

## AUKŠTESNĖS TEMPERATŪROS, RŪGŠTAUS SUBSTRATO BEI KADMIO IR VARIO POVEIKIS MĖLYNŽIEDĖMS LIUCERNOMS

Jonas ŠLEPETYS<sup>1</sup>, Jūratė Bronė ŠIKŠNIANIENĖ<sup>2</sup>, Žydrė KADŽIULIENĖ<sup>1</sup>,  
Aušra BRAZAITYTĖ<sup>2</sup>, Povilas DUCHOVSKIS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lietuvos žemdirbystės institutas

Akademija, Kėdainių rajonas

El. p. jonas.slepetys@lzi.lt

<sup>2</sup> Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės institutas

Babtai, Kauno rajonas

### Santrauka

Eksperimentai daryti Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto fitotrono komplekse. Eksperimentų tikslas – ištirti mėlynžiedžių liucernų (*Medicago sativa* L.) reakciją į rūgštaus substrato bei sunkiųjų metalų (kadmio ir vario) poveikį, esant normaliai ir aukštesnei temperatūrai. Taip pat buvo įvertintas liucernų prisitaikymas prie šių aplinkos pokyčių. Apie augalų adaptaciją prie nepalankių aplinkos veiksnių spręsta pagal fotosintetinių pigmentų sistemos, augalų aukščio ir antžeminės fitomasės kitimus. Nustatyti azoto ir sieros pokyčiai liucernų stiebuose ir lapuose. Aukštesnėje temperatūroje (27–20 °C) augintos liucernos sukauptė mažiau antžeminės fitomasės ir buvo jautresnės teršalams bei sunkiau adaptavosi negu augintos normalioje temperatūroje (21–17 °C). Tačiau aukštesnėje temperatūroje liucernos sparčiau vystėsi nei normalioje temperatūroje. Normalioje temperatūroje kadmiu paveiktos liucernos ankstyvesniu augimo tarpsniu (BBCH 34) sukauptė patikimai mažiau fitomasės. Parūgštėjus substratui, liucernų stiebuose ir lapuose daugiau susikaupė sieros, sumažėjo azoto ir sieros santykis. Dėl vario įtakos pasireiškė antžeminės liucernų fitomasės didėjimo tendencija, švelnėjo neigiama kadmio įtaka liucernoms. Normalioje temperatūroje varis veikė kaip trąša. Aukštesnėje temperatūroje tiek dėl vario, tiek ir dėl kadmio įtakos mažėjo liucernų fitomasė ar pasireiškė mažėjimo tendencija. Po pirminio rūgščių, kadmio bei vario druskų poveikio mėlynžiedžių liucernų fotosintezės pigmentų sistema normalioje temperatūroje adaptavosi esant papildomam vario ir kadmio druskų poveikiui. Aukštesnėje temperatūroje teršiančių medžiagų poveikis liucernų pigmentinei sistemai buvo stipresnis.

Reikšminiai žodžiai: aukštesnė temperatūra, chlorofilai, kadmio, karotinoidai, mėlynžiedės liucernos, rūgštus substratas, varis.

### Įvadas

Klimato pokyčius (temperatūros didėjimas, kritulių sumažėjimas) galima susieti su aplinkos tarša /Soussana, Luscher, 2006/. Antropogeninė aplinkos tarša tiesiogiai ar netiesiogiai veikia ekosistemas, kuriose vyksta neišvengiami augalijos, mikroorganizmų bei dirvožemio kokybiniai ir kiekybiniai pokyčiai. Augalų gebėjimas prisitaikyti prie besikeičiančių klimato ir aplinkos sąlygų pastaruoju metu tampa vienu iš aktualiausių mokslinių klausimų ir turi neabejotiną praktinę reikšmę. Aplinkos tarša sunkiaisiais

metalais ar rūgščiu lietumi tapo svarbiu veiksniumi, darančiu įtaką augalų augimui, vystymuisi bei produktyvumui /Hoffmann, Persons, 1997/. Vienokia ar kitokia tarša augalams sukelia stresą. Dėl to atsiranda pokyčių fiziologiniuose procesuose, o pasekmės labai priklauso nuo augalų rūšies, veislės, poveikio trukmės ar stiprumo /Larcher, 1995; Das ir kt., 1997; Vassilev, 2002; Alexieva ir kt., 2003/. Daugelis sunkiųjų metalų yra būtini augalams, tačiau jų perteklius stabdo augimą ir vystymąsi, slopina fotosintezę, fotosintezės pigmentų sintezę, medžiagų apykaitą bei kitus procesus /Das ir kt., 1997; Peralta ir kt., 2000; Reichman, 2002/. Laukų ir miškų dirvožemių rūgštėjimas yra nepageidautinas reiškinys, nes rūgščiaame dirvožemyje mažėja žemės ūkio augalų derlius. Augalų, ypač jaunų, sukaupiamą Cd kiekį labai veikia dirvožemio pH, dirvožemio organinės anglies ir dirvožemio Cd kiekis /Chizzola, Lukas, 2006/. Rūgštūs lietūs skatina dirvožemio rūgštėjimą, o tai įvairius augalus veikia nevienodai /Larcher, 1995; Tong GuanHe, 2005/. Vieni augalai auga geriau, kiti į tai nereaguoja, o tretieji auga blogiau /Neufeld ir kt., 1985; Ashenden, Bell, 1987; Tong GuanHe, 2005/.

Aplinkos stresinių (ribojančių) veiksnių įtaka augalų augimui gali pasireikšti tiesiogiai per fiziologinius augimo procesus arba netiesiogiai per vykstančią adaptaciją. Didžiausią neigiamą įtaką augalai patiria, kai aplinkos veiksniai pasikeičia staiga, sukeldami stiprų stresą /Walter, Schurr, 2005/. Dažnai augalus vienu metu veikia keletas stresorių. Pavyzdžiui, dirvožemis užteršiamas keletu sunkiųjų metalų, tačiau teigiamas ar neigiamas poveikis augalams gali labai priklausyti nuo tų metalų suderinamumo, reakcijos dirvožemio tirpale ir augalo savybių. Konkurencija tarp atskirų metalų augalo šaknų absorbcijos metu gali lemti mažesnę kenksmingumą augalui, nors ir yra šaknų zonoje dideli metalų kiekiai /Keltjens, Beusichem, 1998/.

