



1% tổng lượng nước

CHƯƠNG 4 - QUANG HỢP



Feeding on Light

An important characteristic of plants is their ability to use sunlight and the carbon dioxide in the air to manufacture their own complex nutrients.

This process, called photosynthesis, takes place in chloroplasts, cellular components that contain the necessary enzyme machinery to transform solar energy into chemical energy. Each plant cell can have between 20 and 100 oval-shaped chloroplasts. Chloroplasts can reproduce themselves, suggesting that they were once autonomous organisms that established a symbiosis, which produced the first plant cell. ●

Why Green?

Leaves absorb energy from visible light, which consists of different colors. The leaves reflect only the green light.

Leaves

are made of several types of plant tissues. Some serve as a support, and some serve as filler material.

Algae

perform photosynthesis underwater. Together with water plants, they provide most of the atmosphere's oxygen.

O_2 IS RELEASED BY PLANTS INTO THE EARTH'S ATMOSPHERE

Plant Cells

have three traits that differentiate them from animal cells: cell walls (which are made up of 40 percent cellulose), a large vacuole containing water and trace mineral elements, and chloroplasts containing chlorophyll. Like an animal cell, a plant cell has a nucleus.

Plant Tissues

The relative stiffness of plant cells is provided by cellulose, the polysaccharide formed by the plant's cell walls. This substance is made of thousands of glucose units, and it is very difficult to hydrolyze (break down in water).

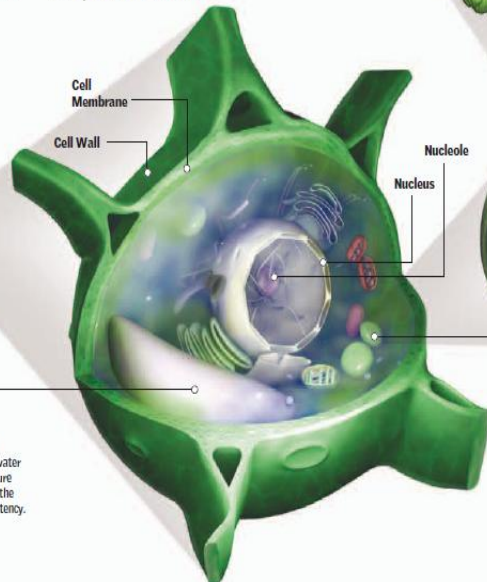
CARBON DIOXIDE is absorbed by plant cells to form sugars by means of photosynthesis.

OXYGEN is a by-product of photosynthesis. It exits the surface of the leaves through their stoma (two-celled pores).

CHLOROPHYLL is the most abundant pigment in leaves.

WATER Photosynthesis requires a constant supply of water, which reaches the leaves through the plant's roots and stem.

Vacuole provides water and pressure and gives the cell consistency.



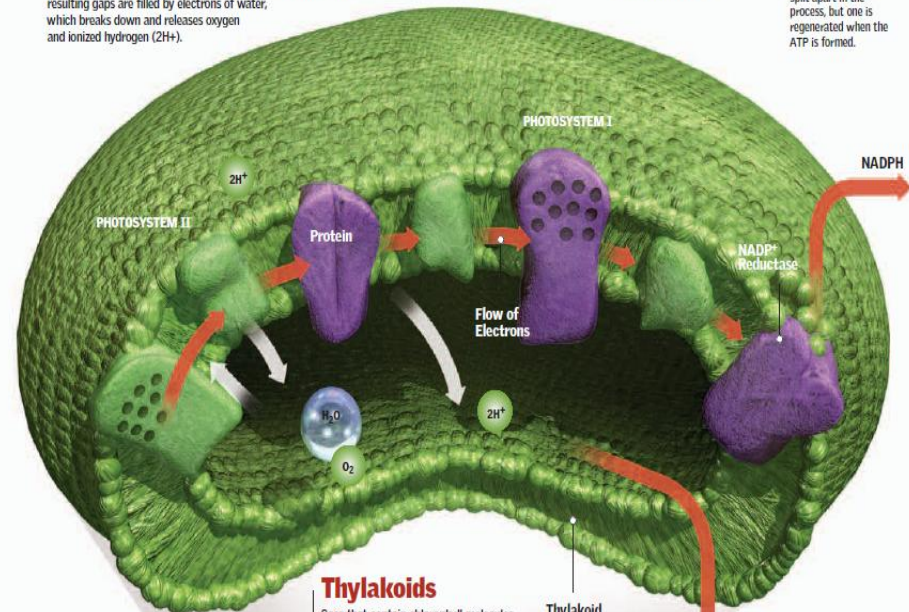
Stages of the Process

Photosynthesis takes place in two stages. The first, called photosystem II, depends directly on the amount of light received, which causes the chlorophyll to release electrons. The resulting gaps are filled by electrons of water, which breaks down and releases oxygen and ionized hydrogen ($2H^+$).

1 ATP formation is powered by the movement of electrons into receptor molecules in a chain of oxidation and reduction reactions.

2 In photosystem I light energy is absorbed, sending electrons into other receptors and making NADPH out of $NADP^+$.

3 The ATP and NADPH obtained are the net gain of the system, in addition to oxygen. Two water molecules are split apart in the process, but one is regenerated when the ATP is formed.



Thylakoids

Sacs that contain chlorophyll molecules. Inside them ADP is converted into ATP as a product of the light-dependent phase of photosynthesis. Stacked thylakoids form a structure called a grana.

Thylakoid Membrane

4 In photosystem I ATP is also generated from ADP because of the surplus flow of free electrons.

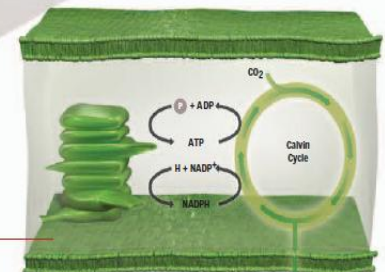


Chloroplast

The part of the cell where both phases of photosynthesis take place. It also contains enzymes.

Stroma

is the watery space inside the chloroplast.



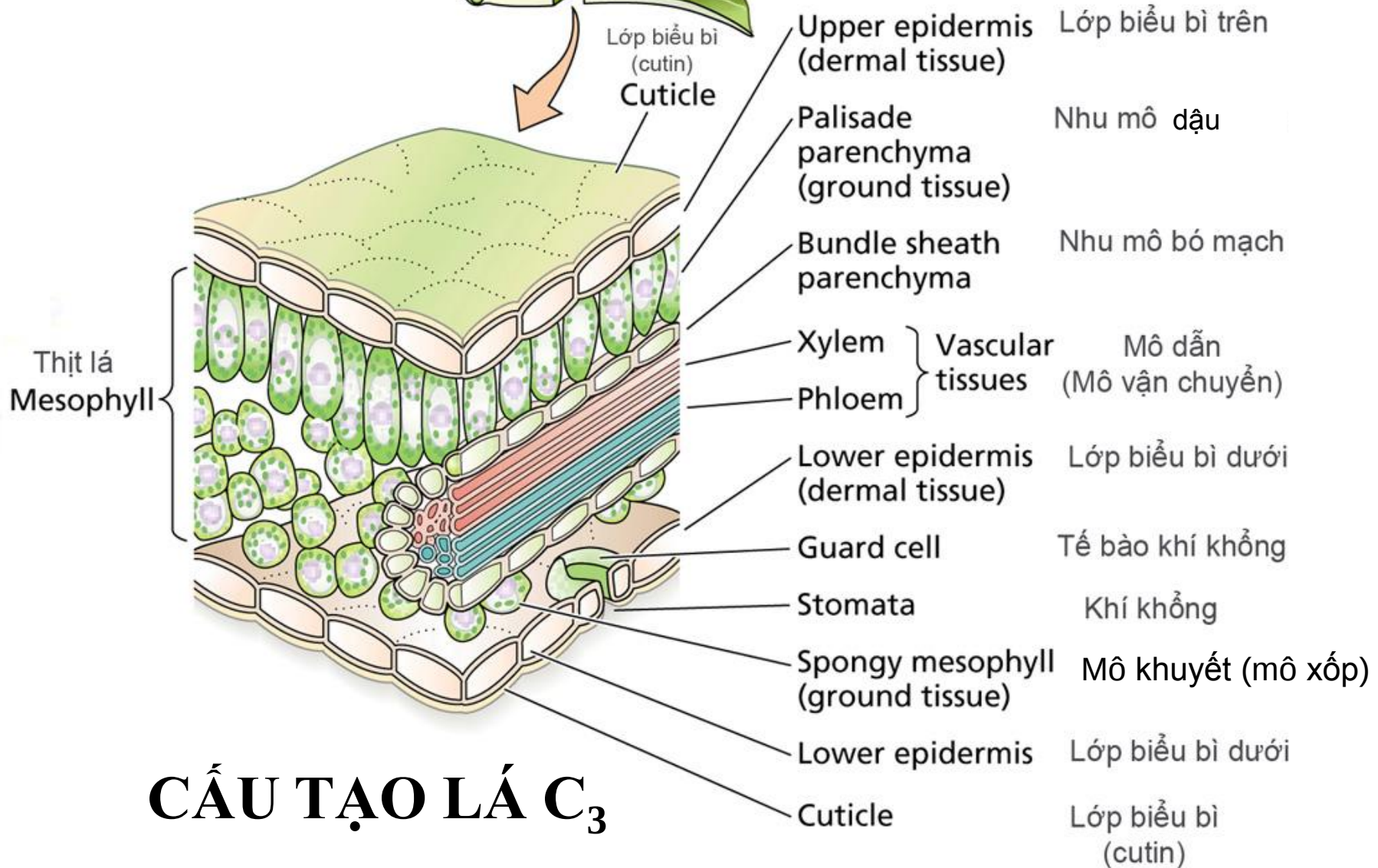
The Dark Phase

This phase, so called because it does not directly depend on light, takes place inside the stroma of the chloroplast. Energy in the form of ATP and NADPH, which was produced in the light-dependent phase, is used to fix carbon dioxide as organic carbon through a process called the Calvin cycle. This cycle consists of chemical reactions that produce phosphoacylglycerides, which the plant cell uses to synthesize nutrients.

END PRODUCTS enable the plant to generate carbohydrates, fatty acids, and amino acids.

Carbon
THE BUILDING BLOCK OF ORGANIC MATERIALS

(A) Leaf Lá



I. Bộ máy quang hợp

1. Lá (cơ quan quang hợp chủ yếu):

- Mặt trên thường phủ 1 lớp cutin và sáp, mặt dưới có nhiều lỗ khí khổng, đôi khi có nhiều lông tơ che phủ.
- Hướng quang $\rightarrow$ vận động để nhận được nhiều nhất năng lượng ánh sáng (hoặc né ánh nắng chói chang).
- Gồm *cuống lá* và *phiến lá* (hệ gân lá)
- Mô đồng hoá (mô dậu và mô khuyết), nơi xảy ra quá trình quang hợp

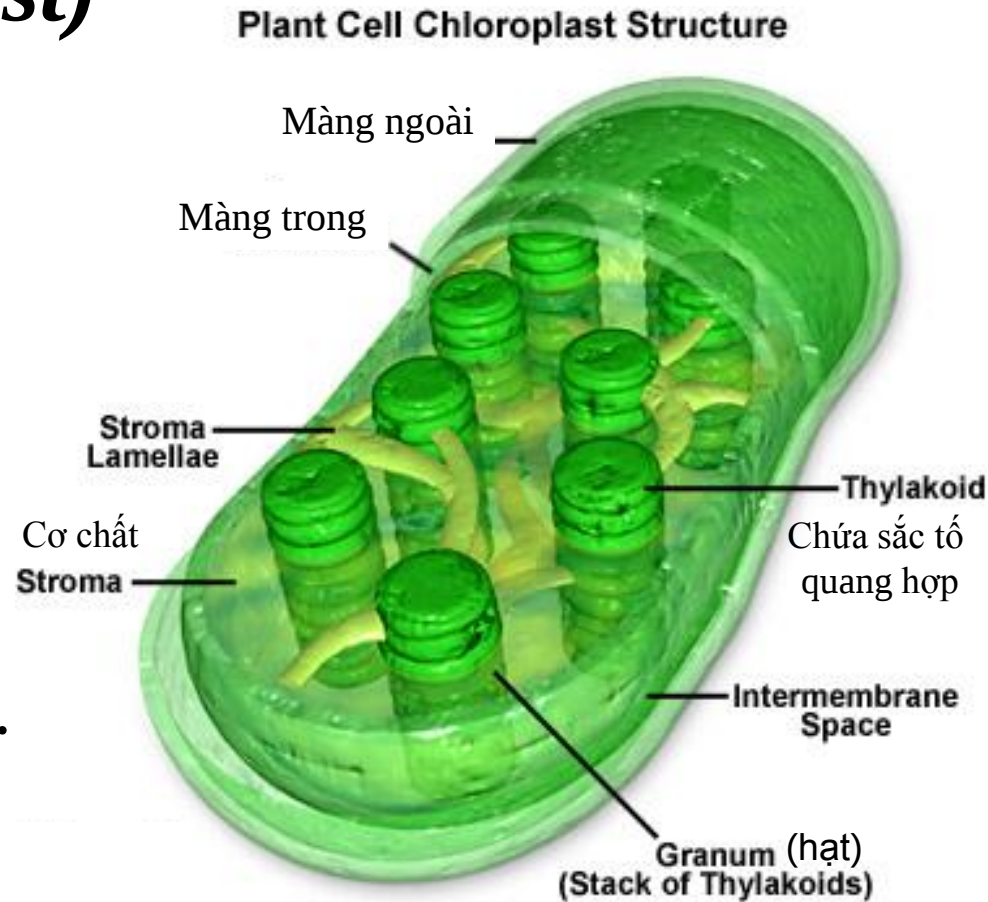
Mô dậu chứa nhiều hạt lục lạp

Mô khuyết (chứa lục lạp): có các gian bào (chứa CO_2 và hơi nước)

- **Hệ gân lá (các bó mạch)** bộ khung cho phiến lá và là hệ thống mạch dẫn vận chuyển nước và các chất hữu cơ.
- Mỗi bó mạch gồm 2 loại mô chính: **mô gỗ (vận chuyển nước)**, và **mô libe (vận chuyển chất hữu cơ)**

2. Lục lạp (chloroplast)

- Vận động linh hoạt, chứa chủ yếu là diệp lục tố (chlorophyll)
- Mỗi tế bào (mô đồng hoá) chứa khoảng 20 - 100 lục lạp.
- Màng kép. Màng trong (*thylakoid*) phát triển thành các túi dẹp thông với nhau.



(A) Leaf Lá



Lớp biểu bì
(cutin)
Cuticle

Upper epidermis
(dermal tissue)

Lớp biểu bì trên

Palisade
parenchyma
(ground tissue)

Nhu mô hàng rào

Bundle sheath
parenchyma

Nhu mô bó mạch

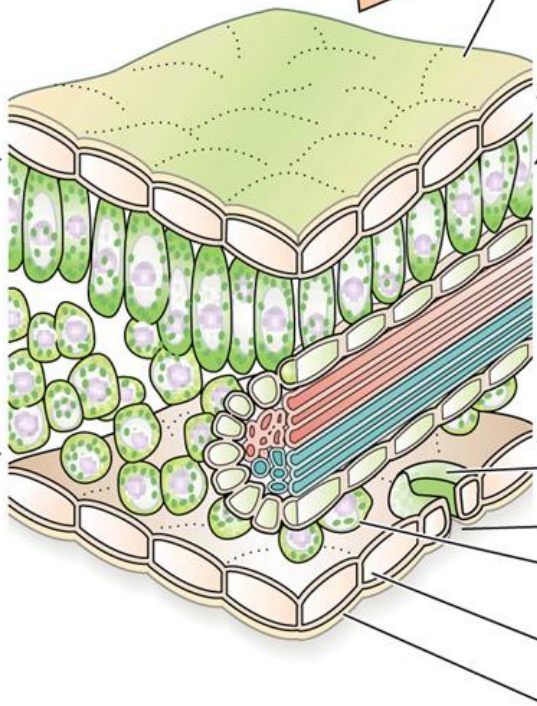
Xylem

Vascular
tissues

Mô dẫn
(Mô vận chuyển)

Phloem

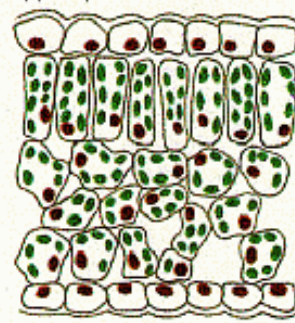
Thịt lá
Mesophyll



LEAF

upper epidermis

lower epidermis



2 μ m

CHLOROPLAST

stroma

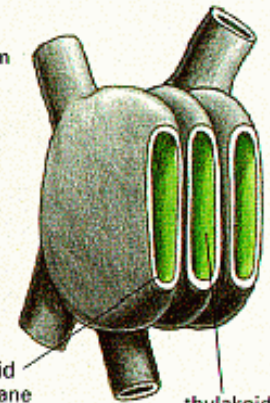
granum

thylakoid
membrane

outer
membrane

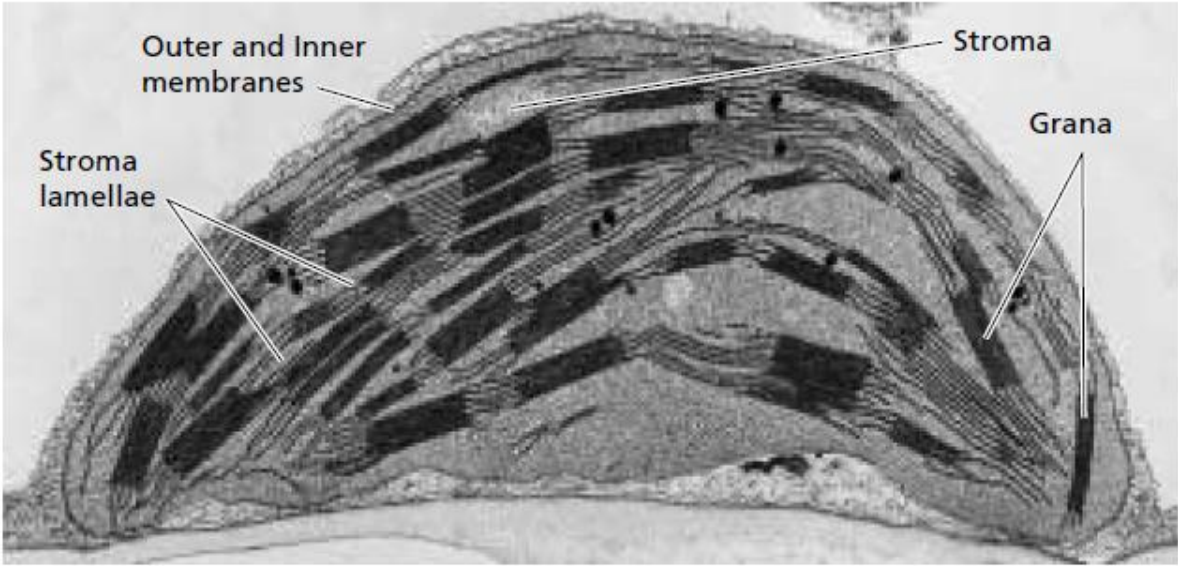
inner
membrane

intermembrane space

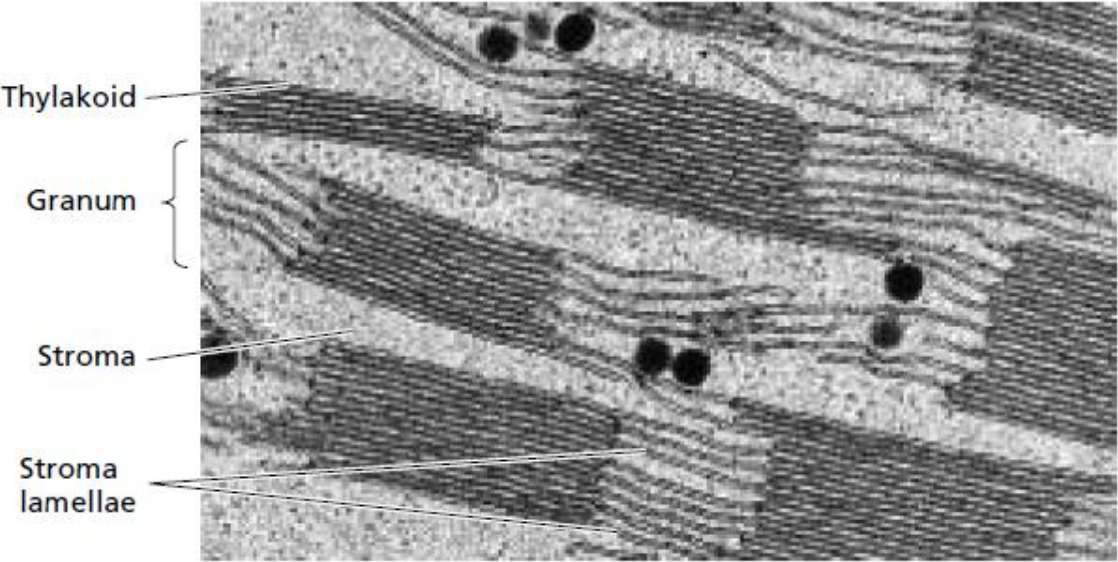


thylakoid
space

(A)



