

Kadmio poveikis vasarinio miežio (*Hordeum vulgare* L.) fotosintetiniam aparatui esant skirtingoms CO₂ koncentracijoms ore

Viktorija Butkevičiūtė, Irena Januškaitienė, Austra Dikšaitytė

Vytauto Didžiojo universitetas

Didėjantis fosfatinių trąšų naudojimas žemės ūkyje yra vienas pagrindinių Cd taršos šaltinių. Kadmio yra vienas labiausiai toksiškų aplinkos teršalų, todėl svarbu ištirti, ar didėjant CO₂ koncentracijai aplinkoje keisis Cd poveikio miežiui intensyvumas. Šiam tyrimui buvo pasirinktas vasarinis miežis (*Hordeum vulgare* L.), augalai buvo auginami fitokamerose su automatiškai palaikomomis sąlygomis. Susiformavus 3 lapeliui augimo substratas buvo sulaistytas CdSO₄ tirpalu. Parinktos 300 mg/kg, ir 500 mg/kg Cd substrate koncentracijos bei trys CO₂ koncentracijos – 400, 700 ir 1400 ppm ore. Paskutinę 10 eksperimento dieną, fotosintezės ir transpiracijos intensyvumas matuoti fotosintezės intensyvumo matavimo įrenginiu LI-6400, o fotosintetiniai pigmentai nustatyti acetono ekstrakte spektrofotometriškai. Nustatyta, kad didėjant CO₂ koncentracijai fotosintezės intensyvumas didėjo, o tuo pačiu mažėjo Cd neigiamas poveikis. Kuomet esant 700 ppm CO₂ koncentracijai Cd veiktu augalų fotosintezės intensyvumas buvo net 2,8 % ($p < 0,05$) ir 2,9 % ($p < 0,05$) didesnis už kontrolinių augalų, esant 300 ir 500 mg/kg Cd poveikio atitinkamai. Didėjanti CO₂ koncentracija ore sumažino transpiracijos intensyvumo skirtumus, esant 400 ppm CO₂ koncentracijai ore ir 500 mg/kg Cd poveikiui substrate transpiracijos intensyvumas buvo mažiausias – sumažėjo 34,6 % ($p < 0,05$), o esant 700 ppm CO₂ koncentracijai ir 300 mg/kg Cd poveikiui išaugo net 47,1 % ($p < 0,05$), lyginant su kontroliniais augalais. Cd statistiškai reikšmingai mažino pigmentų kiekius miežių lapuose, tačiau didėjanti CO₂ koncentracija ore nemažino Cd sukeliama neigiamo poveikio chlorofilų kiekiui. Nors esant 700 ppm CO₂ koncentracijai ore ir 300 bei 500 mg/kg Cd poveikiui nustatytas nežymus 12,3 % ir 3,7 % ($p > 0,05$) neigiamo poveikio sumažėjimas atitinkamai, lyginant su sumažėjimais, kai ore buvo 400 ppm koncentracija.

Kadmio, CO₂, fotosintezės intensyvumas, transpiracijos intensyvumas, chlorofilai

Įvadas

Kintant klimatui, jau net išsamiai ištyrinėti augalų atsakai gali būti kiek kitokie, nei žinoma dabar. Labai svarbu išsiaiškinti ar augalai geriau apsisaugos nuo neigiamo Cd poveikio ateityje, kai atmosferos dioksido koncentracija padidės. Didesnės koncentracijos anglies dioksidas (CO₂) atmosferoje daro tiesioginį ir trumpalaikį poveikį dviem fiziologiniams procesams augaluose. Dėl CO₂ koncentracijos padidėjimo skatinamas dalinis lapų žiotelių užsidarymas, todėl sumažėja dėl transpiracijos prarandamas vandens kiekis. Didesnės koncentracijos anglies dioksido poveikis ilgesniam laikotarpiui vieniems augalams sumažina, kitiems padidina kvėpavimo intensyvumą, pasikeičia augalo cheminė sudėtis, lapų morfologija ir anatomija (Poorter et al., 1997), sumažėja transpiracija, vandens eikvojimas ir fotokvėpavimas, todėl didėja augalų produktyvumas (Jia et al., 2010).

