

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, 2024

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	5
1.4. Meteoroloģiskie apstākļi.....	7
2. Rezultāti.....	8
2.1. Augsnes agroķīmisko īpašību izmaiņas	8
2.2. Lauka pupu ražība un ražas kvalitāte.....	14
2.3. Ūdeņu kvalitātes raksturojums atkarībā no mēslošanas variantiem	17
2.4. Ūdeņu kvalitātes raksturojums atkarībā no kaļķošanas variantiem	20
Secinājumi	24
Izmantotā literatūra.....	25

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>). Izvēlētais 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 Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģiju fakultātes 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⁻¹ CaCO₃) kaļķošanas devu un četru minerālmēsļu devu (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. – ziemas rapsis,

2022./2023. – ziemas kvieši,

2023. – starpkultūra (ziemas rudzi),

2024. – *lopbarības pupas*,

2025. – vasaras mieži ar daudzgadīgo zālaugu pasēju ,

2026. – daudzgadīgo zālaugu mists 1. izmēģinājuma gads, ietverot 50% tauriņziežus,

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

Lauka pupas

Augsnes apstrāde. Starpkultūra – ziemas rudzi, iearti pavasarī (01.04.2024.).

Mēslojums. Pamatmēslojumā pirms lauka pupu sējas izklidēti (12.04.2024.) 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. Pirms sējas augsnē iestrādāta arī katram izmēģinājuma variantam paredzētā slāpekļa norma lietots amonija nitrāts (NH₄NO₃), kur fonā N45P30K45 izklidēti 100 kg ha⁻¹, fonā N90P60K90 – 200 kg ha⁻¹, bet fonā N135P90K135– 300 kg ha⁻¹ mēslošanas līdzekļa.

Sēja. Sēja veikta (12.04.2024.) tūlīt pēc pamatmēslojuma izklidēšanas, lietojot sējmašīnu “Agr Masz” ar darba platumu 2.5 m. Iesēta lauku pupu šķirne ‘Trumpet’ ar izsējas normu 300 kg ha⁻¹.

Augu aizsardzība. Nezāļu ierobežošanai (21.05.2024.) smidzināts herbicīds Corum (imazamokss, 22.4 g L⁻¹; bentazons, 480 g L⁻¹) 1.25 L ha⁻¹ + virsmas aktīvā viela Dash (1 L/ 100 L ūdens) un herbicīds Basagran 480 (bentazons, 480 g L⁻¹) 1.9 L ha⁻¹.

Ražas novākšana veikta 06.09.2024.

Augsnes uzturošā kalķošana veikta kalķošanas variantā L3 (11.4 t ha⁻¹ CaCO₃) granulēto krīta kalķi PolCalc (Polija), kas satur 93–98 % kalcija karbonāta CaCO₃ sausnā (kalcija oksīds CaO > 50 %, magnijs MgCO₃ < 5 %), reaktivitāte: 100 %, mitrums: 5 % (+/- 2 %), miltu frakcija: 50% < 20 mikroniem; 96% < 90 mikroniem, granulometriskais sastāvs: 2–8 mm, pH 8.0–9.5

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 ūdens ietek novadīts 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 (NH_4-N), nitrātu slāpekļa (NO_3-N), kopējā fosfora (P_{kop}) un ortofosfātu fosfora (PO_4-P) koncentrācijas ($mg\ l^{-1}$). Ūdens ķīmiskā sastāva analīzes izpildītas ievērojot nosakāmajam parametram atbilstošas testēšanas metodes (1. tabula).

1. tabula

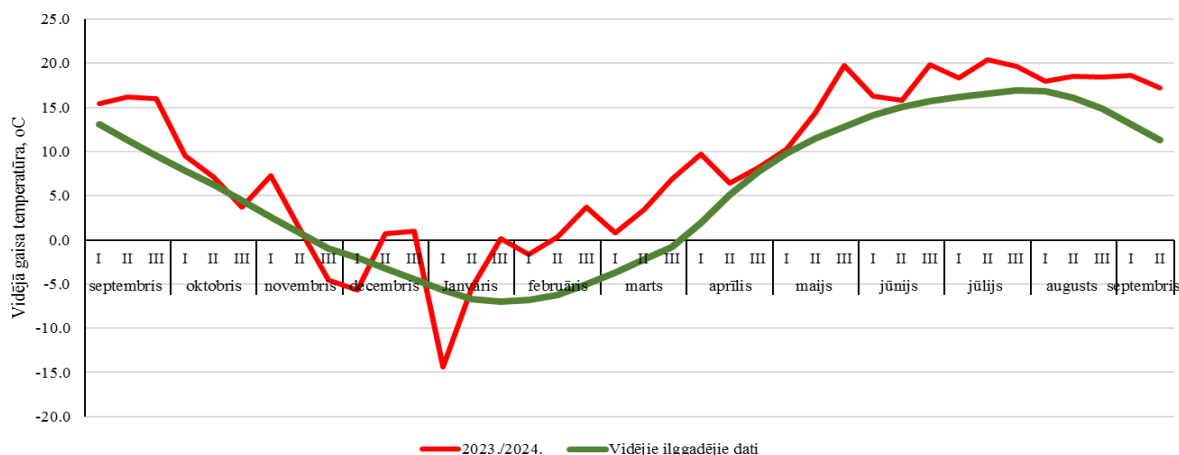
Ūdeņu ķīmiskā sastāva testēšanas metodes

Parametrs	Normatīvi tehniskās dokumentācijas Nr.	Analīzes metode
NO_3-N	LVS EN ISO 13395:1996	Spektrofotometrija, nitrātu slāpekļa, nitrātu slāpekļa un to summārā satura noteikšana ar plūsmas analīzes metodi
NH_4-N	LVS ISO 7150-1:1984	Spektrofotometrija, indofenola metode
N_{kop}	LVS EN ISO 11905-1:1998	Mineralizācijas metode, oksidējot ar peroksidisulfātu
PO_4-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, kas raksturo laika posmu no 2022. gada 1. janvāra līdz 2024. gada 10. novembrim.

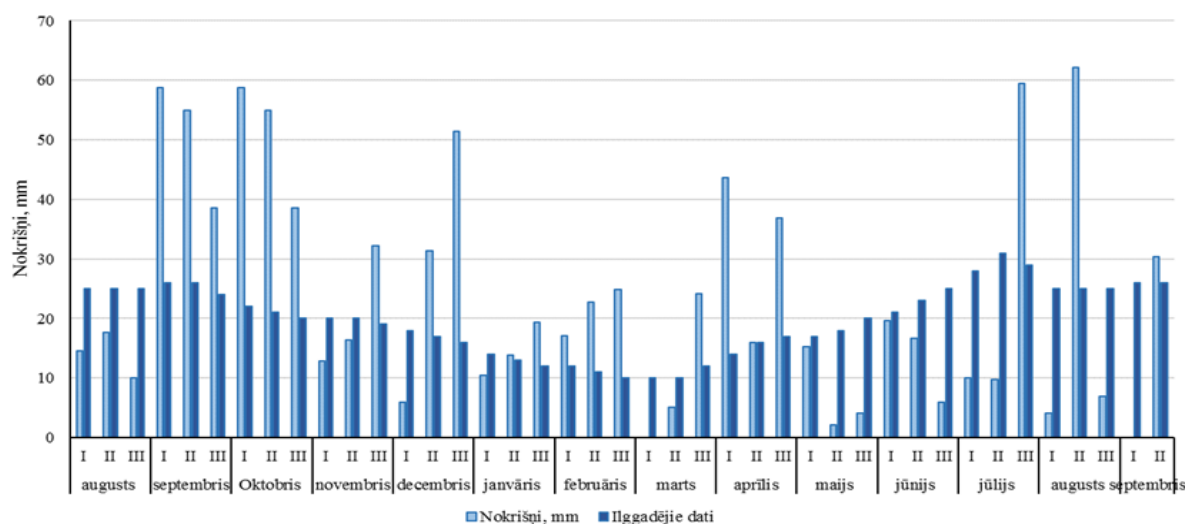
1.4. Meteoroloģiskie apstākļi

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 no 01.08.2023. līdz 30.09.2024., °C (LVĢMC Skrīveru novērojumu stacijas dati).

No 2. attēlā apkopotās informācijas iespējams secināt, ka pētījuma periodā vidējā gaisa temperatūra ir bijusi augstāka nekā ilggadēji vidēji novērotā, izņemot 2023. gada novembra III dekādi, 2023. gada decembra I dekādi un 2024. gada janvāra I dekādi, kad pētījuma periodā konstatēta zemāka vidējā gaisa temperatūra nekā ilgtermiņā.



3. attēls. Nokrišņu daudzums Skrīveros no 01.08.2023. līdz 30.09.2024., mm (LVĢMC Skrīveru novērojumu stacijas dati).

Nokrišņu daudzums pētījuma periodā 18 dekādēs no 41 dekādes pārsniedz ilggadēji vidējo nokrišņu daudzumu (3. attēls), kas neveģetācijas periodā palielināja ūdens noteci no izmēģinājuma lauciņos ierīkotajām drenu sistēmām.

