

APLINKOS TEMPERATŪROS IR SUBSTRATO DRĖGMĖS POVEIKIS VASARINIŲ MIEŽIŲ FIZIOLOGINIAMS RODIKLIAMS

Gintarė ŠABAJEVIENĖ¹, Sandra SAKALAUSKIENĖ¹, Sigitas LAZAUSKAS²,
Povilas DUCHOVSKIS^{1,3}, Akvilė URBONAVIČIŪTĖ^{1,3}, Giedrė
SAMUOLIENĖ^{1,3}, Raimonda ULINSKAITĖ¹, Jurga SAKALAUSKAITĖ¹,
Aušra BRAZAITYTĖ¹, Virmantas POVILAITIS²

¹Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės institutas
Kauno g. 30, Babtai, Kauno r. sav.
El. paštas: s.sakalauskiene@lsdi.lt

²Lietuvos žemdirbystės institutas
Instituto al. 1, Akademija, Kėdainių r. sav.
El. paštas: sigislaz@lzi.lt

³Lietuvos žemės ūkio universitetas
Studentų g. 11, Akademija, Kauno r. sav.

Santrauka

Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto fitotronų komplekse 2007 m. atliktų tyrimų tikslas – įvertinti temperatūros ir substrato drėgnio poveikį biomasės ir angliavandenių kitimui miežių augaluose. Vasariniai miežiai (*Hordeum vulgare* L.) 'Luokė' auginti 5 litrų vegetaciniuose induose šiltnamyje iki III–IV ir VI–VII organogenezės tarpsnių. Po to perkelti į kontroliuojamo klimato kameras ir 10 dienų auginti nevienodos temperatūros (+21/14 °C bei +30/23 °C dieną / naktį) ir substrato drėgnio (normalaus 40–45 % ir sausoko <10 %) sąlygomis. Analizės atliktos prieš poveikį, po poveikio ir po 7 dienų regeneracijos šiltnamyje.

Drėgmės deficitas neigiamai paveikė augalų žalios ir sausos masės prieaugį esant abiem temperatūros režimams, tačiau poveikis sausos masės prieaugiui buvo ne toks akivaizdus. Drėgmės deficito sąlygomis padidėjo monosacharidų kaupimasis augalų lapuose. Bendras sausros ir didelės temperatūros poveikis lėmė dar intensyvesnį sacharidų (fruktozės, gliukozės, sacharozės) kaupimąsi. Į temperatūros ir drėgmės režimo sukeltą stresą reakcijos kompensaciniai mechanizmai ryškesni jaunų (III–IV organogenezės tarpsnio) miežių augalų. Jų sacharidų metabolizmo sistema lankstesnė, geriau prisitaiko prie pakitusių sąlygų. Ryškus žalios masės mažėjimas ir padidėjęs sacharidų kiekis kompleksinio drėgmės deficito ir temperatūros poveikio paveiktų miežių lapuose leidžia manyti, kad tirpių angliavandenių metabolizmas lemia polisacharidų degradacijos procesus ir naujų junginių sintezę.

Reikšminiai žodžiai: sacharidai, sausra, sausa masė, temperatūra, vasariniai miežiai, žalia masė.

Įvadas

Vasariniai miežiai yra vieni svarbiausių žemės ūkio augalų, svarbi pašarų, maisto, salyklo gamybos žaliava. Šiems augalams itin reikšmingi vykstantys klimato pokyčiai dėl galimo poveikio derliui ir grūdų kokybei. Vasarinių miežių derlius ir ypač

kokybė gali gerokai nukentėti ne tik nuo ilgalaikių, bet ir nuo trumpalaikių nepalankių meteorologinių sąlygų. Kintant klimatui vis dažniau pasireiškiančios trumpalaikės sausras ir kaitros bangos didina vasarinių miežių, ypač salyklinių, augintojų ir perdirbėjų verslo riziką.

