

PRIMENA LED OSVETLJENJA U UZGOJU BILJAKA

Maja Kraker, MScEE, "Zumtobel Group", Beograd

UVOD

Ljudska populacija je vekovima ulagala svoja znanja i dostignuća da bi povećavala prinos prehrambenih proizvoda i nastojala da proizvede dovoljnu količinu hrane za celokupno stanovništvo. Pojava novih tehnologija našla je svoju primenu u svim oblastima ljudskog života, pa i u prehrambenoj industriji. Poslednjih par decenija приметne su velike promene klime na Zemlji, a veliko zagađenje i efekat „staklene bašte“ prouzrokovali su sve nepovoljnije uslove za život, samim tim i za gajenje biljaka. Odavno je prestalo da bude dovoljno korišćenje samo sunčeve svetlosti za rast i razvoj biljaka, tako da je zbog velikog rasta broja stanovnika na planeti, počelo intenzivno da se koristi veštačko osvetljenje za povećanje i kontrolu prinosa.

OSNOVNI TERMINI I DEFINICIJE

Proučavanjem dejstva svetlosti na rast biljaka, došlo se do nekih termina i definicija koje se koriste prilikom opisivanja određenih procesa i faza razvoja:

- ✓ **Fotoni:** Svetlosne čestice koje se mere molom [mol]. Jedan mol fotona ekvivalentan je Avogadrovom broju fotona od 6.022×10^{23} .
- ✓ **Fotoperiod:** Vremenski period tokom kojeg je dostupno prirodno ili veštačko svetlo da bi se vršila fotosinteza u biljkama.
- ✓ **Fluks fotona za fotosintezu PPF (Photosynthetic Photon Flux):** Meri se jedinicom $\mu\text{mol/s}$, u odnosu na talasni opseg svetlosti od 400 do 700 nm. Predstavlja količinu ukupne svetlosti (fotona) koje emituje svetlosni izvor u svakoj sekundi.
- ✓ **Gustina fluksa fotona za fotosintezu PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density):** Količina svetlosti (fotona) koja stiže do cilja svake sekunde. Meri se jedinicom $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$, u odnosu na talasni opseg svetlosti od 400 do 700 nm. Takođe zvana **aktivno zračenje za fotosintezu PAR (Photosynthetic Active Radiation):** Definiše vrstu svetlosti koja je potrebna za fotosintezu biljke.
- ✓ **Celokupna dnevna svetlost DLI (Day Light Integral):** Meri se jedinicom $\text{mol/m}^2/\text{d}$. To je kumulativna mera svih fotona koji dostižu zadati nivo tokom fotoperioda.
 $\text{DLI} = \text{PPFD} \times \text{broj sati sa svetlom po danu} \times 0.0036$
- ✓ **Energetska efikasnost:** Meri se jedinicom $\mu\text{mol/J}$. Definiše se kao PPF po jedinici utrošene električne snage (W).

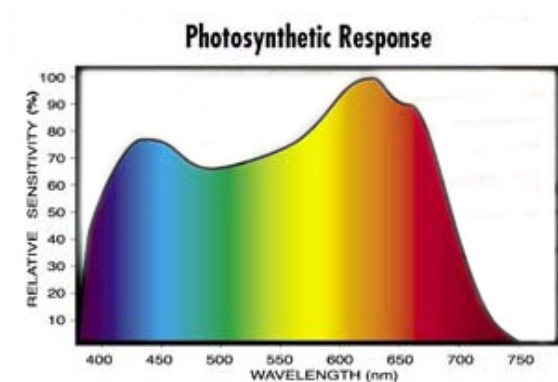
FOTOSINTEZA I FOTOMORFOGENEZA

Fotosinteza je važan biohemijski proces u kojem biljke, alge i neke bakterije koriste energiju sunčevog zračenja kao izvor energije za sintezu hrane. Tada se od prostog neorganskog materijala (ugljenik(IV)-oksid i voda) sintetisuje šećeri - monosaharidi. Ovako sintetisane organske materije predstavljaju izvor hrane i energije kako biljkama u kojima se sintetisuje, tako i ostalim organizmima na Zemlji, što čini ovaj proces ključnim za opstanak života na Zemlji. Fotosinteza je zaslužna i za konstantnu proizvodnju kiseonika. Organizmi koji proizvode energiju fotosintezom nazivaju se fototrofi.

