

4. Pool M.H., Meuwissen T.H.E. (1999) Prediction of Daily Milk Yields from a Limited Number of Test Days Using Test Day Models. *J. Dairy Sci.*, 82, 1555 – 1564.
5. Ptak E., Schaeffer L.R. (1993) Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 23 – 34.
6. Reents R., Doop L. (1996) Genetic evaluation for dairy production traits with a test day model for multiple lactations. *Proceedings of the 1996 Interbull Meeting: Interbull bulletin 14*, 113 – 117.
7. SAS 1998. *SAS User's guide* SAS Institute Inc., Gary, North Carolina.
8. Schaeffer L.R., Jamrozik J., Kistemaker G.J., Van Doormaal B.J. (2000) Experience with a Test – Day Model. *J. Dairy Sci.* 83, 1135 – 1144.
9. Swalve H.H. (2000) Theoretical Basis and Computational Methods for Different Test – Day Genetic Evaluation Methods. *J. Dairy Sci.*, 83, 1115 – 1124.

**FOTOSINTĒZES PIGMENTU SATURA IZMAIŅAS VASARAS KVIEŠU LAPĀS
ATKARĪBĀ NO MINERĀLELEMENTU PIEGĀDES CAUR LAPĀM
THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN SPRING WHEAT LEAVES IN
DEPENDENCE ON MINERAL SUPPLY THROUGH LEAVES**

Stramkale V., Stramkalis A., Pakarna G., Vikmane G.

Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrs/ Scientific centre of agriculture of Latgale, Kultūras laukums 1a, Viļāni, Rēzeknes rajons, Latvija LV-4650, phone: +371 64628140; e-mail: strzin@apollo.lv
Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultāte/ Faculty of Biology, University of Latvia, Kronvalda bulvāris 4, Rīga, Latvija LV-1010, phone: +371 67034864, e-mail: mar.vikmane@lu.lv

Abstract

Fertilisers are of great significance in the formation of wheat (*Triticum L.*) spring variety yield and its quality. Usually organic and mineral nutrients for plants are worked into the soil. It is known that the utilisation of mineral nutrients from soil is not with the high efficiency. An actual problem for agriculture is the rational using of nutrients. Mineral supply through leaves increases the availability of minerals and it is better for the environment. This was the first investigation of the influence of mineral supply through leaves on amount of photosynthetic pigments in spring wheat leaves in Latvia. There were field tests and laboratory experiments.

Field tests and laboratory experiments were carried out with wheat variety 'Jasna'. During the heading phase plants were sprayed with solution of micronutrients – *DDMn* (Mn:Zn:Cu:Mo:B = 4:0.010:0.020:0.001:0.010) and solution of macronutrients – *Phosific* (NH₄NO₃:P₂O₅:K₂O:SO₃ = 10:15:5:30). The field tests were carried out in the Latgale Scientific Agricultural Centre in Eastern Latvia, but the laboratory experiments in the Department of Plant Physiology the faculty of Biology the University of Latvia. Field tests were performed in the year 2005. The field tests were organised according to the method of random blocks with 4 repetitions. The total area for a block was 2 m × 10 m = 20 m². The total space of the test was 1600 m². There was humus podzolic gley soil. The content of organic substances in the soil was 5.2%, pH_{KCl} – 6.45. Micronutrients in soil (mg l⁻¹): N – 100, P – 730, K – 140, Ca – 13625, Mg – 2500, S – 23, Fe – 2800, Mn – 125, Zn – 5, Cu – 8.5, Mo – 0.08, B – 1.20. Pre-plant was flax. As a basic fertiliser "*Kemira Grow How*" complex mineral nutrition 5:10:25 3 c ha⁻¹, mineral supplement was ammonium nitrate – 1 c ha⁻¹ (the recommendations of the supplier). In field tests the yield of wheat was determined. The wheat was cropped according to the seed ripening phase by grain combine harvester *Sampo-130*.

In the laboratory (in the year 2005 and 2006) experiments the seeds were germinated at 20°C in a Petri dish. The number of repetitions – 4. The number of seeds in every repetition was 100. In the laboratory experiments were determined amount of photosynthetic pigments were estimated spectrophotometrically. During laboratory experiments plants were grown also in containers with soil from Latgale Scientific Agricultural Centre (volume 1 litre) 10 plants in each. The number of repetitions – 4. Plants were sprayed with foliar fertiliser following directions.

Photosynthetic pigments were determined after appearing the second true leaf with intervals of 7 days. Chlorophyll amount were quantified with *SPAD-502*.

The supply of macronutrients and micronutrients through leaves increased the amount of photosynthetic pigments in wheat leaves by 3 to 29% in field and laboratory experiments either. Greater positive effect is due to the fertilisation of macronutrients through leaves. *SPAD* meter readings were linearly related to chlorophyll total amount in wheat leaves. The advantage of this method is absence of necessity to destruct leaves. The favourable effect on the amount of photosynthetic pigments in leaves remained in the next generation. Spraying of minerals during the heading phase increased wheat grain yield by 3 to 5% in comparison with the control. Optimal doses of minerals through leaves during wheat heading phase insure positive correlation between amount of photosynthetic pigments and grain yield. Negative influence on the environment is reduced.

Key words: fertilisation through leaves, spring wheat, photosynthetic pigments, yields.

Ievads

Vasaras kviešu (*Triticum L.*) ražības un ražas kvalitātes veidošanā nozīmīgs faktors ir mēslojums. Augiem barības elementu nepieciešamību parasti nodrošina ar organisko un minerālmēslojumu, tos iestrādājot augsnē. Tā kā augiem minerālelementu izmantošanas efektivitāte nav augsta, lapu mēslojuma pielietošana ir viens no patlaban aktuālākiem šīs problēmas risinājumiem.

