

SLĀPEKĻA APRITES PĒTĪJUMI SALDUS STACIONĀRĀ (2015.–2017. GADS)

INVESTIGATION OF NITROGEN TURNOVER IN SALDUS EXPERIMENTAL FIELD (2015 – 2017)

Ināra Līpenīte, Aldis Kārklīšs, Antons Ruža

LLU Lauksaimniecības fakultāte

inara.lipenite@llu.lv

Abstract. Nitrogen use efficiency is still one of the most important topics in plant production. The crop yield and quality is closely related to nitrogen supply. As several factors contribute to this parameter, the assessment of N supply and calculation of fertiliser norms are of essential importance. The paper discusses the assessment parameters used for characterizing the efficiency of N use. Results of a field experiment with increasing nitrogen rates for winter (2015 and 2017) and spring (2016) wheat carried out in 2015–2017 were used. The yield of grain increased with the increase in fertiliser rate, whereas grain yield increase per 1 kg of N applied decreased, particularly when nitrogen application reached 120–180 kg ha⁻¹ N. Nitrogen recovery from the fertilisers used was unstable and reached 35–75%, mainly due to the impact of weather conditions during the experimental period. A negative correlation was found between the physiological efficiency of N fertiliser use and protein content in grain. Therefore, certain compromise among the high N recovery rate, effective yield increments, and grain quality should be made.

Key words: nitrogen application rate, recovery factors, N use efficiency, grain quality.

Ievads

Slāpekļa aprite zemkopībā ir pētīta daudz, taču joprojām atrodas uzmanības centrā. Tas saistīts ar centieniem rast risinājumus slāpekļa izmantošanās efektivitātes palielināšanai. Pētījumi liecina (Raun, Johnson, 1999), ka kultūraugu nodrošinājums ar slāpekli veidojas no vairākiem avotiem – mēslojuma sastāvā esošā slāpekļa, minerālā slāpekļa krājumiem augsnē, kuri pakāpeniski papildinās ar augsnes organiskās vielas un organiskā mēslojuma mineralizācijas procesā izveidotajiem savienojumiem, no bioloģiski saistītā slāpekļa, kā arī no slāpekli saturošu vielu depoziācijas u.c. avotiem. Slāpekļa pieejamību kultūraugiem ietekmē augsnes īpašības: organiskās vielas daudzums augsnē un tās kvalitāte, mikrobioloģisko procesu intensitāte, lietotais mēslojums, kā arī agroklimatiskie apstākļi. Pētījumi rāda (Cassman et al., 2002; Balasubramanian et al., 2004), ka no pieejamajiem slāpekļa resursiem augsnē kultūraugu ražā akumulējas tikai apmēram puse: lauka izmēģinājumos izmantošanās sastāda ap 50–60%, savukārt ražošanas laukos parasti ir tikai 20–50%. Lietojot nepamatoti augstas slāpekļa mēslojuma normas, tā izmantošanās efektivitāte vēl vairāk samazinās (Hirel et al., 2011). Augiem potenciāli pieejamais, bet ražā nesaistītais slāpekļis tikai nedaudz papildina minerālā slāpekļa krājumus augsnē, daļa no tā imobilizējas mikroorganismu biomasā, taču pārsvarā šie neizmantojie resursi tiek pakļauti denitrifikācijai, izskalojas vai emitē no augsnes amonjaka, slāpekļa oksīdu un molekulārā slāpekļa veidā, radot kaitējumu apkārtējai videi (Van Cleemput et al., 2008). Izvērtējot iespējas, kā palielināt slāpekļa izmantošanās efektivitāti, var rīkoties dažādi. Izplatītākais uzskats, samazināt tā piegādi augiem, piemēram, dodot trūcīgu mēslojumu. Taču tad ir jārēķinās ar zemu un sliktas kvalitātes iegūto ražu. Nākošais, palielināt kultūraugu spēju asimilēt augsnē esošos slāpekļa krājumus, piemēram, izveidojot jaunus efektīvākus kultūraugu genotipus, kā arī pilnīgāka jau esošo šķirņu ražības potenciāla izmantošana (Hirel et al., 2007; Sharma, Bali, 2018). Ieviešot vietējiem apstākļiem piemērotu integrētu kultūraugu audzēšanas un mēslošanas sistēmu, pēc iespējas precīzāk sinhronizējot slāpekļa mēslojuma lietošanas laikus un devas ar slāpekļa vajadzību, uzņemšanu un izmantošanu ražas, kā arī kvalitātes nodrošināšanai. Pirmais paņēmieni, acīmredzot nav pieņemams ekonomisko apsvērumu dēļ, jo neveicina dabas (augšne, zeme) un darba resursu racionālu izmantošanu nepieciešamās pārtikas produkcijas ražošanai. Otrais paņēmieni galvenokārt ir saistīts ar kultūraugu selekciju un arī tās iespējas nav bezgalīgas. Trešais paņēmieni, kaut arī ļoti komplikēts, jo nepieciešams koordinēt daudzas darbības, ir vienīgā reālā alternatīva. Šī paņēmiena ietvaros, mūsu pētījuma mērķis bija skaidrot kviešiem lietotā slāpekļa papildmēslojuma normu ietekmi uz slāpekļa akumulāciju ražā, slāpekļa izmantošanās efektivitāti ražas un tās kvalitātes nodrošināšanai.