2. Rezultāti

2.1. Augsnes agroķīmisko īpašību izmaiņas

Stacionāra pastāvēšanas gados kopš 1981. gada ir izveidojušies 16 foni ar dažādiem augsnes agroķīmiskajiem rādītājiem (2., 3., 4. un 5. tabula).

2. tabula

Augsnes reakcijas izmaiņas stacionārā “Sidrabiņi” pirms augsnes kaļķošanas (13.08.2021.) un pēc augsnes kaļķošanas (12.09.2022., 07.09.2023., 21.10.2024.)

Mēslošanas varianti*	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	Augsnes reakcija, pH _{KCl}			
		2021	2022	2023	2024
F0	0	4.7	4.8	4.7	5.0
	2.85	5.5	6.0	6.2	6.0
	5.7	5.8	6.2	6.5	6.4
	11.4	6.1	6.5	6.5	6.5
F1	0	5.1	5.1	5.3	5.3
	2.85	6.1	6.4	6.6	6.5
	5.7	6.6	6.5	6.7	6.5
	11.4	6.4	6.5	6.5	6.5
F2	0	4.3	4.2	4.1	4.2
	2.85	4.8	5.5	5.7	5.4
	5.7	5.4	6.1	6.3	6.0
	11.4	5.6	5.9	6.0	6.0
F3	0	4.4	4.3	4.1	4.3
	2.85	5.2	5.5	5.5	5.5
	5.7	5.8	6.2	6.4	6.2
	11.4	6.0	6.3	6.4	6.4

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

Augsnes skābums jeb augsnes pH līmenis bija atkarīgs no mēslojuma varianta. Augsnes paskābināšanās novērota mazā un vidējā mēslojuma fonā, bet lielā mēslojuma normas variantos augsnes skābums noturējās praktiski vienādā līmenī, kopš 2021. gadā tika lietots ilgas un lēnas iedarbības kaļķojamais materiāls – dolomīta milti. Variantos bez minerālmēslojuma lietošanas (F0) jau pēc veiktās pamatkaļķošanas 2021. gadā augsne kļuva par 0.4–0.5 vienībām bāziskāka un tādā līmenī noturējās līdz pat 2024. gada rudenim, kad tika veikta uzturošā kaļķošana. Augsnes paraugu ievākšana veikta pirms uzturošās kaļķošanas darbību īstenošanas. Variantā ar pusi no kaļķošanas normas augsnes skābums samazinājās no pH 5.5 uz pH 6.0, bet pie dubultās normas no pH 6.1 sasniedza pH 6.5, kas jau 2022. gadā nostabilizējās pH 6.5 līmenī gan pilnas,

gan dubultas devas lauciņos. Bez minerālmēslojuma un nekaļķojot, augsnes skābums pētīto triju gadu rudenī bija pH 4.7 - pH 5.0 (2. tabula).

Lietojot mazo minerālmēsļu daudzumu (F1), nekaļķotajos lauciņos augsnes skābums bija robežās no pH 5.1 līdz 5.3, bet, lietojot vidējo F2 un lielāko F3 minerālmēsļu normu, augsne pirmajos gados kļuva skābāka par 0.1 vienību - attiecīgi no pH 4.3 un 4.4 2021. gadā samazinājās līdz pH 4.2 un 4.3 laika periodā no 2022. gada līdz 2024. gadam variantos bez kaļķošanas.

Neliela minerālmēsļu daudzuma variantos (F1) puse no kaļķošanas normas un pilna norma nodrošināja stabilu un vāji skābu augsnes rekciju palielinot no pH 6.1 līdz pH 6.4-6.6 laika periodā līdz 2023. gadam, 2024. gadā novērota neliela augsnes skābuma palielināšanās par 0.3 pH vienībām jeb augsnes paskābināšanās. Augsnes skābuma samazināšanās (vāji skāba rekcijas pH 6.4) vidēja F2 un augsta F3 mēslojuma fonā lietojot pilnu 5.7 t ha⁻¹ kaļķojamo materiālu (CaCO₃) normu, bet augsne paskābinājās 2024. gada laikā par pH 0.3- 0.2 vienībām – no attiecīgi pH 6.3 uz 6.0 (F2) un no pH 6.4 uz 6.2 (F3).

Kaļķošanas normas nozīme palielinājās līdz ar minerālmēslojuma lietošanas intensitāti, par ko liecina dubultas 11.4 t ha⁻¹ kaļķošanas normas visos mēslojuma F1 un F2 un pat lielākajā F3 variantā augsnes pH 6.5, pH 6.0 un pH 6.4 līmenis attiecīgi bija stabils pētījumu perioda laikā, kas liecina par palielinātu kaļķošanas materiālu normu ilglaicīgu efektu (2. tabula).

Augsnes reakcija ir rezultāts kompleksai kaļķošanas materiāla un augsnes organiskās vielas mijiedarbībai, kad par kaļķošanas efektivitāti var spriest analizējot Ca un Mg satura izmaiņas (3. tabula). Pēc uzturošās kaļķošanas 2021. gadā augsnes analīžu rezultāti uzrādīja Ca satura samazinājumu ievāktajos augsnes paraugos, kas izskaidrojams vienīgi ar pirms kaļķošanas veikto augsnes analīžu atbilstību reālai situācijai uz lauka. Turpmākos gados Ca saturs augsnē variantos bez vai ar mazo (F1) mēslojuma normu bija salīdzinoši stabils, izņemot variantu ar dubulto kaļķošanas normu, kur vērojama Ca satura palielināšanās. Lietojot vidēju (F2) un lielu (F3) mēslojuma normu, Ca saturs bija stabili līdzīgs variantos ar 5.7 un 11.4 t ha⁻¹ kaļķojamā materiāla normu, bet bez kaļķošanas un variantos ar pusi kaļķošanas normas (2.85 t ha⁻¹) vērojama Ca satura samazināšanās tendence (3. tabula). 2. tabula rāda, ka šajos variantos augsnes skābums praktiski nesamazinās, ko var izskaidrot ar organiskās vielas satura kompensējošo ietekmi (4. tabula), kuras saturs mēslotajos variantos ir salīdzinoši liels (3.4 – 3.8 %) vai līdzīgs ar organiskās vielas saturu (3.4 – 4.2 %) vidējā un dubultās kaļķošanas devas variantiem.

Magnija izmaiņās var novērot pakāpenisku tā satura palielinājumu visos kaļķošanas normas un mēslojuma fonu variantos ceturto gadu pēc kārtas, kas atbilst lēnas iedarbības kaļķošanas materiāla efektam (3. tabula).

3. tabula

Kalcija un magnija satura izmaiņas augsnē stacionārā “Sidrabiņi” pirms augsnes kaļķošanas (13.08.2021.) un pēc augsnes kaļķošanas (12.09.2022., 07.09.2023., 21.10.2024.)

Mēslošanas varianti*	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	Ca, mg kg ⁻¹				Mg, mg kg ⁻¹			
		2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
F0	0	572	626	445	497	44	52	51	64
	2.85	998	692	708	708	45	88	137	125
	5.7	968	705	769	775	42	94	140	170
	11.4	988	725	751	813	38	92	113	169
F1	0	866	687	867	715	77	63	230	103
	2.85	1204	731	876	906	106	63	215	222
	5.7	1211	764	957	909	82	115	225	177
	11.4	1341	772	991	1062	79	110	169	221
F2	0	430	610	400	424	<30	40	47	47
	2.85	720	684	648	621	<30	88	137	116
	5.7	1000	761	867	867	38	151	243	216
	11.4	1158	736	779	866	<30	81	111	182
F3	0	754	638	507	554	<30	48	59	68
	2.85	1138	712	771	748	46	85	135	115
	5.7	1245	779	1099	1000	62	122	240	198
	11.4	1271	764	931	984	78	110	174	215

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

Augsnes organiskās vielas uzkrāšanās process ir ilgstošs, ko apstiprina arī daudzgadīgajā stacionārā veiktās augšņu analīzes, kad optimāla (F2) un palielināta (F3) minerālmēslojuma ilglaicīgās ietekmes rezultātā vērojama augsnes organiskās vielas (oglekļa) uzkrāšanās līdz, attiecīgi, 3.9 un 4.2% variantos ar 5.7 t ha⁻¹ kaļķošanas materiāla normu (4. tabula). Variantos bez minerālmēsli lietošanas organiskās vielas saturs augsnē bija salīdzinoši augsts: no 1.8 % līdz 3.2 %, neskatoties uz vizuālo vērtējumu, ko varētu izskaidrot ar zemo mineralizējošo mikroorganismu aktivitāti līdz ar zemām laukaugu ražām un minimālu augu atlieku daudzumu.

4. tabula

Augsnes agroķīmiskie rādītāji stacionārā “Sidrabiņi” pirms augsnes kaļķošanas (13.08.2021.) un 3 gadus pēc augsnes kaļķošanas (12.09.2022., 07.09.2023., 21.10.2024.)

