หน่วย
การสังเคราะห์
ด้วยแสง

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
รายวิชา ชีววิทยาเพิ่มเติม 3
รหัสวิชา ว30243

ชุดที่ 3
เรื่อง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

นางวรรณภา อ่างทอง

ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ
โรงเรียนศรีสมเด็จพิมพ์พัฒนาวิทยา อำเภอศรีสมเด็จ จังหวัดร้อยเอ็ด
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 27

คำนำ

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เป็นภารกิจที่สำคัญยิ่งของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ กระบวนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนมีความสามารถทางวิทยาศาสตร์นั้น ครูผู้สอนจะต้องพัฒนากระบวนการเรียนร้อย่างเป็นระบบให้กับผ้เรียน ส่งเสริมให้ผ้เรียนได้พัฒนาศักยภาพการเรียนร้ของตนเองให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ และการพัฒนาศักยภาพการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียนเป็นการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ครูผู้สอนสามารถออกแบบการจัดการเรียนรู้ในลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย เพื่อให้เอื้ออำนวยให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะ กระบวนการคิดวิเคราะห์ การเผชิญสถานการณ์และการประยุกต์ความรู้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ หน่วย การสังเคราะห์ด้วยแสง แบ่งออกเป็น 5 ชุด ใช้เวลาเรียนชุดละ 4 ชั่วโมง สำหรับชุดที่ 3 เรื่อง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง นักเรียนจะได้ปฏิบัติกิจกรรมการสืบค้นจนเกิดองค์ความรู้ควบคู่กับฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง รายวิชา ชีววิทยาเพิ่มเติม 3 รหัสวิชา ว32243 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

นางวรรณภา อ่างทอง
ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ
โรงเรียนศรีสมเด็จพิมพ์พัฒนาวิทยา

คำชี้แจง

เพื่อให้การเรียนการสอนเป็นไปตามลำดับขั้นตอนและเกิดความเข้าใจในการเรียน นักเรียนควรปฏิบัติตามขั้นตอน ดังนี้

ทำแบบทดสอบก่อนเรียน

ศึกษาสาระสำคัญและ
จุดประสงค์การเรียนรู้

ศึกษากิจกรรมความรู้เรื่องปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ศึกษาความรู้ ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง
ตอบคำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
ทำแบบฝึกกิจกรรมที่ 2

ศึกษาความรู้ ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง
ตอบคำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
ทำแบบฝึกกิจกรรมที่ 1

ทำกิจกรรมคำถามชวนคิด

ทำแบบทดสอบหลังเรียน

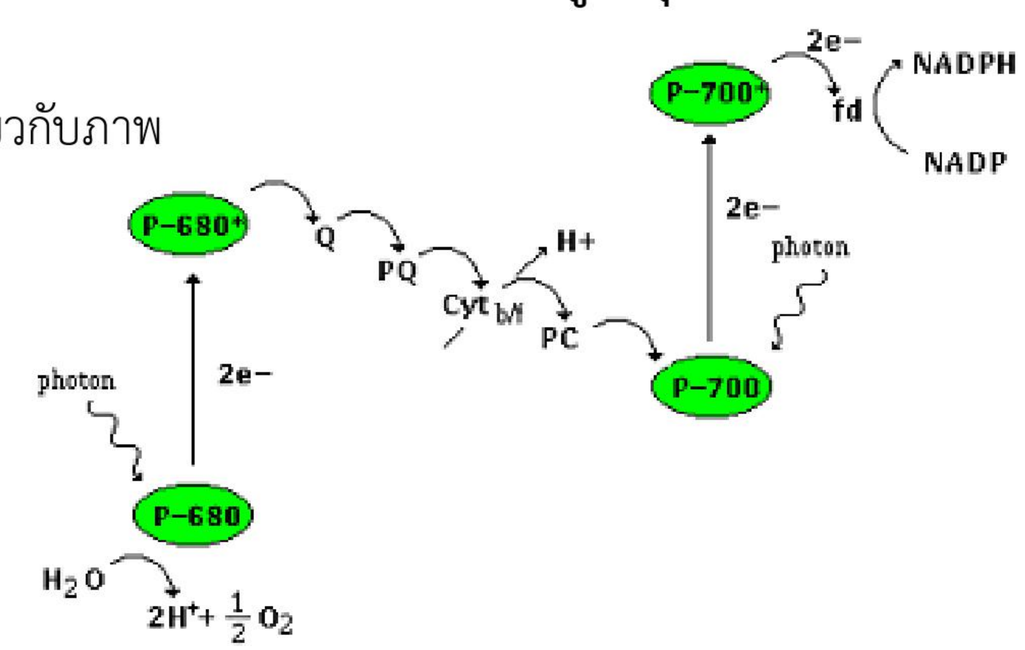
สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	2
คำชี้แจง	3
แบบทดสอบก่อนเรียน	5
1. สาระสำคัญ	7
2. จุดประสงค์การเรียนรู้	7
3. ศึกษากิจกรรม เรื่อง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	8
3.1 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช	8
3.2 ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง (light reaction)	9
3.2.1 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร	11
3.2.2 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร	12
ตอบคำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง	15
ทำแบบฝึกกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง	16
3.3 ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง (dark reaction)	18
ตอบคำถามชวนคิด	21
3.4 การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืชซี - 3 (C_3 - plant),พืชซี - 4 (C_4 - plant) และพืชซีเอเอ็ม (CAM- plant)	22
ตอบคำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง	28
ทำแบบฝึกกิจกรรมที่ 2 เรื่อง ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง	30
แบบทดสอบหลังเรียน	32
แนวการตอบคำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง	34
เฉลยแบบฝึกกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง	35
แนวการตอบคำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง	37
เฉลยแบบฝึกกิจกรรมที่ 2 เรื่อง ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง	39
เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน	41
บรรณานุกรม	42

แบบทดสอบก่อนเรียน

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ หน่วย การสังเคราะห์ด้วยแสง
ชุดที่ 3 เรื่อง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
ข้อสอบ 10 ข้อ เวลา 10 นาที คะแนนเต็ม 10 คะแนน
คำสั่ง : ให้นักเรียนทำเครื่องหมายกากบาท (X) ทับข้อที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับภาพ



ก. มีระบบแสงเกี่ยวข้อง 1 ระบบ
ข. มีระบบแสงเกี่ยวข้อง 2 ระบบ
ค. ผลลัพธ์ที่ได้คือ ATP, NADPH $+H^+$, O_2
ง. ข และ ค ถูก

2. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพืช พืช C_3
ก. เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง (bundle sheath cell) ไม่มีคลอโรพลาสต์
ข. พืช C_3 ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง บานไม่รู้โรย และพืชทั่วๆไป
ค. การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์
ง. สารที่ทำหน้าที่ตรึง CO_2 คือ RuBP

3. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพืช C_4
ก. ตัวอย่างพืชกลุ่มนี้ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ถั่วและพืชทั่วไป
ข. การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ เท่านั้น
ค. เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงมีคลอโรพลาสต์
ง. ก และ ข

4. ข้อใดเป็นน้ำตาลชนิดแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคัลวิน
ก. PGA
ข. PGAL
ค. RuBP
ง. OAA

5. สารใดที่จะถูกนำไปใช้ใน dark reaction

ก. ATP

ข. ATP และ $NADH + H^+$

ค. PGA

ง. ATP และ $NADPH + H^+$

6. ปฏิกิริยาในช่วงใดของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ให้ออกซิเจนออกมา

ก. dark reaction

ข. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร

ค. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร

ง. ข และ ค ถูก

7. สารใดที่ทำหน้าที่ตรึง CO_2 ในวัฏจักรคัลวิน

ก. OAA

ข. PGA

ค. PGAL

ง. RuBP

8. สารประกอบ RuBP ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีบทบาทเปรียบเทียบได้กับอินทรีย์สารชนิดใดในวัฏจักรเครบส์ของกระบวนการหายใจระดับเซลล์

ก. กรดซิตริก

ข. กรดไพรูวิก

ค. แอซิติลโคเอนไซม์ เอ

ง. กรดออกซาโลแอซิติก

9. กระบวนการใดของการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ต้องใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ก. light reaction

ข. dark reaction

ค. Hill' s reaction

ง. ถูกทุกข้อ

10. ข้อใดแสดงลำดับการให้อิเล็กตรอนในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรได้ถูกต้อง

ก. น้ำ ----> ระบบแสง 2 ----> ระบบแสง 1 ----> NADP

ข. น้ำ ----> ระบบแสง 1 ----> ระบบแสง 2 ----> NADP

ค. ระบบแสง 1 ----> น้ำ ----> ระบบแสง 2 ----> NADP

ง. ระบบแสง 2 ----> น้ำ ----> ระบบแสง 2 ----> NADP

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
หน่วย การสังเคราะห์ด้วยแสง ชุดที่ 3

เรื่อง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. สาระสำคัญ

การสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ ๆ 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกันคือขั้นตอนปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี และขั้นตอนปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง ซึ่งเป็นขั้นตอนของการสังเคราะห์น้ำตาลที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า วัฏจักรคัลวิน (calvin cycle)

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

❖ **ด้านความรู้**

นักเรียนสามารถอธิบายเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้

❖ **ด้านทักษะ**

1. นักเรียนมีความสามารถในการจำแนกแยกแยะสารที่ใช้และผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง
2. นักเรียนมีความสามารถในการเปรียบเทียบระหว่างปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงและปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
3. นักเรียนสามารถบอกความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงและปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
4. นักเรียนมีความสามารถในการให้เหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใดพืช C_4 จึงมีประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าพืช C_3

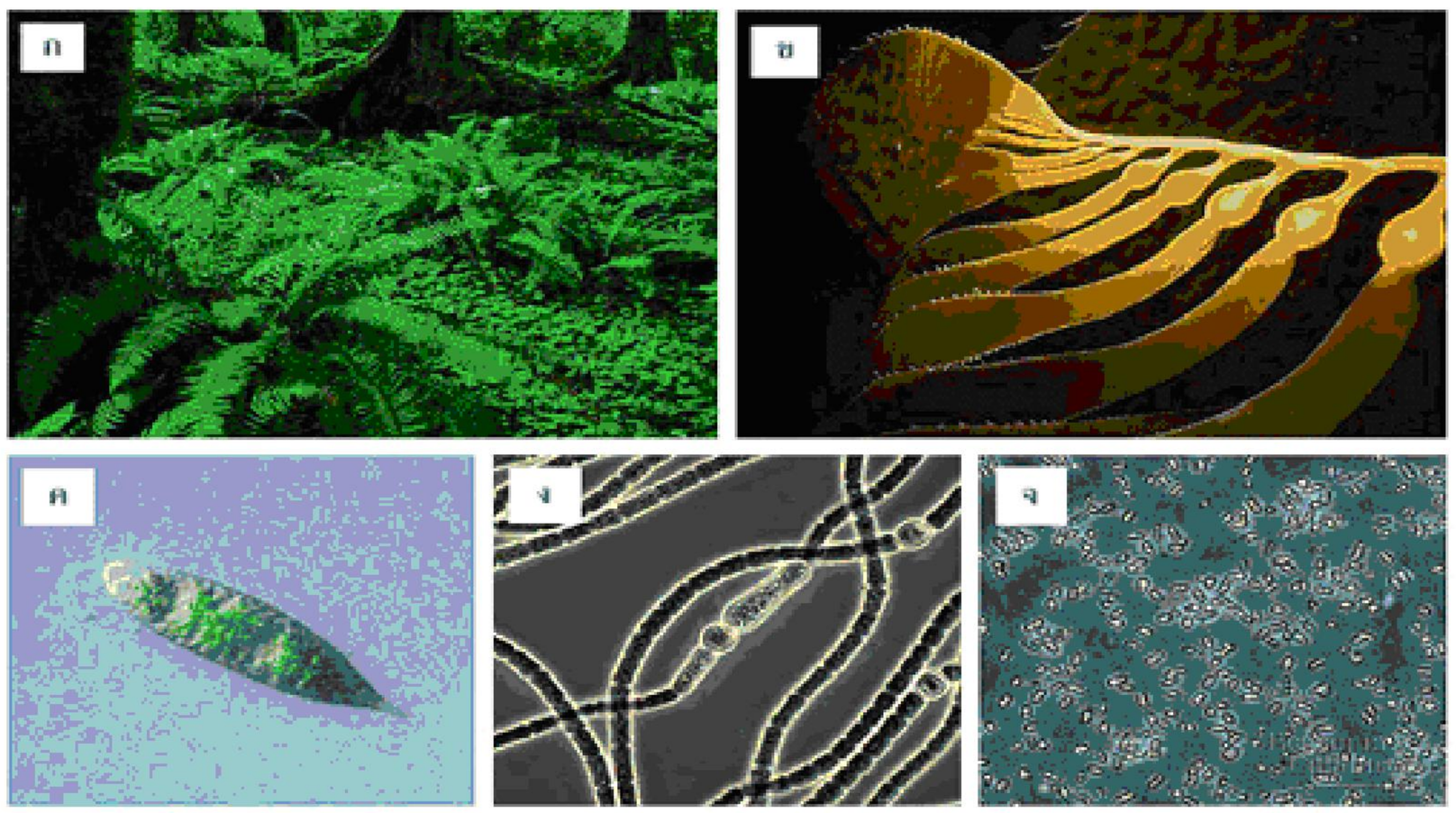
❖ **ด้านคุณธรรมจริยธรรม**

1. นักเรียนมีความรับผิดชอบในการทำงาน
2. นักเรียนมีความซื่อสัตย์และตรงต่อเวลา
3. นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการใฝ่รู้ใฝ่เรียน

3. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

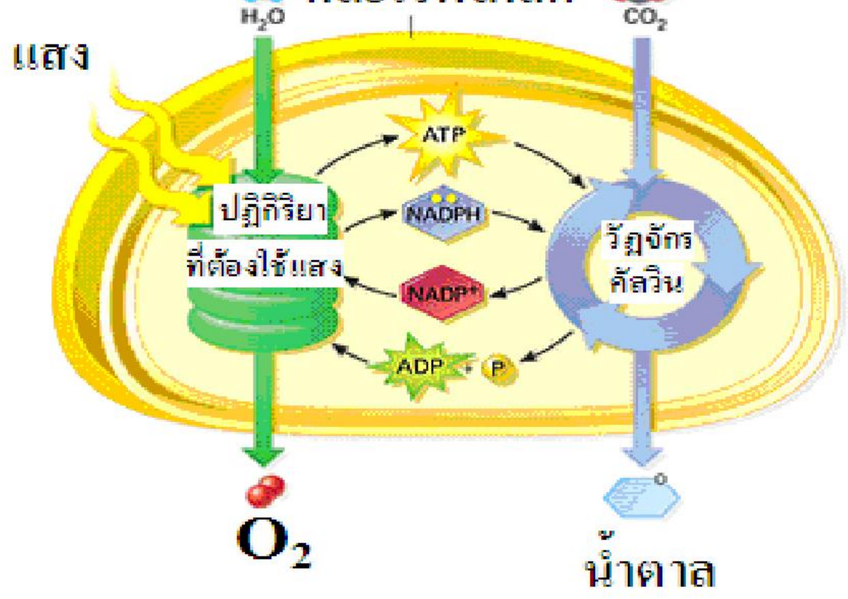
กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

