

Kalio hidrokarbonato poveikis žaliosios šerytės atsparumui užmirkimo sąlygomis

Rimanta Vainorienė,

Natalija Burbulis,

Vaida Jonytienė,

Aušra Blinstrubienė,

Vytautas Rauckis

*Aleksandro Stulginskio universitetas,
Studentų g. 11, LT-53361
Akademija, Kauno r.
El. paštas natalija.burbulis@asu.lt*

Tyrimai atlikti Aleksandro Stulginskio universiteto Jungtinių tyrimų centro (ASU JTC) Agrobiotechnologijos laboratorijoje. Tirtas kalio hidrokarbonato poveikis fotosintetinių pigmentų, bendrųjų sacharidų ir prolino pokyčiams žaliosios šerytės augaluose užmirkimo sąlygomis. Augalus auginant programuojamoje auginimo kameroje užmirkimo sąlygos buvo sudarytos augalams esant 13 fenologinėje fazėje (pagal BBCH skalę). Nustatyta, kad trumpalaikis drėgmės perteklius skatino chlorofilo *a* ir karotenoidų sintezę, tačiau inhibavo chlorofilo *b* kaupimąsi žaliosios šerytės augaluose. Ilgiau (72 val.) trunkantis užmirkimo stresas statistiškai patikimai slopino chlorofilo *a* ir karotenoidų sintezę, o chlorofilo *b* kiekiui esminės įtakos neturėjo. Purškimas per lapus tirtosiomis kalio hidrokarbonato koncentracijomis skatino fotosintetinių pigmentų sintezę žaliosios šerytės augaluose drėgmės pertekliaus sąlygomis. Dėl kalio hidrokarbonato poveikio žaliosios šerytės augaluose nustatyti statistiškai patikimai mažesni prolino ir sacharidų kiekiai, įrodantys, kad augalai lengviau adaptavosi prie drėgmės pertekliaus streso.

Raktažodžiai: fotosintezės pigmentai, kalio hidrokarbonatas, prolinas, sacharidai, užmirkimo sąlygos, žalioji šerytė

ĮVADAS

Iš septynių perspektyviausių energetinių žolinių augalų (*Zea mays*, *Sorgum bicolor*, *Miscanthus giganteus*, *Panicum virgatum*, *Andropogon gerardii*, *Arundo donax*, *Phalaris arundinacea*) penki priskiriami C₄ fotosintezės tipo augalų grupei. Skirtingai nei C₃ grupės augalai, C₄ grupės augalų augimą ir vystymąsi lemiantys veiksniai yra mažiau ištirti, todėl siekiant padidinti energetinių augalų biomasės derlingumą, genetiniai ir fiziologiniai tyrimai tampa vis aktualesni. Minėti energetiniai augalai yra nepatogus objektas *in vivo* tyrimams dėl didelės biomasės (pvz., drambliažolė užauga iki 2,5–3 m aukščio), todėl tyrimų objektu pasirinktas C₄ grupės augalas, turintis mažiausią genomą (apie 510 Mb) ir trumpiausią gyvenimo ciklą – žalioji šerytė (Doust et al., 2009; Brutnell et al., 2010; Li, Brutnell, 2011).

Augalų fiziologiniai procesai optimaliomis augimo sąlygomis vyksta intensyviausiai. Žemės ūkio

sektoriuje dėl įvairių aplinkos stresorių patiriami dideli derliaus nuostoliai, nes sutrinka augalų augimas ir vystymasis (Chaves et al., 2003; Wreford, Adger, 2010). Dėl klimato kaitos poveikio stiprėjant kritulių kiekio svyravimams dažnėja sausros laikotarpiai, tačiau neretai pasitaiko ir trumpalaikės liūtys. Dėl drėgmės pertekliaus, dažniausiai po liūčių, sunkesnės granulometrinės sudėties dirvožemiuose dėl intensyvaus dirvų naudojimo didėja dirvožemio suslėgimas, prastėja dirbamų dirvų hidrofizikinės savybės, mažėja augalų produktyvumas (Jackson, Colmer, 2005). Net ir trumpai trunkantis dirvožemio užmirkimas daugumai augalų sukelia stresą – augalų šaknys pradeda stokoti deguonies, kuris yra būtinas šaknims; padidėjus CO₂ kiekiui šaknyse, sutrinka šaknų vystymasis (Colmer, Voesenek, 2009). Esant stresinėms sąlygoms tarp augalo ir aplinkos prastėja dujų apykaita, sutrinka augalų fiziologiniai procesai, energetinis metabolizmas, baltymų apykaita, angliavandenių įsisavinimas ir kaupimas

(Bailey-Serres, Voesenek, 2008; Voesenek et al., 2014). Labiausiai dėl užmirkimo augalai nukenčia maksimalaus fotosintezės intensyvumo metu (Armstrong, Drew, 2002). Esant momentiniam stresui, augaluose skatinamas antioksidacinių fermentų, silpninančių oksidacinį stresą, aktyvumas (Kacienė, 2014). Taikant atitinkamas auginimo technologijas bei priemones, mažinančias streso poveikį, galima optimizuoti augalų mitybos procesus nepalankiomis agrometeorologinėmis sąlygomis. Kalis – vienas iš makroelementų, dalyvaujančių augalų medžiagų ir energijos apykaitoje, fotosintezėje, kaupiant angliavandenius, palaikant vandens režimą. Kalis augalų ląstelėse randamas K^+ jonų, įvairių druskų, iš jų ir kalio hidrokarbonato ($KHCO_3$), pavidalu. Kalio hidrokarbonatas yra naudojamas kaip fungicidas, kuris veiksmingas prieš miltilgę ir obelų rauples (Weneker, Kanne, 2010; Marku et al., 2014). Y. C. Li ir J. J. Hao (2013) nustatė, kad esant mažai anglies dvideginio koncentracijai aplinkoje $KHCO_3$ skatina baklažanų daigų fotosintezės sistemų efektyvumą.

