

Pomen silicija za življenje rastlin

Mateja Grašič, Alenka Gaberščik

Silicij je pomemben gradnik tal in rastlin. Je neobhodno potreben za rast in razvoj trav, presličevk ter kremenastih in zlatorjavih alg. Številne vloge silicija v rastlinah, kot so povečanje antioksidativne zmožnosti tkiva, zaščita pred rastlinojedci (herbivori), izboljšana trdnost rastlin in učinkovito gospodarjenje z vodo, so posebej pomembne v današnjem vse bolj nepredvidljivem okolju.

Silicij v tleh in rastlinah

Silicij po zastopanosti zaseda drugo mesto med elementi, ki se pojavljajo v tleh in v zemeljski skorji, takoj za kisikom. V rastlinah ga najdemo v zelo različnih, a pomembnih deležih njihove suhe mase. Te vrednosti znašajo od 0,1 do 10 odstotkov ali celo več. Ob primerjavi z esencialnimi makrohranili (dušik: od 0,5 do 6 odstotkov, fosfor: od 0,15 do 0,5 odstotka, kalij: od 0,8 do 8 odstotkov, žveplo: od 0,1 do 1,5 odstotka, kalcij: od 0,1 do 6 odstotkov, in magnezij: od

0,05 do 1 odstotka) ugotovimo, da največjo raznolikost glede pojavljanja v rastlinah kaže ravno silicij. Kljub veliki zastopanosti v rastlinskem svetu, predvsem v travah, silicija ne prištevamo med hranila, nujna za preživetje, izjeme so presličevke ter kremenaste in zlatorjave alge. Količina silicija v rastlinah je odvisna predvsem od načina privzema, ki se razlikuje med vrstami. Poznamo tri skupine rastlin glede na vsebnost silicija v njihovih tkivih. To so: (1) rastline, ki kopičijo silicij in njegova koncentracija v njihovih tkivih presega 1 odstotek, (2) izključevalci silicija s koncentracijo silicija, manjšo od 0,5 odstotka, ter (3) vrste, ki jih ne moremo uvrstiti v nobeno od obeh navedenih skupin. Visoke koncentracije silicija v tkivih imajo evolucijsko primitivnejši mahovi in nekatere praprotnice (lisičjačnice, presličnice in nekatere praproti), pa tudi evolucijsko naprednejše enokaličnice (ostričevke in trave). Pri travah silicij običajno



Presličnice v tkivih vsebujejo visoke koncentracije silicija. Foto: Alenka Gaberščik.



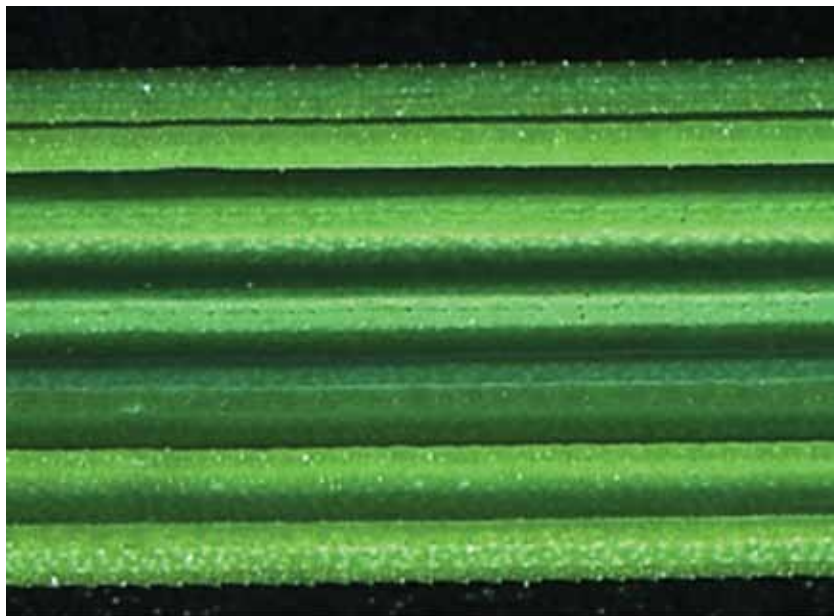
Visoke koncentracije silicija v tkivih imajo tudi evolucijsko naprednejše enokaličnice, kot so ostričevke in trave, ki so glavni gradnik travnikov. Foto: Alenka Gaberšček.

predstavlja do 4 odstotke njihove suhe mase, pri preslicah tudi do 16 odstotkov, medtem ko pri rižu vrednosti lahko segajo vse do 20 odstotkov. Najnovejše raziskave kažejo, da zmožnost rastlinskih vrst za kopičenje silicija lahko ocenimo na podlagi prisotnosti prenašalcev silicija.

