

### หน่วยที่ 4 การสังเคราะห์ด้วยแสง

ในระบบนิเวศพืชทำหน้าที่เป็นผู้ผลิต (Producer) จึงเป็นตัวเปลี่ยนสารอนินทรีย์ให้เป็นสารอินทรีย์ โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งอาศัยคลอโรฟิลล์ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และแสง เป็นปัจจัยสำคัญ

#### 4.1 การศึกษาที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

| ที่ | ปี ค.ศ.      | นักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษา                  | การค้นพบ                                             |
|-----|--------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1   | ศตวรรษที่ 17 | Jean Van Helmont<br>( แวน เฮลมอนท์ )    | พบว่า น้ำหนักต้นหลิว ที่เพิ่มขึ้น มาจากน้ำ ไม่ใช่ดิน |
| 2   | ศตวรรษที่ 18 | Joseph Priestley                        | .....                                                |
| 3   | ศตวรรษที่ 18 | Jan Ingenhousz                          | .....                                                |
| 4   | ศตวรรษที่ 18 | Jean Senebier                           | .....                                                |
| 5   | ศตวรรษที่ 19 | Nicolas de Soussure                     | .....                                                |
| 6   | ศตวรรษที่ 19 | Joseph Pelletier and<br>Joseph Caventou | .....                                                |
| 7   | ศตวรรษที่ 19 | Robert Mayer                            | .....                                                |
| 8   | ศตวรรษที่ 19 | Julius Sachs                            | .....                                                |
| 9   | ศตวรรษที่ 19 | Jean Baptiste Bossingault               | .....                                                |
| 10  | ศตวรรษที่ 20 | Richard Willstatter                     | .....                                                |
| 11  | ศตวรรษที่ 20 | Ernst Munch                             | .....                                                |
| 12  | ศตวรรษที่ 20 | Cornelius Van Niel                      | .....                                                |
| 13  | ศตวรรษที่ 20 | Robin Hill                              | .....                                                |

| ที่ | ปี ค.ศ.      | นักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษา                     | การค้นพบ       |
|-----|--------------|--------------------------------------------|----------------|
| 14  | ศตวรรษที่ 20 | Sam Ruben and Martin Kamen                 | .....<br>..... |
| 15  | ศตวรรษที่ 20 | Melvin Calvin                              | .....<br>..... |
| 16  | ศตวรรษที่ 20 | Albert Frenkel                             | .....<br>..... |
| 17  | ศตวรรษที่ 20 | Daniel Arnon                               | .....<br>..... |
| 18  | ศตวรรษที่ 20 | Manuel Losada, Achim Trebst and co-workers | .....<br>..... |
| 19  | ศตวรรษที่ 20 | Robert Emerson and Eugene Rabinowitch      | .....<br>..... |
| 20  | ศตวรรษที่ 20 | Robin Hill & Fay Bendall                   | .....<br>..... |

### แบบฝึกหัดทบทวน การศึกษาค้นคว้ากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

คำสั่ง ให้นักเรียนนำชื่อนักวิทยาศาสตร์ ไปเติมในช่อง แต่ละช่องที่มีข้อความสัมพันธ์กับการศึกษาค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์ดังกล่าว

|              |              |                |                  |                                            |                                |
|--------------|--------------|----------------|------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| แวน เฮลมอนท์ | โจเซฟ พรินซ์ | เจนนี วิลสัน   | โรเบิร์ต ฮิลล์   | โรเบิร์ต เอมเมอร์สัน และ อีจเนอ รบินอวิตช์ | โรบิน ฮิลล์ และ เฟย์ เบนดอลล์  |
| เอดมันด์     | แวน นิล      | โรเบิร์ต ฮิลล์ | แดนเนียล อาร์นอน | จูเลียส ซาซ                                | แซมมวล รูเบน และ มาร์ติน คามัน |

