

Kadmio (Cd) ir vario (Cu) poveikis mažajai plūdenai (*Lemna minor* L.)

Giedrė Pėstininkaitė, Jūratė Žaltauskaitė

Vytauto Didžiojo Universitetas

Sunkieji metalai – didelė aplinkos problema, kurią daugiausiai lėmė antropogeninis poveikis. Net mažos sunkiųjų metalų koncentracijos dėl savo poveikio gali daryti neigiamą poveikį gyvajai gamtai. Darbo tikslas - nustatyti kadmio (Cd) ir vario (Cu) poveikį mažosios plūdenos (*Lemna minor* L.) augimui. Buvo tirtas trumpalaikis (7 dienų) Cu ir Cd (1-1000 µg/l) poveikis *Lemna minor* morfometriniams (žalioji masė, augimo greitis), fiziologiniams (chlorofilas a, chlorofilas b, karotenoidai) ir biocheminiams (lipidų peroksidacija) rodikliams. Tyrimo rezultatai parodė, kad tiek kadmio (Cd), tiek ir vario (Cu) lėtino *Lemna minor* naujų lapelių formavimąsi ir augimo slopinimas tiesiškai didėjo kartu su metalų koncentracija tirpale ($R^2 = 0,85$). Nustatyta, kad Cu buvo nežymiai toksiškesnis *L. minor* augimui ($EC_{50} = 418,16 \mu\text{g/l}$) nei Cd ($EC_{50} = 453,56 \mu\text{g/l}$). Tirti metalai darė reikšmingą neigiamą poveikį *Lemna minor* fotosintezės pigmentų kiekiui. Cd labiau slopino pigmentų kiekį (chl a 73%, karotinoidų – 71%) negu Cu (chl a iki 63%, karotinoidų – iki 63%, išskyrus chlorofilo b kiekį – Cd slopino mažiau, t.y., 57% , varis 66%). Oksidaciniam stresui reikšmingos įtakos turėjo visos tirtos kadmio ir vario koncentracijos. Kadmio sukėlė didesnę lipidų peroksidaciją veikiant 1 - 100 µg/l Cd koncentracijomis, tačiau veikiant 1000 µg/l Cu koncentracija, vario sukeliama membranų pažeidimas buvo žymiai didesnis (92,24%) negu kadmio sukeltas oksidacinis stresas (69,85%, $p < 0,05$).

Varis, kadmio, aplinka, mažoji plūdena (Lemna minor L.)

Įvadas

Sunkieji metalai šiandien yra viena opiausių aplinkosauginių problemų, keliančių grėsmę aplinkai, kurią daugiausiai lemia antropogeninis poveikis. Pastebėtina, jog nemažai sunkiųjų metalų, taip pat ir varis bei kadmio, yra aptinkami natūraliai gamtoje, tačiau didesnius kiekius aplinkoje lemia jų naudojimas įvairiose pramonės srityse. Kadmio aplinkoje aptinkamas dėl fosfatinių trąšų naudojimo, iš šildymo sistemų įrenginių bei atliekų deginimo metu, taip pat dylant transporto padangoms (Gallego et al., 2012).

Į vandens ekosistemas sunkieji metalai patenka iš įvairių šaltinių. Pagrindiniai šaltiniai yra nuotekos, pramonės atliekos, žemės ūkyje naudojamos trąšos, pesticidas, kalnakasybos darbai bei atmosferos iškritos (Kanon-Boule et al., 2009).

Kai kurie sunkieji metalai atlieka mikroelementų vaidmenį ir yra būtini tam tikromis koncentracijomis pilnavertiškai gyvų organizmų veiklai. Pavyzdžiui, varis yra įvairių baltymų sudėtinė dalis, dalyvauja CO₂ asimiliacijos procese ir ATP sintezėje (Yadav, 2009).

Tačiau didėjant sunkiųjų metalų koncentracijoms, peržengus organizmų tolerancijos ribas, jie pradeda veikti toksiškai (Drost, 2007). M.E. Hudson (2004) teigimu, visi metalai būdami tam tikros formos ir esant atitinkamai jų dozei yra toksiški.

