

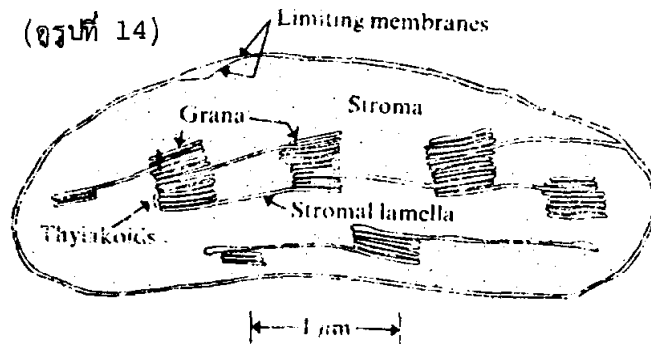
absorption ที่คลื่นแสงประมาณ 615 nm (รูปที่ 13)

4. Chloroplast

คลอโรพลาสต์เป็น cell organelle ขนาดเล็ก ๆ ที่อยู่ในของสิ่งมีชีวิตที่มีการสังเคราะห์แสง (ยกเว้นแบคทีเรียและสาหร่ายบางชนิดซึ่งมี cell organelle อีกชนิดหนึ่งที่พัฒนาน้อยกว่า เรียกว่า chromatophore) ปฏิบัติการสังเคราะห์แสงทุกขั้นตอน รวมทั้ง การรับพลังงานจากแสง การผลิตและการปล่อยแก๊สออกซิเจน การใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปสร้างน้ำตาลและแป้ง ทั้งหมดเกิดขึ้นภายในคลอโรพลาสต์ทั้งสิ้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของโครงสร้างของคลอโรพลาสต์และการเติบโตของคลอโรพลาสต์

4.1 Chloroplast structure

คลอโรพลาสต์มีรูปร่างได้หลายแบบอาจเป็นรูปทรงกลม รูปไข่ รูปจาน รูปเหลี่ยม รูปคัมเบล หรืออาจเป็นรูปแฉกก็ได้ คลอโรพลาสต์ที่พบในเซลล์ชนิดต่าง ๆ มีขนาดแตกต่างกัน โดยทั่วไปมีความตั้งแต่ 3-15 ไมครอน กว้างประมาณ 2-5 ไมครอน คลอโรพลาสต์ของพืชชั้นสูงอาจเป็นรูปไข่หรือรูปจาน มีความยาวประมาณ 3-6 ไมครอน และความสูงประมาณ 2 ไมครอน โครงสร้างของคลอโรพลาสต์อาจแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนนอกสุดเป็นผนังหุ้ม 2 ชั้น (membranes) ภายในมีของเหลว เรียกว่า stroma และระบบผนังภายใน (internal membrane system) ซึ่งเรียกว่า lamellae หรือ thylakoids (รูปที่ 14)



รูปที่ 14 แสดงโครงสร้างของคลอโรพลาสต์

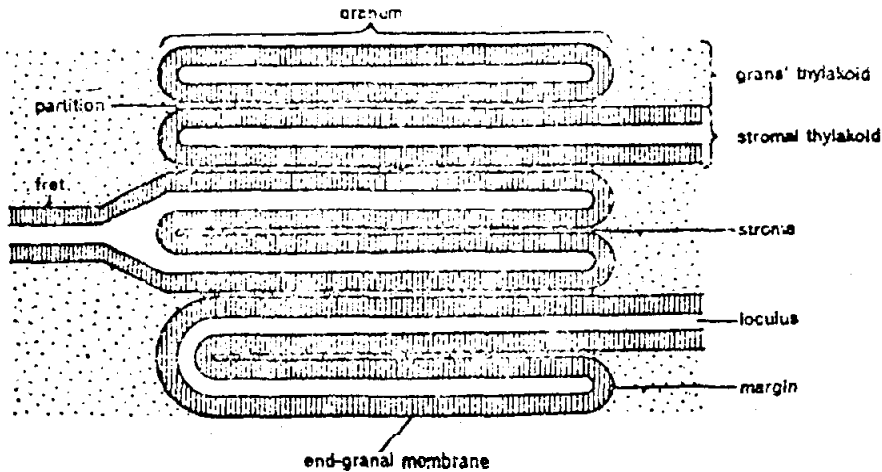
Membrane ผนังที่หุ้มคลอโรพลาสต์เป็นผนัง 2 ชั้น ผนังชั้นนอกเรียบ ติดอยู่กับ cytoplasm ของเซลล์ ผนังชั้นในติดอยู่กับ stroma และมีโครงสร้างต่อเชื่อมกับระบบผนังภายใน (thylakoids) ผนังแต่ละชั้นประกอบด้วยสาร lipo-protein ซึ่งมีชั้นของลิพิด 2 ชั้นอยู่ระหว่างชั้นของโปรตีน 2 ชั้น ผนังคลอโรพลาสต์แต่ละชั้นหนาประมาณ $70-100 \text{ \AA}^{\circ}$ ($0.007-0.010$ ไมครอน) ถ้ารวมผนังทั้งสองและช่องว่างระหว่างผนังทั้งสองเข้าด้วยกันจะหนาประมาณ 300 \AA° (0.03 ไมครอน) ผนังคลอโรพลาสต์มีคุณสมบัติเป็น differential-ly permeable membrane ดังนั้นจึงเกิด plasmolyse ขึ้นกับคลอโรพลาสต์ได้ เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง และอาจเกิด deplasmolyse กลับสู่สภาพเดิมได้ หากมาอยู่ในสารละลายที่มีความเจือจาง

Stroma เป็นของเหลวไม่มีสี อยู่ในคลอโรพลาสต์ประกอบด้วย ribosomes, DNA fibrils และ osmophillic globules (มีชื่อเฉพาะว่า plastoglobuli ซึ่งจะใช้สร้างสารอื่น ๆ อีกได้หลายชนิดเช่น plastoquinones, vitamin K etc.) Stroma เป็นที่เกิดของขบวนการสังเคราะห์แสงในส่วนของ dark reaction