1. น้ำหนักของต้นหลิวมาจาก  $H_2O$ .....
2. ทดลองใช้ ADP, หมู่ฟอสเฟต,  $NADP^+$ ,  $CO_2$  และแสงใส่ลงในคลอโรพลาสต์ที่สกัดมาได้ จนเกิดปฏิกิริยา สังเคราะห์ด้วยแสงและได้น้ำตาล เกิดขึ้น.....
3. พิสูจน์ว่าอากาศเสีย คือ  $CO_2$  อากาศดี คือ  $O_2$  โดยพืชรับ  $CO_2$  จากอากาศเข้าไป และปล่อย  $O_2$  ออกมาโดยมีปัจจัยแสงมาเกี่ยวข้อง.....
4. แสดงให้เห็นว่า NADPH และ ATP เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง .....
5. วิเคราะห์สารอินทรีย์ที่ได้ คือ คาร์โบไฮเดรต .....
6. ศึกษาแบบคิเรียบาสปีชีส์ สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้โดยไม่ใช้น้ำ แต่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ).....
7. ทดลองใช้ออกซิเจนที่เป็นสารกัมมันตรังสี ( $O^{18}$ ) แทน  $O^{16}$  (ออกซิเจนปกติ) .....
8. ทำการทดลอง ฉายแสงเข้าไปในของผสม ซึ่งมีคลอโรพลาสต์ที่สกัดออกมาจากใบของพืชพวกผักโขม โดยเติม  $Fe^{3+}$  (เฟอร์ริก) พบว่าเปลี่ยนเป็น  $Fe^{2+}$  เฟอร์รัส รวมทั้งเกิดออกซิเจนด้วย .....
9. อากาศเสีย เปลี่ยนเป็นอากาศดีโดยพืชสีเขียว.....
10. สรุปว่า แสงสีแดง และแสงสีน้ำเงิน ให้ผลดีที่สุดในการสังเคราะห์ด้วยแสง .....

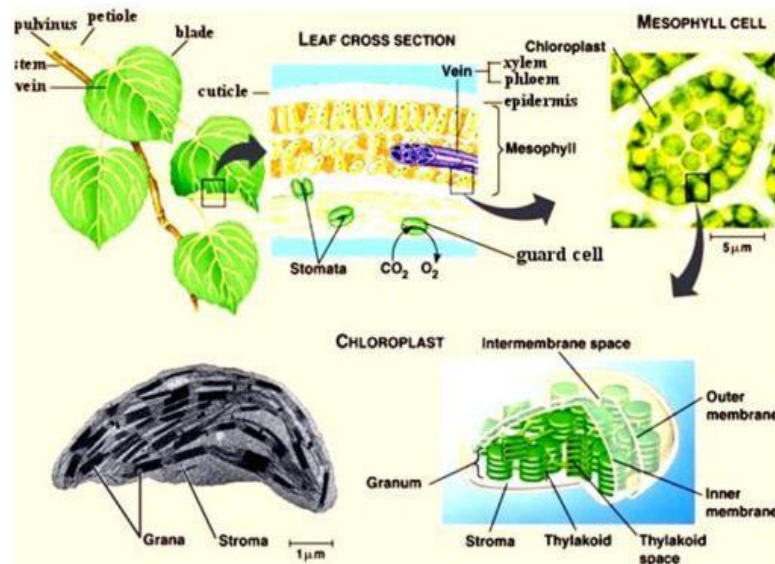
ชีววิทยา ม.5 โดยครูชีววิทยา โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี

## ความรู้เบื้องต้นก่อนศึกษาเรื่องกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

### ❖ คลอโรพลาสต์(Chloroplast)

คลอโรพลาสต์(chloroplast) เป็นออร์แกเนลที่พบได้ทั่วไปในเซลล์พืชและมีความสำคัญ เพราะกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์

