

Rūgščiojo jonizuoto vandens įtaka sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) biometriniams ir biocheminiams rodikliams

Regina Malinauskaitė

*Aleksandro Stulginskio universitetas,
Studentų g. 11, LT-5361
Akademija, Kauno r.
El. paštas regina.malinauskaite@asu.lt*

Tyrimų, atliktų Aleksandro Stulginskio universiteto Biologijos ir augalų biotechnologijos instituto laboratorijoje 2015 m., tikslas – įvertinti nuolatiniam laistymui naudoto rūgščiojo jonizuoto (pH 5,07) vandens poveikį sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) 'Kiblukai' veislės augalų biometriniams ir biocheminiams rodikliams II ir III ontogenezės etapais, kadangi nėra aptikta duomenų apie ilgalaikio rūgščiojo vandens poveikį augalams. Kontroliniai augalai buvo laistomi vandentiekio vandeniu (pH 7,3). Rūgštusis jonizuotas vanduo buvo gaminamas iš vandentiekio vandens 0,5 val. prieš laistymą jonizatoriumi PTV-AL. Po sudygimo praėjus 7 ir 14 (II ontogenezės etapas) bei 21 ir 28 (III ontogenezės etapas) dienoms buvo nustatyti biometriniai rodikliai: augalų aukštis, antžeminės dalies žalioji ir sausoji masės, o paskutiniuoju tyrimų laikotarpiu – ir šaknų sausoji masė. Biocheminiai rodikliai: chlorofilų *a* ir *b* bei karotenoidų kiekis nustatyti 14, 21 ir 28 dienomis.

Nustatyta, kad laistymui naudotas rūgštusis jonizuotas vanduo neturėjo esminės neigiamos įtakos augalų aukščiui, bet slopino žaliosios ir sausosios masės kaupimąsi antžeminėje dalyje. Esmingai mažiau, 1,28 karto, palyginti su kontroliniais augalais, žaliosios masės buvo sukaupta III ontogenezės etape, 21 dieną po sudygimo. III ontogenezės etape (21 ir 28 dienomis) antžeminėje dalyje, palyginti su kontroliniais augalais, buvo sukaupta 1,26 ir 1,09 karto mažiau sausosios masės, o šaknyse – 1,11 karto mažiau. Tačiau ŠAS (šaknų–antžeminės dalies santykis) buvo panašus: kontroliniuose augaluose 0,72, o tirtuose – 0,71. Rūgščiuoju jonizuotu vandeniu laistomuose sėjamojo žirnio lapuose buvo sukaupta esmingai mažiau chlorofilų *a* ir *b* bei pirmaisiais tyrimų laikotarpiais – karotenoidų. Chlorofilų *a* ir *b* (*Ca/b*) santykis kontroliniuose augaluose svyravo nuo 2,31 iki 2,71, o tirtuose – tyrimų pradžioje 2,77, vėliau sumažėjo iki 1,61 ir 1,97. Paskutiniuoju tyrimų laikotarpiu rūgščiuoju jonizuotu vandeniu laistomų augalų lapuose pigmentų sintezė suintensyvėjo, ypač karotenoidų. Jų kiekis buvo esmingai 0,22 mg g⁻¹ didesnis nei kontroliniuose augaluose.

Tyrimai parodė, kad ilgalaikis nuolatinis sėjamojo žirnio augalų laistymas rūgščiuoju jonizuotu vandeniu II–III ontogenezės etapais pradžioje slopino biomasės ir fotosintezės pigmentų sintezę, vėliau augalų jautrumas sumažėjo ir kaip atsakas į ilgalaikį stresą prasidėjo regeneracijos procesai.

Raktažodžiai: sėjamasis žirnis, rūgštusis jonizuotas vanduo, biometriniai ir biocheminiai rodikliai

ĮVADAS

Augalus aplinkoje veikia daugybė stresorių. Išskirtos dvi streso formos: eustresas (teigiamai veikia augalų

augimą) ir distresas (negatyviai veikia augalų augimą). Augalo atsakas į stresą yra sudėtingas procesas, nes paprastai veikia ne vienas, o stresorių kompleksas. Todėl streso poveikis augalui yra daugialypis

(Mittler, Blumwald, 2010). Aplinkoje stresas augalus gali veikti ilgesnį laiką, todėl jiems neužsigrūdinus (viena iš atsakomųjų į dirgiklių augalų reakcijų) gali įvykti ir negrįžtami procesai (Shao et al., 2007). Literatūros šaltiniuose (Jaleel et al., 2009; Mittler, Blumwald, 2010) nurodoma, kad adaptacijos galimybės priklauso nuo augalo rūšies arba genotipo, veikiančių veiksnių poveikio intensyvumo, stiprumo ir veikimo trukmės.

Kaip teigia autoriai (Albert et al., 2011), augalai juos supančioje aplinkoje vienu metu yra veikiami įvairių aplinkos veiksnių. Todėl jų fiziologinė būseną ir atsakas į stresą gali būti įvertinti tik tada, kai augalai auginami sudėtinėmis streso sąlygomis.

Fiziologiniai rodikliai, kaip chlorofilo kiekis ir UV-B absorbuojančių dalelių lygis, yra informatyvūs vertinant augalų jautrumą (Juozaitytė ir kt., 2006). Augimo procesas streso metu netenka būtinų metabolitinių produktų naujoms struktūroms formuotis, negauna vystymosi procesui reikalingos energijos (Chaves et al., 2009). Kiti autoriai (Juozaitytė ir kt., 2006) nurodo, kad ozono streso atveju žirnių lapuose padidėjo karotenoidų kiekis. Esant ilgesniam streso poveikiui, karotenoidų kiekis sumažėjo.