Viena aktualiausių mokslo problemų – lauko augalų prisitaikymas prie kintančių gamtinės aplinkos sąlygų. Augalų reakcijos į sausras sąlygas tyrimai tampa itin svarbūs dėl didėjančio vandens stygiaus žemėje. Sausros ir didelės temperatūros bei radiacijos sąveika yra vienas didžiausių derlių mažinančių veiksnių /Boyer, 1982; Bray et al., 2000/. Yra darbų apie šių stresorių poveikį kukurūzams, soroms ir keletui žolinių augalų. Dažniausias vandens streso padarinys augalams yra fotosintezės ir augimo sulėtėjimas, sąlygotas anglies ir azoto metabolizmo pakitimų /Cornic, Massacci, 1996; Mwanamwenge et al., 1999/. Didelė temperatūra greitina augalo organų vystymąsi, trumpina atskirų jo vystymosi tarpsnių trukmę, todėl galutinė biomasės produkcija gali būti mažesnė /Lawlor, Cornic, 2002/. Kompleksinis sausras ir didelės temperatūros poveikis augalams pasižymi specifiniu fiziologiniu aspektu. Stiprus kvėpavimas ir silpna fotosintezė stabdo žiotelių varstymąsi ir didina lapo temperatūrą /Rizhsky et al., 2002/. Vykstant tokį stresą patyrusių augalų metabolizmui, didelę reikšmę turi ir krakmolo skaidymas, susijęs su mitochondrijų energijos gamyba /Rizhsky et al., 2002., Rizhsky et al., 2004/.

Aplinkos sąlygos taip pat veikia asimiliatų judėjimą ir pasiskirstymą augale /Hare et al., 1999; Thomashow, 1999; Wanner, Junttila, 1999; Kaur et al., 2000/. Tai lemia biomasės kaupimąsi ir angliavandenių, kaip augalo būklę indikuojančių molekulių, pasiskirstymą augale. Tirpūs angliavandeniai, ypač gliukozė ir fruktozė, daro didelę įtaką augalo struktūrų formavimuisi ir ląstelių bei viso organizmo metabolizmui. Jie dalyvauja augalui reaguojant į daugelį stresorių kaip maisto medžiaga ir kaip signalą perduodančios molekulės, aktyvuojančios specifinius hormoninių ir nehormoninių signalų perdavimo kelius, lemiančius svarbias genų ekspresijos modifikacijas ir fermentų aktyvumą /Smeekens, 2000/. Nors sacharidų signalų perdavimo ir genų ekspresijos mechanizmai dar nėra visiškai ištirti, atrodo, kad jie palaiko su biosinteze ir rezervų kaupimusi susijusių genų raišką ir slopina genus, atsakingus už fotosintezę ir atsargų mobilizavimą /Ho et al., 2001/.

Kad palaikytų augimą ir produktyvumą, augalai turi prisitaikyti prie streso sąlygų ir išsiugdyti specifinius tolerancijos mechanizmus /Wang et al., 2003/. Augalų reakcija priklauso nuo jų rūšies, išsivystymo lygio bei įvairių stresorių poveikio stiprumo /Blum et al., 1996/. Esant nepalankiems aplinkos veiksniams, sutrinka augalų fiziologiniai procesai, dėl to vyksta produktyvumo elementų redukcija. Pastebėta, kad įvairiais organogenezės tarpsniais augalai nevienodai jautrūs nepalankioms aplinkos sąlygoms. IV (žiedyno ašies formavimosi) ir VI–VII (gametogenezės procesų) tarpsniai yra kritiniai dėl drėgmės deficito /Куперман и др., 1982; Žebrauskienė ir kt., 2003/. Nėra tikslaus modelio, atskleidžiančio, kaip augalai reaguoja į kintančias aplinkos sąlygas, ir leidžiančio nuspėti jų prisitaikymą. Nors sausra ir didelė temperatūra dažniausiai veikia kartu, tačiau šių veiksnių poveikis augalų vystymuisi yra tyrinėjamas atskirai.

Vienas iš globalių klimato pokyčių ypatumų – dažnėjančios kaitros bangos bei drėgmės stoka vasaros laikotarpiu. Lauko sąlygomis negalima tinkamai ištirti didelės temperatūros poveikio augalams, nes didėjanti oro temperatūra yra susijusi su didesne

saulės spinduliuotės emisija. Todėl šis tyrimas atliktas reguliuojamo klimato sąlygomis, siekiant iširti temperatūros ir drėgmės režimo poveikį biomasės bei sacharidų kitimui miežiuose.