Tyrimų tikslas – įvertinti žaliosios šerytės atsparumą užmirkimui dėl kalio hidrokarbonato poveikio.

TYRIMŲ METODAI IR SĄLYGOS

Tyrimai atlikti ASU JTC Agrobiotechnologijos laboratorijoje. Į $0,1 \times 0,12$ m vegetacinius indus su substratu išsėta po 50 žaliosios šerytės sėklų. Augalai auginami programuojamoje auginimo kameroje esant $20/18$ °C (dieną / naktį) temperatūrai, 16/8 val. (dieną / naktį) fotoperiodui ir $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apšviestumui. Užmirkimo sąlygos buvo sudarytos augalams esant 13 fenologinėje fazėje (pagal BBCH skalę). Tiriamieji augalai nupurkšti 10, 20, 30 mg l^{-1} koncentracijų kalio hidrokarbonato tirpalais. Kontrolinio varianto augalai nupurkšti distiliuotu vandeniu. Fotosintezės pigmentų, prolino ir tirpiųjų sacharidų kiekiai nustatyti po 24 ir 72 užmirkimo valandų.

Fotosintetiniai pigmentai: chlorofilų *a* ir *b* bei karotenoidų kiekis lapuose įvertintas pagal D. Wettsteino metodiką (Gavrilenco, Zignalova, 2003) spektrofotometru (100 % acetono ištraukoje) prie tokių bangos ilgių: chlorofilas *a* – 622 nm; chlorofilas *b* – 644 nm; karotenoidai – 440 nm.

Pigmentų koncentracija (mg l^{-1}) skaičiuota pagal formules:

$$Ca = 9,784 D662 - 0,99 D644;$$

$$Cb = 21,426 D644 - 4,650 D662;$$

$$Ca + Cb = 5,134 D622 + 20,436 D644;$$

$$Ckar = 4,695 D440,5 - 0,268 (Ca + Cb).$$

Pigmentų kiekis (mg g^{-1}) apskaičiuotas pagal formulę:

$$X = CV 100/n * 1000,$$

C – pigmentų koncentracija mg l^{-1} ;

V – pigmentų ištraukos tūris ml (ekstrakto kiekis ml);

n – analizuojamo bandinio masė.

Prolino kiekis nustatytas taikant modifikuotą ninhydrino metodą (McClinchey, Kott, 2008).

Bendrieji tirpieji sacharidai įvertinti antrono metodu (Yemm, Willis, 1954). Matavimai atlikti spektrofotometru (Spectro UV-VIS Dual Beam Labomed, Inc).

Tyrimo duomenų statistinė analizė atlikta naudojantis kompiuterinėmis programomis iš programų paketo SELEKCIJA (Tarakanovas, Raudonius, 2003).

TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Abiotinio streso metu gali būti suardytos augalo ląstelės ir susilpnintos jų pagrindinės fiziologinės funkcijos (Larcher, 2003). Dėl drėgmės pertekliaus dirvožemyje sutrinka fotosintezės procesas, kurio intensyvumas priklauso nuo fotosintetinančių pigmentų kiekio ir jų santykio augale (Sakalauskienė, 2011), todėl augalų augimas ir vystymasis sulėtėja (Zheng et al., 2009).

Įvertinus fotosintezės pigmentų kiekį po 24 užmirkimo valandų nustatyta, kad dėl drėgmės pertekliaus kontroliniai augalai sukauptė daugiau chlorofilo *a* ir karotenoidų, bet mažiau chlorofilo *b* (lentalė). Chlorofilo *a* ir karotenoidų kiekiai padidėjo atitinkamai 0,102 ir 0,054 mg g^{-1} , o chlorofilo *b* kiekio sumažėjimas – neesminis. Po 72 užmirkimo valandų augaluose statistiškai patikimai sumažėjo karotenoidų ir chlorofilo *a* – atitinkamai 0,11 ir 0,108 mg g^{-1} , o chlorofilo *b* kiekis iš esmės nepakito.

Po 24 užmirkimo valandų chlorofilo *a* ir chlorofilo *b* santykis ženkliai padidėjo, bet po 72 užmirkimo valandų šis rodiklis buvo mažesnis, palyginti su įprastomis drėgmės sąlygomis augintais augalais. Priešingai, chlorofilų ir karotenoidų santykis šiek tiek sumažėjo po 24 užmirkimo

Lentelė. Fotosintetinių pigmentų kiekiai žaliosios šerytės lapuose užmirkimo sąlygomis

Table. The effect of waterlogging conditions on the photosynthetic pigment content in leaves of green foxtail