Materiāli un metodes

Lauka izmēģinājumi periodā no 2014. līdz 2017. gadam tika veikti LLU Vides un būvzinātņu fakultātes ierīkotajā stacionārā (prof. V. Jansons u.c.) Saldus novada Zaņas pagastā (koordinātas: 56° 29.68' Z.p. un 22°14.03' A.g.). Dominējošā augsne izmēģinājumu laukā (nogāzes augšdaļā) – virsēji velēnglejotā (GLu) (Latvijas ..., 2009). Virskārtā: smilšmāls, apakškārtā – smags māls. Atbilstoši Pasaules augšņu klasifikatoram (WRB) – *Endochromic Endoabruptic Luvisol (Endoclayic, Protocolluvic, Cutanic, Hypereutric, Epiloamic,*

Bathyraptic, Bathystagnic) (IUSS Working Group ..., 2015). Dominējošā augsne izmēģinājumu laukā (nogāzes lejasdaļā) – virsēji velēnglejtā-(GLu) (Latvijas ..., 2009). Virskārtā: smaga smalka mālsmilts, apakškārtā – tas pats. Atbilstoši WRB – *Endoluvic Stagnic Phaeozem (Endochromic, Protocolluvic, Loamic)* (IUSS Working Group ..., 2015).

Galvenās augsnes agroķīmiskās īpašības: augsnes reakcija pH KCl virskārtā 6.50–7.20, apakškārtā – 6.50–6.60; organiskā oglekļa saturs aramkārtā – 0.93–1.57%. Augiem izmantojamā fosfora (P_2O_5) saturs augsnes virskārtā 52–187 mg kg⁻¹, apakškārtā – 14–66 mg kg⁻¹; kālija (K_2O) saturs atbilstoši 115–221 un 88–147 mg kg⁻¹ (Egnera – Rīma metode).

Izmēģinājumā iekārtoti 5 varianti, trīs atkārtojumos atbilstoši šādai shēmai.

1. Bez N papildmēslojuma.
2. N60 (t.i. 60 kg ha⁻¹ N) pavasarī atjaunojoties veģetācijai.
3. N90 pavasarī atjaunojoties veģetācijai + N30 maija I dekāde.
4. N90 pavasarī atjaunojoties veģetācijai + N90 maija I dekāde.
5. N90 pavasarī atjaunojoties veģetācijai + N90 maija I dekāde + N60 jūnija I dekāde.

Audzētie kultūraugi: 2014. gadā iesēti – ziemas kvieši ‘Skagen’ (priekšaugi – ziemas rapsis), 2016. gadā – vasaras kvieši ‘Granny’ un 2017. gadā ziemas kvieši ‘Fredis’. Izmēģinājuma lauciņa kopējā platība 1200 m². Ražas uzskaitē veikta vācot paraugkūļus 1 m² platībā, trīs no katra pētījuma lauciņa.

Slāpekļa saturs ziemas un vasaras kviešu graudos un salmos noteikts pēc Kjeldāla metodes (LVS ISO 11261). Slāpekļa izmantošanās efektivitāte no lietotā mēslojuma aprēķināta pēc 1–3 formulām (Dobermann, 2005).

