

Osvětlení z pohledu rostlin

Ing. Luděk, Hladký, Ph.D.,
Philips ČR s. r. o., divize Lighting OEM

Bez rostlin by nebylo života na Zemi, bez světla by nebylo rostlin. Rostliny stojí na počátku potravního řetězce a produkuje organické látky a kyslík, a tím umožňují život dalších živých organismů. Rostliny využívají světlo absorbované listovými pigmenty jako důležitý zdroj energie při fotochemických procesech. Tyto procesy podporují např. fotoperiodické aktivity rostlin, ovlivňující indukci a kvetení rostlin, morfologické aktivity, ovlivňující tvar a celkovou stavbu rostlin. Nejdůležitějším energetickým procesem je fotosyntéza (obr. 1), která využívá světelné záření ke konverzi CO₂ a vody na sacharidy a následně na další látky (asimiláty), které společně tvoří stavební kameny rostlinných tkání. Proces fotosyntézy lze prezentovat následovně:



Rostliny získávají světelnou energii prostřednictvím světelných kvant, fotonů. Fotony jsou pohlcovány především chlorofylem, ale i jinými pigmenty. Každý foton vždy uvolní jeden energeticky bohatý elektron, který vstupuje do vlastních biochemických procesů. Tyto procesy jsou buď anabolické – spojené s výstavbou látek (fotosyntéza), nebo katabolické – související s odbouráváním a rozkladem látek (dýchání). Fotosyntéza má dvě fáze, jedna probíhá na světle a druhá bez přístupu světla; jde o tzv. Calvinův cyklus. Rychlost fotosyntézy (Pn) charakterizuje intenzitu nárůstu zelené hmoty rostlin a je vyjadřována jako schopnost vstřebávání molekul CO₂ na jednotku plochy listu za sekundu (mmol CO₂·m⁻²·s⁻¹).

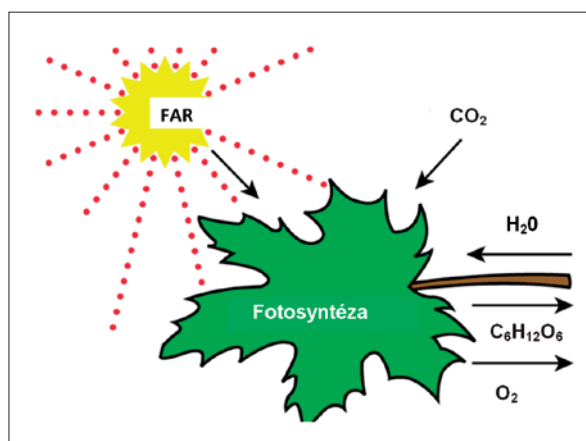
Nejdůležitějšími faktory pro zdárný růst rostlin jsou především:

- světlo,
- CO₂,
- teplota, popř. vlhkost vzduchu,
- teplota půdy,
- obsah vody v půdě,
- živiny.

V praxi jsou všechny tyto faktory pro růst rostlin více méně rovnocenně důležité. Avšak je-li limitujícím faktorem přirozené denní světlo, je velmi omezena i optimalizace ostatních faktorů. Použitím doplňkového osvětlení pro podporu růstu rostlin mohou být tedy optimalizovány i ostatní limitující faktory. Umělé osvětlení lze využít především v zahradnictví k stimulaci růstu rostlin a tvorbu

květů a plodů. Doplňkové umělé osvětlení, které se využívá k prodloužení přirozeného denního osvětlení, se nazývá asimilační. Příklad ročního provozu asimilačního osvětlení je uveden na obr. 2. Asimilační osvětlovací soustavy umožňují především:

- zvýšit úrodu,
- prodloužit dobu produkce plodin,
- zlepšit kvalitu,
- zlepšit řízení a plánování produkce,
- zajistit spolehlivou a pravidelnou dobůdávku zemědělských produktů.



Obr. 1. Proces fotosyntézy

Umělé osvětlení se využívá také jako úplná náhrada přirozeného denního osvětlení v růstových komorách, jde o tzv. kultivační osvětlení.