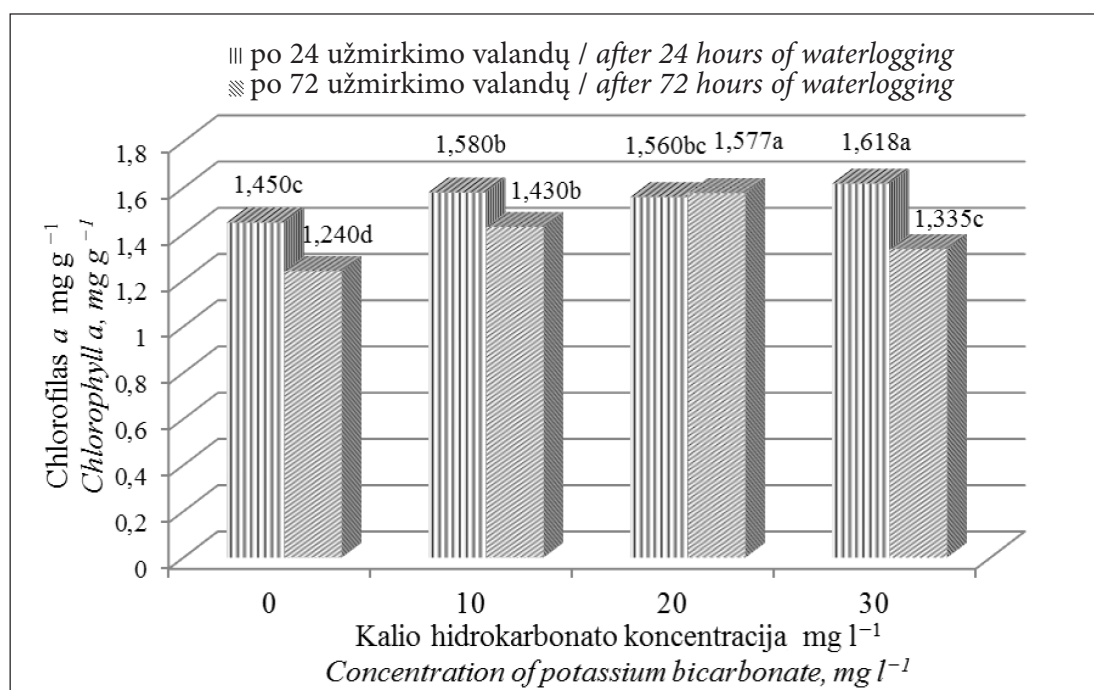
Variantai Variants	Chlorofilas a mg g ⁻¹ Chlorophyll a, mg g ⁻¹	Chlorofilas b mg g ⁻¹ Chlorophyll b, mg g ⁻¹	Chlorofilų a / b santykis Ratio of chlorophyll a and b	Karotenoidai mg g ⁻¹ Carotenoids, mg g ⁻¹	Chlorofilų / karotenoidų santykis Ratio of chlorophylls and carotenoids
Įprastos drėgmės sąlygos (kontrolė) Regular moisture content (control)	1,348b	0,403a	3,34b	0,591b	2,96b
Po 24 užmirkimo valandų After 24 hours of waterlogging	1,450a	0,398a	3,64a	0,645a	2,87b
Po 72 užmirkimo valandų After 72 hours of waterlogging	1,240c	0,409a	3,03c	0,481c	3,43a

Pastaba / Note: tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$) / Means not sharing a common letter (a, b) are significantly different ($P < 0.05$).

valandų, bet statistiškai patikimai padidėjo po 72 užmirkimo valandų.

Įvertinus tirtųjų koncentracijų kalio hidrokarbonato tirpalų poveikį fotosintezės pigmentams nustatyta, kad po 24 užmirkimo valandų daugiausia

chlorofilo a sukauptė augalai, nupurkšti 30 mg l⁻¹ kalio hidrokarbonato tirpalu (1 pav.). Po 72 užmirkimo valandų didžiausias chlorofilo a kiekis nustatytas nupurškus augalus 20 mg l⁻¹ kalio hidrokarbonato tirpalu. Be to, dėl šios koncentracijos poveikio



1 pav. Kalio hidrokarbonato poveikis chlorofilo a kiekiui žaliosios šerytės lapuose užmirkimo sąlygomis (tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$))
Fig. 1. The effect of potassium bicarbonate on the chlorophyll a in leaves of green foxtail under waterlogging conditions (means not sharing a common letter (a, b) are significantly different ($P < 0.05$))

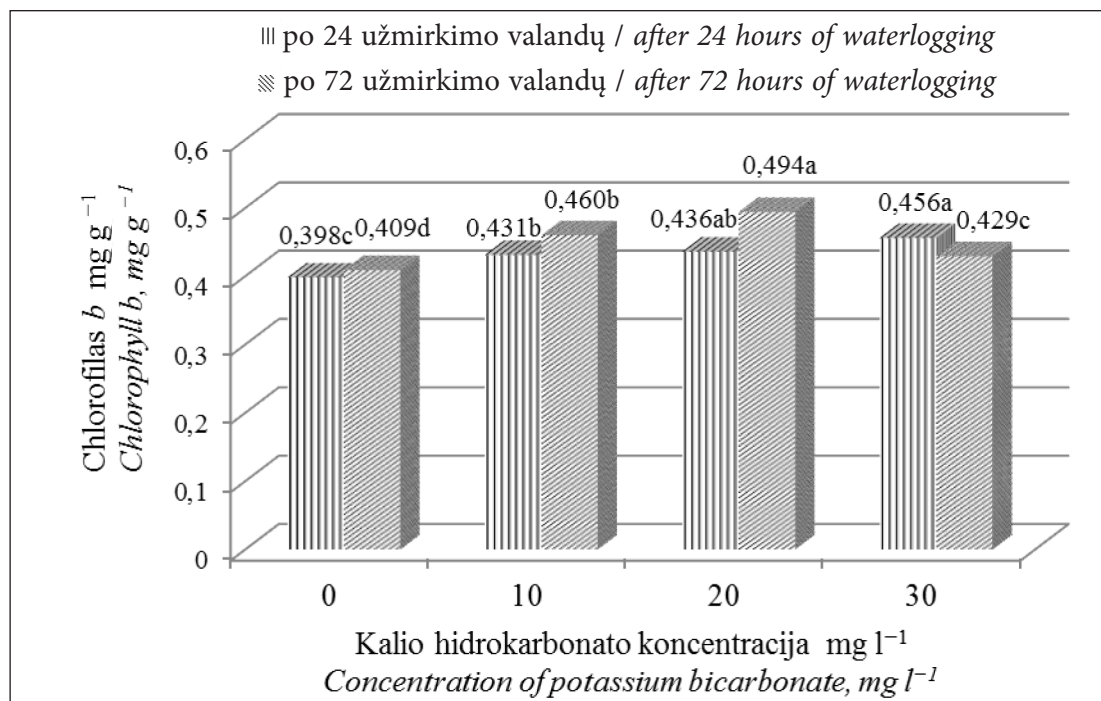
chlorofilo *a* kiekis mažai kito, palyginti su augalais po 24 užmirkimo valandų. 10 ir 30 mg l⁻¹ kalio hidrokarbonato koncentracijos taip pat skatino chlorofilo *a* sintezę, palyginti su kontrole, tačiau jų teigiamas poveikis buvo statistiškai patikimai mažesnis nei 20 mg l⁻¹ koncentracijos.

