

Fyziologie rostlin

Natálie Čeplová

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)

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, nesespecifický 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

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 (C, H, O, N, K, Ca, Mg, P, S)
> 1 g/kg
- mikrobiogenní (Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo)
< 0,1g/ kg

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

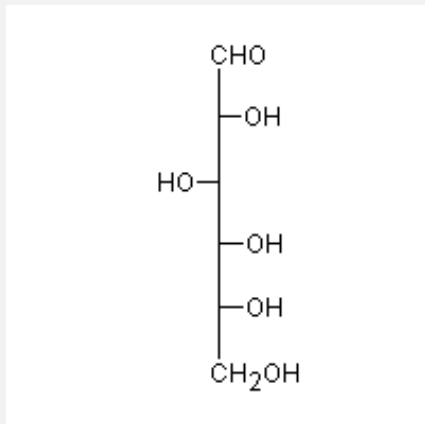
Chemické složení rostlinné buňky

Nízkomolekulární organické látky

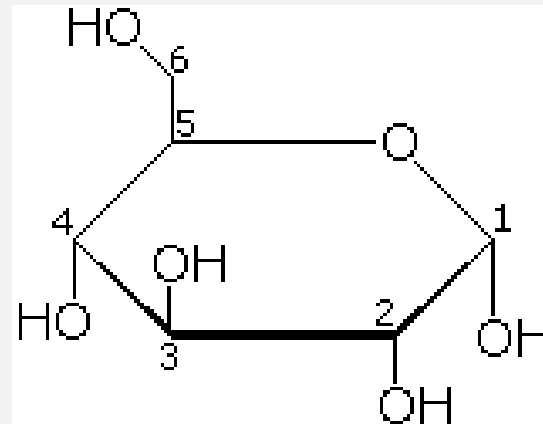
jednoduché cukry (glycidy)

- 5-6 uhlíkaté (pentózy, hexózy)

glukóza ($C_6H_{12}O_6$)



aldehydická forma



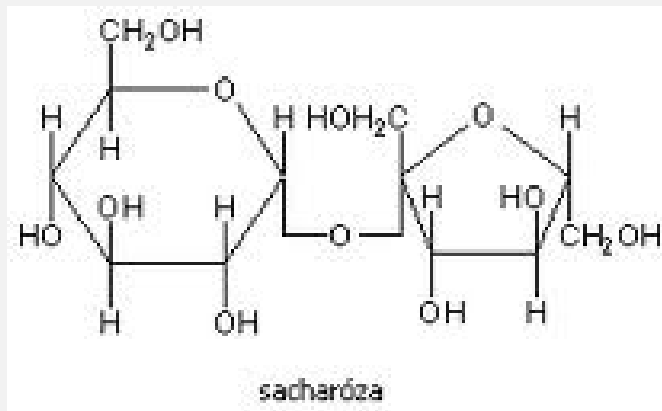
ketonická
(hemiacetalová) forma

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

- $-\text{NH}_2$ a $-\text{COOH}$ skupina
- alkaloidy (nikotin, atropin, kolchicin, chinin,...)
- peptidy

