



SLĀPEKĻA MĒSLOJUMA IZMANTOŠANAS EFEKTIVITĀTE GALVIŅKĀPOSTIEM EFFICIENCY OF NITROGEN FERTILIZER APPLICATION ON WHITE CABBAGE

Marija Maļceva¹, Māra Vikmane¹, Veneranda Stramkale^{2,3}, Aldis Stramkalis^{2,3}

1- Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultāte

Kronvalda bulvāris 4, Rīga, LV 1586;

Tālr.: +371 67034864, +371 29364133, e-pasts: mara.vikmane@lu.lv

2- Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrs

Viļāni, Rēzeknes raj.; tālr.: +371 4628140, +371 29465004, e-pasts: strzin@apollo.lv

3- RA Latgales ilgspējīgas attīstības pētnieciskais institūts

Atbrīvošanas aleja 76, Rēzekne, LV 4600; tālr.: 64625145, e-pasts dabkat@ru.lv

Abstract. Nitrogen is considered to be harvest-limiting element. Almost all investigations showed that under optimal nitrogen fertilizer harvest increases despite different and contrastive environmental conditions. There is a lack of research about changes of plant photosynthetic action under nitrogen fertilizer influence. During field and laboratory experiments changes of head cabbage ('Ancoma F₁' variety) photosynthesis - related parameters under different nitrogen supply (50, 120, 190, 190 + 40 and 190 + 50 + 40 N kg ha⁻¹) were observed. Results of field and laboratory experiments showed that optimal nitrogen fertilizer doses are 190 and 190 + 40 N kg ha⁻¹. The conclusion is that chlorophyll content (in SPAD readings and mg dm⁻²) and fluorescence parameters (F_v/F_m, F_v/F_o, RC/ABS and PI) can be used as early indicator for foreseeing nitrogen fertilizer efficiency for head cabbage. Fluorescence parameters give precise view of nitrogen fertilizer role in plant physiological processes and nitrogen effect on plant growth and development.

Keywords: cabbage, chlorophyll, fluorescence parameters, harvest, nitrogen fertilizer.

Ievads

Hlorofila daudzums augu lapās un fluorescences rādītāji dod nozīmīgu informāciju ne tikai par fotosintēzes norisi, bet arī par auga fizioloģisko stāvokli, kas savukārt atkarīgs no auga ģenētiskajām, augšanas un attīstības īpatnībām. Pēc fotosintēzi raksturojošiem rādītājiem var spriest par auga apgādi ar slāpekli un citiem minerālelementiem, kā arī auga reakciju uz vides apstākļiem [1]. Nelabvēlīgo faktoru iedarbība augiem izsauc vairākas specifiskas atbildes reakcijas un noved augu stresa stāvoklī. Stresori var ietekmēt visus metabolisma procesus, to skaitā arī fotosintēzi, kas augiem ir galvenais enerģijas avots [2; 3]. Fotosintēzes aparāts un īpaši fotosistēma II ir ļoti jutīgi pret dažādu stresoru iedarbību [4; 5; 6]. Pētījumu rezultāti liecina, ka hlorofila *a* fluorescence izmainās, palielinoties minerālelementu daudzumam augsnē un augos [7]. Sakarā ar to fotosintēzes procesa norises monitorings ir nozīmīgs auga fizioloģiskā stāvokļa noteikšanā [2; 3].

Slāpekļa saturs lapās pozitīvi korelē ar fotosintēzes kvalitāti, jo fotosintēzē piedalās N-saturošie proteīni [7]. Augu ražu ievērojami ietekmē slāpekļa mēslojums. Literatūrā norādīts par optimālo slāpekļa mēslojuma devu noteikšanu galviņkāpostiem. Eksperimentāli konstatēts, ka optimāls slāpekļa mēslojums būtiski palielina ražu, neskatoties uz atšķirīgiem un kontrastējošiem vides apstākļiem [8; 9]. Literatūrā trūkst pētījumu par augu fotosintētiskās darbības izmaiņām slāpekļa mēslojuma ietekmē.

Pētījuma mērķis bija analizēt dažādu slāpekļa mēslojuma devu ietekmi uz fotosintēzi raksturojošiem rādītājiem galviņkāpostos.

Materiāli un metodes

Pētījums veikts LU Bioloģijas fakultātes Augu fizioloģijas katedrā un Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā 2007. un 2008.gadā. Laboratorijas un lauka izmēģinājumos dažādu slāpekļa

mēslojuma devu ietekmes uz fotosintēzi raksturojošiem rādītājiem noteikšanai izmantoja galviņkāpostu šķirni 'Ancoma F₁'.