Mēslošanas varianti*	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	Organiskās vielas saturs, %			
		2021	2022	2023	2024
F0	0	2.8	2.3	2.6	2.5
	2.85	2.9	1.8	3.2	2.9
	5.7	2.5	2	2.6	2.6
	11.4	2.8	2.4	2.9	2.8

4. tabulas turpinājums

Mēslošanas varianti*	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	Organiskās vielas saturs, %			
		2021	2022	2023	2024
F1	0	2.5	3.2	3.2	4.0
	2.85	2.5	2.3	2.5	3.2
	5.7	2.5	2.6	2.4	2.9
	11.4	3	3.2	3.4	3.6
F2	0	3.3	3.3	3.8	3.8
	2.85	3.2	3.2	3.1	3.7
	5.7	3.4	4.9	3.3	3.9
	11.4	3.2	3.5	3.5	3.6
F3	0	3	3.2	3.4	3.4
	2.85	3.1	3.5	3.7	3.8
	5.7	3.3	3.5	3.8	4.2
	11.4	3.1	2.7	3.3	3.4

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

Augiem pieejamo fosforu augsnē ietekmē augsnes kaļķošana, kas sekmē dzelzs un alumīnija fosfātu pārveidošanos vieglāk šķīstošos un augiem pieejamākos kalcija fosfātos. Tomēr kalcija fosfāti arī nav augiem viegli pieejami, jo kalcija fosfāti ir ūdenī nešķīstoši, taču šajos savienojumos ietilpstošais fosfors augsnes biokīmisku procesu ietekmē ātrāk un vieglāk pārveidojas ūdenī šķīstošā formā, kas augiem ir izmantojama.

Kaļķošanas variantos bez minerālmēslojuma lietošanas augiem pieejamais fosfors augsnē novērojumu laikā mainījās nenoīmīgi (5. tabula), izņemot kaļķošanas variantu ar pusi no normas, kurā pēdējos gados (2023. gadā un 2024. gadā) ir manāms augiem pieejamā fosfora satura palielinājums no 20 uz 28 mg kg⁻¹ augsnes. Gan pirms gan pēc kaļķošanas fosfora saturs bija ļoti zems vai pat nenosakāms - mazāks attiecīgi par 14 un/vai par 20 mg kg⁻¹ augsnes, kas liecina, ka kaļķošana neietekmēja fosfora pieejamību augiem (5. tabula).

5. tabula

Augiem pieejamā fosfora un kālija saturs stacionārā “Sidrabiņi” pirms augsnes kaļķošanas (13.08.2021.) un 3 gadus pēc augsnes kaļķošanas (12.09.2022.;07.09.2023, 21.10.2024.)

Mēslošanas varianti*	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹				K ₂ O, mg kg ⁻¹			
		2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
F0	0	<14	<20	20	21	39	39	29	38
	2.85	<14	<20	24	28	37	43	42	49
	5.7	<14	<20	22	21	41	41	41	47
	11.4	<14	<20	20	<20	40	50	47	49

Mēslošanas varianti*	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹				K ₂ O, mg kg ⁻¹			
		2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
F1	0	<14	29	52	45	40	44	54	54
	2.85	<14	33	50	46	48	59	66	68
	5.7	17	39	54	51	43	57	60	64
	11.4	<14	43	57	55	44	54	61	67
F2	0	71	90	100	98	110	91	91	109
	2.85	60	85	97	88	82	96	117	126
	5.7	52	75	92	96	83	111	118	136
	11.4	64	90	96	95	86	109	113	127
F3	0	139	132	160	157	128	130	148	160
	2.85	124	125	163	154	116	133	167	145
	5.7	138	137	178	164	142	131	172	176
	11.4	164	127	157	154	173	176	183	162

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

Variantos ar mazāko mēslojuma iestrādi F1 augiem pieejamā fosfora saturs augsnē palielinājās līdz 45-55 mg kg⁻¹ augsnes, jo gan kaļķotajos, gan nekaļķotajos lauciņos fosfora saturs 2021. gadā bija līdzīgi zems – pat zem noteikšanas robežas 14 mg kg⁻¹ augsnes. Nekaļķotajā lauciņā 2022. gada rudenī kustīgā fosfora saturs bija 29 mg kg⁻¹ augsnes līdz 2024. gada rudenī 45 mg kg⁻¹. Kaļķotajos variantos 2022. gadā attiecīgi 33-43 mg kg⁻¹ un 2024. gadā 46-55 mg kg⁻¹ augsnes, kas liecina par mazu kaļķošanas ietekmi uz augiem pieejamo fosforu nelielā minerālmēslojuma fonā.

Vidēja F2 un liela F3 mēslojuma lauciņos augiem pieejamais fosfors pēc 2021. gada augsnes kaļķošanas nākamajā gadā palielinājās gan kaļķotajos, gan nekaļķotajos variantos un bija ar vidēju un augstu nodrošinājumu – attiecīgi 88 – 98 mg kg⁻¹ un 154 – 164 mg kg⁻¹, taču arī kā variantos bez (F0) vai ar nelielu mēslojuma devu (F1), kaļķošanas rezultātā augiem pieejamā fosfora satura izmaiņas augsnē bija nelielas.

Augiem pieejamais kālijs augsnē kaļķošanas rezultātā mainījās maz vai ar tendenci kālija pieejamībai uzlaboties. Mazākais kālija saturs 2024. gada veģetācijas beigās bija variantos bez kaļķošanas visos minerālmēslojuma iestrādes normu variantos, un tas bija F0 = 38, F1 = 54, F2 = 109 līdz F3 = 160 mg kg⁻¹. Nelielas 2.85 un vidējas 5.7 t ha⁻¹ kaļķošanas normas variantos bija vērojama kālija satura palielināšanās no 82 – 83 uz 126 – 136 mg kg⁻¹ augsnes F2 un no 116 – 142 uz 145 – 176 mg kg⁻¹ augsnes F3 variantā. Kaļķošanas ietekmē kālija saturs augsnē 2024. gadā bija robežās F0 = 38-49, F1 = 54-68, F2 = 109-136 līdz F3 = 145-176 mg kg⁻¹ augsnes. Augiem pieejamā kālija vidējs un augsts nodrošinājums bija F2 un F3 variantos.

Nitrātu slāpekļa ($\text{NO}_3\text{-N}$) koncentrācija palielinājās 2024. gada veģetācijas perioda laikā, bet tās līmenis ir ļoti atkarīgs no mēslošanas līmeņa. Piemēram, augstākā mēslojuma (N135P90K135) variantā bez kaļķošanas perioda beigās tas sasniedza 19.7 mg kg^{-1} augsnes (6. tabula). Kaļķošana, īpaši L3, dažos gadījumos izraisīja augstāku $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrāciju veģetācijas perioda beigās. Piemēram, mēslošanas variantā N45P30K45 ar L3 kaļķošanu sezonas beigās $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrācija sasniedza 12.8 mg kg^{-1} augsnes, kas ir ievērojami augstāks nekā zemākas kaļķošanas devās. Augstākas kaļķošanas normas variantos nitrātu slāpekļa koncentrācija bija mazāk svārstīga, piemēram, N90P60K90 mēslošanas variantā, kur L3 nodrošināja līdzīgu $\text{NO}_3\text{-N}$ saturu gan sezonas sākumā (2.7 mg kg^{-1} augsnes), gan beigās (11.1 mg kg^{-1} augsnes).

6. tabula

Augsnes minerālā slāpekļa izmaiņas veģetācijas periodā sākumā un beigās, 2024.

Mēslošanas varianti	Kaļķošanas varianti*	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})		$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	
		Veģetācijai sākumā, 02.04.2024.	Veģetācijas beigās, 21.10.2024.	Veģetācijai sākumā, 02.04.2024.	Veģetācijai beigās, 21.10.2024.
N0P0K0	L0	1.7	1.4	1.9	7.9
	L1	3.0	2.2	2.7	7.6
	L2	3.4	1.8	2.5	5.9
	L3	3.1	1.7	2.5	5.8
N45P30K45	L0	3.5	2.1	3.6	7.4
	L1	4.5	2.3	2.9	8.7
	L2	3.8	1.8	2.3	7.2
	L3	4.2	2.2	3.0	12.8
N90P60K90	L0	2.6	2.2	2.8	17.8
	L1	3.9	2.4	2.5	14.1
	L2	3.8	2.6	2.4	9.9
	L3	4.9	3.2	2.7	11.1
N135P90K135	L0	3.1	3.2	2.8	19.7
	L1	4.0	2.4	3.7	13.5
	L2	4.6	2.9	3.1	9.3
	L3	3.9	2.1	3.0	7.9