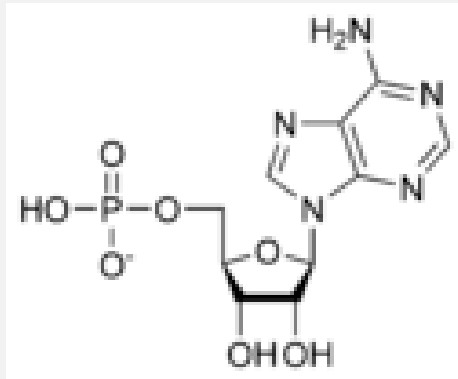
nukleotidy

- dusíkatá cyklická báze
- pentóza
- kyselina trihydrogenfosforečná

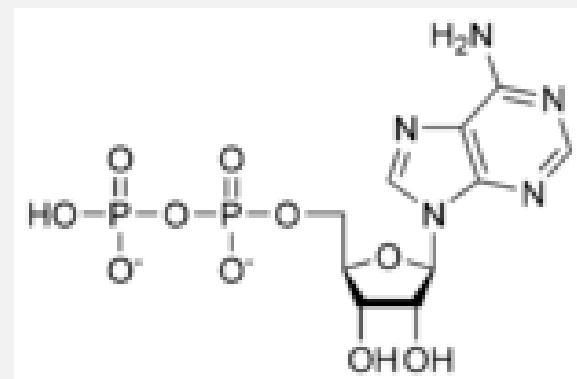
Chemické složení rostlinné buňky

Nízkomolekulární organické látky

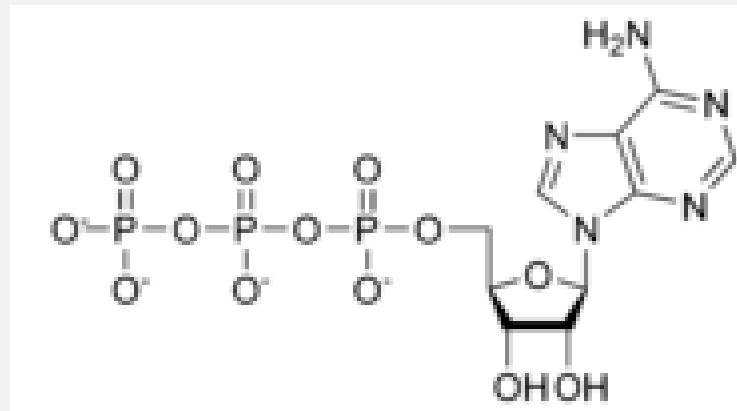
AMP



ADP



ATP



adenin + ribóza + fosfát

Chemické složení rostlinné buňky

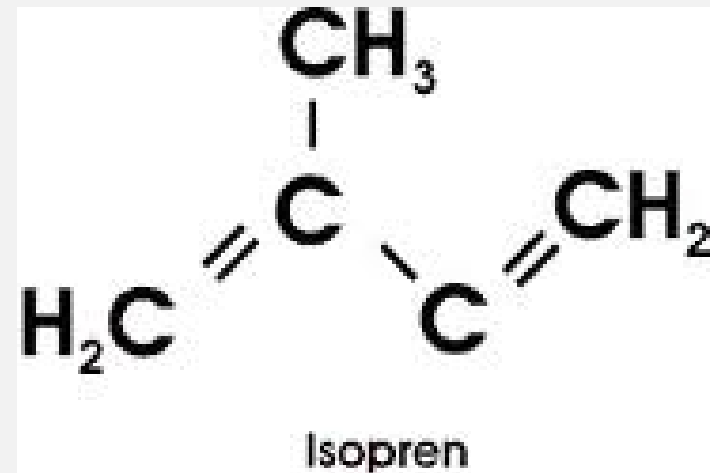
Nízkomolekulární organické látky

nepolární organické látky v buňce

uhlovodíky

isoprenoidy

- terpeny
- karotenoidy
- polyisoprenoidy



tuky

- estery glycerolu a vyšších mastných kyselin
- membránové lipidy (2 nepolární řetězce, polární skupina)

Chemické složení rostlinné buňky

Vysokomolekulární organické látky

- informační makromolekuly a polysacharidy
- koloidní roztoky
- polysacharidy (zásobní, stavební)
- proteiny (primární, sekundární, terciární struktura)
- nukleové kyseliny (fosfát + pentóza + dusíkatá báze)
 - DNA (adenin, guanin, cytosin, tymin)
 - RNA (adenin, guanin, cytosin, uracil)

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
- 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

Transpirace

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

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 – pasivní

- prostá difúze
- zprostředkovaná difúze

zprostředkovaný transport – aktivní

- primární aktivní transport
- sekundární aktivní transport

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

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 (NO_3^-), amonné ionty (NH_4^+), aminokyseliny
- mineralizace na nitrity (NO_2^-) a amoniak (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⁺, ADP, ATP
- metabolické procesy, přenos signálů, přeměna energie
- příjem ve formě fosfátů (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 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 (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 Fe^{3+} na plazmalemě redukovány na 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