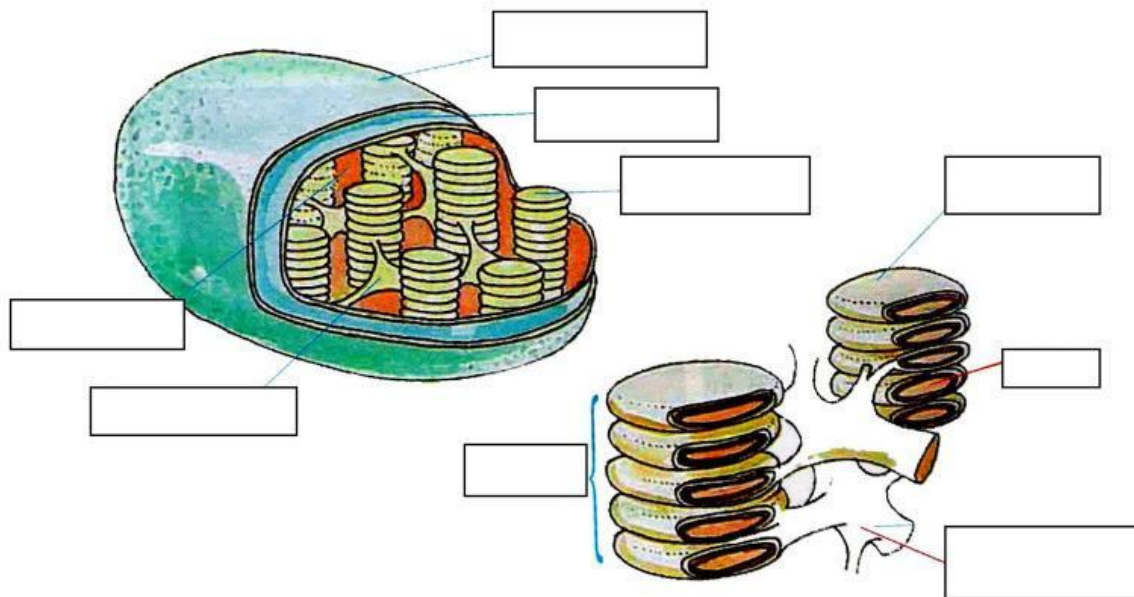
คลอโรพลาสต์(chloroplast)กระจายอยู่ทั่วไปในไซโทพลาซึมของเซลล์พืช แต่มักอยู่รวมกันแน่นมากรอบ ๆ นิวเคลียสหรืออยู่ใต้เยื่อหุ้มเซลล์ การเรียงตัวของคลอโรพลาสต์อาจแตกต่างกันไปตามปริมาณแสง ขนาดของคลอโรพลาสต์(chloroplast)แตกต่างกันตามชนิดของเซลล์ โดยทั่วไปมักมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-10 ไมโครเมตร หนา 2-3 ไมโครเมตร หรือยาวประมาณ 5 ไมโครเมตร กว้าง 2-3 ไมโครเมตร หนา 1-2 ไมโครเมตร จำนวนคลอโรพลาสต์แตกต่างกันตามชนิดของพืช และต่างกันไปในแต่ละเซลล์ขึ้นกับการทำงานของเซลล์นั้น ๆ สาหร่ายมักมีคลอโรพลาสต์ขนาดใหญ่ 1 อัน แต่เซลล์พืชชั้นสูงอาจมี 20-40 คลอโรพลาสต์ต่อเซลล์



### โครงสร้างของคลอโรพลาสต์

ประกอบด้วย เยื่อหุ้ม 2 ชั้น ซึ่งเป็นยูนิตเมมเบรน (unit-membrane) ที่ประกอบด้วยฟอสโฟลิพิด และโปรตีน คือ เยื่อชั้นนอก (Outer membrane) และเยื่อชั้นใน (Inner membrane) คล้ายของไมโทคอนเดรีย เยื่อชั้นนอกมีลักษณะเรียบเป็นตัวควบคุมการผ่านของสารในไซโทพลาซึมกับใน คลอโรพลาสต์ เยื่อชั้นในขนาบกับเยื่อชั้นนอก และมีส่วนที่ยื่นเข้าเข้าข้างใน กลายเป็นลามลลา (Lamella) ลามลลาเป็นเยื่อบาง ๆ เรียงซ้อนกันและขนาบกันเป็นแผ่นซึ่งลอยอยู่ในช่องเหลวที่เรียกว่า สโตรมา(stroma) หรือเมทริกซ์ (matrix) ซ้อนกันเป็นตึ้งเรียกตึ้งตึ้งว่า กรานุม (granum) หลาย ๆ กรานุมเรียกว่า กรานา (grana) และเรียกลามลลาแต่ละแผ่นในกรานุมว่า ไทลาคอยด์ (thylakoid) ในแต่ละกรานุมจะมีแผ่นไทลาคอยด์ตั้งแต่ 10-100 แผ่น ซึ่งจำนวนจะแตกต่างกันตามชนิดของสิ่งมีชีวิต เช่น สาหร่ายสีแดง มีไทลาคอยด์แผ่นเดียว สาหร่ายสีเขียวแกมเหลืองหรือสีน้ำตาลแกมเหลือง (คริโซไฟตา , Chrysophyta, พวกไดอะตอม , Diatom) มีไทลาคอยด์เป็นคู่