Vienas iš abiotinių stresorių yra vandens trūkumas, kuris riboja augalų augimą, slopina fotosintezę ir derlių (Flexas et al., 2004; Singh et al., 2011). Kiti autoriai (Sakalauskiene, 2011) nurodo, kad drėgmės trūkumo sąlygomis augalams kaip gynybinė reakcija pasireiškė suintensyvėjęs fotosintezės pigmentų kaupimasis. Reakcijos intensyvumas buvo nulemtas genotipo. Literatūros šaltiniuose (Tesfaye et al., 2006) nurodoma, kad pupinių šeimos C3 augalų radiacijos sugėrimo efektyvumas esant drėgmės stygiui yra jautresnis ankstyvose jų vystymosi stadijose.

Vandens pH lemia daugelį augalų cheminių, fizinių ir biologinių procesų, turi įtakos maisto medžiagų, sunkiųjų metalų įsisavinimui bei pesticidų poveikiui. Dėl pakitusio pH gali būti inaktyvuotos veikliosios junginių medžiagos ir konvertuotos į neaktyvias. Daugeliui augalų optimalus pH yra 5–6,5 (Schachtman et al., 1998). Jonizacijos būdu gautas rūgštusis vanduo pasižymi baktericidinėmis savybėmis, veikia prieš patogenus ir mikroorganizmus (Kim et al., 2000), o šarminis – antioksidacinėmis savybėmis (Huang et al., 2008; Pohling, 2015). Kai kurie mokslininkai (Pohling, 2015) rūgštųjį jonizuotą vandenį dėl tokio jo poveikio

rekomenduoja naudoti šiltnamiuose prieš miltligę, taip sumažinti tradicinių fungicidų panaudojimą. Rekomenduojama keletą minučių apdoroti sėklas rūgščioju (pH 2,5–3,5) vandeniu, taip jas dezinfekuoti. Olandų mokslininkai (Hofland-Zijlstra et al., 2011) nurodo, kad rūgštusis jonizuotas vanduo gali būti plačiai panaudojamas sodininkystėje ir daržininkystėje, derinant su fungicidais ir insekticidais gėlių, daržovių ir vaisių dezinfekcijai, kovai su bakterijomis, grybais, virusais, dumbliais ir nematodais. Daugiausia jonizuoto vandens poveikio tyrimų medicinos ir maisto technologijų srityje yra vykdoma Korėjoje, Kinijoje, Vokietijoje, tyrimai atliekami su šarminiu jonizuotu vandeniu (Hannes, 2012; Ignacio et al., 2012; Yoon et al., 2011). Lietuvoje pradėti tyrimai su skirtingo šarminumo jonizuotu vandeniu siekiant išsiaiškinti jo įtaką pupinių šeimos augalų augimui, pigmentų kiekiui lapuose, rizobijų veiklos ir gumbelių formavimosi intensyvumui. Nustatytas šarminio jonizuoto vandens poveikis pigmentų, ypač chlorofilo *a* ir karotenoidų, kiekiams augalų lapuose bei teigiama įtaka ankstyvesniam gumbelių susiformavimui ant lęšių, sojų ir kitų pupinių šeimos augalų šaknų (Malinauskaitė ir kt., 2013; Malinauskaitė, 2014).

Rūgštusis jonizuotas vanduo, pasižymintis baktericidinėmis, mikroorganizmus neutralizuojančiomis savybėmis, rekomenduojamas naudoti apsaugant augalus. Rūgščiojo jonizuoto vandens panaudojimas yra nurodomas kaip trumpalaikė efektyvi priemonė augalų apsaugai (Kim et al., 2000; Hofland-Zijlstra et al., 2011). Nuolatinis tokio vandens naudojimas laistymui, ypač ankstyvaisiais vystymosi tarpsniais, gali taip pat tapti stresoriumi ir kaip augalų atsakas į tokį poveikį pasireikšti biometrinių ir biocheminių rodiklių pokyčiais. Literatūros šaltinių, kaip rūgštusis jonizuotas vanduo veikia augalų biometrinius rodiklius, fotosintezės pigmentų kiekį, neaptikta.

Tyrimų tikslas – įvertinti nuolatiniam laistymui naudoto rūgščiojo jonizuoto vandens (pH 5,07) poveikį sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) 'Kibluikai' veislės augalų biometriniais ir biocheminiams rodikliams II (BBCH 10–19) ir III (BBCH 20–29) ontogenezės etapais.

METODAI IR SĄLYGOS

Tyrimai atlikti Aleksandro Stulginskio universiteto Biologijos ir augalų biotechnologijos instituto laboratorijose 2015 m. rugsėjo ir spalio mėnesiais. Tyrimų objektas – sėjamas žirnis (*Pisum sativum* L.), 'Kiblukai' veislės augalai, 2011 m. ši veislė įrašyta į Nacionalinį augalų veislių sąrašą kaip saugotina.

Laboratorinis eksperimentas atliktas 4 pakartojimais. Kiekvienam pakartojimui imta po 12 sėklų. Sėklos pasėtos rugsėjo 24 d. smėlio ir dirvožemio mišinyje (santykis 1:1). Dirvožemio pH – 5,0–6,5. Daiginimo temperatūra – (20 ± 22) °C, auginimo temperatūra – (16 ± 22) °C. Apšvietimas – natūralus. Indo talpa – 2 l. Kontroliniai augalai buvo laistomi vandentiekio vandeniu (pH 7,3). Rūgštusis jonizuotas vanduo (pH 5,07) buvo gaminamas 0,5 val. prieš laistymą jonizatoriumi PTV-AL iš vandentiekio vandens. Pagal jonizatoriaus gamintojo rekomendacijas buvo pasirinkta jonizacijos trukmė. Po 5 min. elektrolizės vienoje jonizatoriaus talpoje buvo pasigaminęs rūgštusis vanduo (pH 5,07), kitoje talpoje – šarminis jonizuotas vanduo (pH 9,66). Pirmą kartą auginimui naudojamas dirvožemis buvo prisotintas 140–150 ml bandymo variantuose naudojamu vandeniu. Auginimo metu laistoma pagal poreikį – vidutiniškai apie 50 ml, du kartus per savaitę.