สิ่งมีชีวิตดำรงชีพได้ด้วยการรับพลังงาน สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปใช้ในร่างกายและจะขับของเสียรวมทั้งพลังงานที่ใช้ไม่ได้กลับคืนสู่สิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการผลิตอาหารเลี้ยงตัวเองได้เราเรียกว่าสิ่งมีชีวิตสร้างอาหารเองได้ (autotrophic) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองพวก ได้แก่พวกที่ใช้พลังงานแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงจากดวงอาทิตย์และพวกที่ใช้สารอนินทรีย์พวกซัลเฟอร์และแอมโมเนียในการสร้างอาหาร ดังนั้นเราจึงเรียกสิ่งมีชีวิตที่ใช้พลังงานแสงเพื่อการดำรงชีพว่าสิ่งมีชีวิตสร้างอาหารได้เองด้วยแสง (photoautotropic) สิ่งมีชีวิตพวกนี้ได้แก่พืช สาหร่าย โพรทิสต์บางชนิดเช่น ยูกลีนา รวมทั้งสิ่งมีชีวิตพวกโพรแคริโอตบางพวก เช่น สาหร่ายเขียวแกมน้ำเงิน ส่วนสิ่งมีชีวิตที่ใช้สารอนินทรีย์ในการสร้างอาหารโดยไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานแสงเลยเราเรียกว่าสิ่งมีชีวิตสร้างอาหารได้เองทางเคมี (chemoautotrophic) ซึ่งได้แก่แบคทีเรียบางชนิด ให้นักเรียนศึกษาจากรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สิ่งมีชีวิตสร้างอาหารได้เองด้วยแสง
(ก) พืช (ข) สาหร่าย (ค) โพรทิสต์ (ง) สาหร่ายเขียวแกมน้ำเงิน
(จ) แบคทีเรียที่ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงแทนน้ำ
ที่มา : www.psuwit.psu.ac.th
วันที่สืบค้น 28 / 05 / 2557

การสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ ๆ 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกันคือขั้นตอนปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี และขั้นตอนปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง ซึ่งเป็นขั้นตอนของการสังเคราะห์น้ำตาลที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า วัฏจักรคัลวิน (calvin cycle) ให้นักเรียนศึกษากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจากรูปที่ 3.2



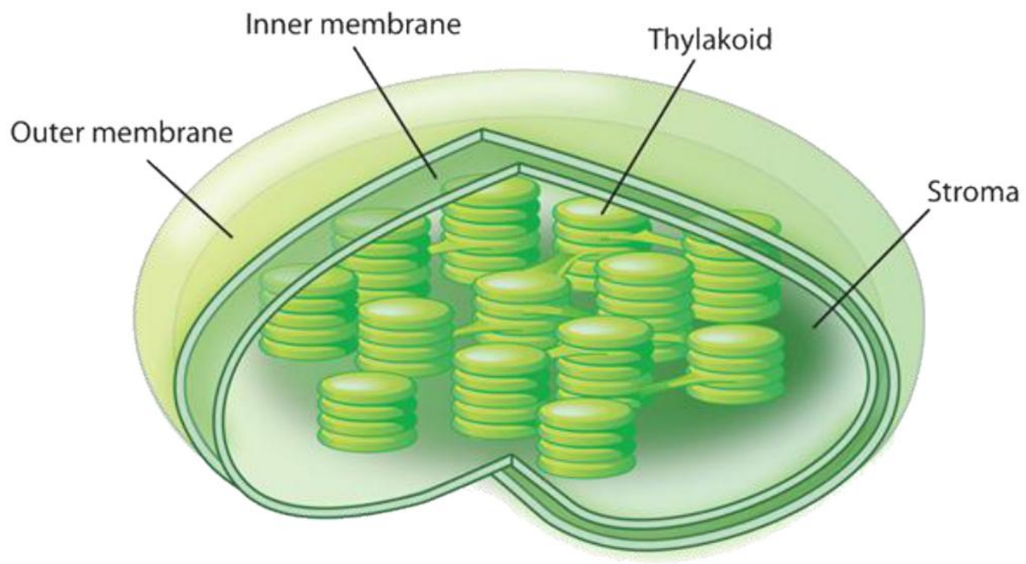
รูปที่ 3.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
ที่มา : www.3.bp.blogspot.com
วันที่สืบค้น 28 / 03 / 2557

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นปฏิกิริยาที่ต่อเนื่องกันทั้งปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงและปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง สำหรับปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงนั้นเกิดขึ้นได้เฉพาะช่วงมีแสง ผลจากปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงตามมาโดยไม่จำเป็นจะต้องอยู่ในที่มืด ส่วนปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงก็ยังคงเกิดต่อเนื่องเรื่อยไปในช่วงมีแสง ผลที่ได้จากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงต่อไป ปฏิกิริยาทั้งสองช่วงนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง (light reaction)

หลักฐานต่างๆยืนยันว่าออร์แกเนลล์ที่สำคัญของพืชคือ คลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นแหล่งที่เกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและเทคนิคต่างๆทำให้ทราบลักษณะของคลอโรพลาสต์เป็นอย่างดี คลอโรพลาสต์ส่วนใหญ่จะมีรูปร่างกลมรี มีขนาดความยาวประมาณ 5 ไมโครเมตร กว้าง 2 ไมโครเมตร และหนาประมาณ 1- 2 ไมโครเมตร จำนวนแต่ละเซลล์มีไม่แน่นอน มีตั้งแต่สิบขึ้นไปจนถึงร้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและชนิดของเซลล์พืช คลอโรพลาสต์ มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น เยื่อชั้นในเรียงตัวเป็นถุงแบนเรียกว่าไทลาคอยด์ (thylakoid) ซึ่งภายในมีกลุ่มโมเลกุลของสารสีที่ทำหน้าที่ดูดซับพลังงานแสงอยู่มากมาย ไทลาคอยด์เรียงซ้อนกัน

หลายชั้นเรียกว่ากรานุม (granum) ภายในคลอโรพลาสต์จะมีกรานุมอยู่จำนวนมากประมาณ 40 – 60 กรานุม เรียงต่อกันด้วยเยื่อสโตรมา ลาเมลลา (stroma lamella) หรือเยื่อสโตรมาไทลาคอยด์ (stroma thylakoid) ซึ่งภายในมีสารสีคลอโรฟิลล์ด้วย กรานุมหลาย ๆ กรานุมเรียกว่ากรานา (grana) ของเหลวในคลอโรพลาสต์เรียกว่าสโตรมา (stroma) ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงเกิดในกรานา ส่วนปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงเกิดในสโตรมา ให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างของคลอโรพลาสต์จากรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์
ที่มา : www.il.mahidol.ac.th/e-media/science4/plant/extra.htm
วันที่สืบค้น 28 / 03 / 2557

ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงเป็นปฏิกิริยาที่พืชรับพลังงานแสงมาใช้สร้างสารอินทรีย์ 2 ชนิดคือ ATP และ NADPH + H^+ โดยใช้น้ำเข้าร่วมปฏิกิริยาและเกิดแก๊สออกซิเจน

ภายในคลอโรพลาสต์ของพืชชั้นสูงจะมีกลุ่มโมเลกุลของสารสีที่ทำหน้าที่ดูดซับพลังงานแสงรวมกันเป็นหน่วยย่อยเรียกว่าหน่วยสังเคราะห์แสง (photosynthetic unit) อยู่ที่เยื่อไทลาคอยด์ แต่ละหน่วยประกอบด้วยสารสีประมาณ 300 โมเลกุล หน่วยสังเคราะห์แสงแต่ละหน่วยประกอบด้วย ศูนย์กลางการรับแสง 2 ระบบ แต่ละระบบมีความสามารถในการดูดซับพลังงานแสงในช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ระบบแสงทั้ง 2 ระบบนี้รวมเรียกว่า ควอนตาโซม (quantasome)

กลุ่มสารสีในปฏิกิริยา 2 ระบบ

1. กลุ่มสารสีระบบแสง I (photosystem I) หรือ P700 เป็นกลุ่มสารสีที่ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ a รูปพิเศษ (P700) และแคโรทีนอยด์สามารถดูดซับพลังงานแสงในช่วงคลื่นไม่เกิน 700 นาโนเมตร โดยมีศูนย์กลางปฏิกิริยาอยู่ที่ 700 นาโนเมตร

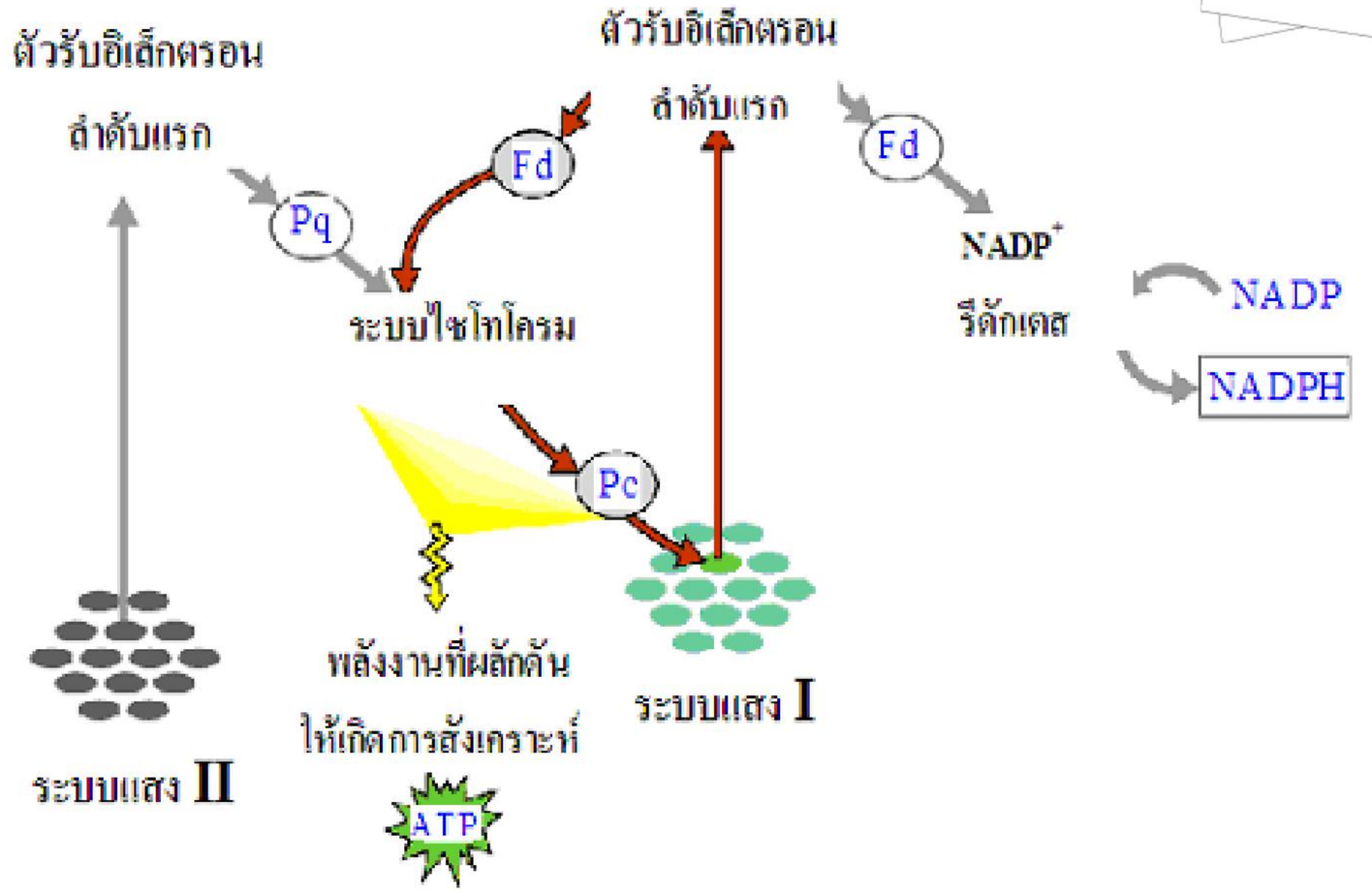
2. กลุ่มสารสีระบบแสง II (photosystem II) หรือ P680 เป็นกลุ่มสารสีที่ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ a รูปพิเศษ (P680) คลอโรฟิลล์ b คลอโรฟิลล์ c คลอโรฟิลล์ d และสารสีอื่นๆแล้วแต่ชนิดของพืช สามารถดูดซับพลังงานแสงในช่วงคลื่นสั้นกว่า 680 นาโนเมตร โดยมีศูนย์กลางปฏิกิริยาอยู่ที่ 680 นาโนเมตร

สำหรับปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง จะมีบทบาทสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมี แล้วเก็บไว้ในสารประกอบ ATP และ $NADPH_2$ เมื่อแสงส่องถูกคลอโรฟิลล์ พลังงานแสงบางส่วนจะถูกคลอโรฟิลล์ดูดซับเอาไว้ ทำให้อิเล็กตรอนภายในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีพลังงานสูงขึ้นและถ้าหากมีพลังงานแสงมากพอจะทำให้อิเล็กตรอนนี้หลุดออกจากคลอโรฟิลล์ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้อาจมีจำนวนมากและจะถูกสารบางอย่างมารับแล้วถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปเป็นทอกๆ พลังงานภายในอิเล็กตรอนจะลดลงเรื่อยๆ พลังงานที่ปล่อยออกมาจะถูกนำไปสร้างเป็น ATP หรือ $NADPH_2$ แล้วแต่กรณี การถ่ายโอนอิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ มี 2 ระบบ คือ

1. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer)
2. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (non-cyclic electron transfer)

1. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer)

การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร เป็นการถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับระบบแสงเพียงระบบเดียวเท่านั้น คือระบบแสง I โดยเริ่มจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ a ในระบบแสง I ดูดซับพลังงานแสง ทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกลของคลอโรฟิลล์มีระดับพลังงานสงขึ้น และเคลื่อนที่หลุดจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์และถูกถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ตัวแรกซึ่งยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นสารใด แต่เข้าใจว่าน่าจะเป็นเฟอร์ริดอกซิน รีดิวซิงซับสแตนซ์ (ferredoxin- reducing substance) แล้วสารนี้จึงถ่ายโอนอิเล็กตรอนต่อไปยังเฟอร์ริดอกซิน (ferredoxin) ไซโทโครม b (cytochrome b) ไซโทโครม f (cytochrome f) และพลาสโทไซยานิน (plastocyanin) ตามลำดับต่อจากนั้นจึงถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้แก่โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ a (P700) ที่ถูกออกซิไดส์ในระบบแสง I อีกครั้งหนึ่ง ขณะที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปนั้นจะมีการปล่อยพลังงานออกจากอิเล็กตรอนเพื่อนำไปสร้าง ATP (จาก ADP + Pi) เรียกว่าการสร้างพลังงาน ATP ด้วยแสงแบบเป็นวัฏจักร (cyclic photophosphorylation) การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบนี้จะทำให้ได้พลังงานในรูปของ ATP 1 โมเลกุลต่อการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 1 คู่ จะเห็นได้ว่าอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากระบบแสง I จะวนกลับมายังระบบแสง I ตามเดิม สำหรับการสร้างพลังงาน ATP ด้วยแสงแบบเป็นวัฏจักรอาจไม่เกิดในสภาพปกติของการสังเคราะห์ด้วยแสง ในพืชทั่ว ๆ ไป นักชีววิทยาเชื่อกันว่ากระบวนการนี้น่าจะเกิดกับแบคทีเรียที่สร้างพลังงาน ATP ด้วยแสง ให้นักเรียนศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร จากรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร
ที่มา : www.psuwit.psu.ac.th
วันที่สืบค้น 28 / 03 / 2557

2. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (non-cyclic electron transfer)

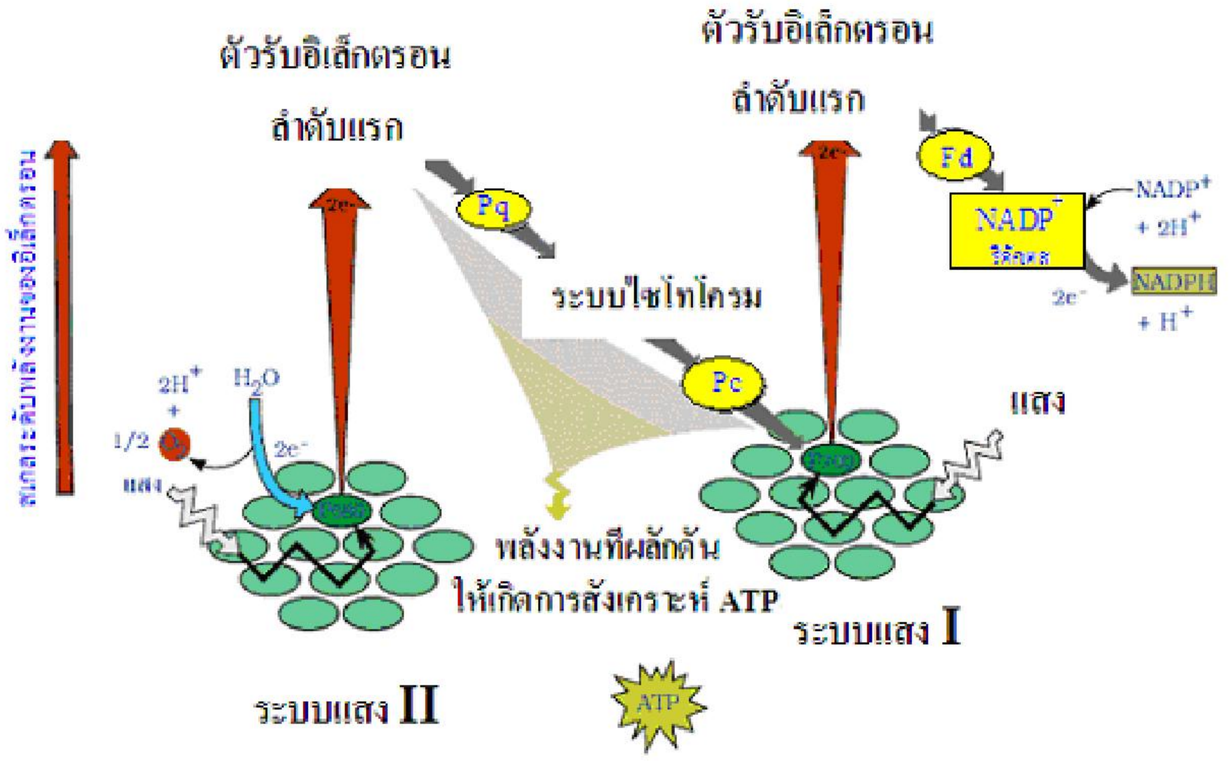
การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบนี้จะเกี่ยวข้องทั้งระบบแสง I และระบบแสง II รวมทั้งน้ำด้วย เมื่อพืชได้รับพลังงานแสงปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นพร้อมๆกันทั้งสองระบบแสง การถ่ายโอนอิเล็กตรอนจะเริ่มจากคลอโรฟิลล์ในระบบแสง I (P700) ได้รับพลังงานแสงทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้น และหลุดออกจากคลอโรฟิลล์ เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ตัวแรกซึ่งเข้าใจว่าเป็น เฟอร์ริดอกซิน รีดิวซิงซับสแตนซ์และเฟอร์ริดอกซินตามลำดับ หลังจากนั้นเฟอร์ริดอกซินจะถูกออกซิไดส์ อิเล็กตรอนจากเฟอร์ริดอกซินจะถูกถ่ายโอนให้กับ $NADP^+$ ซึ่งเป็นตัวสุดท้ายที่จะรับอิเล็กตรอนและเมื่อรวมกับโปรตอน ($2H^+$) จากการแยกสลายด้วยแสง (photolysis) จะกลายเป็น NADPH + H^+ โดยไม่หวนกลับมายัง ระบบแสง I อีก ทำให้ระบบแสง I ขาดอิเล็กตรอนไป 1 คู่

ในระบบแสง II (P680) เมื่ออิเล็กตรอนมีพลังงานสูงและหลุดออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ตัวรับอิเล็กตรอนตัวแรกได้แก่ ฟีโอไฟทิน (pheophytin) จะถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กับพลาสโทควิโนน (plastoquinone) สารนี้จะถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กับไซโทโครม b (cytochrome b) แล้วสร้างพลังงานได้ ATPแล้วจึงส่งต่อไปยังไซโทโครม f (cytochrome f) พลาสโทไซยานิน (plastocyanin) และโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ a (P700) ที่ถูกออกซิไดส์ในระบบแสง I ตามลำดับ ในขณะที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังตัวนำต่างๆ ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะลดลง เนื่องจากส่วนหนึ่งของพลังงานจะถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยน ADP และ Pi ให้เป็น ATP เช่นเดียวกับที่เกิดในช่วงการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็น วัฏจักร การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบนี้จะทำให้ได้พลังงานในรูปของ ATP 2 โมเลกุล จะเห็นได้ว่าอิเล็กตรอนจากระบบแสง II จะถูกถ่ายโอนไปยังระบบแสง I จึงทำให้

ระบบแสง II อยู่ในสภาพขาดอิเล็กตรอน จำเป็นต้องได้รับอิเล็กตรอนจากสารอื่น อิเล็กตรอนที่ระบบแสง II ได้รับมาจากกระบวนการแยกสลายด้วยแสง (photolysis) ซึ่งค้นพบโดยโรบิน ฮิลล์ (Robin Hill) ดังนั้นจึงอาจเรียกชื่อตามชื่อของผู้ค้นพบว่า ปฏิกิริยาฮิลล์ (Hill reaction) การแยกสลายด้วยแสงนอกจากจะให้อิเล็กตรอนแล้วยังให้ออกซิเจนและโปรตอนอีกด้วย ดังสมการ

$$2H_2O \xrightarrow{\text{แสง}} 4e^- + 4H^+ + O_2$$

โดยสรุปการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรจะมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปในทางเดียว คือจากน้ำไปสู่ $NADP^+$ ดังนี้ น้ำ → ระบบแสง II → ระบบแสง I → $NADP^+$ ได้สารประกอบที่มีพลังงานสูง 2 ชนิดคือ ATP และ NADPH + H^+ ให้นักเรียนศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรจากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร
ที่มา : www.psuwit.psu.ac.th
วันที่สืบค้น 28 / 03 / 2557

❖ การสร้างพลังงาน ATP ด้วยแสง (photophosphorylation)

การสร้างพลังงาน ATP ด้วยแสง เป็นการสังเคราะห์ ATP แบบออสโมซิสเคมี (chemiosmosis) คือจะใช้พลังงานจากปฏิกิริยารีดอกซ์ในกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เพื่อเป็นแรงในการเคลื่อนที่ของโปรตอนและเกิดการดันโปรตอนผ่านเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ มิทเชลล์ (Mitchell) ได้ทำการค้นคว้าและวิจัยในปี 1961 และได้เสนอสมมติฐานการซึมทางเคมี (chemiosmotic hypothesis) ที่ให้เหตุผลสำหรับการสร้างพลังงาน ATP ซึ่งทฤษฎีนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในแวดวงนักชีวเคมี สรุปได้ดังนี้

1. ATP สังเคราะห์ที่ส่วนของไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์ ซึ่งไม่ยอมให้โปรตอน (H^+) ผ่านได้

2. อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่สู่ $NADP^+$ ผ่านไปตามระบบที่มีตัวรับอิเล็กตรอนเป็นทอด ๆ

3. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนจะสัมพันธ์กับการดันโปรตอนจากสโตรมาเข้าสู่ภายในไทลาคอยด์ทำให้มีความเข้มข้นของโปรตอนภายในมาก จึงเกิดความแตกต่างของพีเอช (pH) และชลศักย์ (water potential) ในคลอโรพลาสต์

4. ความแตกต่างของพีเอช (pH) และชลศักย์ (water potential) ในไทลาคอยด์และสโตรมา ทำให้เกิดการดันโปรตอนจากไทลาคอยด์ออกมายังสโตรมาทางอนุภาคมูลฐาน (elementary particle)

5. ที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์นั้นมีเอนไซม์ ATP synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่กระตุ้นให้ ADP รวมกับ Pi

❖ การสร้าง $NADPH+H^+$ หรือ $NADPH_2$

เมื่อ $NADP^+$ รับอิเล็กตรอน ($2e^-$) ที่หลุดมาจากระบบแสง I แล้วจะมีสถานะทางไฟฟ้าเป็นประจุลบ ดังนั้นจึงต้องรับโปรตอน ($2H^+$) ที่ได้จากการแยกสลายด้วยแสงโดยเร็ว และกลายเป็น $NADPH + H^+$ หรือ $NADPH_2$ ที่มีประจุเป็นกลางและจะนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงต่อไป

การเกิด $NADPH + H^+$ เป็นไปดังสมการ

$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH + H^+$$

ตาราง เปรียบเทียบการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรและการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร

การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร	การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร
1. เกี่ยวข้องกับระบบแสง I	1. เกี่ยวข้องกับระบบแสง I และระบบแสง II
2. อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากคลอโรฟิลล์ของระบบ แสง I จะกลับสู่ที่เดิม	2. อิเล็กตรอนที่หลุดไปจะไม่กลับมาที่เดิม แต่จะมีอิเล็กตรอนจากระบบแสง II มาแทนที่
3. มีการสร้าง ATP 1 โมเลกุล	3. มีการสร้าง ATP 2 โมเลกุล
4. ไม่มีการสร้าง $NADPH+H^+$	4. มีการสร้าง $NADPH+H^+$
5. ไม่มีแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้น	5. มีแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้น
6. ไม่มีการแยกสลายด้วยแสง (photolysis)	6. มีการแยกสลายด้วยแสง (photolysis)
7. ใช้สารสีในระบบแสง I	7. ใช้สารสีในระบบแสง I และระบบแสง II

คำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
เรื่อง ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) (ทักษะการจำแนกแยกแยะ)

.....

.....

.....

2. ปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) (ทักษะการจำแนกแยกแยะ)

.....

.....

.....

3. ผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) และการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร (ทักษะการเปรียบเทียบ)

.....

.....

.....

4. ลำดับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) เป็นอย่างไร (ทักษะการเห็นความสัมพันธ์)

.....

.....

.....

5. สารที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงและจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงได้แก่สารใด (ทักษะการเห็นความสัมพันธ์)

.....

.....

.....

6. ถ้าไม่มีแสง กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ เพราะเหตุใด (ทักษะการให้เหตุผล)

.....

.....

.....

แบบฝึกกิจกรรมที่ 1
เรื่อง ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง
****

คำชี้แจง 1. แบบฝึกหัดมีทั้งหมด 10 ข้อ 10 คะแนน เวลา 20 นาที

2. การตอบคำถามแต่ละข้อต้องตอบให้ครอบคลุมและถูกต้องตามข้อคำถาม จึงจะได้คะแนนเต็มในข้อนั้นหากตอบถูกแต่ไม่ครอบคลุมข้อคำถามจะได้คะแนนครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็ม

1. ผลลัพธ์ที่เกิดจากกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) ได้แก่สารใด

.....

.....

2. ผลลัพธ์ที่เกิดจากกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) ได้แก่สารใด

.....

.....

3. ให้นักเรียนเรียงลำดับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer)

.....

.....

4. พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่คลอโรฟิลล์ดูดซับไว้จะถูกนำไปใช้เพื่ออะไร

.....

.....

5. กระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) เกี่ยวข้องกับระบบแสงใด

.....

.....

6. กระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) เกี่ยวข้องกับระบบแสงใด

.....

.....

7. อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากสารสีระบบแสง II จะเข้าสู่สารสีระบบแสง I ทันทีได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

.....

8. ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงขั้นตอนที่ต้องใช้แสงจะต้องประกอบด้วยปัจจัยในข้อใด

....

....

9. การแยกสลายด้วยแสง (photolysis) ของการสังเคราะห์ด้วยแสงกับกระบวนการหายใจเหมือนกันอย่างไร

.....

....