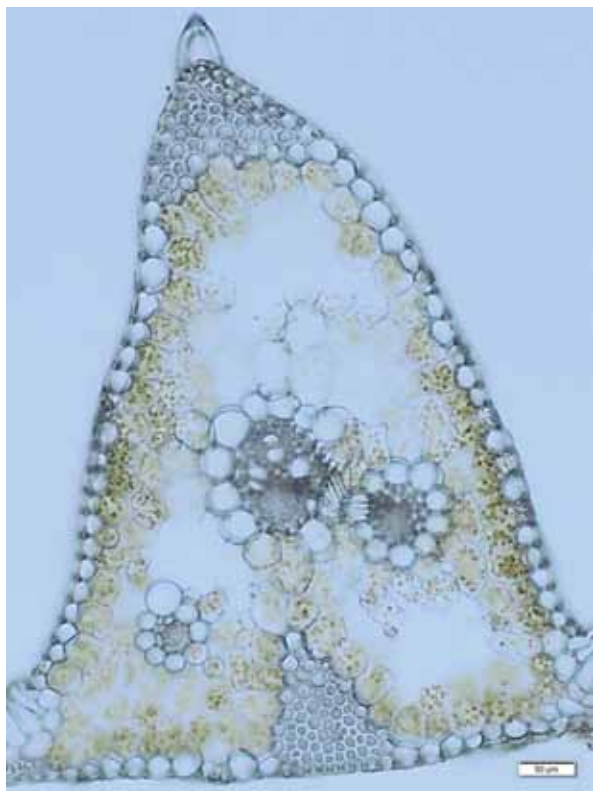
Privzem, prenos in nalaganje silicija v rastlinah

Rastline silicij privzemajo skozi korenine v obliki hidrirane silicijeve kisline. Prenos silicija je aktiven, nanj pa pomembno vpliva tudi transpiracijski tok. Raziskovalci so ugotovili, da imajo največjo vlogo pri privzemu silicija stranske korenine in ne koreninski laski. Ko pride do nasičenja silicijeve kisline znotraj rastline, se silicij začne odlagati. Nalaga se v trdni amorfni hidrirani obliki silicijevega dioksida ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) v celičnih stenah, v medceličnih prostorih, v lumnu celic ter zunanjih plasteh. Najprej se odlaga v tako imenovanih silicijevih celicah, z naraščajočo koncentracijo pa nastajajo silicijeva telesa, ki jih imenujemo fitoliti. To so celice, ki se bolj ali manj v

celoti zapolnijo s silicijem. Poleg silicijevega dioksida in vode manjši delež mase fitolitov (običajno do 5 odstotkov) prispevajo tudi nekateri drugi elementi, kot so aluminij, železo, mangan, magnezij, fosfor, baker, dušik in ogljik. Tvorba fitolitov v rastlinah je odvisna od številnih dejavnikov, na primer okoljskih razmer, tal in vsebnosti vode v tleh, starosti rastlin, najpomembnejši vpliv pa ima nagnjenost same vrste k tvorbi fitolitov. Fitoliti se v rastlinskem svetu pojavljajo v zelo različnih, vrstno značilnih oblikah. Raziskovalci so našli celo povezavo med različnimi morfotipi fitolitov in evolucijsko starostjo rastlin. Fitoliti evolucijsko starejših taksonov so v splošnem večji kot pri evolucijsko mlajših taksonih. Poleg tega se pri evolucijsko starejših skupinah pojavlja manj različnih morfotipov fitolitov kot pri mlajših. Poleg vrstno značilnih oblik fitolite odlikuje tudi izjemna obstojnost. Znanstveniki so uspešno izolirali celo 35 milijonov let stare fitolite. Fitoliti zato predstavljajo uporabno in zanesljivo orodje za arheološke in paleoekološke raziskave vse do začetka kenozoika.

