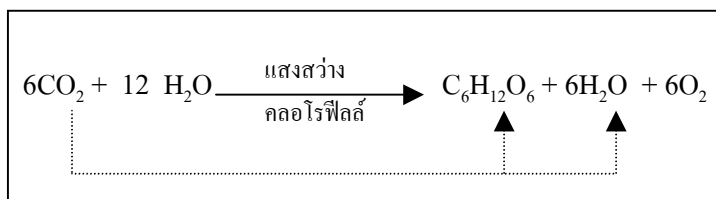


การสังเคราะห์ด้วยแสง

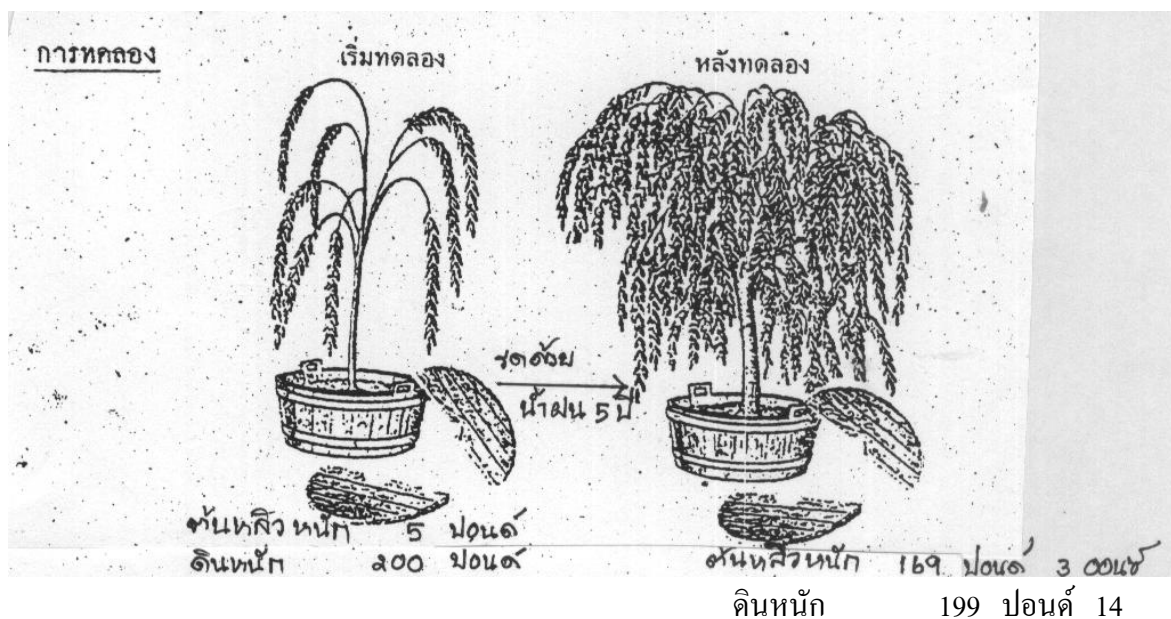
การสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) หมายถึง การที่พืชสีเขียวสร้างคาร์โบไฮเดรตจากน้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้พลังงานจากแสง และคลอโรฟิลล์เป็นตัวรับพลังงานจากแสง ในการนี้เกิดน้ำและแก๊สออกซิเจนด้วย

สมการการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช



การค้นคว้าเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ประมาณ ค.ศ.1648 มีการพิมพ์ผลงานของ ฌอง แบปติสท์ แวน เฮลมอนต์ (Jean Baptist Van Helmont) นักวิทยาศาสตร์ชาวเบลเยียม

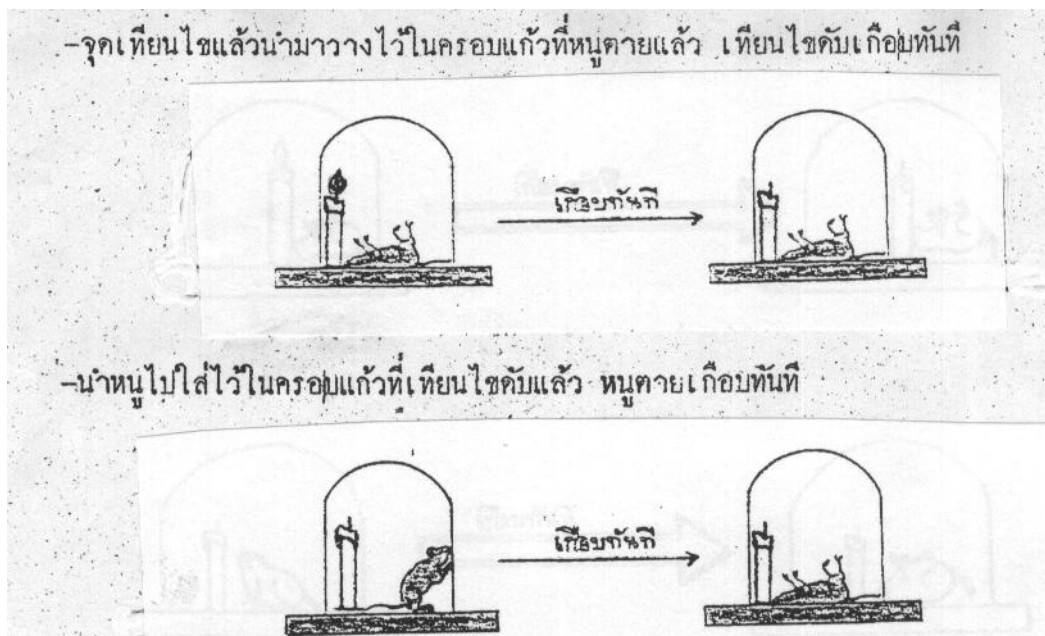
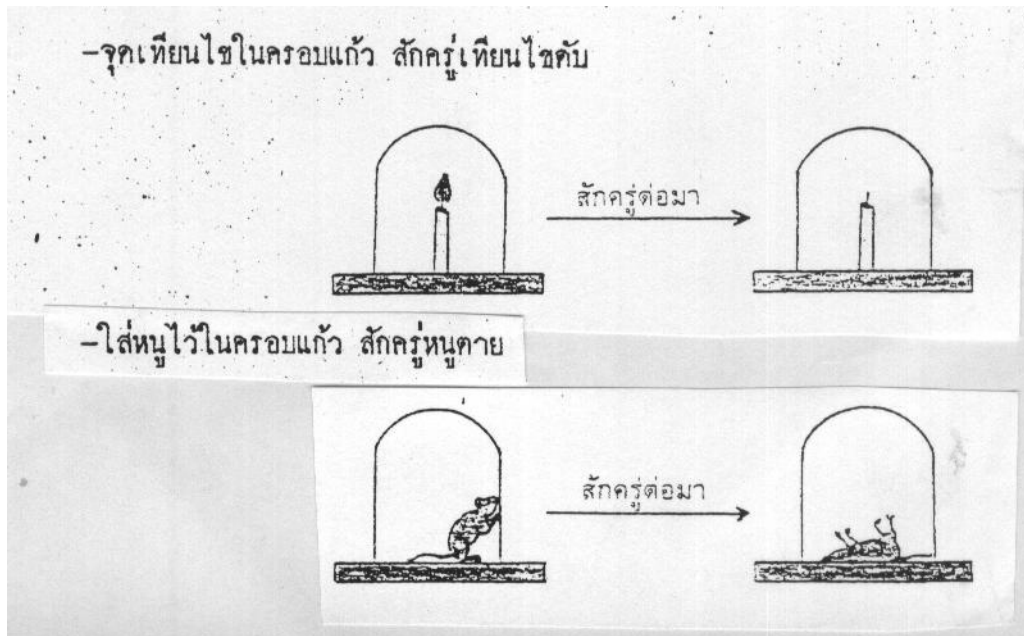


ออนซ์

เขลมองต์สรุปว่า น้ำหนักของฟิซที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจาก “น้ำ”

ปี ค.ศ.1772 โจเซฟ ปริสทลีย์ (Joseph Prisley)