10. สารที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง และจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงคือสารใด

....

.....

ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง (dark reaction)

ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงเกิดขึ้นที่สโตรมา (stroma) ของคลอโรพลาสต์ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องใช้แสง (แม้จะมีแสง) แต่ต้องการ ATP และ NADPH + H^+ จากปฏิกิริยาที่ใช้แสง และเกิดต่อเนื่องจากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง กระบวนการนี้มีการนำคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งมาเปลี่ยนแปลงและรวมตัวกับไฮโดรเจนจาก NADPH + H^+ โดยใช้พลังงานจาก ATP เพื่อสร้างน้ำตาลขึ้นมา เนื่องจากกระบวนการนี้ต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าร่วม จึงอาจเรียกว่ากระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide fixation) สำหรับบุคคลแรกที่ใช้คำว่า dark reaction คือ เอฟ.เอฟ. แบลคแมน (F.F. Black MAN) เมื่อปี ค.ศ. 1905 (พ.ศ. 2448)

นักชีววิทยาได้ทดลอง โดยใช้สาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวชื่อ คลอเรลลา ใส่ในขวดซึ่งมีน้ำและ C^{14} ในรูปของไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออนแล้วผ่านแสงลงไป ต่อจากนั้นนำสาหร่ายมาวิเคราะห์หาสารต่างๆ เป็นระยะๆ 5 วินาที หลังจากที่ผ่านแสงลงไป ตรวจพบ C^{14} ในสารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอม คือกรดฟอสโฟกลีเซอริก (phosphoglyceric acid : PGA) เมื่อเกิดสังเคราะห์ด้วยแสง 60 วินาทีจะพบ C^{14} อยู่ในสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม 5 อะตอม 6 อะตอม ถ้าให้เวลาเป็นเวลา 90 วินาทีจะตรวจพบ C^{14} อยู่ในสารต่างๆหลายชนิดรวมทั้งกลูโคสและไขมันด้วย ภายในเซลล์ของสาหร่ายคลอเรลลามีสารที่มีคาร์บอน 5 อะตอมเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา สารตัวนี้คือไรบูโลสบิสฟอสเฟต (ribulose bisphosphate : RuBP) ทำให้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสารตัวนี้จะรวมตัวกับ C^{14} ในคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารที่มีคาร์บอน 6 อะตอมแต่สารนี้ไม่อยู่ตัวจึงแตกตัวเป็นสาร ATP 2 โมเลกุล

จากการทดลองของคัลวินและคณะสันนิษฐานว่าน่าจะมีสารประกอบคาร์บอน 2 อะตอม ซึ่งเมื่อรวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์จะได้ PGA แต่หลังจากการค้นหาไม่พบสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอมอยู่เลย เขาจึงตรวจหาสารประกอบใหม่ที่จะมารวมกับ CO_2 เป็น PGA จากการตรวจสอบพบสารประกอบจำพวกน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม คือ ไรบูโลสบิสฟอสเฟต เมื่อรวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นสารประกอบตัวใหม่ที่มีคาร์บอน 6 อะตอมแต่สารนี้ไม่อยู่ตัวจะสลายกลายเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คือ PGA จำนวน 2 โมเลกุล

นอกจากนี้คัลวินและคณะได้พบปฏิกิริยาเหล่านี้ เกิดหลายขั้นตอนต่อเนื่องไปเป็นวัฏจักร ในปัจจุบันเรียกวัฏจักรของปฏิกิริยานี้ว่า วัฏจักรคัลวิน

การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกระบวนการที่พืชนำพลังงานเคมีที่ได้จากปฏิกิริยาแสงในรูป ATP และ $NADPH_2$ มาใช้ในการสร้างสารอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกรีดิวส์เป็นน้ำตาลไตรโอสฟอสเฟต

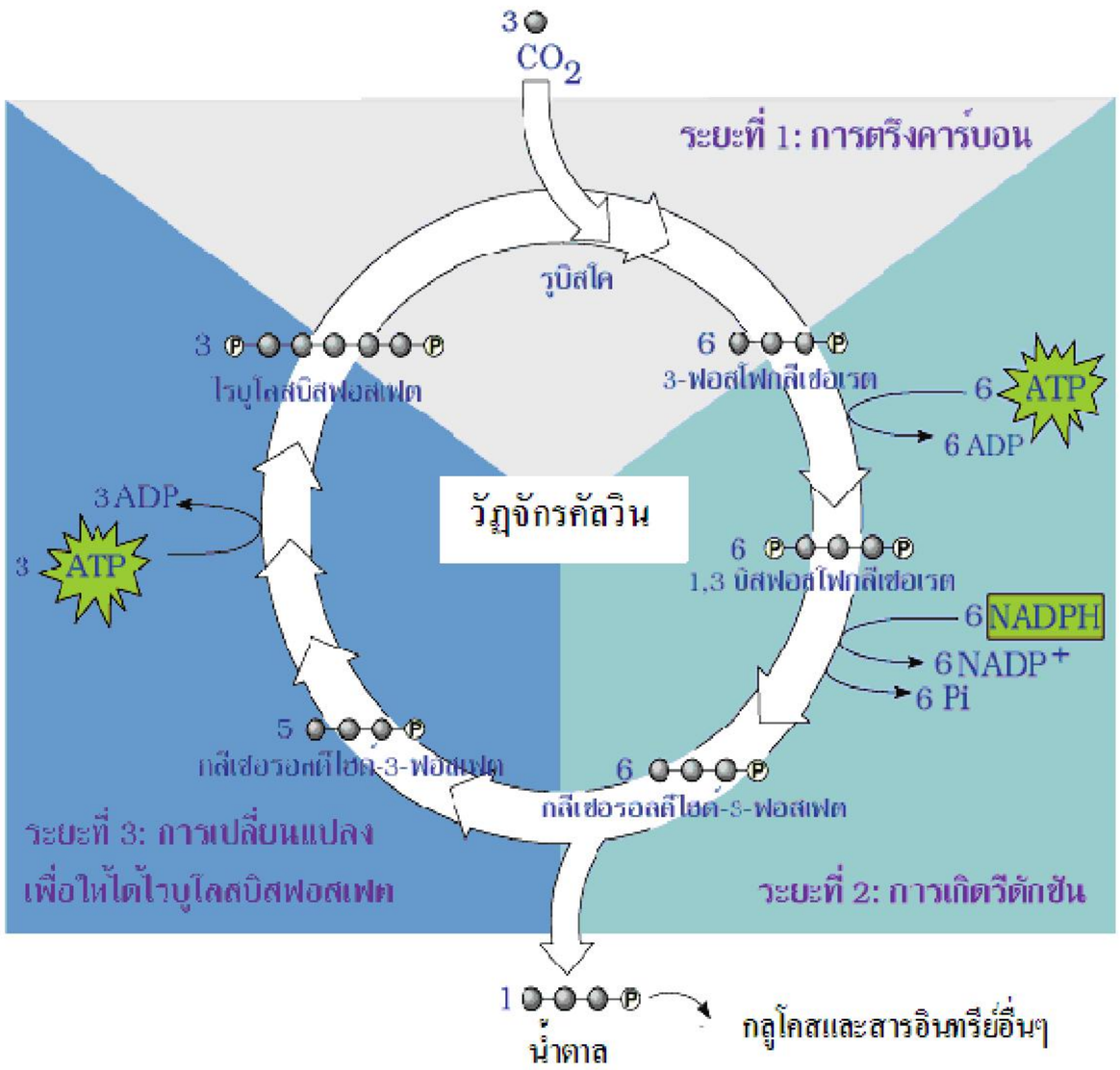
ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงมี 3 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 การตรึงคาร์บอน (carboxylative phase)

ระยะที่ 2 การเกิดรีดักชัน (reductive phase)

ระยะที่ 3 การเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้ไรบูโลสบิสฟอสเฟต (regenerative phase) และการสังเคราะห์ (synthetic phase)

ให้นักเรียนศึกษาวัฏจักรคัลวินจากรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วัฏจักรคัลวิน

ที่มา : www.psuwit.psu.ac.th

วันที่สืบค้น 28 / 03 / 2557

ระยะที่ 1 การตรึงคาร์บอน (carboxylative phase)

- เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับไรบูโลสบิสฟอสเฟต (ribulose bisphosphate : RuBP) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอมและหมู่ฟอสเฟต(Pi) 2 หมู่

- ผลจากการทำปฏิกิริยาจะได้สารประกอบชนิดหนึ่งซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอมแต่จะไม่อยู่ตัว ต่อจากนั้นจะถูกเอนไซม์ไรบูโลสบิสฟอสเฟตคาร์บอกซิเลส ((ribulose bisphosphate carboxylase) เร่งปฏิกิริยาให้สลายตัวอย่างรวดเร็ว ได้เป็นสารที่อยู่ตัวคือกรดฟอสโฟกลีเซอริก (phosphoglyceric acid : PGA) 2 โมเลกุล ซึ่งแต่ละโมเลกุลของ PGA จะมีคาร์บอน 3 อะตอมและหมู่ฟอสเฟต 1 หมู่

- ถ้าเริ่มจาก RuBP 6 โมเลกุลรวมตัวกับ CO_2 6 โมเลกุล จะได้ PGA 12 โมเลกุล ดังสมการ (1)

$$6\ RuBP + 6CO_2 + 6H_2O \rightarrow 12\ PGA \quad \text{---------- (1)}$$

ระยะที่ 2 การเกิดรีดักชัน (reductive phase)

- เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก PGA จนได้ PGAL (phosphoglyceraldehyde) โดยใช้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง กล่าวคือได้รับไฮโดรเจนจาก NADPH + H^+ และพลังงานจากการสลายตัวของ ATP

- PGAL 1 โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม และหมู่ฟอสเฟต 1 หมู่ ดังนั้นถ้าเริ่มจาก 12 PGA จะเปลี่ยนเป็น PGAL 12 โมเลกุลและต้องอาศัยพลังงานจาก ATP 12 โมเลกุลและ NADPH + H^+ 12 โมเลกุลเช่นเดียวกัน ดังสมการ (2)

$$12PGA + 12NADPH + H^+ + 12ATP \rightarrow 12PGAL + 12NADP^+ + 12ADP + 12Pi + 12H_2O \text{ --------(2)}$$

ระยะที่ 3 การเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้ไรบูโลสบิสฟอสเฟต (regenerative phase)

- เป็นระยะที่ PGAL 12 โมเลกุลมีการเปลี่ยนแปลงต่อไป 2 วิถีทางด้วยกันคือ

1. PGAL 10 โมเลกุลจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น RuBP 6 โมเลกุล ในการเปลี่ยนแปลงนี้จะต้องใช้พลังงานจาก ATP 6 โมเลกุลที่ได้จากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง และใช้หมู่ฟอสเฟตที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของ ATP อีก 2 หมู่ จึงเหลือหมู่ฟอสเฟตเพียง 4 หมู่ ดังสมการ (3)

$$10\ PGAL + 6\ ATP \rightarrow 6\ RuBP + 6\ ADP + 4\ Pi \text{ ---------- (3)}$$

2. PGAL ที่เหลืออีก 2 โมเลกุลซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอม อาจจะรวมตัวเป็นกลูโคสได้ 1 โมเลกุล ดังสมการ (4)

$$2PGAL \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 2Pi \text{ ---------- (4)}$$

- PGAL ถือว่าเป็นน้ำตาลตัวแรกที่ได้จากปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงและเป็นสารที่ไม่มีการสะสมไว้ในเซลล์ พืชสามารถนำ PGAL ไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างคือ

1. นำไปใช้สร้าง RuBP ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในวัฏจักรคัลวิน
2. ใช้เป็นสารตัวกลางในกระบวนการหายใจโดยเข้าสู่ช่วงไกลโคลิซิส (glycolysis)
3. ถูกส่งไปยังเซลล์ข้างเคียงเพื่อกิจกรรมต่างๆ
4. นำไปสร้างเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส แป้ง เซลลูโลส เพกทิน ไขมัน กรดอะมิโนชนิดต่างๆ เป็นต้น

จากปฏิกิริยาระยะที่ 1 จนถึง ปฏิกิริยาระยะที่ 3 เมื่อรวมสมการจะได้สมการรวมดังนี้

$$6CO_2 + 18ATP + NADPH + H^+ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 18ADP + 18Pi + 12NADP^+ + 6H_2O$$

สำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงที่สมบูรณ์คือ

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

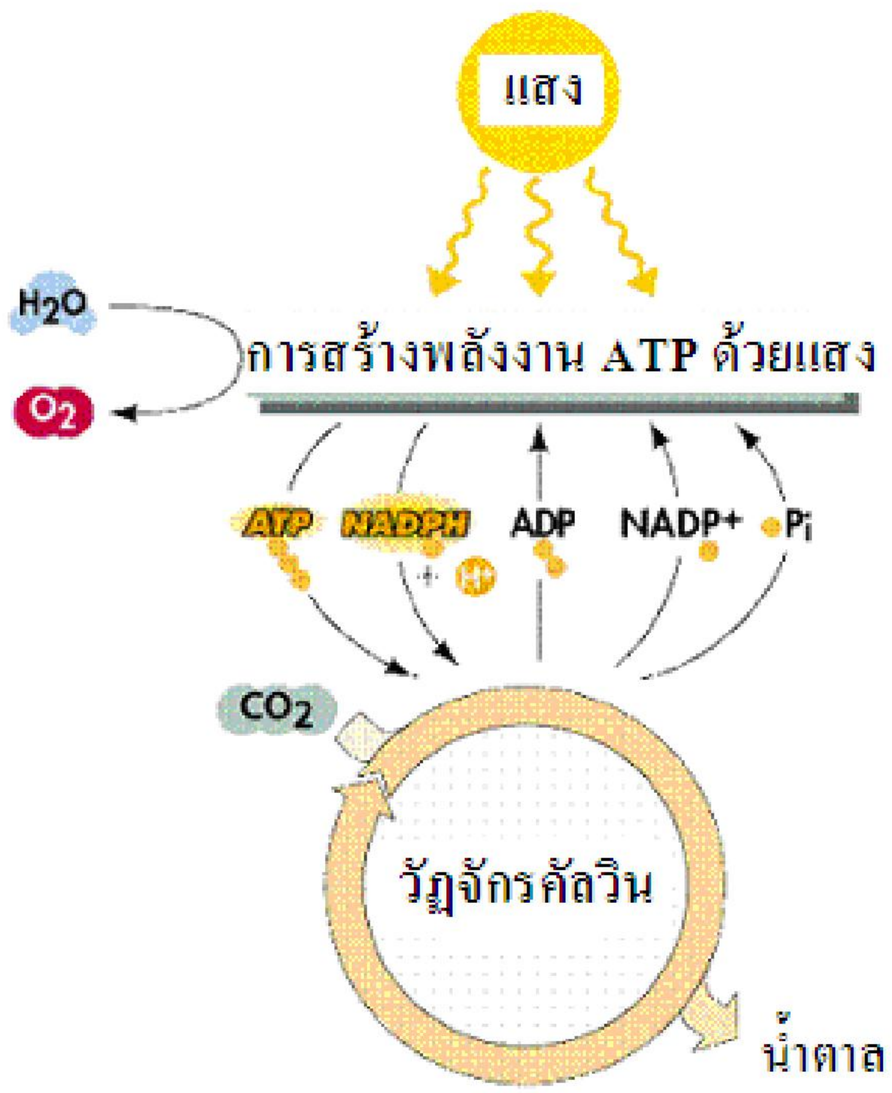
คำถามชวนคิด

น้ำตาลชนิดแรกที่เกิดจากวัฏจักรคัลวินได้แก่น้ำตาลชนิดใดและเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอนกี่อะตอม

.....

