

Ultravijolično sevanje – pomemben dejavnik v življenju rastlin

Alenka Gaberščik, Alan Jones, Marcel Jansen

Sončevo sevanje je sila, ki oblikuje in poganja čudežni splet življenja na tem planetu že milijarde let. Zadovoljuje naše potrebe in postavlja meje našemu pohlepu ... Je varno, večno, vseobsegajoče in brezplačno.

Theodore B. Taylor: *Sceptic* (1977).

Navedek povzema bistvo pomena Sončevega sevanja za naš planet. Del Sončevega sevanja je tudi sevanje v ultravijoličnem območju. Ultravijolično sevanje je eden od ključnih dejavnikov, ki so bistveno prispevali k raznolikosti biocenozo Zemlje. Kljub temu je odnos javnosti do ultravijoličnega sevanja običajno negativen. Večina ljudi ultravijolično sevanje povezuje z opekljami in kožnim rakom, medtem ko se pozitivne vloge ultravijoličnega sevanja v našem življenju ne zavedamo.

Narava Sončevega sevanja na Zemlji

Sončevo sevanje je elektromagnetno valovanje, ki prihaja od Sonca. Sestavljeno je iz spektra vidne svetlobe in nevidnega dela z različnimi valovnimi dolžinami. Najpomembnejši deli Sončevega sevanja za življenje na Zemlji so ultravijolično sevanje, vidna svetloba in infrardeče sevanje. »Svežnji« svetlobe (fotoni), ki prihajajo od Sonca, potujejo skozi prostor. Količina Sončevega sevanja na robu Zemljinega ozračja je bolj ali manj stalna (približno 1,36 kilovatov na kvadratni meter). V ozračju se sevanje spremeni, saj snovi, kot so ozon v stratosferi ter plini, aerosoli, vodna para in različni delci v troposferi, absorbirajo, razpršijo in odbijajo fotone. Na različne valovne dolžine vplivajo različno. Ozonska plast absorbira vse sevanje UV-C (njegova valovna dolžina je manj kot 280 nanometrov), znaten del sevanja

UV-B (od 280 do 315 nanometrov) in prepušča večino sevanja UV-A (od 315 do 400 nanometrov). Ultravijolično sevanje predstavlja le približno sedem do devet odstotkov celotnega Sončevega sevanja, ki doseže biosfero, vendar ima za razliko od ostalih valovnih dolžin Sončevega sevanja veliko energijo. To pomeni, da lahko ultravijolično sevanje povzroči spremembe v molekulah, ki jih zadene.

Ultravijolično sevanje in fotosinteza rastlin omogočata obstoj zaščitne ozonske plasti

Ozonska plast v stratosferi ima pomembno vlogo, saj varuje Zemljino biosfero pred kratkovalovnim sevanjem. Nastanek ozonske plasti v Zemljinem ozračju je omogočila fotosinteza, pri kateri rastline vežejo ogljikov dioksid in sproščajo kisik. Ko ultravijolični fotoni (UV-C) zadenejo molekule O₂, razpadejo na atome kisika, ki reagirajo z O₂ in tvorijo ozon (O₃).

O₂ + UV-C foton (več kot 240 nanometrov) → O + O

O₂ + O + M → O₃ + M

M je snov (največkrat molekularni kisik ali dušik), ki prestreže presežek energije v reakciji in omogoča, da se ozon obrani.

Ozonska plast sega od 10 kilometrov do 50 kilometrov nad površjem Zemlje, vendar je skupna količina majhna, saj je povprečna koncentracija le približno osem delcev na milijon (ppm). Kondenzirana v tekočini in enakomerno razporejena po Zemljini površini bi plast merila le približno štiri mikrometre. Količino ozona izražamo z Dobsonovimi enotami (DU). Normalna vrednost je približno 300 Dobsonovih enot, kar ustreza trem milimetrom čistega ozona pri

tlaku enega bara in temperaturi nič stopinj Celzija. Ozonska plast je zelo občutljiva za nekatere kemikalije, ki povzročijo uničenje ozona. Zmanjšana koncentracija ozona danes je posledica antropogenih virov (klorofluorogljikvodikov), ki so se uporabljali v hladilnikih in razpršilih, in je privedla do znatnega povečanja sevanja UV-B na površini Zemlje. Podnebne spremembe bi lahko dodatno vplivale na količino ultravijoličnega sevanja s spremembami v nastajanju oblakov in spremembami albeda. Albedo ali koeficient odbojnosti (tudi odbojnost) je mera za svetlobno odbojnost površine telesa. Albedo pove, kolikšen del vpadne svetlobe se odbije od površine telesa. Ime izvira iz latinške besede *albus*, ki pomeni belina.