Fotosyntéza

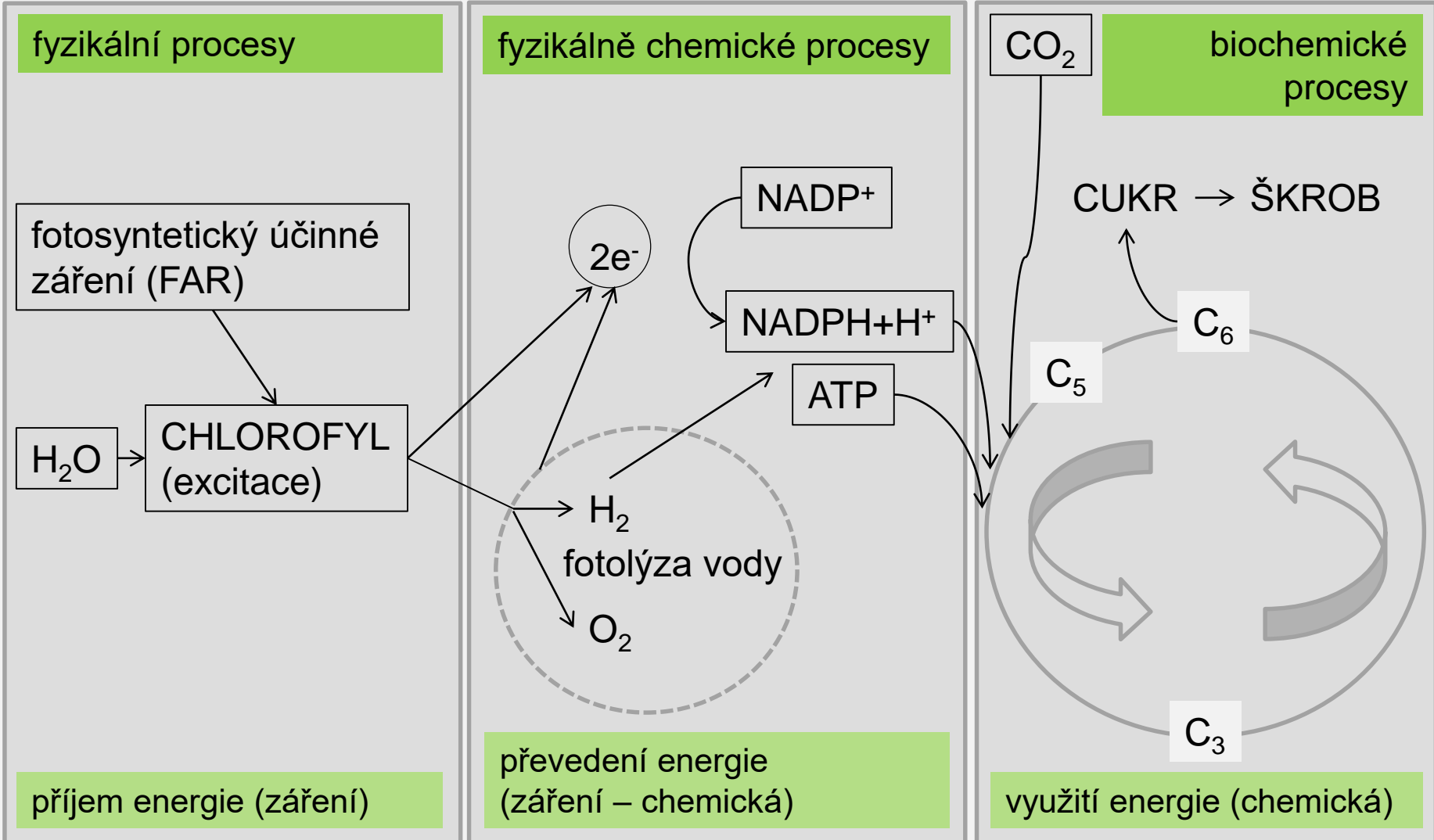
- fotoautotrofní organismy (sluneční záření, CO₂)
- fotosyntetická asimilace CO₂
- souhrn procesů spojených s přeměnou energie fotonů do volné chemické energie, která je dále využita při biologických syntézách
- základní látkový a energetický metabolismus rostlin a zdroj energie i organických látek pro 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

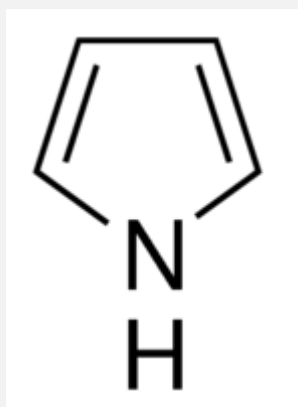
- fyzikální
příjem energie elektromagnetického záření
- fyzikálně chemické
převedení energie záření na energii chemickou
- biochemické
využití chemické energie