Miglošana caur lapām palielina augu minerālmēsļu izmantošanas efektivitāti un samazina negatīvās sekas vidē. Minerālelementi lapas audos iekļūst caur kutikulas hidrofiliskajām porām, kuru diametrs ir mazāks par 1nm (Schonherr,1976), nonāk apoplastā, tad pa plazmodesmām iekļūst šūnās, pa simplastu pārvietojas uz citām lapas parenhīmas šūnām un iesaistās metabolismā vai nonāk vadaudos (Schonherr,1976; Marschner, 1999).

Vielu uzņemšanu caur lapām ietekmē auga ontogēzes etaps, lapu anatomiskā uzbūve, mēslošanas līdzekļa ķīmiskās īpašības un koncentrācija, meteoroloģiskie apstākļi un citi faktori (Levy, Horesh, 1984; Tyree *et al.*, 1990; Bowman, Paul, 1992; Marschner, 1999). Kaut arī minerālelementu uzņemšana caur lapām nevar aizstāt augu minerālo barošanos no augsnes caur saknēm, tomēr tai ir priekšrocības (Tyree *et al.*, 1990; Marschner, 1999): iespējams ātri piegādāt augiem tieši attiecīgajā attīstības periodā visvairāk nepieciešamos elementus un tādā veidā regulēt augšanu un attīstību; ātri un efektīvi novērst fizioloģiskos traucējumus, kuri radušies minerālelementu trūkuma rezultātā; vajadzīgs neliels daudzums attiecīgo savienojumu; samazinās augsnes piesārņošana ar ķīmikālijām. Pēc vairāku autoru domām fotosintēzes pigmentu daudzums augu lapās zināmā mērā raksturo apgādi ar minerālelementiem (Longstreth, Nobel, 1980; Marschner, 1999) kā arī augu fizioloģisko stāvokli (Dudenko *et al.*, 2002; Neufeld *et al.*, 2006).

Pētījuma mērķis: analizēt lapu mēslojuma ietekmi uz fotosintēzes pigmentu saturu kviešu lapās un graudu ražu.

Materiāli un metodes

Pētījums veikts Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā un Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātē 2005. un 2006. gadā. Pētījuma objekts vasaras kviešu šķirne 'Jasna'.

Izmēģinājumos izmantots lapu mēslojums *DDMn* (mikroelementi) un *Phosific* (makroelementi). Mikroelementu mēslojums *DDMn* ir pulverveida viela, viegli šķīst ūdenī, ar ķīmisko sastāvu Mn:Zn:Cu:Mo:B = 4:0.010:0.020:0.001:0.010. Makroelementu mēslojums *Phosific* ir šķidrās mēslojums ar ķīmisko sastāvu NH₄NO₃:P₂O₅:K₂O:SO₃ = 10:15:5:30, pH – 1.8-2, masa – 1.333 kg l⁻¹.

Lauka izmēģinājums iekārtots pēc randomizēto bloku metodes 4 atkārtojumos. Lauciņa kopējā platība 2 m × 10 m = 20 m². Uzskaites platība 1.6 m × 10 m = 16 m². Izolācija starp variantiem 0.4 m, starp atkārtojumiem 0.5 m. Izmēģinājuma kopējā platība 1600 m².

Lauks drenēts, reljefs izlīdzināts, augsnes novērtējums 48 balles. Lauka izmēģinājums iekārtots trūdainā podzolētā glejaugsnē. Augsnes pH_{KCl} – 6.45, organisko vielu saturs 5.2%. Minerālelementu saturs augsnē (mg l⁻¹): N – 100, P – 730, K – 140, Ca – 13625, Mg – 2500, S –

23, Fe – 2800, Mn – 125, Zn – 5, Cu – 8.5, Mo – 0.08, B – 1.20. Nodrošinājums ar fosforu, kalciju, magniju, dzelzi ir ļoti augsts; ar slāpekli, varu, molibdēnu – augsts; ar mangānu, cinku, boru – optimāls un ar sēru un kāliju – zems. Priekšsāgs – lini. Pamatmēslojumā kompleksie minerālmēsli 5:10:25 3 c ha⁻¹ un papildmēslojumā amonija salpetris – 1 c ha⁻¹. Augsnes apstrāde un mēslošana. Rudenī lauks uzarts. Pavasarī veikta augsnes sagatavošana sējai ar kombinēto apstrādes agregātu *Laumetris*. Kompleksais minerālmēslojums iestrādāts augsnē dienu pirms sējas, kultivācijas laikā, devas saskaņā ar metodiku. Pirms sējas lauks pievelts. Sēja veikta 3. maijā ar sējmašīnu *SN-16*. Izsējas norma 250 kg ha⁻¹. Pēc sējas lauks pievelts.

Sējumu kopšana. Trešajā jūnijā veikta miglošana ar pesticīdiem Mentors – 0.35 l ha⁻¹ + Cikocels – 1 l ha⁻¹ + Arrats – 150 ml ha⁻¹ + Kemivets – 100 ml ha⁻¹. Slimību apkarošanai 29. jūnijā lietots fungicīds Tango Super – 1.5 l ha⁻¹, kaitēkļu apkarošanai lietots Fastaks – 150 ml ha⁻¹. Septītajā jūnijā dots slāpekļa papildmēslojums 60 kg ha⁻¹. Pirmajā jūlijā kviešu vārpošanas sākumā dots lapu mēslojums *DDMn* – 0.6 kg ha⁻¹ un *Phosific* – 2 l ha⁻¹. Vasaras kvieši novākti ar kombainu *Sampo-130* 31. augustā.