Galviņkāpostus laboratorijas un lauka izmēģinājumos audzēja atšķirīgos slāpekļa mēslojuma apstākļos. Augus mēsloja ar komplekso minerālmēslojumu pamatmēslojumā N50, 120, 190 kg ha⁻¹, papildmēslojumā lietoja amonija nitrātu N50 un 40 kg ha⁻¹ atkarībā no izmēģinājuma varianta.

Lauka izmēģinājumus iekārtoja pēc randomizēto bloku metodes četros atkārtojumos. Lauciņa kopējā platība 2,1 m × 10 m = 21 m². Uzskaites platība – 15 m². Izolācija starp variantiem 0,7 m, starp atkārtojumiem – 0,5 m. Izmēģinājuma kopējā platība – 480 m². Izmēģinājuma laukā trūdaina podzolēta glejaušne. Augsnes agroķīmiskais raksturojums abos izmēģinājuma gados būtiski neatšķiras: organisko vielu saturs augsnē – 3,0-3,5%; pH 6,4-7,0; fosfora, kalcija, magnija un dzelzs nodrošinājums – augsts; vara, molibdēna – augsts; slāpekļa, sēra, kālija, mangāna, cinka bora – optimāls. Priekšaugi – vasaras kvieši. Izmēģinājuma lauks drenēts, reljefs izlīdzināts, augsnes novērtējums – 48 balles. Pamatmēslojumu iestrādāja dienu pirms kāpostu izstādīšanas uz lauka (17.maijā abos izmēģinājuma gados). Papildmēslojumu iestrādāja maija beigās un jūlija sākumā saskaņā ar metodiku.

Laboratorijas izmēģinājumos augus audzēja 1 l tilpuma veģetācijas traukos četros atkārtojumos. Substrāts – kūdras maisījums *Kano*, kurā slāpeklis – 180 mg l⁻¹, fosfors – 245 mg l⁻¹, kālijs – 400 mg l⁻¹, pH – 5,5-7,0. Augus audzēja + 20 °C temperatūrā 16 h fotoperiodā, fotonu plūsmas intensitāte – 150 μmol s⁻¹ m⁻².

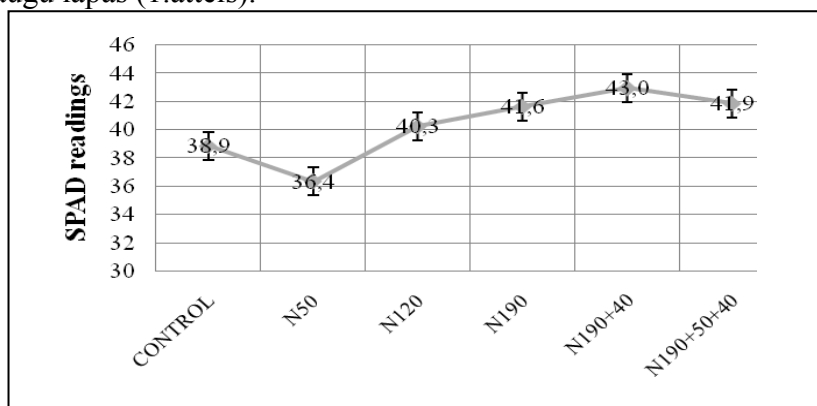
Abos izmēģinājuma gados pēc kāpostu izstādīšanas uz lauka meteoroloģiskos apstākļos būtiskas atšķirības nenovēroja. Gaisa temperatūra visos veģetācijas mēnešos bija normas robežās un krasas novirzes no iepriekšējo gadu vidējiem temperatūras rādītājiem nekonstatēja. Nokrišņu daudzuma ziņā 2007.gada veģetācijas mēneši bija bagātāki nekā vidēji iepriekšējie gadi, bet 2008.gadā novēroja mitruma deficītu, ko palielināja arī spēcīgie vēji.

Hlorofila daudzuma noteikšanai izmantoja hlorofilmetru *Minolta SPAD 502* un spektrofotometru *Ultraspec 3100 pro*.

Fluorescences mērīšanu veica ar *Handy PEA* iekārtu. Pamatojoties uz atsaucēm literatūrā, var apgalvot, ka *Handy PEA* metode tiek plaši pielietota hlorofila *a* fluorescences mērīšanai gan laboratorijas, gan lauka apstākļos [10; 5]. Ar augu efektivitātes analizētājiem var izmērīt dažādus parametrus, kas raksturo fluorescences intensitāti, fotosintēzes norisi un fotosistēmas II stāvokli [11].

