

Fotosyntéza – proces, který přinesl život, a nástroje umožňující ji lépe pochopit

Fotosyntéza je klíčový biologický proces, bez kterého by na Zemi nevznikl život tak, jak ho známe. Tento článek vás provede poutavým příběhem od vzniku Sluneční soustavy až po okamžik, kdy se objevily první organismy schopné přeměňovat sluneční světlo na chemickou energii. Právě díky nim se do atmosféry začal uvolňovat kyslík a postupně vznikaly podmínky pro život složitějších tvorů – včetně nás. Přinášíme také stručný pohled na to, jak lidé objevovali princip fotosyntézy – od prvních filozofických úvah až po moderní vědecké metody. Dnes už umíme sledovat průběh fotosyntézy velmi přesně a hlavně neinvazivně, např. pomocí chlorofylové fluorescence, která odhalí, jak efektivně rostlina využívá světlo nebo jestli je ve stresu. Díky speciálním kamerám můžeme doslova „vidět“, co rostlina prožívá v reálném čase. Tyto technologie, vyvíjené i v České republice, pomáhají lépe porozumět potřebám rostlin a přizpůsobit jim podmínky růstu a péče. Chceme ukázat, jak moderní věda umožňuje šetrnější přístup k zemědělství a životnímu prostředí. Věříme, že porozumění rostlinám je klíčem k udržitelnější budoucnosti.



Vznik vesmíru, Země a vody

Náš vesmír vznikl před přibližně 13,8 miliardami let. O 9 miliard let později se v jednom z jeho koutů z obrovského oblaku plynu a prachu zformovalo Slunce. Tento mezihvězdný oblak, který se začal vlastní gravitací smršťovat, dal vznik nejen Slunci, ale i planetám v jeho okolí – včetně Země. Zrod planety Země je fascinující.

Místo, kde se dnes nachází naše Sluneční soustava, bylo přibližně před 4,6 miliardami let chaotickým prostorem plným plynů a prachu. Oblak zvaný sluneční mlhovina vlivem gravitace ve svém středu vytvořil zárodek Slunce. Zatímco vznikala naše hvězda, kolem ní se formoval disk z materiálu – a právě z disku se začaly procesem nazývaným akrece tvořit planety. Naše Země byla zprvu rozžhavenou koulí a její povrch neustále bombardovaly meteority

1 Vznik a vývoj Země ve dvou rovinách. Geologický vývoj (nahore): Země vzniká jako žhavá koule roztavené hmoty po srážení prachových částic ve sluneční mlhovině. Povrch chladne, vznikají pevné vrstvy, atmosféra a oceány. Pokračuje ke stabilní modré planetě se složitou biosférou. Vývoj života (dole): od neživé, chemicky aktivní Země k planetě plné života. Začíná horkou fází, když teplota dosáhla hodnoty, kdy se mohly formovat základní prvky pro vznik organických sloučenin, pokračuje vznikem vody, následuje vývoj prvních mikroorganismů a fotosyntézy, která zásadně mění atmosféru – až po vývoj rostlin, živočichů a komplexních ekosystémů. Šipka symbolizuje vývojový směr od žhavého (oranžová) k chladnému a životem naplněnému (modrá) stadiu planety.

a komety. Během rané fáze vývoje Země došlo k planetární diferenciaci, při níž se v důsledku gravitačního třídění začaly odělovat materiály podle své hustoty. Těžké prvky, zejména železo a nikl, migrovaly směrem k planetárnímu středu a vytvořily kovové jádro. Naopak lehčí prvky, jako křemík, hliník, kyslík a hořčík, se koncentrovaly v nadložních vrstvách, čímž vznikl silikátový plášť a později zemská kůra. Tento proces vedl ke vzniku základní vrstvené struktury Země: jádra (vnějšího a vnitřního), pláště a kůry. Klíčovým milníkem bylo dále rozlišení kůry na oceánskou a pevninskou, které ovlivnilo vývoj litosféry a umožnilo vznik deskové tektoniky.

