

Oksalotrofne bakterije s tvorbo kalcita prispevajo k zniževanju koncentracije ogljikovega dioksida v ozračju

Janja Trček

V času večplastnih okoljskih problemov, povezanih s podnebnimi spremembami, je treba razmišljati o različnih pristopih in rešitvah za varstvo narave. V članku je opisan mikrobiološki vidik delovanja posebne metabolne poti - oksalat-karbonatne poti -, ki bi se lahko uporabila kot geobiološka rešitev za zmanjševanje ogljikovega dioksida v ozračju.

Zaradi industrijske revolucije in različnih posegov človeka v naravo se je v zadnjih tristo letih koncentracija ogljikovega dioksida v našem ozračju povečala z 280 na 380 ppm (število delov v milijonu delov). Prirast je bila še posebej pospešena v zadnjih desetletjih. Zaradi učinka tega toplogrednega plina je prišlo do povečevanja globalne temperature ozračja (Raupack s sod., 2007).

Ena izmed možnih rešitev za zmanjševanje koncentracije ogljikovega dioksida v ozračju je uporaba mikroorganizmov, ki imajo posebne metabolne poti, kot je na primer oksalat-karbonatna pot. Ta metabolna pot je vključena v kroženje ogljika na Zemlji kot posledica sodelovanja med nekaterimi rastlinami in mikroorganizmi v globini zemlje od 0,5 do približno 52,5 centimetra in omogoča oksalotrofnim bakterijam uporabo oksalata kot virov ogljika in energije. Pri oksidaciji se del oksalata pretvori v ogljikov dioksid, pri čemer se sprošča energija, ostali del pa se reducira in uporabi v poteh biosinteze (Braissant s sod., 2002).

V oksalat-karbonatno pot so vključena oksalogeni drevesa in glive, ki oksalat tvorijo, in oksalotrofne bakterije in glive, ki oksalat porabljajo. Biološki sistem, sestavljen iz teh

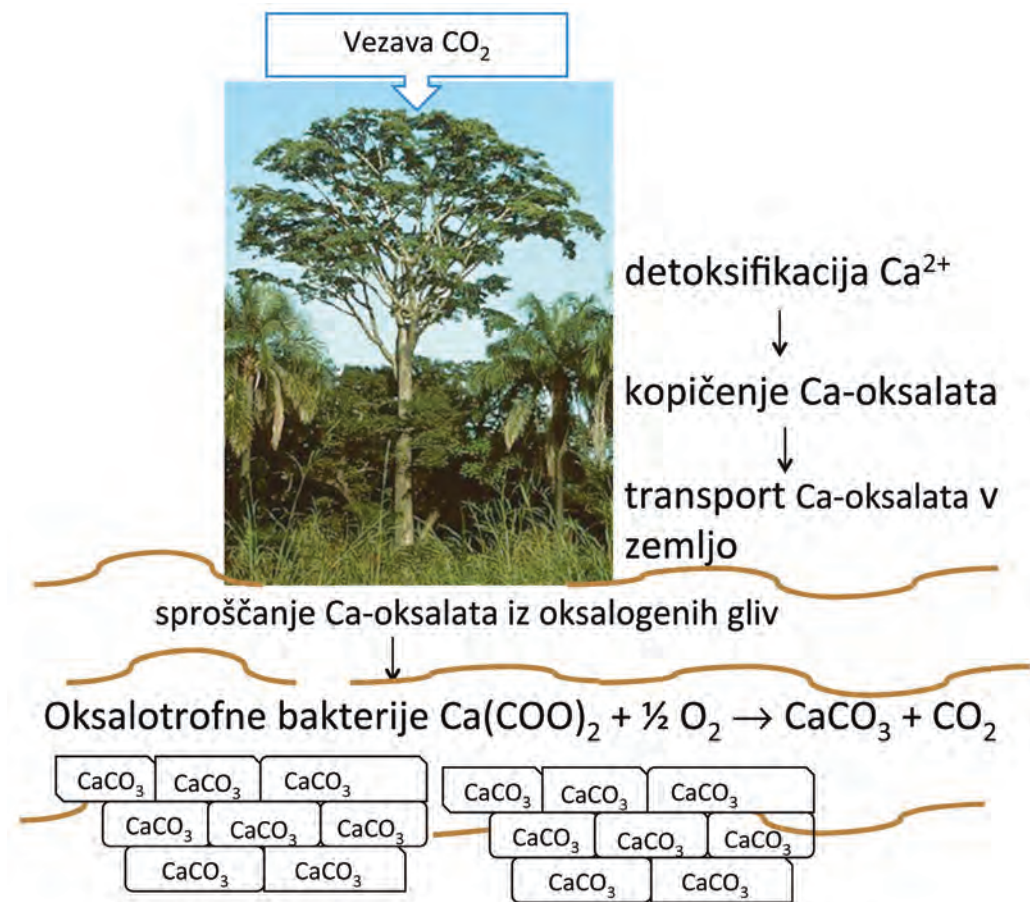
organizmov, je bil najden na več območjih Zemlje, predvsem pa v zemlji tropskega podnebne območja, kjer omogoča nalaganje ogljikovega dioksida v obliki kalcita (CaCO_3) (glej sliko) (Martin s sod., 2012). Oksalno kislino (organska kislina s formulo $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) in njene soli, kot je kalcijev oksalat, lahko tvorijo rastline, živali, glive in bakterije. Oksalna kislina pogosto nastaja kot končni proizvod presnove v rastlinskih celicah in se izloča s koreninskim sistemom v obliki oksalatnih soli (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ ali Mg^{2+}). Kopičenje kalcijevega oksalata je bilo do sedaj ugotovljeno pri 215 družinah rastlin, od tega pri več kot tisoč rodovih dreves. Pri nekaterih vrstah predstavlja kalcijev oksalat več kot 50 odstotkov njihove suhe teže. Rastlina s tem mehanizmom uravnava prevelike izgube Ca^{2+} . Po odmrtnosti rastline se oksalat sprosti v tla, kjer na primer lahko prispeva k prehranjevanju rastlin z dvigom koncentracije biološko dostopnega fosforja in drugih mikrohranil. Kljub temu, da je oksalat razmeroma netopen in kemijsko obstojen, kopičenje oksalata do sedaj ni bilo ugotovljeno. To pa je bil tudi prvi povod k domnevi o prisotnosti mikrobiološko povzročene procesa za njegovo razgradnjo v okolju (Cailleau s sod., 2004).

