

LAPŲ INDEKSO IR FOTOSINTEZĖS PIGMENTŲ DINAMIKA ĮVAIRIAUS TANKUMO PLUOŠTINIŲ LINŲ PASĖLYJE

Marius BALČIŪNAS¹, Zofija JANKAUSKIENĖ¹, Aušra BRAZAITYTĖ²,
Povilas DUCHOVSKIS^{2,3}

¹Lietuvos žemdirbystės institutas
Linininkų g. 3, Upytė, Panevėžio r. sav.
El. paštas: marius@lzi.lt, soja@upyte.lzi.lt

²Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės institutas
Kauno g. 30, Babtai, Kauno r. sav.
El. paštas: p.duchovskis@lsdi.lt

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

Santrauka

Tyrimai vykdyti 2005–2007 m. Lietuvos žemdirbystės instituto Upytės bandymų stotyje bei Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijoje. Šio bandymo tikslas – nustatyti optimalų pluoštinių linų (*Linum usitatissimum* L.) pasėlio tankumą pagal lapų indekso dinamiką vegetacijos metu bei fotosintezės pigmentų kiekį linų lapuose. Bandymuose sėti pluoštiniai linai 'Hermes' įvairiomis normomis nuo 10 iki 34 mln. daigų sėklų ha⁻¹ (pasėlio tankumas nuo 700 iki 2 380 vnt. m⁻²). Nustatyta, kad pluoštinių linų lapų indeksas nuosekliai didėja vegetacijos metu ir didžiausias būna žydėjimo–žaliosios brandos tarpsniu. Esant nepalankioms meteorologinėms sąlygoms (2007 m.), augalų vegetacija užtrunka, linai formuoja šoninius ūglius, todėl lapų indeksas didėja ir žaliosios brandos tarpsniu. Pasėlio tankumas neturi įtakos linų lapų fotosintezės pigmentų kaupimui. Tačiau stiebų pigmentų sistema jautriai reaguoja į konkurencinę įtampą ir tankinant pasėlį pigmentų kaupiasi mažiau, nors chlorofilų a ir b santykis yra palankesnis vykti fotosintezei. Pagal linų asimiliacinio ploto dinamiką ir fotosintezės pigmentų kiekį, vegetacijos metu pluoštinių linų optimalus tankis turėtų būti 1 540 vnt. m⁻² ir nuo 1 820 iki 2 100 vnt. m⁻² auginant atsparias išgulimui veisles.

Reikšminiai žodžiai: chlorofilai a ir b, karotinoidai, lapų indeksas, pluoštiniai linai *Linum usitatissimum* L.

Įvadas

Augalų augimui bei vystymuisi ir fiziologiniams procesams būtini palankūs aplinkos veiksniai, atitinkantys augalų genetiškai determinuotus poreikius. Pasėlio biomasės produktyvumas priklauso nuo optimalaus augalo fotosintezės sistemos darbo, kuri galima reguliuoti gerinant auginimo sąlygas /Ничипорович, 1976; Третьяков, 1998; Aufhammer et al., 2000; Sharma-Natu, Ghildiyal, 2005; Long et al., 2006/. Vienas svarbiausių agronominių veiksnių, lemiančių derliaus dydį ir pasėlių produktyvumą, yra augalų tankumas /Pyrantienė ir kt., 2002; Bastys ir kt., 2003; Попеляева, 2003/. Jis smarkiai veikia šviesos ekstinkcijos koeficientą bei jos pasiskirstymą pasėlyje /Del Pozo,

Dennett, 1999/. Kuo augalų populiacija tankesnė, tuo mažiau šviesos gauna kiekvienas augalas, o tai mažina ir anglies fiksaciją. Dėl to sumažėja augalo augimo tempas ir atskirų jo organų dydis /Reddy et al., 1999/. Augalo absorbuojamos fotosintetiškai aktyvios radiacijos (FAR) kiekį daugiausia lemia lapų indeksas, taip pat jų erdvinis išsidėstymas, pasvirimo į saulę kampas, fotosintetinių pigmentų kiekis ir santykis /Молканова, Молканов, 1973/.

Literatūros šaltinių teigimu, linams būdinga tai, kad jie formuoja palyginti nedidelį lapų indeksą, bet pasižymi gana dideliu fotosintezės produktyvumu /Кошелева, 1980/. Linai, kaip ir dauguma augalų Lietuvoje, yra C₃ grupės augalai. Visais augimo tarpsniais lapų indeksas buvo didžiausias didinant linų pasėlio tankumą /Молканова, Молканов, 1973; Zajac, 2005/. Linų fotosintezė intensyviausia žydėjimo metu, o brendimo metu jos intensyvumas mažėja /Кошелева, 1980/. Linų fotosintezės produktyvumas (sausosios masės prieaugis) gali būti apie 8–12 g m⁻² per parą /Воронкова, 1968; Барцева, 1971; Молканова, Молканов, 1973/.

Moksliniuose leidiniuose yra paskelbta daug darbų apie pasėlio tankumo formavimo būdus. Tiksliai nustatyti pasėlio tankumą yra vienas sudėtingiausių integralinio modeliavimo uždavinių /Marrshall et al., 1989; Lukianienė ir kt., 1996/. Optimalus augalų populiacijos tankumas yra būtinas labai vertingai ilgojo pluošto produkcijai gauti /Lafond, 1993; Couture et al., 2002/. Žinant pluoštinių linų lapų indekso dinamiką galima optimizuoti pasėlio tankumą ir taip suformuoti pasėlį, kad būtų gautas maksimalus derlius /Третьяков, 1998; Zajac, 2005/.

Lietuvoje atlikta daug mokslinių darbų, kuriuose buvo tiriama įvairių augalų sėjos laikas, tręšimo intensyvumas, piktžolių, ligų ir kenkėjų naikinimo priemonės /Šidlauskas, 2000; Tarvydienė ir kt., 2004; Velička ir kt., 2007/. Tačiau linų pasėlio fotosintezės parametų dinamika, priklausomai nuo taikomų agrotechninių priemonių, Lietuvoje netirta.

Šio darbo tikslas – nustatyti optimalų pluoštinių linų pasėlio tankumą vegetacijos metu pagal lapų indekso dinamiką ir fotosintezės pigmentų kiekį linų lapuose.

Tyrimų sąlygos ir metodai

Tyrimai vykdyti 2005–2007 m. Lietuvos žemdirbystės instituto Upytės bandymų stotyje, bandymų sėjomainoje, ir Lietuvos sodininkystės daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijoje. Linų priešėlis – žieminiai rugiai, sėti po antrųjų naudojimo metų daugiamečių žolių. Dirvožemis – giliau karbonatingas giliau glėjiškas rudžemis (*Endocalcari-Endohypogleyic Cambisol*), kurio pH_{KCL} – 7,3–7,5, humusas – 1,53–2,31 %, judriojo fosforo P₂O₅ – 164–275 mg kg⁻¹, kalio K₂O – 125–136 mg kg⁻¹. Tirti rūšies *Linum usitatissimum* L. porūšio pluoštiniai (*elongata*) 'Hermes' veislės linai.