Jedním z nejvýznamnějších momentů v historii Země byla srážka s tělesem velikosti Marsu, nazvaným Theia. Při kolosálním střetu se uvolnilo obrovské množství hmoty, která se časem spojila a vytvořila Měsíc. Tato srážka navždy změnila osud Země – stabilizovala její rotaci, a tím i její klima. Jak se Země postupně ochlazovala, začaly se uvolňovat plyny z jejího nitra – vodní pára, oxid uhličitý, dusík a další. Chyběl však volný kyslík. Vznikla atmosféra, která ale zpočátku nebyla vůbec přívětivá. Povrch planety byl stále velmi horký – přes 300 °C. S ochlazováním Země pára kondenzovala a tvořila se oblaka a déšť. Ten se nejprve po dopadu na rozpálený povrch okamžitě vypařoval. Cyklus vypařování a kondenzace se opakoval po desítky, spíše statisíce let, až konečně došlo k výraznému ochlazení. Déšť zůstal na povrchu a vznikly oceány.

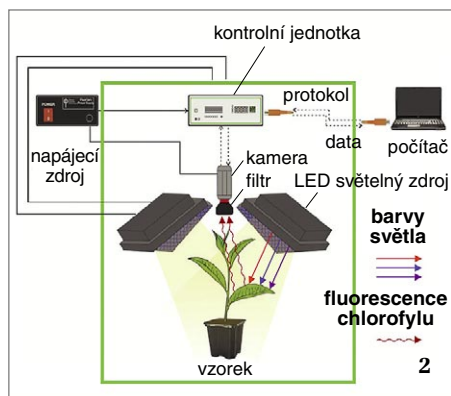
Voda, teplo a chemické sloučeniny pak vytvořily základní podmínky pro vznik života. Ačkoli přesný okamžik, kdy se na Zemi objevily první živé organismy, zůstává neznámý, je možné, že primitivní mikroorganismy existovaly už před více než 3,8–4,1 miliardami let.

Země má tedy za sebou dlouhou a dramatickou historii. A přestože se její vznik odehrál před miliardami let, nese si tyto stopy dodnes. Každý kámen, každá vrstva půdy a každý kráter je jednou kapitolou.

Voda sehrála klíčovou roli při snižování koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře tím, že umožnila jeho vazbu s kationty vápníku a hořčíku, čímž vznikaly uhličitany a hydrogenuhličitany. Tyto sloučeniny se následně usazovaly ve formě pevných hornin na dně oceánů. Navíc je CO₂ ve značné míře rozpuštěn právě ve vodě, tedy hlavně v oceánech. Tím se podstatně snížil jeho obsah v atmosféře, což připravilo podmínky pro vznik života na Zemi.

Od Slunce ke kyslíku: příběh fotosyntézy

Život na Zemi potřebuje energii a nejspolehlivějším a nejstálějším zdrojem je Slunce. Jeho životnost je přibližně 10 miliard let, tedy právě se nacházíme zhruba v polovině jeho předpokládané existence. Díky stálému přísunu slunečního záření se na Zemi mohly vyvinout organismy, které se naučily energii zachycovat a přeměňovat. Tento převratný proces se nazývá fotosyntéza – a bez něj by se nemohly vyvinout složitější organismy, rostliny, živočichové... a člověk. Fotosyntéza změnila atmosféru, zaplnila ji kyslíkem a vyvážíla poměr dalších plynů natolik, že umožnila vznik a rozvoj života v dnešní podobě.



● První fotosyntetizující organismy

Před více než třemi miliardami let se na Zemi objevily první fotosyntetizující organismy – pravděpodobně bakterie. Dokázaly zachytit sluneční světlo a využít ho k produkci energie prostřednictvím fotosyntézy. Nejstarší forma fotosyntézy, anoxygenní, ještě neprodukovala kyslík. Namísto vody jako zdroje elektronů využívaly tyto bakterie sirovodíků.