Kadmio yra vienas iš labiausiai toksiškų aplinkai teršalų. Natūraliai aplinkoje kadmio yra labai maži kiekiai, kurie susidaro dūlant mineralams, tačiau dėl antropogeninės veiklos kadmio daugėja, daugiausiai iš pramoninių procesų ir fosfatinių mineralinių trąšų (Fusconi et al., 2006). Jis yra pats aktyviausias iš įprastų sunkiųjų metalų, kurio per didelis kiekis sukelia toksiškus efektus visiems gyviems organizmams (Benavides et al., 2005).

Viena iš pagrindinių Cd toksiškumo savybių – neigiama įtaka ląstelių metalofermentinėms sistemoms, ypač turinčioms –SH grupes, kurių aktyviuose centruose Cd pakeičia Cu, Ca, Zn ir kitus mikroelementus (Goncalves ir kt., 2009). Kadmio lengvai reaguodamas su baltymo –SH grupėmis gali vienu metu veikti daugelį mitochondrijų fermentų ir tokiu būdu slopinti kvėpavimo grandinę, ATP-azę, didinti vidinės mitochondrijų membranos pralaidumą veikti Ca transporto sistemas (Baryla ir kt., 2001).

Kadmio jonai lapuose akumuliuojami daug labiau nei kitose augalo dalyse. Daugiausia kadmio sukulto

fitotoksinio poveikio tyrimų yra sutelkta į fotosintezės slopinimo mechanizmą. Patekęs į augalus kaupiasi chloroplastuose, todėl taip tiesiogiai paveikiama fotosintezė (Lagriffoul et al., 1998), kadmio keičia transpiracijos procesus, keisdamas ne tik vandens balansą, bet ir nitratų pasisavinimo galimybes (Dong et al., 2005). Fotosintezės slopinimas vyksta netiesiogiai, kaip sumažėjusio žiotelių laidumo rezultatas. Įvairių eksperimentų metu nustatyta, kad Cd neigiamai veikia žiotelių funkciją, elektronų transportą ir Kalvino ciklą. Ilgalaike Cd ekspozicija visam augalui gali paveikti chlorofilo sintezę ir tokiu būdu daro didelę įtaką chloroplasto vystymuisi jaunuose lapeliuose ir fotosintezės slopinimui (Molas, 2002). Vis dėlto panašu, kad Cd²⁺ jonai slopina FS II pakeisdami Ca²⁺ jonus, kurie taip pat reikalingi elektronų srautui (Ouzounidou et al., 1997).

Didėjantis CO₂ kiekis ore ir sunkiųjų metalų užterštumas dirvožemyje yra aktualios aplinkos problemos, tačiau duomenų apie Cd streso įveikimo mechanizmus, padidėjusio CO₂ kiekio ore sąlygomis yra gana nedaug. Tad šio darbo tikslas – ištirti sunkiojo metalo kadmio poveikį vasarinio miežio (*Hordeum vulgare* L.) fotosintetiniam aparatui esant skirtingoms CO₂ koncentracijoms ore.

Tyrimų metodai

Siekiant išsiaiškinti kadmio poveikį vasarinio miežio fotosintezei ir jos rodikliams esant skirtingoms CO₂ koncentracijoms ore, eksperimentai buvo atlikti VDU Aplinkotyros katedros laboratorijoje.

Atliekant eksperimentus, miežiai buvo sėjami po 35 sėklas į 2 l durpių substrato su molio dalelėmis (PROFI II, pH 6) ir smėlio mišinį (santykis pagal tūrį 3:1). Pasėti augalai eksperimento metu buvo auginami specialioje patalpoje (fotoperiodo trukmė 14 val.). Siekiant nustatyti kadmio ir CO₂ poveikį, kai miežiai užaugino tris tikruosius lapelius augimo substratas buvo sulaistytas CdSO₄ tirpalu. Buvo parinktos 300 mg/kg, kad poveikis būtų silpnesnis

nei vidutinis ir 500 mg/kg Cd koncentracijos, kad poveikis būtų stipresnis nei vidutinis, taip pat pasirinktos trys CO₂ koncentracijos ore – 400, 700 ir 1400 ppm. Kontroliniai augalai buvo laistomi distiliuotu vandeniu. Paveikus skirtingomis Cd koncentracijomis augalai buvo auginami 10 dienų.

