

A *Scenedesmus quadricauda* zöldalga faj élő és holt biomasszájának cink akkumulációs sajátságai

Novák Zoltán¹, Jánószky Mihály², Nagy Sándor Alex¹, Bácsi István¹

¹Debreceni Egyetem TEK-TTK Hidrobiológiai Tanszék, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

²Tiszántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi felügyelőség, 4025 Debrecen, Hatvan u. 16.

Kivonat: Az emberi tevékenység következtében a környezetszennyezés napjainkban globális méreteket ölt, amely közvetlenül a bioszféra elemeit (víz, talaj, levegő) és közvetve az élő szervezeteket veszélyezteti. A környezetbe kikerülő kémiai anyagok közül egészségügyi, biológiai és ökológiai szempontból a legveszélyesebb szennyezőanyagok közé tartoznak a nehézfémek.

A *Scenedesmus* fajok, köztük a *S. quadricauda* széles körben elterjedt, gyakori zöldalga fajok, laboratóriumban viszonylag egyszerűen fenntarthatók, gyorsan szaporíthatók, amely széleskörű biotechnológiai alkalmazásokra ad lehetőséget. A *Scenedesmus quadricauda* a cinket mg/L nagyságrendben elviselni képes fajok közé tartozik, eredményeink alapján azonban az alacsonyabb tűrőképességük közé sorolható. A növekvő cinkkoncentrációval (2,5 mg/L – 15 mg/L) csökken a növekedés intenzitása. A megkötött cink mennyisége az 5 mg/L cinkkel kezelt tenyésztetben a tenyésztési idő 7. napján volt a legmagasabb (a bevitt cinkmennyiség 87,6 %-a) és a megkötött cink nagyobb része (77-89%-a) extracellulárisan kötődött meg. A holt biomassza cink megkötése is jelentős volt, de az élő sejtek cink megkötéséhez képest szignifikánsan kevesebb volt a megkötött cink mennyisége (a bemért cinkmennyiség 56-58%-a kötődött meg).

Kulcsszavak: *Scenedesmus quadricauda*, élő biomassza, holt biomassza, cink megkötés

Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben az egyre növekvő mértékű nehézfém-szennyezés napjaink egyik legfontosabb környezetvédelmi problémájává vált. A szennyezések forrásai elsősorban az ipar, a mezőgazdaság, a közlekedés, a háztartási hulladék, illetve a kommunális és ipari tisztítóberendezésekből származó szennyvíziszapok (Kádár, 1995; White et al., 1995; Omar, 2002; Wase és Foster, 2003; Wang és Chen, 2009). Biológiai szempontból a fémeket két nagy csoportra oszthatjuk: az esszenciális nehézfémek kis mennyiségben szükségesek az élőlények számára, viszont a szervezetükben felhalmozódva toxikus hatásúak lehetnek, a másik csoportot képezik a nem esszenciális vagy toxikus nehézfémek, amelyek az élő szervezetek már kis koncentráció-tartományban károsíthatják (Alloway, 1995; Naja és Volesky, 2009).

Fontos feladat ezeknek a szennyező anyagoknak az észlelése, monitorozása és eltávolítása a környezetünkben, amelyben kiemelt szerepet tölthetnek be az élő szervezetek, különösen a mikroorganizmusok (Wase és Foster, 2003; Wang és Chen, 2009). A mikroorganizmusok közül az algák egyes taxonjai érzékenyséjük révén a vizekben megjelenő toxikus mennyiségű és/vagy minőségű fémek kimutatására alkalmasak (Gold et al., 2003; Morin et al. 2006), míg más algataxonok jól alkalmazhatók bioremediációs és bioszorpciós eltávolítási folyamatokban, mivel széles körben elterjedt, rövid generációs idejű, diverz csoportról van szó. Sok algafaj jól tolerálja a magas fémszennyezés-terhelést, a sejtfal exopolimerjein található különböző funkció csoportok a fémek potenciális kötési helyeit képezik (Schiewer és Volesky, 2000; Bayramoglu et al., 2006; Munoz et al., 2006, Wang és Chen, 2009).

