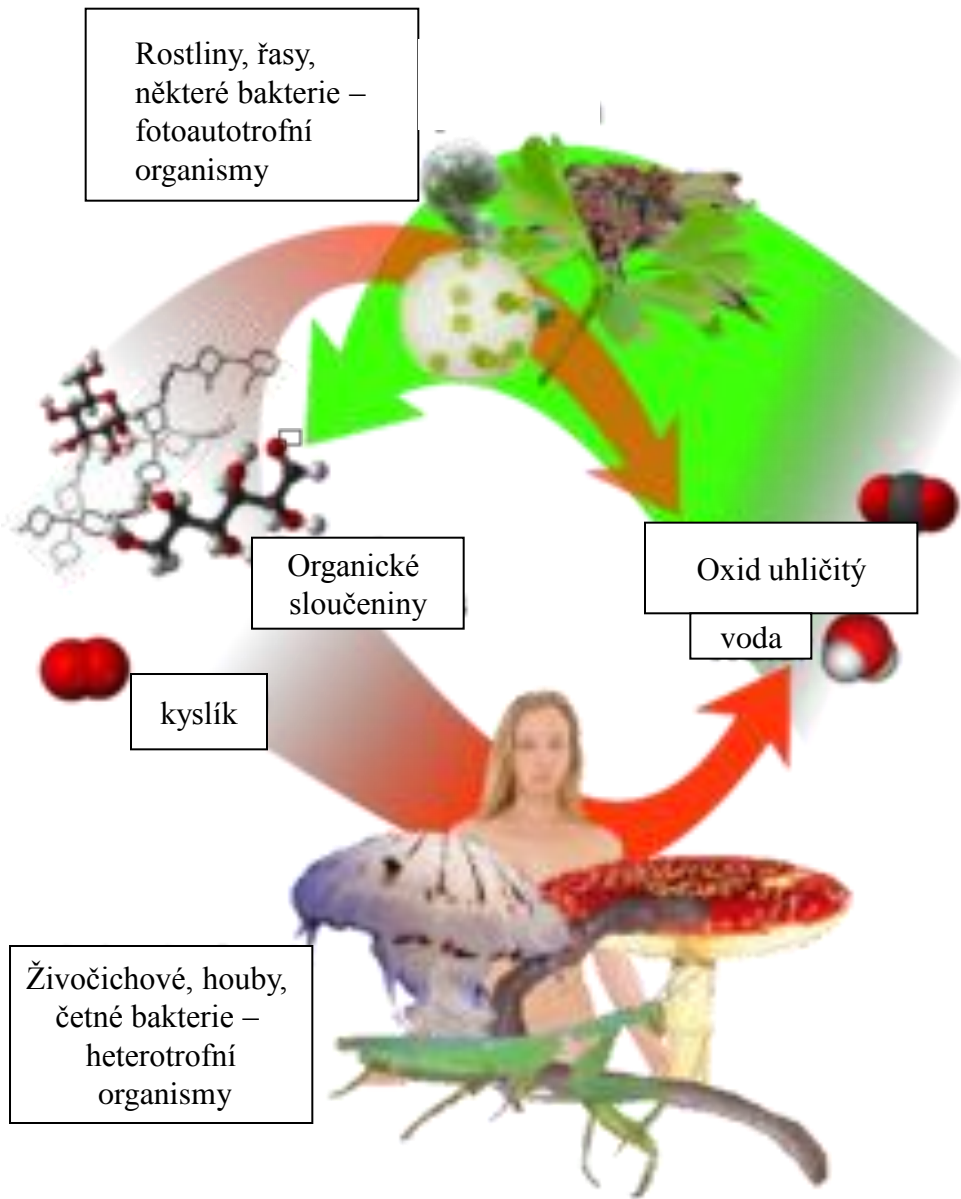
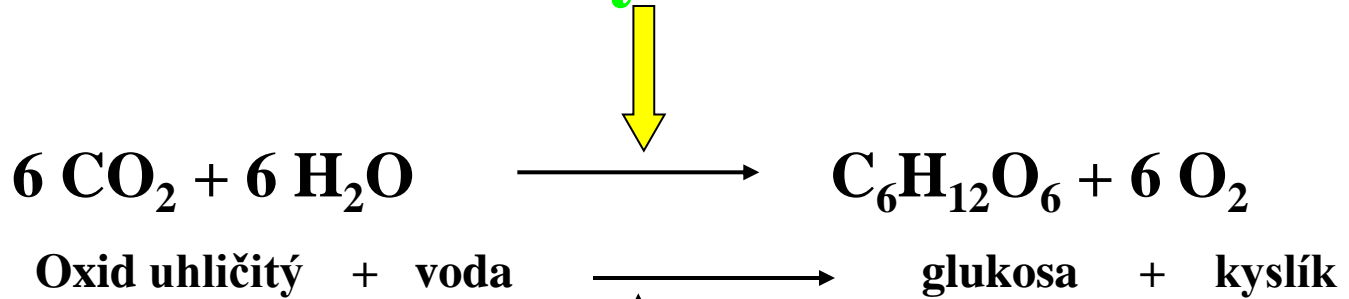


Živé organismy vyžadují neustálý přívod a přeměny energie, aby mohly existovat a rozmnožovat se. Dostatek energie v naší biosféře zajišťuje **fotosyntéza**. Organismy schopné fotosyntézy zachycují a stabilizují světelnou energii. Převážná většina těchto organismů uvolňuje kyslík rozkladem vody. Naše současná atmosféra s téměř 21% O₂ zajišťuje podporu života v oblasti blízko zemského povrchu. Zachycení světla a následný rozklad vody umožňuje redukci oxidu uhličitého a tvorbu organických sloučenin, z nichž jsou tvořeny všechny složky buněk. Takto uskladněná energie pak může být uvolněna při **dýchání**, kdy dochází k příjmu kyslíku, oxidaci organických sloučenin a tvorbě vody a oxidu uhličitého.



Fotosyntéza

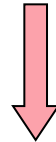


Dodání energie – redukce CO_2 a oxidace vody

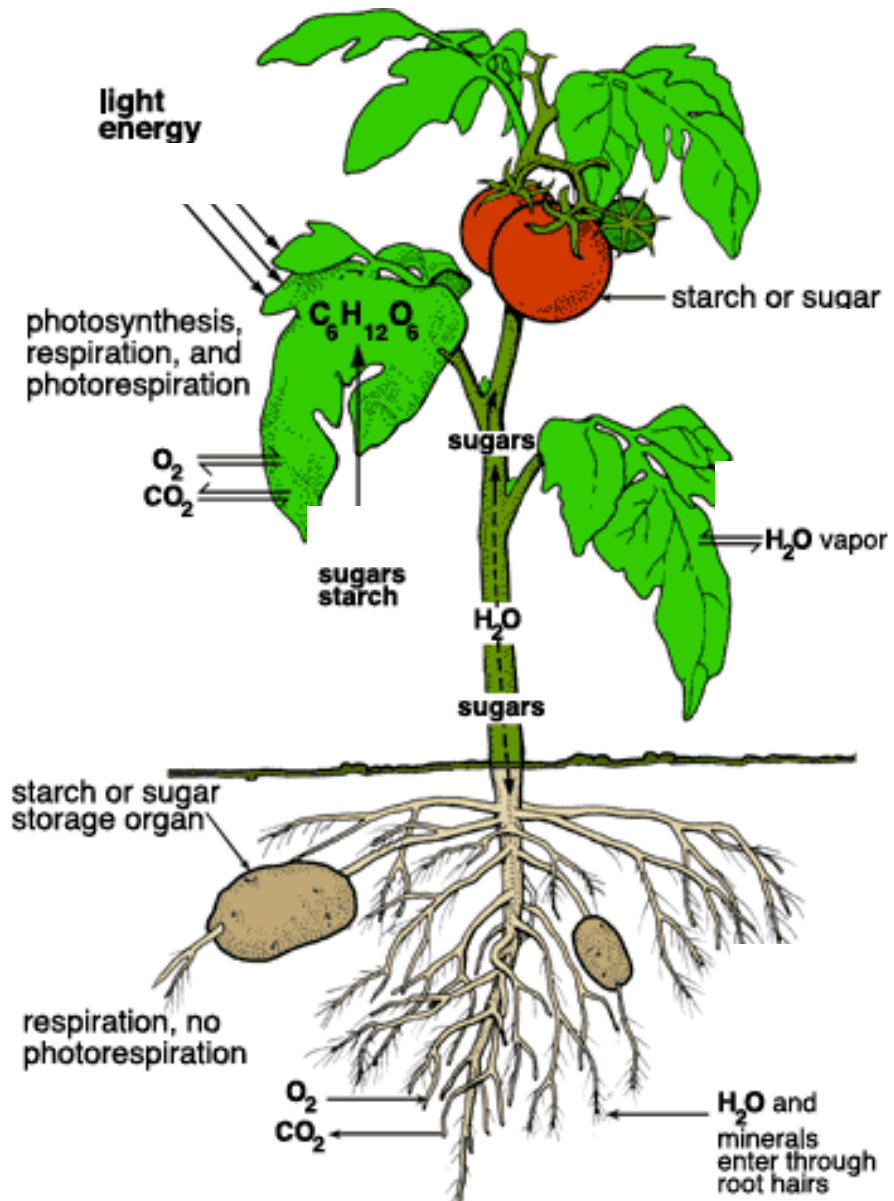
Uvolnění energie – oxidace cukru a redukce kyslíku

Dýchání (respirace)

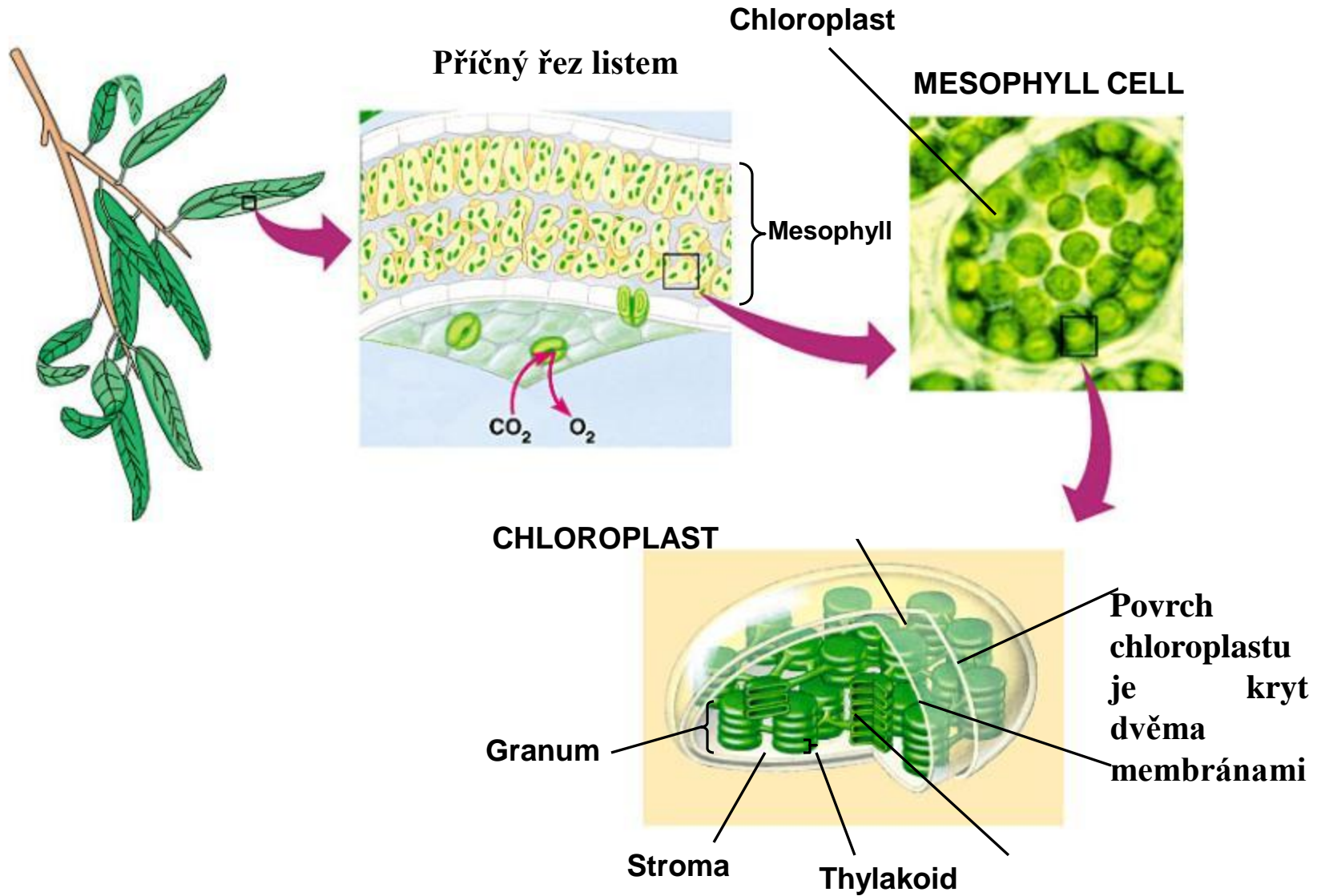
glukosa + kyslík \longrightarrow Oxid uhličitý + voda



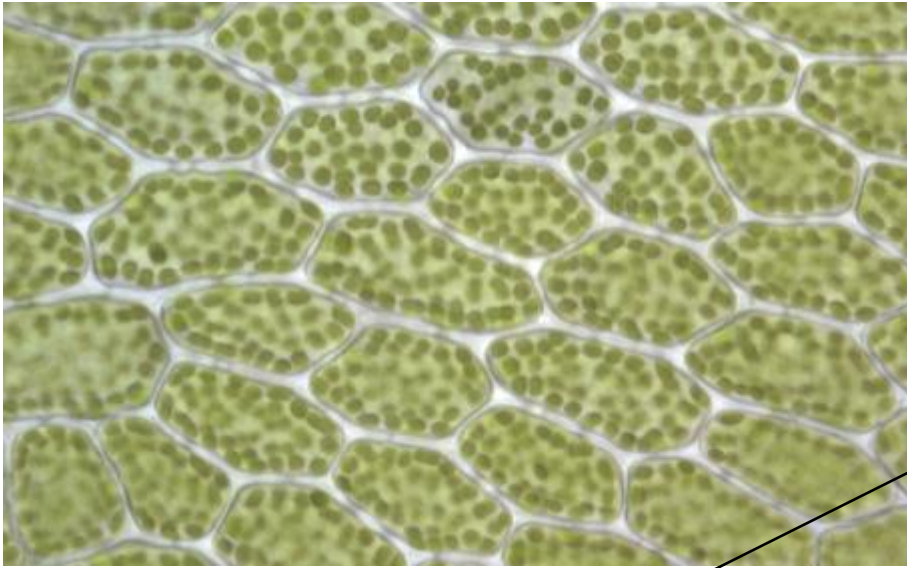
Zdroj energie pro fotosyntézu poskytuje světelné záření, vodík poskytuje voda.



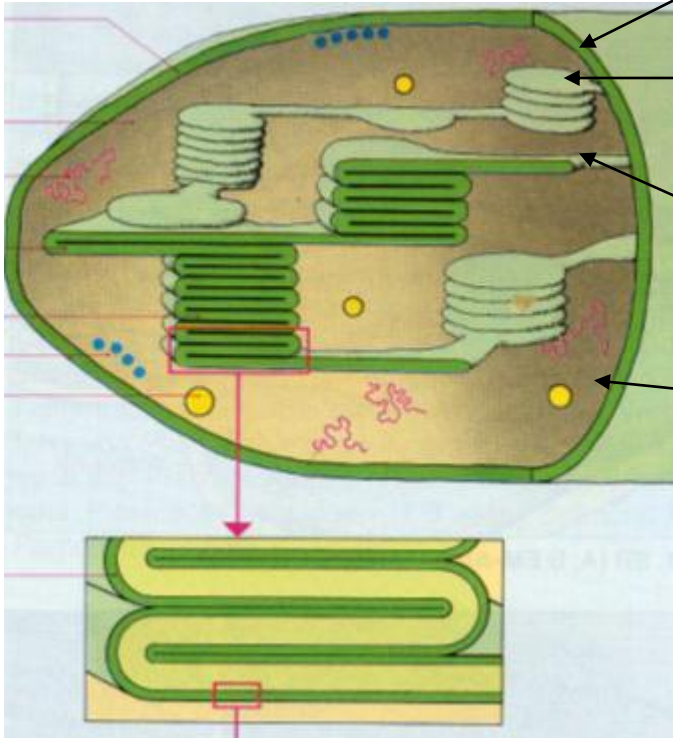
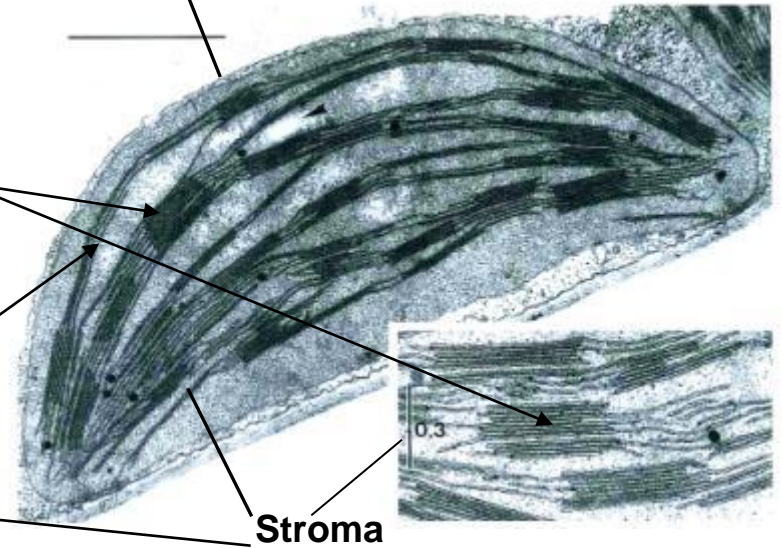
Kde probíhá fotosyntéza



Chloroplasty – organely fotosyntézy

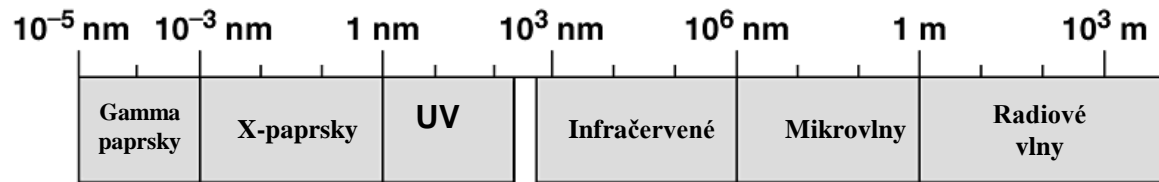


Povrch chloroplastu je kryt dvěma membránami.



Uvnitř chloroplastu je stroma prostoupené systémem membrán zvaných thylakoidy. Ty se na určitých místech množí a tvoří tzv. grana.