Varis slopina fotosintezę, neigiamai veikia fermentų aktyvumą. Kadangi varis tiesiogiai dalyvauja reaktyviųjų deguonies formų (ROS) susidaryme, todėl jis gali sukelti plazminių membranų pažeidimus (Ercal, 2001). Kadmio neatlieka jokios biologinės/biocheminės funkcijos, dėl to yra priskiriamas nebūtiniesiems elementams (Drost, 2007). Kadmio sutrikdo plazminės membranos pralaidumą, dėl to sutrinka ir augalo vandens apykaita, taip pat stabdo chlorofilo sintezę (Benavides et al., 2005).

Šio darbo tikslas buvo nustatyti kadmio (Cd) ir vario (Cu) poveikį mažosios plūdenos (*Lemna minor* L.) morfometriniams, fiziologiniams ir biocheminiams rodikliams.

Tyrimų metodika

Sunkiųjų metalų toksiškumui vandenyje tirti buvo pasirinkta mažoji plūdena (*Lemna minor* L.). Eksperimentai buvo atliekami 7 paras, laikantis OECD 221 (2006) metodikos cheminių medžiagų nustatymui. Augalai buvo veikiami 5 skirtingomis kadmio ir vario (1 µg/l; 2 µg/l; 10 µg/l; 100 µg/l; 1000 µg/l) koncentracijomis. Tiriamieji tirpalai paruošti iš skirtingų metalų druskų (CdCl₂ ir CuCl₂*2H₂O) ir Steinberg mitybinės terpės. Kontrolė – Steinberg mitybinė terpė. Visi tyrimai buvo atlikti trimis pakartojimais. Augalų augimo (lapelių prieaugis, žalioji masė), fiziologiniai (fotosintezės pigmentų kiekis) ir biocheminiai (malono dialdehido kiekis) parametrai buvo matuojami praėjus 7 paroms po poveikio variu ir kadmio.

Fotosintetinančių pigmentų kiekius augalų lapuose nustatytas spektrofotometriškai 100% acetono ištraukoje (von Wettstein, 1957). Kadmio ir vario sukeltas oksidacinis stresas *Lemna minor* buvo vertinamas matuojant malono dialdehido (MDA) kiekį augalų ląstelėse (Buege, Aust, 1978). MDA yra laikomas bendrosios lipidų peroksidacijos ir streso lygių rodikliu (Hou et al., 2007; Zezulka et al., 2013).

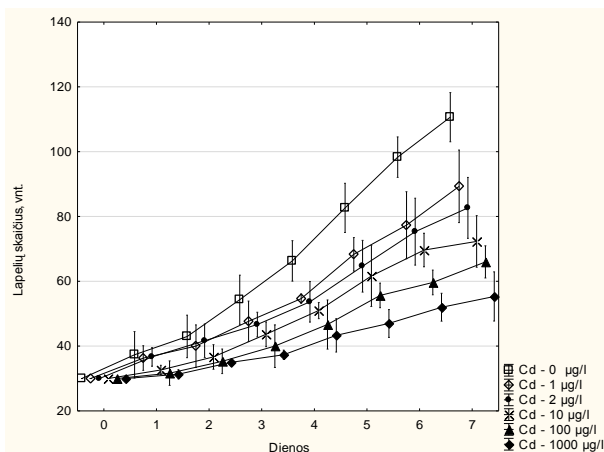
Gauti eksperimentų duomenys apdoroti programa „Statistica 8.0“. Tirtų metalų įtakos patikimumas buvo vertinamas dispersinės analizės metodu (ANOVA), skaičiuojant F kriterijų ir jo p reikšmę, skirtumas laikytas patikimu, kai p buvo mažesnis nei 0,05 ($p < 0,05$). Efektyviosios koncentracijos (EC_{50}) buvo skaičiuotos regresijos metodais.

Rezultatai ir aptarimas

Horvat et al. (2007), pabrėžia, jog metalų poveikio vertinimas *Lemna minor*, visų pirma yra susijęs su matomais augalo pakitimais, t.y., lapelių skaičiaus ir masės pokyčiais. Taigi, pirmiausia buvo atlikta mažosios plūdenos lapelių prieaugio pokyčiai, kurie pateikti 1-2 pav.