(B)



- Lục lạp có 2 phần: ***hạt*** và ***cơ chất***.
 - + Một lục lạp có chứa ≈ 50 ***hạt*** (***granum***) (do màng thylakoid xếp chồng lên nhau)
 - + Trong 1 hạt có ≈ 15 ***đĩa*** (***đồng xu***) xếp chồng lên nhau
- **Phản ứng pha sáng** xảy ra trong màng *thylakoid*.
- **Phản ứng pha tối** xảy ra trong cơ chất (*stroma*)
- Chức năng của thylakoid: biến quang năng thành hoá năng

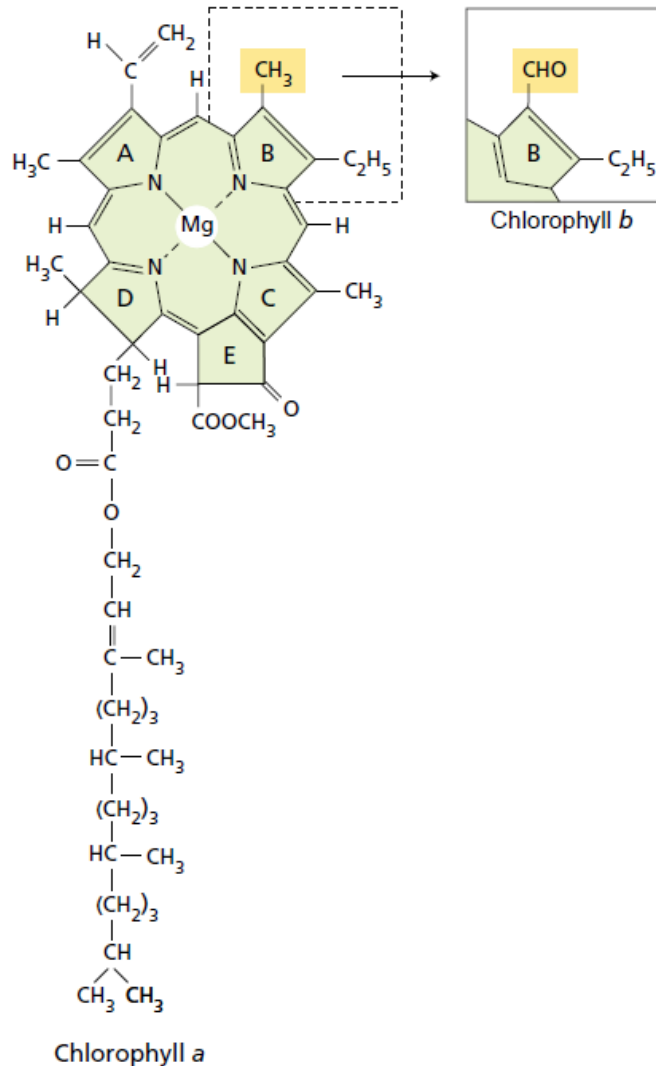
3. Sắc tố quang hợp

3.1. Diệp lục tố (*chlorophylle*) là chủ yếu

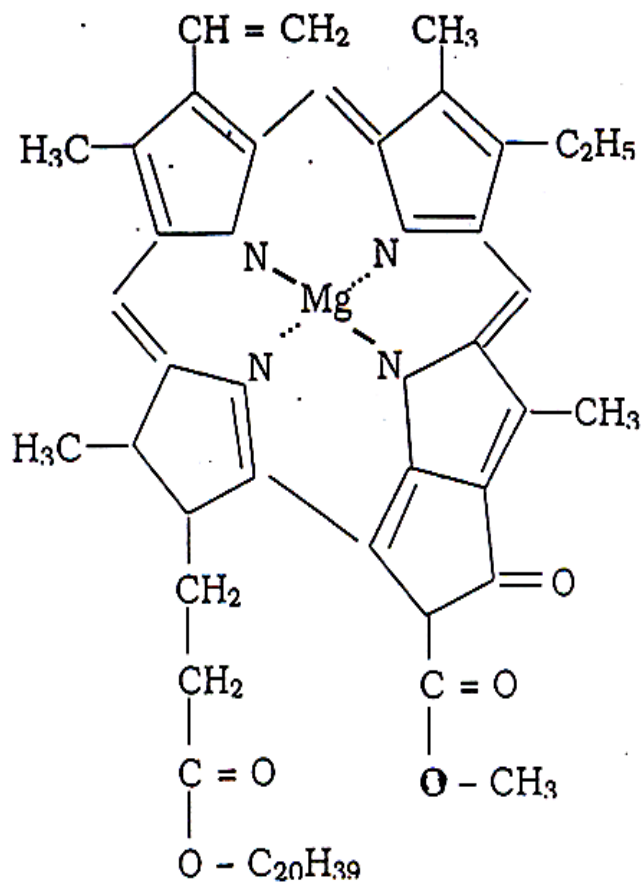
3.2. *Carotenoid*

3.1. Diệp lục tố (Chlorophyll)

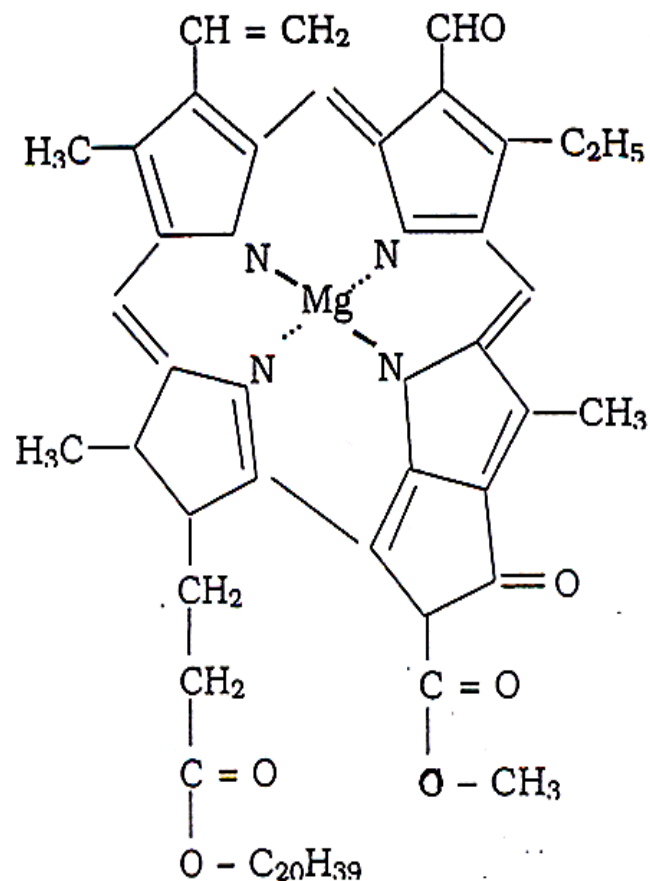
(A) Chlorophylls



- Ester gồm 4 nhân pyrol liên kết với nhau theo kiểu nối đôi – nối đơn cách đều, ở giữa có nhân Mg → hấp thu AS mạnh
- Cấu tạo phân tử diệp lục:
Nhân diệp lục (vòng Mg-porphirin) và đuôi diệp lục.



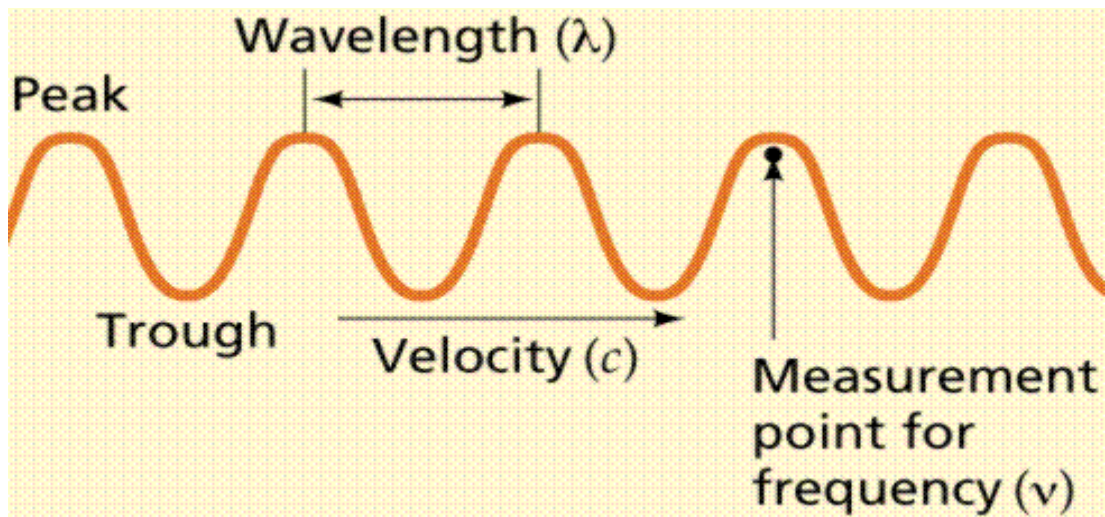
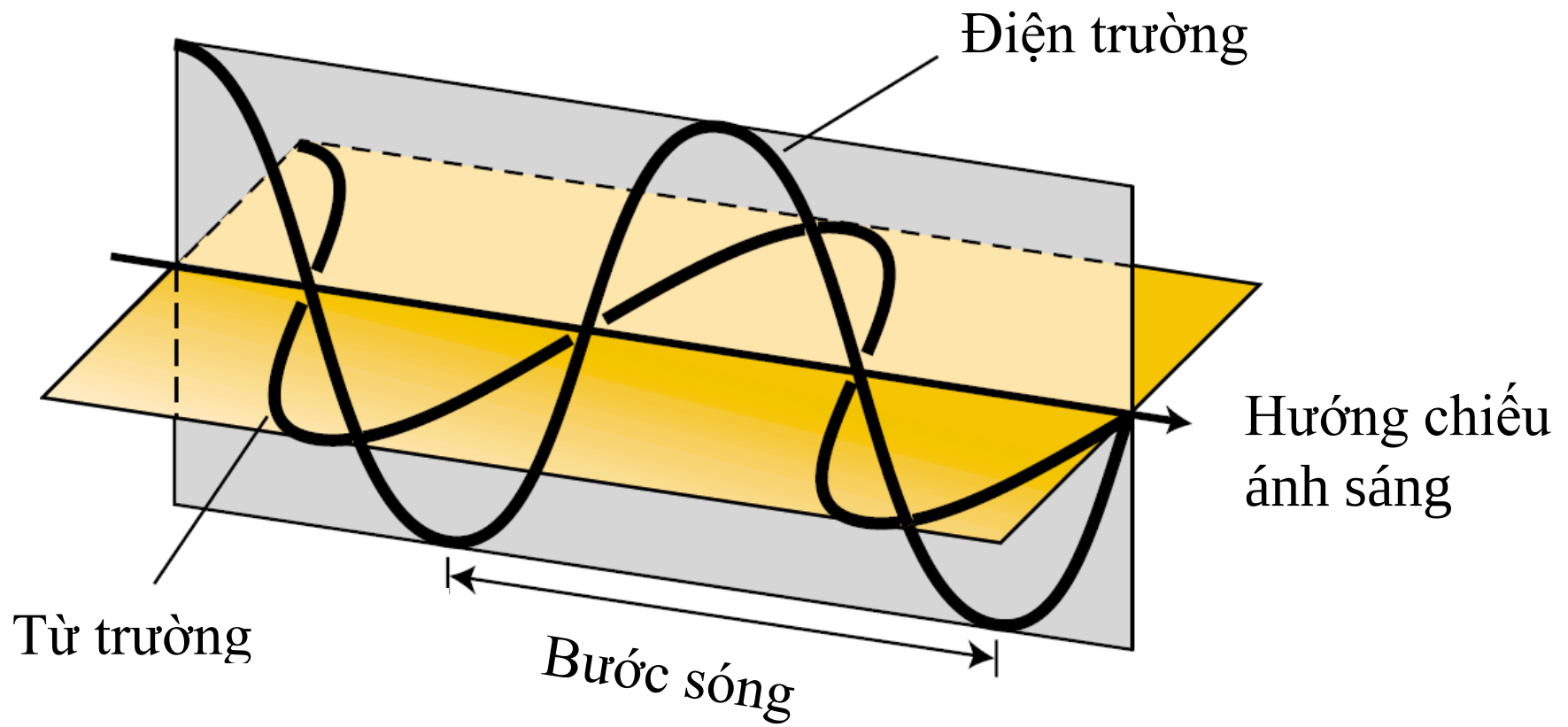
$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ (a)

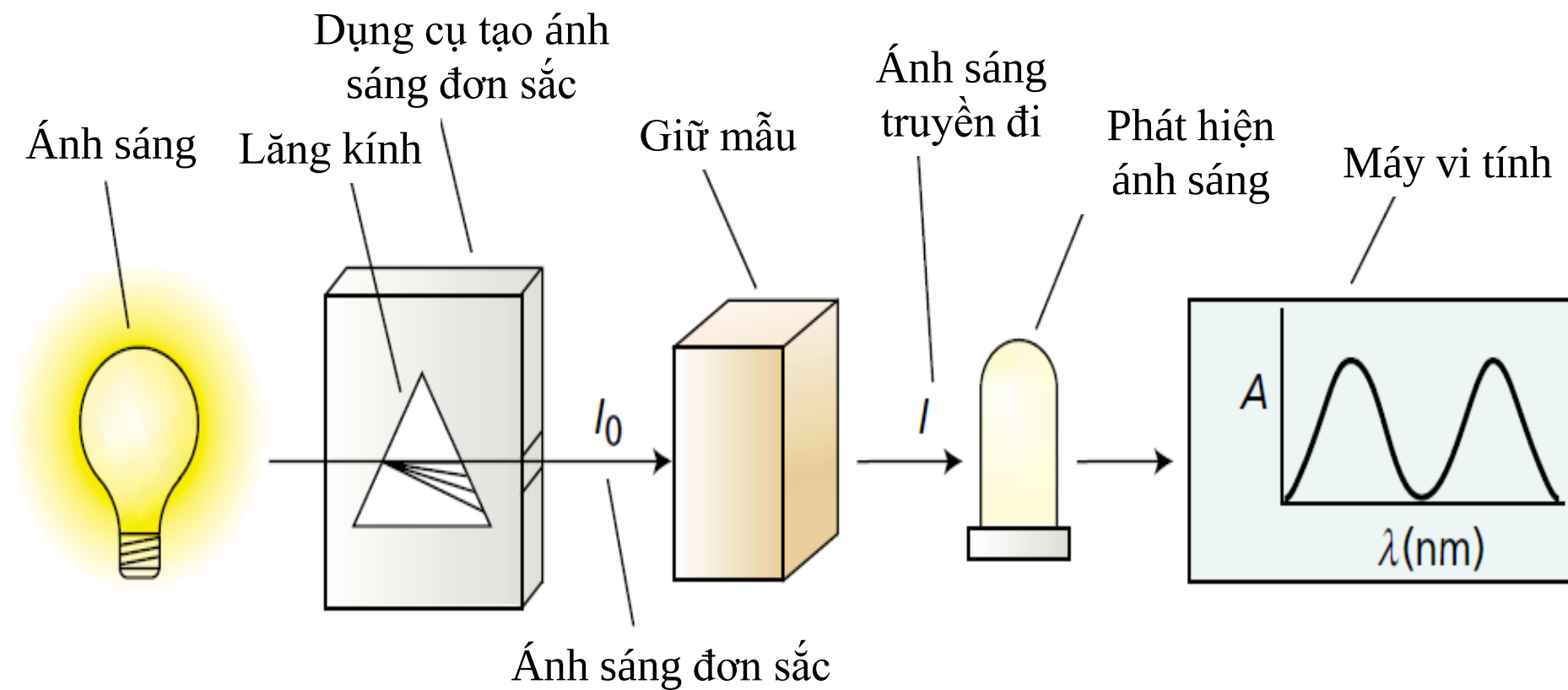


$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ (b)