Težave, ki so nastale zaradi tanjšanja ozonske plasti, smo ljudje rešili z uspešnim mednarodnim sporazumom (Montrealski sporazum). Države podpisnice so se strinjale, da omejijo uporabo klorofluorogljikvodikov in na ta način ohranijo ozonski plašč. Sporazum je bil sprejet že leta 1987 in je primer uspešnega mednarodnega sodelovanja, ki je lahko navdih za mednarodno skupnost pri reševanju težav s podnebnimi spremembami in izgubo biotske raznovrstnosti.

Sončevo sevanje je oblikovalo življenje na Zemlji

Rastline učinkovito izrabljajo Sončevo sevanje. Kot primarni proizvajalci so v celoti odvisne od Sončevega sevanja. Sončevo sevanje poganja fotosintezo in usmerja razvoj rastlin od kalitve do cvetenja. Sončevo sevanje ni le koristno, ampak rastline tudi segreva in jih lahko celo poškoduje. Zato je za

učinkovito uporabo Sončnega sevanja in izogibanje poškodbam ključnega pomena ustrezna »opremljenost« rastlin. To še posebej velja za sevanje v ultravijoličnem območju, ki je le eden od številnih okoljskih dejavnikov, ki oblikujejo življenje na Zemlji. Tarče ultravijoličnega sevanja v vseh živih celicah so biološko pomembne makromolekule (DNA, lipidi in proteini). Deoksiribonukleinska kislina (DNA) je dedni material v vseh živih organizmih, ki se prenaša iz generacije v generacijo. Poškodbe DNA motijo vitalne celične procese (prepisovanje in podvajanje DNA) in posledično delovanje celic ter lahko povzročijo celo celično smrt. Poškodbe DNA, ki nastajajo zaradi ultravijoličnega sevanja, pa nimajo samo negativnih posledic. Ultravijolično sevanje je pomembna evolucijska sila. Mutacije lahko vodijo v razvoj novih lastnosti in povečujejo raznolikost vrst. Rastline pa lahko s pomočjo modre svetlobe in sevanja UV-A popravljajo poškodbe DNA. Raziskovalci so dokazali, da se obseg poškodb DNA zaradi ultravijoličnega sevanja občutno zmanjša po izpostavljenosti modri svetlobi in/ali sevanju UV-A. Vzrok temu je aktivacija encima (fotoliaz), ki popravlja poškodovana zaporedja DNA. Prednost tega sistema je, da Sončevo sevanje, ki vsebuje velik delež ultravijoličnega sevanja, vsebuje tudi veliko modre svetlobe. Vključenost modre svetlobe

Vidna svetloba, sestavljena iz različnih barv, ki jih je mogoče videti kot mavrico, kadar sončni žarki sijejo skozi dežne kaplje.



in/ali sevanja UV-A v proces popraviljanja je znan pod imenom fotoreaktivacija. Fotoreaktivacija je glavna zaščita pred škodo, povzročeno zaradi ultravijoličnega sevanja pri rastlinah. Poleg fotoreaktivacije imajo organizmi še številne druge prilagoditve, ki jim omogočajo uspešno spopadanje s škodljivimi ultravijoličnimi žarki.

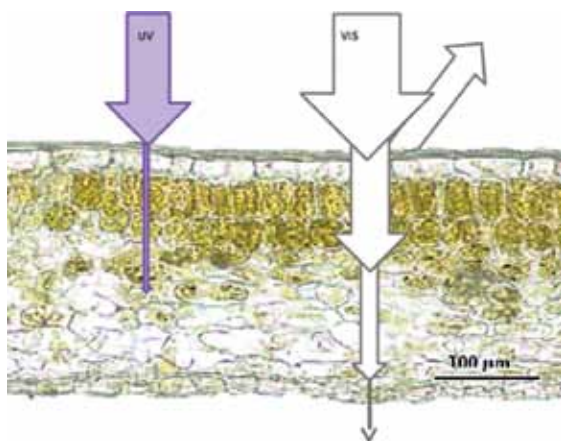
Rastline se odzivajo na ultravijolično sevanje

