

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte
Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģijas fakultāte
Augsnes un augu zinātņu institūts



Mg. agr. **Madara Misule**

promocijas darbs

**AUGU MAIŅAS PRODUKTIVITĀTE ATKARĪBĀ NO ZIEMAS
KVIEŠU ĪPATSVARA TAJĀ UN AUGSNES
APSTRĀDES SISTĒMAS**

***PRODUCTIVITY OF CROP ROTATION DEPENDING ON
WINTER WHEAT PROPORTION IN IT AND
SOIL TILLAGE SYSTEM***

zinātnes doktora grāda (Ph. D.) iegūšanai
lauksaimniecības, meža un veterinārajās zinātnēs

Promocijas darba vadītāja
Profesore, **Dr.agr. Zinta Gaile**

Promocijas darba autore

_____ Madara Misule

Jelgava
2024

ANOTĀCIJA

Misule M. (2024). *Augu maiņas produktivitāte atkarībā no ziemas kviešu īpatsvara tajā un augsnes apstrādes sistēmas*. Promocijas darbs zinātnes doktora grāda Ph. D. iegūšanai. Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte. Jelgava: LBTU, 125 lpp.

Promocijas darbs izstrādāts laika posmā no 2017. līdz 2024. gadam Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes (iepriekš – Latvijas Lauksaimniecības universitāte) Augsnes un augu zinātņu institūtā. Zinātniskā darba izstrādāšanai lauka izmēģinājumi veikti Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģijas fakultātes (iepriekš – Lauksaimniecības fakultāte) mācību un pētījumu saimniecībā “Pēterlauki”, lauka izmēģinājuma periods: četras ražas sezonas (2016./2017. – 2019./2020. gads); augsnes analīžu dati rezultātu salīdzināšanai izmantoti no 2010. gadā veikta pētījuma rezultātiem, kā arī 2017. gadā un 2022. gadā ievāktiem paraugiem.

Darba hipotēzes

1. Samazinot ziemas kviešu īpatsvaru augu maiņā, uzlabojas ziemas kviešu produktivitāte ($t\ ha^{-1}$), pieaug kopējā augu maiņā akumulētās enerģijas daudzums ($GJ\ ha^{-1}$) un ziemas kviešu ražošana ilgtermiņā ir ekonomiski izdevīgāka ($EUR\ ha^{-1}$).
2. Līdzvērtīgas ziemas kviešu ražas iespējams iegūt, pielietojot gan tradicionālo, gan reducēto augsnes apstrādes sistēmu.

Promocijas darba mērķis

Skaidrot augu maiņas produktivitāti atkarībā no ziemas kviešu īpatsvara tajā un pielietotās augsnes apstrādes sistēmas.

Pētījuma uzdevumi

1. Vērtēt ziemas kviešu augšanu un attīstību atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas.
2. Noteikt ziemas kviešu ražas un tās struktūrelementu veidošanos atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas.
3. Vērtēt ziemas kviešu ražas kvalitāti atkarībā no pētāmajiem faktoriem.
4. Vērtēt pārējo augu maiņās iekļauto kultūraugu produktivitāti divās augsnes apstrādes sistēmās.
5. Noteikt pētāmo faktoru ietekmi uz ziemas kviešu un citu augu maiņā iekļauto kultūraugu enerģijas ražu un kopējo augu maiņas enerģijas ražu.
6. Vērtēt organiskā oglekļa uzkrāšanos augsnē atkarībā no pētāmajiem faktoriem.
7. Aprēķināt un analizēt augu maiņas ekonomisko izdevīgumu atkarībā no kviešu īpatsvara tajā un augsnes apstrādes varianta.

Promocijas darba strukturējums

1. nodaļa – **Literatūras apskats**, kas ietver sešas apakšnodaļas. Apakšnodaļās sniegts darbā pētīto kultūraugu raksturojums un nozīme, raksturota augu maiņas nozīme, analizētas dažādas augsnes apstrādes sistēmas, apskatīta laukaugu biomasas enerģijas raža, raksturota organiskā oglekļa uzkrāšanās augsnē atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes, un apkopoti pētījumu rezultāti par ekonomisko ieguvumu dažādās augu maiņās, pielietojot dažādas augsnes apstrādes sistēmas.
2. nodaļa – **Pētījuma apstākļi un metodika** sastāv no piecām apakšnodaļām, kurās sniegts pētījuma vietas raksturojums, aprakstīti pētāmie varianti, lietotā agrotehnika izmēģinājumā, veiktie novērojumi un analīzes, raksturota meteoroloģiskā situācija izmēģinājuma periodā.

