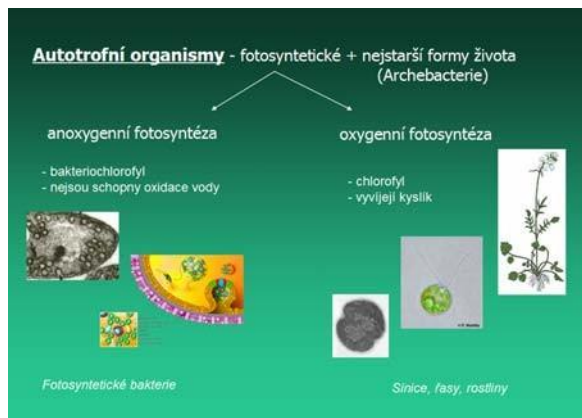


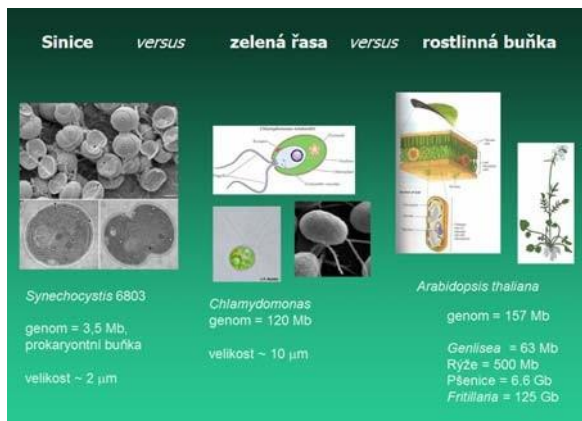
Úvod do biologie rostlinné buňky – fotosyntéza

Roman Sobotka



Autotrofní organismy mají metabolismus schopný produkovat dostatek energie a všechny potřebné sloučeniny nutné pro život pouze z anorganických (minerálních) látek. Nejsou tedy závislé na konzumaci produkce jiných organismů. Opakem je **heterotrofní** metabolismus.

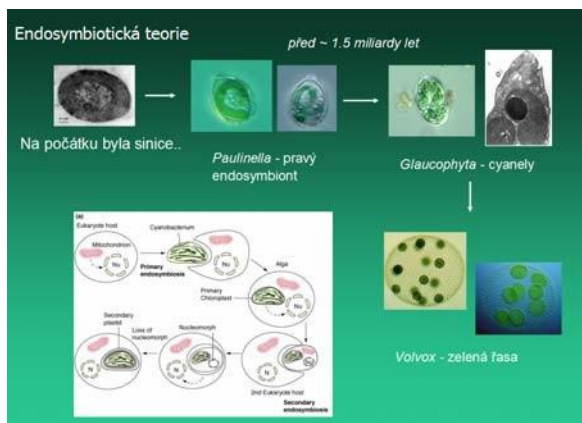
Fotosyntetické (**fotoautotrofní**) organismy využívají - „konzumují“ energii světelného záření. Při **anoxygenní** fotosyntéze (např. sírné bakterie) se energie světla použije na produkci ATP, nicméně nedochází k odebrání elektronů z vody → k rozkladu vody na kyslík a vodíkové protony. Při **oxygenní** fotosyntéze (sinice, řasy, rostliny) je voda zdrojem elektronů využitých dále v metabolismu a kyslík je uvolňován jako odpad.



Sinice jsou bakterie, které získaly schopnost oxygenní fotosyntézy. Oproti jiným bakteriím obsahují specializovaný vnitřní membránový systém – tylakoidy.

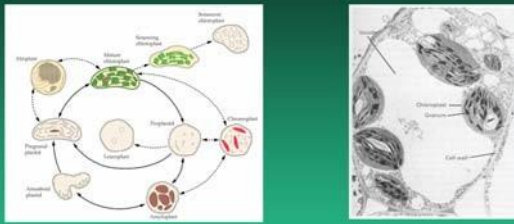
Řasy jsou eukaryotní buňky obsahující chloroplast. Vznik řas se vysvětluje pomocí endosymbiotické teorie (viz. dále). Rozpoznáváme celou řadu typů řas podle obsahu fotosyntetických pigmentů (zelené řasy, rozsivky, ruduchy..).

Rostliny jsou mnohobuněčné organismy vyvinuté ze zelených řas a přizpůsobené k životu na souši.



Původ chloroplastu a tedy eukaryotních fotosyntetických organismů (řas a rostlin) se vysvětluje pomocí **endosymbiotické teorie**. Před ~1,5 miliardy let došlo ke splynutí eukaryotní **heterotrofní** buňky a sinice. Tato sinice byla v průběhu evoluce modifikována na chloroplast.