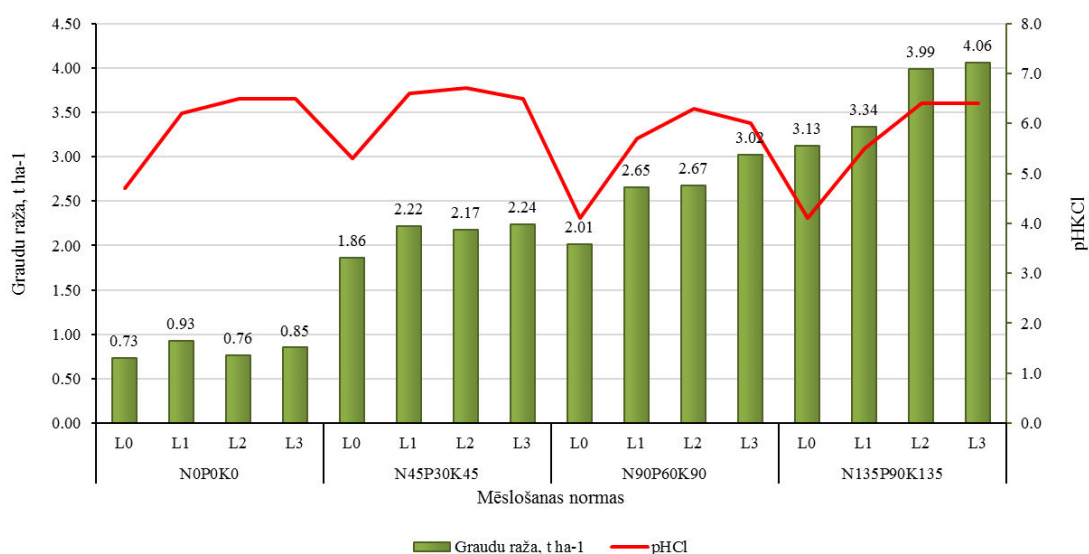
* kaļķošanas varianti: L0 – bez kaļķošanas, L1 – $2.85 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$, L2 – $5.70 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$, L3 – $11.40 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$

Amonija slāpekļa ($\text{NH}_4\text{-N}$) koncentrācija 2024. gada veģetācijas perioda sākumā bija augstāka, tomēr $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrācijai augsnē līdz perioda beigām bija tendence samazināties. Piemēram, N90P60K90 un L3 variantā koncentrācija veģetācijas perioda sākumā bija 4.9 mg kg^{-1} augsnes, bet beigās samazinājās līdz 3.2 mg kg^{-1} augsnes. Amonija slāpekļa koncentrācijā

arī ir konstatējamas atšķirības atkarībā no kaļķošanas, lai gan tendences ir mazāk izteiktas nekā nitrātu slāpekļa gadījumā. Piemēram, N135P90K135 bez kaļķošanas veģetācijas beigās $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrācija bija 3.2 mg kg^{-1} , kamēr dubultas kaļķošanas normas lauciņos šajā pašā mēslošanas variantā koncentrācija samazinājās līdz 2.1 mg kg^{-1} (6. tabula). Var novērot, ka augstākas kaļķošanas devas (L2 un L3) var veicināt mazāku amonija slāpekļa uzkrāšanos līdz sezonas beigām, iespējams, veicinot amonija pārvēršanos par nitrātiem vai citām slāpekļa formām. Lielāka kaļķošanas deva (L3) veicināja augstāku kopējo minerālā slāpekļa līmeni sezonas beigās, kas liecina par kaļķošanas spēju uzturēt slāpekļa pieejamību augiem ilgākā periodā. Salīdzinot mēslošanas un kaļķošanas variantus, var konstatēt, ka slāpekļa pieejamības stabilitāti sezonas laikā biežāk nodrošina augstāks kaļķošanas līmenis (L3), kas palīdz gan nitrātu slāpekļa uzkrāšanā, gan amonija slāpekļa stabilizācijā. Šie novērojumi parāda, ka kaļķošanas deva var būtiski ietekmēt augsnē esošā minerālā slāpekļa formas un pieejamību dažādos sezonas posmos, optimizējot slāpekļa pieejamību augiem ilgākā laika periodā.

2.2. Lauka pupu ražība un ražas kvalitāte

Izmēģinājumā audzētā lopbarības pupu šķirne ‘Trumpet’ raksturojas ar ļoti augtu ražas un kvalitātes potenciālu, kā arī augstu proteīna saturu. Tā ir vidēji agrīna šķirne ar vidējo veģetācijas perioda garums 106 dienas. Sējas laikā augsnes apstākļi pupu dīgšanai un attīstībai bija optimāli, bet tālākais veģetācijas periods bija sauss un karsts, ar retām lietusgāzēm. Vienīgi jūnija I dekādē nokrišņu daudzums sasniedz vidējo ilggadējo nokrišņu daudzumu šajā periodā. Nokrišņu daudzums palielinājās jūlija beigās un augustā, kad sēklās notiek barības vielu uzkrāšanās un nogatavošanās.



4. attēls. Lauka pupu sēklu raža (t ha^{-1}) atkarībā no mēslojuma normas un kaļķošanas devas, kur: L0 – bez kaļķošanas, L1 – $2.85 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$, L2 – $5.70 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$, L3 – $11.40 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$.

2024. gadā izmēģinājumu lauciņos iegūta lauka pupu raža no 0.73 līdz 4.06 t ha⁻¹ (4. attēls). Iegūtie rezultāti liecina, ka lopbarības pupu graudu ražu būtiski ietekmēja gan mēslojuma norma ($p < 0.001$), gan kaļķošanas devas ($p < 0.001$), kā arī abu faktoru mijiedarbība ($p < 0.001$). Lauka pupas ir prasīgs kultūraugs, bez mēslojuma iegūstamā sēklu raža pat labi iekultivētā augsnē nepārsniedz 2.0 t ha⁻¹ (Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi, 2013). Stacionāra nemēslotajos variantos iegūta raža no 0.73 līdz 0.93 t ha⁻¹. Šajā mēslošanas blokā augi bija neliela auguma un izretināti (5. attēls).



5. attēls. Lauka pupas nemēslotajā variantā (N0P0K0), 16.07.2024.

Vērtējot augšņu agroķīmiskos rādītājus stacionāra blokā ar zemāko mēslojuma normu (N45P30K45), lai iegūtu 3.00 t ha⁻¹ sēklu ražu, nepieciešams nodrošināt 30 kg slāpekļa, 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ un 60 kg ha⁻¹ K₂O. Šajā blokā lietotā mēslojuma norma nodrošina augiem vajadzīgā N mēslojuma, bet nenodrošina nepieciešamo P₂O₅ un K₂O mēslojumu, un iegūta 1.86-2.24 t ha⁻¹ sēklu raža.

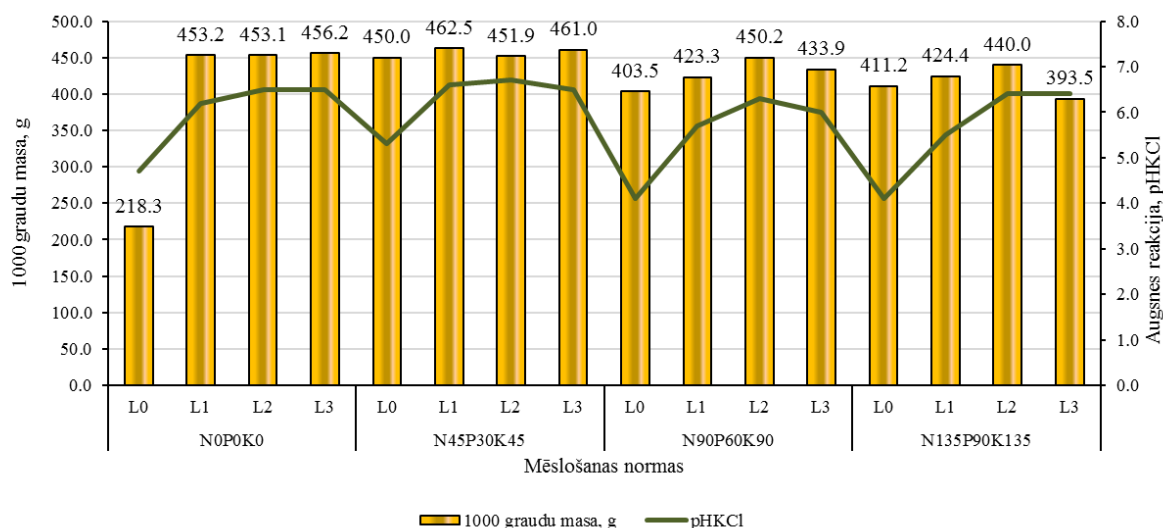
Stacionāra blokā ar vidējo mēslojuma normu (N90P60K90), augšņu nodrošinājums ar P₂O₅ ir vidējs, ar K₂O – zems/vidējs, līdz ar to lietotā mēslojuma norma varētu nodrošināt 5.0 t ha⁻¹ sēklu ražu (Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi, 2013). Šajā mēslošanas blokā iegūtā sēklu raža nepārsniedz 3.0 t ha⁻¹.

Stacionāra blokā ar lielāko mēslojuma normu (N135P90K135), augšņu nodrošinājums ar barības vielām ļauj plānot graudu ražu līdz 5.00 t ha⁻¹. Šī gada meteoroloģiskajos apstākļos iegūta 3.13-4.06 t ha⁻¹ graudu raža. Augsta raža iegūta arī nekaļķotajā fonā, kur augšņu reakcija ir 4.3. Pieaugot barības vielu nodrošinājumam, pieaug arī pupu garums un biomasa (6. attēls)



6. attēls. Lauka pupas variantā ar augstāko mēslojuma devu (N135P90K135), 16.07.2024.