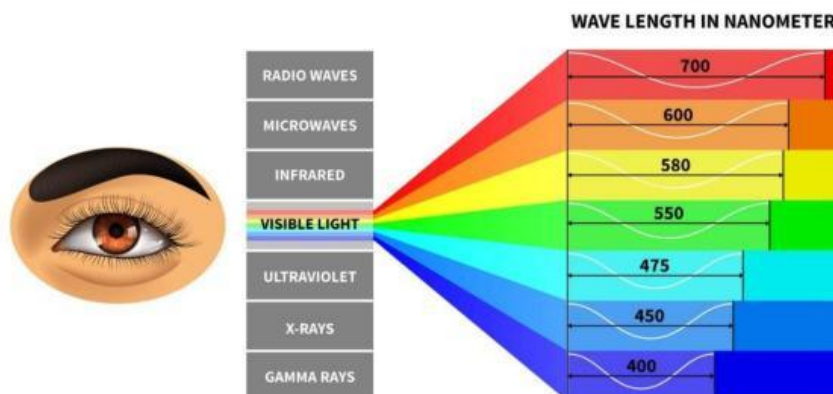
จำนวนกรานามีตั้งแต่ 40-60 อันใน 1 คลอโรพลาสต์ กรานามีส่วนของเมมเบรนยื่นออกไปเชื่อมกับกรานาอื่น ส่วนที่เชื่อมกันนี้เรียกว่า สโตรมาลามลลา (stroma lamella) หรืออินเตอร์กรานุลามลลา (Intergrana lamella) หรือ เฟร็ต (Fret)



## ❖ พลังงานแสง

แสง(light) เป็นรังสีในรูปของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic wave) และมีสมบัติเป็น อนุภาค (particle) เรียกว่า โฟตอน(.....) โดยระดับพลังงานของโฟตอน จะแปรผกผันกับความยาวคลื่นแสง

$$\text{ระดับพลังงานโฟตอน} = \frac{1}{\text{ความยาวคลื่นแสง}}$$

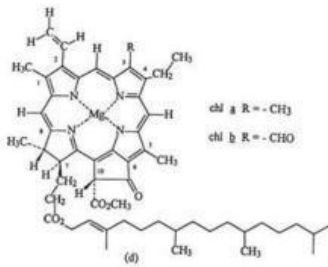


รู้หรือไม่ ?

แสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (.....) เป็นแสงที่มีความยาวช่วงคลื่น .....นาโนเมตร

## ❖ สารสี (pigment)

สารสี(.....) ทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานแสง โดยในสิ่งมีชีวิตพบสารสี หลายกลุ่มดังนี้



**1.คลอโรฟิลล์(.....)** ดูดแสงสีน้ำเงินและสีแดงได้มากที่สุด แต่คลอโรฟิลล์ดูดแสงสีเขียวได้น้อยมาก เราจึงเห็นคลอโรฟิลล์เป็นสีเขียว คลอโรฟิลล์อยู่ที่ไทลาคอยด์เมมเบรนธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างคลอโรฟิลล์คือ.....

