



Latvijas
Biozinātņu un
tehnoloģiju
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTU

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Augsnes kaļķošanas un minerālā mēslojuma devu ietekme uz ūdeņu kvalitāti, augsnes agroķīmiskajiem rādītājiem un kultūraugu ražu

IZPILDĪTĀJI: Agrita Švarta
Aivars Jermušs
Deniss Kaško
Artūrs Veinbergs

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava, 2022

Saturs

Saturs	2
Ievads.....	3
1. Metodika.....	4
1.1. Izmēģinājuma varianti	4
1.2. Izmēģinājumā pielietotā agrotehnika.....	5
1.3. Ūdens paraugu ievākšana un ķīmiskā sastāva noteikšana	6
1.4. Meteoroloģiskie apstākļi.....	7
2. Rezultāti.....	9
2.1. Augsnes agroķīmisko īpašību izmaiņas	9
2.2. Ziemas kviešu ražība un ražas kvalitāte.....	11
2.3. Ūdeņu kvalitātes raksturojums atkarībā no mēslošanas devām.....	15
2.4. Ūdeņu kvalitātes raksturojums atkarībā no kaļķošanas devām	18
Secinājumi	20
Izmantotā literatūra.....	21

Ievads

Lai samazinātu eitrofikācijas izpausmes Baltijas jūrā un sasniegtu izvirzītos ūdens kvalitātes mērķus, 2021. gadā atjaunotajā HELCOM Baltija jūras rīcības plānā kaļķošana un ģipša izkliede ir minēta kā viens no pasākumiem, kas uzlabo augsnes struktūru un stabilitāti mālainās augsnēs, samazina fosfora savienojumu zudumus no lauksaimniecības zemēm (<https://helcom.fi/media/publications/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf>). Izvēlētās pētījuma tēmas aktualitāti pastiprina 2020. gadā prezentētās Eiropas Savienības stratēģijas “No lauka līdz galdam” (Farm to Fork) saturs, kas ir Eiropas zaļā kursa (European Green Deal) reformu sastāvdaļa. Viens no nozīmīgākajiem stratēģijā izvirzītajiem mērķiem ir samazināt augu barības vielu zudumus par 50%, turklāt nodrošinot, ka netiek pazemināta augsnes auglība, kā arī samazināt mēslošanas līdzekļu lietošanu līdz 2030. gadam vismaz par 20%. Latvijas Lauksaimniecības universitātes speciālistu sagatavotajā bukletā apkopota informācija par augsnes kaļķošana agronomiskajiem, ietekmes uz vidi un saimniecības ekonomikas aspektiem (<https://www.llu.lv/sites/default/files/files/lapas/Skabu-augsnu-kalkosana.pdf>).

Lai novērtētu dažādu augsnes kaļķošanas un minerālā mēslojuma devu izmantošanas ietekmi uz ūdens kvalitāti (slāpekļa un fosfora savienojumi), augsnes agroķīmisko sastāvu un kultūraugu ražu raksturojošiem parametriem, Zemkopības institūta apsaimniekotajās lauksaimniecības zemēs izveidotajā un ilggadīgi uzturētajā pētījumu stacionārā “Sidrabiņi” 2022. gadā tika uzsākts šis pētījums.

1. Metodika

1.1. Izmēģinājuma varianti

Izmēģinājums iekārtots Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Zemkopības institūta daudzgadīgajā stacionārā "Sidrabiņi". Izmēģinājumu lauka atrašanās vieta: 56° 63.497' N un 25° 14.897' E.

Stacionārs "Sidrabiņi" iekārtots 1981. gadā pēc divfaktoru shēmas (1. attēls), kas nodrošina iespējas pētīt četru (0; 2.85; 5.7 un 11.4 t ha⁻¹CaCO₃) kaļķošanas devu un četru minerālmēsļu normu (N0P0K0, N45P30K45, N90P60K90, N135P90K135) ietekmi uz kultūraugu ražu un kvalitāti, kā arī ūdeņu kvalitāti.

N0P0K0	F ₀ L ₀ 0 t ha ⁻¹ CaCO ₃	O	N90P60K90	F ₂ L ₀ 0 t ha ⁻¹ CaCO ₃
N0P0K0	F ₀ L ₃ 11.4 t ha ⁻¹ CaCO ₃	O	N90P60K90	F ₂ L ₁ 2.85 ha ⁻¹ CaCO ₃
N0P0K0	F ₀ L ₂ 5.7 t ha ⁻¹ CaCO ₃	O	N90P60K90	F ₂ L ₂ 5.7 t ha ⁻¹ CaCO ₃
N0P0K0	F ₀ L ₁ 2.85 ha ⁻¹ CaCO ₃	O	N90P60K90	F ₂ L ₃ 11.4 t ha ⁻¹ CaCO ₃
N45P30K45	F ₁ L ₀ 0 t ha ⁻¹ CaCO ₃	O	N135P90K135	F ₃ L ₀ 0 t ha ⁻¹ CaCO ₃
N45P30K45	F ₁ L ₃ 11.4 t ha ⁻¹ CaCO ₃	O	N135P90K135	F ₃ L ₁ 2.85 ha ⁻¹ CaCO ₃
N45P30K45	F ₁ L ₂ 5.7 t ha ⁻¹ CaCO ₃	O	N135P90K135	F ₃ L ₂ 5.7 t ha ⁻¹ CaCO ₃
N45P30K45	F ₁ L ₁ 2.85 ha ⁻¹ CaCO ₃	O	N135P90K135	F ₃ L ₃ 11.4 t ha ⁻¹ CaCO ₃

1. attēls. Daudzgadīgā stacionāra "Sidrabiņi" shēma.

Stacionārā izveidoti sešpadsmit izmēģinājumu lauciņi ar savstarpēji nodalītām drenu sistēmām. Katram lauciņam (platums 15 m, garums 50 m) pa vidu 0.9 - 1.0 m dziļumā izvietotas māla cauruļu susinātājdrenas ar diametru 75 mm.

1.2. Izmēģinājumā pielietotā agrotehnika

Augu seka. Izmēģinājumā paredzēta sekojoša augu seka:

2021./2022.g. – ziemas rapsis;

2022./2023.g. – ziemas kvieši;

2023.g. – starpkultūra;

2024.g. – pupas;

2025.g. – vasaras mieži;

2026.g. – daudzgadīgo zālaugu mistrs 1. izmēģinājuma gads, ietverot 50% tauriņziežus;

2027.g. – daudzgadīgo zālaugu mistrs 2. izmēģinājuma gads, ietverot 50% tauriņziežus.

Ziemas rapsis

Augsnes apstrāde. Aršana veikta ar “Ovlac” četrkorpusu maiņvērsējarklu.

Augsnes kaļķošana. Pirms ziemas rapša sējas veikta augsnes kaļķošana ar dolomīta miltiem (SIA Saulkalne S). Kaļķojamā materiāla tehniskie parametri: neitralizēšanas spēja 96.0%, Ca 20.3%, Mg 10.9%, mitruma saturs $\leq 0.2\%$, par 1 mm mazāku daļiņu saturs 99.8%. Kaļķošanas materiāla devas: fonā $2.58 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$ – iestrādāts 2.60 t ha^{-1} (iestrādā reizi septiņos gados), fonā $5.70 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$ – 5.2 t ha^{-1} (iestrādā reizi septiņos gados), fonā $11.40 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$ veikta uzturošā kaļķošana 2.5 t ha^{-1} . Šajā fonā uzturošo kaļķošanu veiks 2x reizes septiņos gados: pirms ziemas rapša un vasaras miežu audzēšanas.

Mēslojums. Pamatmēslojumā pirms ziemas rapša sējas izklidēti (21.08.2021.) kompleksie minerālmēsli 8:20:30 atbilstoši izmēģinājuma variantiem: fonā N45P30K45 iestrādāti 150 kg ha^{-1} , fonā N90P60K90 – 300 kg ha^{-1} un fonā N135P90K135 – 450 kg ha^{-1} mēslošanas līdzekļa. Katram izmēģinājuma variantam paredzētā slāpekļa norma sadalīta divās devās. Pēc veģetācijas atjaunošanās, 2022. gada pavasarī (12.04.) lietots amonija nitrāts (NH_4NO_3), kur fonā N45P30K45 izklidēti 100 kg ha^{-1} , fonā N90P60K90 – 200 kg ha^{-1} , bet fonā N135P90K135 – 300 kg ha^{-1} mēslošanas līdzekļa. Otrajā papildmēslošanas reizē (29.04.2022.) lietots amonija sulfāts ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), izklidējot fonā N45P30K45 – 100 kg ha^{-1} , fonā N90P60K90 – 150 kg ha^{-1} un fonā N135P90K135 – 150 kg ha^{-1} mēslošanas līdzekļa.