Fotosyntéza

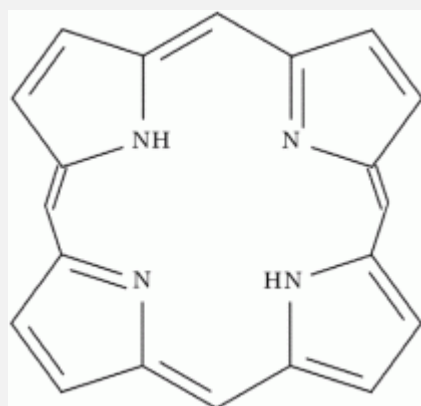


Fotosyntéza

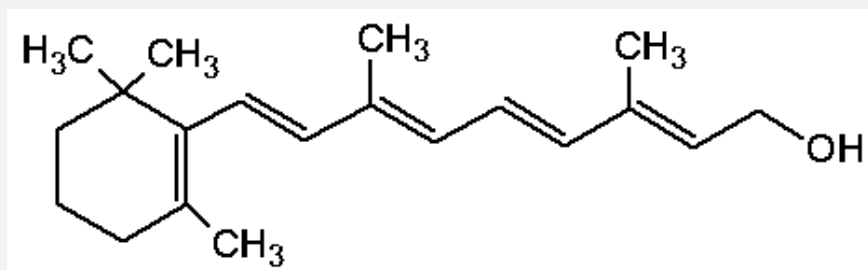
chlorofyl *a*



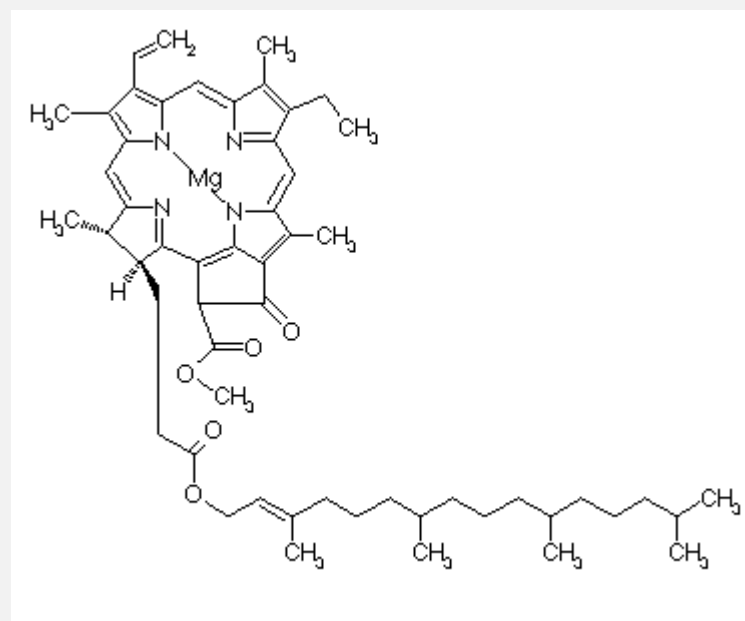
pyrol



porfyrinový systém



fytol



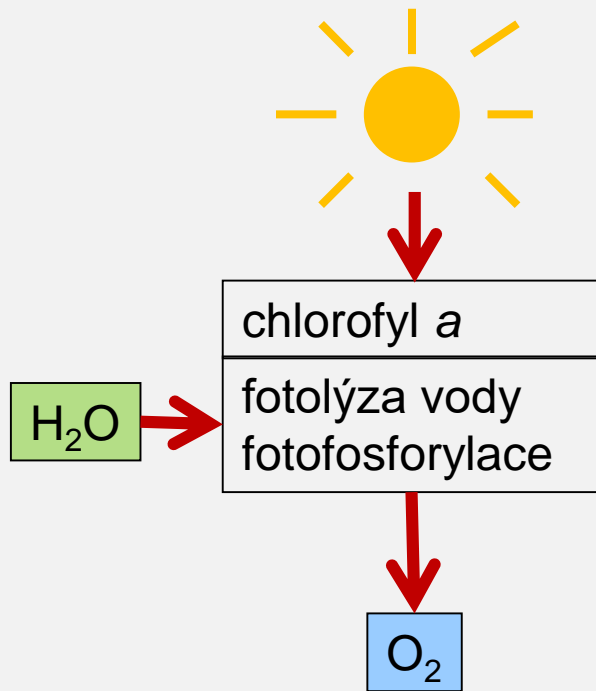
molekula chlorofylu *a*

Fotosyntéza

