

# Fyziologie rostlin

Natálie Čeplová

# Fyziologie rostlin

## Přehled témat

- předmět a metody studia rostlinné fyziologie, historie oboru
- chemické složení rostlinné buňky
- struktura a funkce rostlinné buňky
- vodní provoz, transport vody v rostlině
- transpirace, vodní bilance rostliny
- minerální výživa rostlin – příjem iontů, nescifický a zprostředkovaný transport
- minerální výživa – funkce jednotlivých živin v rostlině
- enzymy
- primární procesy fotosyntézy
- sekundární procesy fotosyntézy
- fotorespirace, fixační cesta  $C_4$  a CAM
- respirace – anaerobní glykolýza, aerobní štěpení
- respirace – fermentace, faktory ovlivňující intenzitu dýchání
- transport organických látek
- transport plynů
- heterotrofní výživa rostlin
- růst a vývoj na buněčné úrovni, diferenciaci a růst orgánů
- vnitřní faktory ovlivňující růst a vývoj rostlin (fytohormony)
- vnější faktory ovlivňující růst a vývoj rostlin
- pohyby rostlin

# Úvod do fyziologie rostlin

Rostlinná fyziologie studuje životní projevy rostlin a funkce jejich orgánů

- fotosyntéza
- dýchání
- vodní režim rostliny
- minerální výživa
- transport látek v rostlině
- interakce s prostředím a stresové reakce
- růst a vývoj rostliny

# Úvod do fyziologie rostlin

## Úrovně studia

- rostlina jako celek
- orgán
- pletivo
- buňka
- orgány a subcelulární struktury

**Metody** – pozorování a experiment

# Úvod do fyziologie rostlin

## Postavení mezi ostatními vědními obory botaniky

- stavba rostlinného těla
  - organologie
  - anatomie, histologie
  - cytologie
- životní projevy
  - genetika
  - **fyziologie**
  - geobotanika (ekologie, fytocenologie, fytogeografie)
- klasifikace
  - floristika
  - taxonomie
  - systematika (systematická botanika)
- praktická aplikace
  - botanika zemědělská, lesnická, zahradnická, farmaceutická...

# Úvod do fyziologie rostlin

## Disciplíny metodicky využívané

- chemie (biochemie, organická, analytická chemie)
- fyzika a biofyzika
- matematika (statistika, matematické modelování)

# Historie oboru

**Julius von Sachs (1832 – 1887)**

- habilitace 1857

**Eugen Netolička**

- učebnice rostlinné fyziologie – 1850

**Bohumil Němec (1873 – 1966)**

- zakladatel české anatomie a cytologie

**Prof. Rudolf Dostál (1885 – 1973)**

- Vysoká škola zemědělská v Brně
- Zemědělská botanika 2 – Fyziologie rostlin  
(shrnuje poznatky oboru do 60. let 20. století)

# Struktura a funkce rostlinné buňky

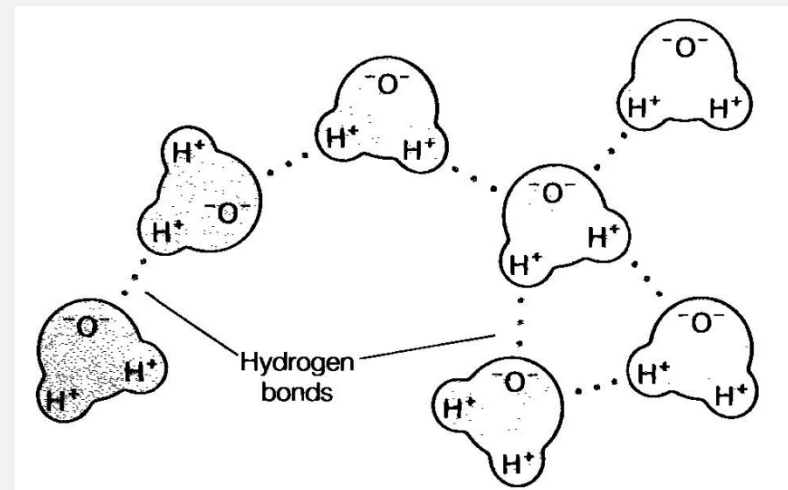
## Chemické složení rostlinné buňky

### biogenní prvky

- makrobiogenní (H, O, C, N, P, Ca)
- oligobiogenní (S, K, Na, Cl, Mg, Fe)
- mikrobiogenní (Co, Mo, Mn, Zn)

### voda

- vodíkové můstky





# Struktura a funkce rostlinné buňky

## Chemické složení rostlinné buňky

### anorganické látky

- ionty ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $HCO_3^-$ )

### organické látky

- nízkomolekulární
  - polární
  - nepolární
- vysokomolekulární

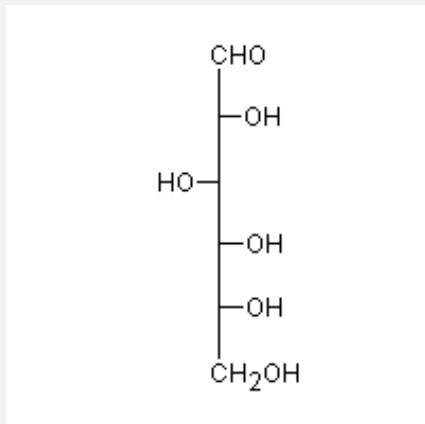
# Chemické složení rostlinné buňky

## Nízkomolekulární organické látky

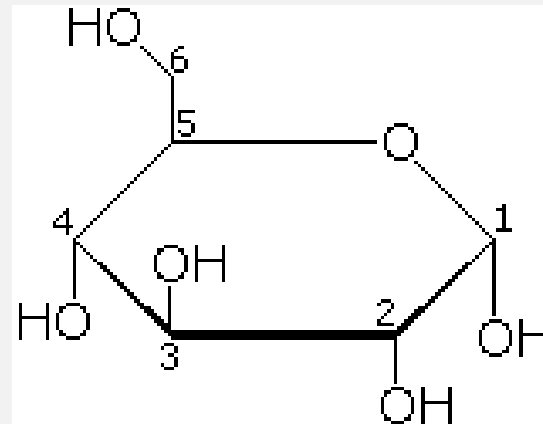
### jednoduché cukry (glycidy)

- 5-6 uhlíkaté (pentózy, hexózy)

glukóza ( $C_6H_{12}O_6$ )



aldehydická forma



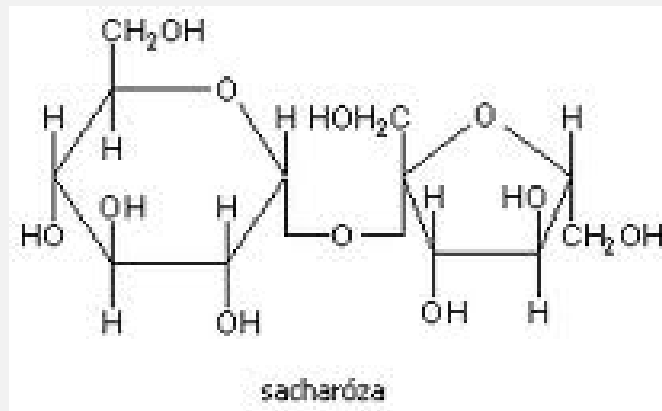
ketonická  
(hemiacetalová) forma

# Chemické složení rostlinné buňky

## Nízkomolekulární organické látky

### glykosidy

- disacharidy, trisacharidy,...polysacharidy



### organické kyseliny

- skupina -COOH

# Chemické složení rostlinné buňky

## Nízkomolekulární organické látky

### aminokyseliny a jejich deriváty

- $-NH_2$  a  $-COOH$  skupina
- alkaloidy (nikotin, atropin, kolchicin, chinin,...)
- peptidy

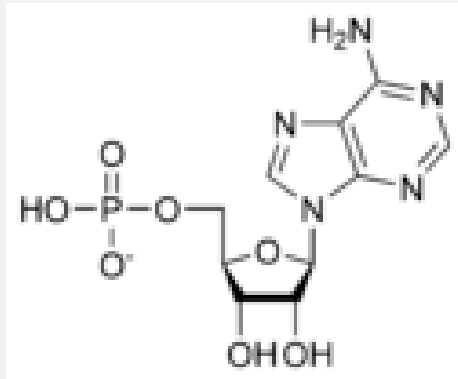
### nukleotidy

- dusíkatá cyklická báze
- pentóza
- kyselina trihydrogenfosforečná

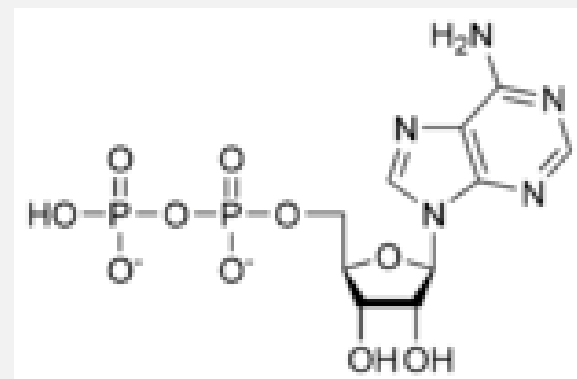
# Chemické složení rostlinné buňky

## Nízkomolekulární organické látky

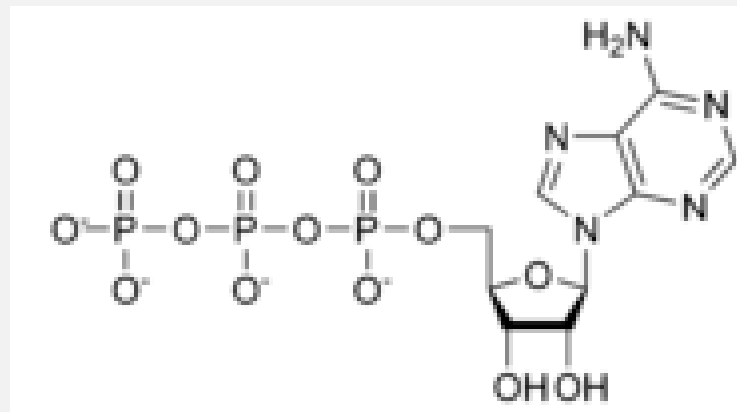
AMP



ADP



ATP



# Chemické složení rostlinné buňky

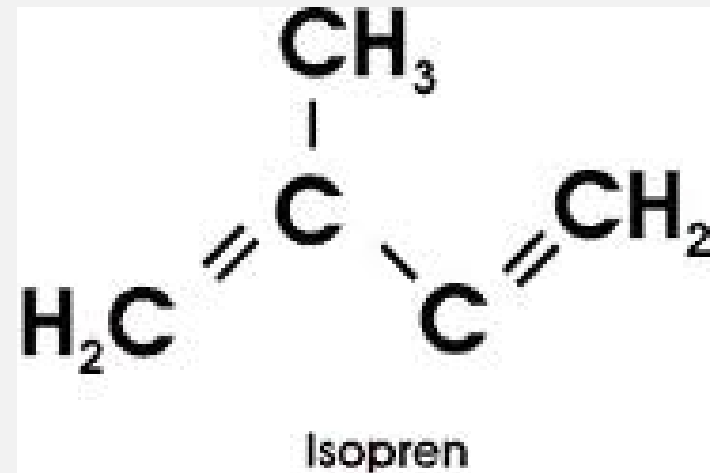
## Nízkomolekulární organické látky

nepolární organické látky v buňce

### uhlovodíky

isoprenoidy

- terpeny
- karotenoidy
- polyisoprenoidy



### tuky

- membránové lipidy

# Chemické složení rostlinné buňky

## Vysokomolekulární organické látky

- informační makromolekuly
- koloidní roztoky
- polysacharidy
- proteiny
- nukleové kyseliny

