

Kompleksinis aplinkos veiksnių poveikis sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) fiziologiniams rodikliams organogenezės III–IV etapais

Sandra SAKALAUSKIENĖ¹, Aušra BRAZAITYTĖ¹, Gintarė ŠABAJEVIENĖ¹,
Sigitas LAZAUSKAS², Jurga SAKALAUSKAITĖ¹, Akvilė URBONAVIČIŪTĖ¹,
Giedrė SAMUOLIENĖ¹, Pavelas DUCHOVSKIS¹

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: sigitaslaz@lzi.lt

Santrauka

Tyrimų tikslas – ištirti kompleksinių temperatūros ir drėgmės režimų poveikį žirnių fiziologiniams rodikliams. Vegetaciniai bandymai atlikti 2007 m. Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijos fitotronų komplekse. Tirtas veislės 'Pinochio' sėjamas žirnis (*Pisum sativum* L.). Organogenezės III–IV etapų žirniai 10 dienų auginti kontroliuojamo klimato kameroje skirtingos temperatūros (+21 bei +30 °C dieną, atitinkamai +16 bei +23 °C naktį) ir drėgmės (40–45 % ir <10 % (normalu, sausoka) režimo sąlygomis. Analizės atliktos po 10 dienų poveikio ir po 7 dienų augalų regeneracijos. Skirtingi temperatūros ir drėgmės režimo deriniai turėjo reikšmingos įtakos augalų fiziologiniams procesams. Žirniai, augę sausame substrate bei +30 °C temperatūroje, sukauė didžiausią chlorofilų *a*, *b* ir karotenoidų kiekį. Drėgmės trūkumas substrate slopino asimiliacinio ploto bei sausos masės augimą. Grynasis fotosintezės produktyvumas ir santykinis augimo greitis nustatyti didžiausi, kai augalai augo aukštoje temperatūroje ir normalaus drėgnumo substrate.

Reikšminiai žodžiai: drėgmės trūkumas, fotosintezės rodikliai, temperatūra, *Pisum sativum* L.

Įvadas

Pastaraisiais metais klimato kaita tapo viena svarbiausių žmonijos problemų. Žmogaus veiklos nulemti atmosferos pokyčiai (sausėjantis ir šiltėjantis klimatas, CO₂ kiekio atmosferoje didėjimas, ozono sluoksnio mažėjimas) spartėja ir gali trukti ilgą laiką. Klimato šiltėjimas yra lydimas sausrų bei gruntinio vandens lygio mažėjimo. Visi šie pokyčiai neigiamai veikia agroekosistemą. Nepalankūs aplinkos veiksniai gali žymiai sumažinti augalų produktyvumą, pabloginti produkcijos kokybę. Augalų reakcija į aplinkos veiksnius priklauso nuo augalo rūšies, fiziologinės būsenos, veislės, dirvožemio savybių, oro temperatūros, vandens režimo, mineralinės mitybos, apšvietimo /Tubiello, Ewert, 2002; Poorter, Navas, 2003/.

Karšti ir sausi orai Lietuvoje dažnėja, o sausringos sąlygos ima kartotis vis dažniau. Po sausringų metų augalų nepanaudotos maisto medžiagos lieka dirvožemyje, trūkstant drėgmės, blogiau skaidosi organinės medžiagos. Sausros ir didelės temperatūros sąveika yra vienas didžiausių derlių mažinančių veiksnių /Boyer, 1982; Bray et al., 2000/. Esant vandens trūkumui, apoplaste kyla vandens slėgis, sumažėja ląstelių turgoras, šaknų vandens potencialas, į varstomąsias ląsteles patenka daugiau abscizo rūgšties, žiotelės prisiveria ir lėtėja transpiracija /Kirnak et al., 2001; Heerden et al., 2007; Nakayama et al., 2007/. Net keliais laipsniais didesnė nei įprasta temperatūra veikia daugelio fermentų funkciją ir sukelia šilumos streso baltymų ekspresiją /Jenkins et al., 1997/. Augalų augimą sąlygoja fotosintezės ir kvėpavimo santykis. Kylant temperatūrai, kvėpavimo intensyvumas didėja, dėl to prarandami energiniai augalo išteklių /Kirnak et al., 2001/. Aukštesnė temperatūra pagreitina augalo augimą ir vystymąsi, trumpina vystymosi tarpsnių trukmę, mažina produktyvumą. Vandens trūkumas ir aukšta temperatūra gali skatinti laisvųjų radikalų bei aktyvių deguonies darinių, kurie pažeidžia augalų metabolizmo procesus, formavimąsi /Alexieva et al., 2003; Chaves et al., 2003; Abdul Jaleel et al., 2007/.

