



แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

เรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
(3 ชั่วโมง)

วิชาชีววิทยา 3 (ว32242)

ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1,3-7

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2569

จัดทำโดย

นางวรินรำไพ แถวกระโทก

ครู

โรงเรียนนางรองพิทยาคม

สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาบุรีรัมย์

แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 16

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิชาชีววิทยา 3 (ว32242)

ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2569

บทที่ 11 การสังเคราะห์ด้วยแสง เรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

จำนวน 3 ชั่วโมง คะแนนรายจุดประสงค์ 3 คะแนน

สัปดาห์ที่ 16 วันที่ 9 เดือน กันยายน พ.ศ. 2569

สาระชีววิทยา

เข้าใจส่วนประกอบของพืชการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืช การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การสืบพันธุ์ของพืชดอกและการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ผลการเรียนรู้

16. สืบค้นข้อมูล และอธิบายกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_4 และพืช CAM วิเคราะห์ อธิบายและเปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนในพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM

วิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	แนวทางการจัดการเรียนรู้	แนวทางการวัดและประเมินผล การเรียนรู้
ด้านความรู้ ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ด้านทักษะ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 1. การสังเกต 2. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล 3. การลงความเห็นจากข้อมูล 4. การตั้งสมมติฐาน 5. การกำหนดและควบคุมตัวแปร 6. การทดลอง 7. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 1. การสื่อสารสารสนเทศ	1. นำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้คำถามเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และร่วมกันอภิปรายเพื่อนำไปสู่เรื่องความเข้มของแสง 2. ให้นักเรียนทำกิจกรรมเพื่อวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่ความเข้มของแสงแตกต่างกัน 3. ให้นักเรียนนำเสนออภิปรายร่วมกันและสรุปผลการทำกิจกรรมวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่ความเข้มของแสงแตกต่างกัน 4. ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล	ด้านความรู้ ปัจจัยความเข้มของแสง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช จากการทำกิจกรรม การอภิปรายร่วมกัน และการทำแบบทดสอบ ด้านทักษะ 1. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการทำการทดลองและอภิปรายร่วมกัน 2. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จาก การสืบค้นข้อมูล และการนำเสนอ ด้านจิตวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	แนวทางการจัดการเรียนรู้	แนวทางการวัดและประเมินผล การเรียนรู้
และการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงาน เป็นทีมและภาวะผู้นำ ด้านจิตวิทยาศาสตร์ 1. ความซื่อสัตย์ 2. ความมุ่งมั่นอดทน 3. ความรอบคอบ 4. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน เชิงประจักษ์	และอภิปรายร่วมกัน เกี่ยวกับปัจจัยอื่นๆ ที่ เกี่ยวข้องกับการ สังเคราะห์ด้วยแสงของ พืช เช่น ความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำในดิน ธาตุอาหาร และอายุใบ 5. ร่วมกันสรุปปัจจัยที่มีผล ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ของพืช	จิตวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ จากการ สังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย ร่วมกัน และการทำการทดลอง

กำหนดการเรียนรู้

ลำดับที่	หน่วย/เรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)	คะแนน				
				ก่อน	กลาง	หลัง	ปลาย	รวม
	บทที่ 11 การสังเคราะห์ด้วยแสง							
15	11.4 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	16. สืบค้นข้อมูล และอธิบายกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C ₄ และพืช CAM วิเคราะห์อธิบายและเปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนในพืช C ₃ พืช C ₄ และพืช CAM	3	-	-	3	3	6

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science Process Skills)

1. ทักษะการสังเกต (Observing)
2. ทักษะการวัด (Measuring)
3. ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (Inferring)
4. ทักษะการจำแนกประเภท (Classifying)
5. ทักษะการหาความสัมพันธ์ของสเปซกับเวลา
6. (Relationship of Space and Time)
7. ทักษะการใช้จำนวน (Using Number)
8. ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
9. (Organizing and Communicating Data)

10. ทักษะการพยากรณ์ (Predicting)
11. ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating Hypotheses)
12. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining operationally)
13. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (Controlling Variables)
14. ทักษะการทดลอง (Experimenting)
15. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

ทักษะที่จำเป็นแห่งศตวรรษที่ 21

1. ด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา
2. ด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ
3. ด้านการทำงาน การเรียนรู้ และการพึ่งตนเอง
4. ด้านความเข้าใจต่างวัฒนธรรม ต่างกระบวนทัศน์
5. ด้านคุณธรรม จริยธรรม
6. ด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ
7. ด้านการสร้างสรรคและนวัตกรรม
8. ด้านคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

เจตคติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Attitudes)

1. การใช้วิจารณญาณ (Critical-Mindedness)
2. ความรอบคอบ (Suspended Judgement)
3. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน (Respect for Evidence)
4. ความซื่อสัตย์ (Honesty)
5. วัตถุวิสัย (Objectivity)
6. การยอมรับความเห็นต่าง (Willingness to Change Opinions)
7. ความใจกว้าง (Open-Mindedness)
8. ความอยากรู้อยากเห็น (Questioning Attitude)
9. ความมุ่งมั่นอดทน (Tolerance of Uncertainty)

คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- | | |
|---|--|
| ☐ รักชาติ ศาสน์ กษัตริย์ | ☐ อยู่อย่างพอเพียง |
| ☒ ใฝ่เรียนรู้ | ☒ มุ่งมั่นในการทำงาน |
| ☒ มีวินัย | ☐ รักความเป็นไทย |
| ☒ ซื่อสัตย์สุจริต | ☒ มีจิตสาธารณะ |

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย จำนวน 10 ข้อ โดยการใช้โทรศัพท์สแกนคิวอาร์โค้ดและลงมือทำ ส่ง ตรวจคะแนนทันที
2. นำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้คำถามเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และร่วมกันอภิปรายเพื่อนำไปสู่เรื่องความเข้มของแสง

ชั้นสร้างความสนใจ

1. ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่นักเรียนเคยเรียนรู้มาแล้วโดยครูตั้งประเด็นคำถามดังนี้
 - สารประกอบคาร์บอนที่เสถียรตัวแรกในวัฏจักรคัลวินคืออะไร
ตอบ PGA
 - สารประกอบดังกล่าวมีคาร์บอนกี่อะตอม
ตอบ 3 อะตอม
 - นักวิทยาศาสตร์เรียกพืชที่ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคัลวินได้สารประกอบที่เสถียรชนิดแรกเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอมนี้ว่าอะไร
ตอบ พืช C4
 - นักเรียนคิดว่าพืชทุกชนิดมีกลไกในการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกันหรือไม่
2. นักเรียนร่วมกันอภิปรายหาคำตอบเกี่ยวกับคำถามตามความคิดเห็นของแต่ละคน เพื่อเชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้เรื่องกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C4
3. ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C4 ที่นักเรียนได้เคยเรียนรู้มาแล้วโดยครูตั้งประเด็นคำถามดังนี้
 - พืช C4 มีกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างจากพืช C3 ในลักษณะใด
 - พืชบางชนิด เช่น กระบองเพชร เป็นพืชทนแล้งเจริญได้ดีที่แห้งแล้งและอุณหภูมิสูงนักเรียนคิดว่าพืชเหล่านี้มีกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกับพืช C3 และพืช C4 หรือไม่เพราะเหตุใด
4. นักเรียนร่วมกันอภิปรายหาคำตอบเกี่ยวกับคำถามตามความคิดเห็นของแต่ละคนเพื่อเชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้เรื่องกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM
5. ครูสุ่มนักเรียน 2-3 คนให้นักเรียนตอบคำถามโดยครูตั้งประเด็นคำถามดังนี้
 - ถ้านักเรียนต้องการปลูกพืช นักเรียนเคยสังเกตหรือไม่ว่าพืชใช้ปัจจัยใดบ้างในการเจริญเติบโต
 - เมื่อพืชได้รับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์พืชดูดกลืนพลังงานแสงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างไร
6. นักเรียนร่วมกันอภิปรายหาคำตอบเกี่ยวกับคำถามตามความคิดเห็นของแต่ละคนเพื่อเชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้เรื่องแสงและความเข้มของแสง
7. ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับแสงและความเข้มของแสงที่นักเรียนเคยเรียนรู้มาแล้วโดยครูตั้งประเด็นคำถามดังนี้
 - พืชสามารถดูดกลืนแสงที่ส่องมายังโลกไว้ร้อยละเท่าใด
 - พืชและแต่ละชนิดต้องการแสงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงปริมาณที่ต่างกันหรือไม่ลักษณะใด
 - นอกจากความเข้มของแสงที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชแล้วนักเรียนคิดว่ายังมีปัจจัยอื่นอีกหรือไม่ที่พืชต้องการใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
8. นักเรียนร่วมกันอภิปรายหาคำตอบเกี่ยวกับคำถามตามความคิดเห็นของแต่ละคนเพื่อเชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้เรื่องแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

9. ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่นักเรียนเคยเรียนรู้มาแล้ว โดยครูตั้งประเด็นคำถามดังนี้
 - อุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในลักษณะใด
 - กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชต้องอาศัยเอนไซม์ในการทำปฏิกิริยานักเรียนคิดว่าอุณหภูมิมีผลต่อเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่ลักษณะใด
10. นักเรียนร่วมกันอภิปรายหาคำตอบเกี่ยวกับคำถามตามความคิดเห็นของแต่ละคนเพื่อเชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้เรื่องอุณหภูมิ
11. ครูทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับปัจจัยบางประการ ที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่นักเรียนเรียนรู้มาแล้วโดยครูตั้งประเด็นคำถามดังนี้
 - ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชมีอะไรบ้าง
 - นอกจากปัจจัยต่างๆที่กล่าวมาแล้วนักเรียนคิดว่ามีปัจจัยใดอีกบ้างที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
12. นักเรียนร่วมกันอภิปรายหาคำตอบเกี่ยวกับคำถามตามความคิดเห็นของแต่ละคนเพื่อเชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้เรื่องอายุใบปริมาณน้ำที่พืชได้รับและสารอาหาร
13. ครูนำนักเรียนไปศึกษานอกสถานที่โดยให้นักเรียนศึกษาใบพืชที่อยู่กลางแจ้งและที่อยู่ในร่มโดยครูให้นักเรียนสังเกตลักษณะผิวใบขนาดใบความหนาของใบและการจัดเรียง ตัวของใบแล้วให้นักเรียนจดบันทึกและนำผลที่ได้มาอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนโดยครูตั้งประเด็นคำถามดังนี้
 - ใบพืชที่อยู่กลางแจ้งและที่อยู่ในร่มมีความแตกต่างกันหรือไม่ลักษณะใด
14. นักเรียนร่วมกันอภิปรายหาคำตอบเกี่ยวกับคำถามตามความคิดเห็นของแต่ละคนเพื่อเชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้เรื่องการปรับตัวของพืชเพื่อรับแสง