Rastline lahko zaznavajo kakovost, jakost, trajanje in smer sevanja in to informacijo uporabijo za uravnavanje svoje rasti. Poleg vidne svetlobe rastline zaznavajo tudi sevanji UV-B in UV-A ter modro svetlobo. Raven ultravijoličnega sevanja v naravi običajno ne povzroča poškodb rastlin. Zaznavanje ultravijoličnega sevanja omogoča rastlini pravočasno zaščito pred pretirano izpostavljenostjo ultravijoličnemu sevanju, pa tudi prilagajanje nanjo. Raziskave so na primer pokazale, da zaznavanje s posebnim senzorjem UV-B (s fotoreceptorjem proteinom UVR8) omogoči fotomorfogenezne odzive rastlin na ultravijolično sevanje.

Najpogostejša odziva rastlin na ultravijolično sevanje sta sinteza in akumulacija snovi, ki absorbirajo ultravijolično sevanje. Raznolikost in celovitost zgradbe teh snovi v rastlinah sta se povečevali v času evolucije. Snovi, ki absorbirajo ultravijolično seva-

nje, so pri različnih primarnih proizvajalcih različne. Alge izdelujejo mikosporinom podobne aminokisljine, semenke pa različne fenolne snovi. Fenolne snovi so rastlinski sekundarni metaboliti, ki obsegajo približno 8.000 različnih spojin, ki imajo skupno strukturno značilnost, fenolni (aromatski) obroč. Koncentracija in vrsta teh spojin sta odvisni od vrste rastline in odmerka sevanja UV-B. Poleg zaščite pred sevanjem imajo fenolne snovi tudi številne druge vloge. Zagotavljajo zaščito pred okužbami in stresnimi razmerami (pozebo, visokimi temperaturami in sušo), varujejo rastline pred rastlinojedci ter izboljšajo možnost preživetja rastlin v tleh, obremenjenih s strupenimi kovinami. Ker se snovi, ki absorbirajo ultravijolično sevanje, večinoma kopičijo v povrhnjici, lahko znatno spremenijo optične lastnosti rastlinskih organov (sadežev, cvetov in listov) (slika spodaj). Navzočnost teh snovi v rastlinskem tkivu je tudi eden od razlogov, da so tla temno rjave barve.

Različne študije so pokazale, da ultravijolično sevanje sproži tudi različne morfogenezne odzive pri rastlinah. Mnoge od teh odzivov najdemo pri alpskih rastlinskih vrstah. Nekateri znanstveniki domnevajo, da ima alpska flora takšne prilagoditve tudi zaradi povečanega ultravijoličnega sevanja na visokih nadmorskih višinah. Drugi pa so spet mnenja, da so to le prilagoditve na sušo in skrajne temperature, kar povezujejo z večjo odpornostjo proti suši pri rastlinah, obsevanih z ultravijoličnim sevanjem. Izpostavljenost rastlin ultravijoličnemu sevanju lahko tudi omili negativne vplive drugih okolj-



Snovi, ki absorbirajo ultravijolično sevanje, se kopičijo v celicah povrhnjice listov in delujejo kot selektivni filter, ki zmanjša prebijanje ultravijoličnega sevanja v listno sredico, bkrati pa ne vpliva na prebijanje vidne svetlobe (VIS), ki je ključnega pomena za fotosintezo.



Rastline, ki rastejo v okolju z visoko ravnijo ultravijoličnega sevanja, so nižje rasti in so bolj razvejene v primerjavi z rastlinami, ki so izpostavljene nižjim odmerkom. Tudi listi so manjši, vendar debelejši in imajo bolj razvite epidermalne in kutikularne strukture, kot so kutikula in listne dlačice.



Barvni vid nekaterih žuželk in spektralne lastnosti cvetov so se razvijali sočasno.

skih dejavnikov. Številne študije so pokazale, da obravnavanje rastlin z ultravijoličnim sevanjem lahko poveča strpnost do suše in obratno, sušne razmere izboljšajo odpornost proti ultravijoličnemu sevanju. Ultravijolično sevanje lahko zmanjša okužbe rastlin s patogeni, saj so glive in bakterije na splošno bolj občutljive za ultravijolično sevanje kot semenke.

