

## Biologické pôdne krusty viatych pieskov na lokalite Sekule, Záhorská nížina

Biological soil crusts of aeolian sands on locality Sekule,  
Záhorská nížina Lowland

ZUZANA DRONGOVÁ & ĽUBOMÍR KOVÁČIK

Katedra botaniky, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Révová 39,  
811 02 Bratislava; zuetko@gmail.com

*Abstract:* The question of biological soil crust (their composition, function or appearance) in temperate zones, including Slovakia, is not yet thoroughly treated and this topic offers many ideas for further more comprehensive studies. This contribution provides the first insight into the species composition of biological soil crusts with an emphasis on cyanobacterial and algal microflora and it suggests its importance in the development of the ecosystem. Sampling and field observations of crusts were made monthly from spring to autumn in 2011–2013 on the study site Sekule (Záhorská nížina Lowland). Altogether 4 genera with 4 species of Cyanobacteria/Cyanoprokaryota, and 19 genera with 29 infrageneric taxa of different groups of microscopic algae were identified based on morphological attributes. Eight taxa are recorded for the first time in the territory of Slovakia (*Pseudophormidium hollerbachianum*, *Radiosphaera minuta*, *Bracteacoccus grandis*, *B. minor*, *Coccomyxa gloeobotrydiformis*, *Coelastrella terrestris*, *Ettlia bilobata* and *Interfilum terricola*). Biological soil crusts studied in this area represent only temporary stage of successional development in our climatic zone. Algal crusts (named after the dominant organisms) are gradually replaced by thicker crust with predominance of mosses and lichens which are able to affect considerably the properties of sandy soil.

*Keywords:* biological soil crust, phototrophic organisms, sandy soil, Slovakia.

### Úvod

Biologická pôdna krusta (BPK) je označenie pre špecifické spoločenstvo baktérií, cyanobaktérií, rias, pôdných mikroskopických húb, lišajníkov a machorastov, ktoré koexistujú v úzkom spojení s povrchom pôdy, kde sa odohráva vzájomný tok informácií, energie a látok. Pôda poskytuje zložkám krusty životný priestor a živiny, a na druhej strane živé zložky krusty pretvárajú pôdu, obohacujú ju a ovplyvňujú jej základné charakteristiky ako farbu, textúru, obsah organického materiálu, alebo vlhkosťný režim, najmä evaporáciu, infiltráciu a odtok vody. V oblastiach s chudobnými zdrojmi alebo s drsnými klimatickými podmienkami pre rast vyšších rastlín (púšte alebo polárne oblasti), kde sa znižuje druhová konkurencia, často predstavujú jediný vegetačný kryt (Belnap & Lange 2001). BPK sú v prírodnom prostredí vystavené zmenám teploty počas dňa aj celého roka. Musia čeliť zmenám vo vlhkosťnom režime (prívalové dažde alebo dlhotrvajúce suchá), zmenám v intenzite vetra

alebo negatívne pôsobeniu slnečného žiarenia. Organizmy krustového spoločenstva musia mať vyvinuté ochranné mechanizmy, aby boli schopné prežiť spomenuté fluktuácie. U rias a cyanobaktérií ide najčastejšie o tvorbu hrubých bunkových stien, nahromadenie ochranných pigmentov v bunkovom priestore, či tvorbu externých polysacharidových obalov, v ktorých bola tiež dokázaná prítomnosť UV absorpčných pigmentov a stresových proteínov chrániacich bunku (Hill et al. 1994; Whitton & Malcolm 2000).

Krusty sa vyskytujú takmer vo všetkých biómoch sveta (Büdel 2003), pričom najlepšie preskúmané oblasti sú aridne a semiaridne regióny Severnej Ameriky, Austrálie a Izraela. Z týchto oblastí pochádza väčšina svetových štúdií (napr. Grondin & Johansen 1993; Kidron et al. 2000; Williams & Eldrige 2011), preto je zaujímavé a potrebné doplniť poznatky aj z iných klimatických pásiem. Viaceré vlastnosti viatych pieskov, kde bola situovaná výskumná lokalita, sú zároveň dobre porovnateľné s aridnými oblasťami. Týmto príspevkom chceme priblížiť základné druhové zloženie BPK danej lokality a zhodnotiť jej význam v rámci vývoja ekosystému.