Sēja. Sēja veikta 22.08.2021. tūlīt pēc pamatmēslojuma izklidēšanas, lietojot sējmašīnu “Agr Masz” ar darba platumu 2.5 m. Izmēģinājumā audzēta līnijšķirne ‘Epure’, ar izsējas normu 80 dīgstošas sēklas uz m^2 .

Augu aizsardzība. Pēc ziemas rapša sadīgšanas (27.08.2021.) lietots herbicīds Butisan Avant (metazahlors, 300 g L^{-1} , dimetēnamīds-P, 100 g L^{-1} , kvinmeraks, 100 g L^{-1}) ar devu 2.5 L ha^{-1} . Augšanas regulēšanai (26.10.2021.) lietots Folicur (tebukonazols, 250 g L^{-1}) ar devu 0.5 L ha^{-1} . Šajā pat reizē lietots ārpussakņu mēslojums Moliboro 2.00 l ha^{-1} (Molibdēns (Mo) 30 g L^{-1} , bors (B) 90 g L^{-1}). Krustziežu spīduļa izplatību nebija nepieciešams ierobežot. Divas

nedēļas pirms ražas novākšanas, sējums smidzināts ar Gallup Super 360 (glifosāts, 360 g L⁻¹) nezāļu (nesmarzīgās suņkumelītes *Matricaria perforata Méral*) iznīcināšanai.

Ražas novākšana. Raža nokulta 05.08.2022. rapša gatavības fāzē (90.–91.AE). Sēklu raža pārrēķināta t ha⁻¹ pie 100% tīrības un 8% mitruma. Sēklu kvalitātes analīzes veiktas Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Biotehnoloģiju laboratorijā. Savukārt 1000 sēklu masa noteikta ar standartmetodi LVS EN ISO 520.

Ziemas kvieši

Augsnes apstrāde. Pēc ziemas rapša nokulšanas veikta augsnes irdināšana ar vertikālo frēzi 12-15 cm dziļumā.

Mēslojums. Pamatmēslojumā pirms ziemas rapša sējas izklidēti (12.09.2022.) kompleksie minerālmēsli 4:10:22 atbilstoši izmēģinājuma variantiem: fonā N45P30K45 iestrādāti – 250 kg ha⁻¹, fonā N90P60K90 – 500 kg ha⁻¹ un fonā N135P90K135– 750 kg ha⁻¹ mēslošanas līdzekļa.

Sēja. Sēja veikta 20.09.2022. tūlīt pēc pamatmēslojuma izklidēšanas, lietojot sējmašīnu “Agr Masz” ar darba platumu 2.5 m. Iesēta ziemas kviešu šķirne ‘Fredis’ ar izsējas normu 500 dīgstošas sēklas uz m².

Augu aizsardzība. Nezāļu un dīgstoša ziemas rapša ierobežošanai (18.10.2022.) smidzināts herbicīds Accurate 200 WG (metil-metsulfurons, 200 g kg⁻¹) 10 g ha⁻¹.

1.3. Ūdens paraugu ievākšana un ķīmiskā sastāva noteikšana

Katram izmēģinājuma lauciņam pa vidu 0.9 - 1.0 m dziļumā ir izveidotas māla cauruļu susinātājdrenas ar diametru 75 mm, kuras uztver un novada lieko ūdeni no izmēģinājuma lauciņiem uz kontrolakām. Uz katru no astoņām kontrolakām ietek novadīts ūdens no diviem izmēģinājuma lauciņiem. Kontrolakā ir ierīkoti svārstīgie kausiņi un datu logeri, kas nodrošina iespējas veikt hidroloģiskos mērījumus un proporcionāli caurplūdumam ievākt ūdeņu paraugus. Katrs ūdeņu paraugs tiek identificēts ņemšanas brīdī un tā identifikācijas numurs (kods) tiek saglabāts līdz analītiskā procesa beigām ķīmijas laboratorijā un rezultātu ievadīšanai datu bāzēs. Ūdens paraugus savāc 0.5 l polietilēna pudelēs. Paraugus pirms transportēšanas uz laboratoriju uzglabā ledusskapī 2° – 4° C temperatūrā. Par paraugu ievākšanu izdara atzīmes lauku novērojumu žurnālā. Ūdens paraugu ķīmiskā sastāva noteikšana tiek veikta akreditētā laboratorijā – Daugavpils Universitātes aģentūras Latvijas Hidroekoloģijas institūts Hidroķīmijas laboratorijā. Ievāktajos ūdeņu paraugos tiek sekojoši ūdeņu kvalitāti raksturojoši parametri - pH, kopējā slāpekļa (N_{kop}), amonija–slāpekļa (NH₄-N), nitrātu–slāpekļa (NO₃-N),

kopējā fosfora (P_{kop}) un ortofosfātu–fosfora ($PO_4\text{-P}$) koncentrācijas ($mg\ l^{-1}$). Ūdens ķīmiskā sastāva analīzes izpildītas ievērojot nosakāmajam parametram atbilstošas testēšanas metodes (1. tabula).

1. tabula

Ūdeņu ķīmiskā sastāva testēšanas metodes

Parametrs	Normatīvi tehniskās dokumentācijas Nr.	Analīzes metode
$NO_3\text{-N}$	LVS EN ISO 13395:1996	Spektrofotometrija, nitrātu slāpekļa, nitrātu slāpekļa un to summārā satura noteikšana ar plūsmas analīzes metodi
$NH_4\text{-N}$	LVS ISO 7150-1:1984 *	Spektrofotometrija, indofenola metode
N_{kop}	LVS EN ISO 11905-1:1998	Mineralizācijas metode, oksidējot ar peroksidisulfātu
$PO_4\text{-P}$	LVS EN ISO 6878:2005, 4. daļa	Spektrofotometrija, amonija molibdāta metode
P_{kop}	LVS EN ISO 6878:2005, 7. daļa	Spektrofotometrija, molibdāta metode pēc parauga oksidēšanas ar peroksidisulfātu

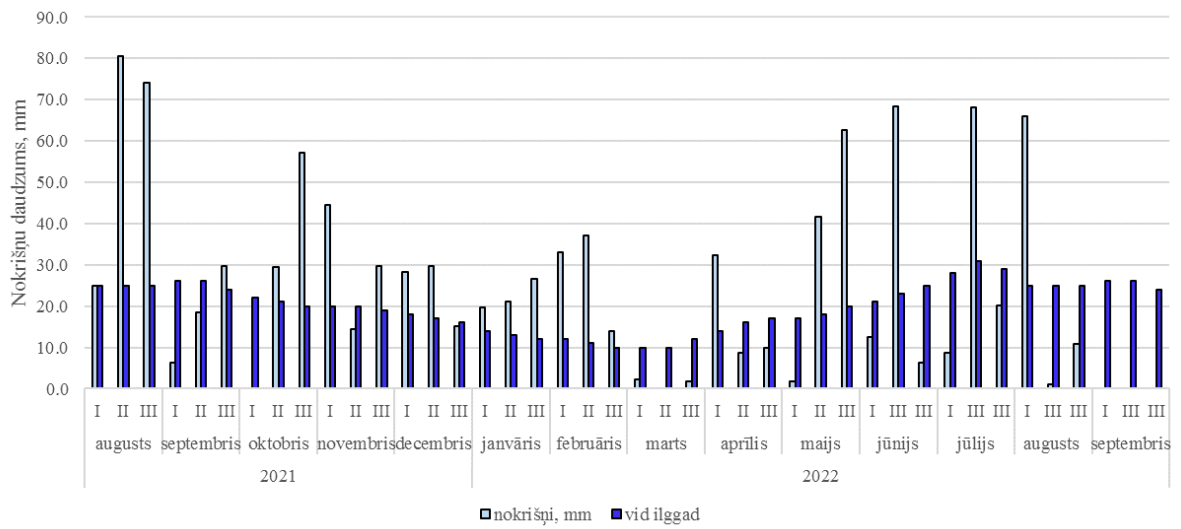
Atskaitē ietverti ūdens paraugu ķīmiskā sastāva analīžu rezultāti par laika posmā no 2022. gada 1. janvāra līdz 2022. gada 24. oktobrim ievāktajiem ūdeņu paraugiem.