Zásadní změna přišla asi před 2,4–2,1 miliardami let, kdy se vyvinuly cyanobakterie (sinice). Ty už byly schopny provádět oxygenní fotosyntézu, při níž se jako vedlejší produkt začal uvolňovat kyslík. Jeho uvolňování mělo zásadní dopad na složení atmosféry i chemismus oceánů – změna označovaná jako Velká oxidační událost. Kyslík pronikal do atmosféry a postupně vytvořil i ozonovou vrstvu, která dodnes chrání povrch planety před UV zářením. Hromadění kyslíku umožnilo vznik složitějších forem života.

Slunce poskytuje Zemi stálou energii, ale bez fotosyntézy by její účinky mohly být zničující. Bez přeměny oxidu uhličitého v atmosféře a bez kyslíku by teploty na Zemi stouply podobně jako na Venuši – na více než 460 °C. Fotosyntéza tak nejen umožnila život, ale i udržela naši planetu obyvatelnou.

● Jak lidé odhalovali tajemství fotosyntézy

Už antičtí myslitelé, jako byli Aristoteles, Theofrastos nebo Empedokles, přemýšleli o vztahu rostlin ke světlu a půdě. Ačkoli jim chyběly experimentální nástroje, jejich úvahy byly překvapivě blízké dnešní interpretaci.

Milníky v objevování fotosyntézy:

1648 Vlámský (belgický) lékař, chemik a přírodovědec Jan Baptist van Helmont sledoval růst vrby v nádobě s přesně odváženou zeminou. Zjistil, že strom přibírá na hmotnosti, aniž by půda ubývala. Dochází k závěru, že rostliny nezískávají hmotu pouze z půdy.

1771 Anglický chemik, filozof, teolog a pedagog Joseph Priestley ukazuje, že rostliny „čistí vzduch“. Myš zavřená pod zvonem bez rostliny brzy umírá, s rostlinou však přežívá.

1779 Nizozemský lékař, fyzik a chemik Jan Ingenhousz zjišťuje, že rostliny produkují kyslík pouze na světle a jen pomocí zelených částí. To byl klíčový objev pro pochopení principu fotosyntézy.

1804 Švýcarský chemik a rostlinný fyziolog Nicolas-Théodore de Saussure potvrdil, že uhlík v rostlinách pochází z atmosférického oxidu uhličitého.

2 Princip měření chlorofylové fluorescence pomocí přístroje – fluorometru: LED světelné zdroje (nejčastěji modré, červené, UVA, bílé...) osvětlují rostlinu světlem, které chlorofyl absorbuje.

Část této energie (jen 1–5 %) je rostlinou opět vyzářena jako fluorescence záření v červené oblasti spektra (700–750 nm). Toto slabé světlo je zachyceno kamerou vybavenou optickým filtrem, který propouští pouze fluorescence a potlačuje rušivé složky okolního nebo excitačního světla. Celý systém je řízen kontrolní jednotkou, která synchronizuje světelné pulzy s detekcí signálu. Počítač pak zpracovává získaná data a převádí je do podoby grafů nebo falešně barevných snímků, které ukazují míru fotosyntetické aktivity rostliny. Tímto způsobem lze neinvazivně a v reálném čase sledovat stav rostlin a jejich reakce na různé podmínky prostředí.

3 Přístroje pro měření chlorofylové fluorescence: od přenosného přístroje FluorPen pro rychlá měření v terénu až po kamerové systémy FluorCam, které umožňují detailní analýzu fotosyntézy na úrovni buněk (Mikro FluorCam), listů (přenosná ruční verze), celých rostlin (FluorCam) až populace rostlin (Makro verze).

1845–62 Německý rostlinný fyziolog a botanik Julius von Sachs, který studoval a působil i v Praze, ukazuje, že škrob, produkt fotosyntézy, vzniká v chloroplastech.