Internal membrane system ภายใน stroma มีระบบผนังภายในเป็นกลุ่ม ๆ แต่ละกลุ่มเรียกว่า grana ประกอบด้วยไธราคอยด์ (thylakoids) จำนวนตั้งแต่ 10-100 อัน เรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ grana จะต่อกันเป็นระบบ โดยมี stromatal lamellae หรือ stromatal thylakoids เป็นตัวเชื่อม stromatal thylakoid บางอันจะติดกับผนังที่หุ้มคลอโรพลาสต์ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระบบผนังภายในของคลอโรพลาสต์จะต่อกับผนังภายนอกเป็นระบบเดียวกัน

ไธราคอยด์เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยผนัง (membranes) 2 ชั้น ผนังแต่ละชั้นประกอบด้วยชั้นของสารลิพิด 2 ชั้นอยู่ระหว่างชั้นของสารโปรตีน 2 ชั้น และรวมกันแล้วมีความหนาประมาณ 7.0 ไมครอน ช่องว่างระหว่างผนังทั้งสองกว้างประมาณ $4.0-70.0$ ไมครอน เห็นได้ว่าผนังของไธราคอยด์จะหนากว่าผนังของคลอโรพลาสต์หลายเท่า จากการศึกษาโครงสร้างของผนังไธราคอยด์อย่างละเอียด พบว่าผนังไธราคอยด์มี

โครงสร้างตามรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงโครงสร้างของไธลาคอยด์

คำอธิบายรูปที่ 15 -grana คือชั้นของไธลาคอยด์ทั้งชั้น

margin คือส่วนปลายของไธลาคอยด์ที่สัมผัสกับ stroma

partition คือบริเวณระหว่างไธลาคอยด์ 2 อันที่อยู่ติดกัน

loculus คือ ช่องว่างภายในไธลาคอยด์

stromal thylakoid คือไธลาคอยด์ที่ยื่นไปใน stroma และเชื่อม grana แต่ละกลุ่มให้

เป็นระบบเดียวกัน (ดูรูปที่ 14)

fret membrane คือผนังของ stromal thylakoid

end-granal membrane คือไธลาคอยด์ที่นอกสุดของชั้น grana grana 1 กลุ่มจะมี

end-granal membrane อยู่ 2 อันคือ ข้างบนหนึ่งอันและข้างล่างอีกหนึ่ง

อัน

บนผนังของไธลาคอยด์มีอนุภาค (particles) 2 ประเภทคือ อนุภาคขนาดใหญ่ อนุภาคประเภทนี้ขนาดประมาณ 120 \AA สามารถหลุดจากผนังได้ง่ายเมื่อล้างด้วยน้ำ

มีเอนไซม์ ribulose diphosphate carboxylase อยู่มาก อีกประเภทหนึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็ก มี ATPase อยู่มาก ทำหน้าที่ในการสร้าง ATP ในขบวนการ photo-phosphorylation อนุภาคประเภทนี้มีขนาดประมาณ 100 \AA และสามารถหลุดจากผนังได้ง่ายเมื่อล้างด้วยสารละลาย EDTA

ในพืชชั้นต่ำจำพวกสาหร่ายสีแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จะพบอนุภาคอีกชนิดหนึ่ง บนผนังของไธราคอยด์ อนุภาคชนิดนี้เรียกว่า phycobilisome ซึ่งประกอบด้วยสาร phycoerythrin และ phycocyanin เป็นสารที่ละลายน้ำได้

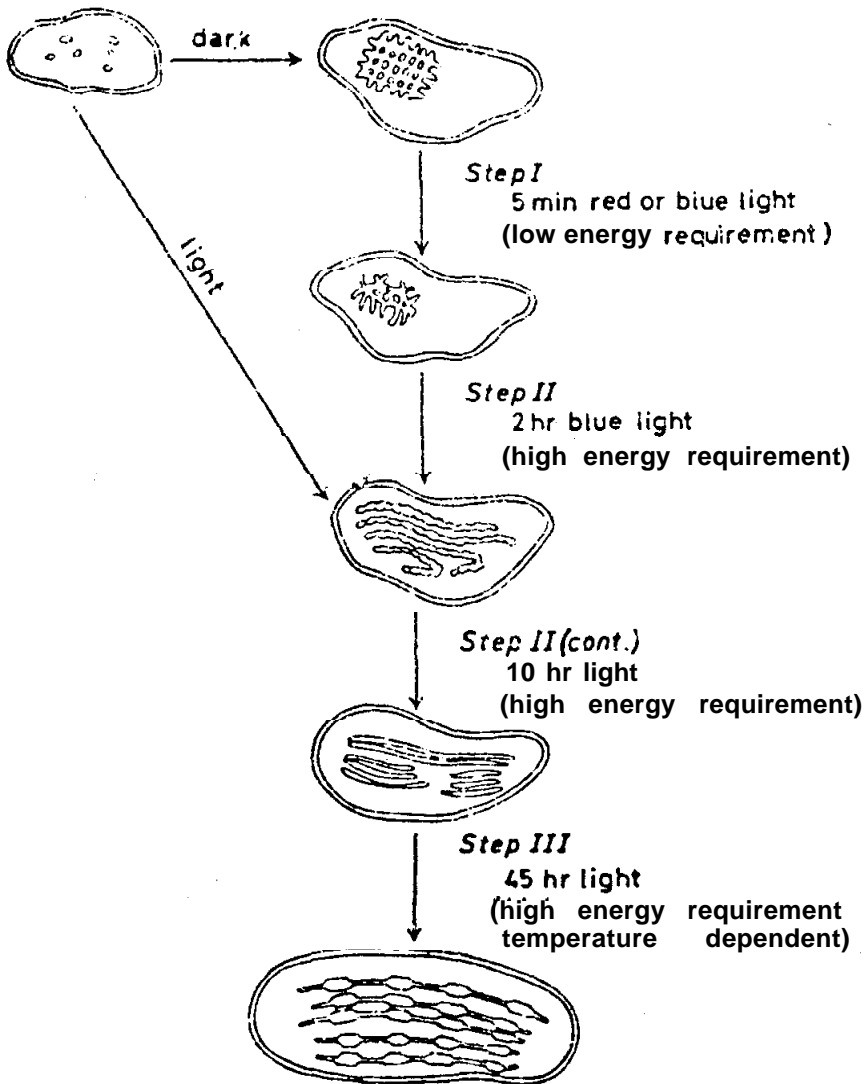
ภายในผนังของไธราคอยด์ ยังมีอนุภาคที่สำคัญอีก 2 ประเภท ซึ่งแตกต่างจากอนุภาคที่พบบนผนังของไธราคอยด์ ประเภทแรกได้แก่พวกอนุภาคเล็ก พบอยู่ส่วนนอกของ (ภายใน) ผนังไธราคอยด์ที่สัมผัสกับ stroma (ได้แก่ stromal thylakoid และ endgranal membrane) อนุภาคประเภทนี้ทำหน้าที่ใน pigment system I (PSI) ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่อยู่ส่วนในของ (ภายใน) ผนังไธราคอยด์ พบใน granal thylakoids ทั้งชั้น ยกเว้นผนังที่สัมผัสกับ stroma และจะไม่พบใน stromal thylakoid อนุภาคขนาดใหญ่นี้จะทำหน้าที่สำคัญใน pigment system II (PS II)