Bandymo schema buvo tokia: 1. Sėta 10 mln. daigių sėklų ha⁻¹, pasėlio tankumas 700 (600–840) vnt. m⁻². 2. Sėta 14 mln. daigių sėklų ha⁻¹, pasėlio tankumas 980 (841–1 080) vnt. m⁻². 3. Sėta 18 mln. daigių sėklų ha⁻¹, pasėlio tankumas 1 260 (1 081–1 320) vnt. m⁻²

4. Sėta 22 mln. daigių sėklų ha⁻¹, pasėlio tankumas 1 540 (1 321–1 560) vnt. m⁻². 5. Sėta 26 mln. daigių sėklų ha⁻¹, pasėlio tankumas 1 820 (1 561–1 800) vnt. m⁻². 6. Sėta 30 mln. daigių sėklų ha⁻¹, pasėlio tankumas 2 100 (1 801–2 040) vnt. m⁻². 7. Sėta 34 mln. daigių sėklų ha⁻¹, pasėlio tankumas 2 380 (2 041–2 720) vnt. m⁻². Bandymų laukelių ilgis

– 10 m, plotis – 6,0 m, plotas – 60 m², 3 pakartojimai. Pakartojimuose variantai išdėstyti atsitiktine tvarka /Доспехов, 1985/.

Nuo dviskilčių piktžolių linai eglutės tarpsniu nupurkšti herbicidu glinu (chlorsulfuronu 750 g/kg) 0,007 kg ha⁻¹ su citoveto (etoksilato alkoholio) priedu (0,1 %), sunaudojant 200 l ha⁻¹ vandens.

Vienas linų fiziologinių rodiklių – lapų indeksas (lapų plotas kvadratiname metre) – nustatytas stebint jo dinamiką vegetacijos metu, o kitas – fotosintezės pigmentai – žydėjimo tarpsniu.

Linų lapų indeksas tirtas 4 augalų augimo tarpsniais (eglutės, greito augimo, žydėjimo ir žalios brandos). Vegetacijos metu linų ėminiai lapų indeksui nustatyti 2005 m. imti 4 kartus (06-10, 07-01, 07-21, 08-12, 21) dienos intervalu, 2006 m. imti 4 kartus (06-01, 06-14, 06-28, 07-12) 14 dienų intervalu. 2007 m. linų ėminiai buvo imti 14 dienų intervalu 4 kartus (06-06, 06-21, 07-04, 07-25). Tyrimų metais ėminių ėmimo intervalai nesutapo, nes skyrėsi augalų vystymosi tarpsnių trukmė. Lapų indeksui matuoti iš kiekvieno laukelio apsaugų išrauta po 20 augalų su šaknimis (iš varianto – 60 augalų), po to apskaičiuoti vieno augalo duomenys. Analizėms paimti augalai buvo drėkinami ir laikomi vėsioje patalpoje, kol linų lapų indeksas buvo nustatytas (skenuotas) lapų ploto (indekso) matuokliu CI-202 (*CID Incorporation*, JAV).

Chlorofilai a ir b bei karotinoidai linų stiebų ir lapų mėginiuose buvo nustatyti Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto Augalų fiziologijos laboratorijoje pagal D. Wetsteiną /Wettstein, 1957/ spektrofotometriniu metodu naudojant spektrofotometrą „Genesys 6“ (*ThermoSpectronic*, JAV).

Augalų vegetacijos tarpsnio terminės ir drėkinimo sąlygos apibūdintos G. Selianinovo hidroterminiu koeficientu /Bukantis ir kt., 1998/:

$$HTK = \sum p \times (0,1 \Sigma t)^{-1} (1),$$

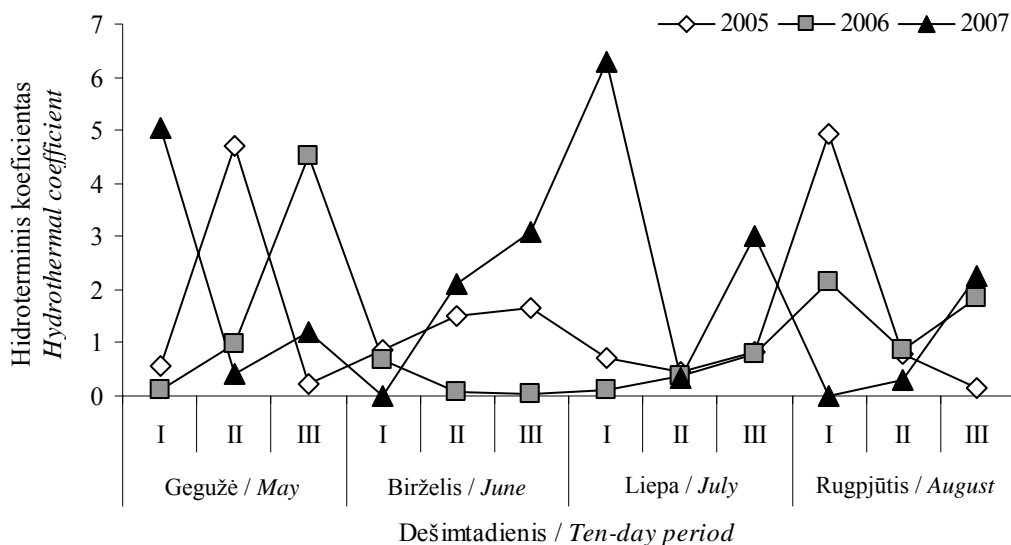
kai Σp – kritulių suma (mm) per laikotarpį, kurio temperatūra aukštesnė nei +10 °C,

Σt – to paties laikotarpio aktyvių temperatūrų suma (°C).

Kai $HTK > 1,6$, yra drėgmės perteklius, $HTK = 1...1,5$ – optimali drėgmė, $HTK = 0,9...0,8$ – nedidelė sausra, $HTK = 0,7...0,6$ – vidutiniška sausra, $HTK = 0,5...0,4$ – didelė sausra, $HTK < 0,4$ – labai didelė sausra.