# Struktura a funkce rostlinné buňky

## Prokaryota

- bakterie, sinice
- DNA není organizovaná v chromozomovém komplexu
- nemají organely

## Eukaryota

- buňky jsou membránami dělené na kompartmenty s různými funkcemi
- DNA + proteiny tvoří chromozomy



# Struktura a funkce rostlinné buňky

## Eukaryota

- buněčná stěna
- protoplast
- karyotéka
- organely
- endomembránový systém (endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát)
- vakuoly, tonoplast

# Struktura a funkce rostlinné buňky

## základní cytoplazma

- mikrotubuly
- mikrofilamenta
- proteiny, sacharidy, lipidy, voda, ionty

## jádro

- chromatin
- nukleoplazma
- karyotéka
- funkce
- jadérko

# Struktura a funkce rostlinné buňky

## endomembránový systém

- endoplazmatické retikulum
- Golgiho aparát
- tonoplast
- mikrotělíška
- karyotéka

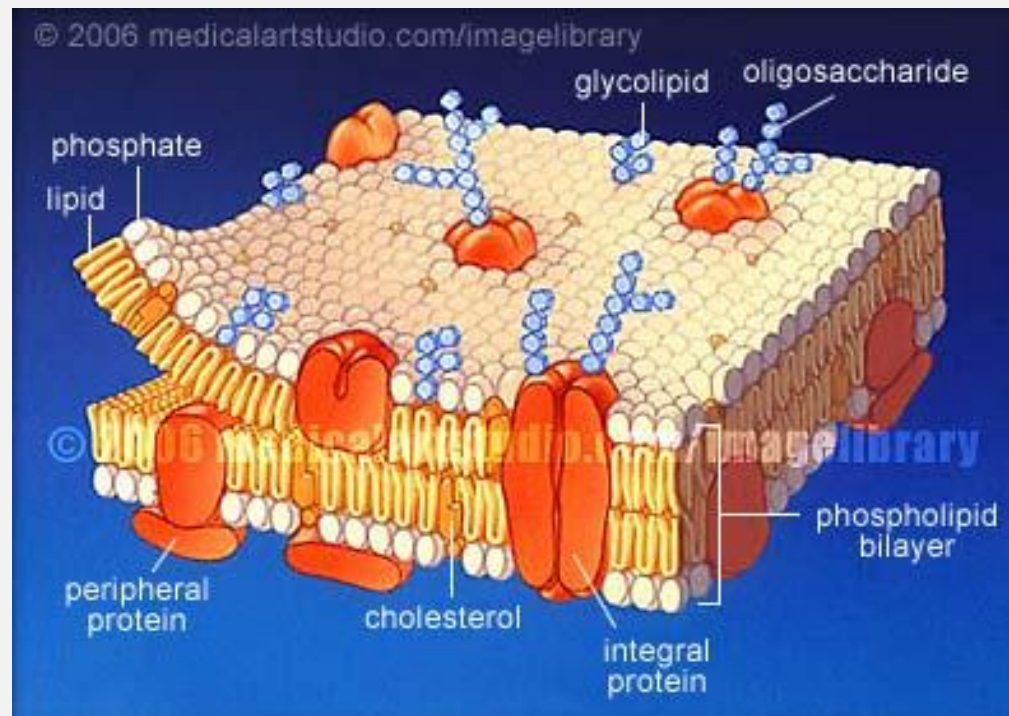
# Struktura a funkce rostlinné buňky

## cytoplazmatická membrána

funkce

stavba

- fosfolipidy
- glykolipidy
- steroly
- transportní proteiny
- strukturní proteiny
- receptory signálů a rozlišovače cizích molekul
- $\text{Ca}^{2+}$
- plazmodesmy, symplast



# Struktura a funkce rostlinné buňky

## vakuola

- voda, soli, cukry, rozpustné proteiny

## plastidy

- chlorofyl, karotenoidy, škroby, oleje
- chloroplasty, chromoplasty, leukoplasty

## mitochondrie

- dvojjednotková membrána

## ribosomy

- nukleoproteiové částice

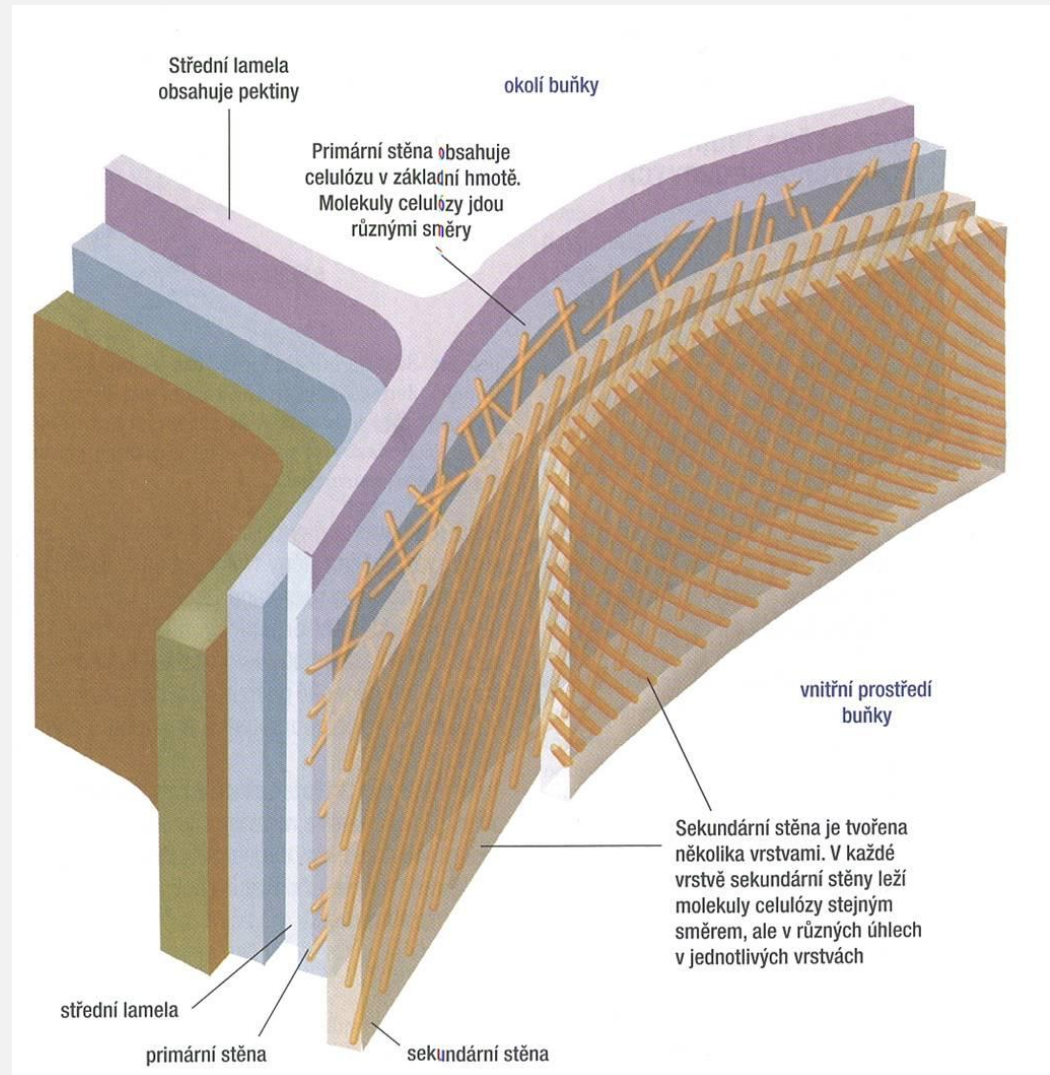
# Struktura a funkce rostlinné buňky

## buněčná stěna

funkce

stavba

- polymery (proteiny, celulóza, pektin, hemicelulóza)
- lignin, kutin, suberin
- inkrustace anorganickými látkami
- střední lamela
- primární stěna
- sekundární stěna
- tečky, dvojtečky



# Vodní provoz rostlin

- rostliny poikilohydrické
- rostliny homoiohydrické
- význam vody v rostlině
- volná x vázaná
- aktivní x pasivní vodní bilance
- vodní potenciál
- difúze
- osmóza (plazmolýza, plazmoptýza)



# Transport vody v rostlině

## radiální

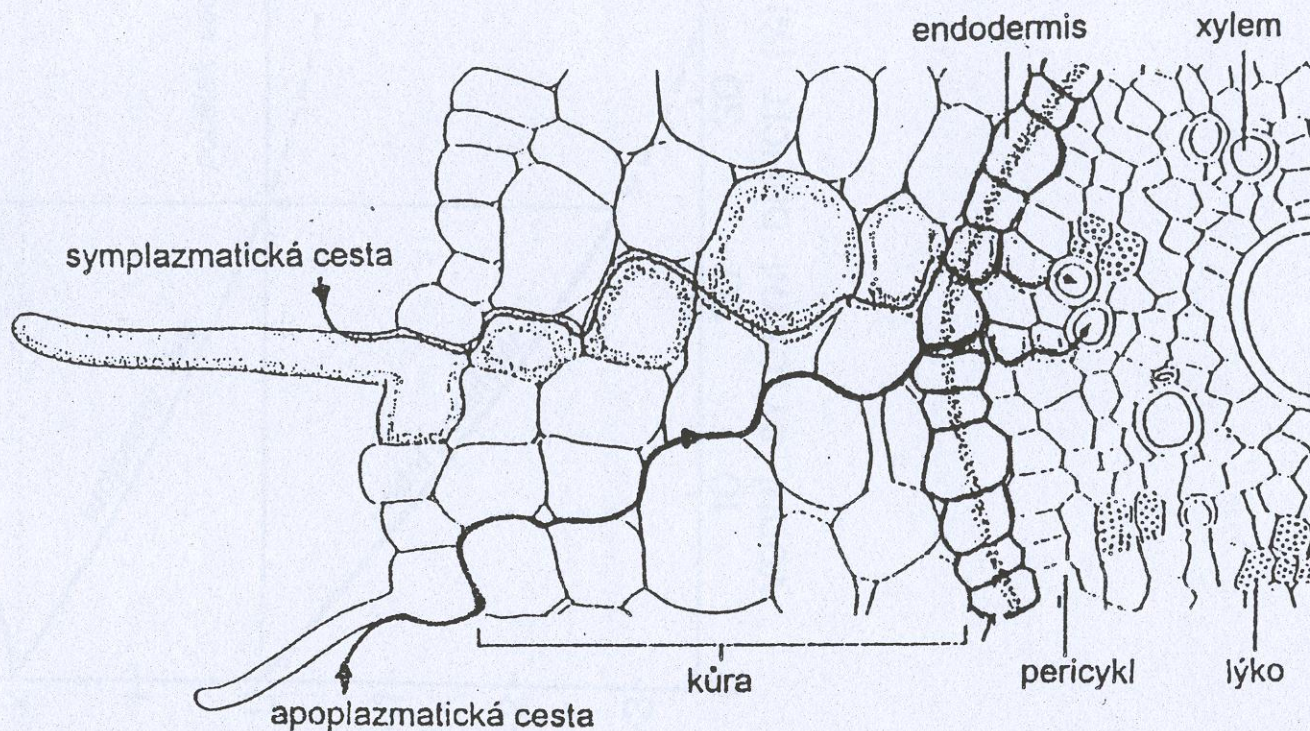
- apoplastická cesta
- symplastická cesta
- vakuolární cesta

## vertikální

- kohezní teorie



# Transport vody v rostlině



Obr.3. Schema symplazmatické a apoplazmatické cesty transportu vody a rozpuštěných látek v kořenových pletivech. Vstup do symplastu je možný podél celého apoplazmatického toku. (Salisbury et Ross 1992).