4.2 Chloroplast formation

คลอโรพลาสเกิดจากโปรพลาสติด (proplastid) ซึ่งจะพบในขณะที่เซลล์มีการเจริญเติบโต โปรพลาสติดมีผนังสองชั้น รูปร่างกลมหรืออาจเป็นรูปไข่ก็ได้ มีการแบ่งตัวเองได้ การแบ่งตัวของโปรพลาสติดจะทำให้คลอโรพลาสมีจำนวนมากขึ้น ถ้ามีแสงพอเพียง โปรพลาสติดที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็นคลอโรพลาส ภายในโปรพลาสติดมี primary thylakoid ซึ่งจะเพิ่มจำนวนได้เองเช่นกัน

ขณะที่โปรพลาสติดได้รับแสง primary thylakoid จะเพิ่มจำนวนขึ้น

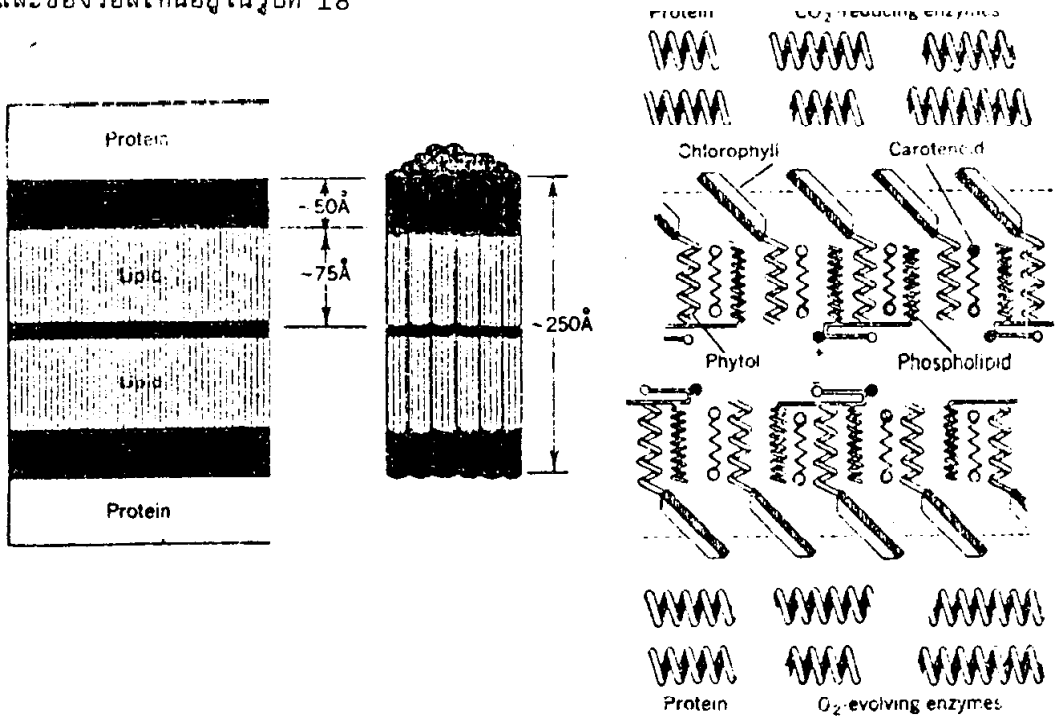
เรื่อย ๆ และ primary thylakoid แต่ละอันจะเปลี่ยนเป็นไธราคอยด์ (step I และ step II ในรูปที่ 16) ไธราคอยด์จะเกาะกันเป็นกลุ่ม ๆ แต่ละกลุ่มเรียกว่า grana และเชื่อมต่อกัน (step III) ต่อมาก็จะเกิดคลอโรฟิลล์ขึ้นที่ผิวของไธราคอยด์ จากการทดลองพบว่า step I ต้องการแสงสีแดงหรือแสงสีน้ำเงินเป็นเวลา 5 นาที step II ต้องการแสงสีน้ำเงินอย่างน้อย 2 ชั่วโมง และแสง 10 ชั่วโมงตามลำดับ สำหรับ step III ต้องการแสงประมาณ 45 ชั่วโมง และก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย (ดูรูปที่ 16)