Analogiškos tendencijos nustatytos įvertinus chlorofilo *b* pokyčius dėl kalio hidrokarbonato poveikio (2 pav.). Po 24 užmirkimo valandų daugiausia chlorofilo *b* sukaupė augalai, nupurkšti 30 mg l⁻¹ kalio hidrokarbonato tirpalu. Po 72 užmirkimo valandų didžiausias chlorofilo *b* kiekis nustatytas nupurškus augalus 20 mg l⁻¹ kalio hidrokarbonato tirpalu. 10 mg l⁻¹ kalio hidrokarbonato tirpalas skatino intensyvesnę chlorofilo *b* sintezę, o 30 mg l⁻¹ inhibavo šio pigmento kaupimąsi, palyginti su kitomis tirtosiomis koncentracijomis, tačiau statistiškai patikimai didino chlorofilo *b* kiekį, palyginti su kontrole.

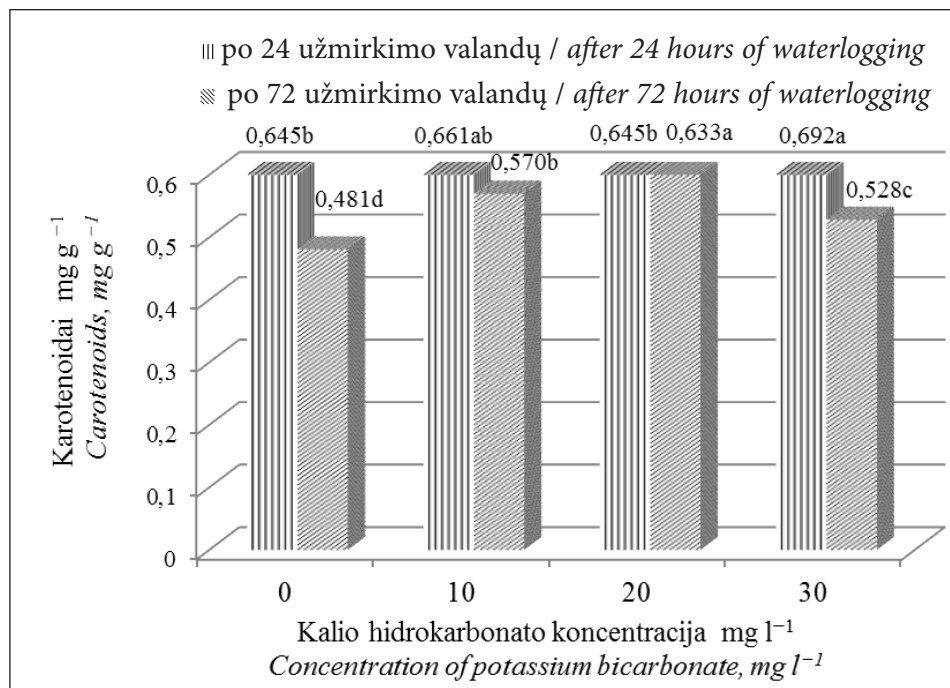
Tyrimais nustatyta, kad karotenoidų kiekis žaliosios šerytės augaluose po 24 užmirkimo valandų kito, priklausomai nuo kalio hidrokarbonato koncentracijos (3 pav.). Lyginant su kontrole, statistiškai patikimai daugiau karotenoidų sukaupė augalai, nupurkšti 30 mg l⁻¹ kalio hidrokarbona-

to tirpalu. Po 72 užmirkimo valandų daugiausia karotenoidų sukaupė augalai, nupurkšti 20 mg l⁻¹ kalio hidrokarbonato tirpalu. Kitų tirtųjų koncentracijų poveikis buvo statistiškai patikimai mažesnis. Tačiau dėl visų tirtųjų koncentracijų poveikio augalai sukaupė esmingai daugiau karotenoidų nei kontroliniai augalai.

Mokslininkai teigia, kad augalai prisitaiko prie aplinkos stresų keičiant fotosintezės pigmentų kiekius (Alexieva et al., 2003). S. Sakalauskienės (2011) tyrimuose su žirniais nustatyta, kad dėl ultravioletinės B spinduliuotės poveikio mažėjo chlorofilo *a* kiekis, tačiau aktyvėjo chlorofilo *b* ir karotenoidų kaupimasis. Karotenoidai atlieka svarbią antioksidacinę funkciją – sujungia lipidų peroksidacijos laisvuosius radikalus ir neleidžia chlorofilų molekulėms oksiduotis (Alexieva et al., 2003; Farooq et al., 2009; Jaleel et al., 2009). Mūsų tyrimais nustatyta, kad purškimas per lapus tirtosiomis kalio hidrokarbonato koncentracijomis skatino fotosintetinių pigmentų sintezę žaliosios šerytės augaluose užmirkimo sąlygomis. Didinant tirpalo koncentraciją, chlorofilų ir karotenoidų kiekiai augaluose po 24 užmirkimo valandų nuosekliai didėjo. Teigiamas