Tyrimų sąlygos ir metodai

Vegetaciniai bandymai 2007 m. atlikti Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijos fitotronų komplekse. Vasariniai miežiai 'Luokė' (*Hordeum vulgare* L.) auginti po dvidešimt augalų 5 l talpos vegetaciniuose induose. Substratas paruoštas iš durpių (pH 6–6,5) ir smėlio, juos sumaišius santykiu 3:1. Nuo sudygimo iki III–IV ir VI–VII organogenezės tarpsnių augalai auginti šiltnamyje, kuriame naudotas natūralus apšvietimas, temperatūra dieną buvo +25–30 °C, o naktį – +15–20 °C, substratas normalaus (40–45 %) drėgnio. Po to pernešti į fitokameras, kuriose buvo palaikomas 16 h fotoperiodas, apšvietimui naudotos „Son-T-Agro“ („Philips“) lempos. Organogenezės tarpsniai nustatyti pagal F. Kupermaną /Куперман и др., 1982/.

Bandymas vykdytas pagal tokią schemą:

1. Normalaus drėgnio substratas, temperatūra +21/14 °C.
2. Normalaus drėgnio substratas, temperatūra +30/23 °C.
3. Sausokas substratas, temperatūra +21/14 °C.
4. Sausokas substratas, temperatūra +30/23 °C.

Miežiai 10 dienų poveikiui buvo perkelti į fitotroną jiems pasiekus:

- A. III–IV organogenezės tarpsnį.
- B. VI–VII organogenezės tarpsnį.

Bandymas atliktas vieną kartą penkiais pakartojimais.

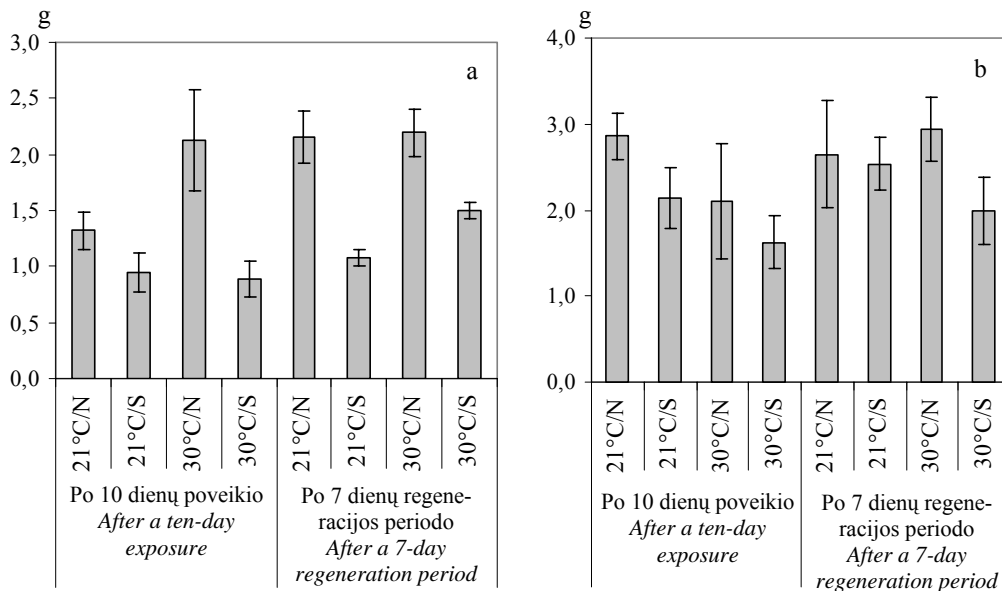
Substrato normalaus (40–45 %) drėgnio ir sausros (<10 %) efektas buvo tirtas esant dviem temperatūros režimams (+21/14 °C ir +30/23 °C dieną / naktį). Substrato drėgnis kasdien rytą matuotas „Delta-T Devices“ dirvos drėgnio matuokliu HH2 ir laistyta atitinkamai pagal drėgnomačio rodmenis. Poveikio trukmė – 10 dienų. Paveikti augalai tuoj pat perkelti atgal į šiltnamį, kur visiems buvo sudarytos vienodos normalaus (40–45 %) substrato drėgnio (naudotas natūralus apšvietimas, temperatūra dieną buvo +25–30 °C, o naktį – +15–20 °C) sąlygos ir septynias dienas buvo stebima jų regeneracija.

Biomasei nustatyti iš 5, o sacharidų analizėms iš 3 kiekvieno varianto puodų atsitiktine tvarka buvo atrinkti 5 augalai. Atskirai atlikta kiekvieno pakartojimo analizė prieš poveikį, po poveikio ir po 7 dienų regeneracijos periodo. Sacharidų analizei atrinkti visiškai išsivystę lapai. Bandiniai ruošti sutrinant 1–2 g žalios masės ir praskiedžiant 4 ml bidistiliuoto vandens. Ekstrahuota 12 val., bandinys filtruotas naudojant 0,2 µm filtrus. Fruktozės, gliukozės, sacharozės bei maltozės analizės atliktos „Shimadzu HPLC 10A“ modelio chromatografu su refrakcijos indekso detektoriumi (RID 10A), kolona termostatuota +26 °C temperatūroje. Skirstymas atliktas „Adsorbosil NH₂“ kolonėle (150 x 4,6 mm). Judrioji fazė – 75 % acetonitrilas. Tėkmės greitis – 1 ml/min.