Sėjamas žirnis priklauso pupinių (*Fabacea* L.) šeimai. Šie augalai vertinami, nes sukaupia daug geros kokybės baltymų /Bourion et al., 2003/. Žirniai nėra reiklūs temperatūrai, tačiau ekstremalios temperatūros ir netinkamas drėgmės režimas gali neišvengiamai paveikti jų fiziologinius procesus.

Pastebėta, kad skirtingais organogenezės tarpsniais augalai nevienodai jautrūs nepalankioms aplinkos sąlygomis. III ir IV organogenezės etapai (priešfloralinių meristemų formavimasis) yra kritiniai drėgmės trūkumui /Šlapakauskas, Duchovskis, 2008/.

Tyrimų tikslas – ištirti kompleksinio temperatūros ir drėgmės režimo įtaką žirnių fiziologiniams rodikliams organogenezės III–IV etapais.

Sąlygos ir metodai

Temperatūros ir drėgmės režimų kompleksinio poveikio žirnių fiziologiniams rodikliams vegetaciniai bandymai atlikti 2007 m. LSDI Augalų fiziologijos laboratorijos fitotronų komplekse. Tirtas sėjamas žirnis (*Pisum sativum* L.) 'Pinochio'. Augalai auginti 5 l talpos vegetaciniuose induose. Substratas paruoštas iš neutralaus rūgštumo (6–6,5 pH) durpių ir smėlio (3:1). Kiekviename vegetaciniame inde auginta po dvidešimt žirnių augalų. Nuo sudygimo iki organogenezės III etapo augalai auginti šiltnamyje, po to pernešti į fitokameras, kur buvo palaikomas 16 val. fotoperiodas, apšvietimui naudotos „Son-T Agro“ („Philips“) lempos. Organogenezės tarpsniai nustatyti pagal F. Kupermaną /Куперман и др., 1982/. Bandymas atliktas keturiais variantais, kartota po penkis kartus. Palaikant du temperatūros režimus (+21 bei +30 °C dieną, atitinkamai +16 bei +23 °C naktį), buvo tirtas substrato normalaus (40–45 %) drėgnumo ir sausros (<10 %) efektas. Substrato drėgnis matuotas „Delta-T Devices“ dirvožemio drėgmės kiekio matuokliu HH2 ir laistyta atitinkamai pagal drėgnomačio rodmenis. Poveikio trukmė – 10 dienų. Iš karto po poveikio augalai buvo perkelti atgal į šiltnamį, kur visiems buvo sudarytos vienodos sąlygos, ir 7 dienas stebėta jų regeneracija. Tyrimų metu buvo atliekami biometriniai matavimai. Fotosintezės pigmentų (chlorofilų *a*, *b* ir karotenoidų) kiekis žalioje lapų masėje nustatytas 100 % acetono ekstrakto spektrofotometriškai D. Vetšteino (Wettstein) metodu /Гавриленко, Жыгалова, 2003/, spektro-

fotometru „Genesys 6“ („ThermoSpectronic“, JAV). Asimiliacinis plotas matuotas lapų ploto matuokliu CI-202 (CID Inc., JAV). Sausųjų medžiagų kiekis įvertintas, išdžiovinus augalus +105 °C temperatūroje iki pastoviosios masės.

Grynasis fotosintezės produktyvumas (F_{pr}) apskaičiuotas pagal formulę:

$$F_{pr} = 2 (M_2 - M_1) / (L_1 + L_2) T \quad (1),$$

kai $(M_2 - M_1)$ – sausųjų medžiagų padidėjimas per tam tikrą laiką,

L_1 ir L_2 – lapų plotas laikotarpio pradžioje ir pabaigoje,

T – laiko trukmė paromis /Bluzmanas ir kt., 1991/.