Slāpekļa izmantošanās efektivitāte no lietotā mēslojuma (IE_N), %

$$IE_N = \frac{I_N - I_0}{F_N} \times 100 \quad (1)$$

Lietotā slāpekļa agronomiskā efektivitāte (AE_N), kg graudu kg⁻¹ N

$$AE_N = \frac{R_N - R_0}{F_N} \quad (2)$$

Augos uzņemtā slāpekļa izmantošanās efektivitāte (PE_N), kg ražas pieauguma no kg uzņemtā N

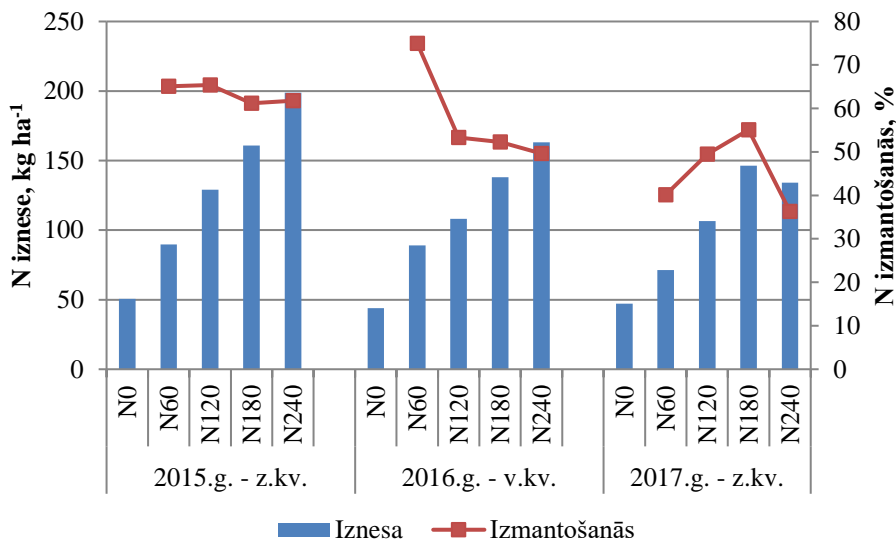
$$PE_N = \frac{R_N - R_0}{(I_N - I_0)} \quad (3)$$

- kur F_N – slāpekļa mēslošanas norma, kg ha⁻¹;
 R_N – raža kontroles variantā bez N mēslojuma, kg ha⁻¹;
 R_N – raža mēslojamajā variantā, kg ha⁻¹;
 I_0 – iznese variantā bez N mēslojuma, kg ha⁻¹;
 I_N – iznese ar ražu mēslojamajā variantā, kg ha⁻¹.

Rezultātu matemātiskā apstrāde veikta izmantojot dispersijas un korelācijas analīzes metodes.