Lemna minor augę tirpaluose su skirtingomis kadmio koncentracijomis išgyveno visą testo laikotarpį, t.y. septynias dienas ir geriausiai augo mažiausiose kadmio koncentracijose (1 µg/l ir 2 µg/l), kur paskutinį dieną lapelių prieaugis buvo atitinkamai 21 % ir 23 % mažesnis negu kontrolinėje grupėje ($p < 0,05$). Taip pat pastebėtina,

kad paskutiniają eksperimento dieną, plūdenas veikiant didžiausia kadmio koncentracija (1000 µg/l), lapelių priaugis buvo 39% mažesnis lyginant su kontrole, kai tuo tarpu mažiausioje kadmio koncentracijoje (1 µg/l) – tik 19%. Atlikta dispersinė analizė (ANOVA) parodė, jog skirtingos kadmio koncentracijos darė statistiškai reikšmingą poveikį *Lemna minor* lapelių augimui ($F = 8,86$, $p < 0,05$). Augalus veikiant didelėmis (>100 µg/l) kadmio (Cd) koncentracijomis, lapelių priaugis viso eksperimento metu vidutiniškai buvo 23% mažesnis negu kontrolinėje grupėje.



1 pav. *Lemna minor* lapelių priaugis skirtingose Cd koncentracijose per septynias dienas

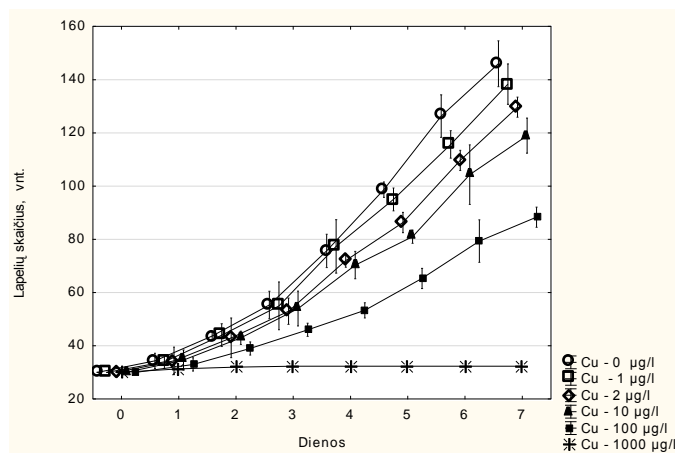
Fig.1. *Lemna minor* fronds growth in different Cd concentrations within seven days

Varis statistiškai reikšmingai veikė *Lemna minor* lapelių priaugį ($F = 11,25$; $p < 0,05$). Lyginant lapelių priaugį skirtinguose vario (Cu) koncentracijos tirpaluose, matome, kad mažos vario koncentracijos (1 µg/l, 2 µg/l) žymaus poveikio *L. Minor* lapelių augimui nedarė, čia priaugis atitinkamai 4% ir 10% mažesnis negu kontrolinėje grupėje ($p < 0,05$). Gana žymus lapelių priaugio sumažėjimas stebimas 100 µg/l vario koncentracijoje, kur paskutinę eksperimento dieną lapelių priaugis buvo mažesnis net 60% negu kontrolinėje grupėje. Didžiausia vario koncentracija (1000 µg/l) darė didžiausią neigiamą poveikį *Lemna minor* ir visiškai sustabdė naujų lapelių formavimąsi – visas tyrimo dienas lapelių skaičius nekito. Jau po pirmosios eksperimento paros šioje koncentracijoje stebimas kai kurių plūdenų kolonijų išsiskyrimas, po trijų parų – absoliutus kolonijų išsiskyrimas. R. Henke ir kt. (2011) teigimu, *Lemna minor* lapelių netekimas yra augalo patiriamo streso pasekmė.

Tyrimo rezultatai parodė, kad tiek kadmio (Cd), tiek ir vario (Cu) lėtino *Lemna minor* naujų lapelių formavimąsi ir augimo slopinimas tiesiškai didėjo kartu su metalų koncentracija tirpale ($R^2 = 0,85$). Nustatyta, kad Cu buvo neįdomiai toksiškesnis *L. minor* augimui ($EC_{50} = 418,16$ µg/l) nei Cd ($EC_{50} = 453,56$ µg/l).