2 pav. Kalio hidrokarbonato poveikis chlorofilo *b* kiekiui žaliosios šerytės lapuose užmirkimo sąlygomis (tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$))
Fig. 2. The effect of potassium bicarbonate on the chlorophyll *b* in leaves of green foxtail under waterlogging conditions (means not sharing a common letter (a, b) are significantly different ($P < 0.05$))



3 pav. Kalio hidrokarbonato poveikis karotenoidų kiekiui žaliosios šerytės lapuose užmirkimo sąlygomis (tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$))

Fig. 3. The effect of potassium bicarbonate on the carotenoids in leaves of green foxtail under waterlogging conditions (means not sharing a common letter (a, b) are significantly different ($P < 0.05$))

kalio hidrokarbonato poveikis nustatytas sojų ir ryžių fotosintezės procesui (Yao et al., 2009; Hao et al., 2013).

Nepalankiomis aplinkos sąlygomis augaluose kaupiasi apsauginę funkciją atliekantis prolino (Patton et al., 2007; Yang et al., 2009; Kumar et al., 2010; Krasensky, Jonak, 2012). Tyrimais įrodyta, kad trūkstant drėgmės prolino apsaugo augalo ląsteles nuo dehidratacijos (Parida et al., 2007; Mohammadkhani, Heidari, 2008; Ali et al., 2013). Pagal prolino kiekybinius pokyčius augalų lapuose esant stresui galima spręsti apie augalo fiziologinę būseną.

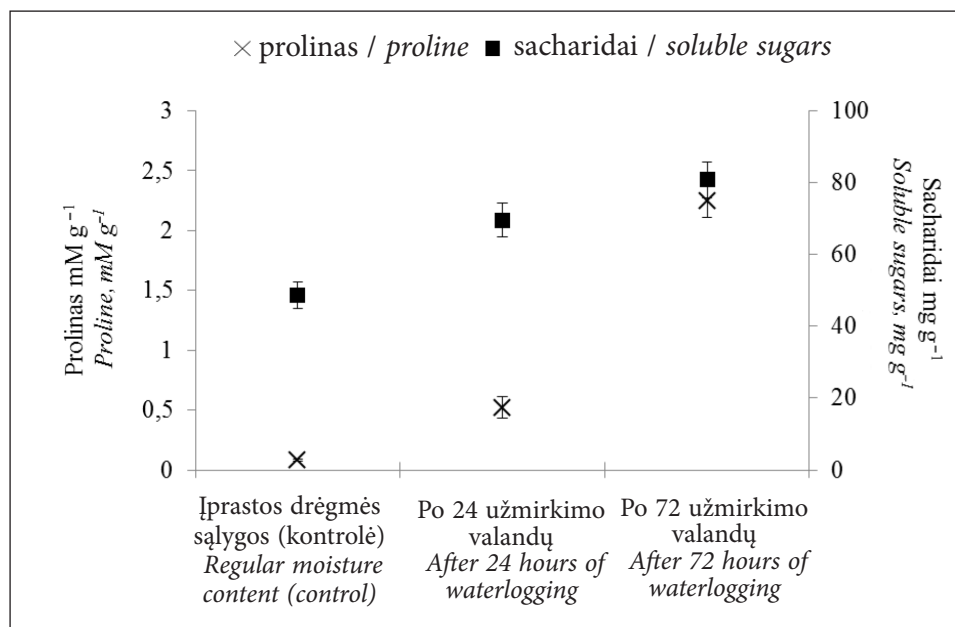
Aplinkos sąlygos taip pat lemia asimiliantų, iš jų ir sacharidų, judėjimą ir pasiskirstymą augale (Wanner, Junttila, 1999; Kaur et al., 2000). Sacharidai yra pirminės medžiagos, reikalingos augalo augimui, vystymuisi bei metabolizmui (Loreti et al., 2001; Kaplan, Guy, 2004). Dėl stresinių veiksnių angliavandeniai aktyvuoja specifinius hormoninių ir nehormoninių signalų perdavimo mechanizmus, lemiančius genų ekspresijos ir fermentų aktyvumo pokyčius (Smeekens, 2000).

Prolino ir sacharidų pokyčiai žaliosios šerytės lapuose užmirkimo sąlygomis pateikti 4 pav. Po 24 ir 72 užmirkimo valandų prolino kiekis padidėjo atitinkamai 0,44 ir 2,17 $\mu\text{M g}^{-1}$, palyginti su kontrolinio varianto augalais.

Drėgmės perteklius taip pat skatino ir sacharidų kaupimąsi. Lyginant su augalais, augintais įprastomis drėgmės sąlygomis, sacharidų kiekis po 24 ir 72 užmirkimo valandų padidėjo atitinkamai 1,43 ir 1,66 karto.