1.4. Meteoroloģiskie apstākļi

Meteoroloģisko apstākļu novērtēšanai izmantoti publiski pieejamie VSIA “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs” (LVĢMC) Skrīveru meteoroloģisko novērojumu stacijā veikto mērījumu rezultāti (2. un 3. attēls).



2. attēls. Vidējā gaisa temperatūra veģetācijas periodā, 2021.-2022.g.



3. attēls. Nokrišņu daudzums veģetācijas periodā, 2021.-2022.g.

2. Rezultāti

2.1. Augšnes agroķīmisko īpašību izmaiņas

Stacionāra pastāvēšanas gados kopš 1981. gada ir izveidojušies 16 dažādi foni ar dažādiem augšnes agroķīmiskajiem rādītājiem (2. tabula).

2. tabula

Augšnes agroķīmiskie rādītāji stacionārā “Sidrabiņi” pirms augšnes kaļķošanas (13.08.2021.) un gadu pēc augšnes kaļķošanas (12.09.2022.)

Mēsl. Foni*	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	pH _{KCl}		Org. vielas saturs, %		P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹		K ₂ O, mg kg ⁻¹		Ca, mg kg ⁻¹		Mg, mg kg ⁻¹	
		2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
F0	0	4.7	4.8	2.8	2.3	<14	<20	39	39	572	626	44	52
	2.58	5.5	6.0	2.9	1.8	<14	<20	37	43	998	692	45	88
	5.70	5.8	6.2	2.5	2.0	<14	<20	41	41	968	705	42	94
	11.40	6.1	6.5	2.8	2.4	<14	<20	40	50	988	725	38	92
F1	0	5.1	5.1	2.5	3.2	<14	29	40	44	866	687	77	63
	2.58	6.1	6.4	2.5	2.3	<14	33	48	59	1204	731	106	63
	5.70	6.6	6.5	2.5	2.6	17	39	43	57	1211	764	82	115
	11.40	6.4	6.5	3.0	3.2	<14	43	44	54	1341	772	79	110
F2	0	4.3	4.2	3.3	3.3	71	90	110	91	430	610	<30	40
	2.58	4.8	5.5	3.2	3.2	60	85	82	96	720	684	<30	88
	5.70	5.4	6.1	3.4	4.9	52	75	83	111	1000	761	38	151
	11.40	5.6	5.9	3.2	3.5	64	90	86	109	1158	736	<30	81
F3	0	4.4	4.3	3.0	3.2	139	132	128	130	754	638	<30	48
	2.58	5.2	5.5	3.1	3.5	124	125	116	133	1138	712	46	85
	5.70	5.8	6.2	3.3	3.5	138	137	142	131	1245	779	62	122
	11.40	6.0	6.3	3.1	2.7	164	127	173	176	1271	764	78	110

* mēslošanas foni: F0 – N0P0K0, F1 – N45P30K45, F2 – N90P60K90, F3 – N135P90K135

Neskatoties uz to, ka tika lietots ilgas iedarbības kaļķojamais materiāls un tā iedarbībai būtu jābūt jāsākas pēc dažiem gadiem, uzturošā augšnes kaļķošana neitralizēja augšnes skābumu variantā bez minerālmēslojuma lietošanas par 0.4–0.5 vienībām neatkarīgi no kaļķošanas normas varianta, kurš savukārt, noteica augšnes skābuma līmeni. Variantā ar pusi no kaļķošanas normas augšnes skābums samazinājās no pH 5.5 uz pH 6.0, bet pie dubultās normas no pH 6.1 sasniedza pH 6.5. Pilnās kaļķošanas normas variantā augšnes pH pieauga no 5.5 līdz 6.2 vienībām, turklāt bez minerālmēslojuma un nekaļķojot, augšnes skābums bija pH 4.7 2021. gada rudenī un pH 4.8 2022. gada rudenī. Mazākās minerālmēslojuma normas kaļķošanas variantos augšnes hidrolītiskais skābums samazinājās tikai variantā ar pusi no optimālās kaļķošanas normas, mainoties no pH 6.1 uz pH 6.4, bet optimālā un dubultās kaļķa normas variantos augšnes skābums praktiski nemainījās un bija robežās pH 6.4 – 6.6. Uzturošā kaļķošana augšnes skābumu vairāk ietekmēja vidējas minerālmēslojuma normas fonā, palielinot augšnes pH no 4.8 līdz 5.5 variantā ar pusi kaļķa normas un variantā ar pilnu kaļķa devu no pH 5.4 uz pH 6.1, jeb par 0.7 vienībām. Lielā mēslojuma fona ietekmē uzturošā

kaļķošana augsnes pH palielināja par 0.3 – 0.4. Kaļķošanas normas pusdevas variantā pieaugot no pH 5.2 līdz 5.5, bet vidējas un dubultdevas variantos atbilstoši no pH 5.8 uz pH 6.2 un pH 6.0 uz pH 6.3.

Augsnes organiskās vielas satura atšķirības bija vērojamas vairāk minerālmēslojuma ilglaicīgās ietekmes fona ietekmē sasniedzot 2.3 % līdz 4.9 %. Variantos bez minerālmēsli lietošanas organiskās vielas saturs augsnē bija no 1.8 % līdz 2.8 %.

Augiem pieejamais fosfors augsnē variantos bez minerālmēslojuma lietošanas gan pirms gan pēc kaļķošanas bija ļoti mazs vai pat nenosakāms, jeb mazāks attiecīgi par 14 un/vai par 20 mg kg⁻¹ augsnes, kas liecina, ka kaļķošana neietekmēja fosfora pieejamību augiem. Līdzīga situācija bija arī variantos ar mazāko mēslojuma iestrādi F2, kur kaļķošana augiem pieejamā fosfora saturu augsnē neietekmēja, jo gan kaļķotajos, gan nekaļķotajos lauciņos fosfora saturs bija līdzīgi mazs – pirms kaļķošanas tas bija nenosakāms, bet 2022. gada rudenī kustīgā fosfora saturs bija no 29 mg kg⁻¹ augsnes nekaļķotajā lauciņā un 33-43 mg kg⁻¹ kaļķotajos.

Vidēja F2 un liela F3 mēslojuma lauciņos augiem pieejamais fosfors bija ar vidēju un augstu nodrošinājumu – attiecīgi 52 – 90 mg kg⁻¹ un 124 – 164 mg kg⁻¹, taču arī kā variantos bez F0 vai ar nelielu mēslojuma devu F1, kaļķošanas efekts netika novērots.

Atšķirībā no fosfora augiem pieejamais kālijs augsnē bija nosakāms, taču tā daudzuma izmaiņas ļoti līdzinājās augiem pieejamā fosfora sakarībām. Mazākais kālija saturs bija variantos bez vai ar mazāko minerālmēslojuma iestrādes normu, un tas bija robežās no 37 līdz 59 mg kg⁻¹, ko uzturošā kaļķošana ietekmēja maz. Augiem pieejamā kālija vidējs nodrošinājums bija F2 un F3 variantos, kuros, līdzīgi kā ar fosforu, kaļķošanas rezultātā kālija pieejamais daudzums augiem praktiski nemainījās.

Kalcija saturs izmēģinājuma lauciņu augsnē pirms kaļķošanas bija zems vai vidējs un bija robežās no 572-1341 mg kg⁻¹ augsnes. 2022. gadā kalcija saturs augsnē bija zems visos variantos un bija robežās no 610 līdz 779 mg kg⁻¹, ko varētu izskaidrot ar kaļķojamā materiāla iearšanu augsnes dziļākajos slāņos. Magnija saturs <30-106 mg kg⁻¹ augsnes 2021. gadā. Magnija saturs 2022. gadā pieauga līdz 40-151 mg kg⁻¹ augsnes visos variantos.

3. tabula

Augsnes minerālā slāpekļa izmaiņas veģetācijas periodā sākumā un beigās, 2022.