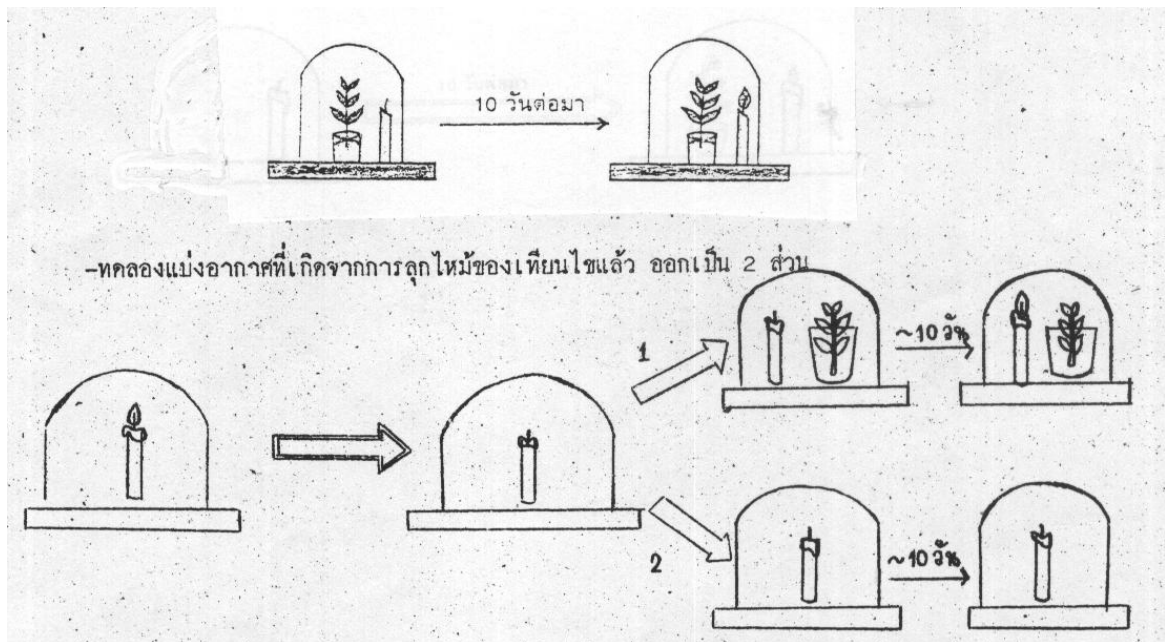
ทำการทดลอง



ตั้งสมมติฐาน

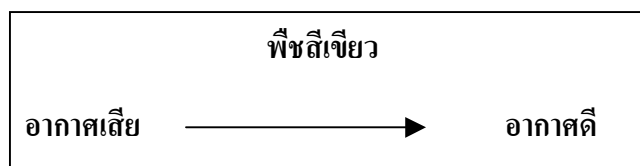
อากาศที่หนูใช้ในการหายใจ กับอากาศที่ช่วยในการลุกไหม้ของเทียนไข เป็นชนิดเดียวกัน
หรือ อากาศที่หนูหายใจออกมา กับอากาศที่เกิดจากการลุกไหม้ของเทียนไข เป็นชนิดเดียวกัน

บังเอิญ Priestley นำพืชสีเขียวไปใส่ไว้ในครอบแก้วที่เทียนไขดับแล้ว

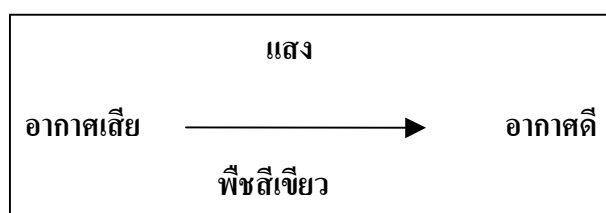


สมัยนั้น เรียก อากาศที่ช่วยในการหายใจกับอากาศที่ช่วยในการลุกไหม้ของอากาศว่า “อากาศดี”
อากาศที่ช่วยในการหายใจออกมา กับอากาศที่ช่วยในการลุกไหม้ของเทียนไขว่า
“อากาศเสีย”

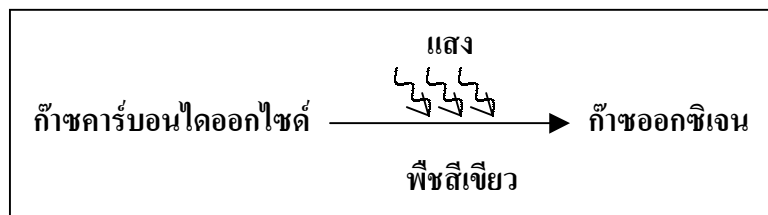
Priestley สรุปว่า “พืชสีเขียวสามารถเปลี่ยนอากาศเสียให้เป็นอากาศดีได้”



ประมาณปี ค.ศ. 1779 นายเจน อินเก็น ฮูซ (Jan Ingen Housz) บอกว่า การทดลองของ Priestley
จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อพืชได้รับ “แสง”



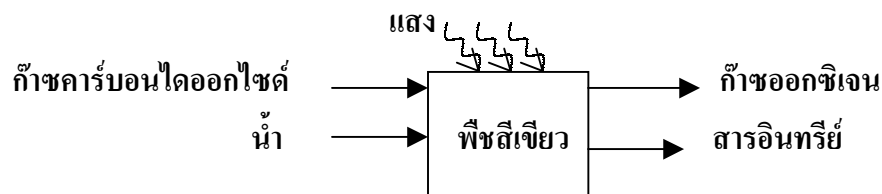
ขณะนั้นทางเคมีพบว่า “อากาศเสีย” คือ “ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์”
 “อากาศดี” คือ “ก๊าซออกซิเจน”



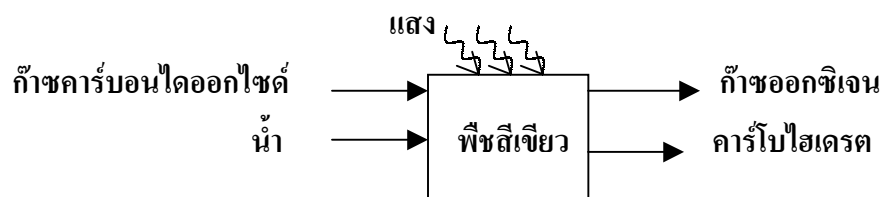
ในปี ค.ศ.1786 นายอินเก็น สตูซ ยังพบว่าพืชเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในรูปของสารอินทรีย์



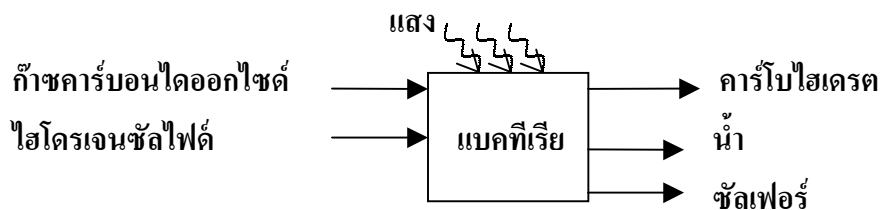
ในปี ค.ศ.1804 นายนิโกลาส ธีโอคอร์ เดอร์โซซัวร์ (Nicolas Theodore de Seoussure)
 พบว่าน้ำหนักของพืชที่เพิ่มขึ้นมาจาก “น้ำ”



ต่อมาพบว่า “สารอินทรีย์” คือ “คาร์โบไฮเดรต” นั่นเอง

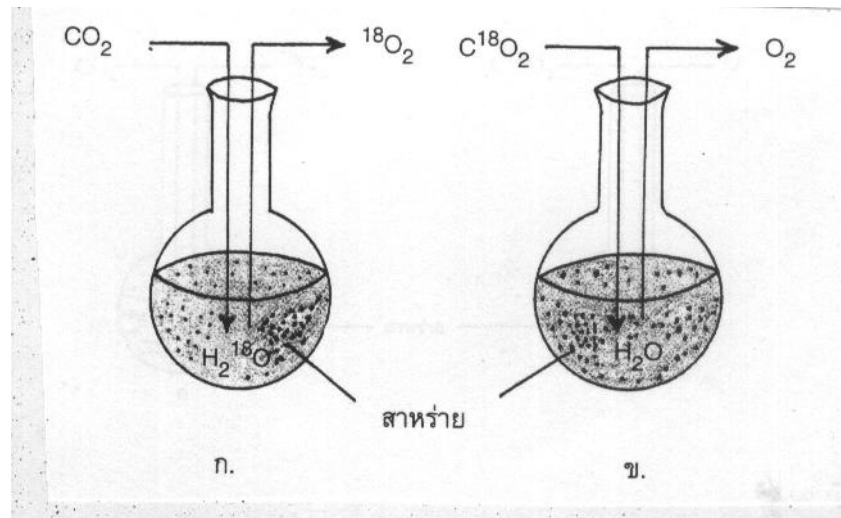


ในปี ค.ศ.1930 นายแวน นีล (Van Neil) พบว่า แบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์ด้วยแสง
 โดยใช้ “ไฮโดรเจนซัลไฟด์” แทน “น้ำ”



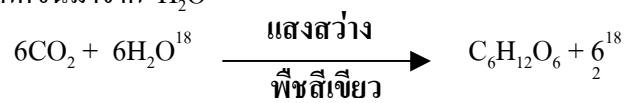
Van Neil ตั้งสมมติฐานว่า “ O_2 ที่เกิดขึ้นมาจาก H_2O ”

การทดลองเพื่อสนับสนุนสมมติฐาน



การทดลองสรุปได้ว่า

“ O_2 ที่เกิดขึ้นมาจาก H_2O ”