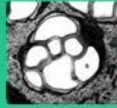
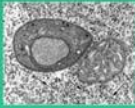
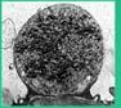
Plastidy - varianty jediné organely



chromoplast

protoplastid

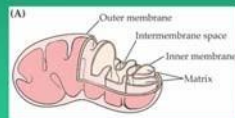
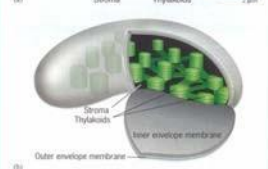
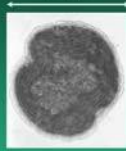
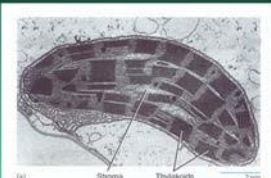
amyloplast



Chloroplast

Sinice (*Synechocystis* 6803)

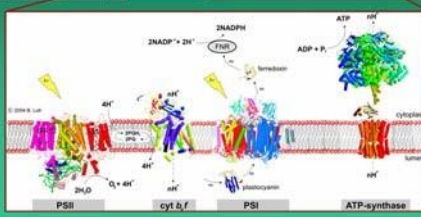
~ 2 μm



Mitochondrie

Chloroplast je buněčná organela, kde probíhá fotosyntéza. Jedná se o modifikovanou buňku sinice. Chloroplast se skládá ze tří membrán – uzavřených váčků. Dvě vnější membrány tvoří obal chloroplastu a uvnitř je další, složitě poskládaná tylakoidní membrána. Prostor mezi obalem chloroplastu a tylakoidní membránou se nazývá **stroma**, prostor uvnitř tylakoidní membrány je **lumen**.

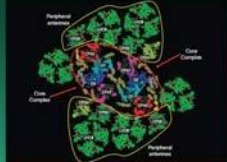
Photosyntetické komplexy



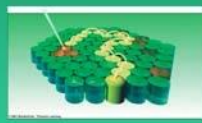
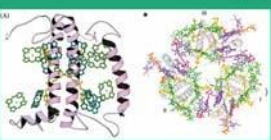
Na tylakoidní membráně jsou lokalizované proteinové komplexy zajišťující pohlcení a zpracování energie světla. Jedná se o **fotosystém 1 a 2, cytochrom b6f a ATP-syntázu**.

Útvary zvané **grana** jsou tvořené poskládáním tylakoidní membrány. Silou, která drží grana pohromadě je pravděpodobně interakce – agregace fotosystému 2 a světlosběrných antén mezi záhyby tylakoidní membrány.

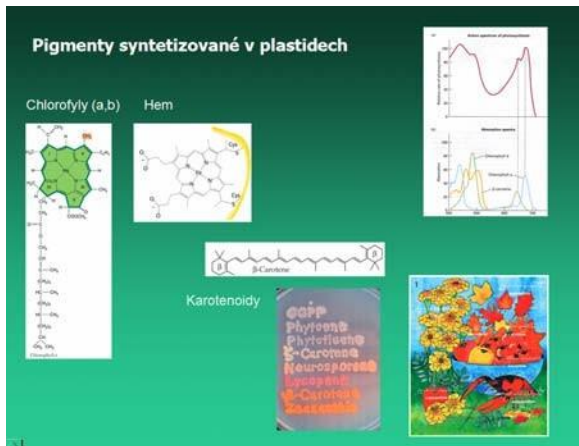
Světlosběrné antény



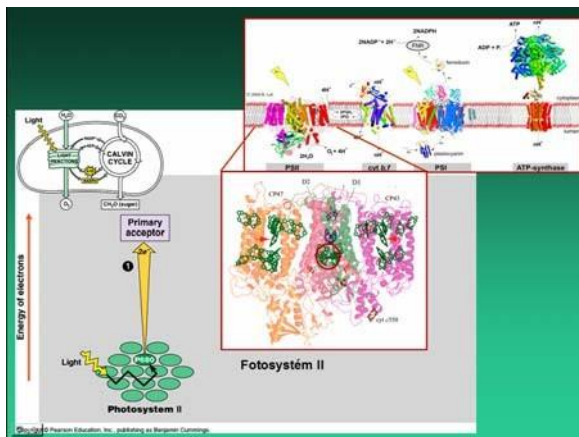
Světlosběrné antény (LHC)