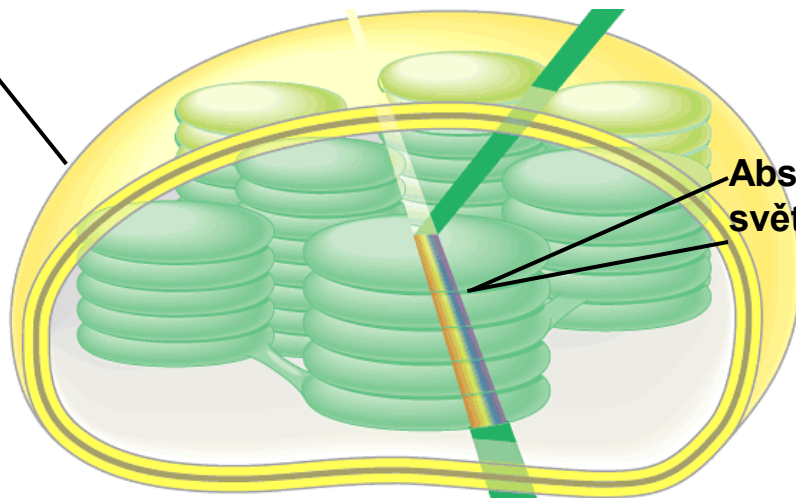
Viditelné světlo pohání fotosyntézu



Viditelné světlo

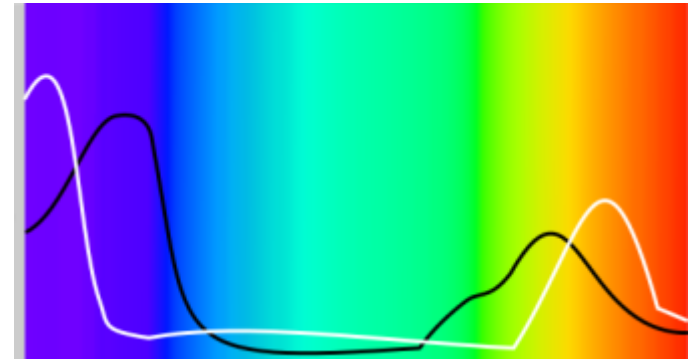


Chloroplast



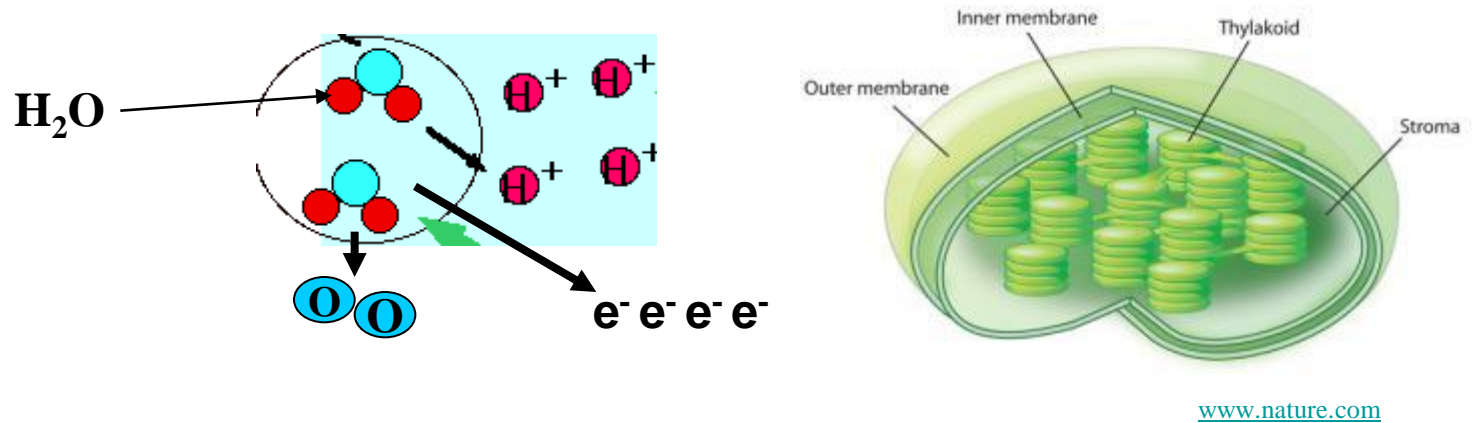
Absorbované světlo

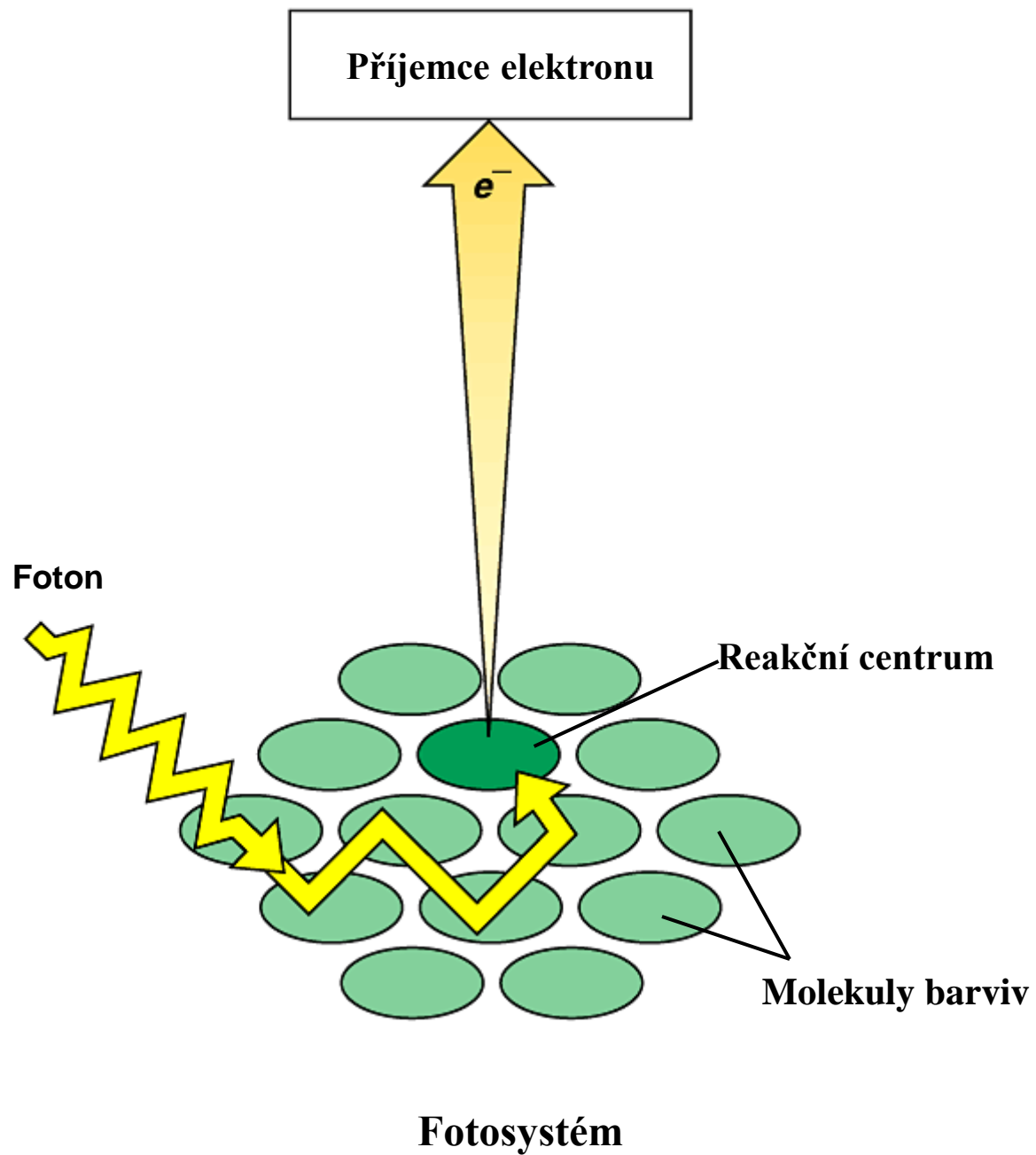
Procházející světlo



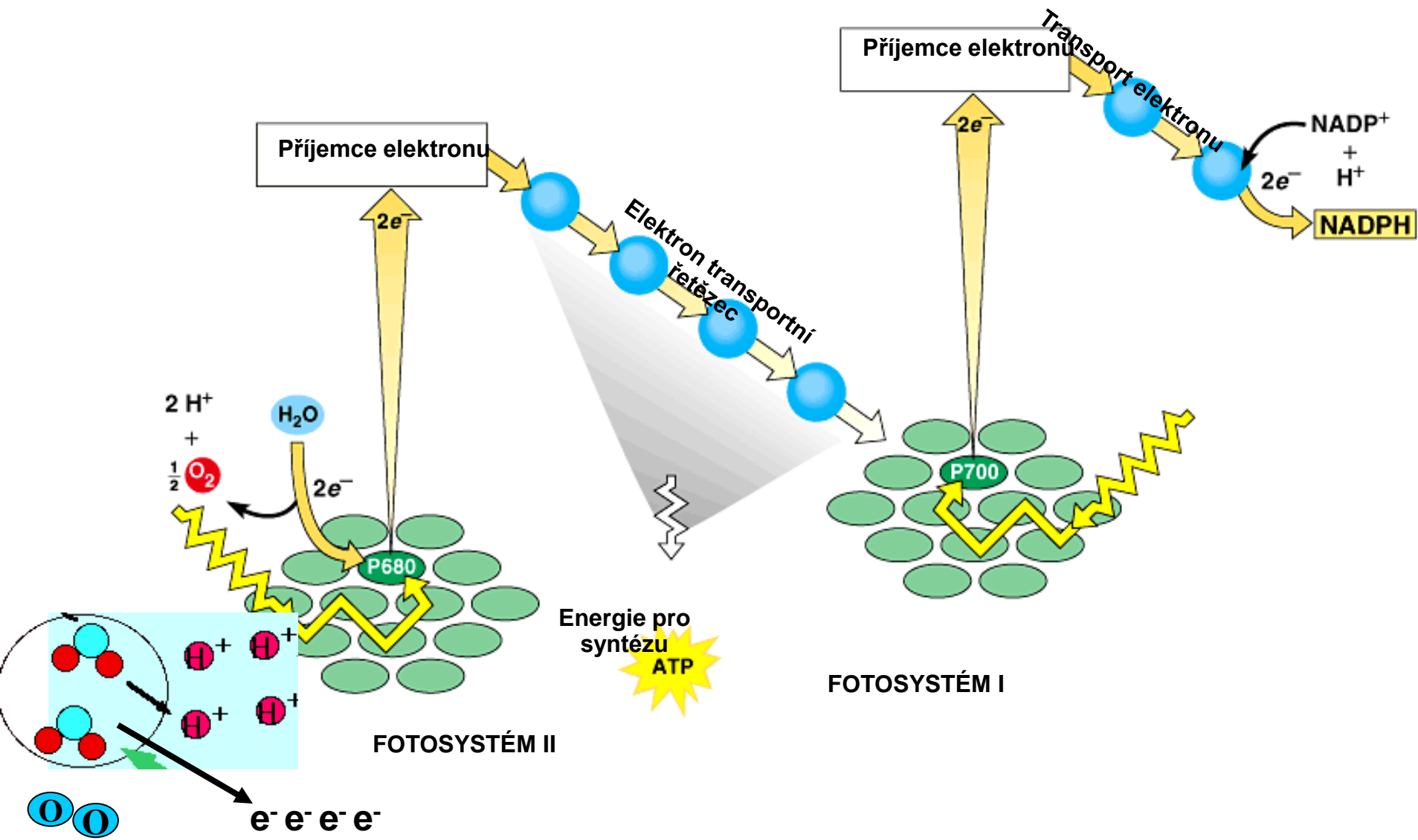
Fotosyntéza se skládá ze dvou vzájemně propojených fází primární (světelné) a sekundární (temnostní):

- **Světelná (primární) fáze** přeměňuje energii světelnou na chemickou. Probíhá v thylakoidech, kde je zachyceno světelné záření. Zároveň zde dochází k rozkladu vody na kyslík, vznikají protony a elektrony. Ty jsou pak využity k tvorbě dvou sloučenin – ATP a NADPH- nezbytných pro redukci oxidu uhličitého v další fázi fotosyntézy



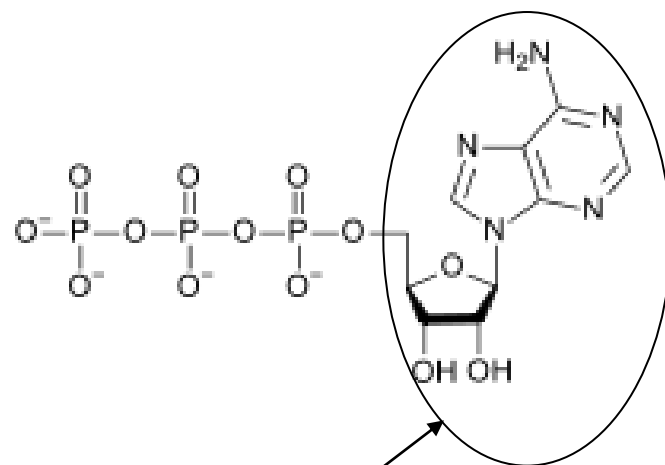


Fotosystém II získává elektrony rozkladem vody, čímž uvolňuje O_2 jako vedlejší produkt



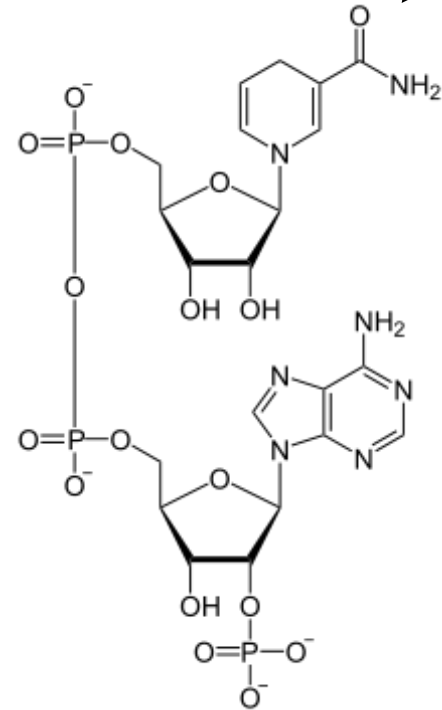
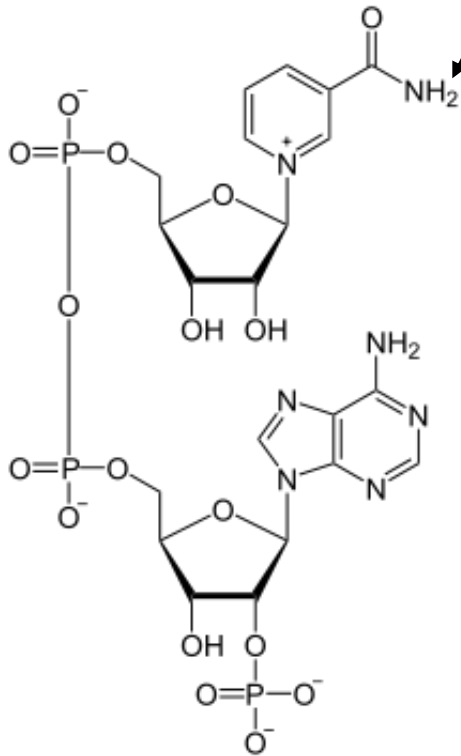
Makroergické vazby

Chemické vazby, při jejichž hydrolýze se uvolňuje větší množství energie (nad 25 kJ.mol⁻¹). Typickým příkladem makroergické vazby je vazba mezi dvěma koncovými zbytky kyseliny fosforečné v molekule ATP (volná energie této vazby je 29,7 kJ.mol⁻¹). U rostlin vznikají sloučeniny s makroergickými vazbami hlavně při fotosyntéze a při dýchání. Slouží jako zdroj energie pro syntézu jiných látek.

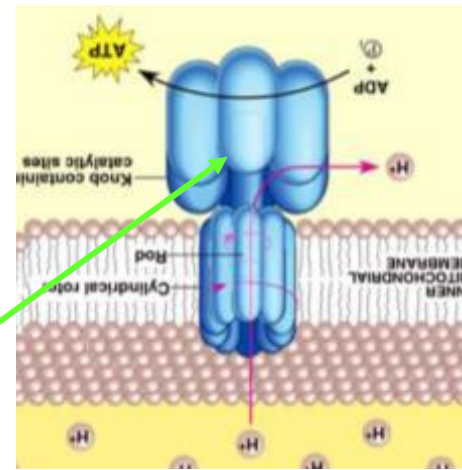
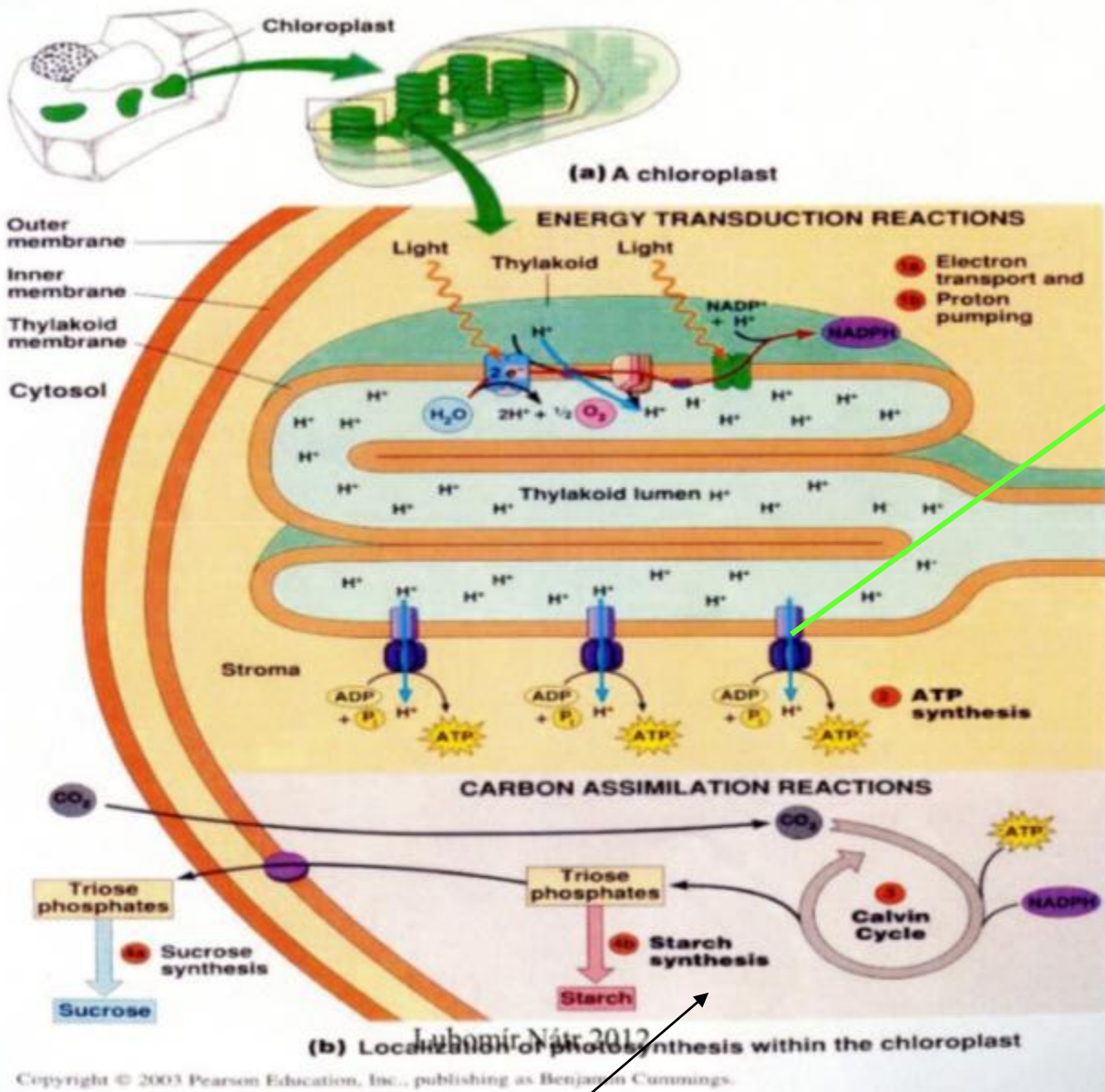


Adenosintrifosfát (ATP) je důležitá sloučenina, která se skládá z adenosinu a trojice fosfátů. Je zcela zásadní pro funkci všech známých buněk. Její význam spočívá v tom, že při rozkladu ATP na ADP a anorganický fosfát dochází k uvolnění značného množství energie. Tato energie se využívá téměř ve všech typech buněčných pochodů, jako je například celá řada biosyntetických drah, vnitrobuněčný transport a membránový transport či syntéza řady sloučenin. ATP není zásobárnou energie, jen jejím přenašečem

Nikotinamid adenin dinukleotid fosfát (NADP) je koenzym vyskytující se jako součást metabolismu organismů. Jedná se o oxidovanou formu redukčního činidla NADPH. NADP+ se redukuje na NADPH.