.....

ให้นักเรียนศึกษาแผนผังสรุปกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจากรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนผังสรุปกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ที่มา : www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/BIOBK/BioBookPS.html

วันที่สืบค้น 28 / 03 / 2557

คำถามชวนคิด

เพราะเหตุใดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงขั้นที่ไม่ต้องใช้แสง (dark reaction) จึงเกิดขึ้นทีหลังปฏิกิริยาขั้นที่ต้องใช้แสง (light reaction)

.....

.....

.....

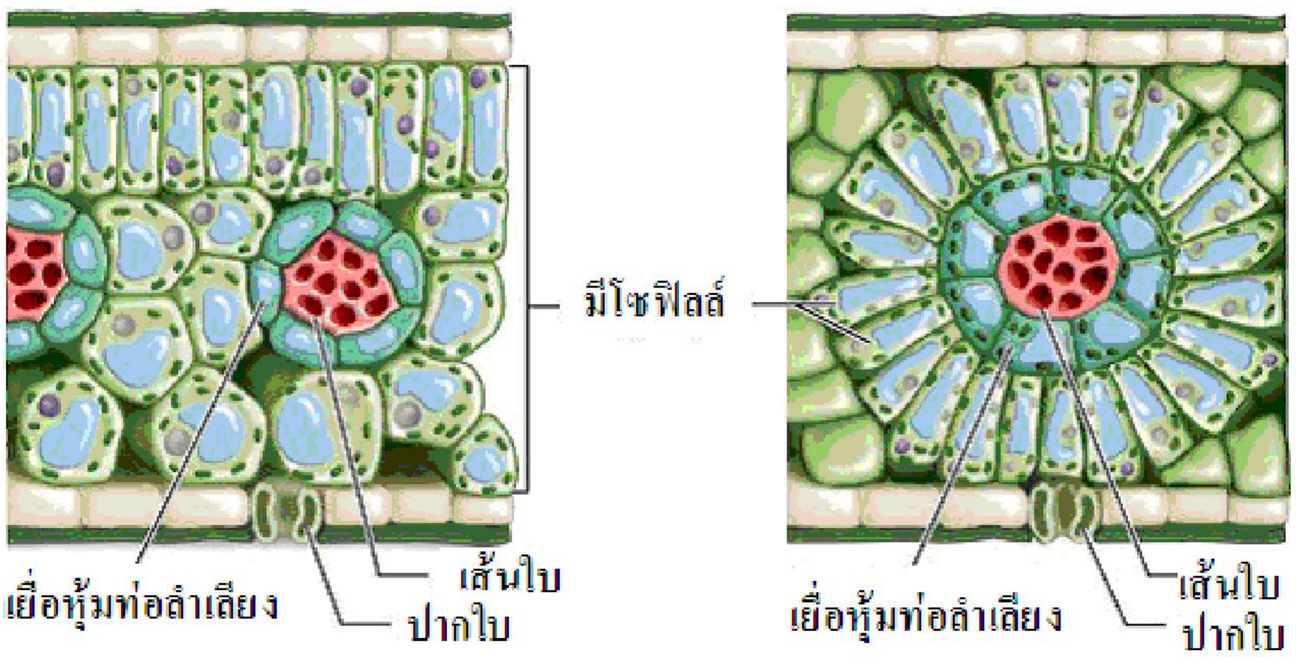
การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืชซี - 3 (C_3 - plant),พืชซี - 4 (C_4 - plant) และพืชซีเอเอ็ม (CAM- plant)

ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์น้ำตาลนั้นพบว่าพืชแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการตรึงได้ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความแตกต่างในด้านส่วนประกอบของเนื้อเยื่อของพืช การเกิดกระบวนการชีวเคมีและสรีรวิทยาภายในใบที่แตกต่างกัน

จากประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชทำให้สามารถแบ่งพืชออกเป็น3กลุ่มคือ พืช C_3(C_3- plant) พืช C_4 (C_4- plant) และพืชซีเอเอ็ม (CAM- plant)

พืช C_3(C_3- plant) เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง (bundle sheath cell) ไม่มีคลอโรพลาสต์ ตัวอย่างพืชกลุ่มนี้ ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ถั่วและพืชทั่วๆไป ชนิดอื่นเกือบทุกชนิดการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ โดยการรวมตัวกับไรบูโลสบิสฟอสเฟต (ribulose bisphosphate : RuBP) ในวัฏจักรคัลวินแล้วได้กรดฟอสโฟกลีเซอริก (phosphoglyceric acid : PGA) ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงตามวัฏจักรต่อไปจนได้น้ำตาลชนิดต่างๆ ให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างของพืช C_3 จากรูปที่ 3.8 ก

พืช C_4 (C_4- plant) การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงและเซลล์มีโซฟิลล์ เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงจะเรียงตัวกันหนาแน่นรอบๆเส้นใบ ถัดออกมาจะเป็นเซลล์มีโซฟิลล์ตัวอย่างพืชกลุ่มนี้ ได้แก่ พวกอ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง บานไม่รู้โรย เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงมีคลอโรพลาสต์ ให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างของพืช C_4 จากรูปที่ 3.8 ข



ก. พืช C_3 ข. **พืช C_4**

รูปที่ 3.8 ก. โครงสร้างของพืช C_3 ข. โครงสร้างของพืช C_4

ที่มา : www.sc.chula.ac.th/botany/eClass/2305101/photosyn_57.pdf

วันที่สืบค้น 28 / 03 / 2557

พืช C_4 มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดการตรึงที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ ครั้งที่สองเกิดที่เยื่อหุ้มท่อลำเลียง ซึ่งมีลักษณะต่างจากพืช C_3 โดยปฏิกิริยาเป็นดังนี้

1. CO_2 ทำปฏิกิริยากับกรดฟอสโฟอีนอลไพรูวิก (phosphoenol pyruvic acid : PEP) โดยมีเอนไซม์ PEP คาร์บอกซีเลส (PEP carboxylase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้กรดออกซาโลแอซิติก (oxaloacetic acid : OAA) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม ดังสมการ

$$PEP + CO_2 \xrightarrow{\text{PEP carboxylase}} OAA$$

2. กรดออกซาโลแอซิติกจะถูกรีดิวซ์โดย NADPH + H^+ ได้กรดมาลิก (malic acid) โดยการเร่งปฏิกิริยาของ เอนไซม์มาลิกดีไฮโดรจีเนส (malic dehydrogenase) ดังสมการ

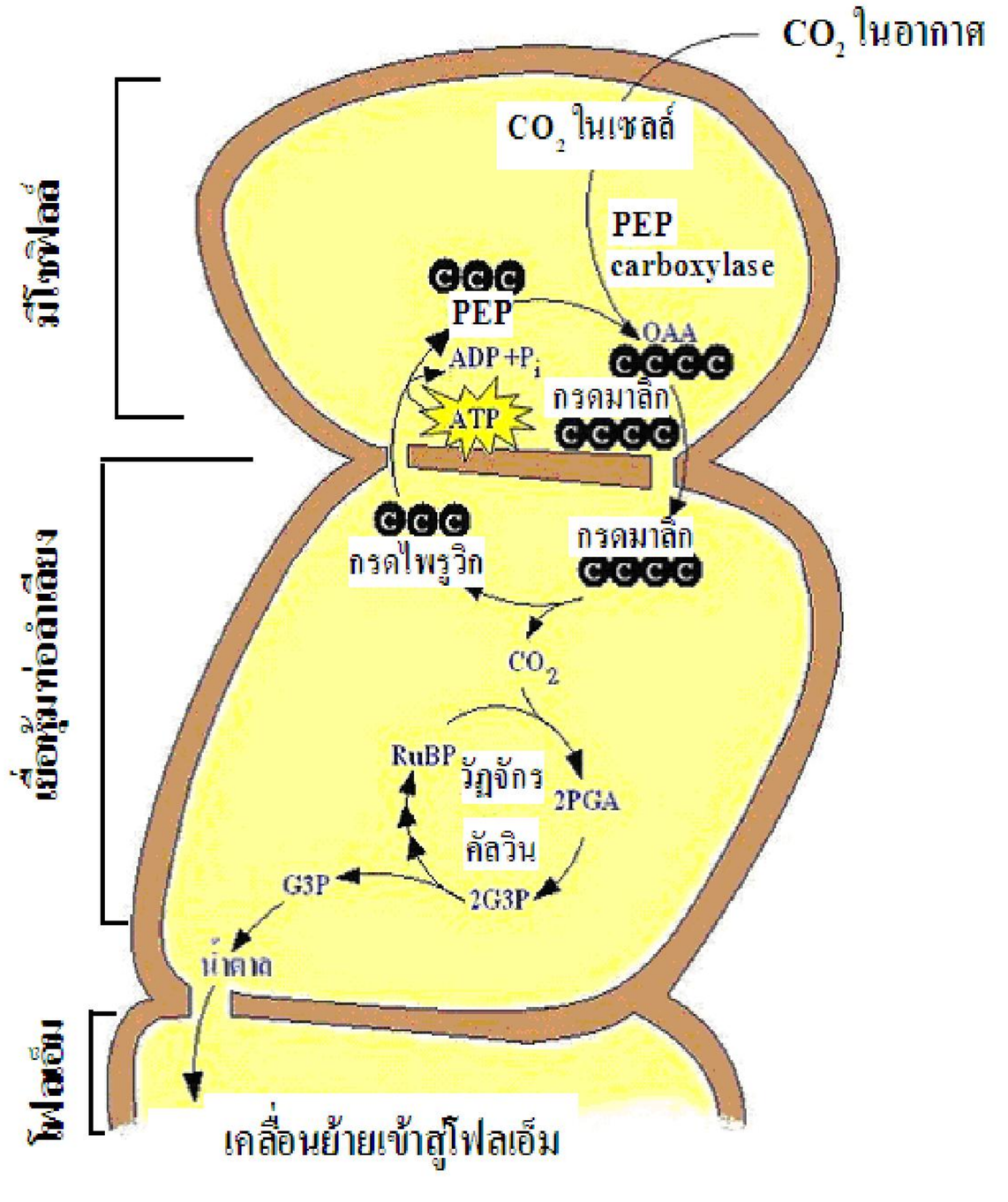
$$OAA + NADPH + H^+ \xrightarrow{\text{malic dehydrogenase}} \text{malic acid} + NADP^+$$

3. กรดมาลิกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรูวิก (pyruvic acid) และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$\text{malic acid} + NADP^+ \rightarrow \text{pyruvic acid} + CO_2 + NADPH + H^+$$

4. กรดไพรูวิกเติมฟอสเฟตโดย ATP แล้วเปลี่ยนไปเป็น PEP อีก ซึ่ง PEP จะไปรับ CO_2 โมเลกุลใหม่ได้ ส่วน CO_2 ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนกรดมาลิกเป็นกรดไพรูวิก จะถูกนำไปสังเคราะห์น้ำตาลและแป้งโดยวัฏจักรคัลวินต่อไป

ให้นักเรียนศึกษาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_4 จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_4

ที่มา : www.thaigoodview.com

วันที่สืบค้น 28 / 03 / 2557

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ CO_2 1 โมเลกุล จำเป็นต้องใช้ ATP ในการเปลี่ยนกรดไพรูวิกไปเป็น PEP ซึ่งจะกลับไปรับ CO_2 โมเลกุลต่อไปได้อีก ส่วน CO_2 ที่เกิดจากการเปลี่ยนกรดมาลิกเป็นกรดไพรูวิก ก็จะเข้าสู่วัฏจักรคิลวินเช่นเดียวกับในพืช C_3 ทั่วๆไป ในการสังเคราะห์กลูโคสแต่ละโมเลกุลจะใช้ CO_2 6 โมเลกุล ดังนั้นจึงต้องใช้ ATP ในการเปลี่ยนกรดไพรูวิกเป็น PEP 6 โมเลกุลด้วย

พืช C_4 จะมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าพืช C_3 ในหลายกรณี เช่น

1. ในขณะที่ CO_2 น้อย พืช C_4 จะใช้ PEP จับ CO_2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพและนำไปสะสมในเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง ทำให้เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงมี CO_2 เข้มข้นอยู่เสมอ

2. พืช C_4 จะเป็นพืชที่ไม่อิ่มแสง ดังนั้นเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนพืช C_3 จะมีการอิ่มแสง ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มของแสงถึงระดับหนึ่งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่เพิ่ม

3. พืช C_4 จะสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดี เมื่ออุณหภูมิสูงในช่วง 30 – 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นพืช C_4 จึงมักเป็นพืชในเขตร้อน

4. พืช C_4 มักไม่มีการหายใจเชิงแสง (photorespiration) ส่วนพืช C_3 จะมีการหายใจเชิงแสง ซึ่งจะทำให้ RuBP เปลี่ยนเป็น PGA น้อยลง ประสิทธิภาพการตรึง CO_2 จึงน้อยลงเมื่อมีการหายใจเชิงแสง

5. พืช C_4 จะไม่ตอบสนองต่อปริมาณการเพิ่มของออกซิเจน ส่วนพืช C_3 จะตอบสนองต่อออกซิเจน โดยเมื่อมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลง ส่วนพืช C_4 ไม่มีผล

การหายใจเชิงแสง (photorespiration)