Žinoma, kad varis (Cu) yra būtinas mikroelementas augalų augimui ir nedidelės jo koncentracijos yra pasisavinamos organizmo gyvybinėms funkcijoms vykdyti, tačiau kai yra vario perteklius, jis sukelia neigiamus efektus. Taigi, varis (Cu) galėjo veikti toksiškiau negu kadmio (Cd), kadangi per didelė vario koncentracija, šiuo

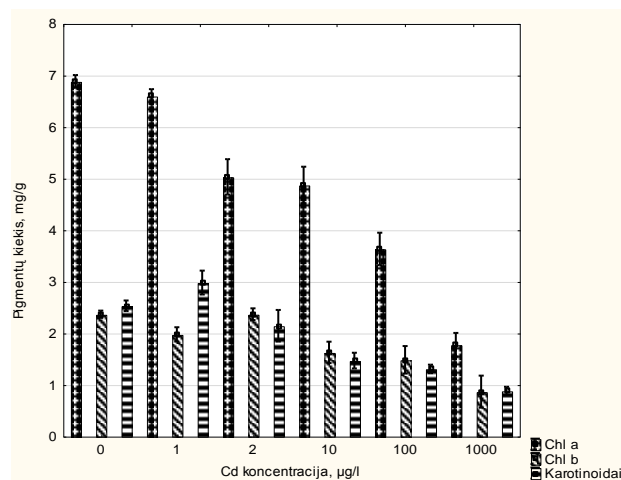
atveju 1000 µg/l, sukelia žymiai didesnę neigiamą efektą ir lapelių priaugis išvis nestebimas negu veikiant ta pačia kadmio koncentracija. Varis dalyvauja ląstelės reakcijose, kuriose susidaro aktyviosios deguonies formos (Ercal et al., 2001), tuo tarpu, kadmio tiesiogiai nedalyvauja ROS susidarymo reakcijose, oksidacinį stresą sukelia reaguodamas su ląstelės antioksidantais, trikdydamas fotosintezės ir kvėpavimo procesus (Schutzendubel, Polle, 2001), dėl to kadmio poveikis *Lemna minor* lapelių augimui buvo šiek tiek mažesnis negu vario.



2 pav. *Lemna minor* lapelių priaugis skirtingose Cu koncentracijose per septynias dienas

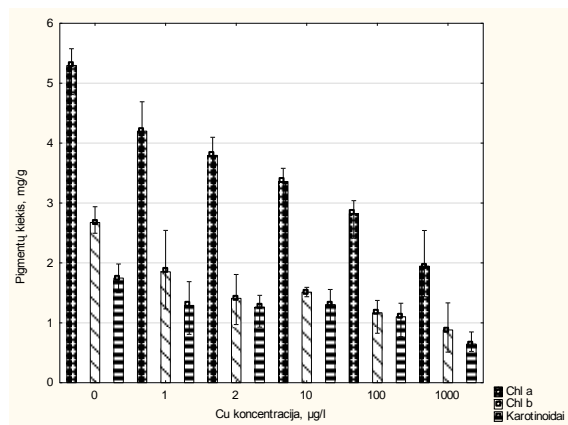
Fig.2. *Lemna minor* fronds growth in different Cu concentrations within seven days

Gebėjimas vykdyti fotosintezę – vienas svarbiausių augalo fiziologinių rodiklių. Nustatyta, kad dažnai sunkieji metalai neigiamai veikia fotosintezės pigmentų (chlorofilo a, chlorofilo b ir karotinoidų) kiekį augaluose. 3-4 pav. pateiktas fotosintezės pigmentų kiekis skirtingose kadmio ir vario koncentracijose.



3 pav. Fotosintezės pigmentų kiekis *Lemna Minor* lapeliuose, augintuose skirtingose Cd koncentracijose

Fig. 3. Content of photosynthetic pigment in *L. minor* exposed to different Cd concentrations



4 pav. Fotosintezės pigmentų kiekis skirtingose Cu koncentracijose
Fig. 4. Content of photosynthetic pigment in *L. minor* exposed to different Cu concentrations

