

Cyanobaktérie a riasy na kamenných subtrátoch objektov kultúrno-historického významu v Bratislave

Cyanobacteria and algae on stone of cultural heritage in Bratislava

BOHUSLAV UHER¹ & ĽUBOMÍR KOVÁČIK¹ & PAVEL KUČERA² & ALICA HINDÁKOVÁ³ & DANIEL PIVKO⁴

¹Katedra botaniky PríF UK, Révová 39, 811 02 Bratislava 1; uher@fns.uniba.sk, kovacic@fns.uniba.sk

²Katedra botaniky PríF MU, Kotlářská 2, CZ-611 37 Brno, Česká republika; kucerap@sci.muni.cz

³Botanický ústav SAV, Dúbravská cesta 14, 845 23 Bratislava; alica.hindakova@savba.sk

⁴Katedra geológie a paleontológie PríF UK, Mlynská dolina, pavilón G, 842 15 Bratislava; pivko@nic.fns.uniba.sk

Abstract: This study contains data about the epilithic cyanobacteria and algae as agents of biodeterioration growing on stone substrata in several cultural monuments, i. e. on old Jewish cemetery in Bratislava known as the Chatam Sófer Crypt, St. Martin's Cathedral, and historic cemetery Kozia brána. Among terrestrial microorganisms, cyanobacteria and chlorophytes are the main colonizers. The dominant species within these communities are mainly filamentous forms of cyanobacteria (*Nostoc microscopium*, *Leptolyngbya fragilis*), chlorophytes (*Klebsormidium flaccidum*, *K. crenulatum*), chrysophytes (*Heterococcus brevicellularis*, *Navicula atomus*) and also unicellular cyanobacteria (*Chroococcidiopsis umbratilis*) and chlorophytes (*Muriella terrestris*, *Desmococcus olivaceus*). Samples were taken from different substrata such as sandstone, limestone, calcarenite, calcrudite, marble and concrete. In total, 61 subaerial species were identified (13 cyanobacteria, 1 rhodophyte, 13 chrysophytes and 34 chlorophytes). Some floristic and ecological aspects of cyanophytes and algae observed in this study from stone surfaces are discussed. 35 taxa are first records for the territory of Slovakia.

Keywords: Algae, Bratislava, cultural heritage, cyanobacteria, Slovakia, subaerial habitats.

Kameň patrí medzi najstaršie entity na Zemi (Winkler 1994). V súčinnosti s ostatnými environmentálnymi činiteľmi tvorí objekt záujmu viacerých vedných disciplín. Kameň ako stavebný materiál sprevádza človeka od nepamäti, a aj v dnešnej dobe spĺňa viacero funkcií nevyhnutných pre existenciu človeka v urbanizovanom prostredí. Z pohľadu fykologa je to priestor na výskum cyanobaktérií a rias, ktoré patria medzi prvých kolonizátorov jeho povrchu, čím menia jeho vlastnosti, štruktúru, a tým sa podieľajú na biogeochemickom kolobehu prvkov v prírode.

V rámci Bratislavy bol výskum cyanobaktérií a rias v rokoch 2001 – 2004 zameraný na distribúciu týchto mikroorganizmov na povrchu stavebných kameňov s kultúrno-historickým významom. Išlo menovite o podzemné Mauzóleum Chatama Sófera, obvodové múry presbytéria Dómu sv. Martina a náhrobné kamene historického cintorína Kozia Brána. Hlavným cieľom štúdia bolo určiť cyanobaktérie a riasy, ktoré sa podieľajú na kolonizácii konkrétneho typu kameňa.

Rozsiahlejší výskum cyanobaktérií a rias rastúcich na historických pamiatkach v Bratislave sa uskutočnil v rokoch 1997 – 1999. Publikácia Kapustu a Kováčika (2000), ktorá zhŕňa výsledky tohto výskumu, bola prvá svojho druhu na Slovensku.