Rezultāti un diskusijas

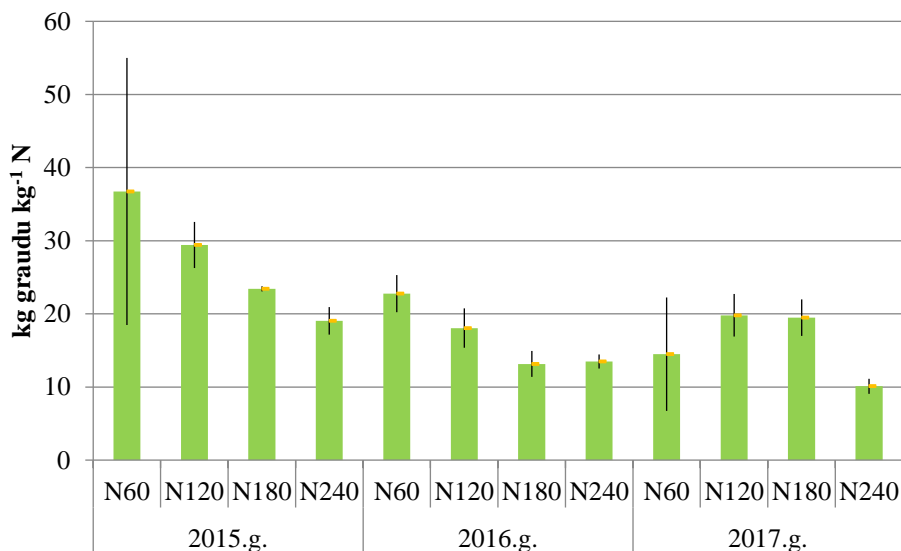
Izmēģinājuma variantā bez N papildmēslojuma lietošanas iegūtā ziemas kviešu graudu raža 2015. un 2017. g. bija attiecīgi 3.2 un 2.3 t ha⁻¹, bet vasaras kviešu raža 2016. g. – 2.8 t ha⁻¹. Slāpekļa iznese ar pamatprodukciju un tai atbilstošu blakusprodukcijas daudzumu kontroles variantā 2016. un 2017. gadā bija 44.0 un 47.1 kg ha⁻¹, taču 2015. gadā sakarā ar lielāku salmu īpatsvaru – sasniedza 50.6 kg ha⁻¹ (skat. 1. att.). Slāpekļa iznese ar ražu no mēslojamajiem variantiem bija atkarīga no lietotās slāpekļa normas, taču izmantošanās no mēslojuma pa gadiem atšķīrās. Tā 2016. gadā no visām lietotajām normām slāpekļa izmantošanās bija augsta – tā sastādīja 61.2–65.4%. 2016. gadā vasaras kviešu ražā visvairāk slāpekļa tika akumulēts no zemākās slāpekļa normas 60 kg ha⁻¹ – gandrīz 75%, taču normai pieaugot no 60 līdz 240 kg ha⁻¹, izmantošanās samazinājās līdz 49.6%. Vēl zemāka lietotā slāpekļa mēslojuma efektivitāte tika novērota 2017. gada izmēģinājumā, kad no 240 kg lietotā slāpekļa, ziemas kviešu ražā saistījās tikai 36.3%. Viens no faktoriem, kas ietekmēja slāpekļa izmantošanos no mēslojuma, varēja būt augsnes minerālā slāpekļa nodrošinājums veģetācijas perioda laikā, jo konstatēta cieša sakarība starp slāpekļa izmantošanos un vidējo minerālā slāpekļa daudzumu augsnē periodā no aprīļa līdz ražas novākšanai ($r = -0.989$).



1. att. Slāpekļa iznese ar graudu un salmu ražu un slāpekļa izmantošanās.

Fig. 1. Nitrogen removal and recovery from fertilisers used.

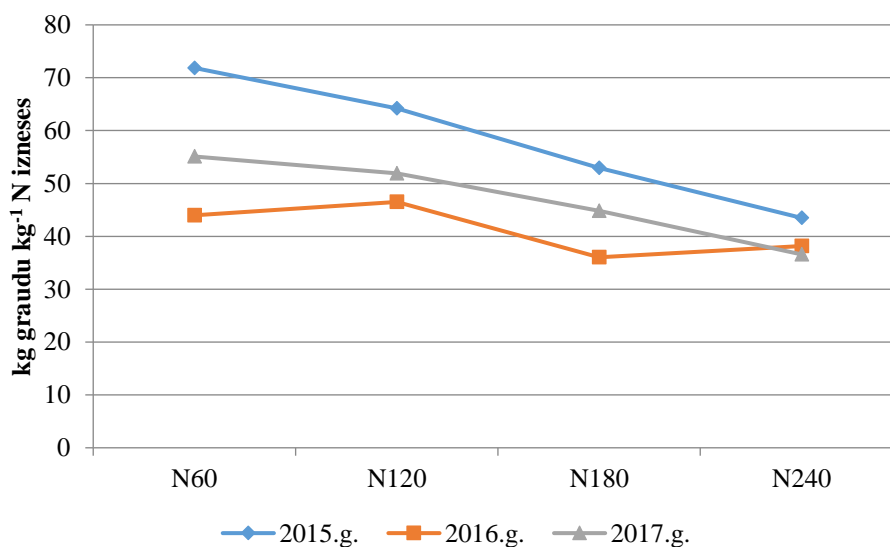
Lietotā slāpekļa mēslojuma agronomiskā efektivitāte 2015. un 2016. gada izmēģinājumos samazinājās, pieaugot mēslojuma normai, bet 2017. gadā ziemas kviešiem efektīvākā bija 120 un 180 kg ha⁻¹ N lietošana (skat. 2. att.). Iegūtais graudu ražas pieaugums no 1 kg lietotā slāpekļa mēslojuma pie zemākās lietotās normas (60 kg ha⁻¹ N) sakarā ar ievērojamu rezultātu izkliedi 2015. gada izmēģinājuma atkārtojumos, ir grūtāk novērtējams, taču katri nākamie 60 kg N mēslojumā būtiski samazināja tā atmaksāšanos ar ražas pieaugumu. Tā, 1 kg N no mēslojuma normas 120 kg ha⁻¹ N nodrošināja 29.4 kg graudu, bet no normas 240 kg ha⁻¹ N – tikai 19.0 kg ziemas kviešu graudu. Arī 2017. gada izmēģinājumā tendence saglabājās līdzīga, tikai agronomiskā efektivitāte bija zemāka, attiecīgi 19.8 kg graudu no 1 kg N, izmantojot normu 120 kg ha⁻¹ N, bet tikai 10.1 kg ziemas kviešu graudu no 1 kg N, lietojot 240 kg ha⁻¹ N. Izmēģinājumā ar vasaras kviešiem lietotā mēslojuma atmaksāšanās ar ražas pieaugumu zemāko līmeni sasniedza jau pie mēslojuma normas 180 kg ha⁻¹ N. Graudu ražas pieaugums no 1 kg lietotā N bija tikai 13.1 kg, kas izrādījās par 9.7 kg mazāks nekā mēslošanai lietojot 60 kg ha⁻¹ N. Iegūtie rezultāti liecina, ka augstāko agronomisko efektivitāti veiktajos izmēģinājumos nodrošināja slāpekļa mēslojuma normas, kas nepārsniedza 120 kg ha⁻¹ N.



