

# 14. Fyziologie rostlin - fotosyntéza, respirace



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Metabolismus

-přeměna látek a energií (informací)

-procesy: anabolický  $\longleftrightarrow$  katabolický

Anabolismus  $\left\{ \begin{array}{l} \text{autotrofie} \\ \text{heterotrofie} \end{array} \right.$

Autotrofní organismy

1. Chemoautotrofy – nemají fotosyntetická barviva

energií získávají oxidací substrátu

( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , sloučeniny  $\text{F}^{3+}$  - bakterie sirné, vodíkové, nitrifikační, železité)

## 2. Fotoautotrofy - mají fotosyntetická barviva

### a) fotosyntetické bakterie – bakteriochlorofyly

- produktem oxidace není  $O_2$

- **fotolitotrofní** – k redukci  $CO_2$  – síra, sirovodík  
(purpurové sírné, zelené sírné)

- **fotoorganotropní** – redukce  $CO_2$  – některé organické  
látky (pruvát, acetát) (purpurové nesírné)

### b) fotosyntetické zelené rostliny –

(sinice, ruduchy, skrytěnky – chl b, karotenoidy +  
fykobiliproteidy)

ostatní řasy, mechorosty, cévnaté rostliny

chlorofyl a,b; karotenoidy

# Fotosyntéza

- **procesy fyzikální** – absorpce kvanta záření a přenos do reakčního centra

úroveň molekulární      relativní nezávislost na teplotě,  
krátkodobé děje ( $10^{-15}$  až  $10^{-8}$  s),  
vysoká účinnost (0,96)

- **procesy fyzikálně chemické a biochemické**

úroveň membrán      primární { - přenos elektronů, fotolýza  
vody, vznik ATP, NADPH  
( $10^{-10}$  až  $10^{-2}$  s)

kompartimentů  
buněk až celých  
pletiv      sekundární { tvorba sacharidů,  
fotorespirace ( $10^{-3}$  až  $10^2$  s)

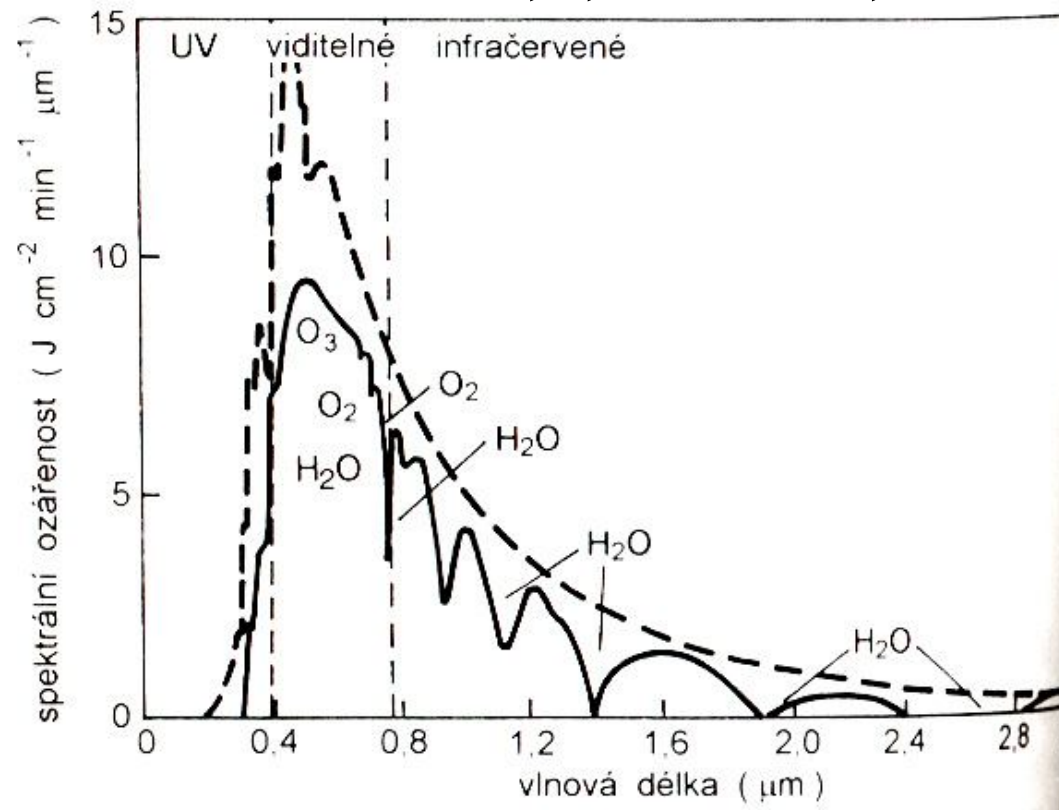
- fyziologické - výměna CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> mezi chloroplasty a atmosférou; přeměna primárních produktů, transport, distribuce  
úroveň pletivo → rostlina (1-10<sup>4</sup> s)
- ekologické - fotosyntéza porostů (10<sup>3</sup> - 10<sup>6</sup> s)  
úroveň fytoocenóz → ekosystémů

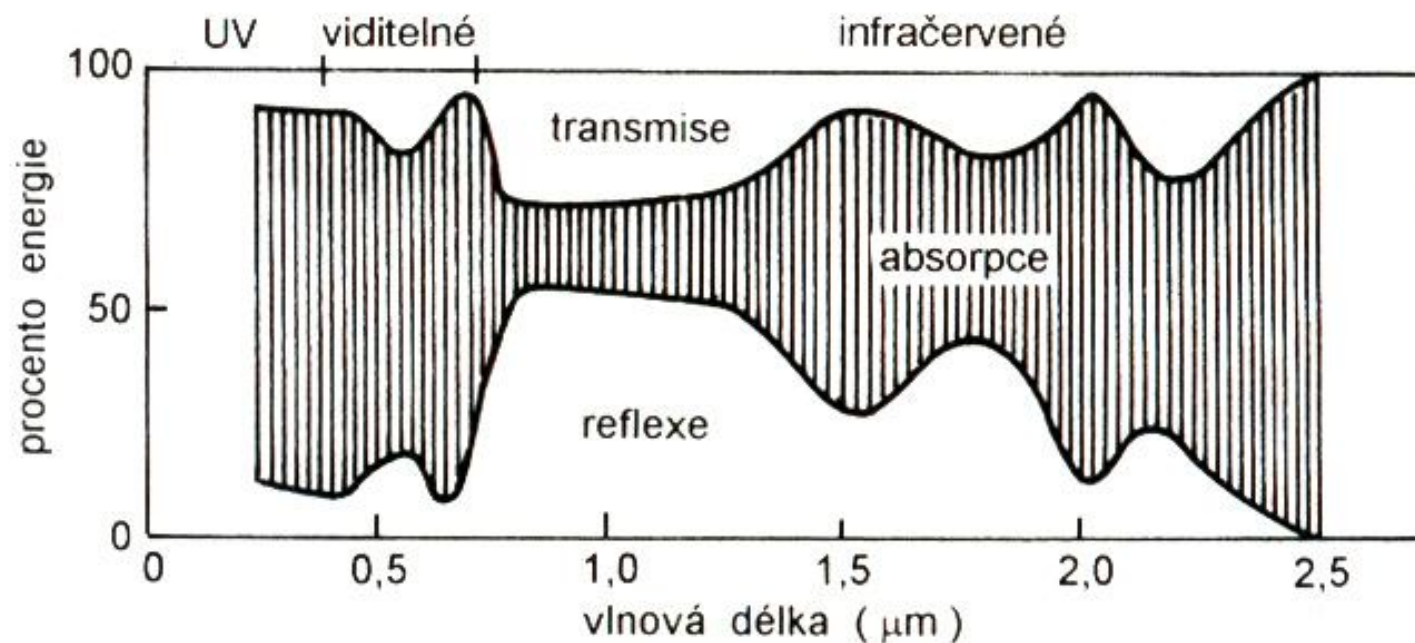
# Záření

charakterizuje - vlnová délka a fotonů

vlnová délka **400 – 700 nm** – fotosynteticky aktivní záření  
(FAR)

účinnost – červené světlo 0,3; modré 0,2





Obr. 4.3 Spektrální závislost odrazu (reflexe), pohlcení (absorpce) a propustnosti (transmise) sluneční energie dopadající na povrch listu, a to v oblasti ultrafialové (UV), viditelné (fotosynteticky aktivní FAR) a infračervené (IČ). (Podle Monteithe 1973.)