Meteoroloģisko apstākļu raksturojums: 2005.gada maijā gaiss iesila pamazām. Maija 1.dekādē gaisa vidēja temperatūra 2.4°C zemāka par normu, bet nokrišņu daudzums 4.9 reizes pārsniedza normu. Arī maija 2. dekādē laika apstākļi bija līdzīgi. Laika apstākļi pozitīvi ietekmēja kviešu dīgšanu un augu attīstību. Jūnija vidējā gaisa temperatūra 14 °C, jeb 0.9 °C zemāka par normu. Nokrišņu daudzums 65 mm, jeb 87 % no normas. Jūlijā bija silts laiks, vidēja diennakts temperatūra par 1.7 °C pārsniedza normu un nokrišņu daudzums 65 mm, jeb 80 % no normas. Laika apstākļi labvēlīgi ietekmēja augu augšanu un attīstību. Augustā vidējā diennakts temperatūra bija tuvu normai, bet nokrišņu daudzums 1. dekādē 4.6 reizes pārsniedza normu. Pārmērīgais mitrums negatīvi ietekmēja graudu kvalitāti.

Laboratorijas izmēģinājumos sēklas diedzētas 20 °C temperatūrā. Sēklas ievietotas starp filtrpapīra lapām Petri traukos un novietotas tumsā. Atkārtojumu skaits – 4. Katrā atkārtojumā – 100 sēklas. Līdz ar sēklu dīgšanas sākumu tās eksponētas gaismā. Fotosintēzes pigmentu daudzums kviešu dīgstos noteikts spektrofotometriski 7.dienā pēc sēklu dīgšanas sākuma.

Laboratorijas izmēģinājumos kvieši audzēti veģetācijas traukos, katrā 10 augi. Atkārtojumu skaits – 4. Aptuveni ¼ daļa veģetācijas trauka tika piepildīta ar drenāžas slāni (keramzīts). Virs drenāžas slāņa iepildīts 1 litrs Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā ievāktās augsnes. Augu laistīšanai izmantots nostādīnāts krāna ūdens. Augi migloti ar lapu mēslojumu atbilstoši metodikai cerošanas fāzē (21.dienā pēc sēklu sadīgšanas). Sākot ar otrās lapas stadiju, ik pēc 7 dienām veikti fotosintēzes pigmentu mērījumi.

Fotosintēzes pigmenti noteikti jaunākajā auga lapā. To daudzums mērīts pektrofotometriski ar *Ultraspec 3100* 95% etilspirta izvilkumā, nosakot gaismas absorbciju (A) viļņa garumos, kas atbilst hlorofila a, hlorofila b un karotinoīdu absorbcijas maksimumiem. Pigmentu koncentrācija (µg ml⁻¹) aprēķināta pēc formulām (Kutschera,1998):

$$C_a = 13.36 A_{664} - 5.19 A_{648}$$

$$C_b = 27.43 A_{648} - 8.12 A_{664}$$

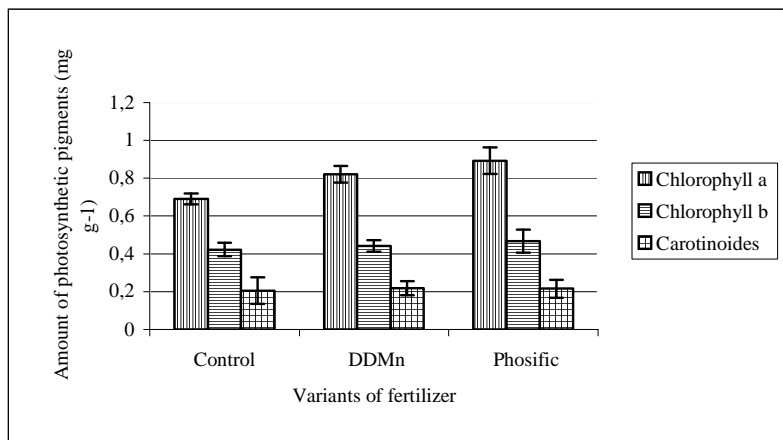
$$C_k = (1000 A_{470} - 2.13 C_a - 97.64 C_b) 209^{-1}$$

Hlorofila daudzums noteikts ar nedestruktīvu metodi, izmantojot hlorofilmetru *SPAD-502*.

Datu matemātiskā apstrāde (standartklūda, robežstarpības aprēķini) un attēlu izveide veikta ar datorprogrammu *MS Excel*.

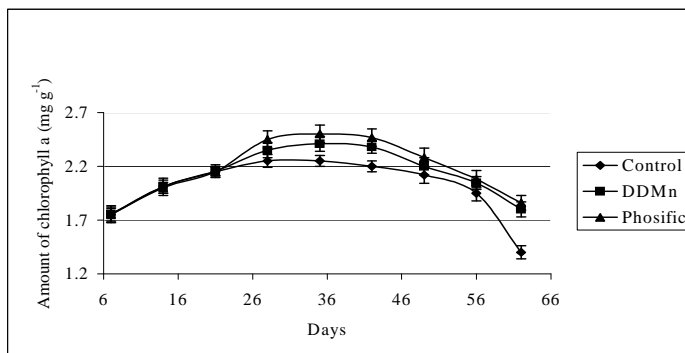
Rezultāti

Kviešu šķirnes ‘Jasna’ sēklas, kas iegūtas no augiem ar dažādu lapu mēslojumu, fotosintēzes pigmentu noteikšanai diedzēja laboratorijas apstākļos. Sēklas sāka dīgt 40.stundā pēc eksperimenta iekārtošanas. Fotosintēzes pigmentu daudzumu noteica 7. dienā pēc sēklu sadīgšanas. Pēc 1.attēla redzams, ka lapu mēslojums pozitīvi ietekmējis hlorofila a biosintēzi nākamās paaudzes kviešu dīgstos. Tā saturs palielinājies par 19 – 29%, salīdzinot ar kontroli. Vislielākais hlorofila a daudzums ir makroelementu lapu mēslojuma varianta kviešu dīgstos. Pēc hlorofila b un karotinoīdu daudzuma būtiskas atšķirības starp variantiem nav konstatējam.