ขั้นสำรวจและค้นหา

1. นักเรียนศึกษาหลักการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C4 จากใบความรู้หรือในหนังสือเรียนโดยครูอธิบายให้นักเรียนเข้าใจว่านักวิทยาศาสตร์เรียกที่เรียกพืชที่ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคัลวินได้สารประกอบที่เสถียรชนิดแรกเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอมนี้ว่าพืช C3 ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองและพบว่าพืชบางชนิดสามารถสร้างสารประกอบคาร์บอนที่เสถียรชนิดแรกที่เป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอมซึ่งพบว่าพืชกลุ่มนี้มีกลไกการสร้างที่นอกเหนือไปจากวัฏจักรคัลวินนักวิทยาศาสตร์เรียกพืชกลุ่มนี้ว่าพืช C4
2. ครูสุ่มนักเรียน 2-3 คนให้นักเรียนตอบคำถามเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อโครงสร้างของใบพืช C3 และใบพืช C4 ดังนี้
 - นักเรียนคิดว่าพืชทุกชนิดมีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกันหรือไม่ลักษณะใด
 - พืช C4 มีโครงสร้างที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนหรือแตกต่างจากพืช C3 หรือไม่ลักษณะใด
3. ครูให้นักเรียนศึกษารูปโครงสร้างภายในใบพืช C3 และพืช C4 ตัดตามขวางในหนังสือจากในหนังสือเรียนจากนั้นครูอธิบายเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนเข้าใจว่าโครงสร้างภายในใบพืช C3 เซลล์ภายในเซลล์มีมีไซโทลล์แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ palisade mesophyll และสpongymesophyll เซลล์ทั้งสองชนิดมีคลอโรพลาสต์อยู่อย่างหนาแน่นในใบพืช C3 อาจมีหรือไม่มีเยื่อหุ้มท่อลำเลียง บันเดิลชีท ล้อมรอบกลุ่มท่อ

ลำเลียงก็ได้ภายในเซลล์ของเยื่อหุ้มท่อลำเลียงไม่พบคลอโรพลาสต์สำหรับโครงสร้างภายในใบพืช C4 พบว่าเซลล์ในมิโซฟิลล์ไม่มีการแบ่งเป็นแพลลิสเคมิโซฟิลล์และสปองจีมิโซฟิลล์ อย่างชัดเจนบริเวณรอบๆกลุ่มท่อลำเลียงของใบพืช C4 มีเยื่อหุ้มท่อลำเลียงล้อมรอบซึ่งภายในเยื่อหุ้มท่อลำเลียงรวมทั้งในมิโซฟิลล์พบคลอโรพลาสต์ชัดเจน

4. ครูให้นักเรียนศึกษาแผนภาพวัฏจักรคาร์บอนของพืช C4 ในหนังสือเรียนเพื่อประกอบการอธิบายถึงกลไกการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในพืช C3 และพืช C4 โดยกลไกการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C4 เกิดขึ้น 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 เกิดขึ้นที่สโตรมาของเซลล์มิโซฟิลล์ เป็นการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ของไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) โดยสารประกอบ PEP ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอมโดยมีเอนไซม์ PEP คาร์บอกซิเลส ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็น OAA ซึ่งมีคาร์บอน 4 อะตอม สารชนิดนี้เป็นสารประกอบที่เสถียรชนิดแรกที่ได้จากการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกพืชที่มีกระบวนการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลักษณะนี้ว่าพืช C4 ส่วนพืช C3 สารประกอบที่เสถียรตัวแรกที่ได้จากการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คือ PGA ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จึงเรียกว่าพืช C3 สำหรับ OAA จะถูกเปลี่ยนเป็นมาเลตหรือกรดมาลิก ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม สารนี้จะถูกลำเลียงผ่านช่องพลาสโมเดสมามาเข้าสู่เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงครั้งที่ 2 เกิดขึ้นในเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง โดยมาเลตหรือกรดมาลิก เมื่อถูกลำเลียงจากเซลล์มิโซฟิลล์เข้าสู่เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงจะถูกสลายให้กรดไพรูวิก ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอมและปล่อยคาร์บอนที่เหลืออีก 1 อะตอม ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะเข้าสู่วัฏจักรคัลวินโดยเข้าไปทำปฏิกิริยากับ RuBP ในคลอโรพลาสต์ของเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง ส่วนกรดไพรูวิกถูกลำเลียงผ่านช่องพลาสโมเดสมากลับเข้าไปยังเซลล์มิโซฟิลล์ตามเดิมแล้วเปลี่ยนเป็น PEP โดยอาศัยพลังงานจาก ATP เพื่อกลับไปใช้ในการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป
5. แบ่งนักเรียนกลุ่มละ 5-6 คนปฏิบัติกิจกรรมสืบค้นข้อมูลกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C4 ตามขั้นตอนต่อไปนี้
 - แต่ละกลุ่มวางแผนการสืบค้นข้อมูล โดยแบ่งหัวข้อย่อยให้เพื่อนสมาชิกช่วยการสืบค้นตามที่สมาชิกกลุ่มช่วยกันกำหนดหัวข้อย่อยเช่นโครงสร้างของใบพืช C3 และใบพืช C4 วัฏจักรคาร์บอนของพืช C4
 - สมาชิกกลุ่มแต่ละคนหรือกลุ่มย่อยช่วยกันสืบค้นข้อมูลตามหัวข้อย่อยที่ตนเองรับผิดชอบโดยการสืบค้นจากใบความรู้ที่ครูเตรียมมาให้จากหนังสือวารสารวิทยาศาสตร์สารานุกรมวิทยาศาสตร์สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนและอินเทอร์เน็ต
 - สมาชิกกลุ่มนำข้อมูลที่สืบค้นได้มารายงานให้เพื่อนๆสมาชิกในกลุ่มฟังรวมทั้งร่วมกันอภิปรายซักถามจนคิดว่าสมาชิกทุกคนมีความรู้ความเข้าใจที่ตรงกัน
 - สมาชิกกลุ่มช่วยกันสรุปความรู้ที่ได้ทั้งหมดเป็นผลงานของกลุ่มและช่วยกันจัดทำรายงานการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C4
6. นักเรียนและครูร่วมกันตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการจัดกิจกรรม
7. นักเรียนศึกษากลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM จากใบความรู้หรือในหนังสือเรียน โดยครูอธิบายให้นักเรียนเข้าใจว่า พืชโดยทั่วไปจะเกิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะที่มีแสง แต่พืช CAM ช่วงเวลากลางวันที่มีแสงปากใบจะปิดเพื่อลดการคายน้ำ ทำให้ไม่สามารถตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงมีการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเวลากลางคืนแทน โดยปากใบจะเปิดเพื่อตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไป

สร้าง OAA และเปลี่ยนเป็นกรดมาลิกนำไปเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลในเซลล์ของใบพืช เมื่อถึงช่วงเวลากลางวันปากใบจะปิด กรดมาลิกจะเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิกและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเข้าสู่วัฏจักรคัลวิน ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถแพร่ออกทางปากใบได้เนื่องจากปากใบปิด ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์สูงขึ้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงรวมกับ RuBP เข้าสู่วัฏจักรคัลวิน เพื่อสร้างน้ำตาล น้ำตาลที่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นแป้งและเก็บสะสมไว้ในกิลกรรรมต่างๆ ต่อไป เรียกพืชที่มีการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในลักษณะนี้ว่าพืช CAM

8. แบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มกลุ่มละ 5-6 คนปฏิบัติกิจกรรม สืบค้นข้อมูลกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM ตามขั้นตอนต่อไปนี้
 - แต่ละกลุ่มวางแผนการสืบค้นข้อมูล โดยแบ่งหัวข้อย่อยให้เพื่อนสมาชิกช่วยกันสืบค้นตามที่สมาชิกกลุ่มช่วยกันกำหนดหัวข้อย่อย เช่น พืช CAM และกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM
 - สมาชิกกลุ่มแต่ละคนหรือกลุ่มย่อยช่วยกันสืบค้นข้อมูลตามหัวข้อย่อยที่ตนเองรับผิดชอบ โดยการสืบค้นจากใบความรู้ที่ครูเตรียมมาให้ หรือจากหนังสือวารสารวิทยาศาสตร์สารานุกรม วิทยาศาสตร์สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนและอินเทอร์เน็ต
 - สมาชิกกลุ่มนำข้อมูลที่สืบค้นได้มารายงานให้เพื่อนๆสมาชิกในกลุ่มฟังรวมทั้งร่วมกันอภิปรายซักถามจนคิดว่าสมาชิกทุกคนมีความรู้ความเข้าใจที่ตรงกัน
 - สมาชิกกลุ่มช่วยกันสรุปความรู้ที่ได้ทั้งหมดเป็นผลงานของกลุ่มและช่วยกันจัดทำรายงานการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM
9. นักเรียนและครูช่วยกันตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากกิจกรรม
10. นักเรียนศึกษาแสงและความเข้มของแสงจากใบความรู้หรือในหนังสือเรียน โดยครูอธิบายให้นักเรียนเข้าใจว่า พืชดูดกลืนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ได้ประมาณร้อยละ 40 แต่พลังงานแสงร้อยละ 40 นี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อยมาก ซึ่งในช่วงเวลาต่างๆในรอบ 1 วัน แสงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นผิวโลกมีความเข้มของแสงที่แตกต่างกัน ทำให้พลังงานแสงที่พืชนำไปใช้มีความเข้มของแสงที่แตกต่างกันด้วย
11. แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มกลุ่มละ 5-6 คนปฏิบัติกิจกรรม การทดลองการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่มีความเข้มแสงแตกต่างกัน ตามขั้นตอนวิทยาศาสตร์ดังนี้
 - ขั้นตอนที่ 1 กำหนดปัญหา
 - ความเข้มแสงมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่ลักษณะใด
 - ขั้นตอนที่ 2 กำหนดสมมติฐาน
 - ความเข้มของแสงมากน่าจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดขึ้นได้มาก
 - ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบสมมติฐาน
 - ชั่งโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.4 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่มีน้ำ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร
 - นำสาหร่ายหางกระรอกที่เตรียมมาใส่ ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดขวดด้วยจุกยางซึ่งมีหลอดนำแก๊สเสียบอยู่ 2 หลอด
 - นำสายยางมาต่อเข้ากับหลอดนำแก๊สทั้ง 2 หลอด โดยให้ปลายของสายยางสายหนึ่งต่อเข้ากับหลอดรูเล็กซึ่งภายในบรรจุน้ำสียสมผงซึกฟอก