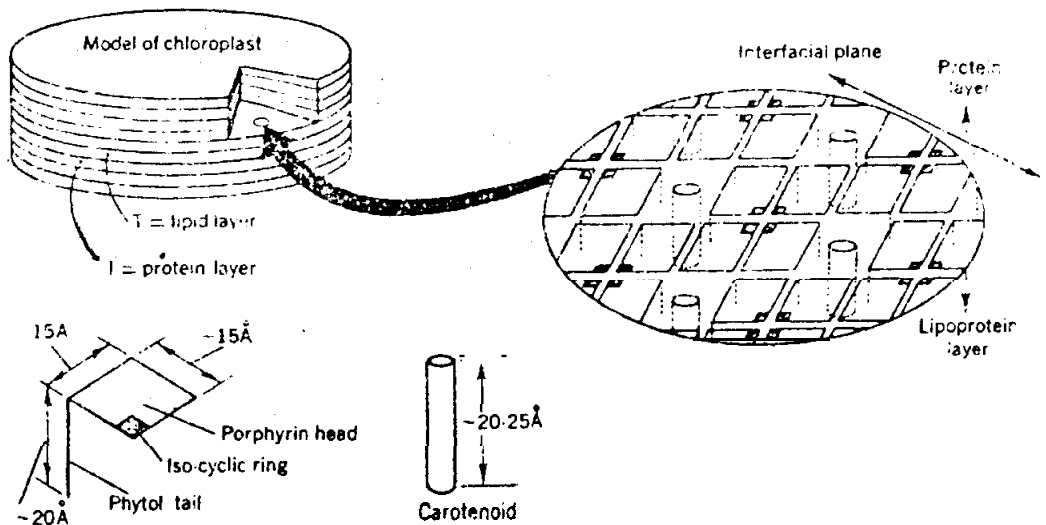
รูปที่ 16 แสดงขั้นตอนของการสร้างคลอโรพลาสต์และความต้องการแสงในขั้นตอนต่าง ๆ

4.3 Chloroplast orientation

Calvin (1959) และ Wolken (1961) ได้อธิบายการเรียงตัวของคลอโรฟิลล์ในผนังของไธราคอยด์ไว้ดังนี้ คือ โมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ porphyrin เรียกว่า "หัว" (head) และ phytol เรียกว่า "หาง" (tail) "หัว" เป็นส่วนที่มีคุณสมบัติเป็น hydrophillic (ชอบน้ำ) และ "หาง" เป็นส่วนที่มีคุณสมบัติเป็น lipophillic (ชอบลิปิด) ผนังของไธราคอยด์ประกอบด้วยสารลิปิด 2 ชั้น มีสารโปรตีนหุ้มอยู่สองชั้น และที่ชั้นโปรตีนมีน้ำอยู่มาก ดังนั้นส่วนหางของคลอโรฟิลล์จึงจมอยู่ในชั้นของลิปิด สำหรับ "หัว" จะโผล่ขึ้นมาอยู่ใกล้กับชั้นของโปรตีน และมีแคโรทีนอยด์แทรกอยู่ในชั้นของลิปิด ความคิดของนักสรีรวิทยาทั้งสองท่านนั้นใกล้เคียงกันมาก รายละเอียดการเรียงตัวของสารคลอโรฟิลล์ตามความคิดของแคลวินอยู่ในรูปที่ 17 และของวอลเคนอยู่ในรูปที่ 18



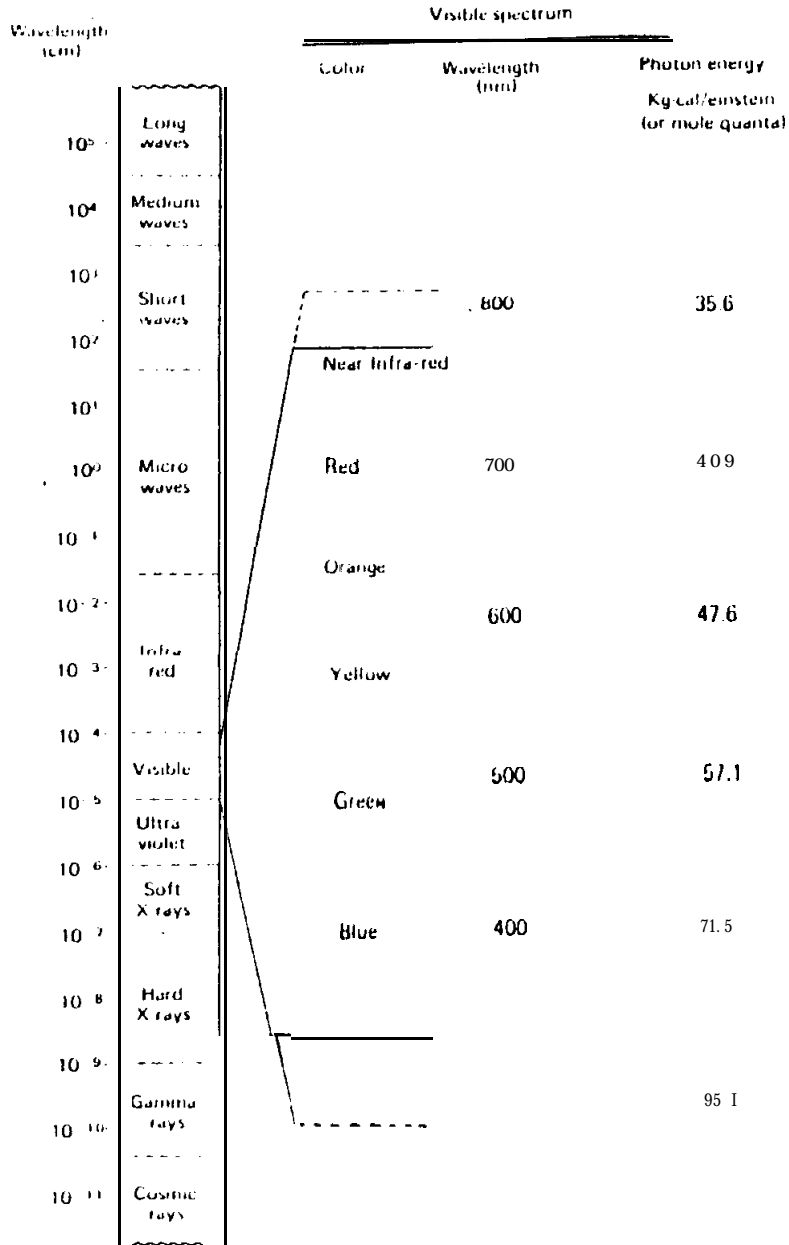
รูปที่ 17 แสดงการเรียงตัวของคลอโรฟิลล์ที่ผนังไธราคอยด์ตามความคิดของ Calvin