Metodika

Od októbra 2001 do mája 2004 boli v nepravidelných intervaloch sterilne odoberané vzorky epilittických cyanobaktérií a rias na týchto troch lokalitách: 1 – Dóm sv. Martina (4 typy substrátu: 1.1 kalkarenit, 1.2 oolitický vápeneč, 1.3 kalkrudit, 1.4 kremitý pieskovec), 2 – podzemné Mauzóleum Chatama Sófera (3 typy substrátu: 2.1 pieskovec, 2.2 betón, 2.3 porcelánové kachličky), a 3 – historický cintorín Kozia Brána (11 typov substrátu: 3.1 Litavský vápeneč, 3.2 travertín, 3.3 pieskovec s vápnitým tmelom, 3.4 kalkarenit, 3.5 čierny dolerit, 3.6 neogénny kalkarenit, 3.7 tehla, 3.8 ryolit, 3.9 granodiorit, 3.10 mramor, 3.11 ružový hľuznatý vápeneč). Časť odobratého materiálu sa kultivovala v laboratóriu, časť sa priamo pozorovala optickým mikroskopom typu ZEISS LABOVAL (obj. 40x). Cyanobaktérie a riasy sa pestovali v tekutom a pevnom (s 1,5% agarom) výživnom médiu BG11 (Rippka et al. 1979), BG11₀ (Rippka 1988), BBM (Smith & Bold 1966) a Z podľa Zehndera (Staub 1961), prípadne v tzv. bifázovom médiu (Davis 1967) pri laboratórnej teplote cca 22 °C a permanentnom žiarivkovom osvetlení 662 lx resp. 2.14 W.m⁻² (PAR), alebo 10.3 μmol.s⁻¹.m⁻². Na determináciu a taxonomické vyhodnotenie kultúr cyanobaktérií a rias sme použili determinačné kľúče a monografie od týchto autorov: Geitler (1932), Starmach (1966), Andrejeva (1975), Hindák et al. (1978), Komárek & Fott (1983), Komárek & Anagnostidis (1986, 1989, 1998), Albertano & Kováčik (1994), Ettl & Gärtner (1995). Taxonomická nomenklatura je zjednotená podľa Marholda & Hindáka (1998), skratky autorov sú uvedené pri nových taxónoch podľa Brummitta & Powella (1992).

Výsledky a diskusia

V sledovanom období 2001 – 2004 sa na študovaných objektoch v Bratislave zistilo 13 druhov cyanobaktérií a 48 druhov rias [čísla miest odberu uvádzame v zátvorke, nové druhy pre flóru SR hviezdičkou (*) pred menom].

CYANOPHYCEAE

Chroococcales: *Aphanothece pallida* (Kütz.) Rabenh. (2.1); *A. stagnina* (1.2, 3.4); **Chroococcidiopsis umbratilis* Dor, Carl et Barlinger (1.1 – 1.3, 2.1, 3.4, 3.11); **Chroococcus varius* A. Braun in Rabenh. (3.4, 3.6). – **Oscillatoriales:** *Leptolyngbya fragilis* (2.3, 3.4, 3.6); **L. nostocorum* (Bornet ex Gomont) Anagn. et Komárek (1.2, 1.3, 3.4); **L. tenuis* (Menegh.) Anagn. et Komárek (2.1), *Microcoleus vaginatus* (1.1, 1.3, 3.4, 3.6); *Phormidium autumnale* (3.4); *Ph. corium* (1.1 – 1.4, 3.6, 3.8); *Pseudanabaena mucicola* (3.4, 3.6). – **Nostocales:** **Nostoc edaphicum* Kondratyeva (2.1, 2.2); *N. microscopicum* (2.1, 3.4).

RHODOPHYCEAE

Porphyridiales: *Porphyridium purpureum* (1.4).

CHRYSOPHYCEAE

Phaeothamniales: **Apistonema pyreginerum* Pascher (1.1, 1.3).

PRYMNESIOPHYCEAE

Coccolithophoridiales: **Chrysotila lamellosa* Anand (1.1, 1.3).

BACILLARIOPHYCEAE

Naviculales: *Achnanthes minutissima* (3.4, 3.6); *Fragilaria construens* (1.3, 3.4); *Hantzschia amphioxys* (1.3, 1.4, 3.2, 3.4, 3.6); *Navicula atomus* (1.2, 1.3, 1.4, 3.2, 3.4, 3.6); *Nitzschia palea* (3.4); *Pinnularia borealis* (3.4); *P. microstauron* (3.4).