Nustatyta, kad nuo išorinių stresorių susiaurėja augalų tolerancijos intervalai kitiems išoriniams veiksniams, t.y. augalai, išekvoję savo vidinius išteklius prisitaikyti prie vieno stresoriaus, turi mažesnes galimybes prisitaikyti prie kitų stresorių poveikio /Sutinen, 1994/. Anksčiau atlikti tyrimai parodė, kad rūgščių lietu ir sunkiųjų metalų poveikis gerokai sumažina augalų atsparumą žemai temperatūrai /Duchovskis ir kt., 2002, 2003/. Sunkiųjų metalų toksiškumo požymiai augaluose labiau išryškėja aukštoje temperatūroje, nuo rūgštaus lietaus parūgštėjusiame dirvožemyje /Öncel ir kt., 2000; Liao ir kt., 2003/. Aukštesnėje temperatūroje augę augalai sukaupia daugiau azoto, sieros. Todėl dažnai pasikeičia azoto ir sieros santykis augalų vegetatyvinėje ir reproduktyvinėje dalyse, pasikeičia produkcijos kokybė /Murphy, O'Donnell, 1989; Blake-Kalff ir kt., 2001/. Daugiametėse žolėse azoto ir sieros santykis, kintant aplinkos temperatūrai, yra mažai tirtas /Murphy ir kt., 2002/.

Tais atvejais, kai augalų adaptacijos prie skirtingų nepalankių išorinių veiksnių mechanizmai yra panašūs, augalai, prisitaikę prie vieno nepalankaus veiksnio, tampa atsparesni ir kitų stresorių poveikiui. Augalai, prisitaikę augti prie padidintos vario ir nikelio koncentracijos, tapo atsparesni ir kitiems sunkiesiems metalams (švinui, cinkui), o labiau druskingas dirvožemis gali padidinti augalų atsparumą ekstremalioms temperatūroms /Larcher, 1995; Alexieva ir kt., 2003/.

Augalų adaptacijos prie kompleksinio įvairių stresorių poveikio tyrimams pastaruoju metu skiriamas vis didesnis dėmesys /Kuznetsov, 2001/, tačiau dar nedaug yra darbų, tiriančių kelių veiksnių poveikį augalų atsparumui ir jų adaptacinėms galimybėms. Daugiausia darbų atlikta nagrinėjant pavienių veiksnių poveikį augalams.

Vienas rodiklių, leidžiančių nustatyti augalų adaptacines savybes, galėtų būti fotosintetinio aparato darbas ir jį lemiantis pigmentų kiekis augalų lapuose. Nustatyta, kad kadmio labai slopina chlorofilų kaupimąsi kukurūzų /Lagriffoul ir kt., 1998/, pupų /Neelu ir kt., 2000/, miežių /Talanova, Titov, 2001/ lapuose, o karotinoidai mažiau jautrūs jo poveikiui /Neelu ir kt., 2000/. Didelis vario kiekis slopina fotosintezės procesus ir mažina chlorofilo kiekį, susijusį su vidinės chloroplastų struktūros suirimu /Maksymiec, 1997/. Rūgštaus lietaus poveikį fotosintezės aparato darbui lemia augalų rūšis. Vienu lapuose pigmentų kiekis sumažėja, o, pavyzdžiui, įvairių rūšių pušų spygliuose nekinta ar net padidėja /Anderson ir kt., 1997; Shan 1998; Ketskhoveli ir kt., 1999; Fan Hou Bac, Wang Yi Hong, 2000/.

Darbo tikslas – ištirti mėlynžiedžių liucernų reakciją į rūgštaus substrato ir kadmio bei vario poveikį, esant normaliai ir aukštesnei temperatūrai bei įvertinti augalų prisitaikymą prie šių aplinkos pokyčių.

### **Tyrimų salygos ir metodai**

Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto fitotrono komplekse tirtas substrato rūgštumo ir sunkiųjų metalų poveikis mėlynžiedėms liucernoms (*Medicago sativa* L.), esant skirtingai aplinkos temperatūrai. Šiems tyrimams pasirinktas vienas toksiškiausių sunkiųjų metalų – kadmio ir mikroelementų grupei priklausantis varis. Augalai auginti durpių substrate 5 l vegetaciniuose induose. Tyrimai daryti 3 pakartojimais. Į vegetacinius indus pasėta po 30 liucernų sėklų. Sudygę daigeliai išretinti, palikta po 10 augalų inde. Liucernos 45 dienas augintos šiltnamyje, +20 °C temperatūroje. Kai liucernos turėjo 4–5 lapelius, tuomet jos perkeltos į fitokameras žydėjimui sužadinti ir laikytos 35 dienas, +4 °C temperatūroje. Jos buvo 8 val. per parą apšviestos. Po žydėjimo sužadavimo liucernos perkeltos į fitotrono kameras (vienoje kameroje temperatūra dieną buvo +21 °C, naktį – +17 °C (normali įprasta temperatūra liepos mėnesį mūsų klimato sąlygomis), kitoje – +27 °C dieną ir +20 °C naktį (aukštesnė, galima klimato atšilimo atveju), fotoperiodas – 16 val., šviesos šaltinis – SON-T Agro (PHILIPS) lempos.

Tyrimai daryti dviem etapais. Pirmą kartą (adaptacinis poveikis) rūgšties koncentracija buvo 6 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 litre vandens, kadmio druskos tirpalo koncentracija – 0,16 mM 3CdSO<sub>4</sub>·8H<sub>2</sub>O (0,123g l<sup>-1</sup>), o vario druskos – 2 mM CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (0,499g l<sup>-1</sup>). Šiais tirpalais po liucernų žydėjimo sužadavimo, prieš keliant augalus į fitokameras, palaistytas šiek tiek rūgštus (pH 6–6,5) durpių substratas, kuriame augo liucernos. Į visus indus įpilta po 0,5 l tirpalo. Rūgštinti palaistyto substrato pH – 4,0. Antrą kartą (pagrindinis poveikis) augalai paveikti praėjus 10 dienų adaptaciniam laikotarpiui. Pagrindinio poveikio rūgšties koncentracija buvo 6 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> litre vandens, kadmio koncentracija – 0,16 mM 3CdSO<sub>4</sub>·8H<sub>2</sub>O (0,123g l<sup>-1</sup>), o vario koncentracija – 4 mM CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (0,998g l<sup>-1</sup>). Į kiekvieną vegetacinį indą įpilta po 0,5 l tirpalo. Kadmio ir vario druskos substrato rūgštumo nepakeitė, o laistyto rūgšties tirpalu substrato rūgštumas padidėjo (pH 3,3–3,8). Kontroliniai augalai laistyti vandentiekio vandeniu.

Pasibaigus adaptaciniam periodui, kuris tęsėsi 10 dienų, išmatuotas augalų aukštis, atlikta fotosintezės pigmentų analizė. Po pagrindinio poveikio, kuris tęsėsi 14 dienų, vėl išmatuotas augalų aukštis ir antžeminė fitomasė, atlikta fotosintezės pigmentų analizė. Nustatyta azoto ir sieros koncentracija liucernų antžeminėje fitomasėje.