# Transpirace

- kořenový vztlak
- koheze
- adheze
- transpirační orgány
- transpirace
  - stomatální (průduchová)
  - kutikulární
  - peristomatální
- podmínky transpirace
  - vnější
  - vnitřní
  - měření transpirace

# Vodní provoz rostlin

**vodní bilance** rostliny

**adaptace** k extrémním podmínkám

- pouštní sukulenty
- slanomilné rostliny

dělení rostlin podle **ekologických nároků**

- hygropyty
- mezofyty
- xerofyty

# Minerální výživa rostlin

## Příjem iontů

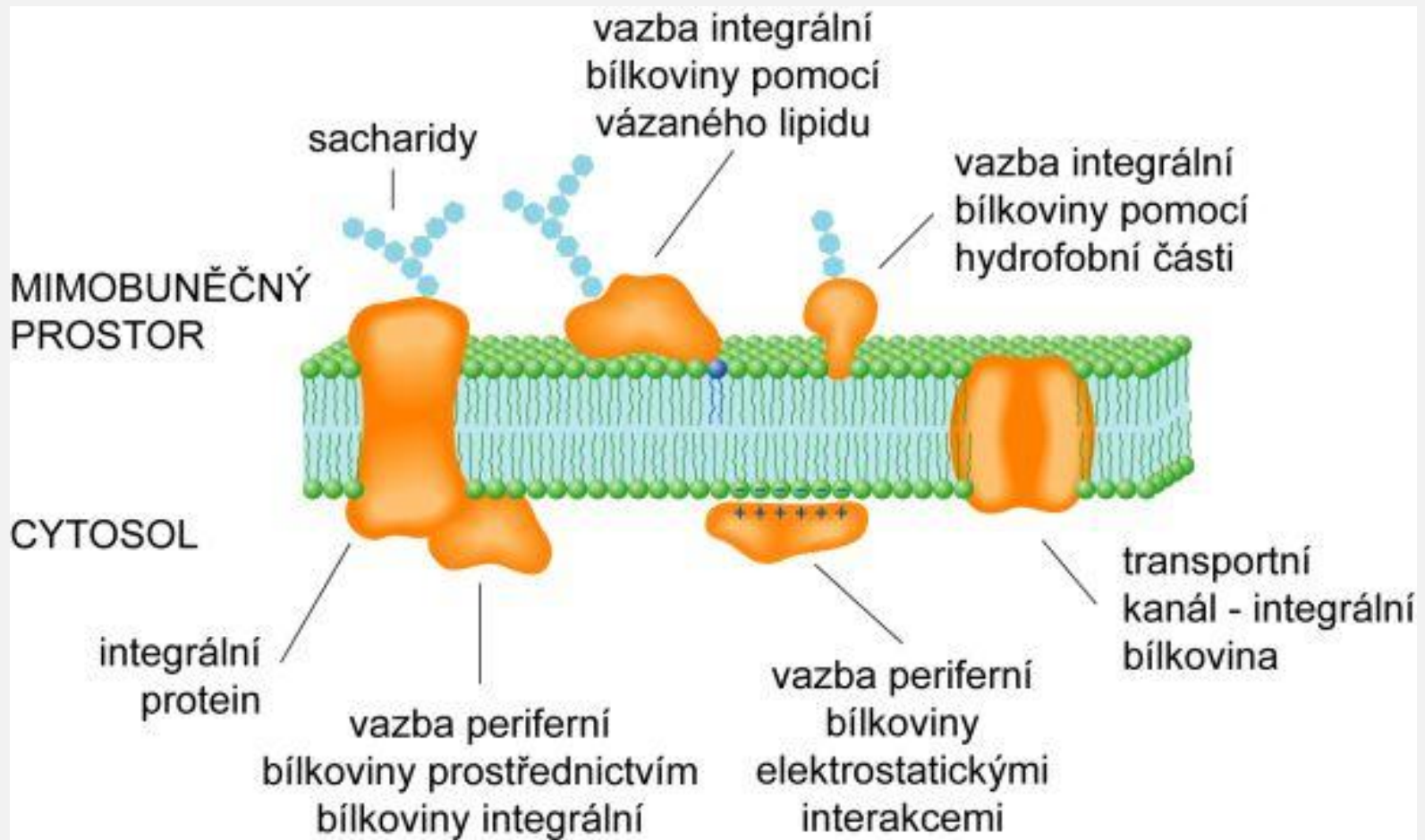
### nespecifický transport

- prostá difúze
- zprostředkovaná difúze

### zprostředkovaný transport

- primární aktivní transport
- sekundární aktivní transport

# Minerální výživa rostlin



# Minerální výživa rostlin

Nespecifický transport

**zprostředkovaná difúze** (pasivní zprostředkovaný transport, usnadněná difúze)

- rychlost a specificita přenosu
- saturační kinetika
- možnost kompetitivní inhibice
- možnost chemické inaktivace

# Minerální výživa rostlin

Zprostředkovaný transport

**primární aktivní transport**

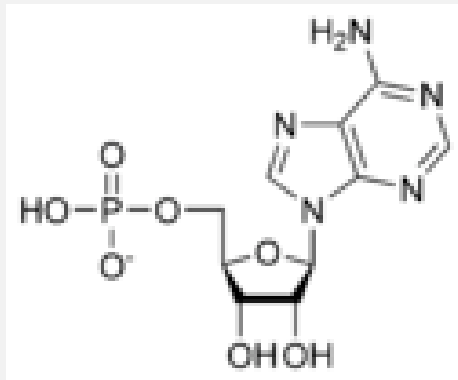
- hydrolýza ATP, ATPázy
- např. protonová pumpa, sodíková pumpa

**sekundární aktivní transport**

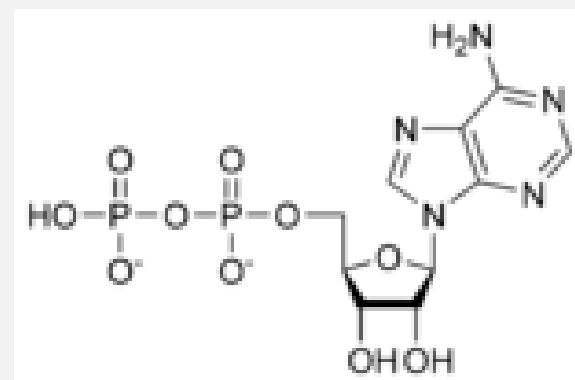
- symport
- antiport

# Minerální výživa rostlin

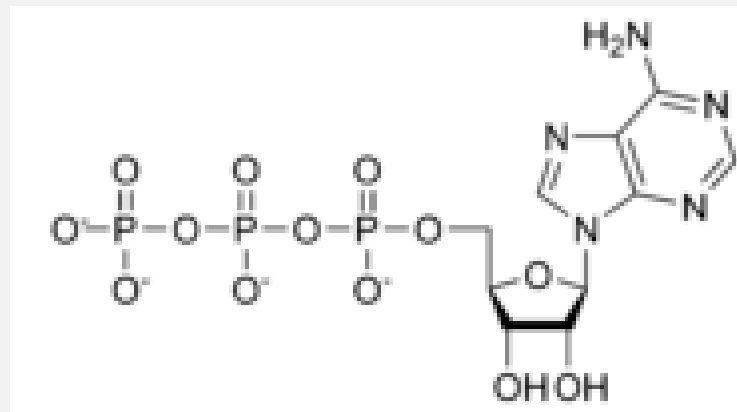
AMP



ADP

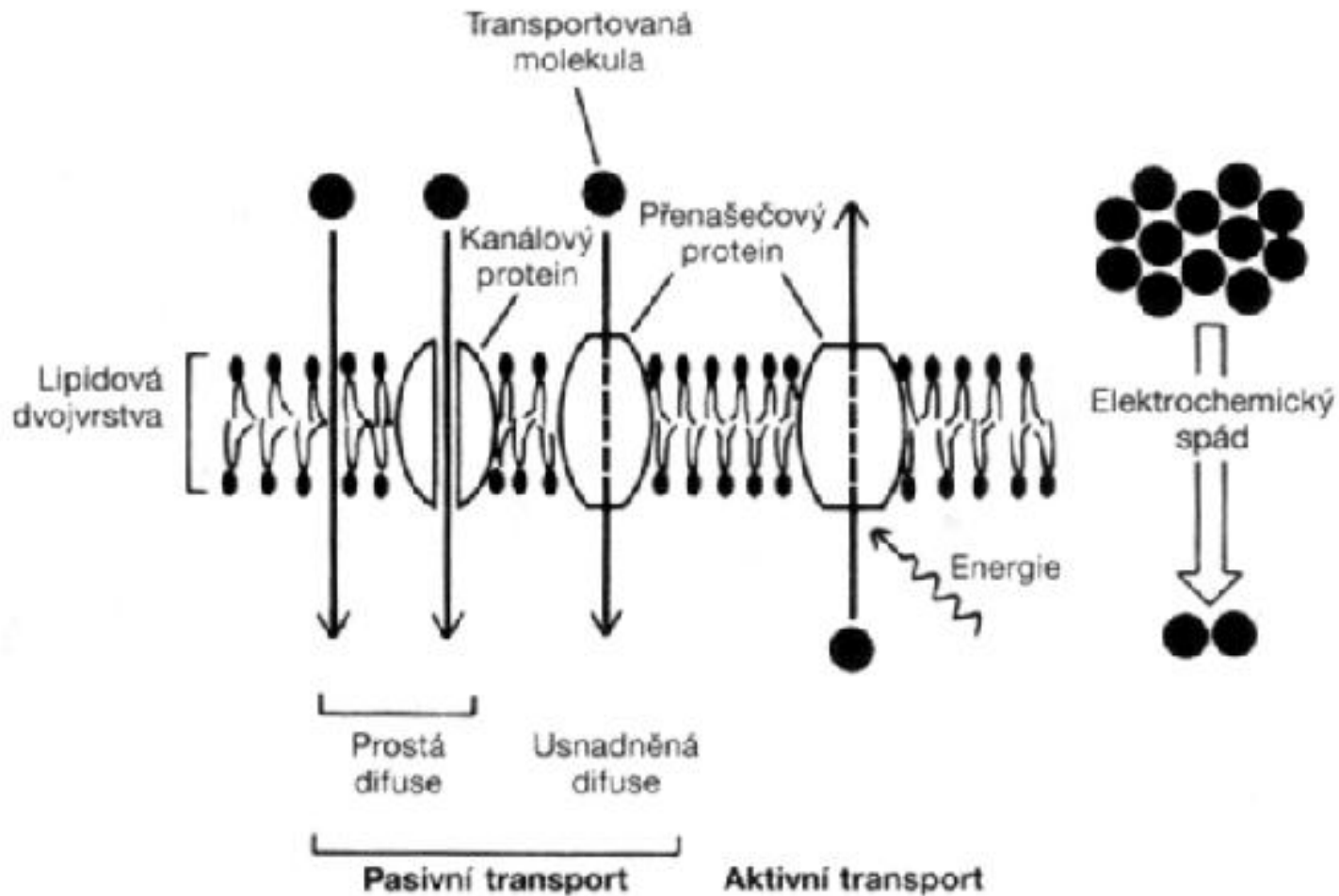


ATP





# Minerální výživa rostlin



# Minerální výživa rostlin

## Funkce jednotlivých živin

- substrát biochemických reakcí
- kofaktor enzymů
- osmotikum
- posel v přenášení signálů