1930–50 Britský biochemik Robert Hill objevil jev (Hillovu reakci), při němž dochází k uvolňování kyslíku z vody za světla i bez přítomnosti CO₂.

1961 Americký chemik Melvin Calvin popsal Calvinův cyklus, tedy cyklus fixace CO₂ do organických látek. Za tento objev získal v r. 1961 Nobelovu cenu.

Fluorescence chlorofylu:

Tichý jazyk rostlin a jak mu rozumět

Rostliny umějí zachytávat světlo díky barvivu – chlorofylu. Ten pohlcuje hlavně UVA, modré a červené fotony a většinu získané energie přeměňuje na chemickou energii v procesu fotosyntézy. Ale ne všechnu energii rostlina využije (viz také následující článek na str. 169–172). Malou část ji vyzáří zpět jako blízké infračervené světlo, pouhým okem neviditelné, s pomocí speciálních přístrojů však lze tento jev – fluorescence chlorofylu – snadno zachytit.

První pozorování učinil americký fyzik, chemik a lékař David Alter už v r. 1857. Tehdy si všiml, že roztok chlorofylu po osvětlení modrým světlem červeně září.

Ve 20. a 30. letech 20. století byly provedeny první kvantitativní studie. Skutečný vědecký průlom ale nastal až v 60. letech, kdy se začaly rozvíjet fluorimetrické metody.

● Kautského efekt:

Jak listy reagují na světlo

V r. 1931 popsal německý biolog Hans Kautsky zajímavý jev. Pokud list ponecháme delší dobu ve tmě a pak ho náhle osvětlíme, dojde k prudkému nárůstu fluorescence, která následně postupně klesá na stabilní úroveň. Tento jev, nazývaný Kautského efekt, je úzce spojen s aktivací fotosyntetického systému II – části fotosyntetického aparátu zajišťující přenos elektronů při přeměně světelné energie na chemickou (podrobněji na str. 148–151 této Živy). Dynamická změna fluorescence tak nepřímo ukazuje, jak efektivně rostlina využívá světlo pro fotosyntézu. A právě to se stalo základem pro moderní metody, kterými dnes vědci a zemědělci zkoumají zdraví a vitalitu rostlin.

● Co rostliny fluorescencem prozrazují

Množství světla, které chlorofyl vyzáří zpět ve formě fluorescence, závisí na tom, jak dobře funguje celý fotosyntetický aparát. Pomocí fluorescence chlorofylu tedy můžeme pozorovat, jak je světelná energie využívána celým složitým aparátem (detaily fluorescenční analýzy najdete na str. 169–172). Jde o velice účinný nástroj při studiu různých typů stresu.

Pokud je rostlina ve stresu – např. kvůli suchu, teplotnímu šoku nebo nedostatku živin – nedokáže využít absorbovanou světelnou energii. A právě tehdy narůstá vyzářený fluorescenční signál. Pomocí speciálních přístrojů lze signál měřit a dokonce vizualizovat. Tímto způsobem můžeme neinvazivně zjistit, že je rostlina v nevyhovujících podmínkách – často ještě dřív, než se projeví viditelné poškození.

Technologie ve studiu fotosyntézy

Měření fluorescence chlorofylu umožňuje velmi přesné sledování zdravotního stavu rostlin a účinnosti fotosyntézy. U nás se vývojem a výrobou přístrojů zabývá firma Photon Systems Instruments (PSI) v Drásově u Brna už více než 30 let. Tyto přístroje dokážou sledovat fotosyntézu v reálném čase a jsou využívány ve výzkumu i v zemědělské praxi. Slouží ke studiu rostlin, řas i dalších fotosyntetizujících organismů.

● Jak vidět to, co je očím skryté

Podívejme se na princip zařízení, které popsaný neviditelný jev dokáže zachytit a vizualizovat – fluorometr (obr. 2).