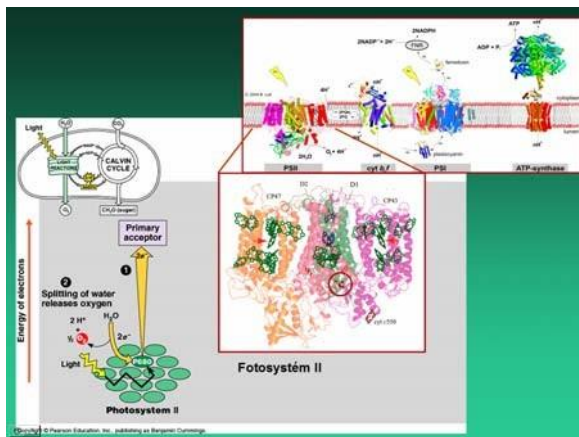
Energii světla je nutné zachytit a dopravit do reakčních center fotosystémů. U rostlin a zelených řas k tomu účelu slouží **světlosběrné antény** – proteinové komplexy, které obsahují množství molekul chlorofylu a karotenoidů (viz. dále). Světlosběrné antény obklopují fotosystémy a energie fotonu absorbovaná chlorofylem v anténě je přenesena do reakčního centra fotosystému.



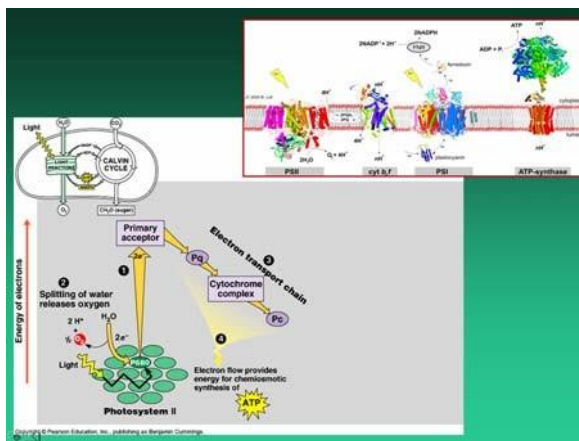
Přímo v chloroplastu jsou syntetizované tři klíčové pigmenty nutné pro fotosyntézu – **chlorofyl**, **hem** a **karotenoidy**. Chlorofyl je tetrapyrrol a absorbuje světlo modré a červené barvy; je součástí jak světlosběrných antén, tak obou fotosystémů. Hem je také tetrapyrrol a je součástí cytochromu b6f – komplexu, který je nezbytný pro přenos elektronů během fotosyntézy. Karotenoidy částečně pohlcují světlo dále využitelné pro fotosyntézu, ale mají především ochrannou roli – při nadbytku světelného záření dokáží přebírat energii z chlorofylů a tím zabránit vzniku kyslíkových radikálů ničících buňku.



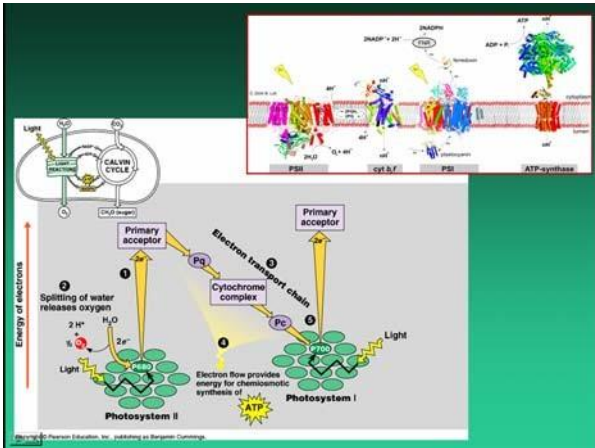
Fotosyntéza je proces přeměny molekul vody a CO₂ na energeticky bohaté organické látky. Prvním krokem při fotosyntéze je navedení energie fotonu do reakčního centra fotosystému 2, které je tvořené dvojicí chlorofylů. Po absorpci energie je elektron v jednom z chlorofylů natolik excitován (“vyražen” z chlorofylu), že je zachycen blízce postavenou molekulou feofytinu (chlorofyl postrádající hořčík). Tento elektron je pak dále přenášen v elektronovém řetězci (viz. dále).



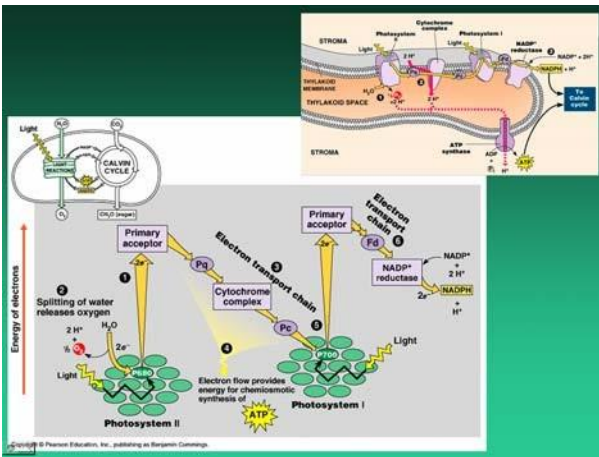
Chybějící elektron v reakčním centru fotosystému 2 je doplněn z molekuly vody. Ztrátou elektronu z vody odpadne jeden vodík ve formě H⁺ -> protonu. Odebráním 4 elektronů z vody se nakonec uvolní molekula O₂.