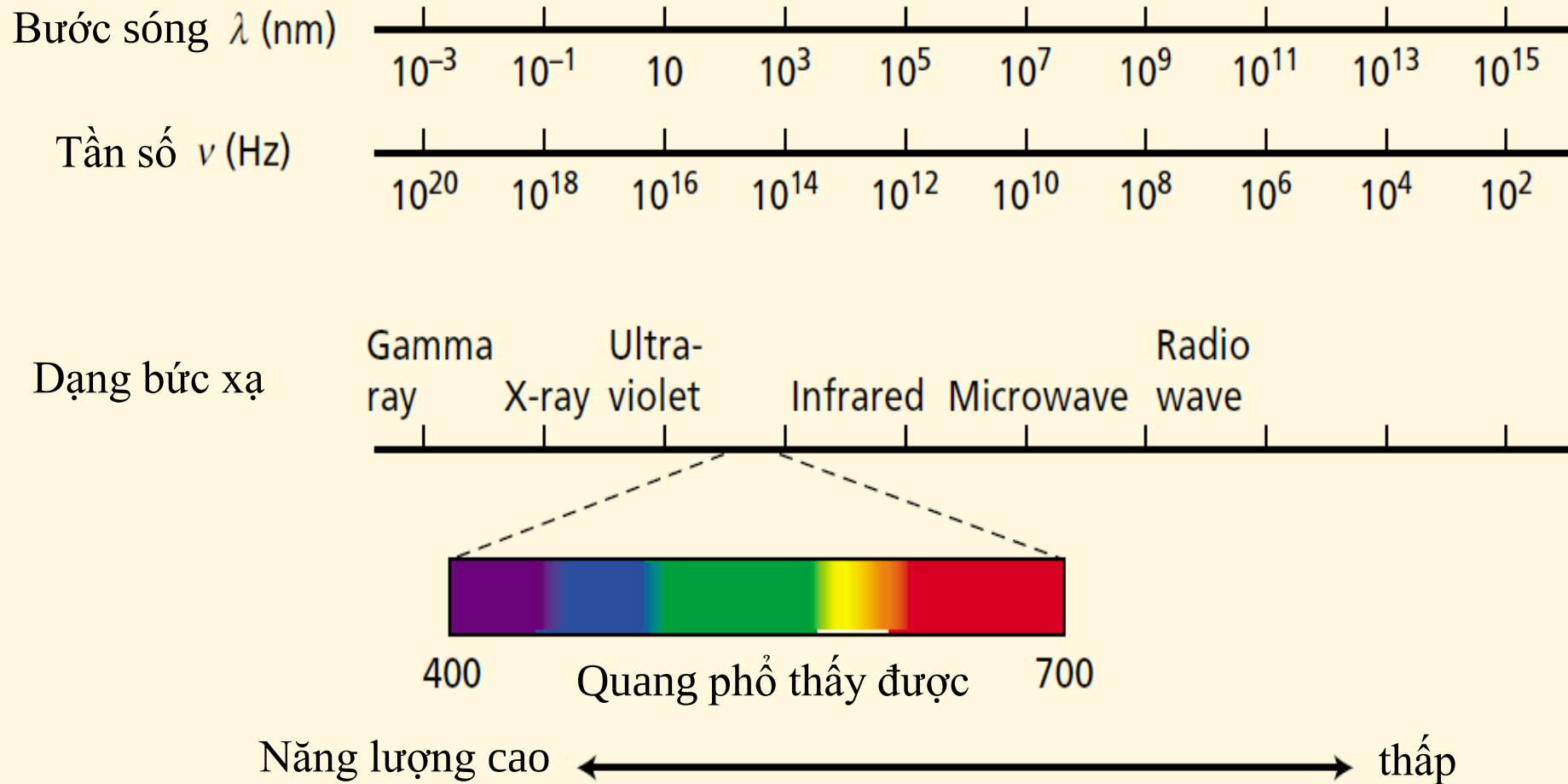
Diệp lục tố (a) và (b) chỉ khác nhau nhóm định chức

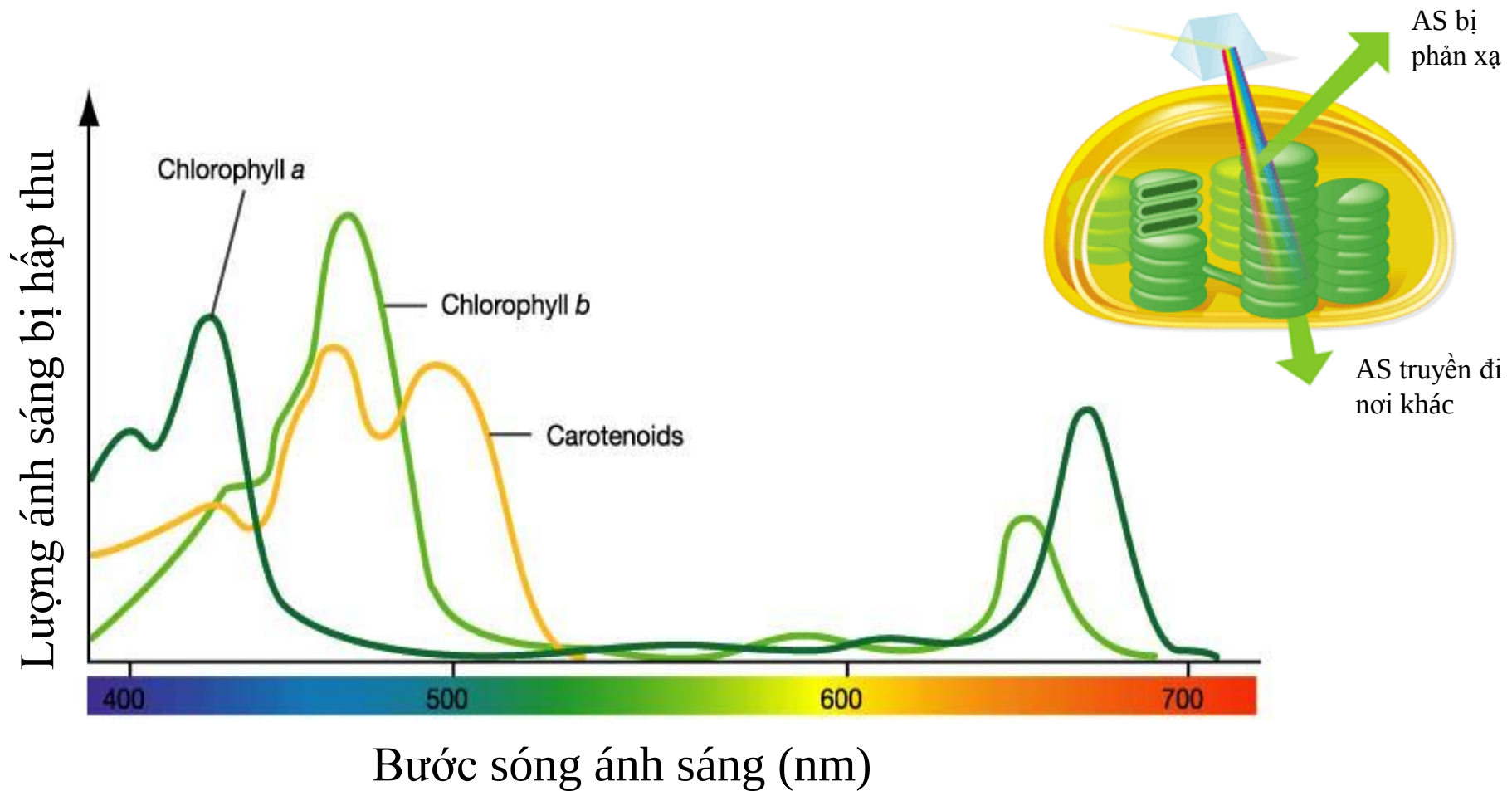
Diệp lục tố a thực hiện quang phân ly nước





Sơ đồ máy đo quang phổ





- Ánh sáng đỏ (max 662 nm) và ánh sáng xanh da trời (max 430 nm)
- Phân tử diệp lục liên kết với các phân tử protein $\rightarrow P_{700}$, P_{680} , $P_{685} \dots$

Vai trò của diệp lục trong quang hợp

- Hấp thu năng lượng ánh sáng mặt trời → năng lượng kích thích điện tử.
- Vận chuyển năng lượng vào trung tâm phản ứng (P_{700}).
- Biến quang năng → hoá năng tại trung tâm phản ứng (P_{700}) nhờ quá trình quang phosphoryl hoá → ATP và NADPH.

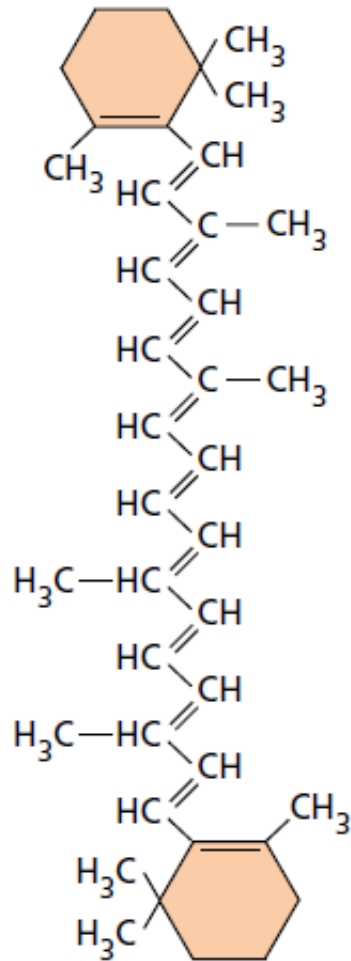
2.3.2. Nhóm sắc tố vàng, da cam (Carotenoid)

- Đi kèm với diệp lục, tỷ lệ diệp lục/carotenoid là 3/1.
- Gồm: Caroten và xantophyll

Caroten ($C_{40}H_{56}$): a, b (tiền Vitamin A), d

Xantophyll ($C_{40}H_{56}O_n$, với $n=1-6$).

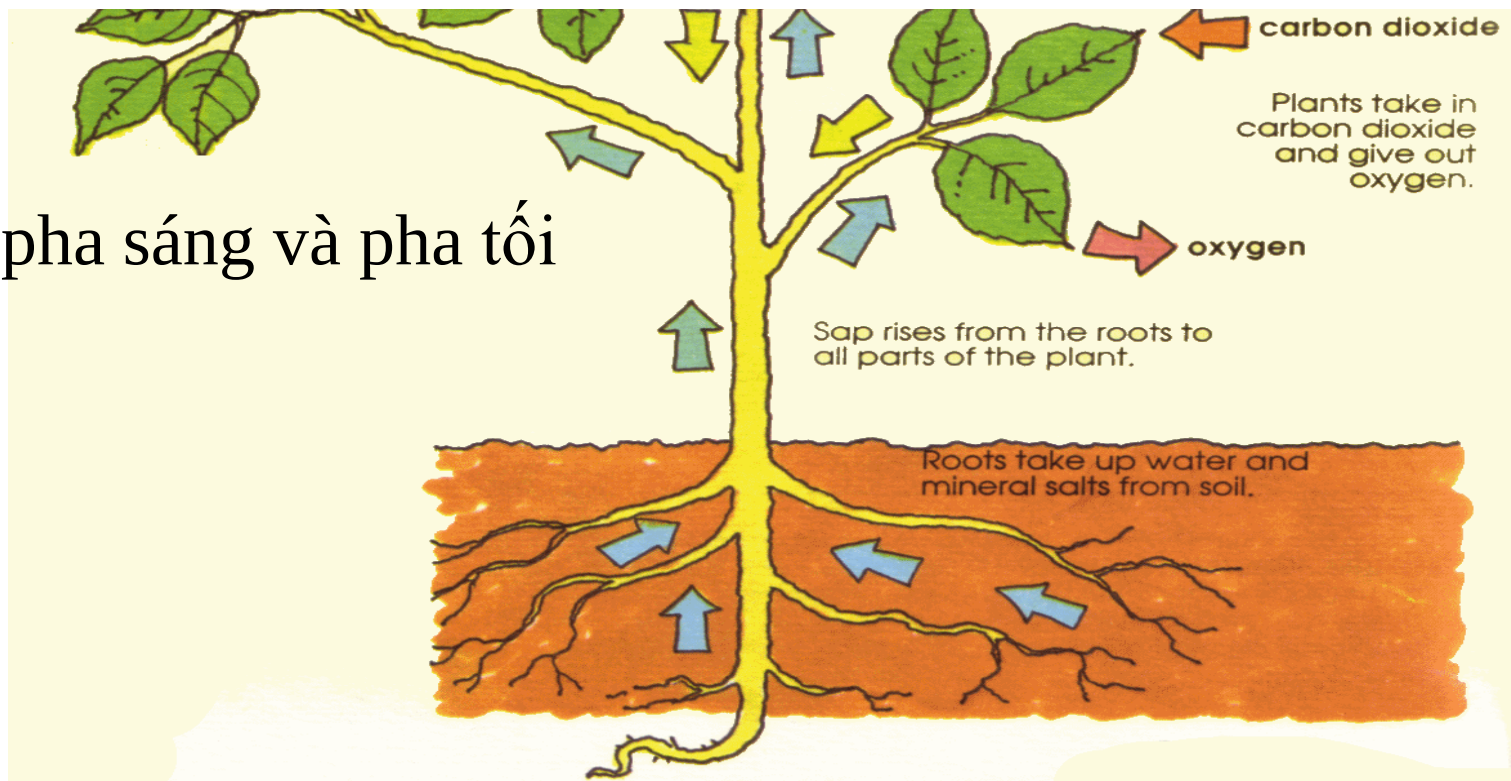
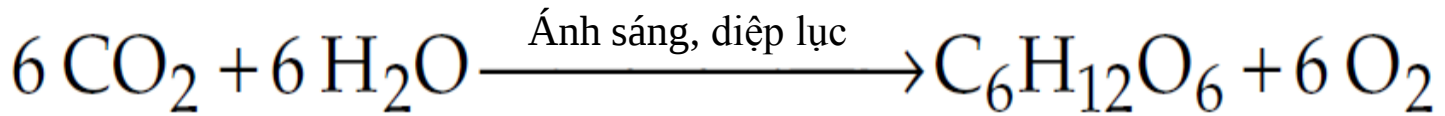
(B) Carotenoids



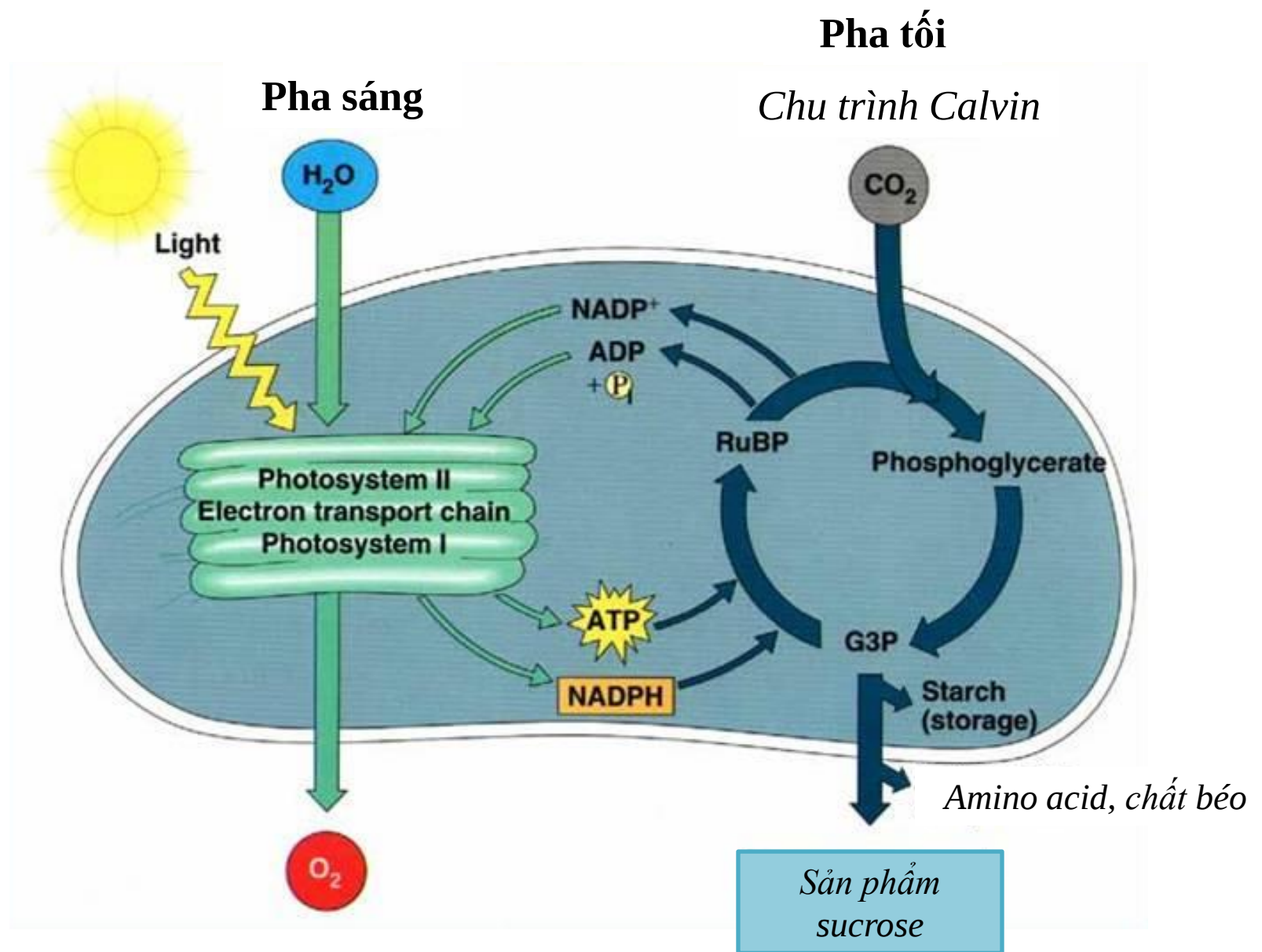
β -Carotene

- Lọc ánh sáng và bảo vệ cho diệp lục khỏi AS có cường độ cao.
- Hạn chế các ion tự do được tạo ra trong quá trình quang hợp
- Hấp thu ánh sáng mặt trời và truyền cho diệp lục sử dụng (hỗ trợ)