Fotosinteza je osnovni proces u prirodi zato što obezbeđuje organske materije za sve žive organizme. Sve ostale sinteze u živim bićima nastavljaju se na fotosintezu. Odvija se kroz dve faze:

- svetlu, za koju je neophodna svetlost, i
- tamnu, za čije odvijanje svetlost nije neophodna

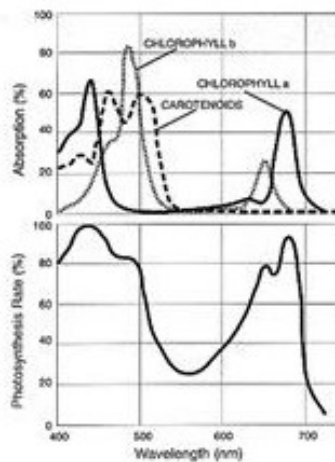
Na slici 1 prikazan je ceo spektar svetlosti. Opseg talasnih dužina koji se može iskoristiti za fotosintezu je između 400-700 nm.



Slika 1

Za zelene biljke, najvažniji maksimumi apsorbovane svetlosti prikazani su na slici 2 i oni iznose:

1. Hlorofil-a: 430nm/662nm
2. Hlorofil -b: 453nm/642nm
3. Karotenoidi: 449nm/475nm



Slika 2

Broj fotona u jedinici svetlosne energije direktno je proporcionalan njenoj talasnoj dužini. Zato je crvena svetlost skoro 1.5 puta efikasnija od plave.

Opseg plave svetlosti je važan zbog istežanja stabljike. Manje od 10% plave svetlosti može dovesti do problema u razvoju nekih biljaka.

Svetlost blizu UV zračenja utiče na biosintezu jedinjenja, kao što su jedinjenja koja daju ukus nekom voću.

U biologiji koja proučava razvoj, **fotomorfogeneza** je razvoj posredstvom svetla, gde su faze rasta biljaka odgovori na spektar svetlosti. Ovaj proces se potpuno razlikuje od fotosinteze, gde se svetlost koristi kao izvor energije. Fotomorfogeneza biljaka se često izučava korišćenjem izvora svetla strogo kontrolisane frekvencije. Postoje bar tri faze razvoja biljaka prilikom fotomorfogeneze: klijanje, razvoj sadnica i prelazak iz vegetativne faze u fazu cvetanja.

Razvoj biljaka zavisi od ambijentalnih uslova. Zbog toga što je svetlost izvor energije za rast biljaka, biljke su razvile vrlo osetljiv mehanizam za primanje svetlosti i njeno korišćenje za regulaciju faza razvoja, kako bi se svetlost maksimalno iskoristila. Uticaj svetlosti je najuočljiviji tokom klijanja, ali svetlost utiče na razvoj biljaka na više načina tokom svih faza razvoja.

FAZE RASTA I RAZVOJA BILJAKA

Životni ciklus biljaka ili ontogeneza predstavlja individualni razvoj biljke, odnosno proces morfoloških, fizioloških i biohemijskih transformacija organizma od oplođenja do kraja života.

Sastoji se od dve faze:

- vegetativne faze – obuhvata razviće embriona, klijanje semena, juvenilni period i razviće vegetativnih organa
- reproduktivne faze – obuhvata zrelost biljke (adultni period), razviće cveta, oprašivanje i oplođenje, razviće ploda i semena, starenje i smrt jedinke.

Njihovo trajanje varira u zavisnosti od vrste biljke i u najvećoj meri je uslovljena dužinom životnog ciklusa. Kod jednogodišnjih biljaka obe faze su kratke, dok su kod višegodišnjih duže.

Rast biljaka direktno je zavisian od boje, jačine i trajanja svetla koje biljka dobija.