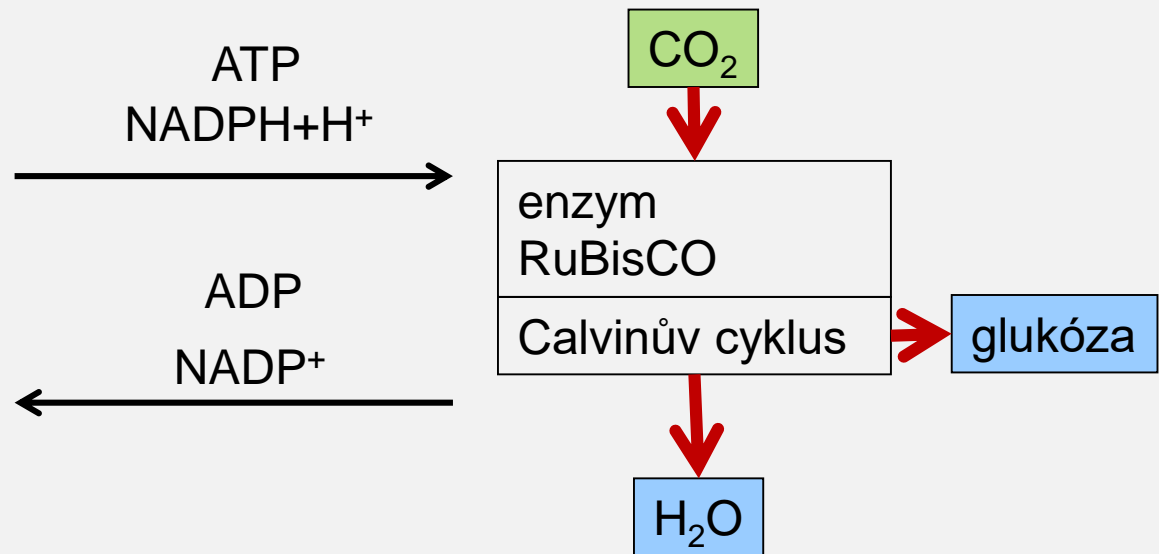
- chloroplasty
 - dvojitá povrchová membrána
 - vnitřní membránový systém (tylakoidy)
 - grana
 - proteiny (funkční celky)
 - fotosystém I
 - fotosystém II
 - cytochromový komplex
 - ATP-syntáza

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)