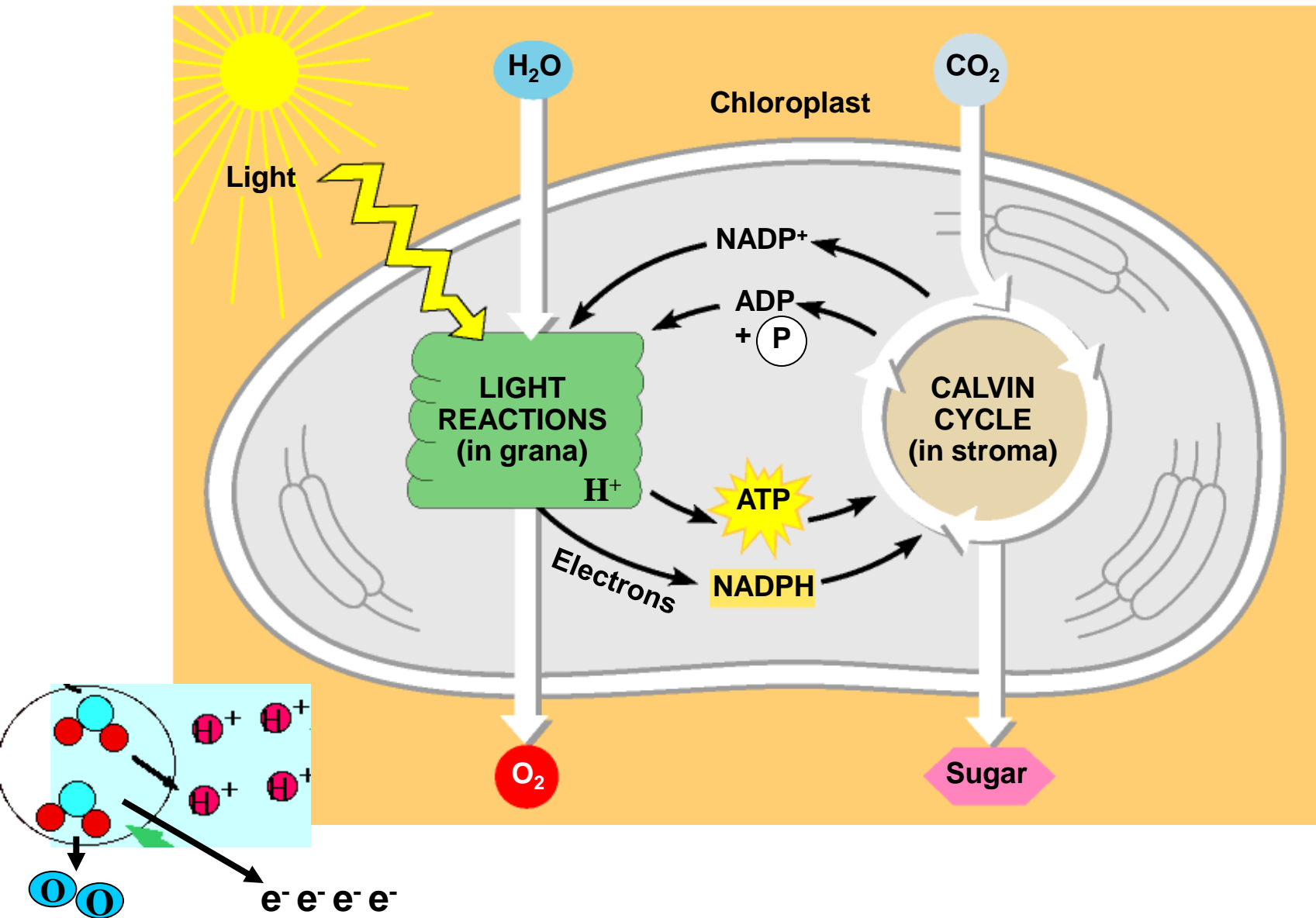
NADPH slouží převážně v biosyntetických drahách (např. syntéza mastných kyselin, syntéza glukosy v sekundární fázi fotosyntézy aj.)

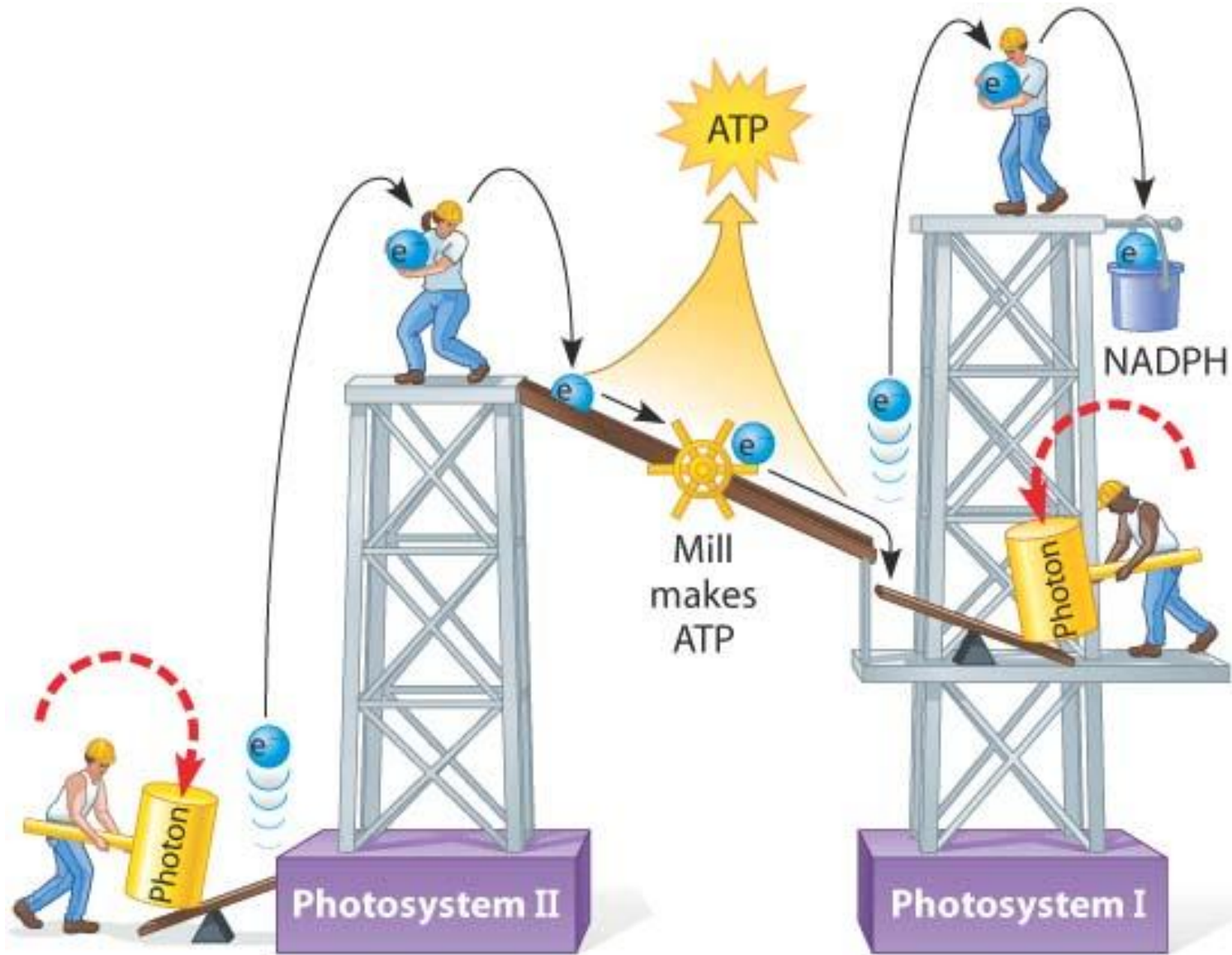


Syntéze ATP předchází transport protonů (vodíkových kationtů) přes membránu, čímž vzniká mezi oběma stranami membrány silný protonový gradient. Vodíkové kationty mají proto tendenci vracet se nazpět přes membránu, aby tak vyrovnaly tento gradient. Tyto vodíkové kationty však nemohou nazpět přecházet libovolně, jediným místem, jímž mohou vodíkové kationty procházet, jsou kanálky enzymu ATP syntázy. Právě proud vodíkových kationtů skrz kanálek ATP syntázy umožňuje výrobu ATP. Při průchodu rotorem způsobují vodíkové kationty jeho roztočení (proto se také někdy ATP syntáza přezdívá „molekulární mlýnek“). Díky tomu vzniká ATP.

Sekundární (temnostní) fáze probíhá ve stromatu a je představována Calvinovým cyklem. V Calvinově cyklu je CO₂ redukován na molekuly cukru; energii k tomu poskytuje světelná reakce.

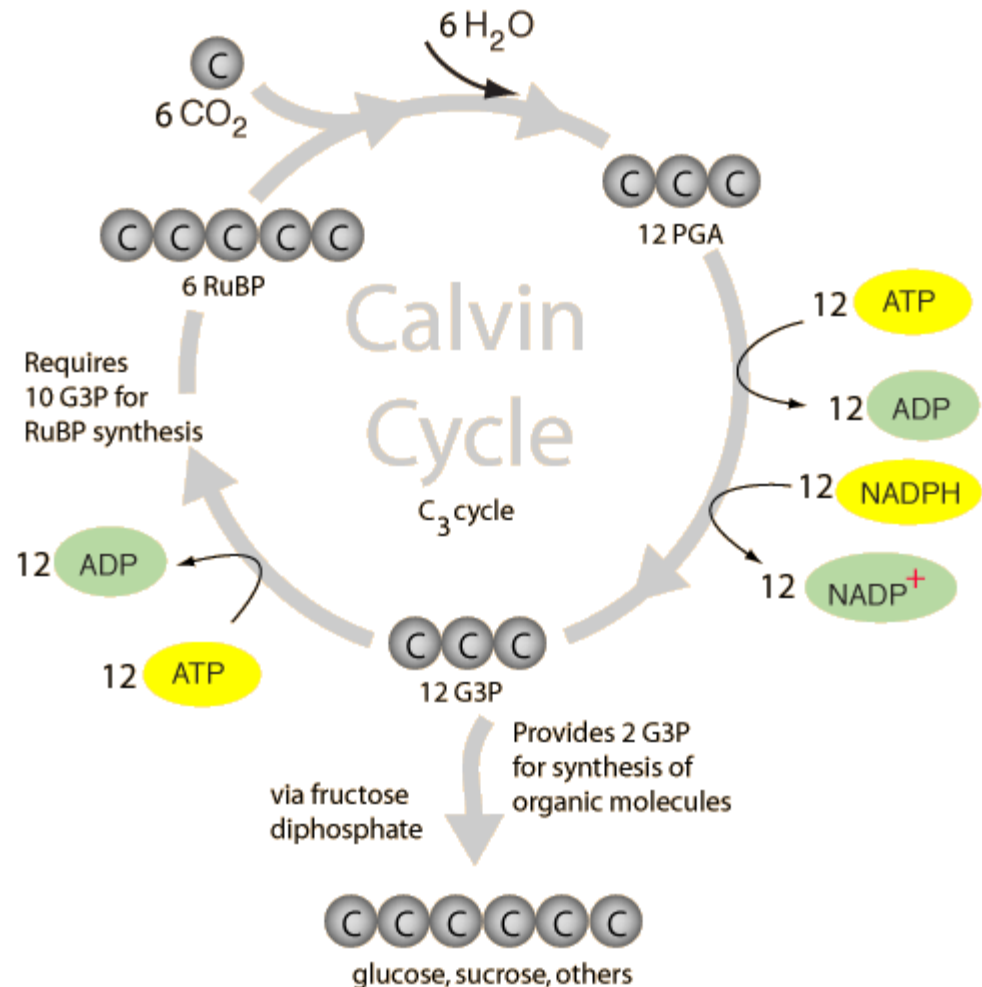
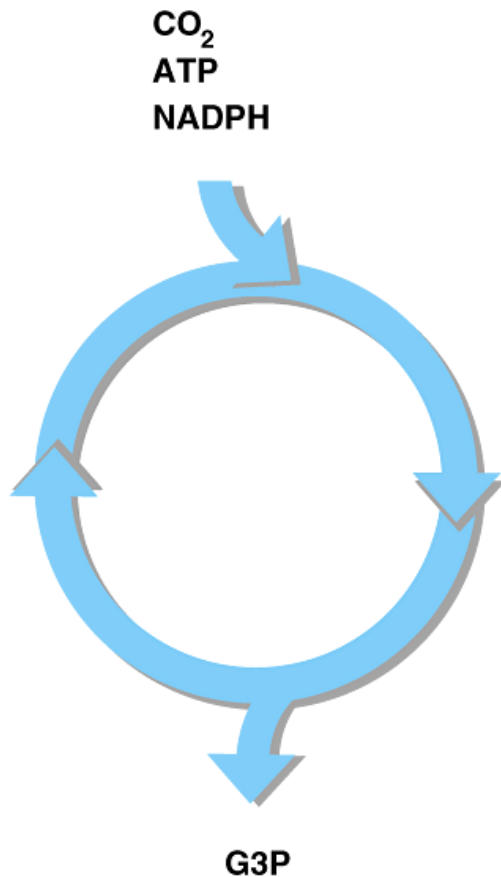
Přehled dějů fotosyntézy

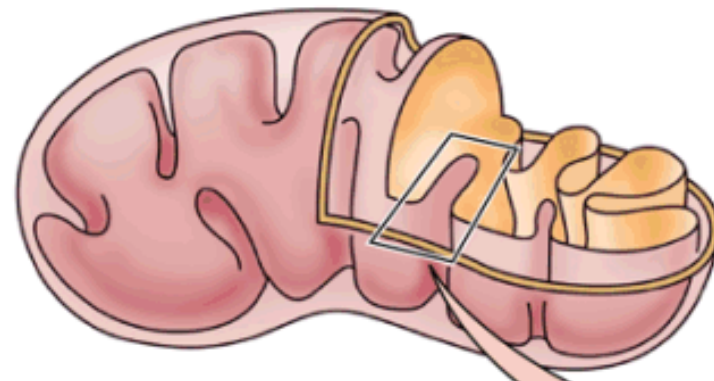
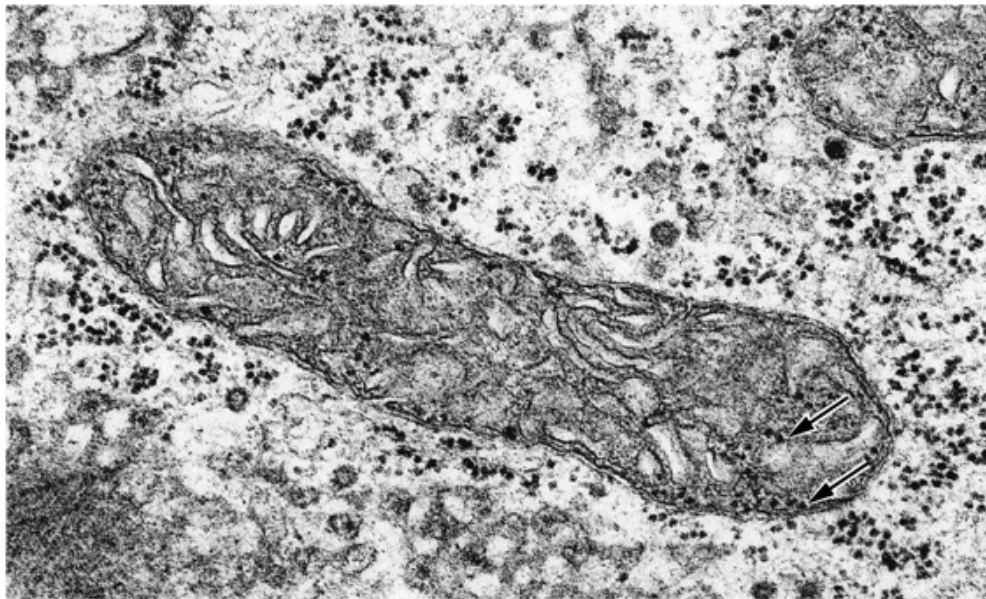




Calvinův cyklus probíhá ve stromatu. Do cyklu vstupuje oxid uhličitý, ATP a NADPH, výsledkem jsou cukry složené ze tří uhlíků, které se dále přeměňují na glukosu event. další cukry.

Reakce je katalyzována enzymem Rubisco, výsledkem jsou tříuhlíkaté cukry

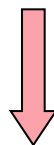
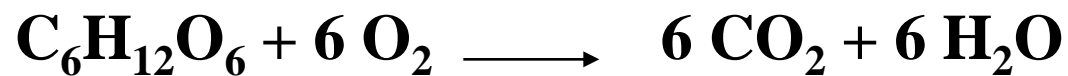




Mitochondrie – organely aerobního dýchání

Dýchání (respirace)

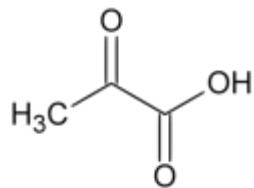
glukosa + kyslík → Oxid uhličitý + voda



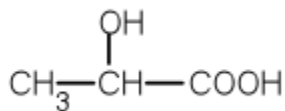
Dýchání (respirace) je spalování organických látek. Uvolněná energie je skladována v ATP; tato molekula může pohánět veškeré procesy vyžadující dodání energie – syntézu organických molekul, pohyby, transport látek aj., tedy nezbytné procesy v organismu zajišťující růst a život.

Buněčné dýchání je oxidace např. glukosy ($C_6H_{12}O_6$) na CO_2 a redukce kyslíku na vodu. Po chemické stránce je to proces obdobný oxidaci při spalování např. dřeva. Při spalování se však energie chemických vazeb mění na teplo.