รูปที่ 18 การเรียงตัวของคลอโรฟิลล์ที่ผนังของไธลาคอยด์ตามความคิดของ Wolken

5. พลังงานจากดวงอาทิตย์

พลังงานของดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียสของการเปลี่ยนไฮโดรเจนอะตอมเป็นฮีเลียมอะตอม ในแต่ละวินาที ดวงอาทิตย์จะส่งพลังงานไปสู่อวกาศประมาณ 1 ล้านเท่าของพลังงานที่เกิดจากถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ และน้ำมันที่มนุษย์ขุดขึ้นมาใช้ในโลกรวมกัน แต่พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์น้อยมากเมื่อเทียบกับที่ดวงอาทิตย์ส่งออกมา พลังงานที่ดวงอาทิตย์ส่งออกมาอยู่ในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 10^{-11} ถึง 10^{+5} เซนติเมตร และมีชื่อเรียกต่างกัันดังนี้คือ cosmic rays, gamma rays, x-rays, ultraviolet, visible, infrared, micro-wave, short-wave, medium wave, และ long wave (รูปที่ 19)



รูปที่ 19 แสดงความยาวคลื่นและพลังงานของรังสี (แสง) ชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากดวงอาทิตย์

5.1 รังสีของดวงอาทิตย์บนโลก

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านมาถึงพื้นโลก มีช่วงคลื่นสั้นมาก

คือ ตั้งแต่ประมาณ 290-5,000 nm รังสีดังกล่าวแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ visible

light, infrared และ ultraviolet

(1) Visible light รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-760 nm เรียกว่า แสง (light) เป็นรังสีที่มนุษย์และสัตว์มองเห็นได้ จึงมีชื่อว่า แสงที่ตามองเห็นได้ (visible light) แสงประเภทนี้มี 7 ชนิดคือ แสงสีม่วง แสงสีคราม แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว แสงสีเหลือง แสงสีส้ม และแสงสีแดง แสงเหล่านี้มีความยาวคลื่นต่างกันดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ

ชนิดของแสง	ความยาวคลื่น (nm)
แสงสีม่วง	390-410
แสงสีคราม	411-425
แสงสีน้ำเงิน	426-492
แสงสีเขียว	493-535
แสงสีเหลือง	536-586
แสงสีส้ม	587-647
แสงสีแดง	648-760

(2) Infrared Radiation รังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นยาวกว่าแสงที่ตามองเห็น มนุษย์เราสามารถสัมผัสรังสีอินฟราเรดได้จากพลังงานความร้อนที่เกิดจากรังสี หากรังสีเป็นคลื่นที่มีความยาวมาก ความร้อนก็จะเกิดขึ้นมาก รังสีอินฟราเรดจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมาถึงโลกจะมีความยาวคลื่นไม่เกิน 3,000 nm ซึ่งเรียกว่า near infrared สำหรับอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นเกินกว่า 3,000 nm (เรียกว่า far infrared) จะสะท้อนกลับสู่อวกาศหมด Near infrared จะมีประโยชน์ต่อพืชบ้าง

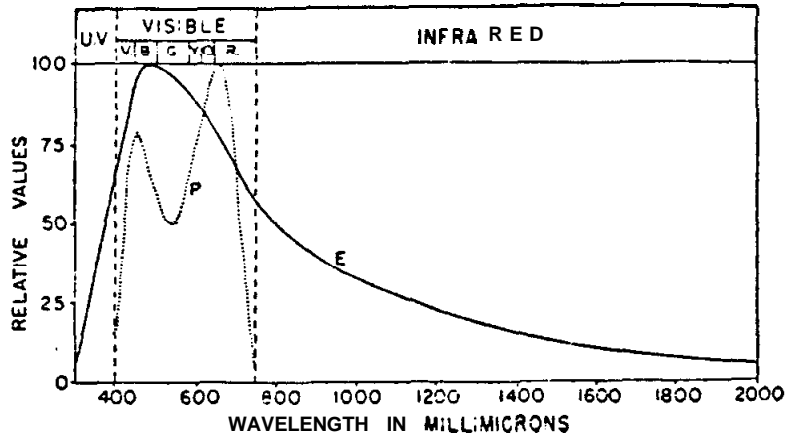
ในบางกรณีเช่น เกี่ยวกับการทำงานของฮอร์โมนในการงอกของเมล็ด และมีอิทธิพลต่อการงอกดอกของพืชบางชนิด เป็นต้น สำหรับ far infrared จะเกี่ยวกับการให้ความร้อน (อบอุ่น) กับสิ่งมีชีวิต

3. Ultraviolet Radiation รังสีที่ตามองไม่เห็นอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ อุลตราไวโอเล็ต มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 390 nm ลงมาจนกระทั่งถึงประมาณ 10 nm เป็นรังสีที่พืชไม่ได้ใช้ในการเจริญเติบโตตามปกติ รังสีประเภทนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อพืช เพราะโลกเราได้รับรังสีอุลตราไวโอเล็ตเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ของรังสีที่มาถึงโลก และ epidermis ของพืชสามารถกันรังสีประเภทนี้ไว้ได้ ดังนั้น โดยทั่วไปรังสีอุลตราไวโอเล็ตจึงไม่มีประโยชน์โดยตรงกับการเจริญเติบโตของพืช