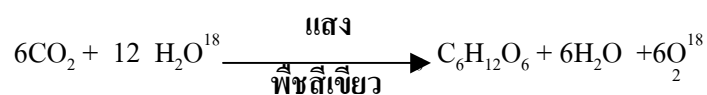


จากสมการ H_2O มี O เพียง 6 อะตอม

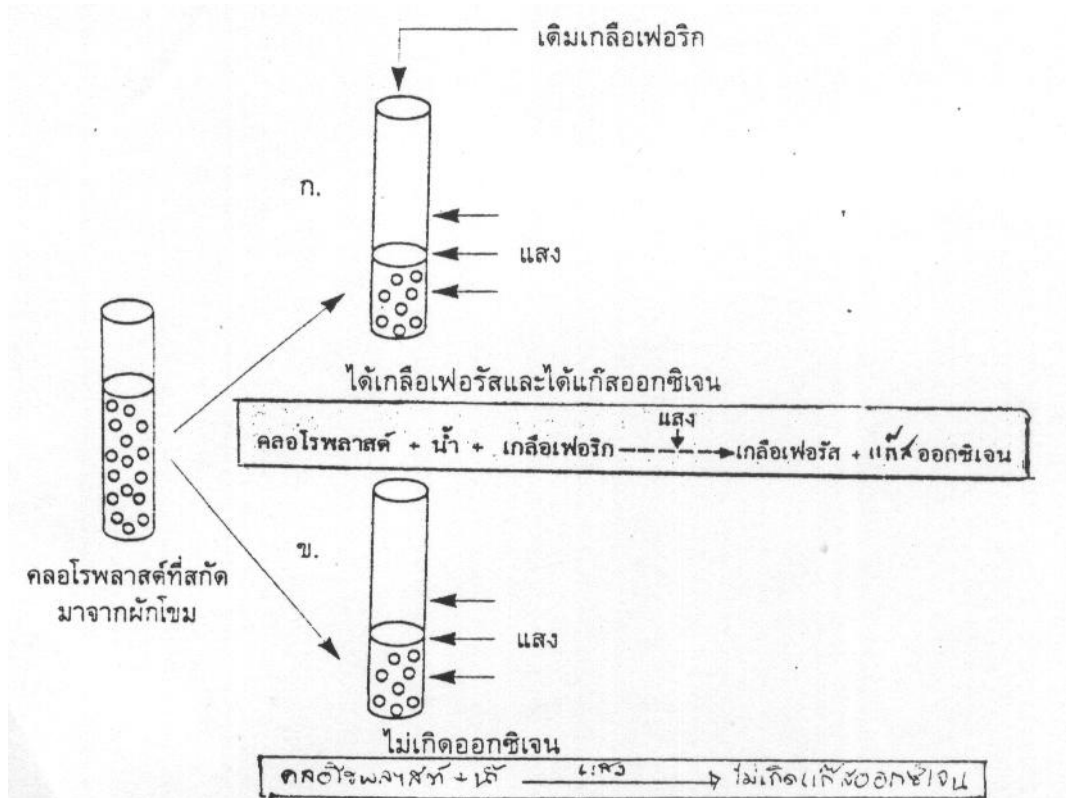
แต่ O_2 ที่เกิดขึ้น มี O 12 อะตอม

O อีกระยะที่เกิดขึ้นมาจากไหนอีก 6 อะตอม

มีการทดลองและพบว่า ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิด “ H_2O ” ขึ้นด้วย



ในปี ค.ศ.2475 โรบิน ฮิลล์ (Robin Hill) ได้ทำการทดลองผ่านแสงเข้าไปในของผสม ซึ่งมีเกลียวเฟอริก และคลอโรพลาสต์ที่สกัดออกมาจากพืชพวกผักโขม ปรากฏว่า เกลียวเฟอริกเปลี่ยนเป็นเกลียวเฟอร์รัส และมีแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้น แต่ถ้าในของผสมไม่มีเกลียวเฟอริกก็จะไม่เกิดแก๊สออกซิเจน

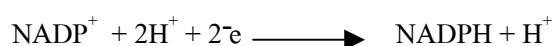


แผนภาพการทดลองของฮิลล์

ก. เติมเกลียวเฟอริก

ข. ไม่ได้เติมเกลียวเฟอริก

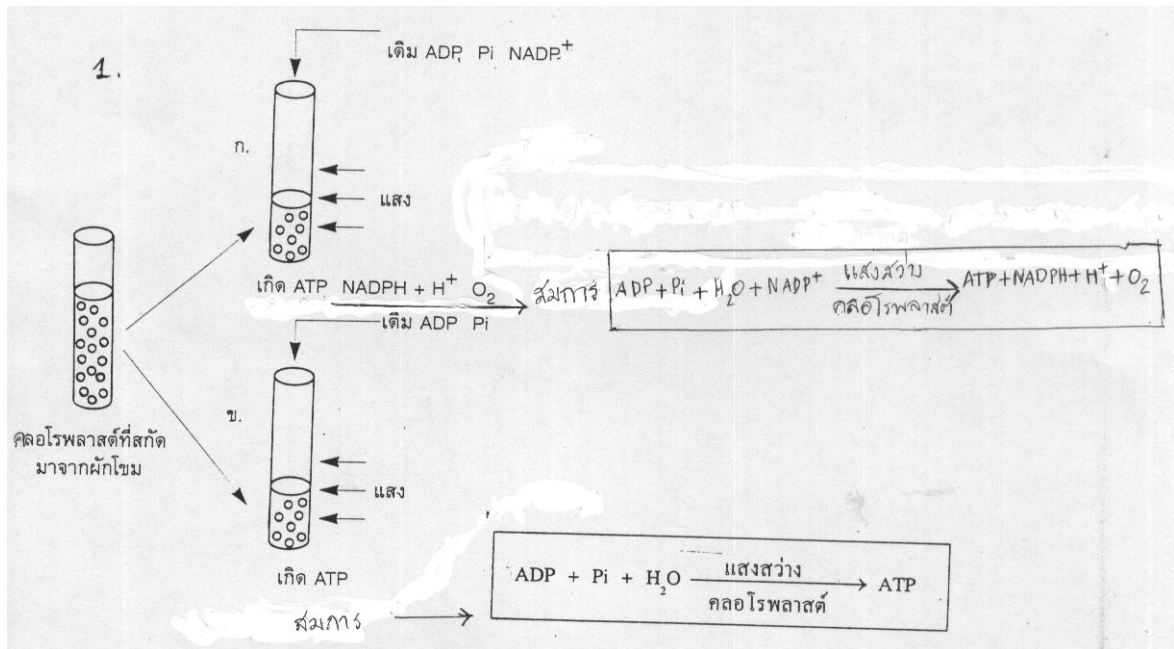
เกลียวเฟอริกเปลี่ยนเป็นเกลียวเฟอร์รัสได้ก็เพราะได้รับอิเล็กตรอนจากน้ำ ซึ่งแตกตัวได้เมื่อมีคลอโรพลาสต์และแสง ขณะเดียวกันก็ให้แก๊สออกซิเจนด้วย แสดงว่าเกลียวเฟอริกทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์ (สารที่รับอิเล็กตรอน) ซึ่งจากการค้นคว้าต่อมาพบว่าในพืชมีสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์หลายชนิด เช่น นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ฟอสเฟต (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) เขียนย่อ ๆ ว่า NADP^+ ซึ่งอยู่ในรูปออกซิแดนท์ (Oxidant) แต่เมื่อรับไฮโดรเจนจะแปรสภาพไปอยู่ในรูปรีดักแตนท์ (reductant) คือ $\text{NADP} + \text{H}^+$ ดังสมการ



จากการทดลองของฮิลล์ สรุปได้ว่าเมื่อคลอโรพลาสต์ได้รับพลังงานจากแสง และมีสารรับอิเล็กตรอนอยู่ด้วย น้ำก็จะแตกตัวให้ออกซิเจนได้โดยไม่ต้องมีคาร์บอนไดออกไซด์ เรียก **Hill's reaction หรือ Photolysis**



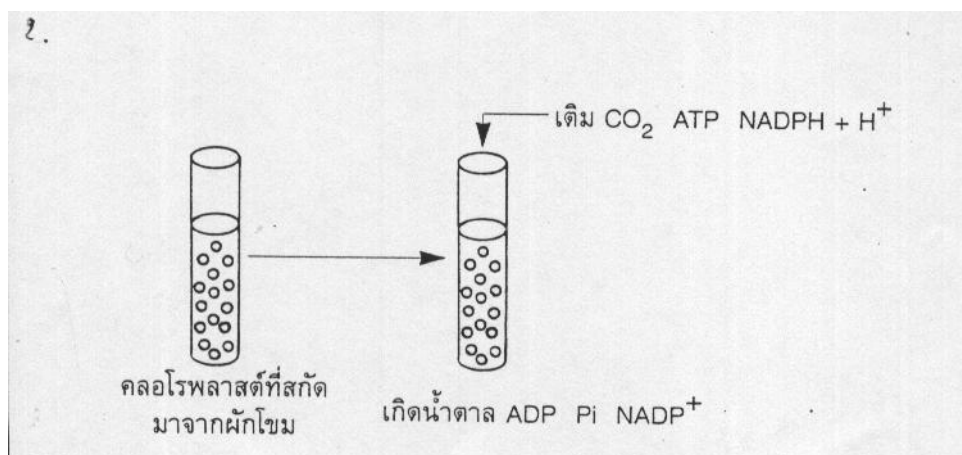
ปี ค.ศ.2494 แดเนียล อาร์นอน (Daniel Arnon) และคณะ ได้ทำการทดลองโดย



แผนภาพการทดลองของอาร์นอนเมื่อให้แสงแต่ไม่ให้ CO₂

ก. เดิม ADP, Pi และ NADP⁺

ข. เดิมเฉพาะ ADP และ Pi



แผนภาพการทดลองของอาร์นอนเมื่อให้แก๊ส CO₂

ATP, NADPH + H⁺ แต่ไม่ให้แสง

สมการ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน

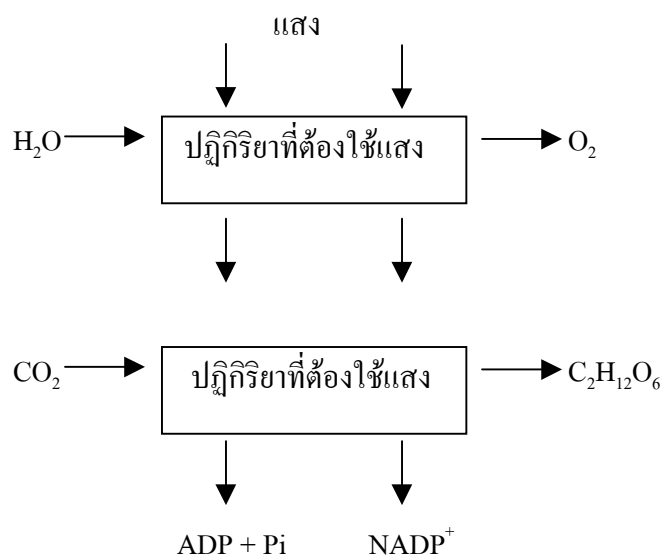
1. ปฏิกิริยาใช้แสง (Light reaction หรือ Photochemical reaction) เป็นปฏิกิริยาที่พืชรับพลังงาน

