละชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ทำในที่มืด

ชุดการทดลองที่ 2 ทำในที่มืด

4. จงอธิบายว่าเหตุใดจึงใช้ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ในรูปนี้ตรวจสอบสมมติฐานว่าการคายน้ำทำให้เกิดการลำเลียงในต้นพืช



✎ ในชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีการสูญเสียน้ำ จะเห็นได้ว่าระดับน้ำและปรอทในหลอดแก้ว ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนชุดการทดลองที่ 2 แสดงการที่พืชสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ ทั้งนี้ เมื่อพืชมีการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ น้ำในหลอดแก้วจะถูกดึงเข้าแทนที่น้ำในต้นพืช ทำให้ปรอทในอ่างถูกดึงเข้าสู่หลอดแก้ว ดังเห็นได้จากระดับของปรอทในหลอดแก้วที่สูงขึ้น ภายในต้นพืชจึงสามารถลำเลียงน้ำจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเพื่อทดแทนน้ำที่สูญเสียไปจากการคายน้ำได้โดยอาศัยแรงดึงจากการคายน้ำ แรงโคฮีชัน และแรงแอดฮีชัน

5. จากการทดลองวัดอัตราการคายน้ำกับกิ่งขบา 4 กิ่ง โดยให้แต่ละกิ่งมีจำนวนใบเท่ากันและมีพื้นที่รวมของผิวใบเท่ากัน โดยทำการทดลองดังนี้

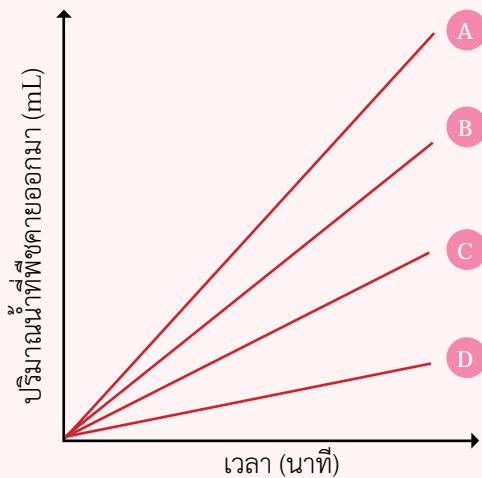
กิ่งที่ 1 ไม่ทาวาสลิน

กิ่งที่ 2 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านบนและผิวใบด้านล่างของทุกใบ

กิ่งที่ 3 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านบนทุกใบ

กิ่งที่ 4 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านล่างทุกใบ

เมื่อนำแต่ละกิ่งมาทำการทดลองวัดอัตราการคายน้ำ พบว่าได้ผลดังกราฟ



การคายน้ำของกิ่งที่ 1-4 เทียบได้กับเส้นกราฟใด

	กิ่งที่ 1	กิ่งที่ 2	กิ่งที่ 3	กิ่งที่ 4
ก.	A	D	B	C
ข.	A	D	C	B
ค.	D	A	B	C
ง.	D	A	C	B



ก.

คำอธิบาย ปริมาณน้ำที่พืชคายน้ำออกมาจะเกี่ยวข้องกับจำนวนใบ และการทาวาสลินซึ่งจะปิดรูปากใบของพืช ทำให้พืชไม่สามารถคายน้ำผ่านปากใบบริเวณนั้นได้

กึ่งที่ 1 ไม่ทาวาสลิน พืชจึงมีอัตราการคายน้ำสูงที่สุด เทียบได้กับเส้นกราฟ A

กึ่งที่ 2 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านบนและผิวใบด้านล่างของทุกใบ พืชจึงมีอัตราการคายน้ำต่ำที่สุด เทียบได้กับเส้นกราฟ D

กึ่งที่ 3 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านบนทุกใบ ซึ่งขบเป็นพืชบก โดยทั่วไปจะพบปากใบที่ผิวใบด้านล่างมากกว่าผิวใบด้านบน พืชจึงมีอัตราการคายน้ำสูง มากกว่ากึ่งที่ 4 แต่น้อยกว่ากึ่งที่ 1 เทียบได้กับเส้นกราฟ

กึ่งที่ 4 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านล่างทุกใบ พืชยังมีการคายน้ำได้บ้างทางรูปากใบที่ผิวใบด้านบน จึงมีอัตราการคายน้ำสูงกว่ากึ่งที่ 2 แต่คายน้ำได้น้อยกว่ากึ่งที่ 3 ซึ่งทาวาสลินที่ผิวใบด้านบน เทียบได้กับเส้นกราฟ C

ดังนั้นการคายน้ำของขบกึ่งที่ 1-4 จึงแทนด้วยเส้นกราฟ A D B และ C ตามลำดับ

6. จงใส่ธาตุอาหาร Fe N Mg P และ K ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชกับบทบาทหน้าที่โดยนำสัญลักษณ์ธาตุเติมในช่องว่างหน้าข้อที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด

Mg 6.1 ธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์

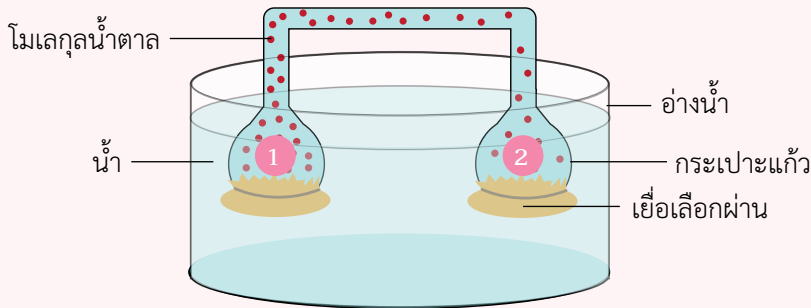
K 6.2 มีบทบาทสำคัญในการควบคุมแรงดันเต่งของเซลล์ และความเต่งของเซลล์คุมที่มีผลทำให้เกิดการเปิดปิดของรูปากใบ

P 6.3 เป็นองค์ประกอบของ RNA DNA และสารพลังงานสูง (ATP) แต่ไม่ใช่องค์ประกอบของคลอโรฟิลล์

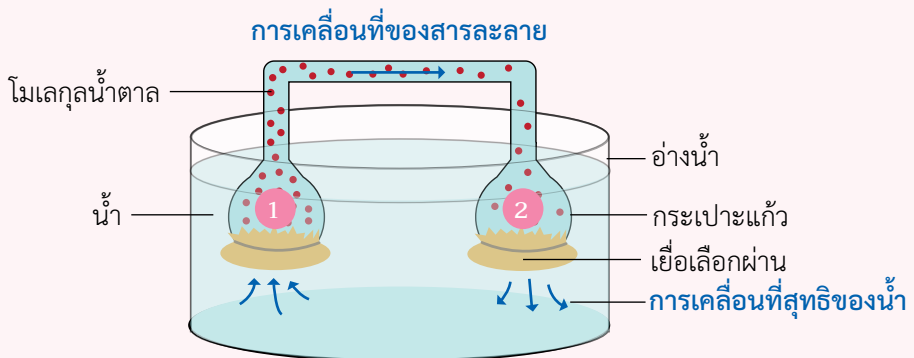
N 6.4 เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนทุกชนิด เมื่อพืชขาดทำให้มีอาการใบเหลืองเรียกว่า chlorosis โดยจะเริ่มเหลืองที่ใบแก่ก่อน

Fe 6.5 เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ การสังเคราะห์ด้วยแสง และการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

7. จาการทดลองเรื่องการลำเลียงอาหารในโพลีเอม ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้



7.1 วาดทิศทางการเคลื่อนที่ของสารละลายและทิศทางการเคลื่อนที่สุทธิของน้ำ ในชุดการทดลอง พร้อมอธิบายว่าเพราะเหตุใดจึงใช้การทดลองนี้ตรวจสอบเรื่องการลำเลียงอาหารในโพลีเอม



จากชุดการทดลองจะเห็นว่า ในกระเปาะแก้วที่ 1 และ 2 มีสารละลายน้ำตาล น้ำจึงออสโมซิสจากอ่างเข้าสู่กระเปาะทั้งสอง แต่เนื่องจากในกระเปาะแก้วที่ 1 มีสารละลายน้ำตาลที่เข้มข้นกว่าในกระเปาะแก้วที่ 2 น้ำในอ่างจะออสโมซิสเข้าสู่กระเปาะแก้วที่ 1 มากกว่า จึงทำให้มีแรงดันสูงกว่า ดังนั้นสารละลายในกระเปาะแก้วที่ 1 จึงเคลื่อนที่มายังกระเปาะแก้วที่ 2 สารละลายในกระเปาะแก้วที่ 2 จึงมีแรงดันสูงขึ้น และดันให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากกระเปาะแก้วที่ 2 เข้าสู่อ่าง การเคลื่อนที่ของสารละลายจากกระเปาะแก้วที่ 1 ไปยังกระเปาะแก้วที่ 2 เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของสารละลายในโพลีเอม ซึ่งเป็นการลำเลียงอาหารจากซีฟทิวิบ์เมมเบอร์บริเวณแหล่งสร้างไปยังซีฟทิวิบ์เมมเบอร์บริเวณแหล่งรับซึ่งมีความดันต่ำกว่า

7.2 เมื่อเวลาผ่านไป การเคลื่อนที่ของของเหลวในชุดการทดลองนี้จะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

 การเคลื่อนที่ของของเหลวในระบบจะเข้าสู่จุดสมดุล เนื่องจากสารละลายน้ำตาลจากกระเปาะแก้วที่ 1 จะเคลื่อนที่ไปยังกระเปาะแก้วที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของสารละลายในกระเปาะแก้วที่ 1 และ 2 จะมีความเข้มข้นเท่ากัน

7.3 เพราะเหตุใดการลำเลียงอาหารในโฟลเอ็มของพืชจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

 เนื่องจากในพืชมีเซลล์ที่เป็นแหล่งสร้างซึ่งมีน้ำตาลที่สร้างขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นซูโครสและลำเลียงเข้าสู่โฟลเอ็มในบริเวณแหล่งสร้าง และมีการลำเลียงซูโครสออกจากโฟลเอ็มเข้าสู่เซลล์ในบริเวณแหล่งรับ จึงยังคงเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายในโฟลเอ็มและความแตกต่างของความดันในโฟลเอ็มระหว่างโฟลเอ็มบริเวณแหล่งสร้างและแหล่งรับ การเคลื่อนที่ของสารละลายในโฟลเอ็มจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

บทที่

11

| การสังเคราะห์ด้วยแสง

ipst.me/8814

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและสรุปการศึกษาที่ได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
2. อธิบายขั้นตอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3
3. เปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_3 พืช C_4 และ พืช CAM
4. สืบค้นข้อมูล อภิปรายและสรุปปัจจัยความเข้มแสง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และ อุณหภูมิ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

- 1. สืบค้นข้อมูลและสรุปการศึกษาที่ได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปการศึกษาที่ได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ 2. การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์

ผลการเรียนรู้

- อธิบายขั้นตอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายความสำคัญของแสง สารสี และความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
- อธิบาย และสรุปขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
- การสังเกต - การลงความเห็นจากข้อมูล - การสร้างแบบจำลอง	ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	- ความอยากรู้อยากเห็น - การใช้วิจารณญาณ - ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ - ความสนใจในวิทยาศาสตร์ - การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์

ผลการเรียนรู้

3. เปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C₃ พืช C₄ และ พืช CAM

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปการเกิดโฟโตเรสไพเรชัน
- 2. สืบค้นข้อมูล และอธิบายกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C₄ และพืช CAM
- 3. วิเคราะห์ อธิบายและเปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนในพืช C₃ พืช C₄ และพืช CAM

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การลงความเห็นจากข้อมูล	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความมุ่งมั่นอดทน

ผลการเรียนรู้

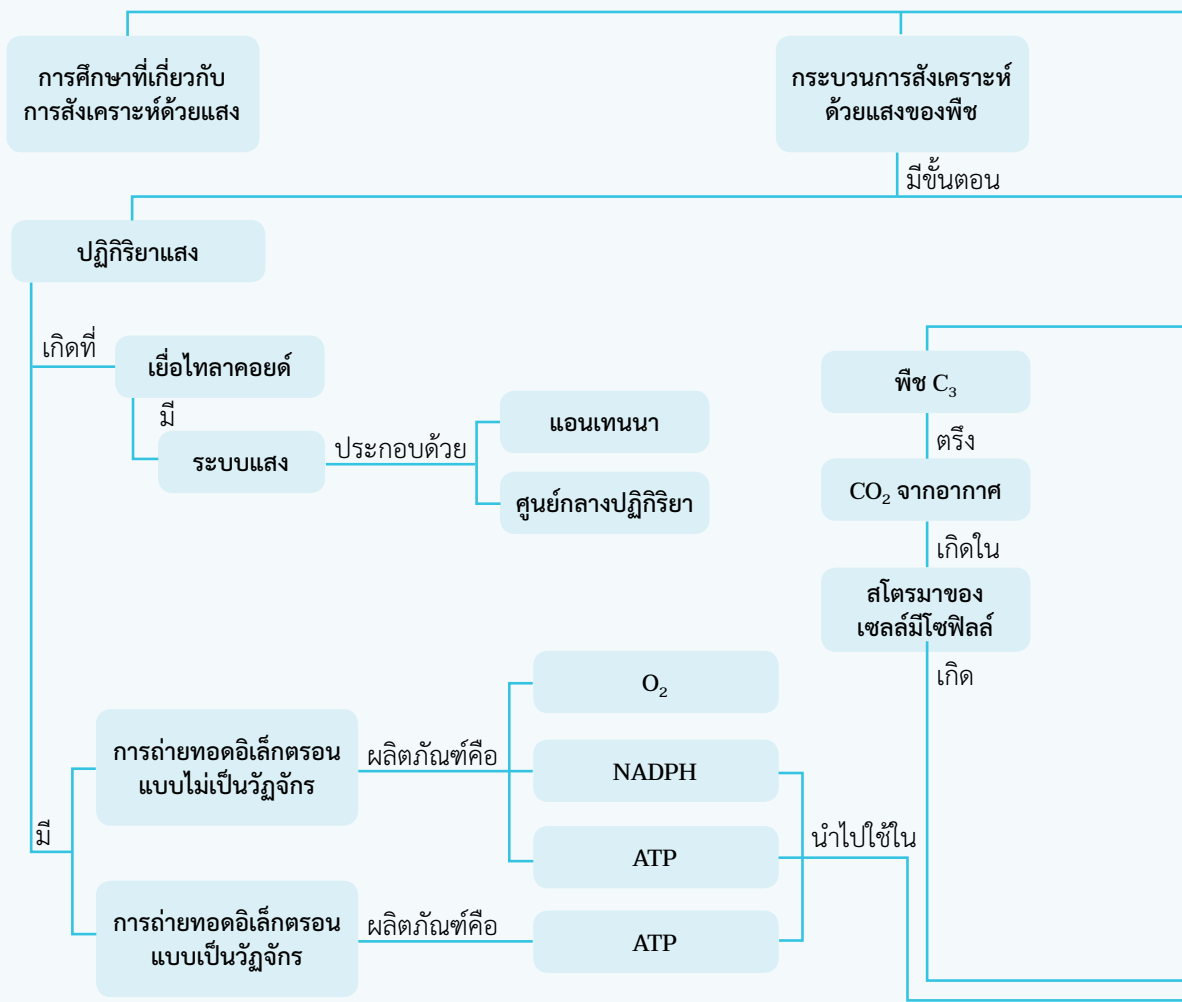
4. สืบค้นข้อมูล อภิปรายและสรุปปัจจัยความเข้มของแสง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

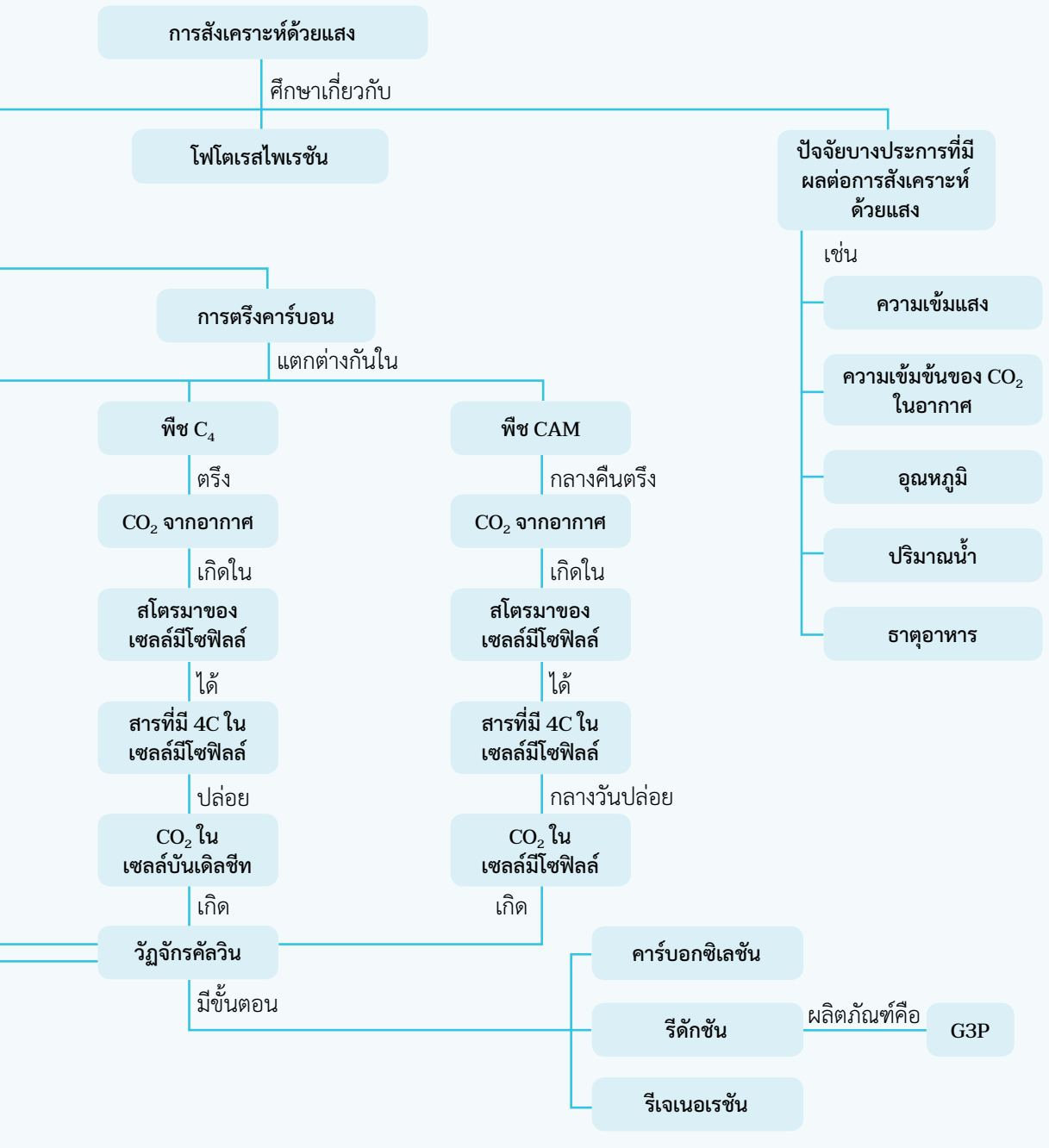
จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล และระบุปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
2. ทดลอง อภิปราย และสรุปเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
3. วิเคราะห์และอธิบายเกี่ยวกับความเข้มแสง ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การหาความสัมพันธ์ของสเปกกับเวลา 3. การใช้จำนวน 4. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล 5. การลงความเห็นจากข้อมูล 6. การตั้งสมมติฐาน 7. การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ 8. การกำหนดและควบคุมตัวแปร 9. การทดลอง 10. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป 11. การสร้างแบบจำลอง	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. การใช้วิจารณญาณ 3. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ 4. ความใจกว้าง 5. การยอมรับความเห็นต่าง 6. ความซื่อสัตย์ 7. ความมุ่งมั่นอดทน 8. ความรอบคอบ 9. วัตถุวิสัย

ผังมโนทัศน์ บทที่ 11





สาระสำคัญ

นักวิทยาศาสตร์ในอดีตได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงจนสรุปได้ว่า CO_2 และน้ำ เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยพืชจะใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้ผลิตภัณฑ์คือ O_2 และน้ำตาล บริเวณที่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงภายในเซลล์พืชอยู่ที่คลอโรพลาสต์ โดยในคลอโรพลาสต์มีโครงสร้างสำคัญคือ ไทลาคอยด์ที่มีสารสีเป็นตัวรับพลังงานแสง และสโตรมาซึ่งมีเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอน โดยปฏิกิริยาแสงจะเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของโมเลกุล ATP และ NADPH เพื่อนำไปใช้ในการตรึงคาร์บอน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คือ G3P

โฟโตเรสไพเรชันเป็นกระบวนการที่พืชตรึง O_2 โดยเอนไซม์รูบิสโก ซึ่งจะทำให้พืชสร้างน้ำตาลจากวัฏจักรคัลวินได้ลดลง และมีการใช้ ATP ด้วย โฟโตเรสไพเรชันพบมากในพืช C_3 แต่พืชบางชนิด เช่น พืช C_4 และพืช CAM มีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ทำให้โฟโตเรสไพเรชันเกิดขึ้นได้น้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลย โดยพืช C_4 จะตรึงคาร์บอน 2 ครั้งซึ่งการตรึงแต่ละครั้งจะเกิดที่เซลล์ต่างชนิดกัน ส่วนพืช CAM จะตรึงคาร์บอน 2 ครั้งเช่นกัน โดยทั้ง 2 ครั้งเกิดขึ้นในเซลล์เดียวกันแต่เกิดต่างช่วงเวลา

ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่อยู่ในระดับสูงสุด เรียกปัจจัยนั้นว่าเป็นปัจจัยจำกัด หากปัจจัยจำกัดนั้นมีปริมาณมากขึ้นจนเพียงพอจะไม่ใช่ปัจจัยจำกัดอีกต่อไป แต่อาจมีปัจจัยอื่นที่กลายเป็นปัจจัยจำกัดที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

ความเข้มแสง ความเข้มข้นของ CO_2 อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ และธาตุอาหาร เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งเมื่อพืชได้รับปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เหมาะสมจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตได้ดี

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 14 ชั่วโมง

11.1 การศึกษาที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง	1 ชั่วโมง
11.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช	6 ชั่วโมง
11.3 โฟโตเรสไพเรชัน	1 ชั่วโมง
11.4 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	2 ชั่วโมง
11.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง	4 ชั่วโมง
รวม	14 ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (✓) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

- ✓ 1. แสง CO_2 และน้ำ เป็นปัจจัยที่พืชต้องการเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลและ O_2
- ✓ 2. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่สามารถนำพลังงานแสงมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตของพืช
- ✓ 3. การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดขึ้นในบริเวณที่มีคลอโรพลาสต์ ซึ่งสามารถพบได้ในบริเวณที่มีสีเขียวของพืช
- × 4. บริเวณใบพืชเป็นส่วนที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นมาก เนื่องจากในชั้นเอพิเดอร์มิส และมีไซโทพลาสต์ของใบมีเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์จำนวนมาก
- × 5. บริเวณลำต้นอาจพบเซลล์สเกลอเรนคิมาซึ่งมีคลอโรพลาสต์ จึงทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เช่นกัน
- ✓ 6. การเปิดและปิดของรูปากใบเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับอากาศ ซึ่งจะส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
- ✓ 7. CO_2 ส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้รับจากอากาศโดยผ่านทางรูปากใบ และบางส่วนได้จากการหายใจระดับเซลล์
- × 8. เมื่อน้ำเข้าสู่รากพืชจะมีการลำเลียงน้ำผ่านไซเล็มเพื่อใช้ในกระบวนการต่าง ๆ รวมทั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และลำเลียงธาตุอาหารผ่านทางโฟลเอ็ม
- × 9. พืชลำเลียงอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ โดยอาหารของพืช ได้แก่ ปุ๋ยและธาตุอาหารที่พืชดูดซึมผ่านทางราก รวมทั้งน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
- ✓ 10. หากพืชขาดน้ำจะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

11.1 การศึกษาที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

จุดประสงค์การเรียนรู้

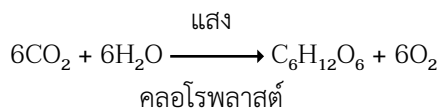
สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปการศึกษาที่ได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจใช้ภาพนำบทและตั้งประเด็นให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อทบทวนความรู้เดิมของนักเรียน ดังนี้

- ฟองแก๊สในภาพเกิดจากอะไร เป็นแก๊สอะไร
- อวัยวะใดของพืชที่ทำหน้าที่หลักในการสังเคราะห์ด้วยแสง
- การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจำเป็นต้องมีปัจจัยใดบ้าง
- ผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงคืออะไร

จากความรู้เดิมของนักเรียนควรสรุปได้ว่าใบพืชเป็นอวัยวะที่สำคัญที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากใบพืชมีสารสีต่าง ๆ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ จำเป็นต้องใช้แสง น้ำ และ CO_2 และได้น้ำตาลและ O_2 เป็นผลผลิต โดยอาจเขียนเป็นสมการเคมี แสดงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ดังนี้



จากนั้นครูเชื่อมโยงเข้าสู่การศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยอาจให้นักเรียนพิจารณาแผนภาพข้างต้น และอภิปรายโดยใช้คำถามถามนักเรียน ดังนี้

- ความรู้ที่นำไปสู่การสรุปเป็นสมการเคมีแสดงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดขึ้นได้อย่างไร
- นักเรียนคิดว่า O_2 ที่เกิดขึ้นมาจากอะตอมออกซิเจนของ CO_2 หรือมาจากอะตอมออกซิเจนของ H_2O เพราะเหตุใด

คำตอบของนักเรียนอาจมีได้หลากหลายแต่ควรนำไปสู่ข้อสรุปได้ว่าความรู้ต่างๆ เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นเกิดจากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ในอดีต โดยครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับการทดลองของแวน นีล และแซม รูเบน ซึ่งทดลองเกี่ยวกับที่มาของ O_2 ทั้งนี้จากการอภิปรายนักเรียนควรสรุปได้ว่า O_2 ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสงมาจากโมเลกุลของน้ำ โดยในขณะอภิปรายครูควรเน้นให้นักเรียนเข้าใจและเห็นถึงความสำคัญของการตั้งคำถามและการค้นหาคำตอบโดยอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์ในอดีต

สำหรับคำถามในหนังสือเรียนมีแนวคำตอบดังนี้



สมมติฐานของการทดลองของแวน นีล น่าจะเป็นอย่างไร



สมมติฐานอาจตั้งได้ว่า ถ้า O_2 ที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชมาจากน้ำ ดังนั้นการสังเคราะห์ด้วยแสงในแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ซึ่งใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์แทนน้ำน่าจะมีซัลเฟอร์เกิดขึ้นเช่นกัน



ซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นในการทดลองของแวน นีล มาจากการสลายตัวของสารใด



ซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นมาจากการสลายตัวของไฮโดรเจนซัลไฟด์



จากการทดลองของแวน นีล จะสรุปผลการทดลองได้อย่างไร



O_2 ที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชไม่ได้มาจาก CO_2 แต่น่าจะมาจากน้ำ



จากการทดลองของแวน นีล สามารถนำมาเทียบเคียงกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้อย่างไร



แวน นีล ได้ทดลองโดยใช้แบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงโดยไม่ใช้น้ำแต่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์แทน ซึ่งจากผลการทดลองไม่เกิด O_2 แต่เกิดซัลเฟอร์ซันแทน ดังนั้นจะต้องมีการสลายแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วได้ซัลเฟอร์ ซึ่งหากนำการทดลองดังกล่าวเทียบเคียงกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชซึ่งใช้น้ำแทนแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ น่าจะเป็นไปได้ว่ามีการสลายตัวของน้ำแล้วได้ O_2 เกิดขึ้น



จากการทดลองของรูเบนและคาเมน จะสรุปผลการทดลองได้อย่างไร



O_2 ที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้มาจาก CO_2 แต่ได้มาจากน้ำ



การทดลองของรูเบนและคาเมน สนับสนุนแนวคิดของแวน นีล ได้อย่างไร



จากการทดลองของรูเบนและคาเมนพบว่า O_2 ที่เกิดขึ้นจะมีออกซิเจนในโมเลกุลเป็นเช่นเดียวกับออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำ นั่นคือเมื่อให้ออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำเป็น ^{18}O ดังการทดลอง ก. จะพบว่า O_2 ที่เกิดขึ้นจะมีออกซิเจนในโมเลกุลเป็น ^{18}O เช่นเดียวกัน แต่หากให้ออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำเป็น ^{16}O ดังการทดลอง ข. O_2 ที่เกิดขึ้นจะมีออกซิเจนในโมเลกุลเป็น ^{16}O ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับแนวคิดของแวน นีล ที่เสนอว่า O_2 ที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงมาจากน้ำ

นอกจากนี้ครูอาจกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสมมติตนเองเป็นนักวิทยาศาสตร์ในอดีต และลองเสนอคำถามที่คิดว่านักวิทยาศาสตร์ในสมัยนั้นสงสัยเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในเรื่องใดบ้าง ซึ่งคำถามของนักเรียนอาจเป็นดังนี้

- กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นที่ส่วนใดของพืช
- พืชต้องการสิ่งใดในการสังเคราะห์ด้วยแสงบ้าง
- กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีขั้นตอนอย่างไร
- พืชนำพลังงานแสงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร
- พืชนำ CO_2 ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร
- คลอโรฟิลล์และน้ำมีบทบาทอย่างไรในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

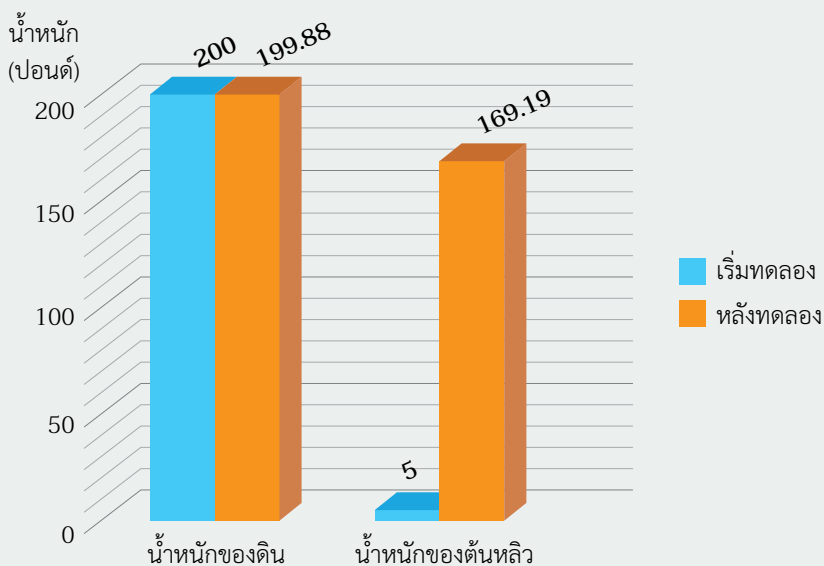
ครูอาจใช้ข้อมูลในความรู้เพิ่มเติมในหนังสือเรียนเกี่ยวกับการศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อแสดงให้เห็นนักเรียนเห็นถึงภาพรวมของการศึกษาค้นคว้าที่ดำเนินมาอย่างต่อเนื่องในช่วงศตวรรษที่ 17-20 ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงเหล่านั้นก็เกิดขึ้นจากความสงสัยและการตั้งคำถามของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเช่นเดียวกับคำถามและข้อสงสัยต่างๆ ของนักเรียนนั่นเอง แต่ทั้งนี้ไม่ควรให้นักเรียนท่องจำข้อมูลเกี่ยวกับประวัติการศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงของนักวิทยาศาสตร์



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การศึกษาของฌอง แวน เฮลมอนท์

ในช่วงกลางศตวรรษที่ 17 ฌอง แวน เฮลมอนท์ (Jean van Helmont) นักวิทยาศาสตร์ชาวเบลเยียมได้ทดลองปลูกต้นหลิวหนัก 5 ปอนด์ ในถังใบใหญ่ที่บรรจุดินซึ่งทำให้แห้งสนิทหนัก 200 ปอนด์ แล้วปิดฝาทิ้ง ระหว่างทำการทดลองได้รดน้ำต้นหลิวที่ปลูกไว้ทุก ๆ วันด้วยน้ำฝน เป็นระยะเวลา 5 ปี ต้นหลิวเจริญเติบโตขึ้นมาก เมื่อนำต้นหลิวที่ไม่มีดินติดอยู่ที่รากไปชั่งน้ำหนัก ปรากฏว่าต้นหลิวหนัก 169 ปอนด์ 3 ออนซ์ (ตัวเลขนี้ไม่ได้รวมน้ำหนักใบซึ่งร่วงไปในแต่ละปี) และเมื่อนำดินในกระถางไปทำให้แห้งแล้วนำไปชั่ง ปรากฏว่ามีน้ำหนักน้อยกว่าดินที่เริ่มทดลองเพียง 2 ออนซ์เท่านั้น ดังรูป

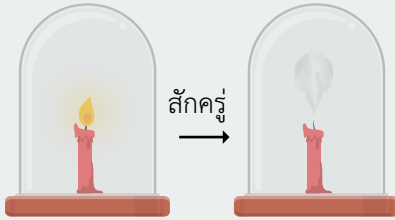


- เพราะเหตุใดจะต้องปลูกต้นหลิวในถังที่ปิดฝาตลอดเวลา
 - ✎ การปลูกต้นหลิวในถังที่ปิดฝาตลอดเวลาเพื่อควบคุมปริมาณดินไม่ให้สูญหายไปโดยวิธีอื่น ๆ เช่น ลมพัด สัตว์คุ้ยเขี่ย เป็นต้น รวมทั้งป้องกันไม่ให้มีสิ่งอื่นใดปะปนลงในดิน เช่น ใบไม้ที่อาจร่วงหล่นทับถมลงในดิน โดยปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นนับเป็นตัวแปรที่ควบคุม เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ
 - จากการทดลองของแวน เฮลมอนท์ นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่า น้ำหนักของต้นหลิวที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 5 ปอนด์ เป็น 169 ปอนด์ 3 ออนซ์มาจากไหน
 - ✎ คำตอบของนักเรียนอาจมีหลากหลาย บางคนอาจตอบว่ามาจากน้ำที่ไ้รด บางคนอาจตอบว่ามาจากดิน บางคนอาจจะตอบไม่ได้ แต่ประจักษ์พยานที่เห็นได้ชัดก็คือ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่น่าจะได้มาจากดิน หรืออาจมีบ้างเป็นส่วนน้อยที่อาจได้มาจากธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในดิน เพราะน้ำหนักของดินน้อยลงกว่าเมื่อเริ่มทดลองเพียง 2 ออนซ์ เท่านั้น (แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ยังไม่สามารถบอกได้ว่า ส่วนประกอบของดินที่หายไปนั้นเข้าไปอยู่ในพืชจริงหรือไม่ ดังนั้นจึงไม่ควรตัดสินคำตอบของนักเรียนว่าถูกหรือผิดในทันที จนกว่าจะได้ให้นักเรียนศึกษาค้นคว้าต่อไปเพื่อหาคำตอบเพิ่มเติม)
 - แวน เฮลมอนท์ สรุปว่าน้ำหนักของต้นหลิวที่เพิ่มขึ้นได้มาจากน้ำเท่านั้น นักเรียนเห็นด้วยกับข้อสรุปดังกล่าวหรือไม่
 - ✎ นักเรียนอาจมีทั้งที่เห็นด้วยและไม่เห็นด้วยกับข้อสรุปของแวน เฮลมอนท์ (ขึ้นกับเหตุผลที่นักเรียนแสดงความเห็น)
- บางคนอาจเห็นด้วยกับข้อสรุปของแวน เฮลมอนท์ เนื่องจากอาจมีข้อคิดเห็นว่าหากพิจารณาเกี่ยวกับองค์ความรู้ในสมัยนั้นที่ยังมีไม่เพียงพอ ข้อสรุปดังกล่าวนี้ก็อาจจะสมเหตุสมผลในสมัยนั้น เพราะสิ่งที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดก็คือ ถ้าน้ำหนักของต้นหลิวที่เพิ่มขึ้นมาจากดิน น้ำหนักของดินน่าจะต้องหายไปมากกว่านั้น แต่พบว่าน้ำหนักของดินซึ่งมีการควบคุมปริมาณดินโดยการปิดฝาดังหายไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงทำให้นำไปสู่ข้อสรุปว่า น้ำหนักของต้นหลิวที่เพิ่มขึ้นจึงน่าจะมาจากน้ำฝนที่รดให้ทุกวัน
- บางคนอาจไม่เห็นด้วยกับข้อสรุปของแวน เฮลมอนท์ เนื่องจากอาจมีข้อคิดเห็นว่าน่าจะยังมีปัจจัยอื่นๆ ในสภาพแวดล้อมภายนอกที่อาจส่งผลต่อการทดลองของแวน เฮลมอนท์ ซึ่งควรควบคุมในการทดลองด้วยเช่นกัน เช่น แสง แก๊สต่างๆ เป็นต้น