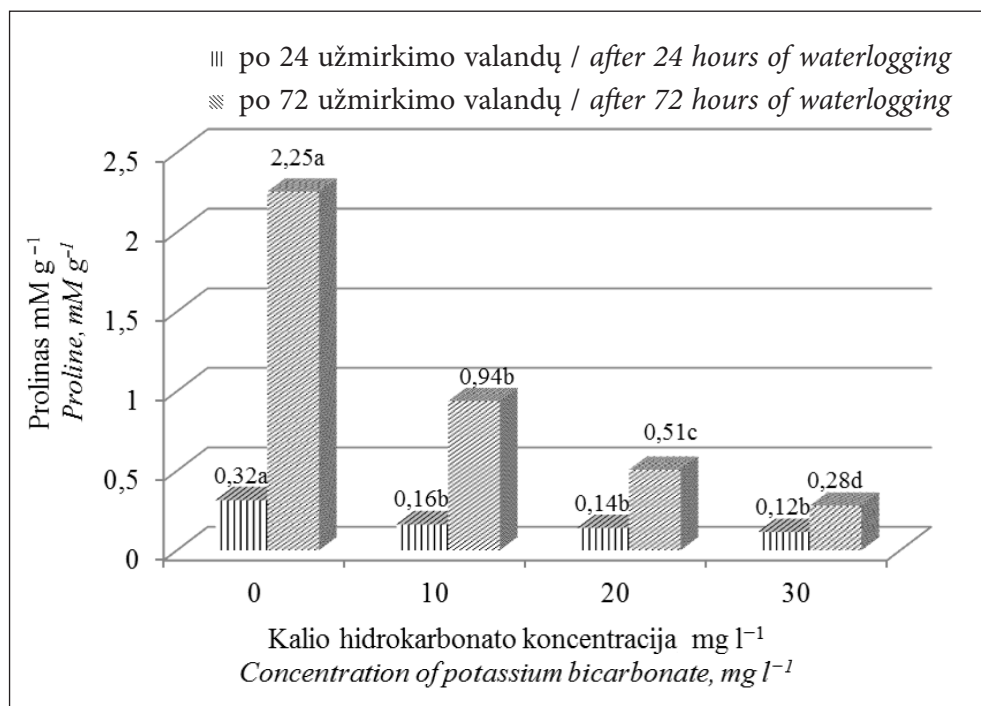
Tyrimais nustatyta, kad kalio hidrokarbonatas mažino prolino kiekį žaliosios šerytės augaluose užmirkimo sąlygomis (5 pav.). Nepriklausomai nuo kalio hidrokarbonato koncentracijos, po 24 užmirkimo valandų prolino kiekis statistiškai patikimai sumažėjo.

Po 72 užmirkimo valandų tarp tirtųjų kalio hidrokarbonato koncentracijų išryškėjo esminiai skirtumai – didinant kalio hidrokarbonato koncentraciją prolino kiekis nuosekliai mažėjo. Lyginant su kontrole, 10 ir 20 mg l^{-1} koncentracijomis, šio varianto augalai sukauptė atitinkamai 8,0; 3,6 ir 1,8 karto mažiau prolino, skirtumai esminiai ir statistiškai patikimi.



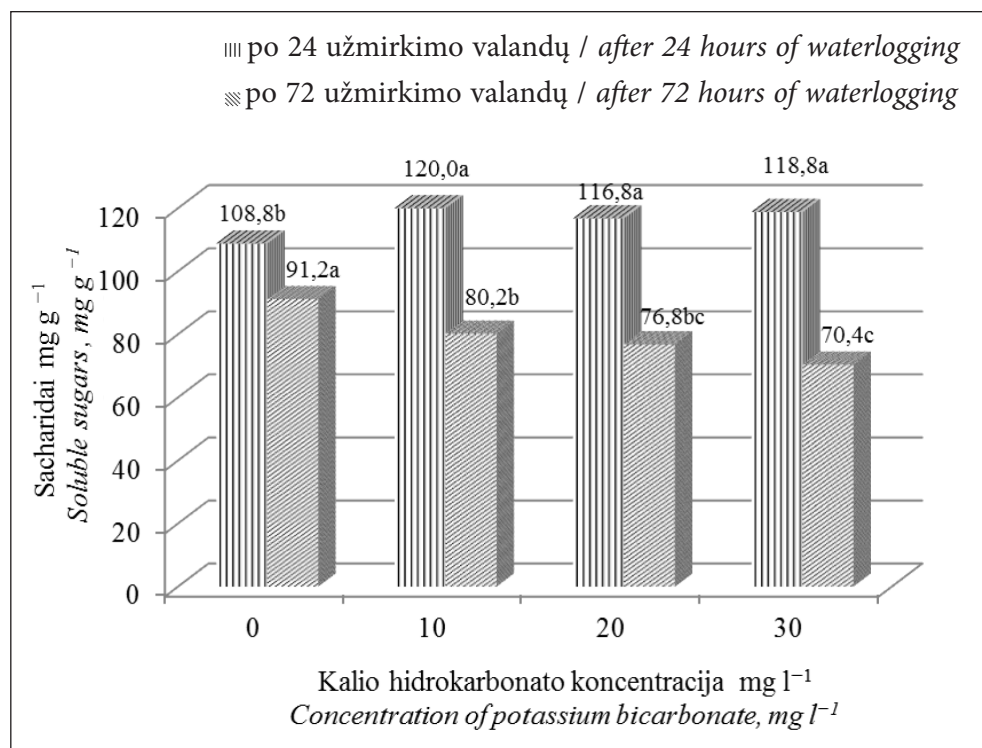
4 pav. Proline ir sacharidų kiekis žaliosios šerytės lapuose užmirkimo sąlygomis (tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$))

Fig. 4. The effect of waterlogging on the content of proline and soluble sugars in leaves of green foxtail (means not sharing a common letter (a, b) are significantly different ($P < 0.05$))



5 pav. Kalio hidrokarbonato poveikis proline kiekiui žaliosios šerytės lapuose užmirkimo sąlygomis (tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$))

Fig. 5. The effect of potassium bicarbonate on the proline content in leaves of green foxtail under waterlogging conditions (means not sharing a common letter (a, b) are significantly different ($P < 0.05$))



6 pav. Kalio hidrokarbonato poveikis sacharidų kiekiui žaliosios šerytės lapuose užmirškimo sąlygomis (tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$))

Fig. 6. The effect of potassium bicarbonate on the content of soluble sugars in leaves of green foxtail under waterlogging conditions (means not sharing a common letter (a, b) are significantly different ($P < 0.05$))

Įvertinus sacharidų kiekį nustatyta, kad po 24 užmirškimo valandų sacharidų kiekis dėl kalio hidrokarbonato poveikio padidėjo 8–11,2 mg g⁻¹ (6 pav.).