# Minerální výživa rostlin

- dusík (N)
- draslík (K)
- fosfor (P)
- hořčík (Mg)
- vápník (Ca)
- síra (S)
- železo (Fe)
- další prvky

# Minerální výživa rostlin

## Dusík

- makroprvek
- příjem – nitráty ( $\text{NO}_3^-$ ), amonné ionty ( $\text{NH}_4^+$ ), aminokyseliny
- mineralizace na nitrity ( $\text{NO}_2^-$ ) a amoniak ( $\text{NH}_3$ ) – toxické, dále syntéza aminokyselin
- symbióza s nitrogenními bakteriemi (vzdušný dusík, především čeled' bobovité)
- deficit – pokles rychlosti růstu nadzemní části, syntézy chlorofylu (světlé zbarvení listů – chloróza)

# Minerální výživa rostlin

## Draslík

- nejvýznamnější osmotikum v rostlině
- dlouhivý růst buněk, iontová rovnováha, elektroneutralita
- součást enzymů, otevírání průduchů, nastie, syntéza bílkovin
- příjem transportními kanály ve formě iontů ( $K^+$ )
- v půdním roztoku (z mateční horniny)
- deficit – „spálené“ skvrny na okrajích listů

# Minerální výživa rostlin

## Fosfor

- součást fosfolipidů, RNA, DNA, NADP<sup>+</sup>, ADP, ATP
- metabolické procesy, přenos signálů, přeměna energie
- příjem ve formě fosfátů ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), aktivně, proti koncentračnímu spádu
- deficit – rostlina nekvete, neplodí

# Minerální výživa rostlin

## Hořčík

- součást chlorofylu (20 % hořčíku v rostlině)
- syntéza bílkovin, aktivace polymerázy při syntéze DNA
- příjem pasivním transportem ve formě  $Mg^{2+}$  iontů
- deficit – chloróza

# Minerální výživa rostlin

## Vápník

- v buněčných stěnách – spolu s pektiny vytváří gelovou matrix
- podílí se na udržení integrity membrán, předávání signálů v rostlině
- příjem ve formě  $\text{Ca}^{2+}$  iontů apoplastem („nepohyblivý prvek“)
- deficit – zastavení růstu, černání vegetačních vrcholů



# Minerální výživa rostlin

## Síra

- součást aminokyseliny cysteinu, methioninu a sulfolipidů (syntéza probíhá v chloroplastech, stimulována světlem)
- příjem ve formě síranů ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
- deficit – pokles syntézy proteinů a metabolické aktivity, žloutnutí mladých listů

# Minerální výživa rostlin

## Železo

- součást cytochromů, nezbytné pro syntézu chlorofylu, součást enzymů (peroxidáza, kataláza)
- příjem ve formě komplexů, ionty  $\text{Fe}^{3+}$  na plazmalemě redukovány na  $\text{Fe}^{2+}$
- deficit – málo chlorofylu (chloróza listů), snižuje se rychlost fotosyntézy)

# Minerální výživa rostlin

## Další prvky

- **mangan** – součást tylakoidů, koenzym nebo aktivátor enzymů (např. dehydrogenáz)
- **bor** – floemový transport sacharózy, klíčení pylu, syntéza buněčných stěn
- **molybden** – metabolismus dusíku
- **měď** – složka enzymů (oxidázy, fenolázy, laktázy), lignifikace pletiv, vitalita pylu
- **zinek** – aktivita enzymů (více typů)
- **nikl** – součást ureázy (rozklad močoviny)
- **chlor** – rozklad vody ve fotosystému II
- **kobalt, křemík, sodík** aj.

# Minerální výživa rostlin

## Příjem a účinky těžkých kovů

- kadmium, olovo, rtuť, ve větším množství také měď, zinek, nikl
- dostávají se do půdního roztoku v důsledku okyselování půd
- inaktivují enzymy s volnými skupinami –SH (snížení obsahu chlorofylu, rychlosti fotosyntézy, vodivosti průduchů)
- obrana – hromadění ve vakuolách, omezení transportu do nadzemních orgánů, inaktivace vazbou na nízkomolekulární bílkoviny

# Minerální výživa rostlin

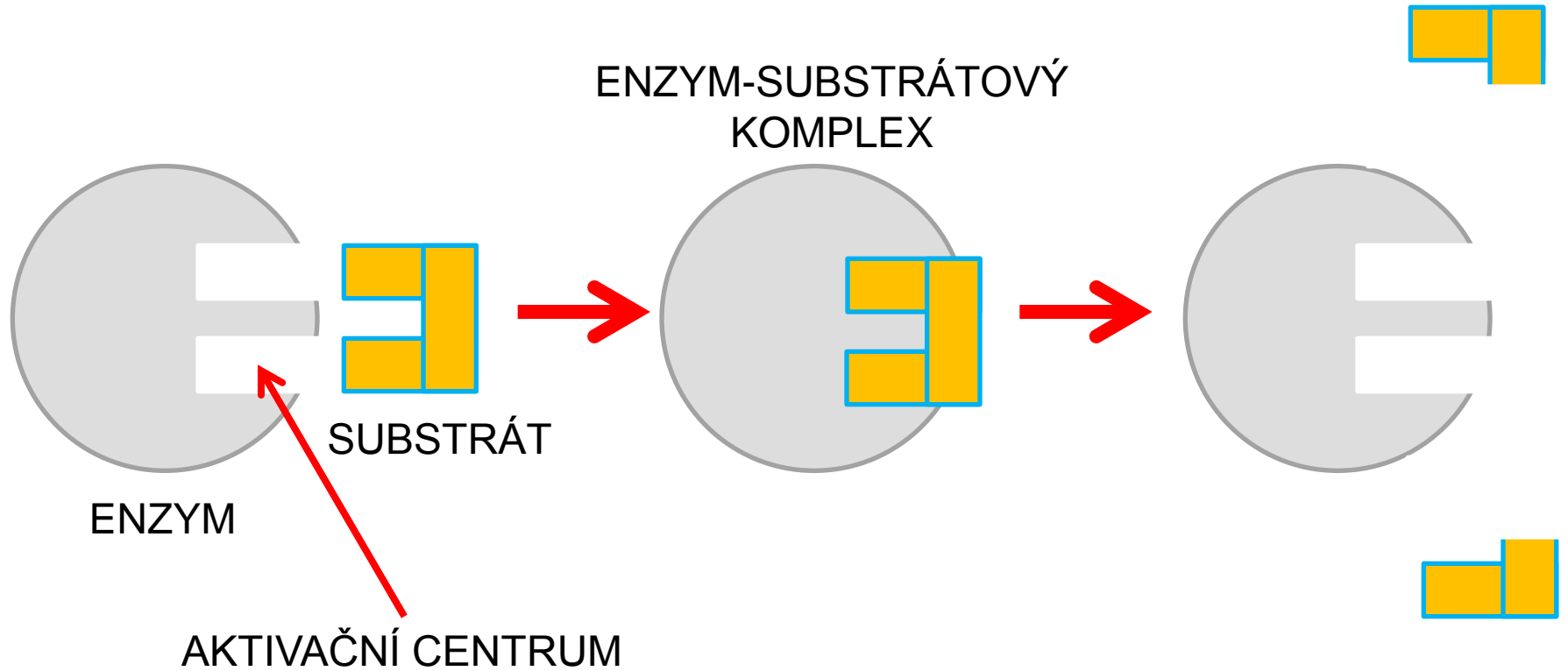
## Příjem a účinky hliníku

- chování hliníku v půdě a účinky na rostlinu podobné jako u těžkých kovů
- v kyselých půdách vzniká toxický trojmocný kationt  $Al^{3+}$
- inhibuje růst kořenů, ovlivňuje přenašeče iontů (vazbou na buněčnou stěnu), snadno proniká do cytosolu, ovlivňuje přenos signálů

# Enzymy

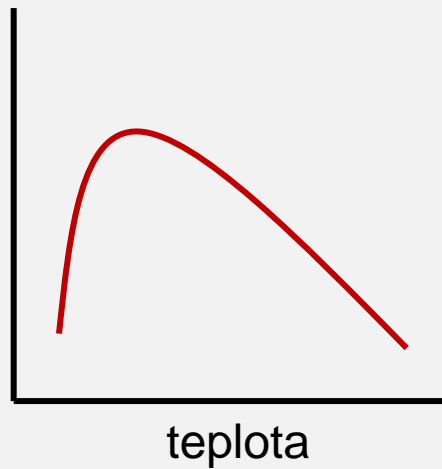
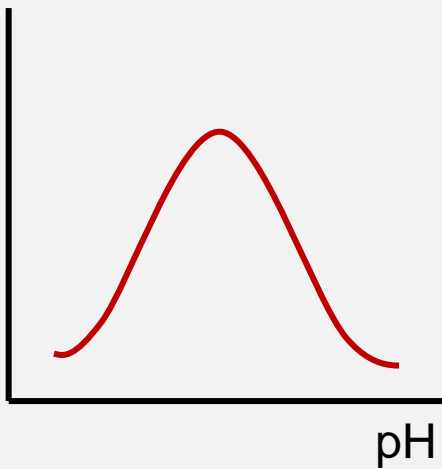
- holoenzym = **apoenzym** (bílkovina, nosič) + **koenzym** (nebílkovinná složka)
- apoenzym – > substrátová specificita
- koenzym – > druh reakce
- proteinové katalyzátory
- stárnutí
- aktivační centrum

# Enzymy



# Enzymy

- enzymatická aktivita





# Enzymy

- inhibitor – snižuje nebo zastavuje průběh reakce
- inhibice – různé typy
  - reverzibilní x ireverzibilní (vratná x nevratná)
  - kompetitivní (inhibitor se váže na aktivační centrum, vzniká inhibitor-enzymový komplex) – inhibitor a substrát spolu „soutěží“ o enzymy
  - alosterická (inhibitor se váže na jiné místo enzymu, tím mění jeho stavbu, substrát se nemůže navázat na enzym)

# Enzymy – klasifikace

Šest tříd, podle funkce:

- oxidoreduktázy (dýchací enzymy, anaerobní i aerobní)
- transferázy (transport funkčních skupin mezi látkami)
- hydrolázy (štěpení substrátu za přítomnosti vody)
- lyázy (štěpení substrátu bez přítomnosti vody)
- izomerázy (izomerizace látek – přesun funkčních skupin v rámci jedné molekuly –  $\alpha$ ,  $\beta$  glukóza)
- ligázy (syntetázy)