Santykinis augimo greitis (R) apskaičiuotas pagal formulę:

$$R = W_2 - W_1 / t_2 - t_1 \quad (2),$$

kai W_1 ir W_2 – sausosios medžiagos laikotarpio pradžioje ir pabaigoje, t_1 ir t_2 – laikotarpio pradžia ir pabaiga paromis /Coombs et al., 1985/.

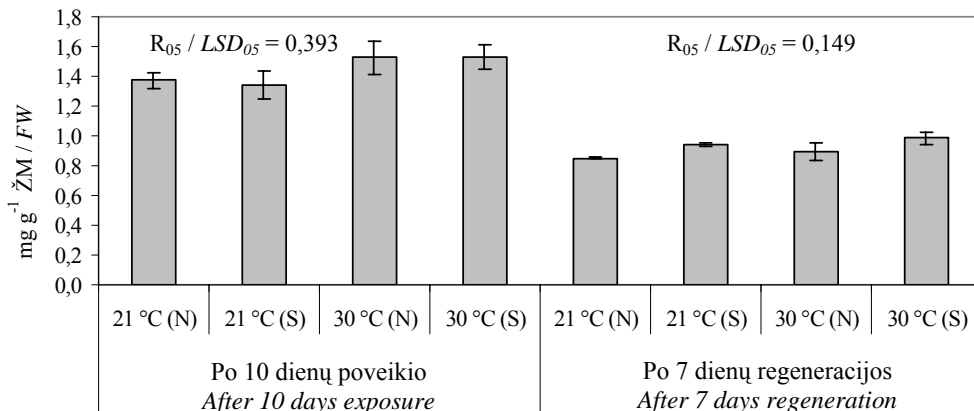
Paveiksluose pavaizduoti vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai apskaičiuoti biometrinėms analizėms rekomenduojamais metodais /Sokal, Rohlf, 2000/. Skirtumų tarp variantų esmingumas nustatytas atlikus dispersinę analizę pagal F kriterijų ir mažiausio esminio skirtumo ribą r , patikimumo lygmeniui esant $P < 0,05$.

Rezultatai ir jų aptarimas

Fotosintezė yra vienas pagrindinių fiziologinių procesų, lemiančių augalų produktyvumą. Efektyvų fotosintezės aparato darbą užtikrina optimalus fotosintetinių pigmentų kiekis ir santykis. Kintant aplinkos sąlygoms, žirnių lapuose keičiasi chlorofilų ir karotenoidų kiekis (1–3 pav.). Aukšta (+30 °C) temperatūra, nepriklausomai nuo substrato drėgnio, paskatino žirnių lapuose chlorofilo a kaupimąsi ($P > 0,05$) (1 pav.). Žirniai +30 °C temperatūroje sausame substrate kaupė daugiau ir chlorofilo b . Mažiau chlorofilo b nustatyta žirnių lapuose esant sausam substratui ir +21 °C temperatūrai (2 pav.). Po regeneracijos periodo žirnių lapuose nustatyti mažesnis chlorofilo a ir b kiekis nei po 10 dienų poveikio (1, 2 pav.). Tyrimų rezultatai rodo, jog žirniai gali prisitaikyti prie pakitusios aplinkos ir taip apsaugoti savo fotosintezės sistemą. Vadinasi, augalo kompensacinis mechanizmas veikia. Žirniai +30 °C temperatūroje, nepriklausomai nuo substrato drėgnio, lapuose sukaupe didesnę ($P > 0,05$) kiekį karotenoidų (3 pav.). Karotenoidai, be to, kad jie dalyvauja fotosintezės procese, yra ir antioksidantai, apsaugantys augalų ląsteles nuo oksidacinio streso /Alexieva et al., 2003/, todėl galima teigti, kad žirniuose formavosi apsauginiai mechanizmai nuo aukštos temperatūros sukkelto streso. Karotenoidų kiekio padidėjimas rodo, jog augalas yra stresinės būsenos, o jų padaugėjimas padeda augalui įveikti patirtą stresą. Po regeneracijos periodo žirnių lapuose nustatytas karotenoidų kiekio sumažėjimas (3 pav.).