XANTHOPHYCEAE

Mischococcales: **Botrydiopsis callosa* Trenkwalder (1.1, 1.3); **Monodus unipapilla* Reisingl (3.4). – **Tribonematales:** **Heterococcus brevicellularis* Vischer (1.1 – 1.3, 2.2); **Xanthonema pascheri* (Ettl) Silva.

CHLAMYDOPHYCEAE

Chlorococcales: **Cystomonas indica* (Iyengar) Ettl et Gärtner (2.1); **Neospongiococcum gelatinosum* Ettl et Gärtner (3.2); **Tetracystis excentrica* Brown et Bold (2.1, 2.2); **T. sarcinalis* Schwarz (1.2).

CHLOROPHYCEAE

Chlorellales: **Coccomyxa confluens* (Kütz.) Fott (3.4); *Coelastrella striolata* (1.1); *Gloeocystis vesiculosa* (3.4); **Characiopodium hindakii* (Lee et Bold) Floyd et S. Watanabe (1.4); *Chlorella fusca* (3.4, 3.5, 3.6); *Ch. kessleri* Fott et Nováková (2.3, 3.4, 3.6); *Ch. vulgaris* (2.2, 2.3); **Ch. lobophora* Andrejeva (2.3); **Chlorosarcinopsis minor* (Gerneck) Herndon (1.1, 1.2, 1.4, 3.4, 3.6, 3.9); **Ch. pseudominor* Groover et Bold (2.1, 2.2); **Kentrosphaera gibberosa* var. *gibberosa* Vodenitsharov et Benderliev (2.2); **Muriella decolor* Vicher (1.1); **M. terrestris* J. B. Petersen (1.2, 1.3, 1.4, 2.1 – 2.3, 3.1, 3.4, 3.5, 3.6); **M. zofingiensis* (Dönz) Hindák (2.1); **Oocystis asymmetrica* W. et G. S. West sensu Komáromy (2.3); **O. minuta* Guillard, Bold et Mac Intee (2.3); **O. rupestris* Kirchn. (3.4, 3.9); *Scenedesmus obliquus* (2.1, 2.2); **Thelesphaera alpina* Pascher (3.4). – **Chaetophorales:** **Desmococcus olivaceus* (Pers. ex Ach.) Laundon (1.2, 1.4, 3.1, 3.3, 3.5 – 3.7, 3.9, 3.10).

ULVOPHYCEAE

Pleurastrales: **Trebouxia arboricola* Puymaly (3.3, 3.4, 3.6); **T. decolorans* Ahmadjian (1.2 – 1.4); **T. glomerata* (Warén) Ahmadjian (1.1 – 1.4).

CHAROPHYCEAE

Klebsormidiales: **Klebsormidium crenulatum* (Kütz.) Lokhorst (1.2 – 1.4, 3.5, 3.9, 3.10); *K. flaccidum* (1.1 – 1.4, 2.1, 3.1 – 3.4, 3.6 – 3.8); *Stichococcus bacillaris* (1.1, 1.3, 2.3, 3.4, 3.6, 3.8); *S. exiguus* (1.3); *S. minutus* (1.1 – 1.4).

CONJUGATOPHYCEAE

**Cosmarium parvulum* Bréb. var. *undulatum* Bréb. (3.4); *Mesotaenium macrococcum* (3.4).

Z týchto údajov vyplýva, že medzi najviac osídľované substráty patria predovšetkým kamene s obsahom uhličitanov, najmä kalcitu. Osobitným prípadom bola lokalita 3.4, kde horninou bol kalkarenit (vápnitý pieskovec) a diverzitu cyanobaktérií a rias predstavovalo až 25 druhov. Medzi najchudobnejšie kolonizované substráty z hľadiska diverzity cyanobaktérií a rias patrili mramor a granodiorit, čo pravdepodobne vyplýva z ich chemických vlastností a štruktúry (Darienka & Hoffmann 2003).

Medzi najčastejšie sa vyskytujúce druhy na skúmaných lokalitách patrili najmä zelené riasy *Klebsormidium flaccidum*, *Muriella terrestris* a *Desmococcus olivaceus*, z cyanobaktérií *Chroococcidiopsis umbratilis* a *Phormidium corium*.