Potrebna jačina svetla za fotosintezu je oko $80\text{W}/\text{m}^2$, što znači u praksi da je sijalica 400W dovoljna za oko 6 m^2 površine pokrivena biljkama (sijalica 600W za oko 9 m^2).



Najbolji rast i razvoj biljke postižu ako imaju svetla oko 16 sati dnevno. Za vreme cvetanja biljkama treba svetlosti od 12-14 sati, a zatim period mraka od 12 sati bez prekida. U praksi se pokazalo da cveće veoma dobro uspeva sa periodom od 12 sati svetla i 12 sati mraka.

Proces fotosinteze se najbolje odvija uz svetlo crvenog spektra (600-680nm) i plavog spektra (380-480nm) koje emituju sijalice za proizvodnju u hortikulturi. Metalhalogene sijalice emituju plavo/beli spektar koji je osnovni izvor svetla (zamena za prirodno svetlo) i omogućava kompaktan vegetativni rast biljke. Natrijumove sijalice visokog pritiska emituju svetlo iz crvenog spektra i podstiču cvetanje ili zametanje plodova.

Plavi spektar svetla stimuliše hormone koji pokreću rast i kontrolišu period mirovanja dok se ne steknu povoljni uslovi za klijanje semena. Biljka raste prema izvoru svetla. MH sijalice emituju jako svetlo iz plavog spektra, pa su zato dobre u početnim fazama razvoja biljke. Plavi spektar svetla omogućava dobar rast i pravilno grananje biljke. Crveni spektar svetla pojačava proces fotosinteze, pomaže u germinaciji semena, pojačava pigmentaciju i izaziva i pomaže cvetanje.

Osvetljenje u uzgajanju biljaka ima veliku ulogu zbog mogućnosti skraćenja vremena potrebnog za rast i razvoj biljke.

UPOTREBA RAZLIČITIH IZVORA VEŠTAČKE SVETLOSTI U UZGOJU BILJAKA

Iako su inkadescentni izvori najjeftiniji, pokazalo se da mogu previše da greju biljku, troše energiju i daju ograničen spektar crvene i plave boje, što je neophodno za uzgoj i zdravlje biljke.

Halogeni izvori imaju boju svetlosti veoma blisku sunčevoj (oko 6000K) i duži životni vek od inkadescentnih (do 15.000h). Karakteriše ih slaba efikasnost, kao i preterano zagrevanje. Mogu da obezbede svetlost u jednoj uzanoj oblasti spektra, na kraju oštećujući i goreći biljke time što daju previše svetla samo određenim zonama pod biljkama, a nedovoljno ostalim zonama.

Fluorescentni izvori su veoma rasprostranjeni, ali imaju manjak crvenog spektra, koji je važan za cvetanje. Razvijeni su sistemi svetiljki sa kompletnijim spektrom svetlosti, naročito oni sa povećanim udelom plavog i crvenog spektra, da bi se postigao održivi PPF (photosynthetic photon fluence) neophodan za visok prinos. Ipak, spektar i intenzitet fluorescentnih izvora nije stabilan u dužem vremenskom periodu, a ovakvi sistemi su skupi i neefikasni.



Sijalice sa pražnjenjem, kao što su MH i HPS izvori, do sada su imali najveću primenu u hortikulturi. Imaju relativno visoku efikasnost do 200 lm/W i visok PAR (Photosynthetic Active Radiation) do 40% i koriste se u staklenicima i ostalim prostorijama za uzgoj biljaka. HPS izvori daju svetlost u toplom, crvenom delu spektra i dominantni su u

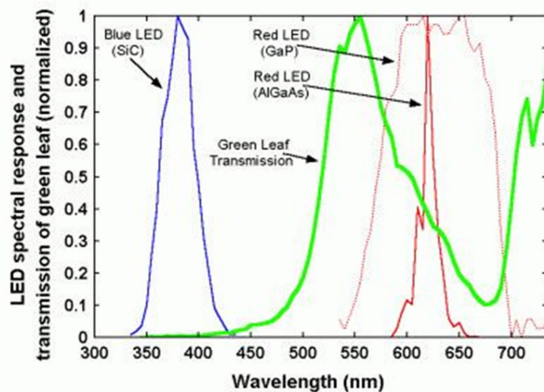


odnosu na MH ili fluorescentne izvore za gajenje cveća. Međutim, zbog lošeg indeksa reprodukcije boje plavog svetla, biljke izgledaju izbledele, tako da je potrebno kombinovati dva tipa HPS izvora da bi se dobila i crvena i plava boja svetla.