Po sudygimo 7, 14, 21 ir 28 dienomis (II ir III ontogenezės etapai) buvo tirti biometriniai ir biocheminiai (išskyrus pirmąjį laikotarpį) rodikliai.

Biometrinei analizei (augalų aukštis, žalioji ir sausoji biomasės) įvertinti buvo išmatuotas kiekvieno pakartojimo atsitiktinai pasirinktų penkių augalų aukštis cm. Nupjovus augalą ir jį pasvėrus (kiekviename pakartojime po du augalus) svarstyklėmis KERN AJB, nustatyta žalioji augalo masė (g). Ji buvo panaudota nustatant sausąsias medžiagas (%). Sausųjų medžiagų kiekis įvertintas džiovinant džiovinimo spintoje 105 °C temperatūroje iki nekintamos masės (LST ISO 751:2000). Paskutiniu tyrimų laikotarpiu nustatyta sausoji šaknų masė (%). Tam tikslui augalai iškasti iš dirvožemio, atsargiai nuvalytas jo perteklius. Šaknys išplautos, nusaustos, pasvertos ir džiovintos tomis pačiomis sąlygomis kaip ir antžeminė dalis.

Biocheminiai rodikliai – fotosintezės pigmentai chlorofilai *a* ir *b* bei karotenoidai – nustatyti žalioje lapų masėje, 95 % etanolio ekstrakto

spektrometriniu Wettstein metodu (Gavrilenko, Zhigalova, 2003). Fotosintezės pigmentų analizei pasverta 0,2 g žaliosios masės, sutrinta su 0,5 g CaCO₃, nufiltruota celiulioziniu filtru ir praskiesta etanolio iki 50 ml. Sugerties spektrai: chlorofilo *a* – 662 nm, chlorofilo *b* – 644 nm ir karotenoidų – 440,5 nm.

Pigmentų kiekis (mg g⁻¹) apskaičiuotas pagal formulę:

$$X = C \times V \times 100/n \times 1000;$$

C – pigmentų koncentracija mg l⁻¹; *V* – pigmentų ištraukos tūris (ekstrakto kiekis) ml; *n* – analizuojamojo bandinio masė.

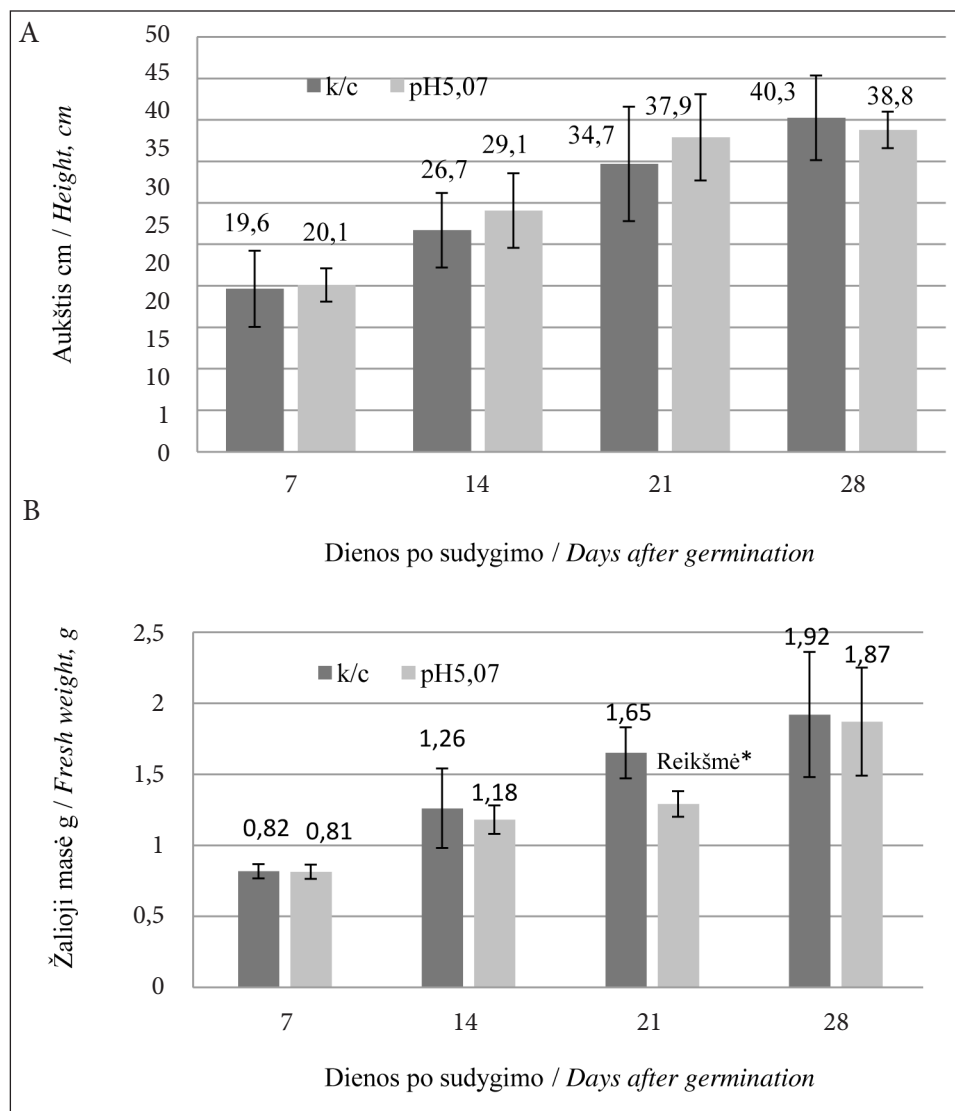
Rezultatai pateikti kaip pakartojimų vidutinė reikšmė ± standartinė paklaida, skaičiuojant buvo naudojama MS EXCEL STATISTICA 7 programų paketu. Pakartojimų vidurkių esminiai skirtumai įvertinti esant 95 % tikimybės lygmeniui.

REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Organizmų reakcijos į skirtingus stresorius išraiška – įvairių biometrinių ir biocheminių rodiklių pokyčiai, pasireiškiantys kaip tiesioginis ir netiesioginis atsakas į jų poveikį. Homeostazei palaikyti augalai slopina augimui skirtą kvėpavimą, eikvoja papildomą, palaikymui skirtą, energiją ir dažniausiai lėtina fitomasės kaupimąsi (Madhava Rao et al., 2006). Mūsų tyrimuose nebuvo nustatytas neigiamas ilgalaikio laistymo rūgščiuoju jonizuotu vandeniu poveikis žirniams, kurie tik tyrimų pabaigoje, 28-ą augimo dieną, buvo neesmingai, 1,50 cm, žemesni nei kontroliniai augalai (1A pav.). Šiam tyrimų laikotarpiui nustatytas eksperimento augalų augimo tempų sumažėjimas. Per tiriamąjį laikotarpį kontrolinių augalų aukštis padidėjo 2,0 karto, o rūgščiuoju jonizuotu vandeniu laistomų augalų – 1,9 karto.

Žirniams optimalus pH yra 6,5–7,2. Nuolatiniams augalų laistymui naudojant rūgštųjį jonizuotą vandenį, kurio pH 5,07, neigiamas poveikis (stresorius) turėjo pasireikšti per kitus biometrinius ir biocheminius rodiklius. Mūsų tyrimuose rūgštusis jonizuotas vanduo slopino žirnių žaliosios ir sausosios masės kaupimąsi (1B–2 pav.).

Vandentiekio vandeniu laistomų žirnių žalioji masė buvo neesmingai didesnė nei eksperimento augalų. Tik 21 sudygimo dieną nustatytas esmingai,



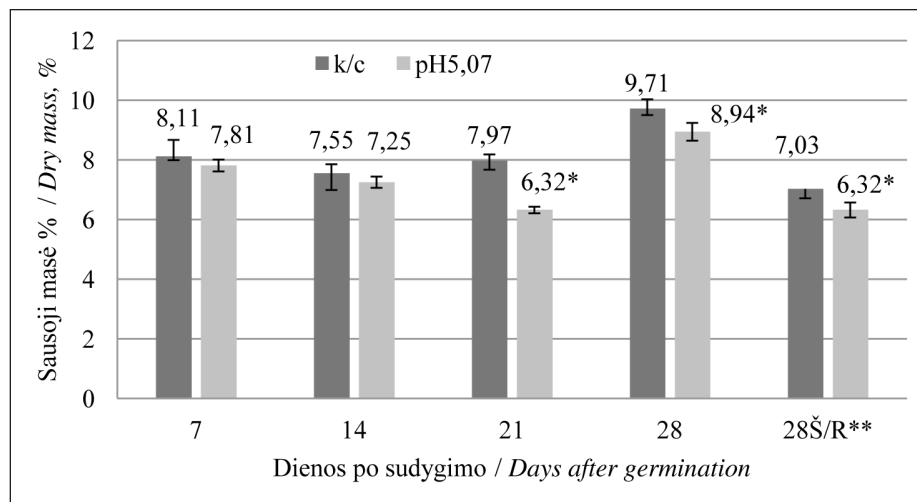
1 pav. Rūgščiojo jonizuoto vandens įtaka sėjamojo žirnio augalų aukščio (A) ir žaliosios masės (B) dinamikai II–III ontogenezės etapais (* lyginant su kontroliniais augalais skirtumai yra esminiai, $P < 0,05$). Pastaba: k – kontroliniai augalai

Fig. 1. Impact of acidic ionized water on the pea plant height and above-ground mass accumulation during stages II–III of ontogenesis (* is statistically significant difference, $p < 0.05$). Note: c is control

1,28 karto, didesnis kontrolinių augalų žaliosios masės kiekis. Šoninių šakelių formavimosi metu (paskutinis tyrimų laikotarpis) rūgštusis jonizuotas vanduo teigiamai veikė žaliosios biomasės prieaugį. Jis padidėjo 1,44 karto, o kontrolinių augalų – 1,16 karto. Įvertinus žirnių aukščio ir žaliosios biomasės pokyčius, matyti, kad rūgštusis jonizuotas vanduo turėjo įtakos tolygesniam augalų augimui, nes buvo nustatyti mažesni standartiniai nuokrypiai, palyginti su kontroliniais augalais. Panašų poveikį (tolygesnis augimas ir fitomasės kau-

pimas) turėjo ir laistymui naudotas šarminis jonizuotas vanduo (Malinauskaitė, 2014).