Po 72 užmirškimo valandų nustatyta, kad didinant kalio hidrokarbonato koncentraciją sacharidų kiekis nuosekliai mažėjo. Lyginant su kontrole, dėl 10; 20 ir 30 mg l⁻¹ kalio hidrokarbonato poveikio sacharidų kiekis sumažėjo atitinkamai 11; 14,4 ir 20,8 mg g⁻¹. Nustatyta, kad sausros stresą patyrę augalai sukaupia didesnius kiekius sacharidų (Krasensky, Jonak, 2012), veikiančių kaip osmolitai palaikant ląstelių turgorą, apsaugant ląstelių membranas ir baltymus nuo streso žalos (Kaplan, Guy, 2004; Mohammadkhani, Heidari, 2008). Padidėjęs sacharidų kiekis augalo lapuose dėl streso slopina fotosintezės veiklą ir lėtina augalų augimą (Wang et al., 2010; Sakalauskiene, 2011). Mūsų tyrimais nustatyta, kad tirtosios kalio hidrokarbonato koncentracijos inhibavo sacharidų kaupimąsi žaliosios šerytės augaluose dėl ilgiau trunkančio (72 val.) drėgmės pertekliaus.

IŠVADOS

1. Trumpalaikis drėgmės perteklius skatino chlorofilo *a* ir karotenoidų sintezę, tačiau inhibavo chlorofilo *b* kaupimąsi žaliosios šerytės augaluose. Ilgiau (72 val.) trunkantis užmirškimo stresas statistiškai patikimai slopino chlorofilo *a* ir karotenoidų sintezę, o chlorofilo *b* kiekiui esminės įtakos neturėjo.

2. Purškimas per lapus tirtosiomis kalio hidrokarbonato koncentracijomis skatino fotosintetinių pigmentų žaliosios šerytės augaluose drėgmės pertekliaus sąlygomis.

3. Dėl kalio hidrokarbonato poveikio žaliosios šerytės augaluose nustatyti statistiškai patikimai mažesni prolino ir sacharidų kiekiai, įrodantys, kad augalai lengviau adaptavosi prie drėgmės pertekliaus streso.

LITERATŪRA

- Alexieva V., Ivanov S., Sergiev I., Karanov E. 2003. Interaction between stresses. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. Special Issue. P. 1–17.
- Ali Q., Anwar F., Ashraf M., Saari N., Perveen R. 2013. Ameliorating effects of exogenously applied proline on seed composition, seed oil quality and oil antioxidant activity of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 14. P. 818–835.
- Armstrong W., Drew M. C. 2002. Root growth and metabolism under oxygen deficiency. In: *Plant Roots: The Hidden Half*. Eds. Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkafi. New York: Marcel Dekker. P. 729–761.
- Bailey-Serres J., Voesenek L. A. C. J. 2008. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Review of Plant Biology*. Vol. 59. P. 313–339.
- Brutnell T. P., Wang L., Swartwood K., Goldschmidt A., Jackson D., Zhu X.-G., Kellogg E., Van Eck J. 2010. *Setaria viridis*: a model for C₄ photosynthesis. *Plant Cell*. Vol. 22. No. 8. P. 2537–2544.
- Chaves M. M., Maroco J. P., Pereira J. S. 2003. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*. Vol. 30. P. 239–264.
- Colmer T. D., Voesenek L. A. C. J. 2009. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*. Vol. 36. P. 665–681.
- Doust A. N., Kellogg E. A., Devos K. M., Bennetzen J. L. 2009. Foxtail millet: a sequence-driven grass model system. *Plant Physiology*. Vol. 149. P. 137–141.
- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 29. P. 185–212.
- Gavrilenko V. F., Zigalova T. V. 2003. *Bol'shoy praktikum po fotosintezu*. Moskva: Akademiya. 256 s.
- Ghannoum O. 2009. C₄ photosynthesis and water stress. *Annals of Botany*. Vol. 103. P. 635–644.
- Hao J., Huang Ch., Lu H., Yu Y. 2013. Influence of K⁺, Na⁺ and HCO₃⁻ on photosynthesis of soybean seedlings. *The Global Journal of Science Frontier Research*. Vol. 13. No. 3. P. 2249–4626.
- Yang S. L., Lan S. S., Gong M. 2009. Hydrogen peroxide-induced proline and metabolic pathway of its accumulation in maize seedlings. *Journal of Plant Physiology*. Vol. 166. P. 1694–1699.
- Yao L., Yu Y., Hao J. J. 2009. Effects of KHCO₃ on photosynthetic rate and growth of rice seedlings. *Journal of Shenyang Agricultural University*. Vol. 40. No. 6. P. 720–722.
- Yemm E. W., Willis A. J. 1954. Estimation of carbohydrates in plant extracts by anthore. *Biochemistry*. Vol. 57. P. 508–514.
- Jackson M. B., Colmer T. D. 2005. Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of Botany*. Vol. 96. P. 501–505.
- Jaleel C. A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Somasundaram 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.
- Kacienė G. 2014. *Skirtingų veiksnių sukeliamas oksidacinis stresas ir jo įtaka vasarinių miežių (Hordeum vulgare L.) atsparumui: daktaro disertacija*. Kaunas. 109 p.
- Kaplan F., Guy C. L. 2004. Beta-amylase induction and the protective role of maltose during temperature shock. *Plant Physiology*. Vol. 135. P. 1674–1684.
- Kaur S., Gupta A. K., Kaur N. 2000. Effect of GA₃, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. *Plant Growth Regulation*. Vol. 30. P. 61–70.
- Krasensky J., Jonak C. 2012. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 63. No. 4. P. 1593–1608.
- Kumar V., Shriram V., Kavi Kishor P. B., Jawali N., Shitole M. G. 2010. Enhanced proline accumulation and salt stress tolerance of transgenic indica rice by over-expressing P5CSF129A gene. *Plant Biotechnology Reports*. Vol. 4. P. 37–48.
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology*. Springer. 513 p.
- Li Y. C., Hao J. J. 2013. The effect of KHCO₃ on photosynthesis of eggplant seedlings. *Advanced Materials Research*. Vol. 634–638. P. 1129–1134.
- Li P., Brutnell T. P. 2011. *Setaria viridis* and *Setaria italica*, model genetic systems for the panicoid grasses. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 62. No. 9. P. 3031–3037.
- Loreti E., De Bellis L., Alpi A., Perata P. 2001. Why and how do plant cells sense sugars? *Annals of Botany*. Vol. 88. P. 803–812.
- Marku L., Vrapı H., Hasani M. 2014. Effect of potassium bicarbonate (Armıcarb) on the control of apple scab (*Venturia inaequalis*) in the region of Puka in Albania. *International Refereed Journal of Engineering and Science*. Vol. 75. No. 4. P. 563–568.
- McClinchey S. L., Kott L. S. 2008. Production of mutants with high cold tolerance in spring canola (*Brassica napus*). *Euphytica*. Vol. 162. P. 18–27.
- Mohammadkhani N., Heidari R. 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. *World Applied Sciences Journal*. Vol. 3. No. 3. P. 448–453.