**2.แคโรทีนอยด์ (.....)** พบในเนื้อเยื่อพืชที่มีสีเหลือง ส้ม แดง อยู่ร่วมกับคลอโรฟิลล์ในไทลาคอยด์เมมเบรน ดูดกลืนแสงสีน้ำเงิน (400 – 500 nm) แล้วถ่ายทอดพลังงานให้คลอโรฟิลล์และปกป้องคลอโรฟิลล์ไม่ให้ถูกทำลาย โดยอะตอมของออกซิเจนที่เป็นอนุมูลอิสระ

**3.ไฟโคบิลิน (.....)** เป็นรงควัตถุเสริมที่พบในสาหร่ายสีน้ำเงินและสาหร่ายสีแดง แบ่งเป็นไฟโคอีริทริน ซึ่งดูดแสงสีเขียว และไฟโคไซยานินดูดแสงสีส้มแดง

**4.แบคทีรีโอคลอโรฟิลล์ (.....)** เป็นรงควัตถุที่พบในกลุ่มแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้

ตารางแสดงรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ

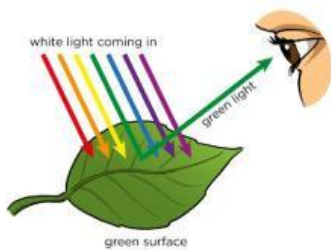
|                 | คลอโรฟิลล์ |   |   |   | แคโรทีนอยด์ | ไฟโคบิลิน | แบคทีรีโอคลอโรฟิลล์ |   |   |        |
|-----------------|------------|---|---|---|-------------|-----------|---------------------|---|---|--------|
|                 | a          | b | c | d |             |           | a                   | b | c | d      |
| กรีนแบคทีเรีย   | -          | - | - | - | +           | -         | +                   | - | + | หรือ + |
| ไซยาโนแบคทีเรีย | +          | - | - | - | +           | +         |                     |   |   |        |
| สาหร่ายสีแดง    | +          | - | - | + | +           | +         |                     |   |   |        |
| สาหร่ายสีน้ำตาล | +          | - | + | - | +           | -         |                     |   |   |        |
| สาหร่ายสีเขียว  | +          | + | - | - | +           | -         |                     |   |   |        |
| มอส             | +          | + | - | - | +           | -         |                     |   |   |        |
| เฟิน            | +          | + | - | - | +           | -         |                     |   |   |        |
| พืชมีดอก        | +          | + | - | - | +           | -         |                     |   |   |        |

หมายเหตุ + หมายถึง มี - หมายถึง ไม่มี

## คำถาม

- 1.รงควัตถุ ชนิดใดพบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด .....
- 2.สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาล และสาหร่ายสีเขียว มีคลอโรฟิลล์ใดเหมือนและต่างกันอย่างไร.....
- 3.ไฟโคบิลิน พบในสิ่งมีชีวิตชนิดใดบ้าง.....

### ทำไมคลอโรฟิลล์จึงเป็นสีเขียว

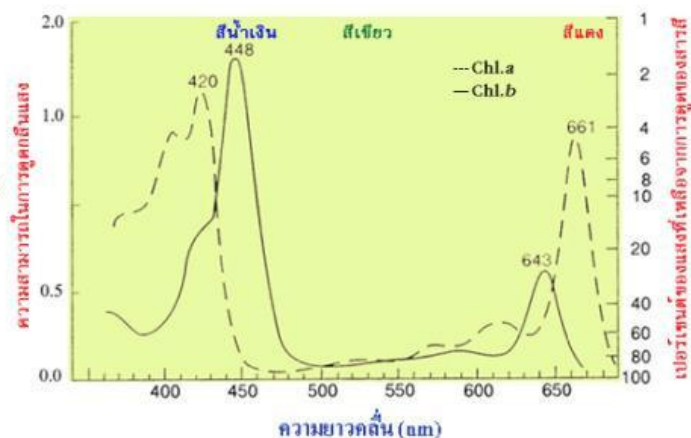
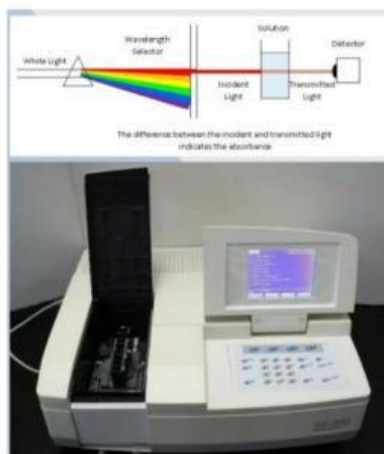