Paveiksluose pavaizduoti vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai apskaičiuoti biometrinėms analizėms rekomenduojamais metodais /Sokal, Rohlf, 2000/. Ar skirtumai tarp variantų yra esminiai, nustatyta atlikus dispersinę analizę pagal F kriterijų ir mažiausio esminio skirtumo ribą R.

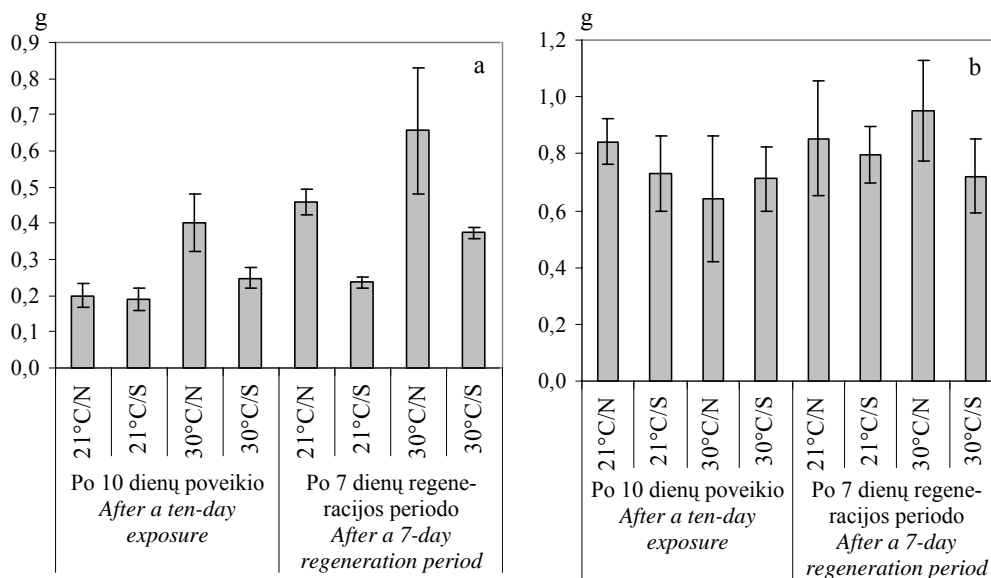
Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Vandens trūkumo stresas yra vertinamas kaip vienas pagrindinių augalų augimą ir derlių ribojančių aplinkos veiksnių /Chaves et al., 2003/. Atlikus tyrimus su miežiais nustatyta, kad drėgmės deficitas III–IV ir VI–VII organogenezės tarpsniais iš esmės ($p < 0,05$) mažina augalų žalios masės prieaugį esant abiem temperatūros režimams, tačiau poveikis sausos masės prieaugiui buvo mažiau akivaizdus (1 a, 2 a pav.). Nors kiti tyrėjai teigia, kad kompleksinis sausros ir didelės temperatūros poveikis augalo augimui bei produktyvumui daro gerokai didesnę žalą nei šie veiksniai atskirai /Craufurd, Peacock, 1993; Perdomo et al., 1996; Jiang, Huang, 2001; Wang, Huang, 2004/, tyrimo metu didesnė temperatūra augalo žalios ir sausos masės labai nesumažino, o VI–VII organogenezės tarpsniais netgi padidino (1 pav.). Tai leidžia manyti apie kompensacinių mechanizmų veikimą augale.