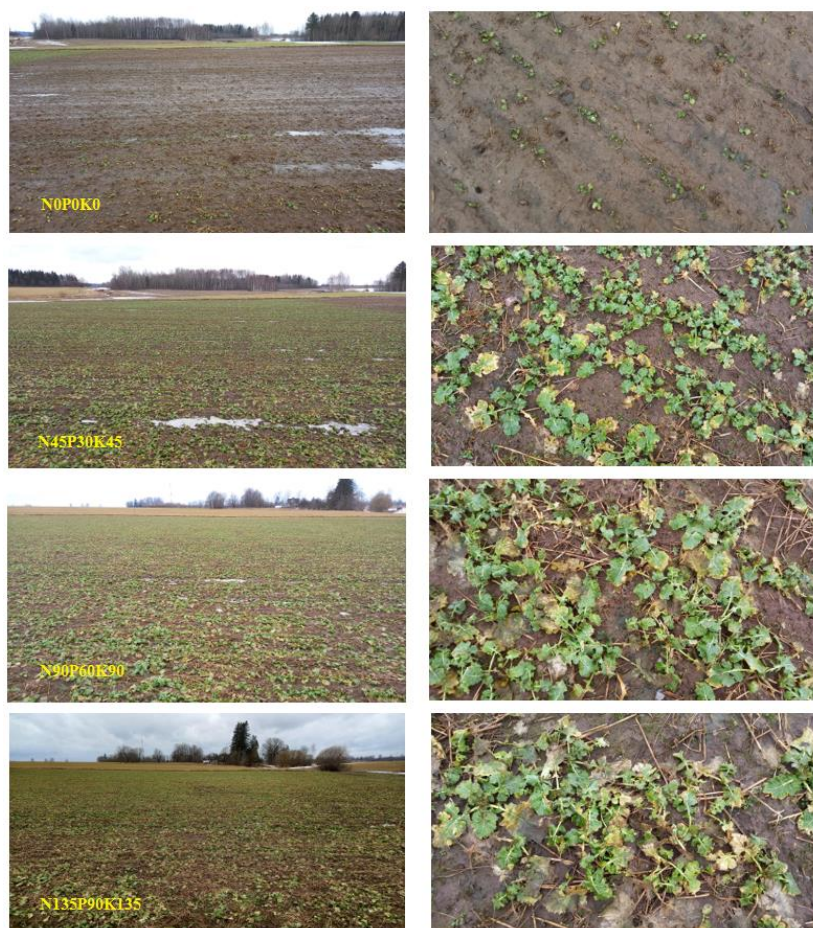
Mēslošanas varianti	Kaļķošanas varianti	N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)		N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	
		Veģetācijai atjaunojoties, 12.04.2022.	Veģetācijai beidzoties, 08.11.2022.	Veģetācijai atjaunojoties, 12.04.2022.	Veģetācijai beidzoties, 08.11.2022.
N0P0K0	L0	3.1	2.8	1.6	2.4
	L1	3.7	3.8	2.2	2.0
	L2	4.5	4.3	2.6	2.1
	L3	4.7	4.8	2.3	2.9
N45P30K45	L0	6.4	5.2	4.1	3.1

	L1	6.1	4.0	4.2	3.7
	L2	6.2	4.9	4.0	2.6
	L3	9.9	5.9	4.7	3.1
N90P60K90	L0	4.1	21.4	2.7	18.4
	L1	5.3	6.3	4.6	6.9
	L2	6.4	8.7	3.4	7.4
	L3	6.1	7.9	4.1	8.1
N135P90K135	L0	3.8	5.8	4.8	12.1
	L1	5.0	7.3	3.0	13.4
	L2	7.5	7.3	5.3	10.2
	L3	5.9	7.0	4.7	9.0

Augsnes minerālais slāpekļa (3. tabula) saturs 2022. gada veģetācijas sākumā un beigās zemākais bija variantā bez minerālmēsļu lietošanas 4.7 – 7.7 mg kg⁻¹ (vidēji 6.2 mg kg⁻¹) augsnes. Variantos ar mēslojuma lietošanu, neatkarīgi no tā normas, minerālā slāpekļa saturs augsnē bija nedaudz lielāks – no 6.8 līdz 12.8 mg kg⁻¹ un vidēji 10.2 mg kg⁻¹ augsnes. Veģetācijas perioda beigās augsnes minerālā slāpekļa saturs pieauga aptuveni par divām reizēm vidējas F2 un lielas F3 minerālmēsļu normas iestrādes variantos, bet mazā mēslojuma variantā F0 - nedaudz samazinājās.

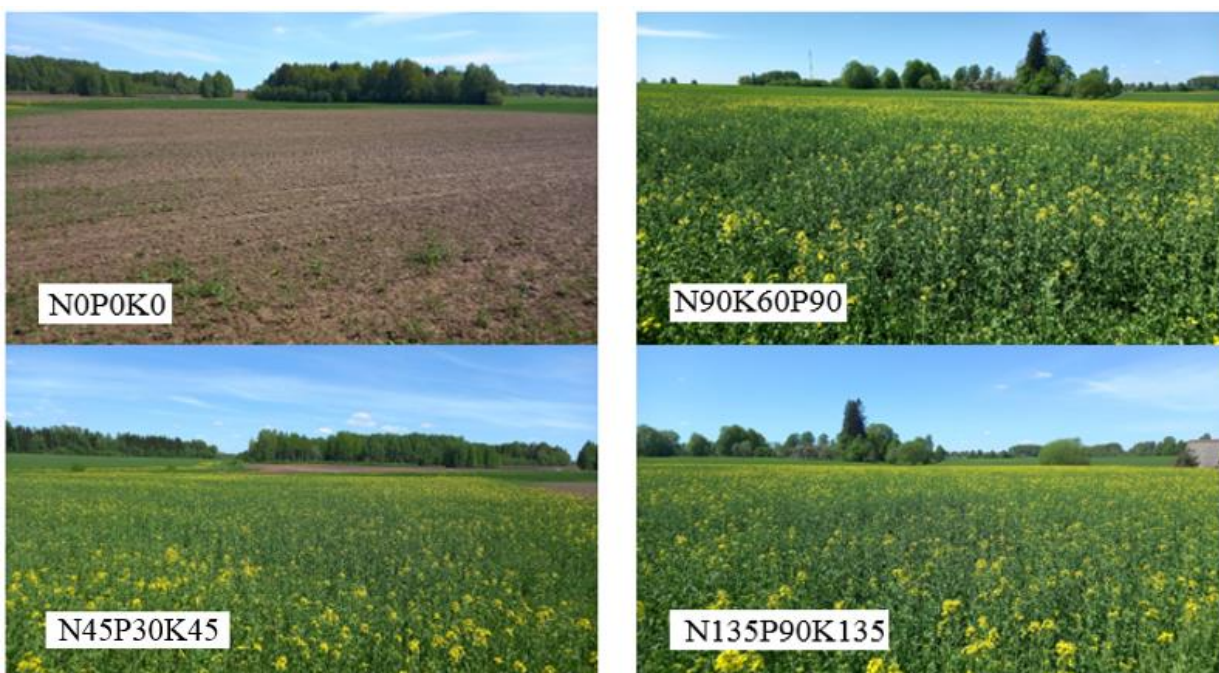
2.2. Ziemas kviešu ražība un ražas kvalitāte

Izmēģinājumā audzētā ziemas rapša līnijšķirne ‘Epure’ ir vidēji vēlīna, raksturojas ar labu ziemcietību un augstu ražas potenciālu. Ziemas rapsis iesēts 2021. gada 22. augustā. Ziemas rapša sējas laikā meteoroloģiskie apstākļi labvēlīgi rapša dīgšanai. Rapsis sadīga vienmērīgi visos izmēģinājuma variantos, taču variantos bez mēslojuma ievērojami atpalika attīstībā. Turpmākajos rudens mēnešos pārsvarā silts un sauss laiks. Veģetācijas periods beidzās 17.11.2021., vidējā gaisa temperatūra strauji kritās un decembra pirmajā dekādē sasniedza pat līdz -16.0 °C. Decembra sākumā zemi klāja sniega sega. Ziemas mēnešos novērotas biežas temperatūras svārstības, atjaunojas drenu darbība. Vienā no šiem periodiem redzams (25. februāris), ka augi nemēslotajos variantos (N0P0K0) nebūs spējīgi pārziemot (4. attēls).