Zachycený elektron je transportován systémem přenašečů v tzv. fotosyntetickém elektronovém řetězci. Z fotosystému 2 je přenesen na cytochrom b6f pomocí molekuly plastochinonu. Cytochrom využije energii elektronu na transport protonů ze stromatu do vnitřního prostoru tylakoidní membrány – lumenu. Tím vzniká gradient protonů na membráně, tedy rozdíl v pH ve stromatu a lumenu. Tato ‘forma energie’ je využita enzymem ATP syntázou na produkci ATP.

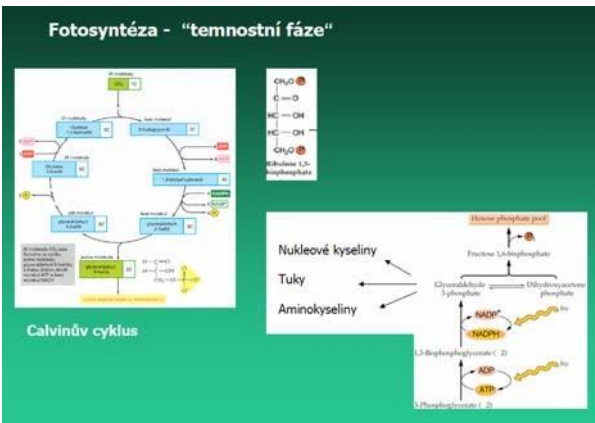


Elektron, který již ztratil část své energie, je přenesen z cytochromu b6f na fotosytém 1 pomocí proteinu plastocyaninu. Zde doplní prázdné místo po elektronu, který je energií dalšího fotonu "vyražen" z reakčního centra fotosystému 1. Donorem tohoto elektronu je podobně jako v případě fotosystému 2 dvojice chlorofylů.

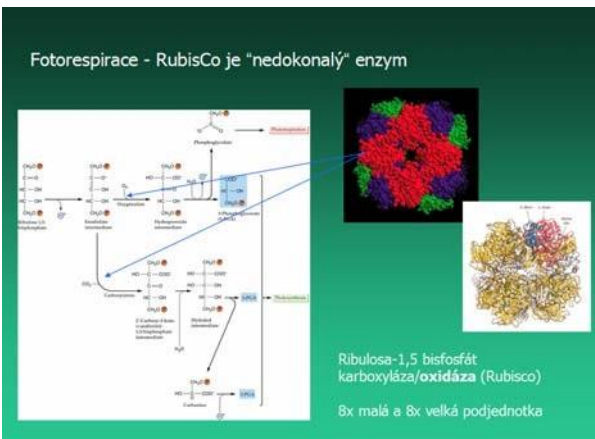


V posledním kroku je elektron přenesen z fotosystému 1 na enzym NADP+ reduktázu, který produkuje NADPH -> donor elektronů nutný v Calvinově cyklu pro pro fixaci CO₂.

Na základě rozdílu v pH ve stromatu a v lumenu (výsledek přenosů protoů na cytochromu b6f) je produkováno ATP enzymem ATP syntázou. ATP je také vyžadováno pro Calvinův cyklus.



NADPH a ATP produkované na fotosyntetických komplexech jsou využito pro zabudování CO₂ do organické molekuly ribulosity-1,5 bisfosfátu v Calvinově cyklu. Výsledkem jsou v ideálním případě dvě molekuly glyceraldehyd-3-fosfátu, stavebního kamene buňky pro syntézu ostatních komponent jako jsou nukleové kyseliny, tuky a aminokyseliny.



Vložení molekuly CO₂ do ribulosity-1,5 bisfosfátu katalyzuje enzym RubisCo. Nicméně afinita RubisCo k CO₂ není příliš vysoká a s určitou frekvencí dojde k chybnému vložení molekuly kyslíku místo CO₂. Tato chyba vede k produkci dvojhílkové sloučeniny fosfoglykolátu, který musí být komplikovaným způsobem odbouráván. Tento proces se nazývá **fotorespirace** a metabolická dráha odbourání fosfoglykolátu probíhá kromě chloroplastu také v **peroxizómu** a mitochondrii