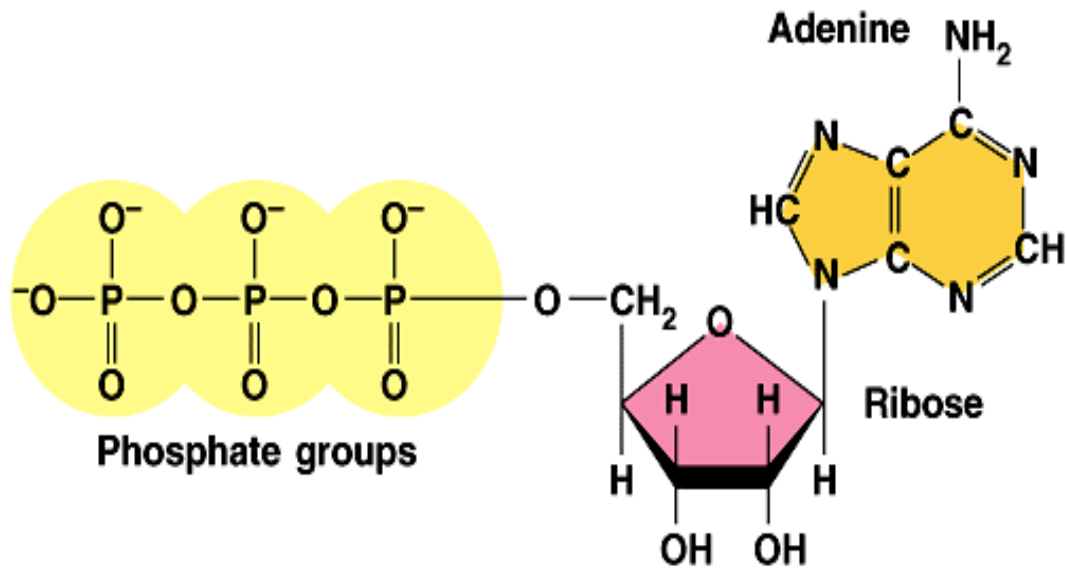
II. Cơ chế quang hợp



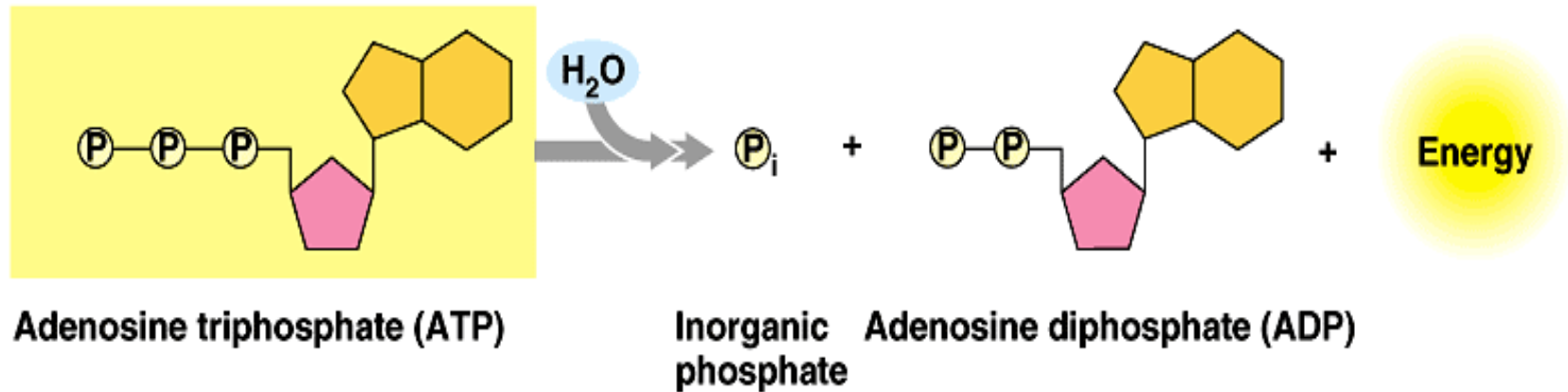
Gồm pha sáng và pha tối



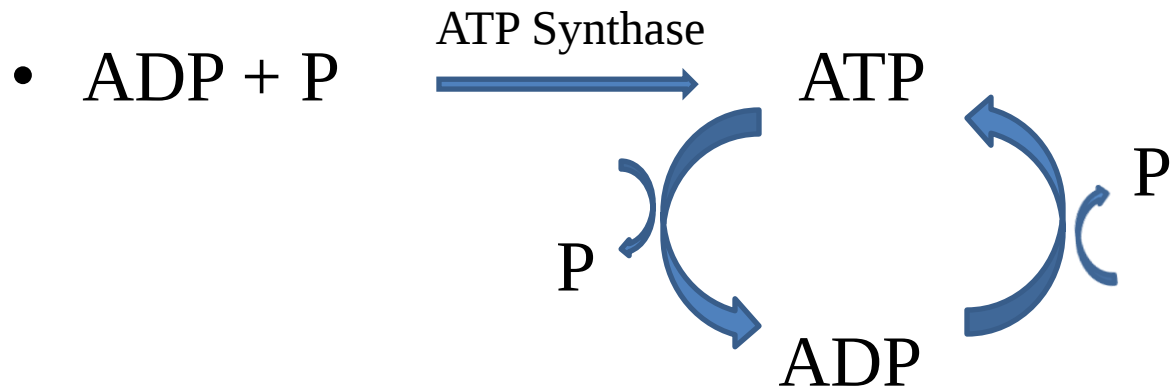
Phản ứng pha sáng và pha tối của quang hợp



(a) Cấu trúc của Adenosine Triphosphate



(b) Thủy phân ATP



- NADPH (Nicotinamid Adenine DinucleotidePhosphate)
 (năng lượng điện tử)



$\left. \begin{array}{l} \text{NADPH} \\ \text{NADH} \end{array} \right\}$
 Phân tử vận chuyển điện tử

1. Hệ thống quang hoá I và II (PSI và PSII)

- Trên màng thylakoid, diệp lục tố và các sắc tố được tổ chức thành 2 hệ thống quang hoá I và II
- Mỗi hệ thống quang hoá chứa khoảng 300 phân tử sắc tố, *chlorophyll a* đóng vai trò trung tâm (trung tâm phản ứng)
- Những phân tử sắc tố khác hoạt động như những anten: hấp thu NL của AS có độ dài sóng khác nhau → truyền NL về trung tâm pứ
- *Hệ thống quang hoá I* (max khi $\lambda = 700 \text{ nm} - P_{700}$)
Hệ thống quang hoá II (max khi $\lambda = 680 \text{ nm} - P_{680}$)