# Fotosyntéza

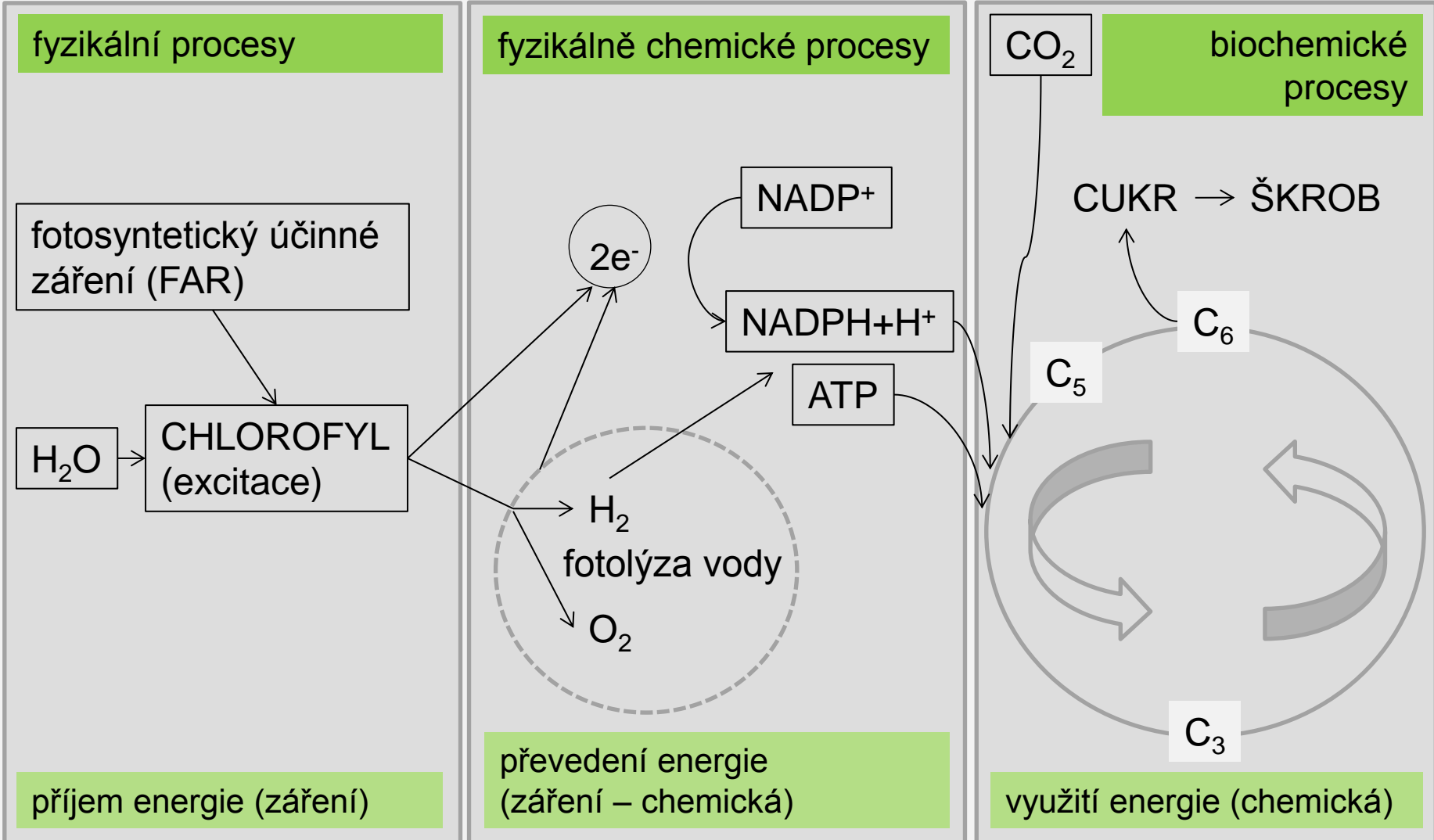
- fotoautotrofní organismy (sluneční záření, CO<sub>2</sub>)
- fotosyntetická asimilace CO<sub>2</sub>
- souhrn procesů spojených s přeměnou energie fotonů do volné chemické energie, která je dále využita při biologických syntézách
- základní látkový a energetický metabolismus rostlin a zdroj energie i organických látek pro všechny organismy
- $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$

# Fotosyntéza

## Procesy

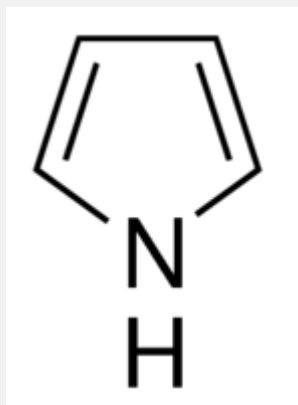
- fyzikální  
příjem energie elektromagnetického záření
- fyzikálně chemické  
převedení energie záření na energii chemickou
- biochemické  
využití chemické energie

# Fotosyntéza

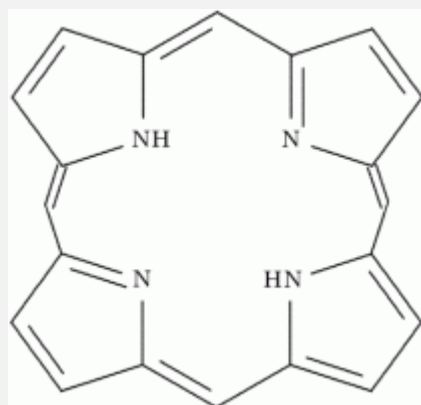


# Fotosyntéza

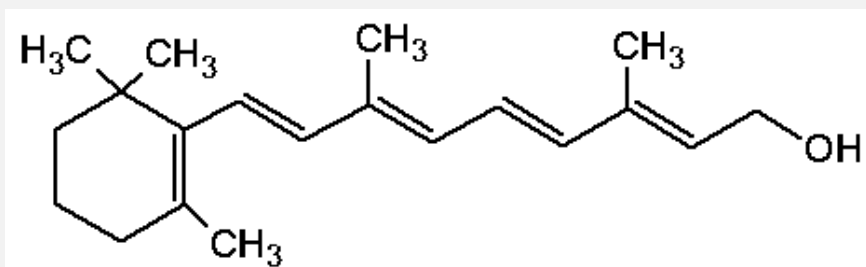
## chlorofyl *a*



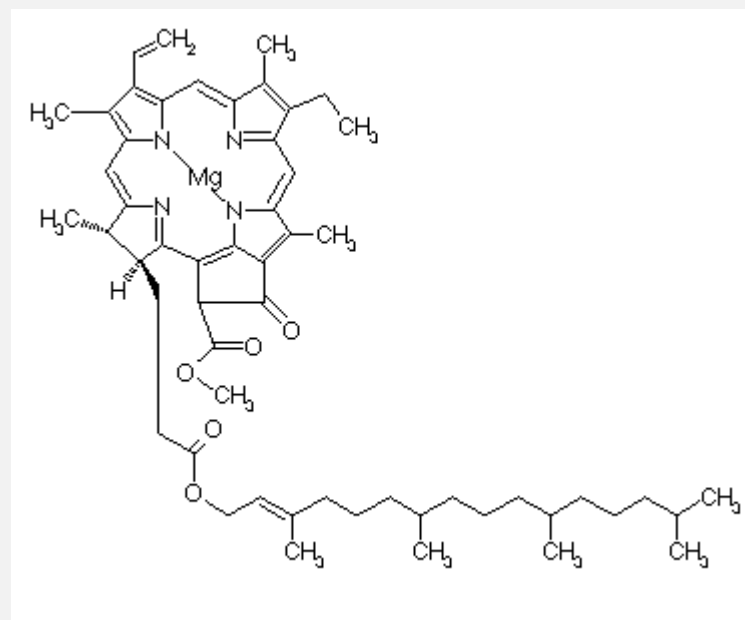
pyrol



porfyrinový systém



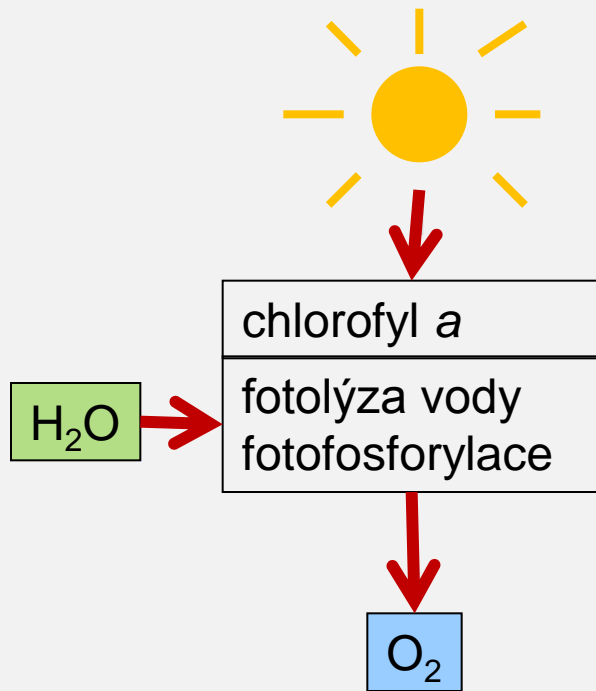
fytol



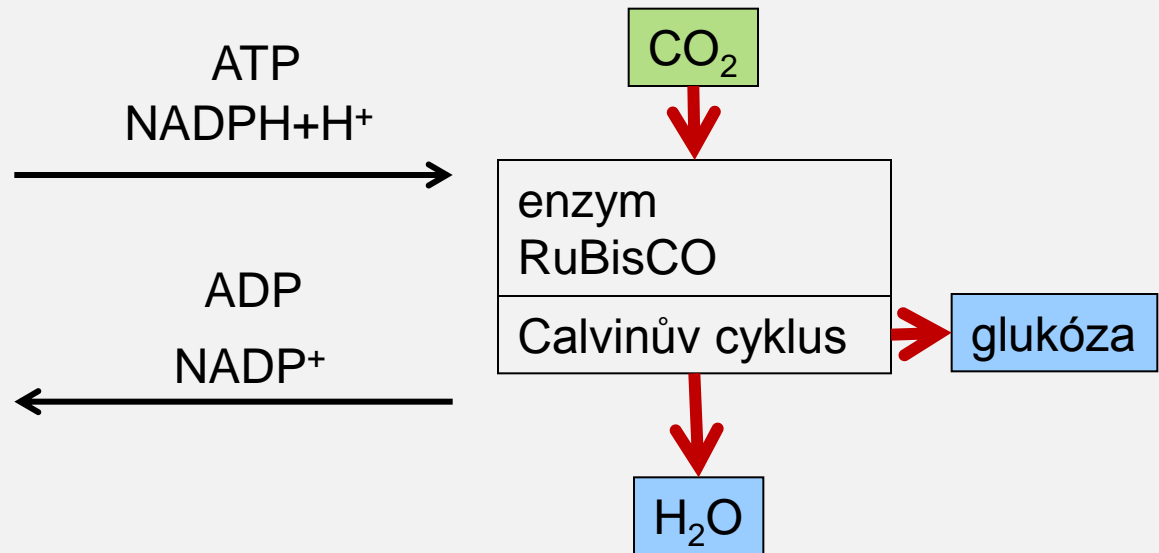
molekula chlorofylu *a*

# Fotosyntéza

## FOTOCHEMICKÁ FÁZE



## SYNTETICKÁ FÁZE



# Fotosyntéza

## PRIMÁRNÍ PROCESY FOTOSYNTÉZY

### Fotosystémy a přenašeče

- fotosystém I. (reakční centrum P 700 + anténa)
- fotosystém II. (reakční centrum P 680 + anténa, fotolýza vody)
- přenašeče elektronů (redoxní systémy)