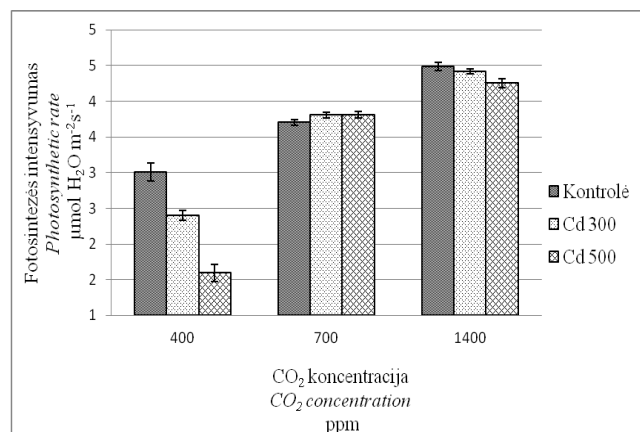
Paskutinę eksperimento dieną augalų fotosintezės ir transpiracijos intensyvumas buvo matuotas nešiojamu fotoaparatu fotosintezės matavimo įrenginiu LI-6400. Intensyvumą įrenginys registravo kas 20 sekundžių. Iš kiekvieno tyrimo varianto buvo atsitiktinai parenkami 3 augalai, kurių kiekvieno fotosintezės ir transpiracijos intensyvumas buvo matuojamas po 5 min. Iš šių duomenų skaičiuotas momentinis fotosintezės intensyvumo (CO₂ asimiliavimo greitis lape, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ir transpiracijos intensyvumo ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) rodiklių vidurkis.

Eksperimentų metu vidutinis lapo apšvietimas kvantais svyravo nuo 190 iki 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; vidutinis santykinis drėgnis mėginio kameroje 25–30 %; bloko ir lapo temperatūra buvo apie 25 °C; oro srauto greitis – 400 $\mu\text{mol s}^{-1}$.

Matematinei duomenų analizei atlikti bei grafiniam gautų rezultatų pateikimui buvo naudojami programiniai paketai „STATISTICA“ ir „EXCEL“. Lyginant tyrimų atvejus skaičiuota Student'o t-kriterijaus *p* reikšmė.

Rezultatai

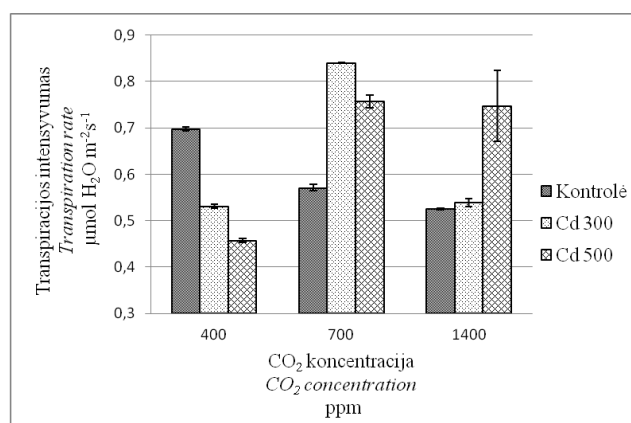
Fotosintezės intensyvumo pokyčiai pateikti 1 paveiksle. Nustatyta, kad esant 400 ppm CO₂ koncentracijai ore ir esant 300 mg/kg Cd substrate poveikiui, fotosintezės intensyvumas sumažėjo 20,2 %, o paveikus 500 mg/kg Cd – 46,9 % (*p*<0,05), lyginant su kontroliniais augalais. Esant 700 ppm CO₂ koncentracijai ore ir kadmio 300 mg/kg ir 500 mg/kg poveikiui, fotosintezės intensyvumas didėjo 2,8 % (*p*<0,05) ir 2,9 % (*p*<0,05) atitinkamai, lyginant su kontroliniais augalais. Tuo tarpu esant 1400 ppm CO₂ koncentracijai ore ir 300 mg/kg ir 500 mg/kg Cd poveikiui miežio fotosintezės intensyvumas sumažėjo 1,5 % (*p*<0,05) ir 5,3 % (*p*<0,05) atitinkamai.