Ánh sáng

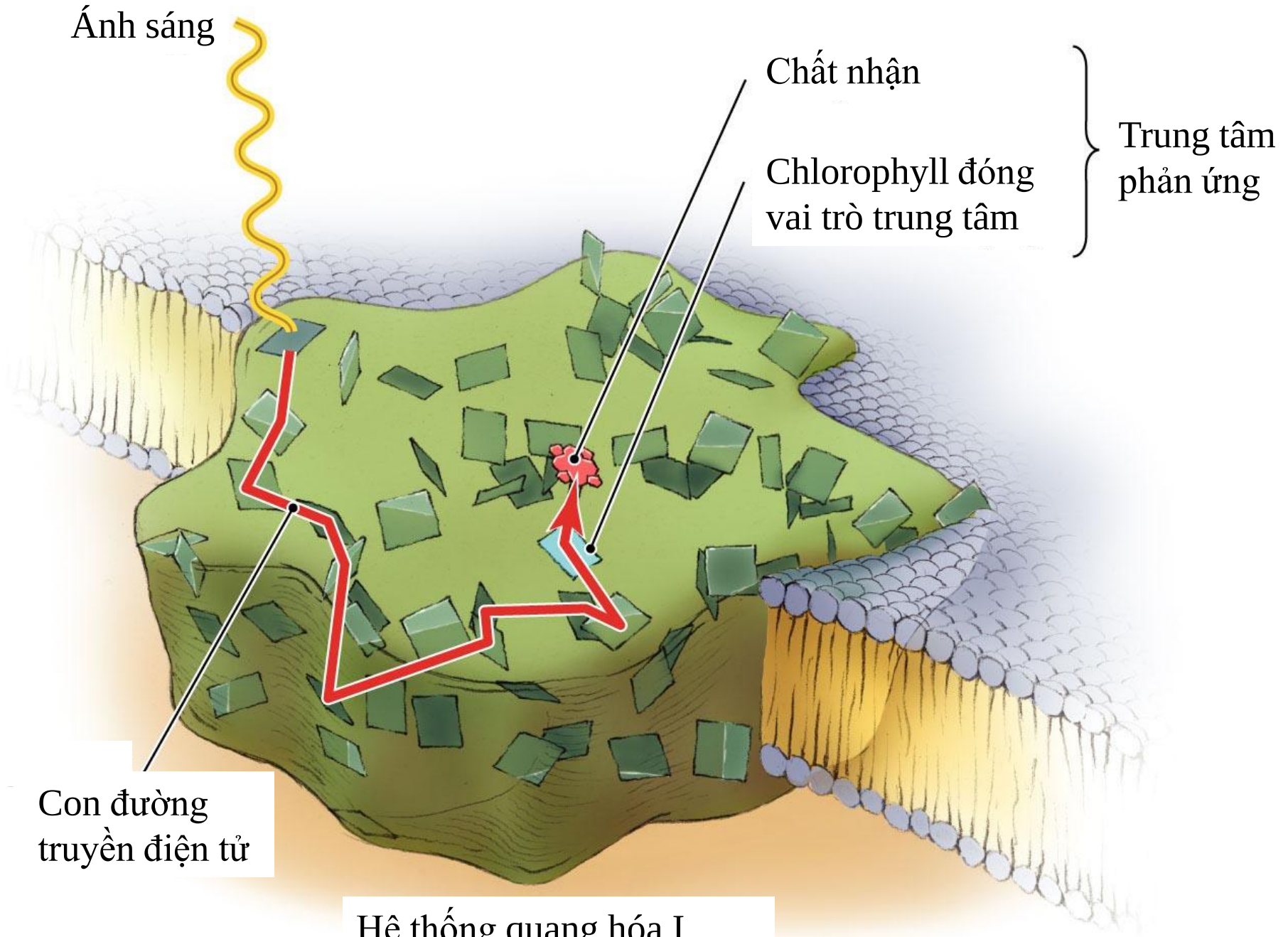
Chất nhận

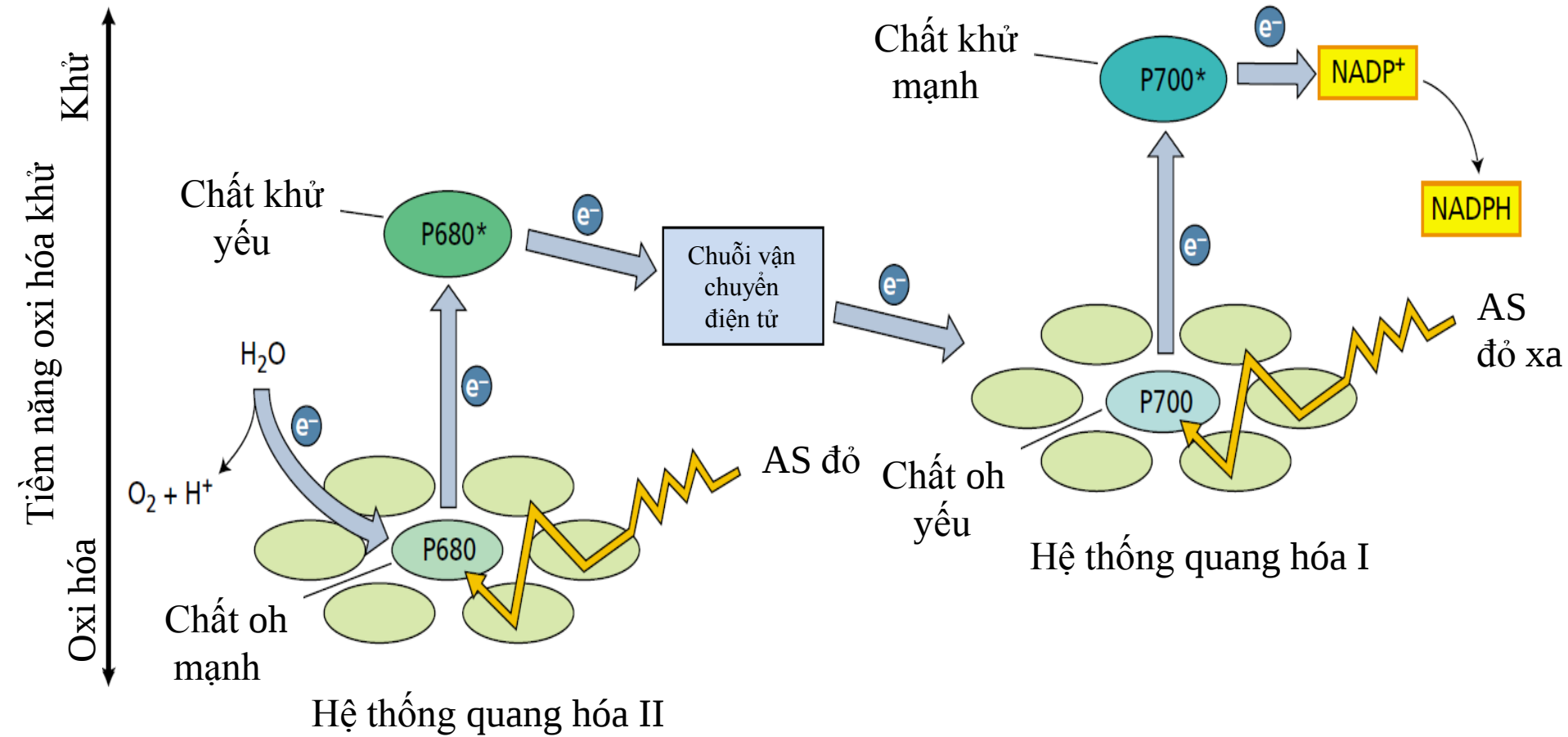
Chlorophyll đóng
vai trò trung tâm

Trung tâm
phản ứng

Con đường
truyền điện tử

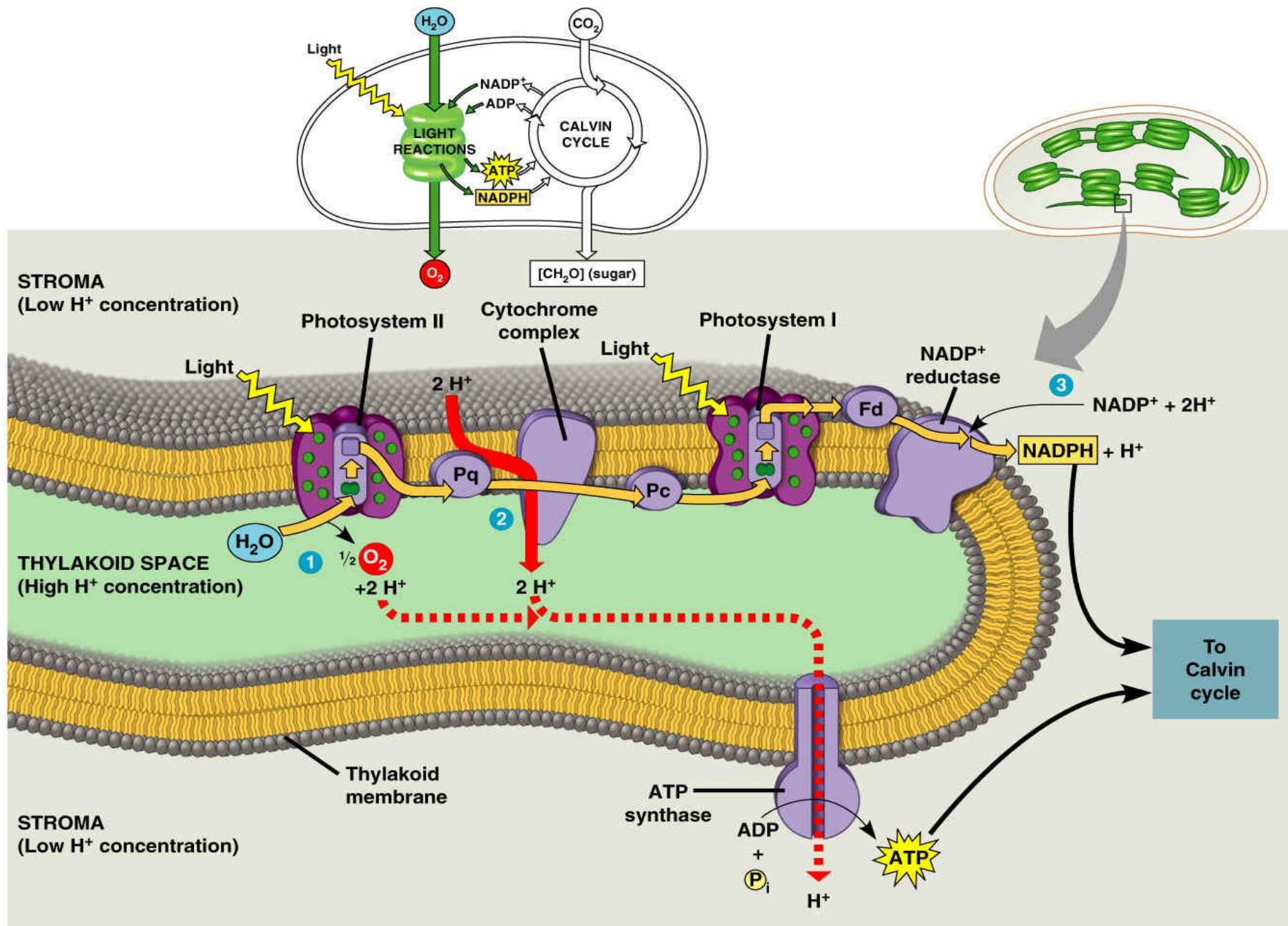
Hệ thống quang hóa I

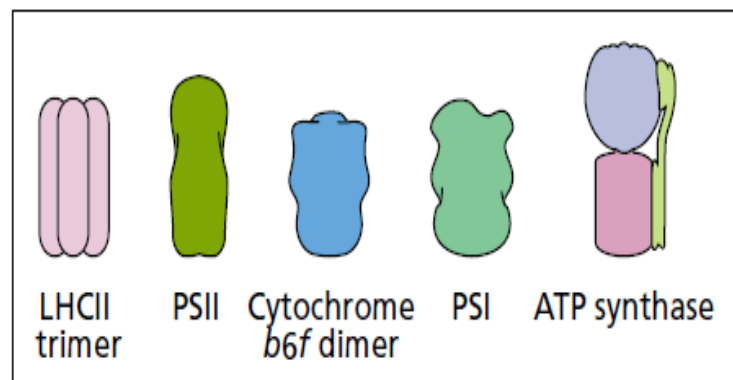
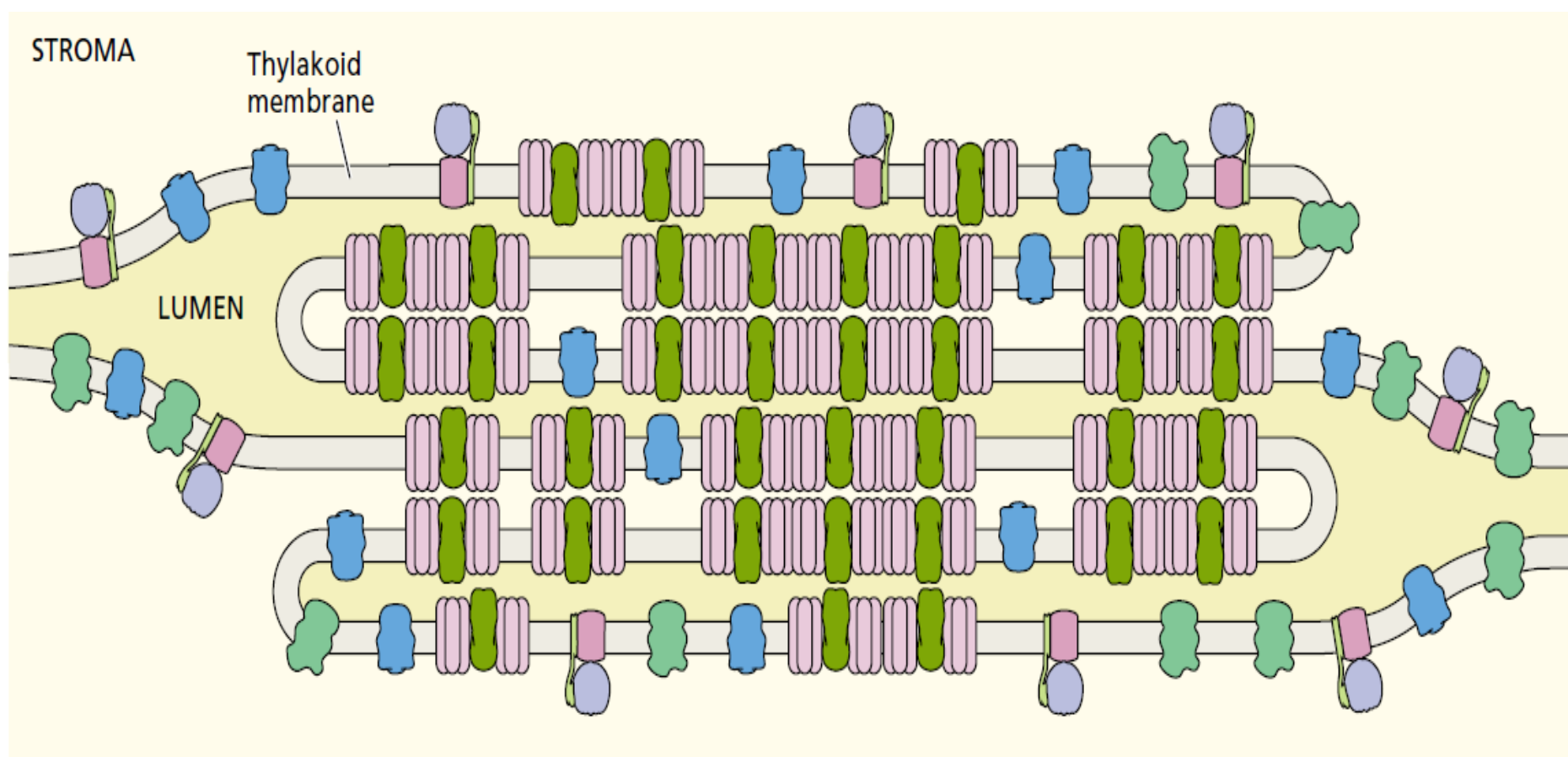




SƠ ĐỒ Z

HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG QUANG HOÁ I VÀ II



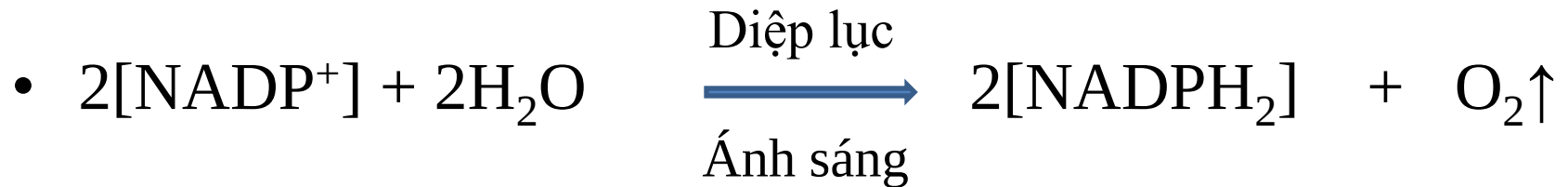
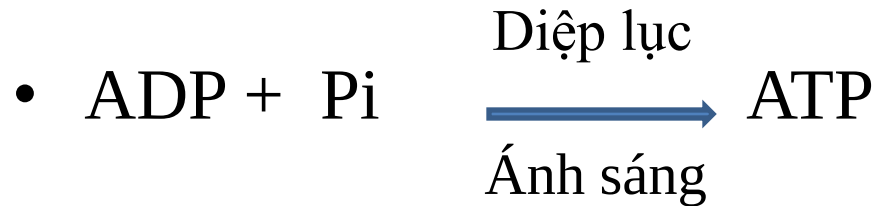
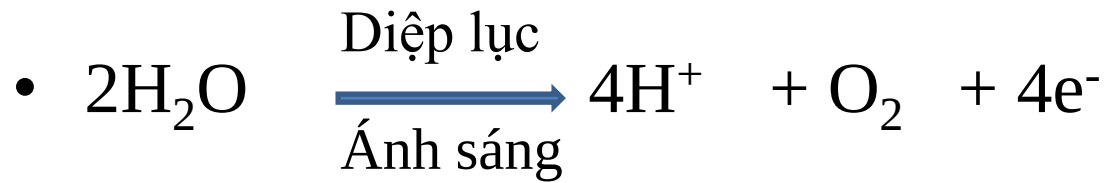


Sự tổ chức của các phức hợp protein trên màng thylakoid

1. Pha sáng (quang phosphoryl hoá)

- Xảy ra trong màng thylakoid, cần ánh sáng
- Diệp lục hấp thu NL AS $\rightarrow$ trung tâm phản ứng $\rightarrow$ ATP (Adenosin Triphosphat) và NADPH (Nicotinamit Adenin Dinucleotitphosphat khử).
- Gồm:
 - Quang phosphoryl hoá vòng
 - Quang phosphoryl hoá không vòng

(Sử dụng ánh sáng để gắn P vào ADP $\rightarrow$ ATP)



- Sản phẩm của pha sáng:** ATP

NADPH

O_2 (khuếch tán vào không khí)

1.1. Quang phosphoryl hóa vòng

- Xảy ra ở hệ thống quang hoá I:

AS $\rightarrow$ ptử diệt lục $\rightarrow$ kích động điện tử $\rightarrow$ e nhảy lên quỹ đạo cao hơn $\rightarrow$ tạo ra NL (ATP) $\rightarrow$ trở về diệt lục



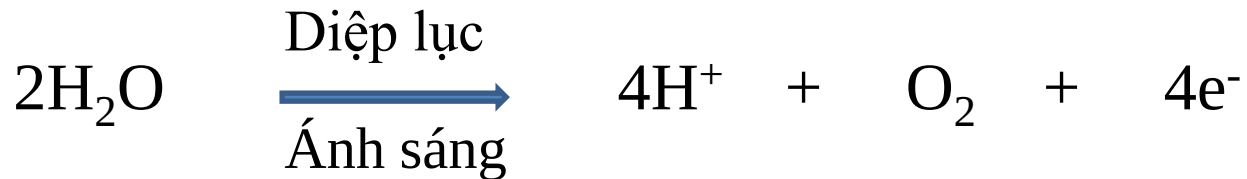
- Cây tiến hành khi thiếu nước, dư NADPH (điện tử)
- Vai trò phụ
- Hiệu quả năng lượng thấp

1.2. Quang phosphoryl hóa không vòng

- Hệ thống quang hoá I và II cùng hoạt động

AS $\rightarrow$ ptử diệt lục $\rightarrow$ kích động e $\rightarrow$ e nhảy lên quỹ đạo cao hơn $\rightarrow$ tạo ra NL (ATP) $\rightarrow$ e của nước 0 trở về diệt lục

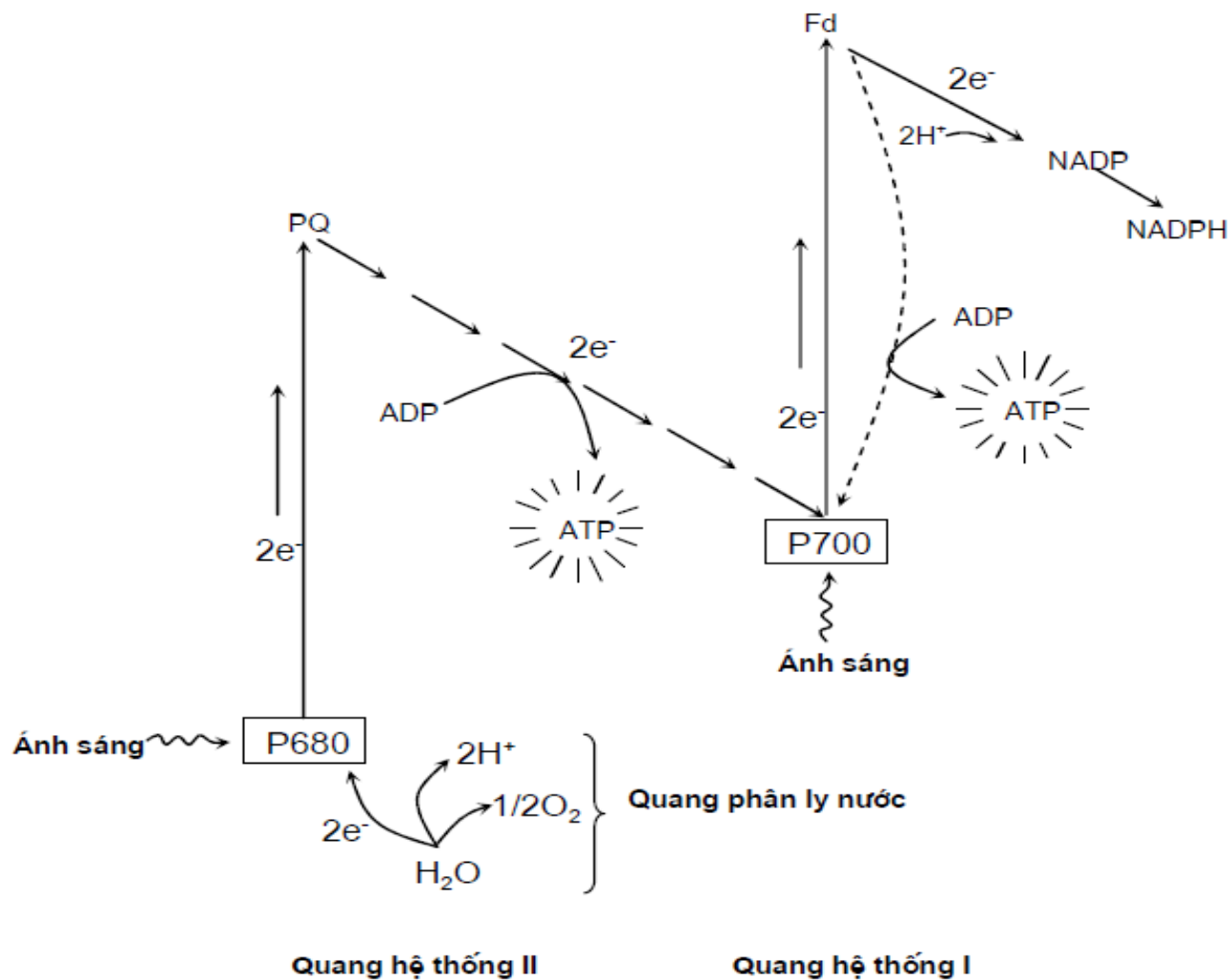
- Có vai trò chủ yếu, hấp thu năng lượng AS hiệu quả hơn



(hệ thống quang hoá II)



(e⁻ đi không quay trở lại H₂O)



Hình 3.6. Sơ đồ quang phosphoryl hoá trong quang hợp

Ghi chú: PQ: Plastoquinon, Fd: Feredoxin

- Chuỗi các protein có khả năng nhận, mang và truyền điện tử sang các protein kế cận
 - Gồm 1 protein cố định (cytochrome) và các protein di động
 - Trong quá trình vận chuyển, các protein sẽ bơm H^+ từ ngoài vào trong hạt Grana (cơ chế bơm proton)
- có nhiều H^+ trong hạt Grana so với bên ngoài cơ chất (stroma) → chênh lệch H^+ → ATP synthase hoạt động → tạo ra ATP

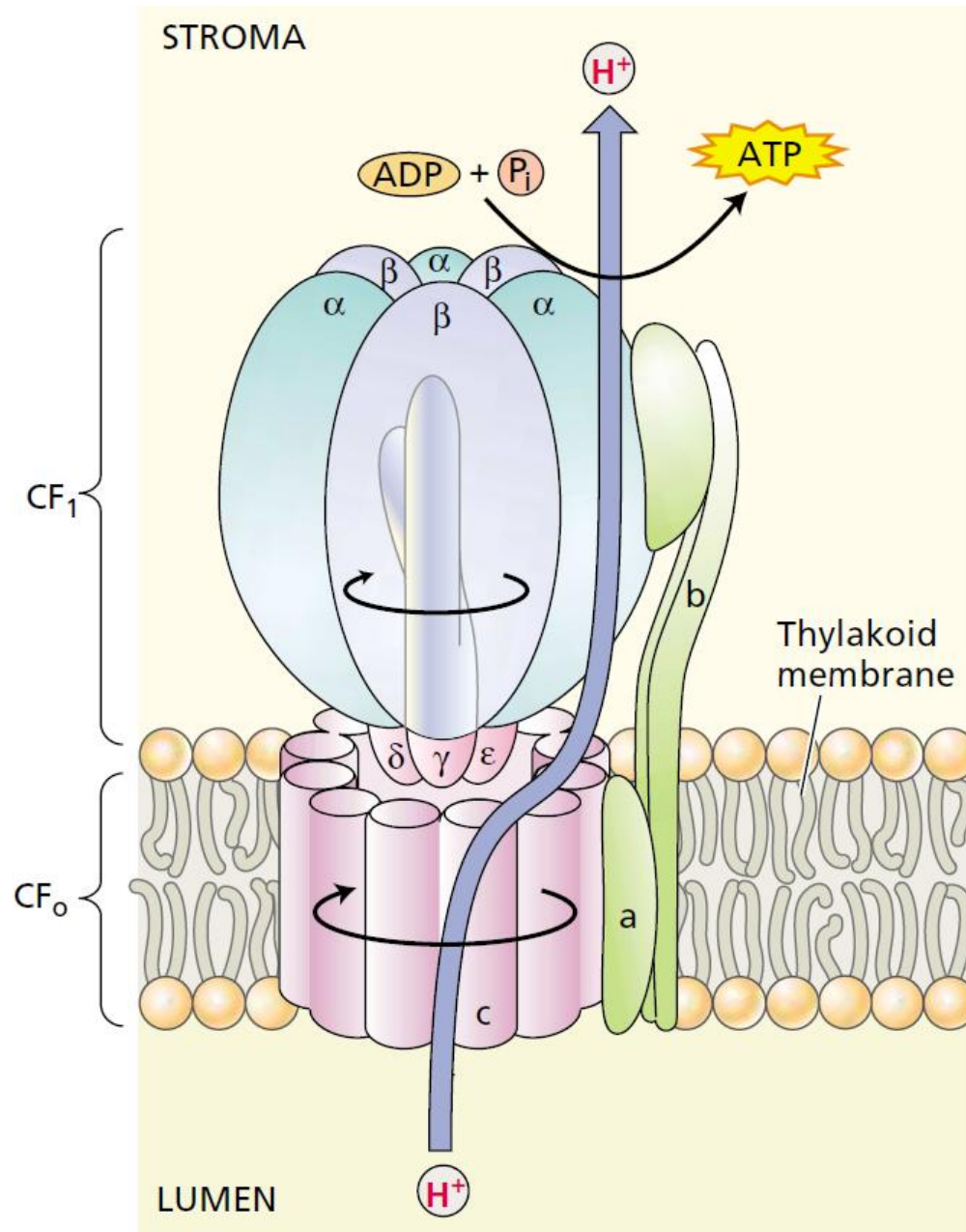
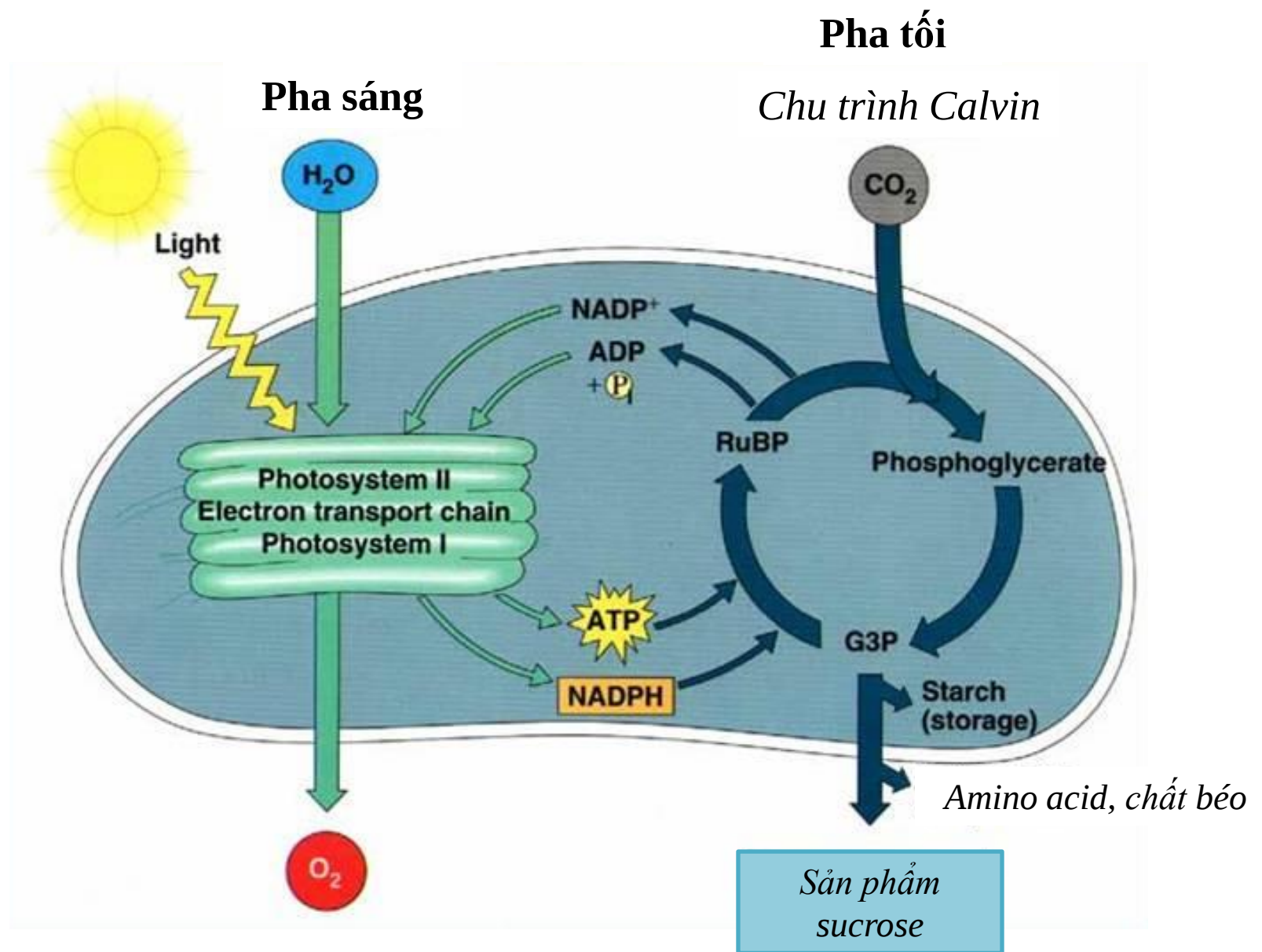