Základem přístroje je světelný zdroj využívající LED technologii, která umožňuje velmi přesné řízení intenzity i spektrálního



složení světla. Používají se barvy odpovídající spektrálnímu oblastem s vysokou absorpcí chlorofylu. Aby nedocházelo k rušení detekčního systému, je světlo ze zdroje filtrováno optickými filtry, které odstraní vlnové délky v oblasti 700–750 nm – kde chlorofyl emituje fluorescenční záření. Tím se zajistí, že detektor bude snímat pouze světlo, které rostlina skutečně vyzáří.

Detekční část přístroje může být tvořena různými typy senzorů – od PIN diod přes fotonásobiče až po citlivé kamery. I detektor je vybaven soustavou precizně vybraných optických filtrů propouštějících pouze fluorescenční signál chlorofylu v úzkém pásmu kolem 700–750 nm.

Součástí systému je synchronizační elektronika pro přesné sladění krátkých světelných pulzů s okamžikem detekce. Díky tomu lze odfiltrout okolní světlo a zachytit pouze patřičný fluorescenční signál.

Získaná data se dále zpracovávají v počítači – buď formou časových grafů, nebo jako obrazové výstupy ve falešných barvách pro snadnou vizualizaci stavu rostliny. Takový systém dovoluje rychlé a přesné vyhodnocení fotosyntetické aktivity, a to zcela bezkontaktně a v reálném čase.

● Odhalení tajemství fotosyntézy

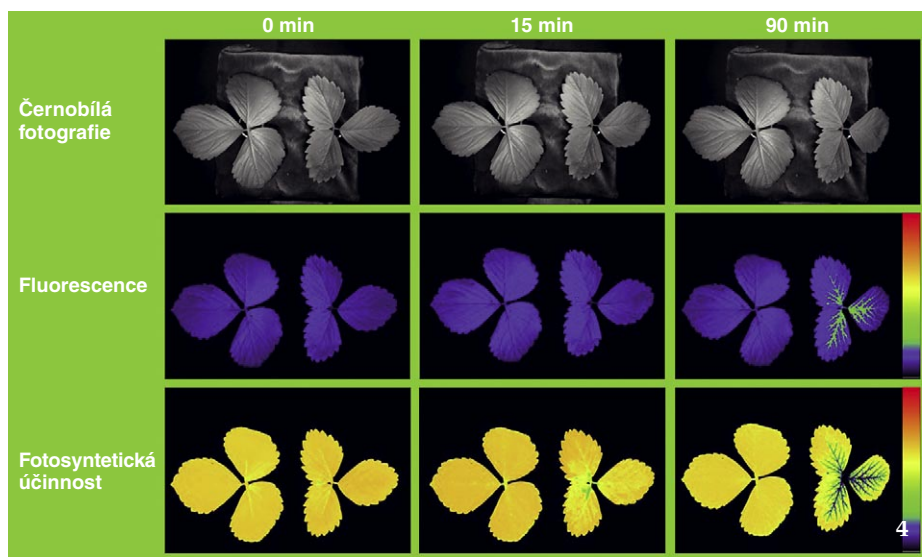
Na obr. 3 je představena škála přístrojů pro měření chlorofylové fluorescence – od kompaktních ručních zařízení až po pokročilé kamerové systémy využívané ve výzkumu i automatizovaných provozech.

Zobrazovací systémy řady FluorCam umožňují zkoumat rostliny od mikroskopických struktur, jako jsou chloroplasty a buňky, přes jednotlivé listy nebo semenáčky až po celé rostliny. Vysokým rozlišením a přesnou synchronizací světelných impulzů s detekcí poskytují detailní pohled na průběh fotosyntézy v čase i prostoru.

Naopak přenosná zařízení jako FluorPen jsou navržena pro rychlé a pohodlné měření v terénu – např. přímo na poli, ve skleníku nebo v přirozených podmínkách růstu. S nimi lze získávat spolehlivá data i mimo laboratorní prostředí.