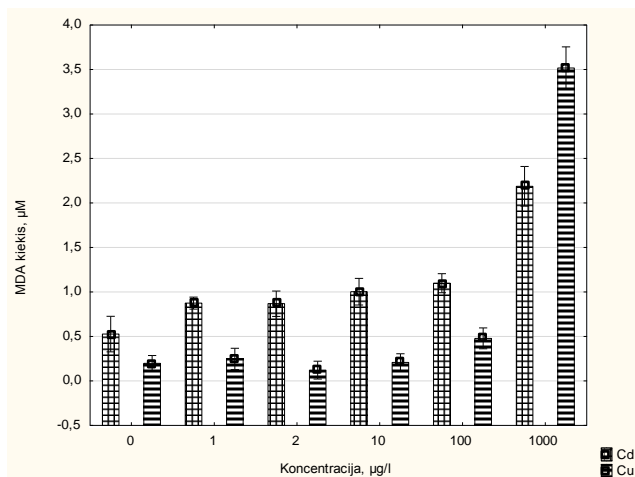
Nustatyta, kad kadmio darė reikšmingą poveikį chlorofilo a ($F= 182,93$, $p<0,05$), chlorofilo b ($F= 19,58$, $p<0,05$) ir karotinoidų ($F= 36,97$, $p<0,05$) kiekiui. Mažiausioje 1 µg/l Cd koncentracijoje augusių augalų lapuose chlorofilo a kiekis buvo 4% didesnis negu kontrolėje ($p>0,05$), tačiau jau nuo 2 µg/l Cd koncentracijos stebimas gana žymus (28% nuo kontrolės) chlorofilo a koncentracijos sumažėjimas ($p<0,05$). Didžiausia (1000 µg/l) kadmio (Cd) koncentracija darė itin reikšmingą poveikį chlorofilo a kiekiui – čia jis buvo 73% ($p<0,05$) mažesnis negu kontrolinėje grupėje.

Panašios pigmentų kitimo tendencijos stebimos ir Prasad et al. (2001) atliktame tyrime su *Trilype plūdena* (*Lemna trisulca* L.), kai jau po 48 valandų didžiausioje kadmio koncentracijoje (10 mM) buvo stebimas chlorofilo a, chlorofilo b ir karotinoidų sumažėjimas, o mažesnėse metalo koncentracijose (0,5mM – 2,0 mM Cd) stebimas pigmentų kiekio padidėjimas.

Varis reikšmingai paveikė chlorofilo a ($F = 76,8$; $p<0,05$), chlorofilo b ($F = 38,37$; $p<0,05$) ir karotinoidų ($F = 5,40$; $p<0,05$) kiekį. Didžiausią neigiamą poveikį chlorofilo a kiekiui darė 1000 µg/l Cu koncentracija, kur lyginant su kontroline grupe chlorofilo a kiekis buvo 63% mažesnis ($p<0,05$).

Tyrimo rezultatai parodė, kad tiek kadmio (Cd), tiek varis (Cu) darė reikšmingą neigiamą poveikį *Lemna minor* fotosintezės pigmentų kiekiui, t.y., didėjant metalų koncentracijoms pigmentų kiekis žymiai mažėjo. Stebima tendencija, jog plūdenas veikiant variu, chlorofilo a kiekis tolygiai mažėja, tačiau ne itin staigiai, o plūdenas veikiant kadmio kadmiu stebimas staigus chlorofilo a kiekio sumažėjimas jau 2 µg/l Cd koncentracijoje. Chlorofilo b kiekis abejais metalais veiktuose plūdenų lapeliuose kito panašiai, nors šiek tiek didesnis jų kiekis fiksuojamas plūdenas veikiant variu. Karotinoidų kiekis kito nežymiai.

Augalui patiriant stresą, vyksta stipri membranų lipidų peroksidacija ir lapuose kaupiasi peroksidacijos produktai – malono dialdehidai. 5 pav. Pateiktas MDA kiekis Cu ir Cd paveiktuose *Lemna minor* lapeliuose.



5 pav. MDA kiekio *L. minor* lapeliuose priklausomybė nuo skirtingų Cd ir Cu koncentracijų

Fig. 5. MDA content in *L. minor* fronds dependence of different concentrations of Cd and Cu

Nustatyta, kad kadmio ir varis turėjo reikšmingos įtakos MDA koncentracijai *Lemna minor* audiniuose ($F(Cd) = 13,01$, $F(Cu) = 72,65$, $p<0,05$).