BPK zohrávajú dôležitú úlohu pri géneze pôd, pri tvorbe humusového horizontu, vplývajú na textúru pôdy, jej vlhkosťný režim. Ich význam narastá najmä v chudobných pôdach, kde predstavujú dominantný, alebo jediný vegetačný kryt. Prostredníctvom fotosyntézy sú cyanobaktérie a riasy schopné fixovať uhlík a zvyšovať jeho množstvo v okolitej pôde, cyanobaktérie tvoriace heterocyty zase disponujú jedinečnou schopnosťou využívať vzdušný dusík. Harper & Pendleton (1993) preukázali, že prítomnosť cyanobakteriálnej krusty v pôde zvyšuje koncentráciu nielen organických látok a N, ale aj ďalších prvkov ako P, K, Fe, Ca alebo Mg. BPK takto môžu ovplyvniť úrodnosť pôdy a rozvoj odlišných spoločenstiev vyšších rastlín počas sukcesie (Danin et al. 1990).

## **Materiál a metódi**

Študované územie sa nachádza v blízkosti obce Sekule na Záhorskej nížine na západnom Slovensku (N 48°37'10" a E 17°0'7"). Celá oblasť má charakter roviny v nadmorskej výške cca 155 m n. m. a patrí k teplej, mierne suchej klimatickej oblasti. Priemerná ročná teplota vzduchu sa pohybuje v rozmedzí 9–11 °C (údaj SHMÚ). Pôda na tomto území je ľahká, piesočnatá – viaty piesok až rezogem modálna s nízkym pH  $\approx$  5,5. Odberové miesta boli vytýčené na otvorenej piesočnatej čistine pokrytej biologickou pôdnou krustou, ktorá je smerom k okrajom hustejšie porastená lišajníkmi a machmi a prechádza do borovicového lesa. Od roku 2012 sme tu zaznamenali výrazný pokles hladiny vody, keď došlo k vyschnutiu susednej jamy v minulosti využíwanej na ťažbu piesku. Cez ňu sa oblasť piesočnatej čistiny stala prístupná pre motorové vozidlá a v roku 2012 došlo k viacnásobnej deštrukcii krúst ich prejazdom.

Fytotrofnú zložku sme izolovali počas vegetačných sezón 2011–2013 pomocou presne označených krycích sklíčok uložených na povrchu pôdy porastenej BPK počas celého roka. Každý mesiac sme odobrali niekoľko krycích sklíčok, ktoré sme exponovanou plochou (strana obrátená smerom dolu k pôde) obtreli o agarovú plochu v Petriho miske pripravenú z kultivačného média Z podľa Zehndera (Staub 1961). Nasledoval orientačný skrining mikroskopického nárastu vytvoreného na sklíčku vo svetelnom mikroskope. Okrem sklíčok sme v uvedených rokoch viackrát odobrali povrchovú vrstvu pôdy pokrytú BPK do plastových vzorkovníc. Časti BPK z povrchu pôdy sme priamo analyzovali pod mikroskopom, alebo sme malý obsah vzorky preniesli do tekutého média Z, dôkladne premiešali a časť tejto suspenzie očkovacou kľučkou rozotreli na agarové platne v Petriho miskách. Takto pripravené vzorky sme kultivovali pri stálej teplote 25 °C a osvetlení 50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Pre detailnejšie štúdium životných cyklov a morfológických znakov sme niektoré kolónie preočkovali na nové médium. Izoláty sú uložené v pracovnej zbierke kultúr cyanobaktérií a rias Laboratória experimentálnej fykológie na Katedre botaniky PríF UK v Bratislave. Na determináciu sme použili štandardné určovacie kľúče a atlasy (Ettl & Gärtner 1988, 2014; Hindák 1996; Lokhorst 1996; Komárek & Anagnostidis 1999, 2005; John et al. 2011). Algologický materiál sme pozorovali vo svetelnom mikroskope Leica DM 2500 s použitím Nomarskeho interferenčného kontrastu, dokumentovali kresbami a pomocou kamery Leica DFC 290 HD a softvéru LAS 3.5.0 sme vyhotovili mikrofotografie.