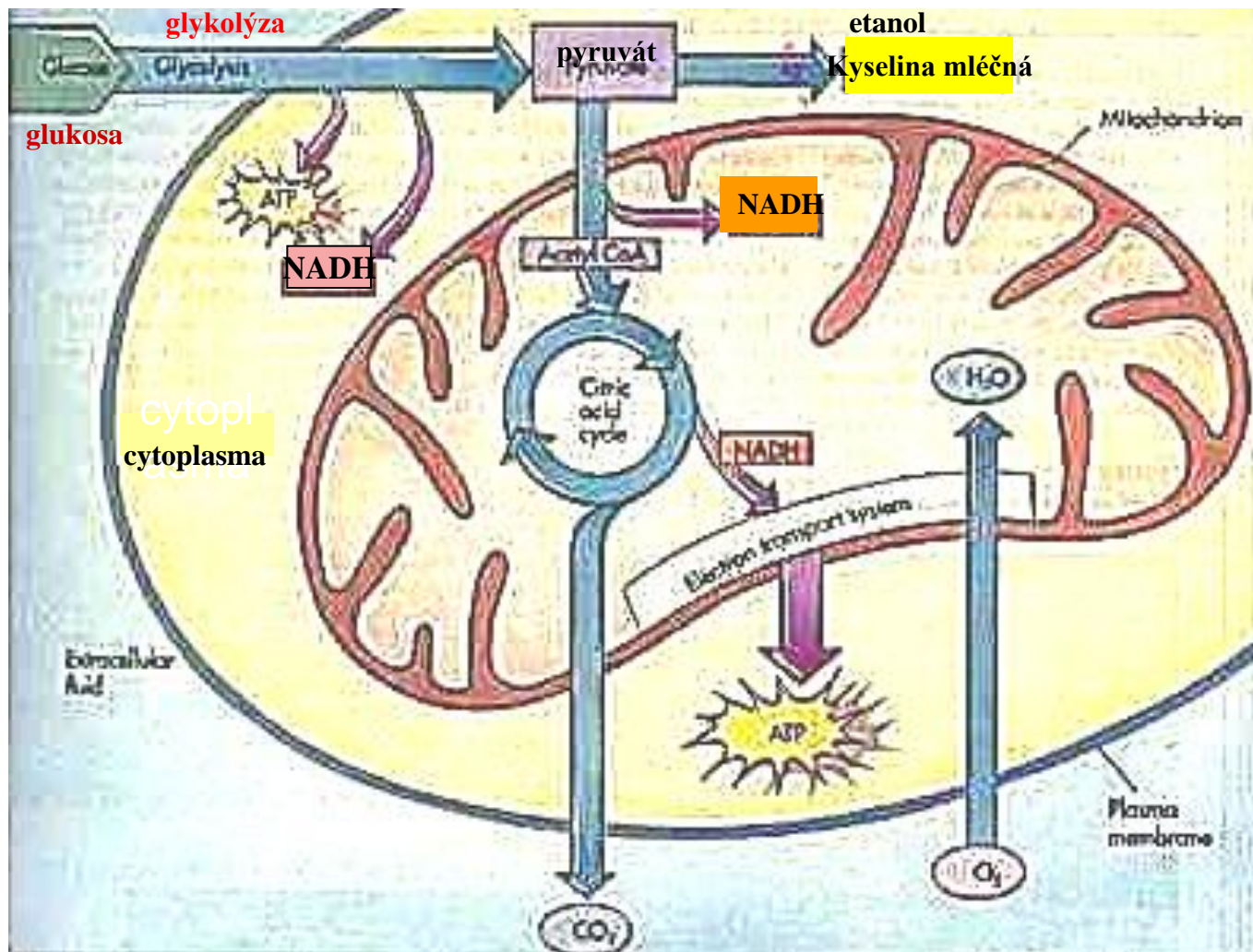
Dýchání probíhá v podstatě stejně u rostlin, živočichů a všech tzv. aerobních organismů, tedy těch, které k životu potřebují kyslík. Organické látky spalované při dýchání mohou být nejen cukry, ale i tuky nebo aminokyseliny.

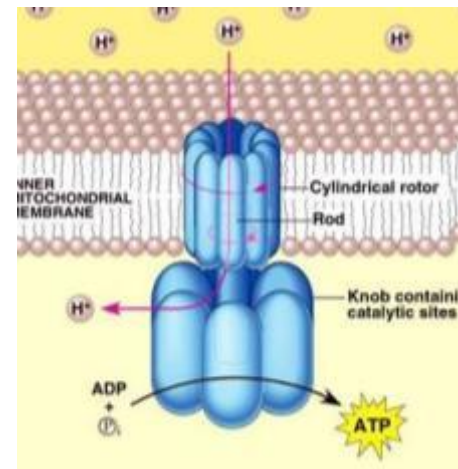
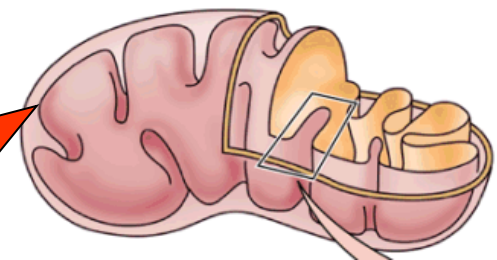
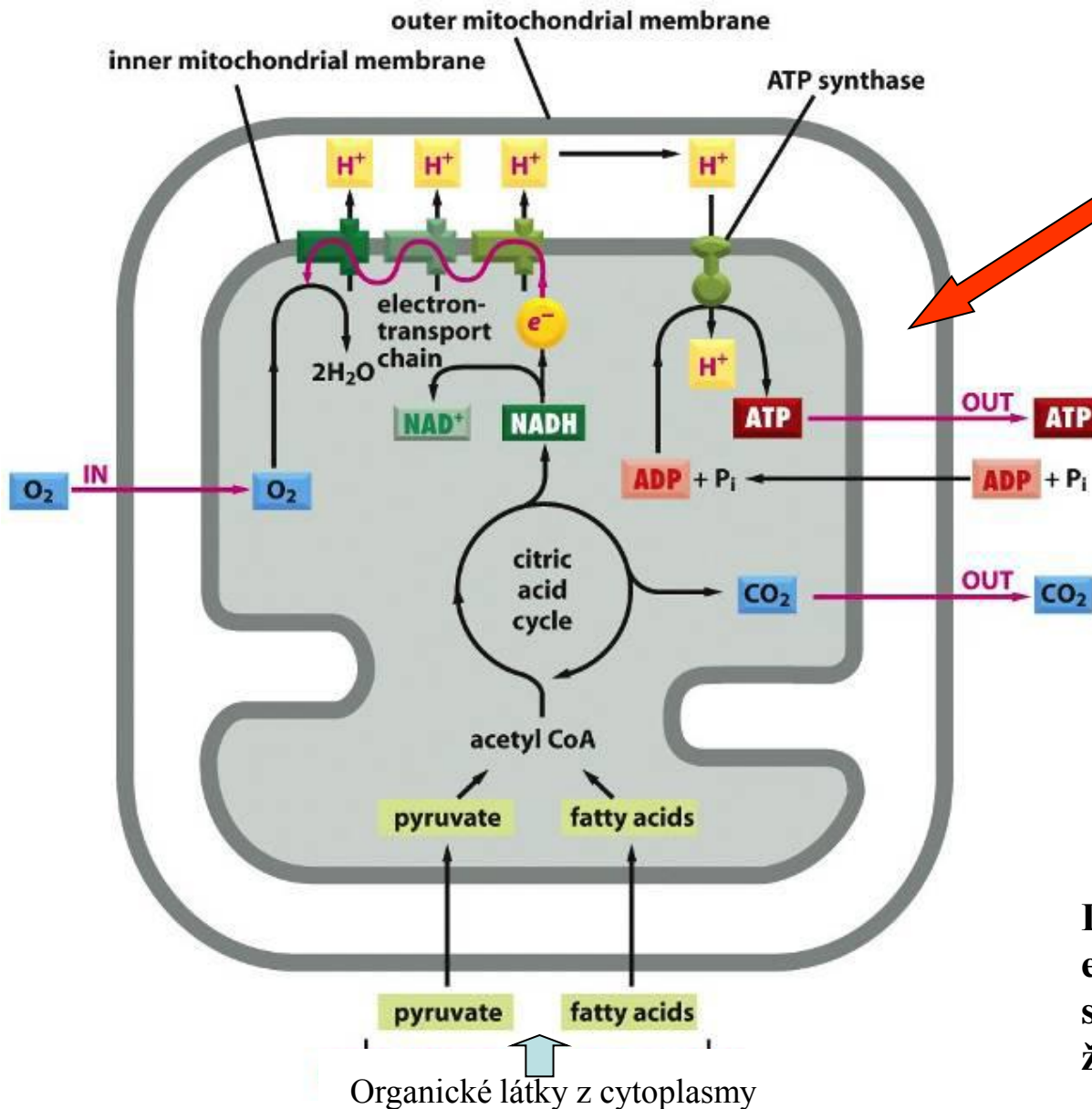


pyruvát



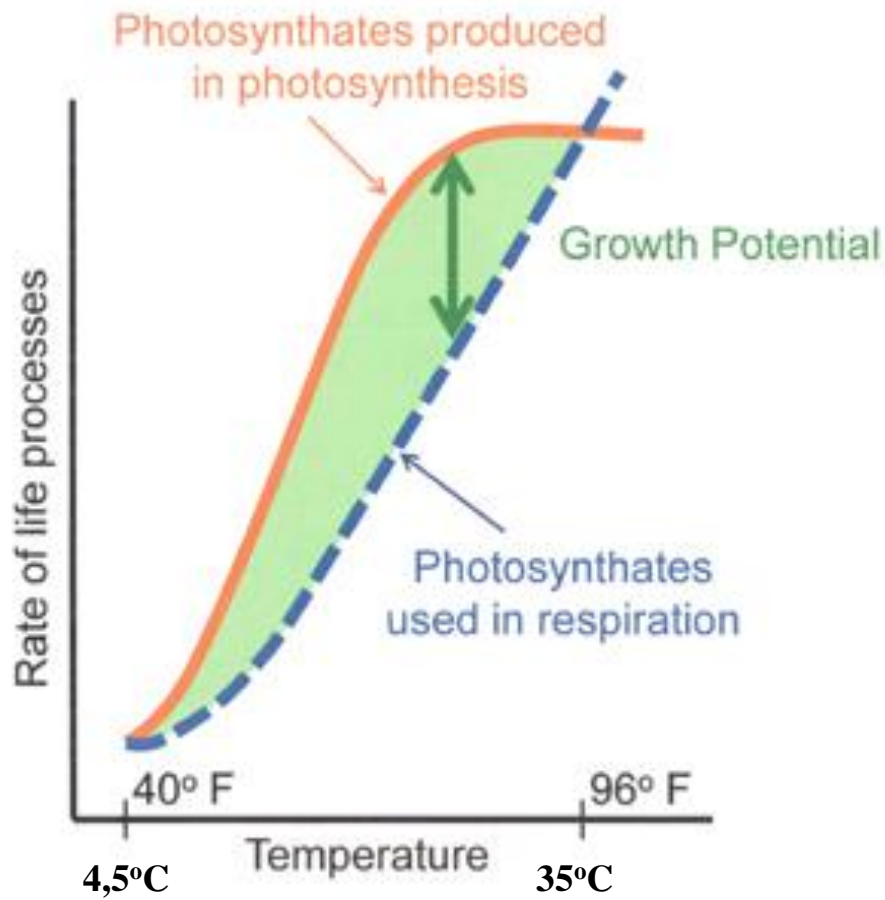
Kyselina mléčná





Dýchání poskytuje nejen energii, ale i uhlíkaté skelety nutné pro udržení života a růst.

Organické látky z cytoplasmy



Fotosyntéza a dýchání jsou procesy, které určují uhlíkový „rozpočet“. V závislosti na druhu rostliny a podmínkách prostředí spotřebuje 25-75% cukrů vzniklých fotosyntézou. V extrémních podmínkách to může být i více.

Srovnání fotosyntézy a dýchání

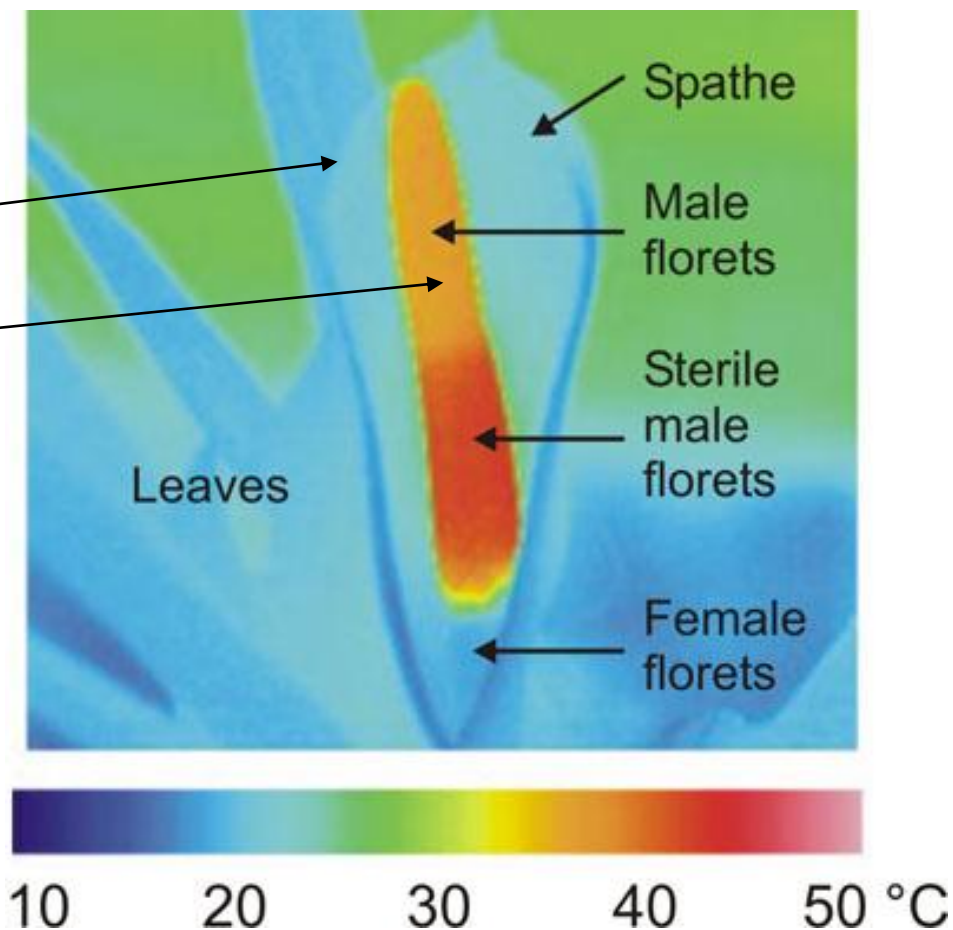
fotosyntéza

Tvoří se cukry za využití světelné energie.
Energie se ukládá ve formě chemické vazby
Probíhá v buňkách s chloroplasty
Uvolňuje kyslík
Využívá vodu a oxid uhličitý
Probíhá na světle

dýchání

Spaluje cukry a uvolňuje energii
Probíhá téměř ve všech buňkách
Využívá kyslík
Vzniká voda a oxid uhličitý
Probíhá ve tmě i na světle

Dýchání může u rostlin probíhat způsobem, při kterém není tvořeno ATP ani uhlíkaté skelety, ale vzniká teplo. Tento způsob respirace je unikátní pro rostliny. Zvyšování teploty využívají některé rostliny v květech pro přilákání opylovačů.

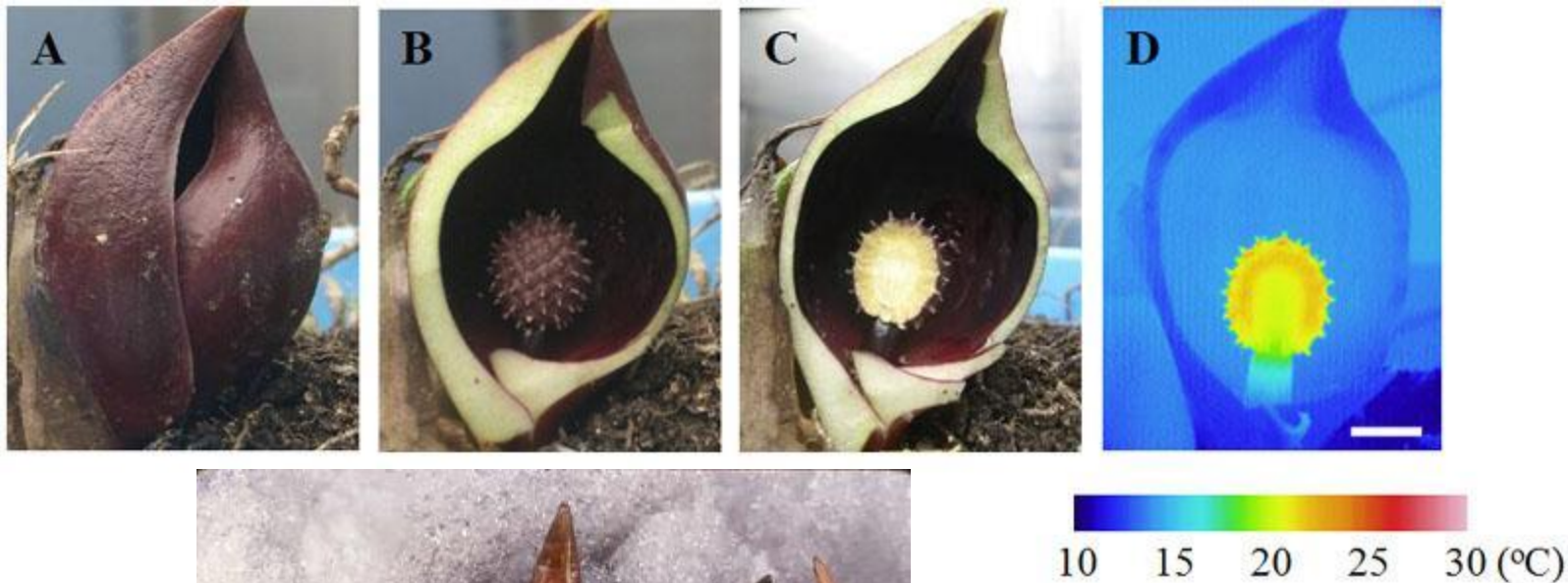


Tzv. spadix ve středu je květenství obklopené modifikovaným listem (listenem), který je často barevný; má ochrannou funkci. V květenství jsou tři části: fertilní samčí květy, sterilní samčí květy uprostřed a fertilní samičí květy v dolní části. Sterilní samčí květy zabraňují samosprašení a produkují teplo. Opylovačem je např. brouk *Cyclocephala*. Sterilní květy jsou schopny udržet teploty vyšší až o 30°C než jsou vnější teploty, a to asi po dobu dvou dnů, kdy je květenství otevřené. Vyšší teploty slouží k uvolňování a šíření vůní, které opylovače přitahují do větších vzdáleností. Kromě toho teplo vytváří pro opylovače příjemné prostředí.

Rozložení teplot v květenství *Filodendron selloum*

Nejteplejší jsou sterilní samčí květy ve středu, zatímco samičí květy téměř žádné teplo neprodukují

(Ito and Seymour, 2005).



z Onda et al., 2008).

Symplocarpus foetidus

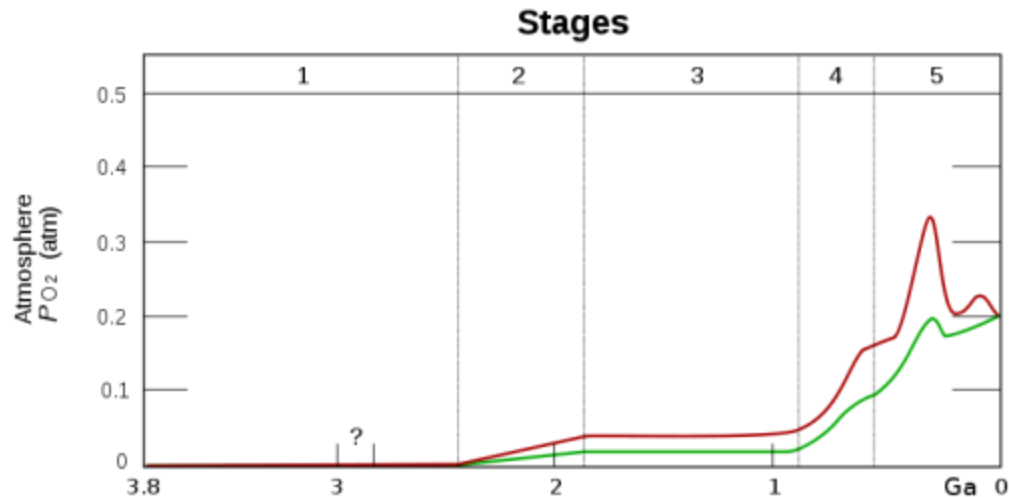
ze Severní Ameriky, udržuje teploty o 15-35°C vyšší, než je teplota okolního vzduchu. Kveté brzy na jaře, když je ještě sníh, termogenese umožňuje prorůst zmrzlou půdou a také umožňuje šíření pachu přitahujícího opylovače a poskytuje opylovačům příjemné prostředí.