Značně rozšířeno je i fotoperiodické osvětlování rostlin, které reguluje dobu kvetení a umožňuje indukci květů dlouhodobých rostlin (např. karafiátů) i v zimním období. Oproti asimilačnímu osvětlení je fotoperiodické osvětlení energeticky podstatně méně náročné, potřebné intenzity osvětlení jsou řádově deset až patnáctkrát nižší. U některých rostlin není třeba k vytvoření fotoperiodického efektu ani plynulé několikahodinové přisvětlování, ale postačuje jen krátkodobé přerušování tmy v noční době.

Tab. 1. Různé způsoby měření intenzity záření

Sluneční záření	Fotosyntetické aktivní záření (FAR)	Viditelné záření
pyranometr (solarimetr)	μmolmetr	luxmetr
celkové vyzařování v rozsahu 300 až 3 000 nm	počet částic světla v rozsahu 400 až 700 nm	osvětlenost s korekcí spektrální citlivosti oka v rozsahu 380 až 780 nm
J·m ⁻² ·s ⁻¹ nebo W·m ⁻²	μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	lux
řízení klimatu ve skleníku	růst rostlin	lidské oko

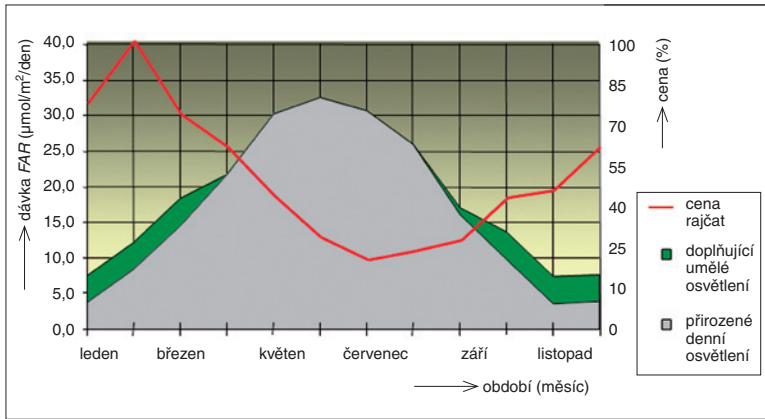
Fotosynteticky aktivní záření

Spektrum slunečního záření, které postupuje atmosférou na zemský povrch, obsahuje především širokou oblast optického záření, která zahrnuje ultrafialové záření (o vlnových délkách 300 až 380 nm), viditelné záření (380 až 780 nm) a infračervené záření (780 až asi 3 000 nm). Viditelné záření, zhodnocené citlivostí lidského oka, se nazývá světlo. Část spektrální oblasti viditelného záření v oblasti vlnových délek 400 až 700 nm je definována jako fotosynteticky aktivní záření (FAR).

Veškeré záření ze slunce (je to přímé sluneční záření a rozptýlené záření oblohy) se označuje jako globální záření (měří se na vodorovné ploše). Podíl fotosynteticky aktivního záření je 45 % z hodnoty globálního záření. Při posuzování vlivu slunečního záření ve skleníku je ovšem třeba počítat s tím, že vlivem odrazu a absorpce skleníkové konstrukce vstupuje do skleníku v závislosti na ročním období a použitém materiálu

zasklení pouze 65 až 80 % energie, která dopadá na vnější konstrukci skleníku. Fotosynteticky aktivní záření se hodnotí buď energetickými nebo kvantovými (fotonovými) jednotkami. Energetickou jednotkou toku FAR je watt (W FAR), jednotkou intenzity ozáření je W·m⁻²FAR, jednotkou dávky ozáření je W·h·m⁻²FAR. Fotonové jednotky jsou: pro fotonový tok zpravidla mmol·s⁻¹, pro intenzitu ozáření mmol·s⁻¹·m⁻², pro (zpravidla denní) dávku ozáření mol·m⁻². Fotonové jednotky jsou závislé na vlnové délce záření (λ). Vzájemný vztah mezi energetickými a fotonovými jednotkami je následující:

$$1 \text{ mmol} \cdot \text{s}^{-1} = 119,64 / \lambda \quad (\text{W})$$



Obr. 2. Využití doplňkového osvětlení během ročního období při pěstování rajčat

Vzhledem k závislosti tohoto vztahu na vlnové délce je poměr obou jednotek závislý na spektrálním složení záření, a je tedy pro každý zdroj jiný. Početně se stanovuje z emisních spekter uvažovaných zdrojů. V obvyklých případech platí, že:

$$1 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = 0,20 - 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Měření intenzity ozáření

Globální záření slunce se měří pyranometry ve spektrálním rozsahu 300 až 3 000 nm nebo solarimetry, jejichž spektrální rozsah zpravidla bývá užší. Pokud se měří pyranometrem, lze stanovit i hodnotu intenzity FAR.

