

Však to znáte. Společenský sál, kde se mísí manažerský a politický výkvět města, povinná konverzace, strojený nebo opravdový zájem o to, co děláte, čím se živíte... Fotosyntéza?... Aha, ... jo rostliny! A co to je? Co se na tom dá zkoumat? K čemu to je dobré? Každý jsme tak trochu expertem přes svůj dvorek, ale přece jen – neměl by proces, který je na Zemi přítomen řekněme 3,5 miliardy let a vše živé včetně člověka na něm existenčně závisí, vejít víc ve všeobecnou povědomost? / Střih. Studenti přírodovědecké fakulty přicházejí na praktická cvičení z biologie (fyziologie) rostlin. Bio-

chemie, biofyzika, základy matematiky – to vše, mezi biology většinou velmi nepopulární, se tu prolíná do výzkumu a měření fotosyntézy.

Motivací pro sérii článků v tomto čísle *Živy* byla proto snaha zvýšit povědomí o fotosyntéze i zkusit nabídnout srozumitelně podané povídání, jak se zkoumá. Články sepsali autoři, kteří většinu profesního života zasvětili některému z aspektů studia fotosyntézy ať v ústavech Akademie věd ČR, nebo na univerzitách, mají zkušenosti s obdobným výzkumem v cizině a čas to přizvali ke spolupráci své studenty.

O fotosyntéze, procesu přeměny světelné energie do energie chemických vazeb až po syntézu jednoduchých cukrů v živých organismech, si zatím myslíme, že je jedinečně spojený s naší planetou. Je zde pojata v široké časové i prostorové škále: od miliard let její evoluce po děje rychlejší než miliontiny sekundy při přenosu energie ve světlosběrných anténách, od procesů na subbuněčné úrovni přes ekosystémy až po globální rozměry. V závěru je analyzováno, jaké šance přináší její poznání pro zvyšování výnosu plodin. Výlet do „odlišných světů“ pak představují dva články o začleňování funkčních chloroplastů do živočišných buněk. Vybrané odborné termíny jsou vysvětleny ve slovníku na str. 172 a CXXIV.

Přejeme inspirativní čtení.
Jiří Šantrůček a redakce *Živy*

Roman Sobotka, Josef Komenda

Evoluční historie fotosyntézy

Oblíbenou kratochvílí přírodovědců je snaha uhádnout, jakými cestami se vyvíjel život na naší planetě. Podobně jako při studiu dějin lidských civilizací, čím postupujeme hlouběji do evoluční historie života, tím dobových záznamů ubývá. Přímých důkazů o nejstarších, bakteriálních formách života je k dispozici nicotně málo. Naštěstí se nabízí všudypřítomný historický záznam, uchovaný v genomu každé buňky. Pomocí sofistikovaných nástrojů fylogenetiky můžeme luštit pradávne události v rozmanitosti genů, které prodělaly miliardy let selekčního tlaku. Ačkoli si již nelze nijak ověřit, že naše modely neklamou, některé výsledky mohou být natolik přesvědčivé, že o nich odborná veřejnost fakticky nepochybuje. Jako příklad lze uvést předpokládaný přerod prokaryotních buněk žijících uvnitř hostitelské buňky na mitochondrie a chloroplasty. Evoluční původ fotosyntézy je ale velmi zapeklitá otázka, která nás vrací do raných dob planety Země (viz též str. 166–169) a fylogenetika jasnou odpověď nenabízí. Do tohoto bádání v poslední době výrazně promlouvá strukturní biologie, umožňující porovnat atomární struktury fotosyntetických proteinových komplexů.