FIGURE 7.33 Structure of ATP synthase. This enzyme consists of a large multisubunit complex, CF₁, attached on the



Phản ứng pha sáng và pha tối của quang hợp

2. Pha tối (cố định CO_2)

Sử dụng ATP và NADPH (pha sáng) $\rightarrow$ chất hữu cơ

2.1. Chu trình C_3 (chu trình Calvin) (phổ biến) 90-92% thực vật

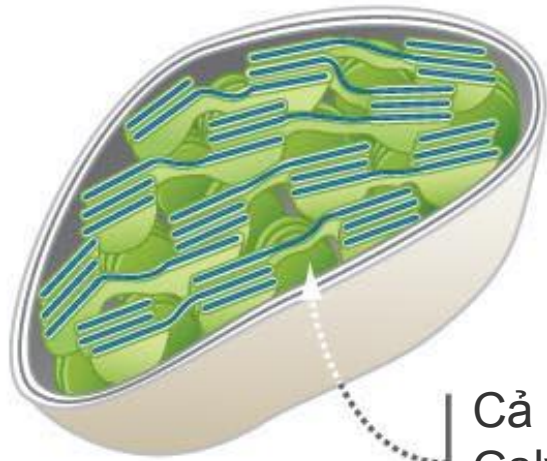
- Sp đầu tiên là hợp chất 3C (3-phosphoglycerate); Enzyme Rubisco
- Xảy ra quang hô hấp: CO_2 thấp
t $^\circ\text{C}$ cao
AS mạnh

2.2. Chu trình C_4 (chỉ có ở một số cây nhiệt đới) 5% thực vật, cải tiến C_3 (không có quang hô hấp)

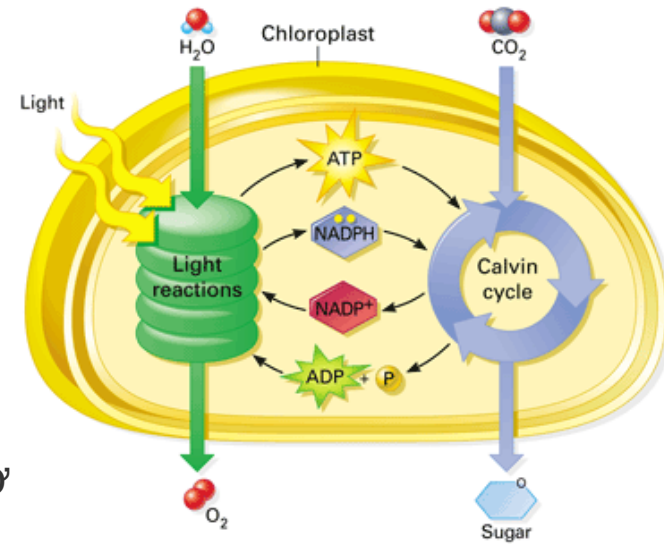
- Sp đầu tiên là acid 4C (acid oxaloacetic); PEP carboxylase
- Tế bào bó mạch phát triển (do Rubisco tập trung ở đây) $\rightarrow$ Rubisco thuận lợi hoạt động

2.3. CAM (Crassulaceae Acid Metabolism) >5%

2.1. Chu trình Calvin: có 3 bước



Cả 3 bước của chu trình Calvin đều diễn ra trong cơ chất (stroma) của lục lạp



1. Cố định CO₂



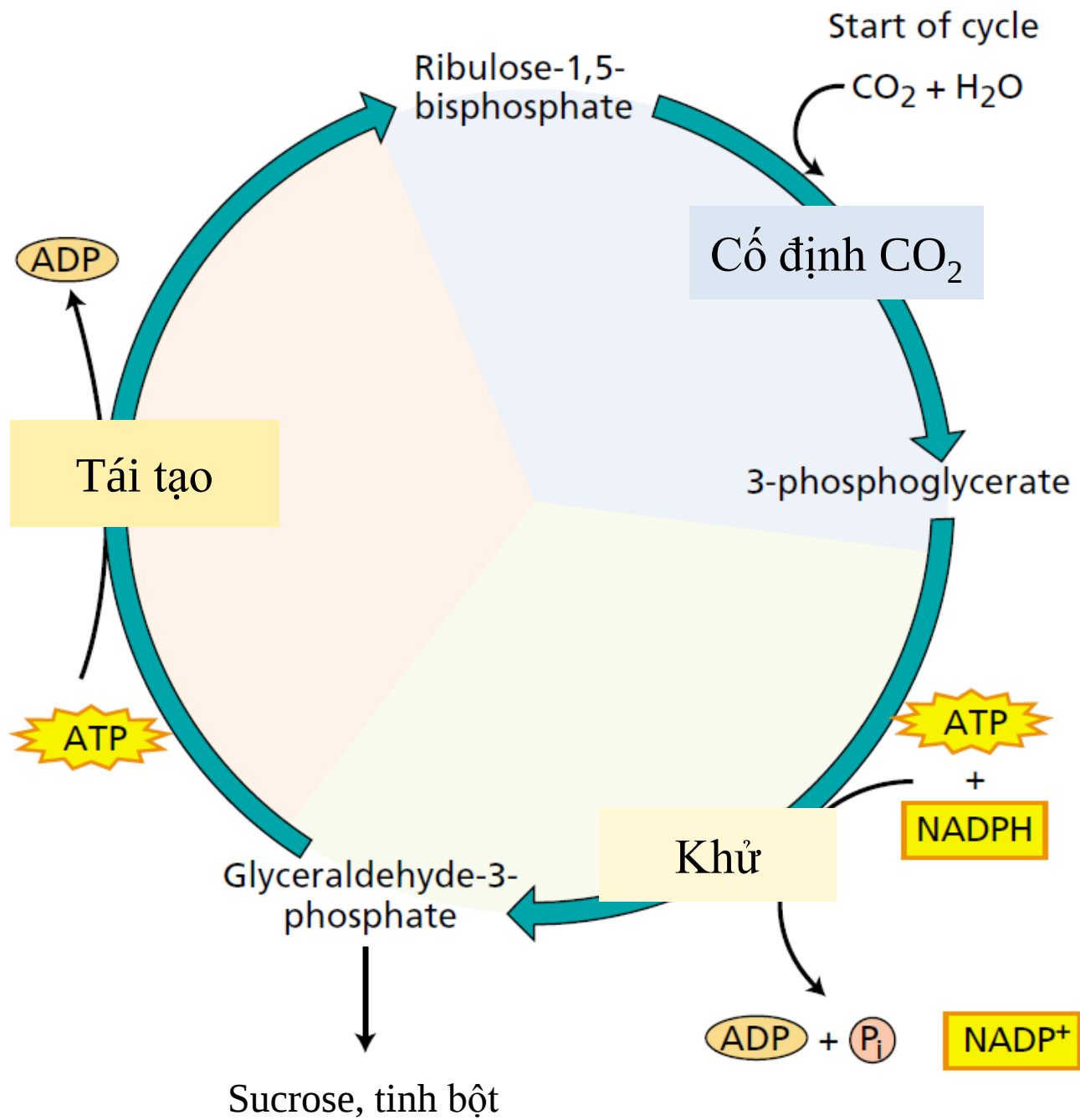
2. Khử 3-phosphoglycerate



3. Tái tạo RuBP



Ghi chú: RuBP (Rubulose BiPhosphate)
G3P (Glyceraldehyd-3-phosphate)



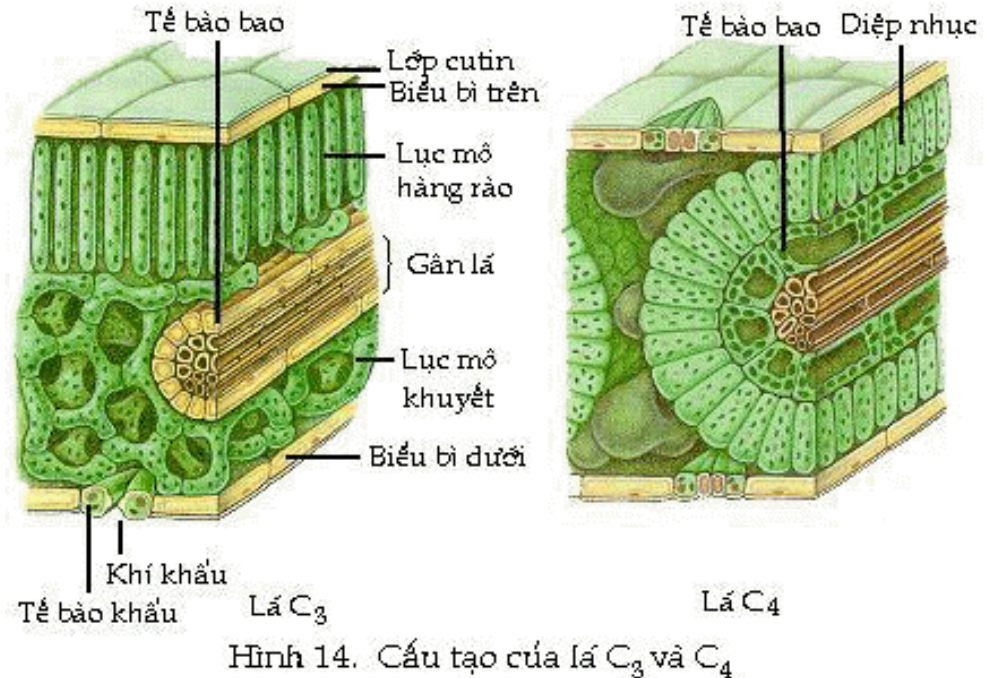
2.2. Chu trình C_4

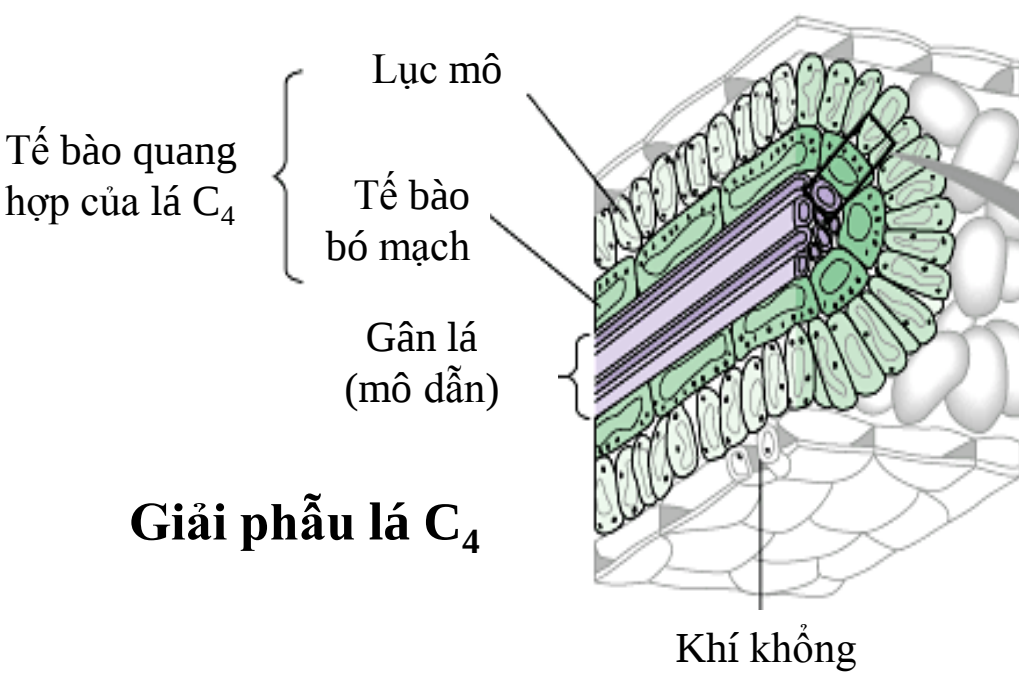
- Chỉ có ở một số cây nhiệt đới:

+ Đa số cây 1 lá mầm
(mía, bắp, cao lương, kê,
cỏ tranh,...)

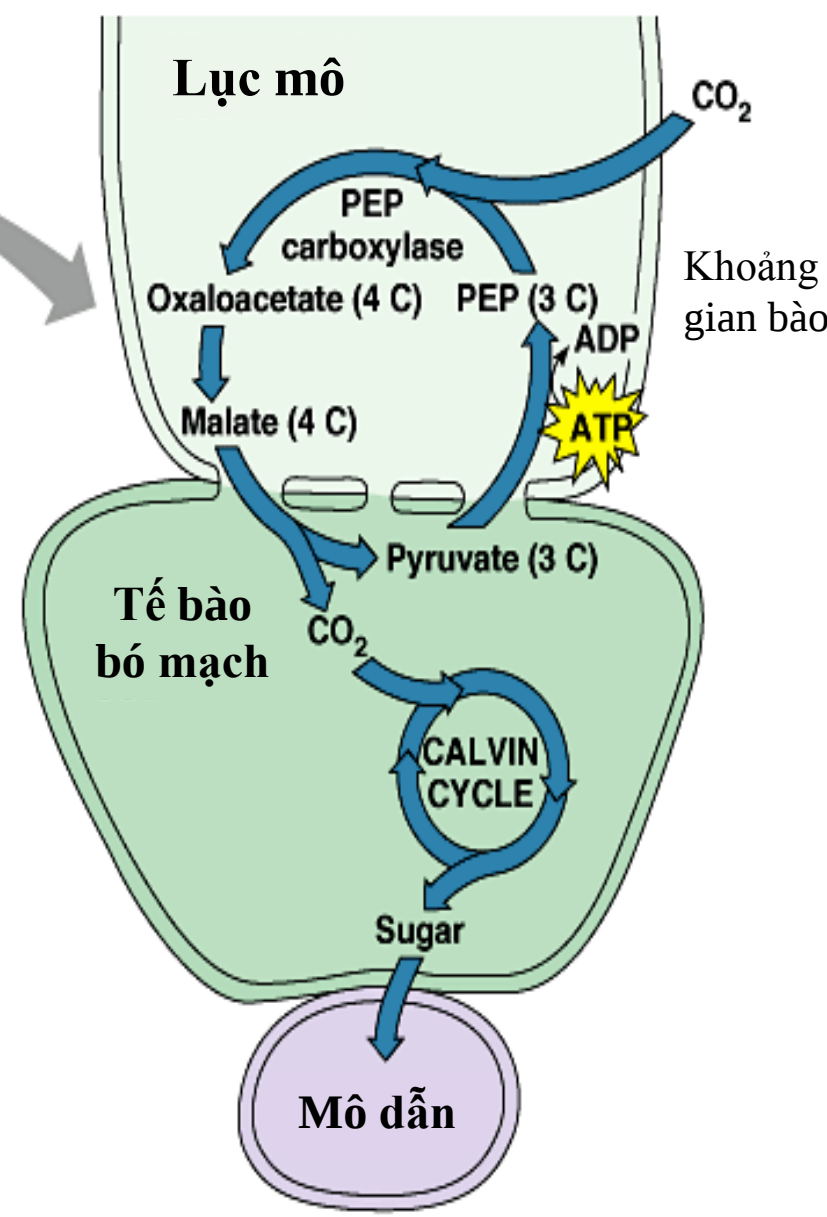
+ Một ít cây 2 lá mầm

- Hấp thu AS hiệu quả nhất





Giải phẫu lá C₄



Chu trình C₄

PEP (Phosphoenolpyruvate)

2.3. CAM

(Crassulaceae Acid Metabolism)

- Cây vùng khô, sa mạc (giống C_4).

Họ *Crassulaceae* (xương rồng, sừng ếch, dứa, nha đam, 1 số phong lan...)