Měření viditelného záření (světla) luxmetry je založeno na spektrální citlivosti lidského oka a není dobrým identifikátorem pro optimální růst rostlin. Spektrální citlivost rostlin je totiž odlišná, větší citlivost se projevuje v krajních oblastech viditelného spektra, v „modré“ (s maximem asi 450 nm) a „červené“ (s maximem asi 660 nm), viz obr. 3. Fotosyntéza je účinnější v červené oblasti spektra, které stimuluje kvantitativní nárůst rostliny. Naopak modrá část spektra značně ovlivňuje morfologické vlastnosti, zabraňuje přílišnému vytahování rostlin do výšky, podporuje odnožování a množství listů, a tím zajišťuje kvalitní růst rostlin.

Různé způsoby měření energie záření při produkci rostlin jsou uvedeny v tab. 1.

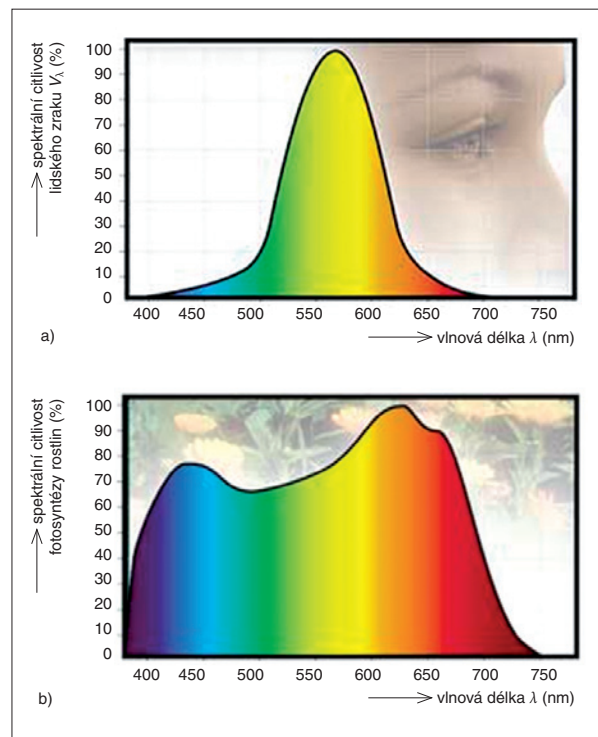
Intenzita a celkové množství FAR

Nejvýznamnější parametry fotosynteticky aktivního záření jsou:

- intenzita FAR (fotonová ozářenost) ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),
- dávka FAR ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$).

Intenzita FAR určuje rychlost fotosyntézy (absorpci CO_2). Účinnost fotosyntézy je vyšší při malých úrovních ozáření a s rostoucí intenzitou fotosynteticky aktivního ozáření se účinnost snižuje. V určitém bodě je rychlost fotosyntézy omezoována a dosahuje saturační úrovně; viz

reakční křivka fotosyntézy (Pn) na obr. 4. Vzájemný vztah mezi intenzitou FAR a fotosyntézou je závislý především na druhu rostlin, vývojovém stadiu a celkových



Obr. 3. Spektrální citlivost lidského oka versus rostlin

podmínkách růstu. Velmi důležitý je světelný kompenzační bod, který stanovuje mezní intenzitu ozáření, při které asimilační produkty ještě přispívají k nárůstu rostlinné hmoty. Při nižších hodnotách ozáření rostliny sice asimilují, ale asimilát je zároveň odbouráván dýcháním rostlin. Při doplňkovém osvětlování zpravidla dvoj- až trojnásobek této hodnoty udává doporučenou intenzitu ozáření, která je směrodatná pro výpočet potřebného výkonu asimilačních svítidel a která zároveň určuje dobu jejich zapínání nebo vypínání. Svítidla jsou v provozu tehdy, když intenzita globálního slunečního záření uvnitř skleníku je nižší než doporučená