การศึกษาของโจเซฟ ปริสต์ลีย์

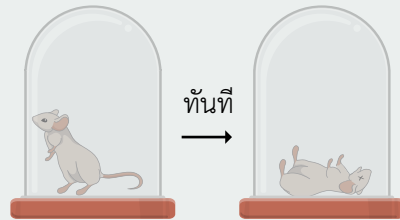
หลังช่วงกลางศตวรรษที่ 18 โจเซฟ ปริสต์ลีย์ (Joseph Priestley) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ทำการทดลอง 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1

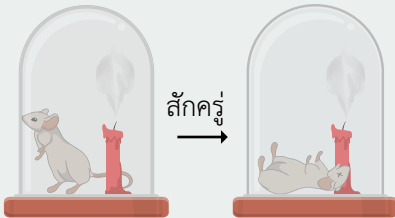


จุดเทียนไขไว้ในครอบแก้ว
ปรากฏว่าสักครู่เทียนไขดับ

ต่อมา

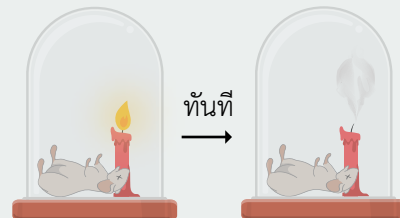


เมื่อนำหนูที่มีชีวิตไปไว้ในครอบแก้ว
ที่เทียนไขดับปรากฏว่าหนูตายเกือบทันที



ทำการทดลองใหม่ โดยใส่หนู
ไว้ในครอบแก้ว สักครู่หนูตาย

ต่อมา



เมื่อจุดเทียนไขแล้วนำไปใส่ในครอบแก้วที่มี
หนูตายอยู่แล้ว ปรากฏว่าเทียนไขดับเกือบทันที

การทดลองที่ 2

ปริสต์ลีย์นำต้นมันทีใส่ในครอบแก้วที่เคยจุดเทียนไข
เอาไว้ก่อนแล้ว ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 วัน เมื่อจุดเทียนไข
ในครอบแก้วนั้นใหม่ ปรากฏว่าเทียนไขลุกไหม้ได้อยู่ได้
ระยะหนึ่งโดยไม่ดับทันที ดังรูป



จากนั้นปริสต์ลีย์ได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยแบ่งอากาศหลังจากที่เทียนไขดับแล้วออกเป็น
2 ส่วน ส่วนหนึ่งนำต้นมันทีไปใส่ไว้ และอีกส่วนหนึ่งใส่แต่แก้วที่บรรจุน้ำไว้ ทิ้งไว้ระยะหนึ่ง
เมื่อจุดเทียนไขในอากาศทั้ง 2 ส่วน พบว่าเทียนไขจะลุกไหม้ได้ระยะหนึ่งในอากาศส่วนที่มี
ต้นมันทีอยู่ แต่จะไม่สามารถจุดเทียนไขให้ลุกไหม้ได้ในอากาศส่วนที่ไม่มีต้นมันทีอยู่

- จากการทดลองที่ 1 จะสรุปผลการทดลองได้อย่างไร
- ✎ ในกรอบแก้วที่เทียนไขดับมีแก๊สที่ทำให้หนูตาย และในกรอบแก้วที่หนูตายมีแก๊สที่ทำให้เทียนไขดับ หรือแก๊สที่หนูใช้หายใจเป็นชนิดเดียวกับแก๊สที่ทำให้เทียนไขลุกไหม้
- จากการทดลองที่ 1 พิสูจน์ที่ตั้งสมมติฐานว่าอย่างไร
- ✎ สมมติฐานตั้งได้ว่า แก๊สที่ทำให้หนูตายและเทียนไขดับน่าจะเป็นแก๊สชนิดเดียวกัน หรือแก๊สที่หนูใช้หายใจและแก๊สที่ทำให้เทียนไขติดไฟน่าจะเป็นแก๊สชนิดเดียวกัน
- การทดลองที่ 2 เมื่อมีพืชเข้ามาเกี่ยวข้อง พิสูจน์ที่ตั้งสมมติฐานว่าอย่างไร
- ✎ สมมติฐานตั้งได้ว่า แก๊สที่ทำให้เทียนไขลุกไหม้ได้น่าจะมาจากพืช หรือพืชเปลี่ยนแก๊สที่ได้จากเทียนไขที่ดับเป็นแก๊สที่ทำให้เทียนไขลุกไหม้
- เพราะเหตุใดในการทดลองที่ 2 จึงต้องทำการทดลองเพิ่มเติมโดยแบ่งอากาศหลังจากที่เทียนไขดับแล้วออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งใส่พืชไว้ และอีกส่วนหนึ่งไม่ใส่พืชไว้ แล้วจึงจุดเทียนไข
- ✎ เพื่อควบคุมตัวแปรทำให้สามารถเปรียบเทียบและสรุปได้ว่าเทียนไขลุกไหม้ได้อีกครั้งเมื่อมีพืชอยู่เท่านั้น ถ้าไม่มีพืชจะไม่สามารถจุดเทียนไขให้ลุกไหม้ได้
- จากการทดลองที่ 2 จะสรุปผลการทดลองได้อย่างไร
- ✎ พืชสามารถทำให้แก๊สที่ได้จากการลุกไหม้ (อากาศเสีย) เป็นแก๊สที่ทำให้เกิดการลุกไหม้ (อากาศดี) ได้อีก

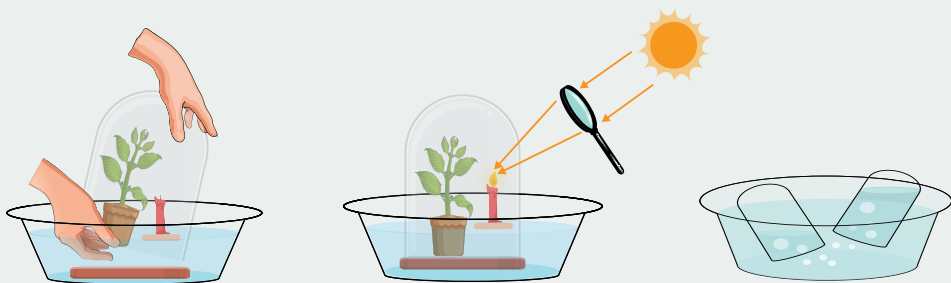
หมายเหตุ

จากการทดลองของพริสต์ลีย์สามารถให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการทดลองต่างๆ เพื่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ และตระหนักว่าในการทดลองจะต้องมีการควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้รัดกุม โดยอาจใช้คำถามดังนี้

- การนำพืชใส่เข้าไปในกรอบแก้วที่เคยจุดเทียนไขไว้ก่อนแล้วทำได้อย่างไรโดยไม่ทำให้แก๊สภายในกรอบแก้วออกมาภายนอกและแก๊สภายนอกเข้าไปในกรอบแก้ว

- การจุดเทียนไขในครอบแก้วทำได้อย่างไร โดยไม่ยกครอบแก้วเพื่อไม่ให้แก๊สผ่านเข้าหรือออกจากครอบแก้วได้
- การแบ่งอากาศในครอบแก้วออกเป็นสองส่วนทำได้อย่างไร

โดยวิธีดำเนินการตามการทดลองของพริสต์ลีย์อาจมีแนวทาง ดังนี้



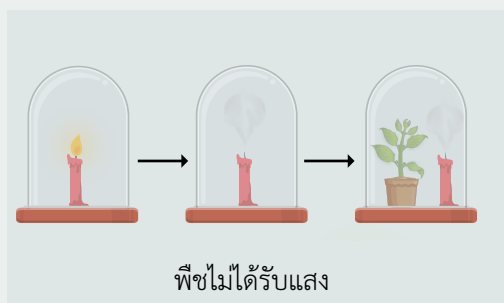
การนำพืชใส่ในครอบแก้ว

การจุดเทียนไขในครอบแก้ว

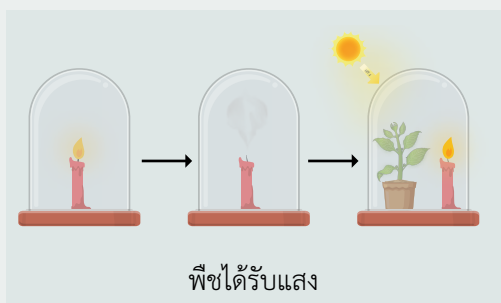
การแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน

การศึกษาของเจน อินเกินฮูซ

ในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 เจน อินเกินฮูซ (Jan Ingenhousz) นักวิทยาศาสตร์ชาวดัตช์ ได้ทำการทดลองคล้ายกับพริสต์ลีย์ และพิสูจน์ให้เห็นว่าการทดลองของพริสต์ลีย์จะได้ผลคือ เทียนไขจะลุกไหม้ตลอดเวลาที่ต่อเมื่อพืชได้รับแสง ดังรูป



พืชไม่ได้รับแสง



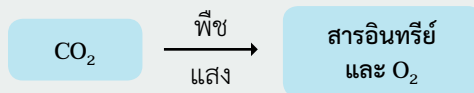
พืชได้รับแสง

- จากการทดลองของอินเกินฮูซ จะสรุปได้ว่าอย่างไร
- ✎ การที่พืชจะเปลี่ยนอากาศเสียให้เป็นอากาศดีได้พืชต้องได้รับแสง

จากความรู้ทางเคมีซึ่งพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาใกล้เคียงกับที่ปริสต์ลีย์และอินเกินฮุซทดลองนั้น พบว่าแก๊สที่เกิดจากการลุกไหม้และแก๊สที่เกิดจากการหายใจออกของสัตว์เป็นแก๊สชนิดเดียวกันคือ CO_2 ส่วนแก๊สที่ช่วยในการลุกไหม้และใช้ในการหายใจของสัตว์คือ O_2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อพืชได้รับแสงพืชจะนำ CO_2 เข้าไป และปล่อย O_2 ออกมา และในเวลาต่อมาอินเกินฮุซยังค้นพบเพิ่มเติมอีกว่าพืชเก็บธาตุคาร์บอนไว้ในรูปของสารอินทรีย์ซึ่งทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

- จากการทดลองของอินเกินฮุซและความรู้ทางเคมีที่พัฒนาขึ้นในขณะนั้น นักเรียนสามารถเขียนแผนผังแสดงข้อสรุปของอินเกินฮุซได้อย่างไร

 อาจเขียนแผนผังได้ดังนี้



การศึกษาของนิโคลาส เดอ โซซูร์

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 นิโคลาส เดอ โซซูร์ (Nicolas de Soussure) นักวิทยาศาสตร์ชาวสวิส ได้ทดลองพบว่าน้ำหนักของพืชที่เพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำหนักของ CO_2 ที่พืชได้รับ เขาจึงสันนิษฐานว่าน้ำหนักของพืชที่เพิ่มขึ้นบางส่วนเป็นน้ำหนักที่พืชได้รับจากน้ำ

- จากข้อสันนิษฐานของเดอ โซซูร์ สามารถสรุปเป็นแผนผังได้อย่างไร

 สามารถสรุปเป็นแผนผังได้ดังนี้



แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- การศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จากการสืบค้นข้อมูล การอภิปราย และการตอบคำถาม

ด้านทักษะ

- การลงความเห็นจากข้อมูล จากการตอบคำถาม และการอภิปราย
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสืบค้นข้อมูล นำเสนอข้อมูล และการอภิปราย

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ และการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากการตอบคำถาม และการอภิปราย

11.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความสำคัญของแสง สารสี และความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
2. อธิบาย และสรุปขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับโครงสร้างของคลอโรพลาสต์โดยให้นักเรียนแบ่งกลุ่มและครูให้รูปโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ หรืออาจให้แต่ละกลุ่มวาดโครงสร้างของคลอโรพลาสต์บนกระดาษแผ่นใหญ่ (หรืออาจให้แต่ละกลุ่มออกมาวาดบนกระดานดำ) พร้อมทั้งระบุโครงสร้างต่างๆ ของคลอโรพลาสต์ให้ชัดเจน

จากนั้นครูนำเข้าสู่การเรียนรู้เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยอาจเชื่อมโยงจากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตว่าการทดลองของนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากทำให้สรุปได้เป็นสมการเคมีของการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งสมการเคมีดังกล่าวนี้เป็นเพียงสมการโดยรวมที่ประกอบไปด้วยปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเหล่านั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอน ครูอาจใช้คำถามว่า **ปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอนเกิดที่ส่วนใดของคลอโรพลาสต์** คำตอบของนักเรียนอาจมีได้หลากหลายโดยสุดท้ายครูเป็นผู้อธิบายเพิ่มเติมและสรุปให้นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอน ดังนี้

- **ปฏิกิริยาแสง**เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนแสงของสารสี โดยสารสีจะฝังตัวอยู่ที่เยื่อไทลาคอยด์ ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาแสง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาแสง พลังงานแสงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในสารพลังงานสูง 2 ชนิด ได้แก่ NADPH และ ATP ซึ่งจะถูกใช้ในการตรึงคาร์บอน
- **การตรึงคาร์บอน**เป็นขั้นตอนที่ตรึงคาร์บอนเพื่อนำมาสร้างน้ำตาลโดยอาศัยสารตั้งต้นและเอนไซม์หลายชนิดที่อยู่ในสโตรมา ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการตรึงคาร์บอน โดยในขั้นตอนนี้จะใช้ NADPH และ ATP ที่ได้จากปฏิกิริยาแสง ทำให้ได้ NADP^+ และ ADP ซึ่งจะนำกลับไปใช้ในปฏิกิริยาแสงเพื่อสร้างสารพลังงานสูงต่อไป

หลังจากสรุปเกี่ยวกับปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอนแล้ว ครูใช้รูป 11.4 ในหนังสือเรียนเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอน

หมายเหตุ การตรึงคาร์บอน (carbon fixation) บางครั้งอาจเรียกว่า การตรึง CO_2 หรือวัฏจักรคัลวิน ซึ่งหากใช้คำว่า การตรึง CO_2 ในกรณีพืช C_4 และพืช CAM อาจทำให้เกิดความสับสนได้ เนื่องจากพืช C_4 และพืช CAM นอกจากจะตรึงคาร์บอนในรูป CO_2 แล้ว ยังตรึงคาร์บอนในรูป HCO_3^- ด้วยเช่นกัน ดังนั้นในบทเรียนนี้จึงเลือกใช้คำว่า การตรึงคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ และใช้คำว่า การตรึง CO_2 หรือวัฏจักรคัลวินเมื่อกล่าวถึงขั้นตอนที่ตรึงคาร์บอนในรูป CO_2

ครูอาจกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำกิจกรรมเสนอแนะ เรื่อง สารสีและการดูดกลืนแสงของสารสี



กิจกรรมเสนอแนะ : สารสีและการดูดกลืนแสงของสารสี

จุดประสงค์

1. สกัดสารสีจากใบพืช และระบุสารสีที่สกัดได้
2. ทดสอบความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสี

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

45 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ใบพืชชนิดต่างๆ เช่น ตำลึง คื่นห้าน้ำ ผักบุ้ง วุ้นกาบหอย หัวใจม่วง ฤาษีผสม หรือใบไม้บริเวณโรงเรียน	1 ชุด
2. โกร่งบด	1 อัน
3. กระดาษกรองเบอร์ 1	1 แผ่น
4. หลอดทดลอง	1 หลอด
5. จุกยางสำหรับปิดหลอดทดลอง	1 อัน
6. ปีกเกอร์ขนาด 50 mL หรือขวดแก้วขนาดเล็ก	1 ใบ
7. กระบอกตวง	1 อัน
8. กรวยแก้ว	1 อัน
9. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%	50 mL
10. ปีโตรเลียมอีเทอร์	50 mL
11. อะซีโตน	50 mL
12. กล้องดูดกลืนแสงอย่างง่าย	1 กล้อง

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ก่อนเริ่มทำกิจกรรมครูควรตั้งคำถามถามนักเรียนเพื่อให้นักเรียนทราบก่อนว่าต้องสังเกตสิ่งใดบ้างในการทำกิจกรรม โดยคำถามอาจเป็นดังนี้

- สารสกัดจากใบพืชน่าจะมีสีอะไร เพราะเหตุใดจึงมีสีนั้น
- หากนำสารสกัดจากใบพืชไปแยกโดยโครมาโทกราฟีจะพบเฉพาะสีเขียวเท่านั้นหรือไม่
- เมื่อแผ่นซีดีสะท้อนแสงจะเห็นแสงสีบนแผ่นซีดีเป็นอย่างไร
- หากนำบีกเกอร์ที่บรรจุสารสกัดจากใบพืชวางตรงช่องด้านบนของอุปกรณ์ดังข้อ 2.1 แสงสีที่จะเห็นบนแผ่นซีดีจะแตกต่างไปจากเดิมหรือไม่

คำตอบของนักเรียนอาจมีได้หลากหลาย โดยครูให้นักเรียนทำการทดลองตามวิธีการในกิจกรรมเสนอแนะในหนังสือเรียนเพื่อตรวจสอบคำตอบของนักเรียน ทั้งนี้หากต้องการลดระยะเวลาในการทำกิจกรรม ครูอาจเป็นผู้สกัดสารสีจากใบพืชให้นักเรียนใช้ร่วมกันโดยอาจใช้เครื่องปั่นแล้วจึงแบ่งของเหลวที่สกัดได้ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำไปทำกิจกรรมต่อไป

ในการทำโครมาโทกราฟีโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์และอะซีโตนในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นตัวทำละลายอาจทำได้โดยใช้หลอดหยดดูดปิโตรเลียมอีเทอร์ 27 หยด และอะซีโตน 3 หยด ใส่ลงในหลอดทดลอง จากนั้นปิดจุดหลอดทดลองให้แน่นและทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที แล้วจึงใส่กระดาษกรองที่มีหยดของสารสกัดจากใบพืชลงไปในหลอดทดลองโดยให้ปลายของกระดาษกรองจุ่มในตัวทำละลายเล็กน้อยและปิดจุดหลอดทดลอง

หมายเหตุ อาจปรับเพิ่มหรือลดจำนวนหยดของปิโตรเลียมอีเทอร์และอะซีโตนได้ตามความเหมาะสมขึ้นอยู่กับขนาดหลอดทดลองที่ใช้ แต่ยังคงใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์และอะซีโตนในอัตราส่วน 9 : 1

ตัวอย่างผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทำกิจกรรมของนักเรียน อาจเป็นดังนี้

2.1 การดูดกลืนแสงของสารสกัดจากใบพืชโดยใช้อุปกรณ์การดูดกลืนแสงอย่างง่าย



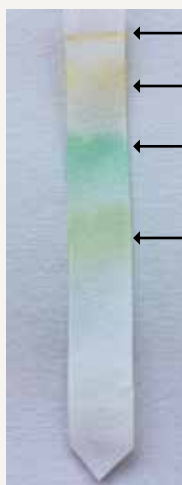
แสงสีบนแผ่นซีดี
ก่อนวางสารสกัดจากใบพืช



แสงสีบนแผ่นซีดี
หลังวางสารสกัดจากใบพืช

2.2 การแยกสารสกัดจากใบพืชโดยโครมาโทกราฟี

การแยกสารสกัดจากใบพืชโดยโครมาโทกราฟีเมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ : อะซีโตน (9 : 1) เป็นตัวทำละลาย



← แคโรทีน
← แซนโทฟิลล์
← คลอโรฟิลล์เอ
← คลอโรฟิลล์บี

จากกิจกรรมครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพื่อตอบคำถามที่ถามก่อนเริ่มทำกิจกรรม และอภิปรายร่วมกันโดยอาจใช้คำถามเดิมร่วมกับคำถามในกิจกรรมเสนอแนะ ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

- สารสกัดจากใบพืชมีสีอะไร เพราะเหตุใดจึงมีสีนั้น
- ✎ สารสกัดจากใบพืชเป็นของเหลวที่มีสีเขียว เนื่องจากใบพืชมีคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสีที่มีสีเขียว

คำถามท้ายกิจกรรม

? เมื่อนำสารสกัดจากใบพืชมาทดสอบการดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์ดังข้อ 2.1 ก่อนและหลังวางสารสกัดจากใบพืชจะเห็นแสงสีที่อยู่บนแผ่นซีดีแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

 ก่อนวางสารสกัดจากใบพืชจะเห็นแสงสีบนแผ่นซีดีมีสีน้ำเงิน เขียว และแดงชัดเจน ส่วนหลังวางสารสกัดจากใบพืชจะยังคงเห็นแสงสีบนแผ่นซีดีมีสีเขียวได้ชัดเจนเช่นเดิม และอาจจะเห็นสีแดงบ้างเล็กน้อย แต่จะไม่เห็นสีน้ำเงิน

การหายไปของแสงสีที่เห็นบนแผ่นซีดีหลังจากวางสารสกัดจากใบพืช เนื่องจากในสารสกัดจากใบพืชมีคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารสีที่สามารถดูดกลืนแสงได้ โดยจากการทดลองพบว่าจะดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดงได้มาก แต่ดูดกลืนแสงสีเขียวได้น้อย ทำให้หลังวางสารสกัดจากใบพืชจึงเห็นเพียงแสงสีเขียวเหลืออยู่บนแผ่นซีดีได้ชัดเจน

? เมื่อนำสารสกัดจากใบพืชมาแยกโดยโครมาโทกราฟีจะพบว่ามีสารสีชนิดใดบ้าง

 เมื่อนำสารสกัดจากใบพืชมาแยกโดยโครมาโทกราฟีจะเห็นแถบสีเขียวและแถบสีเหลือง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสารสกัดจากใบพืชมีคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์อยู่ด้วย

ครูเชื่อมโยงการทำกิจกรรมข้างต้นเพื่อเข้านำสู่เรื่องพลังงานแสงและสารสี ซึ่งเป็นเรื่องที่นักเรียนควรทำความเข้าใจก่อนเรียนรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนี้

11.2.1 พลังงานแสง

จากการทำกิจกรรมเสนอแนะ ครูอาจใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่เรื่องพลังงานแสง ดังนี้

- จากการทดลองข้างต้น นักเรียนสามารถสรุปได้หรือไม่ว่าสารสกัดจากใบพืชมีการดูดกลืนแสง
- เพราะเหตุใดสารสกัดจากใบพืชจึงดูดกลืนแสงได้
- แสงคืออะไร และแสงเป็นพลังงานหรือไม่ อย่างไร

นักเรียนสามารถตอบคำถามข้างต้นได้โดยใช้ความรู้เดิม ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่าพืชสามารถดูดกลืนแสงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยแสงเป็นพลังงานและเป็นรังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีสมบัติเป็นอนุภาค ทั้งนี้ครูสามารถใช้รูป 11.5 ในหนังสือเรียนเพื่ออธิบายเพิ่มเติมว่าแสงมีสมบัติเป็นอนุภาคเรียกว่าโฟตอน ซึ่งแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ประกอบด้วยโฟตอนที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ และมีระดับพลังงานที่ต่างกัน โดยระดับพลังงานของโฟตอนจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นของแสง ซึ่งครูอาจเชื่อมโยงความรู้ดังกล่าวนี้กับเนื้อหาในวิชาฟิสิกส์ได้

11.2.2 สารสี

จากการทำกิจกรรมเสนอแนะ ครูอาจใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่เรื่องสารสี ดังนี้

- พืชใช้อะไรในการดูดกลืนพลังงานแสง
- พืชมีสารสีชนิดใดบ้าง และนักเรียนคิดว่าสารสีแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนแสงได้เหมือนกันหรือไม่
- จากกิจกรรมเสนอแนะเรื่องสารสีและการดูดกลืนแสงของสารสี แสงสีใดที่พืชสามารถดูดกลืนได้มาก และแสงสีใดที่พืชดูดกลืนได้น้อย เพราะเหตุใด

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลในหนังสือเรียนและอภิปรายโดยนักเรียนควรได้ข้อสรุปว่าสารสีในพืชมีหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ โดยสารสีจะดูดกลืนพลังงานแสงเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สารสีแต่ละชนิดจะสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ครูอาจใช้รูป 11.7 และรูป 11.8 ในหนังสือเรียนเพื่อให้นักเรียนอภิปรายความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสอง โดยควรสรุปได้ว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดขึ้นได้มากเมื่อพืชได้รับแสงสีน้ำเงินหรือแสงสีแดงซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ที่จะดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงได้มากเช่นกัน

สำหรับคำถามเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของสารสีแต่ละชนิดในรูป 11.7 ในหนังสือเรียนมีแนวคำตอบดังนี้

-  จากรูป 11.7 สารสีแต่ละชนิดดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณเท่าใด
-  คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณ 400-450 และ 660-700 นาโนเมตร
คลอโรฟิลล์บีดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 400-500 และ 640-670 นาโนเมตร
แคโรทีนดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ชนิดของสารสีที่พบในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ มีตัวอย่างดังแสดงในตาราง

ประเภทและ ชนิดของสิ่งมีชีวิต	คลอโรฟิลล์				แคโรทีนอยด์	ไฟโคบิลิน	แบคทีริโอ คลอโรฟิลล์			
	เอ	บี	ซี	ดี			เอ	บี	ซี	ดี
ยูคาริโอต										
มอส	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
เฟิร์น	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
พืชดอก	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีเขียว	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีน้ำตาล	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีแดง	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
โพรคาริโอต										
ไซยาโนแบคทีเรีย	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
กรีนแบคทีเรีย	-	-	-	-	+	-	+	-	+/-	-/+

หมายเหตุ เครื่องหมาย + หมายถึง มี
เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่มี

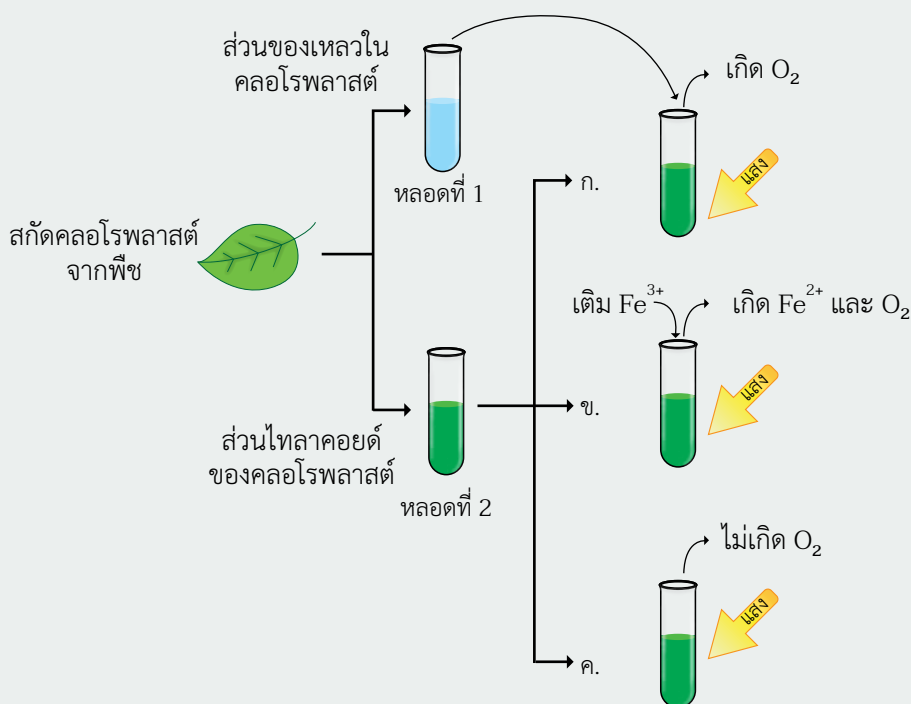
จากนั้นครูนำเข้าสู่เรื่องปฏิกิริยาแสงโดยใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า **เมื่อสารสีดูดกลืนแสง โมเลกุลของสารสีจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร** โดยครูอาจใช้รูป 11.9 ในหนังสือเรียนประกอบการอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าโดยปกติสารสีมีอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับสถานะพื้น โดยจะเคลื่อนที่ที่อยู่รอบนิวเคลียส หากได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงขึ้น ซึ่งเป็นสถานะกระตุ้นและเป็นสถานะที่ไม่เสถียร จากนั้นครูอธิบายเพิ่มเติมว่าอิเล็กตรอนในโมเลกุลของสารสีที่อยู่ในสถานะกระตุ้นนี้ เมื่อมีตัวรับอิเล็กตรอนที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนซึ่งนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาแสง



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การศึกษาของโรบิน ฮิลล์

ก่อนช่วงกลางศตวรรษที่ 20 โรบิน ฮิลล์ (Robin Hill) ได้ทดลองสกัดคลอโรพลาสต์จากพืช จากนั้นนำคลอโรพลาสต์ที่สกัดได้มาแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเหลวในคลอโรพลาสต์ และ ส่วนไทลาคอยด์ แล้วจึงแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด (ก-ค) ดังรูป



จากผลการทดลองพบว่าในการทดลอง ก. เมื่อเติมส่วนของเหลวในคลอโรพลาสต์ลงในส่วนไทลาคอยด์และให้แสงจะมี O₂ เกิดขึ้น ในการทดลอง ข. เมื่อเติมเกลือเฟอร์ริก (Fe³⁺) ลงในส่วนไทลาคอยด์และให้แสงจะเกิดเกลือเฟอร์รัส (Fe²⁺) และ O₂ ส่วนในการทดลอง ค. เมื่อไม่เติมเกลือเฟอร์ริกจะพบว่าไม่มี O₂ เกิดขึ้น

- การทดลอง ก. เกิด O₂ เช่นเดียวกับการทดลอง ข. แสดงว่าของเหลวในคลอโรพลาสต์น่าจะมีสารที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกับสารใดในการทดลอง ข.

ของเหลวในคลอโรพลาสต์น่าจะมีสารที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเกลือเฟอร์ริก

- กลีโอฟอสเฟตในการทดลอง ข. เกิดขึ้นได้อย่างไร
- ✎ กลีโอฟอสเฟตในการทดลอง ข. เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกลีโอฟอริกับอิเล็กตรอน และเปลี่ยนเป็นกลีโอฟอส
- เพราะเหตุใดการทดลอง ก. และ ข. จึงเกิด O_2 แต่การทดลอง ค. ไม่มี O_2 เกิดขึ้น
- ✎ ในการทดลอง ก. และ ข. มีตัวรับอิเล็กตรอนทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ จึงมี O_2 เกิดขึ้น ส่วนในการทดลอง ค. ไม่มีตัวรับอิเล็กตรอนจึงไม่มี O_2 เกิดขึ้น
- จากการทดลองของฮิลล์ สามารถสรุปได้ว่าอย่างไร
- ✎ การทดลองของฮิลล์แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับแสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จะเกิดขึ้นได้ (มี O_2 เกิดขึ้น) เมื่อมีตัวรับอิเล็กตรอน

ในปัจจุบันทราบแล้วว่าพืชมี $NADP^+$ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) มารับอิเล็กตรอน เกิดเป็น $NADPH$ ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ที่จะนำไปใช้ในการเปลี่ยน CO_2 ให้อยู่ในรูปคาร์โบไฮเดรตต่อไป โดยน้ำที่แตกตัวจะได้เป็นโปรตอน (H^+) อิเล็กตรอน (e^-) และ O_2

11.2.3 ปฏิกิริยาแสง

ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับสารสีว่าแม้สารสีต่าง ๆ จะสามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้ แต่ไม่ใช่สารสีทุกชนิดที่สามารถให้อิเล็กตรอนแก่ตัวรับอิเล็กตรอนได้ จะต้องเป็นสารสีที่เป็นคลอโรฟิลล์เอ โมเลกุลพิเศษเท่านั้น โดยครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับระบบแสงของพืชโดยใช้รูป 11.11 ในหนังสือเรียน ประกอบ เพื่อทำความเข้าใจว่าสารสีจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มในโครงสร้างของโปรตีนเชิงซ้อนซึ่งเรียกว่าระบบแสงเพื่อช่วยกันดูดกลืนพลังงานแสง โดยระบบแสงจะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยกลุ่มของสารสีที่เรียกว่าแอนเทนนา ซึ่งจะทำหน้าที่รับส่งพลังงานไปยังศูนย์กลางปฏิกิริยาซึ่งเป็นคลอโรฟิลล์เอ โมเลกุลพิเศษและทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนได้



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

คลอโรฟิลล์เอโมเลกุลพิเศษที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาเป็นโมเลกุลคู่ของคลอโรฟิลล์เอ

ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าในพืชจะมีระบบแสง 2 ระบบ ได้แก่ ระบบแสง I และระบบแสง II โดยใช้รูป 11.12 ในหนังสือเรียน เพื่อแสดงให้เห็นว่าสารสีในแต่ละระบบแสงจะฝังตัวอยู่ในโปรตีนต่างชนิดกัน จึงทำให้แต่ละระบบแสงสามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้แตกต่างกัน ซึ่งนำไปสู่การเรียกศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I ว่า P700 และศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง II ว่า P680

จากนั้นครูอาจใช้รูป 11.10 ในหนังสือเรียนเพื่ออธิบายเกี่ยวกับภาพรวมของปฏิกิริยาแสงว่าเมื่อศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสงได้รับพลังงานจะทำให้อิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์เอโมเลกุลพิเศษมีพลังงานสูงขึ้น และเมื่อมีตัวรับอิเล็กตรอนจะเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสง ซึ่งจะเป็นการถ่ายทอดพลังงานเช่นกันโดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนี้จะมีการรับและส่งอิเล็กตรอนเป็นทอดๆ ต่อเนื่องกันผ่านตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ ทั้งนี้ครูอาจใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการสร้าง NADPH และ ATP โดยใช้ข้อมูลจากแผนภาพในรูป 11.10 ดังนี้

- จากรูป 11.10 ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายคือสารใด
- การสร้าง ATP น่าจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุใด

คำตอบของนักเรียนอาจยังไม่ครอบคลุม ซึ่งนักเรียนอาจตอบได้ว่าเมื่อดูจากแผนภาพตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย คือ NADP^+ ได้เป็น NADPH และในระหว่างที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดการสร้าง ATP ขึ้น โดยครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรโดยใช้รูป 11.13 11.14 และ 11.15 ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจปฏิกิริยาแสงโดยมีครูเป็นผู้เพิ่มเติมความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาแสงเพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

1. ปฏิกิริยาแสงเกิดบนเยื่อไทลาคอยด์ ซึ่งมีระบบแสง I ระบบแสง II ตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ และเอนไซม์ ATP synthase
2. เมื่อมีตัวรับอิเล็กตรอนจากคลอโรฟิลล์เอโมเลกุลพิเศษที่เป็นศูนย์กลางของปฏิกิริยาแสงจะมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อเนื่องกันผ่านตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ
3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ ได้แก่
 - การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร จะเป็นการถ่ายทอดอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับทั้งระบบแสง I และระบบแสง II โดยมี NADP^+ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายได้เป็น NADPH

- การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร จะเป็นการถ่ายทอดอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับระบบแสง I โดยจะมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนผ่านตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ จนกลับมายังศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I เช่นเดิม โดยไม่มี NADP^+ เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ตัวสุดท้ายจึงไม่มีการสร้าง NADPH
4. การสร้าง ATP เกิดขึ้นได้ดังนี้
- เมื่อเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร ศูนย์กลางปฏิกิริยาแสงของระบบแสง II ซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนไปจะสามารถดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของน้ำได้ และทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำสลายเป็นออกซิเจน โปรตอน และอิเล็กตรอน ทำให้โปรตอนอยู่ในลูเมน
 - เมื่อเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนทั้งแบบไม่เป็นวัฏจักรและแบบเป็นวัฏจักร การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นในลักษณะที่ส่งต่อไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำกว่าและในขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจากพลาสโตควิโนนผ่านไซโทโครมคอมเพล็กซ์จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายโปรตอนจากสโตรมาเข้าสู่ลูเมน
 - เมื่อมีโปรตอนสะสมในลูเมนมากขึ้นจนเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของโปรตอนในลูเมนและสโตรมา จึงเกิดการเคลื่อนย้ายของโปรตอนจากลูเมนสู่สโตรมาผ่าน ATP synthase และพลังงานจากความแตกต่างของความเข้มข้นของโปรตอนในลูเมนและสโตรมาจะถูกนำมาใช้ในการสร้าง ATP
5. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรจะได้ทั้ง NADPH และ ATP รวมทั้งเกิด O_2 ส่วนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรจะเกิดเฉพาะ ATP
6. ปฏิกิริยาแสงเป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของสารพลังงานสูง คือ NADPH และ ATP ซึ่งจะนำไปใช้ในการตรึงคาร์บอนต่อไป

สำหรับคำถามในหนังสือเรียนมีแนวคำตอบ ดังนี้



อิเล็กตรอนที่ออกจากระบบแสง II จะเข้าสู่ระบบแสง I ทันทีหรือไม่



ไม่ได้ทันที โดยอิเล็กตรอนที่ออกจากระบบแสง II จะส่งผ่านตัวรับอิเล็กตรอนหลายชนิดซึ่งมีพลังงานต่ำลงเป็นลำดับก่อนจะเข้าสู่ระบบแสง I

? ถ้าไม่มี NADP^+ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

 เกิดขึ้นได้ ในกรณีของการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรเมื่ออิเล็กตรอนของศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I ถ่ายทอดผ่านตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ จนกลับมายังศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I เช่นเดิม จึงสามารถเกิดขึ้นได้แม้จะไม่มี NADP^+ ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย

? พลังงานที่อิเล็กตรอนของระบบแสงส่งต่อไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ ขณะเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

 ขณะเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเกิดขึ้น โดยเมื่อมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนผ่านตัวรับอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำลงเป็นลำดับ ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่ถูกถ่ายทอดไปยังตัวรับอิเล็กตรอนลำดับถัดไปจึงค่อย ๆ ลดลงเช่นกัน

นอกจากนี้ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมกับนักเรียนว่าในปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัดเกี่ยวกับความสำคัญของการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรที่สร้างเฉพาะ ATP ซึ่งยังต้องศึกษาวิจัยต่อไป แต่โดยทั่วไปแล้วพืชจะเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนขึ้นในทั้ง 2 ลักษณะ

หมายเหตุ การเรียนรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาแสงในหัวข้อนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อให้เห็นว่าเมื่อพืชรับพลังงานแสงแล้วจะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีที่สะสมอยู่ในโมเลกุลของ NADPH และ ATP ซึ่งจะนำไปใช้ในการตรึงคาร์บอน ข้อมูลที่ให้ในหนังสือเรียนนั้นว่าเพียงพอแล้ว ครูไม่ควรให้รายละเอียดมากกว่านี้ เพราะยากเกินไปสำหรับนักเรียนในระดับนี้

ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยใช้คำถามตรวจสอบความเข้าใจ ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ

? แสง คลอโรฟิลล์ และน้ำ มีบทบาทอย่างไรในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง



- แสง ทำให้อิเล็กตรอนในคลอโรฟิลล์เอโมเลกุลพิเศษที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสงมีพลังงานสูงขึ้นแล้วหลุดออกไปเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
- คลอโรฟิลล์ เป็นสารสีที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากเป็นตัวรับพลังงานแสง และคลอโรฟิลล์เอโมเลกุลพิเศษที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาเมื่อรับพลังงานจากสารสีที่อยู่ในแอนเทนนาแล้วจะถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไปให้ตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ ได้
- น้ำ เมื่อได้รับแสงและมีตัวรับอิเล็กตรอน จะสามารถแตกตัวให้ O_2 โปรตอน และอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนนี้จะถูกถ่ายทอดให้แก่ศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง II และโปรตอนที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำจะสะสมอยู่ในลูเมน ส่วน O_2 จะถูกนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ต่อไป

? การสังเคราะห์ด้วยแสงมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีในขั้นตอนใดของปฏิกิริยาแสง



การเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีเกิดขึ้นในขั้นตอนที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากโมเลกุลของสารสีไปยังตัวรับอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานแสง

? การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรและแบบเป็นวัฏจักรแตกต่างกันอย่างไร

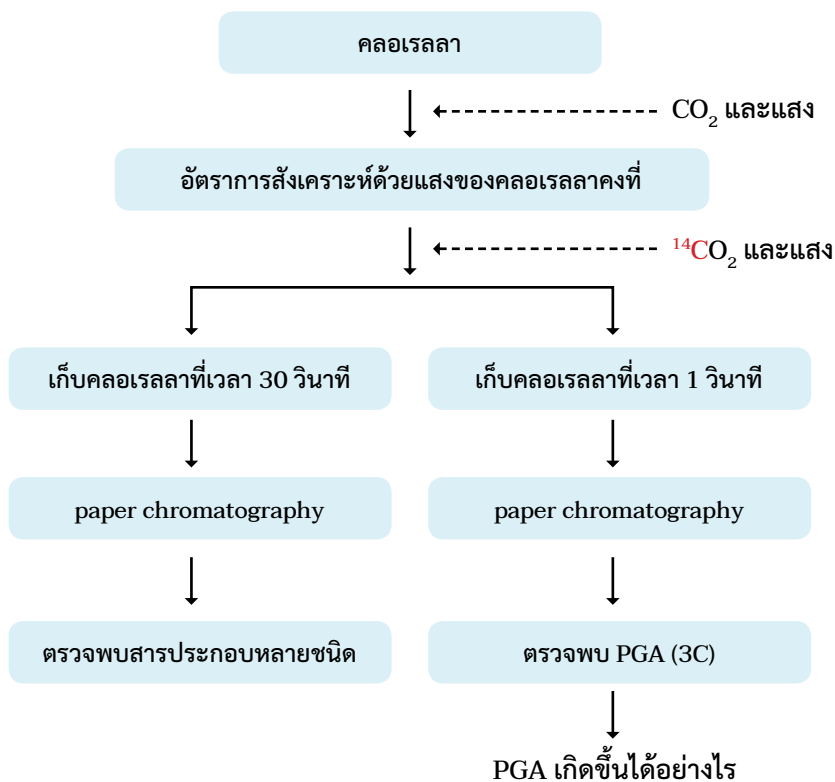


แตกต่างกัน ดังนี้

- การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบแสง I และระบบแสง II ในขณะที่การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบแสง I เท่านั้น
- การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรจะได้ทั้ง NADPH และ ATP รวมทั้งเกิด O_2 ส่วนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรจะเกิดเฉพาะ ATP
- การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรมีการแตกตัวของโมเลกุลน้ำเกิดขึ้น แต่การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรไม่มีการแตกตัวของโมเลกุลน้ำ

11.2.4 การตรึงคาร์บอน

ครูอาจใช้รูป 11.16 ในหนังสือเรียน และแผนภาพด้านล่างซึ่งแสดงเรื่องราวการทดลองของ คัลวินและคณะประกอบกับข้อมูลในหนังสือเรียน เพื่อกระตุ้นความสนใจและนำเข้าสู่การศึกษาเรื่อง การตรึงคาร์บอน ดังนี้



ข้อสันนิษฐาน

② (2C)

+

CO₂ (1C)

→

PGA (3C)

↓
ตรวจไม่พบ

การทดลองต่อมาตรวจพบ RuBP (5C) และได้ข้อสรุปดังนี้

RuBP (5C)

+

CO₂ (1C)

→

สารตัวกลาง (6C)
ไม่เสถียร

→

PGA (3C)
2 โมเลกุล

จากแผนภาพข้างต้น ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยใช้คำถามเกี่ยวกับการทดลองของ คัลวินและคณะ ดังนี้

- จากแผนภาพคัลวินและคณะใช้วิธีใดในการศึกษาเกี่ยวกับสารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการตรึงคาร์บอน
- จากการทดลองของคัลวินและคณะ สารที่เสถียรชนิดแรกคือสารใด
- เมื่อพบว่าสารที่เสถียรชนิดแรกคือ PGA ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คัลวินและคณะ ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับสารตั้งต้นที่สร้าง PGA อย่างไร และเมื่อทำการทดลองแล้วสมมติฐานดังกล่าวเป็นจริงหรือไม่ อย่างไร

จากการอภิปรายควรสรุปได้ว่าปฏิกิริยาในการตรึงคาร์บอนมีหลายขั้นตอนซึ่งเกิดต่อเนื่องเป็นวัฏจักร ในปัจจุบันเรียกวัฏจักรนี้ว่าวัฏจักรคัลวิน ครูอาจใช้รูป 11.17 และ 11.18 ในหนังสือเรียนเพื่ออธิบายและสรุปเกี่ยวกับขั้นตอนในวัฏจักรคัลวินโดยให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับขั้นตอนของวัฏจักรคัลวินในประเด็นดังต่อไปนี้

- การตรึงคาร์บอนเกิดขึ้นที่บริเวณใดของคลอโรพลาสต์
- วัฏจักรคัลวินมีกี่ขั้นตอน อะไรบ้าง และในแต่ละขั้นตอนจะได้สารใดเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่จะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนต่อไป
- มีการใช้ ATP และ NADPH ในขั้นตอนใดบ้าง

จากการอภิปรายควรสรุปเกี่ยวกับขั้นตอนในวัฏจักรคัลวินได้ว่าเกิดขึ้นที่สโตรมาของคลอโรพลาสต์ และประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ คาร์บอกซิเลชัน รีดักชัน และรีเจนเนอเรชัน

1. **คาร์บอกซิเลชัน** เป็นขั้นตอนที่ RuBP ทำปฏิกิริยากับ CO_2 ได้เป็น PGA ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอมเป็นองค์ประกอบ และเป็นสารเสถียรชนิดแรกของวัฏจักรคัลวิน
2. **รีดักชัน** เป็นขั้นตอนที่ PGA รับพลังงานจาก ATP และ NADPH จากปฏิกิริยาแสง เปลี่ยนเป็น G3P หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า phosphoglyceraldehyde (PGAL) ซึ่งเป็นน้ำตาลชนิดแรกที่มีคาร์บอน 3 อะตอม
3. **รีเจนเนอเรชัน** เป็นกระบวนการสร้าง RuBP ขึ้นมาใหม่ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการใช้พลังงานจาก ATP โดย RuBP ที่สร้างขึ้นใหม่นี้จะถูกใช้ในขั้นตอนคาร์บอกซิเลชันเพื่อทำปฏิกิริยากับ CO_2

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับจำนวนโมเลกุลของสารต่าง ๆ ใน 1 รอบของวัฏจักรคัลวินที่สมบูรณ์ โดยอาจใช้คำถามดังนี้

- ในการตรึง CO_2 1 โมเลกุล จะต้องใช้ RuBP กี่โมเลกุล และได้ G3P กี่โมเลกุล
- การเกิดวัฏจักรคัลวินที่สมบูรณ์ 1 รอบ จะต้องใช้ CO_2 และ RuBP กี่โมเลกุล และจะได้ G3P ที่เป็นสารผลิตภัณฑ์กี่โมเลกุล และสร้าง RuBP กลับเข้าสู่วัฏจักรได้กี่โมเลกุล

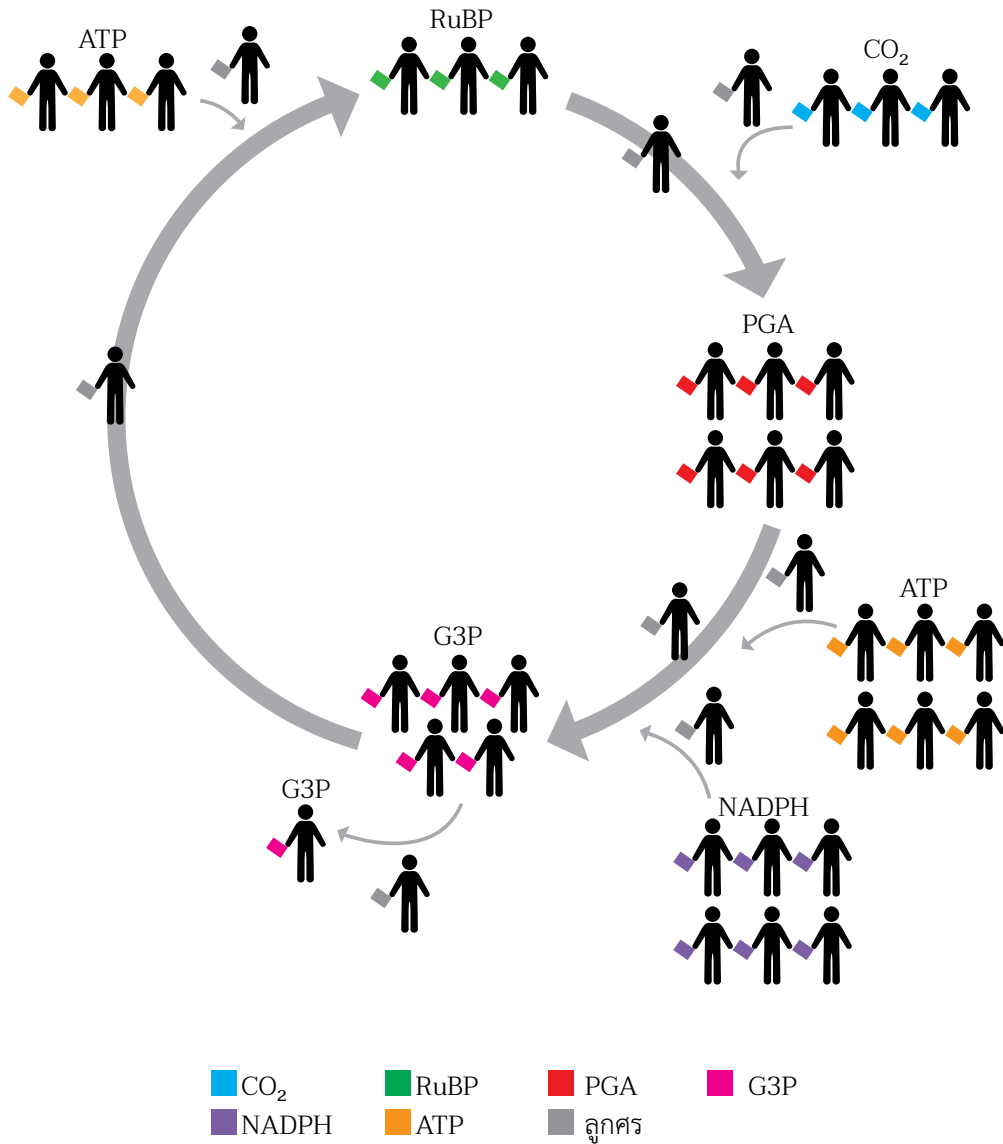
ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนต่าง ๆ ในวัฏจักรคัลวิน จากนั้นอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมบทบาทสมมติเป็นสารต่าง ๆ ในวัฏจักรคัลวินโดยทำฉลากเพื่อให้นักเรียนแต่ละคนสุมเลือกบทบาทสมมติต่าง ๆ โดยอาจมีจำนวน ดังนี้

- RuBP จำนวน 3 คน
- CO_2 จำนวน 3 คน
- PGA จำนวน 6 คน
- G3P จำนวน 6 คน
- ATP จำนวน 9 คน
- NADPH จำนวน 6 คน
- ลูกศร จำนวน 8 คน (อาจใช้ป้ายกระดาษแทน หากนักเรียนไม่พอ)

เมื่อนักเรียนแต่ละคนได้บทบาทสมมติของตนเองแล้ว ให้เขียนป้ายประจำตัว จากนั้นครูเป็นผู้กำหนดสถานการณ์ต่าง ๆ ให้นักเรียนทำกิจกรรม ตัวอย่างเช่น

- ใครที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนคาร์บอกซิเลชันบ้าง (อาจให้นักเรียนยกมือ ชูป้าย หรือยืนขึ้น)
- ใครที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนรีดักชันบ้าง
- ใครที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนรีเจนเนอเรชันบ้าง
- ให้นักเรียนสร้างวัฏจักรคัลวินอย่างสมบูรณ์ตามบทบาทสมมติที่ตนได้รับ
- ต้องการให้ได้น้ำตาลที่เป็นผลิตภัณฑ์ 2 โมเลกุลและเกิดวัฏจักรคัลวินที่สมบูรณ์ (สถานการณ์นี้ใช้นักเรียนจำนวนมาก ซึ่งอาจทำได้โดยให้นำป้ายไปติดบนกระดาน)

ตัวอย่างการจำลองกิจกรรมบทบาทสมมติของการเกิดวัฏจักรคัลวิน 1 รอบ ดังรูป



ทั้งนี้ครูอาจปรับรูปแบบของการทำกิจกรรมบทบาทสมมติได้ตามความเหมาะสม เช่น ครูอาจเขียนวงกลมไว้บนกระดาน และให้นักเรียนแต่ละคนนำฉลากบทบาทสมมติที่จับได้มาติดในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยจากการทำกิจกรรม ครูอภิปรายร่วมกับนักเรียนโดยใช้รูป 11.18 เพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

- การตรึง CO_2 1 โมเลกุลซึ่งทำปฏิกิริยากับ RuBP 1 โมเลกุล จะได้ G3P 2 โมเลกุล
- การสร้าง RuBP ขึ้นใหม่ต้องใช้ G3P (3C) 5 โมเลกุล และได้ RuBP (5C) 3 โมเลกุล
- การเกิดวัฏจักรคัลวินที่สมบูรณ์ 1 รอบจึงต้องตรึง CO_2 3 โมเลกุล ซึ่งทำปฏิกิริยากับ RuBP 3 โมเลกุล เพื่อให้ได้ G3P 6 โมเลกุล โดยจะใช้ G3P 5 โมเลกุลเพื่อสร้าง RuBP 3 โมเลกุลกลับคืนสู่วัฏจักรคัลวิน และเหลือ G3P 1 โมเลกุลที่จะออกจากวัฏจักรและถูกนำไปสร้างเป็นน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น รวมทั้งสารอินทรีย์อื่นๆ

นอกจากนี้ครูควรอธิบายเพิ่มเติมเพื่อเน้นว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก 1 รอบของวัฏจักรคัลวิน คือ G3P 1 โมเลกุล ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม สำหรับความรู้ที่นักเรียนเคยทราบและเข้าใจมาจากสมการเคมีโดยรวมของการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งในสมการจะแสดงน้ำตาลกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) นั้น ครูควรอธิบายเพิ่มเติมว่ากลูโคสไม่ได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ของวัฏจักรคัลวิน แต่ได้มาจากการนำ G3P ไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นกลูโคสรวมทั้งสารอินทรีย์อื่นๆ

หลังจากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน และคำถามตรวจสอบความเข้าใจ ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดผลิตภัณฑ์อะไรบ้าง



G3P และ O_2



ถ้าปฏิกิริยาในวัฏจักรคัลวินถูกยับยั้งจะส่งผลต่อปฏิกิริยาแสงด้วยหรือไม่ อย่างไร

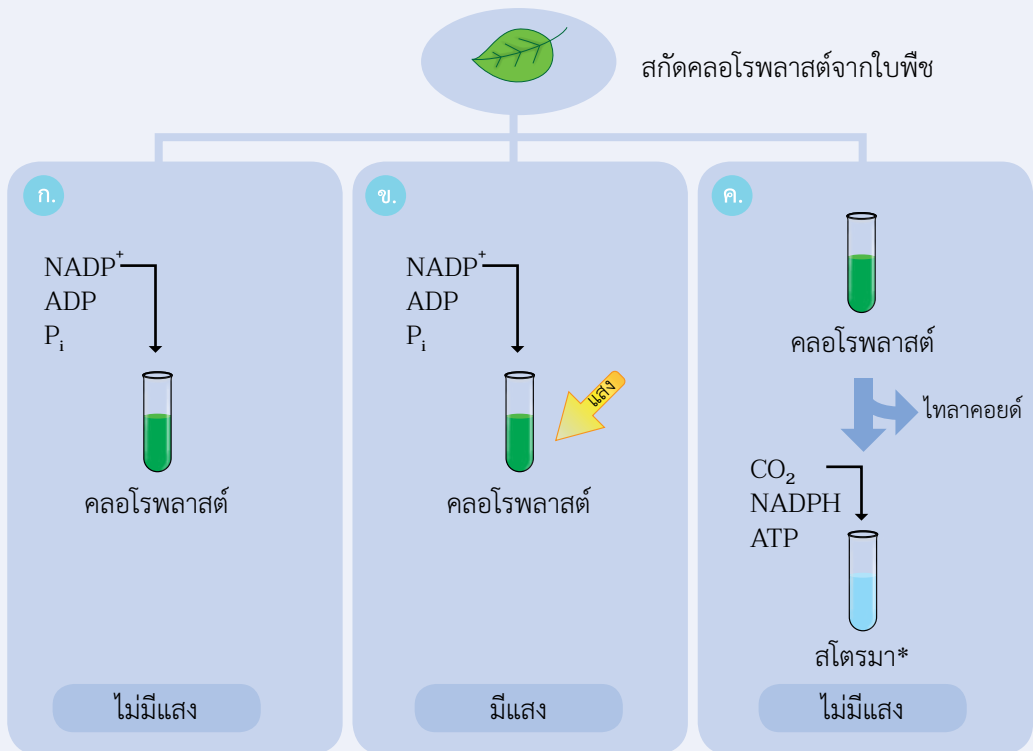


ถ้าปฏิกิริยาในวัฏจักรคัลวินถูกยับยั้งจะส่งผลต่อปฏิกิริยาแสงเช่นกัน เนื่องจากการไม่มีการใช้ NADPH และ ATP จึงไม่เกิด NADP^+ และ ADP ขึ้น ซึ่งทั้ง NADP^+ และ ADP นี้จะต้องนำไปใช้ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของปฏิกิริยาแสง



ตรวจสอบความเข้าใจ

ทำการทดลองดังแสดงในแผนภาพ



* มีเอนไซม์ในวัฏจักรคัลวินที่ได้รับการกระตุ้นแล้ว

? ระบุผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง ก. ข. และ ค.

✎ การทดลอง ก. ไม่มีสารใดเกิดขึ้น

การทดลอง ข. จะเกิด NADPH, ATP และ O₂

การทดลอง ค. จะเกิด G3P, NADP⁺ และ ADP+P_i

? จากการทดลองข้างต้น สามารถสรุปเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างไร

✎ ปฏิกิริยาแสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นในภาวะที่มีแสง จะสร้าง NADPH, ATP และมี O₂ เกิดขึ้น ส่วนการตรึงคาร์บอนเกิดขึ้นได้ในภาวะที่ไม่มีแสง หากเอนไซม์ได้รับการกระตุ้น โดยต้องการ NADPH และ ATP ซึ่งเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ G3P, NADP⁺ และ ADP+P_i

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- พลังงานแสง สารสี และการดูดกลืนแสงของสารสี จากการสืบค้นข้อมูล การทำกิจกรรม การตอบคำถาม และการอภิปรายร่วมกัน
- ระบบแสง การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรในปฏิกิริยาแสง จากการสืบค้นข้อมูล การตอบคำถาม และการอภิปรายร่วมกัน
- การตรึงคาร์บอน จากการทำกิจกรรม การตอบคำถาม และการอภิปรายร่วมกัน

ด้านทักษะ

- การสังเกต และการลงความเห็นจากข้อมูล จากการทำกิจกรรม การตอบคำถาม และการอภิปราย
- การสร้างแบบจำลอง ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรม และการอภิปรายร่วมกัน

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ ความสนใจในวิทยาศาสตร์ และการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากการตอบคำถาม และการอภิปราย

11.3 โฟโตเรสไพเรชัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปการเกิดโฟโตเรสไพเรชัน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูถามนักเรียนเกี่ยวกับบทบาทของ RuBP ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งนักเรียนควรจะสรุปได้ว่า RuBP ทำหน้าที่ตรึง CO_2 ในวัฏจักรคัลวิน

ครูให้นักเรียนอภิปรายโดยใช้รูป 11.19 ในหนังสือเรียน และคำถามดังนี้

- จากที่นักเรียนได้เรียนรู้เรื่องการคายน้ำของพืช หากพืชอยู่ในภาวะร้อนหรือแห้งแล้ง พืชจะตอบสนองอย่างไร
- เมื่อรูปากใบของพืชปิดจะส่งผลต่อปริมาณ CO_2 และ O_2 อย่างไร
- ถ้ามี CO_2 น้อย RuBP จะสามารถตรึง CO_2 ได้เหมือนเดิมหรือไม่
- ถ้า RuBP สามารถตรึง O_2 ได้ จะมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่

จากการอภิปรายนักเรียนควรตอบได้ว่าเมื่อพืชอยู่ในภาวะร้อนหรือแห้งแล้งจะมีการปิดรูปากใบ ซึ่งส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สของพืช ทำให้พืชได้รับ CO_2 น้อยลง จึงทำให้พืชตรึง CO_2 ได้น้อยลง และหาก RuBP สามารถตรึง O_2 ได้ ก็อาจทำให้เกิดการตรึง O_2 แทนการตรึง CO_2 ซึ่งทำให้มีปริมาณ RuBP น้อยลงที่จะตรึง CO_2

จากนั้นครูใช้รูป 11.20 ในหนังสือเรียนเพื่ออธิบายเกี่ยวกับโฟโตเรสไพเรชันว่า ในขณะที่พืชตรึง CO_2 อาจมีการตรึง O_2 เกิดขึ้นด้วย โดย RuBP มีบริเวณเร่งที่สามารถจับได้ทั้งกับ CO_2 และ O_2 เมื่อมีการสะสมของ O_2 มากขึ้น RuBP มีโอกาสจับกับ O_2 มากขึ้น และจับ CO_2 ได้น้อยลง กระบวนการที่ RuBP ตรึง O_2 นี้เรียกว่าโฟโตเรสไพเรชัน ซึ่งจะทำให้พืชสลายสารอินทรีย์และสูญเสียคาร์บอนโดยถูกปล่อยออกมาในรูป CO_2 ทำให้มี PGA ที่นำเข้าสู่วัฏจักรคัลวินน้อยลง โดยในโฟโตเรสไพเรชันจะมีการใช้พลังงานจาก ATP อีกด้วย ซึ่งจะเห็นว่าโฟโตเรสไพเรชันเป็นกระบวนการที่คล้ายกับการหายใจระดับเซลล์ โดยครูอาจใช้คำถามในหนังสือเรียนถามนักเรียน ดังนี้



ถ้าพืชเกิดโฟโตเรสไพเรชันมากจะเกิดผลอย่างไร



ถ้าพืชเกิดโฟโตเรสไพเรชันมากจะทำให้ความสามารถในการตรึง CO_2 ในวัฏจักรคัลวินลดลง เนื่องจากมี RuBP ลดลงเพราะ RuBP ส่วนหนึ่งจับกับ O_2 ทำให้มี RuBP เหลือน้อยลงสำหรับการตรึง CO_2 นอกจากนี้การใช้ RuBP เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตเรสไพเรชันจะได้ PGA น้อยกว่าการใช้ RuBP เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาในขั้นตอนคาร์บอกซิเลชัน จึงได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำตาลน้อยกว่าด้วย

? โฟโตเรสไพเรชันเหมือนหรือแตกต่างจากการหายใจระดับเซลล์อย่างไร ในด้านการใช้ O₂ การสลายสารอินทรีย์ การใช้พลังงาน และความต้องการแสงเพื่อดำเนินกิจกรรม



ลักษณะ	โฟโตเรสไพเรชัน	การหายใจระดับเซลล์	รายละเอียด
1. การใช้ O ₂	ใช้	ใช้	O ₂ จะเข้าทำปฏิกิริยากับ RuBP ในโฟโตเรสไพเรชัน ส่วน O ₂ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการหายใจระดับเซลล์
2. การสลายสารอินทรีย์	เกิด	เกิด	มีการสลายสารอินทรีย์และปลดปล่อยคาร์บอนออกมาในรูปของ CO ₂ โดยโฟโตเรสไพเรชันเป็นการสลาย RuBP ส่วนการหายใจระดับเซลล์ (ในภาวะที่มี O ₂ เพียงพอ) เป็นการสลายกลูโคส
3. การใช้พลังงาน	ใช้	ใช้	มีการใช้พลังงานจาก ATP ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ และมีการใช้ ATP ในการกระตุ้นโมเลกุลน้ำตาลในขั้นแรกของไกลโคไลซิส แต่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการได้ ATP เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากจากการสลายสารอินทรีย์ ส่วนโฟโตเรสไพเรชันมีการใช้ ATP ในการสร้าง PGA
4. ความต้องการแสงเพื่อดำเนินกิจกรรม	ใช้	ไม่ใช่	รูบิสโกต้องการแสงในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเรสไพเรชันจึงเกิดในภาวะที่มีแสง ในขณะที่การหายใจระดับเซลล์ไม่จำเป็นต้องมีแสง

ครูอธิบายเกี่ยวกับโฟโตเรสไพเรชันในพีชว่าเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามปกติ โดยในปัจจุบันมีการทดลองที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าโฟโตเรสไพเรชันมีความจำเป็นต่อพืช ช่วยลดการเกิดอนุมูลอิสระเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัฏจักรคัลวินและปฏิกิริยาแสงไม่สมดุลกัน



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

เมื่อพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนหรือแล้ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาในวัฏจักรคัลวินลดลง ทำให้ปริมาณ NADP^+ และ ADP ที่จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแสงมีน้อยลง เมื่อ NADP^+ มีจำกัดจึงส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรซึ่งต้องการ NADP^+ มาเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ดังนั้นเมื่อไม่มีตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย จึงเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายโปรตอนจากสโตรมาเข้าสู่ลูเมนมากขึ้น แต่เนื่องจากปริมาณ ADP มีจำกัดเช่นกัน จึงทำให้ไม่สามารถสร้าง ATP ได้ และเกิดการสะสมโปรตอนในลูเมนมากขึ้นจนในที่สุดไม่สามารถเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรได้เช่นกัน ดังนั้นเมื่อระบบแสงถูกกระตุ้นและปลดปล่อยอิเล็กตรอน แต่ไม่เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนตามปกติ อาจนำไปสู่การเกิดอนุมูลอิสระขึ้น โดยวิธีการหนึ่งที่เกิดขึ้นในพืชคือ O_2 ที่อยู่ในลูเมนได้รับอิเล็กตรอนและเกิดเป็นอนุมูลอิสระซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร และก่อให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ได้ หากเหตุการณ์ดังกล่าวยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในที่สุดจะทำให้ระบบแสงในพืชเสียหายและเป็นอันตรายต่อพืชได้ ดังนั้นการเกิดโฟโตเรสไพเรชันซึ่งทำให้มีการใช้ ATP และได้ ADP เพิ่มขึ้น จึงทำให้การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงเกิดได้อย่างต่อเนื่อง และป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ



ตรวจสอบความเข้าใจ

? โฟโตเรสไพเรชันสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่ อย่างไร



โฟโตเรสไพเรชันมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้รูบิสโกเหมือนกัน แต่โฟโตเรสไพเรชันใช้รูบิสโกในการทำให้ RuBP ตรึง O_2 หรือเป็นการใช้ O_2 สลาย RuBP ส่วนการสังเคราะห์ด้วยแสงใช้รูบิสโกในการช่วยให้ RuBP ตรึง CO_2 ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีแสง

11.4 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล และอธิบายกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ของพืช C_4 และพืช CAM
2. วิเคราะห์ อธิบายและเปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนในพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูเชื่อมโยงความรู้จากเรื่องโฟโตเรสไพเรชันเพื่อนำเข้าสู่เรื่องการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายคำถาม ดังนี้

- หากไม่ต้องการให้พืชเกิดโฟโตเรสไพเรชัน นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไร

คำตอบของนักเรียนอาจมีได้หลากหลาย ซึ่งควรนำไปสู่ข้อสรุปว่าหากไม่ต้องการให้พืชเกิดโฟโตเรสไพเรชันจะต้องทำให้พืชอยู่ในภาวะที่มีความเข้มข้นของ CO_2 สูงตลอดเวลา โดยครูอธิบายเพิ่มเติมว่ามีพืชบางกลุ่มที่สามารถทำเช่นนั้นได้ซึ่งได้แก่ พืช C_4 และพืช CAM

11.4.1 การตรึงคาร์บอนในพืช C_4

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับการตรึงคาร์บอนในวัฏจักรคัลวินของพืชที่นักเรียนได้เรียนมาแล้ว โดยใช้คำถามถามนักเรียนว่า สารที่เสถียรชนิดแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคัลวินคืออะไร เพื่อนำเข้าสู่เรื่องพืช C_3 ซึ่งนักเรียนจะตอบได้ว่า สารที่เสถียรชนิดแรกในวัฏจักรคัลวิน คือ PGA ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม โดยครูย้ำให้นักเรียนทราบว่า พืชที่ตรึงคาร์บอนได้สารที่เสถียรชนิดแรกเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอมนี้เรียกว่า พืช C_3 นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ยังได้ทดลองแล้วพบว่า พืชบางชนิดสามารถสร้างสารที่เสถียรชนิดแรกที่เป็นสารประกอบคาร์บอน 4 อะตอมอีกด้วย ซึ่งพบว่ามีกลไกการสร้างที่นอกเหนือไปจากวัฏจักรคัลวิน เรียกพืชกลุ่มนี้ว่า พืช C_4 จากนั้นครูใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนเรื่องโครงสร้างของพืช C_3 และพืช C_4 ดังนี้

- พืชทุกชนิดมีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 เหมือนกันหรือไม่
- พืช C_4 น่าจะมีโครงสร้างที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนหรือแตกต่างจากพืช C_3

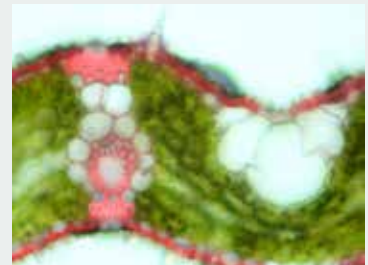
ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน จากนั้นนำเข้าสู่เรื่องโครงสร้างของใบพืช C_3 และพืช C_4 โดยครูนำภาพสไลด์ใบพืช C_3 และ C_4 ตัดตามขวาง หรือใช้รูป 11.21 ในหนังสือเรียนมาให้นักเรียนศึกษา และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในว่าประกอบด้วยเซลล์ชนิดต่างๆ เหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ และการจัดเรียงตัวของเซลล์ในชั้นเนื้อเยื่อต่างๆ เป็นอย่างไร

จากการเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของใบพืช C_3 และใบพืช C_4 นักเรียนควรจะตอบได้ว่าพืช C_3 ในชั้นมีโซฟิลล์อาจพบเซลล์ 2 ชนิด คือ แพลลิสเซลล์มีโซฟิลล์ มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกเรียงชิดกันแน่น และสpongijiมีโซฟิลล์ซึ่งจะเรียงกันอยู่อย่างหลวมๆ ในเซลล์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีคลอโรพลาสต์อยู่ ส่วนใบพืช C_4 เซลล์ในชั้นมีโซฟิลล์ไม่ได้แบ่งอย่างชัดเจนออกเป็นแพลลิสเซลล์มีโซฟิลล์ และสpongijiมีโซฟิลล์ นอกจากนี้รอบๆ กลุ่มท่อลำเลียงของใบพืช C_4 มีเซลล์พาเรงคิมาล้อมรอบเรียกว่าบันเดิลชีท ภายในเซลล์บันเดิลชีทมีคลอโรพลาสต์อยู่ด้วย ส่วนใบพืช C_3 อาจมีหรือไม่มีบันเดิลชีทล้อมรอบกลุ่มท่อลำเลียง ถ้ามีบันเดิลชีทจะไม่เห็นคลอโรพลาสต์ที่ชัดเจนภายในเซลล์



ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของพืชเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการระบุให้แน่ชัดว่าพืชชนิดนั้นเป็นพืชประเภทใด เช่น ชั้นมีโซฟิลล์ของข้าวซึ่งเป็นพืช C_3 อาจไม่แบ่งเป็นแพลลิสเซลล์มีโซฟิลล์และสpongijiมีโซฟิลล์ชัดเจน ดังนั้นการระบุว่าเป็นพืชชนิดนั้นเป็นพืชประเภทใด นอกจากศึกษาโครงสร้างภายในแล้ว ยังต้องศึกษาด้านอื่นร่วมด้วย เช่น การศึกษาด้านสรีรวิทยาของพืช (plant physiology)



โครงสร้างภายใน
ของใบข้าวตัดตามขวาง

นอกจากนี้ใบพืช C_3 อาจมีหรือไม่มีเซลล์บันเดิลชีทล้อมรอบกลุ่มท่อลำเลียง ถ้ามีบันเดิลชีท มักไม่พบคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีทเมื่อสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ เนื่องจากอาจไม่มีคลอโรพลาสต์ หรือคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีทมีขนาดเล็กมาก นอกจากนี้ยังไม่ทราบหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีทที่แน่ชัดโดยยังอยู่ในขั้นตอนศึกษาวิจัย

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่นักเรียนได้เรียนมาแล้วว่า ประกอบด้วยปฏิกิริยาแสงกับการตรึงคาร์บอนและเชื่อมโยงให้เห็นความสัมพันธ์กับโครงสร้างของพืช ทั้งนี้ครูอาจตั้งคำถามถามนักเรียนว่า จากการเปรียบเทียบโครงสร้างภายในใบของพืช C_3 และพืช C_4 มาแล้วนั้น สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างพืช C_3 และ C_4 ก็คือ ลักษณะของเซลล์บันเดิลชีท ดังนั้น ความแตกต่างของลักษณะของเซลล์บันเดิลชีทของพืชทั้ง 2 นี้ มีผลอย่างไรต่อการตรึงคาร์บอน ทั้งนี้ครูอาจจะยังไม่สรุปคำตอบของนักเรียนจนกว่านักเรียนจะได้เรียนเรื่องการตรึงคาร์บอนในพืช C_4 ไปแล้ว

ครูให้นักเรียนศึกษาแผนภาพการตรึงคาร์บอนในพืช C_4 จากรูป 11.22 ในหนังสือเรียน เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการตรึงคาร์บอนที่เกิดขึ้นในพืช C_4 ที่แตกต่างจากพืช C_3 โดยครูอาจตั้งคำถามถามนักเรียนว่า สารที่เสถียรชนิดแรกที่พบในพืช C_3 และพืช C_4 นั้นได้แก่อะไร เพื่อนำเข้าสู่กลไกในการตรึงคาร์บอนของพืช C_4 ทั้งนี้จากการตรึงคาร์บอนของพืช C_4 ในแผนภาพสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. พืช C_4 มีการตรึงคาร์บอน 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดในสโตรมาของเซลล์มีโซฟิลล์ มีการตรึงคาร์บอนในรูป HCO_3^- โดยสารประกอบ PEP ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม ทำให้เกิด OAA ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม สารนี้เป็นสารที่เสถียรชนิดแรกที่ได้จากการตรึงคาร์บอน จึงเรียกพืชกลุ่มนี้ว่าพืช C_4 จากนั้น OAA จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดมาลิกซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม
2. กรดมาลิกจะถูกลำเลียงจากเซลล์มีโซฟิลล์ผ่านพลาสโมเดสมามาเข้าไปในเซลล์บันเดิลชีท แล้วมีการสลายให้กรดไพรูวิกซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอมและปล่อยคาร์บอนที่เหลืออีก 1 อะตอมในรูปของ CO_2 ให้แก่ RuBP ในวัฏจักรคัลวินเป็นการตรึงคาร์บอนครั้งที่สอง
3. กรดไพรูวิกจะถูกลำเลียงผ่านพลาสโมเดสมากลับเข้าไปในเซลล์มีโซฟิลล์ แล้วเปลี่ยนเป็น PEP โดยอาศัยพลังงานจาก ATP เพื่อกลับไปใช้ในการตรึงคาร์บอนต่อไป

ครูตั้งคำถามเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การอภิปรายดังนี้

- การที่พืช C_4 มีความสามารถในการตรึงคาร์บอน 2 ครั้ง มีผลต่อพืชอย่างไร

การตรึงคาร์บอน 2 ครั้ง ในรูปแบบนี้ทำให้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ในบันเดิลชีท ทำให้มีปริมาณ CO_2 สูงกว่า O_2 มาก และในพืช C_4 จะพบรูบิสโกเฉพาะในบันเดิลชีท ทำให้รูบิสโกในพืช C_4 มีโอกาสน้อยมากที่จะทำปฏิกิริยากับ O_2 จึงเป็นการลดการเกิดโฟโตเรสไพเรชัน

ทั้งนี้ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อหาคำตอบจากหลักการที่เรียนมาแล้ว เพื่อขยายความรู้ของนักเรียนให้มากขึ้นและให้เข้าใจยิ่งขึ้น ครูอาจให้นักเรียนเปรียบเทียบพืช C_3 และพืช C_4 ในแง่ของโครงสร้างและกลไกในการสังเคราะห์ด้วยแสง

การเปรียบเทียบอาจทำเป็นตาราง ดังนี้

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4
1. บันเดิลชีท	อาจมีหรือไม่มี	มี
2. คลอโรพลาสต์ที่บันเดิลชีท	มักไม่พบเมื่อดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	มี
3. จำนวนครั้งของการตรึงคาร์บอน	1 ครั้ง	2 ครั้ง
4. สารที่ใช้ตรึงคาร์บอน	RuBP	ครั้งแรก PEP ครั้งที่สอง RuBP
5. สารที่เสถียรชนิดแรกที่เกิดจากการตรึงคาร์บอน	PGA (3C)	OAA (4C)
6. การเกิดโฟโตเรสไพเรชัน	มี	มีน้อยมาก หรือไม่มี

11.4.2 การตรึงคาร์บอนในพืช CAM

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้คำถามดังนี้ นักเรียนได้ทราบมาแล้วว่าพืชบางชนิด เช่น พืชกลุ่มกระบองเพชรซึ่งเป็นพืชทนแล้งเจริญได้ในที่แห้งแล้งและอุณหภูมิสูง พืชเหล่านี้มีการปรับตัวเพื่อลดการสูญเสียน้ำอย่างไร ซึ่งนักเรียนควรจะตอบได้ว่า ลำต้นอวบน้ำ ไบเลทรูปกลายเป็นหนาม โดยครูชี้แจงเพิ่มเติมว่า นอกจากนี้พืชกลุ่มนี้ยังลดการสูญเสียน้ำโดยปากใบจะปิดในเวลากลางวันและจะเปิดในเวลากลางคืน จากนั้นครูใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นข้อมูล ดังนี้

- พืชที่ขึ้นในทะเลทรายหรือในที่แห้งแล้งมีกลไกการสังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนกับพืชที่ขึ้นอยู่ทั่วไปหรือไม่ อย่างไร

ครูให้นักเรียนศึกษาข้อมูลในหนังสือเรียนและใช้รูป 11.23 เพื่อร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ของพืช CAM ซึ่งจากการอภิปรายนักเรียนควรจะสรุปได้ว่า โดยทั่วไปการตรึง CO_2 ในวัฏจักรคัลวินจะเกิดขึ้นในขณะที่มีแสง เพราะต้องนำสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาแสงมาใช้ในกระบวนการตรึง CO_2 แต่พืช CAM มีการตรึงคาร์บอนในเวลากลางคืนโดยปากใบเปิดให้ CO_2 เข้าไป สร้าง OAA แล้วสะสมไว้ในรูปของกรดมาลิกในแวคิวโอลในเวลากลางคืน กรดมาลิกนี้จะสลายได้ CO_2 ในเวลากลางวัน ทำให้ปฏิกิริยาการตรึง CO_2 ในวัฏจักรคัลวินของพืช CAM เกิดขึ้นได้

ครูควรชี้แจงเพิ่มเติมว่าพืชที่มีการตรึงคาร์บอนแบบนี้พบเป็นครั้งแรกในพืชวงศ์ Crassulaceae การตรึงคาร์บอนของพืชกลุ่มนี้จึงเรียกว่า Crassulacean Acid Metabolism; CAM ซึ่งทำให้เรียกพืชกลุ่มนี้ว่าพืช CAM ปัจจุบันพบว่ามีพืชในวงศ์อื่นอีกหลายชนิดที่มีการตรึงคาร์บอนที่จัดอยู่ในกลุ่มพืช CAM เช่น กระบองเพชร แก้วมังกร เศรษฐีพันล้าน สับปะรดสี นมตำเลีย ลิ้นมังกร เป็นต้น

ครูอาจใช้คำถามเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนยกตัวอย่างพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM ดังนี้

- พืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM ที่นักเรียนรู้จัก ได้แก่อะไรบ้าง ยกตัวอย่างมาอย่างน้อยกลุ่มละ 2 ชนิด
 - ตัวอย่างพืช C_3 เช่น ข้าว ข้าวสาลี มะม่วง กล้วย เงาะ ทุเรียน
 - ตัวอย่างพืช C_4 ได้แก่ พืชเมืองร้อน เช่น อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หญ้าแพรก บานไม่รู้โรย หญ้าแห้วหมู
 - ตัวอย่างพืช CAM ได้แก่ พืชที่สามารถเจริญเติบโตในที่แห้งแล้ง หรือพืชอิงอาศัย (epiphyte) เช่น กระบองเพชร สับปะรด สับปะรดสี ครนารายณ์ กุหลาบหิน กล้วยไม้



ตรวจสอบความเข้าใจ

? กลไกการตรึงคาร์บอนของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM เหมือนหรือแตกต่างกัน อย่างไร โดยเปรียบเทียบในประเด็นต่างๆ ดังนี้



ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
1. จำนวนครั้งของการตรึงคาร์บอน	1 ครั้ง	2 ครั้ง	2 ครั้ง
2. ช่วงเวลาที่เกิดการตรึงคาร์บอนโดย PEP	-	กลางวัน	กลางคืน
3. การเกิดวัฏจักรคัลวิน	เกิด	เกิด	เกิด
4. สารที่ใช้ตรึงคาร์บอน	RuBP	ครั้งแรก PEP ครั้งที่สอง RuBP	ครั้งแรก PEP ครั้งที่สอง RuBP
5. แหล่งสร้าง G3P	ทุกเซลล์ที่มี คลอโรพลาสต์	เซลล์บันเดิลชีท	ทุกเซลล์ที่มี คลอโรพลาสต์

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- โฟโตเรสไพเรชัน และกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ของพืช C_4 และพืช CAM จาก การสืบค้นข้อมูล การตอบคำถาม และการอภิปรายร่วมกัน

ด้านทักษะ

- การลงความเห็นจากข้อมูล และการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการสืบค้น ข้อมูล การตอบคำถาม และการอภิปราย

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น ความมุ่งมั่นอดทน จากการตอบคำถาม และการอภิปราย

11.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล และระบุปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
2. ทดลอง อภิปราย และสรุปเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
3. วิเคราะห์ และอธิบายเกี่ยวกับความเข้มแสง ความเข้มข้นของ CO_2 และอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

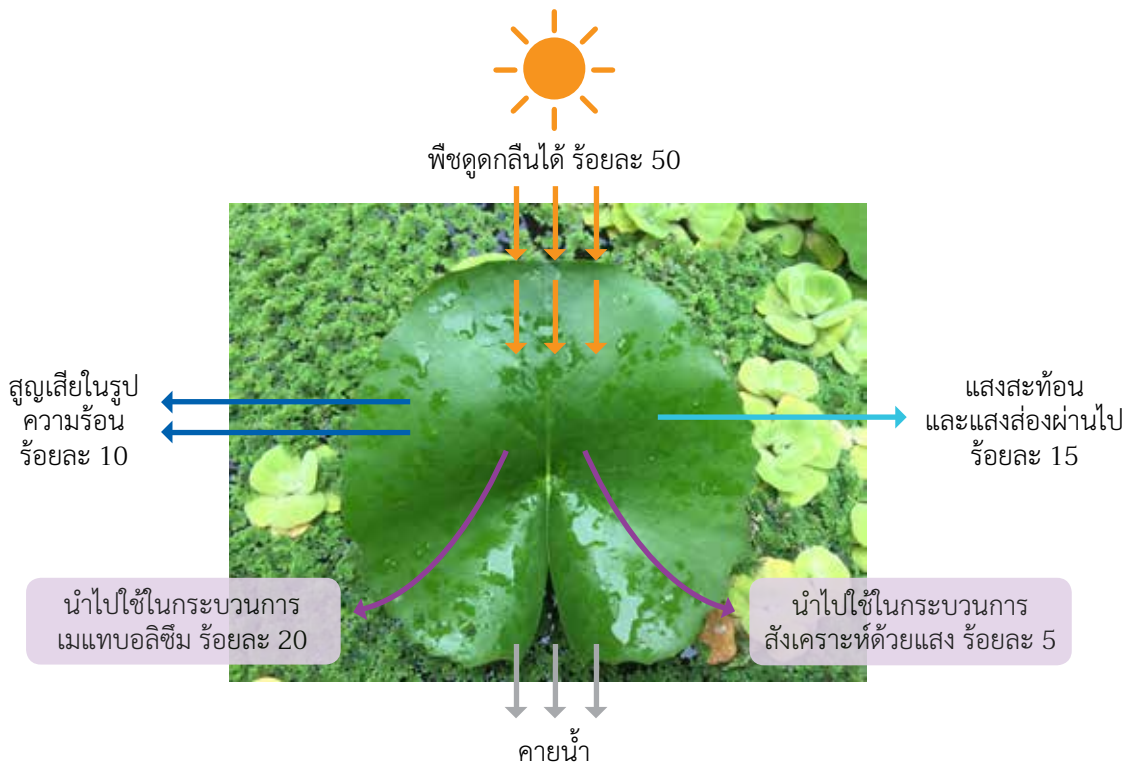
แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยยกตัวอย่างสถานการณ์จริงที่นักเรียนพบเห็นในชีวิตประจำวันเพื่อให้ นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนี้

- นักเรียนเคยสังเกตไหมว่า พืชชนิดเดียวกันที่ปลูกกลางแจ้งกับปลูกในที่ร่มจะมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ในการเพาะเมล็ดและปลูกพืชจนเจริญเติบโต นักเรียนสังเกตหรือไม่ว่าพืชต้องใช้ปัจจัยใดบ้าง ในการสร้างอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และนักเรียนดูแลเอาใจใส่พืชนั้นอย่างไร

หรือครูอาจใช้คำถามนำในหนังสือเรียนเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนว่า สภาพแวดล้อมของพืชมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร หรือ ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

จากนั้นครูอาจทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนที่เรียนมาแล้ว โดยให้บอกปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งนักเรียนน่าจะบอกได้ว่าเป็นแสง น้ำ CO_2 และครูเพิ่มเติมในเรื่องแสงว่าพืชสามารถดูดกลืนแสงไว้ได้เพียงร้อยละ 50 ของแสงที่มากกระทบที่ผิวใบ โดยแบ่งเป็นแสงสะท้อนและแสงส่องผ่านไป ร้อยละ 15 สูญเสียไปในรูปความร้อนร้อยละ 10 นำไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช ร้อยละ 20 และมีเพียงร้อยละ 5 เท่านั้นที่พืชนำไปใช้ในการสร้างคาร์โบไฮเดรตด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังรูป



ปัจจัยที่พืชต้องการในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีอะไรบ้าง นักเรียนจะได้เรียนรู้จากการทำกิจกรรม 11.1 ต่อไป



กิจกรรม 11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

จุดประสงค์

1. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
2. ทดลองและสรุปความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงกับปัจจัยต่างๆ

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ใบไม้ที่ไม่หนาจนเกินไป เช่น ใบอะเมซอน ใบชา ใบชะพลู เป็นต้น	1 ชุด
2. หลอดกาแฟที่แข็ง หรือที่เจาะกระดาษ	1 อัน
3. หลอดฉีดยาขนาด 20 mL	2 อัน
4. นาฬิกาจับเวลา	1 อัน
5. เครื่องชั่ง	1 เครื่องต่อห้อง
6. ปีกเกอร์ขนาด 250 mL	1 ใบ
7. โคมไฟพร้อมขาตั้งยึด	1 อัน
8. แท่งแก้วคนสาร	1 อัน
9. ไม้บรรทัด	1 อัน
10. สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) ความเข้มข้น 1 %	1 ขวดต่อห้อง
11. น้ำยาล้างจาน	1 ขวดต่อห้อง
12. น้ำ	1 ขวด

การเตรียมล่วงหน้า

ครูอธิบายการจัดชุดอุปกรณ์และขั้นตอนต่าง ๆ ในการทดลองเพื่อให้นักเรียนทราบเกี่ยวกับข้อที่ควรระมัดระวังและปฏิบัติดังนี้

1. ใบไม้ที่จัดเตรียมในกิจกรรมและให้ผลการทดลองชัดเจน เช่น ใบอะเมซอน ใบธรรมรักษา ใบขบา ถ้าครูจัดเตรียมใบชนิดอื่นเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนเลือกใช้ ครูควรทดลองก่อนเพื่อให้ทราบผลการทดลองที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้การไล่อากาศออกจากแผ่นใบไม้แต่ละชนิดทำได้ยากหรือง่ายแตกต่างกัน ครูจึงควรทดสอบใบไม้แต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการทดลองก่อน เพื่อสามารถให้คำแนะนำแก่นักเรียนได้
2. ครูอาจเตรียมหลอดกาแฟที่เป็นพลาสติกแข็งและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพอเหมาะแทนการใช้ที่เจาะกระดาษหรือที่เจาะรู เพราะหาง่ายและราคาถูก หรือครูแจ้งให้นักเรียนนำที่เจาะกระดาษมาด้วยในชั่วโมงเรียน
3. กรณีที่ไม่สามารถหาหลอดฉีดยาขนาด 20 mL ได้ อาจใช้ขนาดอื่นแต่ควรใหญ่กว่า 20 mL เพราะหลอดฉีดยาขนาดเล็ก เช่น 5 mL หรือ 10 mL จะไล่อากาศออกจากใบไม้ได้ยาก

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. ใบไม้ที่เลือกนำมาทดลองไม่ควรเป็นใบที่มีขนมากหรือชันคิวทิลเคลือบ เพราะจะทำให้แก๊สที่พืชปล่อยออกจากผิวใบหลุดออกมาได้ยาก
2. สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้ในการทดลองเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนให้พืช ซึ่งจะมีการเติมน้ำยาล้างจาน 2-3 หยด ลงไปด้วยเพื่อช่วยให้แก๊สที่พืชปล่อยออกจากผิวใบหลุดออกมาได้ง่ายขึ้น
3. การไล่อากาศออกจากแผ่นใบไม้ ต้องทำหลายครั้งเพื่อไล่อากาศที่อยู่ในแผ่นใบไม้ออกให้หมดซึ่งจะทำให้แผ่นใบไม้ทุกใบจมลงที่ก้นหลอดฉีดยา
4. การนับจำนวนแผ่นใบไม้ที่ลอย ควรนับตั้งแต่เริ่มลอยเพราะจะลอยค่อนข้างเร็ว ถ้ารอให้ลอยขึ้นไปที่ผิวน้ำแล้วจึงนับอาจสับสนกับแผ่นใบไม้ที่จะลอยขึ้นมาใหม่

ตัวอย่างผลการทดลอง

- หลอดที่ 1 ซึ่งให้แสงจากโคมไฟ มีผลการทดลองดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ใบอะเมซอน

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาทิจ (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	5	3	3	2	2	1	1	-	-
2	1	1	4	5	3	2	1	2	1	-
3	2	4	3	4	2	2	1	1	1	-

ตัวอย่างที่ 2 ใบธรรมรักษา

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาทิจ (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	2	4	5	4	3	1	1	-	-
2	2	2	4	4	3	2	1	1	1	-
3	2	3	4	3	2	2	2	2	-	-

ตัวอย่างที่ 3 ใบจิ้ง

ครั้งที่	จำนวนแผ่นใบที่ลอยขึ้นมาในแต่ละนาทิจ (แผ่น)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	2	4	5	3	2	1	1	-	-
2	2	3	3	3	4	1	1	1	1	1
3	2	3	4	4	2	2	2	-	1	-

- หลอดที่ 2 ซึ่งวางในที่มืด พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ทั้งแผ่นใบอะเมซอน แผ่นใบธรรมรักษา และแผ่นใบจิ้งไม่ได้ลอยขึ้นมา ยังจมอยู่ด้านล่างหลอดฉีดยาเช่นเดิม

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการทำกิจกรรม 11.1 ผลการทดลองพบว่าแผ่นใบไม้ชุดที่ได้รับแสงมีฟองแก๊สเกาะอยู่ที่ผิวใบและปล่อยแก๊สออกจากผิวใบ ทำให้แผ่นใบไม้ลอยขึ้นผิวน้ำ ส่วนชุดที่แผ่นใบไม้ไม่ได้รับแสงจะไม่มีฟองแก๊สเกาะที่ผิวใบและแผ่นใบไม้จมอยู่ด้านล่างดังเดิม นักเรียนจึงควรสรุปได้ว่าในที่มืดแผ่นใบไม้สามารถผลิตแก๊สได้และแก๊สนี้น่าจะเป็น O_2 จากการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งถ้าต้องการตรวจสอบว่าเป็น O_2 หรือไม่จะต้องหาวิธีการเก็บแก๊สและนำแก๊สมาทดสอบการช่วยให้ไฟติดต่อไป

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรมซึ่งมีแนวการตอบดังนี้

? การใช้สารละลาย $NaHCO_3$ มีวัตถุประสงค์อะไร

 เพื่อให้เป็นแหล่งคาร์บอนที่แผ่นใบไม้นำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

? ผลการทดลองทั้ง 2 ชุด เหมือนหรือต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

 ต่างกัน คือชุดที่วางไว้ในที่มีแสงจะมีฟองแก๊สเกาะที่ผิวใบและปล่อยแก๊สออกจากผิวใบ ทำให้แผ่นใบไม้ลอยขึ้นผิวน้ำ ส่วนชุดที่วางในที่มืดในเวลาเท่ากันจะไม่มีฟองแก๊สเกาะที่ผิวใบและใบไม้จมอยู่ด้านล่างดังเดิม เพราะชุดที่วางไว้ในที่มีแสงสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้จึงได้ O_2 ที่ปล่อยออกมาจากใบ แต่ชุดที่วางในที่มืดไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้จึงไม่มี O_2 ปล่อยออกมาจากใบ

? เพราะเหตุใดจึงต้องมีชุดการทดลองในที่มืด

 ชุดการทดลองในที่มืดเป็นชุดที่เปรียบเทียบกับชุดที่มีแสง เพื่อสรุปว่าแสงจำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ทั้ง 2 ชุด ยังมีการใช้ O_2 ในการหายใจระดับเซลล์และได้ CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์เหมือนกัน

? ถ้าต้องการศึกษาว่าความเข้มแสง อุณหภูมิ สารสีในใบ และอายุใบ มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่ จะออกแบบการทดลองหรือเปลี่ยนแปลงวิธีการที่แตกต่างไปจากเดิมอย่างไร

 นักเรียนสามารถใช้การทดลองที่นักเรียนได้ทำในปฏิบัติการนี้ แต่มีการควบคุมโดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษา ดังนี้

- ความเข้มแสง อาจจัดชุดการทดลองหลายชุด แต่ละชุดให้ใบพืชได้รับแสงที่มีความเข้มแสงแตกต่างกัน
- สารสีในใบ อาจจัดชุดการทดลองหลายชุด แต่ละชุดใช้ใบไม้ที่มีสารสีต่างกัน โดยควรเลือกใบไม้ที่มีหลายสีในหนึ่งใบ แล้วเลือกเจาะแผ่นใบบริเวณที่มีสีแตกต่างกันเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง
- อายุใบ อาจจัดชุดการทดลองหลายชุด แต่ละชุดใช้ใบไม้ที่อ่อนแก่ต่างกัน
- อุณหภูมิ อาจจัดชุดการทดลองหลายชุด แต่ละชุดให้ใบพืชได้รับอุณหภูมิต่างกัน โดยถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิตามต้องการตลอดเวลา อาจทำได้โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าที่ต้องการให้ใส่น้ำแข็งลงไปทีละน้อยๆ แล้ววัดอุณหภูมิว่าใกล้เคียงกับก่อนการทดลองหรือยัง

? ถ้าต้องการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช จะออกแบบการทดลองอย่างไร

 ชุดการทดลองที่ออกแบบต้องสามารถวัดปริมาตรของ O_2 ที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งอาจออกแบบได้หลากหลาย ดังเช่นกรณีศึกษาที่จะได้เรียนต่อไป

สำหรับกรณีศึกษาเกี่ยวกับการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง มีแนวคำตอบดังนี้



กรณีศึกษา

ในการทดลองวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอกที่ความเข้มแสงต่างกัน โดยจัดชุดการทดลอง ดังรูป

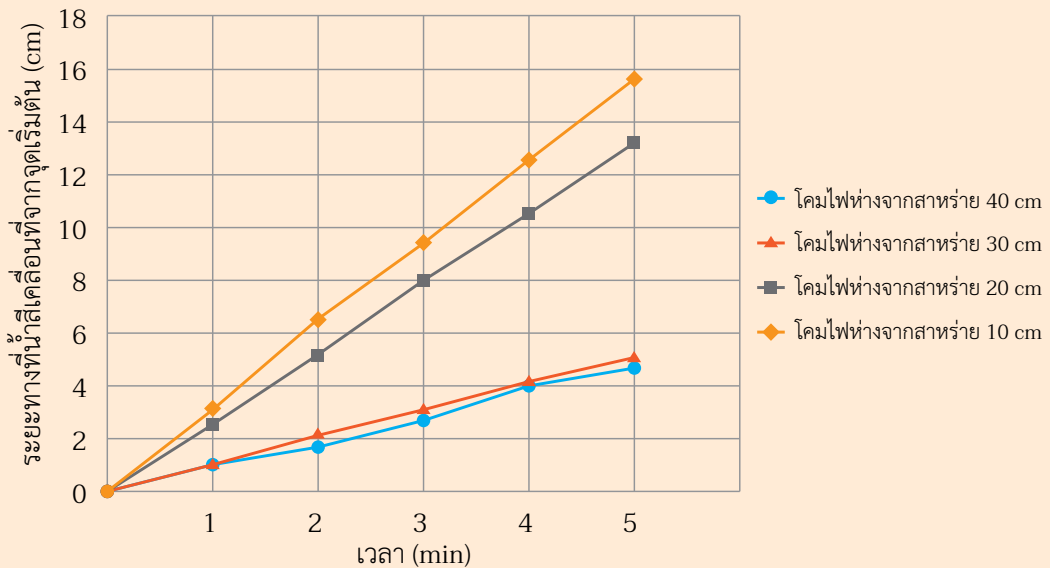


เมื่อวางโคมไฟห่างจากสาหร่ายหางกระรอกที่ระยะ 40 30 20 และ 10 cm ตามลำดับ พบว่ามี O_2 เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก ซึ่งจะดันให้น้ำสีในหลอดคอปิลลารีเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้าย และสามารถบันทึกระยะทางที่น้ำสีเคลื่อนที่ไปทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที ได้ผลดังตาราง

ระยะทางระหว่าง โคมไฟกับสาหร่าย (cm)	ระยะทางที่น้ำสีเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น (cm)				
	นาทีที่ 1	นาทีที่ 2	นาทีที่ 3	นาทีที่ 4	นาทีที่ 5
40	1.0	1.8	2.9	4.0	4.8
30	1.0	2.1	3.2	4.1	5.1
20	2.5	5.1	8.0	10.5	13.2
10	3.2	6.3	9.4	12.5	15.8

? นำข้อมูลจากตารางมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่น้ำสีเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นกับเวลาเมื่อวางคอมไฟห่างจากสาหร่ายทางกระบอกที่ระยะทางต่าง ๆ กัน

✎ เมื่อนำข้อมูลในตารางมาเขียนกราฟ จะได้กราฟเส้น 4 เส้น ดังรูป



? การที่คอมไฟอยู่ห่างจากสาหร่ายทางกระบอกในระยะต่างกัน มีผลต่อความเข้มแสงและสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

✎ ระยะห่างระหว่างคอมไฟกับสาหร่ายมาก ความเข้มแสงจะน้อยลงและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะน้อยลง แต่ถ้าระยะห่างระหว่างคอมไฟกับสาหร่ายน้อย ความเข้มแสงจะมากขึ้นและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นด้วย

? ในการทดลองนี้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายทางกระบอกวัดได้จากสิ่งใด

✎ วัดจากระยะที่น้ำสีเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณของหลอดคอปิลลารีในช่วงระยะทางที่น้ำสีเคลื่อนที่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งจะเป็นค่าของปริมาตร O_2 ที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลา

? ถ้าหลอดกะปิลลารี่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 cm อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อวางโคมไฟห่างจากสาหร่ายหางกระรอก 40 cm มีค่าเท่าใด

✎ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง = ปริมาตรของหลอดกะปิลลารี่ในช่วงระยะทางที่น้ำสีเคลื่อนที่ ใน 1 นาที

$$= \pi r^2 h = 3.14159 \times (0.1)^2 \times \left(\frac{4.8}{5}\right)$$

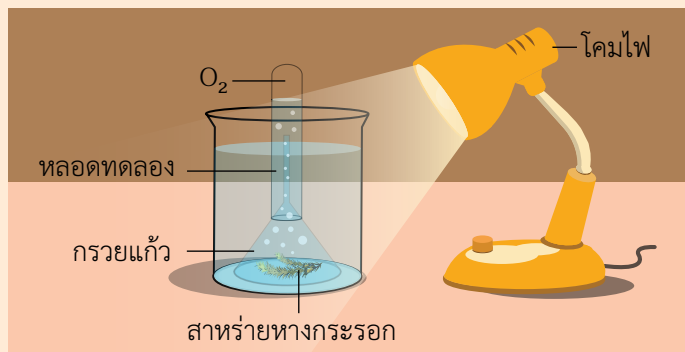
$$= 0.03 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

? การนำขวดที่ใส่สาหร่ายหางกระรอกแช่น้ำในปิกเกอร์นั้นมีวัตถุประสงค์อะไร

✎ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เพราะเมื่อเลื่อนโคมไฟเข้าหาสาหร่าย อุณหภูมิของน้ำจะสูงขึ้นและอาจเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วย

? ถ้าต้องการตรวจสอบว่าแก๊สที่เกิดขึ้นเป็น O_2 หรือไม่ จะทำอย่างไร

✎ ต้องออกแบบการทดลองที่สามารถเก็บแก๊สเพื่อนำมาตรวจสอบโดยอาจเก็บโดยวิธีแทนที่น้ำ โดยอาจจัดชุดทดลองดังรูป แล้วนำแก๊สนั้นมาทดสอบกับรูปติดไฟปลายแดงเพื่อทดสอบสมบัติของ O_2 ที่ช่วยให้ไฟติด



? นักเรียนจะสรุปผลการทดลองนี้ว่าอย่างไร

✎ ความเข้มแสงมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ถ้าระยะห่างระหว่างโคมไฟกับสาหร่ายหางกระรอกมาก ความเข้มแสงจะน้อย อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะน้อย ถ้าระยะห่างระหว่างโคมไฟกับสาหร่ายหางกระรอกน้อย ความเข้มแสงจะมากขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้น

จากนั้นครูอาจยกตัวอย่างเมื่อนำกระถางที่ปลูกต้นไม้บางชนิดมาไว้ในห้องนอนเป็นเวลาหลายวัน แม้จะรดน้ำทุกวันก็พบว่าต้นไม้ไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร แต่เมื่อยกกระถางนั้นออกไปนอกห้องนอน และนำไปวางไว้กลางแจ้งต้นไม้กลับเจริญเติบโตเร็ว เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น ซึ่งนักเรียนควรบอกได้ว่าเมื่อปัจจัยของสิ่งแวดล้อมบางอย่างเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น การเพิ่มความเข้มแสง หรือการรดน้ำในปริมาณมาก หรือในทางกลับกันอาจถามนักเรียนว่า

- ถ้านำพืชที่ปลูกอยู่กลางแจ้งมาไว้ในที่ร่ม อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเป็นอย่างไร

11.5.1 ปัจจัยจำกัดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 11.24 ในหนังสือเรียน และอธิบายเพิ่มเติมว่าเมื่อเพิ่มความเข้มแสง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้น เส้นกราฟจึงมีความชันเพิ่มขึ้น ความเข้มแสงช่วงนี้จึงมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและเป็นปัจจัยจำกัด แต่เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง เส้นกราฟจะขนานกับแกน X แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มแสงอีก เส้นกราฟยังเป็นเช่นเดิมแสดงว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงคงที่ ความเข้มแสงนี้จะไม่ใช่ปัจจัยจำกัดอีกต่อไป และถ้าต้องการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงอีก ต้องพิจารณาว่ามีปัจจัยอื่นใดอีกบ้างที่เป็นปัจจัยจำกัด แล้วจึงไปเพิ่มปัจจัยนั้นก็จะทำให้เส้นกราฟมีความชันเพิ่มขึ้นได้ สำหรับคำถามในหนังสือเรียนมีแนวการตอบดังนี้

? จากกราฟ ช่วง A หรือ B ที่การสังเคราะห์ด้วยแสงมีแสงเป็นปัจจัยจำกัด



ช่วง A



? ถ้าต้องการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้ในช่วง B ควรทำอย่างไร



ให้พิจารณาว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยจำกัดแล้วจึงเพิ่มปัจจัยนั้น เช่น ความเข้มข้นของ CO_2 เป็นต้น

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 11.25 ในหนังสือเรียน และให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



? จากกราฟ ช่วง C หรือ D ที่การสังเคราะห์ด้วยแสงมี CO_2 เป็นปัจจัยจำกัด



ช่วง C

ครูให้นักเรียนช่วยกันสรุปความหมายของปัจจัยจำกัดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และความสำคัญของปัจจัยจำกัดที่มีผลต่อพืช ซึ่งควรสรุปได้ว่าปัจจัยจำกัดเป็นปัจจัยที่มีผลจำกัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในขณะนั้น ซึ่งเมื่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกจำกัดจะมีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างจำกัดด้วย และอาจเพิ่มเติมให้นักเรียนว่าการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากจะวัดจากอัตราการผลิต O_2 แล้ว ยังวัดได้จากอัตราการตรึง CO_2 สุทธิ ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) โดยคำนวณจากอัตราการใช้ CO_2 ในการสังเคราะห์ด้วยแสงหักลบด้วยอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์ จากนั้นครูถามนักเรียนว่า **นอกจากแสง และ CO_2 แล้ว สิ่งแวดล้อมใดที่เป็นปัจจัยในการสังเคราะห์ด้วยแสงอีก**

11.5.2 ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

ครูอาจใช้รูปพืชที่มีความผิดปกติเกี่ยวกับการเจริญเติบโตเนื่องจากปัจจัยของสิ่งแวดล้อม เช่น ขาดน้ำ ขาดธาตุอาหาร ไม่ได้รับแสง และถามนักเรียนดังนี้

- สิ่งแวดล้อมเหล่านี้มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชอย่างไร
- พืชแต่ละชนิดต้องการปัจจัยของสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันอย่างไร

ความเข้มแสง

ครูทบทวนความสำคัญของแสงที่มีต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง หรืออาจยกตัวอย่างสถานการณ์ในชีวิตจริงที่พบเห็นทั่ว ๆ ไปว่า พืชบางชนิดเจริญเติบโตได้ดีในที่ร่ม เช่น เฟิร์น สาวน้อยประแป้ง แต่พืชบางชนิดต้องปลูกในที่ที่มีแสงแดดจ้าจึงจะเจริญเติบโตได้ดี เช่น พริก กะเพรา ตะไคร้ เป็นต้น และครูถามนักเรียนว่า

- พืชแต่ละชนิดต้องการแสงที่มีความเข้มแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

จากนั้นให้นักเรียนศึกษารูป 11.26 ในหนังสือเรียนซึ่งแสดงผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 3 ชนิด ได้แก่ มะม่วง ข้าว และอ้อย เปรียบเทียบกัน แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



ข้าวมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดเมื่อมีความเข้มแสงเท่าใด