A cink, mint esszenciális mikroelem feltétlenül szükséges az algák normális növekedéséhez (Shrotri et al., 1981). Egyes vízi szervezetek nehézfémeket akkumulálhatnak a protoplazmába anélkül, hogy toxikusságra utaló jeleket mutatnának (Omar, 2002). Fukami (1988) vizsgálata alapján az *Euglena gracilis* 5 mg/g Zn²⁺ mennyiséget képes elviselni. Costa és Leite (1991, 1992) azonban azt mutatták ki, hogy a cink (Zn) gátolja az enzimszerek biokémiai és fiziológiai folyamatait. A magas cink koncentráció jelenlétében csökken a sejtek klorofill tartalma, a karotinoid/klorofill aránya, ATP-áz

enzim aktivitása és a sejtsztódás lelassul (De Filippis et al., 1981; Rai et al., 1981; Labyntseva et al., 1998).

A *Scenedesmus* genus általánosan alkalmazható nehézfémek eltávolítását vizsgáló kísérletekre, amelyet cink eltávolító képessége is bizonyít (Aksu et al., 1998; Travieso et al., 1999; Canizares-Villanueva et al., 2001; Perales-Vela, 2006). A különböző *Scenedesmus* fajok fémeltávolító tulajdonságait vizsgáló tanulmányok eredményei alapján azt mondhatjuk, hogy a fémeltávolító képesség fajspecifikus a genuson belül is (Travieso et al., 1999; Omar et al., 2002; Monteiro et al., 2009).

További kutatások során kiderült, hogy az inaktív/holt biomassza is jól alkalmazható különböző fémek eltávolítására, amelynek során a fémek fiziko-kémiai reakciókon keresztül adszorbeálódhatnak a sejteken. (Wase és Foster, 2003; Wang és Chen, 2009). Monteiro és munkatársai (2009) inaktívált *Scenedesmus obliquus* sejtek cink megkötésének vizsgálata során azt tapasztalták, hogy a cink-kötés az 5-15 perc időintervallumban volt a legintenzívebb, majd a 30. perc után nem kötött meg több cinket a vizsgált alga-biomassza.

Munkánk során arra kerestük a választ, hogy az általunk vizsgált *Scenedesmus quadricauda* zöldalga faj mekkora mennyiségű fém megkötésére képes; a fémmegkötés intra- vagy extracellulárisan történik-e illetve az élő vagy a holt biomassza alkalmazható-e eredményesebben cink megkötésre. Arra a kérdésre is kerestük a választ, hogy a *S. quadricauda* izolátumok fémmegkötő sajátságai mennyire tekinthetők általánosnak, azaz nemcsak a fajok, hanem ugyanazon faj különböző izolátumai (laboratóriumi törzsek) között is lehetnek-e különbségek.

Anyag és módszer

A Scenedesmus quadricauda tenyésztési körülményei: A *Scenedesmus quadricauda* törzs a Debreceni Egyetem Botanikus kertjében található tóból (Botanikus-kerti tó) került izolálásra 2010-ben, a tenyészet fenntartása Jaworski tápoldatban (pH: 7-7.5), állandó fényintenzitáson és állandó hőmérsékleten (24°C), steril levegővel buborékolatva a Debreceni Egyetem Hidrobiológiai Tanszékének algaszobájában történik. A szükséges cink-koncentrációk (2,5-15 mg/L) eléréséhez a tenyészetekhez cink-szulfát (ZnSO₄×7H₂O) törzsoldatot adtunk. A tenyészetek

növekedését, a sejtek cinkfelvételét kontroll-tenyészet (hozzáadott cinket nem tartalmazó tenyészet) mellett 2,5-15 mg/L koncentrációk között vizsgáltuk. A biomaszát összegyűjtését minden esetben centrifugálással végeztük (Micro-centrifuge Type-320a, 5 perc, 10000 rpm); a spektrofotometriás mérésekhez Spectroquant Pharo 300 spektrofotométert használtunk.