Lopbarības pupu audzēšanai ir piemērotas augsnes ar $\text{pH}_{\text{KCl}} > 6.5$. Palielinoties barības vielu nodrošinājumam augsnē (mēslojuma normai), novēroja lielākas atšķirības ražībai dažādos augsnes reakcijas fonos. Nemēslotajā variantā (N0P0K0) pupu ražas atšķirības starp kontroles variantu bez kaļķošanas ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5.0$) un variantiem, kur veikta augsnes kaļķošana ($\text{pH}_{\text{KCl}} 6.0-6.5$), ir nelielas (0.20 t ha^{-1}). Variantos ar vidējo (F2) un lielāko (F3) mēslojuma normu ražas atšķirības atkarībā no augsnes reakcijas sasniedz pat 1.0 t ha^{-1} .



7. attēls. Lauka pupu 1000 graudu masa (g) atkarībā no mēslojuma un kaļķošanas devas, kur: L0 – bez kaļķošanas, L1 – $2.85 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$, L2 – $5.70 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$, L3 – $11.40 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$.

Graudu rupjumu un tajās esošo barības vielu daudzumu raksturo 1000 graudu masa (7. attēls). Šī gada meteoroloģiskajos apstākļos 1000 graudu masa variēja no 218.3 līdz 462.5

g. Lopbarības pupu graudu ražu būtiski ietekmēja gan mēslojuma norma ($p<0.001$), gan kalķošanas devas ($p<0.001$), kā arī novērota abu faktoru mijiedarbība ($p<0.001$).

Lauka pupu graudu ķīmiskais sastāvs apkopots 7. tabulā. 2024. gada apstākļos proteīna saturs lopbarības pupu graudos variēja robežās no 25.85 līdz 32.03%. Proteīna saturs graudos kalķotajos variantos visos mēslošanas blokos bija augstāks, ja salīdzina ar nekalķoto variantu. Šī gada meteoroloģiskajos apstākļos augstāks fosfora saturs graudos konstatēts variantā bez mēslojuma, bet kālija un kalcija saturs palielinās palielinoties mēslojuma normai.

7. tabula

Lauku pupu graudu ķīmiskais sastāvs 2024. gadā, %

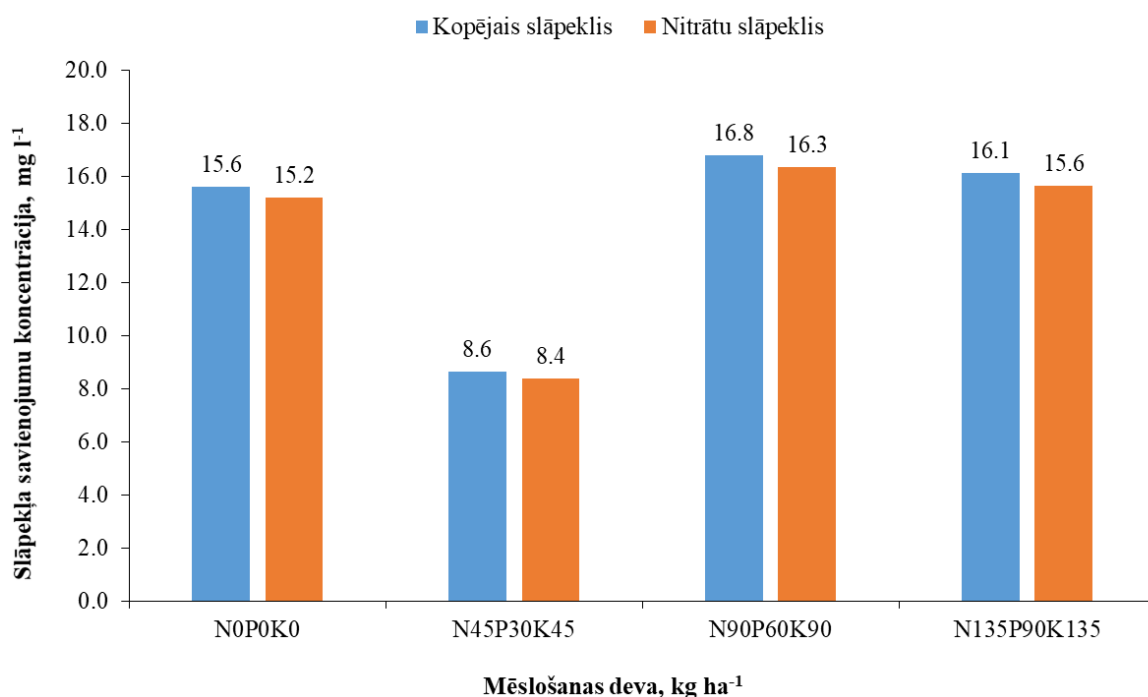
Mēslošanas varianti	CaCO ₃ , t ha ⁻¹	Kopproteīns, %	P, %	K, %	Ca, %	Mg, %
N0P0K0	0	25.85	0.19	0.38	1.06	0.13
	2.85	29.45	0.18	0.39	1.05	0.12
	5.70	29.74	0.20	0.47	1.08	0.13
	11.40	29.33	0.19	0.46	1.08	0.13
N45P30K45	0	28.78	0.17	0.39	1.12	0.13
	2.85	29.82	0.16	0.50	1.13	0.13
	5.70	30.30	0.16	0.49	1.16	0.13
	11.40	31.93	0.16	0.49	1.14	0.12
N90P60K90	0	25.45	0.16	0.55	1.34	0.13
	2.85	31.91	0.15	0.52	1.23	0.13
	5.70	32.03	0.16	0.62	1.27	0.14
	11.40	31.41	0.16	0.57	1.26	0.13
N135P90K135	0	29.32	0.17	0.53	1.24	0.13
	2.85	31.69	0.16	0.58	1.26	0.13
	5.70	30.61	0.15	0.65	1.30	0.14
	11.40	32.42	0.17	0.70	1.28	0.14

2.3. Ūdeņu kvalitātes raksturojums atkarībā no mēslošanas variantiem

Ūdeņu paraugu ķīmiskā sastāva analīžu rezultāti tika apkopoti atkarībā no izmēģinājuma lauciņos izmantotajām mēslošanas devām, t.sk., N0P0K0, N45P30K45, N90P60K90, N135P90K135, neņemot vērā kalķošanas apstākļus. Laika posmā no 2022. gada līdz 2024. gadam iegūtās kopējā slāpekļa (N_{kop}), amonija slāpekļa (NH_4-N), nitrātu slāpekļa (NO_3-N), kopējā fosfora (P_{kop}) un ortofosfātu fosfora (PO_4-P) koncentrāciju un ūdens pH vidējās vērtības apkopotas 8., 9., 10. un 11. attēlā.

8. attēlā vizualizētie NO_3-N un N_{kop} vidējo koncentrāciju rezultāti apstiprina lauksaimniecības noteču monitoringa ietvaros iegūtos rezultātus, ka drenu sistēmu uztvertajos

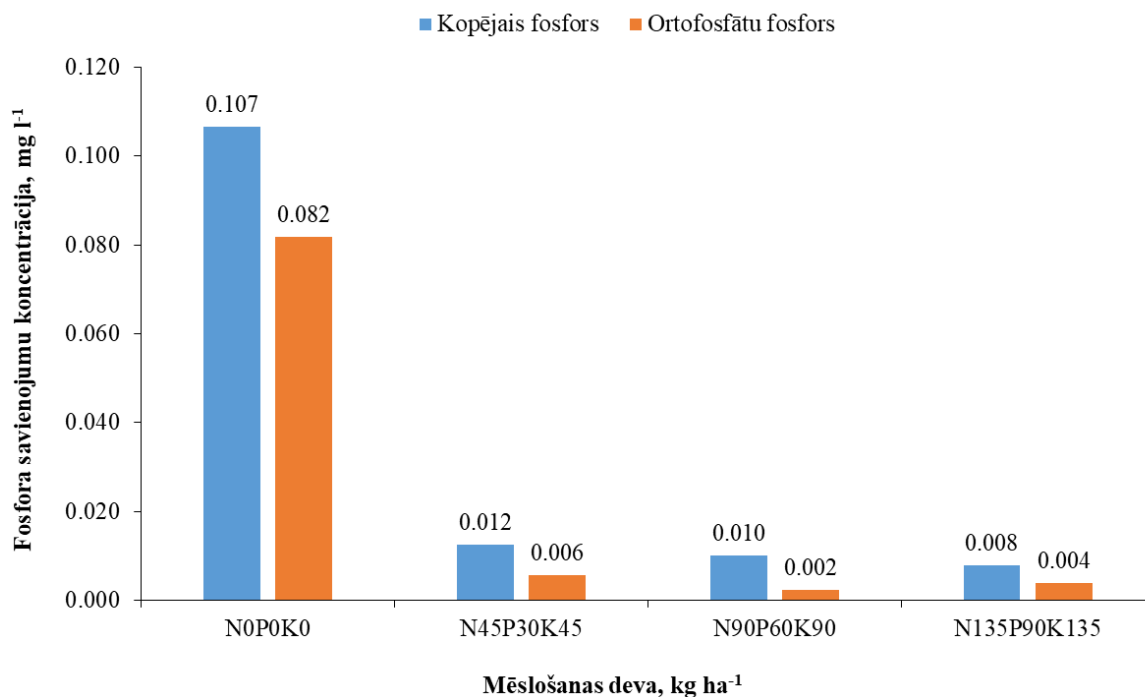
un novadītajos ūdeņos $\text{NO}_3\text{-N}$ ir dominējošā slāpekļa savienojumu forma. Laika posmā no 2022. gada līdz 2024. gadam ievāktajos ūdens paraugos vidējā $\text{NO}_3\text{-N}$ un N_{kop} savstarpējā attiecība visu mēslošanas variantu gadījumā ir 97%. Vienlīdz augstas N_{kop} un $\text{NO}_3\text{-N}$ vidējās koncentrācijas konstatētas no mēslošanas variantu N0P0K0 , N90P60K90 un N135P90K135 lauciņiem novadītajos drenu sistēmu ūdeņos. Paaugstinātas slāpekļa savienojumu koncentrācijas mēslošanas varianta N0P0K0 lauciņu drenu sistēmu ūdeņos varētu būt skaidrojamas ar konkrētajam mēslošanas variantam raksturīgiem vāji attīstītiem kultūraugiem, kas nespēj uzņemt augsnē esošās minerālā slāpekļa formas un tās ir pakļautas izskalošanās riskam ūdenim pārvietojoties gravitācijas spēku ietekmē no augsnes virskārtas līdz drenu izbūves dziļumam. Paaugstinātas slāpekļa savienojumu koncentrācijas ūdeņos, kas tiek novadīti no mēslošanas variantu N90P60K90 un N135P90K135 lauciņiem, liecina par slāpekļa savienojumu pārpalikumu augsnē, kas veidojās izkliedējot minerālo mēslojumu un iepriekšējo kultūraugu atliekām pakāpeniski pārveidojoties no organiskajām uz neorganiskajām formām, kas ir pakļautas izskalošanās riskam. Izteikti zemākās slāpekļa savienojumu koncentrācijas novērotas no mēslošanas varianta N45P30K45 lauciņiem novadītajos ūdeņos.