$1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



ในที่ที่มีความเข้มแสงสูง พืชชนิดใดมีอัตราการตรึง CO_2 สูงที่สุด



อ้อย



ถ้าความเข้มแสงเป็น $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ อัตราการตรึง CO_2 สูงที่สุดของอ้อยเป็นเท่าใด



$25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



พืชชนิดใดเมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากกว่า $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ จะมีอัตราการตรึง CO_2 สูงที่สุดที่
มะม่วง



ในช่วงความเข้มแสงใดเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของมะม่วง



$0-500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

จากนั้นครูอธิบายเพิ่มเติมว่า ค่าความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการตรึง CO_2 สูงที่สุดนี้ เรียกว่า จุดอิ่มตัวของแสง ซึ่งแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มแสงอีกก็ไม่สามารถทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นได้ แสดงว่าแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดอีกต่อไป จากนั้นครูตั้งคำถามเพิ่มเติม ดังนี้

- ค่าความเข้มแสงเท่าใด มะม่วงจะมีอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์เท่ากับอัตราการตรึง CO_2 จากการสังเคราะห์ด้วยแสง

ครูให้นักเรียนสังเกตเส้นกราฟ ณ จุดตัดบนแกน X ซึ่งมีค่าอัตราการตรึง CO_2 สูงเท่ากับ 0 แสดงว่าอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์มีค่าเท่ากับอัตราการตรึง CO_2 ในการสังเคราะห์ด้วยแสง เรียกค่าความเข้มแสงนี้ว่า ไลต์คอมเพนเซชันพอยต์

ครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบดังนี้



จากรูป 11.26 จุดอิ่มตัวของแสงของพืชทั้งสามชนิดมีค่าเท่าใด



จากกราฟสามารถระบุได้ว่า มะม่วงมีจุดอิ่มตัวของแสงที่ประมาณ $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และข้าวมีจุดอิ่มตัวของแสงที่ $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ส่วนอ้อยจะมีจุดอิ่มตัวของแสงไม่น้อยกว่า $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากกราฟยังไม่สามารถระบุจุดอิ่มตัวของแสงที่แน่ชัดได้ เนื่องจากการทดลองนี้ใช้ความเข้มแสงเพียง $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เท่านั้น ซึ่งยังไม่สามารถระบุได้ว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยจะคงที่หรือจะยังคงเพิ่มขึ้นอีก

? จากรูป 11.26 ไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ของพืชทั้งสามชนิดมีค่าเท่าใด และเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด

 ไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ของอ้อยและข้าวมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ส่วน ไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ของมะม่วงมีค่าประมาณ $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ จะเห็นว่าพืชแต่ละชนิด อาจมีค่าไลต์คอมเพนเซชันพอยต์แตกต่างกัน เนื่องจากมีอัตราการหายใจระดับเซลล์และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ต่างกัน

จากนั้นครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปความหมายของจุดอิ่มตัวของแสงและไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ ด้วยคำพูดของนักเรียนเองและครูใช้คำถามถามนักเรียนต่อไปว่า

- นอกจากความเข้มแสงที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้ว ทราบหรือไม่ว่ายังมีปัจจัยอื่นใดอีกบ้าง

ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

ครูทบทวนบทบาทของ CO_2 ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และให้นักเรียนศึกษารูป 11.27 ในหนังสือเรียนซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของ CO_2 ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายแล้วตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบ ดังนี้

? ความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศที่เพิ่มมากขึ้น จะมีผลต่ออัตราการตรึง CO_2 สุทธิอย่างไร

 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ต่ำ เช่น ที่ 200 ppm อ้อยจะมีอัตราการตรึง CO_2 สุทธิสูงกว่าข้าว แต่เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 สูงขึ้นประมาณ 380 ppm อัตราการตรึง CO_2 สุทธิของพืชทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ให้สูงขึ้นไปอีก เช่น ตั้งแต่ 400 ppm ขึ้นไป จะพบว่าอัตราการตรึง CO_2 สุทธิของข้าวเพิ่มสูงกว่าอ้อย และเมื่อดูจากกราฟแนวโน้มของการตรึง CO_2 สุทธิของข้าวจะเพิ่มสูงขึ้นไปอีก

? เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตรึง CO_2 สุทธิของข้าวซึ่งเป็นพืช C_3 และอ้อยซึ่งเป็นพืช C_4 ที่ระดับความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศ 200 600 และ 800 ppm ผลเป็นอย่างไร

✎ อัตราการตรึง CO_2 สุทธิของอ้อยซึ่งเป็นพืช C_4 จะสูงกว่าข้าวซึ่งเป็นพืช C_3 ในช่วงที่มีความเข้มข้นของ CO_2 ต่ำ ๆ เท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ให้สูงขึ้น จะพบว่าอ้อยจะถึงจุดอิ่มตัวของ CO_2 เร็วกว่าข้าว โดยสามารถสรุปการเปรียบเทียบดังแสดงในตาราง

ความเข้มข้นของ CO_2 (ppm)	อัตราการตรึง CO_2 สุทธิ
200	อ้อย > ข้าว
600	ข้าว > อ้อย
800	ข้าว > อ้อย

? ถ้าค่าอัตราการตรึง CO_2 สุทธิติดลบ หมายความว่าอย่างไร

✎ CO_2 ที่ปล่อยออกมาจากการหายใจระดับเซลล์มีค่ามากกว่า CO_2 ที่ถูกตรึงในการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากนั้นครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับจุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ และตอบคำถามในหนังสือเรียนซึ่งมีแนวการตอบ ดังนี้

? จากรูป 11.27 คาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ของอ้อยและข้าวเป็นเท่าใด

✎ คาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ของอ้อยมีค่าประมาณ $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และ ข้าวมีค่าประมาณ $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

? ถ้านำพืช C_3 และพืช C_4 ใส่ในครอบแก้วเดียวกันที่ปิดสนิทได้รับแสงและน้ำในปริมาณที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาค่าคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ พืชชนิดใดจะตายก่อน เพราะเหตุใด

✎ พืช C_3 น่าจะตายก่อนพืช C_4 เพราะเมื่อพิจารณากราฟในรูป 11.27 ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างข้าวซึ่งเป็นพืช C_3 และอ้อยซึ่งเป็นพืช C_4 จะเห็นว่าคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ของอ้อยต่ำกว่าข้าวมาก แสดงให้เห็นว่าในภาวะที่มีความเข้มข้นของ CO_2 ต่ำ ข้าวซึ่งเป็นพืช C_3 จะมีโฟโตเรสไพเรชันเกิดขึ้นมากกว่าอ้อยซึ่งเป็นพืช C_4 ดังนั้นถ้านำพืช C_3 และพืช C_4 ใส่ในครอบแก้วเดียวกันที่ปิดสนิท ซึ่งส่งผลให้ปริมาณ CO_2 มีจำกัด พืช C_4 จะสร้างอาหารเพื่อการดำรงชีวิตได้ดีกว่าพืช C_3

? ในอนาคตคาดว่าปริมาณ CO_2 ในอากาศจะเพิ่มสูงขึ้น พืช C_3 หรือพืช C_4 จะให้ผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากกว่า เพราะเหตุใด

 พืช C_3 น่าจะให้ผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าพืช C_4 เนื่องจากพืช C_3 เกิดโฟโตเรสไพเรชันน้อยลง และพืช C_3 มีจุดอิ่มตัวของ CO_2 สูงกว่าพืช C_4 เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศสูงขึ้นถึงจุดอิ่มตัวของ CO_2 อัตราการตรึง CO_2 สุทธิของพืช C_3 จะสูงกว่าพืช C_4 ดังนั้นพืช C_3 จึงได้เปรียบกว่าพืช C_4 ในภาวะที่มีความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศสูงมาก

อุณหภูมิจึง

ครูทบทวนความรู้เดิมที่นักเรียนได้เรียนมาแล้วเกี่ยวกับอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยตั้งคำถามถามนักเรียน ดังนี้

- อุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์อย่างไร

นักเรียนควรนำความรู้เรื่องเอนไซม์กับการทำงานของเอนไซม์มาตอบได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดเมแทบอลิซึมในสิ่งมีชีวิต ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ลดลง เช่น ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพ ไม่สามารถทำงานได้

ครูใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนเห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนี้

- อุณหภูมิมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

จากคำถามนี้นักเรียนควรจะต้องตอบได้ว่า กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะต้องใช้เอนไซม์ต่าง ๆ ในการเกิดปฏิกิริยา เช่น รูบิสโก ซึ่งหากอุณหภูมิสูงเกินไปก็อาจมีผลทำให้เอนไซม์เสียสภาพและไม่สามารถทำงานได้ และหากอุณหภูมิต่ำเกินไปก็อาจทำให้เอนไซม์ทำงานได้ไม่ดีหรือไม่ทำงาน และครูอาจใช้รูป 11.28 ในหนังสือเรียนที่แสดงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา และให้นักเรียนอภิปรายกราฟโดยอาจตั้งคำถามดังนี้

- อุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราเป็นเท่าใด
- จากช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้ ยางพาราเป็นพืชที่ควรปลูกในภูมิอากาศแบบใด

นักเรียนน่าจะตอบได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราประมาณ 26-28 องศาเซลเซียส ดังนั้นยางพาราเป็นพืชที่ควรปลูกในเขตภูมิอากาศที่ไม่ร้อนจัดหรือหนาวจัดจนเกินไป โดยครูอธิบายเพิ่มเติมเพื่อให้เข้าใจว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชส่วนใหญ่จะเป็นช่วงอุณหภูมิที่เอนไซม์ทำงานได้ดี ซึ่งมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศในช่วงเวลากลางวันในบริเวณที่พืชนั้น ๆ เจริญเติบโต

จากนั้นครูยกตัวอย่างพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในภูมิอากาศเขตร้อนและเขตหนาวที่ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศในช่วงเวลากลางวันในบริเวณที่พืชนั้น ๆ เจริญเติบโต รวมทั้งอธิบายเพิ่มเติมว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 จะต่ำกว่าพืช C_4

นอกจากนี้ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าอุณหภูมิยังมีผลต่อการทำงานของเซลล์ในด้านอื่นๆ อีก เช่น มีผลต่อความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่างๆ เป็นต้น

ปริมาณน้ำ

ครูทบทวนเรื่องความสำคัญของการปิดเปิดปากใบและความสำคัญของน้ำในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ถ้าปริมาณน้ำในดินน้อยเกินไป รุกาบใบจะปิดเพื่อลดการคายน้ำ แต่จะทำให้พืชได้รับ CO_2 น้อยลง การสังเคราะห์ด้วยแสงจึงลดลง

ธาตุอาหาร

ครูทบทวนความสำคัญของคลอโรฟิลล์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ซึ่งทำให้นักเรียนทราบว่า แมกนีเซียม ไนโตรเจน และเหล็ก จำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ ถ้าพืชขาดธาตุอาหารเหล่านี้จะแสดงอาการใบเหลืองซีดเรียกว่า คลอโรซิส ดังรูป 11.29 ซึ่งทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ดังนั้นจะเห็นว่าคลอโรฟิลล์เป็นปัจจัยภายในที่สำคัญของพืช และจะสร้างได้มากหรือน้อยส่วนหนึ่งเป็นเพราะได้รับปัจจัยภายนอกที่อาจไม่เหมาะสม ครูถามนักเรียนต่อไป ดังนี้

- นอกจากคลอโรฟิลล์แล้ว ปัจจัยภายในอะไรอีกบ้างที่อาจมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

นักเรียนอาจตอบได้หลากหลาย เช่น อายุของใบ ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าใบที่อ่อนเกินไป การพัฒนาของคลอโรพลาสต์ยังไม่เจริญเต็มที่ ส่วนใบที่แก่เกินไปจะมีการสลายตัวของกรานูมและคลอโรฟิลล์ ซึ่งล้วนส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชทั้งสิ้น

ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยใช้คำถามตรวจสอบความเข้าใจ ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ

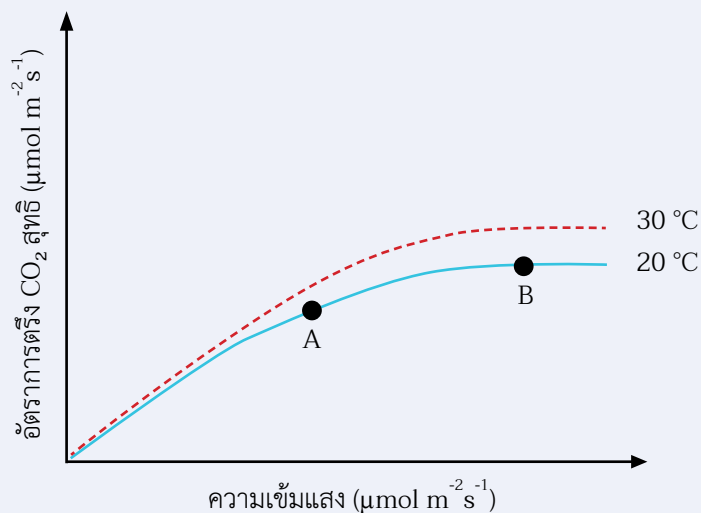
? ปัจจัยจำกัดสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างไร

พืชจะเจริญเติบโตและดำรงชีวิตได้ดียิ่งขึ้น ถ้าได้รับปัจจัยจำกัดจนถึงระดับที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในระดับที่ทำให้ปัจจัยนั้นไม่เป็นปัจจัยจำกัดอีกต่อไป การควบคุมปัจจัยจำกัดต่างๆ ให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชในแต่ละช่วงอายุและสภาพแวดล้อมจะทำให้พืชเจริญเติบโตเต็มศักยภาพด้านพันธุกรรมและดำรงชีวิตได้เป็นปกติ

? จุดอิ่มตัวของแสงและไลต์คอมเพนเซชันพอยต์แตกต่างกันอย่างไร

จุดอิ่มตัวของแสงเป็นจุดที่มีค่าความเข้มแสงต่ำสุดที่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงให้สูงกว่าจุดนี้ก็ไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนไลต์คอมเพนเซชันพอยต์เป็นจุดที่มีค่าความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการตรึง CO_2 จากการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์

? ในการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดหนึ่งเมื่อได้รับความเข้มแสงต่างๆ กัน ได้ผลดังกราฟ



จากข้อมูลข้างต้น ตอบคำถามข้อ 1-4

1. ปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยจำกัดของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จุด A

 ความเข้มแสง และอุณหภูมิ

2. ที่จุด A และ จุด B มีปัจจัยจำกัดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

 แตกต่างกัน โดยที่จุด A จะมีทั้งความเข้มแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยจำกัด ส่วนที่จุด B มีอุณหภูมิเป็นปัจจัยจำกัด ส่วนความเข้มแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดอีกต่อไป เนื่องจากแม้จะเพิ่มความเข้มแสงมากกว่าจุด B อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็ไม่เพิ่มขึ้น ในขณะที่หากเพิ่มอุณหภูมิจาก 20°C เป็น 30°C อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงยังคงเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นที่จุด B อุณหภูมิจึงยังคงเป็นปัจจัยจำกัด

3. เพราะเหตุใดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 20°C เป็น 30°C อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้จึงเพิ่มขึ้นได้

 การที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 20°C เป็น 30°C อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้ยังคงเพิ่มขึ้นได้ แสดงว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้อาจเท่ากับหรือสูงกว่า 30°C ซึ่งหากต้องการทราบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของพืชชนิดนี้มีค่าเท่าใด ต้องทำการทดลองเพิ่มเติมโดยเพิ่มอุณหภูมิและสังเกตผลของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง

4. ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้จะมีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30°C อย่างไร

 หากเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ แต่ยังคงไม่มากกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้ เส้นกราฟที่ได้อาจจะยังคงมีลักษณะเช่นเดิม แต่ความชันของกราฟในช่วงแรกจะมากขึ้น หากเพิ่มอุณหภูมิจนสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้จนทำให้ส่งผลต่อเอนไซม์รวมทั้งเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเสียหายไป จะทำให้พืชไม่สามารถเกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงได้

นอกจากนี้ ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมว่าพืชบางชนิดสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ ตัวอย่างเช่น พืชที่ขึ้นในที่แห้งแล้งได้รับความเข้มแสงสูง อุณหภูมิสูง อาจพบว่ามีลักษณะผิวใบหนา มีความมันเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ มีชั้นคิวทิเคิลหนาขึ้นเพื่อช่วยในการสะท้อนแสง ลดการดูดซับแสงของใบ และช่วยลดอุณหภูมิของใบ มีขนปกคลุมปากใบเพื่อลดการคายน้ำ และการจัดเรียงตัวของใบอาจมีทิศทางที่หลีกเลี่ยงการได้รับแสงที่มีความเข้มแสงสูงโดยตรงที่อาจส่งผลกระทบต่อเมแทบอลิซึมในเซลล์พืช รวมทั้งมีการปรับโครงสร้างโดยลดพื้นที่ของใบและมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำ

ส่วนพืชที่ขึ้นอยู่ในที่ร่ม จะมีชั้นคิวทิเคิลบางกว่าพืชที่ได้รับแสงมาก ผิวใบไม่มัน ใบหนาน้อยกว่า ดังนั้นแสงที่ส่องลงมาที่ใบพืชจึงส่องผ่านไปที่ชั้นคิวทิเคิลไปที่ชั้นเอพิเดอร์มิสและชั้นที่มีคลอโรพลาสต์ได้ง่ายกว่า นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของใบอาจมีทิศทางที่กางใบออกเพื่อให้ได้รับแสงเต็มที่ มีการเพิ่มพื้นที่ผิวของใบและมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- บั๊จจยัความเข้มแสง ความเข้มข้นของ CO_2 และอุณหภูมิที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช จากการทำกิจกรรม การสืบค้นข้อมูล การนำเสนอข้อมูล และการอภิปรายร่วมกัน

ด้านทักษะ

- การสังเกต การหาความสัมพันธ์ของสเปซกับเวลา การใช้จำนวน การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็นจากข้อมูล การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การกำหนดและควบคุมตัวแปร การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป การสร้างแบบจำลอง จากการทำกิจกรรม การตอบคำถาม และการอภิปราย
- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรม การสืบค้นข้อมูล และการนำเสนอข้อมูล

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

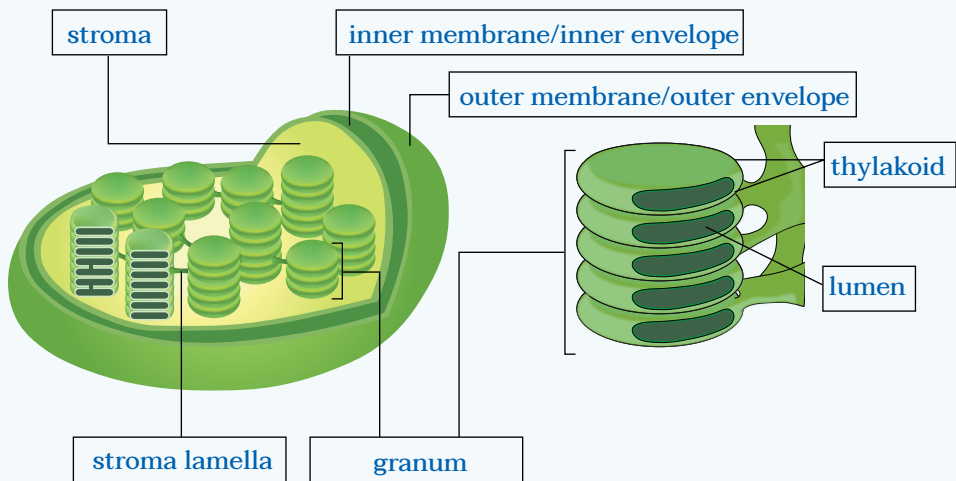
- ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ ความใจกว้าง การยอมรับความเห็นต่าง ความซื่อสัตย์ ความมุ่งมั่นอดทน ความรอบคอบ วัตถุวิสัย จากการทำกิจกรรม และการมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน โดยประเมินตามสภาพจริงระหว่างเรียน



เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11

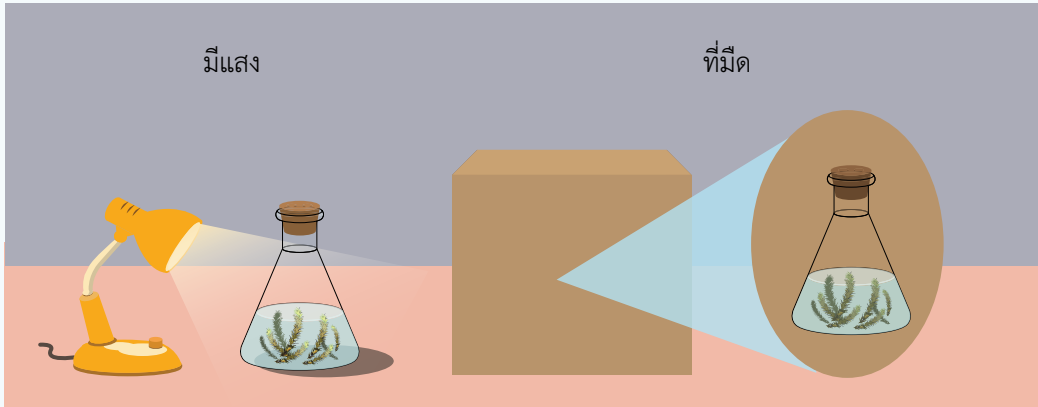
1. จากรูปโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ จงเติมคำต่อไปนี้ลงในภาพ และหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน

outer membrane/outer envelope	stroma lamella	stroma	granum
inner membrane/inner envelope	thylakoid	lumen	



- | | | |
|---|-----|---|
| lumen | 1.1 | ช่องภายในไทลาคอยด์ซึ่งมีของเหลวที่ประกอบด้วยเอนไซม์ต่างๆ |
| stroma | 1.2 | ของเหลวภายในคลอโรพลาสต์มีเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง |
| granum | 1.3 | แต่ละตั่ง (stack) ของไทลาคอยด์ที่ทับซ้อนกัน |
| outer membrane/
outer envelope | 1.4 | เยื่อชั้นนอกสุดของคลอโรพลาสต์ |
| thylakoid | 1.5 | เยื่อในคลอโรพลาสต์ที่มีการเกิดปฏิกิริยาแสง |
| inner membrane/
inner envelope | 1.6 | เยื่อชั้นที่ขนานกับเยื่อชั้นนอกของคลอโรพลาสต์เกี่ยวข้องกับการลำเลียงสารเข้า-ออก |

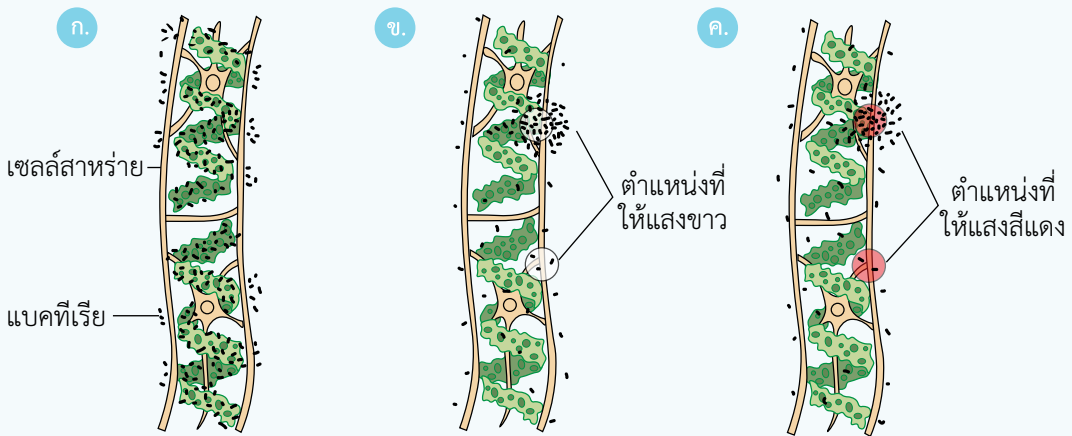
2. ในการทดลองหนึ่ง ซึ่งสาหร่ายทางกระจกให้มีน้ำหนักร่วมกัน ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาดเท่ากัน ซึ่งใส่น้ำ 200 mL แล้วเติมสารละลายโบรโมไทมอลบลูซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส ลงไป 2 mL นำขวดหนึ่งไปตั้งไว้ในที่มีแสง อีกขวดหนึ่งไปตั้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังรูป



ผลการทดลองพบว่าขวดที่ตั้งอยู่ในที่มีแสงจะยังคงเป็นสีฟ้า ส่วนขวดที่ตั้งในที่มืดจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีเขียวแกมเหลือง เพราะเหตุใดสาหร่ายที่อยู่ในที่มืดจึงทำให้สารละลายในขวดเปลี่ยนสี

- เนื่องจากในที่มืดสาหร่ายทางกระจกไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นจึงไม่มีการใช้ CO_2 แต่ได้ CO_2 มาจากการหายใจระดับเซลล์ของพืช จึงทำให้สารละลายมีความเป็นกรดมากขึ้น มีผลทำให้สารละลายโบรโมไทมอลบลูเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีเขียวแกมเหลือง ส่วนขวดที่อยู่ในที่มีแสงสาหร่ายทางกระจกมีการสังเคราะห์ด้วยแสงและมีการใช้ CO_2 ทำให้เมื่อทดสอบกับสารละลายโบรโมไทมอลบลูจึงไม่เปลี่ยนสี

3. นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองโดยนำสาหร่ายสีเขียวชนิดหนึ่งวางลงบนสไลด์ 3 แผ่น จากนั้นเติมแบคทีเรียที่ต้องการ O_2 ซึ่งเคลื่อนที่ได้ลงไป แล้วนำสไลด์แต่ละแผ่นแยกไปใส่ในกล่องใสที่ปิดสนิท (อากาศเข้าไม่ได้) โดยให้สาหร่ายในแผ่นสไลด์ ก. เจริญในที่ที่มีแสง ส่วนแผ่นสไลด์ ข. และ ค. เจริญในที่มืด และให้แสงขาวและแสงสีแดงตรงตำแหน่งต่างๆ ในแผ่นสไลด์ ข. และ ค. ได้ผลการทดลองดังรูป



3.1 จงอธิบายและให้เหตุผลการกระจายตัวของแบคทีเรียในสไลด์ ก. ข. และ ค.

สไลด์ ก. ในที่มีแสง สาหร่ายสังเคราะห์ด้วยแสงและปล่อย O_2 ออกมา ดังนั้นในบริเวณที่มีคลอโรพลาสต์จะมีแบคทีเรียมารวมกลุ่มกัน เพื่อรับ O_2 ไปใช้ในกระบวนการหายใจ

สไลด์ ข. ในที่มีมืด สาหร่ายไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้แต่บริเวณที่มีคลอโรพลาสต์ได้รับแสงขาวก็จะสังเคราะห์ด้วยแสงได้และปล่อย O_2 ออกมาบริเวณที่คลอโรพลาสต์ได้รับแสงขาวจึงมีแบคทีเรียมารวมกลุ่มกัน แต่บริเวณแสงขาวส่องไม่ถูกสายของคลอโรพลาสต์ก็จะไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงบริเวณนี้จึงไม่มี O_2 แบคทีเรียจึงไม่มารวมกลุ่มกัน

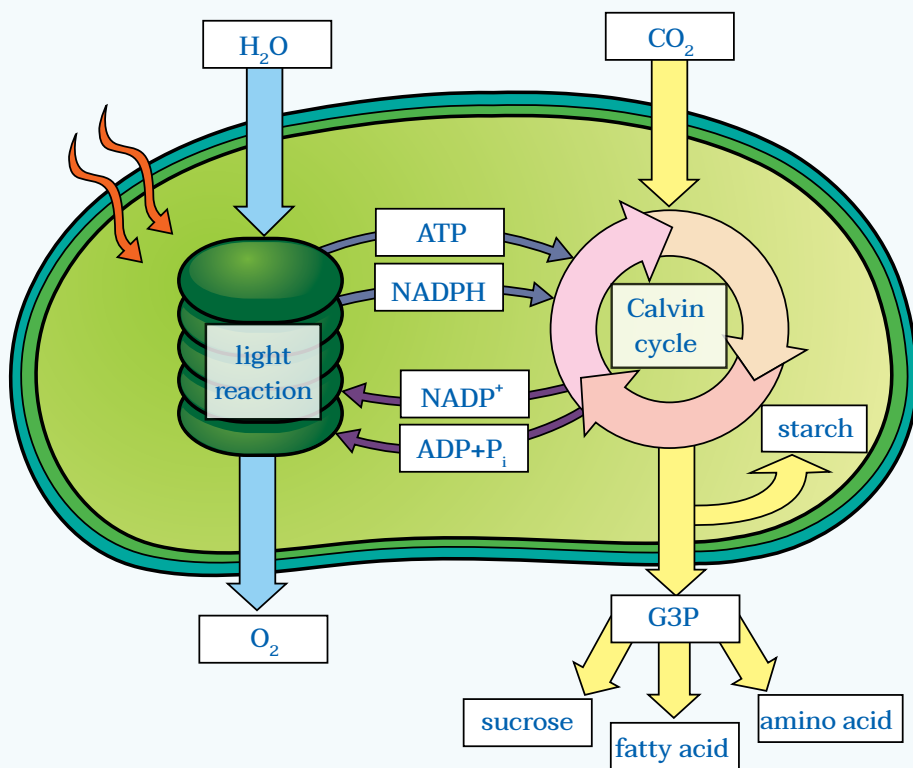
สไลด์ ค. ในที่มีมืด เมื่อให้แสงสีแดงบริเวณที่มีคลอโรพลาสต์บริเวณนี้ก็จะสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้เช่นเดียวกับให้แสงขาวในสไลด์ ข. แต่ในสไลด์ ค. บริเวณแสงสีแดงที่ส่องไม่ถูกสายของคลอโรพลาสต์ก็จะไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง แบคทีเรียจึงไม่มารวมกลุ่มกัน

3.2 จากการทดลองจะสรุปผลการทดลองอย่างไร

การสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดบริเวณคลอโรพลาสต์ที่ได้รับแสงขาวหรือแสงสีแดง

4. จากแผนภาพสรุปกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในคลอโรพลาสต์ของพืช C_3 จงเติมชื่อปฏิกิริยา สารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ด้านล่างลงในแผนภาพให้ถูกต้อง

H_2O	CO_2	O_2	ATP	$ADP+P_i$	NADPH	$NADP^+$
starch	G3P	sucrose	amino acid	fatty acid	light reaction	Calvin cycle



หมายเหตุ ATP และ NADPH สลับกันได้

$NADP^+$ และ $ADP+P_i$ สลับกันได้

sucrose, fatty acid และ amino acid สลับกันได้

5. จงเติมคำลงในช่องว่างของตารางการเปรียบเทียบการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM

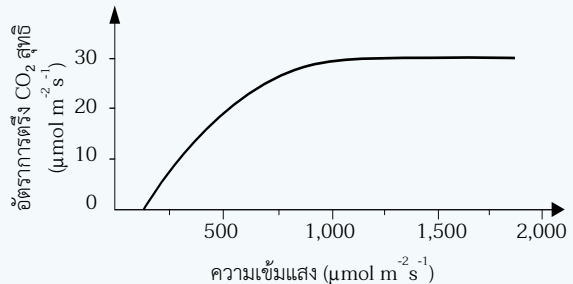
ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
5.1 เอนไซม์ที่ใช้ในการตรึงคาร์บอนครั้งแรก	Rubisco	PEP carboxylase	PEP carboxylase
5.2 สารเสถียรชนิดแรกที่ได้จากการตรึงคาร์บอน	PGA	OAA	OAA
5.3 ช่วงเวลาการเปิดปากใบเพื่อนำ CO_2 เข้า (เติมกลางวันหรือกลางคืน)	กลางวัน	กลางวัน	กลางคืน
5.4 สารประกอบคาร์บอนที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ของพืช	G3P	G3P	G3P

6. จากข้อมูลเปรียบเทียบโครงสร้างและกลไกการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM จงใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องแต่ละข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน (สามารถตอบซ้ำได้)

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
6.1 โครงสร้างของใบ			
ก. ส่วนใหญ่อวบน้ำ			✓
ข. พบคลอโรพลาสต์ในเซลล์มีไซฟิลล์	✓	✓	✓
6.2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจริญเติบโตต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม			
ก. มากที่สุด	✓		
ข. ปานกลาง		✓	
ค. น้อยที่สุด			✓

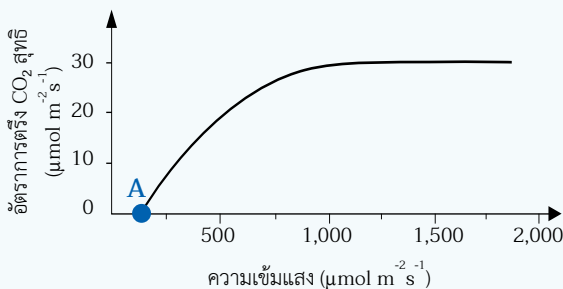
ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
6.3 สารประกอบชนิดแรกที่เกิดขึ้นและเสถียรจากการตรึงคาร์บอน			
ก. สารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม	✓		
ข. สารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม		✓	✓
6.4 จำนวนครั้งของการตรึงคาร์บอน			
ก. 1 ครั้ง	✓		
ข. 2 ครั้ง		✓	✓
6.5 ช่วงเวลาที่มีการตรึงคาร์บอน			
ก. กลางวัน	✓	✓	✓
ข. กลางคืน			✓
6.6 สารที่ใช้ตรึงคาร์บอน			
ก. RuBP	✓	✓	✓
ข. PEP		✓	✓
6.7 เอนไซม์ที่ช่วยในการตรึงคาร์บอน			
ก. PEP carboxylase		✓	✓
ข. Rubisco	✓	✓	✓
6.8 แหล่งที่เกิดวัฏจักรคัลวินเป็นหลัก			
ก. เซลล์มีโซฟิลล์	✓		✓
ข. เซลล์บันเดิลชีท		✓	
6.9 ตัวอย่างพืช			
ก. ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย		✓	
ข. มะม่วง ข้าว ถั่วลิสง	✓		
ค. กระบองเพชร ครนารายณ์ ว่านหางจระเข้			✓

7. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอัตราการตรึง CO_2 สุทธิของพืชชนิดหนึ่งที่อุณหภูมิ 25°C ดังรูป



จงตอบคำถามต่อไปนี้

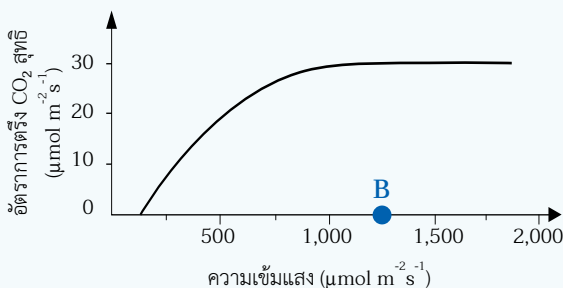
- 7.1 จากรูปแสงเป็นปัจจัยจำกัดต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสงประมาณช่วงใด
 ความเข้มแสงที่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงคือ ประมาณ $0-1,250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
- 7.2 ใส่อักษร A ในตำแหน่งที่ความเข้มแสงมีผลให้อัตราการปล่อย CO_2 เท่ากับอัตราการตรึง CO_2



คำอธิบาย

ตำแหน่งที่ความเข้มแสงมีผลให้อัตราการปล่อย CO_2 เท่ากับอัตราการตรึง CO_2 เป็นจุดตัดบนแกน X ซึ่งจากกราฟเป็นจุดที่มีความเข้มแสงประมาณ $125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

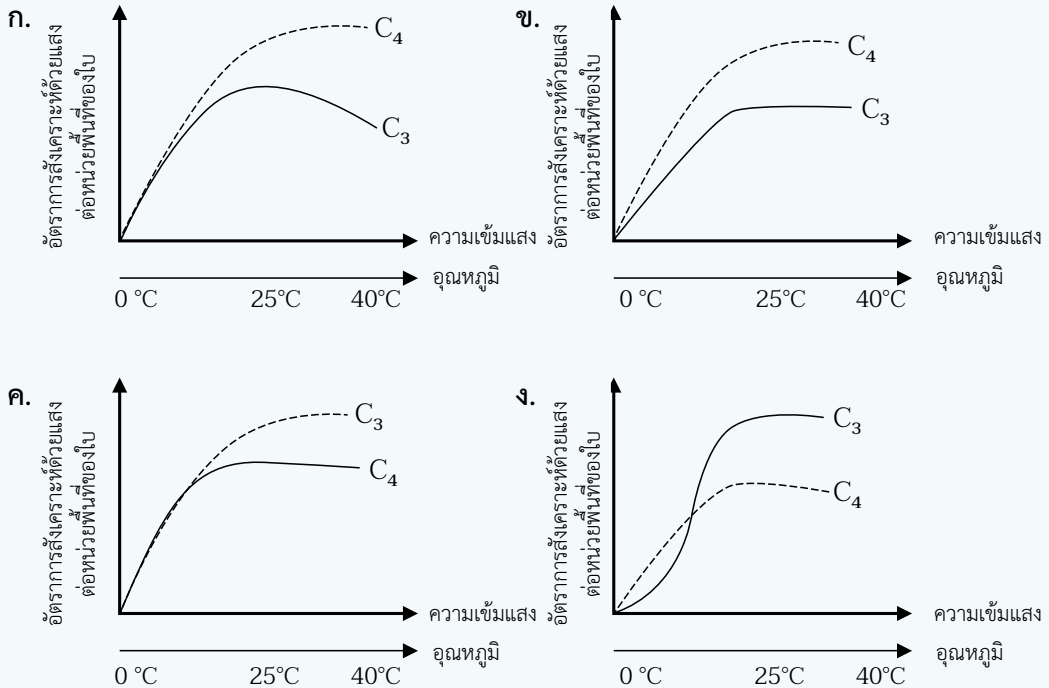
- 7.3 ใส่อักษร B ในตำแหน่งที่เป็นจุดอิ่มตัวของแสง และให้เหตุผลประกอบ



คำอธิบาย

จุดอิ่มตัวของแสงเป็นตำแหน่งที่เพิ่มความเข้มแสง แล้วอัตราการตรึง CO_2 สุทธิไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากกราฟเป็นจุดที่มีความเข้มแสงประมาณ $1,250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

8. กราฟแสดงความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 และพืช C_4 ในข้อใดถูกต้อง



✎ ข้อ ก.