Složité soukolí oxygenní fotosyntézy

Fotosyntéza je soubor biochemických reakcí, které umožňují buňkám zachytávat a využívat energii fotonů pro svůj metabolismus. Ačkoli se mechanismus fotosyntézy jeví velmi složitý, jsou dobré důvody se domnívat, že se schopnost buněk fotosyntetizovat objevila velmi záhy po samotném vzniku života. Učebnicově se fotosyntéza dělí na část probíhající na světle, kdy se energie slunečního záření využívá pro tvorbu několika jednoduchých energeticky bohatých látek, a na část na světle nezávislou, při níž se tyto látky využívají v kaskádě reakcí k syntéze složitějších organických molekul typu cukrů. V tomto článku budeme výraz fotosyntéza zjednodušeně používat pro děje probíhající na světle. Naší planetě již nejméně dvě miliardy let dominuje forma fotosyntézy, která se nazývá oxygenní a kterou původně provozovaly pouze sinice (cyanobakterie). Teprve později se

k nim přidaly řasy a vyšší rostliny, poté co se jim podařil zmíněný přerod endosymbiotické bakteriální buňky na chloroplasty. Tyto organismy obsahují složitý fotosyntetický aparát, který dokáže využívat světelnou energii ke štěpení molekul vody, přičemž se uvolňuje kyslík jako odpadní produkt. Oxygenní čili kyslík vyvíjející fotosyntéza dominuje také učebním textům, je to ta „fotosyntéza“, co se učí ve škole. Ve světě bakterií lze však nalézt různé jiné (anoxygenní) formy fotosyntézy, při kterých se voda neštěpí a které si vystačí s jednodušším molekulárním aparátem. Na základě přímocharé úvahy, že složitě vzniká z jednoduššího základu a planeta bez kyslíku zde byla dříve než ta s kyslíkem, byla existující anoxygenní fotosyntéza po desetiletí považována za evolučně starší. Moderní metody strukturní biologie ale zažitou představu evoluce fotosyntézy otáčejí naruby.

Na úvod je nutné vysvětlit, jak oxygenní a anoxygenní formy fotosyntézy vlastně fungují. Bohužel málokterá oblast biologie působí na veřejnost tak komplikovaným dojmem jako buněčná bioenergetika a fotosyntéza obzvláště. Proto se v dalším textu pokusíme vyvarovat záplavy odborných termínů a mnohé zjednodušíme na naprosté minimum. Platí jedno univerzální pravidlo – aby byla buňka schopna pohánět buněčný metabolismus pouze pomocí fotosyntézy, musí umět přetavit energii fotonů na produkci dvou „energeticky bohatých“ molekul. První je adenosintrifosfát (ATP), který slouží jako univerzální buněčné palivo využívané pro pohon různých typů reakcí katalyzovaných enzymy včetně výroby proteinů a nukleových kyselin. Druhou klíčovou molekulou vznikající na světle je nikotinamidadenindinukleotidfosfát (NADPH), jenž představuje zase univerzální redukční činidlo buňky, poskytující elektrony pro přeměnu jednoduchých anorganických látek, jako je oxid uhličitý (CO_2), na složité (redukované), a tedy i energeticky bohaté organické molekuly. ATP je vyráběn membránovým bílkovinným katalyzátorem (enzymem) nazývaným ATP syntáza, kterou pohání rozdíl v kyselosti (pH) na vnější a vnitřní straně fotosyntetické membrány. Zjednodušeně mluvíme o „protonovém gradientu“, ačkoli nejde o gradient, ale o prostý rozdíl v koncentraci, a to nikoli protonů, ale hydroxoniových iontů H_3O^+ . Pokud buňka dokáže přeměnit energii světla na energii uloženou v tomto protonovém gradientu, má z poloviny vyhráno. Vyrobit NADPH může být složitější, protože to vyžaduje vytvořit C-H vazbu a k tomu je třeba energeticky bohatý elektron, který se musí v procesu fotosyntetických reakcí doslova vytrhnout z jiných molekul.

Organismy schopné vytěžít energii fotonů natolik, aby produkovaly dostatek ATP a NADPH pro svůj metabolismus, a tedy i růst a rozmnožování, se nazývají fotoautotrofní, ovšem ne každá fotosyntetická buňka je nutně fotoautotrofní. Určité formy fotosyntézy jsou tak jednoduché, že svým provozem buňce pouze vypomáhají např. s produkcí ATP, ale buňka se musí poohlédnout i po jiné „potravě“. Oxygenní fototrofové to však zvládají brilantně. Základem jejich metabolismu jsou dva další složité enzymy zvané fotosystémy I (FS I) a II (FS II),