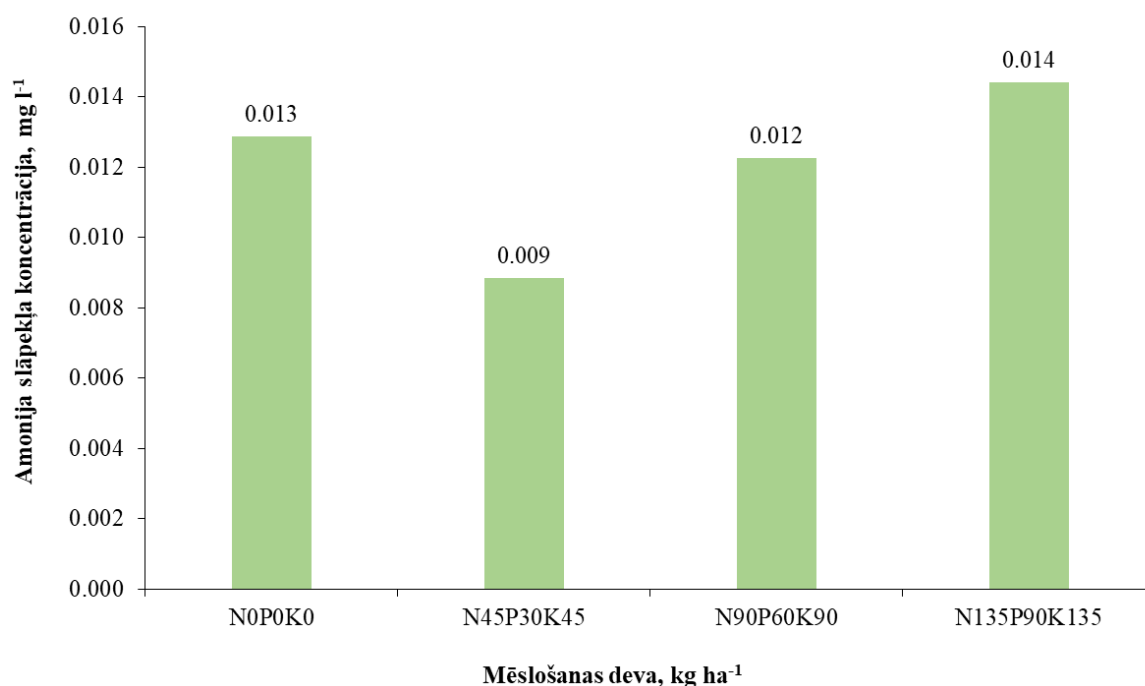
8. attēls. Vidējās kopējā slāpekļa un nitrātu slāpekļa koncentrācijas atkarībā no mēslošanas variantiem.

9. attēlā apkopoti fosfora savienojumu koncentrāciju rezultāti, ka iegūti no mēslošanas variantu lauciņiem ievāktajiem ūdens paraugiem. Atšķirībā no slāpekļa savienojumu piemēra, $\text{PO}_4\text{-P}$ kā ūdenī viegli šķīstoša fosfora savienojumu forma nav uzskatāma par noteicošo kopējā fosfora koncentrāciju vērtību veidošanā. Izteikti augstākas P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ vidējās koncentrācijas

novērotas no nemēslotajiem lauciņiem novadītajos ūdeņos – noteikti jāatzīmē, ka paaugstinātas vidējās vērtības izraisa vienā izmēģinājumu lauciņā (N0P0K0, 2.85 t ha⁻¹ CaCO₃) piecos ievāktajos ūdens paraugos noteiktās augstās fosfora savienojumu koncentrācijas. Pārējos mēslošanas variantos fosfora savienojumu koncentrācijas atšķiras nenozīmīgi un kopumā uzskatāmas par zemām.

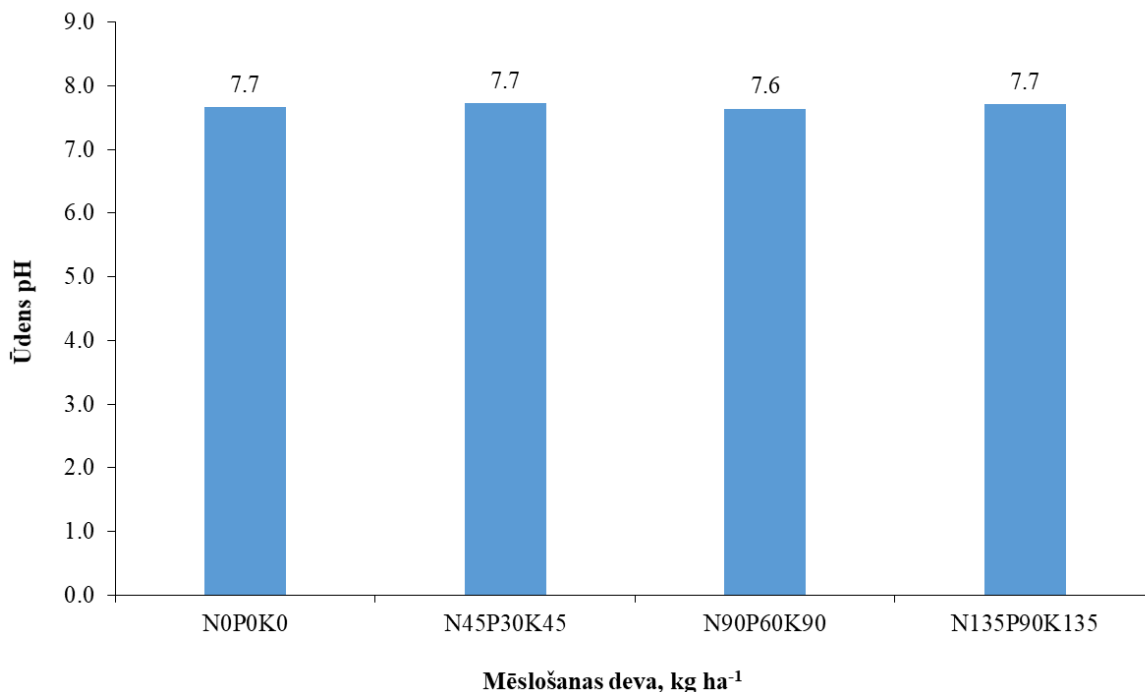


9. attēls. Vidējās kopējā fosfora un ortofosfātu fosfora koncentrācijas atkarībā no mēslošanas variantiem.



10. attēls. Vidējās amonija slāpekļa koncentrācijas atkarībā no mēslošanas variantiem.

10. attēlā apkopotie rezultāti norāda, ka neatkarīgi no izmēģinājumu lauciņos pielietotajām mēslošanas devām pētījuma ietvaros ievāktajos ūdens paraugos novērotas zemas vidējās amonija slāpekļa koncentrācijas, kas nerada bažas par ūdens kvalitātes pasliktināšanos ūdenstecē, kurā tiek novadīti izmēģinājuma lauciņos ierīkoto drenu sistēmu ūdeņi.