1 pav. Skirtingų Cd koncentracijų poveikis miežio fotosintezės intensyvumui esant skirtingai CO₂ koncentracijai ore (vidurkis ± SE*1,96)

Fig. 1. The effect of Cd for barley photosynthetic rate at different CO₂ concentrations in the air (average ± SE*1,96)

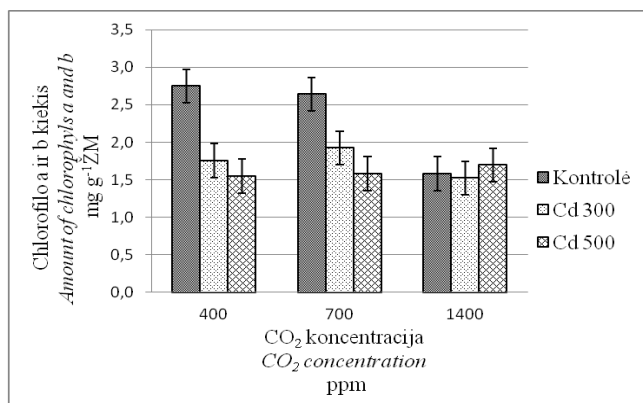
Didėjant CO₂ koncentracijai ore kontrolinių augalų transpiracijos intensyvumas didėjo (2 pav.). Miežius veikiant 400 ppm CO₂ koncentracija bei substrate esant 300 mg/kg ir 500 mg/kg Cd kiekiui, transpiracijos intensyvumas sumažėjo atitinkamai 23,9 % ir 34,6 %, lyginant su kontroliniais augalais (*p*<0,05). Esant 700 ppm CO₂ koncentracijai ore ir 300 mg/kg Cd poveikiui, transpiracijos intensyvumas išaugo 47,1 %, o paveikus 500 mg/kg Cd kiek mažiau - 32,6 %, lyginant su kontroliniais augalais (*p*<0,05). Kai ore buvo 1400 ppm CO₂ koncentracija, 300 mg/kg ir 500 mg/kg Cd poveikis transpiracijos intensyvumą didino 2,6 % (*p*>0,05) ir 42,4 % (*p*<0,05) atitinkamai, lyginant su kontroliniais augalais.



2 pav. Skirtingų Cd koncentracijų poveikis miežio transpiracijos intensyvumui esant skirtingai CO₂ koncentracijai ore (vidurkis ± SE*1,96)

Fig. 2. The effect of Cd for barley transpiration rate at different CO₂ concentrations in the air (average ± SE*1,96)

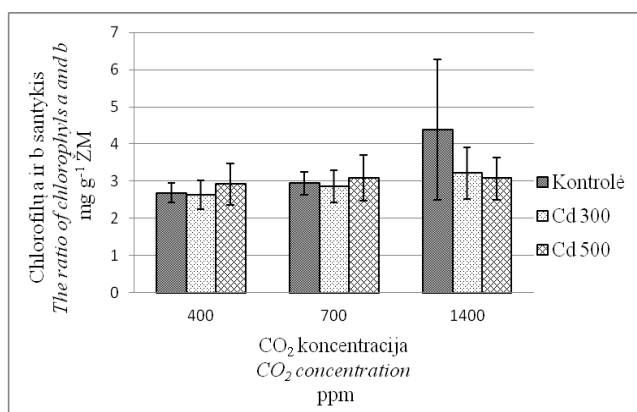
Didėjant CO₂ koncentracijai ore bendras chlorofilų *a* ir *b* kiekis kontrolinių augalų lapuose mažėjo (3 pav.). Cd statistiškai reikšmingai mažino pigmentų kiekius miežių lapuose, tačiau didėjanti CO₂ koncentracija ore nemažino Cd sukeliama neigiamo poveikio pigmentų kiekiui. Esant 400 ppm CO₂ koncentracijai ir 300 mg/kg ir 500 mg/kg Cd substrate poveikiui bendras chlorofilo *a* ir *b* kiekis sumažėjo atitinkamai 36,1 % ir 43,7 % (*p*<0,05). Tuo tarpu esant 700 ppm CO₂ koncentracijai ore ir esant 300 mg/kg ir 500 mg/kg kadmio substrate poveikiui, chlorofilų *a* ir *b* kiekis sumažėjo 27,1 % ir 40 % (*p*<0,05), lyginant su kontroliniais augalais. Esant 1400 ppm CO₂ koncentracijai ir 300 mg/kg bei 500 mg/kg Cd koncentracijoms substrate, pastebimas mažesnis kadmio poveikis nei lyginant su prieš tai buvusiomis CO₂ koncentracijomis ore. Esant 300 mg/kg ir 500 mg/kg Cd poveikiui, lyginant su kontroliniais augalais, chlorofilų kiekis mažėjo statistiškai reikšmingai, išskyrus tuomet kai ore buvo aukščiausia - 1400 ppm CO₂ koncentracija.