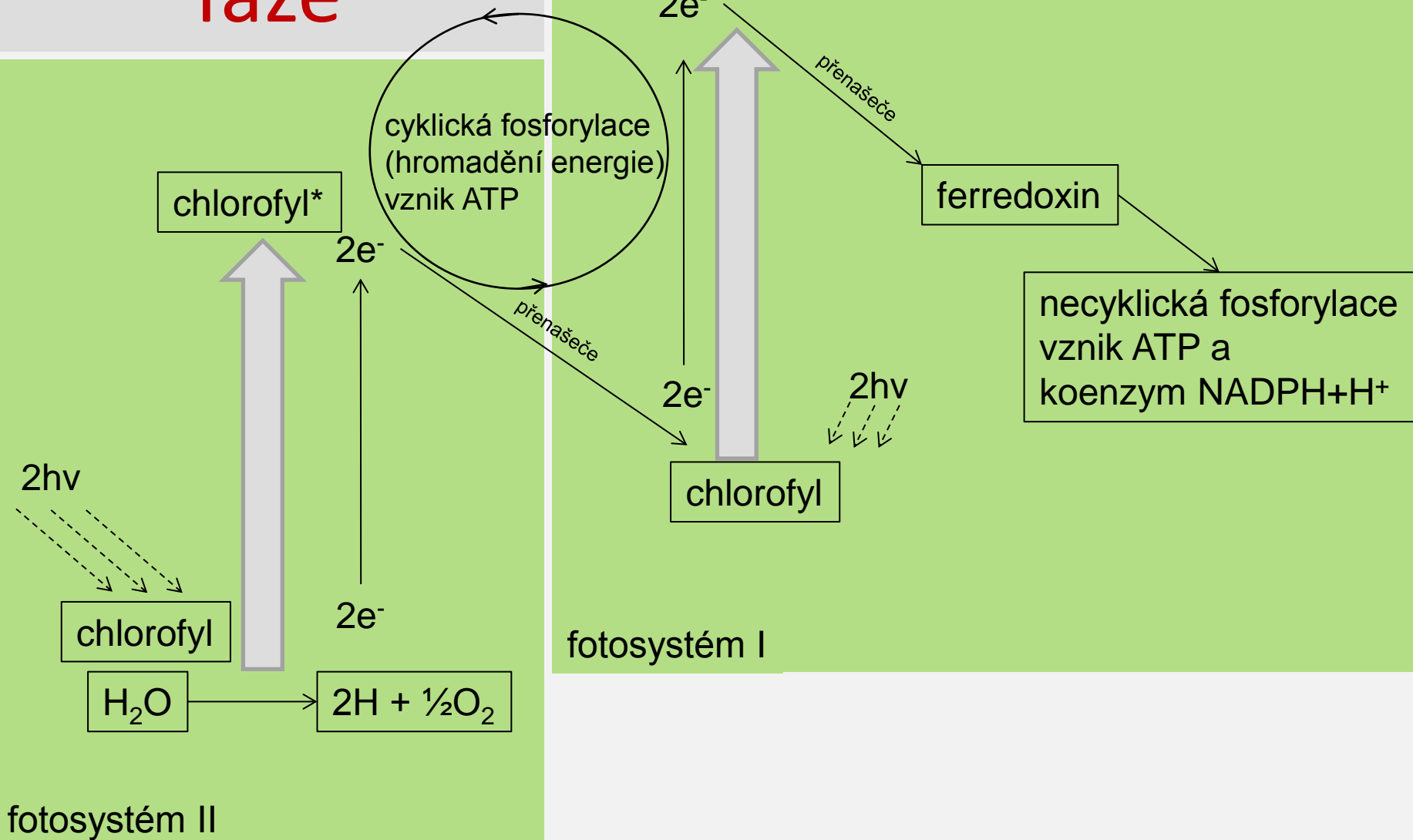


# Fotosyntéza

## Fotochemická fáze

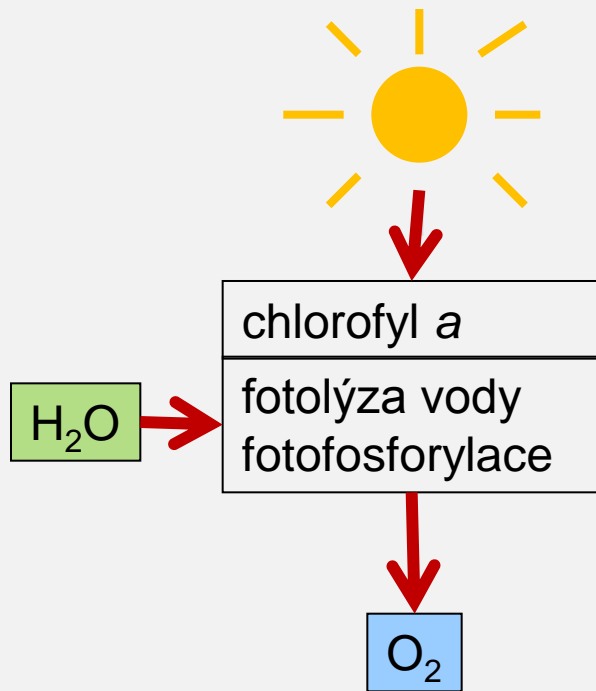
- absorpce světla
- přenos elektronů
  
- fotolýza vody ve fotosystému II.
- cyklická fosforylace (ATP)
- necyklická fosforylace (NADPH+H<sup>+</sup>)

# Fotochemická fáze



# Fotosyntéza

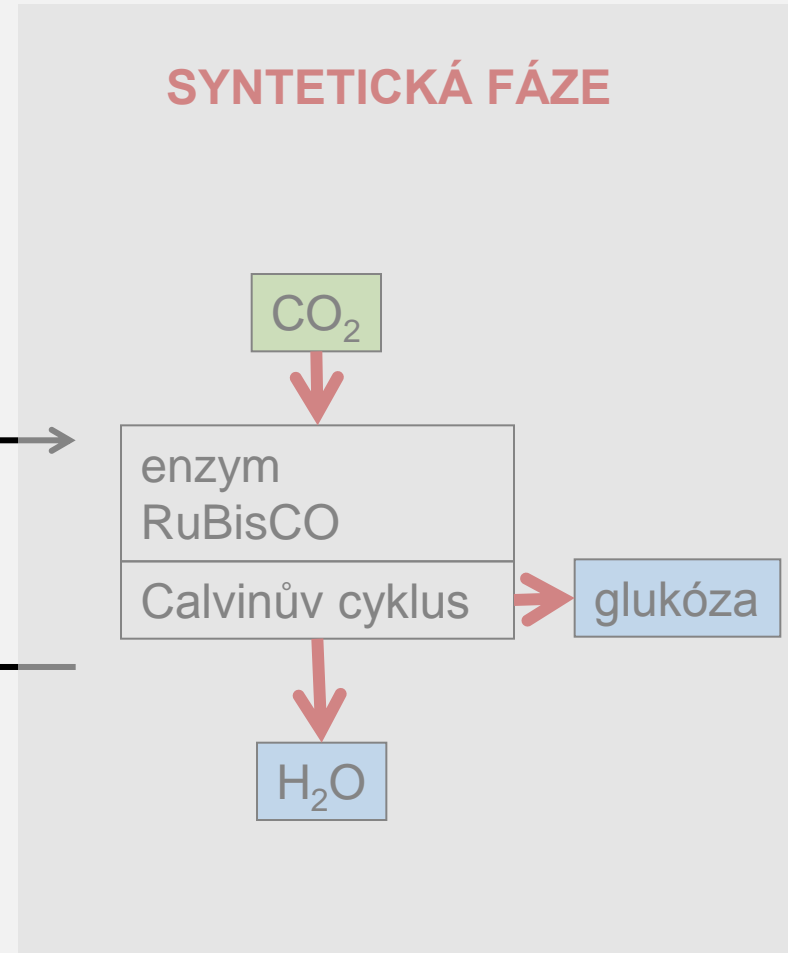
## FOTOCHEMICKÁ FÁZE



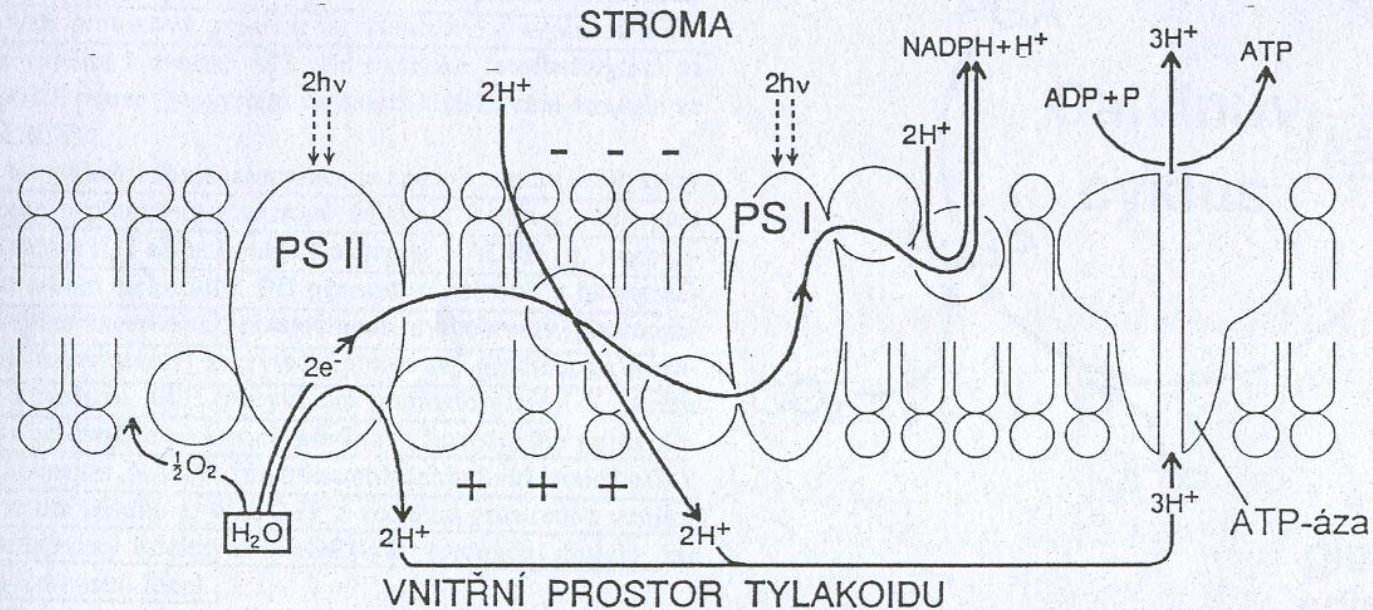
ATP  
NADPH+H<sup>+</sup>

ADP  
NADP<sup>+</sup>

## SYNTETICKÁ FÁZE



# Fotosyntéza



Obr. 8.9. Zjednodušené schéma sprážení přenosu elektronů v membráně tylakoidu s tvorbou ATP. PS II – fotosystém II, PS I – fotosystém I, nepojmenovaná kolečka v membráně představují skupiny přenašečů elektronů (a protonů  $H^+$ ). Přenos elektronů znázorněn křivkou. Vpravo enzym ATP-áza směřující kulovitým útvarem – „hlavičkou“ (viditelnou v elek-

tronovém mikroskopu) – do stromatu a využívající energii uvolňovanou při zpětném toku protonů po jejich spádu zpět do stromatu pro tvorbu ATP. Membrána tylakoidu (ze dvou vrstev fosfolipidů) obsahuje mnoho takových ATP-ázových jednotek a elektronových transportních systémů.