A növekedés nyomon követése: A növekedés nyomon követéséhez a klorofill-tartalom és a cönóbium szám változását mértük. A cönóbiumok számlálása Olympus BX50 fluoreszcens mikroszkóppal, 400×-os nagyításon történt az EN 15204 (2006) Európai Standard alapján. A szárazanyag-tartalom meghatározásához naponta 6 ml mintát centrifugáltunk, a minták tömegét liofilizálás után analitikai mérlegre mértük vissza. A minták liofilizálása Christ Alpha 1-2 LD plus készülékkel történt, a tömegméréshez Ohaus Adventurer™ Pro analitikai mérleget használtunk. A klorofill-tartalom meghatározásához Felföldy (1987) módszerét alkalmaztuk, a mérésekhez a szárazanyag tartalom nyomon követésére naponta vett és liofilizált mintákat használtuk fel.

Az extra- és intracellulárisan megkötött cink meghatározása: A cinkfelvétel meghatározásához a 0., 3. és 7. napon 6-6 ml mintát centrifugáltunk, a sejteket és a felülúszót feldolgozásig -20°C-on tároltuk. A felülúszók cinktartalmának meghatározása magyar szabvány (MSZ 1484-3:2006 5.) szerint, láng-atomabszorpciós spektrometriás (FAAS) eljárással (AAS, UNICAM 969; GF90 plus kemence és FS90 plus mintaadagoló egység) a TIKTVF Mérőállomás laboratóriumában történt. A felülúszók cinktartalmának csökkenéséből számítottuk ki az összes megkötött cink mennyiségét. Az extra-, illetve intracellulárisan megkötött cink mennyiségének elkülönítéséhez a centrifugálással összegyűjtött sejtekhez 6 ml 2 mM EDTA oldatot adtunk, majd az elegyeket tíz percig kevertettük (Tripathi és Gaur, 2006). A kevertetés után az EDTA-val kezelt mintáinkat centrifugáltuk és a felülúszókból újabb FAAS méréssel meghatároztuk a sejtek felszínéről lemosott cink mennyiségét.

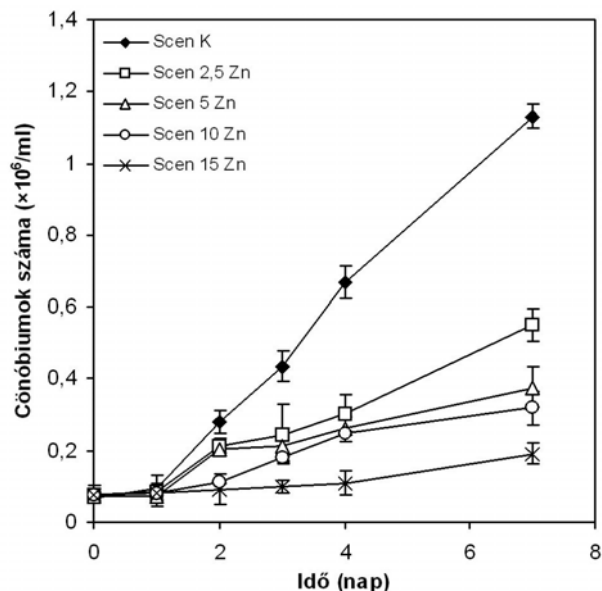
A holt biomaszra cink megkötésének meghatározása: A holt biomaszra nehézfém megkötését 5 mg/L cinkkel kezelt tenyészetben vizsgáltuk, mivel az élő sejtek esetében ennél a koncentrációnál volt a legnagyobb mértékű a cink-ionok eltávolítása. A szárazanyag-tartalom változásához vett minták (3. és 7. nap) alapján számoltuk ki a bemérendő szárazanyag mennyiségét. A holt biomaszával végzett kísérletek ugyanolyan feltételek mellett valósultak meg, mint az élő biomasz esetén (megvilágítás, hőmérséklet, buborékolatás). A holt biomaszra cink megkötésének meghatározásához a 0., 3. és 7. napon 6-6 ml mintát centrifugáltunk. A feldolgozásig -20°C-on tároltuk a sejteket és a felülúszót. A felülúszók cinktartalmának meghatározása az élő biomaszra esetében alkalmazott módszerrel történt, a felülúszók cinktartalmának csökkenése alapján számítottuk ki a holt biomaszra által megkötött cink mennyiségét.