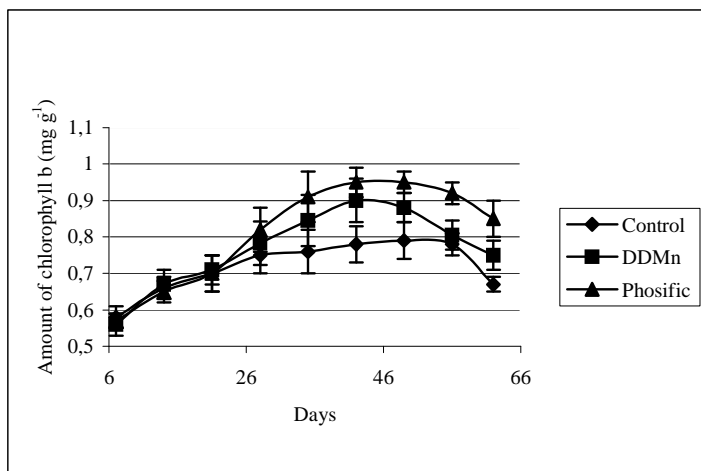


1. attēls. Fotosintēzes pigmentu saturs kviešu šķirnes 'Jasna' dīgstos. Laboratorijas izmēģinājumi/ Figure 1. An amount of photosynthetic pigments in wheat variety 'Jasna' shoots. Laboratory experiments.

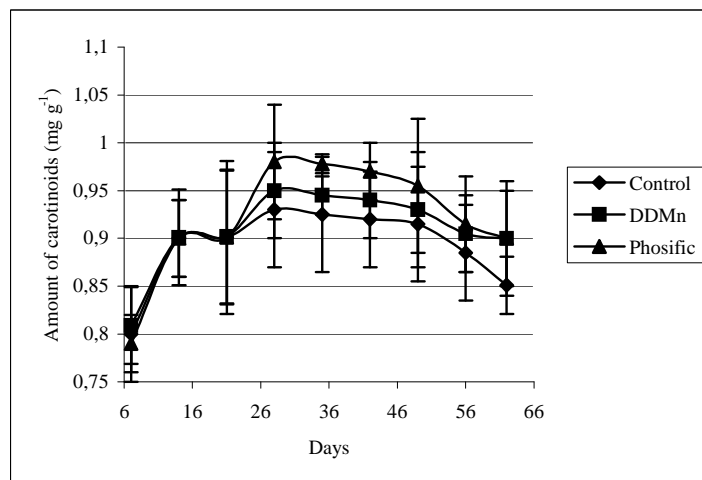
Laboratorijas izmēģinājumos augsnes kultūrās audzētu kviešu lapās ontoģenēzes sākumā (7. dienā pēc sēkļu sadīgšanas) ir salīdzinoši zems fotosintēzes pigmentu daudzums (2.- 4. attēls). Cerošanas un stiebrošanas fāzē pigmentu daudzums kviešu lapās pakāpeniski pieaug. Kviešu vārpošanas sākumā vērojama visu fotosintēzes pigmentu daudzuma samazināšanās. Arī citu autoru darbos konstatēta līdzīga fotosintēzes pigmentu dinamika graudaugu lapās ontoģenēzē (Simona-Stoilova *et al.*, 2001). Mūsu eksperimentā visstraujāk samazinās hlorofila a daudzums. Iespējams, ka tas saistīts ar nelabvēlīgu vides faktoru ietekmi: laboratorijā bija krāsas diennakts temperatūras svārstības. Literatūrā ir norādes, ka stresa apstākļos notiek hlorofila hidrolīze par hlorofilīdu un fitolu (Pshibytko *et al.*, 2004; Rong-hua *et al.*, 2006). Pēc augu miglošanas ar lapu mēslojumu (22. dienā pēc sēkļu sadīgšanas) vērojams visu fotosintēzes pigmentu daudzuma pieaugums kviešu lapās. Augu cerošanas beigās un stiebrošanas fāzē lapu mēslojuma ietekmē hlorofila a saturs palielinājies par 4-12%, hlorofila b par 3-22%, karotinoīdu – par 2-6%, salīdzinot ar kontroli. Lielākā ietekme ir makroelementu lapu mēslojumam. Vārpošanas fāzē fotosintēzes pigmentu daudzuma samazināšanās ar lapu mēslojumu migloto augu lapās ir mazāka nekā kontroles varianta augiem. Arī vārpošanas fāzē makroelementu pozitīvā ietekme uz fotosintēzes pigmentu daudzumu ir nedaudz lielāka nekā mikroelementu. Pēc augšņu analīžu rezultātiem izmēģinājumos izmantotajā augsnē nodrošinājums ar makroelementiem slāpekli, kāliju un sēru ir attiecīgi labs, zems un nepietiekams, bet nodrošinājums ar mikroelementiem ir optimāls un augsts. Iespējams, tāpēc makroelementu ietekme uz fotosintēzes pigmentu biosintēzi ir lielāka.