- นำไม้บรรทัดมาติดเข้ากับด้านล่างของกระดาษขาว แล้วนำไปวางทับไว้หลังหลอดรูเล็กเพื่อใช้สำหรับวัดระยะการเคลื่อนที่ของหยดน้ำสี
 - วางขวดรูปชมพู่ที่ใส่สารและสาหร่ายหางกระรอกลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ใส่น้ำจนเกือบเต็ม
 - นำโคมไฟพร้อมหลอดไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์มาวางให้อยู่ห่างจากสาหร่ายหางกระรอกประมาณ 40 cm เปิดไฟแล้วตั้งทิ้งไว้ 3 ถึง 10 นาที จากนั้นนำที่หนีบมาหนีบใส่ อย่างอีกทอดหนึ่งที่เหลือ เพื่อไม่ให้อากาศเข้าหรือออกจากขวดรูปชมพู่
 - สังเกตและบันทึกการเคลื่อนที่ของหยดน้ำสีในหลอดรูเล็ก โดยบันทึกทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 5 นาที หรือจนกระทั่งหยดน้ำสีเคลื่อนที่บนกระดาษขาว แล้วนำระยะทางที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของหยดน้ำสีในเวลา 1 นาที
 - เริ่มทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5-7 อีกครั้ง แต่ให้เลื่อนโคมไฟให้อยู่ห่างจากสาหร่ายหางกระรอกในระยะ 30 20 และ 10 เซนติเมตรตามลำดับ และทุกครั้งที่จะเริ่มการทดลองใหม่ให้อาที่หนีบที่สายยางออกเพื่อปรับระดับหยดน้ำสีในหลอดรูเล็ก
 - นำอัตราการเคลื่อนที่ของหยดน้ำสีที่ได้ขณะตั้งโคมไฟห่างจากสาหร่ายหางกระรอกในระยะต่างๆ มาเขียนกราฟแสดงอัตราการเคลื่อนที่ของหยดน้ำสีซึ่งถือเป็นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
- ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- แปลความหมายข้อมูลที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลอง
 - นำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาเพื่ออธิบายว่าเป็นไปตามที่นักเรียนตั้งสมมุติฐานหรือไม่
- ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการทดลอง
- นักเรียนร่วมกันสรุปผลการทดลองแล้วเขียนเป็นรายงานสรุปผลการทดลอง
12. นักเรียนและครูร่วมกันตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากกิจกรรม
13. นักเรียนศึกษาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากใบความรู้หรือในหนังสือเรียน โดยครูให้นักเรียนศึกษารูปความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 2 ชนิดในหนังสือเรียน เพื่อใช้ประกอบการอธิบายให้นักเรียนเข้าใจว่า อ้อยซึ่งเป็นพืช C4 มีจุดอิ่มตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าข้าวซึ่งเป็นพืช C3 อัตราการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิของพืช C4 จะสูงกว่าพืช C3 ในช่วงที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น อ้อยจะถึงจุดอิ่มตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้เร็วกว่าข้าว ดังนั้นอัตราการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิของพืช C3 จึงสูงกว่าพืช C4
14. นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5-6 คนปฏิบัติกิจกรรม สืบค้นข้อมูลปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงตามขั้นตอนต่อไปนี้
- แต่ละกลุ่มวางแผนการสืบค้นข้อมูล โดยแบ่งหัวข้อย่อยให้เพื่อนสมาชิกช่วยกันสืบค้นตามที่สมาชิกกลุ่มช่วยกันกำหนดหัวข้อย่อย เช่น ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
 - สมาชิกกลุ่มแต่ละคนหรือกลุ่มย่อยช่วยกันสืบค้นข้อมูลตามหัวข้อย่อยที่ตนเองรับผิดชอบ โดยการสืบค้นจากใบความรู้ที่ครูเตรียมมาให้ หรือจากหนังสือวารสารวิทยาศาสตร์สารานุกรมวิทยาศาสตร์สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนและอินเทอร์เน็ต
 - สมาชิกกลุ่มนำข้อมูลที่สืบค้นได้มารายงานให้เพื่อนๆสมาชิกในกลุ่มฟังรวมทั้งร่วมกันอภิปรายซักถามจนคิดว่าสมาชิกทุกคนมีความรู้ความเข้าใจที่ตรงกัน

- สมาชิกกลุ่มช่วยกันสรุปความรู้ที่ได้ทั้งหมดเป็นผลงานของกลุ่มและช่วยกันจัดทำรายงานการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
15. นักเรียนร่วมกันตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากกิจกรรม
16. นักเรียนศึกษาอุณหภูมิจากใบความรู้หรือในหนังสือเรียน โดยครูให้นักเรียนศึกษาสรุปผลของการผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราในหนังสือเรียน เพื่อใช้ประกอบการอธิบายให้นักเรียนเข้าใจว่า อุณหภูมิมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยจะสังเกตได้จากกราฟจะเห็นว่า ที่อุณหภูมิประมาณ 26-28 องศาเซลเซียส ใบของยางพารามีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงที่สุดเนื่องจากเป็นช่วงที่มีอัตราการหายใจเชิงแสงเพิ่มขึ้น ทำให้การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงลดลงด้วย ดังนั้นช่วงอุณหภูมิประมาณ 26-28 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา
17. แบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มกลุ่มละ 5-6 คนปฏิบัติกิจกรรมสืบค้นข้อมูลปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงตามขั้นตอนต่อไปนี้
- แต่ละกลุ่มวางแผนการสืบค้นข้อมูล โดยแบ่งหัวข้อย่อยให้เพื่อนสมาชิกช่วยกันสืบค้นตามที่สมาชิกกลุ่มช่วยกันกำหนดหัวข้อย่อย เช่น ปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและอุณหภูมิ
 - สมาชิกกลุ่มแต่ละคนหรือกลุ่มย่อยช่วยการสืบค้นข้อมูลตามหัวข้อย่อยที่ตนเองรับผิดชอบโดยการสืบค้นจากใบความรู้ที่ครูเตรียมมาให้ หรือจากหนังสือวารสารวิทยาศาสตร์สารานุกรมวิทยาศาสตร์สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนและอินเทอร์เน็ต
 - สมาชิกกลุ่มนำข้อมูลที่สืบค้นได้มารายงานให้เพื่อนๆสมาชิกในกลุ่มฟังรวมทั้งร่วมกันอภิปรายซักถามจนคิดว่าสมาชิกทุกคนมีความรู้ความเข้าใจที่ตรงกัน
 - สมาชิกกลุ่มช่วยกันสรุปความรู้ที่ได้ทั้งหมดเป็นผลงานของกลุ่มและช่วยกันจัดทำรายงานการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
18. นักเรียนและครูร่วมกันตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากกิจกรรม
19. นักเรียนศึกษาอายุใบ ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ และสารอาหารจากใบความรู้หรือในหนังสือเรียนโดยครูอธิบายให้นักเรียนเข้าใจว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะสูงขึ้นเมื่อ 1) พืชมีอายุใบไม่แก่หรืออ่อนเกินไปเพราะมีผลต่อการพัฒนาคลอโรพลาสต์ 2) ปริมาณน้ำในดินไม่มากหรือน้อยเกินไป เพราะถ้าในดินน้อยเกินไปปากใบจะปิด แต่ถ้าในดินมากเกินไปพืชจะพืชก็จะขาดแก๊สออกซิเจน ทำให้ดูดซึมสารอาหารได้น้อยลง 3) สารอาหารที่มีธาตุอาหารหลายชนิด เช่น แมกนีเซียม ไนโตรเจนและเหล็ก ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
20. แบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มกลุ่มละ 5-6 คนปฏิบัติกิจกรรมสืบค้นข้อมูลปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงตามขั้นตอนต่อไปนี้
- แต่ละกลุ่มวางแผนการสืบค้นข้อมูล โดยแบ่งหัวข้อย่อยให้เพื่อนสมาชิกช่วยกันสืบค้นตามที่สมาชิกกลุ่มช่วยกันกำหนดหัวข้อย่อย เช่น ปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อายุใบ ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ และสารอาหาร
 - สมาชิกกลุ่มแต่ละคนหรือกลุ่มย่อยช่วยกันสืบค้นข้อมูลตามหัวข้อย่อยที่ตนเองรับผิดชอบโดยการสืบค้นจากใบความรู้ที่ครูเตรียมมาให้หรือจากหนังสือ วารสารวิทยาศาสตร์สารานุกรมวิทยาศาสตร์สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนและอินเทอร์เน็ต