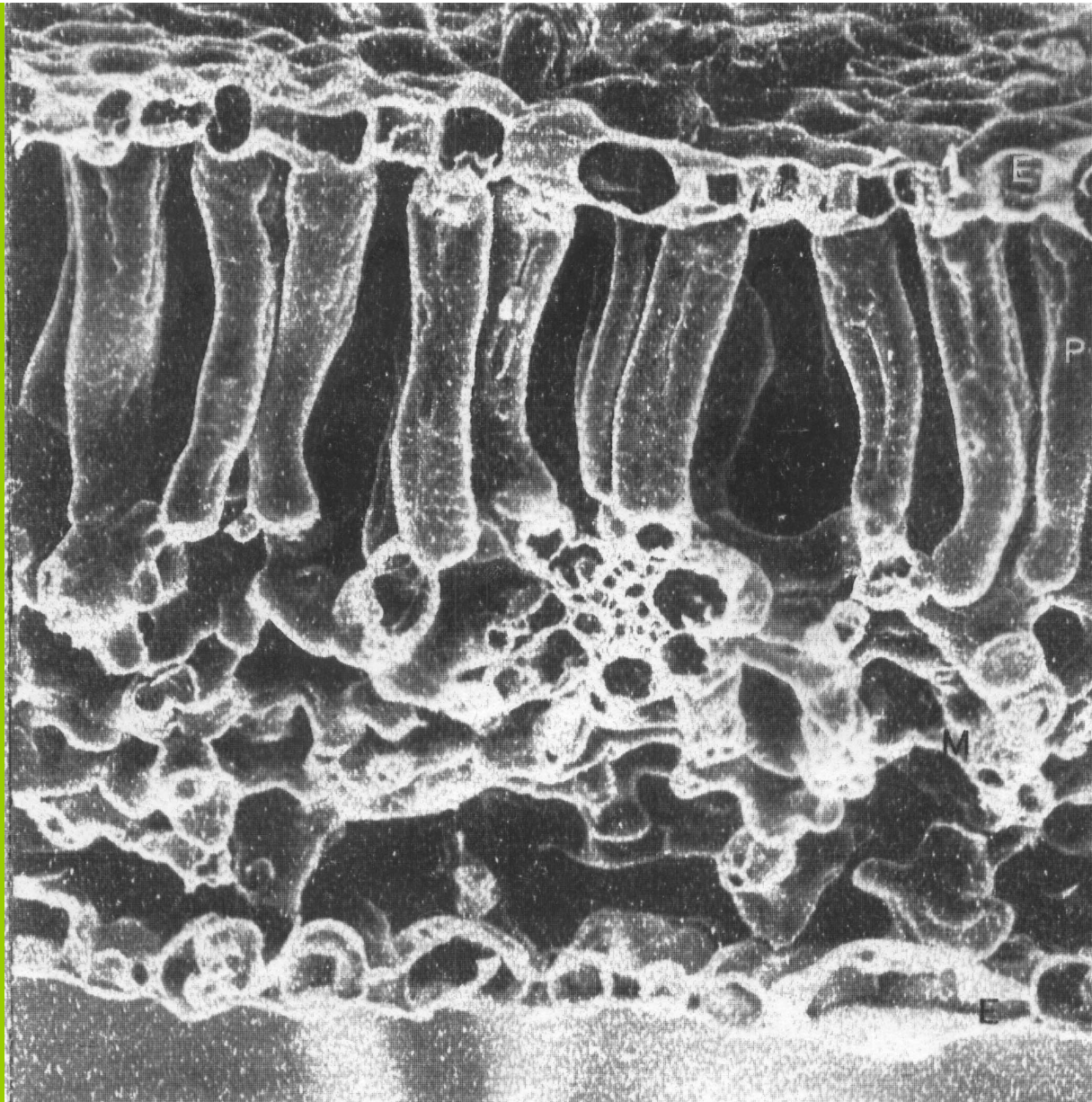
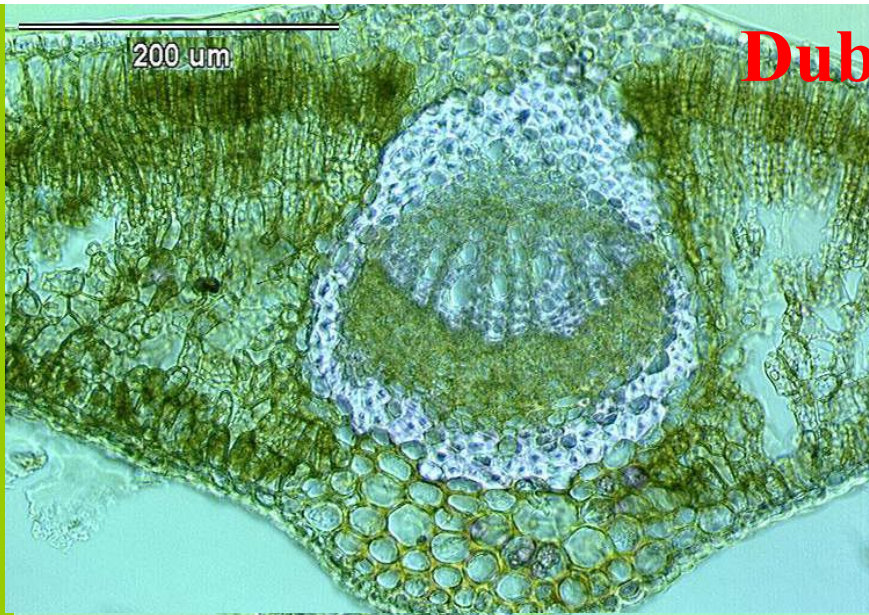


Plate 38  $\times 420$

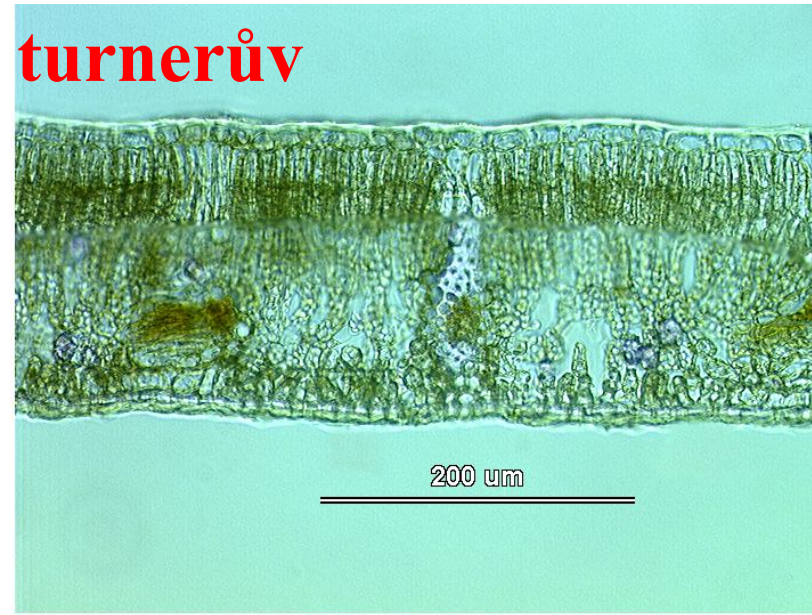
### Inside the Leaf

**Transverse view of a mature broad bean leaf.** The internal organisation of cells in this leaf is characteristic of many plants, consisting of a layer of palisade cells (P) in the upper half of the leaf, spongy mesophyll cells (M) in the lower half and bounded on both sides by the epidermis (E). There are large air gaps between the palisade cells in the bean leaf, which is in contrast to the similar layer of cells in the tomato leaf. Most of the surface of the cells is exposed to the air and the area of cell wall exposed is about ten times the surface area of the leaf. The proportion of air volume to cell volume in a leaf