Do sedaj poznana koncentracija kalcijevega oksalata v zemlji, kjer je bila ugotovljena tudi aktivna oksalat-karbonatna pot, je 0,015 do 0,175 miligramov v gramu zemlje. V laboratorijskih eksperimentih pa se uporablja višja koncentracija, to je 4 miligrame v gramu zemlje, ki še vedno ni toksična za rast te skupine bakterij. Oksalotrofne bakterije

niso uvrščene v eno samo filogenetsko skupino, imajo pa skupno fiziološko lastnost, to je sposobnost oksidacije oksalata. Zato za študij raznovrstnosti te skupine bakterij ne moremo uporabiti najbolj pogosto uporabljenega filogenetskega markerja, to je gena za 16S rRNK, ampak funkcionalne gene, ki kodirajo proteine, vključene v presnovno pot oksalata. Na podlagi klasičnih metod izolacije bakterij na trdnih gojiščih in fenotipske in genotipske identifikacije pridobljenih izolatov so bile oksalotrofne bakterije najdene med α -proteobakterijami (*Azospirillum*, *Bradyrhizobium*, *Methylobacterium*, *Hypho-*

microbium in druge), β -proteobakterijami (*Pandoraea*, *Variovorax*, *Burkholderia*, *Janthinobacterium*, *Cupriavidus* in druge), γ -proteobakterijami (*Xanthomonas*, *Dickeya*, *Pseudomonas* in druge), firmikuti (*Moorella*, *Enterococcus* in drugi) in aktinobakterijami (*Streptomyces*, *Nocardia*, *Eggerthella* in druge). Razvoj novih orodij molekulske biologije za neposredno preiskovanje mikrokozmosa v posamezni ekološki niši pa je omogočil identifikacijo tudi tistih vrst oksalotrofnih bakterij, ki jih v laboratorijskih razmerah še ne znamo gojiti, kot na primer rodova *Kribbella* (aktinobakterija) in *Starkeya*

Shema oksalat-karbonatne poti z glavnimi biološkimi akterji in kemijskimi reakcijami (modificirano po Martin s sod., 2012).