A kísérleteket háromszoros ismétlésben végeztük el. Az eredmények statisztikai értékelésére kétutas ANOVA-t és Tukey-tesztet alkalmaztunk.

Eredmények és értékelésük

A *Scenedesmus quadricauda* tenyészetek növekedése: A növekedési paramétereket figyelembe véve általánosan elmondható, hogy a kontroll tenyészethez képest a cinkkel kezelt tenyészetek növekedése egyre alacsonyabb intenzitást mutatott a magasabb koncentrációk felé haladva. Kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a *S. quadricauda* cönóbiumok száma már 2,5 mg/L cink-koncentráció mellett is csupán 50%-a volt a kontroll tenyészetben megfigyelhető cönóbiumszámnak (1. ábra). A 15 mg/L cinkkel kezelt tenyészet még életképes volt a tenyésztési idő végén is, viszont a növekedés

intenzitása a kontroll tenyészethez viszonyítva igen alacsony. A cönóbiumok száma növekedett a tenyésztési idő végéig, azonban ez a kontroll tenyészetnek mindössze 17%-a (1. ábra). A klorofill-tartalom adatok is azt támasztják alá, hogy a 15 mg/L cinkkel kezelt tenyészet már alig növekszik, a klorofill-tartalom alig 4%-a volt a kontroll tenyészetének a 7. napon (nem bemutatott adatok). Prasad és Prasad (1987) kimutatták, hogy a nehézfémek gátolják a klorofill szintézisért felelős enzimek működését (Prasad és Prasad, 1987), Rai és munkatársai (1991) pedig megfigyelték, hogy cink jelenlétében a klorofill-b mennyisége drasztikusan csökken (Rai et al., 1991).

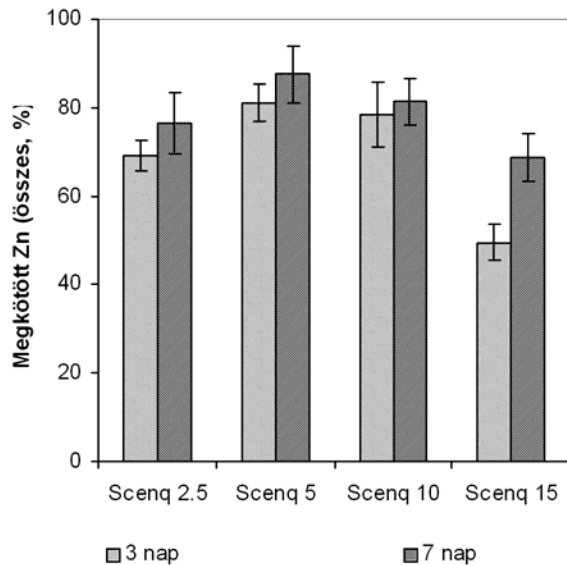


1. ábra A cönóbiumok számának változása a különböző mennyiségű (2,5-15 mg/L) cinkkel kezelt *Scenedesmus quadricauda* tenyészetekben.

Figure 1 Changes the number of coenobia in *Scenedesmus quadricauda* cultures treated with different zinc concentrations (2.5-15 mg/L).