Vertinant MDA kiekį augaluose, veiktuose skirtingos prigimties metalais, matyti, jog 1 - 100 µg/l kadmio koncentracijos *Lemna minor* darė didesnę neigiamą poveikį negu tokios pačios vario koncentracijos, tačiau veikiant didesnėmis koncentracijomis (1000 µg/l), vario sukeltas membranų pažeidimas buvo žymiai (1,6 karto) didesnis negu kadmio sukeltas oksidacinis stresas ($p<0,05$).

Gautus duomenis palyginus su Hou et al., (2007) atliktu tyrimu matome, kad rezultatai labai panašūs: mažesnėmis kadmio koncentracijomis veikti *Lemna minor* lapeliai patyrė didesnę oksidacinę stresą negu tomis pačiomis vario koncentracijomis. Tai būtų galima sieti su tuo, jog varis yra būtinas mikroelementas augalo metabolizmui bei antioksidacinių fermentų veiklai, dėl to augalas patiria mažesnę stresą negu veikiant kadmio (kadmio neturi oksidacinių savybių), tačiau viršijus organizmui optimalią dozę, kai ląstelės nebesugeba apdoroti viso vario, membranų peroksiduojasi ir varis paveikia fiziologinius bei biocheminius augalo procesus (Megateli et al., 2009).

Išvados

Tirti sunkieji metalai kadmio ir varis slopino *Lemna minor* lapelių augimą ($p<0,05$) ir darė reikšmingą neigiamą poveikį *Lemna minor* fotosintezės pigmentų kiekiui. Cd labiau slopino pigmentų kiekį (chl a 73%, karotinoidų – 71%) negu Cu (chl a iki 63%, karotinoidų – iki 63%, išskyrus chlorofilo b kiekį – Cd slopino mažiau, t.y., 57%, o varis 66%).

Oksidaciniam stresui reikšmingos įtakos turėjo visos tirtos kadmio ir vario koncentracijos. Kadmio sukėlė didesnę lipidų peroksidaciją veikiant 1 - 100 µg/l Cd koncentracijomis, tačiau veikiant 1000 µg/l Cu koncentracija, vario sukeltas membranų pažeidimas buvo žymiai didesnis (92,24%) negu kadmio sukeltas oksidacinis stresas (69,85%), $p<0,05$. Apibendrinus visus tyrimų rezultatus, galima teigti, kad tirti sunkieji metalai

kadmio (Cd) ir vario (Cu) darė neigiamą įtaką *Lemna minor*.

Literatūra

1. BENAVIDES M. P., GALLEGO S. M., TOMARO M. L. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian journal of plant physiology*, 2005, 17, p. 21-34.
2. BUEGE J.A., AUST S.D. Microsomal lipid peroxidation // *Methods in Enzymology*, 52, 1978, p. 302-310.
3. DROST W., MATZKE M., BACKHAUS T. Heavy metal toxicity to *Lemna minor*: studies on the time dependence of growth inhibition and the recovery after exposure. *Chemosphere*, 67, 2007, p. 36-43.
4. ERCAL N., GURER – ORHAN H., AYKIN – BURNS N. Toxic metals and oxidative stress part I: mechanisms involved in metal-induced oxidative damage. *Current Topics in Medical Chemistry*, 1 (6). 2001, p. 529-39.
5. GALLEGO S. M., PENA L. B., BARCIAA R. A., AZPILICUETA C. E., IANNONE M. F., ROSALES A. E. P., ZAWOZNIKA M. S., GROPPA M. D., BENAVIDES M. P. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 83, 2012, p. 33-46.
6. HENKE R., EBERIUS M., APPENROTH K.J. Induction of frond abscission by metals and other toxic compounds in *Lemna minor*. *Aquatic toxicology*, 101, 2001, p. 261-265.
7. HORVAT T., VIDA KOVIC – CIFREK Ž., OREŠČANIN V., TKALEC M., PAVELEK – KOZLINA B. Toxicity assessment of heavy metal mixtures by *Lemna minor* L. *Science of the Total Environment*, 384, 2007, p. 229-238.
8. HOU W., CHEN X., SONG G., WANG Q., CHANG C. Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 45, 2007, p. 62-69.
9. HUDSON M. E. Heavy metals-geochemical bogey men? *Environmental Pollution*, 129, 2004, p. 341-343.
10. YADAV S. K. Heavy metals toxicity in plants: An overview of the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany* 2009., p. 167-179.
11. KANOUN – BOULE M., VICENTE J. A.F., NABAIS C., PRASAD M. N. V., FREITAS H. Ecophysiological tolerance of duckweed exposed to copper. *Aquatic toxicology*, 91, 2009, p. 1-9.
12. LEMNA SP. GROWTH INHIBITION TEST. 2006. OECD GUIDELINES FOR THE TESTING OF CHEMICALS, 221.
13. MEGATELI S., SEMSARI S., COUDERCHET M. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper and zinc) by *Lemna gibba*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 2009, p. 1774-1780.
14. PRASAD M. N. V., MALEC P., WOLOSZEK A., BOJKO M., STRZALKA K. Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation. *Plant Science*, 161, 2001, p. 881-889.
15. SCHÜTZENDÜBEL A., POLLE A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 53, 2002, No. 32, p. 1331-1365.
16. VON WETTSTEIN, D. Chlorophyll-letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden. *Experimental Cell research*, 12, No. 3, 1957, p. 427-506.
17. ZEZULKA Š., KUMMEROVA M., BABULA P., VAŇOVA L. *Lemna minor* exposed to fluoranthene: Growth, biochemical, physiological and histochemical changes. *Aquatic Toxicology*, 140-141, 2013, p. 37-47.