30. Parida K. A., Dagaonkar S. V., Phalak S. M., Umalkar V. G., Aurangabadkar P. L. 2007. Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnology*. Vol. 1. P. 37–48.
31. Patton A. J., Cunningham S. M., Volenec J. J., Reicher Z. J. 2007. Differences in freeze tolerance of zoysiagrasses: II carbohydrates and proline. *Crop Science*. Vol. 47. P. 2170–2181.
32. Sakalauskiene S. 2011. *Kintančio klimato ir aplinkos veiksnių kompleksinio poveikio žirnių fiziologiniams rodikliams modeliavimas*: daktaro disertacija. Kaunas: Akademija. 88 p.
33. Smeekens S. 2000. Sugar-induced signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. Vol. 51. P. 49–81.
34. Tarakanovas P., Raudonius S. 2003. *Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, SPLIT-PLOT iš paketo „Selekcija“ ir „Irristat“*. Akademija, Kėdainių r. 57 p.
35. Voesenek L. A. C. J., van Veen H., Sasidharan R. 2014. Learning from nature: the use of non-model species to identify novel acclimations to flooding stress. *AoB PLANTS. Plant Responses to Low-Oxygen Environments*. Special Issue. P. 1–15.
36. Wang G. P., Li F., Zhang J., Zhao M. R., Hui Z., Wang W. 2010. Overaccumulation of glycine betaine enhances tolerance of the photosynthetic apparatus to drought and heat stress in wheat. *Photosynthetica*. Vol. 48. No. 1. P. 30–41.
37. Wanner L. A., Junttila O. 1999. Cold-induced freezing tolerance in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. Vol. 120. P. 391–400.
38. Wenneker M., Kanne J. 2010. Effect of potassium bicarbonate on the control of powdery mildew (*Sphaerotheca mors-uvae*) of gooseberry (*Ribes uva-crispa*). *Communication in Agricultural and Applied Biological Sciences*. Vol. 75. No. 4. P. 563–568.
39. Wreford A., Adger W. N. 2010. Adaptation in agriculture: historic effects of heat waves and droughts on UK agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*. Vol. 8. No. 4. P. 278–289.
40. Zheng C., Jiang D., Liu F., Dai T., Jing Q., Cao W. 2009. Effects of salt and waterlogging stresses and their combination on leaf photosynthesis, chloroplast ATP synthesis, and antioxidant capacity in wheat. *Plant Science*. Vol. 176. P. 575–582.

Rimanta Vainorienė, Natalija Burbulis, Vaida Jonytienė, Aušra Blinstrubienė, Vytautas Rauckis

THE EFFECT OF POTASSIUM BICARBONATE ON RESISTANCE OF GREEN FOXTAIL TO MOISTURE EXCESS

Summary

Abiotic stresses, which generally inhibit plant growth and development, are responsible for more than 50% yield loss worldwide. Even short moisture excess conditions can cause stress in many plants. Green foxtail, having the smallest genome and the shortest life cycle, is a very valuable model of plants for *in vivo* experiments. The study was carried out at the ASU JRC Laboratory of Agrobiotechnology. The effect of potassium bicarbonate on photosynthetic pigments, soluble sugar and proline content in green foxtail under moisture excess conditions was evaluated. Short-time moisture excess stimulated chlorophyll *a* and carotenoids, but inhibited the accumulation of chlorophyll *b* in green foxtail plants. Longer (72 hours) excessive moisture stress significantly inhibited chlorophyll *a* and carotenoids while the amount of chlorophyll *b* was not significantly influenced. Treatments by tested potassium bicarbonate concentrations stimulated photosynthetic pigment synthesis and ensured a more stable photosynthesis system of green foxtail plants under moisture excess conditions. Potassium bicarbonate significantly decreased proline and soluble sugar contents in green foxtail plants, indicating that plants are more easily adapted to excessive moisture stress.

Keywords: photosynthetic pigments, potassium bicarbonate, proline, soluble sugars, moisture excess conditions, green foxtail