แสงมาใช้สร้างสารอินทรีย์พลังงานสูง 2 ชนิด คือ ATP และ NADPH + H⁺ โดยใช้ H₂O เข้าร่วมปฏิกิริยา

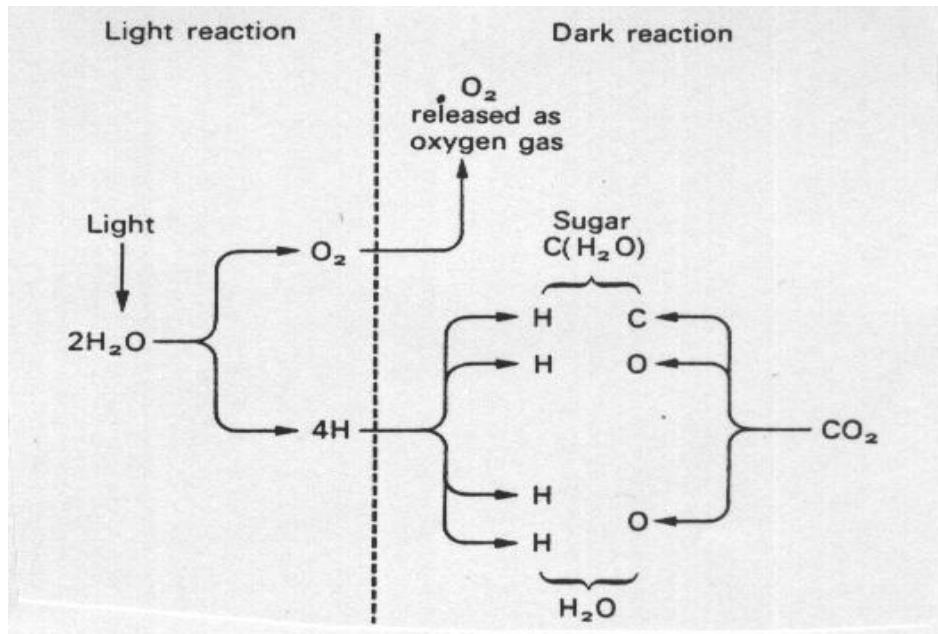
และได้ O₂ เป็นผลผลิตพลอยได้

2. ปฏิกิริยาไม่ใช้แสง (Dark reaction หรือ Enzyme reaction) เป็นปฏิกิริยาที่พืชสร้างน้ำตาลจาก

CO₂ กับ H ของ H₂O ที่อยู่ในรูป NADPH + H⁺ โดยอาศัยพลังงานจาก ATP เข้าร่วม

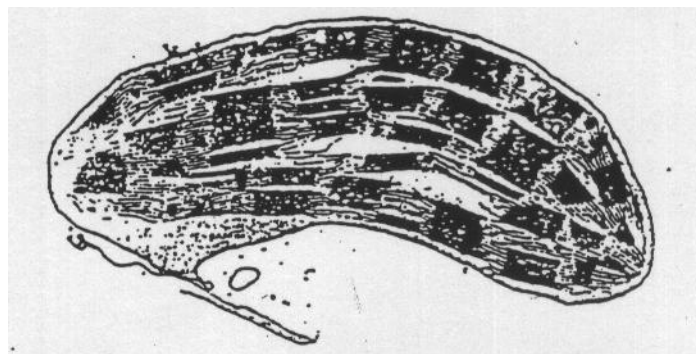


แผนภาพแสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

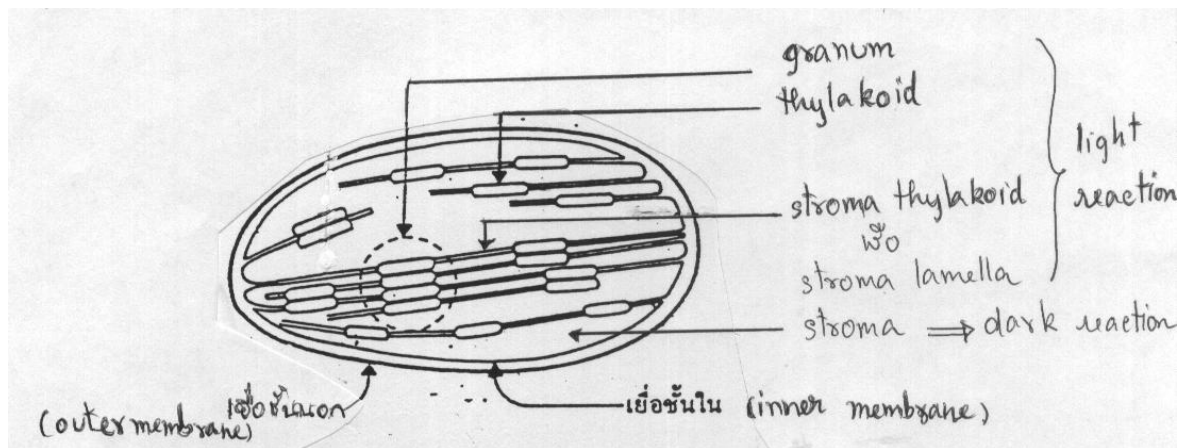


แผนภาพแสดงปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงและปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง

แหล่งที่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ คลอโรพลาสต์ (Chloroplast)



ภาพถ่ายคลอโรพลาสต์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพวาดแสดงโครงสร้างภายในส่วนต่างๆ ของคลอโรพลาสต์

รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

ตาราง รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ

	คลอโรฟิลล์						แบคทีริโอคลอโรฟิลล์			
	a	b	c	d	แคโรทีนอยด์	ไฟโคบิลิน	a	b	c	d
พืชมีดอก	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
เฟิร์น	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีเขียว	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีน้ำตาล	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
สาหร่ายสีแดง	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-
แบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+

- หมายถึง ไม่มี

+ หมายถึง มี

1. ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง (Light reaction) ที่ granum, thylakoid, stroma thylakoid จะมีรงควัตถุ

ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ระบบ

1. ระบบแสง I (Photosystem I หรือ PSI) หรือ P.700 ทำหน้าที่รับพลังงานแสง ซึ่งประกอบด้วยรงควัตถุชนิดสำคัญ คือ คลอโรฟิลล์ เอ ชนิดพิเศษรับแสงที่มีความยาวคลื่น 683 และ 700

นาโนเมตรได้ดี พบในพืชและสาหร่ายทุกกลุ่ม

2. ระบบแสง II (Photosystem II หรือ PSII) หรือ P.680 ทำหน้าที่รับพลังงานแสง ซึ่งประกอบด้วยรงควัตถุดังนี้ คือ

- คลอโรฟิลล์ เอ ชนิดรับแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 680 นาโนเมตร พบในพืชและสาหร่ายทุกกลุ่ม

- คลอโรฟิลล์ บี พบเฉพาะในพืชและสาหร่ายสีเขียว

- คลอโรฟิลล์ ซี พบเฉพาะในสาหร่ายสีน้ำตาล และสีน้ำตาลแกมเหลือง

- คลอโรฟิลล์ ดี พบเฉพาะสาหร่ายสีแดง

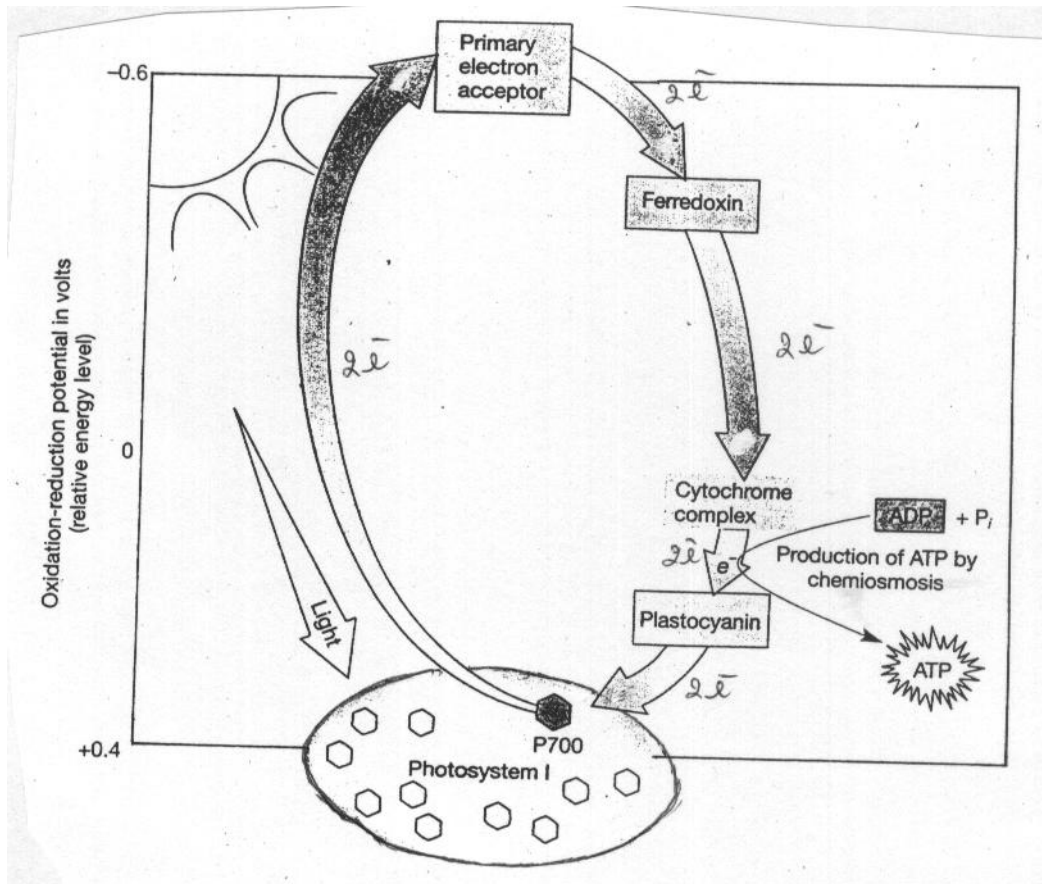
- แคโรทีนอยด์ (carotenoids) พบในพืชและสาหร่ายทุกกลุ่ม