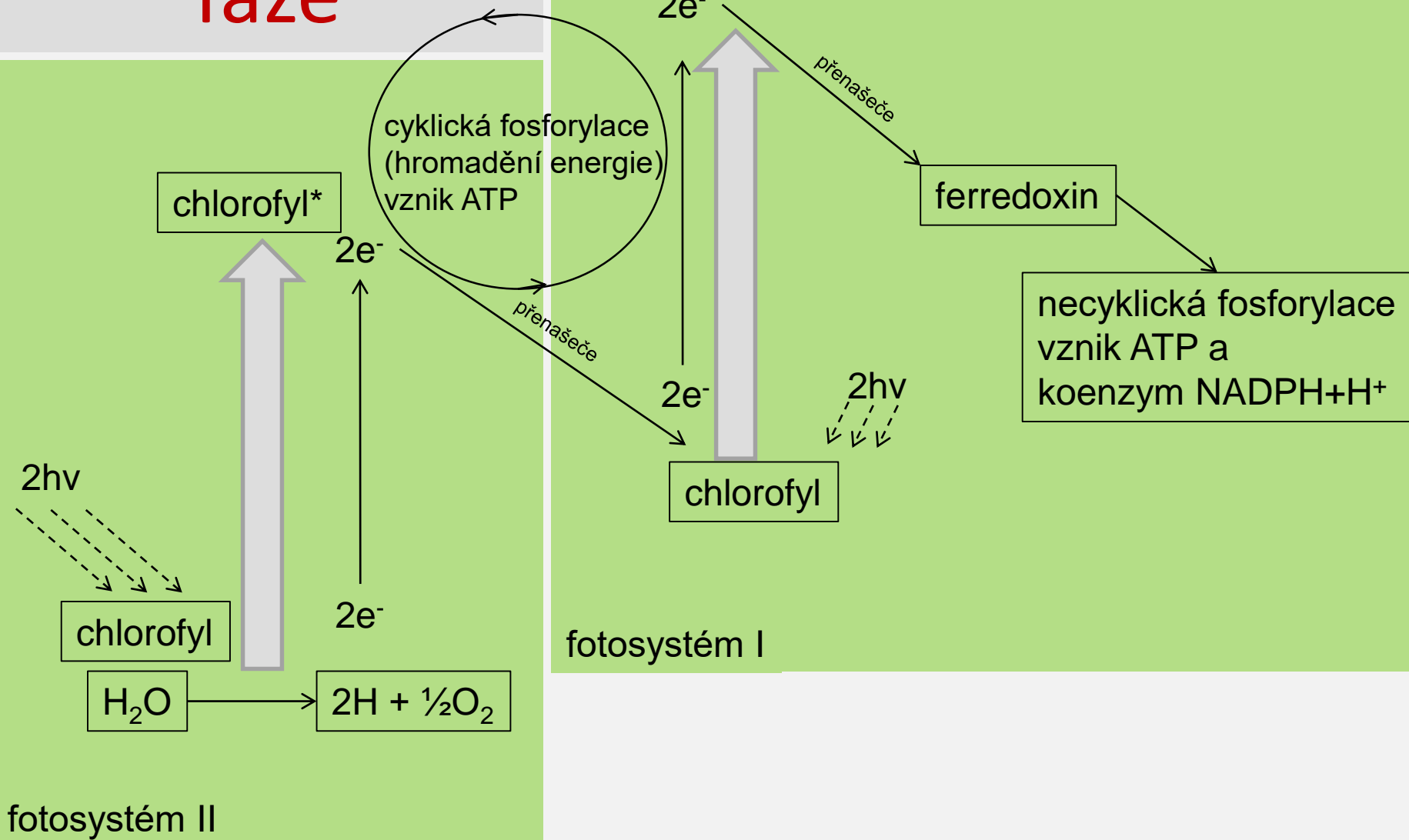
Fotosyntéza

Fotochemická fáze

- absorpce světla
- přenos elektronů

- fotolýza vody ve fotosystému II.
- cyklická fosforylace (ATP)
- necyklická fosforylace (NADPH+H⁺)

Fotochemická fáze



Fotosyntéza

SEKUNDÁRNÍ PROCESY FOTOSYNTÉZY

Calvinův cyklus (C_3 cesta asimilace CO_2)

3 fáze

- karboxylace
- redukce
- regenerace

Fotosyntéza

Calvinův cyklus

→ CO₂ + pentóza

→ kyselina fosfoglycerová (C₃)

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

→ glukóza + pentóza (vrací se zpět do cyklu)

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 CO_2 – potlačení oxygenázové aktivity Rubisco
 - velmi vysoká energetická náročnost
 - sukulenty; velké vakuoly, malé ztráty vody

Fotosyntéza

- souhrn
 - zabudování 1 molekuly 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 CO_2 a H_2O
- 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 2 kyselina pyrohroznová (pyruvát) nebo kyselina jablečná (malát) + 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 CO_2 a H_2O v aerobních podmínkách
- děj probíhá v několika stupních:
 - **dekarboxylace** kyseliny pyrohroznové \rightarrow acetátový zbytek + koenzym A \rightarrow acetyl koenzym A
 - **Krebsův cyklus – cyklus kyseliny citronové** (kyselina oxaloctová), 2 dekarboxylace, 4 dehydrogenace
 - **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 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 (CO_2 , H_2CO_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 CO_2 v intercelulárách
- nedostatek vody v listech
- kyselina abscisová
- vlhkost vzduchu

Heterotrofní výživa

autotrofní x heterotrofní organismy

saprophytismus (hnilákovité, vstavačovité)

hnilák smrkový

hlístník hnízdák

Heterotrofní výživa

parazitismus

- ektoparazit
 - endoparazit
 - haustoria
 - poloparazit
-
- kokotice povázka, podbílek šupinatý, černýš
hajní, jmelí bílé

Heterotrofní výživa

Mixotrofní výživa

- masožravé rostliny
 - symbióza s bakteriemi fixujícími molekulární dusík
 - mykorhiza
-
- rosnatka okrouhlolistá, láčkovka, kořenové hlízky sóji 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

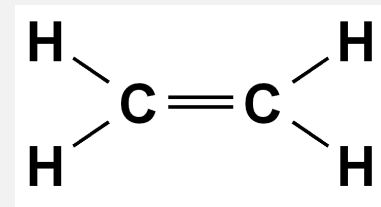
Růst a vývoj rostlin

Vnitřní chemické regulátory růstu

fytohormony

- auxiny (např. kyselina β -indolyloctová IAA, fenyloctová...)
- gibereliny (GA)
- cytokininy
- kyselina abscisová (ABA)
- etylén