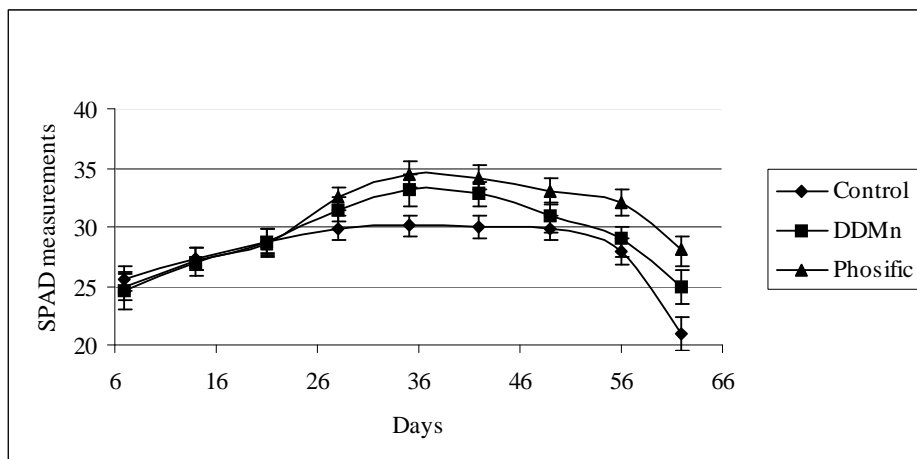
2. attēls. Hlorofila a dinamika kviešu šķirnes 'Jasna' lapās ontoģenēzē. Laboratorijas izmēģinājumi. 6 – dīgšanas fāze, 14-28 – cerošanas fāze, 35-56 – stiebrošanas fāze, 62 – vārpošanas fāze/ Figure 2. Chlorophyll a dynamic in leaves of wheat variety 'Jasna' in ontogenesis. Laboratory experiments. 6 – germination, 14-28 – tillering, 35-56 – stem extension, 62 – heading.



3. attēls. . Hlorofila **b** dinamika kviešu šķirnes 'Jasna' lapās ontogēnēzē. Laboratorijas izmēģinājumi. 6 – dīgšanas fāze, 14-28 – cerošanas fāze, 35-56 – stiebrošanas fāze, 62 – vārpošanas fāze/ Figure 3. Chlorophyll **b** dynamic in leaves of wheat variety 'Jasna' in ontogenesis. Laboratory experiments. 6 – germination, 14-28 – tillering, 35-56 – stem extension, 62 – heading.



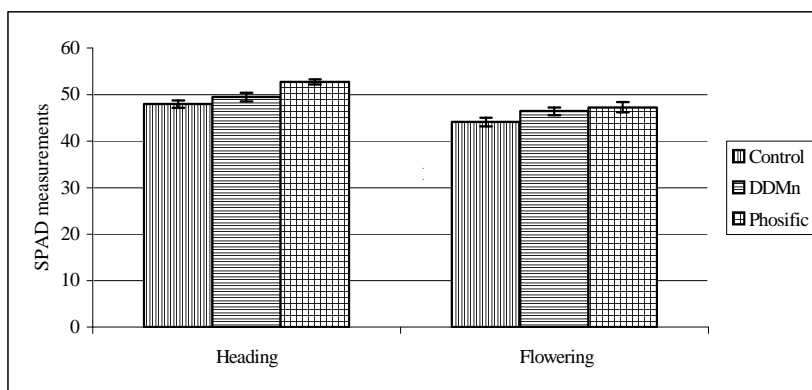
4. attēls. Karotinoīdu dinamika kviešu šķirnes 'Jasna' lapās ontogēnēzē. Laboratorijas izmēģinājumi. 6 – dīgšanas fāze, 14-28 – cerošanas fāze, 35-56 – stiebrošanas fāze, 62 – vārpošanas fāze/ Figure 4. Carotenoids dynamic in leaves of wheat variety 'Jasna' in ontogenesis. Laboratory experiments. 6 – germination, 14-28 – tillering, 35-56 – stem extension and 62 – heading.



5. attēls. Hlorofila dinamika kviešu šķirnes ‘Jasna’ lapās *SPAD* vienībās. Laboratorijas izmēģinājumi. 6 – dīgšanas fāze, 14-28 – cerošanas fāze, 35-56 – stiebrošanas fāze, 62 – vārpošanas fāze/ Figure 5. Chlorophyll dynamic in leaves of wheat variety ‘Jasna’ in *SPAD* measurements. Laboratory experiments. 6 – germination, 14-28 – tillering, 35-56 – stem extension and 62 – heading.

Arī hlorofila daudzuma izmaiņas *SPAD* vienībās kviešu lapās makroelementu ietekmē ir daudz lielākas nekā miglojot augus ar mikroelementiem (5.attēls). Hlorofila dinamika ontoģenēzē ir līdzīga visu fotosintēzes pigmentu satura izmaiņām: hlorofila daudzums kviešu lapās ontoģenēzē pieaug, maksimumu sasniedzot stiebrošanas fāzē, bet vārpošanas fāzē hlorofila daudzums samazinās visu izmēģinājuma variantu augu lapās.

Lauka izmēģinājumos hlorofila saturu kviešu lapās noteica vārpošanas un ziedēšanas fāzēs (6. attēls). Hlorofila daudzums lauka apstākļos augušo kviešu lapās ir lielāks nekā laboratorijas izmēģinājumos. Tas liecina, ka apgaismojums un citi vides apstākļi lauka izmēģinājumos ir bijuši optimālāki kviešu augšanai un attīstībai. Arī lauka izmēģinājumos konstatēta lapu mēslojuma pozitīvā ietekme uz hlorofila saturu kviešu lapās: salīdzinoši lielāka ir makroelementu ietekme. Ziedēšanas fāzē hlorofila daudzums kviešu lapās ir par 6,5-11,5 *SPAD* vienībām zemāks nekā vārpošanas fāzē. Hlorofila satura samazināšanās varētu būt saistīta ar augu novecošanos, kā arī ar asimilātu straujāku transportu uz atrāģējošiem centriem augā.