- ไฟโคบิลิน (phycobillin) พบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และสาหร่ายสีแดง

เมื่อรงควัตถุในระบบแสง I และระบบแสง II ได้รับพลังงานแสงอิเล็กตรอนในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ จะมีค่าพลังงานศักย์สูงขึ้น และหลุดออกมากจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนขึ้น 2 แบบ คือ

1. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic electron transfer)

การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบนี้เกิดขึ้นโดยมีอิเล็กตรอน (e) ที่หลุดจากคลอโรฟิลล์ 18 P 700 ของรงควัตถุระบบ I แล้วจะมีสารตัวกลางมารับและส่งทอดอิเล็กตรอนไปตามลำดับขั้น จนกระทั่งท้ายที่สุดอิเล็กตรอนจะย้อนกลับมาที่คลอโรฟิลล์ เอ P 700 ของรงควัตถุระบบ I ตามเดิม และในขณะเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนั้น พลังงานที่อิเล็กตรอนถ่ายทอดออกมาจะนำไปสร้างสารอินทรีย์พลังงานสูงในรูป ATP ได้ 2 ATP ต่ออิเล็กตรอน 1 คู่

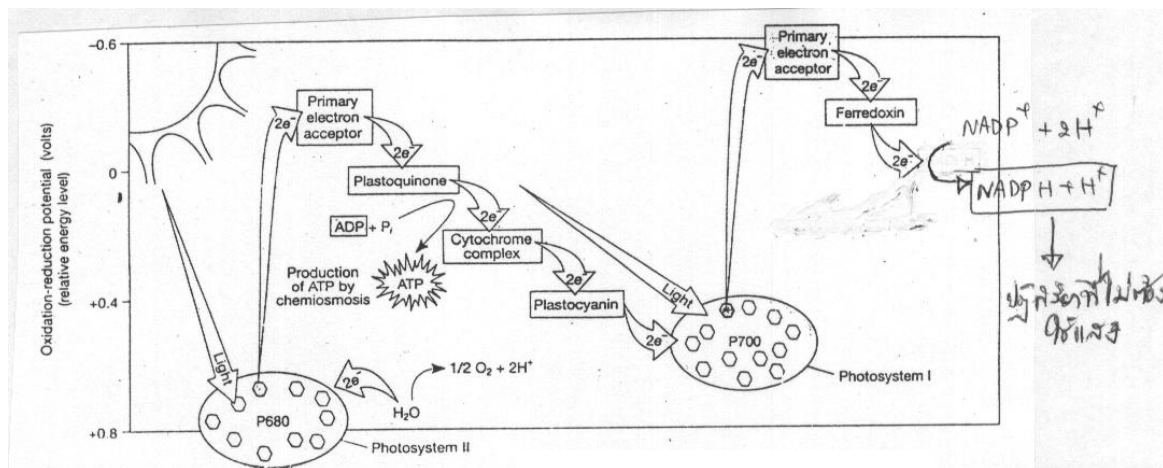


แผนภาพแสดงการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic electron transfer)

ผลลัพธ์ของการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร คือ ได้ ATP

2. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Noncyclic electron transfer)

การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบนี้เกิดขึ้นโดยเมื่ออิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ เอ P 700 หลุดออกไปแล้ว สาร NADP^+ จะรับอิเล็กตรอนไป คลอโรฟิลล์ เอ P 700 ของรงควัตถุระบบแสง I จึงขาด e^- ไป $2e^-$ แต่จะได้อิเล็กตรอนทดแทนมาจากคลอโรฟิลล์ ของรงควัตถุระบบแสง II และรงควัตถุระบบแสง II จะได้อิเล็กตรอนทดแทนมาจากน้ำ



แผนภาพการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Noncyclic electron transfer)

ผลลัพธ์ของการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร



ตารางสรุปข้อแตกต่างของการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรและแบบไม่เป็นวัฏจักร

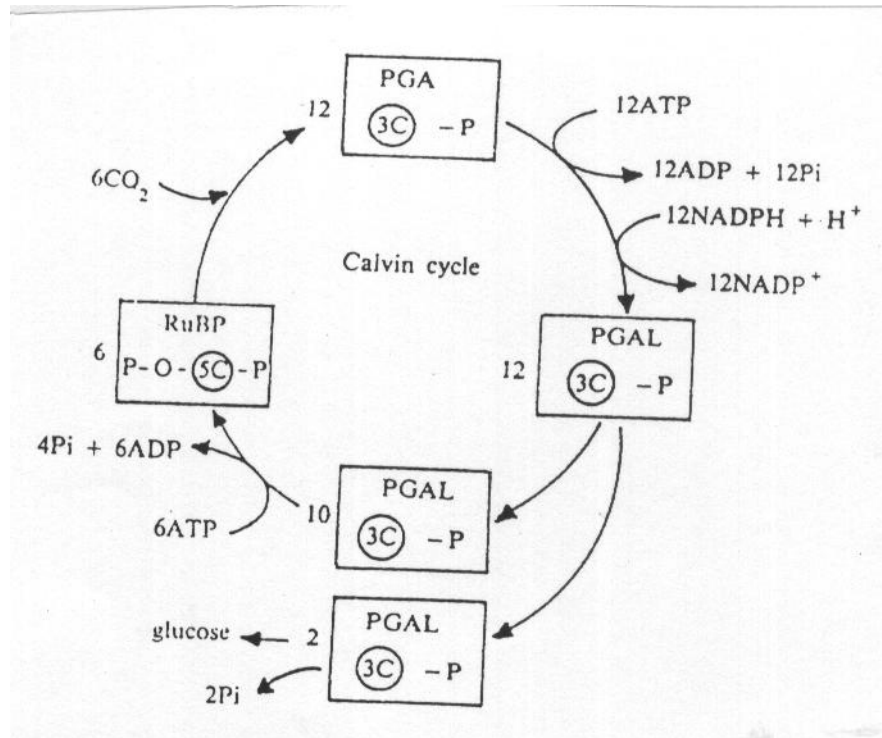
การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic electron transfer)	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Noncyclic electron transfer)
- เกี่ยวข้องกับเฉพาะ PSI - e⁻ กลับสู่ที่เดิม (PSI) 2 ATP - ไม่มี Photolysis - ไม่มี O₂ เกิดขึ้น - ไม่เกิด NADPH + H⁺	- PSI, PSII - e⁻ ไม่กลับสู่ที่เดิม 2 ATP - มี Photolysis - เกิด O₂ ขึ้น - เกิด NADPH + H⁺
ATP	ATP, NADPH + H ⁺ , O ₂

สรุป ผลลัพธ์ของ light reaction เกิด



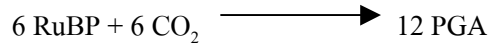
2. ปฏิกริยาที่ไม่ต้องใช้แสง (Dark reaction)

เกิดที่ stroma ของคลอโรพลาสต์ โดย CO_2 จะรวมตัวกับ $\text{NADPH} + \text{H}^+$ และ ATP เกิดน้ำตาลขึ้น ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นวัฏจักร เรียก วัฏจักรของคัลวิน (Calvin cycle) ดังนี้

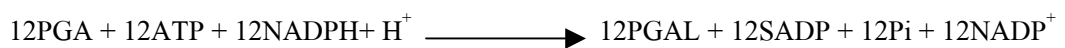


วัฏจักรของคัลวิน

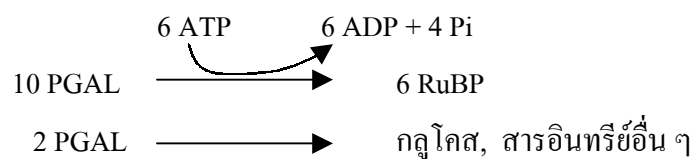
ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 Carboxylation



ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 Reduction



ปฏิกิริยาขั้นที่ 3 Regeneration



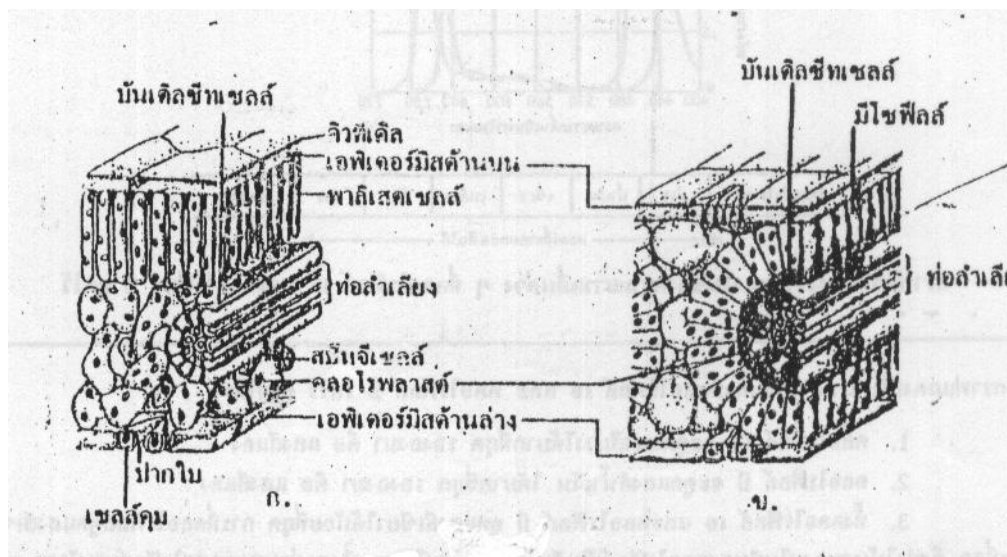
การตรึง CO_2 ของพืช C_3 และพืช C_4

พืช C_3 (C_3 - plant)