Vse v naravi je vprašanje stroškov in koristi

Vsakdo ve, da je učinkovita oprema draga. To velja tudi za rastlinske lastnosti, ki so potrebne za spopadanje z ultravijoličnim sevanjem. Rastline kot pritrjeni organizmi živijo v nenehno spreminjajočem se okolju in so podvrženi stalnemu tehtanju, ali naj vlagajo v rast ali v zaščito pred neugodnimi razmerami, vključno z ultravijoličnim sevanjem. Okoljski sprožilec proizvodnje fe-

nolnih spojin ni le ultravijolično sevanje, ampak tudi močna jakost vidne svetlobe (fotosintezno aktivnega sevanja). Ta kombinacija zagotavlja visoko fotosintezo in dovolj razpoložljive energije za njihovo sintezo.

Sevanje UV-B in koevolucija rastlin in opraševalcev

Zaznavanje svetlobe ljudem razkriva pisan svet. Toda barva sveta nekaterih drugih organizmov ni taka, kot jo vidimo ljudje, kar je odvisno od različnih dejavnikov. Eden od njih so medvrstni odnosi. Poseben mutualistični odnos je nastal med cvetovi in njihovimi opraševalci. Čebele, metulji in nekatere druge žuželke vidijo na primer v ultravijoličnem območju sevanja. Rastline različen vid pri živalih izkoriščajo za oglaševanje svojih cvetov in privabljanje določene vrste opraševalcev. Pri mnogih cvetovih ultravijolično sevanje razkriva skrivne poti in »pristajalne steze«, ki vodijo do okusne hrane. Tako imenovani medosledi – to so razpoznavni vzorci na venčnih listih, ki optično privabljajo in usmerjajo opraševalce – so vidni samo izbranim vrstam žuželk, medtem ko so skriti pogledu večine drugih živali in ljudi. Usklajenost vida opraševalcev in optičnih lastnosti cvetov je rezultat dol-



Grozdje je bogato s fenolnimi snovmi, ki absorbirajo ultravijolično sevanje.

gotrajne koevolucije. Korist tega odnosa je učinkovita reprodukcija rastlin in dostopnost visoko energetske hrane za opraševalce. Nekateri mesojede rastline pa uporabljajo ultravijolične oznake iz drugih razlogov. S posnemanjem ultravijoličnih vzorcev cvetov vabijo žuželke v svoje pasti.

Rastline, ki rastejo pod ultravijoličnim sevanjem, so koristne za ljudi

Rastline so ključni vir hrane za ljudi. Vsak atom ogljika, ki gradi naše telo, najprej vežejo rastline v procesu fotosinteze, šele nato ga lahko uporabimo ljudje. Enako velja za mineralne snovi, ki prihajajo iz tal in postanejo za nas dostopne šele s pomočjo rastlin. Poleg tega rastline proizvajajo tudi številne pomembne zaščitne snovi in vitamine, ki so za nas nujno potrebni, vendar jih naša telesa ne morejo sintetizirati. Verjetno veste, da so vitamin C in antioksidanti pomembne sestavine zdrave prehrane. Tvorbo številnih koristnih snovi sproži ultravijolično sevanje. Najpomembnejša skupina so že omenjene fenolne snovi, ki absorbirajo ultravijolično sevanje in imajo širok spekter bioloških funkcij ter povečajo odpornost za različne bolezni. Prav tako so močni antioksidanti, ki odstranjujejo reaktivne kisikove spojine in proste radikale ter vežejo kovine, kot sta železo in baker, in tako omogočajo, da jih naše telo uporabi. Pomembni viri fenolnih snovi so različna zelišča (zdravilne rastline),

sadje, zelenjava, žitarice (ajda, divji riž), čaj, kava, fižol, čebelji cvetni prah (propolis) in rdeče vino.

Kako »žgoče« je povečano ultravijolično sevanje danes?

Stratosferska ozonska plast varuje življenje pred škodljivim ultravijoličnim sevanjem. Do tanjšanja ozonske plasti je prišlo predvsem zaradi izpustov klorofluorogljikovodikov (CFC), metilbromida (CH_3Br), dušikovih oksidov (NO_x) in nekaterih drugih snovi, ki se sproščajo pri človekovih dejavnostih. Spremljanje sprememb od leta 1980 dalje je pokazalo, da se je količina ozona znižala za tri do šest odstotkov, kar pomeni šest do štirinajst odstotkov povečanja sevanja UV-B na površini Zemlje. Zmanjšanje je manj izrazito v velikih zemljepisnih širinah severne poloble in precej nepredvidljivo na južni polobli, kjer prihaja do zmanjšanja koncentracije ozona vsako pomlad. Razpolovna doba klorofluorogljikovodikov (CFC) je od 50 in 150 let, vsaka molekula CFC pa lahko povzroči uničenje številnih molekul ozona. Zato te snovi ostajajo v zgornji atmosferi in lahko pričakujemo, da se bo raven ozona povečala na raven pred letom 1970 šele do leta 2050. Napovedi so negotove zaradi možnosti nepredvidenih interakcij s podnebnimi spremembami.