1 paveikslas. Žalia masė esant įvairiems temperatūros ir drėgmės režimo deriniams. N – normalaus drėgumo (40–45 %), S – sausokas (<10 %) substratas; a – III–IV organogenezės tarpsnis, b – VI–VII organogenezės tarpsnis

Figure 1. The fresh weight as affected by different moisture and temperature regime. N – substrate of normal moisture (40–50 %), S – dryish (<10 %); a – at III–IV stages of organogenesis, b – at VI–VII stages of organogenesis

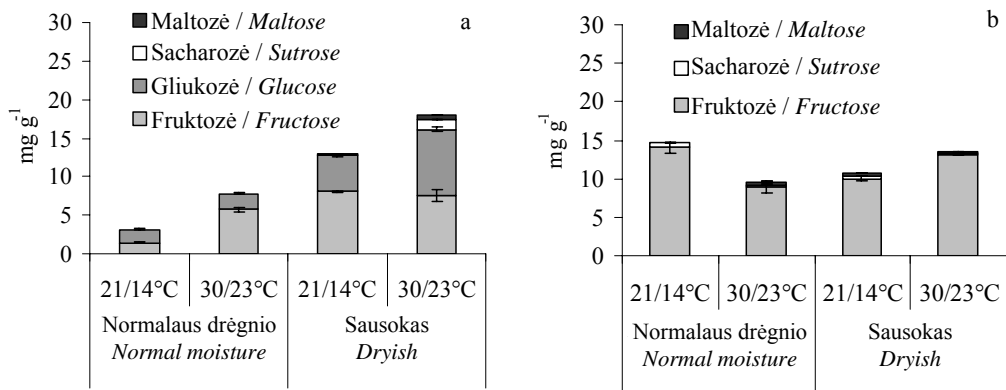


2 paveikslas. Sausa masė esant įvairiems temperatūros ir drėgmės režimo deriniams. N – normalaus drėgumo (40–45 %), S – sausokas (<10 %) substratas; a – III–IV organogenezės tarpsnis, b – VI–VII organogenezės tarpsnis

Figure 2. The dry weight as affected by different moisture and temperature regime. N – substrate of normal moisture (40–50 %), S – dryish (<10 %); a – at III–IV stages of organogenesis; b – at VI–VII stages of organogenesis

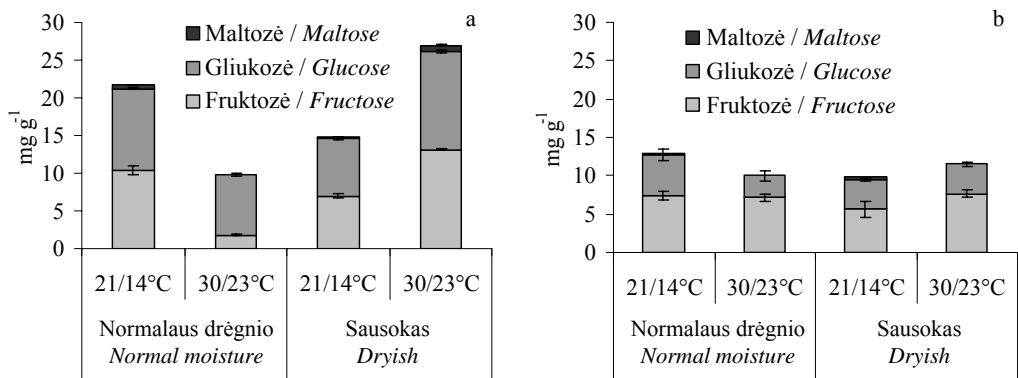
Po 7 dienų regeneracijos periodo miežių, prieš tai 10 dienų augintų trūkstant drėgmės, žalia ir sausa masė buvo mažesnė nei augusių esant pakankamai drėgmės (1 b ir 2 b pav.). Dėl kompleksinio vandens deficito ir aukštesnės temperatūros poveikio augalai savo gyvybinį potencialą panaudojo realizuoti kompensaciniams mechanizms.

Angliavandenių kiekio kitimas augaluose priklauso nuo genotipo, augimo sąlygų ir streso stiprumo /Chaves et al., 2003/. Drėgmės deficitas III–IV organogenezės tarpsnį pasiekusiuose miežiuose skatino maltozės ir heksozių (gliukozės bei fruktozės) kaupimąsi (3 a pav.). Vandens deficito paveiktuose lapuose dėl sumažėjusios anglies asimiliacijos padidėjo tirpių sacharidų koncentracija (3 a pav.). Adaptacijos procesų metu panaudotas krakmolos, kurio kiekis sausros metu augaluose gerokai sumažėja /Chaves, 1991; Liu et al., 2004/. Tokia reakcija palaiko osmoreguliaciją, sustiprina išdžiūvimo toleranciją ir leidžia jauniems lapams greičiau atgauti metabolinį aktyvumą /Chaves et al., 2003/. Esant +30/23 °C temperatūrai, vandens deficitas lėmė ir sacharozės kiekio padidėjimą (3 pav.). Paprasti sacharidai, pavyzdžiui, sacharozė, gliukozė, fruktozė, yra efektyvūs genų raiškos reguliatoriai /Koch et al., 1992/. Sacharidų akumuliacija kaupiamuosiuose audiniuose reguliuoja fotosintezę ir taip palaiko homeostazę. Tai sąlygoja sacharidų metabolizmo prisitaikymą prie kintančių aplinkos sąlygų ir kitų maisto medžiagų įsisavinimą /Rolland et al., 2002/.