UPOTREBA LED TEHNOLOGIJE I NJENE PREDNOSTI

Korišćenje navedenih izvora svetlosti, koji nemaju ceo opseg spektra i imaju veliku potrošnju električne energije, kao ozbiljan nedostatak ima i to da nije moguće postavljanje svetiljki blizu biljke zbog visoke temperature koja može oštetiti biljku.

Razvoj LED tehnologije poslednjih decenija uvela je novi izvor svetla u oblast gajenja biljaka, sa mnogobrojnim prednostima.



Slika 3

Pre svega, LED izvori mogu da obezbede ceo opseg talasnih dužina, potrebnih za rast i razvoj biljaka ili postizanje samo određene boje svetla u pojedinim fazama razvoja.

Spektar apsorpcije biljaka može da se podesi korišćenjem tunable LEDs kao što je pokazano na slici 3. LED izvori su daleko pogodniji od konvencionalnih HPS, čiji se maksimumi mnogo razlikuju od spektra apsorpcije zelenih biljaka.

Mnogim biljkama nisu potrebne sve boje iz vidljivog dela spektra. Na primer, za biljke koje cvetaju potreban je ceo vidljivi spektar svetlosti, ali neke talasne dužine važnije su od drugih. Crveno svetlo je od ključnog značaja za podsticanje cvetanja i proces formiranja plodova, dok plavo svetlo podstiče kompaktni “žbunasti” izgled zdrave biljke. Zbog toga, uzgajivači koji se oslanjaju na veštačko osvetljenje kao što je LED, koncentrišu se na plavi i crveni deo spektra.



Tačna količina svetlosti mora da se obezbedi veštački, gde treba imati u vidu da previše svetla može da ošteti biljku, da bude neefikasna i da previše košta.

Od svih veštačkih izvora svetla, LED izvori imaju najveću PAR efikasnost, u opsegu od 80-100%. S obzirom na to da LED emituje plavu, zelenu, žutu, narandžastu, crvenu boju svetla, to se mogu koristiti kako osnovne boje, tako i njihove kombinacije ili pak specijalne talasne dužine za povećanje efikasnosti i prinosa, zahvaljujući njihovom uskom opsegu talasnih dužina.

Visoka efikasnost, niska radna temperatura i mali gabariti LED omogućavaju da se izvori postavljaju veoma blizu biljke. Dug životni vek i laka kontrola čine ih idealnim za staklenike i to preko cele godine. LED tehnologija predviđena je da zameni konvencionalne izvore i unese revolucionarne promene u kontrolisanim uslovima uzgoja biljaka.

Osnovne prednosti korišćenja LED tehnologije su:

- ✓ **Geometrija:** S obzirom na to da je zračenje koje se emituje na biljku obrnuto proporcionalno kvadratu rastojanja između izvora zračenja i biljke, to je najbolje postaviti izvor svetla blizu biljke. LED izvori to dozvoljavaju zato što su hladniji u odnosu na ostale izvore svetla, koji mogu da sprže biljku ako su na maloj udaljenosti.
- ✓ **Efikasnost:** Električna efikasnost LED svetiljki je mnogo veća od jeftinih i često korišćenih fluorescentnih svetiljki, tako da se vrši ušteda električne energije.
- ✓ **Trajanje:** Po definiciji, životni vek LED određen je vremenskim periodom posle koga fluks opadne na 70% svoje početne vrednosti i taj period iznosi oko 50.000 h, što je daleko više od uobičajenog životnog veka fluorescentnih izvora.
- ✓ **Kvalitet spektra:** Kvalitet spektra pažljivo izabranih LED izvora može imati dramatične efekte na anatomiju (strukturu) biljke, njenu morfologiju (oblik) i razvoj. Pažljivo odabran spektar može da postigne optimalan balans između energetske efikasnosti i kvaliteta osvetljenja.
- ✓ **Male dimenzije:** Omogućava se postavljanje izvora svetla na velikom prostoru.