Pigmentų kiekis nustatytas žaliuose liucernos lapuose 100 % acetono ištraukoje spektrofometru „Genesys 6“ (ThermoSpectronic, USA) pagal Vetšteiną /Wettstein, 1957/. Azoto ir sieros koncentracija analizuota sausai sudeginus, „Vario EL III“ prietaisu.

Statistinei fotosintezės pigmentų analizei apskaičiuotas vidurkis ir standartinė paklaida naudojant MS EXCEL. Dobilų fitomasės, aukščio duomenys apdoroti dispersinės analizės metodu, naudojant programą ANOVA /Tarakanovas, Raudonius, 2003/ .

### **Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas**

Liucernos prieš pirmąjį (adaptacinį etapą) buvo 23–25 cm aukščio, augino stiebus, šakojosi (BBCH 34). Pirmą kartą paveikus tiriamomis medžiagomis ir praėjus adaptaciniam etapui, kuris tęsėsi 10 dienų, liucernų aukštis buvo nevienodas, tačiau esminių skirtumų, palyginus su tik vandeniu laistytomis augalais, nebuvo. Tik vandeniu laistytos liucernos, augintos normalioje temperatūroje, vidutiniškai išaugo iki 32,3–34,8 cm (1 lentelė). Paveiktų 2 mM vario sulfato tirpalu augalų aukštis buvo panašus kaip ir laistytų vandeniu – 32,0–34,6 cm. Paveiktų kadmiu ar rūgštimi bei augintų optimalioje ar aukštesnėje temperatūroje augalų aukštis per adaptacinį periodą mažai keitėsi. Po pagrindinio etapo liucernos, augusios normalioje temperatūroje, buvo aukštesnės nei augusios aukštesnėje temperatūroje. Tą teiginį patvirtina ir liucernų aukščio prieaugis po adaptacinio periodu. Aukščio prieaugis didesnis, kai liucernos augo normalioje temperatūroje. Aukštesnė temperatūra (27 °C dieną ir 20 °C naktį) liucernoms jau buvo per aukšta ir slopino augimą, tačiau pagreitino jų vystymąsi. Neigiamą aukštesnių temperatūrų poveikį ankštinėms žolėms yra nustatę ir kiti autoriai /Frame ir kt., 1998/. Po pagrindinio etapo, baigiant tyrimus, liucernos, augusios aukštesnėje temperatūroje, masiškai krovė žiedpumpurius, pavieniai žiedynai jau žydėjo (BBCH 60), o štai augusių normalioje temperatūroje liucernų žiedpumpurių dar buvo labai mažai (BBCH 51). Aukščiausios liucernos išaugo ten, kur bent kartą adaptaciniame ar pagrindiniame etape buvo paveiktos variu ir buvo augintos normalioje temperatūroje.

Pirmame etape įterptos vario, o antrame etape vario ar kadmio druskos nestabdė liucernų augimo normalioje ir aukštesnėje temperatūroje. Rūgštis, įterpta per vieną ar per abu etapus, slopino liucernų augimą tiek normalioje, tiek ir aukštesnėje temperatūroje. Patikimas augalų aukščio ir fitomasės sumažėjimas gautas, kai sieros rūgštimi laistytos liucernos pirmajame etape, o antrajame neveiktos teršiančiomis medžiagomis. Antrajame etape paveikus liucernas variu buvo šiek tiek sušvelninamas pirmajame etape panaudotos sieros rūgšties neigiamas poveikis, tačiau fitomasės buvo gauta iš esmės mažiau, palyginti su vandeniu laistytomis liucernomis. Kai pirmajame etape liucernos buvo paveiktos variu ar kadmiu, o antrajame – rūgštimi, tai liucernų fitomasės gauta panašiai tiek pat, kaip ir laisčius liucerną tik vandeniu. Normalioje temperatūroje didžiausias aukščio prieaugis gautas ten, kur naudotas vario sulfatas adaptaciniame ir pagrindiniame etape (10,1 cm) arba kur pirmame etape veikta vario sulfatu, o antrame etape – rūgštimi (11,3 cm). Liucernų aukščio prieaugis iš esmės padidėjo tik antruoju atveju, kai vario skirta vieną kartą (antrame etape). Tai patvirtina ir liucernų antžeminės fitomasės sausųjų medžiagų duomenys. Tačiau gautas antžeminės fitomasės derliaus priedas (0,5–0,3 g/inde) nebuvo esminis. Dviejų skirtingų sunkiųjų metalų druskos, įterptos per du laistymus, mažai lėmė liucernų augimą. Dvi vario ir kadmio druskos, įterptos per adaptacinį ar pagrindinį etapą, liucernų fitomasės dydžio iš esmės nepakeitė,

palyginti su fitomase tik vandeniu laistytų liucernų. Kadmis, įterptas per adaptacinį periodą (BBCH 34) ar per du kartus, veikė toksiškai – iš esmės sumažino liucernų fitomasę, tačiau nuo kadmio, skirto vėlesniu liucernų augimo tarpsniu (šakojimasis, BBCH 38), liucernų fitomasė nesumažėjo. Taigi varis normalioje temperatūroje durpiniame substrate veikė kaip trąša (tendencija didinti fitomasę) ir švelnino kadmio neigiamą poveikį liucernų fitomasės kaupimuisi.

**1 lentelė.** Liucernų aukštis ir sausa antžeminė fitomasė, paveikus teršiančiomis medžiagomis  
**Table 1.** *Lucerne height, phytomass, as affected by exposure to contaminants*

Variantas <i>Treatment</i>	Normali temperatūra / <i>Normal temperature</i>				Aukšta temperatūra / <i>High temperature</i>			
	liucernų aukštis cm <i>lucerne height cm</i>			fitomasė <i>g/inde phyto- mass g/pot</i>	liucernų aukštis cm <i>lucerne height cm</i>			fitomasė <i>g/inde phyto- mass g/pot</i>
	po adaptacijos <i>after adaptation</i>	užbaigus tyrimą <i>upon completion of the test</i>	prie- augis <i>increase</i>		po adaptacijos <i>after adaptation</i>	užbaigus tyrimą <i>upon completion of the test</i>	prie- augis <i>increase</i>	
K+K	33,8	42,5	8,5	7,8	34,4	39,5	5,1	6,1
K+R	33,3	38,3	5,0	5,9	33,9	38,0	4,1	5,2
K+Cu	34,8	45,0	10,2	8,0	32,3	36,3	4,0	4,1
K+Cd	32,3	38,6	6,3	7,8	34,3	38,1	3,8	4,5
R+K	35,5	37,0	4,0	4,3	34,6	36,4	1,8	2,9
R+R	33,0	35,3	2,3	5,6	35,0	38,2	3,2	4,0
R+Cu	34,7	39,6	4,9	5,4	33,3	38,1	4,8	5,1
R+Cd	35,2	39,0	3,8	4,5	34,1	38,4	4,3	5,0
Cu+K	34,6	41,0	6,4	7,2	35,2	39,3	4,1	5,2
Cu+R	32,0	43,3	11,3	8,3	34,5	42,8	8,3	7,1
Cu+Cu	34,2	44,3	10,1	8,1	35,3	41,3	6,0	5,5
Cu+Cd	32,6	43,0	10,4	7,1	33,3	40,4	7,1	6,0
Cd+K	31,0	34,6	3,6	4,2	35,1	37,9	2,8	4,7
Cd+R	33,8	40,4	6,6	7,7	34,3	40,8	6,5	5,9
Cd+Cu	31,6	40,3	8,7	7,9	33,6	36,2	2,6	4,7
Cd+Cd	31,8	36,6	4,8	6,0	34,3	40,1	5,8	5,5
R <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	4,3	3,8	2,5	1,4	5,1	6,2	2,1	1,2