3 pav. Skirtingų Cd koncentracijų poveikis poveikis miežio chlorofilų a ir b bendram kiekiui esant skirtingai CO₂ koncentracijai ore (vidurkis ± SE*1,96)

Fig. 3. The effect of Cd for barley amount of chlorophylls a and b at different CO₂ concentrations in the air (average ± SE*1,96)

Chlorofilo a ir b santykis miežių lapuose pateiktas 4 paveiksle. Chlorofilų a ir b santykio pokyčiai panašūs visuose tyrimo variantuose, išskyrus 1400 ppm CO₂ ore augusių kontrolinių augalų.



4 pav. Skirtingų Cd koncentracijų poveikis poveikis miežio chlorofilų a ir b santykiui esant skirtingai CO₂ koncentracijai ore (vidurkis ± SE*1,96)

Fig. 4. The effect of Cd for barley ratio of chlorophylls a and b at different CO₂ concentrations in the air (average ± SE*1,96)

Aptarimas

Vienas iš rodiklių, leidžiančių nustatyti augalų adaptacines savybes, yra fotosintetinio aparato darbas (Hou ir kt., 2007). Fotosintezės intensyvumas priklauso nuo daugelio išorinių ir vidinių veiksnių, vienas iš jų CO₂ kiekis ore, tai svarbiausias augalų mitybos komponentas, be jo nevyktų fotosintezė (Dagys, 1980).

Šiame tyrime didesnės CO₂ koncentracijos mažino neigiamą kadmio poveikį miežio fotosintezės intensyvumui (1 pav.). Esant 400 ppm CO₂ koncentracijai ore ir didėjant Cd koncentracijai fotosintezės intensyvumas, lyginant su kontroliniais augalais, mažėjo, tuo tarpu didėjant CO₂ koncentracijai ore ir esant tokiam pačiam Cd poveikiui skirtumai tarp veiktų ir neveiktų Cd yra labai nedideli. Fotosintezės intensyvumo slopinimas dažniausiai įvyksta netiesiogiai, pavyzdžiui, dėl chlorofilo kiekio sumažėjimo (Gratao et al., 2008). Patekęs į augalus

kadmio keičia transpiracijos procesus ir vandens pasiskirstymą (Burzynski, Klobus, 2004; Mishra et al., 2006). Miežio transpiracijos intensyvumas šiame tyrime, esant mažiausiai (400 ppm) CO₂ koncentracijai ore ir didėjant Cd kiekiui substrate – mažėjo. Tuo tarpu didėjant CO₂ koncentracijai ore esant Cd poveikiui transpiracijos intensyvumas didėjo (2 pav.). Kitų mokslininkų yra nustatyta, kad vandens naudojimo efektyvumas didėjo padidėjus CO₂ koncentracijai, tai reiškia, kad sumažėjo Cd sugėrimas ir pernaša į augalus. Dėl šių galimų priežasčių, mažesnė Cd koncentracija augaluose padidėjus CO₂ kiekiui gali sumažinti Cd toksiškumą augalams ir sumažinti Cd pavojų pernešant maisto grandine (Jia et al., 2011).

Kadmio jonai mažina chlorofilų formavimąsi trukdydami jų sintezei, taip pat jie veikia kaip CO₂ fiksacijos slopintojai Kalvino cikle (Molas, 2002). Kadmio gali daryti didelę žalą chloroplastų apvalkalui ir tilakoidams dėl to, kad padidėjus Cd jonų koncentracijai ląstelėje, kartu padidėja ir laisvųjų radikalų kiekis (Hou ir kt., 2007).

Padidėjęs CO₂ kiekis ore turi įtakos augalų augimui, tačiau informacijos apie padidėjusio CO₂ kiekio ir užterštumo metalais sąveikos tyrimų labai nedaug (Jia et al., 2011). Šio bei kitų autorių (Jia et al., 2010) atliktų tyrimų metu nustatyta, kad padidėjusi CO₂ koncentracija ore didino augalų tolerancija Cd poveikiui, palyginus su esama CO₂ koncentracija.

Išvados

1. Didėjant CO₂ koncentracijai ore fotosintezės intensyvumas didėjo, o tuo pačiu Cd neigiamas poveikis mažėjo, kuomet esant 700 ppm CO₂ koncentracijai 300 ir 500 mg/kg Cd veiktų augalų fotosintezės intensyvumas buvo 2,8 % ($p < 0,05$) ir 2,9 % ($p < 0,05$) didesnis, lyginant su kontroliniais augalais.