สารประกอบตัวแรกที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาตรึง CO_2 คือ PGA (phosphoglyceric acid) เป็นสารที่มี C 3 อะตอม จึงเรียกพืช C_3 และวัฏจักรที่เกิดขึ้นเป็นวัฏจักร C_3 คือวัฏจักรคัลวิน กลุ่มพืช C_3 ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ถั่ว และพืชโดยทั่วไป

พืช C_4 (C_4 - plant)

สารประกอบตัวแรกที่เกิดจากปฏิกิริยาตรึง CO_2 คือ OAA (Oxaloacetic acid) ซึ่งเป็นสารที่มี C 4 อะตอม จึงเรียกพืช C_4 และวัฏจักรที่เกิดขึ้นเป็นวัฏจักร C_4 ประกอบด้วย Hatch Slack pathway และวัฏจักรคัลวิน กลุ่มพืช C_4 ได้แก่ อ้อย ข้าวฟ่าง ข้าวโพด บานไม่รู้โรย



โครงสร้างส่วนหนึ่งของใบ แสดงเซลล์บันเดิลชีทเซลล์ของพืช C_3 (ก) และพืช C_4 (ข)

ก. พืช C_3 บันเดิลชีทเซลล์ (bundle sheath cell) ไม่มีคลอโรพลาสต์

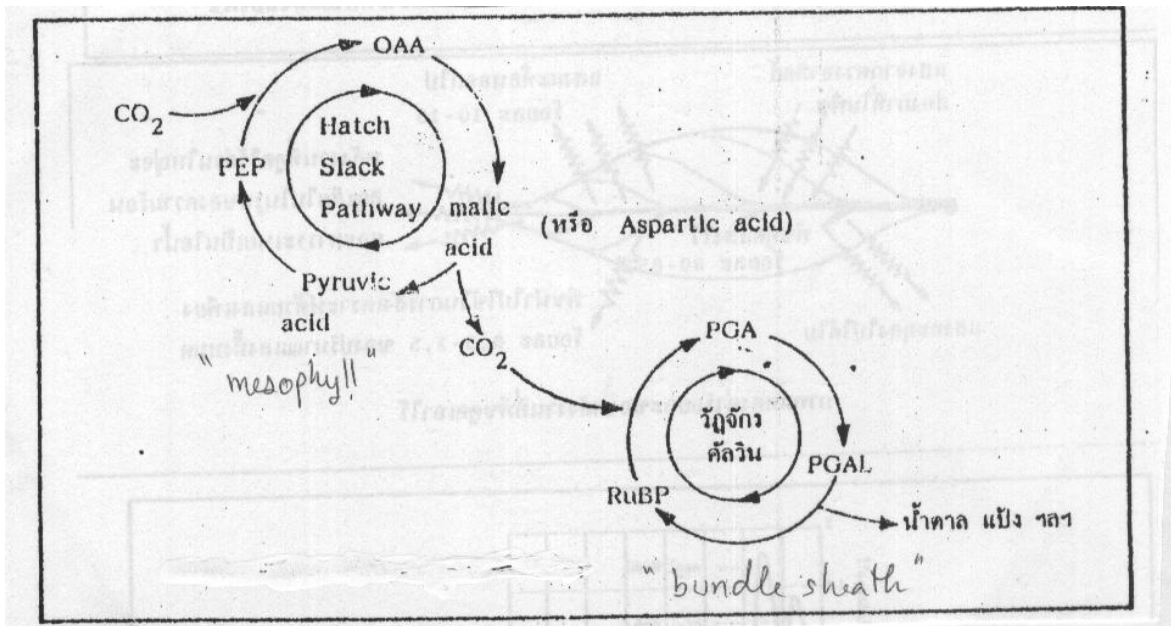
ข. พืช C_4 บันเดิลชีทเซลล์ มีคลอโรพลาสต์

พืช C_3 ตรึง CO_2 1 แห่ง ที่ mesophyll II

Palisade cell
Spongy cell

 โดยวัฏจักรคัลวิน

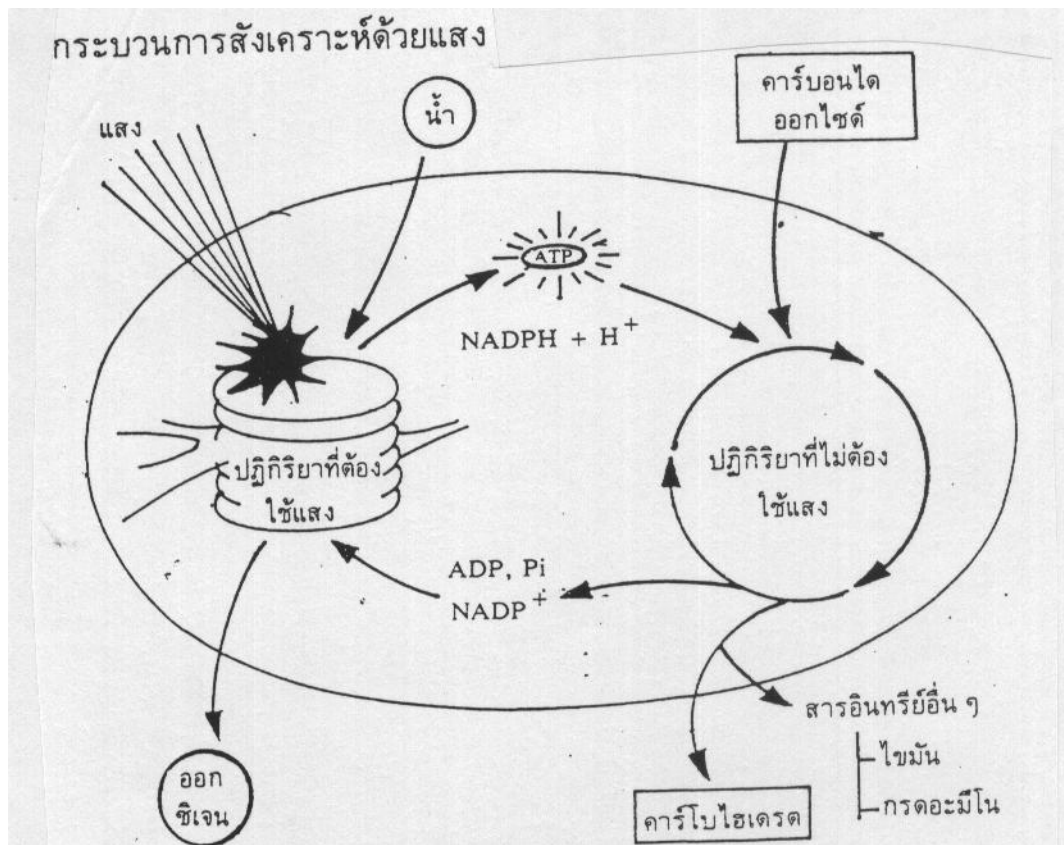
พืช C_4 ตรึง CO_2 2 แห่ง ที่ - mesophyll II โดย Hatch & Slack pathway
- bundle sheath cell โดยวัฏจักรคัลวิน



แผนภาพการตรึง CO_2 ของพืช C_4

ตารางเปรียบเทียบการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 และพืช C_4

พืช C_3	พืช C_4
1. มีการตรึง CO_2 1 แห่ง ที่ mesophyll II โดย RuBP ในวัฏจักรคัลวิน	1. มีการตรึง CO_2 2 แห่ง แห่งแรกที่ mesophyll II โดย PEP ใน Hatch & Slack pathway แห่งที่ 2 ที่ bundle sheath cell โดย RuBP ในวัฏจักรคัลวิน
2. bundle sheath cell ไม่มีคลอโรพลาสต์	2. bundle sheath cell มีคลอโรพลาสต์
3. สารตัวแรกที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาคือ PGA (C 3 อะตอม)	3. สารตัวแรกที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาคือ OAA (C 4 อะตอม)
4. เป็นพืชที่อึดแสง	4. เป็นพืชที่ไม่อึดแสง