3 paveikslas. Angliavandenių kiekybinė sudėtis III–IV organogenezės tarpsnio įvairių temperatūros bei drėgmės režimo derinių paveiktų miežių lapuose (mg g^{-1} žalios masės); a – matavimai atlikti po 10 dienų trukusio poveikio, b – matavimai atlikti po 7 dienų regeneracijos periodo

Figure 3. The quantitative composition of carbohydrates in leaves of spring barley, exposed to different conditions of moisture and temperature, at III–IV stages of organogenesis (mg g^{-1} fresh weight); a – measurement after a 10-day exposure, b – measurement after a 7-day regeneration period



4 paveikslas. Angliavandenių kiekybinė sudėtis VI–VII organogenezės tarpsnio įvairių temperatūros bei drėgmės režimo derinių paveiktų miežių lapuose (mg g^{-1} žalios masės); a – matavimai atlikti po 10 dienų trukusio poveikio, b – matavimai atlikti po 7 dienų regeneracijos periodo

Figure 4. The quantitative composition of carbohydrates in leaves of spring barley, exposed to different conditions of moisture and temperature, at VI–VII stages of organogenesis (mg g^{-1} dry weight); a – measurement after a 10-day exposure, b – measurement after a 7-day regeneration period

Tiriant sausros poveikį, dažnai pastebimas krakmolo kiekio padidėjimas ir tirpių sacharidų kaupimasis augale. Šis procesas reprezentuoja augalo reakciją į sausrą ir

apsisaugojimą nuo jos /Da Matta et al., 1997; Pelleschi et al., 1997; Vu et al., 1998; Basu et al., 1999/. Tačiau prie aplinkos stresorių augalai prisitako pagal individualią augalo būseną. Tyrimo metu, vertinant drėgmės deficito ir didesnės temperatūros poveikį angliavandenių metabolizmui, pastebėta, kad reakciją nulėmė augalų išsivystymo lygis. Veikiant drėgmės deficitui arba didesnei temperatūrai, bendras sacharidų kiekis VII organogenezės tarpsnį pasiekusių miežių lapuose sumažėjo. Juose dominavo heksozės. Stresorių kompleksinį poveikį patyrusių miežių lapuose nustatytas gerokai didesnis fruktozės ir gliukozės kiekis. Taip pat aptikta maltozės pėdsakų (4 a pav.). Sacharozės ir kitų sacharidų, pavyzdžiui, gliukozės bei maltozės, kaupimasis kompleksiskai temperatūros ir sausros paveiktuose augaluose aptiriamas ir kitų autorių darbuose /Rizhsky et al., 2004/.

Po 7 dienų regeneracijos periodo kaupiamų angliavandenių kiekis suvienodėjo (3 b, 4 b pav.). Jaunesniuose miežiuose padaugėjo fruktozės, tačiau gerokai sulėtėjo likusių tirtų angliavandenių kaupimasis (3 b pav.). Daugiausia sacharidų aptikta optimaliomis sąlygomis augusių miežių lapuose. Nedaug atsiliko ir patyrę didelės temperatūros bei drėgmės deficito poveikį augalai (3 b, 4 b pav.). Ryškus žalios masės sumažėjimas ir šių augalų lapuose padidėjęs sacharidų kiekis leidžia manyti, kad dėl patirto streso sacharidų metabolizmas gali veikti kaip dinamiškas procesas, sąlygojantis polisacharidų degradacijos procesus ir naujų junginių sintezę /Silva, Arrabaça, 2004/.

Išvados

1. Drėgmės deficitas iš esmės neigiamai paveikė vasarinių miežių žalios masės prieaugį esant abiem temperatūros režimams (+21/14 °C ir +30/23 °C dieną / naktį), tačiau poveikis sausos masės prieaugiui nebuvo toks akivaizdus.