# Fotosyntéza

## SEKUNDÁRNÍ PROCESY FOTOSYNTÉZY

Calvinův cyklus ( $C_3$  cesta asimilace  $CO_2$ )

3 fáze

- karboxylace
- redukce
- regenerace

# Fotosyntéza

## Calvinův cyklus

→  $\text{CO}_2$  + pentóza

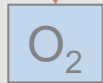
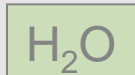
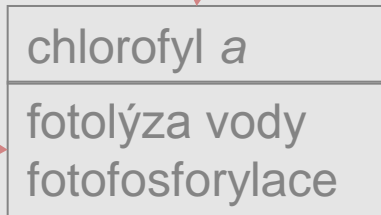
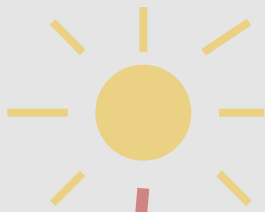
→ kyselina fosfoglycerová ( $\text{C}_3$ )

→ redukce (v několika krocích) na fosfoglyceraldehyd (vyžaduje energii)

→ glukóza + pentóza (vrací se zpět do cyklu)

# Fotosyntéza

## FOTOCHEMICKÁ FÁZE



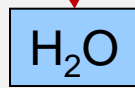
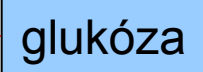
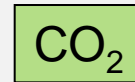
ATP  
NADPH+H<sup>+</sup>



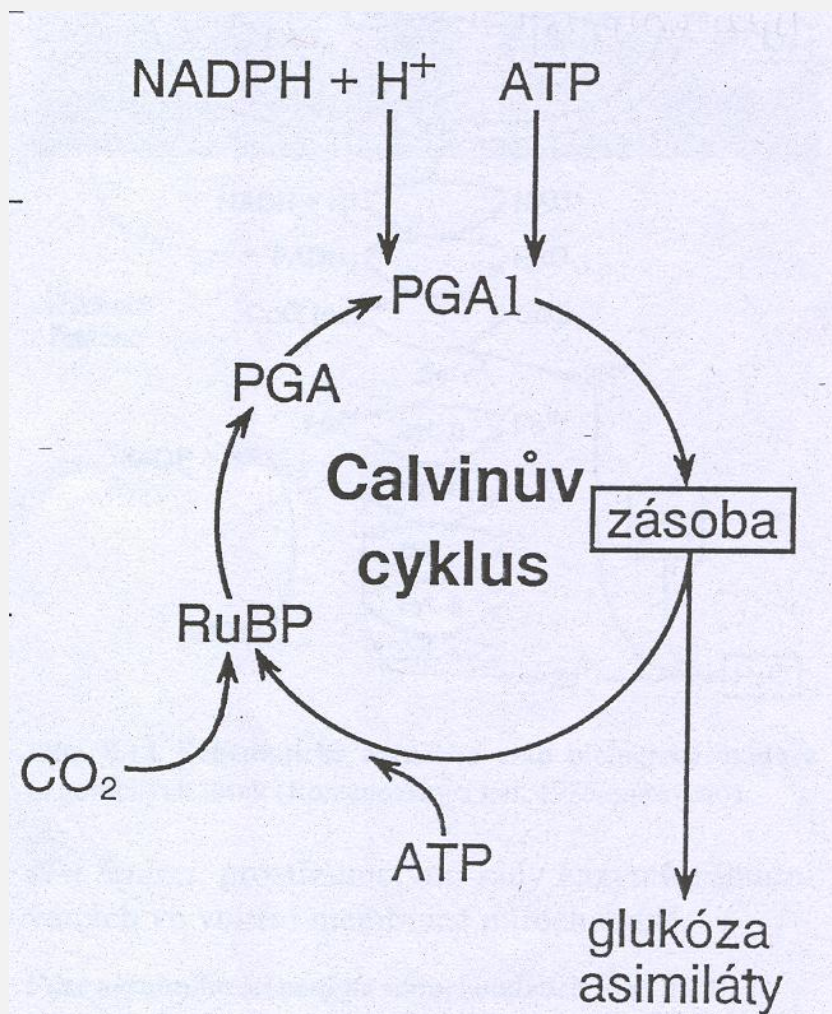
ADP  
NADP<sup>+</sup>



## SYNTECKÁ FÁZE



# Fotosyntéza



Obr. 8.10. Calvinův cyklus – schéma. ATP a NADPH jsou přiváděny z reakcí fotochemické fáze. RuBP → ribulóza-1,5-bisfosfát, PGA → kyselina 3-fosfoglycerová, PGA1 → 3-fosfoglyceraldehyd, zásoba – vytvořená zásoba jednoduchých uhlíkatých sloučenin k syntéze glukózy a asimilátů (sacharidů, karboxylových kyselin, aminokyselin atd.) a k regeneraci výchozí látky cyklu – pentózy (RuBP) (Larcher 1988, upraveno).



# Fotosyntéza

## Fotorespirace

- $O_2$  + pentóza (RuBisCO) – fosfoglycerát + fosfoglykolát
- Calvinův cyklus
- syntéza aminokyselin

# Fotosyntéza

- fixační cesta  $C_4$ 
  - Calvinův cyklus jen ve zvláštních buňkách (pochvy cévních svazků)
  - karboxylace v mezofylových buňkách, fosfoenolpyruvát
  - zvýšená koncentrace  $CO_2$  – potlačení oxygenázové aktivity Rubisco
  - menší produkce kyslíku rozkladem vody (fotosystém II)
  - energeticky náročné

# Fotosyntéza

## ■ fixační cesta $C_4$

bér zelený

troskut prstnatý

rosička krvavá



# Fotosyntéza

- fixační cesta **CAM** (Crassulacean Acid Metabolism)
  - fosfoenolpyruvát
  - oba karboxylační procesy v jedné buňce
  - časově odděleno
  - prvotní karboxylace v noci
  - zvýšená koncentrace  $\text{CO}_2$  – potlačení oxygenázové aktivity Rubisco
  - velmi vysoká energetická náročnost
  - sukulenty; velké vakuoly, malé ztráty vody

# Fotosyntéza

- souhrn
  - zabudování 1 molekuly  $\text{CO}_2$  – 2 NADPH + 3 ATP
  - další reakce
    - fotorespirace (C3)
    - opakovaná karboxylace (C4, CAM)
  - hlavní faktory řídící rychlost fotosyntézy
    - záření
    - teplota

# Respirace

- dýchání, katabolický proces, uvolňování energie
- oxidace glukózy až na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$
- cca polovina sacharidů vytvořených fotosyntézou je opět rozložena
- spojeno s příjmem kyslíku

# Respirace

## Buněčné dýchání

- každá buňka musí získávat energii sama (ATP neprochází plazmatickou membránou)
- přípravná fáze – štěpení velkých molekul (polysacharidy, tuky, bílkoviny) – nezískává se energie
- samotná respirace – nejčastěji rozklad glukózy

# Respirace

## Biologická oxidace glukózy

### 1. etapa: anaerobní glykolýza (rozklad primárního substrátu v cytosolu)

- glukóza  $\rightarrow$  kyselina pyrohroznová + 2 ATP + 2 NADH
- malý energetický zisk
- při dostatku kyslíku následuje **aerobní štěpení** v mitochondriích
- při nedostatku kyslíku následuje **fermentace**



# Respirace

## 2. etapa: aerobní štěpení v mitochondriích

- kyselina pyrohroznová a NADH přechází do mitochondrií, pokračuje štěpení na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  v aerobních podmínkách
- děj probíhá v několika stupních:
  - **dekarboxylace** kyseliny pyrohroznové
  - **Krebsův cyklus** (kyselina oxaloctová)
  - **respirační řetězec** (součástí je oxidativní fosforylace)
- vzniká celkem 36 ATP

# Respirace

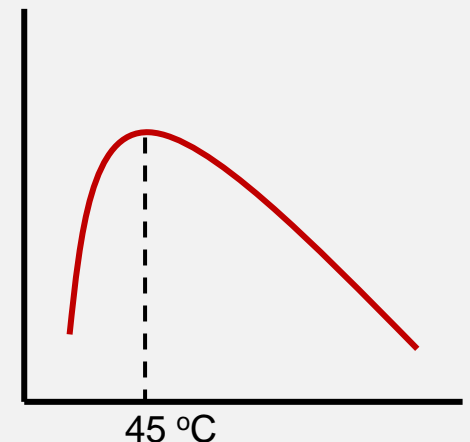
## Fermentace (kvašení)

- zpracování kyseliny pyrohroznové (produkt anaerobní glykolýzy)
- různé typy (podle výsledného produktu – etanolové, mléčné, acetonové kvašení)
- malý energetický zisk – drobné organismy (kvasinky)
- krátkodobě u cévnatých rostlin (při zatopení vodou) – etanol je toxický, při déletrvajících anaerobních podmínkách rostlina odumře

# Respirace

## Faktory ovlivňující intenzitu dýchání

- vnitřní – fyziologický stav rostliny, stáří, obsah vody v pletivech, koncentrace volného ADP, množství primárního substrátu v buňkách
- vnější – teplota (intenzita dýchání roste s teplotou, při 45 °C prudce klesá – dojde k poškození enzymů), obsah kyslíku v prostředí