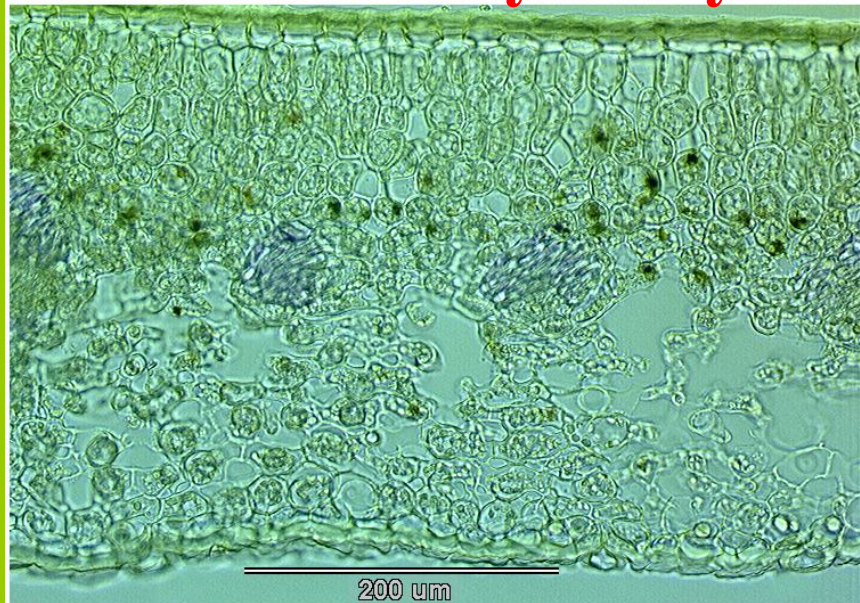




**Dub turnerův**



**Zimostráz vřdyzelený**

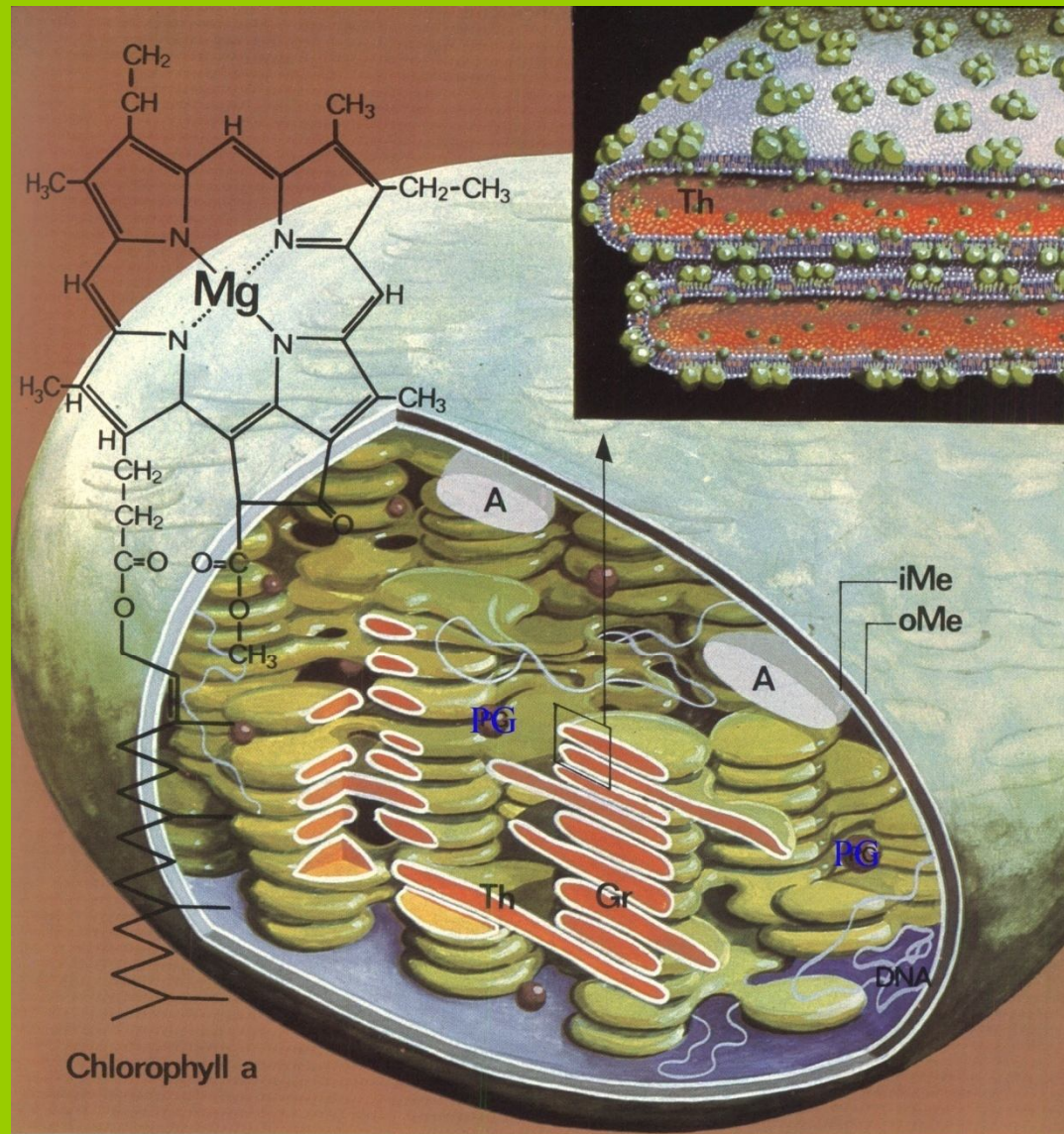








# Chloroplast



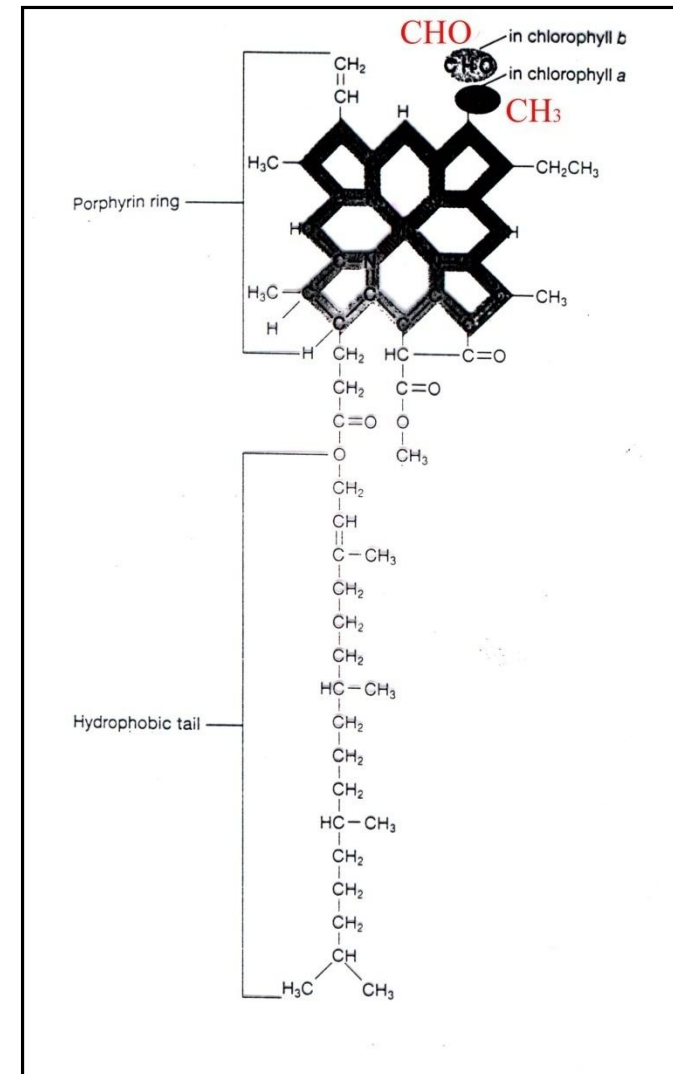
iMe - vnitřní membrána; oMe - vnější membrána; periplastidový prostor; Th - tylakoid, Gr - gran, stromatu; kvantazómy; A - škrob; PG - plastoglobulus; DNA; ribozomy

- absorpci kvant záření a jejich přenos zabezpečují  
pigmentoproteinové komplexy

- spojeny s cytochromy, chinony a enzymy (oxidace  
vody a redukce  $\text{NADP}^+$ )

## Fotosyntetické pigmenty

chlorofyly a,b



## Karotenoidy

- izoprenoidy (základní skelet 40 uhlíků)