Pagal pateiktą HTK gradaciją galima teigti, jog 2005 m. optimali drėgmė linams buvo birželio II ir III dešimtadieniai. Dideliu kritulių kiekiu 2005 m. išsiskyrė gegužės II dešimtadienis ir rugpjūčio I dešimtadienis (1 pav.). 2006 m. didelis kritulių kiekis buvo gegužės III dešimtadienį. Optimalus kritulių kiekis buvo tik gegužės II dešimtadienį. 2007 m. gegužės I ir birželio II bei III dešimtadieniai ir liepos I bei III dešimtadieniai vyravo drėgmės perteklius. Linams optimali drėgmė buvo tik gegužės III dešimtadienį.

Tyrimų duomenys statistiškai įvertinti dispersinės analizės ir koreliacinės bei regresinės analizės metodais naudojant statistines duomenų vertinimo programas ANOVA ir STAT ENG iš paketo SELEKCIJA /Tarakanovas, Raudonius, 2003/.



1 paveikslas. Hidroterminis koeficientas linų vegetacijos metu
Figure 1. Hydrothermal coefficient during the flax growing season
 Uplytė, 2005–2007 m.

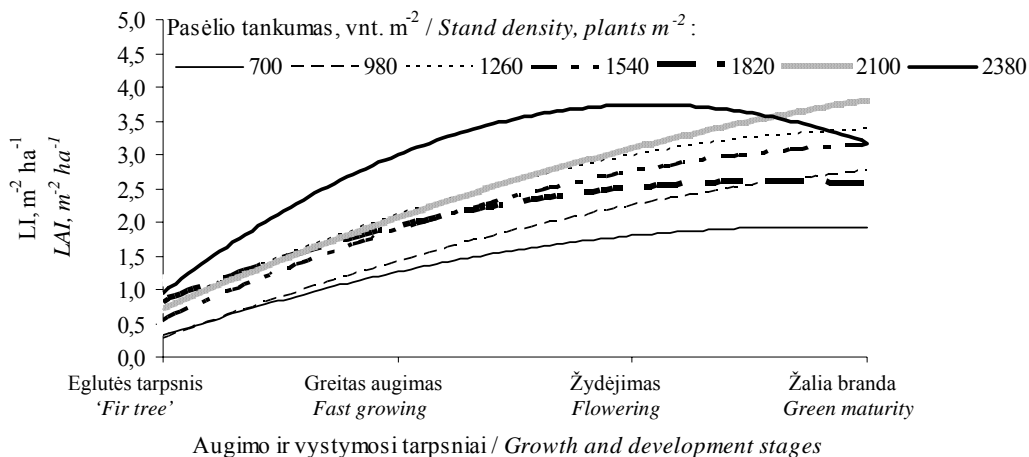
Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

2005–2006 m. vegetacijos metu linų lapų indeksas nuolat didėjo (2 ir 3 pav.). Didžiausias jis buvo linams žydint, kai augalai ant viso stiebo turėjo visiškai išsivysčiusius lapus. Lapų indeksas žalios brandos tarpsniu jau buvo mažesnis nei žydėjimo metu. Tai galima paaiškinti, kad žalios brandos tarpsniu negaudami pakankamai drėgmės (1 pav.) augalai brandina generatyvinius organus, o jų apatinėje dalyje esantys lapai nunyksta. Tai ryškiausiai buvo matyti 2006 m., kai įvairaus tankumo pasėliuose lapų indeksas žalios brandos tarpsniu sumažėjo 33–48 %, palyginti su žydėjimo tarpsniu (3 pav.). Tais metais sausringa buvo visa vasara (1 pav.) ir ypač periodas tarp greito augimo ir žydėjimo tarpsnio, kai asimiliacinis linų lapų plotas formavosi intensyviausiai. 2005 m., pagal hidroterminį koeficientą (1 pav.), drėgmės buvo pakankamai ir lapų indeksas žalios brandos tarpsniu sumažėjo nedaug (2 pav.). Išsiskyrė tankiausias linų pasėlis, kur šiuo tarpsniu lapų indeksas gerokai sumažėjo. Galima teigti, kad tankiausiai augusiems linams galėjo nepakakti drėgmės. Tai, kad didžiausias linų pasėlio lapų indeksas buvo žydėjimo tarpsniu ir kad tai priklauso nuo meteorologinių sąlygų, patvirtina ir kitų autorių duomenys /Casa et al., 1999; Zajac, 2005/.

Tyrimų metu pastebėta, kad linų lapų indeksas tarp greito augimo ir žydėjimo tarpsnių daugiausia padidėjo 2006 m., palyginti su kitais tyrimų metais, nors kitais tarpsniais šis rodiklis kito beveik taip pat. Didžiausias buvo tankesnio pasėlio linų lapų indeksas (apie 2 100–2 380 vnt. m⁻²). Panašius duomenis gavo ir kiti tyrėjai /Casa et al., 1999; Zajac, 2005/. Ryškesni skirtumai tarp įvairaus tankumo pasėlių buvo nustatyti eglutės, greito augimo ir žydėjimo tarpsniais.

2007 m. pastebėta tendencija, kad linų lapų indeksas visais augimo tarpsniais didėjo nuosekliai (4 pav.). Susidarius nepalankioms meteorologinėms sąlygoms 2007 m. (1 pav.), kai dirvoje drėgmės pertekliaus periodai kaitaliojosi su sausringais, žalios brandos tarpsniu linų stiebeliai pradėjo leisti naujus ūglius bei šakotis, todėl lapų indeksas didėjo ir šiuo augimo tarpsniu. R. Casa ir bendraautoriai (1999) taip pat teigia, kad žydėjimo tarpsniu iškritęs didelis kritulių kiekis po žydėjimo tarpsnio laikinai sustabdė lapų indekso mažėjimą dėl naujai susiformavusių lapų.

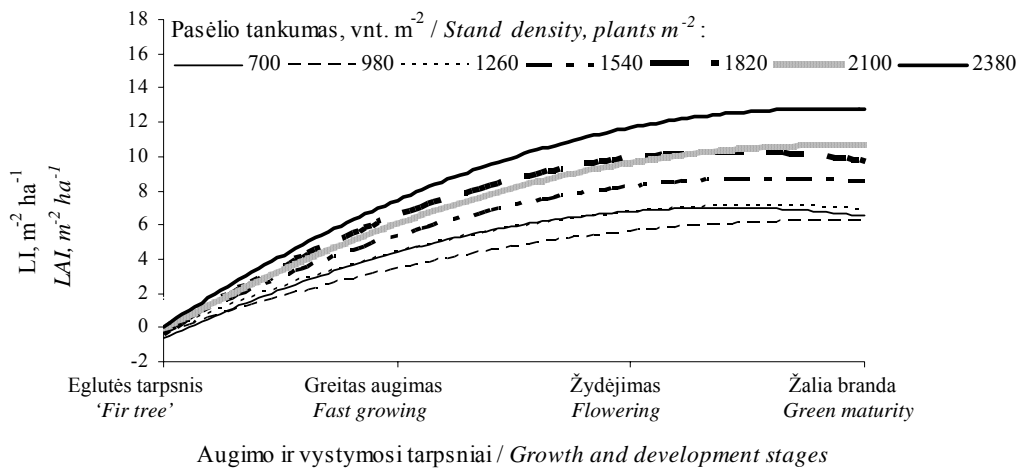
Linų lapų indekso dinamikos priklausomumas nuo pasėlio tankumo įvairiais augimo tarpsniais pateiktas 2, 3 ir 4 pav.