Rezultāti un diskusija

Laboratorijas izmēģinājumos konstatēja, ka galviņkāpostu lapās hlorofila daudzums pieaug ontoģenēzē, neskatoties uz pamata un papildmēslojuma piegādi. Lielāks hlorofila saturs konstatēts N₁₉₀₊₄₀ varianta augu lapās (1.attēls).

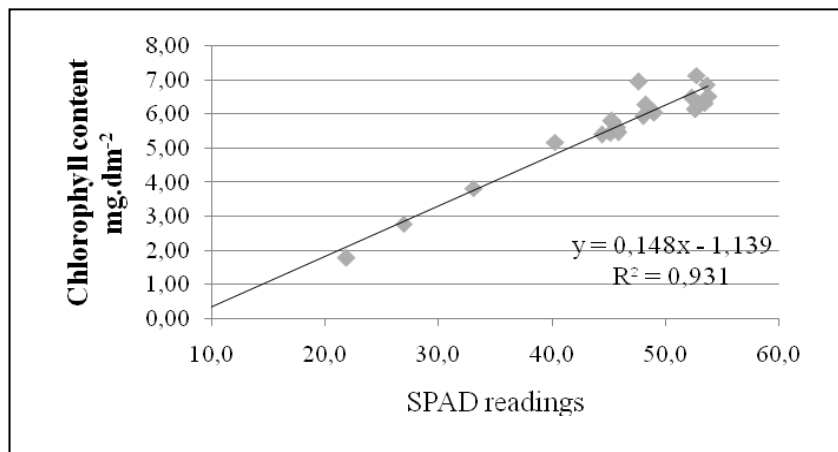


1.att. Vidējais hlorofila daudzums galviņkāpostu lapās atkarībā no slāpekļa mēslojuma, nosakot ar *Minolta SPAD-502* hlorofilmetru

Jāsecina, ka slāpekļa papildmēslojuma piegāde augiem sekmē hlorofila daudzuma palielināšanos, tomēr, paaugstinot papildmēslojuma devu, var panākt pretējo efektu.

Pēdējo gadu pētījumos konstatēta korelācija starp hlorofila daudzumu SPAD vienībās un absolūto hlorofila saturu lapās [12; 13].

Ekspērimētā starp noteiktām SPAD vienībām un absolūto hlorofila daudzumu pastāv lineārā korelācija (2.attēls). Respektīvi, lineāri pieaugot SPAD vienībām, proporcionāli lapās pieaug arī hlorofila daudzums $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}$. Punktu izkliede ap korelācijas likni raksturo korelācijas ciešumu. Mazākai punktu izkliedei atbilst ciešāka korelācija starp rezultatīvo ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}$) un faktoriālo pazīmi (SPAD).

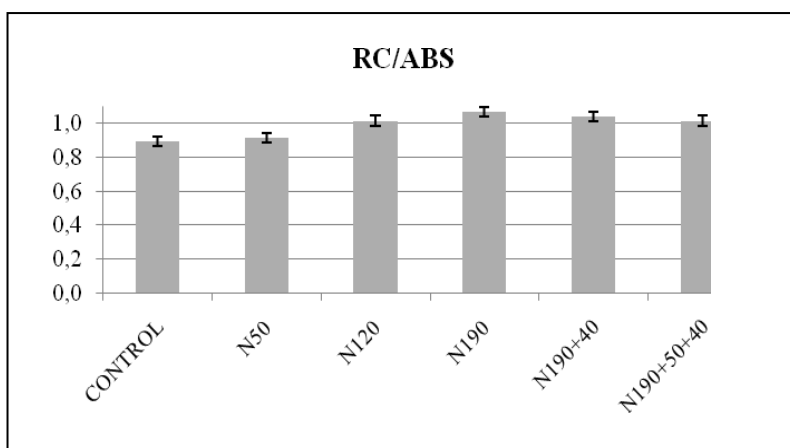


2.att. Korelācija starp absolūto hlorofila saturu un SPAD vienībām kāpostu lapās acetona ekstraktā

Korelācijas līknes galos ir lielāka punktu izkliede, kas liecina, ka korelācija nav cieša. Iespējams, ka pētījumā izmantots pārāk mazs paraugu un arī atkārtojumu skaits, lai varētu sekmīgi novērtēt punktu izkliedi ap asi un tādējādi noteikšanas precizitāti. Lai spriestu par precizitātes atkarību no hlorofila daudzuma, jāveic papildus mērījumi ar lielāku paraugu skaitu. Tomēr korelācijas rādītāju $R = 0,931$ var uzskatīt par apmierinošu.