Jak vznikla fotosyntéza a dýchání

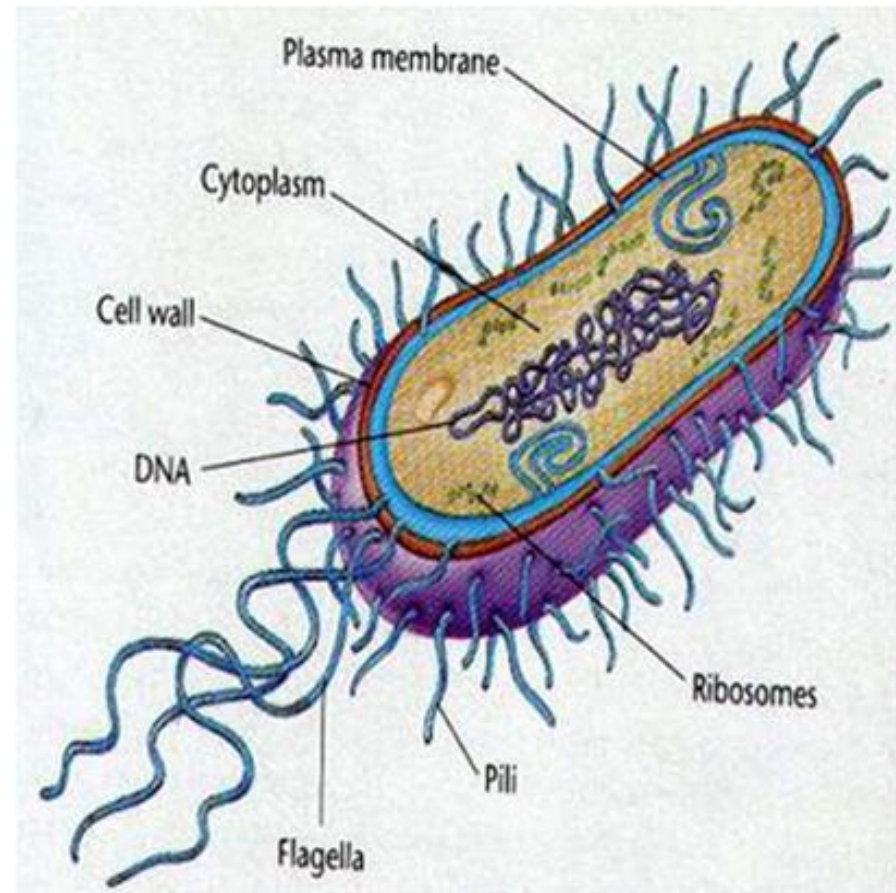
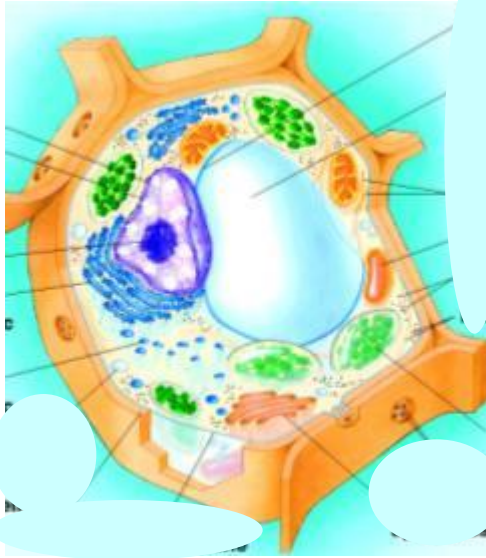
Vznik podmínek vhodných pro vznik živých organismů nastal asi před 4,4 miliardami let, kdy Země začala vychládat a začaly vznikat pevniny a moře a posléze i život. Kdy skutečně vznikly první organismy není zcela jasné. Nejstarší známé údaje o pravděpodobné existenci živých organismů pocházejí z období před 3,8 miliardami let; podle toho se odhaduje, že první organismy mohly vzniknout v období před 4.1–3.8 miliardami let po období tzv. pozdního těžkého bombardování asteroidy.

Jaké byly pravděpodobně první organismy? Tyto organismy vznikly v pramořích. Byly to organismy heterotrofní. Živiny pro heterotrofní způsob života byly organické sloučeniny, které mohly vzniknout dvojím způsobem. Jednou z možností je vznik z anorganických sloučenin vzniklých ze složek tehdejší atmosféry a vodních těles (oxid uhličitý, dusík, metan, sulfan aj.), energii k tomu mohla poskytnout sopečná činnost, elektrické výboje, UV záření. Jiná možnost je, že organické látky byly přineseny meteority – chemické analýzy meteoritů ukazují významná množství organických sloučenin.

První organismy byly anaerobní, nemohly využívat kyslík k dýchání, protože tehdejší atmosféra kyslík neobsahovala. Ten se nevyskytoval po dlouhou dobu existence života, objevil se až cca před 2,4 miliardami let s nástupem fotosyntézy. Pro tehdejší organismy byl kyslík jedovatý a uvolnění energie z organických sloučenin probíhalo odlišně.



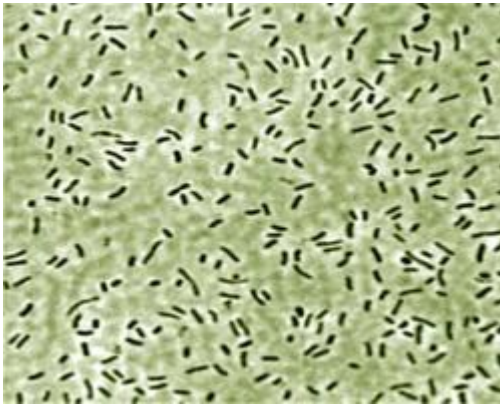
Anaerobní organismy nevyužívaly kyslík. Využívaly anaerobní respiraci, při které neredukovaly kyslík na vodu, ale používaly jiné látky než kyslík. Anaerobní respirace je mnohem méně efektivní, uvolní se podstatně méně energie. Anaerobní respirace je v současnosti využívána jen malou skupinou organismů (některé bakterie, prvoci), kteří se nacházejí v nikách, kde není přítomen kyslík.



První organismy byly jednobuněčné s prokaryotním typem buňky. Jejich buňky měly velmi jednoduchou stavbu – neměly buněčné jádro, jejich genetická informace, DNA, byla volně uložena v cytoplasmě. Buňka neměla ani žádné další vnitřní struktury.

Jaký byl pravděpodobný další vývoj života?

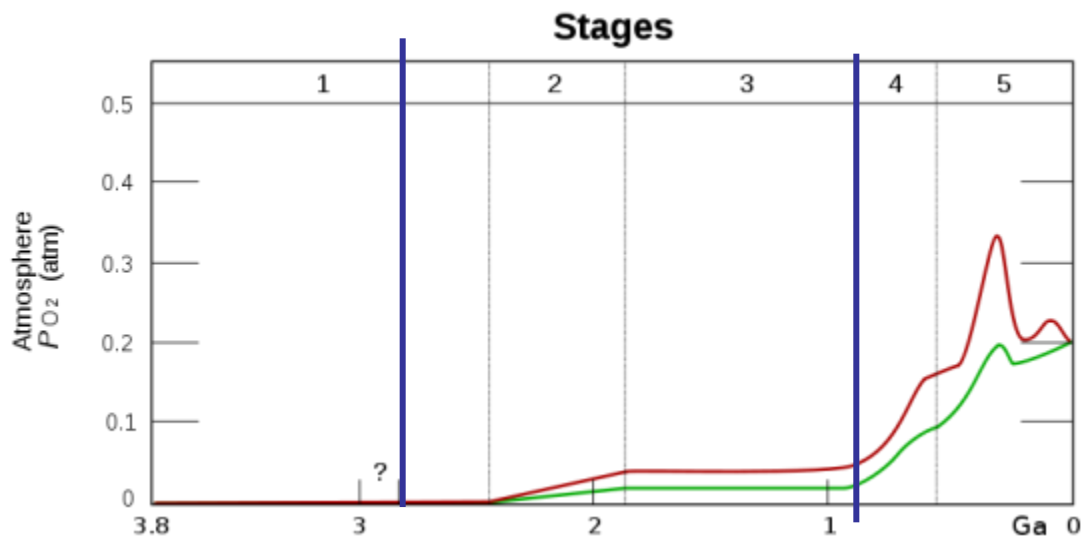
První organismy poměrně záhy spotřebovaly organické molekuly; přitom nové nevznikaly. Nastala surovinová a energetická krize. Jakmile byl organický uhlík spotřebován, byl pro další existenci života nutný vznik organismů schopných inkorporovat anorganický uhlík do organických molekul, tedy organismů schopných fotosyntézy. Odhaduje se, že první organismy tohoto typu se objevily před cca 3.5 miliardami let. Tyto organismy však fungovaly odlišně než většina dnešních fotosyntetizujících organismů. Nevyužívaly vodu, ale jiné sloučeniny, které byly snáze štěpitelné než voda, např. sulfan (H_2S) jako zdroj vodíku a elektronů. Tyto organismy byly stále jednobuněčné, prokaryotní a anaerobní.



Chlorobium – současná zelená bakterie využívající sulfan

Sulfan však nebyl příliš hojnou sloučeninou, takže energetická krize nebyla vyřešena nadlouho.

Posléze došlo ke vzniku organismů schopných rozkládat vodu pro tvorbu cukrů z oxidu uhličitého. Organismy schopné této tzv. oxygení fotosyntézy, podobné dnešním sinicím, začaly produkovat kyslík. Kyslík se začal objevovat v atmosféře před cca 2,4 miliardami let. Toto období se nazývá „Velká kyslíková událost“; jednalo se o biologicky podmíněné objevení se kyslíku v atmosféře Země. První organismy schopné produkovat kyslík však vznikly dříve (před asi 2,7 miliardami let, podle některých odhadů ještě dříve). Před touto událostí se kyslík vyskytoval jen lokálně a krátkodobě, jinak se vázal na rozpustné sloučeniny železa. V určitém okamžiku však byly tyto možnosti vyčerpány a kyslík se začal akumulovat v atmosféře. I když můžeme vznik tohoto typu fotosyntézy považovat za úžasný pokrok ve vývoji života, znamenal v první fázi velké ohrožení, protože pro striktně anaerobní organismy byl kyslík jedovatý. Pro další existenci života bylo podstatné, že obsah kyslíku zpočátku stoupal jen zvolna. Odhaduje se, že v období před 2,4 – 2 miliardami let obsah kyslíku stoupal na 1- 2 %.

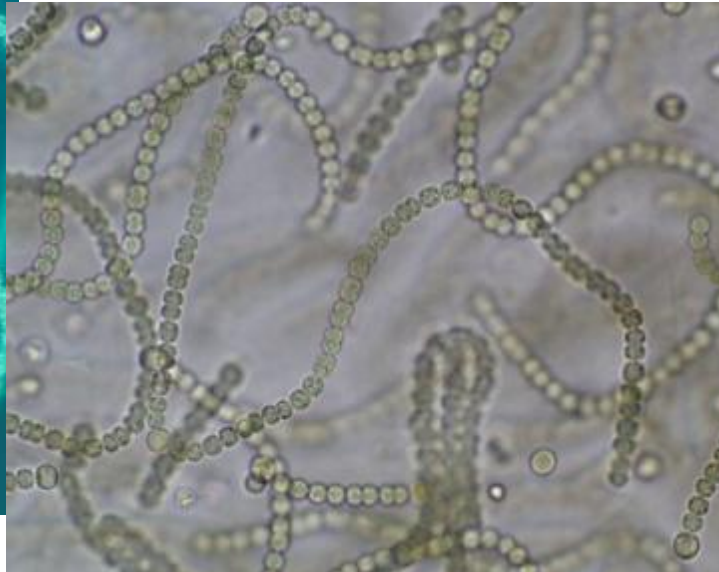


Postupný vývoj kyslíkové atmosféry zajistil selekci organismů. Organismy neschopné adaptace vyhynuly; vznik sinic a kyslíkové atmosféry byly zodpovědné za jedno z nejmasivnějších období vymírání organismů v historii Země. Některé organismy přežily díky tomu, že dokázaly osídlit místa, kde nebyly exponovány kyslíku. Nejdůležitější ale byly revoluční změny v metabolismu buněk, umožňující adaptaci na kyslíkovou atmosféru, vytvoření mechanismů zabraňujících poškození buněk kyslíkem, který se posléze naučily využívat při dýchání.

Jak vypadaly organismy schopné oxygení fotosyntézy? Byly podobné dnešním sinicím. Byly autotrofní, aerobní, jejich buňky byly prokaryotní. Byly jednobuněčné, později se začaly vyskytovat i sinice tvořící jednoduchá vlákna.



Anabaena sp.



Nostoc sp.

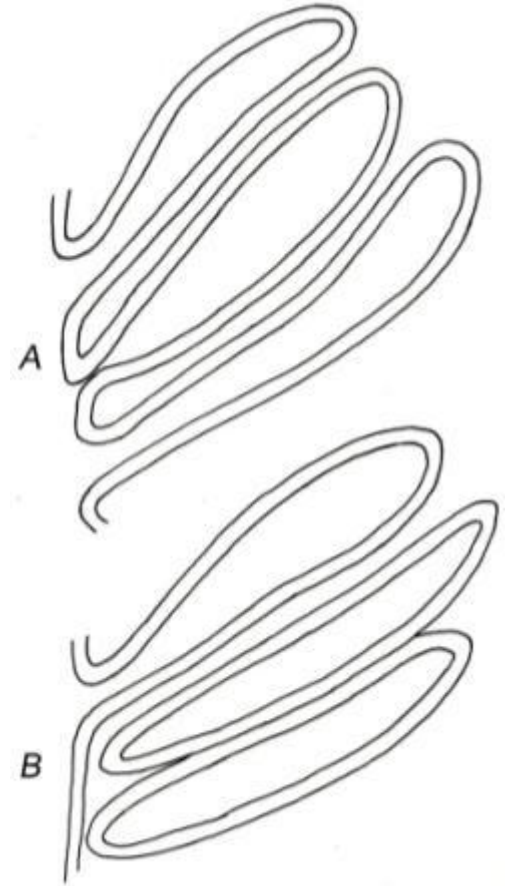
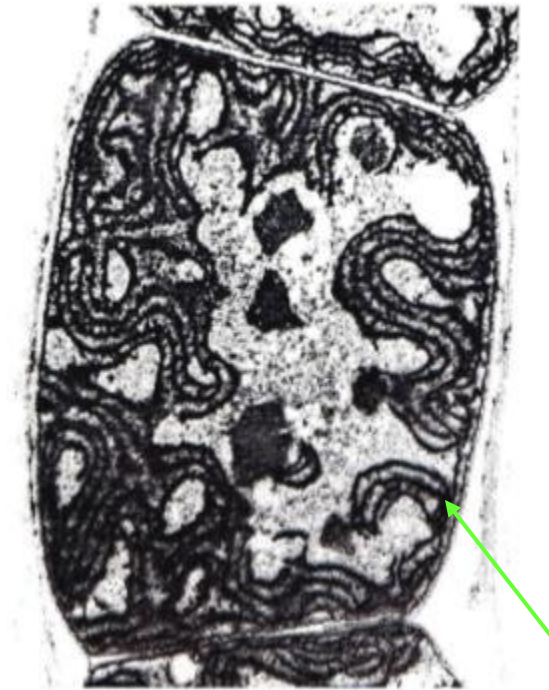
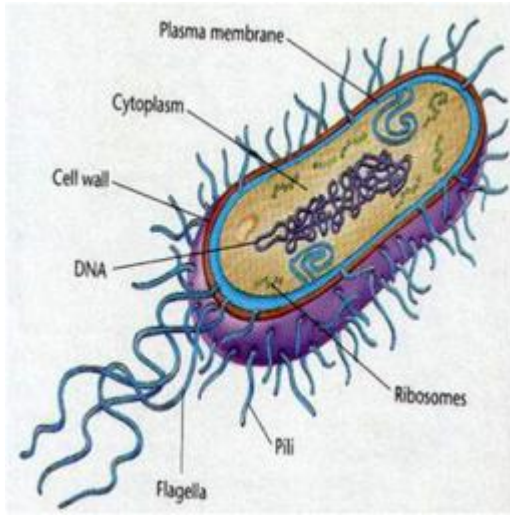
Autor: Jan Kaštovský



Synechococcus sp.

Autor: Jan Kaštovský

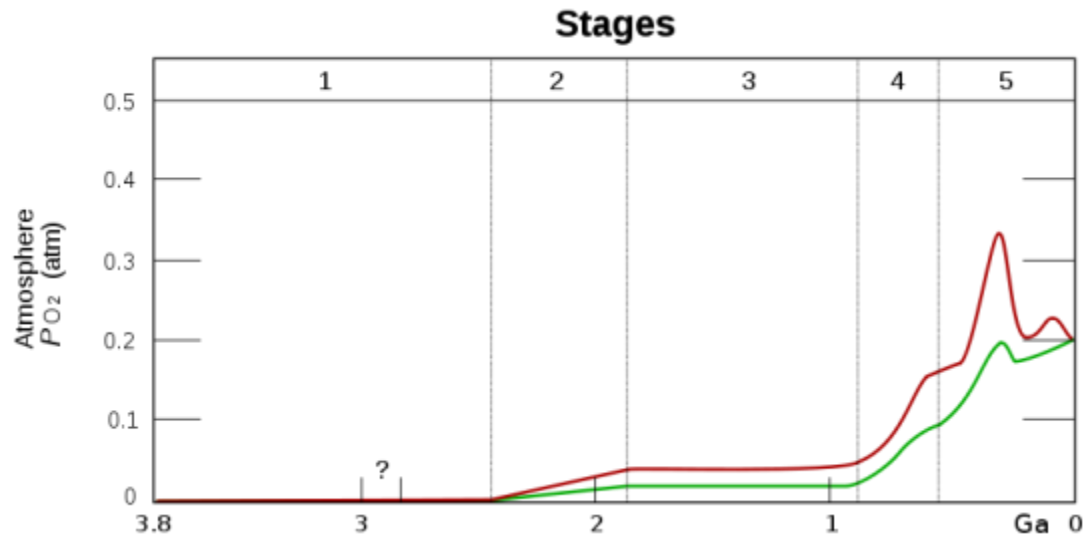
Vnitřní stavba jejich buněk však byla složitější než stavba organismů neschopných fotosyntézy. Buňky sice neměly buněčné jádro, ale měly útvary vzniklé vchlípnutím povrchové membrány, na které byly vázány pigmenty fotosyntézy a probíhaly zde světelné reakce fotosyntézy.



Snímek buňky sinice *Nostoc* z elektronového mikroskopu

Šipka označuje membrány s pigmenty

Vznik vnitřních membrán u fotoautotrofní prokaryotní buňky
A – vchlípnutí plasmalemy, B – oddělení vchlípnutých membrán

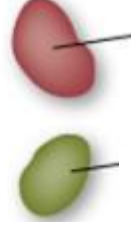
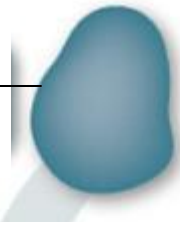


Akumulace kyslíku probíhala ve dvou fázích. Poté, co obsah kyslíku vzrostl na 1 – 2 % se tato koncentrace udržovala až do doby před cca 850 miliony let. Pak obsah kyslíku začal vzrůstat na dnešních více než 20%. Co způsobilo tento nový vzestup? Byl to vznik nového typu organismů, organismů s eukaryotním typem buňky.

Tyto nové fotosyntetizující organismy se objevily asi před 1,2 miliardami let, přesněji řečeno, z této doby jsou známé první fosilie těchto organismů. Co ale předcházelo jejich vzniku? To vysvětluje tzv. endosymbiotická teorie.

Na Zemi v té době existovala řada různých typů bakterií, aerobní i anaerobní, autotrofní i heterotrofní.