└─ **karoteny** - uhlovodíky  
└─ **xantofyly** - kyslíkaté deriváty

**funkce** └─ anténní systémy  
└─ ochranná (fotooxidace)

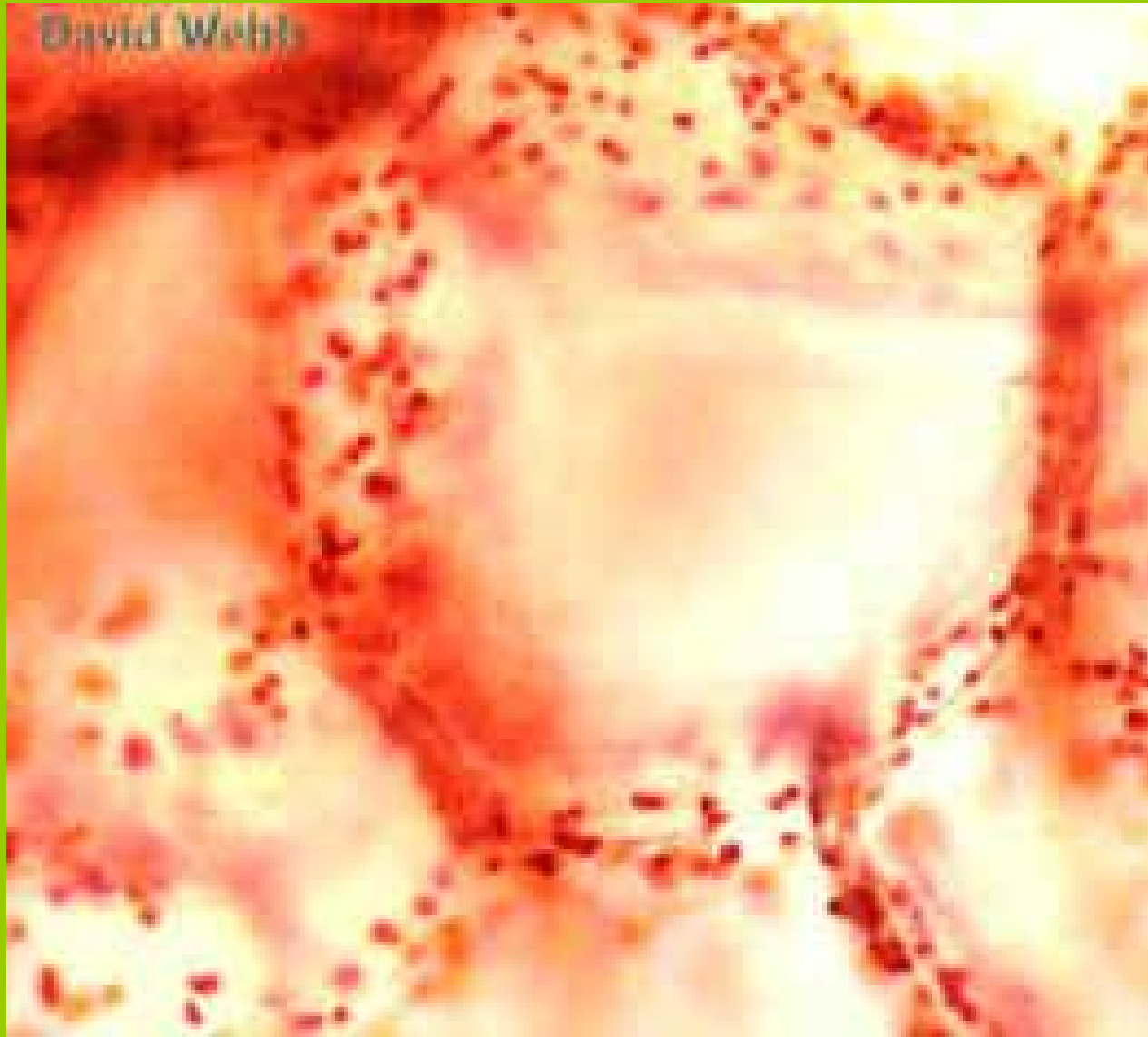
-přeměna violaxantinu, anteraxantinu a zeaxantinu - uvolnění tepla

## **Ostatní listová barviva**

**fykobiliny** (sinice, ruduchy, skrytěnky)  
– fykoerytrin, fykocyanin



# Chromoplasts



## Anténní - světlosběrný systém

- zachycují energii fotonů a přivádějí takto získanou excitační energii do reakčního centra (RC)

**návrat** – formou tepla, fluorescencí, přenos na sousední molekulu nebo uvolněním excitovaného elektronu

na 200 – 300 molekul chlorofylu připadá 1 molekula chlorofylu v RC

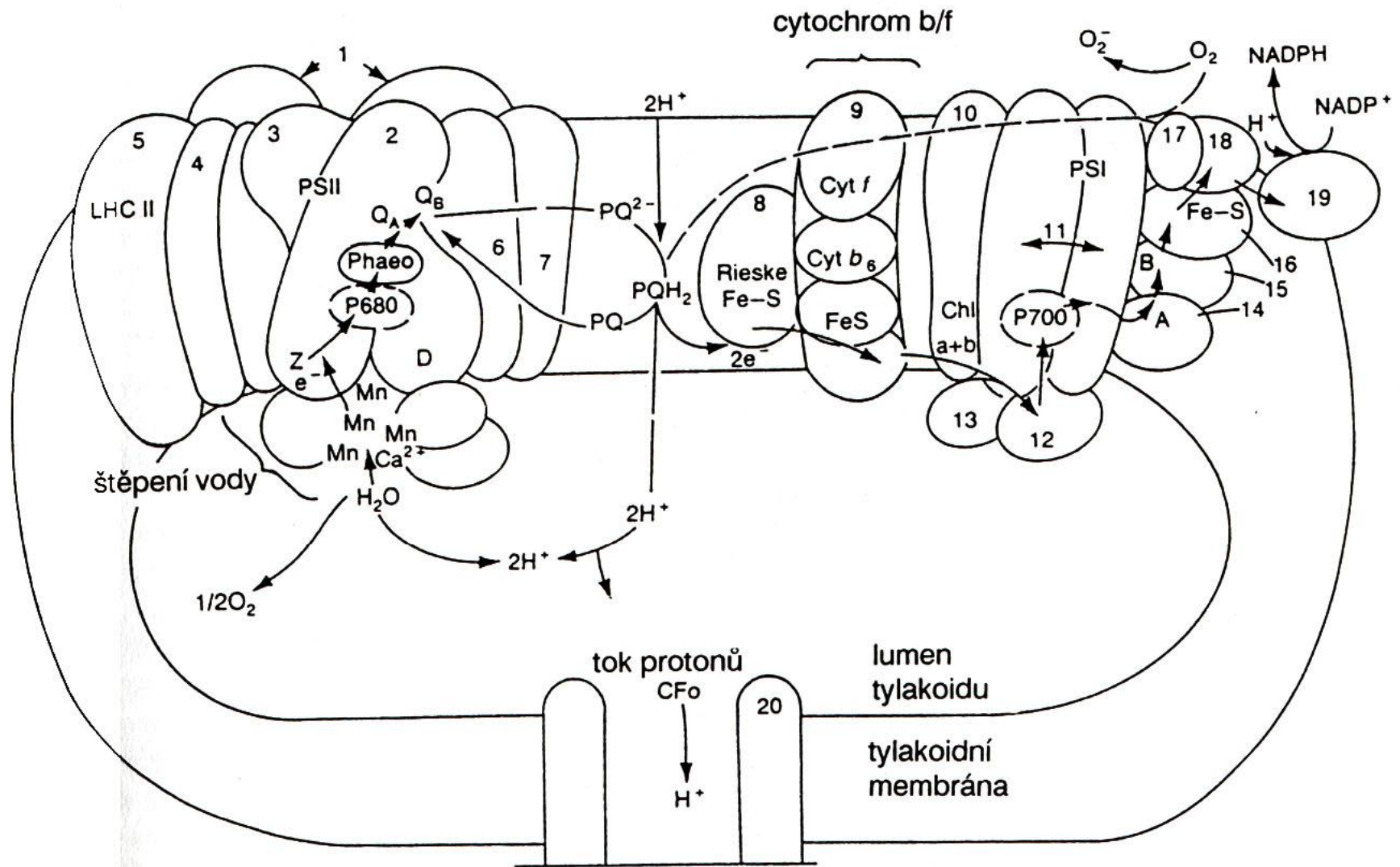
# Fotosystémy

**Fotosystém II (PSII)** - katalyzuje rozklad vody – uvolnění  $O_2$   
- spojen s komplexem cytochromů  $b_6/f$

**Cytochrom  $b_6/f$**  – přenos elektronů z PS II na PSI

**Fotosystém I (PSI)** – získá elektronu pro RC z cytochromů  $b_6/f$   
a přes ferredoxin redukuje  $NADP^+$  (vznik  $NADPH + H^+$ )

**ATP-syntáza** – protonový gradient - syntéza ATP na vnějším povrchu (stromatálním) tylakoidní membrány



Obr. 4.8 Schéma uspořádání hlavních složek v tylakoidní membráně. 1 – pigmentoproteinový komplex antény, 2 – bílkovina D1, 3 – bílkovina D2, 4 – cytochrom b<sub>559</sub>, 5 – světloběrná anténa, 6 – bílkovina (M<sub>r</sub> = 10 000), 7 – stabilizující membránová bílkovina (M<sub>r</sub> = 22 000), 8 – Rieskeho centrum Fe-S, 9 – cytochrom b<sub>6</sub>/f s polypeptidy, 10 – světloběrný pigmentoproteinový komplex PSI, 11 – reakční centrum PSI, 12 – plastocyanin, 13 – protein (M<sub>r</sub> = 10 000), který váže plastocyanin, 14, 15, 16 – bílkoviny Fe-S, 17 – bílkovina s navázaným feredoxinem, 18 – feredoxin, 19 – flavoprotein (Fp), 20 – membránová podjednotka spřahovacího faktoru CF<sub>0</sub>, Z, D – tyrozin na bílkovině D1 a D2. Podrobnosti v textu. (Podle Lawlora 1993.)