Gauti tyrimų rezultatai rodo, jog žirniai gali prisitaikyti prie pakitusios aplinkos ir taip apsaugoti savo fotosintezės sistemą. Skirtingos chlorofilų formos bei karotenoidai, kaip fotosintetinio aparato dalys, fotosintezės procese atlieka specifines funkcijas, todėl, kad būtų užtikrinta efektyvi fotosintezė, būtinas tam tikras jų kiekis bei santykis. Nuo chlorofilų kiekio tiesiogiai priklauso fotosintetinis potencialas bei pirminė produkcija. Literatūros šaltiniuose teigiama, kad esant sausros stresui vyksta fotosintezės inhibicija /Ogren, Öquist, 1985/. Mokslininkai, tyrinėdami sausros poveikį liucernoms, nustatė esminį fotosintezės pigmentų sumažėjimą /Zeid, Shedeed, 2006/. Kiti tyrimai su organogenezės VI–VII etapų žirniais parodė, kad aukšta temperatūra ir drėgmės trūkumas

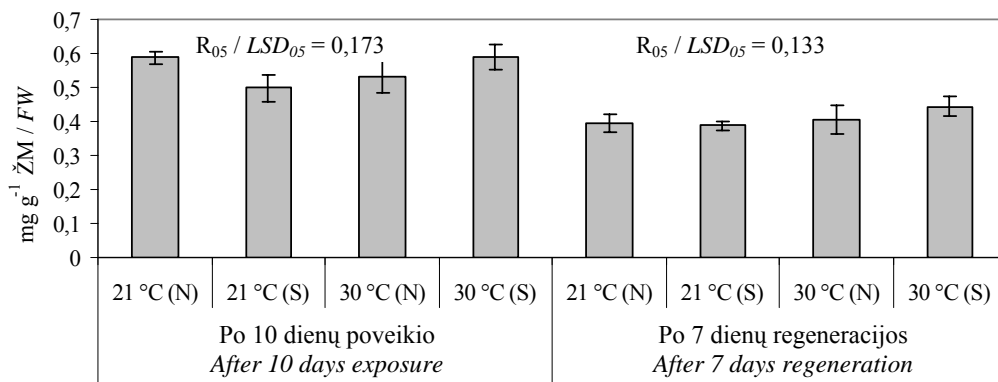
slopina chlorofilų *a* bei *b* sintezę, o karotenoidų kaupimąsi suintensyvina /Sakalauskiėnė et al., 2008/.



Pastaba. ŽM – žalia masė; N – substratas normalaus drėgnumo (40–45 %), S – sausokas (< 10 %).
 Note. FW – fresh weight; N – substratum of normal humidity (40–45%), S – dryish substratum (< 10%).

1 paveikslas. Chlorofilo *a* kiekis žirniuose, esant skirtingiems temperatūros ir drėgmės režimams

Figure 1. Chlorophyll *a* content under different combinations of temperature and humidity regime

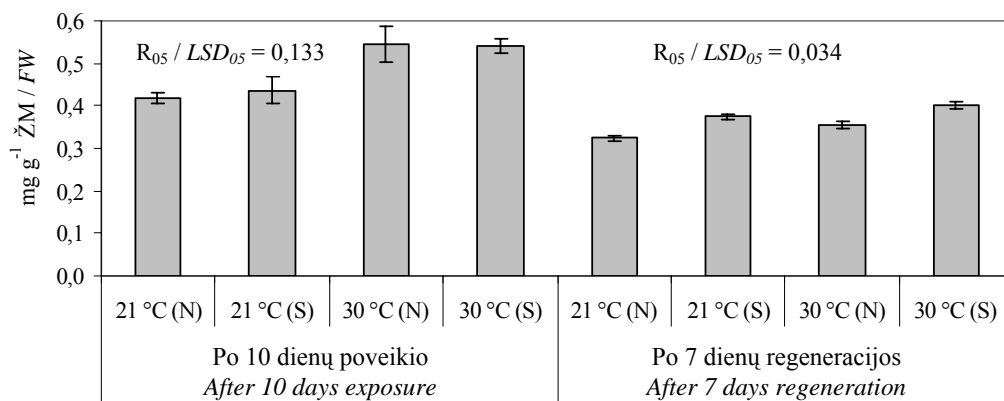


Pastaba: Paaiškinimai po 1 paveikslu.