syntéza a funkce v rostlině



Vnější faktory regulující růst a vývoj

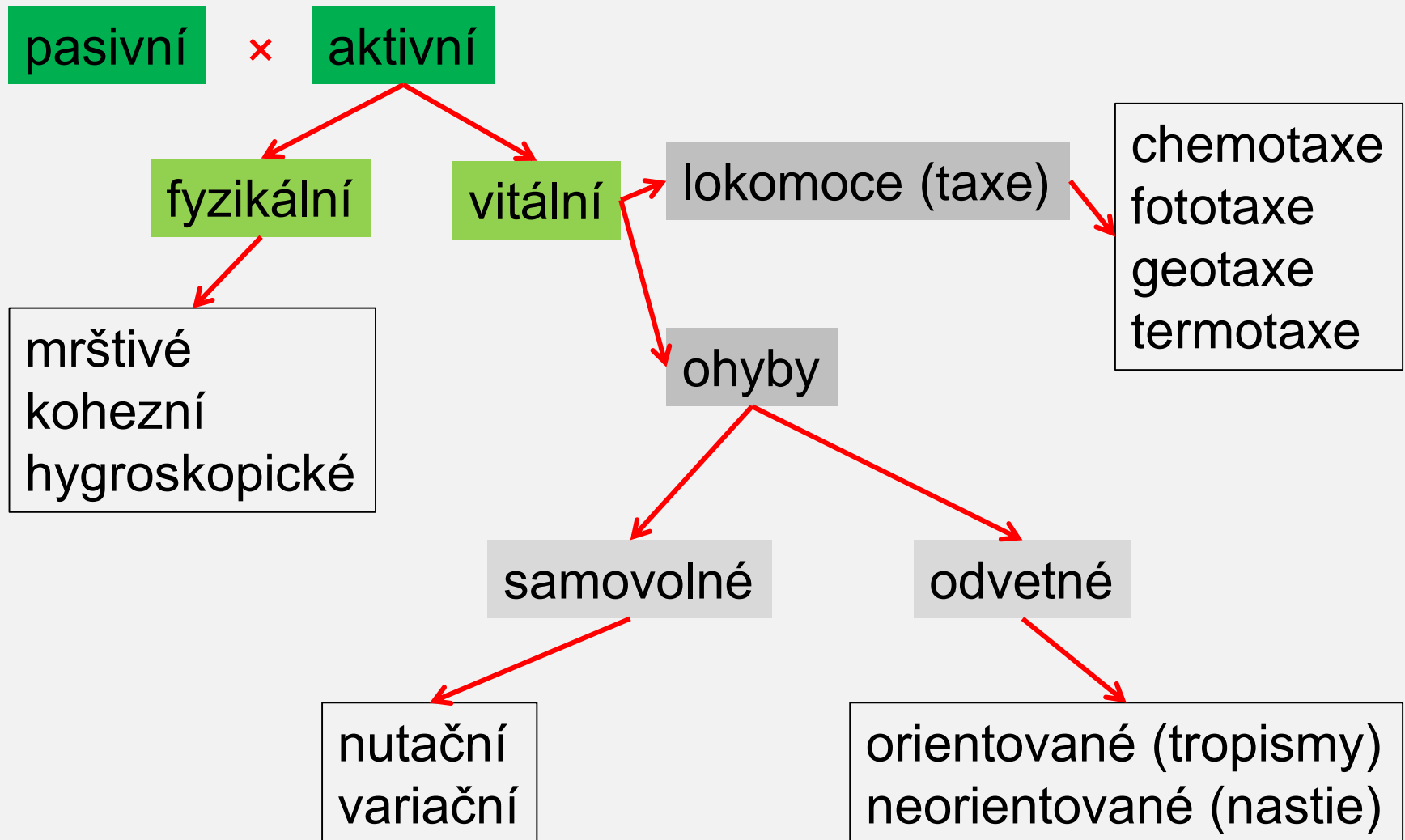
záření

- 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-)