## Fotofosforylace

zvýšení koncentrace  $H^+$  v lumenu tylakoidů - gradient  
využit pro tvorbu **ATP z ADP**

NADPH +  $H^+$  a ATP jsou dále využívány především pro  
**redukci uhlíku z  $CO_2$  a při tvorbě sacharidů**

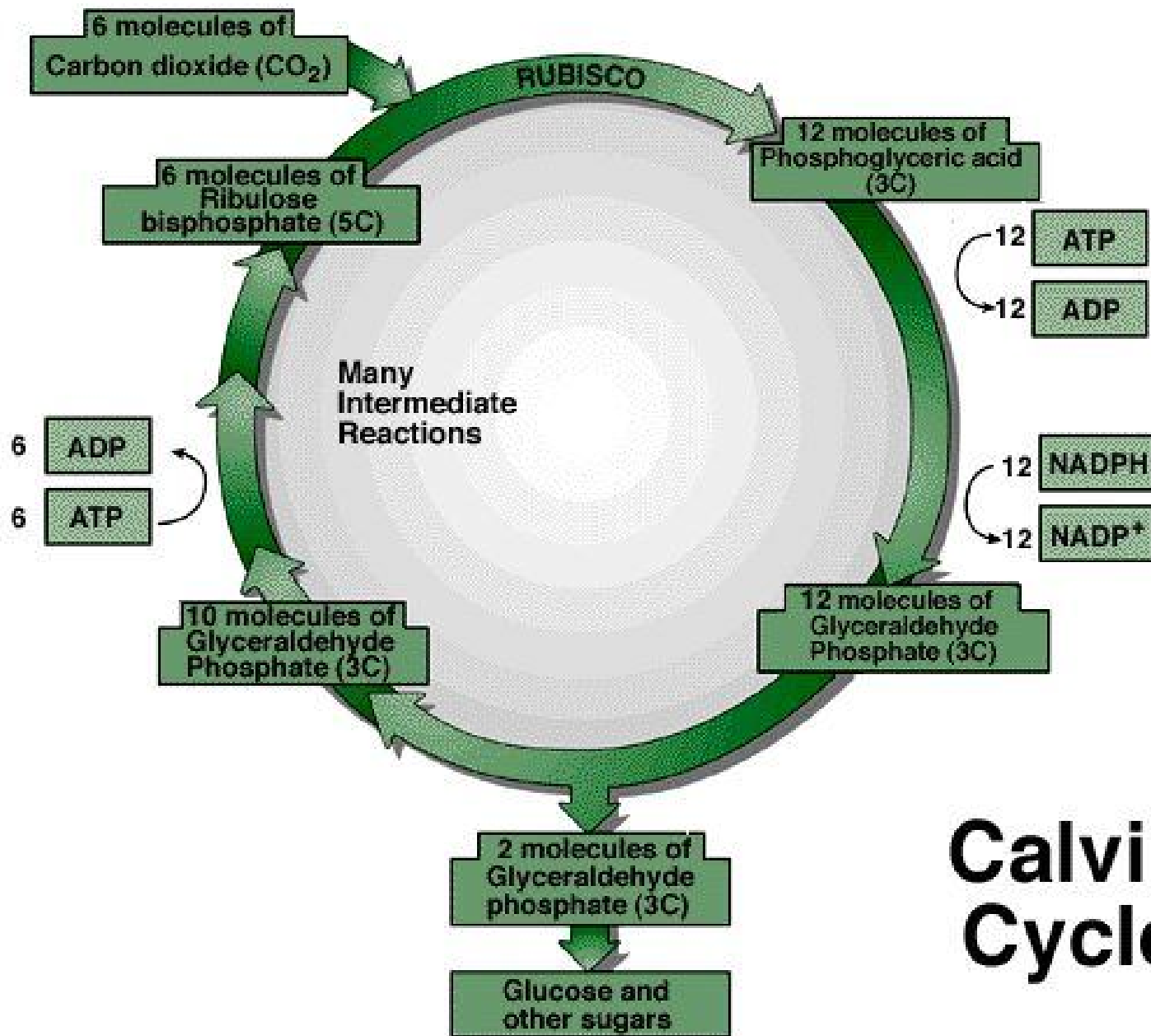
# Fixace CO<sub>2</sub>

## Calvinův cyklus

CO<sub>2</sub> vázán enzymem **Rubisco** (ribulóza-1,5-bisfosfátkarboxyláza).  
Vzniklý 6C labilní meziprodukt je štěpen na **3-fosfoglycerát** → je fosforylován (ATP-ADP) na 1,3-bisfosfoglycerát → reaguje s NADPH<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> na glyceraldehyd-3-fosfát → **fruktóza-6-fosfát** (výchozí sloučeninou pro **syntézu škrobu v chloroplastech nebo je transportován do cytoplazmy** → **sacharóza** (hlavní transportní sloučenina))

**3-fosfoglycerát** – 1. stabilní produkt - **C3 rostliny**





# Calvin Cycle

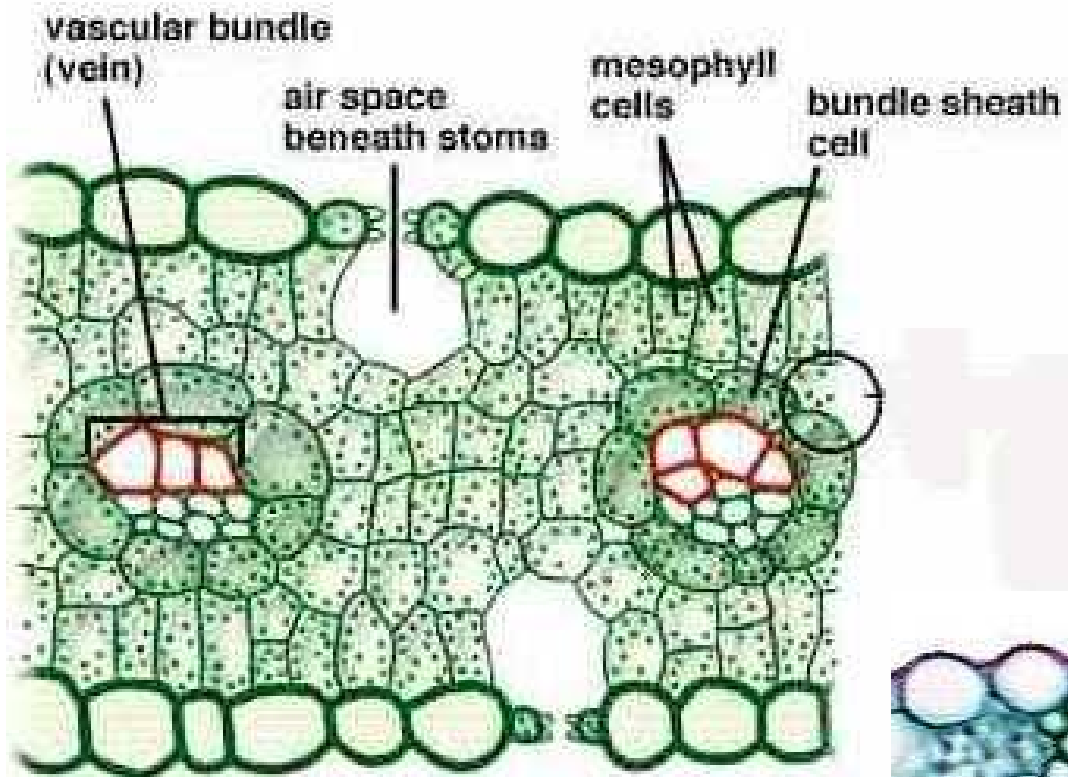
## Fixace CO<sub>2</sub> u C<sub>4</sub> rostlin

CO<sub>2</sub> fixován v cytoplazmě buněk mezofylu PEPkarboxylázou → **oxalacetát (čtyřuhlíkatý)** mění na malát nebo aspartát – transportován do pochev cévních svazků. Zde uvolněn CO<sub>2</sub> a ten fixován Calvinovým cyklem.