Pastaba / *Note*. Pirmoji raidė – poveikio pobūdis adaptaciniame etape / *The first letter-mode of exposure during the adaptation stage*. Antroji raidė – poveikio pobūdis pagrindiniame etape / *The second letter - during the main stage*

K – augalai laistyti vandeniu / *Plants irrigated by water*

R – paveikta 6 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> iki litro praskiestu vandens tirpalu / *Exposed to 6 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> up to one litre diluted water solution*

Cd – paveikta 0,16 mM 3 CdSO<sub>4</sub> 8 H<sub>2</sub>O tirpalu / *Exposed to 0.16 mM 3 CdSO<sub>4</sub> 8 H<sub>2</sub>O solution*

Cu – adaptaciniame etape laistyta 2 mM CuSO<sub>4</sub> 5 H<sub>2</sub>O tirpalu – pagrindiniame 4 mM CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O tirpalu / *During adaptation stage irrigated with 2 mM CuSO<sub>4</sub> 5 H<sub>2</sub>O solution during the main stage – irrigated with 4 mM CuSO<sub>4</sub> 5 H<sub>2</sub>O solution*

Auginant liucernas aukštesnėje temperatūroje ir laistant tik vandeniu, antžeminės fitomasės susikaupė mažiau (6,1 g/inde), nei auginant liucernas optimalioje tempera-

tūroje (7,8 g/inde). Auginant liucernas aukštesnėje temperatūroje, sustiprėjo vario ir ypač kadmio neigiamas poveikis liucernų augimui. Aukštesnėje temperatūroje net ir varis, įterptas adaptaciniame ir pagrindiniame etape, mažino liucernų fitomasę, o įterptas pagrindiniame etape, sumažino fitomasę iš esmės. Daugiausia fitomasės 7,1 g susikaupė, kai adaptaciniame etape buvo paveikta vario sulfatu, o pagrindiniame etape laistyta rūgšties tirpalu, tačiau, palyginus su liucernomis, laistytomis vandeniu, esminio fitomasės padidėjimo negauta. Kitais atvejais varis ir kadmio atskirai ir abiejų metalų deriniai fitomasę mažino iš esmės ar buvo mažėjimo tendencija. Aukštesnėje temperatūroje liucernas labiau veikė ir substrato parūgštinimas iki pH 4,0 ar iki 3,3–3,8 (per du kartus). Rūgštimi palaisčius vieną ar du kartus, pagelto beveik visi liucernų lapeliai, fitomasė sumažėjo iš esmės. Taigi, galima teigti, jog aukštesnėje temperatūroje augusios liucernos užaugino mažesnę antžeminę fitomasę ir buvo jautresnės sunkiųjų metalų bei substrato parūgštinimo neigiamam poveikiui, palyginti su liucernomis, augusiomis optimalioje temperatūroje.

Auginant liucernas aukštesnėje temperatūroje, jų stiebuose ir lapuose susikaupė panašūs azoto ir sieros kiekiai, kaip ir auginant normalioje temperatūroje (2 lentelė). Didžiausi kiekiai sieros susikaupė, kai adaptaciniame ir pagrindiniame etape liucernos buvo veikiamos sieros rūgštimi. Kai liucernos buvo paveiktos vieną kartą rūgštimi, sieros kiekis padidėjo vegetatyvinės dalies sausosiose medžiagose iki 0,44–0,58 % .

**2 lentelė.** Bendrojo azoto ir sieros kiekiai liucernų antžeminėje fitomasėje, paveiktoje teršiančiomis medžiagomis (procentais sausosiose medžiagose)

**Table 2.** The contents of total nitrogen and sulphur in liucerne as affected by exposure to contaminants (percent in dry matter)

Variantas <i>Treatment</i>	Normali temperatūra / <i>Normal temperature</i>			Aukšta temperatūra / <i>High temperature</i>		
	Azotas (N) <i>Nitrogen</i>	Siera (S) <i>Sulphur</i>	N:S	Azotas (N) <i>Nitrogen</i>	Siera (S) <i>Sulphur</i>	N:S
K+K	3,03 ± 0,15	0,30 ± 0,02	10,1	3,32 ± 0,20	0,34 ± 0,02	9,7
K+R	3,42 ± 0,18	0,48 ± 0,03	7,1	3,30 ± 0,17	0,44 ± 0,04	7,43
K+Cu	2,87 ± 0,16	0,32 ± 0,03	9,1	3,37 ± 0,23	0,32 ± 0,03	10,6
K+Cd	3,41 ± 0,19	0,32 ± 0,03	10,7	3,24 ± 0,16	0,30 ± 0,03	10,9
R+K	3,77 ± 0,20	0,46 ± 0,04	8,2	3,53 ± 0,22	0,58 ± 0,04	6,0
R+R	3,26 ± 0,21	1,19 ± 0,09	2,7	2,96 ± 0,21	1,46 ± 0,08	2,0
R+Cu	3,18 ± 0,15	0,45 ± 0,04	7,0	3,51 ± 0,24	0,68 ± 0,05	5,1
R+Cd	3,57 ± 0,2	0,48 ± 0,05	7,5	3,08 ± 0,15	0,52 ± 0,04	5,9
Cu+K	3,84 ± 0,22	0,42 ± 0,03	9,1	3,33 ± 0,17	0,39 ± 0,04	8,6
Cu+R	2,90 ± 0,18	0,54 ± 0,05	5,3	3,08 ± 0,17	0,46 ± 0,03	6,6
Cu+Cu	3,32 ± 0,16	0,34 ± 0,02	9,7	3,23 ± 0,16	0,41 ± 0,04	7,9
Cu+Cd	3,28 ± 0,20	0,34 ± 0,02	9,6	3,01 ± 0,15	0,31 ± 0,02	9,5
Cd+K	3,36 ± 0,23	0,37 ± 0,03	9,2	3,10 ± 0,20	0,39 ± 0,03	7,9
Cd+R	3,13 ± 0,15	0,49 ± 0,04	6,4	3,43 ± 0,23	0,46 ± 0,04	7,4
Cd+Cu	3,06 ± 0,16	0,32 ± 0,03	9,6	3,32 ± 0,21	0,40 ± 0,03	8,3
Cd+Cd	3,39 ± 0,22	0,32 ± 0,03	10,6	3,28 ± 0,24	0,48 ± 0,04	6,8