Note: Explanations under Figure 1.

2 paveikslas. Chlorofilo *b* kiekis žirniuose, esant skirtingiems temperatūros ir drėgmės režimams

Figure 2. Chlorophyll *b* content under different combinations of temperature and humidity regime



Pastaba: Paaiškinimai po 1 paveikslu.

Note: Explanations under Figure 1.

3 paveikslas. Karotenoidų kiekis žirniuose, esant skirtingiems temperatūros ir drėgmės režimams

Figure 3. Carotenoid content under different combinations of temperature and humidity regime

Drėgmės trūkumas substrate ir aukšta oro temperatūra darė neigiamą įtaką žirnių asimiliaciniam plotui bei sausai masei (1 lentelė). Žirniai, patyrę drėgmės trūkumą ir aukštą (+30 °C) temperatūrą, išaugino iš esmės ($P < 0,05$) mažiausią asimiliacinį plotą. Dėl sausros ir aukštos temperatūros poveikio sausųjų medžiagų sukaupta taip pat mažiausiai (1 lentelė). Po 7 dienų regeneracijos periodo patyrusių sausros stresą (nepriklausomai nuo temperatūros) augalų gerokai padidėjo asimiliacinis plotas ir sausa masė (2 lentelė). Viena produktyvumo sąlygų – palaikyti didelį fotosintetinį potencialą. Šie tyrimai rodo, kad žirniai jautriai reagavo į sausros bei aukštos temperatūros sukeltą stresą. Drėgmės trūkumas slopino sausos masės kaupimąsi bei asimiliacinio ploto augimą. Žirniai, patekę į normalias sąlygas, regeneravosi. Tai įrodo, jog augalai turi unikalią reagavimo į nuolat kintančias aplinkos sąlygas sistemą ir pritaiko savo fiziologinius bei metabolitinius procesus homeostazei palaikyti. Reakcija į stresorius yra sąlygota augalo genomo ir pakitusių aplinkos sąlygų sąveikos /Pastori, Foyer, 2002/. Aukšta temperatūra ir pakankamas drėgmės kiekis skatino augimo procesus (1 lentelė). Gauti rezultatai rodo, jog žirniai, augę +21 °C temperatūroje 40–45 % drėgnio substrate, išaugino iš esmės ($P < 0,05$) didžiausią asimiliacinį plotą, o drėgmės trūkumas substrate, nepriklausomai nuo temperatūros, slopino asimiliacinio ploto augimą bei sausųjų medžiagų kaupimąsi (1 lentelė). Kitų autorių darbuose taip pat nurodoma, kad dažniausias vandens streso padarinys augalams yra fotosintezės ir augimo sulėtėjimas, sąlygotas anglies bei azoto metabolizmo pakitimų /Cornic, Massacci, 1996; Mwanamwenge et al., 1999; Kage et al., 2004/. Kitų tyrimų duomenimis, drėgmės trūkumas ir aukšta temperatūra neigiamai veikė VI ir VII organogenezės etapų žirnių fiziologinius procesus, tad buvo slopinamas asimiliacinio ploto bei žalios masės augimas, sausųjų medžiagų kaupimasis /Sakalauskiene et al., 2008/. G. Šabajeviene ir kt. (2008), atlikę tyrimus su miežiais, nustatė, kad drėgmės trūkumas organogenezės III bei IV etapais sausos masės didėjimą mažino, o

VI ir VII etapais jį netgi padidino. Sausros sukeltas stresas sutrikdo sausųjų medžiagų pasiskirstymą augale: daugiau jų kaupiasi šaknyse nei antžeminėje dalyje /Grzesiak et al., 1999; Sakalauskaitė et al., 2006/.