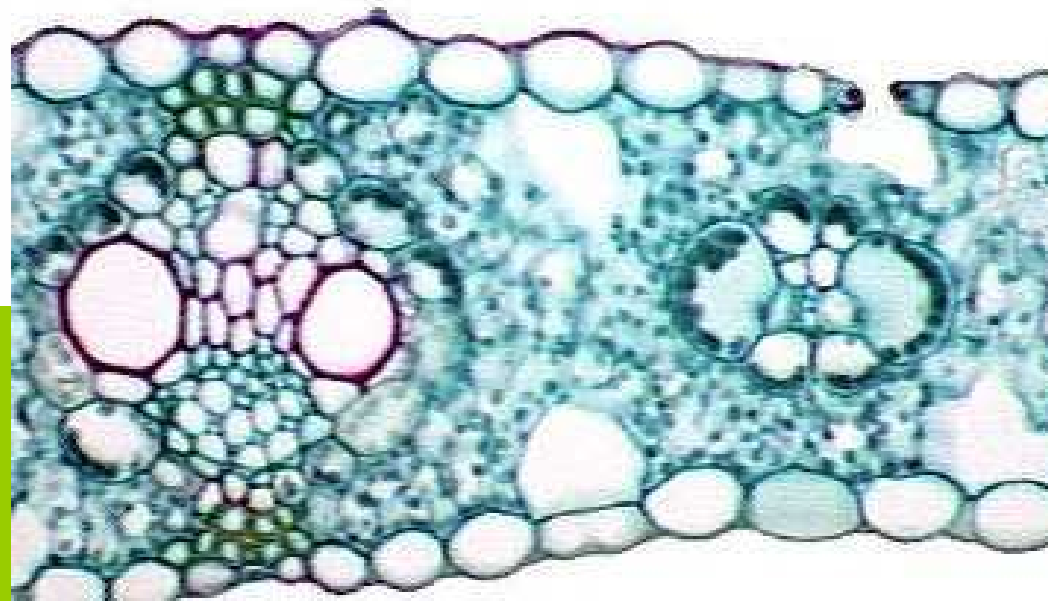
## Fixace CO<sub>2</sub> u CAM rostlin (tučnolistých)

CAM rostliny adaptovány na nedostatek vláhy – mají přes den zavřené průduchy

V noci fixují PEPkarboxylázou → malát hromadí ve vakuolách přes den malát uvolňován dekarboxylován a CO<sub>2</sub> fixován Calvinovým cyklem



**PORTION OF A CROSS SECTION  
OF A LEAF WITH C<sub>4</sub> PHOTOSYNTHESIS**



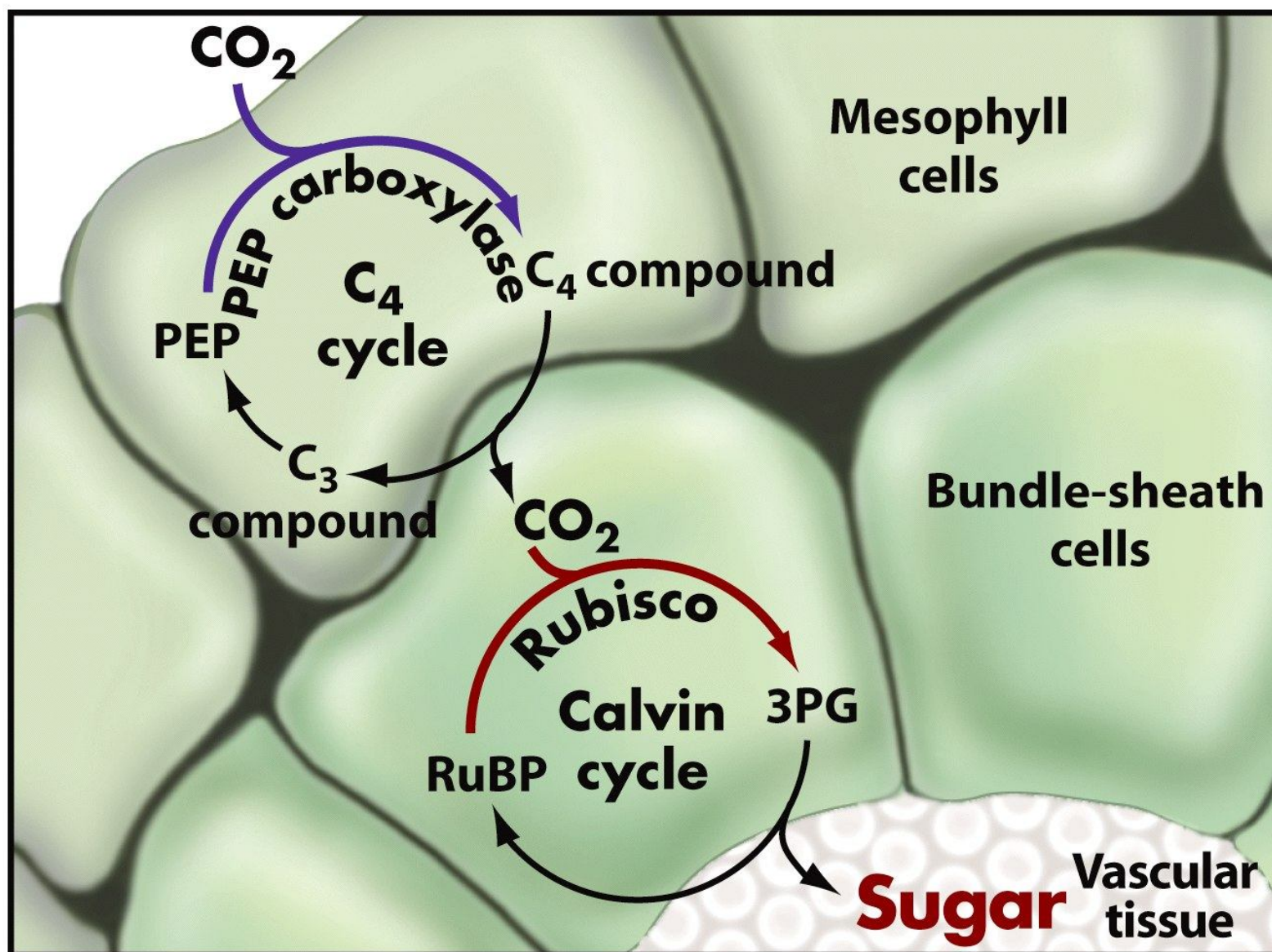


Figure 10-25b Biological Science, 2/e

## Fyziologie fotosyntézy

- difuze CO<sub>2</sub>

- difuzní odpory:

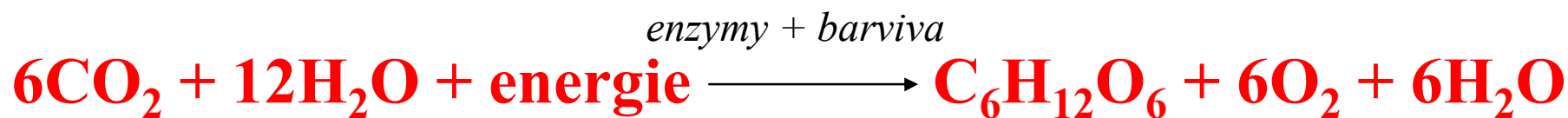
$$r = r_a + r_s + r_m \text{ (}\mu\text{mol}^{-1}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s)}$$