P a s t a b a . Sutrumpinti variantų žymėjimai tokie pat, kaip ir 1 lentelėje

*Note.* Abbreviations used for treatments are the same as those used in Table 1

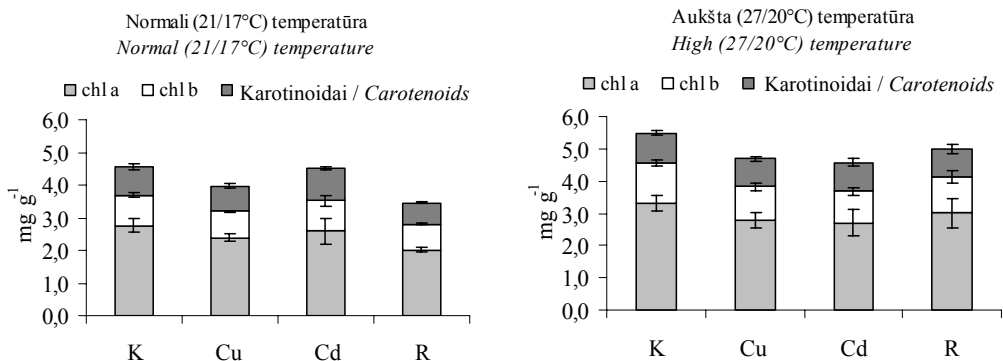
Paveikus liucernas rūgštinti du kartus, sukauptos sieros kiekiai liucernose padidėjo iki 1,19 % (normalioje temperatūroje) ar net iki 1,49 (aukštesnėje temperatūroje). Tada liucernų stiebuose ir lapuose labai sumažėjo azoto ir sieros santykis iki 2,2–2,7. Azoto ir sieros santykis liucernų vegetatyvinėje dalyje (stiebuose ir lapuose) daugeliu atvejų buvo panašūs, kai liucernos augo normalioje ar aukštesnėje temperatūroje. Azoto ir sieros santykis liucernose normalioje temperatūroje keitėsi nuo 2,7 iki 10,7, o aukštesnėje temperatūroje – nuo 2,0 iki 10,9. Palyginus augimo sąlygas pagal temperatūras, matyti, kad azoto ir sieros santykis liucernose sumažėjo daugiau nei pusantro karto aukštesnėje temperatūroje, kai augalai adaptaciniame ir pagrindiniame etape buvo paveikti kadmiu.

Liucernos, paveiktos medžiagomis, kuriose yra sulfatinės grupės ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), lengvai pasisavina sierą, todėl jos nemažai susikaupė augalų stiebuose ir lapuose. Lauko sąlygomis auginamose žolėse sieros yra pakankamai, kai azoto santykis su siera (N:S) yra mažesnis nei 15, o sieros augale yra daugiau kaip 0,2 % /Murphy, O'Donnell, 1989/. Sieros kiekis augaluose priklauso nuo augimo sezono ir augalų išsivystymo. Senesniuose augalo organuose (gelstančiuose ir vystančiuose) jos susikaupia gerokai daugiau negu jaunesniuose /Blake-Kalff ir kt., 2001/. Susikaupęs didesnis (0,3–0,4 %) sieros kiekis pašaruose apsunkina vario ir seleno pasisavinimą /Murphy ir kt., 2002/. Šeriant tokiu pašaru, gyvuliams būtini mineraliniai priedai su šiais elementais.

Po pirmojo (adaptacinio) poveikio cheminėmis medžiagomis normalioje temperatūroje augusių liucernų chlorofilų a ir b bei karotinoidų sumažėjo liucernų lapuose tų augalų, kurie buvo paveikti variu ir rūgštinti. Aukštoje temperatūroje augusiose liucernose po adaptacinio poveikio tiriamomis medžiagomis chlorofilų a ir b bei karotinoidų sumažėjo, paveikus vario ir kadmio druskomis, o paveikus rūgštinti taip pat sumažėjo, bet skirtumai buvo neesminiai (1 pav.). Mėlynžiedės liucernos, kaip ir kiti augalai, veikiami aplinkos veiksnių komplekso, atitinkamai reaguoja į tą poveikį ir prisitaiko. Jų prisitaikymas gali turėti tam tikras ribas, todėl labai svarbu žinoti augalų gebėjimą reaguoti į tuos veiksnius ir nustatyti, kuria linkme ir koku diapazonu įmanomas prisitaikymas.

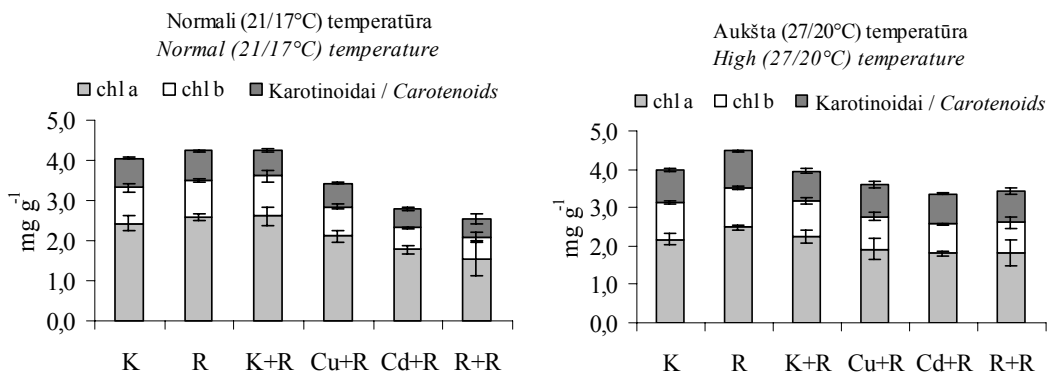
Po antrojo (pagrindinio) normalioje ir aukštoje temperatūroje augusių liucernų poveikio rūgštinti fotosintezės pigmentų sumažėjo tuose augaluose, kurie adaptaciniame etape buvo veikti teršiamomis medžiagomis. Aukštoje temperatūroje statistiškai patikimai chlorofilų a ir b sumažėjo tuose augaluose, kurie adaptaciniame etape buvo veikti kadmio jonais ir rūgštinti (2 pav.). Liucernose, kurios adaptaciniame etape buvo veiktos rūgštinti, po 14 dienų fotosintezės pigmentų kiekis buvo toks pat arba šiek tiek didesnis negu augalų, neveiktų teršiančiomis medžiagomis.