- สมาชิกกลุ่มนำข้อมูลที่สืบค้นได้มารายงานให้เพื่อนๆสมาชิกในกลุ่มฟังรวมทั้งร่วมกันอภิปรายซักถามจนคิดว่าสมาชิกทุกคนมีความรู้ความเข้าใจที่ตรงกัน
 - สมาชิกกลุ่มช่วยกันสรุปความรู้ที่ได้ทั้งหมดเป็นผลงานของกลุ่มและช่วยการจัดทำรายงานการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
21. นักเรียนและครูร่วมกันตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากกิจกรรม
22. นักเรียนศึกษาการปรับตัวของพืชเพื่อรับแสงจากใบความรู้หรือในหนังสือเรียน โดยครูอธิบายให้นักเรียนเข้าใจว่า การที่พืชแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีความเข้มของแสงแตกต่างกัน แสดงว่าพืชมีการปรับโครงสร้างของใบเพื่อให้เอื้อต่อการรับแสง การปรับโครงสร้างของใบพืชมีลักษณะแตกต่างกัน คือ 1) การปรับโครงสร้างของใบเพื่อรับแสง 2) การปรับทิศทางของใบเพื่อรับแสง 3) การปรับตัวโดยการจัดเรียงใบเพื่อแข่งขันในการรับแสงของพืชที่ขึ้นในบริเวณเดียวกัน
23. แบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มกลุ่มละ 5-6 คนปฏิบัติกิจกรรม สืบค้นข้อมูลการปรับตัวของพืชเพื่อรับแสงตามขั้นตอนต่อไปนี้
- แต่ละกลุ่มวางแผนการสืบค้นข้อมูล โดยแบ่งหัวข้อย่อยให้เพื่อนสมาชิกช่วยกันสืบค้นตามที่สมาชิกกลุ่มช่วยกันกำหนดหัวข้อย่อย เช่น การปรับโครงสร้างของใบเพื่อรับแสงการปรับทิศทางของใบเพื่อรับแสง การปรับตัวโดยการจัดเรียงใบเพื่อแข่งขัน ในการรับแสงของพืชที่ขึ้นบริเวณเดียวกัน
 - สมาชิกกลุ่มแต่ละคนหรือกลุ่มย่อยช่วยกันสืบค้นข้อมูลตามหัวข้อย่อยที่ตนเองรับผิดชอบ โดยการสืบค้นจากใบความรู้ที่ครูเตรียมมาให้ หรือจากหนังสือวารสารวิทยาศาสตร์สารานุกรมวิทยาศาสตร์สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนและอินเทอร์เน็ต
 - สมาชิกกลุ่มนำข้อมูลที่สืบค้นได้มารายงานให้เพื่อนๆสมาชิกในกลุ่มฟังรวมทั้งร่วมกันอภิปรายซักถามจนคิดว่าสมาชิกทุกคนมีความเข้าใจตรงกัน
 - สมาชิกกลุ่มช่วยกันสรุปความรู้ที่ได้ทั้งหมดเป็นผลงานของกลุ่มและช่วยกันจัดทำรายงานการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการปรับตัวของพืชเพื่อรับแสง
24. นักเรียนและครูร่วมกันตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากกิจกรรม

ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการปฏิบัติกิจกรรมหน้าชั้นเรียน
 2. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายและหาข้อสรุปจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยใช้แนวคำถามต่อไปนี้
 - จากการเปรียบเทียบโครงสร้างภายในใบของพืชสิ่งที่แตกต่างกันระหว่างพืช C3 และพืช C4 คืออะไร

ตอบ ลักษณะของเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง บันเดิลชีท

 - การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C4 เกิดขึ้นในส่วนประกอบใดของพืช
- ตอบ ครั้งที่ 1 เกิดขึ้นในสโตรมา ครั้งที่ 2 เกิดขึ้นในเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง
- การที่พืชมีความสามารถในการตรึงสารประกอบอนินทรีย์ของคาร์บอนได้ 2 ครั้งมีผลต่อพืชในลักษณะใด
- ตอบ ทำให้พืช C4 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช
- ยกตัวอย่างพืช C3 และพืช C4 ที่นักเรียนพบเห็นในชีวิตประจำวัน

ตอบ พืช C3 เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ถั่ว และพืชทั่วไปเกือบทุกชนิด พืช C4 เช่น อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หญ้าแพรก บานไม่รู้โรย และพืชเขตร้อนประมาณ 1,500 ชนิด

3. นักเรียนและครูร่วมกันสรุปผลการปฏิบัติกิจกรรมโดยให้ข้อสรุปว่าพืช C4 มีกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 2 ครั้ง ซึ่งต้องใช้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาแสงปริมาณมากพืช C4 จึงมีประสิทธิภาพการใช้แสงสูงกว่าพืช C3 และการที่พืช C4 มีกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากนี้เป็นการลดการแข่งขันกับแก๊สออกซิเจนในการทำปฏิกิริยากับ RuBP จึงพบว่าการหายใจเชิงแสงของพืช C4 เกิดขึ้นได้น้อยมากจนอาจวัดไม่ได้ในสภาพปกติ
4. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการปฏิบัติกิจกรรมหน้าชั้นเรียน
5. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายหาข้อสรุปจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยใช้แนวคำถามต่อไปนี้
 - เปรียบเทียบการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C3 และพืช C4 และพืช CAM ตามหัวข้อต่อไปนี้
 - จำนวนครั้งของการตรึงสารประกอบอนินทรีย์ของคาร์บอน
 - เวลาที่เกิดการตรึงสารประกอบอนินทรีย์ของคาร์บอนโดยสาร PEP
 - การเกิดวัฏจักรคัลวิน
 - สารที่ใช้ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
 - แหล่งที่ใช้ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อเปรียบเทียบ

- จำนวนครั้งของการตรึงสารประกอบอนินทรีย์ของคาร์บอน พืช C3 1 ครั้ง พืช C4 2 ครั้ง พืช CAM 2 ครั้ง
 - เวลาการตรึงสารประกอบอนินทรีย์ของคาร์บอนโดยสาร PEP พืช C3 ไม่มี พืช C4 ตอนกลางวัน พืช CAM ตอนกลางคืน
 - การเกิดวัฏจักรคัลวินพืช C3 เกิดพืช C4 เกิดพืช CAM เกิด
 - สารที่ใช้ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์พืช C3 RuBP พืช C4 ครั้งที่ 1 PEP ครั้งที่ 2 RuBP พืช CAM ครั้งที่ 1 PEP ครั้งที่ 2 RuBP
 - แหล่งที่ใช้ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์พืช C3 เซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์ พืช C4 เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงบันเดิลชีทเซลล์ พืช CAM เซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์
 - ยก ตัวอย่างพืช C3 พืช C4 และพืช CAM ที่นักเรียนรู้จักมาอย่างละ 2 ชนิด
- ตอบ พืช C3 เช่น ข้าว ถั่ว พืช C4 เช่น ข้าวโพด อ้อย พืช CAM เช่น กระบองเพชร กุหลาบหิน
6. นักเรียนและครูร่วมกันสรุปผลจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยให้ข้อสรุปว่าพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีสภาพอากาศแห้งแล้งในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิจะสูงและความชื้นต่ำแต่ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิจะต่ำและความชื้นสูงพืชเหล่านี้จะต้องมีการปรับตัวเพื่อลดอัตราการสูญเสียน้ำโดยจะมีการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้งคล้ายกับพืช C4 แตกต่างเวลากัน
 7. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการปฏิบัติกิจกรรมหน้าชั้นเรียน
 8. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายหาข้อสรุปจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยใช้แนวคำถามต่อไปนี้
 - การที่โคไมโฟอยู่ห่างจากสาหร่ายทางกระรอกในระยะต่างๆนั้นมีผลต่อความเข้มของแสงที่สาหร่ายทางกระรอกได้รับในลักษณะใด

ตอบ ถ้าระยะห่างระหว่างโคมไฟกับสาหร่ายทางกระจกห่างกันมาก ความเข้มของแสงจะน้อยลง

- ความเข้มของแสงมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่ลักษณะใด

ตอบ มีกล่าวคือถ้าเพิ่มความเข้มของแสงให้มากขึ้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้น จนถึงระดับหนึ่งเท่านั้นจากนั้นแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มของแสงให้มากขึ้นเท่าใดก็ไม่สามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้

- การนำขวดที่ใส่สาหร่ายทางกระจกแช่ลงในบีกเกอร์บรรจุน้ำเพื่อจุดประสงค์ใด

ตอบ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของการทดลองให้คงที่

9. นักเรียนและครูร่วมกันสรุปผลจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยให้ข้อสรุปว่าความเข้มของแสงมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงถ้าความเข้มของแสงมากพืชจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้นด้วย

10. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการปฏิบัติกิจกรรมหน้าชั้นเรียน

11. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายหาข้อสรุปจากการปฏิบัติกิจกรรม โดยใช้แนวคำถามต่อไปนี้

- พืช C3 หรือพืช C4 พืชชนิดใดมีอัตราการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิสูงกว่ากัน

ตอบ พืช C3 มีอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิสูงกว่าพืช C4

- นักเรียนคิดว่าพืช C3 หรือพืช C4 ที่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ในบริเวณที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากเพราะเหตุใด

ตอบ พืช C3 เพราะมีจุดอิ่มตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าพืช C4 และถ้าบริเวณนั้นมีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึงจุดอิ่มตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อัตราการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิของพืช C3 จะสูงกว่าพืช C4 ดังนั้นพืช C3 จึงได้เปรียบกว่าพืช C3 ในสภาพที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงพืช C3 จึงมีโอกาสมีชีวิตรอดได้มากกว่าพืช C4

12. นักเรียนและครูร่วมกันสรุปผลการปฏิบัติกิจกรรมโดยให้ข้อสรุปว่าพืช C3 มีอัตราการตรึงแก๊สแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิสูงกว่าพืช C4

13. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการปฏิบัติกิจกรรมหน้าชั้นเรียน

14. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายและหาข้อสรุปจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยใช้แนวคำถามต่อไปนี้

- ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชหรือไม่ลักษณะใด

ตอบ มีผลกล่าวคือกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงต้องอาศัยเอนไซม์ รูบิสโก ในการทำปฏิกิริยา ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพและทำงานผิดปกติแต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็อาจทำให้เอนไซม์ทำงานได้ไม่ดีซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้

- พืชที่เจริญในเขตศูนย์สูตร พืชที่เจริญในเขตหนาวและพืชที่เจริญในเขตทะเลทรายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงแตกต่างกันหรือไม่ลักษณะใด

ตอบ แตกต่างกันพืชที่เจริญในเขตศูนย์สูตรมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงประมาณ 26-28 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่าพืชเขตหนาวที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีที่อุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียสส่วนพืชทะเลทรายสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส

- พืช C3 และพืช C4 ซึ่งอยู่ในเขตศูนย์สูตรอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงแตกต่างกันหรือไม่ลักษณะใด