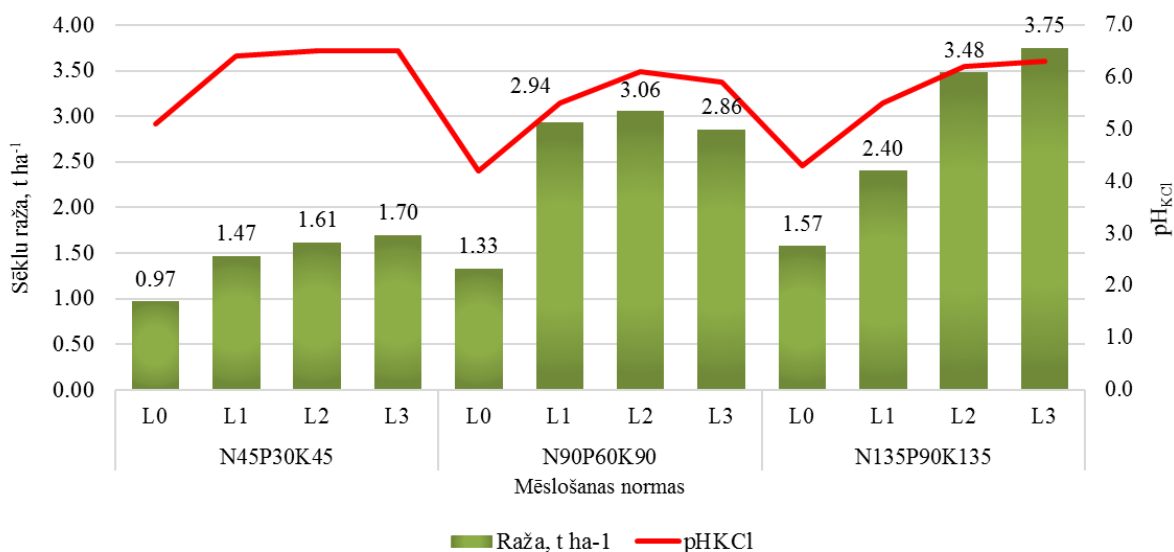
4. attēls. Ziemas rapša attīstība, 25.02.2022.

Veģetācija atjaunojās 10. aprīlī, taču ziemas rapša augšanu un attīstību ietekmēja vēsie laika apstākļi veģetācijas sākumā. Aprīlī vidējā gaisa temperatūra tikai pāris dienās pacēlās virs +10 °C. Līdzīgi laika apstākļi turpinājās līdz maija vidum, turklāt maija sākumā konstatētas salnas un vairākas dienas sējumus klāja sniega sega (04.-05.05.). Gaisa temperatūras paaugstināšanās sākās maija pēdējā dekādē, kad atsevišķās dienās tā sasniedza +20 °C. Rapsis sāka ziedēt tikai maija trešajā dekādē (20.05.2022.). Tā kā augi nemēslotajos variantos nebija pārziemojuši (5. attēls), tad turpmāk šajā izmēģinājumu daļā uzturēta papuve. Turpmākais veģetācijas periods raksturojās ar karstuma periodiem un nokrišņiem galvenokārt lietusgāžu veidā, kas ietekmēja ziemas rapša augšanu un attīstību. Ziemas rapsis nokults 8. augustā.



5. attēls. Ziemas rapša attīstība, 25.05.2022.

Izmēģinājumā iegūta 0.97-3.75 t ha⁻¹ sēkļu raža (6. attēls). Iegūtie rezultāti liecina, ka ziemas rapša sēkļu ražu būtiski ietekmēja gan mēslojuma norma (p<0.001), gan kaļķošanas devas (p<0.001), kā arī abu faktoru mijiedarbība (p<0.001).



6. attēls. Ziemas rapša sēkļu raža (t ha⁻¹) atkarībā no mēslojuma un kaļķošanas devas, kur: L0 – bez kaļķošanas, L1 – 2.58 t ha⁻¹ CaCO₃, L2 – 5.70 t ha⁻¹ CaCO₃, L3 – 11.40 t ha⁻¹ CaCO₃

Ziemas rapsis ir prasīgs kultūraugs, bez mēslojuma iegūstamā sēkļu raža pat labi iekultivētā augsnē nepārsniedz 1.5 t ha⁻¹ (Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi, 2013). Stacionāra nemēslotajos variantos šogad neizdevās iegūt sēkļu ražu.

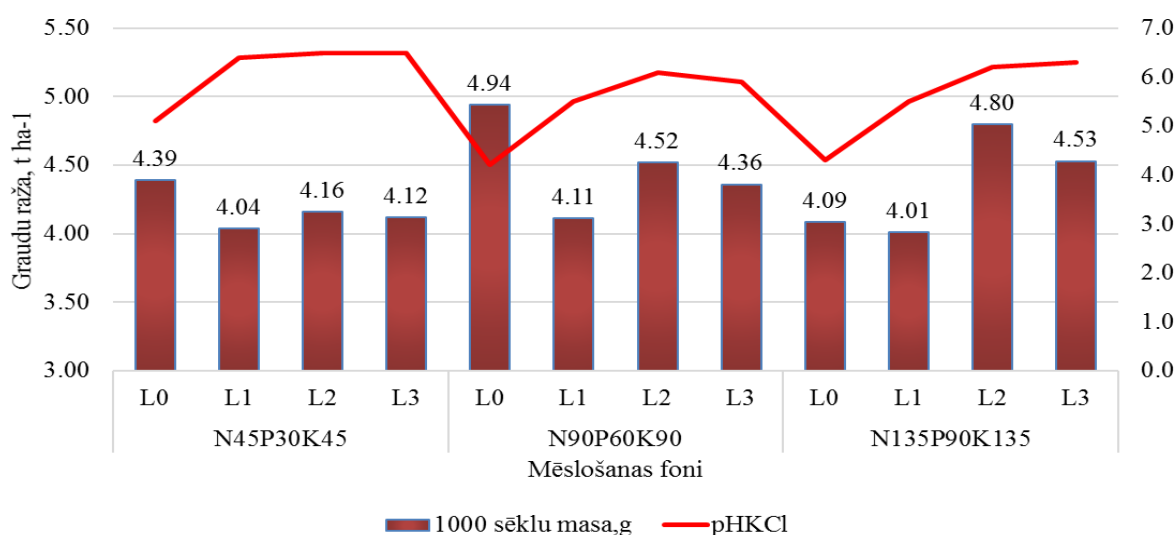
Vērtējot augšņu agroķīmiskos rādītājus stacionāra blokā ar zemāko mēslojuma normu (N45P30K45), lai iegūtu 2.00 t ha⁻¹ sēklu ražu, nepieciešams nodrošināt 90 kg slāpekļa, 60 kg ha⁻¹ P₂O₅ un 100 kg ha⁻¹ K₂O. Šajā blokā lietotā mēslojuma norma nosedz pusi no augiem vajadzīgā un iegūta 0.97–1.70 t ha⁻¹ sēklu raža.

Stacionāra blokā ar vidējo mēslojuma normu (N90P60K90), augsnes nodrošinājums ar P₂O₅ ir vidējs, ar K₂O – zems/vidējs, līdz ar to lietotā mēslojuma norma varētu nodrošināt 2.0–2.5 t ha⁻¹ sēklu ražu (Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi, 2013). Šajā mēslošanas blokā iegūtā sēklu raža atbilst plānotajam.

Latvijā veikto pētījumu rezultāti liecina, ka ziemas rapša raža pieaug līdz slāpekļa mēslojuma normai 150–180 N kg ha⁻¹ (Ruža, Gaile, Balodis, 2012; Litke, Gaile, Ruža, 2019). Stacionāra blokā ar lielāko mēslojuma normu (N135P90K135), augsnes nodrošinājums ar barības vielām ļauj plānot sēklu ražu līdz 2.50–4.00 t ha⁻¹, ko arī sasniedzām.

Ziemas rapša audzēšanai ir piemērotas augsnes ar pH_{KCl}>6.0. Vērtējot laika gaitā stacionārā izveidojušos augsnes fonus piemērotībai ziemas rapša audzēšanai, redzams, ka pirms augsnes kaļķošanas tikai atsevišķos variantos augsnes reakcija atbilst ziemas rapša audzēšanas prasībām (pH_{KCl} >6.0). Nosakot augsnes reakciju gadu pēc kaļķošanas, augsnes reakcija kaļķotajos variantos ir paaugstinājusies un vairāk atbilst ziemas rapša prasībām. Iegūtie rezultāti apstiprina līdzīgu pētījumu rezultātus, ka ziemas rapša raža ir atkarīga no augsnes reakcijas (Holland u.c., 2019). Jau pie zemākās mēslojuma normas N45P30K45, ziemas rapša sēklu raža dažādos augsnes pH līmeņos būtiski atšķiras. Šajā mēslošanas fonā zemākā raža (0.97 t ha⁻¹) iegūta pie augsnes pH_{KCl} 5.1, savukārt variantos, kur augsnes pH_{KCl} >6.0, rapša raža būtiski pieaug un pārsniedz 1.5 t ha⁻¹. Vislabāk augsnes kaļķošanas efekts redzams stacionāra blokā ar lielāko mēslojuma normu, kur, pieaugot augsnes reakcijai, būtiski pieaug sēklu raža. Iegūta vidēji cieša pozitīva sakarība starp augsnes pH_{KCl} un sēklu ražu ($r=0.46$).