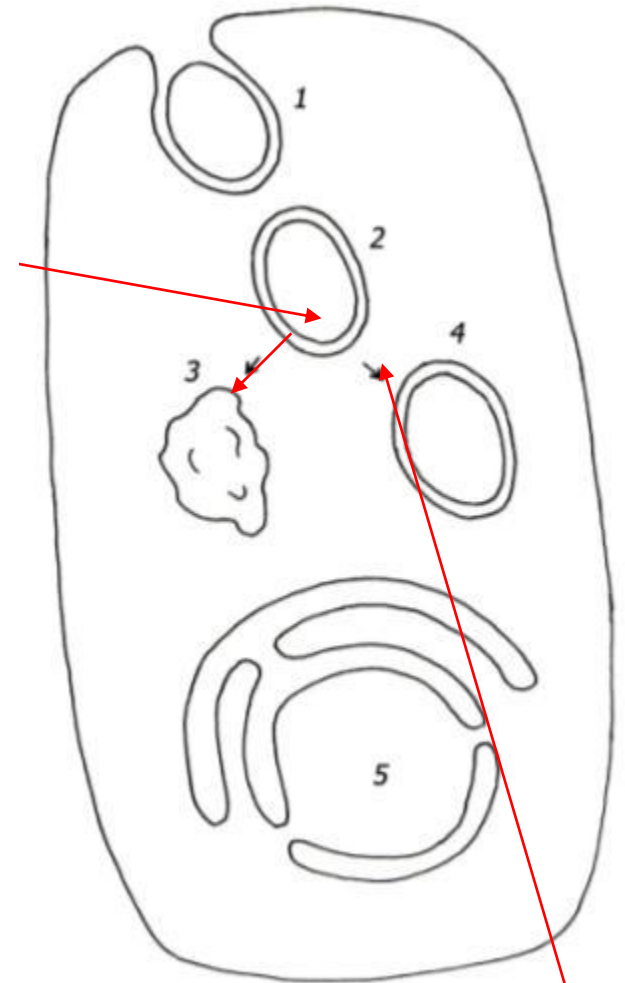
Anaerobní bakterie



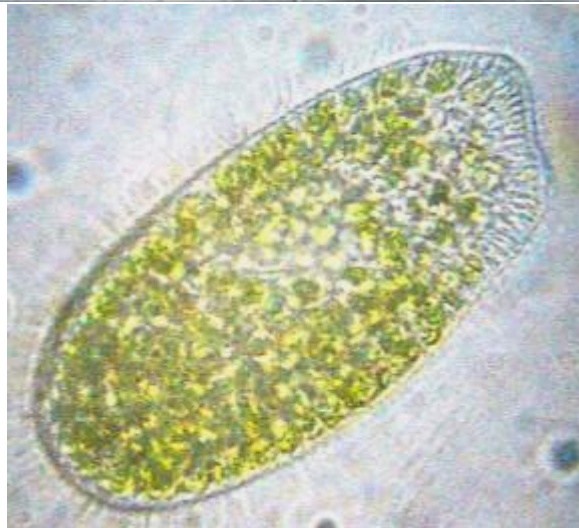
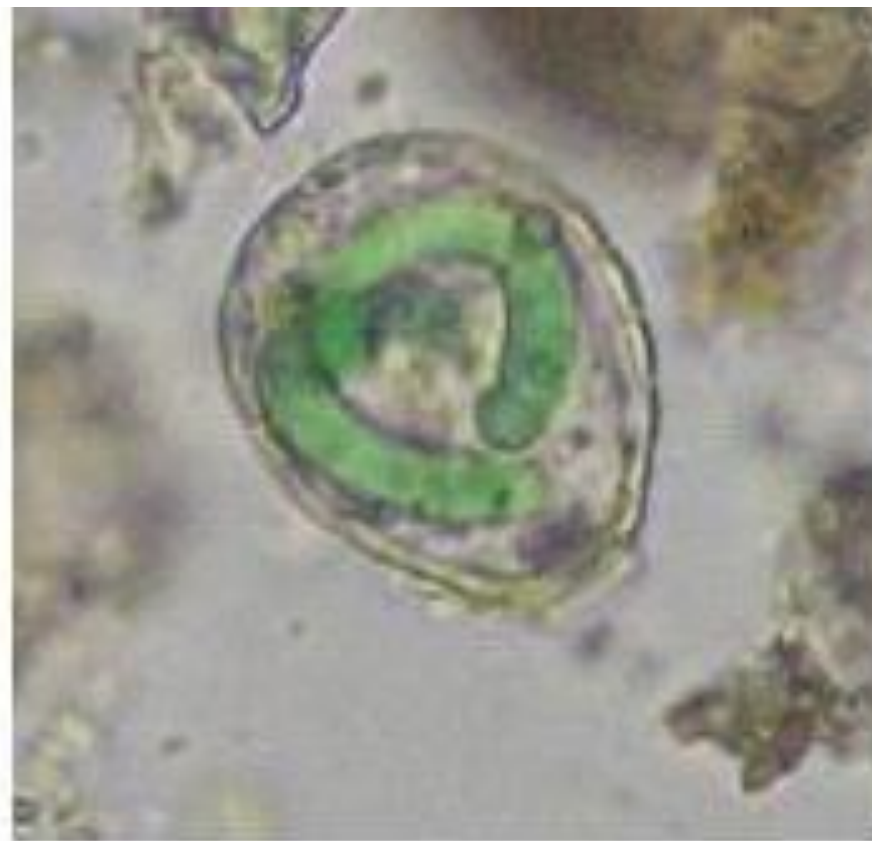
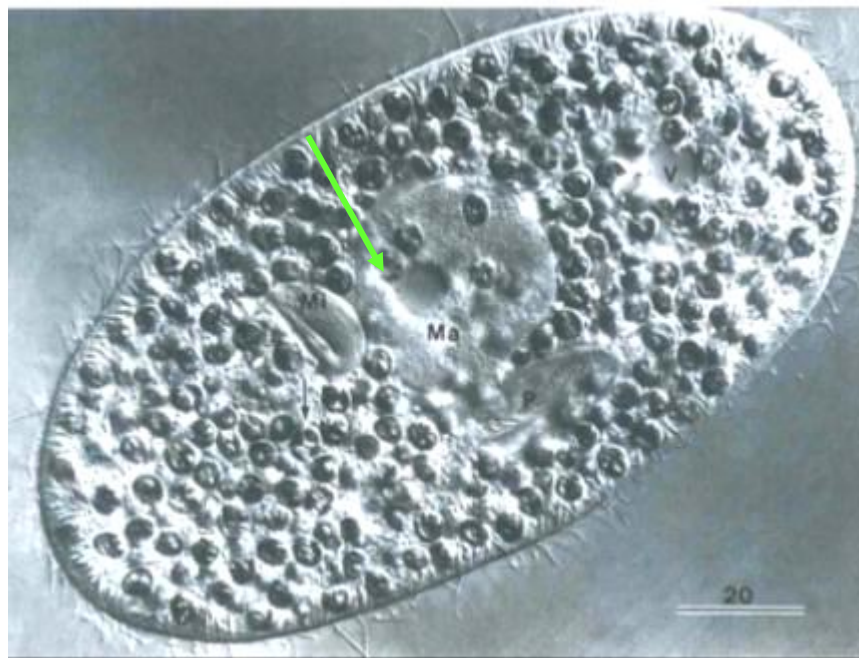
Aerobní bakterie



sinice



V určitém okamžiku však došlo k převratné události – pohlcená buňka nebyla strávena, ale zůstala uvnitř a začala se zde rozmnožovat. Takto vznikly nejprve mitochondrie a později chloroplasty



Prvok *Paulinella chromatophora* se sinicí

Buňka prvoka *Paramecium bursaria*

Zelená šipka ukazuje jednu ze symbiotických řas –
příklad recentní endosymbiosy

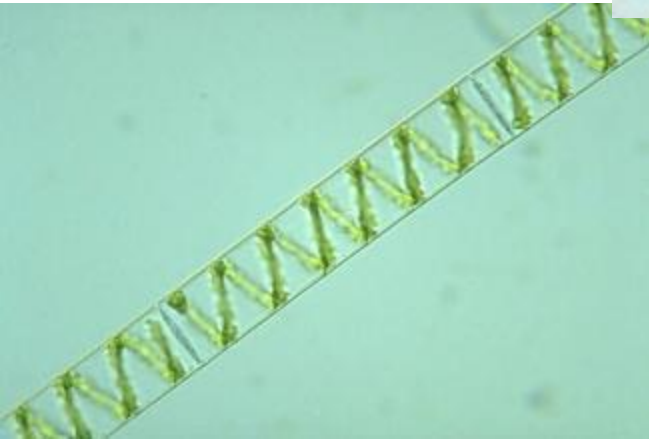
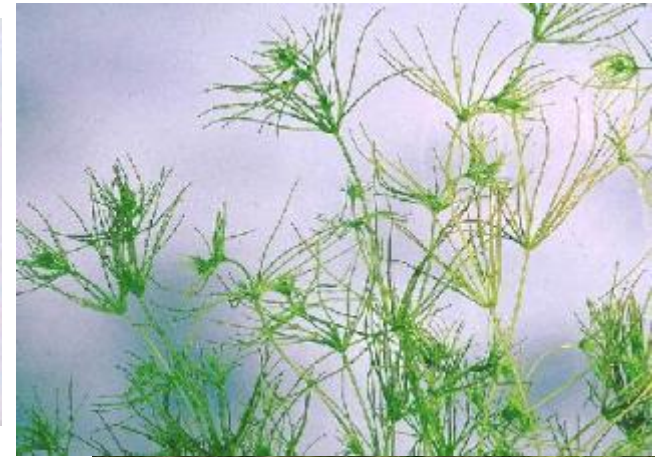
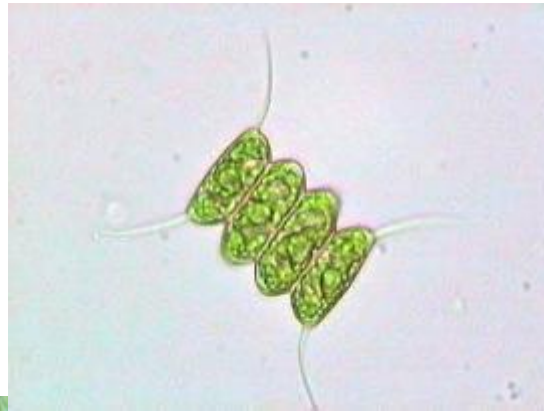
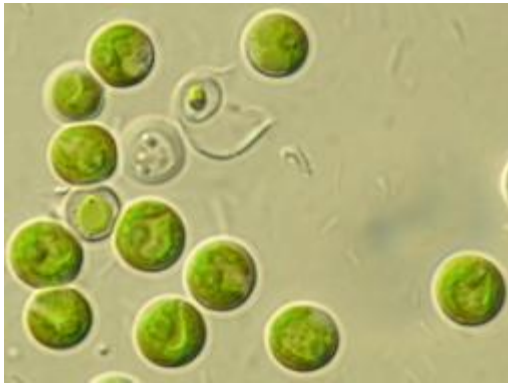


***Elysia chlorotica*, mořský měkkýš z pobřežních vod východního pobřeží
USA**

Tento měkkýš požírá mořské řasy a je schopen je inkorporovat do svých buněk a využívat pro výrobu organických sloučenin.

Hlavním přínosem eukaryotní buňky byla schopnost dokonalejšího členění jejího vnitřního prostoru membránami, včetně separace genetické informace, DNA, od cytoplasmy. To umožnilo lepší regulaci buněčných funkcí a lepší možnosti specializace buněk. Díky tomu se eukaryotní buňka mohla stát základem vzniku mnohobuněčných organismů, ve kterých se nacházejí různé, často velmi specializované, typy buněk.

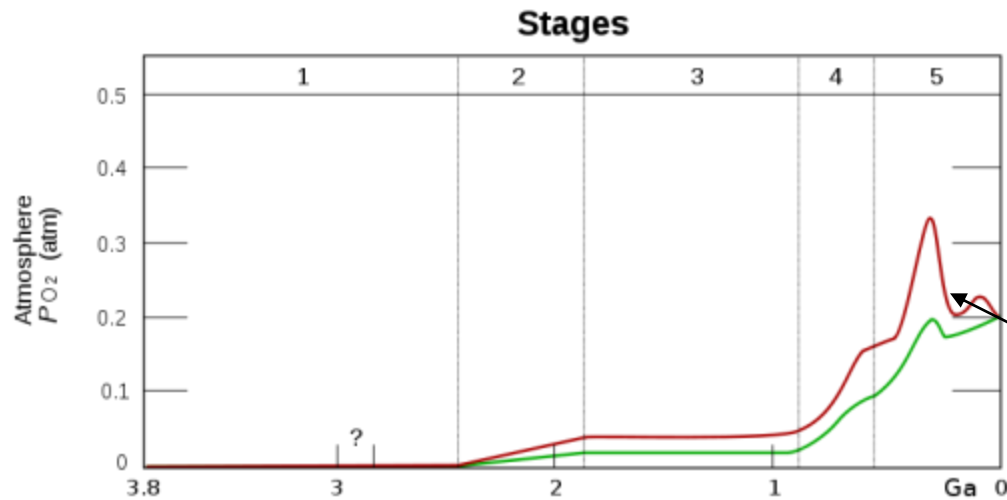
Zvyšování obsahu kyslíku také umožnilo vznik ozonové vrstvy a tím umožnilo přechod organismů na souš



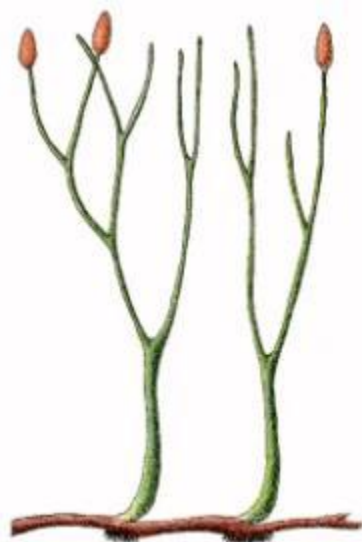
Cladophora sp. KÜTZING

Autor: Jeffrey R. Johansen, John Carroll University, Cleveland Heights, OH, USA

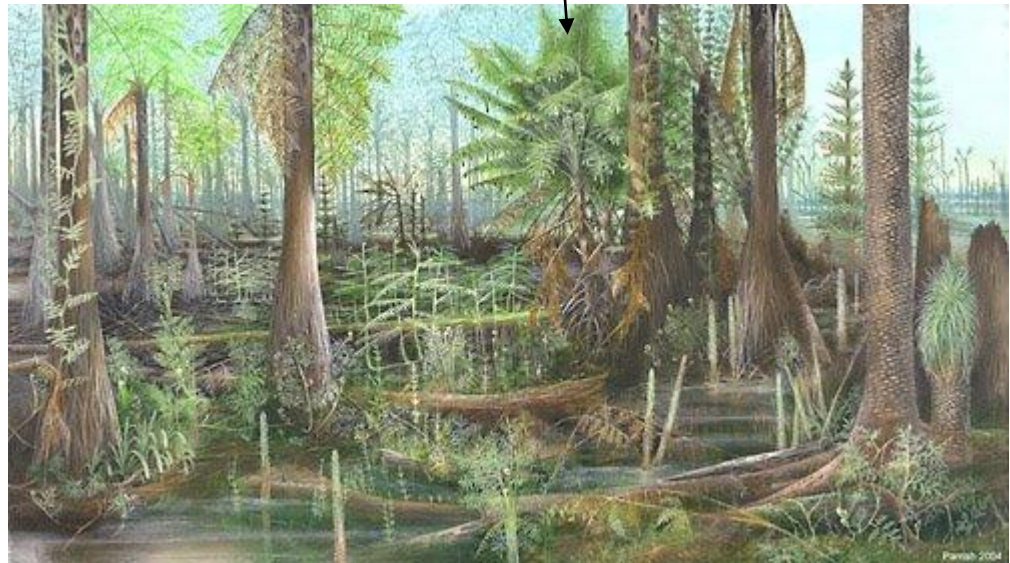
Pro postupné zvyšování obsahu kyslíku byl dále důležitý přechod rostlin na souš a její postupné osidlování. První suchozemské rostliny se objevily asi před 450 miliony let.

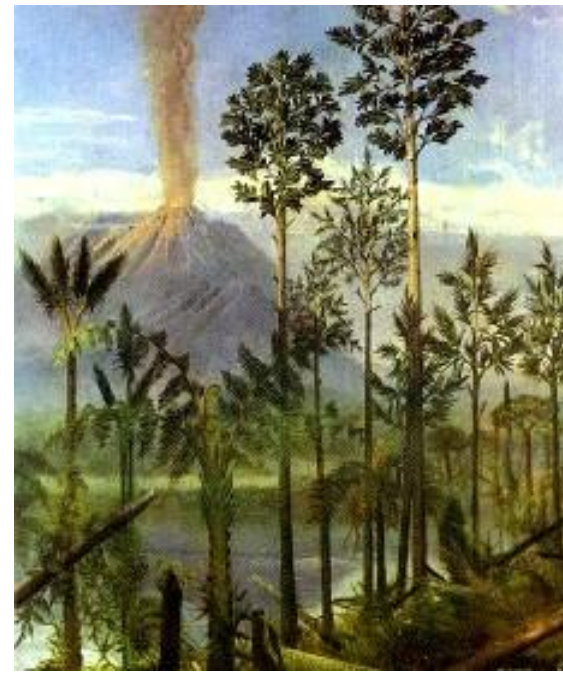


V období karbonu (před 360–300 miliony let) došlo k obrovskému rozvoji vegetace a k přechodnému zvýšení obsahu kyslíku.

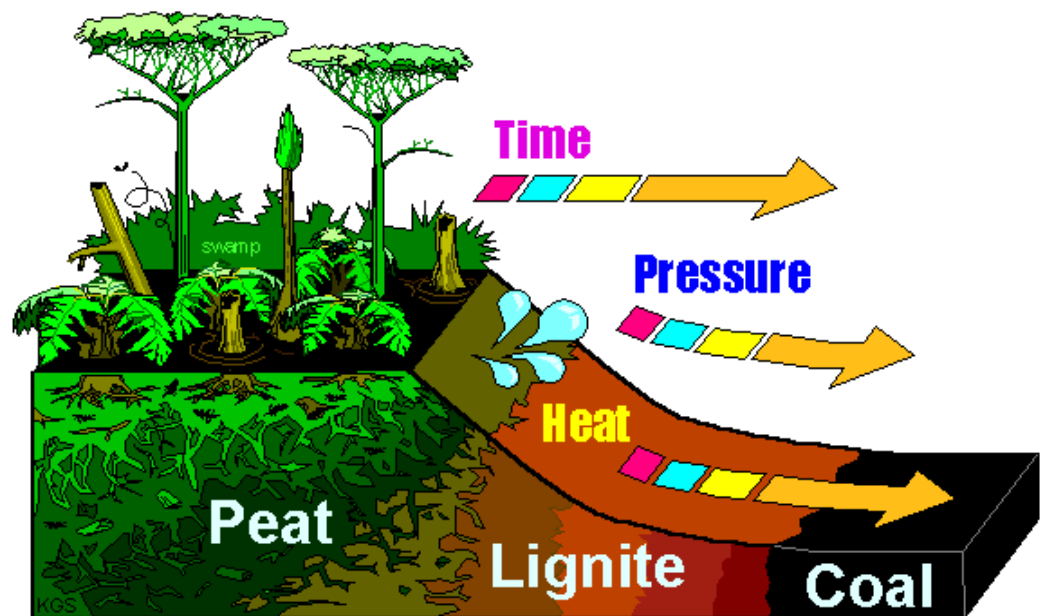


Rhynia – jedna z prvních doložených suchozemských rostlin z období před 400 miliony let





Uhlí vzniklo z živočišných a rostlinných zbytků, které se nacházely v bažinách. Za nedokonalého přístupu vzduchu ve vlhkém prostředí docházelo při vlhkém a teplém podnebí k trouchnivění. Rostliny ztrácely rostlinnou strukturu a stávaly se tmavší. Z rostlinných látek vznikla nejprve rašelina, po té po pokračujícím poklesu a zasypáním pískem a jílem uhlí. K tomu, aby se rašelina proměnila v uhlí, je potřeba její stlačení.