Fluorescences mērījumu analīzes rezultātā novēroja četru parametru izmaiņas. Pēc literatūras datiem, RC/ABS parāda fotosistēmu reakciju centru hlorofila un antenu hlorofila attiecību, un šī parametra izmaiņas liecina par izmaiņām fotosintētiskajā aparātā. Labvēlīgos augšanas apstākļos fotosistēmās ir liela reakciju centru aktivitāte. Reakcijas centrus veido fotoķīmiski aktīvas molekulas, bet antenu pigmentu molekulas saista gaismas kvantus [14]. Antenu pigmentu skaita palielināšanās norāda uz fotosistēmu darbības traucējumiem, t.i., fotoķīmiski neaktīvo hlorofila molekulu daudzuma pieaugumu.

Salīdzinot RC/ABS eksperimenta variantu augiem (3.attēls), vislielākā parametra vērtība ir N_{190} varianta augiem, bet N_{50} un kontroles varianta augiem – vismazākā. Var spriest par to, ka N_{50} un kontroles varianta augiem ir straujākas izmaiņas fotosintētiskajā aparātā salīdzinājumā ar N_{190} un pārējo variantu augiem. Arī N_{120} varianta augiem RC/ABS ir lielāks nekā kontroles varianta augiem. Kontroles un N_{50} varianta augu parametra nelielās atšķirības (0,94 un 0,96 attiecīgi) liecina par kontroles varianta augu pielāgotību stresa apstākļiem jau attīstības sākumā. Ņemot vērā slāpekļa devu pievades efektivitāti, var secināt, ka lielāku pamatmēslojuma devu ietekmē augiem palielinās fotosistēmu reakciju centru (fotoķīmiski aktīvo hlorofila molekulu) skaits. Dodot slāpekli papildmēslojumā, novēro fotoķīmiski aktīvo hlorofila molekulu skaita samazināšanos kāpostu lapu mezofila šūnu hloroplastu fotosistēmās, par ko liecina RC/ABS parametra samazināšanās tendence N_{190+40} un $N_{190+50+40}$ variantu augiem, salīdzinot ar N_{190} variantu.

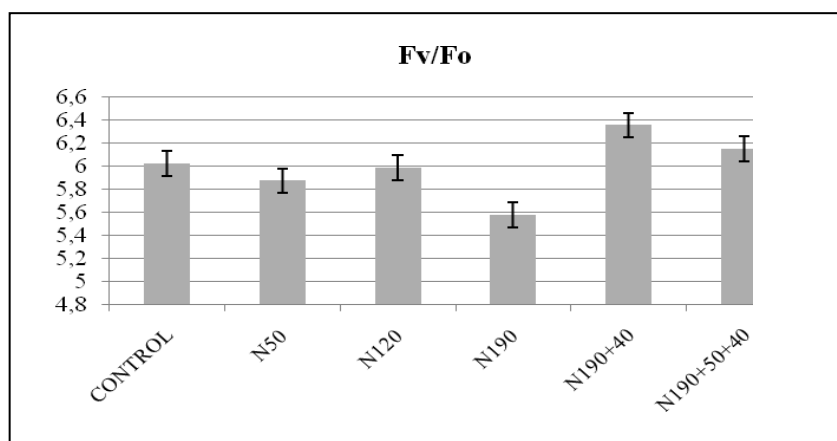


3.att. RC/ABS izmaiņas galviņkāpostu lapās atkarībā no slāpekļa mēslojuma, nosakot ar *Handy PEA*

Eksperimentā, palielinot antenu pigmentu skaitu, augs mēģina panākt fotosintēzes efektivitātes saglabāšanos stresa apstākļos, kurus izsauc minerālās barošanās režīma izmaiņas, pievadot slāpekli papildmēslojumā.

F_v/F_o ir lielums, pēc kura var secināt par fotosistēmas II aktivitāti, respektīvi, jo lielāks ir F_v/F_o rādītājs, jo aktīvāka ir fotosistēma II. Parametra samazināšanās norāda uz izmaiņām fotosistēmas II elektronu donoru pusē [15].

Vislielākā F_v/F_o vērtība ir augiem, kas saņēmuši slāpekli virsmēslojumā: N_{190+40} – 6,34, $N_{190+50+40}$ varianta augiem šis parametrs ir nedaudz mazāks – 6,14, bet kontroles varianta augiem ir salīdzinoši augsts F_v/F_o – 6,31 (4.attēls). Jāatzīmē, ka N_{190} varianta augiem F_v/F_o rādītāja vērtība ir vismazākā. Salīdzinājumā ar RC/ABS parametra vērtībām, kur tieši N_{190} varianta augiem ir visaugstākais rādītājs, F_v/F_o šī varianta augiem ir manāmi mazāks. Iespējams, neskatoties uz lielu reakciju centru skaitu, tie nedarbojas efektīvi un fotosistēmās II pastāv traucējumi. Vērojama tendence, ka, palielinot pamatmēslojumu, kāpostu lapu mezofila šūnu hloroplastos samazinās fotosistēmas II aktivitāte, par ko liecina F_v/F_o vērtību samazināšanās, bet papildmēslojums sekmē fotosistēmas II aktivitāti (N_{190+40} un $N_{190+50+40}$ varianti).