Sēklu rupjumu un tajās esošo barības vielu daudzumu raksturo 1000 sēklu masa (7. attēls). Šī gada meteoroloģiskajos apstākļos 1000 sēklu masa variēja no 4.0–4.9 g. Ziemas rapša sēklu ražu būtiski ietekmēja gan mēslojuma norma ($p<0.001$), gan kaļķošanas devas ($p<0.001$), kā arī novērota abu faktoru mijiedarbība ($p<0.001$). Stacionāra blokā ar zemāko un vidējo mēslojuma devu būtiski lielāka 1000 sēklu masa iegūta variantos, kuros nav veikta augsnes kaļķošana. Savukārt stacionāra blokā, kur lietota mēslojuma norma N135P90K135, būtiski lielāka 1000 sēklu masa (4.5–4.8 g) iegūta variantos, kur abi faktori: mēslojums un augsnes reakcija atbilst ziemas rapša prasībām.



7. attēls. Ziemas rapša 1000 sēklu masa (g) atkarībā no mēslojuma un kaļķošanas devas, kur: L0 – bez kaļķošanas, L1 – 2.58 t ha⁻¹ CaCO₃, L2 – 5.70 t ha⁻¹ CaCO₃, L3 – 11.40 t ha⁻¹ CaCO₃.

Ziemas rapša sēklu ķīmiskais sastāvs apkopots 4. tabulā. Šī gada meteoroloģiskajos apstākļos konstatēta būtiska mēslojuma normas ietekme uz kopproteīna ($p=0.014$) un kālija saturu ($p<0.001$) sēklās. Pieaugot mēslojuma normai, būtiski pieaug gan kopproteīna, gan kālija saturs sēklās.

4. tabula

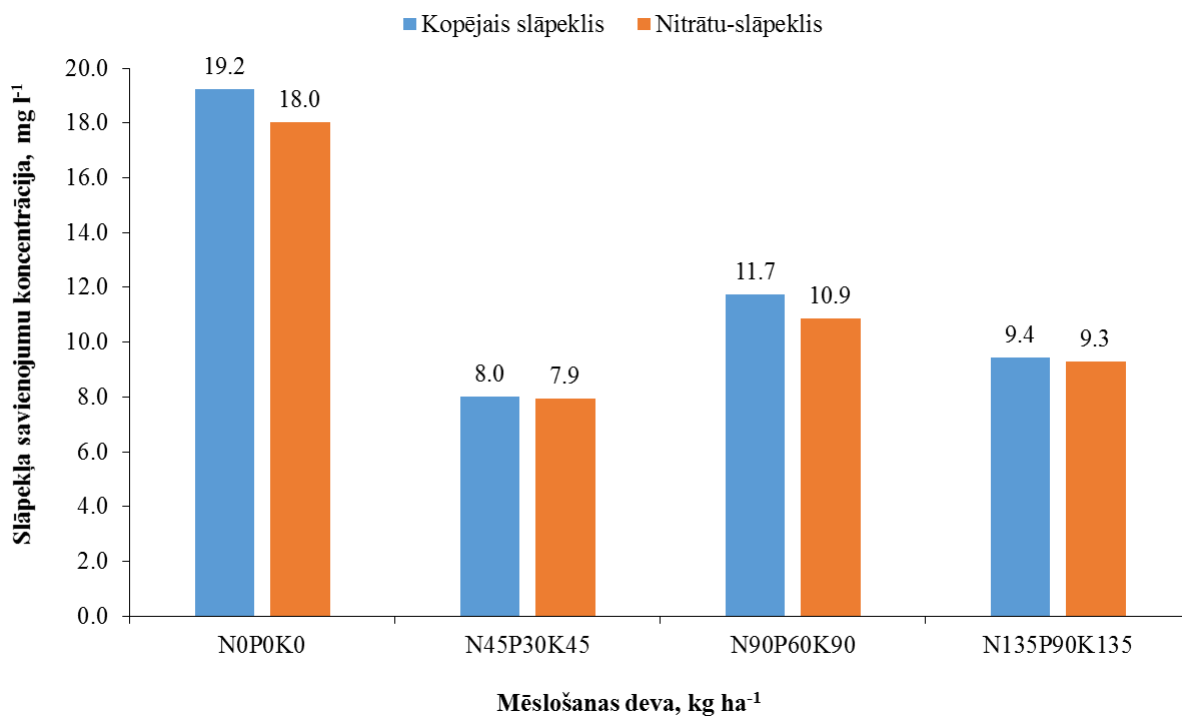
Ziemas rapša sēklu ķīmiskais sastāvs (%), 2022.

Mēslošanas varianti	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	Kopproteīns, %	P, %	K, %	Ca, %	Mg, %
N45P30K45	0	18.23	0.57	0.68	0.42	0.30
	2.58	21.34	0.62	0.77	0.42	0.32
	5.70	19.72	0.63	0.71	0.40	0.32
	11.40	18.48	0.51	0.65	0.41	0.27
N90P60K90	0	24.37	0.72	0.81	0.44	0.34
	2.58	21.64	0.63	0.82	0.40	0.32
	5.70	22.69	0.65	0.78	0.44	0.32
	11.40	23.93	0.61	0.78	0.44	0.30
N135P90K135	0	23.48	0.67	0.96	0.39	0.31
	2.58	22.79	0.62	0.95	0.39	0.30
	5.70	22.35	0.65	0.85	0.44	0.30
	11.40	24.16	0.65	0.85	0.45	0.31

2.3. Ūdeņu kvalitātes raksturojums atkarībā no mēslošanas devām

Ūdeņu paraugu ķīmiskā sastāva analīžu rezultāti tika apkopoti atkarībā no izmēģinājuma lauciņos izmantotajām mēslošanas devām, t.sk., N0P0K0, N45P30K45, N90P60K90, N135P90K135. Pētījuma pirmajā gadā iegūtie kopējā slāpekļa (N_{kop}), amonija–slāpekļa

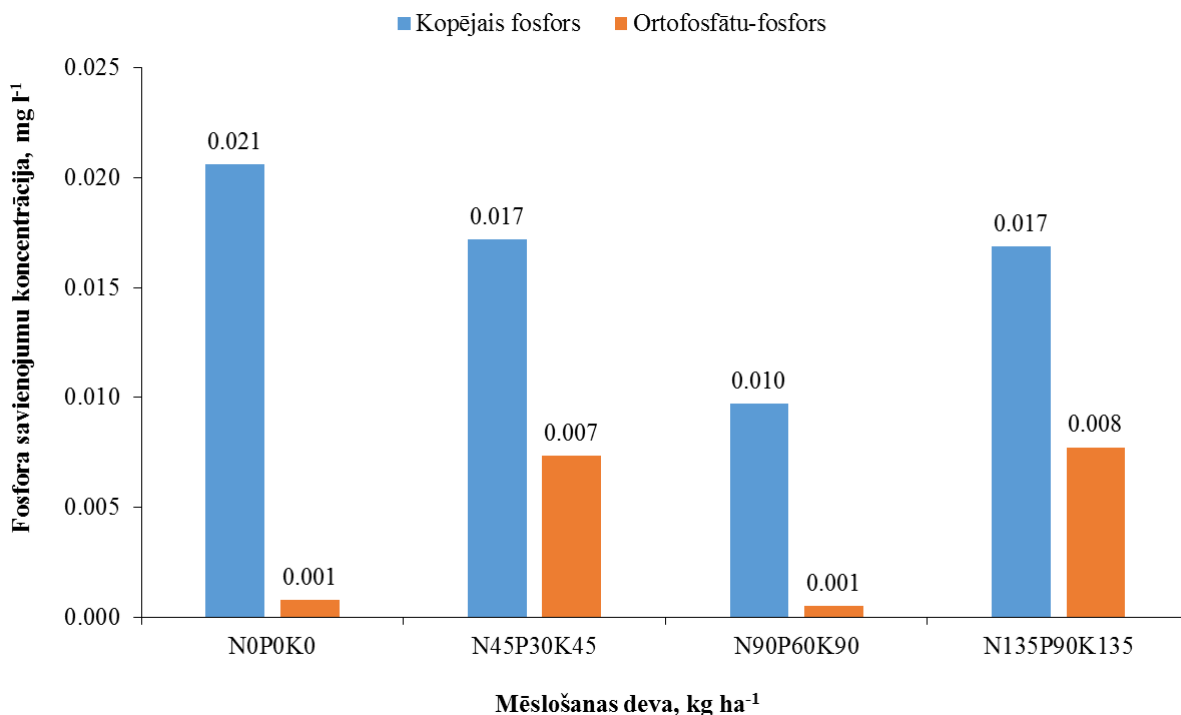
(NH₄-N), nitrātu-slāpekļa (NO₃-N), kopējā fosfora (P_{kop}) un ortofosfātu-fosfora (PO₄-P) koncentrāciju rezultāti apkopoti (8., 9. un 10. attēlā).