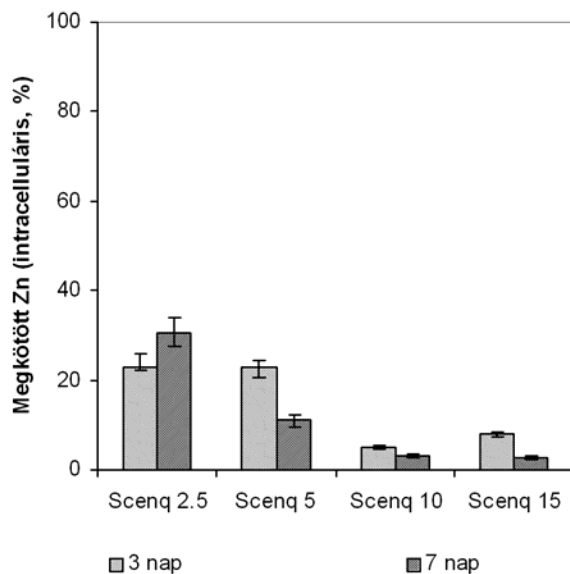
A *Scenedesmus quadricauda* zöldalga faj érzékenyebb a magas cink-koncentrációkra (>15 mg/L), mint más *Scenedesmus* fajok. Omar (2002) a cink *Scenedesmus quadricauda* és *Scenedesmus obliquus* zöldalga fajokra kifejtett hatását vizsgálva kimutatta, hogy a *Scenedesmus obliquus* 4,5 ppm (4,5 mg/L), a *Scenedesmus quadricauda* esetében pedig 1,5 ppm (1,5 mg/L) cink-koncentráció felett a növekedés intenzitása csökkent. A Monteiro és munkatársai által 2010-ben végzett kísérletek eredményei azt mutatták, hogy az általuk izolált *Desmodesmus* (korábban *Scenedesmus*) *pleimorphus* még 30 mg/L cink-koncentráció mellett is életképes, bár növekedése csupán 12,5 %-a volt a kontroll tenyészetének. Ezzel szemben a Travieso és munkatársai (1999) által vizsgált *Scenedesmus acutus* még 100 mg/L cink-koncentráció jelenlétében is növekedett.

Az élő *Scenedesmus quadricauda* tenyészetek cinkfelvétele: Általánosan elmondhatjuk a kezelt tenyészetekről, hogy a tenyésztési idő 3. napjára a cink több mint 50%-át megkötötték és a 7. napra ez a mennyiség tovább nőtt a kiindulási állapothoz képest (2. ábra). Az intracellulárisan megkötött cink mennyisége a 3. napon volt a legmagasabb és a 7. napra csökkent, kivéve a 2,5 mg/L cinkkel kezelt tenyészet esetében, ahol a 7. napon magasabb volt az intracellulárisan megkötött cink mennyisége (3. ábra). Az általunk vizsgált *Scenedesmus quadricauda* zöldalga faj tehát a cink nagyobb részét extracellulárisan köti meg. A tenyésztési idő 7. napján az 5 mg/L cinkkel kezelt tenyészetben volt a legmagasabb az összes megkötött cink mennyisége (~87,5%).



2. ábra Az összes megkötött cink mennyisége a különböző cink-koncentrációkkal kezelt tenyészetekben. 100%-nak a kísérlet indításakor bemért cink mennyiségét tekintettük.

Figure 2 The total amount of removed zinc in cultures treated with different zinc concentrations. 100% was the initial concentration of added zinc at the beginning of the experiments.