2. att. Slāpekļa mēslojuma lietošanas agronomiskā efektivitāte.

Fig. 2. Crops' response from N applied, kg grain from kg N.

Augu biomasā akumulētais slāpekļis nodrošina fizioloģisko procesu norisi, ražas lielumu un ietekmē iegūtās produkcijas kvalitāti (Ruža, Kārklīšs, 2014). Tātad teorētiski jāpastāv sakarībai starp augiem uzņemto slāpekli (ko mēdz apzīmēt, kā iznesi, jo to var aizvēkt no lauka) un ražas pieaugumu. Ja tiek ņemta, vērā tikai saimnieciski nozīmīgā ražas (biomasas) daļa, ko apzīmē kā pamatprodukciju, un šajos izmēģinājumos tie bija graudi, tad veidojas šāda sakarība. Graudu ražas pieauguma izmaiņas atkarībā no mēslojuma slāpekļa iznesas ar graudu ražu pie dažādām slāpekļa mēslošanas normām ilustrē 3. att. Šo sakarību nosacīti var apzīmēt kā fizioloģisko efektivitāti, t.i., cik efektīvi augos uzņemtais un graudos deponētais slāpekļis ir ietekmējis saimnieciski nozīmīgākās biomasas daļas – graudu ražas pieaugumu. Kā redzams, tad ziemas kviešiem abos izmēģinājumu gados lielāko slāpekļa izmantošanās fizioloģisko efektivitāti nodrošināja zemākā mēslojuma norma. Slāpekļa mēslošanas normai pieaugot, augos akumulētais slāpekļis aizvien mazāk nodrošināja produktivitātes (graudu ražas) pieaugumu. Piemēram, 2015. gada izmēģinājumā mēslošanai izmantojot 60 kg ha⁻¹ N, graudu ražā akumulētā mēslojuma slāpekļa 1 kilograms nodrošināja 71.8 kg graudu, bet pie normas 240 kg ha⁻¹ – tikai 43.5 kg graudu iegūti.



3. att. Slāpekļa izmantošanas fizioloģiskā efektivitāte.

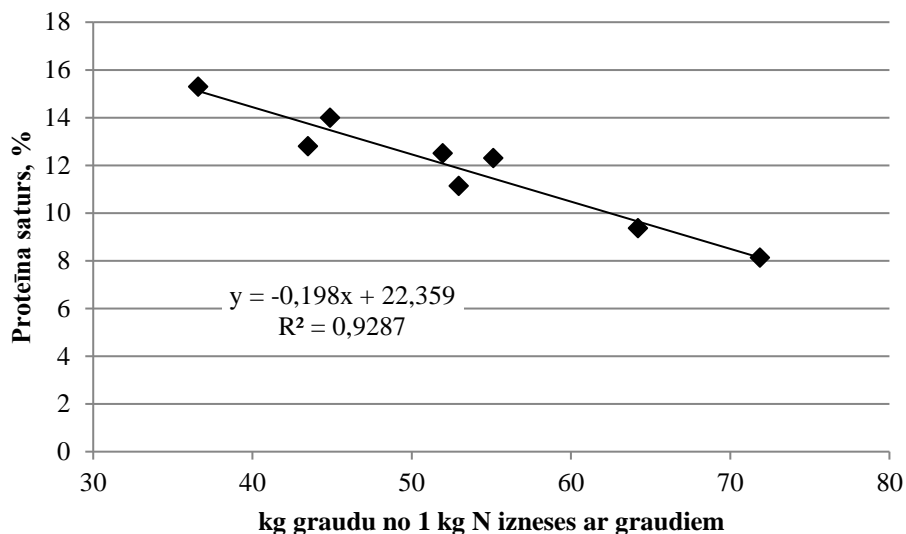
Fig. 3. Physiological efficiency of N applied, kg grain from kg N incorporated into biomass.