1 lentelė. Žirnių, paveiktų skirtingais temperatūros ir drėgmės režimo deriniais, fiziologiniai rodikliai po 10 d.

Table 1. Physiological indicators of peas in different combinations of temperature and humidity regime after 10 days' exposure

Fiziologiniai rodikliai <i>Physiological indicators</i>	Temperatūros ir drėgmės režimo deriniai <i>Combinations of temperature and humidity regime</i>				R_{05} LSD_{05}
	21 °C (N)	21 °C (S)	30 °C (N)	30 °C (S)	
Asimiliacinis plotas cm^2 <i>Assimilation area cm^2</i>	54,9±3,63	21,5±3,68	36,3±3,81	13,8±2,07	5,932
Sausa masė g <i>Dry weight g</i>	0,38±0,035	0,31±0,035	0,61±0,072	0,28±0,061	0,831
Santykinis augimo greitis $g d^{-1}$ <i>Relative growth rate $g d^{-1}$</i>	0,11±0,005	0,09±0,006	0,16±0,008	0,08±0,011	0,022
Fotosintezės produktyvumas $g m^2 d^{-1}$ <i>Photosynthetic productivity $g m^2 d^{-1}$</i>	7,10±0,797	9,15±1,178	17,93±3,710	9,65±3,231	3,836

Pastaba: Paaiškinimai po 1 paveikslu.

Note: Explanations under Figure 1.

2 lentelė. Žirnių, paveiktų skirtingais temperatūros ir drėgmės režimo deriniais, fiziologiniai rodikliai po 7 d. regeneracijos

Table 2. Physiological indicators of peas exposed to different combinations of temperature and humidity regime after 7 days' regeneration

Fiziologiniai rodikliai <i>Physiological indicators</i>	Temperatūros ir drėgmės režimo deriniai <i>Combinations of temperature and humidity regime</i>				R_{05} LSD_{05}
	21 °C (N)	21 °C (S)	30 °C (N)	30 °C (S)	
Asimiliacinis plotas cm^2 <i>Assimilation area cm^2</i>	48,4±1,51	37,9±3,54	36,0±4,40	23,2±0,99	9,047
Sausa masė g <i>Dry weight g</i>	0,53±0,016	0,48±0,034	0,72±0,066	0,43±0,034	0,822
Santykinis augimo greitis $g d^{-1}$ <i>Relative growth rate $g d^{-1}$</i>	0,04±0,010	0,06±0,006	0,02±0,006	0,06±0,016	0,031
Fotosintezės produktyvumas $g m^2 d^{-1}$ <i>Photosynthetic productivity $g m^2 d^{-1}$</i>	4,07±1,885	8,28±1,464	4,32±1,428	8,53±3,950	3,453

Pastaba: Paaiškinimai po 1 paveikslu.

Note: Explanations under Figure 1.

Vienas svarbiausių fotosintezės rodiklių yra grynasis fotosintezės produktyvumas. Jis išreiškiamas sausųjų medžiagų kiekiu, kurį per parą lapų asimiliacinio ploto vienetui pagamina augalas /Bluzmanas ir kt., 1991/. Grynasis fotosintezės produktyvumas geriausiai atspindi aplinkos veiksnių poveikį augalų augimui ir vystymuisi /Ничипорович, 1987; Третьяков, 1998/. Žirnių, augusių +30 °C temperatūroje 40–45 % drėgnio substrate, santykinis augimo greitis ir grynasis fotosintezės produktyvumas buvo didžiausias iš esmės ($P < 0,05$). Tai rodo, jog aukšta temperatūra skatina augimo procesus (1 lentelė). Aukštesnė nei įprasta temperatūra spartina augalo organų vystymąsi, trumpina vystymosi tarpsnių trukmę, todėl galutinė biomasės produkcija gali būti mažesnė /Lawlor, Cornic, 2002; Šabajevienė ir kt., 2008/. Po 7 dienų regeneracijos periodo augalų, patyrusių sausros stresą (nepriklausomai nuo temperatūros), nustatytas didžiausias santykinis augimo greitis bei grynasis fotosintezės produktyvumas (2 lentelė). Fiziologinių procesų pakitimai augaluose priklauso nuo streso poveikio intensyvumo ir trukmės. Šie procesai gali atsinaujinti. Gauti rezultatai patvirtina kompensacinių mechanizmų veikimą augale.