6. attēls. Hlorofila saturs kviešu šķirnes ‘Jasna’ lapās *SPAD* vienībās. Lauka izmēģinājumi/ Figure 6. Chlorophyll content of wheat leaves in *SPAD* measurements. Field experiments

Analizējot rezultātus, kas iegūti spektrofotometriski un ar hlorofilmetru konstatēja *Triticum L.* lapās kopējā hlorofila daudzuma lineāru korelāciju (7.- 9. attēls) ar augstu korelācijas rādītāju 0.96-0,97. Respektīvi, lineāri pieaugot *SPAD* rādītājiem, proporcionāli pieaug arī lapas hlorofila

daudzums mg g^{-1} . No korelācijas grafika ieguva kalibrācijas vienādojumu, kas ļauj pārvērst SPAD vienības absolūtā kopējā hlorofila vienībās:

$$y = 0,1075x - 0,2644, \text{ kur}$$

y – absolūtais kopējā hlorofila daudzums (mg g^{-1}),

x – attiecīgais SPAD mērījums (SPAD vienības).

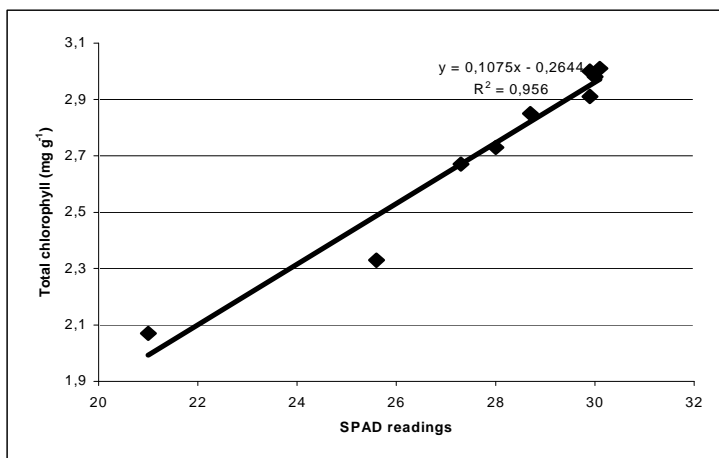
Lineāra sakarība starp kopējā hlorofila daudzumu un SPAD mērījumiem novērota arī citu autoru darbos (Simova-Stoilova *et al.*, 2001; Neufeld *et al.*, 2006).

Diskusija

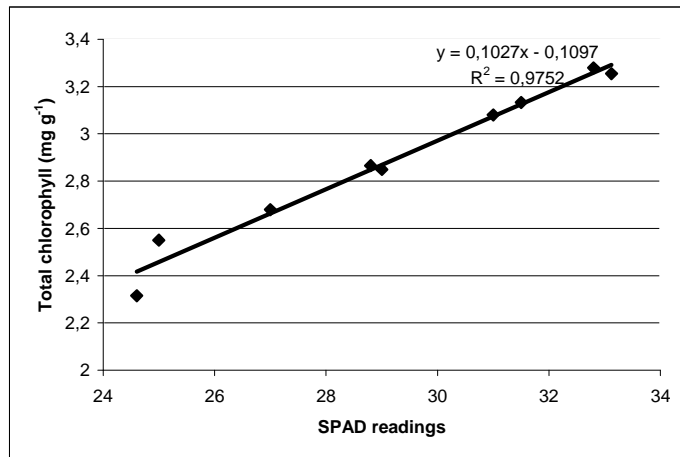
Lapu mēslojuma ietekmē fotosintēzes pigmentu daudzums kviešu lapās laboratorijas un lauka izmēģinājumos palielinājies par 3-29% (1.-6. attēls). Zaļo plastīdu pigmentu daudzums zināmā mērā raksturo fotosintēzes norisi un auga fizioloģisko stāvokli (Malkin *et al.*, 2000; Dudenko, Adrianova, 2002; Neufeld *et al.*, 2006). Fotosintēzē lapu šūnu hloroplastos gaismas enerģiju saista visi pigmenti, bet gaismas enerģijas transformāciju ķīmiskajā enerģijā veic fotosistēmas I un II centrā esošais hlorofils a. Tāpēc hlorofilam a ir pati būtiskākā loma fotosintēzē (Wettstein *et al.*, 1995; Sharma-Natu, Ghildiyal, 2005; Nelson, Yocum, 2006). Mūsu eksperimentā ar lapu mēslojumu miglotajos augos ir lielāks fotosintēzes pigmentu daudzums, tāpēc iespējama intensīvāka fotosintēze.

Hlorofila daudzums augā ir dinamiskā līdzsvarā: notiek hlorofila molekulu sintēze un noārdīšanās. Hlorofila biosintēze atkarīga no auga ģenētiskajām īpašībām, metabolisma procesu norises, kā arī no vides apstākļiem. Viens no būtiskākajiem vides faktoriem ir auga nodrošinājums ar minerālelementiem (Wettstein *et al.*, 1995; Reinbothe, Reinothe, 1996; Beale, 1999; Beck, 2005).