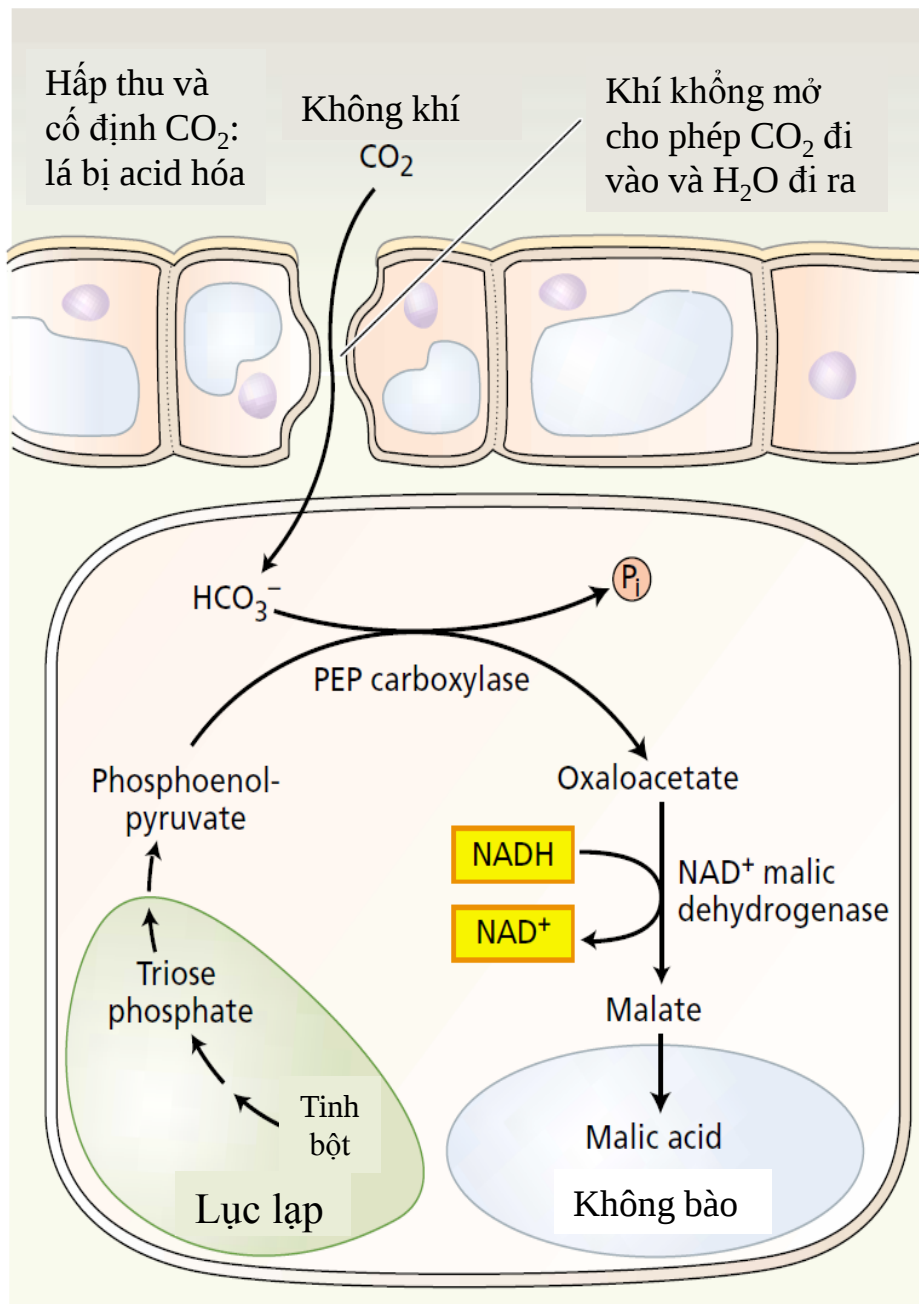
- Khả năng dự trữ nước đáng kể
- Khí khổng hạn chế mất nước: đêm mở (tích lũy CO_2), ngày đóng (quang hợp theo chu trình Carbon)

CAM cố định CO_2 để cung cấp cho C_3

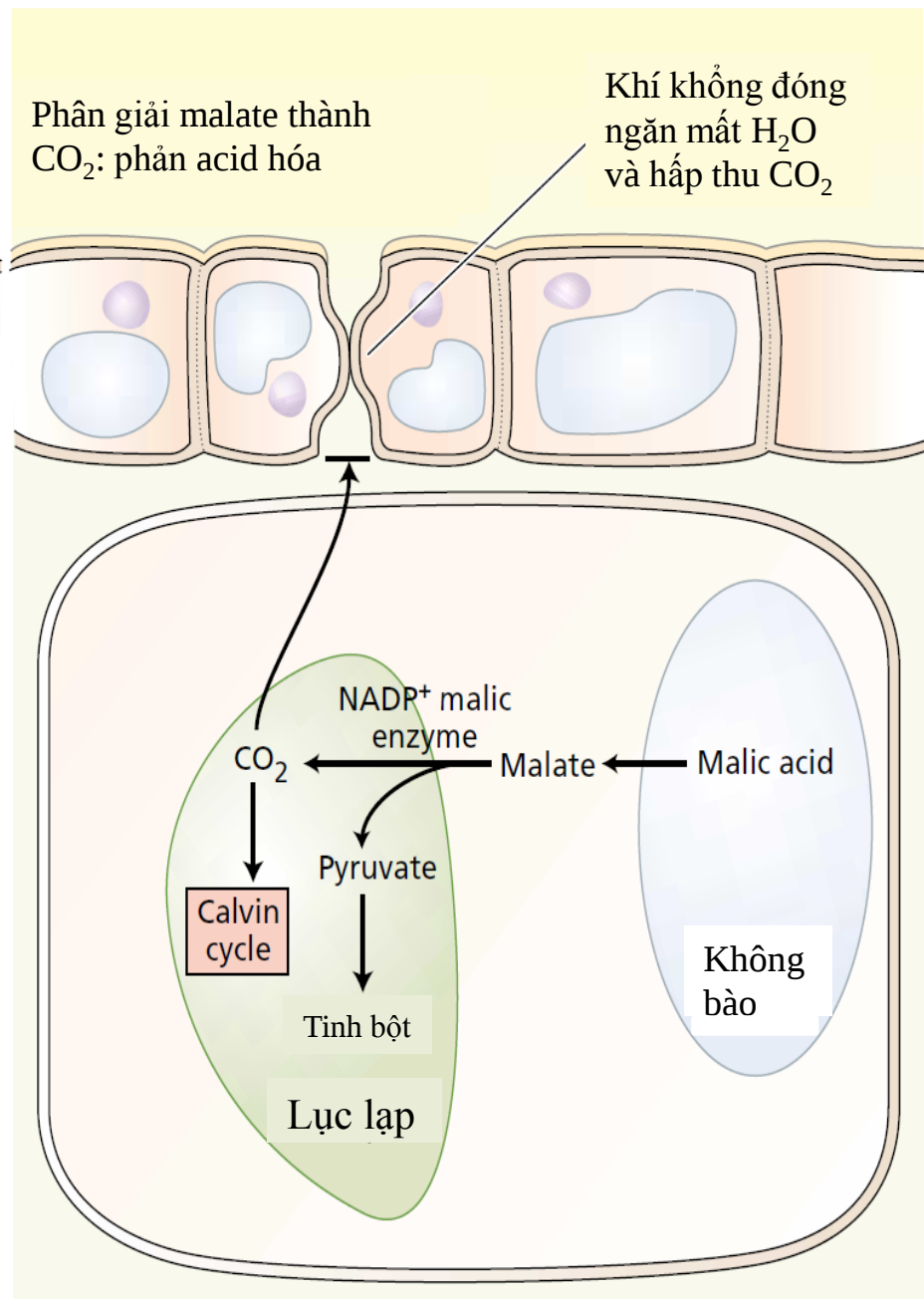
$CO_2 \rightarrow$ Acid Malic (đêm) $\rightarrow CO_2$ (ngày) $\rightarrow$ Quang hợp

- Giống như C_4 , PEP đồng hóa $CO_2 \rightarrow OAA \rightarrow$ Acid Malic (trữ trong không bào).
- C_4 cần 1 cấu trúc riêng biệt trong khi đó thì CAM tiến hành cùng trong 1 tế bào.
- CAM không có chu kỳ carbon trung gian kín như ở C_4 . Thay vào đó PEP được hình thành từ nguồn carbohydrate dự trữ.

Ban đêm: khí khổng mở

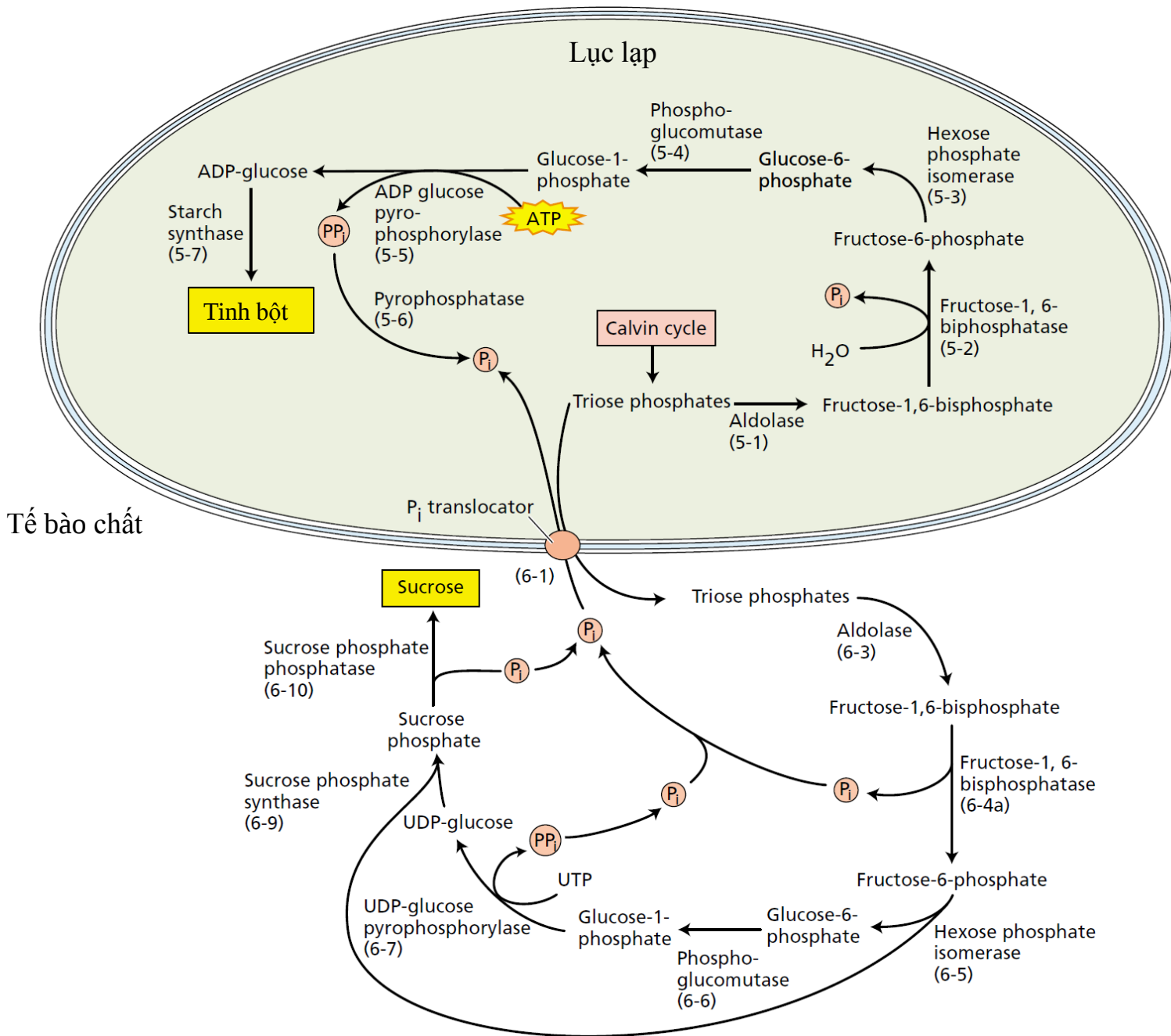


Ban ngày: khí khổng đóng

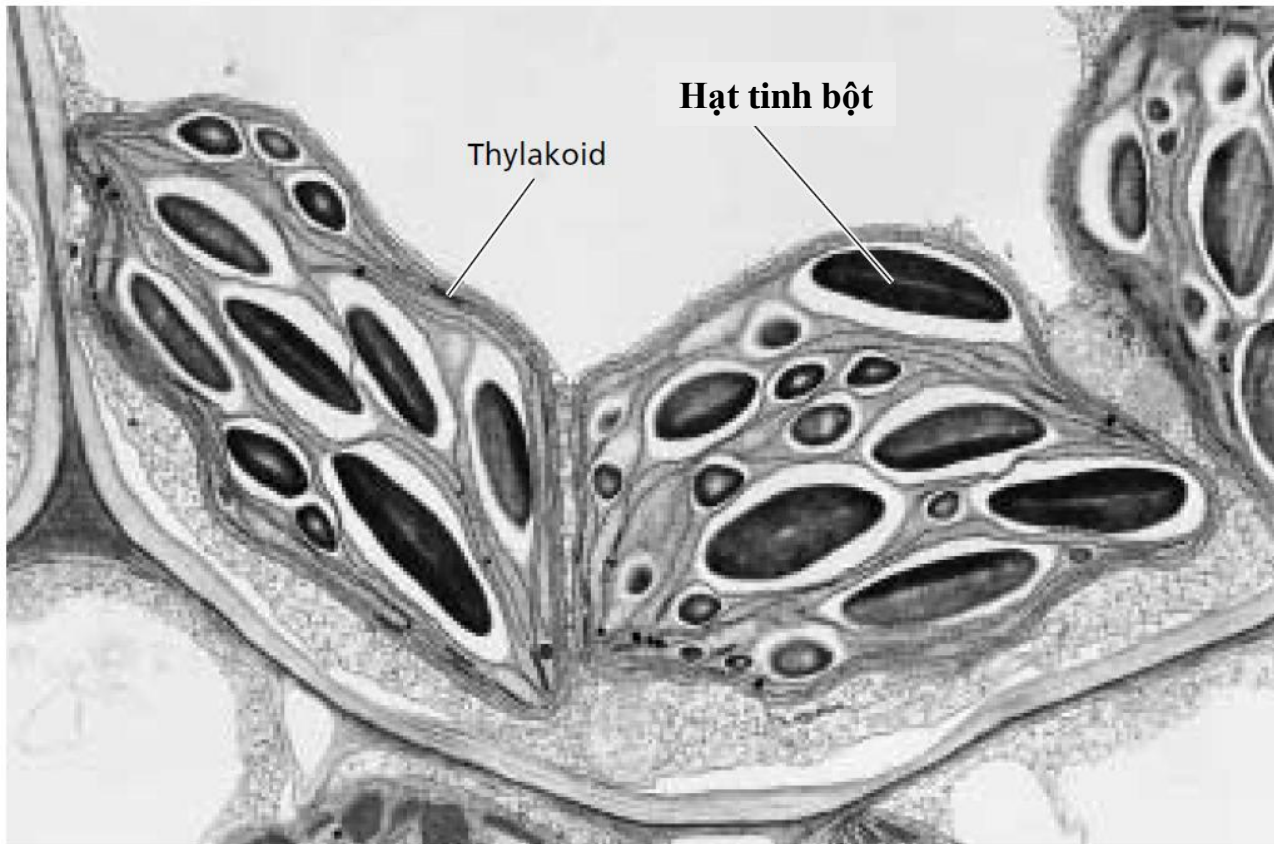


Đặc điểm	C ₃	C ₄	CAM
Giải phẫu lá	Xốp	Nhu mô, bó mạch phát triển	Không bào lớn
Khí khổng	Mở ban ngày	Mở ban ngày	Mở ban đêm
CO ₂ : ATP : NADPH	1:3:2	1:5:2	1:5:2
Hiệu quả sử dụng H ₂ O (g CO ₂ /kg H ₂ O)	1-3	2-5	10-40
Hệ số thoát hơi nước	500-1000 (cao)	200-350 (thấp)	Rất thấp
Tốc độ quang hợp tối đa (mg CO ₂ /dm ² /giờ)	30	60	3
t° tối ưu	20-30°C	30-45°C	30-45°C
Điểm bù CO ₂ (ppm)	50	5	2

Đặc điểm	C ₃	C ₄	CAM
Quang hô hấp	Mạnh	Thấp/không có	Thấp/không có
Enzyme quan trọng	Rubisco	PEP'case Rubisco	PEP'case Rubisco
Sản phẩm đầu tiên	APG (C ₃)	AOA (C ₄)	AOA (C ₄)
Tốc độ tăng trưởng (g/dm ² /ngày)	1	4	0,02 (ưu thế tiết kiệm nước)
Năng suất	Trung bình – Cao	Cao	Thấp



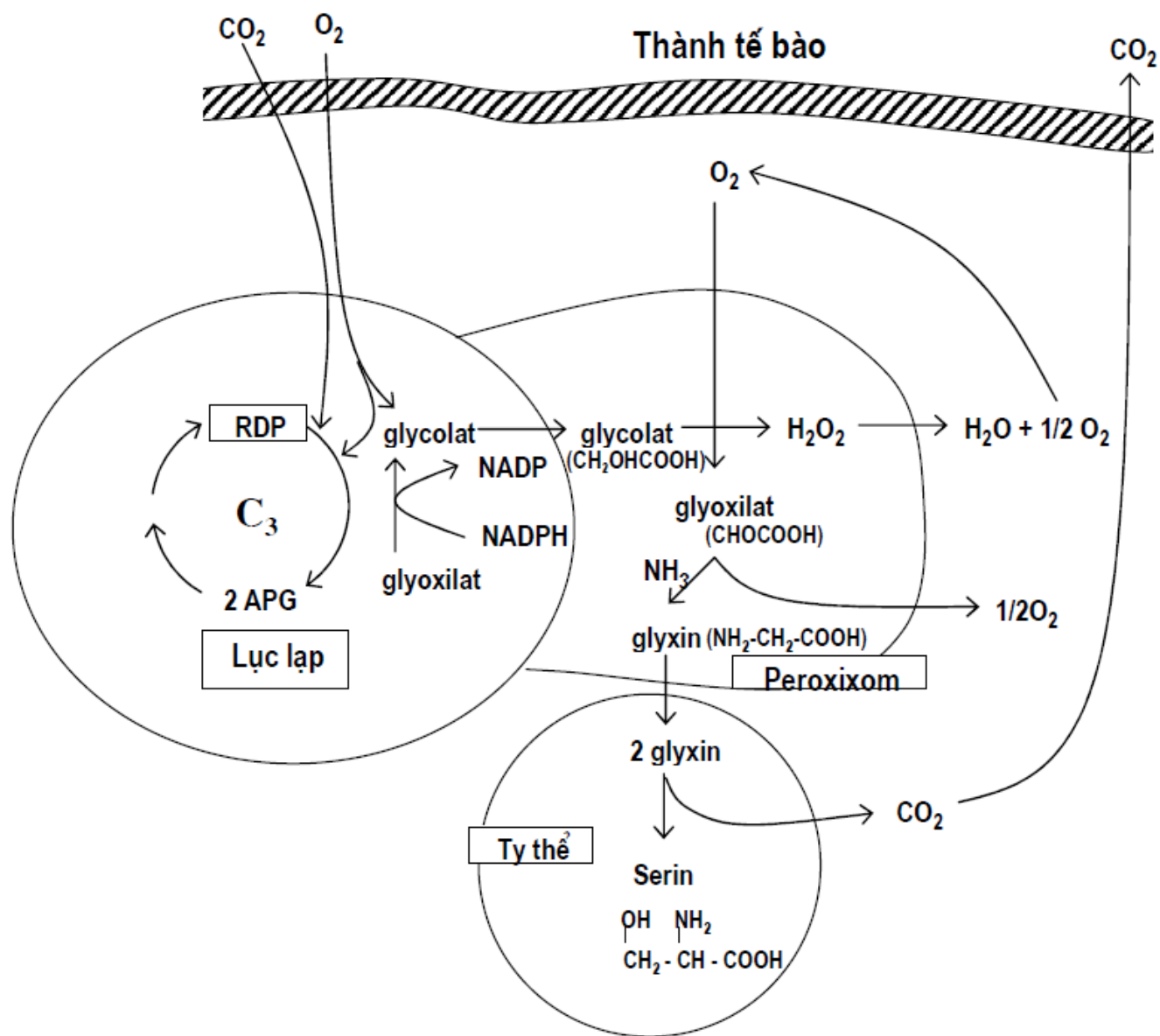
Tổng hợp tinh bột (P_i thấp) $\gg$ Tổng hợp đường sucrose (P_i cao)