Obr. 1. Študovaná oblasť piesočnatej čistiny pokrytej biologickou pôdnou krustou. Na vzdialenejšej časti čistiny vidieť prvé, menej rozsiahle poškodenie biologických kŕst prejazdom motorových vozidiel, 26. 4. 2012. Foto: Z. Drongová

Fig. 1. Studied area of sandy meadow covered with biological soil crust. The first, less extensive damage of biological crusts by the passing vehicles is visible on the remote part of the meadow, 26. 4. 2012. Photo: Z. Drongová

## Výsledky a diskusia

Zo sledovaného územia sme identifikovali 4 rody so 4 druhmi cyanobaktérií a 19 rodov rias s 29 vnútrodruhovými taxónmi. Najviac identifikovaných taxónov rias prislúchalo oddeleniu Chlorophyta. Nasledovný zoznam cyanobaktérií sme zjednotili podľa Komárka & Anagnostidisa (1998, 2005), zoznam rias podľa Ettl & Gärtnera (2014). Taxóny nové pre flóru cyanobaktérií a rias Slovenska (Hindák & Hindáková 1998) označujeme znamienkom \*.

**Cyanophyta/Cyanoprokaryota**

**Chroococcales:** *Cyanothece aeruginosa*

**Oscillatoriales:** *Phormidium autumnale*, \**Pseudophormidium hollerbachianum* (Elenkin) Anagnostidis, *Leptolyngbya subtilissima*

**Eustigmatophyta**

**Eustigmatales:** *Eustigmatos* cf. *polyphem*

**Chlorophyta**

**Chlamydomphyceae:**

**Chlorococcales:** \**Radiosphaera minuta* Herndon, *Tetracystis* sp.

**Chlorophyceae:**

**Chlorellales:** \**Bracteacoccus grandis* Bischoff & Bold, \**B. minor* (Chodat) Petrová, *Chlorella vulgaris*, *Ch. ellipsoidea*, *Choricystis minor*, \**Coccomyxa gloeobotrydiformis* Reisingl, \**Coelastrella terrestris* (Reisingl) Hegewald & N. Hanagata, *C. vacuolata*, *Cylindrocapsa* cf. *involuta*, \**Eutlia bilobata* (Vinatzer) Komárek, *Muriella terrestris*, *M. zofingiensis*, *Myrmecia incisa*

**Gloeofilales:** *Geminella terricola*, \**Interfilum terricola* (J.B. Petersen) Mikhailyuk, Sluiman, Massalski, Mudimu, Demchenko, Friedl & Kondratyuk, *Interfilum* sp.

**Chaetophorales:** *Diplosphaera* cf. *chodatii*

**Ulvophyceae:**

**Pleurastrales:** *Trebouxia glomerata*

**Charophyceae:**

**Klebsormidiales:** *Klebsormidium crenulatum*, *K. dissectum*, *K. flaccidum*, *K. subtile*, *Stichococcus allas*, *S. bacillaris*, *S. minutus*

**Zygnematophyceae:**

*Cosmarium decedens*

Abundancia taxónov v BPK na lokalite sa menila s vlhkosťou pôdy a striedanim ročných období, nižšia bola začiatkom jari po roztopení snehu a po opätovnom ochladení koncom jesene, najvyššia počas leta a začiatkom jesene, keď sme pozorovali najväčší prírastok biomasy BPK. Počas letných mesiacov v roku 2013, keď bol zaevidovaný minimálny až žiadny úhrn zrážok, sme na piesočnatej čistine zaznamenali pomalší prírastok biomasy krusty. V nárastoch utvorených na sklíčkach sme v tomto období pozorovali menší počet bežných druhov pre BPK, hlavne z rodov *Cylindrocapsa*, *Ettlia*, *Myrmecia*, *Eustigmatos* alebo *Klebsormidium*.

Rozvinuté biologické pôdne krusty v záujmovej oblasti majú výrazné tmavohnedé sfarbenie vďaka dominantnej riase *Cylindrocapsa* cf. *involuta* s bun-

kami obsahujúcimi často veľké množstvo tmavých pigmentov. Od roku 2012, keď došlo na väčšej časti piesočnatej čistiny k úplnej alebo čiastočnej deštrukcii vegetačného krytu, možno sledovať postupný priebeh sekundárnej sukcesie obnaženej pôdy. V nasledujúcom roku sme na rozrušených miestach zaznamenali rozširujúce sa tmavšie hnedé nárusty riasy *Cylindrocapsa* cf. *involuta* dopĺňaných zelenými nárustmi najmä vláknitých rias (prevažne *Klebsormidium crenulatum*). Tieto riasy produkujú hrubú bunkovú stenu, ktorá môže ovplyvniť odolnosť buniek voči stresu z vysychania. Cyanobaktérie boli v BPK na lokalite prítomné skôr sporadicky (najčastejšie *Pseudophormidium hollerbachianum*) a netvorili súvislý povlak.