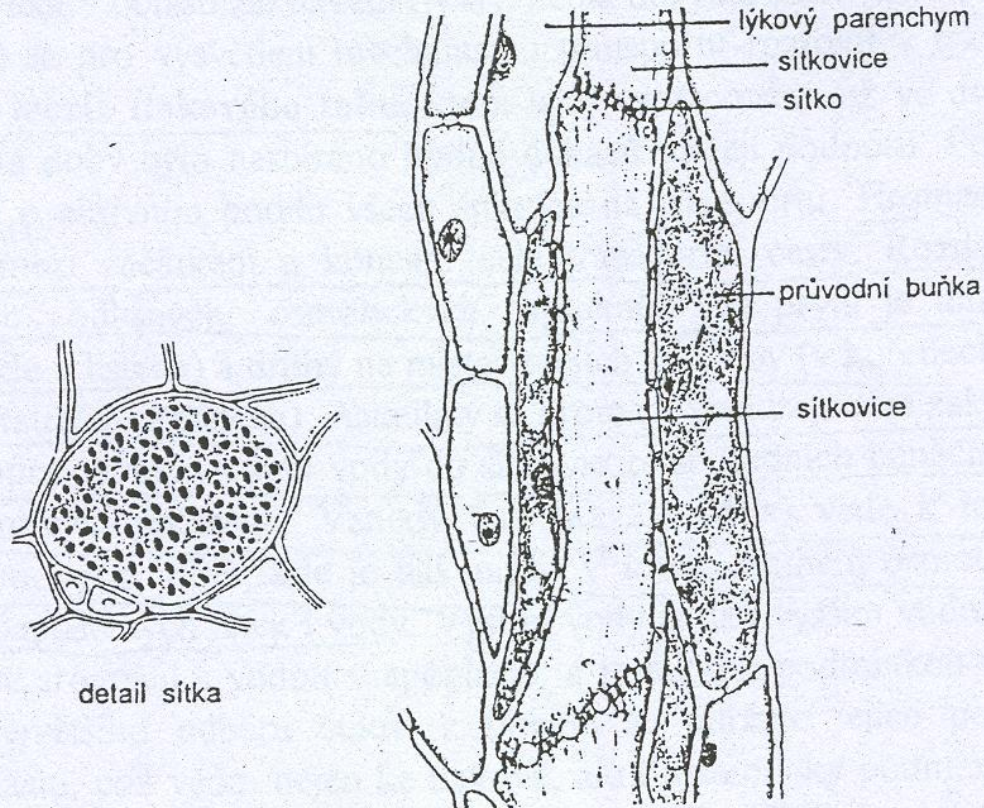


# Transport organických látek

## Floémový tok

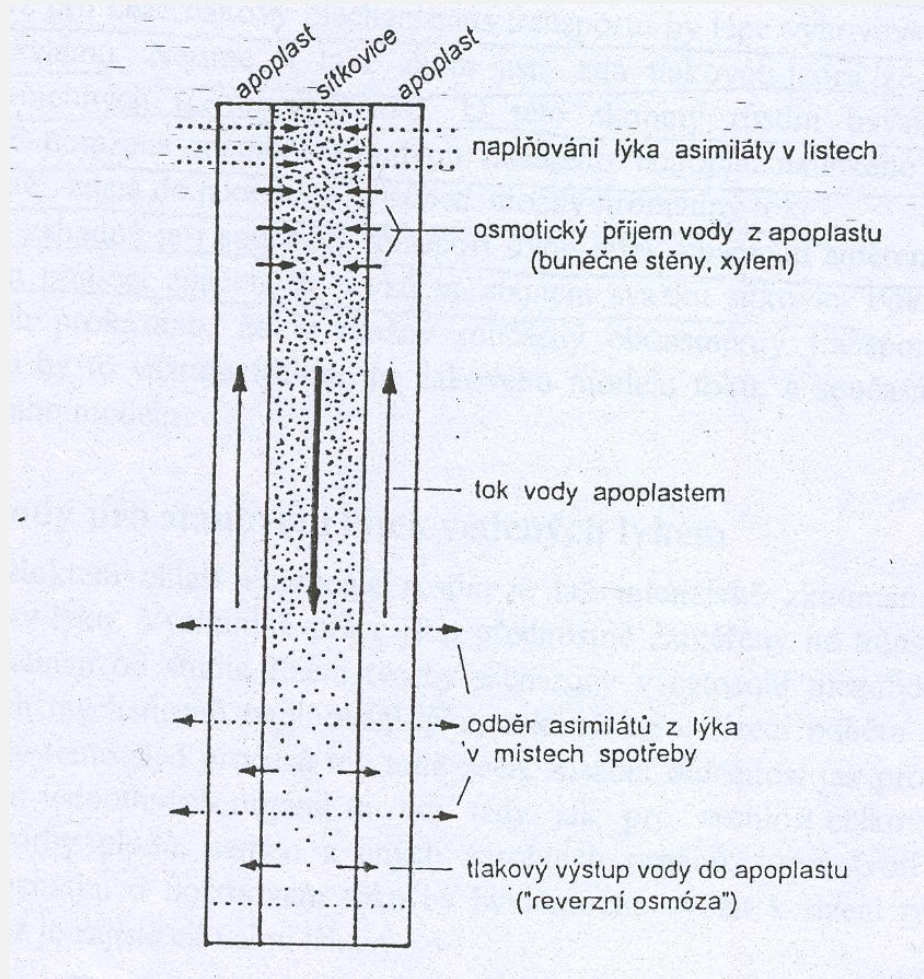
- sítkovice
- buňky průvodní, lýkový parenchym
- složení roztoků
- kalóza
- mechanismus floémového toku
  - teorie tlakového toku
- metody pro stanovení látek vedených lýkem
  - rychlost a směr (radioizotopy)
  - složení a koncentrace látek

# Transport organických látek



Obr. 7. Stavba sítkovic a jejich těsná vazba na průvodní buňky v lýku.

# Transport organických látek



# Transport plynů

- transportované plyny
  - oxid uhličitý
  - kyslík
  - vodní pára
  - etylen
- interceluláry
- rozpuštěný ve vodě
- prostá difuze
- hromadný tok

# Transport plynů

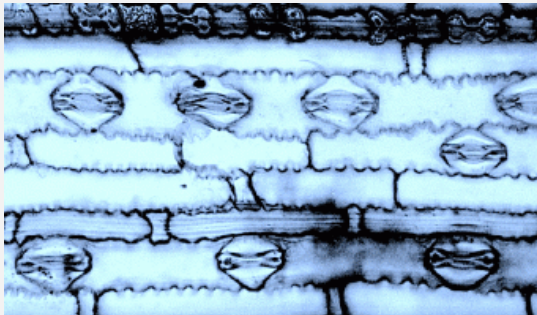
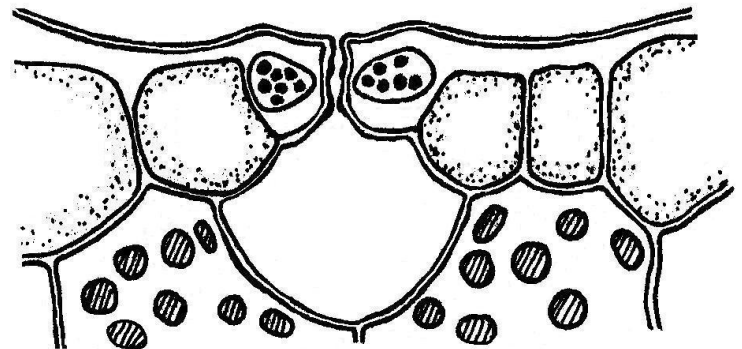
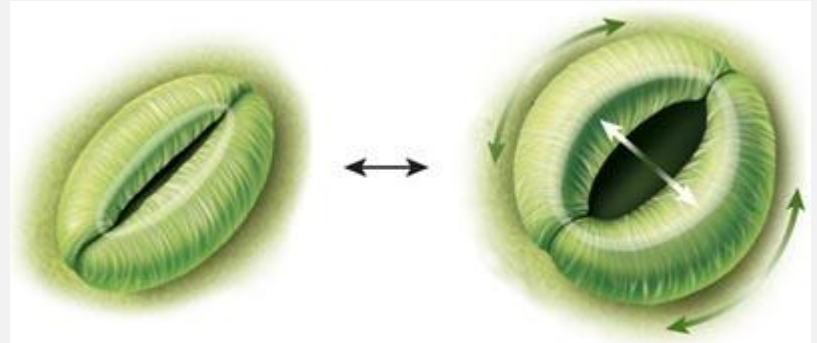
- kyslík
  - fotosyntéza, fotolýza vody
  - mitochondrie, peroxisomy
  - anaerobní prostředí, interceluláry
- oxid uhličitý
  - aerobní respirační procesy
  - transport ve vodním prostředí ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ )
  - difuze v intercelulárách
- vodní pára
  - jednosměrný transport



# Transport plynů

## Průduchová regulace výměny plynů

- svěrací buňky
- radiálně orientované micely
- příjem iontů draslíku, protonové pumpy



# Transport plynů

Signály pro uzavírání/otevírání průduchů

- světlo
- koncentrace  $\text{CO}_2$  v intercelulárách
- nedostatek vody v listech
- kyselina abscisová
- vlhkost vzduchu

# Heterotrofní výživa

autotrofní x heterotrofní organismy

**saprophytismus** (hnilákovité, vstavačovitě)



hnilák smrkový



hlístník hnízdák

# Heterotrofní výživa

## parazitismus

- ektoparazit
- endoparazit
- haustoria
- poloparazit



kokotice povázka

# Heterotrofní výživa



podbílek šupinatý



černýš hajní



jmelí bílé

# Heterotrofní výživa

## Mixotrofní výživa

- masožravé rostliny
- symbióza s bakteriemi fixujícími molekulární dusík
- mykorhiza

# Heterotrofní výživa



rosnatka okrouhlolistá



láčkovka



kořenové hlízky  
sója luštinaté

# Růst a vývoj rostlin

- růst
- diferenciacce
- vývoj



# Růstové procesy na buněčné úrovni

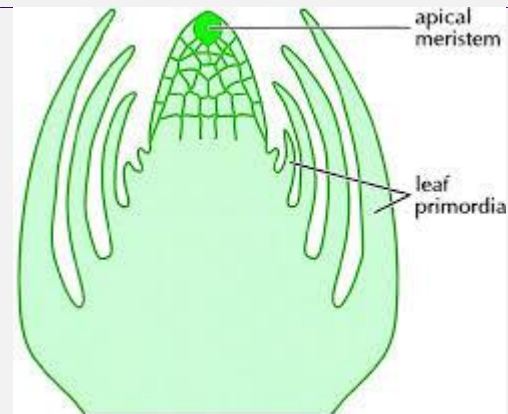
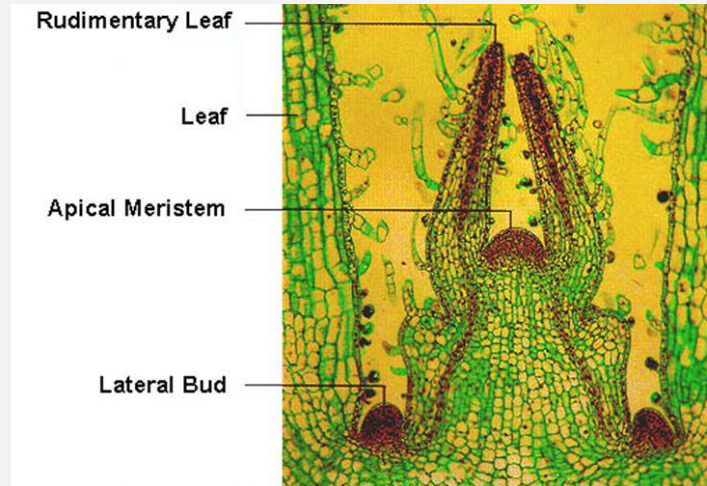
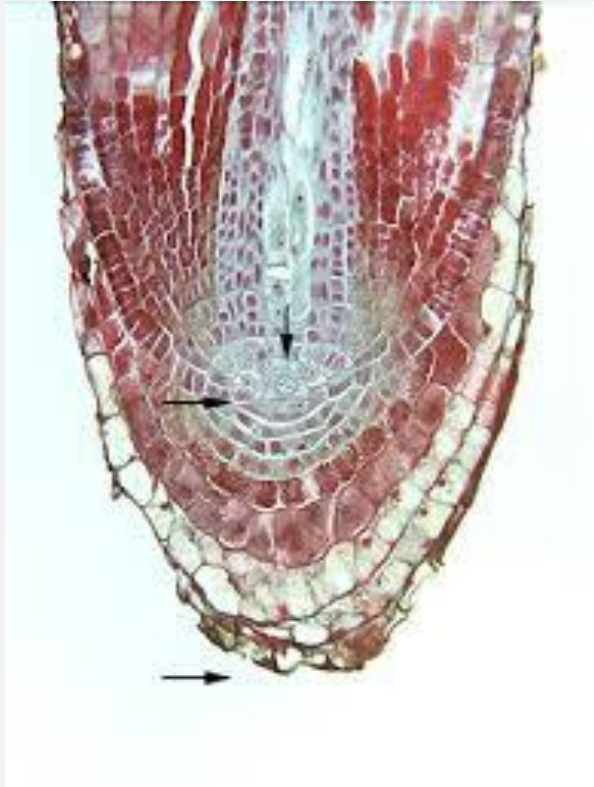
## meristémy

- dělení buněk (cytokineze)
- a) interfáze ( $G_1$ , S,  $G_2$ )
- b) mitóza (profáze, metafáze, anafáze, telofáze)
- prodlužovací fáze

## diferenciace a růst orgánů

- kořeny
- prýt (apikální meristém – tunika, korpus, listová primordia)
- listy

# Meristémy



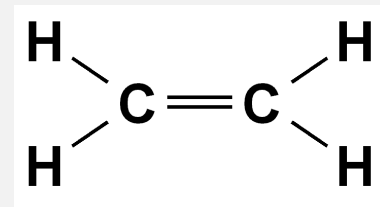
# Růst a vývoj rostlin

## Vnitřní chemické regulátory růstu

### fytohormony

- auxiny (např. kyselina  $\beta$ -indolyloctová IAA, fenylloctová...)
- gibereliny (GA)
- cytokininy
- kyselina abscisová (ABA)
- etylén

syntéza a funkce v rostlině



# Vnější faktory regulující růst a vývoj

## záření

- fotorecepce
- vlastnosti fytochromu a kryptochromu
- vliv světla na klíčení, růst a morfogenezi
- fotoperiodismus

## teplota

- vliv teploty na růst a vývoj
- vernalizace
- dormance semen a pupenů

# Pohyby rostlin



# Pohyby rostlin

## nastie

- hygro-
- nykti-
- termo-
- foto-
- thigmo- (seismo-)

## tropismy

- foto-
- gravi- (geo-)

## nutační pohyby (autonomní)