คำอธิบาย

เมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้นประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชทั่วไปก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยถึงระดับหนึ่ง

ที่ความเข้มแสงสูงจะมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 ต่อ O_2 ลดลง ทำให้พืช C_3 มีการเกิดโฟโตเรสไพเรชันสูงขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลงในขณะที่พืช C_4 มีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ในเซลล์บันเดิลชีท ทำให้เกิดโฟโตเรสไพเรชันน้อย จึงรักษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไว้ได้ดีกว่าพืช C_3

บทที่

| การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช



ipst.me/8815

12



ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายบทบาทและหน้าที่ของออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก และอธิบายเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร
2. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สภาพพักตัวของเมล็ด และบอกแนวทางในการแก้สภาพพักตัวของเมล็ด
3. สืบค้นข้อมูล ทดลอง และอธิบาย เกี่ยวกับสิ่งเร้าภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

- 1. สืบค้นข้อมูล อธิบายบทบาทและหน้าที่ของออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก และอธิบายเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1. อธิบายกระบวนการตอบสนองของพืชต่อฮอร์โมนพืช
- 2. สืบค้นข้อมูล อธิบายบทบาทและหน้าที่ของออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก และอธิบายเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การลงความเห็นจากข้อมูล 2. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา 2. การสื่อสารสารสนเทศและ การรู้เท่าทันสื่อ 3. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณญาณ 2. ความซื่อสัตย์ 3. การยอมรับความเห็นต่าง 4. ความใจกว้าง 5. ความมุ่งมั่นอดทน

ผลการเรียนรู้

- 2. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สภาพพักตัวของเมล็ด และบอกแนวทางในการแก้สภาพพักตัวของเมล็ด

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สภาพพักตัวของเมล็ด
- 2. อธิบายแนวทางในการแก้สภาพพักตัวของเมล็ด

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล 3. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล 4. การทดลอง 5. การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป	1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา 2. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 3. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณญาณ 2. ความรอบคอบ 3. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ 4. ความซื่อสัตย์ 5. วัตถุวิสัย 6. การยอมรับความเห็นต่าง 7. ความใจกว้าง 8. ความมุ่งมั่นอดทน

ผลการเรียนรู้

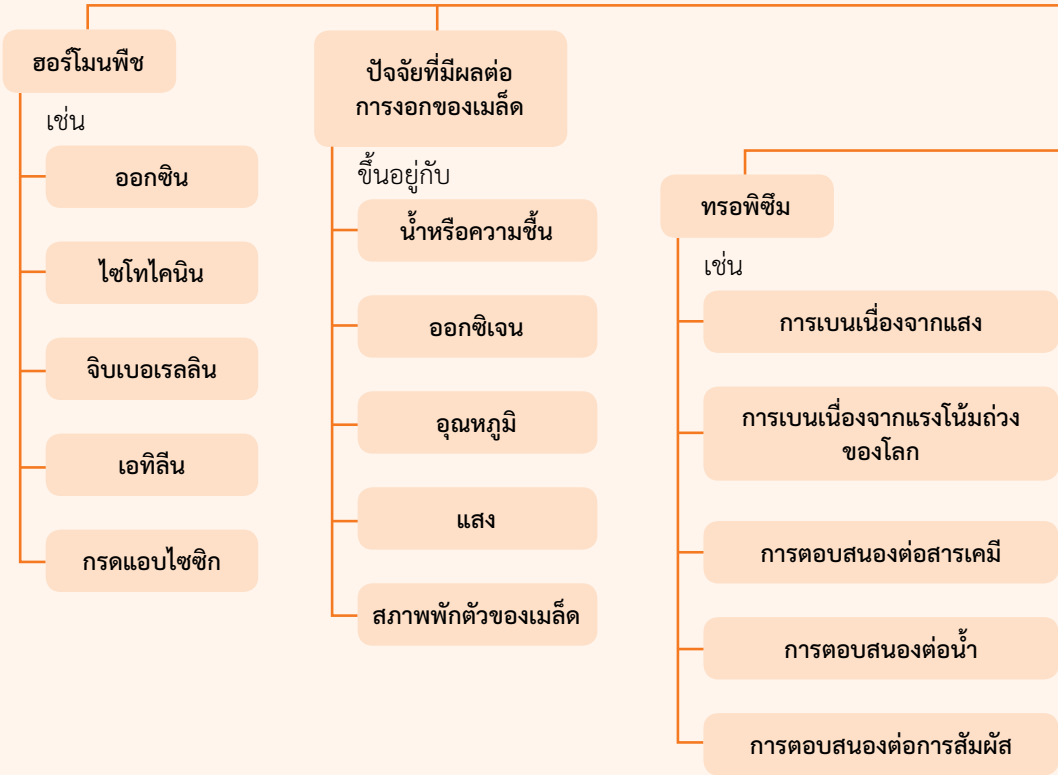
3. สืบค้นข้อมูล ทดลอง และอภิปราย เกี่ยวกับสิ่งเร้าภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล ทดลอง และอธิบาย เกี่ยวกับปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช
2. อธิบายการตอบสนองของพืชในภาวะเครียดที่เกิดจากสิ่งเร้าทางกายภาพ และสิ่งเร้าทางชีวภาพ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาาสตร์
1. การสังเกต 2. การลงความเห็นจากข้อมูล 3. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล 4. การทดลอง 5. การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป	1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา 2. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 3. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณญาณ 2. ความรอบคอบ 3. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ 4. ความซื่อสัตย์ 5. วัตถุวิสัย 6. การยอมรับความเห็นต่าง 7. ความใจกว้าง 8. ความมุ่งมั่นอดทน

ผังมโนทัศน์ บทที่ 12





สาระสำคัญ

ในวัฏจักรชีวิตของพืช ตั้งแต่เมล็ดมีการงอกเป็นต้นพืช จนกระทั่งออกดอก ติดผล พบว่า พืชมีการเจริญเติบโต และมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางสรีรวิทยา ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการตอบสนองของพืชต่อปัจจัยภายนอก เช่น น้ำหรือความชื้น แสงออกซิเจน อุณหภูมิ และแสง ซึ่งจะส่งผลต่อไปยังปัจจัยภายใน เช่น ฮอรโมนพืชกลุ่มต่าง ๆ คือ ออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก พืชจะสร้างฮอรโมนเหล่านี้ในปริมาณน้อย และทำงานในระดับความเข้มข้นต่ำโดยฮอรโมนต่าง ๆ มีการทำงานร่วมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตซึ่งสามารถกระตุ้น ยับยั้งหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพทางสรีรวิทยาของพืชให้เป็นไปตามธรรมชาติได้ นอกจากนี้ฮอรโมนพืชที่พืชสร้างขึ้นตามธรรมชาติแล้ว มนุษย์สามารถสังเคราะห์สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอรโมนพืช เพื่อประโยชน์ในทางการเกษตรอีกด้วย

พืชมีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกในรูปแบบของการเคลื่อนไหว เช่น แสง แรงโน้มถ่วงของโลก สารเคมี การสัมผัส โดยการตอบสนองของพืชต่อสิ่งเร้า อาจเกิดในรูปแบบทรอปิซึมหรือแนสติกมูฟเมนต์ นอกจากนี้พืชยังมีการตอบสนองแบบนูนูเทชันที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอกแต่เป็นผลมาจากธรรมชาติของพืชที่ควบคุมโดยพันธุกรรม

พืชมีการตอบสนองต่อภาวะเครียด เนื่องจากได้รับปัจจัยภายนอกมากหรือน้อยเกินไป เช่น ภาวะเครียดจากน้ำท่วม ความแห้งแล้ง ความร้อน อุณหภูมิต่ำ ความเค็ม การถูกสัตว์กัดกิน หรือการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ พืชจะมีวิธีการตอบสนองต่อภาวะเครียดต่าง ๆ เพื่อให้สามารถมีชีวิตอยู่รอดต่อไปได้

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 9 ชั่วโมง

12.1 ฮอรโมนพืช	3 ชั่วโมง
12.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด	2 ชั่วโมง
12.3 การตอบสนองของพืชในลักษณะการเคลื่อนไหว	3 ชั่วโมง
12.4 การตอบสนองต่อภาวะเครียด	1 ชั่วโมง
รวม	9 ชั่วโมง



เฉลยตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (✓) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

-  1. หลังการปฏิสนธิรังไข่จะเจริญไปเป็นเมล็ด
-  2. เอนโดสเปิร์มทำหน้าที่สะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ
-  3. เอ็มบริโอเจริญมาจากไซโกต ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ รากแรกเกิด ลำต้นแรกเกิด และใบเลี้ยง
-  4. เมล็ดถั่ว และเมล็ดข้าวโพด มีใบเลี้ยงทำหน้าที่สะสมอาหาร
-  5. โดยทั่วไปเมล็ดพืชต้องการ น้ำ แก๊สออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการงอก
-  6. โครงสร้างแรกที่เจริญออกจากเมล็ดในการงอกของเมล็ดข้าวโพดและเมล็ดถั่วเหลือง คือ รากแรกเกิด
-  7. พืชมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าซึ่งเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้รูปนำบทที่ 12 เป็นรูปต้นราชพฤกษ์ที่กำลังออกดอก และอธิบายว่าการเจริญเติบโตของต้นราชพฤกษ์จากเมล็ดเป็นต้นราชพฤกษ์ จนกระทั่งออกดอก เกิดจากการตอบสนองของพืชต่อปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก เพื่อให้พืชอยู่ในภาวะสมดุล และมีการดำรงชีวิตเป็นไปตามวัฏจักร จากนั้นครูอาจใช้คำถามถามนักเรียนว่า

- พืชมีการตอบสนองต่อปัจจัยภายนอก อย่างไร
- ✎ พืชตอบสนองโดยการเคลื่อนไหว เช่น การเคลื่อนไหวเข้าหาแสงหรือเบนออกจากแสง

คำตอบของนักเรียนอาจมีหลากหลายขึ้นอยู่กับความรู้เดิมของนักเรียน

จากนั้นครูอาจทบทวนเรื่องกระบวนการสื่อสารระหว่างเซลล์ที่นักเรียนเคยเรียนมาแล้ว และนำไปสู่การตอบสนองของพืช โดยมีคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย ดังนี้

- กระบวนการสื่อสารระหว่างเซลล์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อและในระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยขั้นตอนอะไรบ้าง
- การตอบสนองของพืชต้องอาศัยกระบวนการสื่อสารระหว่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

จากการอภิปรายของนักเรียนสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการสื่อสารระหว่างเซลล์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การรับสัญญาณ การส่งสัญญาณ และการตอบสนอง ทั้งนี้การตอบสนองของพืชต้องอาศัยกระบวนการสื่อสารระหว่างกัน เพราะพืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกได้เช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

หลังจากการอภิปรายของนักเรียนแล้ว ครูให้นักเรียนศึกษารูป 12.1 และอธิบายเพิ่มเติมว่า พืชมีกระบวนการตอบสนองต่อสิ่งเร้าทั้งสิ่งเร้าภายนอกและสิ่งเร้าภายใน โดยกระบวนการเกิดขึ้นเมื่อสิ่งเร้ามากระตุ้นพืชจะเกิดการส่งสัญญาณไปที่ตัวรับสัญญาณ เกิดการถ่ายโอนสัญญาณภายในเซลล์และส่งสัญญาณไปยังเซลล์ในส่วนของพืชที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้น ทำให้พืชเกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยา การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ เนื้อเยื่อหรือโครงสร้างต่าง ๆ การเคลื่อนไหวและการเจริญเติบโต

12.1 ฮอร์โมนพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายกระบวนการตอบสนองของพืชต่อฮอร์โมนพืช
2. สืบค้นข้อมูล อธิบายบทบาทและหน้าที่ของออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก และอธิบายเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูตั้งประเด็นคำถามถามนักเรียนเพื่อนำไปสู่การอภิปรายเกี่ยวกับฮอร์โมนพืช และสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช ดังนี้

- นักเรียนเคยบ่มผลไม้หรือไม่และใช้วิธีใด
- นักเรียนเคยสังเกตต้นहुววางหรือไม่ ก่อนที่ใบहुววางจะร่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเกิดขึ้นบ้าง

คำถามเหล่านี้นักเรียนอาจตอบได้หลากหลายตามประสบการณ์ของนักเรียน แต่ครูควรอธิบายและเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าการบ่มผลไม้ ทำให้ผลไม้สุก และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับใบहुววางเป็นผลมาจากฮอร์โมนพืช นอกจากนี้ครูอาจใช้รูป 12.2 อธิบายว่าวัฏจักรชีวิตของต้นพืชตั้งแต่งอกออกจากเมล็ดจนกระทั่งออกดอก ติดผล พบว่ามีการตอบสนองต่อฮอร์โมนพืชและทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมอีกว่าฮอร์โมนพืชที่นักวิทยาศาสตร์ค้นพบนั้นแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้หลายกลุ่ม โดยให้นักเรียนศึกษาความรู้เพิ่มเติมในหนังสือเรียน ฮอร์โมนพืชที่ค้นพบคือ ออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก

12.1.1 ออกซิน

ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองการค้นพบออกซินจากรูป 12.3 ในหนังสือเรียน และครูอาจถามคำถาม ดังนี้

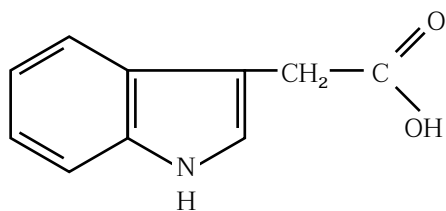
- การทดลองของ Peter Boysen-Jensen สามารถสรุปได้ว่าออกซินมีผลต่อพืชอย่างไร
- ✍ ออกซินทำให้โคลีออฟไทลโค็งเข้าหาแสง

จากการอภิปรายผลการทดลองการค้นพบออกซินจากรูป 12.3 นักเรียนควรสรุปได้ว่า ออกซินสร้างที่ปลายโคเลอโฟไทล์ และตอบสนองต่อแสง โดยทำให้โคเลอโฟไทล์เอนเข้าหาแสง ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า แสงเป็นปัจจัยที่ทำให้ออกซินเคลื่อนที่จากด้านที่ได้รับแสงมากไปยังด้านที่ได้รับแสงน้อยกว่า จากรูป 12.4 ออกซินจะทำให้เซลล์พืชด้านที่ได้รับแสงน้อยขยายตัวตามยาวมากกว่าอีกด้านหนึ่ง โคเลอโฟไทล์จึงโค้งเข้าหาแสง นอกจากนี้ครูอาจเพิ่มเติมเกี่ยวกับแหล่งสร้างและผลของออกซินต่อพืช

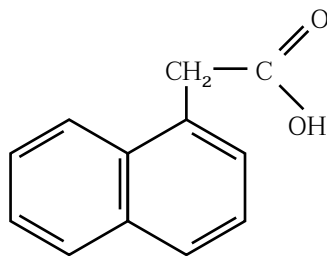
จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาเรื่องออกซินกับการนำไปใช้ประโยชน์ และศึกษาผลของความเข้มข้นของออกซินต่อการเจริญเติบโตของราก ตา และลำต้น จากรูป 12.5 แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบ ดังนี้

- ? ปริมาณออกซินมีผลต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อแต่ละบริเวณแตกต่างกันอย่างไร
- ✎ ความเข้มข้นของออกซินมีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น ตา และรากแตกต่างกัน โดยลำต้น ตา และราก ต้องการความเข้มข้นของออกซินในปริมาณมากไปน้อยตามลำดับ
- ? ปริมาณออกซินที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญของลำต้นจะมีผลต่อการเจริญของรากอย่างไร
- ✎ ปริมาณออกซินที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญของลำต้น จะมีผลยับยั้งการเจริญของราก

ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับออกซินในธรรมชาติ คือ IAA และสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายออกซิน คือ naphthalene acetic acid (NAA) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างที่คล้ายกันดังรูป



indole-3-acetic acid (IAA)



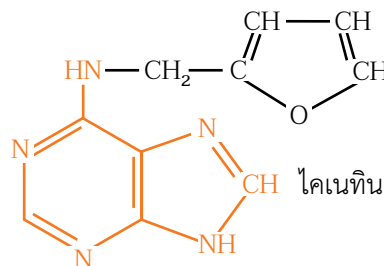
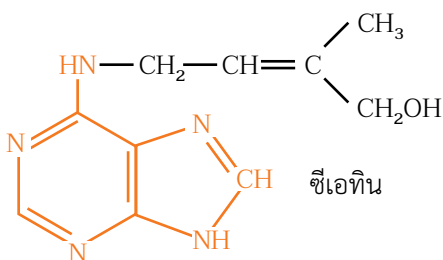
naphthalene acetic acid (NAA)

12.1.2 ไซโทไคนิน

ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองที่ทำให้ค้นพบไซโทไคนิน แหล่งสร้างไซโทไคนิน ผลของไซโทไคนิน และไซโทไคนินกับการนำไปใช้ จากนั้นครูอาจกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนดูรูป 12.6 ซึ่งเป็นรูปการตัดแต่งกิ่งเพื่อควบคุมทรงพุ่มของต้นทุเรียน และรูป 12.7 ความเข้มข้นของออกซินและไซโทไคนินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพืช ถ้าต้องการชักนำให้พืชเกิดแคลลัส และรากความเข้มข้นของออกซินต้องสูงกว่าไซโทไคนิน แต่ถ้าต้องการชักนำให้พืชเกิดยอดความเข้มข้นของออกซินต้องต่ำกว่าไซโทไคนิน และถามคำถามในหนังสือเรียน ดังนี้

-  เพราะเหตุใดชาวสวนต้องตัดยอดแต่งกิ่งทุเรียนเพื่อควบคุมทรงพุ่ม
-  เพื่อให้ต้นทุเรียนแตกตาข้างออกมาใหม่ ทรงพุ่มโปร่ง และทำให้ผลทุเรียนได้รับธาตุอาหารและเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่
-  การตัดยอดแต่งกิ่งมีผลต่อการทำงานของออกซินและไซโทไคนินอย่างไร
-  การตัดยอดแต่งกิ่งเป็นการลดแหล่งสร้างออกซิน ทำให้ตาข้างที่อยู่ใกล้ยอดสามารถเจริญได้เนื่องจากสัดส่วนของออกซินต่อไซโทไคนินต่ำ ทำให้ต้นพืชแตกกิ่งข้างออกเป็นพุ่ม
-  ถ้าไม่ใช้วิธีการตัดยอดแต่งกิ่ง การทำให้ทุเรียนแตกตาข้างสามารถทำได้อย่างไร
-  การให้สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายไซโทไคนิน เช่น BA เพื่อช่วยเร่งการแตกตาข้าง
-  จากรูป 12.7 นักเรียนจะสรุปได้ว่าอย่างไร
-  ออกซินและไซโทไคนินสามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของออกซินและไซโทไคนิน

ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมว่า ไซโทไคนินในธรรมชาติ คือ ซีเอทิน และสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายไซโทไคนิน เช่น ไคเนทิน มีสูตรโครงสร้างที่คล้ายกันในส่วนของอะดีนีนดังรูป



12.1.3 จิบเบอเรลลิน

ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองที่ทำให้ค้นพบจิบเบอเรลลิน แหล่งสร้างจิบเบอเรลลิน ผลของจิบเบอเรลลิน และจิบเบอเรลลินกับการนำไปใช้ ครูอาจใช้รูป 12.8 ในหนังสือเรียน เพื่อให้สรุปได้ว่าสาร GA_3 ช่วยยืดข้อผลงุ่นให้ยาว และขยายขนาดของผล และตั้งคำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนเพิ่มเติม ดังนี้

- จิบเบอเรลลินมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชด้านใด
- ✍ กระตุ้นการงอกของเมล็ด กระตุ้นเซลล์ที่ลำต้นพืชให้มีการยืดตัวและแบ่งเซลล์มากขึ้น

12.1.4 เอทิลีน

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาการทดลองของ Dimitry Neljubov ดังรูป 12.9 ในหนังสือเรียน เรื่องการเจริญของต้นกล้าถั่วลันเตาที่ได้รับแก๊สเอทิลีน และใช้คำถามถามนักเรียน ดังนี้

- การทดลองของ Dimitry Neljubov สรุปได้ว่าอย่างไร
- ✍ เอทิลีนทำให้ต้นกล้าถั่วลันเตาไม่ยืดตัว ลำต้นสั้น มีการเพิ่มความหนาของลำต้นทำให้ต้นอ้วน และมีการเจริญของยอดในแนวนอน

จากนั้นครูเพิ่มเติมเกี่ยวกับแหล่งสร้างของเอทิลีนในพืช โดยในเกือบทุกส่วนของพืชสามารถสร้างเอทิลีนได้ แต่จะพบเอทิลีนมากในเนื้อเยื่อพืชที่ตอบสนองต่อภาวะเครียด ในพืชที่เข้าสู่การเสื่อมตามอายุ รวมทั้งผลไม้สุก สำหรับผลของเอทิลีนที่มีต่อพืช เช่น กระตุ้นการสุกของผลไม้ที่บ่มให้สุกได้ กระตุ้นให้เกิดการร่วงของใบและผล เป็นต้น

หลังจากนักเรียนได้ศึกษาเรื่องเอทิลีนกับการนำมาใช้ประโยชน์แล้ว จากนั้นให้ตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

- ❓ ? เอทิลีนสามารถนำไปใช้กับเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ประเภทบ่มสุกได้อย่างไร
- ✍ ชะลอการสุกของผลไม้ โดยลดการสร้างเอทิลีน เช่น การขนส่งโดยใช้ห้องเย็น เพื่อทำให้ผลไม้ไม่สุกและเกิดการเน่าเสียระหว่างการขนส่ง หรือเร่งผลไม้ให้สุกพร้อมกันจำนวนมาก เพื่อให้พร้อมที่จะจำหน่ายได้ โดยกระตุ้นการสร้างเอทิลีนหรือใช้สารที่มีสมบัติคล้ายเอทิลีน



จากความรู้เรื่องกระบวนการตอบสนองของพืชต่อฮอร์โมนพืชและผลของเอทิลีน สามารถนำไปใช้เพื่อยืดอายุการปักแจกันของไม้ตัดดอกได้อย่างไร



ใช้สารที่ยับยั้งการสร้างหรือการทำงานของเอทิลีนหรือเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิต่ำ เพื่อลดเมแทบอลิซึมของไม้ตัดดอก

ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำเอทิลีนไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรอื่น ๆ ได้อีก เช่น การใช้เอทิลีนพ่นที่เปลือกต้นยางพารา เพื่อกระตุ้นให้น้ำยางจับตัวแข็งช้าลงจึงทำให้มีปริมาณน้ำยางต่อการกรีดแต่ละครั้งมากขึ้น ดังนั้นเกษตรกรสามารถลดจำนวนความถี่ในการกรีดยางลง เช่น กรีดยางวันเว้นสองวัน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตยางพารา และต้นยางพารามีอายุใช้กรีดยางได้ยาวนานขึ้น

12.1.5 กรดแอบไซซิก

ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบกรดแอบไซซิก ซึ่งพบว่ากรดแอบไซซิกมีผลต่อการพักตัวของตา และการร่วงของผลฝ้าย และครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับแหล่งสร้างกรดแอบไซซิก ผลของกรดแอบไซซิก และกรดแอบไซซิกกับการนำมาใช้ประโยชน์ในหนังสือเรียน จากนั้นครูใช้คำถามเพิ่มเติมถามนักเรียน ดังนี้

- กรดแอบไซซิกมีผลต่อพืชด้านใด

ทำให้เมล็ด และตา เกิดการพักตัว กระตุ้นให้ปากใบปิดในภาวะที่พืชขาดน้ำ

ดังนี้

หลังจากที่นักเรียนได้ศึกษาฮอร์โมนพืชทั้ง 5 กลุ่ม แล้ว ครูอาจมีประเด็นอภิปรายเพิ่มเติม

- การตอบสนองของพืชส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของฮอร์โมนพืชเพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้นหรือไม่

การตอบสนองของพืชส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันของฮอร์โมนพืชมากกว่า 1 กลุ่ม เช่น ออกซินและไซโทไคนินกระตุ้นการเจริญของผล นอกจากนี้ ออกซิน ไซโทไคนิน และ จิบเบอเรลลิน จะลดการเสื่อมตามอายุของใบ

- นอกจากฮอร์โมนพืชทั้ง 5 กลุ่มแล้ว นักเรียนคิดว่านักวิทยาศาสตร์ยังค้นพบฮอร์โมนพืชกลุ่มอื่นๆ อีกหรือไม่
- ✍ พบฮอร์โมนพืชกลุ่มอื่นๆ เช่น บราสซิโนสเตอรอยด์ สตรีโกแลกโตน

หลังจากศึกษาเรื่องฮอร์โมนพืชแล้ว ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปราย เพื่อตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียน โดยมีแนวคำตอบดังนี้

ตรวจสอบความเข้าใจ

จงใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องชนิดของฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีการใช้ในทางการเกษตร

หน้าที่ของสารควบคุมการเจริญเติบโต	ออกซิน	ไซโทไคนิน	จิบเบอเรลลิน	เอทิลิน	กรดแอบไซซิก
1. ชักนำให้เกิดยอดในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช		✓			
2. เร่งการเกิดรากในกิ่งตอน	✓				
3. ทำให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น				✓	
4. ทำให้ต้นไม้อายุยืนยาว (การยับยั้ง)			✓		
5. ใช้กำจัดวัชพืช	✓				
6. กระตุ้นการไหลของน้ำยางพารา				✓	
7. ยืดอายุการปักแจกันของไม้ตัดดอก เช่น กุหลาบคาร์เนชัน (การยับยั้ง)				✓	

หน้าที่ของสารควบคุมการเจริญเติบโต	ออกซิน	ไซโทไคนิน	จิบเบอเรลลิน	เอทิลีน	กรดแอบไซซิก
8. กระตุ้นให้ปากใบปิด เพื่อลดการคายน้ำเมื่อพืชเริ่มขาดแคลนน้ำ					✓
9. กระตุ้นการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ		✓			
10. กระตุ้นการงอกของเมล็ด			✓		

หมายเหตุ การยับยั้ง หมายถึง ยับยั้งการทำงานของฮอร์โมนพืชชนิดนั้น ๆ

จากความรู้เกี่ยวกับการนำฮอร์โมนพืชมาใช้ประโยชน์ ที่นักเรียนได้เรียนมาข้างต้นแล้ว พบว่าในปัจจุบันมนุษย์สามารถสังเคราะห์สารเคมีที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืชได้ด้วย ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาจากการทำกิจกรรม 12.1



กิจกรรม 12.1 การใช้ประโยชน์จากสารสังเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของฮอร์โมนพืช

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากสารสังเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของฮอร์โมนพืชเพื่อใช้ในการเกษตร

แนวการจัดกิจกรรม

ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มและสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืชที่มีภานำมาใช้ในระยะต่างๆ ของพืช ในประเด็นต่อไปนี้

- ชื่อทางการค้า
- ชื่อกลุ่มฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้อง
- วิธีการนำไปใช้ และระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชที่นำไปใช้
- ผลของสารสังเคราะห์ที่มีต่อพืช พร้อมทั้งนำเสนอข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ที่น่าสนใจ

ตัวอย่างแนวคำตอบ

ชื่อทางการค้า	ชื่อกลุ่มฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้อง	วิธีการนำไปใช้ และระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช	ผลของสารสังเคราะห์ที่มีต่อพืช
Ethephon	เอทิลีน	ใช้อัตรา 6 mL/น้ำ 20 L พ่น 2 ครั้ง บริเวณยอดลำประรด โดยพ่นครั้งแรกเมื่อต้นลำประรดมีอายุประมาณ 9-12 เดือน หรือต้นลำประรดมีน้ำหนัก 2.5-3.0 kg และพ่นครั้งที่ 2 หลังจากพ่นครั้งแรก 4-7 วัน โดยพ่นในช่วงเย็นหรือค่ำ	ใช้กระตุ้นการออกดอกของลำประรด
Paclobutrazol	ยับยั้งจิบเบอเรลลิน	ความเข้มข้น 200 ppm ฉีดพ่นดาวเรืองพันธุ์อเมริกัน	ต้นเตี้ยแคระ วันเริ่มออกดอกเร็วที่สุด จำนวนดอกและเมล็ดมากที่สุด จำนวนใบต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับความเข้มข้น 300 ppm เหมาะสำหรับทำเป็นไม้กระถาง

หลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรมครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจากการสืบค้นข้อมูลในประเด็นต่าง ๆ ข้างต้น และสรุปผลการสืบค้นข้อมูล ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่ามนุษย์มีการใช้สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืชและนำความรู้มาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร โดยฮอร์โมนพืชมีผลต่อการตอบสนองของพืชในด้านต่าง ๆ แตกต่างกันไป ตามกลุ่มฮอร์โมนพืช ชนิด และระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

-  การเจริญเติบโตของพืชชนิดเดียวกันในแต่ละระยะต้องการสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืชที่แตกต่างกันอย่างไร
-  ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โดยทั่วไปช่วงระยะการเจริญเติบโตเพื่อกระตุ้นให้เกิดราก พืชต้องการสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายออกซิน ส่วนช่วงระยะการเจริญเติบโตเพื่อกระตุ้นให้พืชสร้างกิ่ง ใบ พืชต้องการสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายจิบเบอเรลลิน

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- กระบวนการตอบสนองของพืชต่อฮอร์โมนพืช บทบาทและหน้าที่ของออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก และการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จาก การสืบค้นข้อมูล และการอภิปราย

ด้านทักษะ

- การลงความเห็นจากข้อมูล การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล จากการสืบค้นข้อมูล และการอภิปราย
- การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสืบค้นข้อมูล และการนำเสนอ

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณญาณ ความซื่อสัตย์ การยอมรับความเห็นต่าง ความใจกว้าง ความมุ่งมั่นอดทน จากการสังเกตพฤติกรรม และการอภิปรายร่วมกัน

12.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สภาพพักตัวของเมล็ด
2. อธิบายแนวทางในการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนความรู้ของนักเรียนเรื่องปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชที่นักเรียนได้เรียนมาแล้ว และพบว่าเมล็ดพืชส่วนใหญ่ที่มีสภาพเมล็ดสมบูรณ์และได้รับปัจจัยภายนอก เช่น น้ำหรือความชื้น แก๊สออกซิเจน อุณหภูมิ แสง แต่เมล็ดก็ยังไม่สามารถงอกได้ หรืออาจงอกได้ช้า เพราะเมล็ดพืชอยู่ในสภาพพักตัว

ครูอาจให้นักเรียนศึกษารูป 12.10 ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนได้เข้าใจว่าเมล็ดพืชบางชนิดมีสภาพพักตัวสั้นมาก เมล็ดพืชบางชนิดสามารถงอกได้ขณะที่อยู่ในผล หรือบางชนิดไม่สามารถงอกได้หรืองอกได้ช้า เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 12.2 การทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดมะเขือเทศ



กิจกรรม 12.2 การทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดมะเขือเทศ

จุดประสงค์

1. อธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด และสภาพพักตัวของเมล็ด
2. อธิบายแนวทางในการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

1 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ผลมะเขือเทศสุก	1 ผล
2. ทิชชู	1 ม้วนต่อห้อง
3. จานเพาะเชื้อ	2 จาน
4. กระชอน	1 อัน
5. ช้อน	1 อัน

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. ควรเลือกผลมะเขือเทศที่แก่เต็มที่ และสุก จะทำให้เห็นผลการทดลองชัดเจน
2. ครูควรมอบหมายให้นักเรียนทำกิจกรรมนี้นอกเวลา และนำผลการทดลองมาเสนอเพื่ออภิปรายร่วมกันในชั่วโมงเรียน

ตัวอย่างผลการทดลอง

วัน	จำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมด (เมล็ด)		ลักษณะของเมล็ดที่สังเกตได้		ลักษณะของเมล็ดที่บันทึกภาพได้	
	ไม่ล้างเยื่อหุ้มเมล็ด	ล้างเยื่อหุ้มเมล็ด	ไม่ล้างเยื่อหุ้มเมล็ด	ล้างเยื่อหุ้มเมล็ด	ไม่ล้างเยื่อหุ้มเมล็ด	ล้างเยื่อหุ้มเมล็ด
1	0	0	-	-		
2	0	10	-	ความยาวราก 3-6 mm มีขนราก แต่ยังไม่แทงยอดแรกเกิด		
3	0	18	-	ความยาวราก 5-10 mm มีขนราก มี hypocotyl 14 เมล็ด ยังไม่มีใบเลี้ยง		
4	2	20	ความยาวราก 3-5 mm มีขนราก	ความยาวราก 10-15 mm มี hypocotyl ครบทุกเมล็ด มีใบเลี้ยงโผล่หลุดจากเมล็ด 3 ต้น		
5	4	20	ความยาวราก 5-10 mm มีขนราก มี hypocotyl 2 ต้น	ความยาวราก 10-20 mm มีใบเลี้ยง 15 ต้น		

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการนำเสนอและอภิปราย นักเรียนควรสรุปได้ว่าเมล็ดมะเขือเทศที่ลี้ยงน้ำจะมีรากงอกออกมาก่อนเมล็ดมะเขือเทศที่ไม่ลี้ยงน้ำ เนื่องจากเมล็ดมะเขือเทศที่ลี้ยงน้ำได้ลี้ยงเมือกออกไปจากเมล็ด เป็นการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดมะเขือเทศแล้ว

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

-  การงอกของเมล็ดมะเขือเทศทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร
-  แตกต่างกัน เมล็ดมะเขือเทศที่ลี้ยงเยื่อหุ้มเมล็ดจะงอกรากออกมาก่อนเมล็ดมะเขือเทศที่ไม่ลี้ยงเยื่อหุ้มเมล็ด
-  เพราะเหตุใดการล้างเมล็ดจึงทำให้การงอกของเมล็ดมะเขือเทศทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน
-  เนื่องจากเมือกที่เมล็ดมีผลยับยั้งการงอกของเมล็ด ทำให้เมล็ดมะเขือเทศอยู่ในสภาพพักตัว การล้างเยื่อหุ้มเมล็ดทำให้เมือกของเมล็ดหลุดออกไป เมล็ดกลุ่มที่ล้างเยื่อหุ้มเมล็ดก่อนเพาะจึงงอกได้ก่อน

12.2.1 สาเหตุและวิธีการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด

หลังจากนักเรียนทำกิจกรรมการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดมะเขือเทศเสร็จแล้ว ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายสาเหตุและวิธีการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด โดยใช้คำถามนำดังนี้ นอกจากสารเคมีบางชนิดที่มีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดทำให้เมล็ดอยู่ในสภาพพักตัวแล้ว ยังมีสาเหตุอื่น ๆ อีกหรือไม่ ที่ทำให้เมล็ดพักตัว และมีวิธีการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดได้อย่างไร ซึ่งแนวคำตอบของการอภิปรายอาจเป็นดังนี้

สาเหตุการพักตัวของเมล็ด เช่น เปลือกเมล็ดมีความหนาและแข็ง น้ำไม่สามารถเข้าสู่ภายในเมล็ดได้ เปลือกเมล็ดมีสารเคลือบจำพวกไข คิวทิน ลิกนิน ซูเบอร์ิน สะสมอยู่บนผนังเซลล์ของเปลือกเมล็ดทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ เปลือกเมล็ดไม่ยอมให้แก๊สออกซิเจนแพร่ผ่าน เปลือกเมล็ดมีสารเคมีบางชนิดที่มีผลยับยั้งการงอกของเมล็ด เอ็มบริโออยู่เจริญไม่เต็มที่

วิธีการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด เช่น การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน การเผา การแช่เมล็ดในน้ำร้อนหรือสารละลายกรด การปาด การฉีก การกระเทาะเปลือก การชะล้างสารเคลือบที่เปลือกเมล็ดออก

จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบ ดังนี้

- ?** ความรู้เกี่ยวกับสาเหตุสภาพการพักตัวของเมล็ดสามารถนำไปใช้ในการเพาะเมล็ดให้งอกเร็วขึ้นได้อย่างไร
-  การเพาะเมล็ดให้งอกเร็วขึ้นต้องทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด อาจใช้วิธี การแช่น้ำ การแช่ในสารละลายกรด การปาด การฉีก การกระเทาะเปลือก
- ?** เมล็ดที่มีสภาพพักตัวนานกับเมล็ดที่ไม่มีสภาพพักตัวจะมีข้อได้เปรียบหรือข้อเสียเปรียบในการขยายพันธุ์อย่างไร
-  เมล็ดที่มีสภาพพักตัวนาน เอ็มบริโอจะพัฒนาและเจริญเต็มที่เมื่องอกในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ต้นพืชที่งอกออกมาจึงมีโอกาสอยู่รอดสูง ในขณะที่เมล็ดพืชที่ไม่มีสภาพพักตัวจะงอกตั้งแต่อยู่ในผล ซึ่งสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตอาจยังไม่เหมาะสม โอกาสในการอยู่รอดจึงต่ำกว่าเมล็ดพืชที่มีสภาพพักตัวนาน แต่เมล็ดพืชที่ไม่มีสภาพพักตัวอาจได้เปรียบโดยงอกเร็วและเจริญเติบโตเร็วทำให้แพร่พันธุ์ได้เร็ว ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสม การมีเมล็ดจำนวนมากจะช่วยเพิ่มโอกาสในการอยู่รอดให้สูงขึ้น เนื่องจากถ้าเมล็ดจำนวนมากงอกแล้วตายไปก็ยังมีเมล็ดเหลืออีกจำนวนหลายเมล็ดให้อยู่รอดได้

จากนั้นครูอาจใช้คำถามถามนักเรียนเพิ่มเติมดังนี้

- นอกจากเมื่อที่เมล็ดมีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดแล้ว ปัจจัยภายนอกอื่น ๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดมีอะไรบ้าง
-  น้ำหรือความชื้น แก๊สออกซิเจน อุณหภูมิ และแสง
- ให้นักเรียนออกแบบการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยภายนอกอื่น ๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด โดยเลือกเพียง 1 ปัจจัย
-  เช่น ปัจจัยเรื่องน้ำหรือความชื้น แบ่งเมล็ดพืชออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 นำเมล็ดพืชแช่น้ำก่อนนำไปเพาะ และกลุ่มที่ 2 นำเมล็ดพืชไปเพาะโดยไม่แช่น้ำ

จากนั้นให้นักเรียนศึกษารูป 12.11 การทดลองปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชชนิดหนึ่ง และตาราง 12.1 ผลการทดลองปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชชนิดหนึ่ง ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าน้ำ อุณหภูมิ และอากาศ มีผลต่อการงอกของเมล็ด ถ้าขาดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งหรือไม่เหมาะสม เมล็ดก็จะไม่งอก จากนั้นครูถามคำถามที่มีในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



หลอดทดลองใดเป็นชุดควบคุม



หลอดทดลอง ก.