Výrazne menej boli zastúpené riasy triedy Chrysophyceae, ktoré sa vyskytovali predovšetkým v jarnom a jesennom období, kedy teplota vzduchu nepresahovala 12 °C. Z Rhodophyceae sa našiel iba jeden druh *Porphyridium purpureum*, ktorý sa vyskytoval len raz na lokalite 1.4 v jarnom období roku 2002. Je zaujímavé, že pre svoj rast vyžaduje organické soli kyseliny močovej (Geitler 1944) a zároveň je uvedený ako veľmi ohrozený druh riasovej flóry Slovenskej a Českej republiky práve pre ojedinelý výskyt na našom území (Kotlaba 1995).

Medzi zaujímavé a zriedkavé taxóny z hemiatmofytických biotopov patrí aj spájavá zelená riasa *Cosmarium parvulum* var. *undulatum* nájdená len na lokalite

3.4 v spoločenstve s machorastmi, ktorá sa môže ľahko zameniť za zástupcov rodu *Actinotaenium* (Frans Kouwets, in verb.).

Podľa dominujúcich druhov možno na skúmaných lokalitách zreteľne rozlíšiť tieto tri hlavné spoločenstvá cyanobaktérií a rias:

1. **Cyanobaktériové spoločenstvo** je tvorené predovšetkým zástupcami cyanobaktérií (napr. *Chroococcus varius*, *Leptolyngbya fragilis*, *Microcoleus vaginatus*, *Nostoc microscopicum*, *Phormidium autumnale*, *Ph. corium*), ktoré sú často spre-vádzané rozsievkami (napr. *Navicula atomus*, *Pinnularia borealis*, *Hantzschia amphioxys*). Toto spoločenstvo bolo viazané najmä na vlhké stanovištia a horniny s obsahom kalcitu. Zistili sme špecifický kompetičný vzťah medzi cyanobaktériovými a machorastovými spoločenstvami: obidve spoločenstvá výrazne ovplyvňujú svoju prvou kolonizáciou sukcesiu spoločenstva. Záviselo teda od toho, či daný voľný priestor na povrchu kameňa ako prvé kolonizovali cyanobaktérie alebo protoné-my machorastov. V prípade kolonizácie cyanobaktériami dochádzalo k vytvoreniu biofilmu, ktorý sa viaže najmä na CaCO₃ častice (Urzi & Krumbein 1994) a zabraňuje tak antagonisticky rastu protonémy machorastov. V spoločenstvách machorastov (druhy *Rhynchostegium murale*, *Eurynchium hians* a *Lunularia cruciata*) boli asociované predovšetkým zelené riasy, napr. *Chlorella fusca*, *Gloeocystis vesiculosa*, *Oocystis rupestris*, *Cosmarium parvulum* var. *undulatum*, *Mesotaenium macrococcum*, *Stichococcus bacillaris* a *Theleasphaera alpina*.

2. **Spoločenstvo rodu *Desmococcus*** je tvorené predovšetkým druhom *Desmococcus olivaceus* rastúcim na hladkých vertikálnych povrchoch hornín granodiorit a čierny dolerit. Uvedené horniny predstavujú sekundárny biotop pre toto spoločenstvo, ktoré je inak typické pre borku stromov. Sprievodnými druhmi boli najmä zelené riasy *Klebsormidium crenulatum* a *Stichococcus bacillaris*. Indikuje pomerne suché mikroklimatické prostredie, čo vyplýva z vyššie položených miest nad zemou (nad 50 cm), kde je intenzívnejšia evaporácia, výrazné výkyvy teploty, vlhkosti a pod.

3. **Spoločenstvo rodu *Klebsormidium*** je tvorené najmä sýtozelenými nárastmi s dominujúcim druhom *Klebsormidium flaccidum* a so sprievodnými druhmi *Stichococcus bacillaris*, *Trebouxia arboricola*, *Desmococcus olivaceus* a *Chlorosarcinopsis minor*. Spoločenstvo sa vyskytovalo najmä na vlhkých stanovištiach, v blízkosti pôdy alebo vo výške do 30 cm.