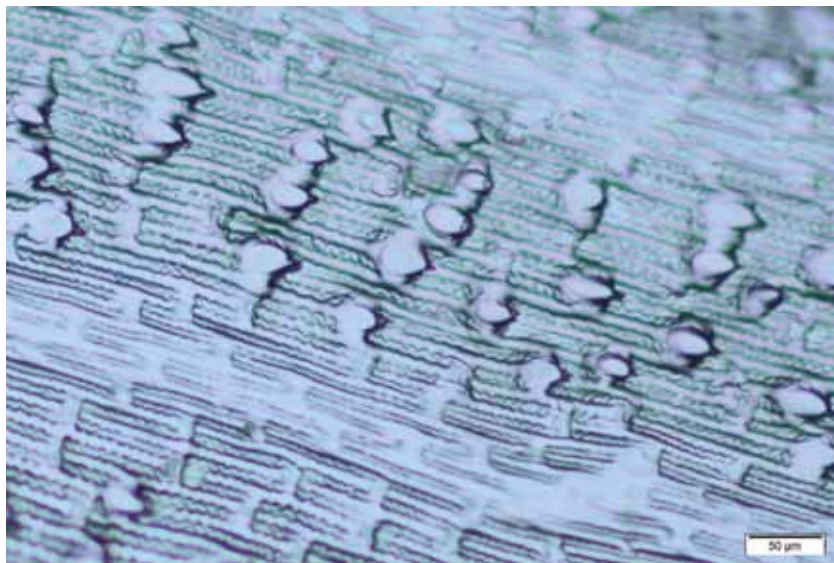


Del lista rušnate masnice, kjer so dobro vidne površinske okremenitve. Foto: Alenka Gaberščik.



Prečni prerez lista rušnate masnice z okremenjeno kutikulo in bodičkami. Foto: Mateja Grašič.

Silicij se najpogosteje kopiči v povrhnjici ali njeni bližini, na primer v buliformnih celicah listov trav, v tvorbah povrhnjice, kot so trihomi in listne reže, v celicah žilne ovojnice ter tudi v mezofilu. Ko se silicij enkrat odloži, njegovo prerazporejanje ni več mogoče. Celice, katerih notranjost je popolnoma zapolnjena s silicijem, odmrejo. Silicij se lahko nalaga tudi v koreninah in ovršnih listih socvetij. Zaznali so ga celo v iglicah iglavcev. Vzorci nalaganja silicija pri rastlinah se razlikujejo na ravni družin, med posameznimi vrstami, znotraj vrst ter celo med različnimi funkcionalnimi skupinami rastlin, kot so na primer vrste s presnovo C3 in presnovo C4 (glej slovarček). Na razlike vplivata tudi rastlinojedstvo in preskrbljenost rastlin s silicijem. Poleg tega na privzem in nalaganje silicija vplivajo tudi drugi okoljski dejavniki. Vzorec nalaganja silicija se prav tako lahko razlikuje glede na razvojno fazo rastlin.



Odtis površine lista rušnate masnice z vidnimi fitoliti in bodičkami. Foto: Mateja Grašič.

Evolucijski vidik vsebnosti silicija v rastlinah

Silicij z energetskega vidika za rastline predstavlja od deset- do dvajsetkrat manj potraten vir kot ogljik. Zato pri nekaterih rastlinah nadomešča oporna tkiva in s tem pripomore k boljšemu ravnovesju ogljika v rastlinah. Raziskovalci so pri travah z mokrotnih travnikov ugotovili negativno povezanost med koncentracijo biogenega silicija ter koncentracijo za rastline »dražjega« lignina. Rastlinam z več vgrajenega silicija so pripisali tekmovalno prednost zaradi večje možnosti porabe energije za druge procese. Ugotovili so tudi, da listi s krajšo življenjsko dobo vsebujejo večje količine silicija v primerjavi z bolj dolgoživimi listi. Ob tem se poraja vprašanje, zakaj se silicij ne pojavlja v večjih količinah tudi pri drugih rastlinskih vrstah. Za odgovor na to vprašanje je treba ovrednotiti tudi ceno vgrajevanja silicija namesto ogljika, o čemer pa za zdaj vemo le malo.

Zmožnost dejavnega kopičenja silicija v rastlinah se je pojavila večkrat neodvisno v evoluciji. Visoka vsebnost silicija ter prisotnost prenašalcev silicija sta značilni tako

za evlucijsko stare (mahovi in praprotnice) kot tudi najmlajše kopenske taksone rastlin (predvsem trave). Golosemenke, ki so razmah doživele vmes, večinoma zaznamujejo majhne količine silicija ter redka pogostost pojavljanja prenašalcev silicija. Trave so znane po visoki vsebnosti silicija. Njihov izvor je vezan na zgodnji terciar, in sicer paleocen. V srednjem miocenu so se zaradi nižanih koncentracij ogljikovega dioksida v ozračju razvile trave s presnovo C₄, ki naj bi se močno razširile v poznem miocenu. Raziskovalci so na podlagi izmerjenih višjih koncentracij silicija pri objedenih listih prišli do zaključka, da je silicifikacija predstavljala zaščito trav pred objedanjem rastlinojedih sesalcev in s tem imela pomembno vlogo pri koevoluciji med travami ter rastlinojedimi sesalci. Rastlinojedstvo je bilo verjetno zato ena od gonilnih sil za povečanje stopnje silicifikacije pri travah med evolucijo.