Neki dobici primenom LED tehnologije svakako su:

- značajne uštede u potrošnji električne energije od oko 50%
- manje dodavanje nutrijenata vodi za biljke
- bezbedno je postavljanje izvora na bilo kom rastojanju od biljke
- veća kontrola uzgajivača nad morfologijom biljaka

Nova LED tehnologija ima potencijal da u potpunosti zadovolji zahteve biljaka u pogledu intenziteta svetla i opsega talasnih dužina, omogućava da specifične talasne dužine budu obogaćene, snabdevajući biljke količinom i kvalitetom svetla neophodnom za različite faze razvoja. Samim tim, biomasa i metabolički proizvodi ovako gajenih biljaka mogu da budu izmenjeni.

Efekat LED osvetljenja dosta je proučavan jer predstavlja ogroman biotehnološki i ekonomski potencijal – za biogoriva, u farmaceutskoj industriji, za prehrambene aditive i u kozmetici.

Proizvodnja dovoljne količine kvalitetne hrane za devet milijardi ljudi, kako je predviđeno do 2050. godine, veliki je izazov u uslovima globalnih klimatskih promena. Za razliku od poljoprivrede na otvorenom, uzgoj biljaka u zatvorenom prostoru zasniva se na novim svetlosnim izvorima kao što je LED jer ima mogućnost stimulisanja rasta biljaka, uz drastično smanjenje potrošnje električne energije.

ZAKLJUČAK

LED predstavlja inovativan veštački izvor svetla ne samo zahvaljujući njegovom intenzitetu i prednostima u pogledu spektra i potrošnje energije, nego i zbog mogućnosti da se ciljano upravlja metaboličkim procesima da bi se povećao prinos i kvalitet biljaka. Trenutno se LED koristi u komercijalne svrhe uglavnom za zelene lisnate biljke, povrće, trave i cveće u saksijama.

Istraživanja o efektima LED na primarni i sekundarni metabolizam biljaka i o tome kako LED utiče na reakcije biljaka, zajedno sa prednostima dinamičkih promena količine i kvaliteta svetla u različitim fazama razvoja može da doprinese efikasnoj upotrebi LED tehnologije u uzgoju biljaka u zatvorenim sredinama.

Proizvođači svetiljki treba da ponude energetske efikasne, ekološki održive svetiljke, prilagođene promenljivim potrebama potrošača. LED svetiljke opremljene drayverima mogu da obezbede dodatne pogodnosti u pogledu fleksibilnosti u radu, efikasnosti, pouzdanosti, kontrolabilnosti i inteligencije za sisteme osvetljenja u staklenicima. Prihvatanje i upotreba samo LED tehnologije zavisi od poboljšanja efikasnosti i izlaznog fluksa po paketu LED dioda u odnosu na cenu - „lumen per package”. Nove tehnologije daju mogućnost ekonomski efikasne potrošnje svetlosne energije za gajenje biljaka i to kako na Zemlji, tako i u svemiru, u bliskoj budućnosti.

LED tehnologija će doprineti kvalitetnijoj i količinski većoj ishrani rastuće ljudske populacije, kao i održanju spoljašnjih eko-sistema (najviše šuma) i zaštiti planete Zemlje.

LITERATURA

- [1] <http://sijalicezabiljke.blogspot.rs/>
- [2] https://alliedscientificpro.com/blog/our-news-1/post/effects-of-light-emitting-diodes-on-horticulture-16#blog_content
- [3] <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/369/1640/20130243>: *Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism*
Eva Darko, Parisa Heydarizadeh, Benoit Schoefs, Mohammad R. Sabzaljan, March 2014.
- [4] http://www.sunlitest.com/showroom/index.php?main_page - Horticulture lighting

- [5] LED Proffesional – Review: *More Efficient Plant Growth with Quantum Dots*, May/June 2016.