Giedrė Pėstininkaitė, Jūratė Žaltauskaitė

Cadmium (Cd) and copper (Cu) effects on a duckweed (*Lemna minor* L.)

Summary

Heavy metals pollution is one of the main environmental problem, which was mainly caused by anthropogenic impacts. Even low concentrations of heavy metals can have a negative impact to biota. The aim of this work was to investigate the impact of cadmium (Cd) and copper (Cu) to the growth of common duckweed (*Lemna minor* L.). The plants were affected by 1-1000 µl/l concentrations of Cu and Cd in their growth medium for 7 days and the effects on *Lemna minor* morphometric (fresh weight, growth rate), physiological (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids) and biochemical (lipid peroxidation) parameters were examined. The results showed that both – cadmium (Cd) and copper (Cu) inhibited the growth of new fronds of *Lemna minor* and growth inhibition increased linearly along with the metal concentration in the solution ($R^2 = 0.85$). It was found that Cu was slightly more toxic to *L. minor* growth ($EC_{50} = 418.16 \mu\text{g/l}$) than Cd ($EC_{50} = 453.56 \mu\text{g/l}$). The metals had a significant negative impact on the amount of photosynthetic pigments in *Lemna minor*. Cd exhibited more pronounced negative impact on the content of photosynthetic pigments than Cu did. Cd reduced the content of chl a by 73%, carotenoids – by 71%, and in case of Cu the inhibition was up to 63%. The application of Cd and Cu provoked an oxidative stress. Cadmium has resulted in increased lipid peroxidation in the range of relatively low concentrations (1 to 100 µg/l), whereas in case of high concentrations (1000 µg/l), the impact of Cu was more pronounced. The content of MDA in the tissue of duckweeds exposed to 1000 µg/l of Cu and Cd was by 92.24% and 69.85%, respectively, higher than in control plants.

Copper, cadmium, environment, common duckweed (Lemna minor L.)

Gauta 2015 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2015 m. balandžio mėn.

Giedrė PESTININKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto, Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros studentė. Adresas: Vileikos g. 8-223, LT-44404 Kaunas. el. Paštas: giedre.pestininkaitė@fc.vdu.lt

Giedrė PESTININKAITĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural Sciences, Department of Environmental sciences, student. Address: Vileikos str. 8-223, LT-44404 Kaunas. e-mail.: giedre.pestininkaitė@fc.vdu.lt

Jūratė ŽALTAUSKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto, Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros daktarė, docentė. Adresas: Vileikos g. 8-223, LT-44404 Kaunas. Tel (+370 37) 327904, el.paštas: j.zaltauskaite@gmf.vdu.lt

Jūratė ŽALTAUSKAITĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural Sciences, Department of Environmental Sciences, PhD of Biomedical Sciences, Assoc. Prof. Address: Vileikos str. 8-223, LT-44404 Kaunas. Tel (+370 37) 327904, e-mail.: j.zaltauskaite@gmf.vdu.lt