Vadovaujantis prielaida, kad tuo atveju, kai pradiniame (adaptaciniame) etape tam tikromis teršiamomis medžiagomis paveikti augalai po antrojo poveikio sintetina tiek pat ar daugiau fotosintezės pigmentų, galima teigti, kad jie adaptuojasi prie teršalų poveikio ir į papildomą poveikį nereaguoja ar mažiau reaguoja /Talanova, Titov, 2001/. Mūsų bandymuose neįvyko augalų adaptacija rūgšties poveikiui, nes paveikus rūgštinti fotosintezės pigmentų sumažėjo, palyginti su adaptaciniu etapu.



**1 paveikslas.** Teršiamųjų medžiagų ir temperatūros poveikis fotosintezės pigmentų kaupimuisi liucernų lapuose. K – augalai laistyti vandeniu, Cu – laistyti 2 mM  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  tirpalu, Cd – laistyti 0,16 mM  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  tirpalu, R – 6 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ /l vandens

**Figure 1.** The effect of contaminants and temperature on accumulation of photosynthetic pigments in lucerne leaves. K – plants irrigated with water, Cu – irrigated with 2 mM  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  solution, Cd – irrigated with 0,16 mM  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  solution, R – 6 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ /l water



**2 paveikslas.** Substrato rūgštumo ir temperatūros įtaka fotosintezės pigmentų kaupimuisi liucernų lapuose po pagrindinio poveikio

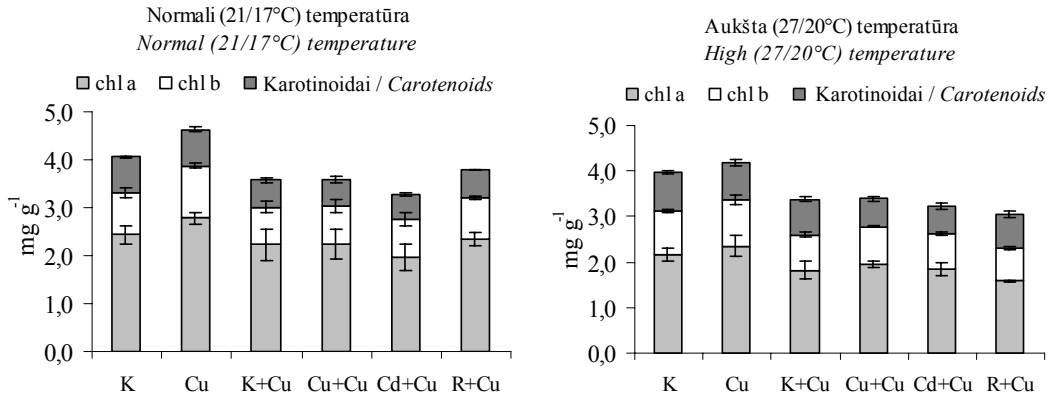
**Figure 2.** The impact of substratum acidity and temperature on the accumulation of photosynthetic pigments in lucerne leaves after the main effect

P a s t a b a. Variantų sutrumpinti žymėjimai tokie patys, kaip ir 1 lentelėje  
*No t e.* Abbreviations used for treatments are the same as those used in Table 1

Po pagrindinio optimalioje temperatūroje augusių liucernų poveikio variu karotinoidų kiekis sumažėjo, chlorofilo a sumažėjo tuose augaluose, kurie adaptaciniame etape buvo veikti kadmiu. Augalų, kurie pagrindiniame etape buvo veikti variu ir rūgštimi, chlorofilų a ir b kiekis buvo panašus, kaip ir adaptaciniame etape. Todėl galima



teigti, kad mėlynžiedžės liucernos tam tikru lygiu adaptavosi prie teršalų poveikio. Po poveikio variu aukštoje temperatūroje augusiose liucernose fotosintezės pigmentų sumažėjo. Kaip nurodo kiti autoriai, kylant temperatūrai, sunkiųjų metalų toksinis poveikis didėja /Öncel ir kt., 2000/. Liucernose, kurios adaptaciniame etape buvo veiktos variu, po 14 dienų fotosintezės pigmentų padaugėjo, palyginti su augalais, neveiktais teršiančiomis medžiagomis (3 paveikslas).



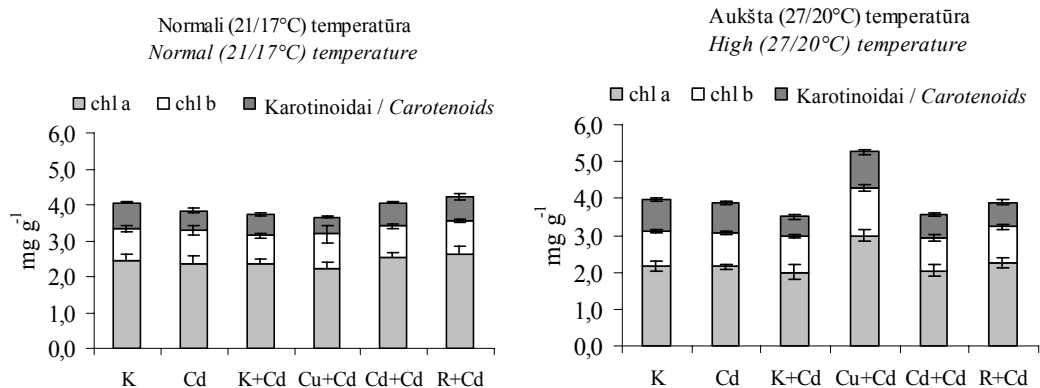
**3 paveikslas.** Vario ir temperatūros įtaka fotosintezės pigmentų kaupimuisi liucernų lapuose po pagrindinio poveikio

**Figure 3.** The impact of copper and temperature on the accumulation of photosynthetic pigments in lucerne leaves after the main effect

P a s t a b a. Variantų sutrumpinti žymėjimai tokie patys, kaip ir 1 lentelėje

N o t e. Abbreviations used for treatments are the same as those used in Table 1

Po pagrindinio normalioje temperatūroje augusių liucernų poveikio kadmiu chlorofilų a ir b kiekis išliko toks pat ar šiek tiek padidėjo, palyginti su adaptaciniu etapu. Todėl galima teigti, kad liucernos tam tikru lygiu adaptavosi prie teršalų poveikio. Ankstesnieji tyrimai parodė, kad augalų pigmentų sistema adaptaciniame periode gana dažnai reaguoja į teršiamųjų medžiagų poveikį padidėjusia chlorofilų koncentracija lapuose /Duchovskis ir kt., 2002; Dukhovskis ir kt., 2003; Brazaitytė ir kt., 2004/. Po poveikio kadmiu aukštoje temperatūroje augusiose liucernose fotosintezės pigmentų žymiai padaugėjo tuose augaluose, kurie adaptaciniame etape buvo veikti variu, o tuose augaluose, kurie adaptaciniame etape buvo veikti kadmiu ir rūgštimi – sumažėjo. Galima teigti, kad varis sužadina tinkamus pigmentų sistemos adaptacijos mechanizmus kadmio poveikiui. Liucernose, kurios adaptaciniame etape buvo veiktos kadmiu, po 14 dienų fotosintezės pigmentų sumažėjo, palyginti su augalais, neveiktais teršiančiomis medžiagomis (4 pav.). Todėl galima teigti, kad kadmio yra labai toksiškas mėlynžiedžių liucernų fotosintezės sistemai.