ตอบ แตกต่างกันพืช C3 มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าพืช C4 เพราะพืช C3 เมื่ออุณหภูมิสูงจะเกิดการหายใจเชิงแสงได้ดีเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ rubisco จึงทำให้อัตราการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำลง

15. นักเรียนและครูร่วมกันสรุปผลจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยให้ข้อสรุปว่ากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงต้องอาศัยเอนไซม์ในการทำปฏิกิริยาซึ่งหากอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปอาจมีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพและทำงานผิดปกติได้ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
16. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการปฏิบัติกิจกรรมหน้าชั้นเรียน
17. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายหาข้อสรุปจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยใช้แนวคำถามต่อไปนี้
 - อายุใบของพืชที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงควรมีลักษณะอย่างไร
ตอบ ควรมีอายุใบที่ไม่อ่อนหรือแก่เกินไปเพราะใบพืชที่อ่อนเกินไปคลอโรพลาสต์ยังเจริญไม่เต็มที่จึงมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำในขณะที่ใบพืชแก่เกินไปส่วนของปลานุ่มและคลอโรฟิลล์มีการสลายตัวการสลายตัวของการอุมและคลอโรฟิลล์นี้ทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง
 - ปริมาณน้ำในดินเกี่ยวข้องกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในลักษณะใด
ตอบ ถ้าน้ำในดินน้อยเกินไปปากใบจะปิดทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าสู่ปากใบได้ยากส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง และถ้าน้ำในดินมากเกินไปรากของพืชจะขาดแก๊สออกซิเจนทำให้พืชดูดซึ่มสารอาหารในดินได้น้อยลง
 - ถ้าพืชขาดสารอาหารจะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในลักษณะใด
ตอบ พืชจะขาดสารอาหารซึ่งมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการสร้างคลอโรฟิลล์ที่เป็นสารสีสำหรับใช้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
18. นักเรียนและครูร่วมกันสรุปผลจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยให้ข้อสรุปว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะสูงขึ้นก็ต่อเมื่อ 1) อายุใบไม่แก่หรืออ่อนเกินไป 2) ปริมาณน้ำในดินไม่มากหรือน้อยเกินไป 3) ได้รับสารอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์
19. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการปฏิบัติกิจกรรมหน้าชั้นเรียน
20. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายและหาข้อสรุปจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยใช้แนวคำถามต่อไปนี้
 - ใบพืชชนิดเดียวกันที่อยู่ในที่กลางแจ้งกับที่อยู่ในที่ร่มมีการปรับตัวและปรับโครงสร้างเพื่อรับแสงแตกต่างกันหรือไม่ลักษณะใด
ตอบ แตกต่างกันใบพืชที่อยู่กลางแจ้งจะได้รับแสงที่มีความเข้มข้นของแสงสูงกว่าใบพืชที่อยู่ในที่ร่มดังนั้นใบพืชที่อยู่กลางแจ้งลักษณะผิวใบจะมีความหนาและมันเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและมีการจัดเรียงตัวของใบซึ่งมีทิศทางหลีกเลี่ยงการรับแสงโดยตรงเพราะแสงอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในเซลล์พืชได้รวมถึงมีการปรับโครงสร้าง ของใบในชั้น palisade mesophyll ให้มีรูปร่างยาวและเรียงตัวในแนวตั้งฉากกับเนื้อเยื่อชั้นผิวเอพิเดอร์มิสทำให้มีพื้นที่ผิวอิสระแสงจึงสามารถหักเหผ่านพื้นที่ผิวอิสระนี้ไปยังเซลล์อื่นๆได้ทำให้เกิดการสะท้อนของแสงไปได้หลายทิศทางเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสในการดูดซับแสงโดยสารสีในเซลล์ของใบพืชส่วนใบพืชที่อยู่ในร่มได้รับแสงน้อยลักษณะผิวใบจะบางและไม่เป็นมันและการจัดเรียงตัวของใบมีทิศทางที่กางใบออกเพื่อให้ได้รับแสงไว้ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงรวมถึงมีการปรับโครงสร้างของใบในชั้น palisade mesophyll ให้มีรูปร่างไม่แน่นอน

- ถ้านักเรียนนำต้นไม้ที่ปลูกในกระถางไปวางไว้ในห้องรับแขกนักเรียนเคยสังเกตหรือไม่ว่าลักษณะของใบไม้หันไปนิด ทางใดเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
ตอบ โดยทั่วไปห้องรับแขกจะมีปริมาณแสงน้อยกว่าห้องอื่นดังนั้นจะเห็นได้ว่าต้นไม้จะพยายามหันไปไปในทิศทางที่มีแสงซึ่งอยู่ภายนอกห้องเพื่อให้ได้รับแสงอย่างเพียงพอเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะต้นไม้ต้องการแสงเพื่อใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
- การจัดเรียงตัวของใบพืชมีประโยชน์ต่อพืชในเรื่องใด
ตอบ ทำให้พืชสามารถรับแสงได้ทั่วถึงทุกใบ

21. นักเรียนและครูร่วมกันสรุปผลจากการปฏิบัติกิจกรรมโดยให้ข้อสรุปว่าพืชจำเป็นต้องมีการปรับตัวของใบเพื่อให้เล็ดต่อการรับแสงการปรับตัวของใบพืชเช่น 1) การปรับโครงสร้างของใบเพื่อรับแสง 2) การปรับทิศทางของใบเพื่อรับแสง 3) การปรับตัวโดยการจัดเรียงใบเพื่อแข่งขันในการรับแสงของพืชที่ขึ้นในบริเวณเดียวกัน

ชั้นขยายความรู้

1. แบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการลำเลียงน้ำของพืช จากหนังสือเรียน ชุดกิจกรรมวารสาร สารานุกรมวิทยาศาสตร์ สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนและอินเทอร์เน็ต รวมทั้งนำความรู้ที่ค้นคว้าได้มาจัดทำเป็นรายงานหรือป้ายนิเทศให้เพื่อนๆ ได้เรียนรู้และแลกเปลี่ยนความรู้กัน
2. นักเรียนค้นคว้าบทความหรือคำศัพท์ภาษาอังกฤษเกี่ยวกับการลำเลียงน้ำของพืชจากหนังสือเรียนภาษาอังกฤษหรืออินเทอร์เน็ต และนำเสนอให้เพื่อนๆ ในห้องฟังรวมทั้งรวบรวมคำศัพท์และคำแปลเขียนลงในสมุด

ชั้นประเมินผล

1. ครูให้นักเรียนแต่ละคนพิจารณาว่าจากหัวข้อที่เรียนมาและการปฏิบัติกิจกรรมมีจุดใดบ้างที่ยังไม่เข้าใจหรือยังมีข้อสงสัยถ้ามีช่วยให้ครูอธิบายเพิ่มเติมให้นักเรียนเข้าใจ
2. นักเรียนร่วมกันประเมินการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มว่ามีปัญหาหรืออุปสรรคใดและได้มีการแก้ไขอย่างไรบ้าง
3. นักเรียนและครูร่วมกันแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับประโยชน์ที่ได้รับจากการปฏิบัติกิจกรรมและการนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์
4. ครูทดสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยการให้ตอบคำถามเช่น
 - อธิบายโครงสร้างของพืช C3 และพืช C4
 - สรุปการเกิดวัฏจักรคาร์บอนของพืช C4
 - เปรียบเทียบโครงสร้างและกลไกในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C3 และพืช C4
 - การหายใจเชิงแสงคืออะไรมีผลต่อการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชในลักษณะใด
 - การหายใจเชิงแสงมีประโยชน์ต่อพืชในเรื่องใด
 - ถ้าพืชเกิดการหายใจเชิงแสงมากจะเกิดผลต่อพืชในลักษณะใด
 - พืชดูดกลืนแสงจากดวงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ในการกระบวนการต่าง ๆ คิดเป็นร้อยละเท่าใด
 - พืชแต่ละชนิดต้องการความเข้มแสงแตกต่างกันหรือไม่ลักษณะใด
 - ยกตัวอย่างพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในที่ร่มและพืชที่เจริญเติบโตในที่กลางแจ้งตามประสบการณ์ที่นักเรียนเคยพบเห็นมา

- จุดขดเขยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และจุดอิมตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คืออะไร
 - จุดขดเขยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชแต่ละชนิดเท่ากันหรือไม่เพราะเหตุใด
 - ยางพาราเป็นพืชที่เจริญในเขตศูนย์สูตรที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนพืชในเขตหนาวและพืชในเขตทะเลทรายหรือไม่ลักษณะใด
 - อุณหภูมิมีผลมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร
 - อายุใบและปริมาณน้ำในดินมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในลักษณะใด
 - ในสารอาหารของพืชมีธาตุอาหารอยู่หลายชนิดธาตุอาหารที่จำเป็นต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชมีอะไรบ้าง
 - การจัดเรียงตัวของเซลล์ในชั้น palisade mesophyll และสpongiform mesophyll ช่วยในการรับแสงได้อย่างไร
 - ถั่วและฝ้ายซึ่งเป็นพืชล้มลุกมีการปรับทิศทางของใบเพื่อลดการรับแสงที่มากเกินไปได้อย่างไร
5. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปความรู้ โดยร่วมกันเขียนเป็นแผนผังความคิดหรือผังโน้ต
6. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย จำนวน 10 ข้อ โดยการใช้โทรศัพท์สแกนคิวอาร์โค้ดและลงมือทำ ส่ง ตรวจคะแนนทันที

วัสดุ-อุปกรณ์/สื่อ/แหล่งเรียนรู้

1. แบบทดสอบก่อนเรียน เรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
2. การทดลอง เรื่องที่ 16 การศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ บันทึกรายงานผลการทดลอง
3. ใบความรู้ เรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
4. ใบงาน เรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
5. ข้อสอบ O – Net ข้อสอบสอบเข้าเรียนต่ออื่น ๆ
6. แบบฝึก เรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
7. แบบทดสอบหลังเรียน เรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
8. แบบประเมินความพึงพอใจ