$r_a$  = odpor hraniční vrstvy

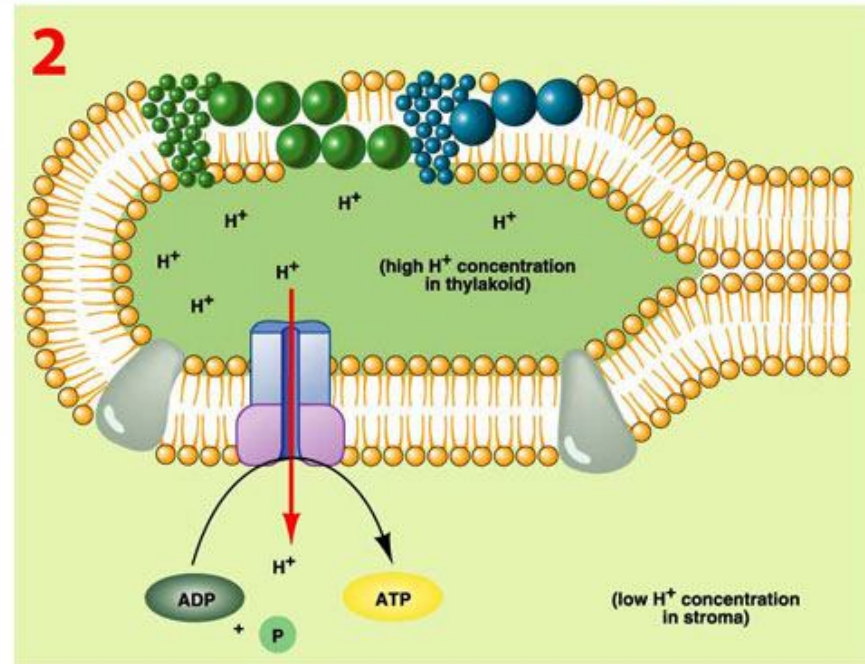
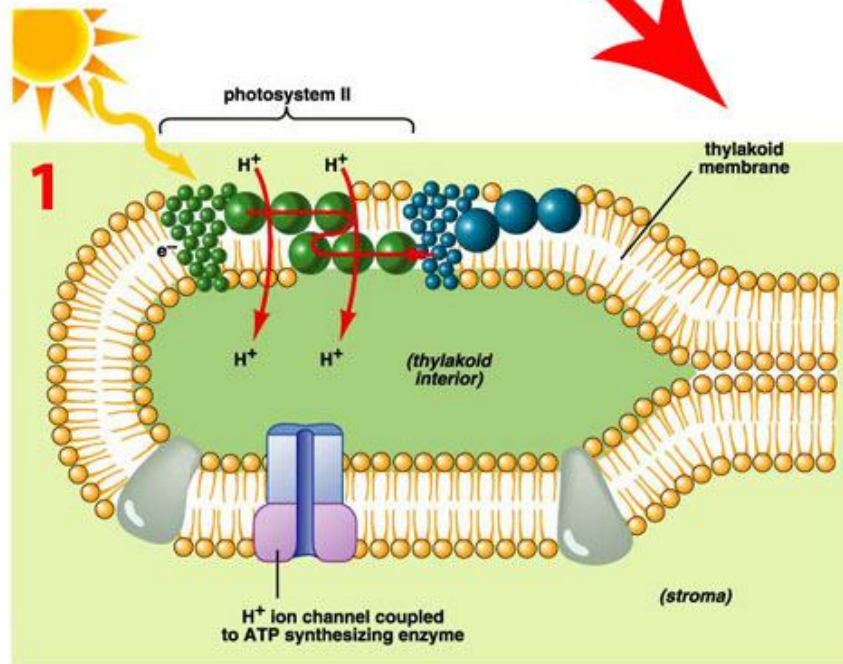
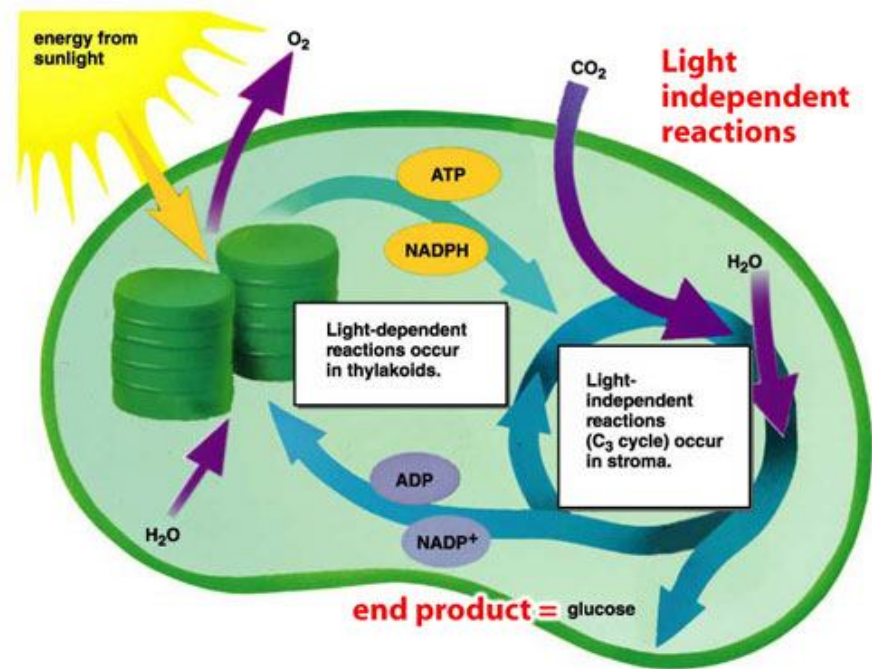
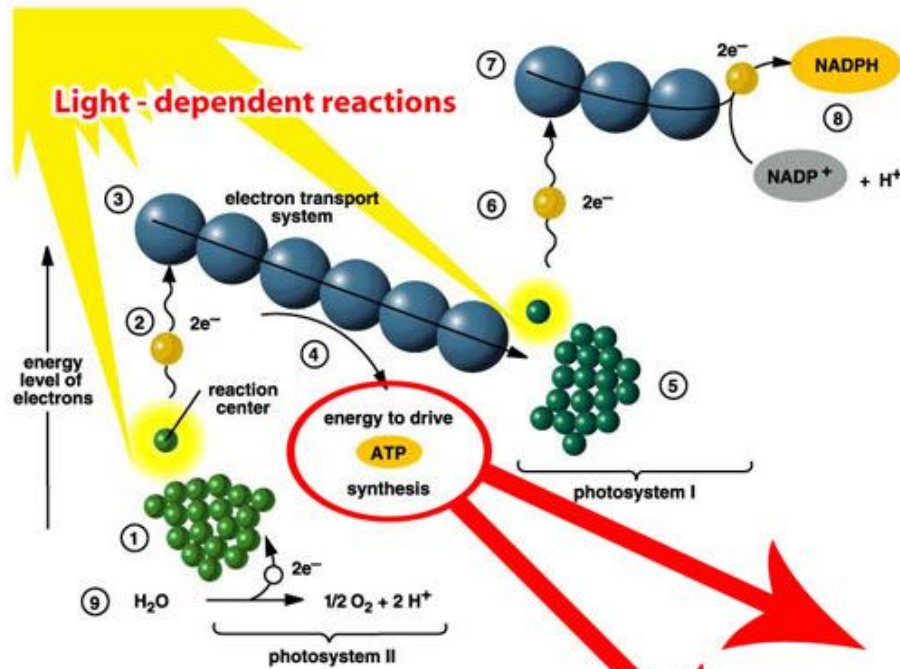
$r_s$  = odpor stomatální

$r_m$  = odpor mezofylový

**Anatomie listu** – fixace CO<sub>2</sub> – velikostí a počet chloroplastů, tvarem buněk, strukturou interceluár, tloušťkou listu, frekvencí průduchů









## Respirace (dýchání)

- reakce organického substrátu s molekulárním kyslíkem
- vznik ATP na principu přenosu elektronů (podobně při fotosyntéze) → **protonový gradient**
- příjem  $O_2$  výdej  $CO_2$  – oxidace substrátů v reakcích glykolýzy, cyklu kys. citronové a pentózového cyklu
- využití energie pro růst (syntézy), udržení struktur, transport látek, příjem iontů, pohyby atd.

Organické substráty – sacharidy, tuky, (bílkoviny) apod.

## Průběh respirace:

1. Glykolýza

2. Oxidace acetyl-CoA, tzv. **cyklus kyseliny citronové**  
(Krebsův či citrátový cyklus)

3. **Přenos elektronů** z  $\text{NADH} + \text{H}^+$  v dýchacím řetězci až  
na  $\text{O}_2$ . Ten redukován na  $\text{H}_2\text{O}$

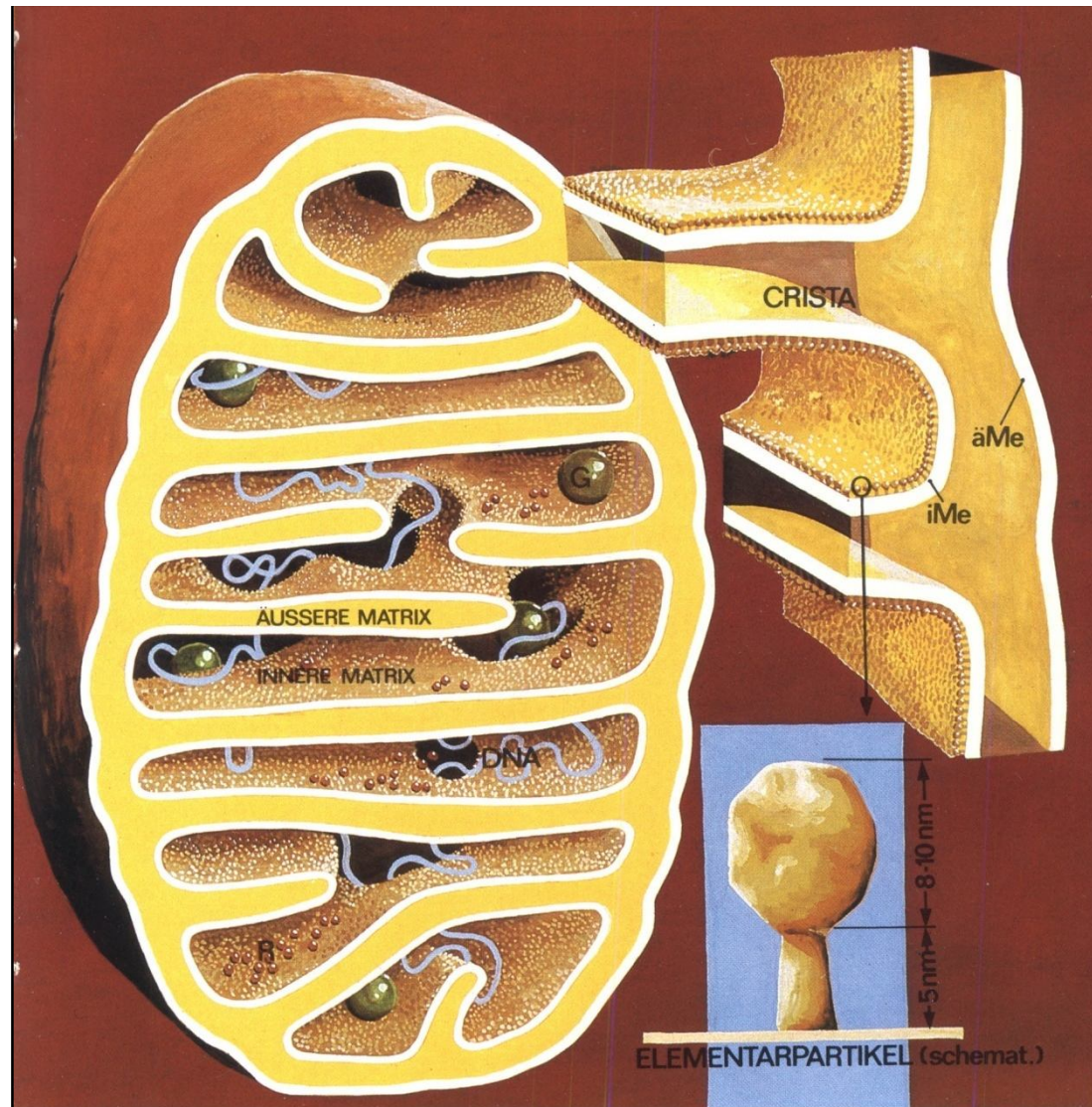
4. Oxidační fosforylace – **syntéza ATP**