Druge vloge silicija v življenju rastlin

Silicij za rastline velja kot koristen element. Poleg zaščite pred rastlinojedstvom je pomemben za uspešno rast vseh rastlin. Z vključevanjem silicija v rastlinska tkiva se poveča njihova trdnost, kar prepreču-

je poleganje in lomljenje stebel ob močnih vetrovih. Mnogi raziskovalci so opisali številne znake pomanjkanja silicija pri rastlinah. Preslice ob dolgoročnem pomanjkanju silicija lahko celo propadejo. Običajno se znaki pomanjkanja najprej izrazijo na spodnjih listih in sčasoma napredujejo vedno višje po rastlini. Nalaganje silicija v listih pomaga pri vzdrževanju listov v pokončnem položaju, s čimer se zmanjša stopnja senčenja v gostih sestojih ter izboljša učinkovitost rabe svetlobe. Z nalaganjem silicija na različnih mestih si rastline izboljšajo svojo zadrževalno sposobnost za vodo in hkrati učinkovitost rabe vode. Povišana slanost tal ima na rastline vsaj v začetni fazi zelo podoben učinek kot suša, saj prav tako omejuje privzem vode v rastline. Zato so mehanizmi silicija za izboljšanje uspevanja rastlin pri povišanih koncentracijah soli podobni kot v primeru suše. Raziskovalci siliciju pripisujejo pomembno vlogo tudi pri povečanju strpnosti rastlin do povišane jakosti ultravijoličnega sevanja, kar se kaže kot višja stopnja fotosintezne dejavnosti in nižja stopnja transpiracije ter povečanje antioksidativne sposobnosti rastlin. Menijo celo, da poudarjena zaščitna vloga silicijevih struktur v kutikuli, laskih in povrhnjici listov pred ultravijoličnim sevanjem zmanjša potrebe po izgradnji energetsko bolj potratnih zaščitnih fenolnih snovi, ki absorbirajo ultravijolično sevanje. Silicij izboljša uspevanje pri visokih temperaturah, saj omogoča ohranjanje celovitosti celičnih membran in vpliva na povečanje koncentracij na visoke temperature odpornih proteinov ter antioksidativnih encimov. Silicij ima pomembno vlogo tudi pri uravnavanju ravnovesja hranil v rastlini in pri zaščiti pred strupenimi kovinami, s čimer prav tako pripomore k boljšemu uspevanju rastlin.

Zaradi pomembne vloge silicija je njegova količina v tkivu pomembna tudi za kulturne rastline, predvsem žita, ki so z žlahtnjenjem delno izgubila svojo odpornost proti neugodnim okoljskim razmeram. Zaščita pred

rastlinojedci, izboljšana trdnost rastlin in učinkovito gospodarjenje z vodo so lastnosti, ki so ključne v današnjem vse bolj nepredvidljivem okolju.

Literatura:

- Bauer, P., Elbaum, R., Weiss, I. M., 2011: *Calcium and silicon mineralization in land plants: Transport, structure and function. Plant Science*, 180: 746–756.
- Epstein, E., 2009: *Silicon: Its manifold roles in plants. Annals of Applied Biology*, 155: 155–160.
- Klančnik, K., Vogel – Mikuš, K., Gaberščik, A., 2014: *Silicified structures affect leaf optical properties in grasses and sedge. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 130: 1–10.
- Ma, J. F., 2004: *Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Science and Plant Nutrition*, 50: 11–18.
- Piperno, D. R., 2006: *Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists. Oxford: AltaMira Press.*
- Raven, J. A., Giordano, M., 2009: *Biomining by photosynthetic organisms: Evidence of coevolution of the organisms and their environment? Geobiology*, 7: 140–154. doi: 10.1111/j.1472-4669.2008.00181.x.
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Ahmad, P., Chauhan, D. K., Prasad, S. M., (ur.), 2017: *Silicon in Plants: Advances and Future Prospects. Boca Raton, Florida: CRC Press.*

Slovarček:

Presnova C3 in presnova C4. Pri načinu fotosinteze C3 nastanejo v procesu fiksacije (vezave) ogljikovega dioksida (Calvinov cikel) spojine s 3 ogljikovimi atomi in ogljikov dioksid iz zraka vstopa neposredno v Calvinov cikel. Pri tem nastajajo stranski produkti, za katere rastlina porabi precej energije, sprošča pa se tudi nekaj CO₂. Pri načinu C4 pa se ogljikov dioksid v mezofilu najprej veže v spojine C4 (spojine s 4 ogljikovimi atomi), ki prehajajo v celice žilnega ovoja, kjer se ogljikov dioksid sprošča in šele takrat veže v Calvinov cikel. Rastline C4 zaradi sposobnosti koncentriranja lahko izrabljajo nižje koncentracije ogljikovega dioksida.