● Jak rostlina reaguje na herbicid dřív, než to vidíme pouhým okem

Na obr. 4 je časový průběh účinku herbicidu na list jahodníku zahradního (*Fragaria xananassa*). Kombinace černobílé fotografie, záznamu fluorescence chlorofylu a výpočtu maximální účinnosti fotosyntézy (F_v/F_m), podrobněji v následujícím článku) odhaluje, co se v rostlině děje, než jsou viditelné příznaky. Už několik minut po aplikaci lze pozorovat první známky poklesu fotosyntetické aktivity, i když list se na běžné fotografii zdá být stále zdravý.



Po 90 minutách je patrné, že se herbicid šíří přes vodivé pletivo. Fluorescenční obraz ukazuje zvýšenou emisi světla podél cévních svazků – to značí, že rostlina není schopna tuto energii efektivně využít pro fotosyntézu. Výsledkem je místní pokles fotosyntetické účinnosti, který se postupně šíří i do okolních částí listu.

● Jak rostliny „mluví“ dřív, než onemocní

Jednou z významných praktických aplikací je dlouhodobé sledování stresových reakcí rostlin v populaci. Tento přístup se dnes hojně využívá ve výzkumu mechanismů rostlinné odolnosti i při šlechtění nových, odolnějších odrůd, především u plodin hospodářsky významných, jako jsou obiloviny – pšenice, ječmen, rýže, kukuřice nebo sója.

Populace rostlin je v rámci experimentu vystavena konkrétnímu stresovému faktoru – např. teplu, suchu či zasolení – za podmínek, které co nejvěrněji napodobují přirozené prostředí. Měření pak probíhá v delším časovém horizontu – v řádu dní, týdnů i měsíců. Tímto přístupem se zabývá moderní obor zvaný rostlinná fenotypizace, který propojuje biologii, optické senzory a datovou analýzu.

Na příloženém příkladu je zachycen vliv teplotního stresu na celé rostliny lilku bramboru (*Solanum tuberosum*, obr. 5). Takové časné varování prostřednictvím analýzy chlorofylové fluorescence je klíčem k pochopení, jak rostliny reagují na stres – a jaké genetické znaky jim pomáhají ho zvládat.