8. attēls. Vidējās kopējā slāpekļa un nitrātu-slāpekļa koncentrācijas atkarībā no mēslošanas devām.

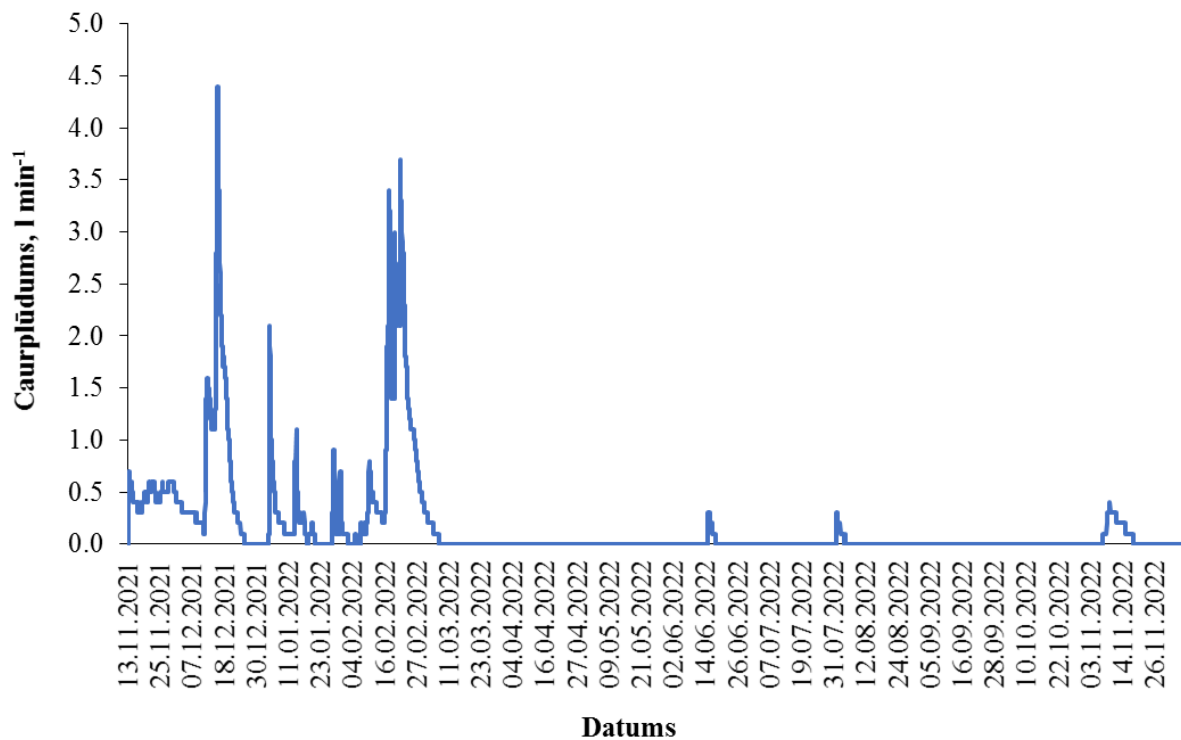
8. attēlā apkopoti slāpekļa savienojumu koncentrāciju rezultāti apstiprina Lauksaimniecības noteču monitoringa ietvaros iegūtos rezultātus, ka NO₃-N kā ūdenī viegli šķīstoša slāpekļa savienojumu forma ir dominējošā forma ar drenu sistēmām novadītajos ūdeņos. 2021. gada augustā iesētais ziemas rapsis N0P0K0 devas izmēģinājuma lauciņos nepārziemoja un 2022. gadā šajos lauciņos tika uzturēta papuve, kas ietekmēja slāpekļa savienojumu izskalošanos no nemēslotajiem lauciņiem. Augstākās N_{kop} un NO₃-N vidējās koncentrācijas konstatētas no nemēslotajiem lauciņiem novadītajos drenu sistēmas ūdeņos, kas skaidrojams ar kultūraugu neesamību un augsnē esošo slāpekļa savienojumu pakāpenisku transformāciju no organiskajām formām uz neorganiskajām formām un sekojošo izskalošanos ūdenim pārvietojoties gravitācijas spēku ietekmē no augsnes virskārtas līdz drenu izbūves dziļumam. Zemākās slāpekļa savienojumu koncentrācijas novērotas N45P30K45 devas izmēģinājumu lauciņos.

9. attēlā vizualizēti fosfora savienojumu koncentrāciju rezultāti. Atšķirībā no slāpekļa savienojumu piemēra, PO₄-P kā ūdenī šķīstoša fosfora savienojumu forma nav uzskatāma par noteicošo kopējā fosfora vērtību veidošanā. Augstākās P_{kop} vidējās koncentrācijas novērotas no nemēslotajiem lauciņiem novadītajos ūdeņos, kamēr augstākās PO₄-P vidējās koncentrācijas konstatētas N45P30K45 un N135P90K135 izmēģinājuma variantos.



9. attēls. Vidējās kopējā fosfora un ortofosfātu–fosfora koncentrācijas atkarībā no mēslošanas devām.

Slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanās nosusinātās lauksaimniecības zemēs ir atkarīga no drenu noteces ilguma un intensitātes. 10. attēlā sniegts ieskaits caurplūduma īpatnībās, kuras novērotas F3L3 izmēģinājuma lauciņa drenu sistēmā.

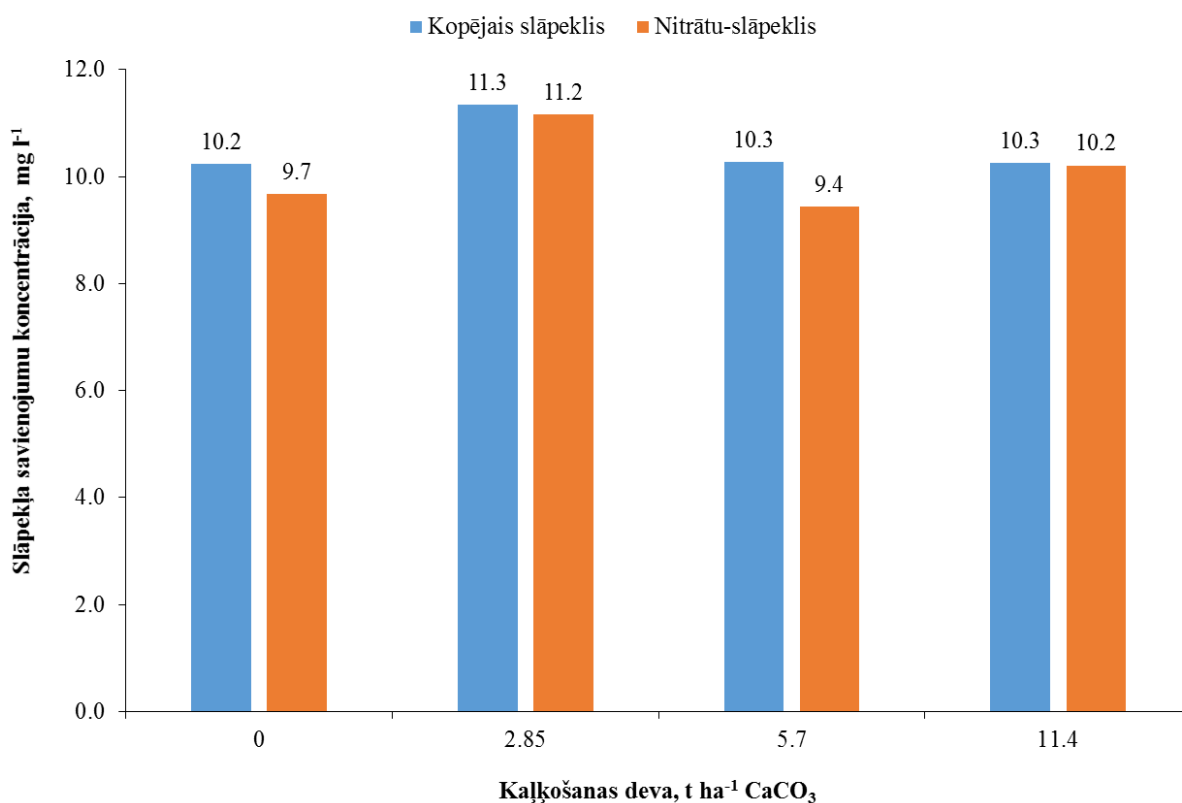


10. attēls. Caurplūdums F3L3 izmēģinājuma lauciņa drenu sistēmā.