3. nodaļa – **Rezultāti un diskusija** ietver piecās apakšnodaļas, kurās sniegti rezultāti par ziemas kviešu augšanu un attīstību, ražas un kvalitātes veidošanos atkarībā no augu maiņas varianta, kurā tie bija iekļauti, un izmantotās augsnes apstrādes sistēmas. Analizēta pārējo promocijas darbā iekļauto kultūraugu produktivitāte pētījuma periodā, izmantoto augu maiņas variantu (ziemas kviešu bezmaiņas sējumi, ziemas kvieši augu maiņā ar ziemas rapsi, četru dažādu laukaugu augu maiņa) enerģijas raža, skaidrota organiskā oglekļa uzkrāšanās pētītajos kultūraugu audzēšanas variantos, veikts augu maiņas variantu ekonomiskais novērtējums divās dažādās augsnes apstrādes sistēmās.
- Secinājumi** ietver atbildes uz pētījuma uzdevumiem.

Promocijas darba apjoms 109 lpp. (neieskaitot izmantotās literatūras sarakstu un pielikumus). Darbā ietvertas 37 tabulas, 30 attēli, 30 pielikumi un izmantoti 279 literatūras avoti.

Promocijas darba izstrādi un sagatavošanu finansēja vairāki projekti.

- 1) VPP AgroBioRes “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā”, 1. daļa Augsne “Augsnes ilgtspējīga izmantošana un mēslošanas risku mazināšana”.
- 2) LR Zemkopības ministrijas subsīdijas, projekts “Minimālās augsnes apstrādes ietekme uz augsnes auglības saglabāšanu, kaitīgo organismu attīstību un izplatību, ražu un tās kvalitāti bezmaiņas sējumos”.
- 3) Latvijas Lauksaimniecības universitātes pētniecības programma “Zinātnes kapacitātes stiprināšana LLU”. Projekts Nr. Z33 “Augsekas produktivitāte atkarībā no ziemas kviešu īpatsvara tajā un augsnes apstrādes paņēmiena”.
- 4) ESF projekts ES32 No.8.2.2.0/20/I/001 – “LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli”.

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Sociālais
fonds

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

ANNOTATION

Misule M. (2024). *Productivity of crop rotation depending on winter wheat proportion in it and soil tillage system*: research paper to obtain the Doctoral degree Ph.D. in Agriculture, Forestry and Fisheries. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava: LBTU, 125 p.

The doctoral thesis was developed in the period from 2017 to 2024 at the Institute of Soil and Plant Sciences of the Latvian University of Life Sciences and Technologies (former Latvia University of Agriculture until 2022). The field trials were conducted at Latvia University of Life Science and Technologies Faculty of Agriculture and Food Science (former Faculty of Agriculture) Research and Study Farm “Pēterlauki”, field trial period: four harvest seasons (2016/2017 – 2019/2020); soil analysis data collected from the results of research conducted in 2010, and samples for comparison collected in 2017 and 2022.

Hypotheses

1. Reducing the share of winter wheat in crop rotation improves the productivity of winter wheat ($t\ ha^{-1}$), increases the total energy yield of crop rotation ($GJ\ ha^{-1}$), and the production of winter wheat is more profitable in long term ($EUR\ ha^{-1}$).
2. Conventional and reduced soil tillage ensure equivalent winter wheat yields.

The aims of the thesis

To determine the productivity of crop rotation depending on the proportion of winter wheat in it and the applied tillage system.

Research tasks

1. Assess the growth and development of winter wheat depending on crop rotation and soil tillage system.
2. Determine the winter wheat yield and the formation of its components depending on crop rotation and tillage system.
3. Evaluate the quality of the winter wheat yield depending on the studied factors.
4. Assess the productivity of other crops included in crop rotations in two tillage systems.
5. Determine the influence of studied factors on energy yield of winter wheat and other crops included in the crop rotations and the total energy yield of the crop rotation.
6. Evaluate the accumulation of soil organic carbon depending on the investigated factors.
7. Calculate and analyse the economic benefit of crop rotation depending on the proportion of wheat in it and the tillage system.

The structure of the thesis

Chapter 1 – **Literature review**, which includes six subsections. The subsections present the characteristics and importance of the crops studied in the work, describe the importance of crop rotation, analyse different tillage systems, explain the energy productivity of field crop biomass, characterise the accumulation of soil organic carbon depending on crop rotation and soil tillage and summarise the results of research on the economic benefits of different crop rotations, applying different tillage systems.

Chapter 2 – **Research conditions and methodology** consists of five sub-chapters, which describe the study site, the investigated variants, the agrotechnology used in the trial, the observations and analyses, and the meteorological situation during the trial period.