# 1. Glykolýza

- děje se v **cytoplazmě buněk** (může probíhat i **anaerobně**)
- nejdřív se fosforyluje glukóza a vzniká glukóza-6-fosfát → až na **kyselinu pyrohroznovou**

nepřítomnost kyslíku –  
**kvašení** – alkoholové →  
**např. etanol**

dostupnost kyslíku  
(aerobní podmínky) →  
acetylCoA (uvolňuje CO<sub>2</sub>) →  
**cyklus kys. citronové**  
(mitochondrie)



Chondriomembrána - vnější äMe; perimitochondriální prostor  
 - vnitřní iMe  
 krista; elementární částice oxidom  
 DNA; ribozómy 70 S  
 matrix vnější; vnitřní  
 G - intramitochondriální granum

- většina rozpustných enzymů v matrix
- na vnitřním povrchu krist – ATP-syntázy
- lipidy (tuky) mohou být substrátem pro dýchání (semena)
  - mohou vznikat sacharidy v glyoxylátovém cyklu
  - lokalizován v glyoxizomech

## 2. Cyklus kyseliny citronové (tzv. citrátový cyklus)

- podílí se cca 30 enzymů

acetylCoA  $\rightarrow$  2 CO<sub>2</sub>, 1 molekula GTP (guanosintrifosfát),  
3 NADH<sub>2</sub> a 1 redukovaný flavoprotein

**3. Přenos elektronů z NADH + H<sup>+</sup> v dýchacím řetězci až na O<sub>2</sub>. Ten redukován na H<sub>2</sub>O**

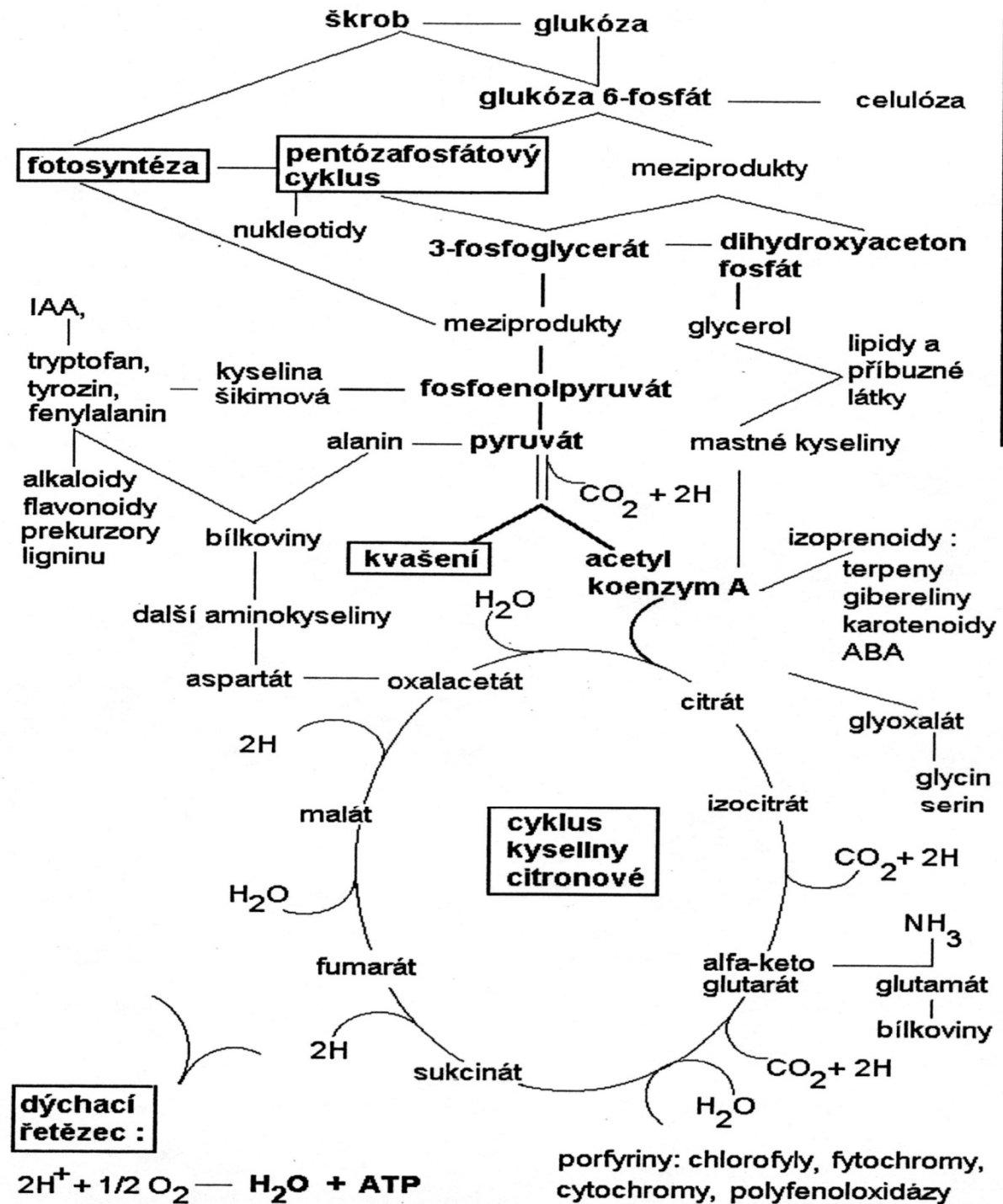
**4. Oxidační fosforylace**

tvorba ATP z ADP na základě elektrochemického gradientu protonů



# Schéma metabolismu

-propojení fotosyntézy, (poskytuje základní substrát), dýchání, výstupy pro syntézy sekundárních látek stavebních obranných ochranných regulačních



## Využití dýchání v průběhu růstu rostlin

### - udržovací a růstové dýchání

-v průměru ztrácí rostlina za 24 hodin 1-2 % svého obsahu uhlíku na udržovací složku. U dospělé rostliny může tato hodnota představovat velký podíl.

-v současné době je přijímána představa, že asi 25 % vytvořených asimilátů slouží ke spotřebě dýcháním.

## Vliv vnějších faktorů na rychlost dýchání

- omezují dostupnost zdrojů pro rostlinu (limitace produktů fotosyntézy, deficit vody, minerálních živin, nevhodných teplot)
- narušují metabolismus a působí až toxicky (potřeba opravných mechanismů, zvýšený výdaj na vylučování škodlivých látek)

## Regulace rychlosti dýchání

- množství substrátu (sacharidů)
- množství ADP (limitace přenosu elektronů)
- tvorba ATP (při přebytku elektronů - alternativní dráhy pro přenos elektronů)

## Ozářenost

-buňky obsahující chloroplasty redukuje na světlo rychlost dýchání na 70 – 35 % dýchání ve tmě (fotosyntéza, fotorespirace, dýchání a reutilizace CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>).

## Teplota

-optimum 30 – 40°C (od 10 do 25°C je zvýšení rychlosti dýchání při zvýšení teploty o 10°C asi dvojnásobné).

Rozdíly u ekotypů.

## Oxid uhličitý

-ovlivňuje rychlost karboxylace enzymem Rubisco  
-mění otevřenost průduchů



## Ostatní faktory

-vodní stres, minerální živiny, ionty způsobující zasolení půd, těžké kovy a atmosférické polutanty (i O<sub>3</sub>)

## INTERAKCE FAKTORŮ