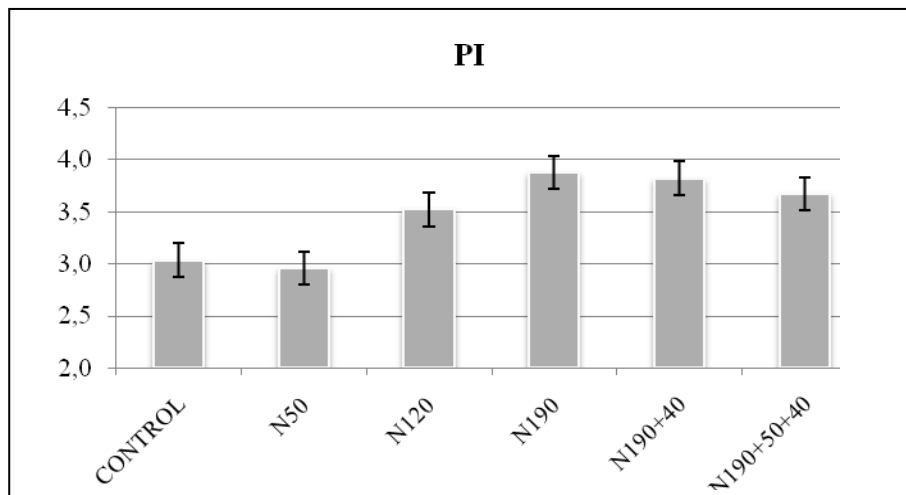


4.att. F_v/F_o izmaiņas galviņkāpostu lapās atkarībā no slāpekļa mēslojuma, nosakot ar *Handy PEA*

Viens no būtiskākajiem parametriem, kas tika iegūts ar *Handy PEA* metodi, ir PI (*Performance Index*). PI raksturo auga vitalitātes stāvokli, apvienojot vairākus fizioloģiskus rādītājus, kas veicina fotosintēzes norisi. Parametrs apvieno tādus rādītājus kā aktīvo reakciju centru blīvumu, uzņemtās enerģijas pārvietošanās efektivitāti uz elektronu transporta ķēdēm un elektronu transporta enerģijas plūsmas ātrumu [10]. Tāpēc ka slāpekļa piegāde uzlabo fotosistēmas II reakciju centru daudzumu,

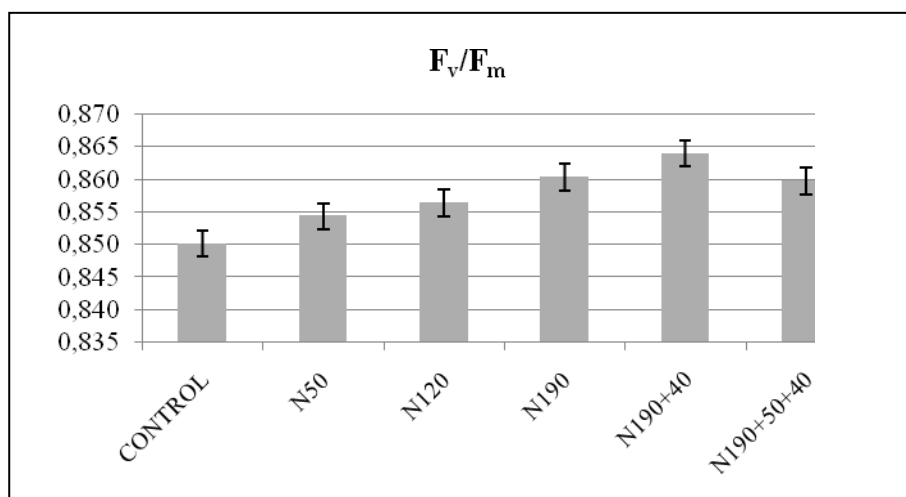
elektronu transporta ātruma rādītājus [16] un slāpekļa deficīts samazina fotosintēzes ķēdes reakciju ātrumu [17], pēc PI lieluma izmaiņām var secināt par slāpekļa piegādes efektivitāti.