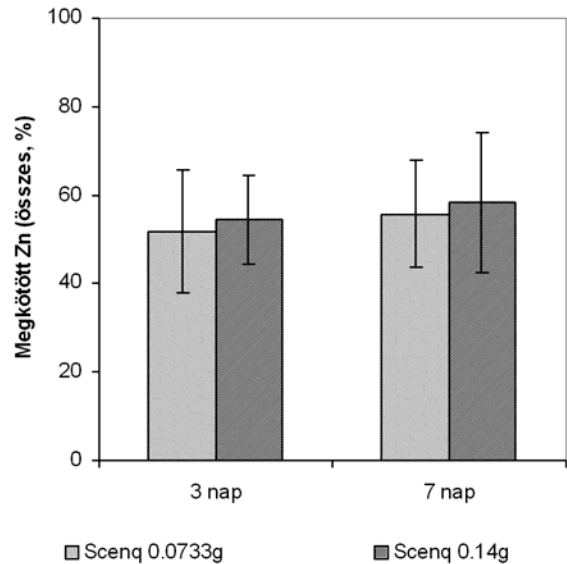


3. ábra Az intracellulárisan megkötött cink mennyisége a különböző cink-koncentrációkkal kezelt tenyészetekben. 100%-nak megkötött összes cink mennyiségét tekintettük.

Figure 3 The intracellular amount of removed zinc in cultures treated with different zinc concentrations. 100% was the total amount of removed zinc.

A holt Scenedesmus quadricauda biomassza cinkfelvétele: A holt biomassza cink megkötésének vizsgálata során a bemérendő biomassza mennyiségét a legnagyobb cinkmennyiséget megkötő élő tenyészet adott napon mért száraz tömege alapján határoztuk meg. A 0,0733 g szárazanyagot (az 5 mg/L cinkkel kezelt tenyészet 3. napon mért száraz tömegének megfelelő mennyiségű biomasszát) és 5 mg/L cinket tartalmazó tápoldatból a bemért cinkmennyiség ~53,4%-a kötődött meg a 3. napra (4. ábra). Ehhez képest a

0,1400 g szárazanyagot (az 5 mg/L cinkkel kezelt tenyészet 7. napon mért száraz tömegének megfelelő mennyiségű biomasszát) és 5 mg/L cinket tartalmazó tápoldatból mindössze ~1%-al több cink kötődött meg (~52,5%). A kísérlet 7. napján mindkét esetben nőtt a megkötött cink mennyisége, de nem jelentős mértékben: a 0,0733 g biomassza ~4,2%-al, a 0,1400 g biomassza pedig ~3,6%-al több cinket távolított el a kísérlet végére (4. ábra). Az adatok statisztikai értékelése azt mutatta, hogy az élő biomassza az 5 mg/L cinkkel kezelt tenyészetben mind a 3., mind a 7. napon szignifikánsan több cinket kötött meg, mint az ugyanakkora száraz tömegű holt biomassza.



4. ábra A holt biomassza által megkötött cink mennyisége az 5 mg/L koncentrációjú oldatból. 100%-nak a kísérlet indításakor bemért cink mennyiségét tekintettük (5 mg/L).

Figure 4 The amount zinc of removed by the dried biomass from the 5 mg/L solution. 100% was the initial concentration of zinc (5 mg/L) at the beginning of the experiments.

Az általunk vizsgált *Scenedesmus quadricauda* zöldalga faj cink-toleranciáját tekintve elmondhatjuk, hogy a cinket mg/L nagyságrendben elviselni képes fajok közé tartozik, közülük azonban az alacsonyabb tűrőképességűek közé sorolható. A *Scenedesmus quadricauda* tenyészetekben a megkötött cink nagyobb része extracellulárisan kötődött meg. A holt biomassza cink megkötése is jelentős volt, de az élő sejtek cink megkötéséhez képest szignifikánsan kevesebb volt a megkötött cink mennyisége. Az eredmények és az irodalmi adatok ismeretében elmondható, hogy a *Scenedesmus quadricauda* élő és holt biomasszája is sikerrel alkalmazható cinkszennyezés biológiai eltávolításában 5-10 mg/L koncentrációig, az élő sejtek cinkmegkötő kapacitása azonban magasabb, mint a holt biomassza esetében. Azt is meg kell jegyezni, hogy a kísérleti eredmények fényében úgy tűnik, a különböző *S. quadricauda* izolátumok viselkedése – legalábbis az eddigi irodalmi adatok fényében – összemérhető, nagy hasonlóságot mutat, így a fajra vonatkozó cinkmegkötési sajátságok az eddigi adatok alapján általános érvényűnek tekinthetők.