สเปกตรัมของทั้งคลอโรฟิลล์ a และ b มีส่วนที่เป็นยอด หมายถึงดูดแสงได้ดีคือ ช่วงแสงสีน้ำเงิน ที่ความยาวคลื่นประมาณ 420-460 nm และ แสงสีแดง ที่มีความยาวคลื่น ในช่วง 630-660 nm และมีการดูดแสงได้ไม่ดีในช่วงคลื่น 480-620 nm ซึ่งเป็นช่วงคลื่นแสงสีเขียว-เหลือง พืชจะดูดแสงสีน้ำเงินและแดงไว้ได้หมดหรือเกือบหมด ส่วนแสงสีเขียว-เหลืองจะถูกสะท้อนออกไปหรือทะลุผ่านใบไม้ไป ดังนั้นคลอโรฟิลล์ จึงมี สีเขียว

### ❖ การดูดกลืนแสงของสารสี

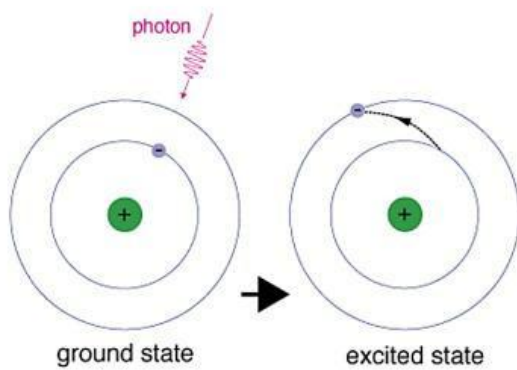
สเปกตรัม (spectrum) ของสารคือการแสดงความสามารถในการดูดแสงของสารที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สเปกตรัมของสารที่มีสีจึงเป็นกราฟที่มียอด มีเนินมีที่ราบและเหวที่แสดงว่าที่ความยาวคลื่นใด สารตัวนั้นๆ ดูดแสงได้ดีเพียงใด ยอดที่สูง ณ ตำแหน่งหนึ่งๆ แสดงถึงความสามารถในการดูดแสงที่ความยาวคลื่นนั้นที่ราบหรือเหว แสดงถึงความสามารถดูดแสงที่ต่ำ การวัดสเปกตรัมของสารทำได้โดยใช้ เครื่อง spectrophotometer



### เกิดอะไรขึ้น เมื่อรังควัดดูดกลืนแสง

รังควัดต่าง ๆ ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงหรือโฟตอน ที่ความยาวคลื่นแสงต่างกัน พลังงานของโฟตอนแปรผันกลับกับความยาวคลื่น ถ้าแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานมากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาว แสงที่มีพลังงานสูงมาก จะทำให้พันธะเคมีของรงควัตถุแตกตัวออกและปล่อยอิเล็กตรอนออกเป็นอิสระ แต่ถ้าแสงนั้นมีพลังงานน้อยจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนเท่านั้น

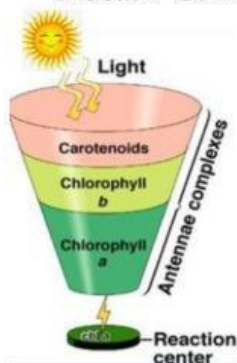


เมื่อรังสีควอดูกกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตาคนเรามองเห็น จะไปเพิ่มพลังงานให้แก่อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพปกติ(Ground state) ถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงมากขึ้น และเคลื่อนที่ไปอยู่ในระดับที่มีพลังงานสูงขึ้น (Higher - energy orbital) อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงขึ้นเรียกว่า อิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพเร่งเร้า (Excite eletron)

พลังงานของอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับสูง เรียกว่าพลังงานเร่งเร้า (Excitation energy) พลังงานเร่งเร้านี้ไม่คงตัว และอาจสูญเสียในรูป ก) ความร้อน หรือ ข) เปลี่ยนเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าเดิม จึงเกิดการเรืองแสง (Fluorescence) หรือ ค) ส่งต่อพลังงานไปยังโมเลกุลของ รังควัตถุที่อยู่ติดกันเป็นทอด ๆ จนถึงศูนย์กลางปฏิกิริยาซึ่งมีคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ ทำให้คลอโรฟิลล์ เอ ที่ศูนย์กลางปฏิกิริยาได้รับพลังงานจนอิเล็กตรอนในคลอโรฟิลล์ เอ หลุดออกมา อิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้จะมีตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) มารับอิเล็กตรอน ดังการทดลองของแดเนียล อาร์โนน ที่พบว่า  $\text{NAD}^+$  เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาพที่มีคลอโรพลาสต์ และได้ NADPH เกิดขึ้น

#### ❖ ระบบแสง (Photosystem : PS)

ระบบแสง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ



ก) แอนเทนนาคอมเพล็กซ์(.....) ประกอบด้วย **แคโรทีนอยด์** **คลอโรฟิลล์ b** และ **คลอโรฟิลล์ a** ตามลำดับ ทำหน้าที่จับพลังงานจากแสงอาทิตย์ และส่งต่อพลังงาน ต่อกันจนถึงศูนย์กลางปฏิกิริยา(reaction center)

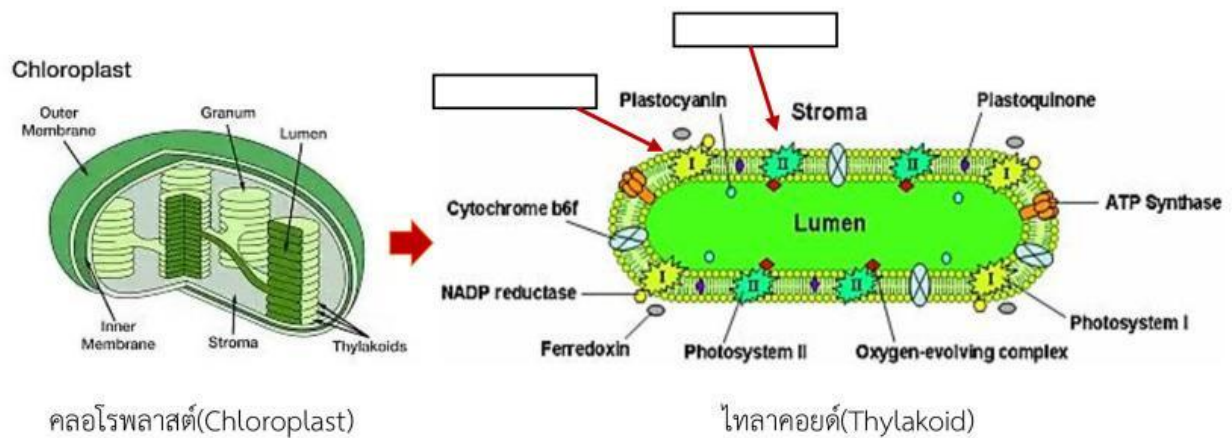


ข) ศูนย์กลางปฏิกิริยา(.....) ประกอบด้วย**คลอโรฟิลล์ เอ** **โมเลกุลพิเศษ 1** คู่ ทำหน้าที่รับพลังงานโฟตอน และถ่ายทอดอิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพเร่งเร้าไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่อยู่นอกคลอโรฟิลล์

#### ชนิดของระบบแสง

ระบบแสง(PS) อยู่ที่เยื่อไทลาคอยด์(thylakoid membrane) มี 2 ชนิด ได้แก่

- ❖ ระบบแสง I (Photosystem I : PSI) ดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า .....
- ❖ ระบบแสง II (Photosystem II : PSII) ดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า .....



### Note

ระบบแสง (Photosystem : PS)

ประกอบด้วย 2 ส่วน .....

และ.....

ระบบแสง I (PSI)

หรือ .....

ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น ..... nm.

ระบบแสง II (PSII)

หรือ .....

ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น..... nm.