รังสีประเภทต่าง ๆ ที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ จะให้พลังงานในปริมาณแตกต่างกัน รังสีประเภทแสงที่ตามองเห็นได้จะให้พลังงานรวมกันคิดเป็นร้อยละ 40-60 ของพลังงานทั้งหมดที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ รองลงมาได้แก่ประเภทรังสีอินฟราเรด และที่น้อยที่สุดคือ พลังงานจากรังสีอุลตราไวโอเรต (รูปที่ 20) หากเราพิจารณาปริมาณพลังงานที่ได้รับรังสีประเภทแสงที่ตามองเห็นได้ จะพบว่าแสงสีน้ำเงินจะให้พลังงานรวมกันแล้วอยู่ในเกณฑ์ที่สูงสุด รองลงมาได้แก่แสงสีเขียว สำหรับแสงสีแดงในช่วงคลื่นยาวจะให้พลังงานต่ำสุด แสงสีต่าง ๆ ทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงในพืชชั้นสูงได้ต่างกัน แสงสีคราม (violet-blue regions) และแสงสีแดงส้มจะทำให้พืชมีการสังเคราะห์แสงได้ดีที่สุด ส่วนรังสีอุลตราไวโอเล็ตก็ดี รังสีอินฟราเรดก็ดี จะไม่สามารถช่วยให้พืชชั้นสูงมีการสังเคราะห์แสงได้ (รูปที่ 20)

5.2 Energy of Light

นอกจากแสงจะมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงยังมีคุณสมบัติคล้ายกับอนุภาคเล็ก ๆ ขณะที่แสงส่องไป ณ ที่ใดก็เปรียบเสมือนมีอนุภาคต่อกันเป็นเส้นจากแหล่งที่เกิดแสงไปยังที่นั้น ลำแสงแต่ละลำเรียกว่า quantum หรือ photon แสง



รูปที่ 20 แสดงพลังงานที่โลกได้รับจากรังสีประเภทต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างรังสีประเภทต่าง ๆ กับการสังเคราะห์แสงของพืช : E พลังงาน P อัตราการสังเคราะห์แสง

1. ล่าแสง จะให้พลังงานแตกต่างกัน ตามความถี่ของคลื่นแสง ดังนี้

$$E = hv \quad \underline{\hspace{10em}} \quad (1)$$

$$E = \text{Energy}$$

$$h = \text{Plank's constant}$$

$$= 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg -sec.}$$

$$= 1.584 \times 10^{-37} \text{ kcal-sec.}$$

$$= 0.4136 \times 10^{-14} \text{ ev-sec.}$$

$$v = \text{frequency of light}$$

$$= \text{จำนวนคลื่นแสงต่อหนึ่งวินาที}$$

$$= \text{Cycle/sec.}$$

$$\text{แต่ } v = \frac{c}{\lambda} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad (2)$$

แทนค่า(2) ใน (1) จะได้

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad (3)$$

$$C = \text{ความเร็วของแสง}$$

$$= 2.993 \times 10^{17} \text{ nm/sec.}$$

ถ้าแทนค่า h, c ในสมการที่ (3) จะได้

$$E = 1.584 \times 10^{-37} \times 2.998 \times 10^{17} / \lambda$$

$$\text{หรือ } E = \frac{4.748 \times 10^{-20} \text{ (kcal-nm)}}{\lambda \text{ (nm)}} \quad (4)$$

$$E = \frac{1240 \text{ (ev-nm)}}{\lambda \text{ (nm)}} \quad (5)$$

ถ้าต้องการทราบว่า แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 680 nm 1 quantum จะให้พลังงานได้เท่าใด เราก็สามารถแทนค่าลงในสมการ (4) หรือ (5) ได้ดังนี้

$$E = \frac{4.748 \times 10^{-20} \text{ (kcal-nm)}}{\lambda \text{ (nm)}}$$

$$\lambda = 680 \text{ nm}$$

$$\therefore E = \frac{4.748 \times 10^{-20} \text{ kcal}}{680}$$

$$= 6.982 \times 10^{-23} \text{ kcal}$$

นั่นคือ แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 680 nm จะให้พลังงาน

$$= 6.982 \times 10^{-23} \text{ kcal/quantum}$$

$$\text{หรือ } = 1.82 \text{ ev/quantum}$$

ในปฏิกิริยาทางเคมี เรามักใช้หน่วยพลังงานเป็น kcal/mole เพื่อให้เป็นการคล้ายคลึงกับหน่วยพลังงานของปฏิกิริยาเคมี เราจึงใช้หน่วยพลังงานของแสงเป็น kcal/mole "mole" ในที่นี้หมายถึง "mole" ของแสง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.023×10^{23} quanta และเรามักจะใช้ einstein แทน mole ของแสง ฉะนั้นเราอาจกล่าวได้ว่า

$$\text{แสง } 1 \text{ es} = 6.023 \times 10^{23} \text{ quanta}$$

ดังนั้นหน่วยพลังงานแสงอาจพูดเป็นหน่วย kcal/es ได้ ตัวอย่างเช่น แสงที่มีความยาวคลื่น 680 nm จะให้พลังงานได้ $(6.982 \times 10^{-23} \times 6.023 \times 10^{23} \text{ kcal/es}) = 42.05 \text{ kcal/es}$ พลังงานของแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ อยู่ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณพลังงานที่ได้จากแสงความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน

ชนิดของแสง	ความยาวคลื่นทั่วไป (nm)	พลังงาน (kcal/es)
สีม่วง	410	69.7
สีน้ำเงิน	460	62.2
สีเขียว	520	55.0
สีเหลือง	580	49.3
สีส้ม	620	46.2
สีแดง	680	42.1

ข้อน่าสังเกตจากตัวเลขในตารางที่ 3 ก็คือ แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะให้พลังงานได้สูง และพลังงานจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นของแสงเพิ่มขึ้น และจะพบว่าแสงที่ตามองเห็นได้จะให้พลังงานได้สูงมาก เมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้จากสารเคมี เช่นในการไฮโดรไลส์สาร ATP (ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต) จะได้พลังงานเพียง 10 ถึง 14 kcal/mole แต่แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 680 nm จะให้พลังงานได้ 42.1 kcal/mole (42.1 kcal/es) และแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 410 nm จะให้พลังงานได้ถึง 69.7 kcal/mole (69.7 kcal/es) สูงกว่าพลังงานที่ได้จากการไฮโดรไลส์ ATP ถึงประมาณ 4 เท่าและ 7 เท่าตาม