การวัดและประเมินผล

สิ่งที่ต้องการวัด	วิธีการวัดผล	เครื่องมือการวัดผล	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1. ศึกษา 2. ทำใบงาน 3. ทำแบบฝึก 3. ทำแบบทดสอบหลังเรียน	1. แบบรายงานการศึกษา 2. ใบงาน 3. แบบฝึก 3. แบบทดสอบหลังเรียน	1. ผ่าน 80% 2. ผ่าน 80% 3. ผ่าน 80% 4. ผ่าน 80%
2. ด้านทักษะกระบวนการ	1. กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	1. แบบประเมินผลการปฏิบัติกิจกรรมการทดลองของนักเรียน	1. ปฏิบัติกิจกรรมตามแบบประเมิน ผ่านระดับ-3

สิ่งที่ต้องการวัด	วิธีการวัดผล	เครื่องมือการวัดผล	เกณฑ์การผ่าน
	2. ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 3. สร้างนวัตกรรมหรือชิ้นงาน	2. แบบประเมินทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 3. แบบประเมินผังมโนทัศน์ (Maid Map Rubric)	2. มีทักษะตามแบบประเมินทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ผ่านระดับดี 3. ประเมินชิ้นงาน ผ่านระดับพอใช้
3. ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์	1. สังเกตคุณลักษณะของนักเรียนตามแบบประเมินคุณลักษณะอันพึงประสงค์	1. แบบประเมินคุณลักษณะอันพึงประสงค์	1. มีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ผ่านระดับ 2

บันทึกหลังสอน

1. การมาเรียนของนักเรียน
ม. 5/3 จำนวน 32 คน มาเรียน 32 คน ขาด 0 คน
ม. 5/7 จำนวน 38 คน มาเรียน 32 คน ขาด 6 คน
2. พฤติกรรมนักเรียนระหว่างเรียน
นักเรียนสนใจและตั้งใจเรียน สามารถอธิบายการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C₃ C₄ และ CAM ได้อย่างดี
3. การประเมินด้านทักษะกระบวนการ
นักเรียนสามารถอธิบายกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C₄ และพืช CAM วิเคราะห์ อธิบายและเปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนในพืช C₃ พืช C₄ และพืช CAM คิดเป็นร้อยละ >90%
4. การประเมินด้านความรู้



คะแนนเต็ม 12 คะแนน นักเรียนมีค่าเฉลี่ย 10.33

5. การประเมินด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์
นักเรียนมีคุณลักษณะที่พึงประสงค์อยู่ในระดับดีมาก
6. ปัญหาอุปสรรค/และวิธีการแก้ปัญหา
-
7. ข้อเสนอแนะ
-

ลงชื่อ

ผู้สอน

(นางวรินรำไพ แก้วกระโทก)

ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะครูชำนาญการพิเศษ



ชีววิทยา 3

ใบความรู้

การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์



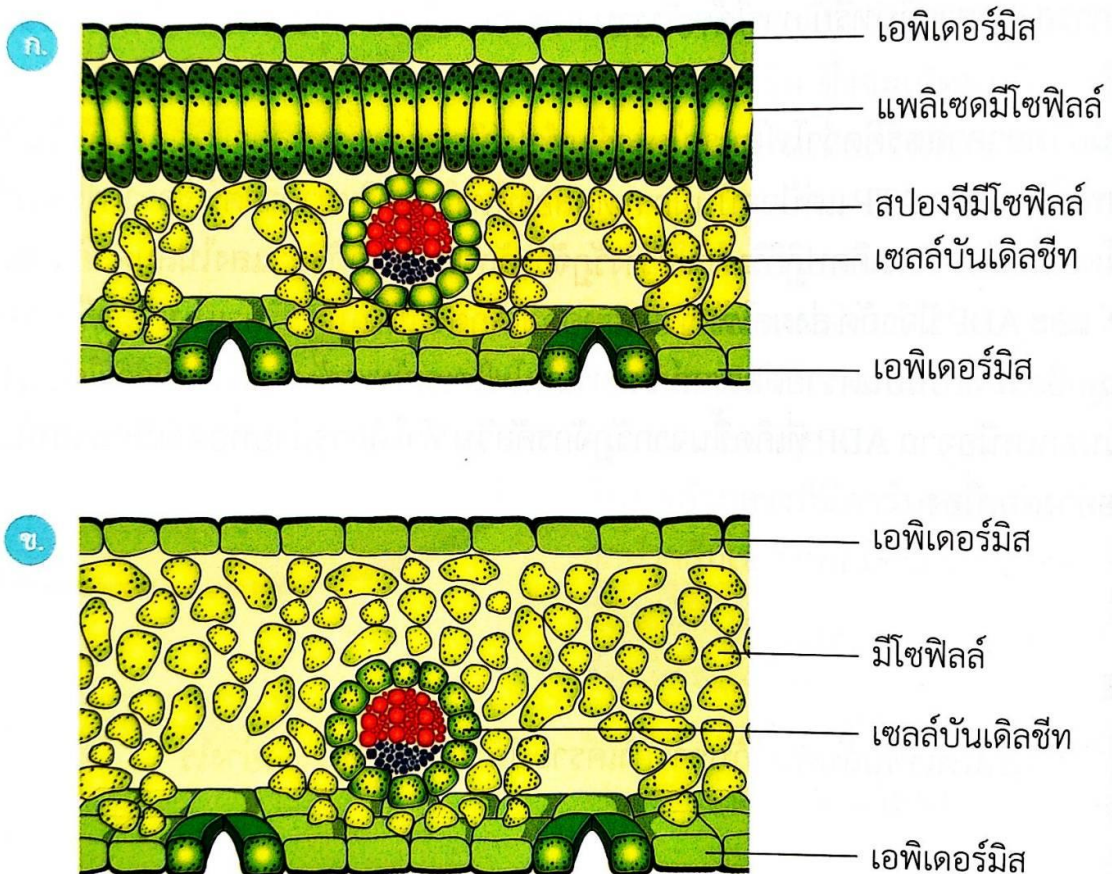
นางวรินรำไพ แถวกระโทก

ใบความรู้เรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

พืชบางชนิดที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง จะมีใบที่มีการลดรูปให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งเป็นวิวัฒนาการของพืชที่มีการปรับตัวทางกายภาพ ในทางเมแทบอลิซึมพืชก็มีการปรับตัวทางสภาพแวดล้อมที่ร้อนหรือแห้งแล้งเพื่อคงประสิทธิภาพในการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้เช่นกัน โดยพบว่าพืชบางชนิดซึ่งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แล้ง หรือแห้งแล้ง แต่ไม่เกิดโฟโตเรสไพเรชันเกิดในอัตราที่น้อยมาก เนื่องจากพืชเหล่านี้มีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้อัตราส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อแก๊สออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้รูบิสโกสามารถตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่าแก๊สออกซิเจนมาก หรืออาจจะไม่มีการตรึงแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้น กลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พบได้ในพืช C_4 และพืช CAM

การตรึงคาร์บอนในพืช C_4

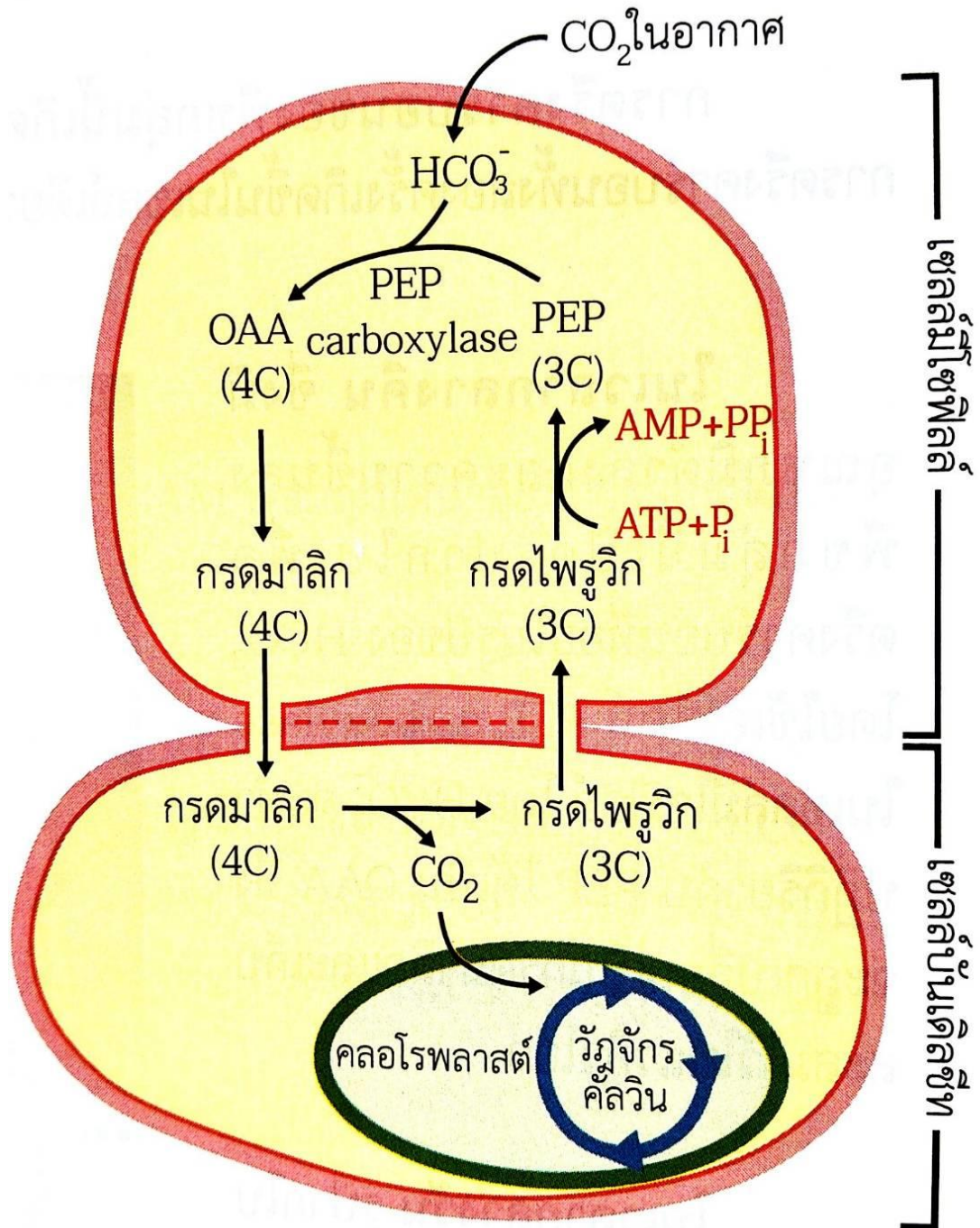
พืชบางชนิดมักพบในเขตร้อน เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย หญ้าแพรก บานไม่รู้โรย จะตรึงคาร์บอนได้สารประกอบคาร์บอนชนิดแรกที่เป็นสี่คาร์บอน 4 อะตอม เรียกพืชกลุ่มนี้ว่า พืช C_4 โดยเมื่อศึกษาโครงสร้างภายในของใบพืช C_3 และพืช C_4 จะพบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกัน



จะเห็นว่าในใบพืช C_3 มีเซลล์ในมีโซฟีลล์ 2 ชนิด คือ แพลลิสเมสฟีลล์และสฟองจีมีโซฟีลล์ พืช C_3 อาจมีหรือไม่มีเซลล์บันเดิลชีทก็ได้ และมักพบคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีท เมื่อสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ ส่วนใบพืช C_4 พบว่ามีโซฟีลล์ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะ

คล้ายกัน เห็นคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีทได้ชัดเจน ลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันระหว่างพืช C_3 และพืช C_4 นี้เกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช

พืช C_4 มีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ประกอบด้วยปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอนเช่นเดียวกับพืช C_3 โดยพบว่าปฏิกิริยาแสงในพืช C_3 และพืช C_4 นั้น ไม่แตกต่างกัน แต่การตรึงคาร์บอนของพืช C_4 มีกลไกแตกต่างจากพืช C_3 โดยพืช C_4 จะมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะเป็นการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ส่วนครั้งที่ 2 จะเป็นการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแต่ละครั้งจะเกิดขึ้นที่เซลล์ต่างชนิดกัน



การตรึงคาร์บอน ครั้งที่ 1

เกิดขึ้นที่ไซโทพลาซึมของเซลล์มีโซฟิลล์ โดยจะตรึงไฮโดรเจนคาร์บอเนต (HCO_3^-) ด้วย PEP (phosphoenolpyruvate) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม โดยมีเอนไซม์ PEP carboxylase เร่งการเกิดปฏิกิริยาได้เป็น OAA (oxaloacetic acid) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม จากนั้น OAA จะถูกเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอน 4 อะตอม เช่น กรดมาลิก (malic acid) แล้วลำเลียงผ่าน พลาสโมเดสมาตา ไปยังเซลล์บันเดิลชีทที่อยู่ติดกัน

การตรึงคาร์บอน ครั้งที่ 2

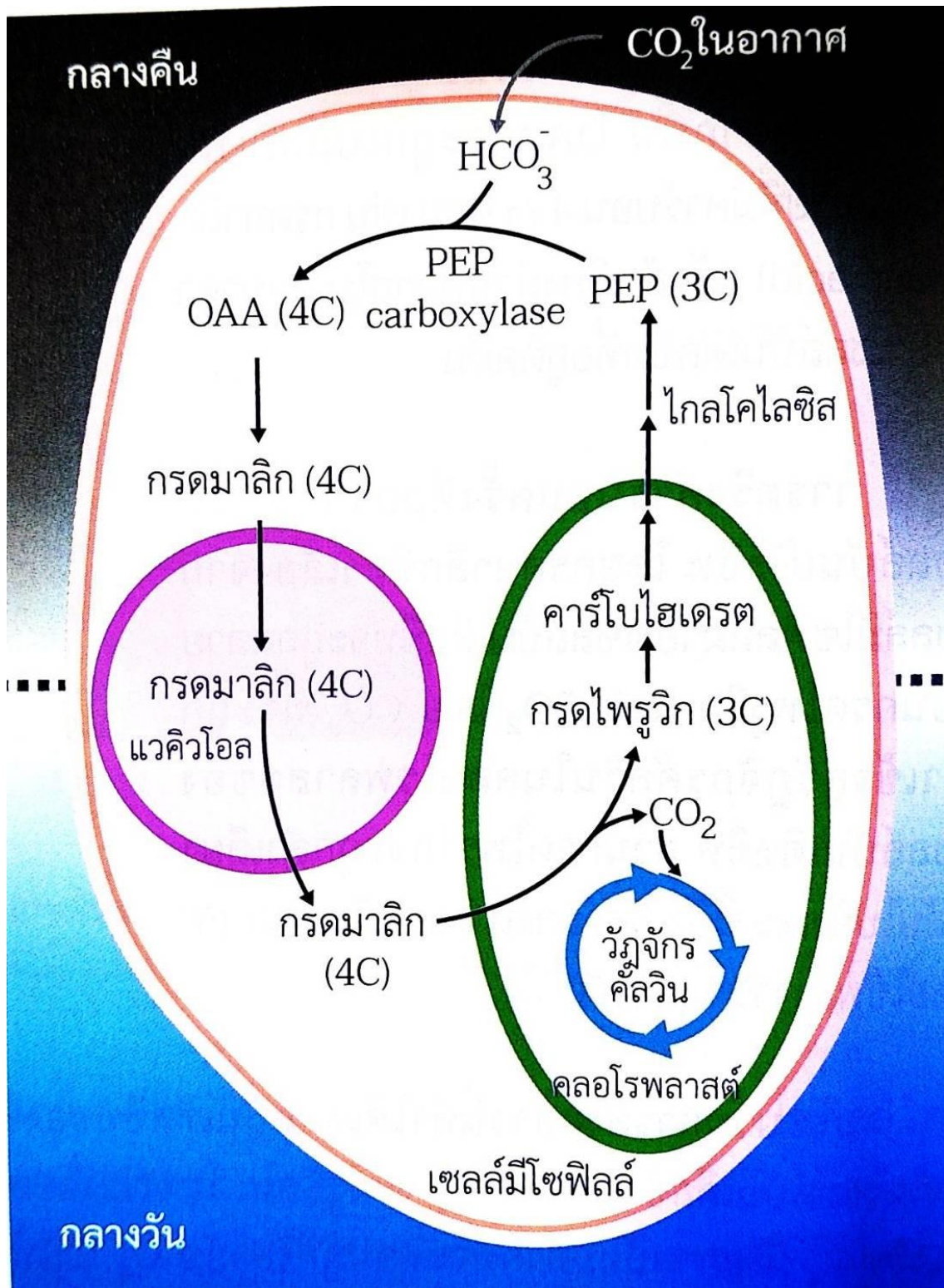
เกิดขึ้นที่เซลล์บันเดิลชีท โดยกรดมาลิกที่ลำเลียงจากเซลล์มีโซฟิลล์มายังเซลล์บันเดิลชีทจะถูกสลาย เป็นกรดไพรูวิกและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะถูกนำเข้าสู่วัฏจักรคัลวินในคลอโรพลาสต์ของเซลล์บันเดิลชีท ส่วนกรดไพรูวิกจะถูกลำเลียงกลับไปยังเซลล์มีโซฟิลล์แล้วเปลี่ยนกลับเป็น PEP โดยใช้พลังงานจาก ATP

กระบวนการดังกล่าวนี้ทำให้เซลล์บันเดิลชีทของพืช C_4 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าแก๊สออกซิเจนมาก ซึ่งในเซลล์บันเดิลชีทของพืช C_4 จะมีรูบิสโก ในขณะที่เซลล์มีโซฟิลล์ไม่มีเอนไซม์นี้ จึงทำให้รูบิสโกในพืช C_4 มีโอกาสน้อยมากที่จะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน ทำให้เกิดโฟโตเรสไพเรชันน้อยหรือไม่เกิดขึ้น จึงช่วยป้องกันการสูญเสียคาร์บอนอะตอมที่เกิดจากโฟโตเรสไพเรชันได้

การตรึงคาร์บอนในพืช CAM

ในพืชกลุ่มพืชอวบน้ำที่พบในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งหรือในทะเลทราย ช่วงเวลากลางวันจะมีอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำ ซึ่งเป็นภาวะที่พืชสูญเสียน้ำได้ง่าย พืชในกลุ่มนี้จะลดรูปของใบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดพื้นที่ในการเปลี่ยนน้ำจากการคายน้ำ รวมทั้งปิดปากใบในเวลากลางวันเพื่อลดการคายน้ำ ส่งผลให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถแพร่เข้ามาในเซลล์ได้ การที่พืชเหล่านี้ปิดปากใบในเวลากลางวันพืชจะมีกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชกลุ่มนี้ เกิดขึ้น 2 ครั้งเช่นเดียวกับพืช C_4 แต่ต่างกันตรงที่การเป็นคาร์บอน 2 ครั้งเกิดขึ้นที่เซลล์เดียวกัน แต่เกิดต่างช่วงเวลา