Panašios tendencijos nustatytos tiriant sausosios masės kaupimąsi augaluose (2 pav.). Kontroliniuose augaluose, palyginti su rūgščiojo jonizuoto vandens poveikiu, esmingai daugiau buvo sukaupta sausosios masės III ontogenezės etapuose (21 ir 28 dienos po sudygimo). Paskutiniu tyrimų laikotarpiu dėl rūgščiojo jonizuoto vandens poveikio sausosios masės prieaugis buvo 1,48 karto didesnis nei kontroliniuose augaluose. Pirmųjų trijų tyrimo laikotarpių sukaupti mažesni sausosios masės



2 pav. Rūgščiojo jonizuoto vandens įtaka sėjamojo žirnio augalų sausosios masės dinamikai II–III ontogenezės etapais (** Š – sausosios masės kiekis šaknyse) (* lyginant su kontroliniais augalais skirtumai yra esminiai, $P < 0,05$). Pastaba: k – kontroliniai augalai

Fig. 2. Acidized ionized water influence on the dynamics of pea dry matter content during stages II–III of ontogenesis (** R is root dry matter content) (* is statistically significant difference, $p < 0.05$). Note: c is control

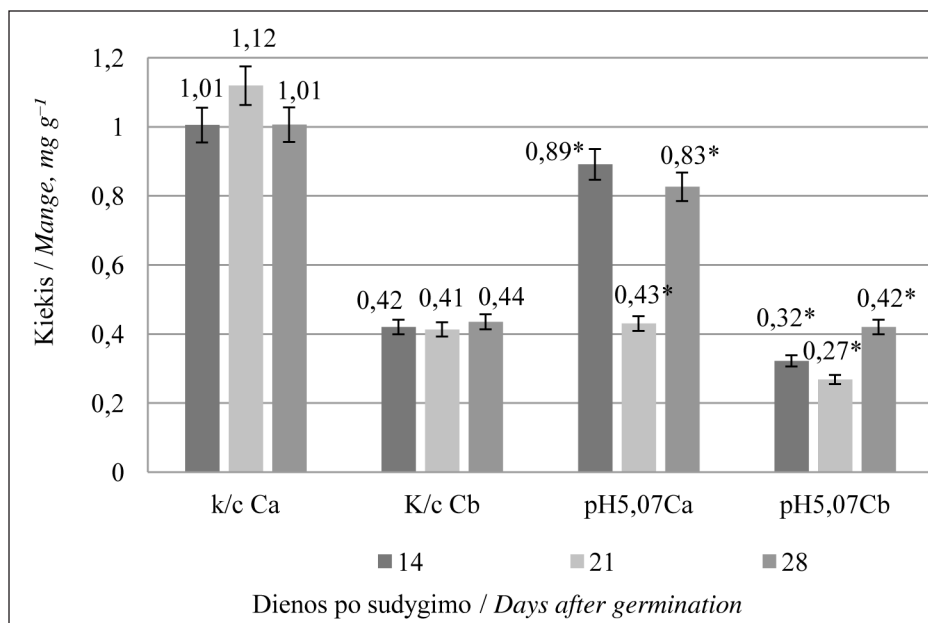
kiekiai dėl rūgščiojo jonizuoto vandens poveikio patvirtina literatūros šaltinių (Januškaitienė, Mikelionytė, 2009) duomenis, kad ilgalaikio streso (mažesnės UV spinduliuotės) atveju žirniuose mažėjo sausosios masės kiekis.

Įvertinus sausosios masės persiskirstymą tarp atskirų augalo dalių, galima konstatuoti, kad rūgštusis jonizuotas vanduo šiam biometriniui rodikliui neturėjo neigiamos įtakos, nes šaknų ir antžeminės dalies sausosios masės santykiai kontroliniuose ir eksperimento augaluose buvo panašūs – atitinkamai 0,72 ir 0,71. Šie rezultatai rodo nesutrikusį asimiliatų pasiskirstymą augale. Tai patvirtina ir literatūros šaltinių (Sakalauskiene ir kt., 2009) duomenys, kad pakankamas drėgmės kiekis skatino sėjamojo žirnio augalų augimo procesus, o po streso poveikio palankiomis sąlygomis greitai įvyko regeneracija.

Literatūros šaltiniuose (Shanker et al., 2005) nurodoma, kad fermentų, dalyvaujančių chlorofilo sintezėje, inaktyvinimas yra dažniausiai pagrindinė chlorofilo sintezės slopinimo priežastis. Mūsų tyrimuose dėl rūgščiojo jonizuoto vandens poveikio chlorofilų *a* ir *b* kiekiai visais tyrimų laikotarpiais buvo esmingai (*Ca* 0,12–0,69 mg g⁻¹ ir *Cb* 0,10–0,14 mg g⁻¹) mažesni nei kontroliniuose sėjamojo žirnio lapuose (3 pav.). Didesnis pagrindi-

nių fotosintezės pigmentų sumažėjimas augaluose nustatytas jiems pereinant į III ontogenezės etapą. Šiuo laikotarpiu buvo nustatytas tik 0,41 mg g⁻¹ chlorofilo *a* kiekis, arba 0,40–0,46 mg g⁻¹ mažiau, nei kitais tyrimų laikotarpiais. Skirtumai esminiai. Chlorofilo *b* kiekio sumažėjimas (atitinkamai 1,19–1,56 karto) buvo esminis, bet ne toks didelis, kaip pagrindinio fotosintezės pigmento – chlorofilo *a*. Tai galima paaiškinti padidėjusiu augalų jautrumo atsaku į stresorių – jonizuotą rūgštųjį vandenį. Literatūros šaltiniuose (Malinauskaitė ir kt., 2013; Malinauskaitė, 2014) nurodoma, kas šarminiu jonizuotu vandeniu laistomų pupinių šeimos augalų lapuose buvo sukaupta didesni chlorofilo *a* kiekiai. Tokie rezultatai rodo, kad šarminiam jonizuotam vandeniui būdingos antioksidacinės savybės (Huang et al., 2008) ir augalams reikia mažiau sąnaudų homeostazei palaikyti.