ตามลำดับ

5.3 Light Intensity

ในปัจจุบันมีหน่วยที่ใช้วัดความเข้มของแสงอยู่สองระบบคือ photometric units และ radiometric units

photometric units เป็นหน่วยที่ใช้วัดความเข้มของแสงที่ตามองเห็นได้ การวัดความเข้มของแสงในระบบนี้ใช้หน่วยเป็น foot-candle และ lux ความเข้มของแสง 1 foot-candle มีค่าเท่ากับแสง 1 lumen/ft² และความเข้มของแสง 1 lux มีค่าเท่ากับแสง 1 lumen/m² ดังนั้น แสง 1 foot-candle จึงมีค่าเท่ากับแสง 10.76 lux การวัดความเข้มของแสงเป็น foot-candle หรือ lux สามารถใช้กับเรื่องการสังเคราะห์แสงได้เป็นอย่างดี เพราะแสงที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงมากที่สุดนั้นอยู่ในช่วงที่ตามองเห็นได้ แต่ความเข้มของแสงเป็น foot-candle หรือ lux ไม่สามารถแยกชนิดของแสงได้ ซึ่งแสงแต่ละชนิดนั้นให้ผลในการสังเคราะห์แสงได้ต่างกัน ในปัจจุบันแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ จะให้แสงที่มีคุณภาพ (ชนิด) ต่างกัน เช่น เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของแสงที่มีความเข้มของแสงเท่ากันจะพบว่า แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีแสงสีน้ำเงินมากกว่าแสงจากหลอดทั้งเสตนถึง 3 เท่า ดังนั้นเพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องหลังจากทราบความเข้มของแสงแล้ว ควรทราบว่าแสงนั้นได้มาจากแหล่งใดด้วย การวัดความเข้มของแสงเป็น foot-candle หรือ lux นั้นใช้ได้กับแสงที่ตามองเห็นได้เท่านั้น เครื่องมือที่ใช้วัดแสงในระบบนี้จึงไม่สามารถวัดอินฟราเรดและอุลตราไวโอเล็ตได้ ไม่ว่าจะเป็แสง (รังสี) ที่ผสมอยู่ในแสงที่ตามองเห็นได้ หรือจะเป็นแสงเดี่ยว ๆ ก็ตาม

สำหรับ radiometric units เป็นหน่วยวัดความเข้มของแสง โดยคิดจากพลังงานของรังสีทั้งหมด (ซึ่งได้แก่รังสีอินฟราเรด แสงที่ตามองเห็นได้ และรังสีอุลตราไวโอเล็ต) การวัดความเข้มของแสงในระบบ radiometric units อ่านค่าออกมาเป็นพลังงาน เช่น erg/cm²-sec., kcal/cm²-sec. ถ้าเราทราบว่าแสงที่เรา

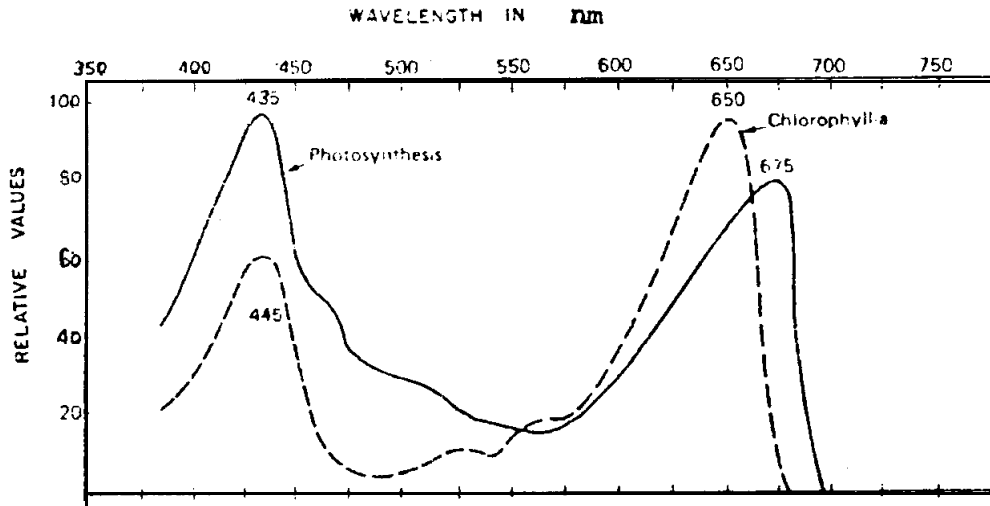
ใช้เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด ก็จะสามารถหา quantum flux ของแสงนั้นได้ โดยใช้สมการ $E=h\nu=hc/\lambda$ เข้าช่วย ความเข้มของแสงในระบบ radiometric units ไม่สามารถเทียบเป็นความเข้มของแสง ในระบบ photometric ได้

แสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมาถึงโลกมีความเข้มประมาณ 100,000 lux (ในวันที่ไม่มีเมฆ) หากวัดความเข้มของรังสีในช่วงเวลาเดียวกันจะได้ประมาณ 2.00 cal/cm²-min หรือเท่ากับ 0.12 kcal/cm²-sec. และพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ตลอดวันคิดเฉลี่ยทั่วโลก 0.9 kcal/cm² ค่าที่วัดได้นี้เปลี่ยนแปลงไปตามภูมิภาคของโลก