Na sledovanej lokalite prebieha sukcesný vývoj pôdnej krusty od riasových spoločenstiev ku komplexnejším machovo-lišajníkovým spoločenstvám, na rozdiel od krustových spoločenstiev tvoriacich krusty v arídnych a semiarídnych oblastiach. V týchto oblastiach s evidentne menším prísunom zrážok sa presadzujú najskôr väčšie pohyblivejšie cyanobaktérie (napr. *Microcoleus*), nasledujú menšie, menej pohyblivé cyanobaktérie (napr. *Nostoc*, *Scytonema*) sprevádzané riasami a prispievajú k stabilizácii pôdneho povrchu. Ak sú vhodné klimatické podmienky, postupne sa ku kolonizátorom pridávajú machy a lišajníky (Belnap 2006). Vlákňité riasy sú typické krusty-formujúce organizmy na kyslých piesočnatých pôdach Európy a na nestabilných substrátoch, akými sú napríklad vnútrozemské piesočnaté duny alebo pohyblivé piesky (Frouz 2014). Cyanobaktérie vo všeobecnosti preferujú skôr alkalické pôdy (Whitton & Malcolm 2000) a preto usudzujeme, že aj nízke pH pôdy v skúmanej oblasti spôsobuje druhovo chudobné zastúpenie cyanobaktérií v študovaných BPK.

V ďalšom štádiu sukcesného vývoja riasové krusty postupne prerastajú machmi (nasledovné názvy zjednotené podľa Marhold & Hindák 1998), najmä *Dicranum polysetum*, *Ditrichum heteromallum*, *Hypnum cupressiforme*, *Polytrichum fumosum*, *P. piliferum* a lišajníkmi *Cladonia* sp. div., čím sa formuje hrubšia krusta s členitejšou povrchovou štruktúrou (obr. 2). Skoré štádium vývoja BPK dominantne tvorené vláknitými riasami *Cylindrocapsa* cf. *involuta* a *Klebsormidium* sp. div. spevňuje len vrchné milimetre pôdy. Piesočnatá pôda pod riasovou krustou obsahuje málo organického materiálu a v suchom stave je sypká (obr. 2a, b). V porovnaní s tenšou riasovou krustou, machy a lišajníky výraznejšie vyčnievajú nad terén a spomaľujú pohyb vzduchu v prízemnej časti atmosféry, piesočnatú pôdu spájajú do väčšej hĺbky (niekoľko centimetrov) a dodávajú do pôdy väčšie množstvo organických látok. Piesočnatá pôda pod machovo-lišajníkovou krustou obsahuje zreteľne viac organickej hmoty a je kompaktná aj po vysušení (obr. 2c, d). Machy tvoria

ostrovčeky, ktoré síce nie sú veľmi bohaté na živiny, ale udržujú vlhkosť dlhšie ako holá minerálna pôda. Svojou prítomnosťou predstavujú priaznivé miesta pre rast lišajníkov, ktoré nevyžadujú veľa živín, ale môžu prosperovať z priaznivejšieho vlhkostného režimu (Belnap et al. 2001).

V krustách s prevahou machov a lišajníkov na študovanej ploche sa postupne objavujú trsy trávy *Corynephorus canescens*, ojedinele *Spergula morisonii* alebo huba *Thelephora terrestris*. Z dlhodobého hľadiska predpokladáme, že pokiaľ nedôjde k opätovnému rozrušeniu terénu na danej lokalite, sukcesný vývoj by mohol pokračovať smerom k zapojeným trávnatým spoločenstvám, aké sa nachádzajú na priľahlých plochách (dominancia *Calamagrostis epigejos*, *Agrostis capillaris*, *Poa angustifolia*). Je pravdepodobné, že celé krustové spoločenstvo časom ustúpi okolitému borovicovému lesu (*Pinus sylvestris*).



Obr. 2. Rôzne štádiá vývoja biologickej (BPK) pôdnej krusty. (a – b) Skoré štádium vývoja BPK dominantne tvorené vláknitými riasami *Cylindrocapsa* cf. *involuta* a *Klebsormidium* sp. div. (c – d). Neskoršie štádium vývoja BPK s prevahou machov a lišajníkov. Foto: Z. Drongová

Fig. 2. Different stages of development of the biological soil crusts (BSC). (a – b) The early stage of development of the BSC is formed predominantly by filamentous algae *Cylindrocapsa* cf. *involuta* and *Klebsormidium* sp. div. (c – d). The subsequent development stage of the BSC formed predominantly by the mosses and lichens. Photo: Z. Drongová



## PodĎakovanie

Naše podĎakovanie patrí prof. Františkovi Hindákovi (Botanický ústav SAV) a Pavlovi Škaloudovi (Katedra botaniky, PřF Karlovej univerzity v Prahe) za užitočné rady a pomoc pri determinácii taxónov, Danke Šmelkovej Uherekovej (Katedra botaniky PřF UK v Bratislave) a Jozefovi Kollárovi (Ústav krajinnej ekológie SAV) za pomoc pri determinácii machov a cievnatých rastlín na lokalite. V neposlednom rade ďakujeme recenzentom za veľmi cenné postrehy a pripomienky, ktorými prispeli k vylepšeniu rukopisu.