Kita fotosintezės pigmentų grupė – karotenoidai – yra svarbūs chlorofilų apsaugai streso sąlygomis ir veikia kaip nefermentiniai antioksidantai (Dėdelienė, 2007). Literatūros šaltiniuose (Juozaitytė ir kt., 2006) nurodoma, kad ozono streso atveju sėjamojo žirnio lapuose padaugėjo karotenoidų. Mūsų tyrimuose tik 28 dieną po sudygimo buvo nustatytas esmingai 1,48 karto, arba 0,22 mg g⁻¹, didesnis karotenoidų kiekis rūgščiuoju jonizuotu



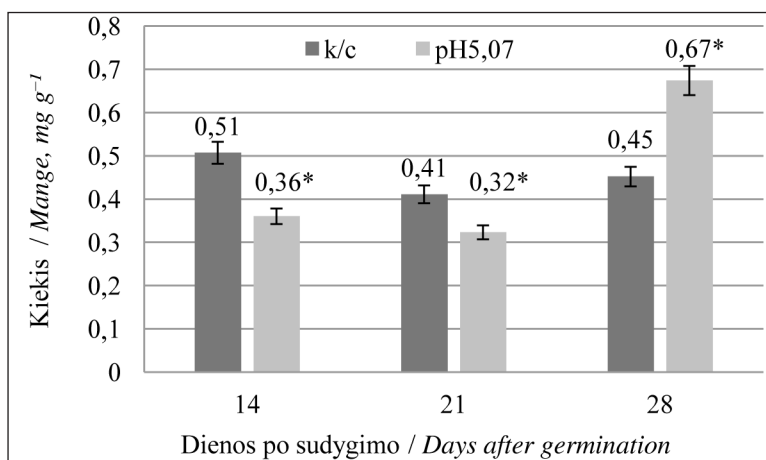
3 pav. Rūgščiojo jonizuoto vandens įtaka sėjamojo žirnio augalų chlorofilo *a* ir chlorofilo *b* dinamikai II–III ontogenezės etapais (* lyginant su kontroliniais augalais skirtumai yra esminiai, $P < 0,05$). Pastaba: *k* – kontroliniai augalai

Fig. 3. Acidic ionized water influence on the dynamics of pea chlorophyll *a* and *b* synthesis during stages II–III of ontogenesis (* is statistically significant difference, $p < 0.05$).

Note: *c* is control

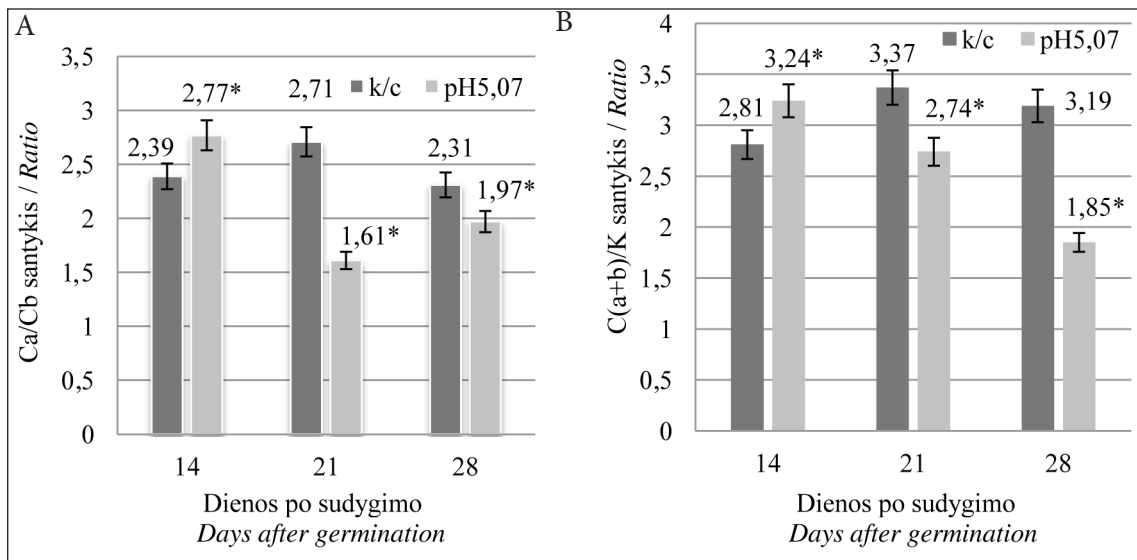
vandeniui laistomų sėjamojo žirnio augalų lapuose (4 pav.). Kitais atvejais kontrolinių augalų lapuose buvo sukauptas esmingai didesnis karotenoidų kiekis.

Tokie fotosintezės pigmentų pokyčiai turėjo įtakos ir chlorofilų *a* ir *b* bei jų sumos ir karotenoidų kiekio santykiams (5 pav.). Kontrolinių augalų lapuose chlorofilų *a* ir *b* santykis (*Ca/b*) tyrimų



4 pav. Rūgščiojo jonizuoto vandens įtaka sėjamojo žirnio augalų karotenoidų kiekio dinamikai II–III ontogenezės etapais (* lyginant su kontroliniais augalais skirtumai yra esminiai, $P < 0,05$). Pastaba: *k* – kontroliniai augalai

Fig. 4. Acidic ionized water influence on the pea carotenoid content during stages II–III of ontogenesis (* is statistically significant difference, $p < 0.05$). Note: *c* is control



5 pav. Rūgščiojo jonizuoto vandens įtaka chlorofilų *a* ir *b* (*Ca / Cb*) bei chlorofilų *a + b* ir karotenoidų (*C(a + b)/K*) kiekio santykiams sėjamojo žirnio augalų lapuose dinamikai II–III ontogenezės etapais (* lyginant su kontroliniais augalais skirtumai yra esminiai, $P < 0,05$). Pastaba: *k* – kontroliniai augalai
Fig. 5. Acidic ionized water influence on the dynamics of chlorophyll *a/b* (*Ca/Cb*) and chlorophyll (*a + b*) ratio with carotenoids (*C(a + b)/K*) in pea plant during stages II–III of ontogenesis (* is statistically significant difference, $p < 0.05$). Note: *c* is control