PI rādītājam (5.attēls) saglabājas tāda pati tendence kā fotosintēmu reakciju centru un antenu hlorofila molekulu attiecības rādītājam. Līdzīgi kā pēc RC/ABS rādītāja mērījumiem, vislabākais stāvoklis konstatēts N₁₉₀ varianta augiem. Var secināt, ka N₁₉₀ ir optimāla slāpekļa deva kāpostiem. Interesanti, ka kontroles varianta augiem (nemēsloti augi) ir nedaudz lielāka vitalitāte nekā N₅₀ varianta augiem. Iespējams, ka nemēsloti augi augšanai izmanto visus iespējamās rezerves avotus vitalitātes uzturēšanai, bet N₅₀ varianta augi tērē enerģiju nevis fotosintēzei, bet sakņu sistēmas attīstībai, lai sekmētu slāpekļa uzņemšanu.



5.att. PI izmaiņas galviņkāpostu lapās atkarībā no slāpekļa mēslojuma, nosakot ar *Handy PEA*

Tāpēc, ka F_v/F_m lielumu uzskata par „stresa rādītāju”, tā izmaiņas visādā ziņā spēj norādīt uz dažādu mēslojuma devu piegādes negatīvo/pozitīvo ietekmi uz augiem. Pētījumos ar skujkokiem ir novērots, ka ar slāpekli mēslotu koku skujās F_v/F_m palielinās [7], kā pētījumu objektu izmantojot spinātus, novērots, ka slāpekļa deficīts samazina F_v/F_m rādītāja vērtības [18].

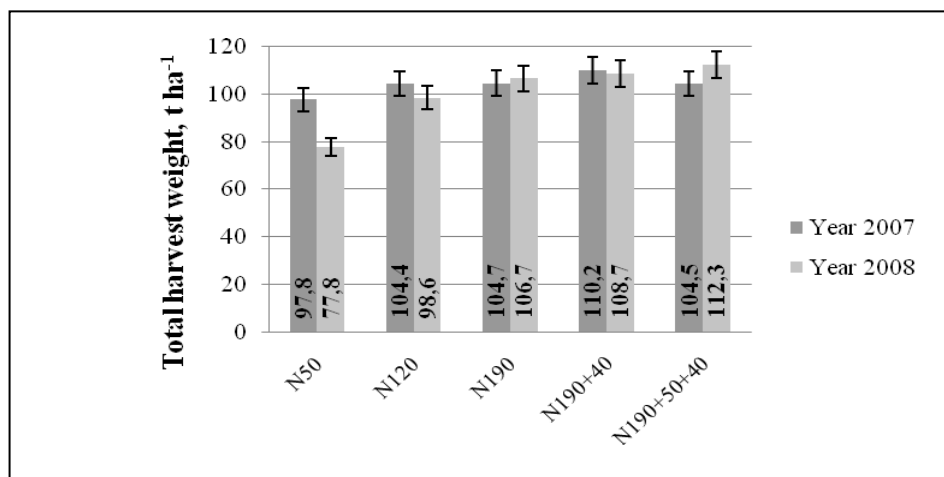


6.att. F_v/F_m izmaiņas galviņkāpostu lapās atkarībā no slāpekļa mēslojuma, nosakot ar *Handy PEA*

Eksperimentā palielinot slāpekļa piegādes devu galviņkāpostiem, palielinās F_v/F_m parametra vērtības (6.attēls). Šo tendenci novēro N₅₀, N₁₂₀, N₁₉₀ un N₁₉₀₊₄₀ varianta augu lapās. N₁₉₀₊₅₀₊₄₀ varianta augiem ir nedaudz zemāks F_v/F_m rādītājs nekā N₁₉₀₊₄₀ un pat N₁₉₀ varianta augiem, bet atšķirības ir kļūdu robežās. Interesanti, ka kontroles varianta augiem F_v/F_m ir vismazākais.

Iespējams, to var izskaidrot ar faktu, ka nemēslotie augi veiksmīgi pielāgojas slāpekļa deficītam. Citu autoru pētījumos konstatēts, ka slāpekļa deficīts izsauc fotosintēzes iznākuma samazināšanos [19]. No eksperimenta rezultātiem var secināt, ka ne tikai slāpekļa deficīts, bet arī slāpekļa pārbagātība galviņkāpostiem izsauc negatīvas fotosintēzes norises izmaiņas. Tomēr jāpiemin, ka dažos agrāk veiktos citu autoru pētījumos netika konstatēta slāpekļa deficīta ietekme uz fotosistēmas II kvantu iznākumu [16].