## Literatúra

- Belnap, J., Kaltenecker, J.H., Rosentreter, R., Williams, J., Leonard, S. & Eldrige, D. 2001. Biological soil crusts: Ecology and management. U.S. Department of the Interior, Denver.
- Belnap, J. & Lange, O.L. 2001. Structure and functioning of biological soil crusts: a synthesis. In Belnap, J. & Lange, O.L. 2003. Biological soil crusts: structure, function and management. Ecological Studies, Vol. 150., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Belnap, J. 2006. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. Hydrological processes 20: 3159–3178.
- Büdel, B. 2003. Synopsis: Biogeography of soil-crust biota. In Belnap, J. & Lange, O.L. (eds). Biological soil crusts: structure, function, and management. Ecological studies, Vol 150. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Danin, A., Bar-Or, Y., Dor, I. & Yisraeli, T. 1990. The role of cyanobacteria in stabilization of sand dunes in Southern Israel. Ecologia mediterranea 15: 55–64.
- Ettl, H. & Gärtner, G. 1988. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 10, Chlorophyta II. Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. 1. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Ettl, H. & Gärtner, G. 2014. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtentalgen. 2. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg.
- Frouz, J. (ed.) 2014. Soil biota and ecosystem development in post mining sites. CRC Press. Boca Raton.
- Grondin, A.E. & Johansen, J.R. 1993. Microbial spatial heterogeneity in microbiotic crusts in Colorado national monument. I. Algae. Great Basin Naturalist 53(1): 24–30.
- Harper, K.T. & Pendleton, R.L. 1993. Cyanobacteria and cyanolichens: can they enhance availability of essential minerals for higher plants. Great Basin Naturalist 53: 59–72.
- Hill, R.D., Hlarun, L.S., Scherer, S. & Potts, M. 1994. Water stress proteins of *Nostoc commune* (Cyanobacteria) are secreted with UV-A/B-absorbing pigments and associate with 1,4- $\beta$ -D-Xylanylanhydrolase Activity. The Journal of Biological Chemistry 269: 7726–7734.
- Hindák, F. 1996. Kľúč na určovanie nerozkonárených vláknitých zelených rias (Ulotrichineae, Ulotrichales, Chlorophyceae). SBS pri SAV, Bratislava.
- Hindák, F. & Hindáková, A. 1998. Zoznam siníc a rias Slovenska. In Marhold K. & Hindák, F. (eds), Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska, Veda, Bratislava.
- John, D.M., Whitton, B.A. & Brook, A.J. (eds) 2011. The freshwater algal flora of the British Isles – an identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kidron, G.J., Barzilay, E., Sachs, E. 2000. Microclimate control upon sand microbiotic crusts, western Negev Desert, Israel. Geomorphology 36: 1–18.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K. 1999. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 19/1, Cyanoprokaryota. 1. Teil, Chroococcales. Gustav Fischer Verlag, Jena.

- Komárek, J. & Anagnostidis, K. 2005. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 19/2, Cyanoprokaryota. 2. Teil, Oscillatoriales. Elsevier GmbH, München.
- Lokhorst, G. M. 1996. Comparative taxonomic studies on the genus *Klebsormidium* (Charophyceae) in Europe. Cryptogamic Studies Vol 5. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- Marhold K. & Hindák, F. (eds) 1998. Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska, Veda, Bratislava.
- Staub, R. 1961. Ernährungsphysiologisch-autökologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 23: 82–198.
- Whitton, B.A. & Malcolm, P. (eds) 2000. The ecology of cyanobacteria – their diversity in time and space. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Williams, W.J., Eldrige, D.J. 2011. Deposition of sand over a cyanobacterial soil crust increases nitrogen bioavailability in semi-arid woodland. Applied Soil Ecology 49: 26–31.

Došlo 20. 1. 2014

Prijaté 29. 1. 2014