5.4 Absorption and Action Spectra

คลอโรพลาสต์มีรงควัตถุหลายชนิด แต่ละชนิดสามารถดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ความสามารถของรงควัตถุแต่ละชนิด ในการดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน เรียกว่า absorption spectrum ตัวอย่างของ absorption spectrum ของคลอโรฟิลล์-เอ และคลอโรฟิลล์-บี อยู่ในรูปที่ 3 ของเบตา-แคโรทีน และลูทีอิน อยู่ในรูปที่ 11 และของไฟโคออร์ริรินและไฟโคไซยานินอยู่ในรูปที่ 13 Absorption spectrum ของรงควัตถุแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นจึงอาจนำไปเป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างหนึ่งในการบอกลักษณะของรงควัตถุที่แยกออกจากต้นพืชได้

หลังจากที่รงควัตถุดูดแสงไว้แล้ว อาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการตอบสนองขึ้นได้ เช่นอาจเกิดการสังเคราะห์ขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีอัตราต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของรงควัตถุและความยาวของคลื่นแสง สมมุติว่าเราให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กันกับรงควัตถุชนิดใดชนิดหนึ่ง แล้วเกิดการสังเคราะห์แสงในอัตราที่ต่างกันไปในแสงแต่ละชนิด การตอบสนอง (การสังเคราะห์แสง) ต่อแสงชนิดต่าง ๆ ของรงควัตถุในลักษณะนี้ เรียกว่า action spectrum ตัวอย่างของ action spectrum ของคลอโรฟิลล์-เอ เมื่อคลอโรฟิลล์-เอได้รับแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กันอยู่ในรูปที่ 21 Action spectrum ของรงควัตถุมักจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับ absorption spectrum (ดูรูปที่ 21)



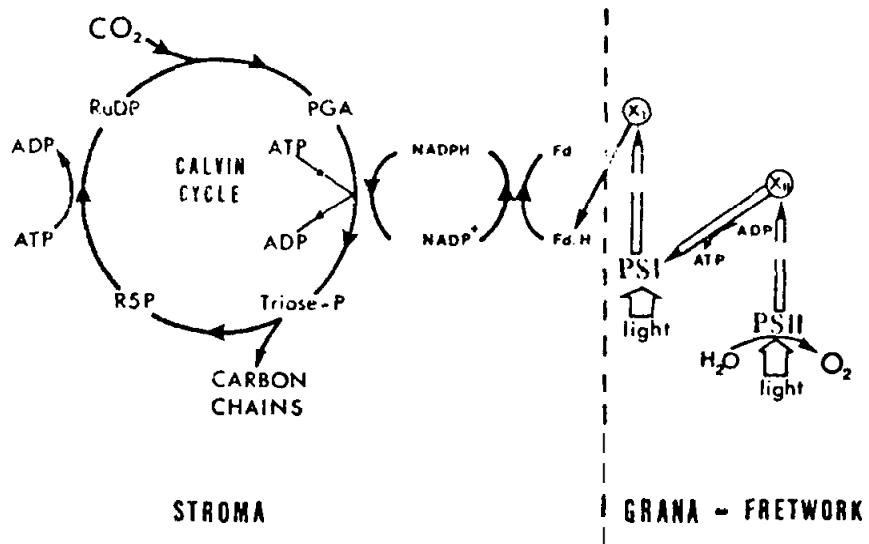
รูปที่ 21 แสดง action spectrum (photosynthesis) และ absorption spectrum (เส้นปะ) ของคลอโรฟิลล์-เอ

ในคลอโรพลาสต์จะมีรงควัตถุอยู่ร่วมกันหลายชนิด หากเราสกัดรงควัตถุเหล่านั้นออกมา แล้วนำมาหา absorption spectrum เราจะได้ absorption spectrum อีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะแตกต่างไปจากที่ได้จากรงควัตถุแต่ละชนิด และแสดงถึงความสามารถของรงควัตถุกลุ่มนั้นในการดูดซับแสงแต่ละชนิด absorption spectrum นี้เรียกว่า total absorption spectrum ในทำนองเดียวกัน หากเรานำรงควัตถุที่สกัดออกมาไปหา action spectrum เราก็จะได้ action spectrum ของรงควัตถุกลุ่มนั้นเช่นเดียวกันซึ่ง เราเรียกว่า total action spectrum

6. Photosynthesis Process

การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานจากแสงเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในพืช ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ ตอนแรกเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงานจากแสงเรียกว่า "light reaction" ซึ่งอาจเรียกว่า photochemical reaction และตอนที่สองเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการแสง เรียกว่า "dark reaction" เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาเคมีล้วนไม่ต้องการแสง จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า bio-

chemical reaction จากการศึกษา Q_{10} ของปฏิกิริยาทั้งสองตอน (Q_{10} หรือ temperature coefficient คืออัตราส่วนระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิหนึ่งกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิต่ำลงมา 10 องศา) พบว่า Q_{10} ของ light reaction จะเท่ากับ 1 โดยประมาณ และ Q_{10} ของ dark reaction มีค่าเท่ากับ 2 หรือมากกว่า แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยา light reaction กับ dark reaction แยกออกจากกันเป็น 2 ตอน ปฏิกิริยาในตอนแรกไม่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิเพราะอุณหภูมิลดลงไม่ทำให้ปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง แต่ปฏิกิริยาในตอนที่สองจะมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งควบคุมอยู่



รูปที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาที่ต้องการแสงกับปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการแสงกับปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการแสงของการสังเคราะห์แสง

ในปฏิกิริยา light reaction จะมีการใช้พลังงานจากแสงไปแตกตัวน้ำ และได้ OH^- และ H^+ ต่อมา OH^- จะถูกเปลี่ยนเป็น O_2 , H_2O และมีอิเล็กตรอน

ออกมา พลังงานที่ได้จะถูกนำไปใช้ในขบวนการสร้างสาร ATP และ H^+ ที่ได้จากการ
แตกตัวของน้ำจะถูกนำไปใช้ในการสร้างสาร NADPH + H^+ สาร ATP และ NADPH +
 H^+ ที่เกิดขึ้นจาก light reaction จะเข้าทำปฏิกิริยาในการสร้างคาร์โบไฮเดรต
ใน dark reaction (ดูรูปที่ 22)