(α -proteobakterija) (Khammar s sod., 2011; Bravo s sod., 2011; Bravo s sod., 2013).

Oksalotrofne bakterije s pomočjo oksalat-karbonatne poti tvorijo minerale, kalcit ali druge oblike karbonata, odvisno od vrste oksalatne soli, ki se oksidira (glej sliko). Tvorba kalcita poteka v kisli zemlji ob odsotnosti karbonatov s pomočjo biološke razgradnje oksalata in sočasne alkalizacije zemlje. Bakterije tako s pomočjo oksalat-karbonatne poti premestijo ogljikov dioksid v ozračju v kalcit. Dodatno ta presnovna pot tudi prispeva k bogatjenju zemlje, saj se v tem procesu aktivirajo nekatere funkcionalne skupine bakterij, na primer tiste, ki so odgovorne za tvorbo topnih anorganskih fosfatov.

Pomembno odkritje na področju študija oksalotrofnih bakterij je spoznanje, da je za oksidacijo oksalata v zemlji pomembno sodelovanje med glivami in bakterijami, saj bakterijam hife gliv omogočajo transport (fungal highways) z enega na drugo mesto (Martin s sod., 2012).

Literatura:

- Brassant, O., Verrecchia, E. P., Aragno, M., 2002: *Is the contribution of bacteria to terrestrial carbon budget greatly underestimated?* *Naturwissenschaften*, 89: 366-370.
- Bravo, D., Brassant, O., Solokhina, A., Clerc, M., Daniels, A. U., Verrecchia, E., Junier, P., 2011: *Use of an isothermal microcalorimetry assay to characterize microbial oxalotrophic activity.* *FEMS Microbiology Ecology*, 78: 266-274.
- Bravo, D., Martin, G., David, M. M., Cailleau, G., Verrecchia E., Junier, P., 2013: *Identification of active oxalotrophic bacteria by Bromodeoxyuridine DNA labeling in a microcosm soil experiments.* *FEMS Microbiology Letters*, 348: 103-111.
- Cailleau, G., Brassant, O., Verrecchia, E. P., 2004: *Biomining in plants as a long-term carbon sink.* *Naturwissenschaften*, 91: 191-194.
- Khammar, N., Martin, G., Ferro, K., Job, D., Aragno, M., Verrecchia, E., 2009: *Use of the *frc* gene as a molecular marker to characterize oxalate-oxidizing bacterial abundance and diversity structure in soil.* *Journal of Microbiological Methods*, 76: 120-127.
- Martin, G., Guggiari, M., Bravo, D., Zopfi, J., Cailleau, G., Aragno, M., Job, D., Verrecchia, E., Junier, P., 2012: *Fungi, bacteria and soil pH: the oxalate-carbonate pathway as a model for metabolic interaction.* *Environmental Microbiology*, 14: 2960-2970.
- Raupach, M. R., Marland, G., Ciais, P., Le Quééré, C., Canadell, J. G., Klepper, G. Field, C. B., 2007: *Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions.* *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104: 10288-10293.

Botanika • Najvišje doslej znano nahajališče lepega čevlca (*Cypripedium calceolus*) v Triglavskem pogorju in v Sloveniji sploh

Najvišje doslej znano nahajališče lepega čevlca (*Cypripedium calceolus*) v Triglavskem pogorju in v Sloveniji sploh

Peter Strgar, Polona Strgar in Branko Zupan

Lepi čevlca (*Cypripedium calceolus*) je nam Bohinjcem razmeroma dobro znana kuka- vičevka. Poznamo jo v Soteski in na mnogih nahajališčih v Spodnji (Bukovski) dolini in nad njo (pri Ravnah, pri izviru Bistrice, za Brševjem pod Rudnico), prav tako višje v gorah, kjer je najobsežnejše nahajališče v Čiprju in okoli planine Trstje nad povirjem Mostnice. Ker je to ne samo zavarovana,

temveč tudi evropsko varstveno pomembna vrsta, njena nahajališča vsako leto obiskujemo in ocenjujemo številčnost cvetenja in stanje na rastiščih. Do zdaj smo jo vedno opazili še v gozdnem pasu ali v spodnjem pasu ruševja, približno do nadmorske višine 1.600 metrov. 16. julija leta 2013 smo se z Velega polja, kjer smo prenočili, podali proti Triglavu. Zaradi s snegom bogate zime je