11. attēls. Vidējās ūdens pH vērtības atkarībā no mēslošanas variantiem.

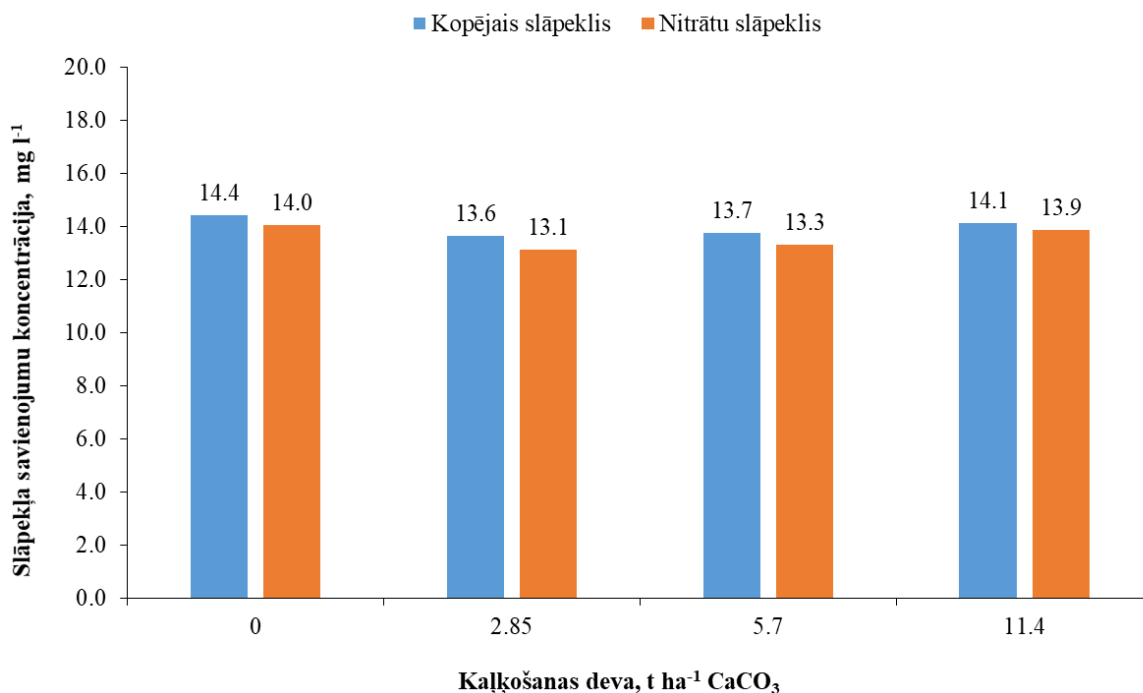
11. attēlā apskatāmas pētījuma periodā no 2022. gada līdz 2024. gadam ievāktajos ūdens paraugos noteiktās vidējās pH vērtības, no kurām iespējams secināt, ka mēslošanas devām nav tieša ietekme uz izmēģinājuma lauciņos ierīkoto drenu sistēmu novadīto ūdeņu pH.

Jāatzīmē, ka drenu notece veidojas, kad augsne ir piesātināta ar ūdeni un gruntsūdens līmenis ir tuvu vai virs drenu izbūves dziļuma. Konkrētajos izmēģinājuma lauciņos notece intensīvi veidojas novembrī, decembrī, janvārī, februārī un martā, aprīlī vai maijā notece pamazām izsīkst, vasaras mēnešos novērotas vien atsevišķas īslaicīgas noteces epizodes.

2.4. Ūdeņu kvalitātes raksturojums atkarībā no kaļķošanas variantiem

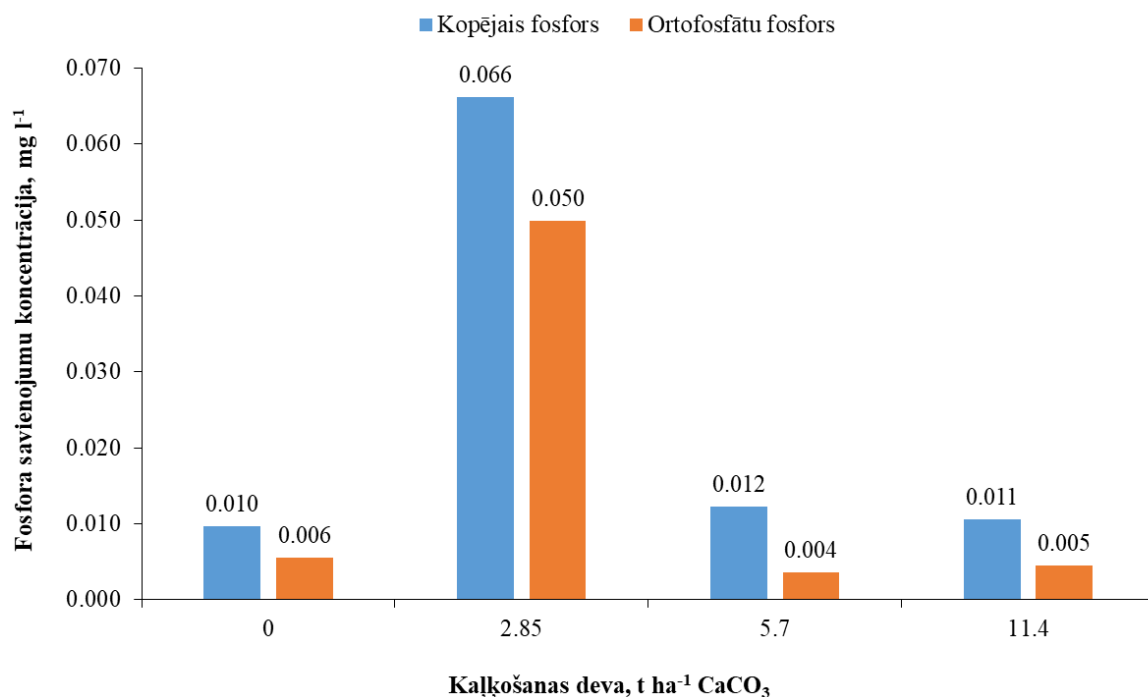
Analogi kā tas tika konstatēts, analizējot slāpekļa savienojumu koncentrācijas atkarībā no izkliedētā minerālā mēslojuma devām, izmēģinājuma lauciņos, kuros tiek izkliedētas dažādas kaļķošanas devas, nitrātu slāpekļi ir izteikti dominējošā slāpekļa savienojumu forma, kas nosaka kopējā slāpekļa koncentrāciju vērtības (12. attēls). Kopējā slāpekļa un nitrātu slāpekļa koncentrācijas ir līdzīgas visu kaļķošanas variantu izmēģinājuma lauciņos ievāktajos ūdens paraugos. Kopumā ūdeņu kvalitātes monitoringa rezultāti, kas iegūti laika posmā no

2022. gada līdz 2024. gadam, nenorāda par nozīmīgām slāpekļa savienojumu koncentrāciju atšķirībām atkarībā no pielietotajām kaļķošanas devām. Jāatzīmē, ka arī kaļķošanas devu ietekmes uz ūdens kvalitāti izpētē netiek ņemtas vērā izkliedētā minerālā mēslojuma devas. Līdz šim kompleksa mēslojuma un kaļķošanas variantu ietekme netika novērtēta, jo pētījuma īstenošanas periods pašlaik ir trīs gadi, kas ir pārāk īss laika posms, lai apkopotu reprezentatīvu datu kopu.



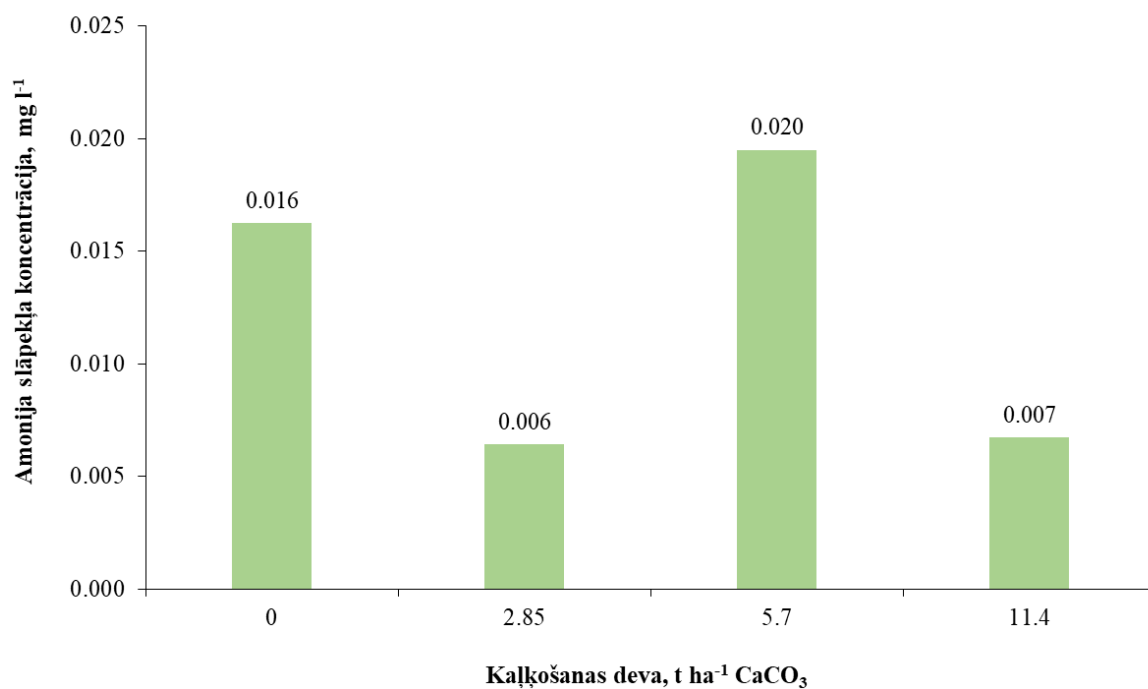
12. attēls. Vidējās kopējā slāpekļa un nitrātu slāpekļa koncentrācijas atkarībā no kaļķošanas variantiem.