2. Esant 700 ir 1400 ppm CO₂ koncentracijai ore bei Cd poveikiui nustatytas reikšmingas ($p < 0,05$) transpiracijos intensyvumo padidėjimas, lyginant su kontroliniais augalais. Tuo tarpu, esant 400 ppm CO₂ koncentracijai ore ir Cd poveikiui substrate transpiracijos intensyvumas statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) mažėjo.

3. Cd statistiškai reikšmingai mažino pigmentų kiekius miežių lapuose, tačiau didėjanti CO₂ koncentracija ore nemažino Cd sukeliama neigiamo poveikio chlorofilų kiekiui. Nors esant 700 ppm CO₂ koncentracijai ore ir 300 bei 500 mg/kg Cd poveikiui nustatytas nežymus 12,3 % ir 3,7 % ($p > 0,05$) neigiamo poveikio sumažėjimas atitinkamai, lyginant su sumažėjimais, kai ore buvo 400 ppm CO₂ koncentracija.

Literatūra

- BARYLA, A., CARRIER, P., FRANCK, F., COULOMB, C., SAHUT, C., HAVAUX, M. Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium-polluted soil: causes and consequences for photosynthesis and growth. *Planta*. 2001, Vol. 212, p. 696-709.
- BENAVIDES, M. P., GALLEGOS, S. M., TOMARO, M. L. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian journal of plant physiology*, 2005, 17. p. 21-34.

3. BURZYNSKI, M., KLOBUS, G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd, and Pb stress. *Photosynthetica*, 2004, Vol. 42, Iss. 4, p. 505–510.
4. DAGYS, J. Augalų ekologija. Vilnius: Mokslas. 1980, 239 p.
5. DONG, J., Wu, F., ZHANG, G. Effect of cadmium on growth and photosynthesis of tomato seedlings. *Journal of Zhejiang University Science*, 6(10), 2005, p. 974–980.
6. FUSCONI, A., REPETTO, O., BONA, E., MASSA, N., GALLO, C., DUMAS-GAUDOT, E., BERTA, G. Effects of cadmium on meristem activity and nucleus ploidy in roots of *Pisum sativum* L. cv. Frisson seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 2006, Vol. 58, p. 253–260.
7. GONCALVES, J. F., ANTES, F. G., MALDANER, J., PEREIRA, L. B., TABALDIL, A., RAUBER, R., ROSSATO, L. V., BISOGNIN, D. A., DRESSLER, V. L., FLOBES, E., NICOLSOF, T. Cadmium and mineral nutrient accumulation in potato plantlets grown under cadmium stress in two different experimental culture conditions. *Plant Physiology and Biochemistry* 47, 2009, p. 814 – 821.
8. GRATAO, P.L., MONTEIRO, C.C., ANTUNES, A.M., PERES, L.E.P., AZEVEDO, R.A. Acquired tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Micro-Tom) plants to cadmium induced stress. *Ann. Appl. Biol.* 2008, Vol. 153, p. 321–333.
9. 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.
10. JIA, Y., TANG, S., WANG, R., JU, X., DING, Y., TU, S., SMITH, D. L. Effects of elevated CO₂ on growth, photosynthesis, elemental composition, antioxidant level, and phytochelatin concentration in *Lolium mutiflorum* and *Lolium perenne* under Cd stress. *Journal of Hazardous Material*, 2010, p. 384–394.
11. JIA, Y., JU, X., LIAO, S., SONG, Z., LI, Z. Phytochelatin synthesis in response to elevated CO₂ under cadmium stress in *Lolium perenne* L. *Journal of Plant Physiology*, 2011, p. 1723–1728.
12. LAGRIFFOUL, A., MOSQOUT, B., MENCH, M., VANGROSVEL, J. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.). *Plant and soil* 200, 1998, p. 241–250.
13. MOLAS, J. Changes of chloroplast ultrastructure and total chlorophyll concentration in cabbage leaves caused by excess of organic Ni(II) complex. *Environmental and Experimental Botany*, 47: 2002, p. 115–126.
14. MISHRA, S., SRIVASTAVA, S., TRIPATHI, R.D., GOVINDARAJAN, R., KURIAKOSE, S.V., PRASAD, M.N.V. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. *Plant Physiol. Biochem.* 2006. Vol. 44, p. 25–37.
15. OUZONIDOU, G., MOUSTAKAS, M., ELEFTHERIOU, E. P. Physiological and Ultra-structural Effects of Cadmium on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Leaves. *Archives of environmental contamination and toxicology*. vol. 32, 1997, p. 154–160.
16. POORTER, H., VAN BERKEL, Y., BAXTER, B., BEL, M., DEN, HERTOOG, J., DIJKSTRA, P., GIFFORD, R. M., GRIFFIN, K. L., ROUMET, C., WONG, S. C.. The effect of elevated CO₂ on the chemical composition and construction costs of leaves of 27 C3 species. *Plant, Cell and Environment*, 20: 1997, p. 472–482.