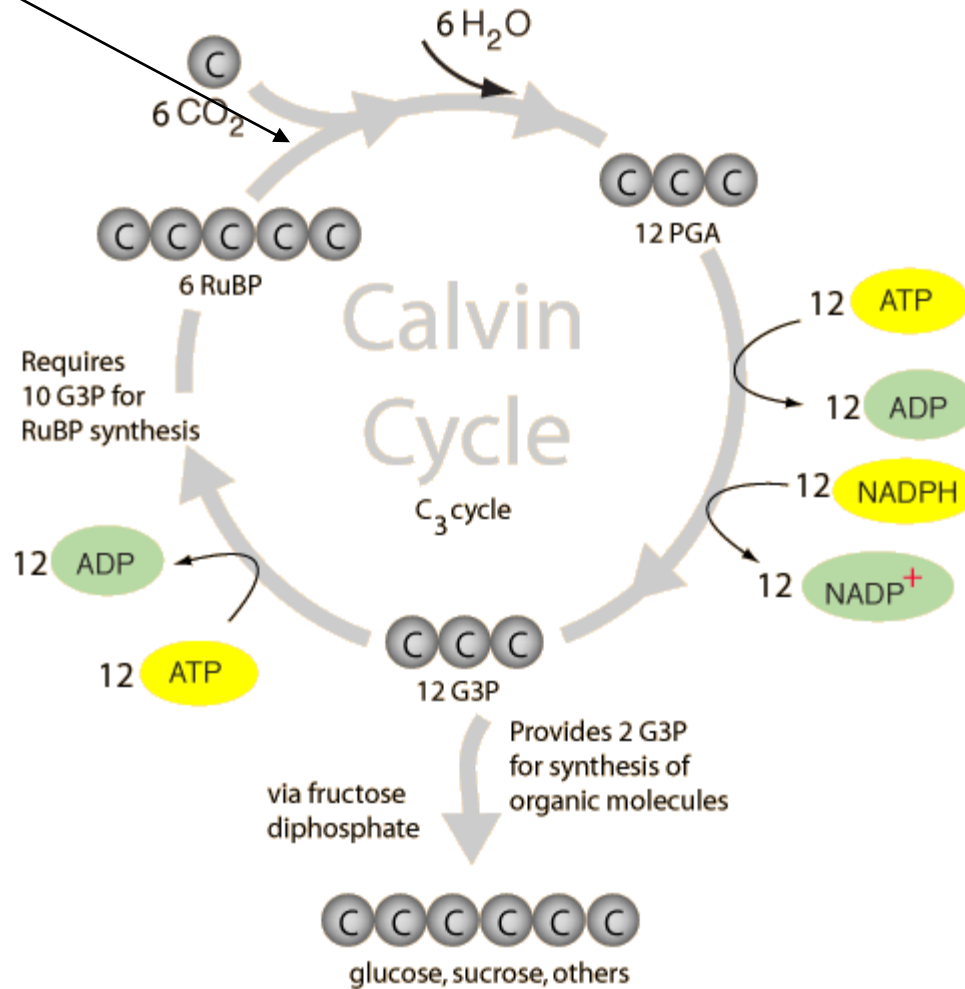


Rozmanitost dnešních organismů schopných fotosyntézy je výsledkem dlouhé evoluce trvající miliony nebo i miliardy let. Během této doby rostliny osídlily nejrůznější oblasti Země, oblasti s velmi různými podmínkami. Během té doby se různě vyvíjely životní funkce rostlin, včetně určitých změn v průběhu fotosyntézy. V některých případech tyto změny daly rostlinám větší šanci přežít v podmínkách, kde rostliny s původním typem fotosyntézy by přežívaly jen stěží.





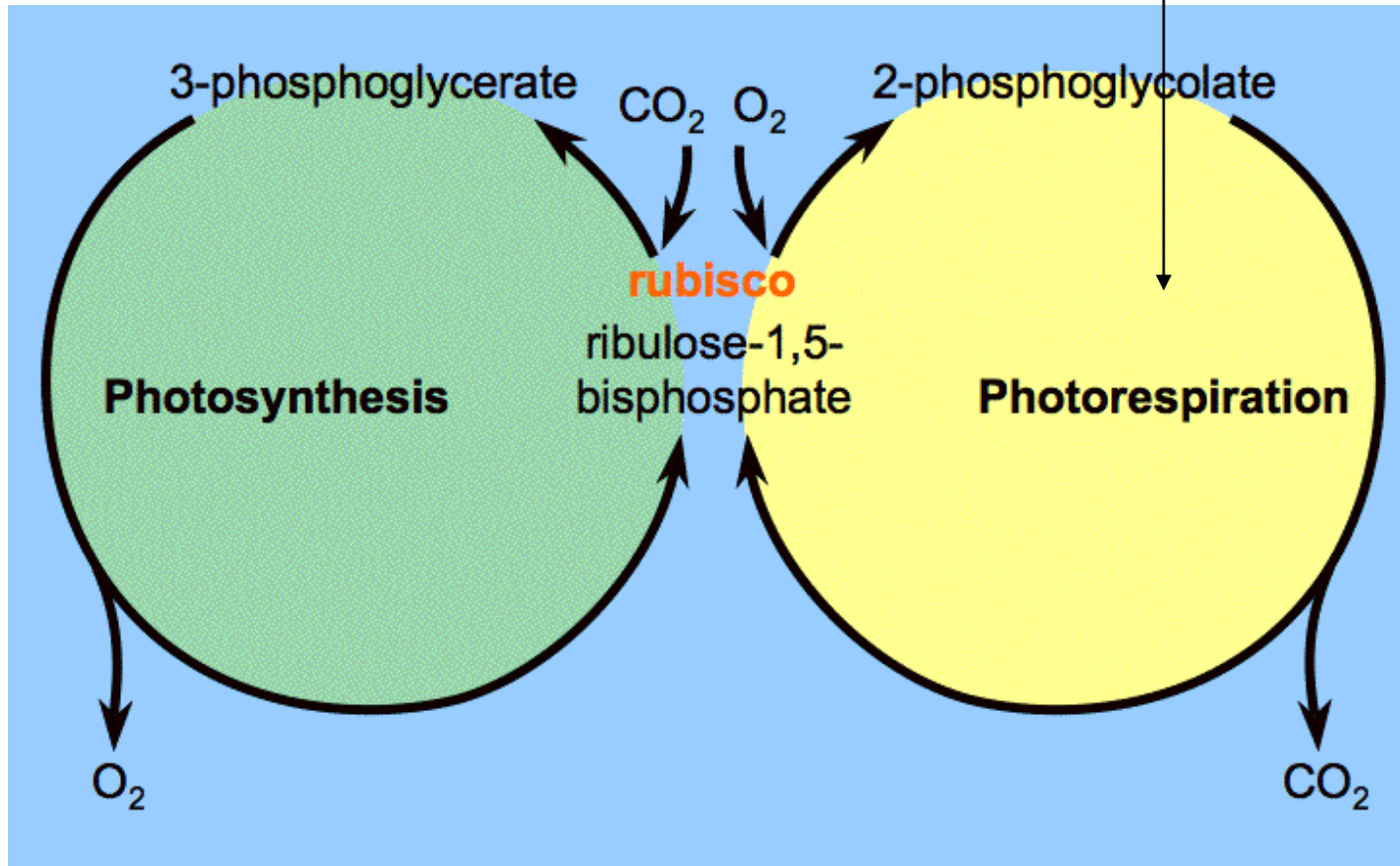
Co se během evoluce rostlin ukázalo jako problém, byly vlastnosti enzymu zvaného RUBISCO, který stojí na počátku Calvinova cyklu.



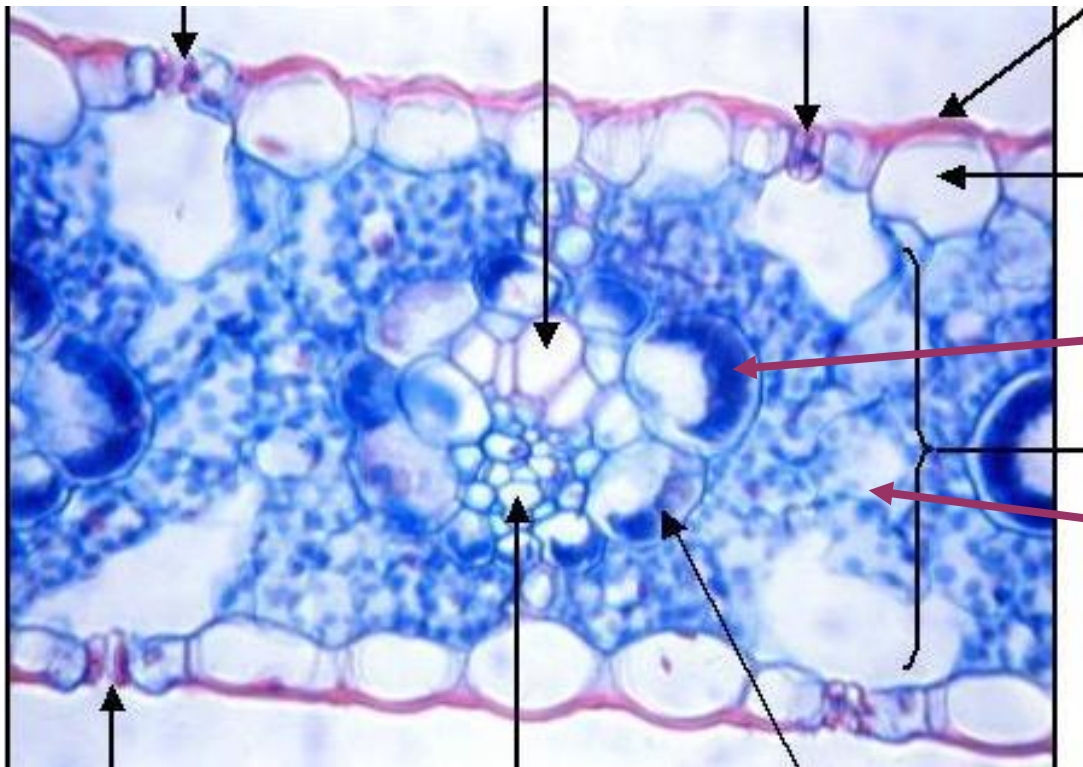
C3 fotosyntéza

Tento enzym se vyvinul v období, kdy v atmosféře byly zcela odlišné podmínky než dnes. Kyslík byl vzácný a oxidu uhličitého byl dostatek. V té době nebyl problém, že aktivní místo tohoto enzymu bylo schopno vázat oxid uhličitý i kyslík. V dnešní době to však problém je. Afinita Rubisco k CO₂ je sice podstatně větší než ke kyslíku, jenže v chloroplastech bývá mnohem vyšší koncentrace kyslíku než CO₂.

Pokud se na aktivní místo naváže kyslík, nastartuje se proces zvaný fotorespirace (fotorespirační cyklus oxidace uhlíku). Fotorespirace je proces, kdy se k pětiuhlíkatému skeletu na počátku Calvinova cyklu přidá kyslík místo oxidu uhličitého. Posléze dochází k rozkladu vzniklých sloučenin a k uvolnění oxidu uhličitého aniž by došlo ke vzniku ATP. Tím je snižována efektivita fotosyntézy.

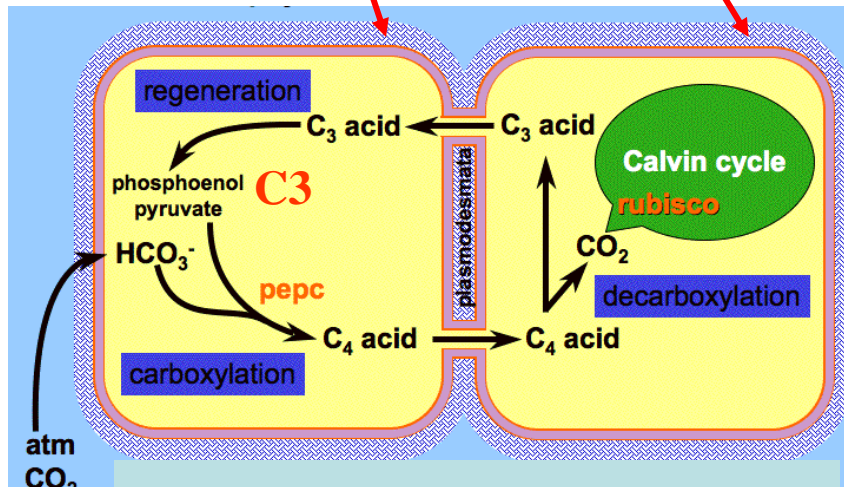
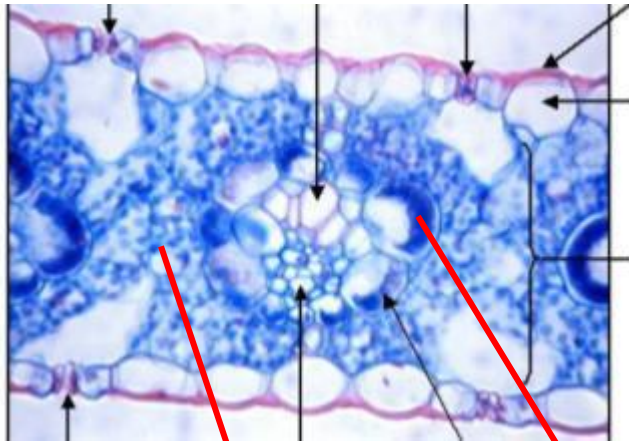


Za normálního složení volné atmosféry (21 objemových % O₂ a 0,038% CO₂), a při teplotě listu 25°C, jedna čtvrtina až jedna třetina primárního substrátu využitelného v Calvinově cyklu podléhá fotorespiračním procesům a tedy i ztrátám (uhlíku, energie). Fotorespirace tedy snižuje výkon fotosyntézy, ale u rostlin žijících v mnohých podmínkách prostředí nepředstavuje fatální problém. Problémem se stává u rostlin osidlujících oblasti s vysokou ozářeností, která se obvykle vyznačují i vysokými teplotami a nedostatkem vody. U těchto rostlin se vyvinuly mechanismy, které umožňují koncentrovat oxid uhličitý poblíž chloroplastů a vyloučit tak fotorespiraci. Vznikla tzv. C₄ fotosyntéza.



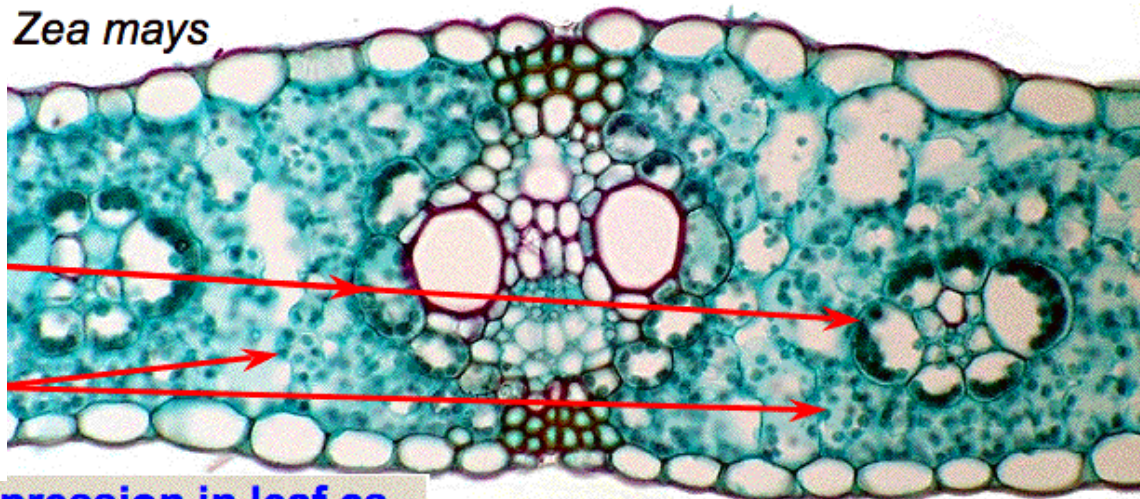
Rostliny s C₄ fotosyntézou mají specifickou stavbu listu. Kolem cévních svazků mají pochvu z buněk, které k sobě těsně přiléhají, mají silnější stěny, které jsou suberinizované. V těchto buňkách je mnoho velkých chloroplastů. Ostatní mesofylové buňky mají chloroplasty podstatně menší. Protože uspořádání buněk kolem cévních svazků připomíná věnec, označuje se anatomie takovýchto listů jako věnčitá anatomie

Jak probíhá C4 fotosyntéza?



Reakce procesu fotosyntézy jsou prostorově oddělené, probíhají ve dvou částech listu. Celý proces začíná v mesofylových buňkách, kde je CO_2 (přesněji HCO_3^-) připojen k tříuhlíkatému skeletu pomocí enzymu, který je specifický pro vazbu CO_2 . Vznikne produkt (kyselina) tvořený 4 uhlíky. Ten je skrze plasmodesmy transportován do buněk pochev cévních svazků, kde je uvolněn CO_2 . Ten se v buňkách hromadí ve vysokých koncentracích (asi téměř desetkrát více, než bývá v mesofylových buňkách C_3 rostlin!) Zvýšenou koncentrací CO_2 je téměř úplně potlačena fotorespirace. Tříuhlíkatá sloučenina se pak plasmodesmy vrací do mesofylových buněk. Celý mechanismus spotřebuje více ATP (je zapotřebí navíc v mesofylu na úpravu tříuhlíkatých sloučenin). C_4 fotosyntéza je tedy efektivní, není-li limitující množství světelné energie a je spíše nedostatečný přísun CO_2 do listu. Také za vyšší teploty, která zvyšuje u C_3 rostlin fotorespirační ztráty, je výhodnější cesta C_4 . Je proto pochopitelné, že nejvíce druhů rostlin s fixační cestou C_4 nacházíme v tropických a subtropických oblastech. C_4 rostliny také lépe hospodaří s vodou; spotřebují cca 300 molekul vody na jednu molekulu zabudovaného CO_2 , zatímco C_3 rostliny spotřebují až více než 800.