การหายใจเชิงแสงเกิดโดยเอนไซม์รูบิสโก (rubisco enzyme) ซึ่งอยู่ในสโตรมาของคลอโรพลาสต์สามารถกระตุ้นให้ RuBP ตรึงได้ทั้ง CO_2 และ O_2 โดยถ้าเร่งการตรึง CO_2 จะได้ PGA 2 โมเลกุล ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่อยู่ตัวชนิดแรกสุดในวัฏจักรคัลวิน แต่ถ้าเร่ง RuBP ให้ตรึง O_2 จะได้ PGA 1 โมเลกุล และฟอสโฟไกลโคเลต (phosphoglycolate) 1 โมเลกุล ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการหายใจเชิงแสง ดังสมการ

$$RuBP + CO_2 \xrightarrow{\text{เอนไซม์รูบิสโก}} 2\ PGA$$

$$RuBP + O_2 \xrightarrow{\text{เอนไซม์รูบิสโก}} PGA + phosphoglycolate$$

จากคุณสมบัติในการตรึง O_2 ของเอนไซม์รูบิสโก ทำให้ความสามารถในการตรึง CO_2 ในการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชหลายชนิดลดลง เนื่องจาก O_2 เข้าแข่งขันกับ CO_2 ในการเข้าทำปฏิกิริยากับ RuBP ในบรรยากาศปกติทั่วๆไป การตรึง CO_2 และ O_2 จะดำเนินไปพร้อมๆกัน โดยมีสัดส่วนการตรึง CO_2 ต่อการตรึง O_2 เท่ากับ 3 : 1 สัดส่วนนี้เปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับความเข้มข้นของ CO_2 และ O_2 ในเซลล์

การหายใจเชิงแสงมีหลักสำคัญคือ ถ้าเกิดวัฏจักรการหายใจเชิงแสงต่อเนื่องเรื่อยๆ จะทำให้ RuBP กลายเป็น CO_2 ทั้งหมด โดยไม่มีการเก็บพลังงานไว้ใช้ประโยชน์แต่กลับใช้พลังงานไปอย่างเดียว เนื่องจากมีการใช้ O_2 มีการสลายคาร์โบไฮเดรตและมีการปล่อย CO_2 ออกมาซึ่งคล้ายกับการหายใจ เพียงแต่การหายใจเชิงแสงเกิดเฉพาะเวลามีแสงสว่างเท่านั้น เนื่องจากเอนไซม์รูบิสโกทำงานเฉพาะเวลามีแสง จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า การหายใจเชิงแสง อย่างไรก็ตามเอนไซม์รูบิสโกมีความไวต่อ CO_2 สูงกว่า O_2 ดังนั้นจึงเกิดการตรึง CO_2 มากกว่าการหายใจเชิงแสง ทำให้พืช C_3 เจริญเติบโตได้ ถ้าเอนไซม์รูบิสโกมีความไวต่อ CO_2 และ O_2 เท่ากัน พืช C_3 จะไม่สามารถเจริญได้ เพราะความหนาแน่นของ CO_2 ในบรรยากาศปกติ น้อยกว่าความหนาแน่นของ O_2

พืชซีเอเอ็ม (crassulacean acid metabolism : CAM- plant) เป็นพืชที่ตรึง CO_2 ในเวลากลางคืน เนื่องจากปากใบเปิดเวลากลางคืนและปากใบปิดในเวลากลางวัน เป็นพืชทนแล้ง อวบน้ำ ตัวอย่างพืชกลุ่มนี้ ได้แก่ กระบองเพชร ว่านหางจระเข้ สับปะรด ป่านศรนารายณ์ กล้วยไม้ เป็นต้น โดยกรดฟอสโฟอีนอลไพรูวิก (phosphoenol pyruvic acid : PEP) จะตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นกรดออกซาโลแอซิติก (oxaloacetic acid) แล้วเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก (malic acid) เก็บสะสมในถุงแวคิวโอล (vacuole) พอเวลากลางวันกรดมาลิกจะปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่วัฏจักรคัลวินต่อไป

ตารางเปรียบเทียบพืช C_3 พืช C_4 และพืชซีเอเอ็ม

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืชซีเอเอ็ม
1. จำนวนครั้งของการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์	1 ครั้ง	2 ครั้ง	2 ครั้ง
2. สารที่ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และตำแหน่งที่เกิดการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์	ไรบูโลสบิสฟอสเฟต (RuBP) ตรึงในเซลล์มีโซฟิลล์	กรดฟอสโฟอีนอลไพรูวิก (PEP) ตรึงในเซลล์มีโซฟิลล์ และ ไรบูโลสบิสฟอสเฟต ตรึงในเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง	ทั้ง PEP และ RuBP ตรึงในเซลล์มีโซฟิลล์
3. การตรึง คาร์บอนไดออกไซด์ ของ PEP เกิดขึ้นในเวลา	-	กลางวัน	กลางคืน
4. การตรึง คาร์บอนไดออกไซด์ ของ RuBP เกิดขึ้นในเวลา	กลางวัน	กลางวัน	กลางวัน
5. สารตัวแรกที่เกิดจากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์	กรดฟอสโฟกลีเซอริก (PGA) มีคาร์บอน 3 อะตอม (3C)	กรดออกซาโล แอซิติก (OAA) มีคาร์บอน 4 อะตอม (4C)	กรดออกซาโล แอซิติก (OAA) มีคาร์บอน 4 อะตอม (4C)
6. การเกิดวัฏจักรคัลวิน	เกิด	เกิด	เกิด
7. ฟอสโฟกลีเซอรัลดีไฮด์ (phosphoglyceraldehyde : PGAL)	เกิดในทุกเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์	เกิดในเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง	เกิดในทุกเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์
8. เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง	อาจมีหรือไม่มี	มี	ไม่มี
9. คลอโรพลาสต์ในเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง	อาจมีหรือไม่มี	มี	-
10. การหายใจเชิงแสง (photorespiration)	มี	มีน้อยมาก	มี
11. ประสิทธิภาพของการใช้น้ำต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล	ต่ำ เพราะใช้น้ำมากต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล	สูง เพราะใช้น้ำน้อยต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล	สูงมาก

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืชซีเอเอ็ม
12. ตัวอย่างพืช	พืชทั่วๆไป เช่น มะม่วง กล้วย มะขาม	พืชเมืองร้อน เช่น อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หญ้าแห้วหมู หญ้าแพรก ผักโขมจีน	พืชที่สามารถเจริญเติบโตในที่แห้งแล้ง เช่น กระบองเพชร สับปะรด กล้วยไม้ ป่านศรนารายณ์ กุหลาบหิน คว่ำตาย หงายเป็น

คำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
เรื่อง ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

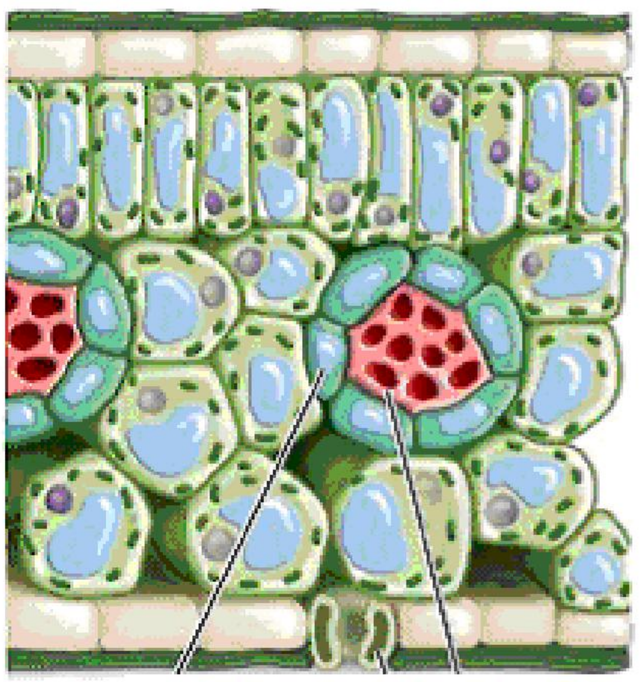
1. นักเรียนคิดว่าบานไม่รู้โรยกับชบามีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร (ทักษะการจำแนกแยกแยะ)

.....

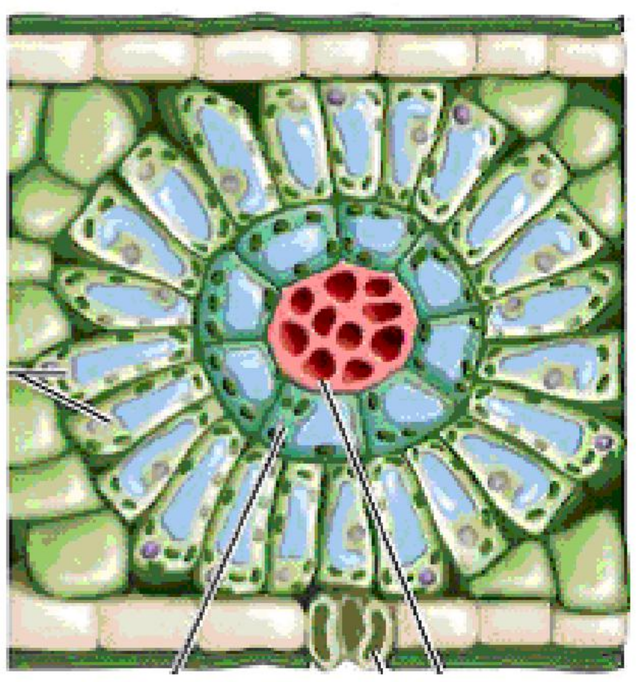
.....

.....

2. พืชที่มีโครงสร้างดังภาพ ก มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างจากพืชที่มีโครงสร้างดังภาพ ข อย่างไร (ทักษะการเปรียบเทียบ)



ภาพ ก



ภาพ ข

.....

.....

.....

3. ให้นักเรียนเปรียบเทียบสารตัวแรกที่เกิดจากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM (ทักษะการเปรียบเทียบ)

.....

.....

.....

.....

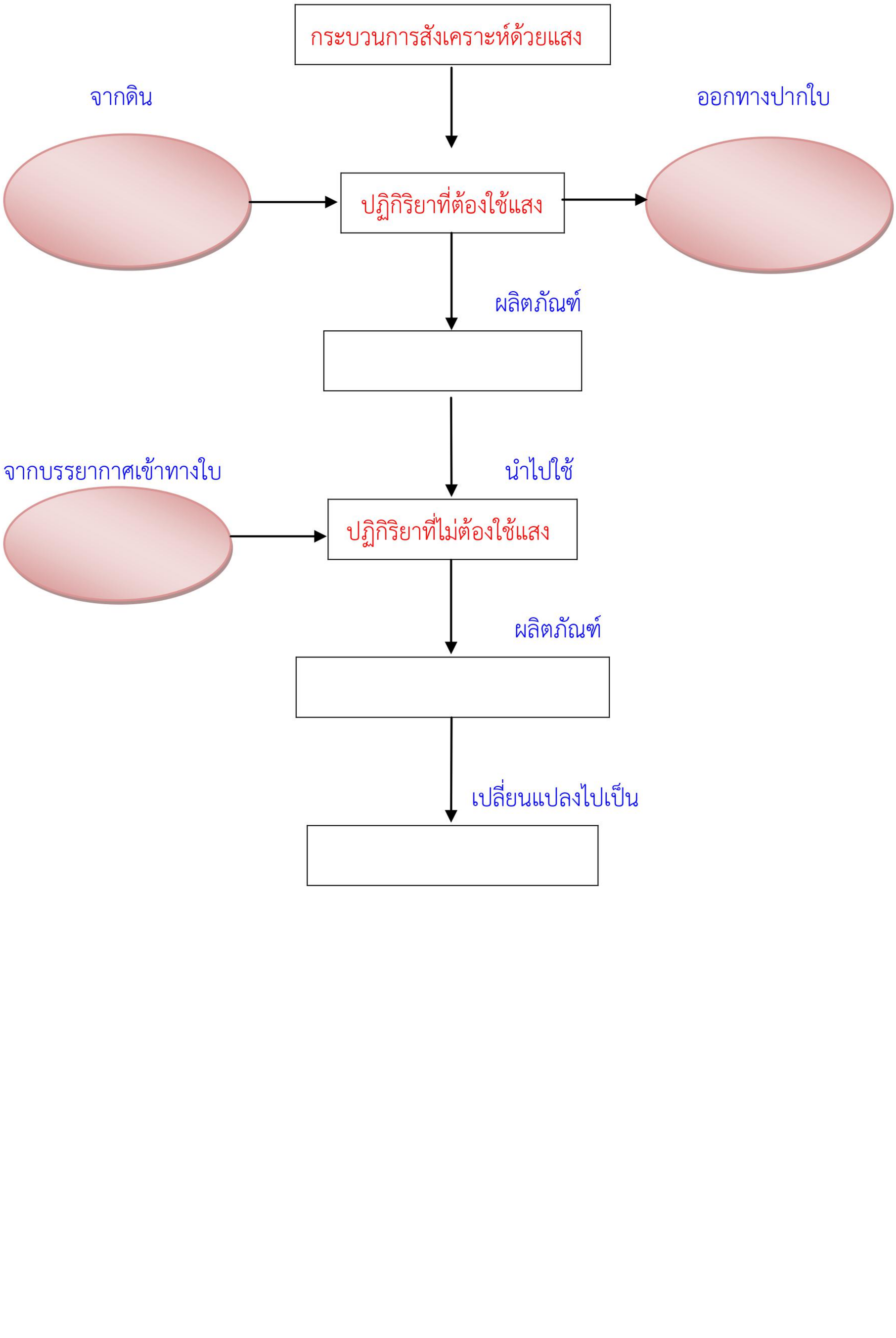
4. นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดพืช C_4 จึงมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าพืช C_3 (ทักษะการให้เหตุผล)

.....

.....

.....