Z predchádzajúcich štúdií sú známe cyanobaktériové spoločenstvá tvoriace krusty na rôznych substrátoch v mestskom prostredí (Noguerol-Seoane & Rifón-Lastra 1997, Darienko & Hoffmann 2003, Rindi & Guiri 2003, Uher et al. 2004), kde dominovali najmä vláknité cyanobaktérie z rodov *Leptolyngbya*, *Phormidium* a *Scytonema*. Pre rod *Desmococcus* a ním tvorených spoločenstiev v mestských aglomeráciách sú ich typické biotopy pôda a borka stromov (Gärtner & Ingolić 2003, Rindi & Guiry 2003). Zaujímavé bolo zistenie, že spoločenstvo je vždy jasne

odlíšené od ostatných spoločenstiev, a to práve pre výraznú dominanciu zástupcov rodu *Desmococcus* (Rindi & Guiry 2003). Týmto sa definícia spoločenstva nekomplikuje na rozdiel od cyanobaktériového spoločenstva a spoločenstva rodu *Klebsormidium*, u ktorých sa mení zastúpenie charakteristických taxónov. Spoločenstvo rodu *Klebsormidium* sa predtým v literatúre neuvádzalo, ale druhy *Klebsormidium crenulatum* a *K. flaccidum* sú známe z mestských aglomerácií (Lokhorst 1996, Franzen et al. 2002, Rindi & Guiry 2003).

Kapusta & Kováčik (2000) ako prví publikovali údaje o epilitických (terestrických) cyanobaktériách a riasach z mestského prostredia v Bratislave. Na vybraných antropogénnych objektoch (46 odberových miest) zistili počas dvojročného štúdia spolu 43 taxónov cyanobaktérií a rias, z ktorých dominovali najmä cyanobaktérie (16 taxónov) a zelené riasy (22 taxónov). Náš výskum opäť potvrdil výskyt cyanobaktérií *Chroococcus varius*, *Leptolyngbya nostocorum*, *Phormidium autumnale*, rozsievok *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis*, a zelených rias *Chlorella kessleri*, *Ch. lobophora*, *Muriella terrestris*, *Desmococcus olivaceus*, *Trebouxia arboricola*, *Klebsormidium flaccidum*, *Stichococcus bacillaris* a *S. minutus*.

Druhové zloženie cyanobaktérií a rias na vybraných historických objektoch mesta Bratislavy z rokov 2001 – 2004 potvrdilo, že i v antropogénne pozmenenom terestrickom prostredí je diverzita cyanobaktérií a rias pomerne vysoká a predstavujú ju aj druhy vzácné alebo ohrozené pre flóru Slovenska.

Pod'akovanie

Výskum bol financovaný z projektov Grantovej agentúry VEGA č. 1/9114/02 a Grantu pre doktorandov PrIF UK 10/2002 a Grantovej agentúry APVT 51-009102. Autori ďakujú prof. RNDr. Františkovi Hindákovi, DrSc. za pomoc pri determinácii cyanobaktérií a rias, ako aj za kritické pripomienky k rukopisu.

Literatúra

- Albertano, P. & Kováčik, L. 1994. Is the genus *Leptolyngbya* (Cyanophyta) a homogenous taxon? *Algol. Stud.* 1994, 75, p. 37 – 51.
- Andrejeva, V. M. 1975. Novije vidy *Chlorella* Beijer. *Bot. Žurn. (Leningrad)*. 1975, 63, p. 441 – 460.
- Brummitt, R. K. & Powell, C. E. (eds). 1992. *Authors of plant names*. Kew : Royal Botanic Garden, 1992. 732 p.
- Darjanko, T. & Hoffmann, L. 2003. Algal growth on cultural monuments in Ukraine. *Biologia (Bratislava)*. 2003, vol. 58, p. 575 – 587.
- Davis, J. S. 1967. A technique for long term maintenance of alga cultures. *Transac. Illinois St. Acad. Sci.* 1967, 60, p. 1 – 109.
- Ettl, H. & Gärtner, G. 1995. *Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen*. Stuttgart; Jena; New York : Gustav Fischer, 1995. 721 p.
- Franzen, I., Stapper, N. J. & Frahm, J. P. 2002. *Ermittlung der lufthygienischen Situation Nordrhein-Westfalens mit epiphytischen Flechten und Moosen als Bioindikatoren*. Abschlussbericht zum Teilprojekt. Bonn : Institut der Universität Bonn. 39 p. Msc.