Protams, šis rādītājs ir tikai viens no vairākiem, ar kura palīdzību var vērtēt ar mēslojumu dotā slāpekļa izmantošanās pakāpi, jeb kā parasti saka, efektivitāti. Taču šī un citu līdzīgu rādītāju novērtējums, jeb interpretācija, ir samērā komplicēta. Objektīvi, mēs vēlamies lai šie rādītāji apliecinātu, ka ar minimālu ienesi ir iespējams gūt lielu pozitīvu efektu. Taču tas ir vispārzināms fakts, ka pakāpeniski palielinoties ienesei, tās lietderīgais pielietojums samazinās – augsnes krītošās auglības likums. Tāpēc šos rādītājus var vērtēt tikai relatīvi – līmenis, kad samazinājums mūsaprāt jau nav vēlams vai attaisnojams agronomisko, ekonomisko vai ekoloģisko aspektu dēļ.

Slāpekļa mēslošanas līdzekļu lietošanai ir vēl otrs aspekts – ietekme uz ražas kvalitāti. Pētījumos pierādīts (Batey, Reynish, 1976; Martre et al., 2003), ka, pieaugot slāpekļa nodrošinājuma līmenim, uzlabojas kviešu graudu kvalitātes rādītāji. Arī mūsu izmēģinājumā ziemas un vasaras kviešiem tika novērota cieša korelatīva sakarība starp slāpekļa mēslošanas normu un proteīna saturu ($r = 0.955-0.976$), lipekļa saturu ($r = 0.956-0.962$) un Zeleny indeksu ($r = 0.945-0.972$). Savukārt sakarība starp iegūto graudu ražu un graudu kvalitātes rādītājiem bija mazāk izteikta, un korelācijas koeficienti attiecīgi bija $r = 0.703-0.855$ (ar proteīna saturu), $r = 0.729-0.808$ (ar lipekļa saturu) un $r = 0.748-0.845$ (ar Zeleny indeksu).

No mēslojuma izmantotais, un graudos akumulētais slāpekļis nodrošināja ne tikai ražas kvantitāti, bet ietekmēja arī graudu kvalitāti. Kā liecina iegūtie rezultāti, ziemas kviešiem pastāv korelatīva sakarība starp graudu iegūvi, ko nodrošina graudos akumulētais slāpekļis un proteīna saturu graudos (skat. 4. att.). Palielinoties slāpekļa izmantošanās fizioloģiskajai efektivitātei, proteīna saturs ziemas kviešu graudos samazinās. Ņemot vērā, ka, lietojot zemākas mēslojuma normas, no slāpekļa izneses lielāks tā īpatsvars izmantojas graudu ražas veidošanai, tad proteīna graudos uzkrājas mazāk. Palielinot slāpekļa mēslojuma normas, slāpekļa izmantošanās efektivitāte samazinās, taču no tā izneses vairāk tiek patērēts graudu kvalitātes

uzlabošanai. Tāpēc šo rādītāju izmantošana nav viennozīmīga. Interpretācijai ir jābūt balstītai uz visu faktoru analīzi, un vēlamais līmenis būs kāds noteikts viduspunkts, jeb kompromiss, kas relatīvi apmierinās visus skatāmos aspektus: iegūto ražas lielumu un vēlamos tās kvalitātes rādītājus, ekonomiskos apsvērumus un ekoloģiskos riskus. Šī darba ietvaros pēdējie divi netika analizēti.



4. att. Slāpekļa izmantošanās fizioloģiskās efektivitātes un proteīna satura graudos sakarība ziemas kviešiem.