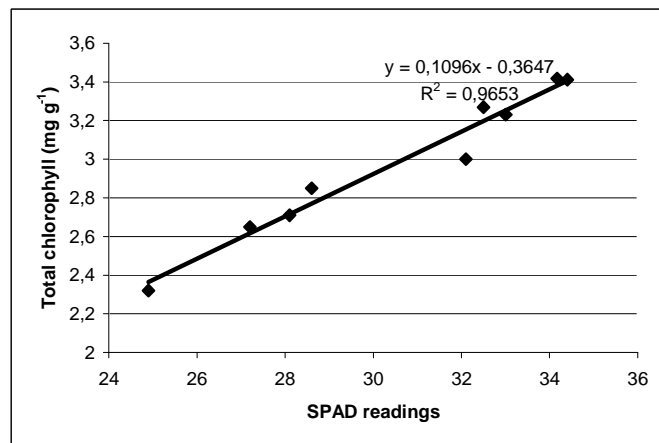
Salīdzinot mūsu pētījuma rezultātus, kas iegūti ar spektrofotometrijas un hlorofilmetra metodēm, konstatēja ciešu lineāru sakarību starp kopējā hlorofila daudzuma mērījumiem un SPAD vienībām (7. – 9.attēls). SPAD hlorofilmetrs ir ērti lietojams. Nav nepieciešama destruktīva ķīmiska analīze, lai noteiktu absolūto hlorofila daudzumu, tādejādi hlorofila noteikšana ir daudz ātrāka.



7. attēls. Korelācija starp absolūto hlorofila daudzumu un SPAD vienībām kontroles variantā. Laboratorijas izmēģinājumi/ Figure 7. Correlation between total chlorophyll and SPAD meter readings for control. Laboratory experiments.



8. attēls. Korelācija starp absolūto hlorofila daudzumu un SPAD vienībām *DDMn* (mikroelementi) variantā. Laboratorijas izmēģinājumi./ Figure 8. Correlation between total chlorophyll and SPAD meter readings for *DDMn* fertiliser (microelements). Laboratory experiments.



9. attēls. Korelācija starp absolūto hlorofila daudzumu un SPAD vienībām *Phosific* (makroelementi) variantā. Laboratorijas izmēģinājumi./ Figure 9. Correlation between total chlorophyll and SPAD meter readings for *Phosific* fertiliser (macroelements). Laboratory experiments

Minerālelementiem fotosintēzes norisē augā ir substrāta un regulatīva funkcija (Marschner, 1999; Reddy, Zhao, 2005; Nelson, Yocum, 2006; Sharma-Natu, Ghildiyal, 2005): lapu mēslojumā esošais slāpeklis kopā ar magniju ir pigmentu sastāvā; slāpeklis un sērs veido hloroplastu struktūru; slāpeklis, fosfors, sērs, kalcijs un magnijs ir hloroplastu membrānās; kālijs un bors ietekmē vielu transportu, K - atvārsnīšu stāvokli un līdz ar to CO₂ difūziju augā; fosfors – ATP sastāvā, ietekmē fotosintēzes gaismas un tumsas reakcijas; slāpeklis, kālijs, varš, mangāns – ietekmē fermentu aktivitāti, elektronu transportu fotosistēmās, ūdens fotolīzi 2. fotosistēmā. Šo elementu deficīts izraisa izmaiņas elektronu transportā, kavē NADP reducēšanu. Mūsu izmēģinājumos ar kviešiem lapu mēslojuma sastāvā esošo elementu ietekmes būtiskumu uz fotosintēzes pigmentu biosintēzi un asimilācijas procesu norisi augos apstiprina fakts, ka arī nākamās paaudzes augos ir lielāks pigmentu daudzums, kā arī lielāka ir graudu raža.

Vasaras kviešu graudu raža parādīta 1. tabulā. Veicot ražas datu statistisko apstrādi, noskaidrots, ka, neskatoties uz izmēģinājuma lauka potenciāli augsto auglību, lapu mēslojums ir nodrošinājis būtiskas ražas izmaiņas.

1. tabula. Vasaras kviešu 'Jasna' graudu raža/ Table 1. Crop yield of wheat variety 'Jasna'

Mēslojuma varianti/ Variants of fertiliser	Graudu raža/ Grain yield			1000 sēklu masa/ 1000 kernel weight
	t ha ⁻¹	+ t ha ⁻¹	%	g
1. Kontrole / Control	8.43	-	100	40.4
2. <i>DDMn</i>	8.63	0.20	103	40.8
3. <i>Phosific</i>	8.83	0.40	105	43.2
$\gamma_{0,05}=0,17$				

Vārpošanas sākuma fāzē, kviešus miglojot ar mikroelementiem *DDMn*, graudu raža palielinājusies par 3%, sasniedzot 8.63 t ha⁻¹, bet makroelementu *Phosific* ietekmē – par 5%, sasniedzot 8.83 t ha⁻¹.

Lielais nokrišņu daudzums augustā iespējams ir veicinājis minerālelementu izskalošanos no augsnes un aprgrūtinājis to uzņemšanu caur augu saknēm. Tāpēc sabalansēts lapu mēslojums pozitīvi ietekmējis metabolisma procesu norisi kviešu lapās, kā arī sekmējis sintezēto organisko vielu atplūdi uz ģeneratīvajiem orgāniem. Pēc vairāku autoru domām augstu graudaugu ražu ieguvē liela nozīme ir visu barības elementu koncentrāciju sabalansētībai, tas ir, vienlaicīgi visu elementu optimuma nodrošināšanai augam (Riņķis, Ramane, 1989; Marschner, 1999; Gilroy, Jones, 2000; Livmanis u.c., 2003; Stramkale u.c., 2006).