Köszönetnyilvánítás

A munka a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült. A munka létrejöttében nyújtott nélkülözhetetlen közreműködésért köszönettel tartozunk a Debreceni Egyetem Farmakognóziái Részlegének és az Ökológiai Tanszéknek.

Irodalomjegyzék

- Aksu, Z., Egretli, G., Kutsal, T. (1998) A comparative study of copper (II) biosorption on Ca-alginate, agarose and immobilized *C. vulgaris* in a packed-bed column. *Proc. Biochem.* 33: 393–400.
- Alloway, B. J. (1995) *Heavy Metals in Soils*. 2. ed. Springer, 368 pp.
- Bayramoglu G., Tuzun I., Celik G., Yilmaz M., Arica M.Y. (2006) Biosorption of mercury(II), cadmium(II) and lead(II) ions from aqueous system by microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* immobilized in alginate beads. *International Journal of Mineral Processing* 81: 35–43.
- Canizares-Villanueva, R.O., Gonzalez-Moreno, S., Dominguez-Bocanegra, A.R. (2001) Growth, nutrient assimilation and cadmium removal by suspended and immobilized *Scenedesmus acutus* cultures: influence of immobilization matrix. In: Chen, F., Jiang, Y. (Eds.), *Algae and their Biotechnological Potential*. Kluwer Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 147–161.
- Costa, A., Leite, S. (1991) Metal biosorption by sodium alginate immobilized *Chlorella homosphaera*. *Biotechnological Letters*. 13: 559–562.
- Costa, A., Leite, S. (1992) Cadmium and zinc biosorption by *Chlorella homosphaera*. *Biotechnological Letters*. 12: 941–944.
- De Filippis, L., Hampp, R., Ziegler, H. (1981) The effects of sub-lethal concentrations of zinc, cadmium and mercury on *Euglena* (a) Growth and pigments. *Pflanzen Physiologie* 101: 37–47.
- Fukami, M., (1988) Effects of zinc on metal metabolism on the zinc tolerant chlorotic mutants of *Euglena gracilis*. *Journal of Agriculture and Biological Chemistry*. 52: 2343–2344.
- Gold, C., Feurtet-Mazel, A., Coste, M., Boudou, A. (2003) Impacts of Cd and Zn on the Development of Periphytic Diatom Communities in Artificial Streams Located Along a River Pollution Gradient. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 44: 189–197.
- Kádár, I. (1995) A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel. *Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest*, 372 pp.
- Labyntseva, R., Ulianenko, T., Kosterin, S. (1998) Effect of heavy metal ion on super precipitation and ATPase activity of uterine smooth muscle actomyosin activity. *Ukrainskii Biokhimičeskii Zhurnal*. 70: 271–277.
- Monteiro, C.M., Castro, P.M.L., Malcata, F.X. (2009) Biosorption of zinc ions from aqueous solution by the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Environmental Chemistry Letters* 9 (2):169–176.
- Monteiro, C.M., Marques, A.P.G.C., Castro, P.M.L., Malcata, F.X. (2010) Characterization of *Desmodesmus pleiomorphus* isolated from a heavy metal-contaminated site: biosorption of zinc. *Water, Air and Soil Pollution* 208: 17–27.
- Morin, S., Coste, M. (2006) Metal-induced shifts in the morphology of diatoms from Riou Mort and Riou Vioi streams (South West France). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 97:101.
- Munoz R., Alvarez M.T., Munoz A., Terrazas E., Guieysse B., Mattiasson B. (2006) Sequential removal of heavy metal ions and organic pollutants using an algal-bacterial consortium. *Chemosphere* 63: 903–911.
- Naja, G. M., Volesky, B. (2009) *Toxicity and Sources of Pb, Cd, Hg, Cr, As, and Radionuclides in the Environment*.