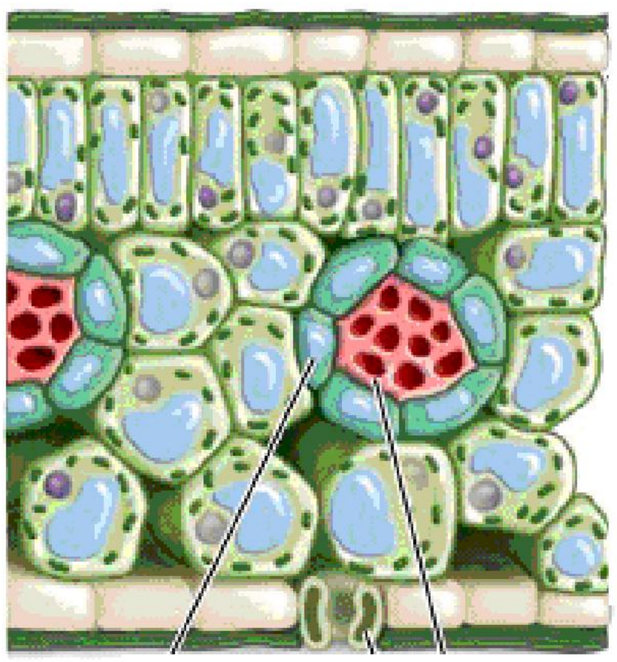
5. ให้นักเรียนเติมข้อความลงในช่องว่างตามแผนผังความคิดเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงให้ถูกต้อง (ทักษะการเห็นความสัมพันธ์)



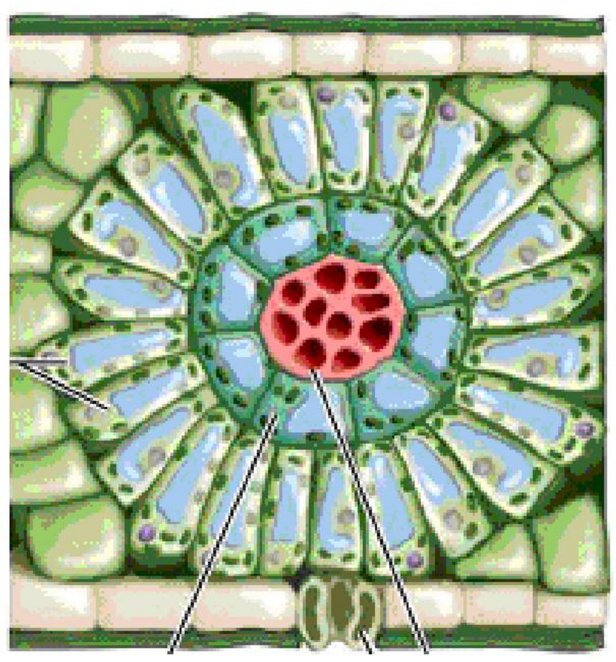
แบบฝึกกิจกรรมที่ 2
เรื่อง ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง

คำชี้แจง 1. แบบฝึกหัดมีทั้งหมด 10 ข้อ 10 คะแนน
2. การตอบคำถามแต่ละข้อต้องตอบให้ครอบคลุมและถูกต้องตามข้อคำถามจึงจะได้คะแนนเต็ม ในข้อนั้น หากตอบถูกแต่ไม่ครอบคลุมข้อคำถามจะได้คะแนนครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็ม

1. ภาพใดเป็นโครงสร้างของพืช C_3 และ พืช C_4 และโครงสร้างภายในของพืช C_3 และ พืช C_4 แตกต่างกันอย่างไร



ภาพ ก



ภาพ ข

.....

.....

.....

2. การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 พืช C_4 และ พืช CAM แตกต่างกันอย่างไร

.....

.....

.....

3. ประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 และ C_4 แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

4. ผลิตภัณฑ์ตัวแรกของพืชที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_4 คือสารใดและมีจำนวนคาร์บอนกี่อะตอม

.....

.....

.....

5. จงอธิบายหลักการในการจำแนกพืชออกเป็นพืช C_3 และพืช C_4

.....

.....

.....

6. ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงเกิดขึ้นที่บริเวณใดของคลอโรพลาสต์

.....

.....

.....

7. ผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงได้แก่

.....

.....

.....

8. กระบวนการสร้างน้ำตาลของปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงต้องอาศัยสารใดบ้าง

.....

.....

.....

9. สารประกอบที่จะมารวมกับ CO_2 ในวัฏจักรคัลวินได้แก่สารใด

.....

.....

.....

10. สารประกอบที่มีคาร์บอนตัวแรกที่คงตัวในวัฏจักรคัลวินได้แก่สารใด

.....

.....

.....

..

แบบทดสอบหลังเรียน

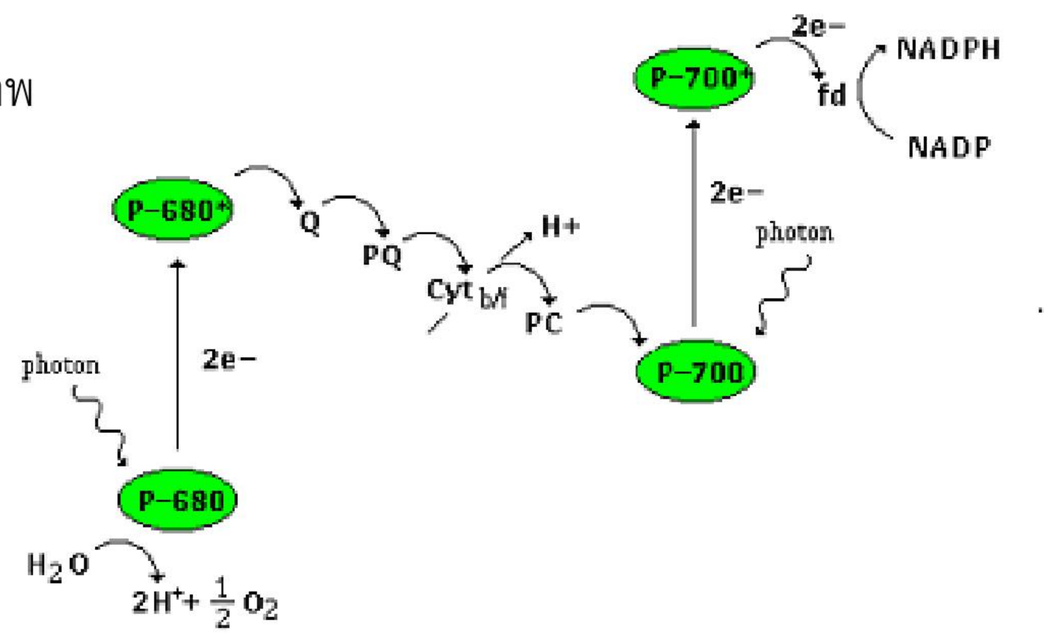
ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ หน่วย การสังเคราะห์ด้วยแสง
ชุดที่ 3 เรื่อง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
ข้อสอบ 10 ข้อ เวลา 10 นาที คะแนนเต็ม 10 คะแนน
คำสั่ง : ให้นักเรียนทำเครื่องหมายกากบาท (X) ทับข้อที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพืช C_4
   ก. ตัวอย่างพืชกลุ่มนี้ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ถั่วและพืชทั่วไป
   ข. การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์ เท่านั้น
   ค. เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงมีคลอโรพลาสต์
   ง. ก และ ข

2. ข้อใดเป็นน้ำตาลชนิดแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคัลวิน
   ก. PGA
   ข. PGAL
   ค. RuBP
   ง. OAA

3. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพืช พืช C_3
   ก. เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง (bundle sheath cell) ไม่มีคลอโรพลาสต์
   ข. พืช C_3 ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่าง บานไม่รู้โรย และพืชทั่วๆไป
   ค. การตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์
   ง. สารที่ทำหน้าที่ตรึง CO_2 คือ RuBP

4. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับภาพ



   ก. มีระบบแสงเกี่ยวข้อง 1 ระบบ
   ข. มีระบบแสงเกี่ยวข้อง 2 ระบบ
   ค. ผลลัพธ์ที่ได้คือ ATP, NADPH $+H^+$, O_2
   ง. ข และ ค ถูก

5. ข้อใดแสดงลำดับการให้อิเล็กตรอนในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรได้ถูกต้อง

ก. น้ำ ----> ระบบแสง 2 ----> ระบบแสง 1 ----> NADP

ข. น้ำ ----> ระบบแสง 1 ----> ระบบแสง 2 ----> NADP

ค. ระบบแสง 1 ----> น้ำ ----> ระบบแสง 2 ----> NADP

ง. ระบบแสง 2 ----> น้ำ ----> ระบบแสง 2 ----> NADP

6. กระบวนการใดของการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ต้องใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ก. light reaction

ข. dark reaction

ค. Hill' s reaction

ง. ถูกทุกข้อ

7. สารใดที่ทำหน้าที่ตรึง CO_2 ในวัฏจักรคัลวิน

ก. OAA

ข. PGA

ค. PGAL

ง. RuBP

8. ปฏิกิริยาในช่วงใดของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ให้ออกซิเจนออกมา

ก. dark reaction

ข. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร

ค. การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร

ง. ข และ ค ถูก

9. สารประกอบ RuBP ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีบทบาทเปรียบเทียบได้กับอินทรีย์สารชนิดใดในวัฏจักรเครบส์ของกระบวนการหายใจระดับเซลล์

ก. กรดซิตริก

ข. กรดไพรูวิก

ค. แอซิติลโคเอนไซม์ เอ

ง. กรดออกซาโลแอซิติก

10. สารใดที่จะถูกนำไปใช้ใน dark reaction

ก. ATP

ข. ATP และ $NADH + H^+$

ค. PGA

ง. ATP และ $NADPH + H^+$

แนวการตอบคำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
เรื่อง ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) (ทักษะการจำแนกแยกแยะ)

แนวการตอบ คลอโรฟิลล์ a , เฟอร์ริดอกซิน , ไซโทโครม b , ไซโทโครม f , พลาสโทไซยานิน

2. ปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) (ทักษะการจำแนกแยกแยะ)

แนวการตอบ คลอโรฟิลล์ a , เฟอร์ริดอกซิน , $NADP^+$, $NADPH + H^+$, ฟีโอไฟทิน , พลาสโทควิโนน , ไซโทโครม b , ไซโทโครม f , พลาสโทไซยานิน

3. ผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) และการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร (ทักษะการเปรียบเทียบ)

แนวการตอบ

การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร	การถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร
1. เกี่ยวข้องกับระบบแสง I	1. เกี่ยวข้องกับระบบแสง I และระบบแสง II
2. อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากคลอโรฟิลล์ของระบบ แสง I จะกลับสู่ที่เดิม	2. อิเล็กตรอนที่หลุดไปจะไม่กลับมาที่เดิม แต่จะมีอิเล็กตรอนจากระบบแสง II มาแทนที่
3. มีการสร้าง ATP 1 โมเลกุล	3. มีการสร้าง ATP 2 โมเลกุล
4. ไม่มีการสร้าง $NADPH+H^+$	4. มีการสร้าง $NADPH+H^+$
5. ไม่มีแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้น	5. มีแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้น
6. ไม่มีการแยกสลายด้วยแสง (photolysis)	6. มีการแยกสลายด้วยแสง (photolysis)
7. ใช้สารสีในระบบแสง I	7. ใช้สารสีในระบบแสง I และระบบแสง II

4. ลำดับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) เป็นอย่างไร (ทักษะการเห็นความสัมพันธ์)

แนวการตอบ น้ำ → ระบบแสง II → ระบบแสง I → $NADP^+$

5. สารที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงและจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงได้แก่สารใด (ทักษะการเห็นความสัมพันธ์)

แนวการตอบ น้ำ → ระบบแสง II → ระบบแสง I → $NADP^+$

6. ถ้าไม่มีแสง กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ เพราะเหตุใด (ทักษะการให้เหตุผล)

แนวการตอบ ไม่ เหตุผลอยู่ในดุลพินิจของครูผู้สอน

แนวเฉลยแบบฝึกกิจกรรมที่ 1
เรื่องปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง

****

คำชี้แจง 1. แบบฝึกหัดมีทั้งหมด 10 ข้อ 10 คะแนน เวลา 20 นาที

2. การตอบคำถามแต่ละข้อต้องตอบให้ครอบคลุมและถูกต้องตามข้อคำถาม จึงจะได้คะแนนเต็มในข้อนั้นหากตอบถูกแต่ไม่ครอบคลุมข้อคำถามจะได้คะแนนครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็ม

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) ได้แก่

แนวการตอบ ATP

2. ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) ได้แก่

แนวการตอบ ออกซิเจน ATP และ $NADPH+H^+$

3. ให้นักเรียนเรียงลำดับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer)

แนวการตอบ จะมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปในทางเดียวคือจาก

น้ำ ----> ระบบแสง II -------> ระบบแสง I -------> $NADP^+$

4. พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่คลอโรฟิลล์ดูดซับไว้จะถูกนำไปใช้เพื่ออะไร

แนวการตอบ ทำให้โมเลกุลของน้ำแตกตัว

5. กระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) เกี่ยวข้องกับระบบแสงใด

แนวการตอบ ระบบแสง I (photosystem I) เท่านั้น

6. กระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (noncyclic electron transfer) เกี่ยวข้องกับระบบแสงใด

แนวการตอบ ทั้งระบบแสง I (photosystem I)

และระบบแสง II (photosystem II)

7. อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากสารสีระบบแสง II จะเข้าสู่สารสีระบบแสง I ทันทีได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวการตอบ ไม่ได้ เพราะระดับพลังงานของอิเล็กตรอนยังสูงอยู่ ต้องผ่านตัวนำอิเล็กตรอนเป็น ลำดับเพื่อให้ระดับพลังงานอิเล็กตรอนลดลงจนกระทั่งสามารถเข้าสู่ระบบแสง I ได้

8. ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงขั้นตอนที่ใช้แสงจะต้องประกอบด้วยปัจจัยในข้อใด

แนวการตอบ จะต้องประกอบด้วย แสง คลอโรฟิลล์และน้ำ

9. การแยกสลายด้วยแสง (photolysis) ของการสังเคราะห์ด้วยแสงกับกระบวนการหายใจเหมือนกัน อย่างไร

แนวการตอบ ให้ ATP เหมือนกัน

10. สารที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง และจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง คือสารใด

แนวการตอบ ATP และ $NADPH + H^+$

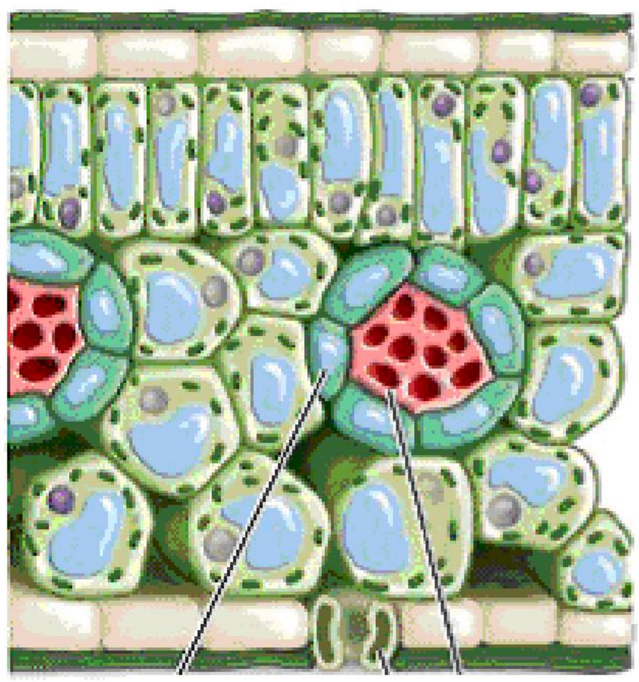
แนวการตอบคำถามเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
เรื่อง ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