pradžioje buvo esmingai (0,38) mažesnis nei eksperimentiniuose augaluose. Tačiau visais atvejais *Ca/b* santykis kontrolinių augalų lapuose buvo didesnis nei 2, eksperimento augaluose III ontogenezės etape (21 ir 28 dienos po sudygimo) – mažesnis nei 2. Toks pagrindinių fotosintezės pigmentų pasiskirstymas turėjo įtakos eksperimentinių augalų biomasės kaupimui. Tai rodo, kad ilgalaikis laistymas rūgščiuoju vandeniu veikė augalo homeostazę, o jos palaikymui, kaip teigia literatūros šaltiniai (Madhava Rao et al., 2006), augalai lėtino fitomasės kaupimą. Panašias tendencijas atspindi ir chlorofilų (*C(a + b)*) bei karotenoidų santykis. Paskutiniuoju tyrimų laikotarpiu eksperimentiniuose augaluose santykis buvo 1,85, arba esmingai 1,34 mažesnis, nei kontrolinių augalų lapuose. Šie pokyčiai susiję su žymiu karotenoidų kiekio padidėjimu.

Paskutiniuoju tyrimų laikotarpiu rūgščiuoju jonizuotu vandeniu laistomuose sėjamojo žirnio augaluose prasidėjo adaptaciniai procesai, nes biometriniai ir biocheminiai rodikliai po žymaus sumažėjimo, palyginti su kontroliniais augalais, pradėjo didėti. Galima daryti prielaidą, kad ilgalaikis augalų laistymas rūgščiuoju, augalams nepalankiu (pH 5,07) jonizuotu vandeniu ankstyvais jų vystymosi laikotarpiais slopino fi-

ziologinius procesus, vėliau – augalai suaktyvino gynybines reakcijas intensyviau sintetindami karotenoidus.

IŠVADOS

1. Sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) 'Kiblukai' veislės augalų nuolatiniam laistymui II–III ontogenezės etapais naudojant rūgštųjį (pH 5,07) jonizuotą vandenį buvo nustatyta, kad jis neturėjo esminės neigiamos įtakos augalų aukščiui, nes eksperimento pabaigoje jie buvo neesmingai 1,50 cm žemesni už kontrolinius augalus (laistoma vandentiekio vandeniu, pH 7,3).

2. Rūgštusis jonizuotas vanduo slopino žaliosios ir sausosios antžeminės masės kaupimąsi. Esminiai sukauptos antžeminės masės skirtumai, palyginti su kontroliniais augalais, nustatyti 21 dieną po sudygimo (žalioji masė) ir 21 bei 28 dienomis (sausoji masė). Minėtais laikotarpiais eksperimento augaluose buvo sukaupta esmingai 1,28 karto mažiau žaliosios ir 1,26 bei 1,09 karto sausosios masės. Tačiau šaknų ir antžeminės masės santykis (ŠAS) eksperimentinių ir kontrolinių augalų buvo panašus – atitinkamai 0,71 ir 0,72.

3. Sėjamojo žirnio augalų, laistytų rūgščiuoju jonizuotu vandeniu, lapuose nustatyti esmingai

mažesni chlorofilų *a* (atitinkamai 1,13–2,60 karto) ir *b* (atitinkamai 1,05–1,52 karto) kiekiai.

4. Rūgštusis jonizuotas vanduo esmingai slopino karotenoidų kiekį, bet tyrimų pabaigoje jų sintezė suintensyvėjo – tarp paskutiniųjų tyrimo laikotarpių nustatytas jų kiekio (2,09 karto) padidėjimas.

5. Nuolatinis ilgalaikis sėjamojo žirnio augalų laistymas rūgščiuoju jonizuotu vandeniu II ontogenezės etape ir pereinat į III slopino fitomasės kaupimąsi, pigmentų sintezę, bet vėliau šių rodiklių, ypač karotenoidų kiekio padidėjimas, galėjo pasireikšti kaip gynybinė reakcija atstatant homeostazę.