hodnota. Pro rostliny se středními požadavky na světlo ($40 \text{ až } 50 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), tj. v rozmezí $20 \text{ až } 25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, pro rostliny s vysokými požadavky na světlo (zelenina, rajčata, salát, $150 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), tj. asi $75 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Doporučené hodnoty intenzit ozáření pro různé rostliny jsou např. na www.dhlicht.de, Lichtempfehlungen. Je třeba upozornit, že tyto hodnoty platí pro rostliny ve sklenicích nebo růstových komorách. K osvětlování okrasných rostlin v bytových nebo pracovních interiérech se volí hodnoty nižší.

Světelnotechnické výpočty osvětlovacích soustav se běžně provádějí fotometrickými jednotkami. Intenzita osvětlení se udává v luxech (lx). Proto je užitečné pro jednotlivé světelné zdroje uvádět přepočítávací koeficienty. Například pro výbojku Koef Power 600 W platí, že intenzita osvětlení 1 000 lx odpovídá fotonové intenzitě $13,1 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Pro lineární zářivky TL a pro kompaktní zářivky CFLI je to 13 až $14 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Intenzita ozáření FAR je důležitá pro rychlost fotosyntézy, ale pro celkové množství nárůstu rostlinné hmoty je důležité celkové množství, denní dávka FAR. Tato dávka pro jednotlivé rostliny se ale v dostupných materiálech obvykle neuvádí, místo ní se udává denní doba přisvětlování.

Důležité aspekty zohledňující návrh dodatečného osvětlení

- Doplňkové osvětlení generuje též infračervené záření a ztrátové teplo předřadných přístrojů, které vytváří uvnitř skleníku přidavnou tepelnou zátěž. Speciální výbojové světelné zdroje pro zahrádkářství, jako jsou Master GreenPower nebo Master GreenVision, mají nejvyšší účinnost systému ve stěžejních oblastech viditelného spektra, a proto i osvětlovací soustava vybavená těmito světelnými zdroji má nejnižší přidavné tepelné zatížení prostoru skleníku.
- V případě, že nadměrné světlo je emitováno mimo prostor skleníku, může osvětlovací soustava způsobovat rušivé světlo, které se v posledních několika letech stalo environmentálním a sociálním problémem. Například nizozemská legislativa předepisuje případy, kdy vyzařování světla musí být plně omeze-

no. To v dnešních sklenících zpravidla není problém, protože ty mají nad svítidly stínící a tepelněizolační clony, které jsou v době ozařování rozvinuty. Clony jsou protkány lesklými hliníkovými proužky, které infračervené záření i světlo odrážejí zpět do rostlinného porostu. Tím se šetří energie pro vytápění a odražené světlo se využije opět k růstu rostlin. Přidavná tepelná zátěž od svítidel se využije při vytápění skleníku, takže se ušetří náklady na topení.

- Během provozu se výkon světelného systému snižuje, což snižuje úroveň osvětlení rostlin. Proto je důležité při vypracování návrhu osvětlovací soustavy volit správný udržovací činitel.

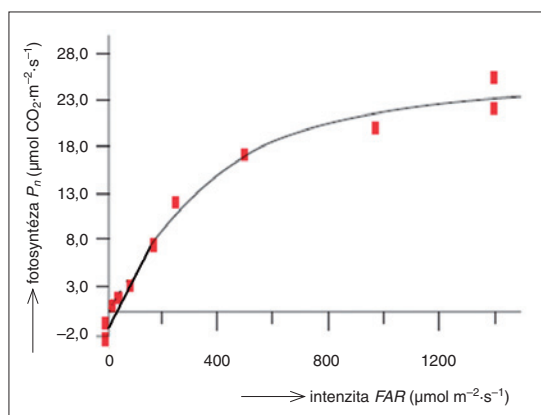
Světelné zdroje a osvětlení

V osvětlovacích soustavách asimilačního osvětlení bývají používány běžné vysokotlaké sodíkové nebo halogenidové výbojky. Výhodnější z hlediska provozních nákladů je využít speciální světelné zdroje vyzařující ve stěžejních oblastech spektra. Výrazně se tím sníží instalovaný příkon soustavy v porovnání s běžnými typy výbojek při zachování stejné produkce plodin. Je-li uvažována osvětlovací soustava s výbojkou Master GreenPower, která zajišťuje intenzitu FAR $120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lze ušetřit $35 \text{ W}/\text{m}^2$ instalovaného výkonu ve srovnání s konvenční halogenidovou výbojkou HPI-T.