**4 paveikslas.** Kadmio ir temperatūros įtaka fotosintezės pigmentų kaupimuisi liucernų lapuose po pagrindinio poveikio

**Figure 4.** The impact of cadmium and temperature on the accumulation of photosynthetic pigments in lucerne leaves after the main effect

P a s t a b a . Variantų sutrumpinti žymėjimai tokie patys, kaip ir 1 lentelėje

No t e . Abbreviations used for treatments are the same as those used in Table 1

## Išvados

1. Liucernos, augusios normalioje temperatūroje (21 °C dieną ir 17 °C naktį), buvo aukštesnės nei augusios aukštesnėje temperatūroje. Aukštesnė temperatūra (27 °C dieną ir 20 °C naktį) slopino augimą, tačiau pagreitino liucernų vystymąsi. Aukštesnėje temperatūroje augintos liucernos sukaupe mažiau antžeminės fitomasės ir buvo jautresnės tirtų cheminių medžiagų poveikiui bei sunkiau adaptavosi negu augintos normalioje temperatūroje.

2. Dėl vario įtakos pasireiškė antžeminės liucernų fitomasės didėjimo tendencija, švelnėjo neigiama kadmio įtaka liucernoms. Normalioje temperatūroje varis veikė kaip trąša. Aukštesnėje temperatūroje tiek dėl vario, tiek ir dėl kadmio įtakos mažėjo liucernų fitomasė ar pasireiškė mažėjimo tendencija.

3. Aukštesnėje temperatūroje liucernų stiebuose ir lapuose susikaupe panašūs azoto ir sieros kiekiai, kaip ir auginant normalioje temperatūroje. Substrato rūgštinimui panaudojus sieros rūgštį, liucernose susikaupe iš esmės daugiau sieros, gerokai sumažėjo N:S santykis.

4. Po pirminio rūgšties, kadmio bei vario druskų tirpalų poveikio mėlynžiedžių liucernų fotosintezės pigmentų sistema optimalioje temperatūroje adaptavosi prie papildomo vario ir kadmio poveikio. Aukštesnėje temperatūroje cheminių medžiagų poveikis liucernų fotosintezės pigmentų sistemai buvo stipresnis.

5. Kadmio buvo toksiškas mėlynžiedžių liucernų fotosintezės sistemai. Varis didino chlorofilų ir karotinoidų kaupimąsi.

## Padėka

Tiriamasis darbas yra sudėtinė projekto „AGROSISTEMŲ PRODUKTYVUMAS IR STABILUMAS KINTANT KLIMATUI“ dalis, remiama Lietuvos mokslo ir studijų fondo bei Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerijos. Autoriai dėkoja už paramą.

Gauta 2007 08 10

Pasirašyta spaudai 2007 09 16

## LITERATŪRA

1. Alexieva A., Ivanov S., Sergiev I., Karanov E. Interaction between stresses // Bulgarian Journal of plant physiology. – 2003, Special issue, p. 1–17

2. Anderson Paul D., Houpis James L. J., Helms Jonh A., Momen Bahran. Seasonal variation of gas exchange and pigmentation in branches of three grafted cones of mature ponderosa pine exposed to ozone and acid rain // Environmental Pollution. – 1997, vol. 97, No. 3, p. 253–263

3. Ashenden T. W., Bell S. Yield reductions in winter barely grown on a range of soils and exposed to simulated acid rain // Plant and Soil. – 1987, vol. 98, p. 433–437

4. Blake-Kalff M. M. A., Zhao F. J., Hawkesford M. J., McGrath S. P. Using plant analysis to predict yield losses caused by sulphur deficiency // Annals of Applied Biology. – 2001, vol. 138, p. 123–127

5. Brazaitytė A., Blažytė A., Šikšnianienė J. B. ir kt. Pomidorų fotosintetinių pigmentų sistemos adaptacija prie kompleksinio antropogeninių aplinkos veiksnių poveikio // Sodininkystė ir daržininkystė / LSDI. – 2004, t. 23, Nr.1, p. 133–143

6. Chizzola R., Lukas B. Variability of the Cadmium Content in Hypericum Species Collected in Eastern Austria // Water, Air and Soil Pollution. – 2006, vol. 170, p. 331–343

7. Das P., Samantaray S., Rout G. R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review // Environmental Pollution. – 1997, vol. 98, No. 1, p. 29–39

8. Duchovskis P., Brazaitytė A., Juknys R., Žukauskaitė I., Sliesaravičius A. Kompleksinis antropogeninių veiksnių poveikis pigmentų kiekiui pomidorų lapuose // Sodininkystė ir daržininkystė / LSDI. – 2002, t. 21, Nr. 4, p. 111–118

9. Duchovskis P., Juknys R., Brazaityte A., Zukauskaite I. Plant response to integrated impact of natural and anthropogenic stress factors // Russian Journal of Plant Physiology. – 2003, vol. 50, No. 2, p. 147–154

10. Fan Hou Bac, Wang Yi Hong. Effects of simulated acid rain on germination, foliar damage, chlorophyll contents and seedling growth of five hardwood species growing in China // Forest Ecology and Management. – 2000, vol. 126, No. 3, p. 321–329

11. Frame J., Charlton J. F. L., Laidlaw A. S. Temperate Forage Legumes. – UK, Wallingford: CAB International, 1998. – 327 p.

12. Godbold D. L. Stress concepts and forest trees // Chemosphere. – 1998, vol. 36, No. 4–5, p. 859–864

13. Hoffmann A., Persons P.A. Extreme Environmental Change and Evolution. – Cambridge university press, UK, 1997. – 259 p.