Gauta 2016 02 25

Priimta 2016 06 09

LITERATŪRA

- Albert K. R., Mikkelsen N. T., Michelsen A., Røpoulsen H., Linden L. 2011. Interactive effects of drought, elevated CO₂ and warming on photosynthetic capacity and photosystem performance in temperate heath plants. *Journal of Plant Physiology*. No. 168. P. 1550–1561.
- Chaves M. M., Flexas J., Pinheiro C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. No. 103. P. 551–560.
- Dėdelienė K. 2007. *Priežemio ozono ir UV-B spinduliuotės diferencijuotas kompleksinis poveikis miežiams (Hordeum vulgare L.): daktaro disertacija*. Kaunas. 96 p.
- Flexas J., Bota J., Cifre J., Escalona J. M., Galmes J., Gulias J., Lefi E., Martinez-Canellas S. F., Moreno M. T., Ribas-Carbo M., Riera D., Sampol B., Medrano H. 2004. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Annals of Applied Biology*. Vol. 144. P. 273–283.
- Gavrilenko V. F., Zhigalova T. V. 2003. *Bolshoy praktikum po fotosintezu*. Moskva. 256 s. (rusų kalba).
- Hannes H. 2012. Sauere und Base im Dienst des Körpers. *Aktivierter und abgereicher Wasserstoff*. S. 1–36. Prieiga per internetą: <http://website.gesundshop.at/literatur.pdf>
- Hofland-Zijlstra J. D., de Vries R. S. M., Bruning H. 2011. Kennisinventarisatie naar de achtergronden en toepassingen van electrochemisch geactiveerd water in de agrarische sector. P. 1–25 [žiūrėta 2016-01-19]. Prieiga per internetą: https://www.ltoglaskracht nederland.nl/content/ltoglaskracht nederland/docs/themas/Plantgezondheid/onderzoeksrapporten/Literatuurstudie_14347.pdf
- Huang Y.-R., Hung Y.-C., Hsu S.-Y., Huang Y.-W., Hwang D.-F. 2008. Application of electrolyzed water in the food industry. *Food Control*. Vol. 19(4). P. 329. Prieiga per internetą: <http://doi:10.1016/j.foodcont.2007.08.012>
- Ignacio R. M. C., Joo K.-B., Lee K.-J. 2012. Clinical effect and mechanism of alkaline reduced water. *Journal of Food and Drug Analysis*. Vol. 20. Suppl. 1. P. 394–397.
- Yoon Y. S., Joo K. B., Chang B. S., Lee K. J. 2011. The effects of hot spring water on reactive oxygen species (ROS) in human study. *Korea Journal Waters*. Vol. 2. P. 20–24.
- Jaleel C. A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Somsundaram R., Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*. Vol. 11. P. 100–105.
- Januškaitienė I., Mikelionytė J. 2009. UV-B spinduliuotės poveikis sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) fotosintzei ir augimui. *Žemdirbystė*. T. 96. Nr. 2. P. 125–137.
- Juozaitytė R., Ramaškevičienė A., Sliesaravičius A., Burbulis N., Duchovskis P., Brazaitytė A., Samuolienė G. 2006. Sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) fiziologinė ir biocheminė reakcija į ozono sukeltą stresą. *Sodininkystė ir daržininkystė*. T. 25. Nr. 2. P. 53–60.
- Kim Ch., Hung Y.-C., Brackett R. E. 2000. Roles of oxidation-reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food-related pathogens. *Journal of Food Protection*. Vol. 63. No. 1. P. 3–14.
- Malinauskaitė R. 2014. Šarminio jonizuoto vandens įtaka paprastojo lęšio 'Smėlinukai' morfofiziologiniams rodikliams. *Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo raštai = scripta horti botanici universitatis Vytauti Magni*. T. 18. P. 43–53.
- Malinauskaitė R., Kazlauskas E., Šaluchaitė A. 2013. Influence of Alkaline Ionized Water on Soybean 'DOTNUVOS RUDOJI' Growth. *Rural Development 2013 : Proceedings of the 6th International Scientific Conference*. Akademija. Vol. 6. B. 2. P. 164–167.
- Mittler R., Blumwald E. 2010. Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. *Annual Review of Plant Biology*. No. 61. P. 1–20 [žiūrėta 2016-01-13]. Prieiga per internetą: http://www.bashanfoundation.org/blumwald/blumwald_perspec.pdf
- Madhava Rao K. V., Raghavendra A. S., Janardhan Reddy K. 2006. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. 345 p.
- Pohling R. *Chemische Reaktionen in der Wasseranalyse*. Berlin: Springer, 2015. S. 59–65.
- Sakalauskiene S. 2011. *Kintančio klimato ir aplinkos veiksnių poveikio fiziologiniams rodikliams modeliavimas: daktaro disertacija*. 88 p. [žiūrėta 2016-01-17]. Prieiga per internetą: <http://vddb>

- laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2012~D_20120130_134807-70023/DS.005.0.01.ETD/
21. Sakalauskiene S., Brazaityte A., Šabajevienė G., Lazauskas S., Sakalauskaitė J., Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Duchovskis P.:2009. Kompleksinis aplinkos veiksnių poveikis sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) fiziologiniams rodikliams organogenezės III–IV etapais. *Žemdirbystė–Agriculture*. T. 96. Nr. 3. P. 93–101.
 22. Schachtman D. P., Reid R. J., Ayling S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*. Vol. 116. P. 447–453.
 23. Shanker A. K., Ravichandran V., Pathmanabha G. 2005. Phytoaccumulation of chromium by some multipurpose-tree seedlings. *Agroforestry Systems*. Vol. 60. No. 13. P. 83–87.
 24. Shao H.-B., Guo Q.-J., Zhao X.-N., Su Z.-L., Hu Y.-Ch., Cheng J.-F. 2007. Understanding molecular mechanism of higher plant plasticity under abiotic stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. Vol. 54. Issue 1. P. 37–45 [žiūrėta 2016-01-13]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927776506002104>
 25. Singh K. S., Reddy R. K. 2011. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) under drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. Vol. 105. P. 40–50.
 26. Tesfaye K., Walker S., Tsubo M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi arid environment. *European Journal of Agronomy*. No. 25. P. 60–70.

Regina Malinauskaitė

IMPACT OF ACIDIC IONIZED WATER ON PEA BIOMETRIC AND BIOCHEMICAL PARAMETERS

Summary

The aim of research was to investigate the impact of pH 5.07 acidic ionized water on the biometric and biochemical parameters of pea (*Pisum sativum* L.) 'Kiblukai' during stages II and III of ontogenesis. The control variant was watered with tap water.

The results indicated that the acidic ionized water did not show a significant impact on the plant height, but at the same had an inhibitory effect on the accumulation of dry matter in the above-ground part and roots of pea. During the 21st day after germination (stage III of ontogenesis) the acidic water application resulted in the significantly reduced biomass accumulation, by 1.28 times, compared to that of the control variant. During the 21st and 28th days of measurement the above-ground dry matter content in the experimental variant was reduced by 1.26 and 1.09 times, respectively, whereas the root dry mass was lower by 1.11 times, compared to that of the control. In both variants the ratio between the root and above-ground biomass was almost the same – 0.7. The biochemical analysis revealed that the acidic ionized water significantly reduced the synthesis of chlorophyll *a* and *b*, whereas the synthesis of carotenoids was inhibited only at the first stage of the experiment. The chlorophyll *a/b* ratio in control plants varied from 2.31 to 2.71, while after the treatment of acidic water the ratio was 2.77 at the beginning of the experiment and later decreased to 1.61 and 1.97. The long-term effect of acidic ionized water was seen as an increasing synthesis of carotenoids, when the concentration at the last stage of the experiment significantly increased to 0.22 mg g⁻¹.

Keywords: pea, acidic ionized water, biometric and biochemical parameters