Viktorija Butkevičiūtė, Irena Januskaitienė, Austra Dikšaitytė

The effect of cadmium on spring barley (*Hordeum vulgare* L.) photosynthetic apparatus at different CO₂ concentrations in the air

Summary

Increasing phosphoric fertilizer usage in agriculture is main sources of cadmium pollution. Cadmium is one of the most toxic environment pollutants, so it is important to investigate the effect of increasing CO₂ in the air on the effects of cadmium. Spring barley (*Hordeum vulgare* L.) was selected for this study. Plants were grown in automatically controlling conditions. When third true leaf unfolded, growth substrate was watered with different CdSO₄ concentration solutions. There were selected 300 mg/kg and 500 mg/kg Cd substrate concentrations and three (400, 700 and 1400 ppm) CO₂ concentrations in the air. Photosynthetic and transpiration rates were measured with portable photosynthesis system LI-6400 and photosynthetic pigments were analyzed in acetone extract using a spectrophotometer on the last (10th) day of the experiment. It was found, that increasing concentration of CO₂ increased photosynthetic rate and also decreased the negative effect of Cd. When at 700 ppm CO₂ concentration in the air photosynthetic rate of Cd effected plants was 2.8 % (p<0.05) and 2.9 % (p<0.05) higher compare to control plants under 300 and 500 mg/kg Cd effect respectively. Increasing CO₂ concentration decreased transpiration rate differences, at 400 ppm CO₂ and 500 mg/kg Cd effect transpiration rate was the lowest and it decreased by 34.6 % (p<0,05), and at 700 ppm CO₂ and 300 mg/kg Cd effect it increased by 47.1 % (p<0,05), compare to control plants. Cd statistically significant reduced the content of pigments in barley leaves, but the increasing concentration of CO₂ in the air do not decreased the negative effect of Cd on content of chlorophylls. Although at 700 ppm CO₂ concentration in the air there were detected 12.3% and 3.7% (p <0.05) decreases of the negative 300 and 500 mg/kg Cd effect respectively, compared with decreases when the concentration of CO₂ in the air was 400 ppm.

Cadmium, CO₂, photosynthetic rate, transpiration rate, chlorophyll

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

Viktorija BUTKEVIČIŪTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto Aplinkotyros katedros studentė. Adresas: Vileikos g. 8-223, LT-44404 Kaunas. Tel./Fax. (8 37) 327 904, el. paštas: butkeviuteviktorija@gmail.com

Viktorija BUTKEVIČIŪTĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural sciences, Department of Environmental sciences, student. Address: Vileikos str. 8-223, LT-44404 Kaunas. Tel./Fax. (8 37) 327 904, e-mail: butkeviuteviktorija@gmail.com

Irena JANUŠKAITIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto Aplinkotyros katedros docentė, biomedicinos mokslų daktarė. Adresas: Vileikos g. 8-223, LT-44404 Kaunas. Tel./Fax. (8 37) 327 904, el. paštas: I.Januskaitiene@gmf.vdu.lt

Irena JANUŠKAITIENĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural sciences, Department of Environmental sciences, PhD, assoc. prof. Address: Vileikos str. 8-223, LT-44404 Kaunas. Tel./Fax. (8 37) 327 904, e-mail: I.Januskaitiene@gmf.vdu.lt

Austra DIKŠAITYTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto Aplinkotyros katedros doktorantė. Adresas: Vileikos g. 8-223, LT-44404 Kaunas. Tel./Fax. (8 37) 327 904, el. paštas: A.Dikšaityte@gmf.vdu.lt

Austra DIKŠAITYTĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural sciences, Department of Environmental sciences, PhD student. Address: Vileikos str. 8-223, LT-44404 Kaunas. Tel./Fax. (8 37) 327 904, e-mail: A.Dikšaityte@gmf.vdu.lt