Fig. 4. Physiological efficiency of N applied and protein content in winter wheat.

Secinājumi

1. Pieaugošu slāpekļa mēslojuma normu lietošana palielina kviešu graudu ražu, kā arī N iznesi ar to. Taču slāpekļa izmantošanās koeficients no dotajiem mēslošanas līdzekļiem, palielinoties mēslošanas normai, krītas, sevišķi normai pārsniedzot 120–180 kg ha⁻¹ N.
2. Vērojamas būtiskas slāpekļa izmantošanās koeficienta svārstības pa gadiem, no 35% līdz 75% no iedotā mēslojuma, kas galvenokārt saistās ar meteoroloģisko apstākļu ietekmi uz graudu ražas lielumu.
3. Augstāko agronomisko efektivitāti (graudu ražas pieaugums uz katru pielietoto kg N tīrvielas) nodrošināja slāpekļa mēslojuma norma, kas nepārsniedza 120 kg ha⁻¹ N.
4. Slāpekļa mēslojuma ietekmes vērtējumam papildus ir izmantots jauns rādītājs: fizioloģiskā efektivitāte, t.i., kā augos uzņemtais un graudos deponētais slāpekļis ir ietekmējis graudu ražas pieaugumu.
5. Skatīta kopsaiste starp slāpekļa izmantošanās fizioloģisko efektivitāti un proteīna saturu kviešu graudos, kam ir negatīva tendence, t.i., nepieciešamība palielināt proteīna saturu graudos izsauks fizioloģiskās efektivitātes samazinājumu.

Pateicība

Publikācija sagatavota Valsts pētījumu programmas Nr. 2014.10–4/VPP–7/5 projekta „Augsnes ilgtspējīga izmantošana un mēslošanas risku mazināšana (AUGSNE)” ietvaros.

Izmantotā literatūra

1. Batey T., Reynish D. (1976). The influence of nitrogen fertilizer on grain quality in winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 27, Issue 11, p. 983–990.
2. Cassmann K.G., Dobermann A., Walters D. (2002). Agroecosystems, nitrogen use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*, Vol. 31, p. 132–140.
3. Balasubramanian V., Alves B., Aulakh M., Bekunda M., Cai Z., Drinkwater L., Mugendi D., van Kessel C., Oenema O. (2004). Crop, environmental, and management factors affecting nitrogen use efficiency. **In:** *Agriculture and Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer use on Food Production and Environment*. Edited by A.R. Mosier, Keith Syers J. and Freney J.R. Island Press, p. 19–33.
4. Dobermann A.R. (2005). Nitrogen use efficiency – state of the art. *Agronomy & Horticulture – Faculty Publications*, No. 316. 16 p. (<http://digitalcommons.unledu/agronomyfacpub/316>)

5. Hirel B., LeGouis J., Ney B., Gallais A. (2007). The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No. 9, p. 2369–2387.
6. Hirel B., Tetu T., Lea P.J., Dubois F. (2011). Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. *Sustainability*, Vol. 3, p. 1452–1485.
7. IUSS Working Group WRB (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. **In:** *World Soil Resources Reports*, No. 106, Rome: FAO. 192 p.
8. *Latvijas augšņu noteicējs* (2009). A. Kārklīšs, I. Gemste, H. Mežals, O. Nikodemus, R. Skujāns. Jelgava: LLU, 240 lpp.
9. Martre P., Porter J.R., Jamieson P.D., Triboi E. (2003). Modelling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiology*, Vol. 133, p. 1959–1967.
10. Raun W.R., Johnson G.V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, Vol. 91, p. 357–363.
11. Ruža A., Kārklīšs A. (2014). Slāpekļa minerālmēslu normu optimizācija graudaugiem. **No:** *Līdzsvarota lauksaimniecība*. LLU LF, LAB un LLMZA organizētās zinātniski praktiskās konferences raksti. Jelgava, 18.–25. lpp.
12. Sharma L.K., Bali S.K. (2018). A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability*, Vol. 10, p. 1–23. (www.mdpi.com/journal/sustainability)
13. Van Cleemput O., Zapata F., Vanlauwe B. (2008). Use of trace technology in mineral fertilizer N management. **In:** *Guidelines on Nitrogen Management in Agricultural Systems*. IAEA, Vienna, p. 19–125.