$$\begin{aligned}
 y(700) &= -0,2063x^2 + 1,5681x - 1,0496; R^2 = 0,88 & y(1820) &= -0,2651x^2 + 1,9034x - 0,8217; R^2 = 0,97 \\
 y(980) &= -0,1582x^2 + 1,6189x - 1,1911; R^2 = 0,88 & y(2100) &= -0,1565x^2 + 1,8146x - 0,9302; R^2 = 0,93 \\
 y(1260) &= -0,2495x^2 + 2,1312x - 1,1636; R^2 = 0,96 & y(2380) &= -0,6533x^2 + 4,0086x - 2,408; R^2 = 0,85 \\
 y(1540) &= -0,2355x^2 + 2,0431x - 1,2545; R^2 = 0,92
 \end{aligned}$$

2 paveikslas. Linų lapų indekso dinamika nevienodo tankumo pasėliuose
Figure 2. The dynamics of flax leaf area index at different stand densities
 Upytė, 2005 m.

Fotosintezė yra pagrindinis fiziologinis procesas, pagal kurį galima spręsti apie augalo reakciją į aplinkos sąlygas ir agrotechnines priemones. Chlorofilų ir karotinoidų kompleksas sudaro pagrindą elektronų transporto grandinei fotosintezės procese sujungiant šviesos kvantų energiją, todėl šių pigmentų kiekis bei santykiai neturi riboti normalios fotosintezės veiklos /Третьяков, 1998/. Daugelio augalų fotosintezė vyksta ne tik lapuose, bet ir kituose žaliuose organuose, kurie turi nemažos įtakos galutiniam augalų produktyvumui /Третьяков, 1998; Long et al., 2006/. Todėl tyrimų metu pigmentų kiekis buvo nustatytas ir žaliuose linų lapuose, ir stiebuose. Chlorofilo a kiekis lapuose visus trejus tyrimų metus buvo panašus, svyravo nuo 1,24 iki 1,51 mg g⁻¹ žalios masės ir tarp variantų esminių skirtumų nenustatyta (5 pav.). Chlorofilo b kiekis žaliuose linų lapuose buvo panašus įvairaus tankumo linų pasėliuose, tačiau matyti, kad vidutinio tankumo pasėliuose, ypač 2006 ir 2007 m., bendras pigmentų kiekis buvo šiek tiek



$$y(700) = -1,3324x^2 + 9,053x - 8,3759; R^2 = 0,57$$

$$y(1820) = -1,7694x^2 + 12,208x - 10,836; R^2 = 0,59$$

$$y(980) = -0,7822x^2 + 6,0853x - 5,6047; R^2 = 0,65$$

$$y(2100) = -1,294x^2 + 10,059x - 8,84; R^2 = 0,65$$

$$y(1260) = -1,12x^2 + 7,9642x - 7,0555; R^2 = 0,66$$

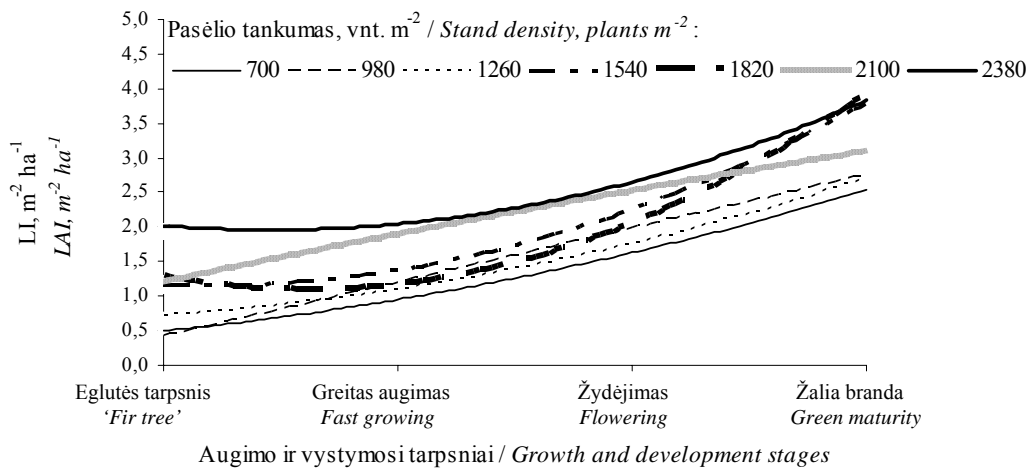
$$y(2380) = -1,587x^2 + 12,164x - 10,522; R^2 = 0,65$$

$$y(1540) = -1,3141x^2 + 9,4623x - 8,2855; R^2 = 0,62$$

3 paveikslas. Linų lapų indekso dinamika nevienodo tankumo pasėliuose

Figure 3. The dynamics of flax leaf area index at different stand densities

Ulytė, 2006 m.



$$y(700) = 0,1121x^2 + 0,1173x + 0,2689; R^2 = 0,99$$

$$y(1820) = 0,501x^2 - 1,6217x + 2,4077; R^2 = 0,96$$

$$y(980) = 0,0008x^2 + 0,7765x - 0,3605; R^2 = 0,94$$

$$y(2100) = -0,0301x^2 + 0,7797x + 0,4746; R^2 = 1$$

$$y(1260) = 0,1428x^2 - 0,0527x + 0,6289; R^2 = 0,99$$

$$y(2380) = 0,2898x^2 - 0,8437x + 2,5742; R^2 = 0,96$$

$$y(1540) = 0,3325x^2 - 0,7881x + 1,624; R^2 = 0,99$$

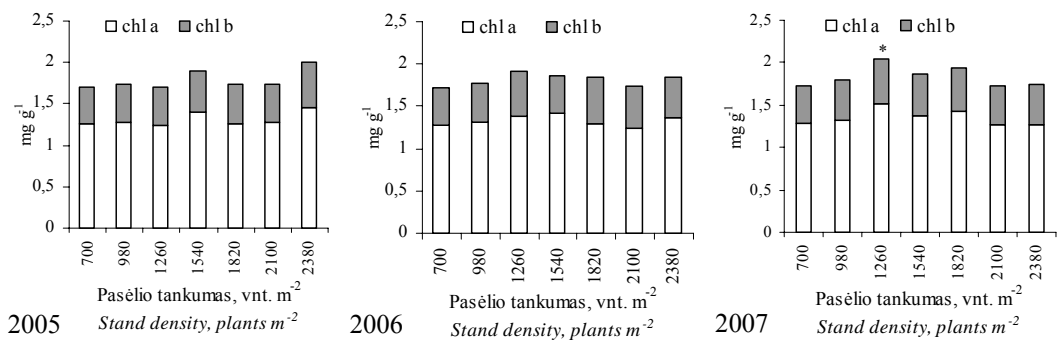
4 paveikslas. Linų lapų indekso dinamika nevienodo tankumo pasėliuose