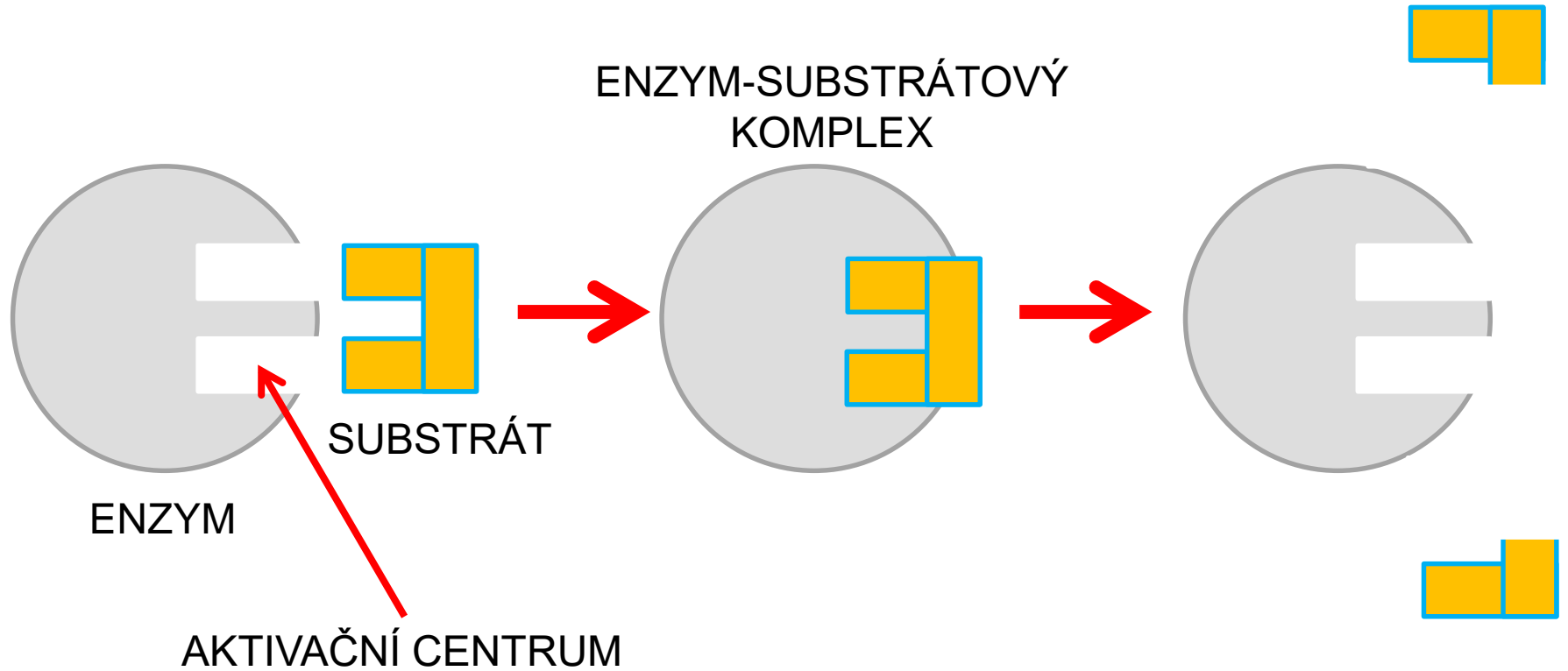
tropismy

- foto-
- gravi- (geo-)

Enzymy

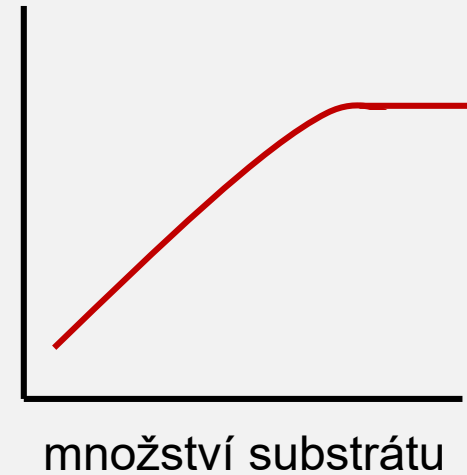
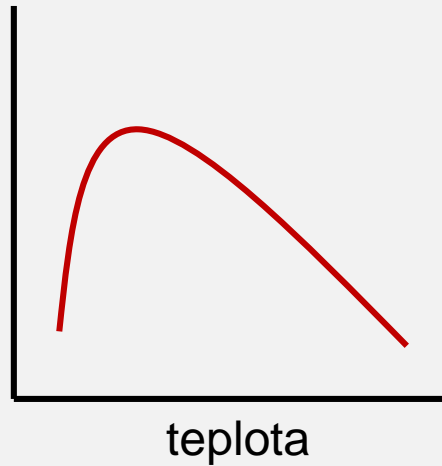
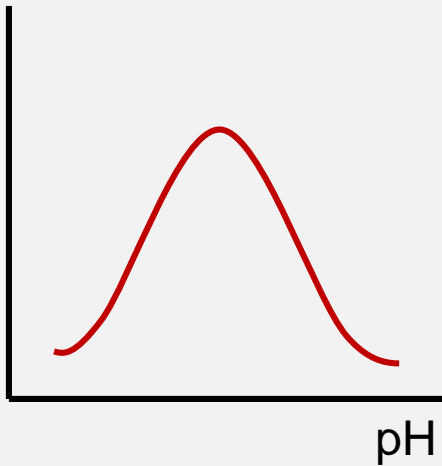
- holoenzym = **apoenzym** (bílkovina, nosič) + **koenzym** (nebílkovinná složka)
- apoenzym – > substrátová specificita
- koenzym – > druh reakce
- proteinové katalyzátory
- stárnutí
- aktivační centrum

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 – α , β glukóza)
- ligázy (syntetázy)