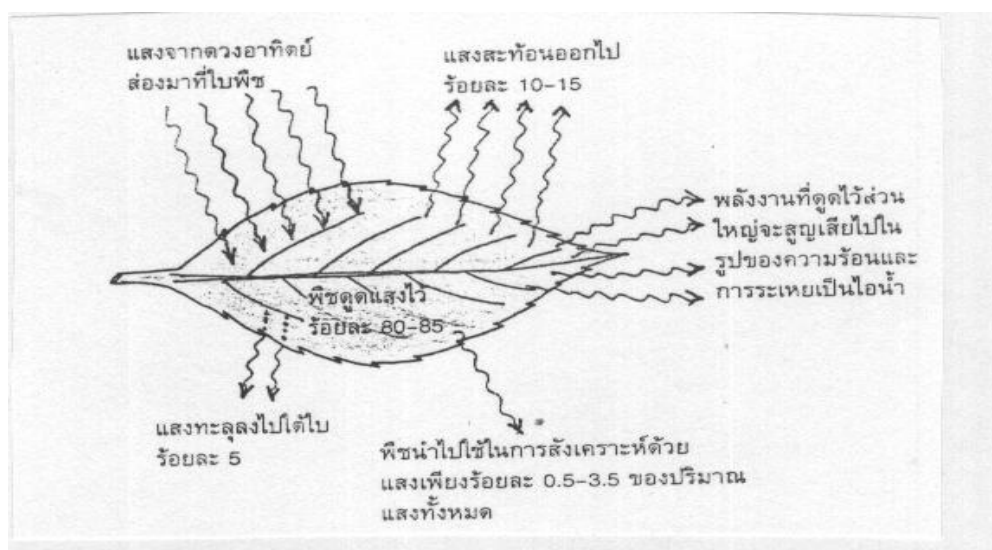


แผนภาพสรุปกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

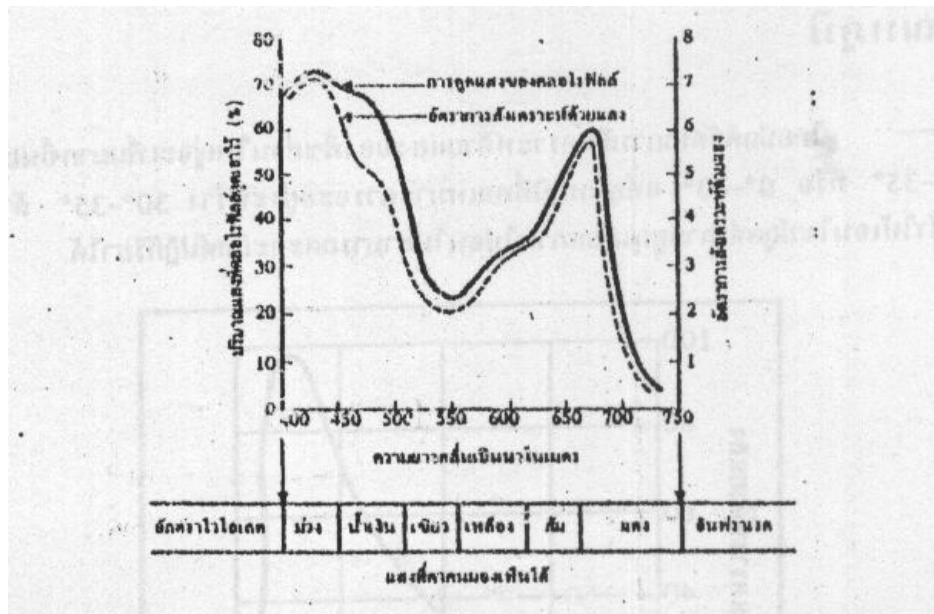
ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

1. แสง

1.1 ปริมาณแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง ประมาณ 0.5–3.5 % เท่านั้น



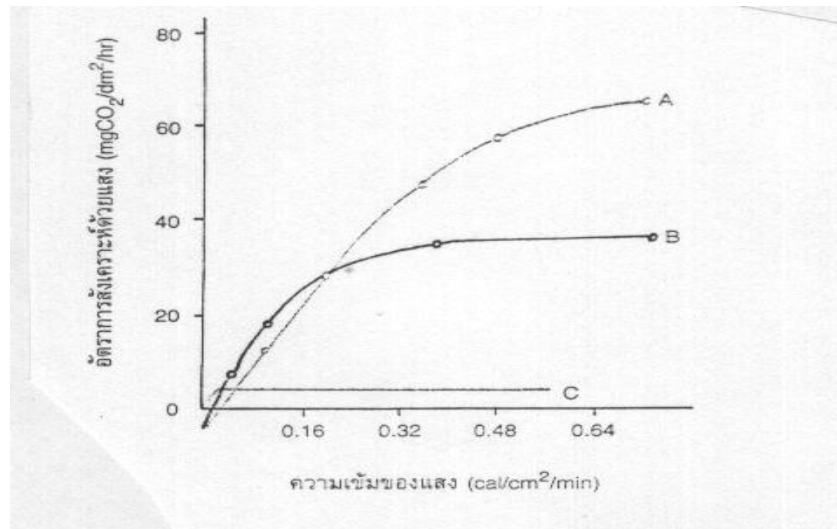
1.2 คลื่นแสงที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง



จากกราฟสรุปได้ว่า

1. Absorption spectrum กับ Action spectrum มีรูปร่างคล้ายกันมาก แสดงว่าแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ แสงที่พืชดูดเอาไว้
2. แสงสีเขียว เป็นแสงที่ให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยที่สุด พืชจึงดูดไว้น้อยที่สุด มันจะสะท้อนออก ทำให้เราเห็นใบไม่มีสีเขียว
3. แสงสีม่วง น้ำเงิน และแสงสีแดง เป็นแสงที่พืชดูดไว้มากที่สุด และรองลงมาตามลำดับ และพืชนำไปสังเคราะห์ด้วยแสงมากที่สุด

1.3 ความเข้มของแสง

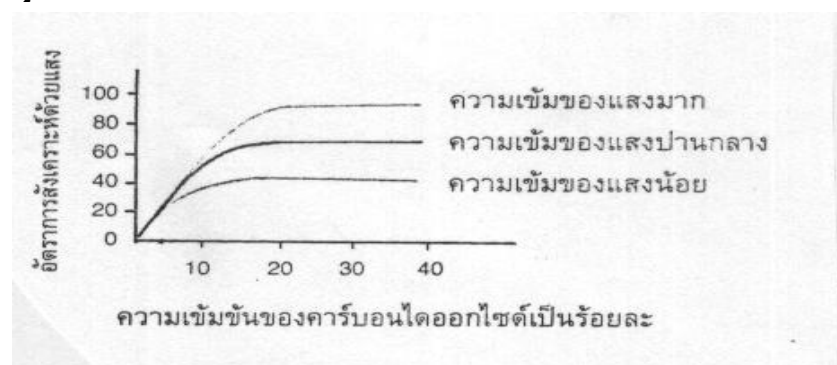


กราฟอิทธิพลของความเข้มของแสงที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 3 ชนิด

- A = พืช C₄
 B = พืช C₃
 C = พืช C₄ ที่เจริญได้ร่มเงาในป่าชื้น

เมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเข้มของแสงขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่ง ถึงแม้เพิ่มความเข้มของแสงให้มากขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็ไม่เพิ่มขึ้น ได้แก่ พืช B, C ส่วนพืช A เป็นพวก C₄ ถึงแม้เพิ่มความเข้มของแสงให้มากขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็จะเพิ่มมากขึ้น เพราะพืช C₄ เป็นพวกไม่อิ่มแสง

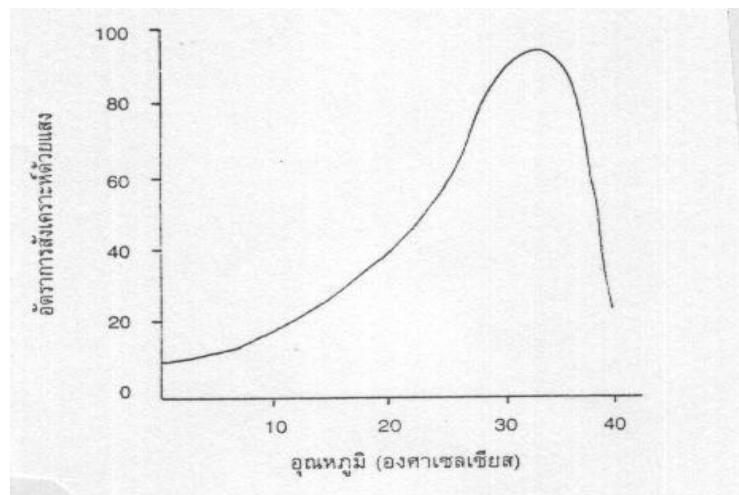
2. CO₂



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงกับความเข้มของแสงและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

จากกราฟ ถ้าค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงน้อย ปานกลาง และมากตามลำดับ แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ให้มากขึ้นต่อไป อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็จะไม่เพิ่ม

3. อุณหภูมิ



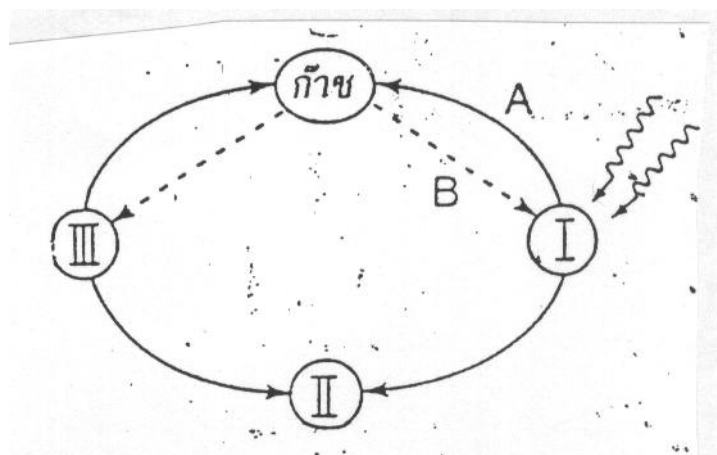
อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

ถ้าค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ช่วง $0-35^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง $30-35^{\circ}\text{C}$ ถ้าอุณหภูมิสูง เอนไซม์จะถูกทำลาย

4. น้ำ

พืชใช้น้ำเพื่อให้เซลล์เปื่อยขึ้น และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ พืชใช้น้ำ 1% เท่านั้นในการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ในปฏิกิริยา Hydrolysis