Figure 4. The dynamics of flax leaf area index at different stand densities

Ulytė, 2007 m.

didesnis vidutinio tankumo pasėliuose (5 pav.). Chlorofilų a ir b santykiui lapuose (7 pav.) tirtas pasėlio tankumas taip pat neturėjo įtakos. Tačiau pastebėta, kad šis santykis buvo šiek tiek mažesnis tankesniame pasėlyje augusių linų lapuose, palyginti su retesnio pasėlio visais tyrimų metais. Chlorofilų a ir b santykis lapuose svyravo nuo 2,71 iki 2,84 (7 pav.) ir buvo artimas optimaliam (apie 3,0); tai patvirtina ir kitų autorių tyrimai /Lemesh, Khotyleva, 2003; Попова, Крепков, 2003/.

Literatūroje nurodoma, kad viena iš karotinoidų funkcijų, be to, kad jie dalyvauja fotosintezės procese, yra ląstelių apsauga nuo oksidacinio streso /Demmig-Adams, Adams, 1996; Третьяков, 1998/. Todėl jų kiekio pokyčiai keičiantis aplinkos sąlygoms bei tankiame pasėlyje esant konkurencinei įtampai gali būti augalų prisitaikymo prie jų rodiklis. Tyrimų metu karotinoidų kiekis linų lapuose svyravo nuo 0,45 iki 0,58 mg g⁻¹ žalios masės; esminių skirtumų nebuvo nustatyta nė vienais tyrimų metais (6 pav.).



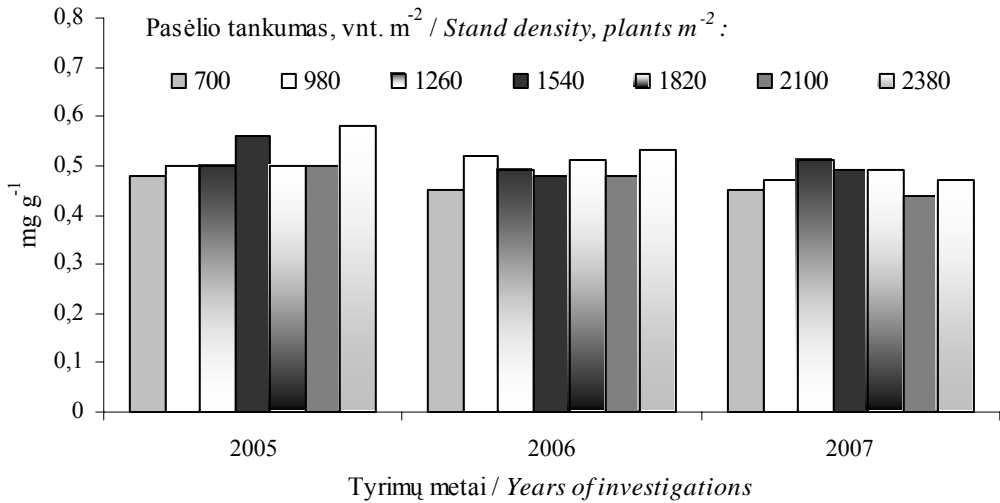
5 paveikslas. Chlorofilų a (chl a) ir b (chl b) kiekis linų lapuose, mg g⁻¹ žalios masės

Figure 5. Chlorophyll a (chl a) and b (chl b) content in flax leaves, mg g⁻¹ green mass

* – skirtumas esantis 95 % tikimybės lygiui / difference significant at 95 % probability level

Chlorofilas a / chlorophyll a – $R_{05} / LSD_{05} = 0,201$ (2005 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,010$ (2006 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,167$ (2007 m.);

Chlorofilas b / chlorophyll b – $R_{05} / LSD_{05} = 0,064$ (2005 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,009$ (2006 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,053$ (2007 m.)

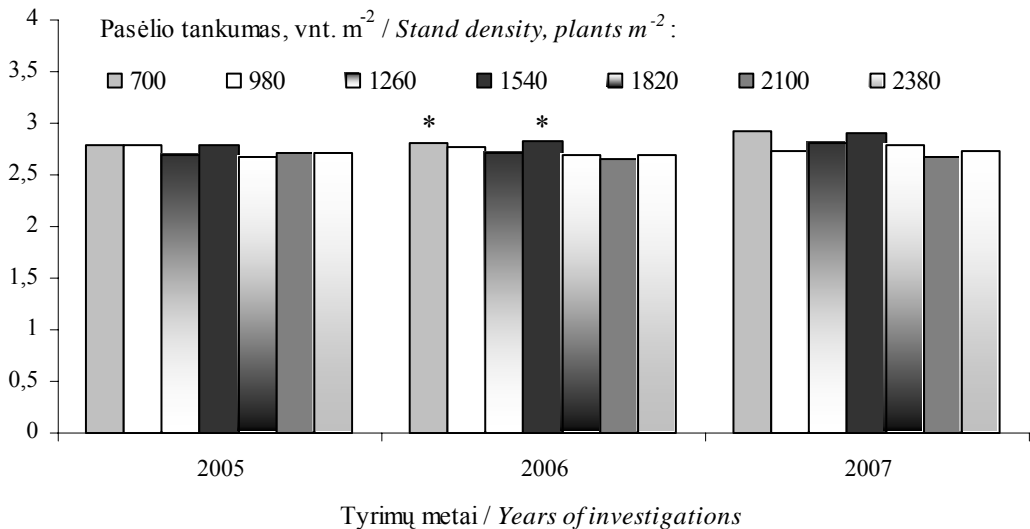


6 paveikslas. Karotinoidų kiekis linų lapuose, mg g⁻¹ žalios masės

Figure 6. Carotenoid content in flax leaves, mg g⁻¹ green mass

* – skirtumas esminis esant 95 % tikimybės lygiui / difference significant at 95 % probability level

$R_{05} / LSD_{05} = 0,080$ (2005 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,060$ (2006 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,060$ (2007 m.)