14. Keltjens W.G., van Beusichem M.L. Phytochelatins as biomarkers for heavy metal stress in maize (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.): combined effects of copper and cadmium // Plant and Soil. – 1998, vol. 203, p.119–126

15. Ketskhoveri E., Shamtsian S., Rapava L. et al. The effect of acidic rains on the variation of plastid pigments, protoplasm permeability and transpiration in bean // Bull. Georg. Acad.Sci. – 1999, vol. 160, No. 1, p. 141–143

16. Kuznetsov V. V. General resistance of plants to abiotic stress factors: possible mechanisms and signals // *Plant under environmental stress*. – Moscow, 2001, p. 150–151
17. Lagriffoul A., Mocquot B., Mench M., Vangronsveld 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*. – 1998, vol. 200, No. 2, p. 241–250
18. Larcher W. P. *Physiological Plant Ecology*. – Springer-Verlag, New York, USA, 1995. – 506 p.
19. Liao B. H., Liu H. Y., Lu S.Q. et al. Combined toxic effects of cadmium and acid rain on *Vicia faba* L // *Bulletin Environment Contamination Toxicol.* – 2003, vol. 71, p. 998–1004
20. Maksymiec W. Effect of copper on cellular processes in higher plants // *Photosynthetica*. – 1997, vol. 34, No. 3, p. 321–342
21. Murphy M. D., Coulter B. S., Noonan D. G., Connolly J. The effect of sulphur fertilisation on grass growth and animal performance // *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. – 2002, vol. 41, p. 1–15
22. Murphy M. D., O'Donnell T. Sulphur deficiency in herbage in Ireland 2. Sulphur fertilisation and its effect on yield and quality of herbage // *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. – 1989, vol. 28, p. 79–90
23. Neelu M. K., Manju T., Bhatnagar A. K. Influence of cadmium on growth and development of *Vicia faba* Linn. // *Indian Journal of Experimental Biology*. – 2000, vol. 38, No. 8, p. 819–823
24. Neufeld H. S., Jernstedt J. A., Haines B. L. Direct foliar effects of simulated acid rain. I. Damage, growth and gas exchange // *New Phytology*. – 1985, No. 99, p. 389–405
25. Öncel I., Keles Y., Üstün A. S. Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings // *Environment Pollution*. – 2000, vol. 107, No. 3, p. 315–320
26. Peralta J. R., Gardea-Torresdey J. L., Tiemann K.J. et al. Study of the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) grown in solid media // *Proceedings of the Conference on Hazardous Waste Research, Denver, Colorado, May 23–25*. – 2000, p. 134–140
27. Reichman S. M. The responses of plants to metal toxicity: a review focusing on copper, manganese and zinc // *The Australian Minerals & Energy Environment foundation*. – 2002. – 54 p.
28. Shan Y. Effects of simulated acid rain on *Pinus densiflora*: Inhibition of net photosynthesis by the pheophytization of chlorophyll // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1998, vol. 103, No. 1–4, p. 121–127
29. Soussana J. F., Lüscher A. Temperate grasslands and global atmospheric change // *Grassland Science in Europe*. – 2006, vol. 11, p. 739–748
30. Sutinen M. L. Emissions from the copper-nickel smelters lower the frost hardiness of *Pinus Sylvestris* L. needles in the Kola Peninsula // *Air Pollution and Multiple Stress*. – Fredericton, Canada, 1994, p. 49–61
31. Talanova V. V., Titov A. F. Sravnitel'noje izučenie reakcii pastenij na dejstvie nizkikh temperatur i tjaželych metallov / biologičeskie osnovy izučenija, osvoenija i ochrany životnogo i rastitel'nogo mira, počvennogo pakrova Vostočnoj Fennoskandii. – Petrozavodsk, 1999, s. 250–254. – Rus.
32. Talanova V. V., Titov A. F. Vlijanie svinca i kadmija na prorostki jačmenja // *Fiziologija i biochimija kul'turnych rastenij*. – 2001, t. 33, No. 1, s. 33–37. – Rus.
33. Tarakanovas P., Raudonius S. Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, SPLIT-PLOT iš paketo SELEKCIJA ir IRRISTAT. – Akademija (Kėdainių r.), 2003. – 57 p.

34. Tong GuanHe. Effect of simulated acid-rain-induced acidification of soil on growth and development of wheat seedlings // *Rural Eco-Environment*. – 2005, vol. 21, No. 1, p. 47–50

35. Vassilev A. Physiological and agroecological aspects of cadmium interactions with barley plants: an overview // *Journal of Central European Agriculture*. – 2002, vol. 4, No. 1, p. 65–75

36. Walter A., Schurr U. Dynamics of leaf and root growth: endogenous control versus environmental impact // *Annals of Botany*. – 2005, vol. 95, p. 891–900.

37. Wettstein D. Chlorophyll-letale und der submikroskopische Formweschel der Plastiden // *Experimental Cell Research*. – 1957, vol. 12, iss. 3, p. 427–506

ISSN 1392–3196

Zemdirbyste / *Agriculture*, vol. 94, No. 3 (2007), p. 47–59

UDK 633.31.546.4

## THE EFFECT OF HIGHER TEMPERATURES, ACID SUBSTRATE, AND CADMIUM AND COOPER ON LUCERNE

J. Šlepetys, J. Šikšnianienė, Ž. Kadžiulienė, A. Brazaitytė, P. Duchovskis

### Summary

Experiments done at a phytothrone complex of the Lithuanian Institute of Horticulture were designed to study the response of lucerne (*Medicago sativa* L.) to the effect of acid substrate and heavy metals (cadmium and copper) at normal and higher temperatures. We also tested lucerne adaptive capacity to these environmental changes. Plant adaptation to adverse environmental factors was judged according to the variations in photosynthetic pigment system, plant height, and aboveground phytomass. Changes in nitrogen and sulphur contents in lucerne stems and leaves were estimated. Lucerne grown at higher temperature (27–20 °C) accumulated less aboveground phytomass and was more sensitive to the effect of contaminants and adapted harder compared to lucerne grown at normal temperature (21–17 °C). However, at higher temperature lucerne developed more rapidly compared with that at normal temperature. At normal temperature, lucerne treated with cadmium at a younger growth stage (BBCH 34) accumulated significantly less phytomass. With substrate acidification, lucerne stems and leaves accumulated markedly more sulphur, the ratio of nitrogen to sulphur declined. Copper tended to increase the aboveground lucerne phytomass, alleviated the adverse effect of cadmium on lucerne, and at normal temperature acted as fertiliser. At higher temperature both copper and cadmium tended to reduce or reduced lucerne phytomass. After the initial effect of acids, cadmium and copper salts, the system of photosynthesis pigments of lucerne at normal temperature adapted to additional effect of copper and cadmium salts. At higher temperature the effect of contaminants on lucerne pigment system was stronger.

Key words: higher temperature, chlorophylls, cadmium, carotenoids, lucerne, acid substrate, copper.