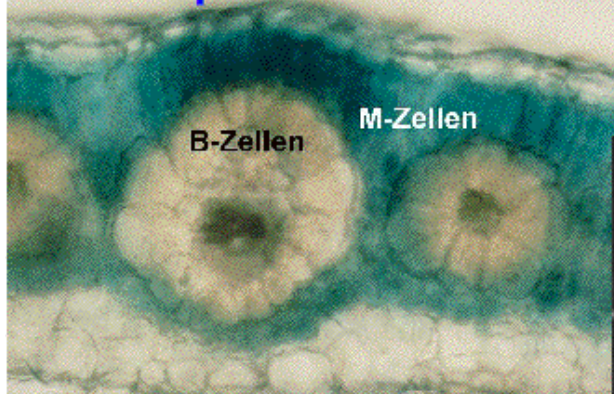
Zea mays



Buňky pochvy
cévního svazku

Buňky
mesofylu

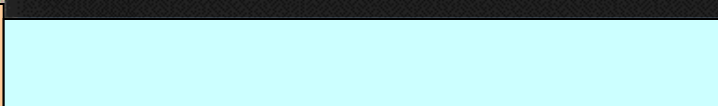
PEPc expression in leaf cs

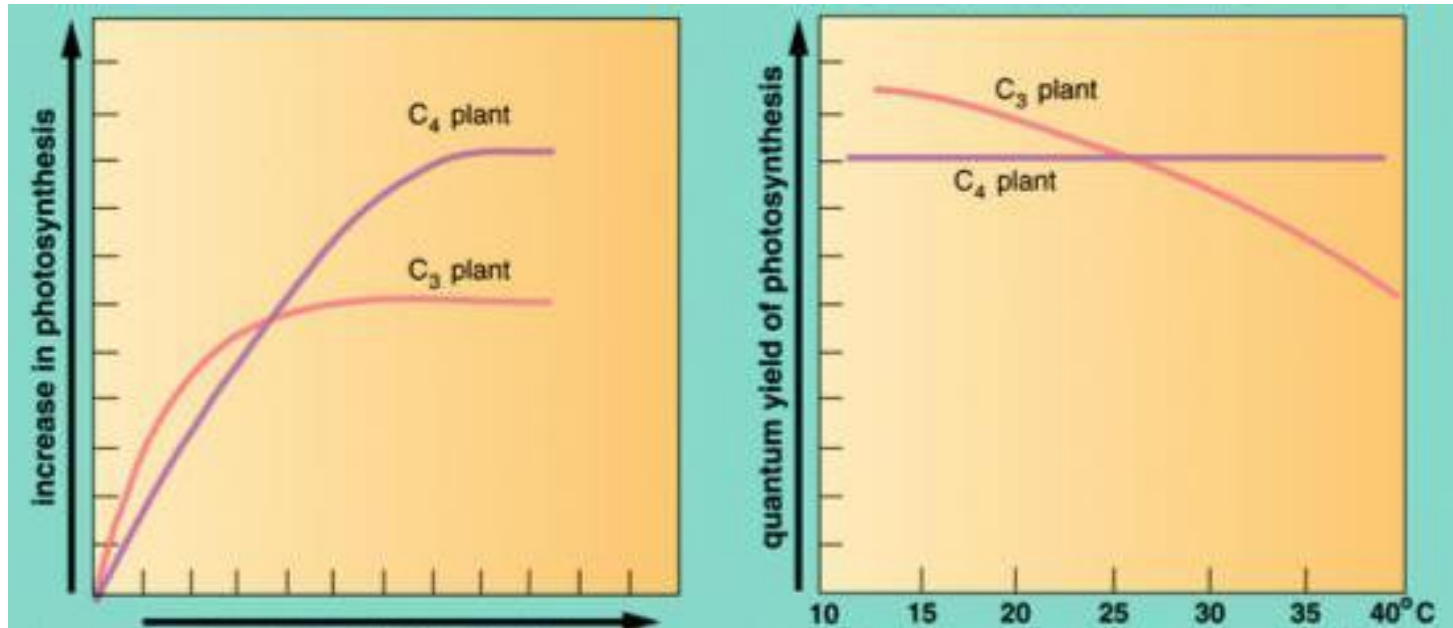


B-Zellen

M-Zellen

RubisCO expression in leaf cs





Světelná intenzita

Srovnání výkonu fotosyntézy u C₃ a C₄ rostlin v různých podmínkách osvětlení a teploty

Příklady C4 rostlin

kukuřice



proso



třtina cukrová

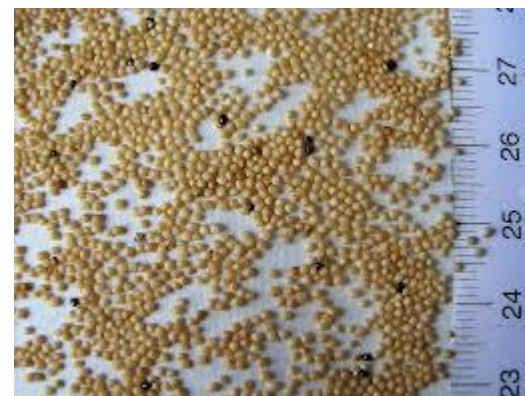


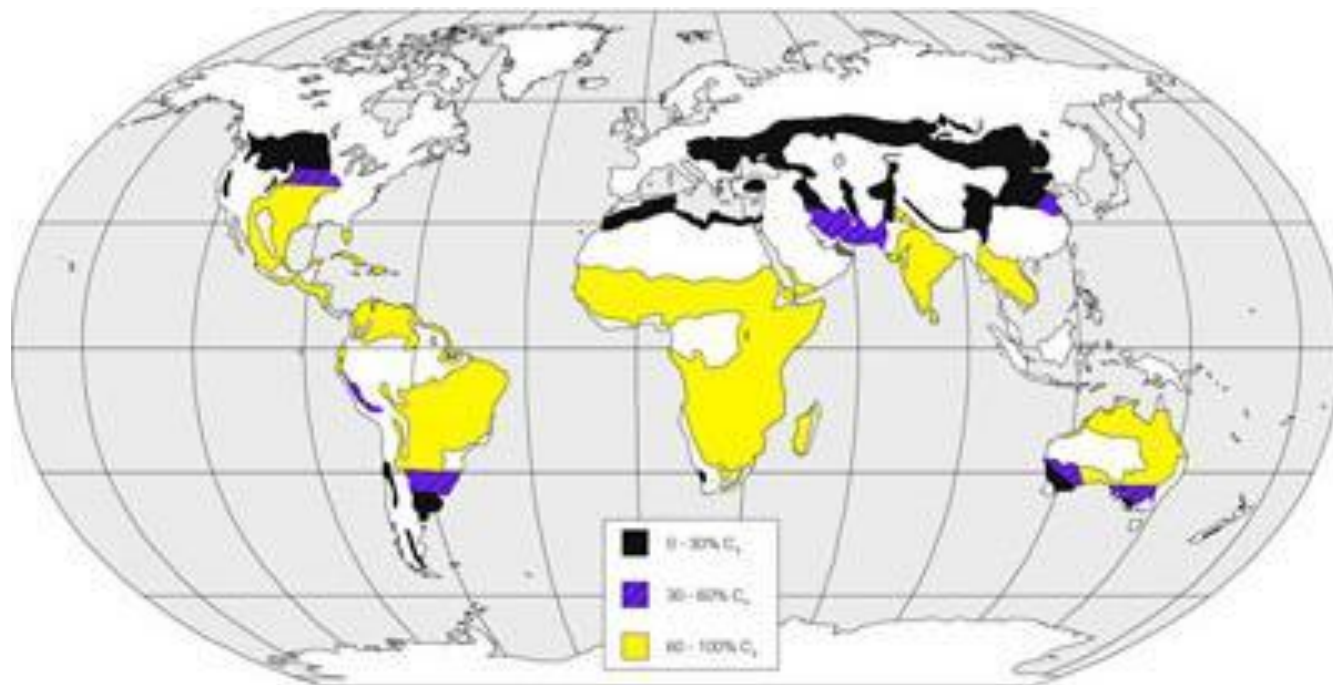


čirok



laskavec

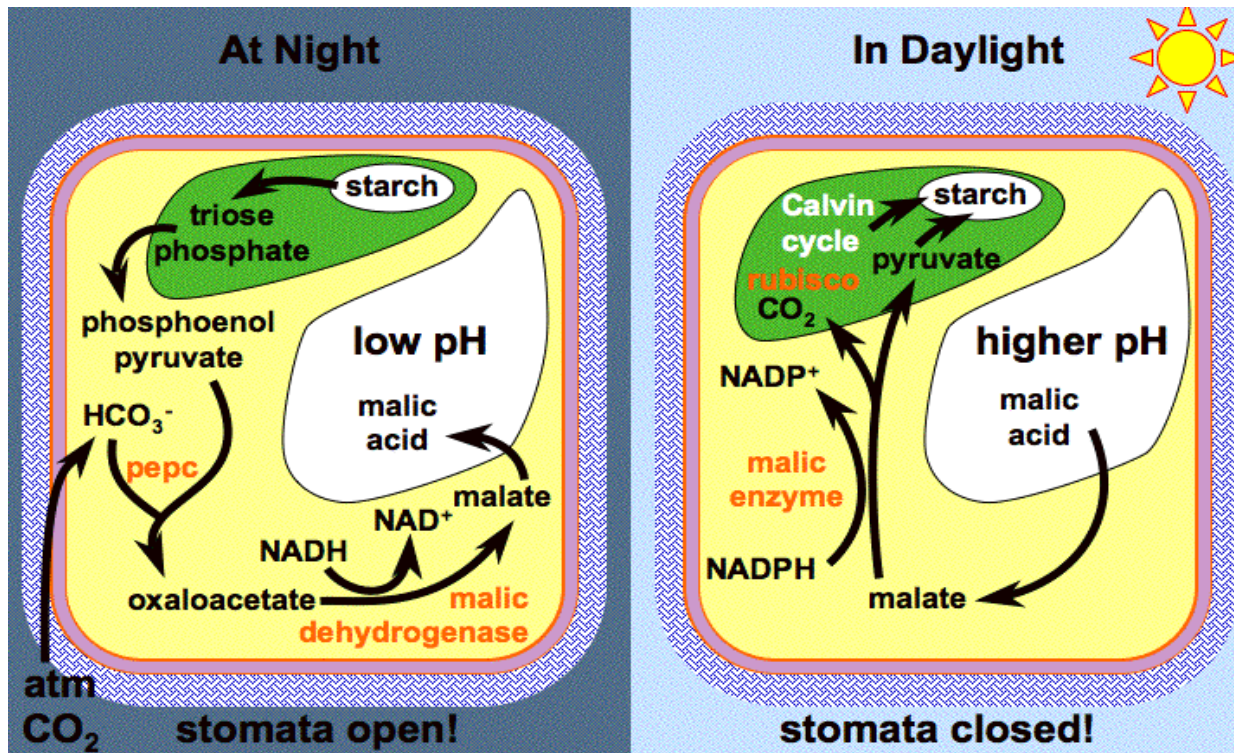




Rozšíření C₃ a C₄ trav

CAM fotosyntéza

CAM fotosyntéza probíhá podobně jako C4 fotosyntéza, avšak její reakce jsou oddělené nikoliv prostorově, ale časově. Je typická především pro rostliny z extrémně suchých stanovišť (pouště, stepi). U těchto rostlin jsou průduchy otevřené v noci, kdy je chladněji, je vyšší vzdušná vlhkost a ztráty vody transpirací nejsou velké. V noci vstupuje do listů oxid uhličitý a vzniká čtyřuhlíkatá kyselina jablečná. Ta se ukládá do vakuoly, což je spojeno s výrazným poklesem pH. Ve dne, kdy jsou průduchy zavřené, je kyselina jablečná transportována z vakuoly, uvolňuje se z ní oxid uhličitý, který je v chloroplastech zpracován v Calvinově cyklu. Ve dne je značná část cukrů uložena ve formě škrobu, který je pak v noci rozkládán a využíván na tvorbu tříuhlíkatých skeletů. Růstová rychlost rostlin suchých stanovišť s CAM fotosyntézou je velmi nízká; to je však kompenzováno možností přežít v extrémních podmínkách



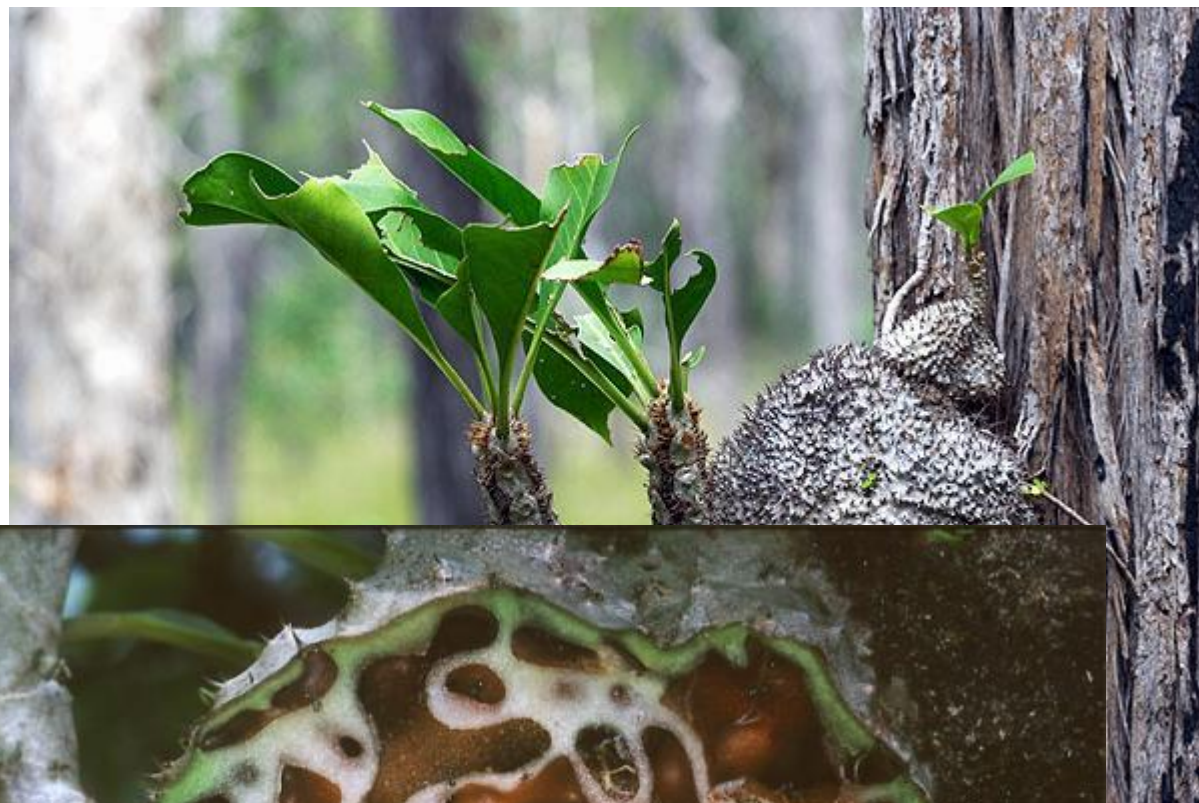
Příklady rostlin s CAM fotosyntézou





Welwitschia mirabilis





Myrmecodia je epifytická rostlina, žijící v symbióse s mravenci. Žije v jihovýchodní Asii, Oceánii a Austrálii.





Parožnatka (*Platycerium*) patří mezi kapradiny



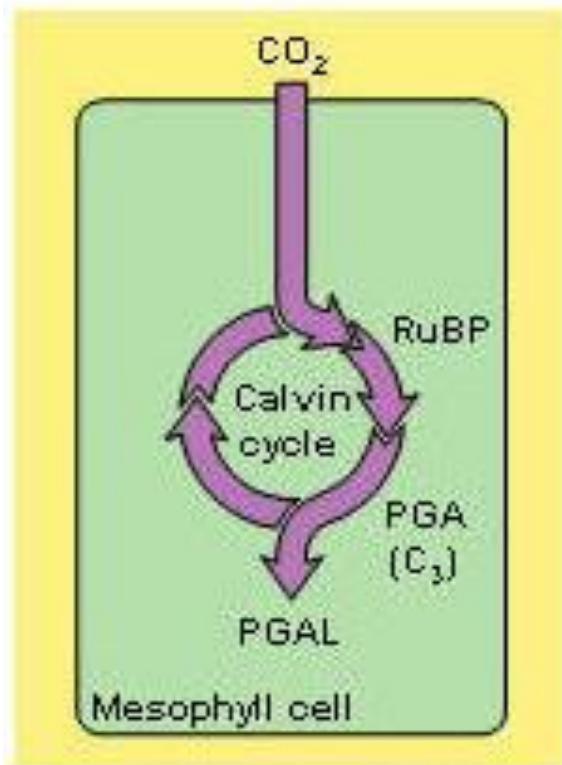
***Mesembryanthemum crystallinum* (kosomec)**

Patří mezi rostlinné druhy, které mají schopnost CAM fotosyntézy, ale značnou část svého života ji vůbec nevyužívají a asimilují k nerozeznání stejně jako běžné C3 rostliny. Možnost přechodu z fixační cesty C3 na CAM jim však umožňuje používat fixační cestu CAM za takových podmínek, kdy je to výhodnější (např. při nedostatku vody nebo v zasolení). To tedy znamená, že mají možnost dokonale přizpůsobovat svůj metabolismus kolísání faktorů vnějšího prostředí. Je poučné sledovat, za jakých podmínek využívají tyto druhy fixační cestu CAM, neboť z toho můžeme dedukovat, jaké vnější tlaky vlastně vedly k jejímu vzniku.

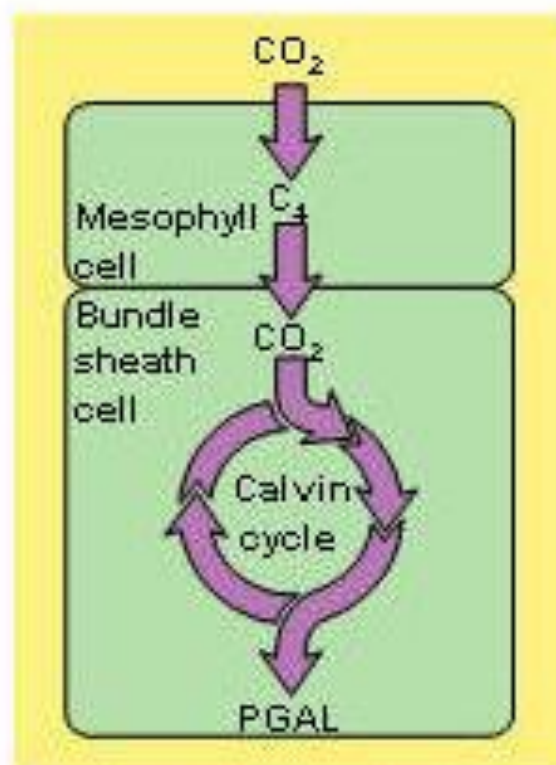


Vallisneria

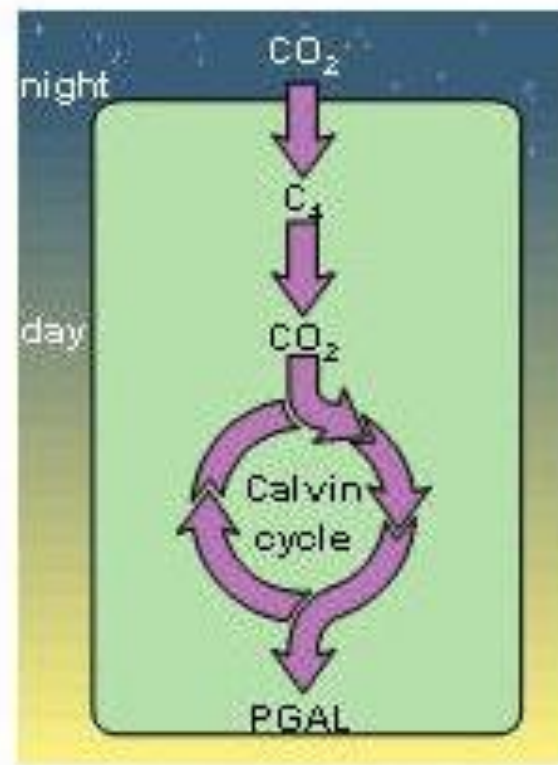
CAM fotosyntéza byla nalezena i u řady submersních vodních rostlin. Jak je to možné? Za dne je oxid uhličitý rozpuštěný ve vodě rychle spotřebován; přísun nového není dostatečný, neboť jeho rychlost difuze vodou je velmi pomalá (asi 10 000krát pomalejší než ve vzduchu). V noci, kdy není oxid uhličitý spotřebováván při fotosyntéze (a je i produkován dýcháním rostlin i živočichů) jej rostliny ukládají do rezervy v kyselině jablečné, kterou pak využívají za dne.



CO₂ fixation in a C₃ plant



CO₂ fixation in a C₄ plant



CO₂ fixation in a CAM plant