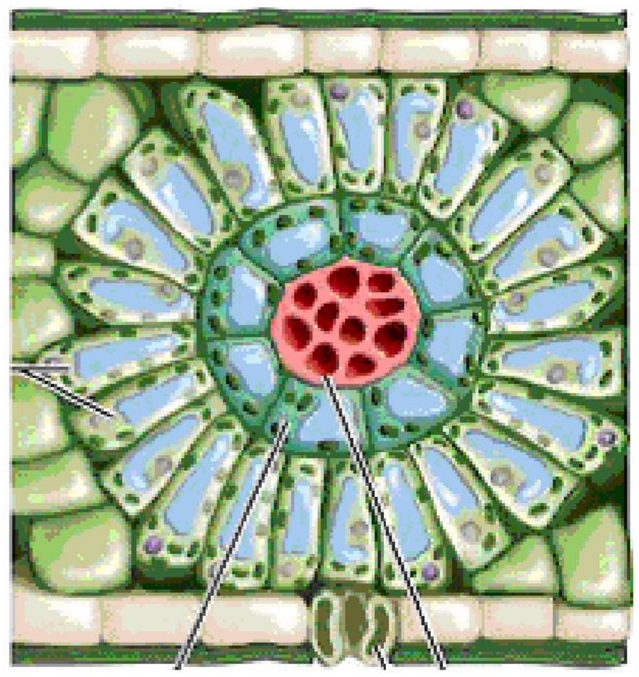
1. นักเรียนคิดว่าบานไม่รู้โรยกับชบามีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร (ทักษะการจำแนกแยกแยะ)

แนวคำตอบ อยู่ในดุลพินิจของครูผู้สอน

2. พืชที่มีโครงสร้างดังภาพ ก มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างจากพืชที่มีโครงสร้างดังภาพ ข อย่างไร (ทักษะการเปรียบเทียบ)



ภาพ ก



ภาพ ข

แนวคำตอบ อยู่ในดุลพินิจของครูผู้สอน

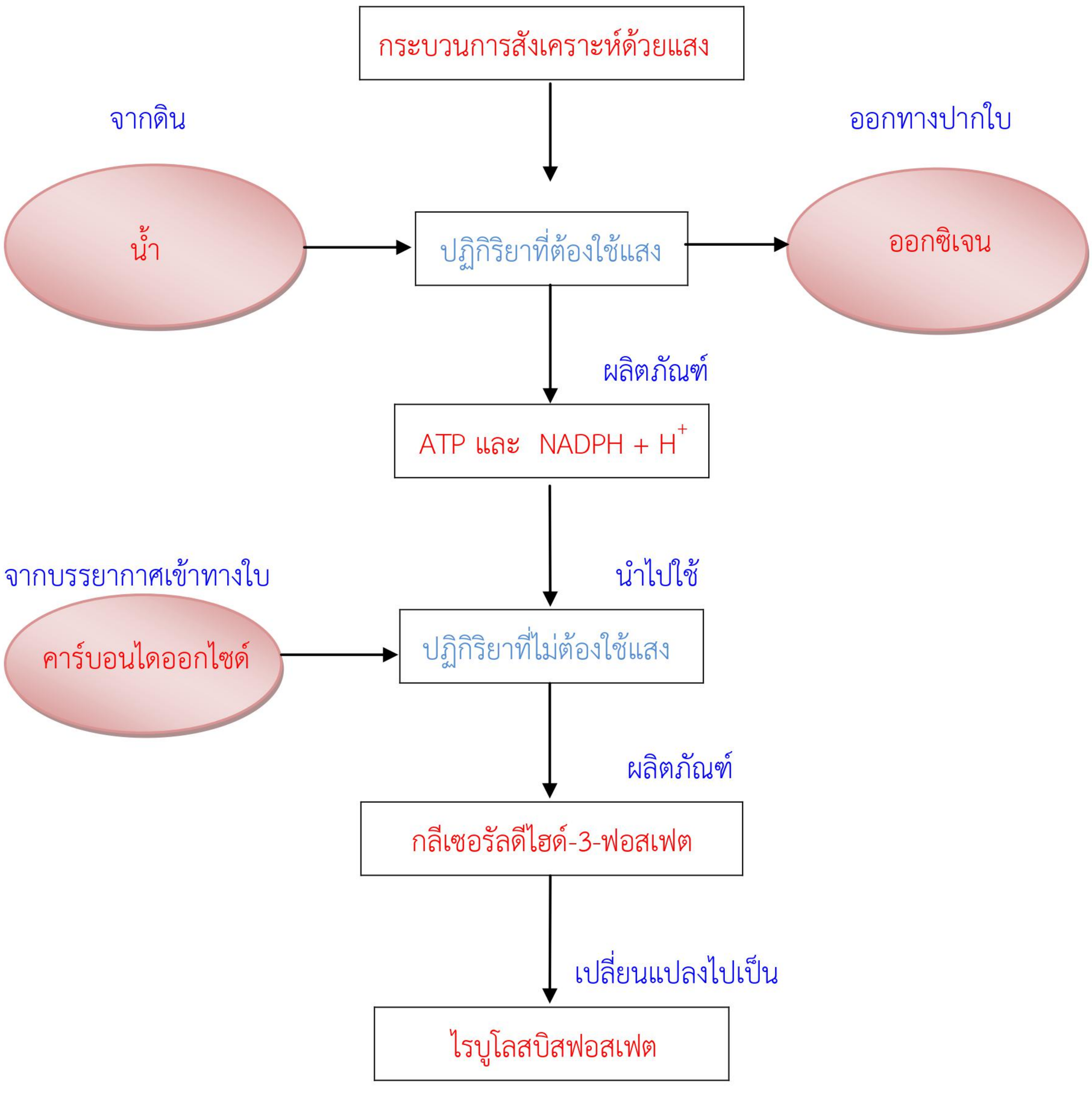
3. ให้นักเรียนเปรียบเทียบสารตัวแรกที่เกิดจากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM (ทักษะการเปรียบเทียบ)

แนวคำตอบ อยู่ในดุลพินิจของครูผู้สอน

4. นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดพืช C_4 จึงมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าพืช C_3 (ทักษะการให้เหตุผล)

แนวคำตอบ อยู่ในดุลพินิจของครูผู้สอน

5. ให้นักเรียนเติมข้อความลงในช่องว่างตามแผนผังความคิดเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงให้ถูกต้อง (ทักษะการเห็นความสัมพันธ์)



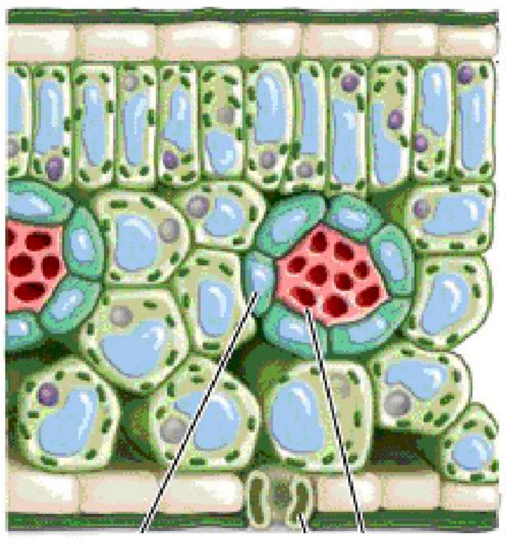
แนวเฉลยแบบฝึกกิจกรรมที่ 2

เรื่องปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

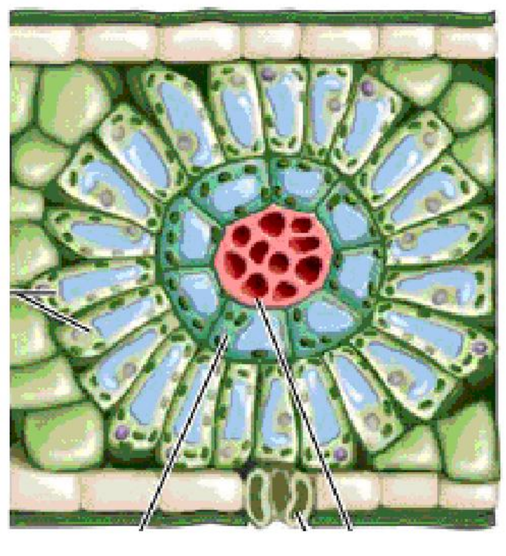
ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ภาพใดเป็นโครงสร้างของพืช C_3 และ พืช C_4 และโครงสร้างภายในของพืช C_3 และพืช C_4 แตกต่างกัน อย่างไร



ภาพ ก



ภาพ ข

แนวการตอบ ภาพ ก เป็นพืช C_3

ภาพ ข เป็นพืช C_4

เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง (bundle sheath cell) ของพืช C_3 ไม่มีคลอโรพลาสต์
ส่วนเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง (bundle sheath cell) ของพืช C_4 มีคลอโรพลาสต์

2. การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 พืช C_4 และ พืช CAM แตกต่างกันอย่างไร

แนวการตอบ พืช C_3 มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพียงครั้งเดียวที่ชั้นมีโซฟิลล์ของใบ พืช C_4 มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกตรึงที่ชั้นมีโซฟิลล์และครั้งที่ 2 ตรึงที่เซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียง พืช CAM เป็นพืชที่ตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเวลากลางคืน เนื่องจากปากใบเปิดเวลากลางคืน มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง โดยกรดฟอสโฟอีนอลไพรูวิก (phosphoenol pyruvic acid : PEP) จะตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นกรดออกซาโลแอซิติก (oxaloacetic acid) แล้วเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก (malic acid) เก็บสะสมในถุงแวคิวโอล (vacuole) พอเวลากลางวันกรดมาลิกจะปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่วัฏจักรคัลวินต่อไป

3. ประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_3 และ C_4 แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

แนวการตอบ แตกต่างกัน พืช C_4 มีประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าพืช C_3

4. ผลิตภัณฑ์ตัวแรกของพืชที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_4 คือสารใดและมีจำนวนคาร์บอนกี่อะตอม

แนวการตอบ คือกรดออกซาโลแอซิติก (oxaloacetic acid) ซึ่งมีคาร์บอน 4 อะตอม

5. จงอธิบายหลักการในการจำแนกพืชออกเป็นพืช C_3 และพืช C_4

แนวการตอบ โดยยึดจากผลิตภัณฑ์ตัวแรกของพืชที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น พืช C_3 ผลิตภัณฑ์ตัวแรกที่อยู่ตัวมีจำนวนคาร์บอน 3 อะตอม คือ PGA ส่วนพืช ที่จัดเป็นพวก C_4 ผลิตภัณฑ์ตัวแรกของที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์คือสารออกซาโลแอซิติก ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน 4 อะตอม

6. ปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงเกิดขึ้นที่บริเวณใดของคลอโรพลาสต์

แนวการตอบ บริเวณของเหลวที่เรียกว่าสโตรมา (stroma)

7. ผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงได้แก่

แนวการตอบ น้ำตาล

8. กระบวนการสร้างน้ำตาลของปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสงต้องอาศัยสารใดบ้าง

แนวการตอบ ATP และ $NADPH+H^+$ จากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง

9. สารประกอบที่จะมารวมกับ CO_2 ในวัฏจักรคัลวินได้แก่สารใด

แนวการตอบ RuBP

10. สารประกอบที่มีคาร์บอนตัวแรกที่คงตัวในวัฏจักรคัลวินได้แก่สารใด

แนวการตอบ คือ PGA

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน
เรื่องปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

****

ก่อนเรียน		หลังเรียน	
ข้อ 1	ง	ข้อ 1	ง
ข้อ 2	ข	ข้อ 2	ข
ข้อ 3	ง	ข้อ 3	ข
ข้อ 4	ข	ข้อ 4	ง
ข้อ 5	ง	ข้อ 5	ก
ข้อ 6	ค	ข้อ 6	ข
ข้อ 7	ง	ข้อ 7	ง
ข้อ 8	ง	ข้อ 8	ค
ข้อ 9	ข	ข้อ 9	ง
ข้อ 10	ก	ข้อ 10	ง

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. หนังสือแบบเรียนวิชาชีววิทยาเพิ่มเติม เล่ม 3 . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว. 2551.

ณิชช์ชน ชื่นชุมพวง. คู่มือเตรียมสอบชีววิทยา ม. 4-5-6 Entrance. กรุงเทพฯ : บริษัท ไอ.คิว. บุ๊คเซนเตอร์ จำกัด. 2541.

ประสงค์ หลำสะอาดและจิตเกษม หลำสะอาด. คู่มือ ENTRANCE ระบบใหม่ ชีววิทยา ม. 4-5-6. กรุงเทพฯ : พ.ศ. พัฒนาจำกัด. 2546.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์และคณะ. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ชีววิทยาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. กรุงเทพฯ : บริษัทพัฒนาคุณภาพวิชาการ. 2548.

พัชรี พิพัฒน์วรกุล. รวมหลักชีววิทยาม.ปลาย เล่ม 2 (ฉบับสมบูรณ์) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซนเตอร์, 2543.

ราชบัณฑิตยสถาน. ศัพท์พฤกษศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน. 2546.

ราชบัณฑิตยสถาน. ศัพท์วิทยาศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. พิมพ์ครั้งที่ 5. (แก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน. 2546.

สมาน แก้วไวยุทธ. 100 จุดเน้น ชีววิทยา ม. 4-5-6. กรุงเทพฯ : บริษัทไฮเอ็ดพับลิชชิ่ง จำกัด, 2537.

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. สรีรวิทยาการพัฒนาการพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : คลังนานาวิทยา, 2544.

www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/BIOBK/BioBookPS.html

www.il.mahidol.ac.th/e-media/science4/plant/extra.htm

www.psuwit.psu.ac.th

www.sc.chula.ac.th/botany/eClass/2305101/photosyn_51.pdf

www.thaigoodview.com

http://3.bp.blogspot.com