Drenu notece veidojās, kad augsne ir piesātināta ar ūdeni un gruntsūdens līmenis ir tuvu vai virs drenu izbūves dziļuma. Konkrētajā izmēģinājuma lauciņā notece intensīvi veidojās novembra, decembra un janvāra un februāra mēnešos, marta mēnesī notece pamazām izsīkst, vasaras mēnešos novērotas vien atsevišķas īslaicīgas noteces epizodes.

2.4. Ūdeņu kvalitātes raksturojums atkarībā no kaļķošanas devām

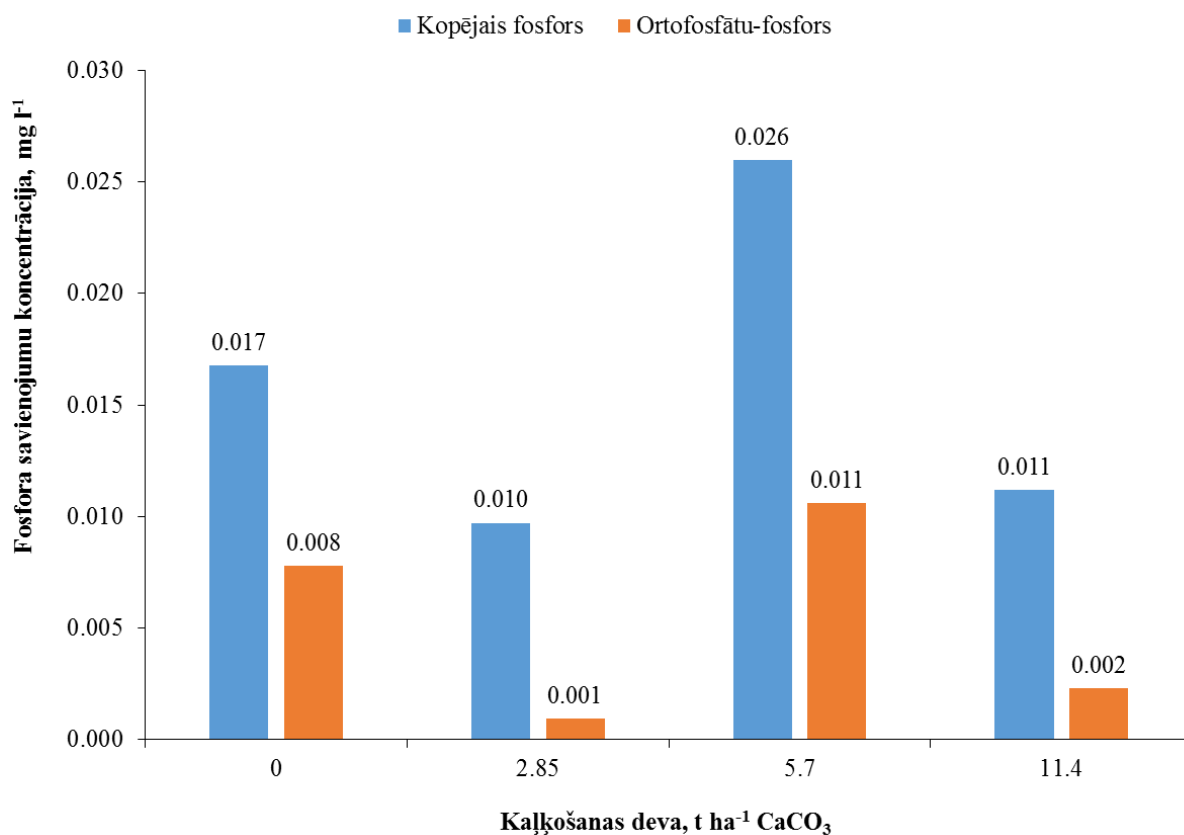
Analogi kā tas tika konstatēts, analizējot slāpekļa savienojumu koncentrācijas atkarībā no izkliedētā minerālā mēslojuma devām, izmēģinājuma lauciņos, kuros tiek izkliedētas dažādas kaļķošanas devas, nitrātu-slāpekļi ir izteikti dominējošā slāpekļa savienojumu forma, kas nosaka kopējā slāpekļa koncentrācijas (11. attēls). Kopējā slāpekļa un nitrātu-slāpekļa koncentrācijas ir līdzīgas kaļķošanas devām 0 t ha^{-1} , 5.7 t ha^{-1} un 11.4 t ha^{-1} , mazliet augstākas koncentrācijas novērotas izmēģinājuma lauciņos, kuros izkliedētā kaļķošanas deva ir 2.85 t ha^{-1} . Kopumā ūdeņu kvalitātes monitoringa rezultāti nenorāda par nozīmīgām slāpekļa savienojumu koncentrāciju atšķirībām atkarībā no pielietotajām kaļķošanas devām.



11. attēls. Vidējās kopējā slāpekļa un nitrātu-slāpekļa koncentrācijas atkarībā no kaļķošanas devām.

Augstākās kopējā fosfora koncentrācijas novērotas izmēģinājuma lauciņos, kuros izkliedētā kaļķošanas deva ir $5.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (12. attēls), divu kaļķošanas devu izmēģinājumu

lauciņos (2.85 un $11.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$) kopējā fosfora koncentrācijas ūdenī ir līdzīgas. Pirmajā pētījuma gadā nav novērotas izteikta kaļķošanas devas ietekme uz fosfora savienojumu koncentrācijām drenu notecē.



12. attēls. Vidējās kopējā fosfora un ortofosfātu-fosfora koncentrācijas atkarībā no kaļķošanas devām.

Secinājumi

1. Ziemas rapša ražu būtiski ietekmēja gan augsnes reakcija, gan lietotās mēslojuma normas. Augstākā sēklu raža un 1000 sēklu masa iegūta variantos, kur gan mēslojuma norma (N135P90K135), gan augsnes reakcija ($\text{pH}_{\text{KCl}} > 6.0$) atbilst ziemas rapša prasībām.
2. Vērtējot 2022. gada ūdeņu kvalitātes monitoringa rezultātus, viennozīmīga izmēģinājuma lauciņos izmantoto mēslošanas devu ietekme uz ūdeņu kvalitāti nav konstatēta. Kopumā augstākās slāpekļa un fosfora savienojumu koncentrācijas ūdeņos novērotas nemēslotajos izmēģinājuma lauciņos, kuros 2021. gada augustā iesētais ziemas rapsis nepārziemoja un 2022. gadā tika uzturēta papuve. Jāņem vērā, ka 2022. gads ir pirmais pētījuma gads un izdarīt viennozīmīgus secinājumus par augu barības vielu izskalošanos atkarībā no mēslojuma devām, balstoties uz viena gada rezultātiem, nav iespējams.
3. Pirmajā pētījumu gadā netika novērota izteikta kaļķošanas devu ietekme uz slāpekļa un fosfora savienojumu koncentrācijām notecē no izmēģinājumu lauciņiem.

Izmantotā literatūra

1. *Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi* (2013). Sast. A. Kārklīšs un A. Ruža. Jelgava: LLU, 55 lpp.
2. Litke L., Gaile Z., Ruža A. (2019). Slāpekļa mēslojuma un augsnes apstrādes ietekme uz ziemas rapša ražu un kvalitāti. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība, Zinātniski praktiskās konferences raksti* (2019. g. 21. febr.). Jelgava: LLU, 44. –49. lpp.
3. Holland J.E., White P.J., Glendining M.J., Goulding K.W.T., McGrath S.P. (2019) Yield response of arable crops to liming-An evaluation of relationships between yields and soil pH from a long-term liming eksperiments. *European Journal of Agronomy*, Vol. 105, p. 176-188. DOI: 10.1016/j.eja.2019.02.016
4. Ruža A., Skrabule I., Maļeckā S., Kreita Dz., Gaile Z., Balodis O., Vaivode A., Katamadze M. (2012). Slāpekļa mēslojuma normu ietekme uz barības vielu izmantošanās rādītājiem laukaugiem. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība, Zinātniski praktiskās konferences raksti* (2012. g. 23. –24. febr.). Jelgava: LLU, 29.–32. lpp.