Lauka izmēģinājumu galviņkāpostu raža parādīta 7.attēlā.



7.att. Galviņkāpostu raža atkarībā no slāpekļa mēslojuma

Tā kā meteoroloģiskie apstākļi abos izmēģinājuma gados būtiski neatšķīrās un pozitīvi ietekmēja kāpostu augšanu un attīstību, pēc galviņu ražas (izņemot N₅₀ variantu) nav būtisku atšķirību starp 2007. un 2008.gada rezultātiem. No izmēģinājuma variantu lauciņiem iegūtā kāpostu galviņu raža par 6,7-44,3% pārsniedz N₅₀ varianta ražu. No darbā iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka N₁₉₀ un N₁₉₀₊₄₀ ir optimālās slāpekļa devas galviņkāpostiem, respektīvi, N 190 kg·ha⁻¹ pamatmēslojumā un N40 kg·ha⁻¹ papildmēslojumā. N₁₂₀, N₁₉₀ un N₁₉₀₊₅₀₊₄₀ variantu ražas apjomi ir aptuveni vienādi. Jāatzīmē, ka 2008.gadā N₁₉₀₊₅₀₊₄₀ varianta augiem raža ir vislielākā – tā par 44,3% pārsniedz N₅₀ varianta augu ražu. Pamatojoties uz 2008.gada rezultātiem, jāsecina, ka slāpekļa mēslojums sekmē galviņkāpostu ražas pieaugumu.

Secinājumi

Slāpekļa mēslojuma (N₅₀, 120, 190, 190+40 un N₁₉₀₊₅₀₊₄₀ kg ha⁻¹) ietekmē 2007.-2008.gada lauka izmēģinājumos galviņkāpostu (šķirne ‘Ancoma F₁’) raža palielinās par 6,7-44,3%, un izmainās fotosintēzi raksturojoši rādītāji augu lapās. Slāpekļa pamatmēslojuma un papildmēslojuma ietekmē palielinās hlorofila saturs SPAD vienībās kāpostu lapās. Vislielākais hlorofila daudzums ir galviņkāpostu lapās, kas mēsloti ar N₁₉₀ kg ha⁻¹ un N₁₉₀₊₄₀ kg ha⁻¹. Pastāv tieša korelācija starp absolūto hlorofila daudzumu un SPAD vienībām ar korelācijas rādītāju R² = 0,931.

Fluorescences RC/ABS rādītājs kāpostu lapās pieaug slāpekļa mēslojuma ietekmē, kas norāda, ka slāpekļa mēslojums sekmē kāpostu lapu mezofila hloroplastu fotosistēmu fotoķīmiski aktīvo hlorofila molekulu skaita palielināšanos attiecībā pret antenu hlorofila molekulām. Vislielākais RC/ABS ir N₁₉₀ un N₁₉₀₊₄₀ varianta augu lapās. Slāpekļa mēslojuma ietekmē izmainās fotosistēmas II aktivitāte, par ko liecina F_v/F_o rādītāja izmaiņas. Pēc fluorescences PI parametra izmaiņām, var spriest, ka vislielākā vitalitāte ir N₁₉₀ un N₁₉₀₊₄₀ variantu augiem. Slāpekļa trūkums (kontroles un N₅₀ varianti) un pārbagātība (N₁₉₀₊₄₀) izsauc negatīvas fotosintēzes norises izmaiņas, par ko liecina fluorescences F_v/F_m rādītājs. F_v/F_m samazināšanos galviņkāpostiem vērtējams kā stresa rādītājs.

Hlorofila saturu (SPAD vienībās un $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}$) un fluorescences rādītājus (F_v/F_m , F_v/F_o , RC/ABS un PI) var izmantot kā agrīnu indikatoru, lai paredzētu slāpekļa mēslojuma efektivitāti galviņkāpostiem. Fluorescences rādītāji dod precīzāku priekšstatu par slāpekļa mēslojuma ietekmi.

Summary

Efficiency of photosynthesis influences plant harvest, and chlorophyll amounts in plant leaves can characterize plant physiological statement and photosynthetic action. Improvement of photosynthesis efficiency can be achieved by using nitrogen fertilizer.

The aim of the work was to investigate changes of head cabbage ('Ancoma F_1 ' variety) photosynthesis - related parameters under different nitrogen supply (50, 120, 190, 190 + 40 and 190 + 50 + 40 N kg ha^{-1}).

Comparing results of field and laboratory experiments were discovered positive linear correlation between cabbage harvest and photosynthesis – related parameters. Nitrogen fertilizer influences chlorophyll amount in leaves, photosynthesis - related parameters and cabbage growth. Optimal nitrogen fertilizer doses are 190 and 190 + 40 N kg ha^{-1} .