Išvados

1. Žirnių reakcija į drėgmės deficito ir aukštos temperatūros stresą pasireiškė chlorofilų *a*, *b* ir karotenoidų kiekio padidėjimu. Po augalų regeneracijos periodo fotosintezės pigmentų kiekis sumažėjo. Tai rodo žirnių gebėjimą prisitaikyti prie pakitusios aplinkos, homeostazės mechanizmais apsaugoti savo fotosintezės sistemą.

2. Drėgmės trūkumas slopina žirnių asimiliacinio ploto bei sausos masės didėjimą, tačiau regeneracijos metu suveikė kompensacinis mechanizmas ir augalai sparčiai atkūrė prarastus audinius bei organus.

3. Aukšta temperatūra, esant normalaus drėgnumo substratui, skatino augimo procesus. Esant tokioms sąlygoms, nustatyti didžiausi žirnių grynasis fotosintezės produktyvumas ir santykinis augimo greitis.

Padėka

Tyrimą parėmė Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas bei Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija.

Gauta 2009 06 23

Pasirašyta spaudai 2009 07 21

LITERATŪRA

1. Abdul Jaleel C., Manivannan P., Sankar B. et al. Water deficit stress mitigation by sodium chloride in *Catharanthus roseus*: effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation // *Colloids and Surfaces*. – 2007, vol. 60, p. 110–116
2. Alexieva V., Ivanov S., Sergiev I., Karanov E. Interaction between stresses // *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. – 2003, spec. iss., p. 1–17
3. Bluzmanas P., Borusas S., Dagys J. ir kt. // *Augalų fiziologija*. – Vilnius, 1991. – 420 p.
4. Boyer J. S. Plant productivity and environment // *Science*. – 1982, vol. 218, p. 443–448

5. Bourion V., Lejeune-Henaut I., Munier-Jolain N., Salon C. Cold acclimation of winter and spring peas: carbon partitioning as affected by light intensity // *European Journal of Agronomy*. – 2003, vol. 19, p. 535–548
6. Bray E. A., Bailey-Serres J., Weretilnyk E. Responses to abiotic stresses // *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. – 2000, p. 1158–1249
7. 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
8. Coombs J., Hall D. O., Long S. P., Scurlock M. O. Techniques in bioproductivity and photosynthesis. – Oxford, 1985. – 298 p.
9. Cornic G., Massacci A. Leaf photosynthesis under drought stress // *Photosynthesis and the Environment*. – 1996, vol. 5, p. 347–366
10. Grzesiak S., Hura T., Maciej T. et al. The impact of limited soil moisture and waterlogging stress conditions on morphological and anatomical root traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids of different drought tolerance // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 1999, vol. 21, p. 305–315
11. Heerden P. D. R., Swanepoel J. W., Kruger G. H. J. Modulation of photosynthesis by drought in two desert scrub species exhibiting C₃- mode CO₂ assimilation // *Environmental and Experimental Botany*. – 2007, vol. 61, p. 124–136
12. Jenkins M. E., Suzuki T. C., Mount D. W. Evidence that heat and ultraviolet radiation activate a common stress-response program in plants that is altered in the *uvh6* Mutant of *Arabidopsis thaliana* // *Plant Physiology*. – 1997, vol. 115, p. 1351–1358
13. Kage H., Kochler M., Stützel H. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation // *European Journal of Agronomy*. – 2004, vol. 20, p. 379–394
14. Kirnak H., Kaya C., Tas I., Higgs D. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants // *Plant Physiology*. – 2001, vol. 27, p. 34–46
15. 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
16. 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
17. Nakayama N., Saneoka H., Moghaieb R. E. A. et al. Response of growth, photosynthetic gas exchange, translocation of ¹³C- labelled photosynthate and N accumulation in two Soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars to drought stress // *International Journal of Agriculture and Biology*. – 2007, vol. 9, p. 669–674
18. Ogren E., Öquist G. Effects of drought on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in intact willow leaves // *Planta*. – 1985, vol. 166, p. 380–388
19. Pastori G. M., Foyer C. H. Common components, networks, and pathways of cross-tolerance to stress. The central role of “Redox” and Abscisic acid-mediated controls // *Plant Physiology*. – 2002, vol. 129, p. 460–468
20. Poorter H., Navas M. L. Plant growth and competition at elevated CO₂ // *New Phytologist*. – 2003, p. 157–175
21. Sakalauskaitė J., Kviklys D., Lanauskas J. et al. Biomass production, dry weight partitioning and leaf area of apple rootstocks under drought stress // *Sodininkystė ir daržininkystė*. – 2006, t. 25, Nr. 3, p. 283–291
22. Sakalauskienė S., Šabajevienė G., Lazauskas S. et al. Complex influence of different humidity and temperature regime on pea photosynthetic indices in VI–VII organogenesis stages // *Sodininkystė ir daržininkystė*. – 2008, t. 27, Nr. 2, p. 199–207