2. Drėgmės deficito sąlygomis monosacharidų kaupimasis miežių lapuose padidėjo. Tai sietina su angliavandenių metabolizmo sistemos dalyvavimu reakcijos į stresą generavimo ir adaptacijos procesuose.

3. Reakcijos į temperatūros ir drėgmės režimo sukeltą stresą kompensaciniai mechanizmai ryškesni jaunų (III–IV organogenezės tarpsnio) miežių augalų. Jų sacharidų metabolizmo sistema lankstesnė, geriau prisitaiko prie pakitusių sąlygų.

4. Ryškus žalios masės mažėjimas ir didesnis sacharidų kiekis kompleksinio drėgmės deficito ir temperatūros paveiktų miežių lapuose leidžia manyti, kad sacharidų metabolizmas lemia polisacharidų degradacijos procesus ir naujų junginių sintezę.

Padėka

Dėkojame Lietuvos žemės ūkio ministerijai ir Valstybiniam mokslo ir studijų fondui už finansinę paramą atliekant šiuos tyrimus.

Gauta 2008-08-11

Pasirašyta spaudai 2008-11-10

LITERATŪRA

1. Basu P. S., Sharma A., Garg I. D. et al. Tuber sink modifies photosynthetic response in potato tuber under water stress // *Environmental and Experimental Botany*. – 1999, vol. 42, p. 25–39
2. Blum A., Munns R., Passioura J. B. et al. Genetically engineered plants resistant to soil drying and salt stress: how to interpret osmotic relations? // *Plant Physiology*. – 1996, vol. 110, p. 1051
3. Boyer J. S. Plant productivity and environment // *Science*. – 1982, vol. 218, p. 443–448
4. Bray E. A., Bailey-Serres J., Weretilnyk E. Responses to abiotic stresses // *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. – 2000, p. 1158–1249
5. Chaves M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation // *Journal of Experimental Botany*. – 1991, vol. 42, p. 1–16
6. Chaves M. M., Maroco J. P., Pereira J. S. Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant // *Functional Plant Biology*. – 2003, vol. 30, p. 239–264
7. Cornic G., Massacci A. Leaf photosynthesis under drought stress // *Photosynthesis and the Environment*. – 1996, vol. 5, p. 347–366
8. Craufurd P. Q., Peacock J. M. Effect of heat and drought stress on sorghum // *Experimental Agriculture*. – 1993, vol. 29, p. 77–86
9. Da Matta F. M., Maestri M., Mosquim P. R. et al. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions // *Plant Science*. – 1997, vol. 128, p. 43–50
10. Fulai L., Jensen C. R., Andersen M. N. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set // *Field Crops Research*. – 2004, vol. 86, iss. 1, p. 1–13
11. Hare P. D., Cress W. A., Van Staden J. Proline synthesis and degradation: a model system for elucidating stress-related signal transduction // *Journal of Experimental Botany*. – 1999, vol. 50, p. 413–434
12. Ho S. L., Chao Y. C., Tong W. F. et al. Sugar coordinately and differentially regulates growth- and stress-related gene expression via a complex signal transduction network and multiple control mechanisms // *Plant Physiology*. – 2001, vol. 125, p. 877–890
13. Jiang Y., Huang B. Drought and heat stress injury to two cool season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation // *Crop Science*. – 2001, vol. 41, p. 436–442
14. Kaur S., Gupta A. K., Kaur N. Effect of GA₃, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress // *Plant Growth Regulation*. – 2000, vol. 30, p. 61–70
15. Koch K. E. Carbohydrate-modulated gene expression in plants // *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. – 1996, vol. 47, p. 509–540
16. Koch K. E., Nolte K. D., Duke E. R. et al. Sugar levels modulate differential expression of maize sucrose synthase genes // *The Plant Cell*. – 1992, vol. 4, p. 59–69
17. Lawlor D. W., Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants // *Plant Cell Environment*. – 2002, vol. 25, p. 275–294
18. Liu X. N., Baird W. V., Kit L. C. Identification of a novel gene, HAABRC5, from *Helianthus annuus* (*Asteraceae*) that is upregulated in response to drought, salinity, and abscisic acid // *American Journal of Botany*. – 2004, vol. 91, p. 184–191
19. Mwanamwenge J., Loss S. P., Siddique K. H. M., Cocks P. S. Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) // *European Journal of Agronomy*. – 1999, vol. 11, p. 1–11