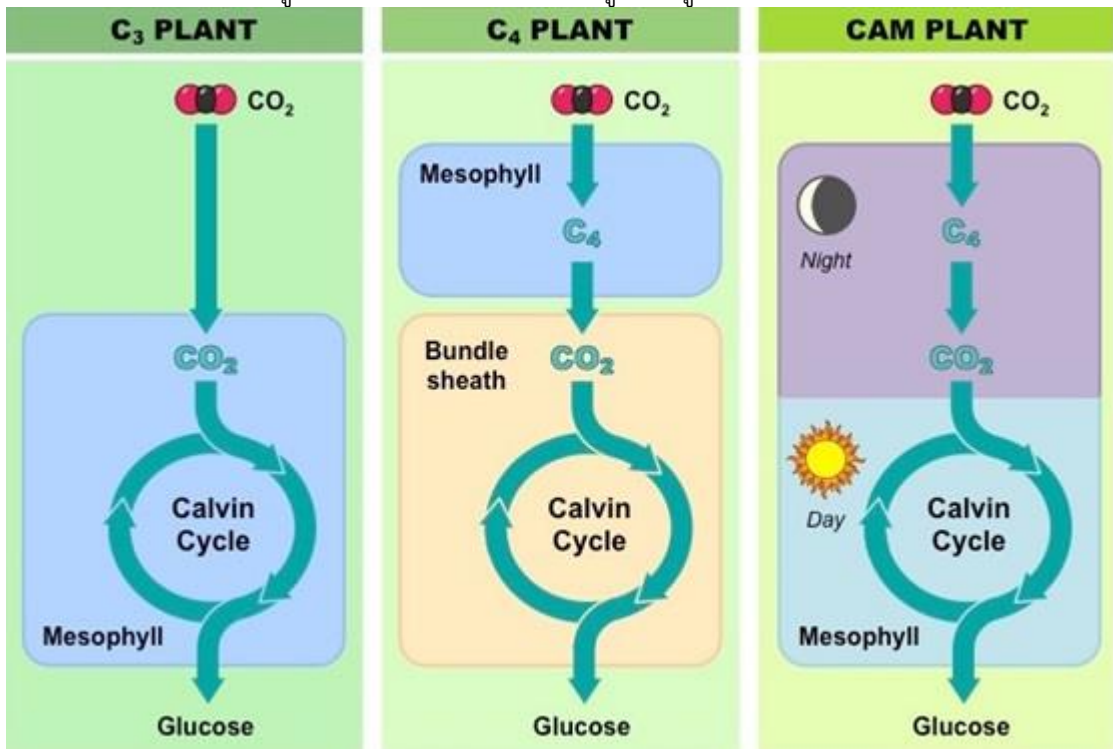


ในเวลากลางคืน

ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสูง พืชกลุ่มนี้เปิดปากใบเพื่อตรึงคาร์บอนที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนคาร์บอเนต (HCO_3^-) โดยใช้เอนไซม์ PEP carboxylase ในเซลล์มีโซฟิลล์โดยไฮโดรเจนคาร์บอเนต (HCO_3^-) จะทำปฏิกิริยากับ PEP carboxylase ได้เป็น OAA ซึ่งจะถูกละลายเป็น กรดมาลิก และเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอล

ในเวลากลางวัน

รูปปากใบจะปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ พืชจะมีปฏิกิริยาแสง จะถูกลำเลียงออกจากแวคิวโอล สลายเป็นกรดไพรูวิกและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกนำเข้าสู่วัฏจักรคัลวินในคลอโรพลาสต์ ซึ่งอยู่ในเซลล์เดียวกัน ส่วนกรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนกลับเป็น PEP อีกครั้ง



การที่รูปปากใบปิดและเกิดการสลายของกรดมาลิกในเวลากลางวัน จึงไม่มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกนอกเซลล์ ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในเซลล์สูง โฟโตเรสไพเรชันจึงเกิดขึ้นได้น้อยมาก กลไกดังกล่าวนี้พบครั้งแรกในพืชวงศ์กุหลาบหิน จึงเรียกพืชกลุ่มนี้ว่าพืช CAM แต่ในปัจจุบันพบพืชในวงศ์อื่นอีก เช่น กระบองเพชร กล้ายไม้ ธรนารายณ์ ลิ้นมังกร ว่านหางจระเข้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าพืชบางชนิด เช่น สับปะรด ซึ่งอยู่ในภาวะปกติจะตรึงคาร์บอนแบบพืช C₃ แต่หากอยู่ในภาวะขาดน้ำสับปะรดสามารถตรึงคาร์บอนแบบพืช CAM ได้เช่นเดียวกัน

พืช CAM มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำได้ดีที่สุด เพราะพืช CAM จะปิดรูปปากใบในเวลากลางวัน เพื่อลดการสูญเสียน้ำ เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำต่อพืชของพืช 1 กรัมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้รับ พืช CAM จะสูญเสียน้ำเพียง 50 ถึง 100 กรัม ส่วนพืช C₄ จะสูญเสียน้ำ 250 ถึง 300 กรัม และพืช C₃ จะสูญเสียน้ำ 400 ถึง 500 กรัม จะเห็นได้ว่าพืช CAM สามารถอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งได้ดี

http://cnx.org/contents/d0b5df3d-22b7-4114-8f28-5eed0e1c82d9/2/Photosynthetic_Pathways

แบบทดสอบเรื่องที่ 16 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

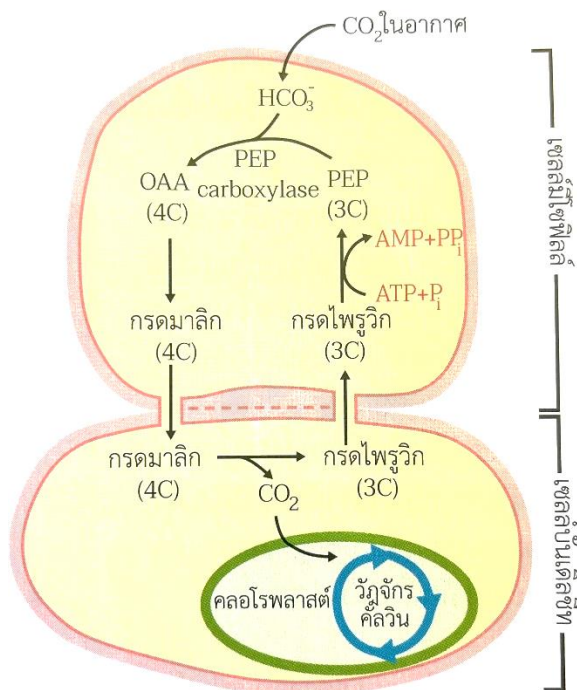
จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูล และอธิบายกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_4 และพืช CAM วิเคราะห์ อธิบายและเปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนในพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM

คำชี้แจง ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

- พืชส่วนใหญ่เป็นพืชชนิดใด
 - พืช CAM
 - พืช OAA
 - พืช C_4
 - พืช C_3
- สารประกอบตัวแรกที่เสถียรของพืช C_3 คือ
 - ATP
 - PGA
 - H_2O
 - O_2
- โครงสร้างของพืช C_3 และ C_4 แตกต่างกันอย่างไร
 - พืช C_4 ชั้นมีโซฟิลล์แบ่งเป็น แพลลิสเชอไมโซฟิลล์และสปันจิโซฟิลล์ แต่พืช C_3 ชั้นมีโซฟิลล์จะไม่แบ่งแยกกัน
 - พืช C_3 ชั้นมีโซฟิลล์แบ่งเป็น แพลลิสเชอไมโซฟิลล์และสปันจิโซฟิลล์ แต่พืช C_4 ชั้นมีโซฟิลล์จะไม่แบ่งแยกกัน
 - พืช C_3 ชั้นมีโซฟิลล์ไม่แบ่งแยกกัน แต่พืช C_4 ชั้นมีโซฟิลล์จะแบ่งแยกกันเป็นชั้นแพลลิสเชอไมโซฟิลล์และสปันจิโซฟิลล์
 - พืช C_4 ชั้นมีโซฟิลล์ไม่แบ่งแยกกัน แต่พืช C_3 ชั้นมีโซฟิลล์จะแบ่งแยกกันเป็นชั้นแพลลิสเชอไมโซฟิลล์และสปันจิโซฟิลล์
- ข้อใดไม่ใช่พืช C_4
 - มะม่วง
 - ข้าวโพด
 - อ้อย
 - หญ้า
- พืช C_4 มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์กี่ครั้งบริเวณใดบ้าง
 - 1 ครั้ง ครั้งแรกเกิดบริเวณเซลล์บันเดิลชีท ครั้งที่สองในเซลล์มีโซฟิลล์
 - 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดบริเวณเซลล์บันเดิลชีท ครั้งที่สองในเซลล์มีโซฟิลล์

- ค. 1 ครั้ง ครั้งแรกเกิดบริเวณเซลล์มีโซฟิลล์ ครั้งที่สองในเซลล์บันเดิลชีท
 ง. 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดบริเวณเซลล์มีโซฟิลล์ ครั้งที่สองในเซลล์บันเดิลชีท
6. พืชชนิดใดมีการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดี
- ก. พืช CAM
 ข. พืช OAA
 ค. พืช C_4
 ง. พืช C_3
7. จากภาพข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง



- ก. พืช C_4 มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง
 ข. ในเซลล์มีโซฟิลล์ HCO_3^- จะตรึง CO_2 ได้เป็น OAA
 ค. .ในเซลล์บันเดิลชีท กรดไพรูวิกจะสลายเป็นกรดมาลิก โดยใช้ CO_2
 ง. การตรึง CO_2 ครั้งที่สองจะเกิดวัฏจักรคัลวิน
8. พืช CAM พบบริเวณใด
- ก. ป่าดิบชื้น
 ข. ไร่
 ค. ทะเลทราย หรือที่แห้งแล้ง
 ง. ภูเขา
9. การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช CAM เกิดในเวลาใด
- ก. กลางคืน

- ข. กลางวัน
- ค. ตลอดทั้งวัน
- ง. ช่วงที่มีแสงแดดจัด

10. ช่วงเวลากลางวันพืช CAM ปากใบจะเป็นอย่างไร

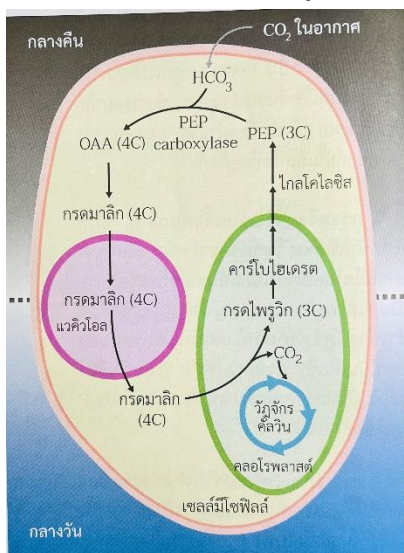
- ก. ปากใบเต่ง
- ข. ปากใบเปิด
- ค. ไม่มีปากใบ

ง. ปากใบปิด

11. พืชชนิดใดใช้น้ำในการเจริญเติบโตน้อยที่สุด

- ก. พืช CAM
- ข. พืช OAA
- ค. พืช C_4
- ง. พืช C_3

12. จากภาพข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการตรึงคาร์บอนในพืช CAM



- ก. ในเวลากลางคืน HCO_3^- ทำปฏิกิริยากับ PEP ได้เป็น OAA
- ข. ในเวลากลางคืน OAA เปลี่ยนเปลี่ยนกรดมาลิกสะสมไว้ในแวคิวโอล
- ค. ในเวลากลางวันกรดมาลิกจะถูกสลายเป็นกรดไพรูวิกโดย CO_2
- ง. การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นแค่ครั้งเดียว