- Gärtner, G. & Ingolić, E. 2003. Further studies on *Desmococcus* Brand emend. Vischer (Chlorophyta, Trebouxiophyceae) and a new species *Desmococcus spinocystis* sp. nov. from soil. *Biologia (Bratislava)*. 2003, vol. 58, p. 517 – 523.
- Geitler, L. 1932. Cyanophyceae. In Rabenhorst, L. (ed.). *Kryptogamen Flora 14*. Leipzig : Akademische Verlags-Gesellschaft. 1 196 p.
- Geitler, L. 1944. Furchungsteilung, simultane Mehrfachteilung, Lokomotion, Plasmoptyse und Ökologie der Bangiaceae *Porphyridium cruentum*. *Flora*. 1944, 37, p. 300 – 333.
- Hindák, F. (ed.). 1978. *Sladkovodné riasy*. Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1978. 728 p.
- Kapusta, M. & Kováčik, E. 2000. Epilithická fykoflóra vybraných antropogénnych objektov mesta Bratislavy. *Bull. Slov. Bot. Spoločn.* 2000, roč. 22, p. 15 – 22.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2 – Chroococcales. *Algol. Stud.* 1986, 46, p. 157 – 179.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K. 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 – Nostocales. *Algol. Stud.* 1989, 46, p. 157 – 226.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K. 1998. Cyanoprokaryota 1. Teil. Chroococcales. In Ettl, H., Gärtner, G., Heinig, H. & Mollenhauer, D. (eds). *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1*. Jena; Stuttgart; Lübeck; Ulm : Gustav Fischer. 548 p.
- Komárek, J. & Fott, B. 1983. Chlorophyceae. Chlorococcales. In Elster, H. J. & Ohle, W. (eds). *Das Phytoplankton des Süßwassers. Die Binnengewässer 7*. Stuttgart : E. Schweizerbart'sche Ed. 1 044 p.
- Kotlaba, F. (ed.). 1995. *Červená kniha ohrozených a vzácných druhov rastlín a živočíchov SR a ČR 4.: Sinice a riasy, Huby, Lišajníky, Machorasty*. Bratislava : Príroda, 1995. 223 p.
- Lokhorst, G. M. 1996. Comparative taxonomic studies on the genus *Klebsormidium* (Charophyceae) in Europe. *Crypt Stud.* 1996, 5, 132 p.
- Marhold, K. & Hindák, F. 1999. *Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska*. Verzia CD-ROM. Bratislava: Veda.
- Nogueroł-Seoane, A. & Rifón-Lastra, A. 1997. Epilithic phycoflora on monuments. A survey of San Esteban de Ribas de Sil Monastery (Ourense, NW Spain). *Cryptog. Algol.* 1997, 18, p. 351 – 361.
- Rindi, F. & Guiry, M. D. 2003. Composition and distribution of subaerial algal assemblages in Galway City, western Ireland. *Cryptog. Algol.* 2003, 24, p. 245 – 267.
- Rippka, R. 1988. Isolation and purification of cyanobacteria. *Meth. Enzymol.* 1988, 167, p. 3 – 27.
- Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J. W., Herdman, M. & Stanier, R. G. 1979. Genetic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* 1988, 11, p. 11 – 61.
- Smith, R. L. & Bold, H. C. 1966. Phycological studies VI. Investigations of the algal genera *Eremosphaera* and *Oocystis*. *The University of Texas Publication*. 1966, 6612 , p. 1 – 121.
- Starmach, K. 1966. Cyanophyta – Sinice, Glaucophyta – Glaukofity. In Starmach, K. (ed.). *Flora Słodkowodna Polski 2*. Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1966. 808 p.
- Staub, R. 1961. Ernährungsphysiologisch-autökologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC. *Schweiz. Z. Hydrol.* 1961, 23, p. 82 – 198.
- Uher, B., Aboal, M. & Kováčik, E. 2004. Epilithic and chasmoendolithic phycoflora of monuments and buildings in South-eastern Spain. *Cryptog. Algol.* In press.
- Urzi, C. & Krumbein, W. E. 1994. Microbiological impacts on the cultural heritage. In Krumbein, W. E., Brimblecombe, P., Cosgrove, D. E. & Staniforth, S. (eds). *Durability and change: the science, responsibility, and cost of sustaining cultural heritage*. Chichester : Wiley. 1994. p. 107 – 135.
- Winkler, E. M. 1994. *Stone in architecture, properties, durability*. Berlin; Heidelberg : Springer, 1994. 313 p.