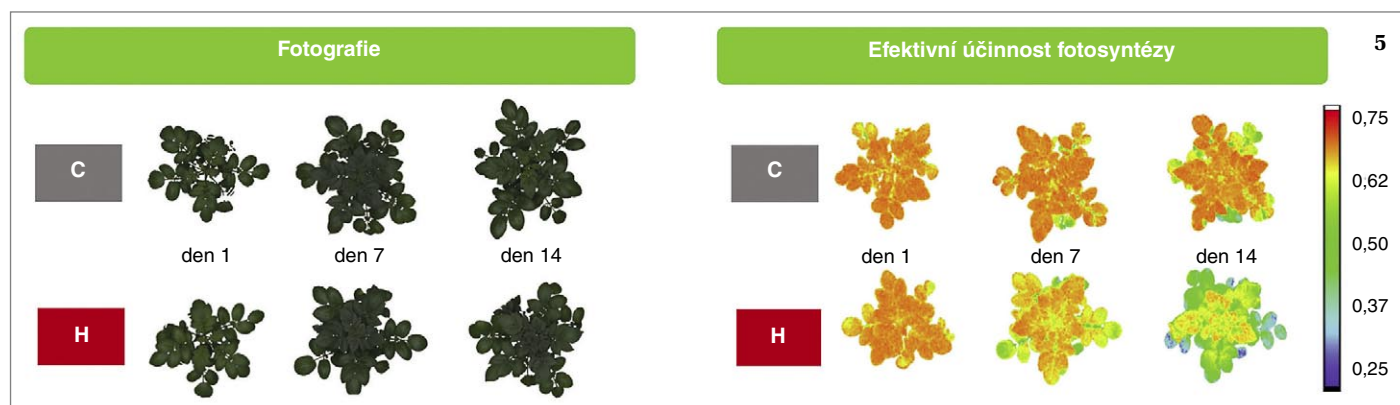
● Rostliny, které promluví na EXPO

Na světové výstavě EXPO v r. 2020 v Dubaji byl představen plně automatizovaný

4 Časový průběh účinku herbicidu na list jahodníku zahradního (*Fragaria xananassa*) měřený pomocí fluorescence chlorofylu. Kombinací klasické černobílé fotografie, fluorescenčního snímku a výpočtu fotosyntetické účinnosti (F_v/F_m) lze sledovat změny v rostlině ještě dříve, než se projeví viditelné poškození. Blíže v textu. Úroveň signálu odráží falešná barevná škála, na které modrá značí nízkou hodnotu signálu a směrem k červené barvy signalizují zvyšující se úroveň signálu.

5 Vliv teplotního stresu na rostliny lilku bramboru (*Solanum tuberosum*) sledované během 14 dní. Na první pohled vypadají rostliny na fotografiích zdravě, bez zjevných známek poškození, a to po celou dobu experimentu. Oproti tomu analýza chlorofylové fluorescence jasně odhaluje rozdíly v efektivitě fotosyntézy. Ve skupině vystavené tepelnému stresu (H – heat stress) dochází už po 7 dnech k výraznému poklesu fotosyntetické účinnosti ve srovnání s kontrolní skupinou (C – control), což následně vede k omezení růstu a přírůstku biomasy. Barevná škála ukazuje úroveň aktivity od vysokých hodnot po nízké.

6 Na světové výstavě EXPO v Dubaji v r. 2020 zaujal plně automatizovaný systém We Speak Plantish, který vizuálně přibližuje, jak moderní technologie umožňují „naslouchat“ rostlinám. Blíže v textu. Tento interaktivní exponát získal uznání poroty i návštěvníků – umístil se na 11. příčce mezi projekty z celého světa. Všechny snímky a orig. autoři článku





systém s názvem We Speak Plantish. Byl koncipován jako plně robotizované prostředí pro pěstování rostlin, vybavené automatizovaným závlahovým systémem (viz obr. 6). Rostliny v něm rostly v řízených podmínkách, přičemž vše probíhalo zcela bez lidského zásahu.

Jednotlivé rostliny byly pomocí dopravníkového systému (na válečkovém principu) pravidelně přesouvány pod fluores-

cenční zobrazovací jednotku. Tam byl na velkoplošné obrazovce promítán jejich fluorescenční obraz, který odhaloval aktuální fyziologický stav. Návštěvníci tak mohli v reálném čase sledovat, jak rostliny reagují např. na tepelný stres cíleně aplikovaný během prezentace.

Projekt byl výjimečný nejen technickou úrovní, ale i tím, že přístupnou formou ukázal, jak rostliny „mluví“ prostřednictvím

světla a jak jim díky moderním technologiím můžeme naslouchat i porozumět.

Závěrem

Poznat a pochopit průběh fotosyntézy znamená porozumět samotným základům života na Zemi. Bez tohoto mimořádného procesu by neexistoval kyslík, atmosféra, jakou známe, ani život v celé jeho rozmanitosti. Přestože jsme v posledních desetiletích výrazně pokročili, stále jsme jen na prahu pochopení všech jemných mechanismů fotosyntézy. Jsou nejen složité, ale i překvapivě přizpůsobivé – různé organismy dokážou fotosyntézu provozovat za extrémních podmínek, v temných hloubkách oceánů i v okolí aktivních sopek.

A kdo ví – možná jednoho dne vyšleme fotosyntetické organismy i na jiné planety, třeba do horních vrstev atmosféry Venuše, kde by mohly začít přetvářet její prostředí a vytvořit podmínky vhodné pro život.

Fotosyntéza není jen klíčem k pochopení minulosti, ale i nadějí pro budoucnost. A i když je život až neuvěřitelně odolný, zároveň zůstává křehký a vzácný – stejně jako světlo, které ho udržuje.