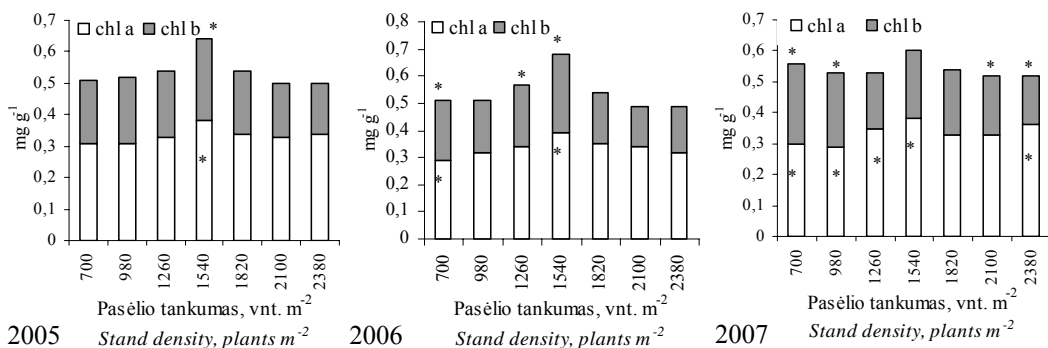
7 paveikslas. Chlorofilų a ir b santykis linų lapuose, mg g⁻¹ žalios masės

Figure 7. The ratio of chlorophyll a and b in flax leaves, mg g⁻¹ green mass

* – skirtumas esminis esant 95 % tikimybės lygiui / difference significant at 95 % probability level

$R_{05} / LSD_{05} = 0,229$ (2005 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,043$ (2006 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,210$ (2007 m.)

Fotosintezės pigmentų kiekis linų stiebuose buvo gerokai mažesnis, palyginti su lapų kiekiu. Chlorofilo a ir karotinoidų kiekis stiebuose buvo mažesnis vidutiniškai 75 %, o chlorofilo b – vidutiniškai 57 %. Linų stiebuose chlorofilų a ir b kiekis svyravo atitinkamai nuo 0,29 iki 0,39 mg g⁻¹ ir nuo 0,15 iki 0,29 mg g⁻¹ žalios masės (8 pav.). Vidutiniais trejų metų duomenimis, chlorofilo b kiekis buvo mažesnis tankesnio pasėlio stiebuose. Pagal rusų mokslininkų /Попова, Крепков, 2003/ tyrimų rezultatus, chlorofilo b padidėjimas lapuose didina linų biologinį produktyvumą. Galima manyti, kad jei stiebuose chlorofilo b kiekis sumažėjo mažesniu procentu, jis taip pat turi nemažą įtaką linų produktyvumui. Šio pigmento sumažėjimas tankesniame pasėlyje gali lemti ir mažesni jame augančių linų produktyvumą.



8 paveikslas. Chlorofilų a ir b kiekis linų stiebuose, mg g⁻¹ žalios masės

Figure 8. Chlorophyll a and b content in flax stem, mg g⁻¹ green mass

* – skirtumas esminis esant 95 % tikimybės lygiui / difference significant at 95 % probability level

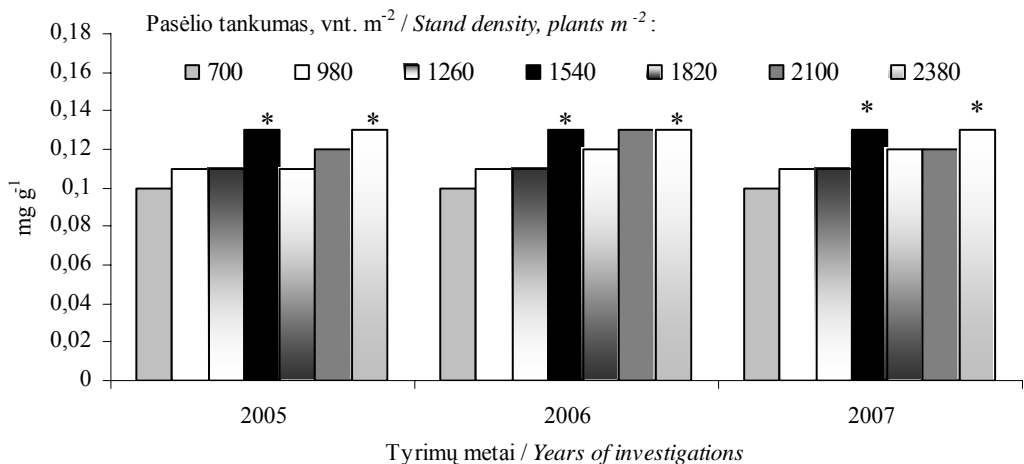
Chlorofilas a / chlorophyll a – $R_{05} / LSD_{05} = 0,038$ (2005 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,019$ (2006 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,023$ (2007 m.)

Chlorofilas b / chlorophyll b – $R_{05} / LSD_{05} = 0,044$ (2005 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,02$ (2006 m.), $R_{05} / LSD_{05} = 0,011$ (2007 m.)

Vidutiniais trejų metų tyrimų duomenimis, bendras chlorofilų kiekis linų stiebuose (8 pav.) buvo didžiausias pasėlyje, kurio tankumas buvo apie 1 540 vnt. m⁻². Chlorofilų a ir b santykis stiebuose svyravo nuo 1,15 iki 2,26 (10 pav.). Vidutiniais trejų metų duomenimis, didesnis chlorofilų a ir b santykis stiebuose buvo tankesniame pasėlyje (2 100 ir 2 380 vnt. m⁻²). Karotinoidų kiekis stiebuose svyravo nuo 0,10 iki 0,13 (9 pav.). Vidutiniais trejų metų duomenimis, daugiausia karotinoidų (0,13 mg g⁻¹ žalios masės) stiebuose buvo 1 540 ir 2 380 vnt. m⁻² tankumo pasėlyje.

Duomenų apie fotosintezės pigmentų ir apskritai fotosintezės intensyvumo pokyčius, priklausomai nuo linų pasėlio tankumo, literatūros šaltiniuose nebuvo aptikta. Saulėgražų lapuose fotosintezė buvo intensyvesnė tankesniame pasėlyje, bet tam įtakos turėjo veislės savybės ir atstumai tarp eilių /Аксыонов, 2007/. Apibendrinant fotosintezės pigmentų duomenis, galima teigti, kad linų lapai dėl savo architektikos normaliai jų sintezei pakankamai šviesos gavo visų tankumų pasėliuose, o pigmentų

kaupimuisi stiebuose palankesnės sąlygos buvo vidutinio tankumo pasėliuose ir ypač pasėlyje, kurio tankumas buvo apie 1 540 vnt. m⁻².