Các hạt tinh bột của các tế bào lục lạp ở cây bắp dưới kính hiển vi

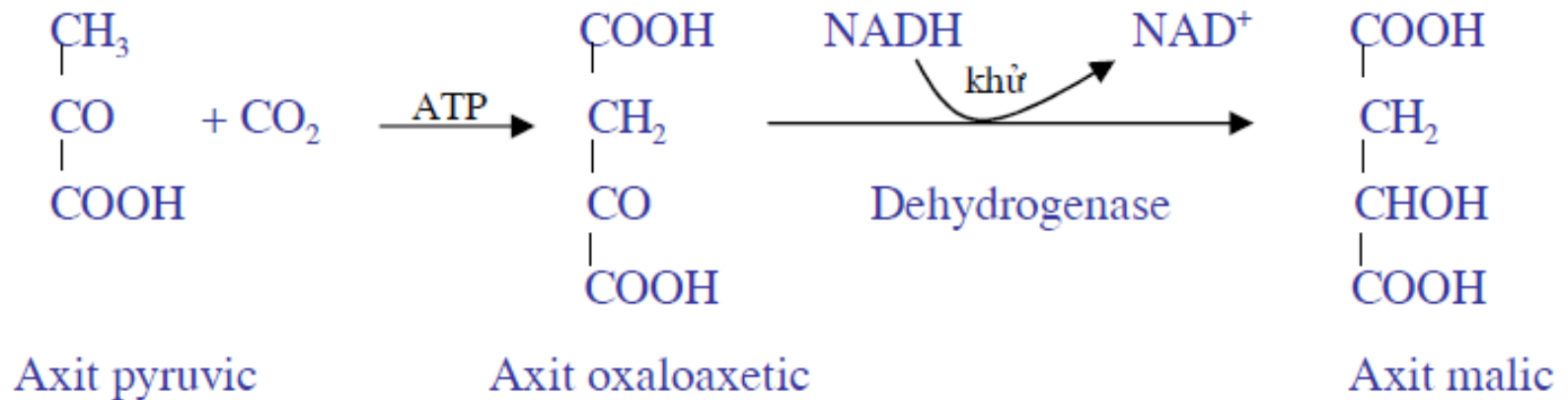
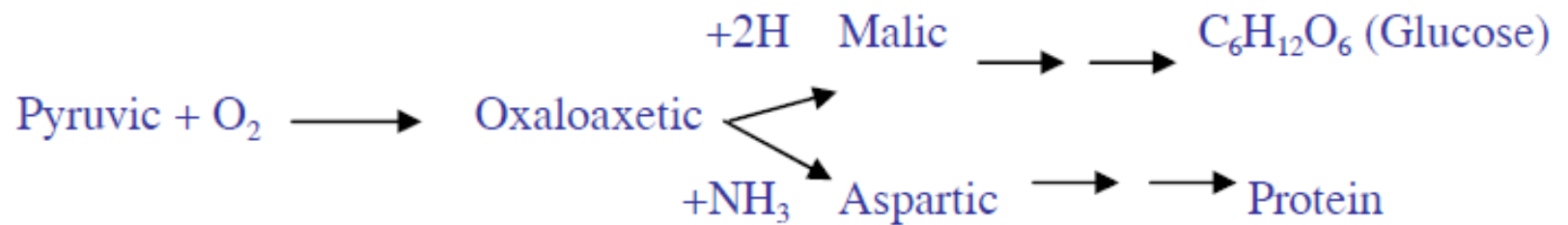
3. Quang hô hấp

- Phân giải chất hữu cơ và giải phóng O_2 , không giải phóng E
- Xảy ra khi t° cao, I_{AS} mạnh và nồng độ oxi cao (TV C_3)
- Hô hấp: giảm 20% lượng chất hữu cơ để tạo ATP, quang hô hấp giảm 30-50% năng suất cây trồng



4. Đồng hoá CO_2 qua rễ

- Bón phân chứa CO_2 (phân cacbonat) vào đất $\rightarrow$ năng suất cây trồng tăng
- Rễ có khả năng đồng hoá sơ bộ CO_2 và tạo ra các chất hữu cơ: axit oxaloaxetic, axit aspartic, axit malic...
- Rễ đồng hoá 5 – 7% tổng lượng CO_2 , khi thuỷ canh là 10%



Sự đồng hoá CO₂ qua rễ của cây

Tăng đồng hoá CO_2 qua rễ

- Bón phân hữu cơ $\rightarrow$ VSV phân huỷ thải CO_2 vào đất.
- Cây trồng nước (lúa...): làm cỏ sục bùn
Cây trồng cạn: vun xới $\rightarrow$ đất tơi xốp, thoáng khí đủ O_2
 $\rightarrow$ VSV hoạt động tốt $\rightarrow$ CO_2 vào đất.
- pH = 6 – 7, VSV hoạt động mạnh $\rightarrow$ bón vôi để tạo pH thích hợp

III. Quang hợp và các điều kiện ngoại cảnh

1. **Ánh sáng:** AS càng tăng $\rightarrow$ QH càng tăng

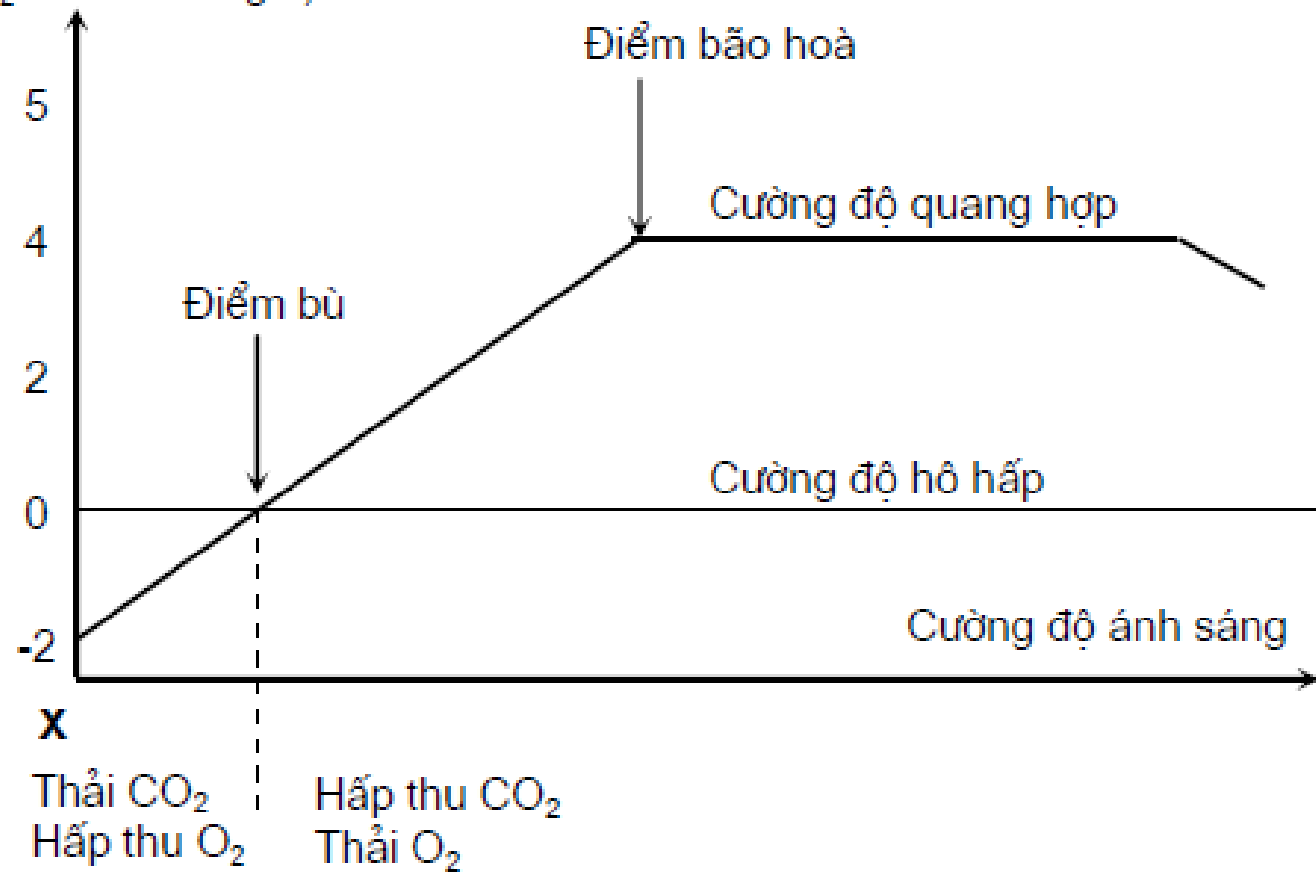
- QH tốt ở vùng tia sáng đỏ
- Điểm bù ánh sáng: khi $I_{QH} = I_{hh}$
 - + $I_{QH} > I_{hh} \rightarrow$ cây tích lũy chất hữu cơ và ngược lại.
 - + Cây ưa sáng > Cây ưa bóng

$\rightarrow$ Cơ sở cho xen canh

- Điểm bão hoà ánh sáng: $I_{QH} \text{ max}$
 - + Cây ưa bóng < Cây ưa sáng

Điểm bù AS thấp + Điểm bão hoà AS cao $\rightarrow$ NS rất cao (TV C_4)

Sự số định CO_2 thuần
($\text{mgCO}_2/100 \text{ cm}^2 \text{ lá/giờ}$)



Cây ưa sáng	Cây ưa bóng
Lá nhỏ	Lá lớn
Lá màu sáng (mật độ Chlorophylle thấp, nhiều sắc tố khác)	Mật độ Chlorophylle cao (lá xanh đậm)
Điểm bù AS cao	Điểm bù AS thấp
Lục lạp che lẫn nhau	Lục lạp có xu hướng nằm trên màng tế bào (không che nhau)
AS xanh tím	AS đỏ

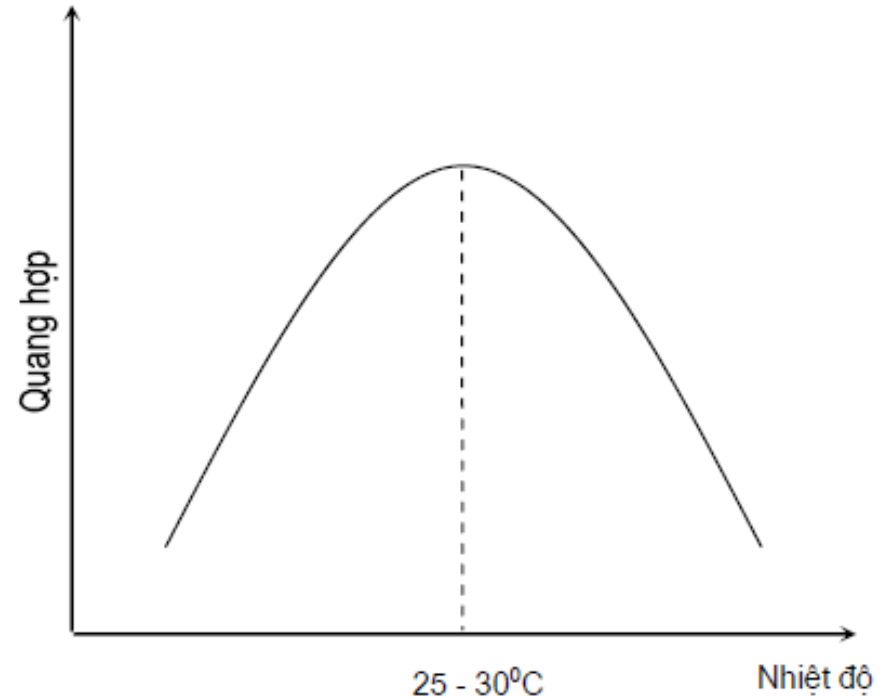
- 60% AS trực xạ: trong đó 30 - 40% là tia sáng có lợi cho quang hợp
- 40% là AS khuếch tán: 50 - 90% trong chúng là tia sáng có lợi cho quang hợp.

Cây hấp thụ AS khuếch tán mạnh hơn AS trực xạ.

2. Nhiệt độ

- t° tối ưu $25 - 30^{\circ}\text{C}$ (TV C_3),
 $35 - 40^{\circ}\text{C}$ (TV C_4).

- $t^{\circ} > 35^{\circ}\text{C} \rightarrow$ hô hấp $>$ QH
 $\rightarrow$ mất NS

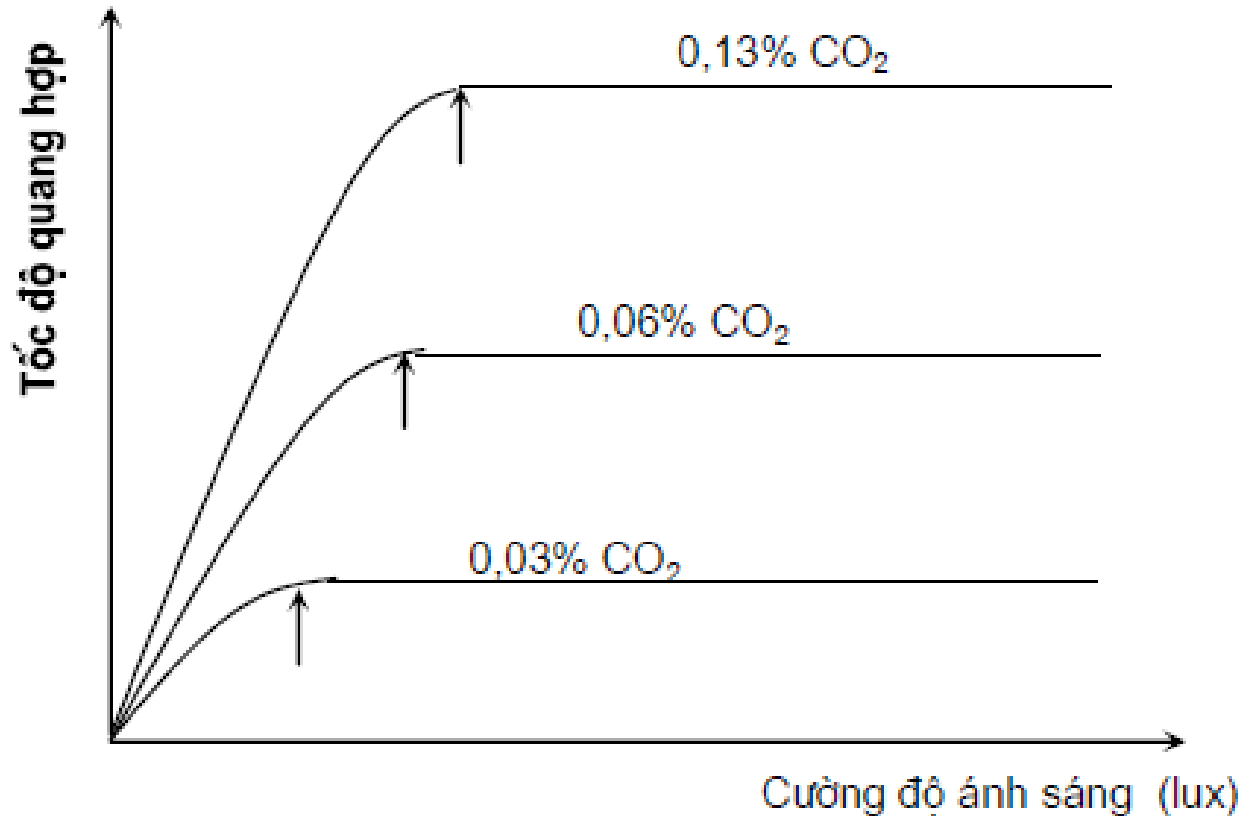


- Nhiệt độ tăng $\rightarrow$ quang hô hấp tăng
- Nhiệt độ quá cao $\rightarrow$ phá huỷ protein, hệ thống chất nguyên sinh

3. CO_2

- Hàm lượng CO_2 trong không khí 0,03% → chưa đáp ứng nhu cầu tối ưu cho quang hợp
- Giới hạn tối thiểu của CO_2 là 0,008 – 0,01%
- Điểm bù CO_2 : $I_{QH} = I_{hh}$
Cây C_3 : 0,005% (40 – 60 ppm)
cây C_4 : 0,0005% (5 ppm).
- Điểm bão hoà CO_2 : $I_{QH} \text{ max}$
- Các cây trồng có điểm bão hoà CO_2 dao động từ 0,06 - 0,1%
→ Tăng CO_2 để tăng QH
→ các hệ thống dẫn khí CO_2 từ các khu công nghiệp ra các cánh đồng để "bón" CO_2 cho cây.

- Điểm bù và bão hoà CO_2 của quang hợp ở thực vật còn phụ thuộc vào cường độ ánh sáng



4. O_2

- Tác động chủ yếu đến TV C_3
- O_2 tăng $\rightarrow$ QH giảm (quang hô hấp)

5. H_2O

6. *Dinh dưỡng*

- N: hình thành Chlorophylle, acid amine, protein
N tăng → độ dày lá tăng → QH tăng
- P: hình thành ATP, đường phosphate
- K: vận động khí khổng
- Mg: Chlorophylle, ATP
- Các nguyên tố vi lượng hoạt hoá các enzym (Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, B...)

Fe, Zn: chuỗi vận chuyển điện tử

IV. Quang hợp và năng suất cây trồng

- QH tạo > 95% NS (đường, tinh bột, protein, lipid...)
C: 42-45%,
H: 6%,
O: 45%
Dinh dưỡng khoáng <10%
- NS là tổng tích lũy chất khô
NS sinh khối
NS thực thu
- Cải thiện NS → cải thiện QH bằng cách tác động S lá
+ Cấu trúc tán lá hợp lý: tầng lá

Chỉ số diện tích lá (LAI - Leaf Area Index)

$$\text{LAI} = \text{m}^2 \text{ lá} / \text{m}^2 \text{ đất trồng}$$

+ Giống có LAI tối ưu

+ Mật độ

+ N tăng diện tích lá

+ Bảo vệ bộ lá (sâu bệnh...)

- Đánh giá LAI khi bộ lá của quần thể đã ổn định.
- Mỗi loài cây, thậm chí mỗi giống thường có LAI tối ưu.
- LAI tối ưu, quần thể sử dụng ánh sáng hiệu quả nhất, tận dụng đất, ánh sáng.
- LAI tối ưu phụ thuộc chiều cao cây, góc lá so với trục thẳng đứng, chiều dài phiến lá, đặc tính ưa sáng của cây