Použitou literaturu uvádíme na webové stránce Živý.

Tomáš Hájek

Fluorescence chlorofylu – fyzikální jev ve službách výzkumu fotosyntézy

Zdaleka ne všechno světlo, které rostlina pohltí svou zelení, je využito ve fotosyntéze. Někdy jen zanedbatelná, jindy převládající část zachycené světelné energie je přeměněna na teplo. Vždy ale malou část energie vyzáří molekuly chlorofylu okamžitě zpět v podobě fluorescence. Aniž bychom to pouhým okem zaznamenali, rostliny tak přes den vyzařují slabé červené světlo, které ovšem dokážeme zaznamenat pomocí fluorometrů. Tím dostáváme do ruky šikovný nástroj umožňující poodkrýt, co se při fotosyntéze děje, aniž bychom museli s rostlinou manipulovat. V textu si ukážeme základní předpoklady a praktické aspekty měření fluorescence chlorofylu, neboť jde o metodu poměrně dostupnou a uživatelsky velmi jednoduchou. Přesto, anebo právě proto ale někdy svádí k nesprávným očekáváním nebo interpretacím. Některé termíny použité v textu jsou vysvětleny ve slovníku na závěr článku.

Chlorofylová fluorescence je jednoduchý proces a jeho využití umožňuje zkoumat, jak rostliny provádějí fotosyntézu, tedy jak efektivně využívají energii slunečního světla pro zabudování oxidu uhličitého do cukrů. Pomáhá nám pochopit, jak reagují na své prostředí, především na běžné stresové faktory, jakými jsou nedostatek vody

a živin, nízká nebo vysoká teplota, působení toxinů či patogenů apod. (viz i předchozí článek na str. 166–169). Takový stres bývá ještě umocněn světlem, pro rostliny nepostradatelným zdrojem energie, zároveň ale nevyhnutelným zdrojem dalšího stresu.

Abychom pochopili, jak fluorescenci chlorofylu prakticky využít, musíme si vy-

světlit její původ. I když může posloužit při zkoumání téměř jakýchkoli fotosyntetizujících organismů, např. mechů, řas, sinic a lišejníků, budeme v textu pro názornost pracovat s listem. Cílem je seznámit od začátku s poměrně nesnadným tématem a poskytnout stručnou příručku pro zvládnutí měření a interpretaci nejrozsáhlejších fluorescenčních parametrů.

Podstata chlorofylové fluorescence

Fluorescence je rozšířená vlastnost mnoha organických i anorganických látek. Po zachycení fotonu určité vlnové délky (určitě energie) – excitaci – dojde po velice krátké době k vyzáření fotonu o delší vlnové délce (menší energie) – emisi. Tuto vlastnost mají i molekuly chlorofylů, které v chloroplastech rostlinných buněk zachycují viditelné záření, především v oblasti modrého a červeného světla, a emitují fluorescenci na rozhraní červeného a blízkého infračerveného světla (obr. 1). Chlorofyly mají ve fotosyntetickém aparátu dvě role – podílejí se na zachytávání fotonů ve světlo-sběrných anténách, koncentrujících energii fotonů do reakčních center fotosystémů. V těch jsou uloženy molekuly chlorofylu *a*, které energii dopadajících fotonů absorbují, a tím excitují svůj elektron do vyšší energetické hladiny. Není-li excitovaný elektron využit pro fotosyntézu (fotochemii), či není-li jeho excitační energie odvedena nefotochemickým zhasením v podobě tepla (nefotochemií), okamžitě (v řádu nanosekund) se vrací na původní energetickou hladinu tím, že svou excitační energii vyzáří fluorescencí. A tuto autofluorescenci, konkrétně chlorofylu *a* v reakčním centru fotosystému II (FS II), můžeme pak experimentálně ovlivňovat, měřit a interpretovat (obr. 2).