- Omar, H.H. (2002) Bioremoval of zinc ions by *Scenedesmus obliquus* and *Scenedesmus quadricauda* and its effect on growth and metabolism. *International Biodeterioration & Biodegradation* 50: 95 – 100.
- Perales-Vela, H.V., Pena-Castro, J.M., Canizares-Villanueva, R.O. (2006) Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere* 64: 1–10.
- Prasad, D., Prasad, A. (1987) Altered \square -aminolaevulinic acid metabolism by lead and mercury in germinating seedlings of Bajra (*Pennisetum typhoides*). *Journal of Plant Physiology* 127: 241–249.
- Rai, L., Gaur, J., Kumar, H. (1981) Protective effects of certain environmental factors on the toxicity of zinc, mercury and methylmercury to *Chlorella vulgaris*. *Environmental Research*. 25: 250–259.
- Rai, L., Sing, A., Mallick, N. (1991) Studies on photosynthesis, the associated electron transport system and some physiological variables of *Chlorella vulgaris* under heavy metal stress. *Journal of Plant Physiology* 137: 419–424.
- Schiewer, S., Volesky B. (2000) Biosorption processes for heavy metal removal. In: Lovley DR (ed) *Environmental microbe-metal interactions*. ASM Press, Washington DC. 329–362.
- Shrotri, C., Rathore, V., Mohanty, P. (1981) Studies on photosynthetic electron transport, photophosphorylation and CO₂ fixation in Zn²⁺ deficient leaf cells of *Zea mays*. *Journal of Plant Nutrition*. 3: 945–954.
- Travieso, L., Cañizares, R.O., Borja, R., Benítez, F., Domínguez, A. R., Dupeyrón, R., Valiente, V. (1999) Heavy Metal Removal by Microalgae. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 62:144–151.
- Tripathi, B.N., Gaur, J.P. (2006) Physiological behavior of *Scenedesmus* sp. during exposure to elevated levels of Cu and Zn and after withdrawal of metal stress. *Protoplasma* 229: 1–9.
- Wang, J.L., Chen, C. (2009) Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances* 27: 195–226.
- Wase, J., Forster, C.F. (2003) *Biosorbents for Metal Ions*. Taylor & Francis e-Library, UK London.
- White, C., Wilkinson, S.C., Gadd, G.M. (1995) The Role of Microorganisms in Biosorption of Toxic Metals and Radionuclides. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 17–40.

Biosorption of zinc ions by living and dried biomass of the green alga *Scenedesmus quadricauda*Zoltán Novák¹, Mihály Jánószky², Sándor Alex Nagy¹, István Bácsi¹

Abstract: Environmental pollution has become a global problem in recent years by human activities, which can be harmful directly to the elements of biosphere and could have indirect effects on living organisms. Heavy metals are one of the most dangerous materials among chemical contaminants. When they are released to the environment, they can cause serious damage to ecosystems.

The genera *Scenedesmus* and the species *Scenedesmus quadricauda* is common, ubiquitous organisms. They can be easily cultured and maintained in laboratory and they are widely used for biotechnological processes. *Scenedesmus quadricauda* can tolerate zinc in the range of 2.5–15 mg/L concentration, so the species can be characterized with moderate zinc tolerance. The growth rates of the cultures were reduced by the increasing zinc concentrations. Maximal zinc removal was observed in the 5 mg/L zinc-treated culture (87.6% of the added zinc was removed) and greater part of bound zinc was extracellular (77–89%). Dried biomass could bind significant amount of zinc (56–58%), however zinc binding of the same amount of living biomass was significantly higher.

Keywords: *Scenedesmus quadricauda*, living biomass, dried biomass, zinc removal