The conclusion was made that chlorophyll content (in SPAD readings and $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}$) and fluorescence parameters (F_v/F_m , F_v/F_o , RC/ABS and PI) can be used as early indicator for foreseeing nitrogen fertilizer efficiency for head cabbage.

Literatūra

1. Neufeld H.S., Chappelka A.H., Somers G.L., Burkey K.O., Davison A.W., Finkelstein P.L. Visible foliar injury caused by ozone alters the relationship between SPAD meter readings and chlorophyll concentrations in cutleaf coneflower. *Photosynthesis Research*, 2006. 87:281-286.
2. Netto A.T., Campostrini E., de Oliveira J.G., Yamanishi O.K. Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 2002. 14:203-210.
3. Гавриленко В., Жигалова Т. Большой практикум по фотосинтезу. Москва: Академия, 2003. 256 стр.
4. Duraes F.O.M., Gama E.E.G., Magalhaes P.C., Marriel I.E., Casela C.R., Oliveira A.C., Luchiari A.Jr., Shanahan J.F. The usefulness of chlorophyll fluorescence in screening for disease resistance, water stress tolerance, aluminium toxicity tolerance, and N use efficiency in maize. Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference 11th-15th February, 2001. pp.356-360.
5. Panda D., Rao D.N., Sharma S.G., Strasser R.J., Sarkar R.K. Submergence effects on rice genotypes during seedling stage: Probing of submergence driven changes of photosystem II by chlorophyll *a* fluorescence induction O-J-I-P transients. *Photosynthetica*, Vol.44, 2006. 1:69-75.
6. Hajiboland R., Hasani B.D. Effect of Cu and Mn toxicity on chlorophyll fluorescence and gas exchange in rice and sunflower under different light intensities. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry* Vol.3, 2007. 1:4-17.
7. Otronen M., Rosenlund H.M. Morphological asymmetry and chlorophyll fluorescence in Scots pine (*Pinus sylvestris*): responses to variation in soil moisture, nutrients and defoliation. *Annales Botanici Fennici*, 2001. 38:285-294
8. Gastal F., Lemaire G. Nuptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, Vol.53, 370. Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue : 2002. pp.789-799.
9. Sidlauskas G., Bernotas S. Some factors affecting seed yield of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agronomy Research*, 2003. 1(2):229-243.
10. Piniar A., Grunewaldt-Stocker G., Alten H., Strasser R.J. Mycorrhizal impact on drought stress tolerance of rose plants probed by chlorophyll *a* fluorescence, proline content and visual scoring. *Mycorrhiza*, 2005. 15:596-605.
11. Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 51, 2000. 345:659-668
12. Netto A.T., Campostrini E., de Oliveira J.G., Bressan-Smith R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 2005. 104:199-209
13. Samsone I., Andersone U., Vikmane M., Ieviņa B., Pakarna G., Ievinsh G. Nondestructive methods in plant biology: an accurate measurement of chlorophyll content by a chlorophyll meter. – *Acta Universitatis Latviensis*, 723, Biology: 2007. pp.145-154.
14. Mohr H., Schopfer P. *Plant Physiology* transl. by Gudrun and David W. Lawlor. Berlin: Springer, 1995. 629 p.
15. Skorzynska-Polit E., Baszynski T. Does Cd^{2+} use Ca^{2+} channels to penetrate into chloroplasts? A preliminary study. *Acta Physiologiae Plantarum*, Vol.22, 2000. 2:171-178.
16. Zhou X.J., Liang Y., Chen H., Shen S.H., Jing Y.X. Effects of rhizobia inoculation and nitrogen fertilization on photosynthetic physiology of soybean. *Photosynthetica*, 2006. 44(4):530-535.

17. Xu Z.Z., Zhou G.S. Nitrogen metabolism and photosynthesis in *Leymus chinensis* in response to long-term soil drought. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2006. 25:252-266.
18. Verhoeven A.S., Demmig-Adams B., Adams W.W. Enhanced employment of the xanthophyll cycle and thermal energy dissipation in spinach exposed to high light and N stress. *Plant Physiology*, 1997. 113:817-824
19. Ainsworth E.A., Davey P.A., Hymus G.J., Osborne C.P., Rogers A., Blum H., Nosberger J., Long S.P. Is stimulation of leaf photosynthesis by elevated carbon dioxide concentration maintained in the long term? A test with *Lolium perenne* grown for 10 years at two nitrogen fertilization levels under free air CO₂ enrichment (FACE). *Plant, Cell & Environment*, 2003. 26:705-714.