23. Sokal R. R., Rolf F. J. Biometry. – New York, 2000. – 887 p.
24. Šabajevienė G., Sakalauskienė S., Lazauskas S. ir kt. Aplinkos temperatūros ir substrato drėgmės poveikis vasarinių miežių fiziologiniams rodikliams // Žemdirbystė-Agriculture. – 2008, t. 95, Nr. 4, p. 71–80
25. Šlapakauskas V., Duchovskis P. Augalų produktyvumas. – Akademija, Kauno r., 2008. – 253 p.
26. Tubiello F. N., Ewert F. Stimulating the effects of elevated CO₂ on crops: approaches and applications for climate change // European Journal of Agronomy. – 2002, vol. 18, p. 57–74
27. Zeid I. M., Shedeem Z. A. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress // Biologia Plantarum. – 2006, vol. 50, No. 4, p. 635–640
28. Гавриленко В. Ф., Жыгалова Т. В. Большой практикум по фотосинтезу. – Москва, 2003. – 256 с.
29. Куперман Ф. М., Ржанова Е. И., Мурашев В. В. и др. Биология развития культурных растений. – Москва, 1982. – 342 с.
30. Ничипорович А. А. Фотосинтез, азотное и минеральное питание как целостная система питания растений и основа их продуктивности // Проблемы почвоведения и агрохимии. – Кишинев, 1987, с. 153–173
31. Третьяков Н. Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. – Москва, 1998. – 639 с.

ISSN 1392-3196

Zemdirbyste-Agriculture, vol. 96, No. 3 (2009), p. 93–101

UDK 633.358:581.132.536

Integrated impact of environmental factors on pea (*Pisum sativum* L.) physiological indicators at organogenesis stages III–IV

S. Sakalauskienė¹, A. Brazaitytė¹, G. Šabajevienė¹, S. Lazauskas²,
J. Sakalauskaitė¹, A. Urbonavičiūtė¹, G. Samuolienė¹, P. Duchovskis¹

¹Lithuanian Institute of Horticulture

²Lithuanian Institute of Agriculture

Summary

The aim of the study was to investigate the influence of different humidity and temperature regime on physiological indicators of the pea (*Pisum sativum* L.) cultivar 'Pinochio'. Experiments were conducted at the Lithuanian Institute of Horticulture's phytotron complex in 2007. The pea was grown in a greenhouse until organogenesis stages III–IV. The plants were grown under different temperature (+21/16°C and +30/23°C day/night) and humidity (40–45% and <10% normal/dryish) regime. Analyses were made after a 10-day exposure and after a 7-day regeneration period in the greenhouse. Different combinations of temperature and humidity regime exerted a significant influence on plant physiological processes. Peas grown in dryish substratum under +30°C accumulated the highest content of chlorophyll *a* and *b*, and carotenoids in leaves. The moisture deficit in substratum inhibited the growth of assimilating leaf area and dry biomass. The greatest photosynthetic productivity and relative growth rate were determined for pea plants under high temperature and normal substratum humidity.

Key words: lack of humidity, photosynthetic indices, temperature, *Pisum sativum* L.