Augstākās fosfora savienojumu koncentrācijas novērotas izmēģinājuma lauciņos, kuros izkliedētā kaļķošanas deva ir 2.85 t ha⁻¹ CaCO₃ (13. attēls). Analogi, kā tas tika konstatēts, novērtējot vidējās fosfora savienojumu koncentrācijas atkarībā no mēslošanas variantiem (9. attēls), vienā lauciņā (N0P0K0, 2.85 t ha⁻¹ CaCO₃) novērotās piecas paaugstinātās koncentrācijas nozīmīgi ietekmē konkrētajam kaļķošanas variantam raksturīgo vidējo vērtību. Pārējo kaļķošanas variantu izmēģinājuma lauciņos ievāktajos ūdens paraugos konstatētas līdzīgas vidējās fosfora savienojumu koncentrācijas, kuras kopumā var tikt raksturotas kā izteikti zemas. Trijos pētījuma gados nav novērota izteikta kaļķošanas devu ietekme uz fosfora savienojumu koncentrācijām drenu notecē.



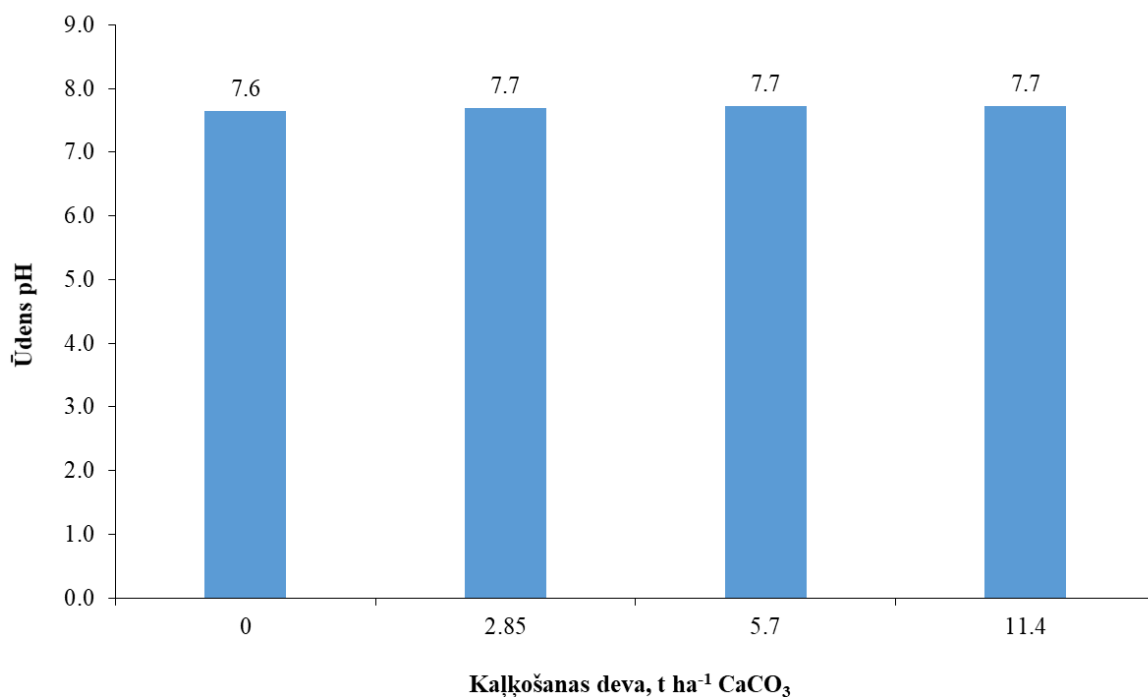
13. attēls. Vidējās kopējā fosfora un ortofosfātu fosfora koncentrācijas atkarībā no kaļķošanas variantiem.

Vidējās amonija slāpekļa koncentrācijas no izmēģinājuma lauciņiem novadītajos ūdeņos atkarībā no kaļķošanas variantiem uzskatāmas par zemām, relatīvi augstākas koncentrācijas novērotas kontroles lauciņos, kuros kaļķošana nav veikta, un 5.7 t ha⁻¹ CaCO₃ devas pielietošanas gadījumā.



14. attēls. Vidējās amonija slāpekļa koncentrācijas atkarībā no kaļķošanas variantiem.

15. attēlā apskatāmas pētījuma periodā no 2022. gada līdz 2024. gadam ievāktajos ūdens paraugos noteiktās vidējās pH vērtības, no kurām iespējams secināt, ka kaļķošanas devām nav tieša ietekme uz izmēģinājuma lauciņos ierīkoto drenu sistēmu novadīto ūdeņu pH.



15. attēls. Vidējās ūdens pH vērtības atkarībā no kaļķošanas variantiem.

Secinājumi

1. Lopbarības pupu graudu ražu būtiski ietekmēja gan augsnes reakcija, gan lietotās mēslojuma normas. Augstākā graudu raža un 1000 graudu masa iegūta variantos, kur gan mēslojuma norma (N135P90K135), gan augsnes reakcija ($\text{pH}_{\text{KCl}} > 6.5$) atbilst ziemas kviešu prasībām.
2. Pieaugot barības vielu nodrošinājumam augsnē (mēslojuma normai), novēroja lielākas atšķirības ražībai dažādos augsnes reakcijas fonos.
3. Proteīna saturs lopbarības pupu graudos augstāks kaļķotajos variantos visos mēslošanas variantos salīdzinot ar nekaļķoto variantu. Šī gada meteoroloģiskajos apstākļos augstāks fosfora saturs graudos konstatēts variantā bez mēslojuma, bet kālija un kalcija saturs pieaug palielinoties mēslojuma normai.
4. Vērtējot laika posmā no 2022. gada līdz 2024. gadam iegūtos ūdeņu kvalitātes monitoringa rezultātus, viennozīmīga izmēģinājuma lauciņos izmantoto mēslošanas un kaļķošanas apstākļu ietekme uz ūdeņu kvalitāti nav konstatēta. Kopumā zemākas vidējās slāpekļa savienojumu koncentrācijas ūdeņos novērotas izmēģinājuma lauciņos, kuros pielietota N45P30K45 mēslošanas deva, vienlīdz zemas vidējās fosfora savienojumu koncentrācijas konstatētas trīs mēslošanas variantu izmēģinājuma lauciņos, t.sk., N45P30K45, N90P60K90 un N135P90K135. Vidējās slāpekļa savienojumu koncentrācijas ūdeņos ir vienlīdz augstas visu kaļķošanas variantu lauciņos ievāktajos ūdens paraugos, paaugstinātas vidējās fosfora savienojumu koncentrācijas novērotas kaļķošanas varianta 2.85 t ha⁻¹ CaCO₃ gadījumā, kuras izraisīja vienā izmēģinājuma lauciņā (N0P0K0, 2.85 t ha⁻¹ CaCO₃) piecos ievāktajos ūdens paraugos noteiktās augstās fosfora savienojumu koncentrācijas.
5. Visu mēslošanas variantu gadījumā, izņemot N45P30K45, kā arī visos kaļķošanas variantos vidējās kopējā slāpekļa un nitrātu slāpekļa koncentrācijas ūdeņos uzskatāmas par augstām un var pasliktināt ūdeņu kvalitāti ūdenstecē, kura uztver no izmēģinājuma lauciņiem novadītos ūdeņus. Konstatētās vidējās nitrātu slāpekļa koncentrācijas pārsniedz Nitrātu direktīvā norādīto robežvērtību 11.3 mg l⁻¹. Fosfora savienojumu un amonija slāpekļa koncentrācijas izmēģinājuma lauciņu drenu notecē uzskatāmas par zemām un negatīvi neietekmē uzņemošās ūdensteces ūdeņu kvalitāti.
6. Pētījuma turpinājumā nepieciešams ūdeņu kvalitātes rādītājus vērtēt detalizētāk, ietverot kompleksu mēslošanas un kaļķošanas variantu savstarpējās ietekmes izpēti, turklāt ņemot vērā augu sekā iekļautos kultūraugus.

Izmantotā literatūra

1. *Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi* (2013). Sast. A. Kārklīšs un A. Ruža. Jelgava: LLU, 55 lpp.