ตัวอย่างข้อสอบ
การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช



1. จากแผนภาพ A และ B แทนก๊าซชนิดใด

	A	B
1.	CO ₂	O ₂
2.	CO ₂ และ O ₂	CO ₂ และ O ₂
3.	O ₂	O ₂
4.	CO ₂ และ O ₂	O ₂

2. ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

	A	B
ก.	เกิดขึ้นตอนกลางวัน	เกิดขึ้นตอนกลางคืนเกิดขึ้นที่
ข.	เกิดขึ้นที่กรานา	เกิดที่สโตรมา
ค.	ใช้เอนไซม์และ ATP	ใช้แต่ ATP
ง.	พบในพืช C ₃ และ C ₄	พบในพืช C ₃ และ C ₄

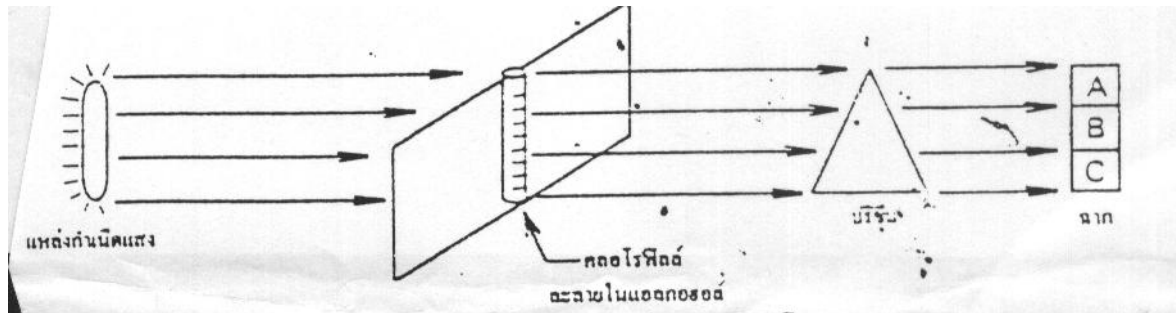
1. ก ข

2. ค ง

3. ก ค

4. ข ง

3. จากภาพ ถ้าวัดความเข้มของแสงที่บริเวณฉากรับแสง บริเวณใดจะมีความเข้มของแสงน้อยที่สุด



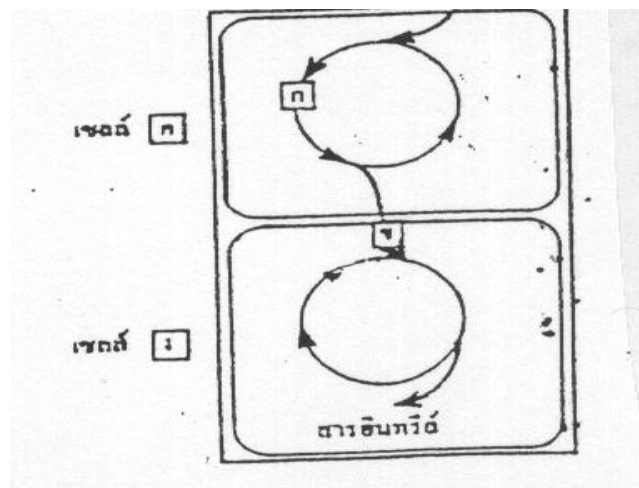
1. A และ B

2. A และ C

3. B และ C

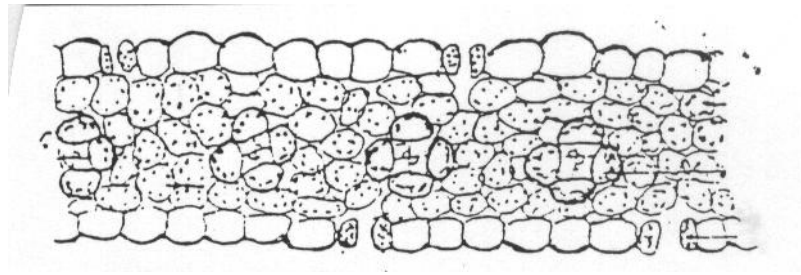
4. เฉพาะ B

4. จากรูป ข้อใดเป็นจริงเกี่ยวกับปฏิกิริยาไมใช้แสง



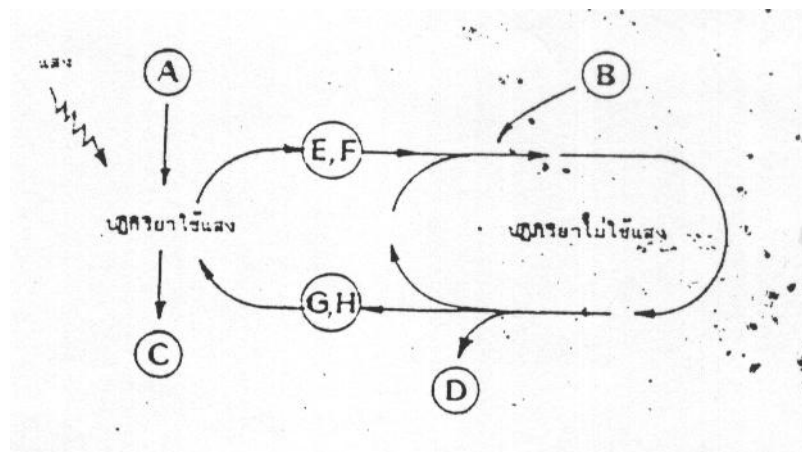
	ก	ข	เซลล์ ค	เซลล์ ง
1.	น้ำตาล 3C	CO ₂	mesophyll	Bundle sheath
2.	น้ำตาล 4C	น้ำตาล 5C	bundle sheath	mesophyll
3.	น้ำตาล 3C	น้ำตาล 5C	bundle sheath	mesophyll
4.	น้ำตาล 4C	CO ₂	mesophyll	bundle sheath

5. จากภาพใบพืชตัดตามขวาง ข้อใดเป็นจริง



- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1. เป็นพืช C_3 ใบเลี้ยงเดี่ยว | 2. เป็นพืช C_3 ใบเลี้ยงคู่ |
| 3. เป็นพืช C_4 ใบเลี้ยงเดี่ยว | 4. เป็นพืช C_4 ใบเลี้ยงคู่ |

6. จากแผนภาพ สารใดบ้างที่ผ่านเข้าหรือออกจาก Stomata ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง



- | | |
|------------------|---------------------|
| 1. เฉพาะ A กับ C | 2. เฉพาะ B กับ C |
| 3. เฉพาะ B กับ D | 4. เฉพาะ A, B กับ C |

7. ปฏิกิริยาเคมีในข้อใดเกิดขึ้นเฉพาะในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร

- ก. $ADP + Pi \longrightarrow ATP$
- ข. $NADP^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADPH + H^+$
- ค. $H_2O \longrightarrow 2H^+ + \frac{1}{2} O_2$

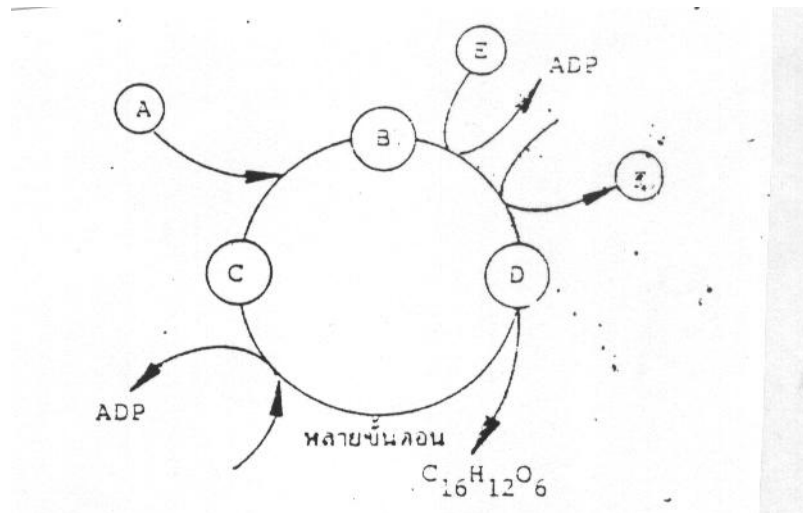
- | | |
|--------|----------|
| 1. ก ข | 2. ข ค |
| 3. ก ค | 4. ก ข ค |

8. ลำดับขั้นตอนของการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้อใดถูกต้อง

1. $H_2O \longrightarrow \text{PSII} \longrightarrow \text{PSI} \longrightarrow \text{Calvin cycle}$
2. $H_2O \longrightarrow \text{NADPH} \longrightarrow \text{Calvin cycle}$
3. $\text{PS II} \longrightarrow \text{PSI} \longrightarrow \text{NADPH} \longrightarrow \text{Calvin cycle}$
4. $H_2O \longrightarrow \text{PSI} \longrightarrow \text{PSII} \longrightarrow \text{NADPH} \longrightarrow \text{Calvin cycle}$

9. สารพวกใดที่ได้จากปฏิกิริยาที่ใช้แสงแล้วนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง

1. ATP, $\text{NADH} + \text{H}^+$
2. O_2 , NADP, ATP
3. ATP, $\text{NADPH} + \text{H}^+$
4. O_2 , $\text{NADPH} + \text{H}^+$, ATP



10. จากแผนภาพข้างต้น สาร A, B, C, D, E, F เป็นสารประกอบอะไร

1. H_2O , RuBP, PGA, PGAL, ATP, $\text{NADH} + \text{H}^+$
2. H_2O , RuBP, PGA, PGAL, ATP, NADH^+
3. CO_2 , PGA, RUBP, PGAL, ATP, $\text{NADH} + \text{H}^+$
4. CO_2 , PGA, RUBP, PGA, ATP, NADH^+