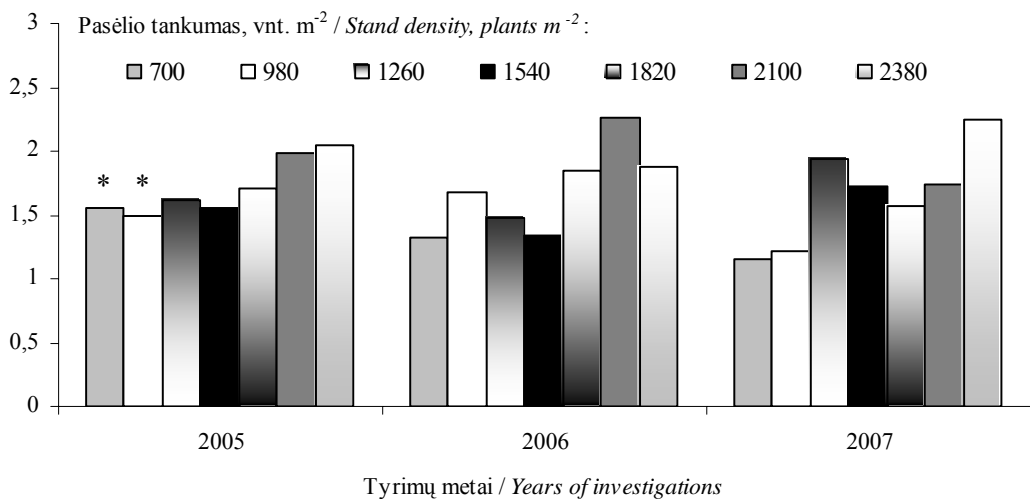


9 paveikslas. Karotinoidų kiekis linų stiebuose, mg g⁻¹ žalios masės

Figure 9. Carotenoid content in flax stems, mg g⁻¹ green mass

* – skirtumas esminis esant 95 % tikimybės lygiui / difference significant at 95 % probability level

R₀₅ / LSD₀₅ = 0,008 (2005 m.), R₀₅ / LSD₀₅ = 0,008 (2006 m.), R₀₅ / LSD₀₅ = 0,008 (2007 m.)



10 paveikslas. Chlorofilų a ir b santykis linų stiebuose, mg g⁻¹ žalios masės

Figure 10. The ratio of chlorophyll a and b in flax stems, mg g⁻¹ green mass

* – skirtumas esminis esant 95 % tikimybės lygiui / difference significant at 95 % probability level

R₀₅ / LSD₀₅ = 0,219 (2005 m.), R₀₅ / LSD₀₅ = 0,208 (2006 m.), R₀₅ / LSD₀₅ = 0,242 (2007 m.)

Apibendrinant tyrimų duomenis, galima teigti, kad optimalus pluoštinių linų pasėlio tankumas turėtų būti 1 540 vnt. m⁻² ir nuo 1 820 iki 2 100 vnt. m⁻² auginant atsparias išgulimui veisles. Pagal literatūros duomenis, optimalus jų tankumas yra 1 800 vnt. m⁻², bet, priklausomai nuo veislės, gali svyruoti nuo 1 542 iki 1 864 vnt. m⁻² /Couture et al., 2002/. Įvairių autorių duomenimis, linų tankumas turėtų priklausyti nuo atstumo tarp eilių, dirvožemio, vyraujančių meteorologinių sąlygų ir pan. /Casa et al., 1999; Zajac, 2005; Kocjan Ačko, Trdan, 2008/.

Išvados

1. Pluoštinių linų lapų indeksas vegetacijos metu nuosekliai didėja ir didžiausias būna žydėjimo–žaliosios brandos tarpsniu. Esant nepalankioms meteorologinėms sąlygoms (2007 m.), augalų vegetacija užtrunka, linai formuoja šoninius ūglius ir dėl to lapų indeksas didėja ir žalios brandos tarpsniu.

2. Linų lapų fotosintezės pigmentų kaupimui pasėlio tankumas neturi įtakos. Tačiau stiebų pigmentų sistema jautriai reaguoja į konkurencinę įtampą, todėl tankinant pasėlį kaupiasi mažiau pigmentų, nors chlorofilų a ir b santykis yra palankesnis vykti fotosintezei.

3. Sprendžiant pagal linų lapų indekso dinamiką ir fotosintezės pigmentų kiekį bei santykį, vegetacijos metu optimalus pluoštinių linų pasėlio tankumas turėtų būti 1 540 vnt. m⁻² ir nuo 1 820 iki 2 100 vnt. m⁻² auginant atsparias išgulimui veisles.

Gauta 2008-10-01

Pasirašyta spaudai 2008-11-06

LITERATŪRA

1. Aksyonov I. Effect of cultivation measure on index of photosynthesis and yield of sunflower // *Helia*. – 2007, vol. 30, iss. 47, p. 79–86

2. Aufhammer W., Wagner W., Kaul H. et al. Radiation use by oil seed crops – a comparison of winter rape, linseed and sunflower // *Agronomy and Crop Science*. – 2000, vol. 184, p. 277–286

3. Bastys M., Gruzdevienė E., Šiuliauskas A., Liakas V. Šiuolaikinės augalininkystės technologijos. Pluoštiniai linai / LŽŪU. – Akademija (Kauno r.), 2003, t. 5. – 164 p.

4. Bukantis A., Kazakevičius S., Korkutis P. ir kt. Klimato elementų kintamumas Lietuvos teritorijoje. – Vilnius, 1998, p. 10–13, 30–35

5. Casa R., Russell G., LoCascio B., Rossini F. Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities // *European Journal of Agronomy*. – 1999, vol. 11, p. 267–278

6. Couture S. J., Asbil W. L., DiTommaso A. et al. Comparison of European fibre flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars under Eastern Canadian growing conditions // *Agronomy and Crop Science*. – 2002, vol. 188, p. 350–356

7. Del Pozo A., Dennett M. D. Analysis of the distribution of light, leaf nitrogen, and photosynthesis within the canopy of *Vicia faba* L. at two contrasting plant densities // *Australian Journal of Agricultural Research*. – 1999, vol. 50, p. 183–189

8. Demmig-Adams B., Adams W. W. The role of xanthophylls cycle carotenoids in the protection of photosynthesis // *Trends in Plant Science*. – 1996, iss. 1, No. 1, p. 21–26

9. Kocjan Ačko D., Trdan S. Influence of row spacing on the yield of two flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) // *Acta Agriculturae Slovenica*. – 2008, vol. 91, iss. 1, p. 23–35