Mezi speciální světelné zdroje v soustavách asimilačního osvětlení se řadí speciální vysokotlaká sodíková výbojka Master GreenPower v příkonové řadě 400, 600 a 1 000 W, kterou lze provozovat s konvenčním nebo elektronickým předřadníkem. Tyto světelné zdroje jsou dostupné i pro jmenovité sdružené napětí 400 V, což navíc umožňuje minimalizovat výkonové ztráty ve vedení a uspořít materiál na rozvod elektrické energie.

Ve srovnání s prvním produktovým „speciálem“ – vysokotlakou sodíkovou výbojkou SON-T Agro, vyzařující především ve žluté oblasti spektra, účinnost fotosynteticky aktivního záření vzrostla o 7 %.

Pro fotoperiodické osvětlení se využívají zpravidla zdroje, jež lze snadno řídit, a tak zajistit rychlý náběh plného světelného toku. Jsou to především lineární a kompaktní zářivky. Novinkou určenou pro tento účel je světelný zdroj na bázi světelných diod LED Flowering.



Obr. 4. Příklad závislosti fotosyntézy na intenzitě FAR (měřeno v jednom bodě na rajčatovém listu během zimního období)

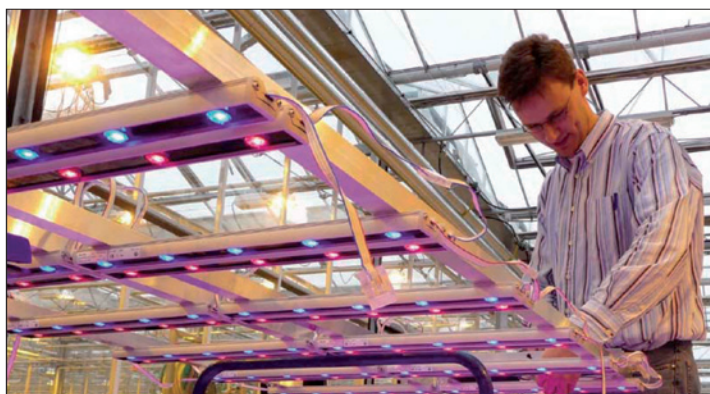
světelného toku. K osvětlení vícevrstvé kultivace v regálech jsou určeny lineární LED moduly GreenPower (obr. 5) nebo řetězce světelných diod LED String GreenPower s garantovaným servisním životem 50 000 h.

Závěr

Díky využití doplňkového osvětlení skleníků lze lépe naplánovat období sklizně i množství úrody, a tím i dodávku pěstovaných produktů k zákazníkovi. Na závěr jeden příklad z Nizozemí: při intenzitě FAR $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (odpovídá osvětlenosti 15 klx) se úroda rajčat, která jsou vysázena v říjnu, zvyšuje o více než 30 %;



Obr. 5. LED modul Green Power



V růstových komorách, které jsou zpravidla bez přístupu denního světla, se využívají halogenidové výbojky HPI-T Plus 400W nebo lineární zářivky TL-D Reflex s jednostrannou reflexní plochou pro efektivní směrování světelného toku. V poslední době jsou stále častěji využívána LED svítidla, která vykazují dlouhou životnost, umožňují změnit teplotu chromatičnosti, řídit odvod tepla, spořit místo, zlepšovat účinnost optického systému zajišťující rovnoměrnou distribuci

při stejných podmínkách produkce růží vzroste až třikrát.

Literatura a odkazy:

- [1] *Growing your profits*. Storybook Horticulture Lighting, Philips, 2007.
- [2] *Gartenbeleuchtung – Lichtrezepte*. Dostupné z www.philips.com/horti.
- [3] Procházková, S. at al.: *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha, 1998.

Recenze: Ing. Petr Hutla, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., Praha