Učinke povečanega ultravijoličnega sevanja na rastline danes dobro poznamo. Negativni

učinki so odvisni od vrste rastline in odnosa med obsegom poškodb in vzpostavljanjem zaščitnih in popravljivih mehanizmov. Izpostavljenost zmernim odmerkom ultravijoličnega sevanja večinoma nima negativnih vplivov na rastline. Izjema so slabo prilagojene (neutrjene) rastline (na primer intenzivno žlahtnjene rastline) in rastline, ki so izpostavljene drugim omejitvam (na primer pomanjkanju hranil, prevelikemu sevanju). Kot smo že omenili, je najpogostejši odziv povečanje koncentracije različnih snovi, ki absorbirajo ultravijolično sevanje. Raziskave so tudi pokazale, da lahko ultravijolično sevanje poleg poškodb DNA vpliva na fotosintezo, dihanje, gospodarjenje z vodo ter na rast in razvoj rastlin. Spremembe v metabolizmu vplivajo na razvoj rastlin (fenologijo) ter količino biomase in proizvodnjo semen.

Zaključek

Spoznali smo koristi in grožnje ultravijoličnega sevanja, od zmanjšanja pridelka nekaterih poljščin, izboljšane kakovosti rastlin za hrano, povečane odpornosti proti suši, zmanjšane ogroženosti zaradi škodljivcev do strpnosti do različnih bolezni. Od nas je odvisno, kako bomo to znanje uporabili za preprečevanje morebitnih škodljivih posledic ultravijoličnega sevanja za ljudi, živali in rastline, ki so ultravijoličnemu sevanju izpostavljene. Pomembno pa je tudi, da dobrodejne učinke uporabimo v svojo korist, podobno kot številni organizmi v času evolucije.

Viri:

- Björn, L. O., 2007: Stratospheric ozone, ultraviolet radiation, and cryptogams. Biological Conservation, 135: 326–333.*
- Britt, A. B., 2004: Repair of DNA damage induced by solar UV. Photosynthesis Research, 81: 105–112.*
- Chittka, L., Shmida, A., Troje, N., Menzel, R., 1994: Ultraviolet as a component of flower reflections, and the colour perception of Hymenoptera. Vision research, 34 (11): 1489–1508.*
- Guo, J., Han, W., Wang, M.-H., 2008: Ultraviolet and environmental stresses involved in the induction and regulation of anthocyanin biosynthesis: a review. African Journal of Biotechnology, 7: 25, 4966–4972.*
- Heijde, M., Ulm, R., 2012: UV-B photoreceptor-mediated signalling in plants. Trends in Plant Science, 17: 4.*
- Hessen, D. O., 2008: Solar radiation and the evolution of life. In: Solar Radiation and Human Health.*
- Bjertness, E. (ed.), Oslo, The Norwegian Academy of Science and Letters. 123–136.*
- McKenzie, R. L., Aucamp, P. J., Bais, A. F., Björn, L. O., Ilyase, M., 2007: Changes in biologically-active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. Photochemical and Photobiological Sciences, 6: 218–231.*
- Menzel, R., Backhaus, W., 1991: Colour vision in insects. In: P. Gouras, Ed., Vision and Visual Dysfunction, 6, The Perception of Color, London: Macmillan. 262–293.*
- Treutter, D., 2012: Significance of flavonoids in plant resistance: a review. Environmental Chemistry Letters, 4 (3): 147–157.*
- Alenka Gabersčik, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija.*
- Alan Jones, Earthwatch, Enota za spremembe okolja, Univerza v Oxfordu, Anglija.*
- Marcel Jansen, Šola bioloških znanosti in znanosti o okolju, Butler Building, Distillery Field, North Mall, Irska.*

Ustanove, v katerih so zaposleni avtorica in avtorji:

Alenka Gabersčik, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija.

Alan Jones, Earthwatch, Enota za spremembe okolja, Univerza v Oxfordu, Anglija.

Marcel Jansen, Šola bioloških znanosti in znanosti o okolju, Butler Building, Distillery Field, North Mall, Irska.