10. Lafond G. P. The effects of nitrogen, row spacing and seeding rate on the yield of flax under a zero-tillage system // *Canadian Journal of Plant Science*. – 1993, vol. 73, p. 375–382
11. Larsen A. Experiments on the net assimilation rate of flax (*Linum usitatissimum* L.) // *Acta Agriculturae Scandinavica*. – 1960, vol. 10, p. 226–236
12. Lemesh V. A., Khotyleva L. V. Ontogenesis-related plant growth analysis and chloroplast photochemical activity of fibre flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) with contrasting productivity // *Vesti Natsyonal'nai Akademii Navuk Belarusi / Seryya Biyalagichnykh Navuk*. – 2003, No. 3, p. 42–46
13. Long S. P., Zhu X. G., Naidu S. L., Ort D. R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? // *Plant, Cell and Environment*. – 2006, vol. 29, p. 315–330
14. Lukianienė D., Lamsodienė I., Denisovas V. ir kt. Žemės ūkio augalų vystymosi ir derliaus prognozavimo dinaminis modelis // *Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽŪU, LZI*. – 1996, t. 52, p. 279–290
15. Marrshall G., Morrison I. N., Nawolsky K. Studies on physiology of *Linum usitatissimum* L.: The application of mathematical growth analysis // *Flax: Breeding and Utilization*. – 1989, p. 39–47
16. Pyrantienė D., Savilionis A., Liakas V. Kompiuterinio modeliavimo panaudojimas žieminių kviečių derlingumui prognozuoti // *Vagos: mokslo darbai / LŽŪU*. – 2002, t. 56, Nr. 9, p. 100–104
17. Reddy V. R., Timlin D. J., Pachepsky Y. Quantitative description of plant density effects on branching and light interception in soybean // *Biotronics*. – 1999, vol. 28, p. 73–85
18. Sharma-Natu P., Ghildiyal M. C. Potential targets for improving photosynthesis and crop yield // *Current Science*. – 2005, vol. 88, iss. 12, p. 1918–1928
19. Šidlauskas G. Vasarinių rapsų pasėlio tankumo įtaka azoto, fosforo ir kalio kiekiui augaluose, sėklų derliui bei žalių baltymų ir riebalų išėigai // *Žemdirbystė / Žemdirbyste-Agriculture*. – 2000, t. 70, p. 176–185
20. Tarakanovas P., Raudonius S. Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, SPLIT-PLOT iš paketo SELEKCIJA. – Akademija (Kėdainių r.), 2003. – 57 p.
21. Tarvydienė A., Duchovskis P., Šiuliauskas A. Skirtingų raudonųjų burokėlių (*Beta vulgaris* L. *conditiva*) morfotipų fotosintetinių rodiklių formavimosi dinamika įvairaus tankumo pasėlyje // *Vagos: mokslo darbai / LŽŪU*. – 2004, t. 62, p. 44–52
22. Velička R., Marcinkevičienė A., Rimkevičienė M., Trečiokas K. Skirtingo tankumo vasarinių rapsų biopotencialo vertinimas // *Žemės ūkio mokslai*. – 2007, t. 14, Nr. 2, p. 31–39
23. Wettstein D. Chlorophyll Letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden // *Experimental Cell Research*. – 1957, vol. 12, p. 427
24. Zając T. Powierzchnia asymilacyjna i plonowanie odmian lnu oleistego w zależności od gęstości siewu i nawożenia mineralnego // *Acta Agraria et Silvestria*. – 2005, vol. XIV, p. 65–76
25. Барцева А. А. Формирование и работа фотосинтетического потенциала у льна-долгунца // *Труды ВНИИЛ*. – Торжок, 1971, вып. IX, с. 156–162
26. Воронкова В. Я. Продуктивность фотосинтеза и формирование высокого урожая льна-долгунца // *Научные труды БСХА*. – 1968, т. 72, с. 74–80
27. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – Москва, 1985. – 351 с.
28. Кошелева Л. Л. Физиология питания и продуктивность льна-долгунца. – Минск, 1980. – 200 с.

29. Молканова Л. И., Молканов Л. Н. Характер зависимости чистой продуктивности фотосинтеза от площади листьев в посевах льна-долгунца // Селекция, агротехника и защита растений льна / Труды ВНИИЛ. – Торжок, 1973, вып. XI, с. 93–99

30. Ничипорович А. А. Фотосинтез и пути повышения продуктивности растений // Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. – Кишинев, 1976, с. 9–15

31. Попеляева Н. Н. Влияние сроков посева и нормы высева на рост, развитие и продуктивность льна-долгунца в условиях низкогорий Алтая / Автореферат. – Барнаул, 2003. – 17 с.

32. Попова Г. А., Крепков А. П. Онтогенетическая динамика фотосинтетической деятельности растений льна в связи с их продуктивностью // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2003, вып. II, с. 48–53

33. Попова Г. А., Крепков А. П. Особенности формирования и распределения фотосинтетических пигментов в растениях льна в условиях Сибири // Физиология растений – основа фитобиотехнологии. – Пенза, 2003, с. 66–67

34. Третьяков Н. Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. – Москва, 1998. – 639 с.

ISSN 1392-3196

Zemdirbyste-Agriculture, vol. 95, No. 4 (2008), p. 97–109

UDK 633.521:581.132

THE EFFECT OF PLANT STAND DENSITY ON FLAX LEAF AREA INDEX AND CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS

M. Balčiūnas, Z. Jankauskienė, A. Brazaitytė, P. Duchovskis

Summary

Experiments were conducted during 2005–2007 at the experimental crop rotation of the Lithuanian Institute of Agriculture's Upytė Research Station and at the Lithuanian Institute of Horticulture's Laboratory of Plant Physiology. The objective of this study was to estimate the dynamics of leaf area index during the growing season and to measure the content of photosynthetic pigments in the flax (*Linum usitatissimum* L.) variety 'Hermes' stands of different density ranging from 700 to 2,380 plants m⁻². Experimental evidence indicated that the leaf area index was increasing steadily during the growing season and reached the maximum at the 'flowering' – 'green maturity' stages. Under adverse weather conditions, which occurred in 2007, fibre flax growing season was longer, plants produced lateral shoots and leaf area index increased also at the 'green maturity' stage. Plant stand density did not have any effect on the accumulation of flax leaf photosynthetic pigments. However, the stem pigment system responded sensitively to the competitive tension, and with increasing stand density the accumulation of pigments tended to go down, although the ratio of chlorophyll a and b was more favourable for the occurrence of photosynthesis. According to flax leaf assimilating area dynamics and content of photosynthetic pigments, the optimum fibre flax stand density during the growing season should be 1,540 plants m⁻² and from 1,820 to 2,100 plants m⁻² for lodging - resistant varieties.

Key words: chlorophyll (a), (b), carotenoids, flax, leaf area index, *Linum usitatissimum* L.