ตัวแปรต้นของแต่ละการทดลองนี้คืออะไร



ตัวแปรต้นของหลอดทดลอง ข. คือ น้ำ

ตัวแปรต้นของหลอดทดลอง ค. คือ อุณหภูมิ

ตัวแปรต้นของหลอดทดลอง ง. คือ อากาศ



ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชชนิดนี้คืออะไร



น้ำ อุณหภูมิที่เหมาะสม และอากาศ



สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร



น้ำ อุณหภูมิ และอากาศ มีผลต่อการงอกของเมล็ด ถ้าขาดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งหรือไม่เหมาะสม เมล็ดก็จะไม่งอก

12.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

ครูอาจใช้คำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจนักเรียนว่า เมื่อเกษตรกรไปซื้อเมล็ดพันธุ์เพื่อปลูก จะมั่นใจได้อย่างไรว่าเมล็ดพันธุ์จะงอก และเพราะเหตุใดจึงต้องตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ก่อนการนำไปปลูก ซึ่งแนวคำตอบอาจเป็นว่า เพื่อให้เกษตรกรมั่นใจว่าเมล็ดพันธุ์ที่นำไปปลูกสามารถงอกได้ มีความแข็งแรง ทำให้มีโอกาสประสบความสำเร็จในการปลูกพืชชนิดนั้น ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ อาจใช้ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์

การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์

ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในตาราง 12.2 ผลการศึกษาการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ได้จากแหล่งต่างกัน 3 แหล่ง ซึ่งสรุปว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์มากไปน้อย คือ จากแหล่งที่ 3 แหล่งที่ 2 และแหล่งที่ 1 ตามลำดับ แล้วตอบคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้



เมื่อเพาะเมล็ดพันธุ์ครบ 7 วัน เมล็ดพันธุ์แต่ละแหล่งมีค่าดัชนีการงอกเป็นเท่าใด



แหล่งที่ 1 = 14.42 แหล่งที่ 2 = 24.33 แหล่งที่ 3 = 29.43

จากการคำนวณโดยใช้สูตรดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์

$$\text{สูตร ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์} = \text{ผลบวกของ} \left\{ \frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่งอกในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนวันหลังจากเพาะเมล็ด}} \right\}$$

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์แหล่งที่ 1} = 25/4 + 20/5 + 25/6 = 14.42$$

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์แหล่งที่ 2} = 40/3 + 20/4 + 30/5 = 24.33$$

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์แหล่งที่ 3} = 15/2 + 30/3 + 40/4 + 8/5 + 2/6 = 29.43$$



เกษตรกรไม่ควรเลือกเมล็ดพันธุ์จากแหล่งใดมาเพาะปลูก เพราะเหตุใด



แหล่งที่ 1 เพราะมีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ต่ำที่สุด แสดงว่าเมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงต่ำกว่าแหล่งอื่นๆ จึงงอกได้น้อยและช้าที่สุด

การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ เป็นการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์วิธีหนึ่งที่ช่วยให้ทราบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการนำไปปลูกมีความแข็งแรงหรือไม่

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- เรื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สภาพพักตัวของเมล็ด และแนวทางในการแก้สภาพพักตัวของเมล็ด จากการสืบค้นข้อมูล การอภิปราย และการทำกิจกรรม

ด้านทักษะ

- การสังเกต การลงความเห็นจากข้อมูล การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุปจากการสืบค้นข้อมูล การอภิปรายและการทำกิจกรรม
- การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสืบค้นข้อมูล การนำเสนอ และการทำกิจกรรม

ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณญาณ ความรอบคอบ ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ ความซื่อสัตย์ วัตถุวิสัย การยอมรับความเห็นต่าง ความใจกว้าง ความมุ่งมั่นอดทน จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน

12.3 การตอบสนองของพืชในลักษณะการเคลื่อนไหว

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูล ทดลองและอธิบาย เกี่ยวกับสิ่งเร้าภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจใช้รูป 12.12 ต้นคุณนายตื่นสายเจริญเข้าหาแสง และรูป 12.14 การบานและการหุบของดอกบัวสายสีขาว แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายในประเด็น ดังนี้

- ปัจจัยที่ทำให้ต้นคุณนายตื่นสายเจริญเข้าหาแสง และการบานและการหุบของดอกบัวสายสีขาวดังรูป คืออะไร
- การตอบสนองของต้นคุณนายตื่นสายมีทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าที่มากระตุ้นอย่างไร
- การตอบสนองของดอกบัวสายสีขาวต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้นแตกต่างจากการตอบสนองของต้นคุณนายตื่นสายอย่างไร

หลังจากนักเรียนอภิปรายแล้วควรได้ข้อสรุปว่า แสงเป็นปัจจัยที่ทำให้ต้นคุณนายตื่นสายตอบสนองที่มีทิศทางสัมพันธ์กับแสง ทำให้ต้นคุณนายตื่นสายจะเบนเข้าหาแสง สำหรับการบานและการหุบของดอกบัวสายสีขาวเป็นการตอบสนองต่อแสงมีทิศทางที่ไม่สัมพันธ์กับสิ่งเร้าที่มากระตุ้น คือไม่เบนเข้าหาหรือออกจากแสง

12.3.1 ทरोฟิซึม

หลังจากนักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับฮอริโมนพืชและการงอกของเมล็ดและการเจริญเป็นต้นกล้าแล้วครูอาจถามนักเรียนว่า **ต้นกล้าที่งอกออกมาจากเมล็ดแล้วจะตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกอย่างไรบ้าง** ซึ่งควรมีแนวคำตอบว่า มีการตอบสนองต่อแสง แรงโน้มถ่วงของโลก จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรมเสนอแนะ การเบนเนื่องจากแสง



กิจกรรมเสนอแนะ : การเบนเนื่องจากแสง

จุดประสงค์

1. ทดลอง และเปรียบเทียบการตอบสนองต่อแสงของปลายโคเลออปทิลล์ของพืช
2. วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปการเบนเข้าหาแสงของโคเลออปทิลล์ของพืช

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

1 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. ข้าวโพดที่ปลูกในที่มืด อายุประมาณ 3-4 วัน	4 ต้น
2. กระดาษ	4 กระดาษ
3. กล้องกระดาษทึบ ที่เปิดให้แสงเข้าด้านเดียว	1 กล้อง
4. วาสลินหรือลาโนลิน	1 ขวดต่อห้อง
5. วาสลินหรือลาโนลิน ผสมสารสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของออกซิน เช่น IAA หรือ NAA	1 ขวดต่อห้อง
6. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%	10 mL
7. วัสดุปลูก เช่น ทราย ดิน	1 ถังต่อห้อง
8. อะลูมิเนียมฟอยล์	1 กล้องต่อห้อง
9. ใบมีดโกน	1 ใบ

การเตรียมล่วงหน้า

1. ครูวางแผนให้นักเรียนเตรียมเพาะเมล็ดข้าวโพดในที่มืด ประมาณ 3-4 วัน และเลือกต้นข้าวโพดที่มีโคเลออปทิลล์สูงประมาณ 3 cm และมีลักษณะตั้งตรง มาใช้สำหรับการทดลอง
2. การเตรียมวาสลินหรือลาโนลินผสมสารสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของออกซิน เช่น IAA หรือ NAA สามารถเตรียมได้โดยชั่งสารสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของออกซิน 0.1 g และค่อย ๆ หยดเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เพื่อละลายสารสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของออกซินจนละลายหมด จากนั้นนำไปผสมกับวาสลินหรือลาโนลินปริมาณ 100 g สำหรับใช้ทำการทดลองทั้งห้อง ในกรณีที่ใช้ไม่หมดสามารถเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นได้

3. ครูควรให้นักเรียนทำการทดลองมาล่วงหน้าและนำผลการทดลองมาอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน หรืออาจนำต้นข้าวโพดที่เตรียมไว้มาทดลองก่อนการเรียนรู้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ให้นักเรียนสังเกตผลการทดลองร่วมกันในห้องเรียน

ต้นที่	การทดลอง	ลักษณะโคลีออฟไธล์ของต้นข้าวโพด
1	ต้นข้าวโพดปกติ	เบนเข้าหาแสง
2	ตัดปลายโคลีออฟไธล์ ออกประมาณ 3 mm ทาวาลีนหรือลาโนลินที่รอยตัด	ไม่เบนเข้าหาแสง
3	ตัดปลายโคลีออฟไธล์ ออกประมาณ 3 mm ทาวาสลีนหรือลาโนลินผสมสารสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของออกซิน ความเข้มข้น 0.1%	เบนเข้าหาแสง
4	ใช้อะลูมิเนียมฟอยล์หุ้มส่วนปลายโคลีออฟไธล์	ไม่เบนเข้าหาแสง

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ต้นกล้าข้าวโพดที่มีส่วนปลายโคลีออฟไธล์และได้รับแสงสามารถโค้งเข้าหาแสงได้ เนื่องจากบริเวณส่วนปลายโคลีออฟไธล์จะสร้างออกซินและถูกลำเลียงไปยังด้านที่ได้รับแสงน้อย ทำให้เซลล์บริเวณนั้นมีปริมาณออกซินมากซึ่งจะไปกระตุ้นให้เซลล์ขยายตัวตามยาวมากกว่าด้านที่ได้รับแสง ส่วนต้นกล้าที่ไม่มีส่วนปลายโคลีออฟไธล์และได้รับแสง แต่ได้รับสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติของออกซินก็มีการตอบสนองต่อแสงเช่นเดียวกัน สำหรับต้นกล้าที่มีปลายโคลีออฟไธล์แต่ไม่ได้รับแสง การกระจายของออกซินจะสม่ำเสมอทุกด้าน ทำให้เซลล์ขยายตัวตามยาวเท่ากันทุกด้าน ปลายโคลีออฟไธล์จึงตั้งตรงแสดงว่าออกซินตอบสนองต่อแสงและทำให้เกิดการเบนเข้าหาแสงของโคลีออฟไธล์

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

-  เพราะเหตุใดจึงต้องเพาะเมล็ดข้าวโพดในที่มืด
-  เนื่องจากแสงมีผลต่อการตอบสนองของโคลีออฟไธล์ ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

? ลักษณะของโคเลออปทิลของต้นข้าวโพดทั้ง 4 ต้น มีการตอบสนองต่อแสงเหมือนกัน หรือต่างกันอย่างไร

✎ แตกต่างกันคือ ต้นข้าวโพดปกติ และต้นข้าวโพดที่ตัดปลายโคเลออปทิลออกและทาวาสลีนหรือลาโนลินผสมสารสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของออกซินพบว่า โคเลออปทิลสามารถเบนเข้าหาแสงได้ ส่วนต้นข้าวโพดที่ตัดปลายโคเลออปทิลและทาวาสลีนหรือลาโนลินที่รอยตัด และต้นข้าวโพดที่ใช้อะลูมิเนียมฟอยล์หุ้มส่วนปลายโคเลออปทิลพบว่า โคเลออปทิลไม่เบนเข้าหาแสง

ในกรณีนี้นักเรียนได้ทำกิจกรรมเสนอแนะการเบนเนื่องจากแสงเสร็จแล้ว ครูควรให้นักเรียนทำกิจกรรม 12.3 การเบนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อให้นักเรียนได้เข้าใจว่าพืชก็มีการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลกด้วย



กิจกรรม 12.3 การเบนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

จุดประสงค์

ทดลอง และอธิบายการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลกของปลายรากพืช

เวลาที่ใช้ (โดยประมาณ)

1 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
1. เมล็ดถั่วเขียว เมล็ดถั่วดำ เมล็ดข้าวโพด อย่างไม่อย่างหนึ่ง	20 เมล็ด
2. กล่องพลาสติกพร้อมฝาปิดกล่อง	1 กล่อง
3. จานเพาะเชื้อ	2 จาน
4. ใบมีดโกน	1 ใบ
5. ทิชชู	1 ม้วนต่อห้อง
6. เทปใส	1 ม้วนต่อห้อง

การเตรียมล่วงหน้า

ครูวางแผนให้นักเรียนเตรียมเพาะเมล็ดถั่วเขียวหรือเมล็ดถั่วดำหรือเมล็ดข้าวโพด ในที่มีดจำนวน 20 เมล็ด ประมาณ 2-3 วัน จนมีส่วนของไหล่ออกมาจากเปลือกเมล็ดยาวประมาณ 2 cm เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างผลการทดลองของเมล็ดถั่วเขียว

กลุ่มที่	การทดลอง	สังเกตการเปลี่ยนแปลง
1	เมล็ดพืชที่ไม่ตัดปลายรากออก	รากโค้งเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก
2	เมล็ดพืชที่ตัดปลายรากออก	รากไม่โค้งเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก

ตัวอย่างผลการทดลอง



ไม่ตัดปลายราก ตัดปลายราก
ปลายรากถั่วเขียวเมื่อเริ่มการทดลอง



ไม่ตัดปลายราก ตัดปลายราก
ปลายรากถั่วเขียวหลังการทดลอง 3 วัน

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

เมล็ดพืชที่ยังมีปลายรากอยู่จะเจริญโค้งตามทิศทางแรงโน้มถ่วงของโลก เนื่องจากเมื่อรากอยู่ในแนวนอน ปลายรากด้านบนและด้านล่างมีการกระจายของปริมาณออกซินไม่เท่ากัน โดยออกซินจะลำเลียงไปสู่ปลายรากด้านล่างมากกว่าด้านบน ออกซินที่มีความเข้มข้นสูงจะยับยั้งการขยายตัวตามยาวของเซลล์ราก ทำให้ปลายรากด้านล่างขยายตัวน้อยกว่าด้านบนรากจึงโค้งลง ส่วนเมล็ดพืชที่ตัดปลายรากจะไม่โค้งเนื่องจากไม่มีออกซินซึ่งตอบสนองต่อตัวรับแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเป็นการตอบสนองที่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก

เฉลยคำถามท้ายกิจกรรม

? การโค้งของรากเกิดจากสาเหตุใด

 เมื่อรากอยู่ในแนวนอนปริมาณออกซินของปลายรากด้านบนและด้านล่างมีปริมาณไม่เท่ากัน ซึ่งออกซินจะลำเลียงไปสู่ปลายรากด้านล่างมากกว่าด้านบน จึงส่งผลยับยั้งการขยายตัวตามยาวของเซลล์ทางด้านล่าง เซลล์ทางด้านบนของรากจึงขยายตัวมากกว่า ปลายรากจึงโค้งเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก

? เมล็ดพืชทั้งสองกลุ่มมีการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลกเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

 แตกต่างกันคือ เมล็ดพืชที่ไม่ได้ตัดปลายรากออก รากจะโค้งเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนเมล็ดพืชที่ตัดปลายรากออก รากไม่โค้งเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก

หลังจากที่นักเรียนทำกิจกรรมเสนอแนะ การเบนเนื่องจากแสง และกิจกรรมการเบนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแล้ว นักเรียนควรอธิบายได้ว่า กิจกรรมทั้งสองนี้เป็นการศึกษาการตอบสนองของพืชโดยทิศทางการตอบสนองสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า ซึ่งสิ่งเร้าในที่นี้คือแสง และแรงโน้มถ่วงของโลก ครูอาจถามนักเรียนต่อไปว่าพืชยังมีการตอบสนองที่มีทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าอย่างอื่นอีกหรือไม่ ซึ่งคำตอบของนักเรียนอาจตอบว่าสิ่งเร้าที่มากกระตุ้น เช่น สารเคมี น้ำ

12.3.2 แอสติคมูฟเมนต์

ครูอาจใช้รูป 12.14 และ 12.15 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า การตอบสนองของพืชโดยการบานและการหุบของดอกบัวสายสีขาว และการกางใบและการหุบของใบไมยราบ เป็นการตอบสนองของพืชที่มีทิศทางสัมพันธ์กับสิ่งเร้าภายนอกที่มากกระตุ้นหรือไม่ ซึ่งคำตอบของนักเรียนควรตอบได้ว่า การตอบสนองพืชในรูปเป็นการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่มีทิศทางไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก และครูอธิบายเพิ่มเติมว่าการตอบสนองแบบนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่งของเซลล์ ทำให้เซลล์ขยายขนาดต่างกัน จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน

? ยกตัวอย่างการเคลื่อนไหวของพืชที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่ง นอกเหนือจากการบานและการหุบของดอกบัวสายสีขาว

 การเปิดปิดรูปากใบของเซลล์คุม การปริของผลไม้บางชนิดเมื่อแก่เต็มที่ เช่น ขนุน ทุเรียน

ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า ในธรรมชาติพบว่าพืชยังมีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของโครงสร้างที่ไม่เท่ากันสองด้าน ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบส่ายหรือनुเทชัน เช่น การหมุนแกว่งของยอดพืชขณะที่มีการเจริญเติบโตที่ปลายยอดพืช

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันสรุปว่าการตอบสนองของพืชในรูปแบบของการเคลื่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ทropicism เป็นการตอบสนองที่ทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก แนนติสมูฟเมนต์ เป็นการตอบสนองที่ทิศทางไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก ส่วนนูเทชัน เป็นการตอบสนองที่ไม่ได้มาจากสิ่งเร้าภายนอก แต่เกิดจากการเจริญเติบโตของโครงสร้างที่ไม่เท่ากันสองด้าน

หลังจากที่ศึกษาเรื่องการตอบสนองของพืชแล้ว ครูอาจใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อการตอบสนองต่อภาวะเครียดว่า **กรณีที่พืชได้รับสิ่งเร้าภายนอกมากเกินไปหรือน้อยเกินไป จนส่งผลต่อการดำรงชีวิตของพืช พืชจะมีการตอบสนองอย่างไร**



ตรวจสอบความเข้าใจ

- ?** เพราะเหตุใดพืชต้องมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น แสง แรงโน้มถ่วงของโลก
-  เนื่องจากพืชต้องการแสงซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นโคลีออฟไทล์จึงโค้งเข้าหาแสง นอกจากนี้พืชยังต้องการน้ำและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ดังนั้นปลายรากพืชจึงเบนเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้ได้รับน้ำและธาตุอาหารที่อยู่ในดินได้

12.4 การตอบสนองต่อภาวะเครียด

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายการตอบสนองของพืชในภาวะเครียดที่เกิดจากสิ่งเร้าทางกายภาพ และสิ่งเร้าทางชีวภาพ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูอาจใช้คำถามกระตุ้นความสนใจของนักเรียนว่า นักเรียนเคยปลูกพืชแล้วลืมน้ำหรือไม่ และต้นพืชนั้นมีลักษณะแตกต่างจากต้นพืชที่รดน้ำอย่างไร นอกจากนี้ครูอาจใช้รูป 12.17 การม้วนของใบข้าวที่ตอบสนองต่อการขาดน้ำ โดยให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและร่วมกันอภิปราย โดยมีแนวคำถามดังนี้

- ใบข้าวอยู่ในภาวะสมดุลโดยมีการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตเป็นปกติหรือไม่
- ใบข้าวมีการตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกอย่างไร

จากการสืบค้นข้อมูลและอภิปรายร่วมกัน นักเรียนควรสรุปได้ว่าใบข้าวไม่อยู่ในภาวะสมดุลเนื่องจากมีการเจริญเติบโตผิดปกติ ใบข้าวเหี่ยว ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิต แสดงว่าอยู่ในภาวะเครียดเพราะได้รับน้ำน้อยเกินไป

12.4.1 ภาวะเครียดจากสิ่งเร้าทางกายภาพ

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับภาวะเครียดจากสิ่งเร้าทางกายภาพอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำ และถามนักเรียนต่อไปอีกว่า นอกจากน้ำแล้ว นักเรียนคิดว่ามีสิ่งเร้าทางกายภาพใดอีกบ้างที่ส่งผลให้พืชตอบสนองต่อภาวะเครียด ซึ่งแนวคำตอบของนักเรียนอาจตอบว่า มีสิ่งเร้าทางกายภาพอื่นอีก เช่น อุณหภูมิ ซึ่งในกรณีที่พืชได้รับอุณหภูมิสูงพืชสามารถตอบสนองโดยการคายน้ำ เพื่อรักษาอุณหภูมิของใบไม่ให้สูงมากขึ้น และยังช่วยรักษาสภาพการทำงานของเซลล์ให้เป็นปกติ กรณีที่พืชได้รับอุณหภูมิสูงมากเกินไป พืชอาจปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ กรณีที่พืชได้รับอุณหภูมิต่ำมากเกินไป พืชจะสร้างโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ให้มีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากขึ้น เพื่อให้เยื่อหุ้มเซลล์ยังคงมีสมบัติในการเป็นของไหล

12.4.2 ภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเรื่องภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ และร่วมกันอภิปรายปัจจัยทางชีวภาพที่ทำให้พืชอยู่ในภาวะเครียด ซึ่งแนวคำตอบอาจเป็นดังนี้ ภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ เช่น การเข้าทำลายจากสัตว์กินพืช จุลินทรีย์ จากนั้นครูถามนักเรียนต่อไปว่า **พืชมีวิธีการป้องกันภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพได้อย่างไร** แนวคำตอบของนักเรียนอาจเป็นดังนี้ คือ มีวิธีการป้องกันทางโครงสร้าง เช่น การมีขนบนใบและลำต้น การมีหนาม และการสร้างสารเคมีธรรมชาติ เช่น สารกลุ่มฟีนอล หรือการมีน้ำยาง

เมื่อพืชอยู่ในภาวะเครียดจะส่งผลให้พืชตอบสนองทางด้านโครงสร้างและด้านสรีรวิทยาอาจแตกต่างกันไปตามชนิดพืช และสิ่งเร้าที่พืชได้รับ เพื่อให้พืชสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าพืชไม่สามารถปรับตัวได้หรืออยู่ในภาวะเครียดเป็นเวลานานอาจทำให้พืชตายได้

แนวการวัดและประเมินผล

ด้านความรู้

- บัณฑิตภายนอกที่มีผลต่อการตอบสนองของพืช การตอบสนองของพืชในภาวะเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ จากการสืบค้นข้อมูล การอภิปราย

ด้านทักษะ

- การสังเกต การลงความเห็นจากข้อมูล การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป จากการสืบค้นข้อมูล และการอภิปราย
- การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสืบค้นข้อมูล การนำเสนอ

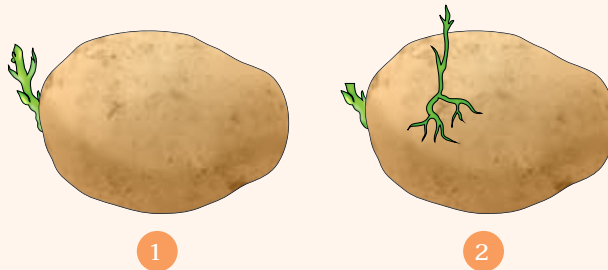
ด้านจิตวิทยาศาสตร์

- การใช้วิจารณญาณ ความรอบคอบ ความเชื่อมั่นต่อหลักฐานเชิงประจักษ์ ความซื่อสัตย์ วัตถุวิสัย การยอมรับความเห็นต่าง ความใจกว้าง ความมุ่งมั่นอดทน จากการสังเกต พฤติกรรมในการอภิปรายร่วมกัน



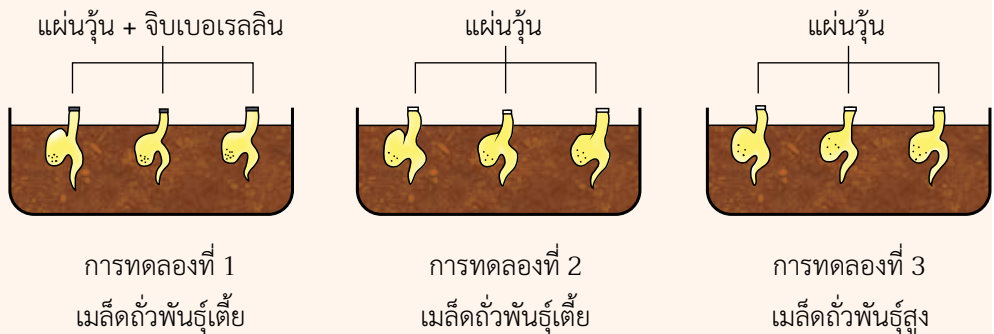
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12

1. ในการศึกษาการงอกของมันฝรั่ง พบว่าเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจะงอกต้นเล็ก ๆ จากหัวดังรูป 1 และถ้าตัดยอดต้นมันฝรั่งที่งอกออกมาพบว่าจะเกิดต้นเล็ก ๆ จากตาที่อยู่ถัดไปดังรูป 2 ถ้าตัดหัวมันฝรั่งออกเป็นส่วน ๆ ตามขวาง แต่ละส่วนมีตาติดอยู่ ผลการทดลองจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด



- ✎ ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส่วนที่ตัดออก ตาที่ติดอยู่จะงอกเป็นต้นเล็ก ๆ เพราะไม่มีออกซินยับยั้งการเจริญของตา

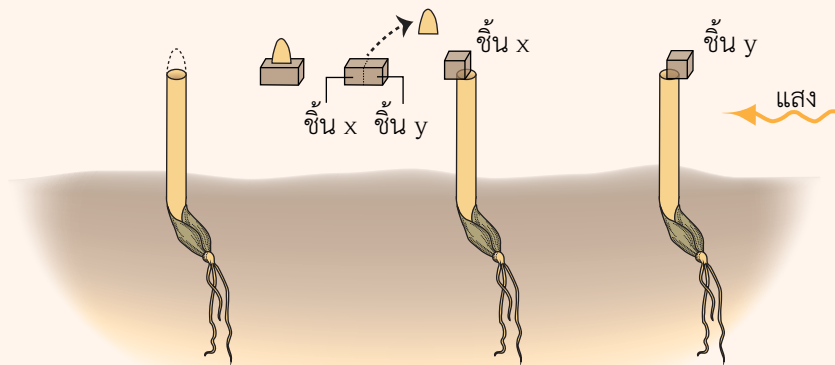
2. จงศึกษาการทดลองนี้แล้วตอบคำถาม
จากการทดลองเพาะต้นกล้าของถั่วพันธุ์เดียวกับถั่วพันธุ์สูง เมื่อตัดยอดออกแล้วนำแผ่นวุ้นไปวางดังการทดลองในรูป



เมื่อทดลองไป 2 สัปดาห์ พบว่าการทดลองที่ 1 และ 3 ต้นแก้วมีความสูงขึ้นใกล้เคียงกัน แต่การทดลองที่ 2 มีความสูงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นักเรียนจะสรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร

 การทดลองนี้สรุปว่า จิบเบอเรลลินทำให้ต้นกล้าของถั่วพันธุ์เตี้ยเจริญเติบโต มีลำต้นสูงขึ้น ใกล้เคียงกับถั่วพันธุ์สูง

3. ถ้าตัดปลายโคลีออฟไธลส์ของข้าวโพดไปวางบนแผ่นวุ้น นำวุ้นมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ทำการทดลองกับต้นกล้าข้าวโพด 2 ต้น ที่ตัดปลายโคลีออฟไธล์ออก ดังรูป



3.1 ผลการทดลองจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

 โคลีออฟไธล์จะโค้งเข้าหาแสงทั้ง 2 ต้น เพราะปลายโคลีออฟไธล์ที่มีชั้นวุ้น x ออกซิงจะลำเลียงลงมาด้านล่างซึ่งอยู่ตรงข้ามกับแสง เซลล์ของโคลีออฟไธล์เมื่อได้รับออกซิงจะขยายตัวตามยาวมากกว่าด้านที่ไม่มีออกซิงหรือได้รับออกซิงน้อย ทำให้โคลีออฟไธล์โค้งเข้าหาแสง ส่วนปลายโคลีออฟไธล์ที่มีชั้นวุ้น y ออกซิงจะลำเลียงมาสู่ด้านล่างในด้านที่มีชั้นวุ้น y คือ ด้านที่มีแสง เมื่อออกซิงลำเลียงมาสู่ด้านล่างแล้วจะเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านตรงข้ามกับแสง เซลล์ของโคลีออฟไธล์ด้านที่อยู่ตรงข้ามกับแสงจะขยายตัวตามยาวมากกว่าอีกด้านทำให้โคลีออฟไธล์โค้งเข้าหาแสงเช่นกัน

3.2 ถ้านำการทดลองไปไว้ในที่มืด ผลการทดลองจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

 ออกซิงจะถูกลำเลียงมาด้านล่าง ทำให้ยอดพืชด้านที่มีแสงวุ้นอยู่มีปริมาณออกซิงมาก เซลล์จะขยายตัวตามยาวทำให้โคลีออฟไธล์ของพืชทั้ง 2 ต้นโค้งเข้าหากัน

4. ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช นักวิทยาศาสตร์ได้กล่าวถึงสัดส่วนของออกซินและไซโทไคนินต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของยาสูบไว้ ดังนี้
- ถ้าสัดส่วนของออกซินต่อไซโทไคนิน
- สูงจะชักนำให้เกิดราก
 - ต่ำจะชักนำให้เกิดยอด
 - ปานกลางจะชักนำให้เกิดแคลลัส

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและปริมาณฮอร์โมนพืชที่มีอยู่ภายในเนื้อเยื่อพืช เมื่อนำชิ้นส่วนของพืชชนิดหนึ่งมาเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งที่เติมออกซินและไซโทไคนินความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ผลที่ได้เป็นไปตามการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ โดยสัดส่วนของออกซินต่อไซโทไคนินของเนื้อเยื่อพืชที่สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้ คือ ออกซิน 1.00 mg/mL ไซโทไคนิน 1.00 mg/mL

จงพิจารณาลักษณะของชิ้นส่วนพืชที่คาดว่าจะได้หลังจากเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชชนิดนี้เป็นเวลา 3 เดือน โดยนำตัวอักษรหน้าข้อความแสดงลักษณะของชิ้นส่วนพืชเติมลงในตารางให้สัมพันธ์กับความเข้มข้นของออกซินและไซโทไคนิน

ลักษณะของชิ้นส่วนพืชที่คาดว่าจะได้

- ก. ชิ้นส่วนพืชมีรากเกิดขึ้น ข. ชิ้นส่วนพืชมีแคลลัสเกิดขึ้น
ค. ชิ้นส่วนพืชมียอดเกิดขึ้น ง. ชิ้นส่วนพืชไม่มีการพัฒนา

ตารางแสดงความเข้มข้นของออกซินและไซโทไคนินที่ใช้ในอาหารกึ่งแข็ง



สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช		ความเข้มข้นของออกซิน (mg/mL)	
		0.00	1.00
ความเข้มข้นของไซโทไคนิน (mg/mL)	0.00	ง	ก
	1.00	ค	ข

5. จงใส่เครื่องหมายถูก (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

- ✓.....5.1 ออกซินมีประโยชน์ต่อการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของพืชโดยจะกระตุ้นการสร้างรากพิเศษในกิ่งตอน
- ✓.....5.2 เกษตรกรใช้จิบเบอเรลลินช่วยให้ก้านของผลองุ่นยืดยาวและทำให้ผลองุ่นมีขนาดใหญ่ขึ้น
- ✗.....5.3 เอทิลอนเป็นสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติเหมือนกรดแอบไซซิก นำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำยางพารา
แก้ไขเป็น เอทิลิน
- ✗.....5.4 พืชตอบสนองต่อการขาดน้ำในดินโดยการสร้างเอทิลิน ทำให้ปากใบปิด
แก้ไขเป็น กรดแอบไซซิก
- ✓.....5.5 ออกซินและไซโทไคนินชักนำการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเป็นยอด ลำต้น และรากในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
- ✓.....5.6 เอทิลินเป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะแก๊ส ช่วยเร่งการสุกของผลไม้โดยทำให้ผลไม้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น
- ✓.....5.7 การโค้งงอเข้าหาแสงของโคลีออปไทล์เกิดขึ้นเนื่องจากแสงกระตุ้นให้ปลายด้านโคลีออปไทล์ที่ได้รับแสงมากลำเลียงออกซินไปด้านที่ได้รับแสงน้อยแล้วกระตุ้นให้เซลล์ยืดตัวยาวมากกว่าด้านที่ได้รับแสงมาก โคลีออปไทล์จึงโค้งงอเข้าหาแสง
- ✗.....5.8 การกางแผ่นใบออกรับแสงในเวลากลางวันและการหุบใบในเวลากลางคืนและการบานของดอกไม้บางชนิดในเวลากลางวันและหุบในเวลากลางคืนเป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของพืชอย่างมีทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก
แก้ไขเป็น ไม่สัมพันธ์
- ✓.....5.9 รากพืชเจริญเติบโตเข้าสู่บริเวณที่มีน้ำมาก ซึ่งอาจไม่เป็นทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลกจัดเป็นการตอบสนองของพืชแบบทรอปิซึม

.....5.10 เมื่อเพาะเมล็ดข้าวโพดในที่มืด พบว่า รากข้าวโพดเจริญเติบโตลงสู่ด้านล่างจัดเป็นการเบนหนีแรงโน้มถ่วงของโลกและปลายยอดข้าวโพดเจริญเติบโตขึ้นสู่ด้านบนจัดเป็นการเบนเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก
แก้ไขเป็น การเบนเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก และการเบนหนีแรงโน้มถ่วงของโลก

6. ในการทดลองให้สารที่มีสมบัติยับยั้งการสร้างเอทิลีนกับผลมะเขือเทศ 2 กลุ่ม ดังนี้
กลุ่มที่ 1 ให้สารชนิดนี้ 10 ppm
กลุ่มที่ 2 ไม่ให้สาร

ผลการทดลองมะเขือเทศทั้งสองกลุ่มจะมีความแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

 แตกต่างกัน โดยผลมะเขือเทศกลุ่มที่ 2 สุกเร็วกว่าผลมะเขือเทศกลุ่มที่ 1 เนื่องจากผลมะเขือเทศ กลุ่มที่ 2 ไม่ได้รับสารยับยั้งการสร้างเอทิลีน จึงสามารถสร้างและปล่อยแก๊สเอทิลีนที่เร่งการสุกของผลตามปกติ

ภาคผนวก

คำแนะนำการใช้สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีฯ (โครงการ อพ.สธ.)
เป็นแหล่งเรียนรู้บูรณาการ ในการจัดกิจกรรมวิชาชีววิทยา

สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน คือ ทุกสิ่งทุกอย่างที่มีอยู่ในโรงเรียน ที่ใช้เพื่อการเรียนรู้โดยมีพืชเป็นปัจจัยหลัก ชีวภาพอื่นเป็นปัจจัยรอง กายภาพเป็นปัจจัยเสริม และวัสดุอุปกรณ์เป็นปัจจัยประกอบ

งานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน คือ งานสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช ทรัพยากรชีวภาพ และกายภาพ โดยมีการสัมผัส การเรียนรู้ การสร้างและปลูกฝังคุณธรรม การเสริมสร้างปัญญา และภูมิปัญญา

วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน เพื่อสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและทรัพยากร

สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนจึงเป็นแหล่งเรียนรู้ที่มีคุณค่าในการเรียนวิชาชีววิทยา เมื่อครูจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม นักเรียนจะได้รับทั้งความรู้ ทักษะปฏิบัติ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ด้านจิตวิทยาศาสตร์ และคุณธรรมจริยธรรม ตลอดจนห่วงแหนพรรณไม้และทรัพยากรธรรมชาตินำไปสู่จิตสำนึกในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและทรัพยากร

โรงเรียนต่าง ๆ สามารถสมัครเป็นสมาชิกสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน ในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โดยโรงเรียนจะได้รับทราบแนวทางในการดำเนินงานและการใช้พรรณไม้ในโรงเรียนเป็นสื่อการเรียนรู้

สามารถดูรายละเอียดได้ที่ www.rspg.or.th

และสามารถดาวน์โหลดเอกสารได้จาก www.ipst.me/7620.