20. Pelleschi S., Rocher J.P., Prioul J.L. Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves // *Plant Cell Environment*. – 1997, vol. 40, p. 493–503
21. Perdomo P., Murphy J. A., Berkowitz G. Physiological changes associated with performance of Kentucky bluegrass cultivars during summer stress // *Horticulture Science*. – 1996, vol. 31, p. 1182–1186
22. Rizhsky L., Liang H., Mittler R. The combined effect of drought and heat shock on gene expression in tobacco // *Plant Physiology*. – 2002, vol. 130, p. 1143–1151
23. Rizhsky L., Liang H., Shuman J. et al. When defense pathways collide: the response of *Arabidopsis* to a combination of drought and heat stress // *Plant Physiology*. – 2004, vol. 134, p. 1683–1696
24. Rolland F., Moore B., Sheen J. Sugar sensing and signaling in plants // *The Plant Cell*. – 2002, vol. 14, p. 185–205
25. Silva J.M., Arrabaça M.C. Contributions of soluble carbohydrates to the osmotic adjustment in the C₄ grass *Setaria sphacelata*: a comparison between rapidly and slowly imposed water stress // *Journal of Plant Physiology*. – 2004, vol. 161, p. 551–555
26. Smekens S. Sugar-induced signal transduction in plants // *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. – 2000, vol. 51, p. 49–81
27. Sokal R. R., Rohlf F. J. *Biometry*. – New York, 2000. – 887 p.
28. Thomashow M. F. Plant cold acclimation: freezing tolerance genes end regulatory mechanisms // *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. – 1999, vol. 50, p. 571–599
29. Vu J. C. V., Baker J. T., Pennanen A. H. et al. Elevated CO₂ and water deficit effects on photosynthesis, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, and carbohydrate metabolism in rice // *Physiologia Plantarum*. – 1998, vol. 103, p. 327–339
30. Wang Y., Mopper S., Hasenstein K. H. Effects of salinity on endogenous ABA, IAA, JA and SA in *Iris hexagona* // *Journal of Chemical Ecology*. – 2003, vol. 27, p. 327–342
31. Wang Z. L., Huang B. R. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress // *Crop Science*. – 2004, vol. 44, p. 1729–1736
32. Wanner L. A., Junttila O. Cold-induced freezing tolerance in *Arabidopsis* // *Plant Physiology*. – 1999, vol. 120, p. 391–399
33. Žebrauskienė A., Duchovskis P., Kmitienė L. ir kt. Drėgmės deficito įvairiais organogenezės etapais įtaka valgomųjų svogūnų sėklojų morfogenezei, sėklų derliui ir kokybei // *Sodininkystė ir daržininkystė*. – 2003, t. 22, Nr. 2, p. 102–112
34. Куперман Ф. М., Ржанова Е. И., Мурашев В. В. и др. Биология развития культурных растений. – Москва, 1982. – 342 p.

THE EFFECT OF AMBIENT AIR TEMPERATURE AND SUBSTRATE MOISTURE ON THE PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF SPRING BARLEY

G. Šabajevienė, S. Sakalauskienė, S. Lazauskas, P. Duchovskis, A. Urbonavičiūtė, G. Samuolienė, R. Ulinskaitė, J. Sakalauskaitė, A. Brazaitytė, V. Povilaitis

Summary

Experiments were conducted at the Lithuanian Institute of Horticulture's phytotron complex in 2007. The objective of this study was to evaluate the effect of temperature and water stress on carbohydrate content in spring barley cv. 'Luokė' (*Hordeum vulgare* L.). The barley cv. 'Luokė' was grown in 5-liter pots in a greenhouse until organogenesis stages III–IV and VI–VII. Then the pots were transferred to a climate chamber and grown for 10 days at different temperature (+21/14°C and +30/23°C day/night) and moisture regime conditions. Analyses were made before and after exposure, and after a 7-day regeneration period in the greenhouse.

The shortage of moisture exerted a negative effect on plant biomass increase at both temperature regimes. Spring barley carbohydrate metabolism system takes part in the process of plant adaptive response to stress. This is confirmed by an increased accumulation of monosugars in leaves resulting from the high temperature and moisture deficit. Compensatory mechanisms are more expressed in young plants (III–IV organogenesis stages). Their sugar metabolism system is more flexible and better adapted to the changed conditions. Reduced biomass and induced soluble sugar accumulation in barley leaves affected by high temperature and water deficit could be attributed to the fact that carbohydrate metabolism involves polysaccharide degradation and synthesis of new compounds.

Keywords: barley, carbohydrates, fresh weight, drought, dry weight, temperature.