Mikroelementu lapu mēslojums būtiski nav ietekmējis 1000 graudu masu. Makroelementu ietekmē 1000 graudu masa palielinājusies par 6.9%. Makroelementi augos ir organisko vielu sastāvā, bet mikroelementiem mangānam, cinkam, varam, molibdēnam un boram ir katalītiskas funkcijas augos (Riņķis, Ramane, 1989; Marschner, 1999) Tāpēc mūsu pētījumā *Phosific* mēslojumam ir tieša ietekme uz graudu masu, bet *DDMn* mēslojuma ietekme izpaužas netieši, ietekmējot metabolisma procesu norisi augā.

Secinājumi

Lapu mēslojuma *DDMn* (mikroelementi) un *Phosific* (makroelementi) ietekmē fotosintēzes pigmentu daudzums kviešu šķirnes 'Jasna' lapās laboratorijas un lauka izmēģinājumos palielinājies par 3–29%, salīdzinot ar kontroli. Lielāka ietekme uz fotosintēzes pigmentu daudzumu ir makroelementu lapu mēslojumam. Mēslojot augus vārpošanas fāzē arī nākamās paaudzes kviešu augos ir lielāks fotosintēzes pigmentu daudzums.

Starp SPAD vienībām un absolūto hlorofila daudzumu kviešu lapās pastāv lineāra korelācija. SPAD hlorofilmetrs ir ērti lietojams. Nav nepieciešama destruktīva ķīmiska analīze, lai noteiktu hlorofila daudzumu.

Kviešu graudu raža lapu mēslojuma ietekmē palielinās par 3 – 5%.

Literatūra

1. Beale S. I. (1999) Enzymes of chlorophyll biosynthesis. *Photosynthesis Research*, 60, 42-73.
2. Beck C. F. (2005) Signaling pathways from the chloroplast to the nucleus. *Planta*, 222, 743-756.
3. Bowman D. C., Paul J. L. (1992) Foliar absorption of urea, ammonium and nitrate by perennial ryegrass turf. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 117, 75-79.
4. Dudenko N. V., Andrianova Y. E., Maksyutova N. N. (2002) Chlorophyll photosynthetic potential in wheat stands in dry and humid years. *Russian Journal of Plant Physiology*, Vol. 49, No. 5, 610-613.
5. Gilroy S., Jones D. L. (2000) Through from function: root hair development and nutrient uptake. *Trends in Plant Science*, 5, 56-60.
6. Kutschera U. (1998) Grundpraktikum zur Pflanzenphysiologie. Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co., Wiesbaden, 160.
7. Levy Y., Horesh I. (1984) Importance of penetration through stomata in the correction of chlorosis with iron salts and low – surface – tension surfactants. *J. Plant Nutr.*, 7, 279-281.

8. Livmanis J., Vucāns R., Līpenīte I. (2003) Vasaras kviešu 'Eta' graudu kvalitātes rādītāju izmaiņas mēslojuma ietekmē. *Agronomijas vēstis*, Nr. 5, 196-202.
9. Longstreth J. D., Nobel S. P. (1980) Nutrient influences on leaf photosynthesis. *Plant Physiol.*, 65, 541-543.
10. Malkin R., Niyogi K. (2000) Photosynthesis. In: *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 570-577.
11. Marschner H. (1999) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, 1-889.
12. Nelson N., Yocum F. C. (2006) Structure and function of photosystems I and II. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 521-565;
13. Neufeld H. S., Chappelka H. A., Somers L.G., Burkey K. O., Davison A. W., Finkelstein L. P. (2006) Visible foliar injury caused by ozone alters the relationship between SPAD meter readings and chlorophyll concentrations in cutleaf coneflower. *Photosynthesis Research*, 87, 281-286.
14. Pshibytko L. N., Kalitukho N. L., Zhavoronkova B. N., Kabashnikova F. L. (2004) The pool of chlorophyllous pigments in barley seedlings of different ages under heat shock and water deficit. *Russian Journal of Plant physiology*, Vol. 51, No. 1, 15-20.
15. Reddy R. Z., Zhao D. (2005) Interactive effects of elevated CO₂ and potassium deficiency on photosynthesis, growth and biomass partitioning of cotton. *Field Crops Research*, 94, 201-213.
16. Reinbothe S., Reinbothe C. (1996) Regulation of chlorophyll biosynthesis in angiosperms. *Plant Physiol.*, 111, 1.
17. Riņķis G., Ramane H. (1989) Kā barojas augi. "Avots", Rīga, 152.
18. Rong-hua L., Pei-guo G., Baum M., Grando S., Ceccarelli S. (2006) Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, 5 (10), 751-757.
19. Schonherr I. (1976) Water permeability of isolated cuticular membranes: the effect of cuticular waxes on diffusion of water. *Planta*, 131, 159-164.
20. Sharma-Natu P., Ghildiyal C. M. (2005) Potential targets for improving photosynthesis and crop yield. *Current Science*, Vol. 88, No. 12, 1918-1928.
21. Simona-Stoilova L., Stoyanova Z., Demirevska-Kepova K. (2001) Ontogenic changes in leaf pigments, total soluble protein and Rubisco in two barley varieties in relation to yield. *Bulg. J. Plant Physiol*, 27 (1-2), 15-24.
22. Stramkale V., Špīsa D., Vikmane M. (2006) Slāpekļa mēslojuma ietekme uz alus miežu ražu un sēklu kvalitāti. International conference "Opportunities and problems of economic development", March 24, 2006, Rēzekne, 462-468.
23. Tyree M. T., Scherbatskoy T. D., Tabor C. A. (1900) Leaf cuticles behave as asymmetric membranes. Evidence from the measurement of diffusion potentials. *Plant Physiol*, 92, 103-109.
24. Wettstein D., Gough S., Kannangara G. C. (1995) Chlorophyll biosynthesis. *The Plant Cell*, Vol. 7, 1039-1057.