องค์ประกอบ หลักการ และสาระการเรียนรู้ของงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน

องค์ประกอบที่/สาระ	หลักการ	สาระการเรียนรู้
1. การจัดทำป้ายชื่อพรรณไม้	รู้ชื่อ รู้ลักษณะ รู้จัก	กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา สำรวจพรรณไม้ ทำและติดป้ายรหัสประจำต้น บันทึกภาพพรรณไม้หรือวาดภาพทางพฤกษศาสตร์ ตั้งชื่อหรือสอบถามข้อมูลพรรณไม้ ทำป้ายชื่อพรรณไม้ชั่วคราว ทำผังแสดงตำแหน่งพรรณไม้ ศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (ก.7-003) ทำตัวอย่างพรรณไม้ เปรียบเทียบข้อมูลกับเอกสาร เรียนรู้ชื่อที่เป็นสากล ทำทะเบียนพรรณไม้ (ก.7-005) ตรวจสอบความถูกต้องของทะเบียนพรรณไม้ และจัดทำป้ายชื่อพรรณไม้สมบูรณ์ เพื่อให้รู้จักประโยชน์ของพรรณไม้
2. การรวบรวมพรรณไม้เข้าปลูกในโรงเรียน	คลุกคลี เห็นคุณ สุนทรีย์	เรียนรู้พืชพรรณ และสภาพพื้นที่ วิเคราะห์พื้นที่ พิจารณาคุณ และสุนทรีย์ภาพพรรณไม้ ทำผังภูมิทัศน์ จัดหาพรรณไม้ ปลูก ดูแลรักษา และออกแบบบันทึกการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้เห็นคุณและรู้ค่าของพืชพรรณ
3. การศึกษาข้อมูลด้านต่าง ๆ	รู้การวิเคราะห์ เห็นความต่าง รู้ความหลากหลาย	การนำทรัพยากรธรรมชาติมาเป็นปัจจัยในการเรียนรู้ โดยการใช้ปัจจัยหลายปัจจัยในชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน เพื่อให้เห็นความต่าง เมื่อเห็นความต่าง ก็จะเกิดจินตนาการอันจะนำไปสู่การใช้ประโยชน์ในงานแต่ละด้าน

องค์ประกอบที่/สาระ	หลักการ	สาระการเรียนรู้
4. การรายงานผลการเรียนรู้	รู้สาระ รู้สรุป รู้สื่อ	รวบรวมผลการเรียนรู้ วิเคราะห์เรียบเรียงสาระ จัดระเบียบข้อมูลสาระแต่ละด้าน จัดลำดับสาระหรือกลุ่มสาระ เรียนรู้รูปแบบการเขียนรายงาน วิธีการรายงานผลในรูปแบบต่างๆ เพื่อสื่อผลการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ
5. การนำไปใช้ประโยชน์ทางการศึกษา	นำองค์ความรู้ ที่เป็นวิทยาการเผยแพร่เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่	การบูรณาการสู่การเรียนการสอนในกลุ่มสาระ และสาขาวิชาต่างๆ การเผยแพร่องค์ความรู้ การสร้าง การใช้ การดูแลรักษา และพัฒนาแหล่งเรียนรู้ เพื่อการใช้ประโยชน์องค์ความรู้ในวงกว้าง
6. ธรรมชาติแห่งชีวิต	รู้การเปลี่ยนแปลง รู้ความแตกต่าง รู้ชีวิต	การเรียนรู้วงจรชีวิตของชีวภาพนั้นๆ ได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างด้านรูปลักษณ์ คุณสมบัติ และพฤติกรรม แล้วนำมาเปรียบเทียบตนเองกับชีวภาพรอบกายเพื่อประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต
7. สรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยว	รู้สัมพันธ์ รู้ผูกพัน รู้ดุลยภาพ	การวิเคราะห์องค์ความรู้ธรรมชาติของปัจจัยหลัก การเรียนรู้ธรรมชาติของปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง การเรียนรู้ธรรมชาติของความพันเกี่ยวระหว่างปัจจัย การวิเคราะห์สัมพันธ์ภาพระหว่างปัจจัย เพื่อเข้าใจดุลยภาพและความพันเกี่ยวของสรรพสิ่ง

องค์ประกอบที่/สาระ	หลักการ	สาระการเรียนรู้
8. ประโยชน์แก่แม่มหาชน	รู้ศักยภาพ รู้จินตนาการ รู้ประโยชน์	เรียนรู้ การวิเคราะห์ศักยภาพของ ปัจจัยศึกษา จินตนาการเห็นคุณ สรรค์สร้างวิธีการ เพื่อประโยชน์แก่ แม่มหาชน
9. การเรียนรู้ผ่านวิถี ใหม่ในฐานไทย บน ฐานงานสวน พฤกษศาสตร์ โรงเรียน	รู้ฐานไทย รู้พัฒนา บนฐานงาน สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน	เรียนรู้ความเป็นไทย วิถีไทย ภูมิปัญญาไทย ความเป็นชุมชน วิถี ชุมชน ภูมิปัญญาชุมชนความเป็น โรงเรียน วิถีโรงเรียน ภูมิปัญญาของ โรงเรียน วิเคราะห์ศักยภาพบนฐาน งานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน จินตนาการจากศักยภาพที่เลือก สรรค์สร้างสิ่งใหม่ วิถีใหม่ โดยใช้ ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงกำกับ

การดำเนินงานกิจกรรมตามแนวทางสวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียนจะช่วยส่งเสริมกิจกรรมที่กำหนดไว้ในหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 3 โดยมีจุดประสงค์การเรียนรู้ดังนี้

บทที่ 8 การสืบพันธุ์ของพืชดอก

1. ศึกษาและบันทึกลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (รูปลักษณ์) ของดอก ผล ของพรรณไม้ในท้องถิ่นตามหลักวิชาการ โดยใช้สมุดบันทึกพรรณไม้ ก.7-003 (กิจกรรม 8.1 โครงสร้างของดอกและชนิดของผล)
2. จำแนกประเภทของดอกและผล โดยใช้สมุดบันทึกพรรณไม้ ก.7-003 (กิจกรรม 8.1 โครงสร้างของดอกและชนิดของผล)
3. ศึกษารูปลักษณ์ของเรณูและการงอกเรณูของพรรณไม้ในท้องถิ่นในหัวข้อธรรมชาติแห่งชีวิต (กิจกรรม 8.2 รูปร่างลักษณะของเรณูและการงอกของหลอดเรณู)
4. วิเคราะห์ศักยภาพด้านรูปลักษณ์ และคุณสมบัติ ของดอก ผล และเมล็ด เพื่อนำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์ในหัวข้อประโยชน์แก่แม่มหาชน (กิจกรรม 8.3 ผลิตภัณฑ์จากดอก ผลและเมล็ด)

บทที่ 9 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอก

1. ศึกษาและบันทึกลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (รูปลักษณ์) ของราก การเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างด้านรูปลักษณ์ คุณสมบัติ และพฤติกรรม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตนเองเพื่อประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต (กิจกรรม 9.1 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก)
2. ศึกษาและบันทึกลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (รูปลักษณ์) ของลำต้นและใบของพรรณไม้ในท้องถิ่นตามหลักวิชาการ โดยใช้สมุดบันทึกพรรณไม้ ก.7-003 และการศึกษาในหัวข้อธรรมชาติแห่งชีวิต (กิจกรรม 9.2 โครงสร้างภายนอกและภายในของลำต้น และกิจกรรม 9.3 โครงสร้างภายนอกและภายในของใบ)

บทที่ 10 การลำเลียงของพืช

1. ศึกษาและบันทึกลักษณะของเซลล์คุมและกระบวนการคายน้ำ รวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ ในหัวข้อธรรมชาติแห่งชีวิตและสรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยว (กิจกรรม 10.1 ปากใบของพืชกับการคายน้ำ)
2. ศึกษาปัจจัยกายภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในหัวข้อสรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยว (กิจกรรม 10.2 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช)

บทที่ 11 การสังเคราะห์ด้วยแสง

1. ศึกษาชนิดของสารสีที่มีในใบพืชและความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสี ในหัวข้อธรรมชาติแห่งชีวิต (กิจกรรมเสนอแนะ สารสีและการดูดกลืนแสงของสารสี)
2. ศึกษาปัจจัยกายภาพที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในหัวข้อสรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยว (กิจกรรม 11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช)

บทที่ 12 การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาพพักตัวของเมล็ด ในหัวข้อธรรมชาติแห่งชีวิตและสรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยว (กิจกรรม 12.2 การทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดมะเขือเทศ)
2. ศึกษาปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวของปลายยอดและปลายรากในหัวข้อธรรมชาติแห่งชีวิตและสรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยว (กิจกรรมเสนอแนะ การเบนเนื่องจากแสงและกิจกรรม 12.3 การเบนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)

จะเห็นได้ว่ากิจกรรมและจุดประสงค์ของกิจกรรมมีความสอดคล้องกันทั้งในหนังสือเรียนและงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมตามหนังสือเรียนแล้วสามารถเก็บข้อมูลตาม

รูปแบบของงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนได้อีกด้วย นอกจากนี้แนวทางการเรียนรู้ของงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนยังเน้นเรื่องคุณธรรมและจริยธรรมเพื่อนำไปใช้ในการดำรงชีวิตเมื่อนักเรียนได้ใกล้ชิดพรรณไม้ ศึกษาโดยละเอียด จะเห็นความเปลี่ยนแปลงของพืชที่เป็นไปตามธรรมชาติแห่งชีวิต และเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกายภาพ ปัจจัยชีวภาพที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของพืช รวมทั้งสามารถบูรณาการความรู้และวิธีการเรียนรู้กับกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่นๆ ได้อีกด้วย

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล

แบบทดสอบ

การประเมินผลด้วยแบบทดสอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนโดยเฉพาะด้านความรู้และความสามารถทางสติปัญญา ครูควรมีความเข้าใจในลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการสร้างหรือเลือกใช้แบบทดสอบให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด โดยลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เป็นดังนี้

1) แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก

แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก ได้แก่ แบบทดสอบแบบเลือกตอบ แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด และแบบทดสอบแบบจับคู่ รายละเอียดของแบบทดสอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

1.1) แบบทดสอบแบบเลือกตอบ

เป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดตัวเลือกให้หลายตัวเลือก โดยมีตัวเลือกที่ถูกเพียงหนึ่งตัวเลือก องค์ประกอบหลักของแบบทดสอบแบบเลือกตอบมี 2 ส่วน คือ คำถามและตัวเลือก แต่บางกรณีอาจมีส่วนของสถานการณ์เพิ่มขึ้นมาด้วย แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีหลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามเดียว แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามชุด แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถาม 2 ชั้น โครงสร้างดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่ไม่มีสถานการณ์

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่มีสถานการณ์

สถานการณ์.....

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเป็นชุด

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถาม 2 ชั้น

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2 ...(ถามเหตุผลของการตอบคำถามที่ 1).....

.....

.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีข้อดีคือ สามารถใช้วัดผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนได้ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์ สามารถตรวจให้คะแนนและแปลผลคะแนนได้ตรงกัน แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกอย่างอิสระจึงไม่สามารถวัดความคิดระดับสูง เช่น ความคิดสร้างสรรค์ ได้นอกจากนี้นักเรียนที่ไม่มีความรู้สามารถเดาคำตอบได้

1.2) แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

เป็นแบบทดสอบที่มีตัวเลือก ถูกและผิด เท่านั้น มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ คำสั่งและข้อความให้นักเรียนพิจารณาว่าถูกหรือผิด ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

คำสั่ง ให้พิจารณาว่าข้อความต่อไปนี้ถูกหรือผิด แล้วใส่เครื่องหมาย $\checkmark$ หรือ $\times$ หน้าข้อความ

..... 1. ข้อความ.....

..... 2. ข้อความ.....

..... 3. ข้อความ.....

..... 4. ข้อความ.....

..... 5. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สามารถสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และครอบคลุมเนื้อหา สามารถตรวจได้รวดเร็ว และให้คะแนนได้ตรงกัน แต่นักเรียนมีโอกาสเดาได้มาก และการสร้างข้อความให้เป็นจริงหรือเป็นเท็จ โดยสมบูรณ์ในบางเนื้อหาทำได้ยาก

1.3) แบบทดสอบแบบจับคู่

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคำสั่ง และข้อความ 2 ชุด ที่ให้จับคู่กัน โดยข้อความชุดที่ 1 อาจเป็นคำถาม และข้อความชุดที่ 2 อาจเป็นคำตอบหรือตัวเลือก โดยจำนวนข้อความในชุดที่ 2 อาจมีมากกว่าในชุดที่ 1 ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบจับคู่

คำสั่ง ให้นำตัวอักษรหน้าข้อความในชุดคำตอบมาเติมในช่องว่างหน้าข้อความในชุดคำถาม

ชุดคำถาม	ชุดคำตอบ
..... 1.	ก.
..... 2.	ข.
..... 3.	ค.
	ง.

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่ายตรวจให้คะแนนได้ตรงกัน และเดาคำตอบได้ยากเหมาะสำหรับวัดความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำหรือข้อความ 2 ชุด แต่ในกรณีที่นักเรียนจับคู่ผิดไปแล้วจะทำให้มีการจับคู่ผิดในคู่อื่น ๆ ด้วย

2) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ

เป็นแบบทดสอบที่ให้นักเรียนคิดคำตอบเอง จึงมีอิสระในการแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความคิดออกมาโดยการเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจ โดยทั่วไปการเขียนตอบมี 2 แบบ คือ การเขียนตอบแบบเติมคำหรือการเขียนตอบอย่างสั้น และการเขียนตอบแบบอธิบาย รายละเอียดของแบบทดสอบที่มีการตอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

2.1) แบบทดสอบเขียนตอบแบบเติมคำหรือตอบอย่างสั้น

ประกอบด้วยคำสั่ง และข้อความที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะมีส่วนที่เว้นไว้เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้น ๆ ที่ทำให้ข้อความข้างต้นถูกต้องหรือสมบูรณ์ นอกจากนี้แบบทดสอบยังอาจประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่ให้นักเรียนตอบโดยการเขียนอย่างอิสระ แต่สถานการณ์และคำถามจะเป็นสิ่งที่กำหนดคำตอบให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย มีโอกาสเดาได้ยาก และสามารถวินิจฉัยคำตอบที่นักเรียนตอบผิดเพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องทางการเรียนรู้หรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ แต่การจำกัดคำตอบให้นักเรียนตอบเป็นคำ วลี หรือประโยคได้ยาก ตรวจสอบให้คะแนนได้ยากเนื่องจากบางครั้งมีคำตอบถูกต้องหรือยอมรับได้หลายคำตอบ

2.2) แบบทดสอบเขียนตอบแบบอธิบาย

เป็นแบบทดสอบที่ต้องการให้นักเรียนสร้างคำตอบอย่างอิสระ ประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่สอดคล้องกัน โดยคำถามเป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบทดสอบรูปแบบนี้ให้อิสระแก่นักเรียนในการตอบจึงสามารถใช้วัดความคิดระดับสูงได้ แต่เนื่องจากนักเรียนต้องใช้เวลาในการคิดและเขียนคำตอบมาก ทำให้ถามได้น้อยข้อ จึงอาจทำให้วัดได้ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งตรวจให้คะแนนยาก และการตรวจให้คะแนนอาจไม่ตรงกัน

แบบประเมินทักษะ

เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริงจะมีหลักฐานร่องรอยที่แสดงไว้ทั้งวิธีการปฏิบัติและผลการปฏิบัติ ซึ่งหลักฐานร่องรอยเหล่านั้นสามารถใช้ในการประเมินความสามารถ ทักษะการคิด และทักษะปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

การปฏิบัติการทดลองเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปจะประเมิน 2 ส่วน คือ ประเมินทักษะการปฏิบัติการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ประเมินดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบสำรวจรายการทักษะปฏิบัติการทดลอง

รายการที่ต้องสำรวจ	ผลการสำรวจ	
	มี (ระบุจำนวนครั้ง)	ไม่มี
การวางแผนการทดลอง		
การทดลองตามขั้นตอน		
การสังเกตการทดลอง		
การบันทึกผล		
การอธิบายผลการทดลอง ก่อนลงข้อสรุป		

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองที่ใช้การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย

ทักษะปฏิบัติการทดลอง	คะแนน		
	3	2	1
การเลือกใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลองได้ ถูกต้องเหมาะสมกับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลองได้ ถูกต้องแต่ไม่เหมาะสมกับ งาน	เลือกใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลอง ไม่ถูกต้อง
การใช้อุปกรณ์/ เครื่องมือในการทดลอง	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือใน การทดลองได้อย่าง คล่องแคล่ว และถูกต้อง ตามหลักการปฏิบัติ	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือใน การทดลองได้ถูกต้องตาม หลักการปฏิบัติ แต่ไม่ คล่องแคล่ว	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือใน การทดลองไม่ถูกต้อง
การทดลองตามแผนที่ กำหนด	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่าง ถูกต้อง มีการปรับปรุง แก้ไขเป็นระยะ	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้ มีการ ปรับปรุงแก้ไขบ้าง	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือ ดำเนินการข้ามขั้นตอนที่ กำหนดไว้ ไม่มีการ ปรับปรุงแก้ไข

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบมาตราส่วนค่า

ทักษะที่ประเมิน	ผลการประเมิน		
	3	2	1
1. วางแผนการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน 2. ปฏิบัติการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้อง เหมาะสม และจัดวางอุปกรณ์เป็นระเบียบ สะดวกต่อการใช้งาน 3. บันทึกผลการทดลองได้ถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์	ระดับ 3 หมายถึง ปฏิบัติได้ 3 ข้อ	ระดับ 2 หมายถึง ปฏิบัติได้ 2 ข้อ	ระดับ 1 หมายถึง ปฏิบัติได้ 1 ข้อ

ตัวอย่างแนวทางการให้คะแนนการเขียนรายงานการทดลอง

คะแนน		
3	2	1
เขียนรายงานตามลำดับขั้นตอน ผลการทดลองตรงตามสภาพจริง และสื่อความหมาย	เขียนรายงานการทดลอง ตามลำดับ แต่ไม่สื่อความหมาย	เขียนรายงานโดยลำดับขั้นตอน ไม่สอดคล้องกัน และไม่สื่อความหมาย

แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

การประเมินจิตวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทำได้โดยตรง โดยทั่วไปทำโดยการตรวจสอบพฤติกรรมภายนอกที่ปรากฏให้เห็นในลักษณะของคำพูด การแสดงความคิดเห็น การปฏิบัติหรือพฤติกรรมบ่งชี้ที่สามารถสังเกตหรือวัดได้ และแปลผลไปถึงจิตวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสิ่งที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมดังกล่าว เครื่องมือที่ใช้ประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง จงทำเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ตรงกับคุณลักษณะที่นักเรียนแสดงออก โดยจำแนกระดับพฤติกรรมการแสดงออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

มาก	หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ
ปานกลาง	หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเป็นครั้งคราว
น้อย	หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นน้อยครั้ง
ไม่มีการแสดงออก	หมายถึง นักเรียนไม่แสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเลย

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความอยากรู้อยากเห็น 1. นักเรียนสอบถามจากผู้รู้หรือไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเมื่อเกิดความสงสัยในเรื่องราววิทยาศาสตร์ 2. นักเรียนชอบไปงานนิทรรศการวิทยาศาสตร์ 3. นักเรียนนำการทดลองที่สนใจไปทดลองต่อที่บ้าน				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความซื่อสัตย์ 1. นักเรียนรายงานผลการทดลองตามที่ทดลองได้จริง 2. เมื่อทำการทดลองผิดพลาด นักเรียนจะลอกผลการทดลองของเพื่อนส่งครู 3. เมื่อครูมอบหมายให้ทำชิ้นงานออกแบบสิ่งประดิษฐ์ นักเรียนจะประดิษฐ์ตามแบบที่ปรากฏอยู่ในหนังสือ				
ด้านความใจกว้าง 1. แม้ว่านักเรียนจะไม่เห็นด้วยกับการสรุปผลการทดลองในกลุ่ม แต่ก็ยอมรับผลสรุปของสมาชิกส่วนใหญ่ 2. ถ้าเพื่อนแย้งวิธีการทดลองของนักเรียนและมีเหตุผลที่ดีกว่า นักเรียนพร้อมที่จะนำข้อเสนอแนะของเพื่อนไปปรับปรุงงานของตน 3. เมื่องานที่นักเรียนตั้งใจและทุ่มเททำถูกตำหนิหรือโต้แย้ง นักเรียนจะหมดกำลังใจ				
ด้านความรอบคอบ 1. นักเรียนสรุปผลการทดลองทันทีเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง 2. นักเรียนทำการทดลองซ้ำ ๆ ก่อนที่จะสรุปผลการทดลอง 3. นักเรียนตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง				
ด้านความมุ่งมั่นอดทน 1. ถึงแม้ว่างานค้นคว้าที่ทำอยู่มีโอกาสสำเร็จได้ยาก นักเรียนจะยังค้นคว้าต่อไป 2. นักเรียนล้มเลิกการทดลองทันที เมื่อผลการทดลองที่ได้ขัดจากที่เคยได้เรียนมา 3. เมื่อทราบว่าการทดลองที่นักเรียนสนใจต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน นักเรียนก็เปลี่ยนไปศึกษาชุดการทดลองที่ใช้เวลาน้อยกว่า				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ 1. นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ 2. นักเรียนชอบทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ 3. นักเรียนสนใจติดตามข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์				

วิธีการตรวจให้คะแนน

ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์โดยกำหนดน้ำหนักของตัวเลือกในช่องต่าง ๆ เป็น 4 3 2 1
 ข้อความที่มีความหมายเป็นทางบวก กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความดังนี้

ระดับพฤติกรรมการแสดงออก	คะแนน
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
ไม่มีการแสดงออก	1

ส่วนของข้อความที่มีความหมายเป็นทางลบการกำหนดให้คะแนนในแต่ละข้อความจะมีลักษณะเป็นตรงกันข้าม

การประเมินการนำเสนอผลงาน

การประเมินผลและให้คะแนนการนำเสนอผลงานใช้แนวทางการประเมินเช่นเดียวกับการประเมินภาระงานอื่น คือ การใช้คะแนนแบบภาพรวม และการให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) **การให้คะแนนในภาพรวม** เป็นการให้คะแนนที่ต้องการสรุปภาพรวมจึงประเมินเฉพาะประเด็นหลักที่สำคัญ ๆ เช่น การประเมินความถูกต้องของเนื้อหา ความรู้และการประเมินสมรรถภาพด้านการเขียนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบภาพรวม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาความรู้ (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
เนื้อหาไม่ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่	ต้องปรับปรุง
เนื้อหาถูกต้องแต่ให้สาระสำคัญน้อยมาก และไม่ระบุแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญ แต่ยังไม่ครบถ้วน มีการระบุแหล่งที่มาของความรู้	ดี
เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญครบถ้วน และระบุแหล่งที่มาของความรู้ชัดเจน	ดีมาก

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพด้านการเขียน (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
เขียนสับสน ไม่เป็นระบบ ไม่บอกปัญหาและจุดประสงค์ ขาดการเชื่อมโยงเนื้อหาบางส่วน ไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ใช้ภาษาไม่เหมาะสม และสะกดคำไม่ถูกต้อง ไม่อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ต้องปรับปรุง
เขียนเป็นระบบแต่ไม่ชัดเจน บอกจุดประสงค์ไม่ชัดเจน เนื้อหาถูกต้องแต่มีรายละเอียดไม่เพียงพอ เนื้อหาบางตอนไม่สัมพันธ์กัน การเรียบเรียงเนื้อหาไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักไม่ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เนื้อหาบางตอนเรียบเรียงไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง มีการยกตัวอย่างรูปภาพ แผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดี

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักได้ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เรียบเรียงเนื้อหาได้ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง ชัดเจนเข้าใจง่าย มีการยกตัวอย่าง รูปภาพ แผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดีมาก

2) การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย เป็นการประเมินเพื่อต้องการนำผลการประเมินไปใช้พัฒนางานให้มีคุณภาพผ่านเกณฑ์ และพัฒนาคุณภาพให้สูงขึ้นกว่าเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เกณฑ์ย่อย ๆ ในการประเมินเพื่อให้รู้ทั้งจุดเด่นที่ควรส่งเสริมและจุดด้อยที่ควรแก้ไขปรับปรุงการทำงานในส่วนนั้น ๆ เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย มีตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพ (แบบแยกองค์ประกอบย่อย)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
ด้านการวางแผน	
ไม่สามารถออกแบบได้ หรือออกแบบได้แต่ไม่ตรงกับประเด็นปัญหาที่ต้องการเรียนรู้	ต้องปรับปรุง
ออกแบบการได้ตามประเด็นสำคัญของปัญหา เป็นบางส่วน	พอใช้
ออกแบบครอบคลุมประเด็นสำคัญของปัญหา เป็นส่วนใหญ่ แต่ยังไม่ชัดเจน	ดี
ออกแบบได้ครอบคลุมทุกประเด็นสำคัญของปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนที่ชัดเจนและตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ	ดีมาก

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
ด้านการดำเนินการ	
ดำเนินการไม่เป็นไปตามแผน ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	ต้องปรับปรุง
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	พอใช้
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบการสาธิตได้อย่างคล่องแคล่วและเสร็จทันเวลา ผลงานในบางขั้นตอนไม่เป็นไปตามจุดประสงค์	ดี
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบได้ถูกต้อง คล่องแคล่ว และเสร็จทันเวลา ผลงานทุกขั้นตอนเป็นไปตามจุดประสงค์	ดีมาก
ด้านการอธิบาย	
อธิบายไม่ถูกต้อง ขัดแย้งกับแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์	ต้องปรับปรุง
อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ แต่การอธิบายเป็นแบบพรรณนาทั่วไปซึ่งไม่คำนึงถึงการเชื่อมโยงกับปัญหาทำให้เข้าใจยาก	พอใช้
อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาแต่ข้ามไปในบางขั้นตอน ใช้ภาษาได้ถูกต้อง	ดี
อธิบายตามแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาและจุดประสงค์ ใช้ภาษาได้ถูกต้องเข้าใจง่าย สื่อความหมายได้ชัดเจน	ดีมาก

บรรณานุกรม

- กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. (2543). **ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารของพืช** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- ชุมพล คุณวาสี. (2551). **สัณฐานวิทยาเบื้องต้นในการระบุชื่อวงศ์พืชดอกสามัญ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทียมใจ คมกฤส. (2546). **กายวิภาคของพฤษภ** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). **หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2560). **พจนานุกรมศัพท์พฤกษศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา.
- Belmonte, M. F., Kirkbride, R. C., Stone, S. L., Pelletier, J. M., Bui, A. Q., Yeung, E. C., ... & Le, B. H. (2013). Comprehensive developmental profiles of gene activity in regions and subregions of the Arabidopsis seed. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(5), 435-444.
- Calvin, M. (1964). The path of carbon in photosynthesis. *Nobel Lectures chemistry 1942-1962*, Amsterdam: Elsevier Publishing Company.

- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2018). **Biology: A Global Approach** (11th ed). New York: Pearson Education Limited.
- Davies, P. J. (2010). **Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action** (3rd ed). New York: Springer Science+Business Media B.V.
- Evert, R. F. (2006). **Esau's Plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development** (3rd ed). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Evert, R. F. & Eichhorn, S. E. (2013). **Raven Biology of Plants** (8th ed). New York: W. H. Freeman and Company Publishers.
- Macmillan learning. (2018). **Double fertilization**. Retrieved April 1, 2018, from http://www.macmillanhighered.com/BrainHoney/Resource/6716/digital_first_content/trunk/test/hillis2e/asset/img_ch27/c27_fig04.html
- Pfennig, N. (1987). van Niel Remembered. **ASM News**, 53, 75-77.
- Stanier, R. Y., Doudoroff, M., Kunisawa, R., & Contopoulou, R. (1959). The role of organic substrates in bacterial photosynthesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 45(8), 1246-1260.
- Taiz, L., Zeiger E., Moller, I. M., Murphy, A. (2015). **Plant Physiology and Development** (6th ed). Massachusetts: Sinauer Associates Inc.e
- Trebst, A. V., Tsujimoto, H. Y., Arnon, D. I. (1958). Separation of light and dark phases in the photosynthesis of isolated chloroplasts. **Nature**, 182(4632), 351-355.
- Whatley, F. R., Allen, M. B., Trebst, A. V., & Arnon, D. I. (1960). Photosynthesis by isolated chloroplasts IX. Photosynthetic phosphorylation and CO₂ assimilation in different species. **Plant physiology**, 35(2), 188.

คณะกรรมการจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 3
ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์ | ผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ | ผู้ช่วยผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะผู้จัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. ศ.ดร.ไพศาล ลิทธิกรกุล | ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์ | ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 4. รศ.ดร.วีระวรรณ ลิทธิกรกุล | ผู้เชี่ยวชาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. นางเพ็ชรรัตน์ ศรีวิลัย | ผู้เชี่ยวชาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 6. ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา | ผู้ชำนาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 7. นายณรงค์ พ่วงศรี | ผู้ชำนาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 8. ดร.อรสา ชูสกุล | ผู้ชำนาญสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

- | | |
|-------------------------------|--|
| 9. ดร.สุนัดดา โยมญาติ | ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 10. ดร.ขวัญชนก ศรีธาทาสุข | นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 11. ดร.ภรณ์ทิลา อุดร | นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 12. นางสาวปณยาพร บริเวธานันท์ | นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

**คณะผู้ร่วมพิจารณาคู่มีออกรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3**

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. รศ.ดร.มานิต คีตอยู่ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. รศ.ดร.ศุภจิตรา ชั่ววาลย์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 3. ผศ.เรณู ถาวโรฤทธิ์ | นักวิชาการอิสระ |
| 4. นายเจษฎา นาจันทอง | โรงเรียนท่าคันโทวิทยาคม จ.กาฬสินธุ์ |
| 5. นายชัยยศ นุ่มกลิ่น | โรงเรียนศรีบุญยานนท์ จ.นนทบุรี |
| 6. นางสาวณัฏฐา สุริยนต์ | โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จ.เชียงราย |
| 7. นายณัฐพงศ์ มนต์อ่อน | โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพมหานคร |
| 8. นางสาวธนพร ลินธุมงคลชัย | โรงเรียนโยธินบูรณะ กรุงเทพมหานคร |
| 9. นางสาวนัยิกา สันทารุณย์ | โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี จ.จันทบุรี |
| 10. นายพิรุณ ไผสนธิ | โรงเรียนสุรวิทยาคาร จ.สุรินทร์ |
| 11. นางวรรณวิภา เบญจเลิศยานนท์ | โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ ภูเก็ต
จ.ภูเก็ต |
| 12. นางสาววันวิสา เห็นประจักษ์ | โรงเรียนอ่างศิลาพิทยาคม จ.ชลบุรี |
| 13. นายวีระเดช คำถาวร | โรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร |
| 14. นายคิวิเชษฐ ชัยโรจน์ | โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก กรุงเทพมหานคร |
| 15. นายสุรเดช เอ่งฉ้วน | โรงเรียนอ่าวลึกประชาสรรค์ จ.กระบี่ |
| 16. นายสุรเดช ศรีทา | โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร |

- | | |
|---------------------------------|---|
| 17. นายสุริยา บัวหอม | โรงเรียนประจันตราษฎร์บำรุง จ.ปราจีนบุรี |
| 18. นางสาวอรชพร ณ เชียงใหม่ | โรงเรียนสันกำแพง จ.เชียงใหม่ |
| 19. นางสาวอังคนางค์ เชื้อเจ็ดตน | โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จ.เชียงราย |
| 20. นางอารี อนันต์ศรี | โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี |
| 21. นางสาววิลาส รัตนานุกูล | นักวิชาการอาวุโสสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 22. ดร.ปารวีร์ เล็กประเสริฐ | นักวิชาการอาวุโสสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 23. ดร.นันทยา อัครอารีย์ | นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 24. นางสาวปาณิก เวียงชัย | นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะบรรณาธิการ

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. รศ.ดร.มานิต คีตอยู่ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 3. รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 4. ศ.ดร.ไพศาล ลิทธิกรกุล | ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ | ผู้ช่วยผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 6. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์ | ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |



สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