Chapter 3 - **Results and discussion** includes five sub-chapters that present results on winter wheat growth and development, yield and grain quality depending on the used crop rotation and the tillage system. The productivity of the other crops included in the thesis during the research period was analysed. The energy yield of the crop rotation variants used

analysed, the accumulation of soil organic carbon in the studied crop cultivation variants was explained, and economic evaluation of the crop rotation variants in two different tillage systems was performed.

Conclusions include answers to the research tasks.

This Ph.D. Thesis consists of 109 pages (excluding bibliography list and appendices). The work contains 37 tables, 30 images, 30 appendices and used 279 literature sources.

The development and preparation of the thesis was financed by four projects:

- 1) National Research Programme AgroBioRes “Agricultural resources for sustainable production of high quality and healthy food in Latvia”, Part 1 “SOIL, sustainable use of soil and reduction of fertilization risks”;
- 2) Subsidies of the Ministry of Agriculture of the Republic of Latvia, project “Influence of minimal soil tillage on its fertility maintenance, development and distribution of pests as well as crops’ yield and quality in resowings”;
- 3) Research programme of the Latvia University of Life Sciences and Technologies “Strengthening the science capacity of Latvia University of Life Sciences and Technologies”. Project No. Z33 “Productivity of crop rotation depending on winter wheat proportion in it and soil tillage method”;
- 4) European Social Fund project No.8.2.2.0/20/I/001 “LLU Transition to a new funding model of doctoral studies”.

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais
fonds

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

SATURS

ANOTĀCIJA	2
ANNOTATION	3
DARBĀ IEVIETOTO TABULU SARAKSTS	7
DARBĀ IEVIETOTO ATTĒLU SARAKSTS	9
TEKSTĀ LIETOTIE SAĪSINĀJUMI UN ABREVIATŪRAS	10
IEVADS	11
1. LITERATŪRAS APSKATS	15
1.1. Promocijas darbā pētīto kultūraugu raksturojums	15
1.1.1. Ziemas kviešu tautsaimnieciskā nozīme un audzēšana	16
1.1.2. Vasaras miežu tautsaimnieciskā nozīme un audzēšana	18
1.1.3. Ziemas rapša tautsaimnieciskā nozīme un audzēšana	18
1.1.4. Lauka pupu tautsaimnieciskā nozīme un audzēšana	19
1.2. Augu maiņa kā laukaugu produktivitāti veicinošs faktors	20
1.3. Augsnes apstrādes sistēmas un to ietekme uz kultūraugu produktivitāti	23
1.4. Laukaugu biomasas enerģētiskā produktivitāte	29
1.4.1. Kultūraugu ražas enerģētiskās vērtības noteikšana	29
1.4.2. Augu maiņas un augsnes apstrādes ietekme uz enerģijas ražu	31
1.5. Organiskā oglekļa uzkrāšanās augsnē atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas	33
1.6. Kultūraugu dažādošanas augu maiņa un augsnes apstrādes	37
minimalizācijas ekonomiskais izdevīgums	37
1.7. Literatūras apskata kopsavilkums	38
2. PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA	40
2.1. Pētījuma vietas raksturojums	40
2.2. Pētāmo variantu apraksts	41
2.3. Agrotehnika izmēģinājumā	42
2.4. Izmēģinājumā veiktie novērojumi un analīzes	46
2.5. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums	51
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	57
3.1. Ziemas kviešu augšana un attīstība, ražas veidošanās un kvalitāte	57
3.1.1. Ziemas kviešu augšana un attīstība	57
3.1.2. Ziemas kviešu raža	61
3.1.3. Ziemas kviešu ražas struktūrelementu formēšanās	66
3.1.4. Ziemas kviešu graudu kvalitāte	70
3.2. Pārējo pētīto kultūraugu ražas un kvalitātes veidošanās	77
3.2.1. Ziemas rapša produktivitāte 2017.–2020. gadā	77
3.2.2. Vasaras miežu produktivitāte 2017.–2019. gadā	81
3.2.3. Lauka pupu produktivitāte 2018.–2020. gadā	85
3.3. Augu biomasas enerģijas raža atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas	89
3.4. Organiskā oglekļa uzkrāšanās augsnē atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas	96
3.5. Augu maiņu un augsnes apstrādes sistēmu kombināciju ekonomiskais novērtējums	100
SECINĀJUMI	106
PATEICĪBAS	108
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	110
PIELIKUMI	126

DARBĀ IEVIETOTO TABULU SARAKSTS

Nr.	Nosaukums	Lpp.
2.1.	Agroķīmiskie rādītāji izmēģinājuma laukā 2017. gadā 0–20 cm augsnes slānī	40.
2.2.	Ziemas kviešu sadīgušo augu (11. AE) uzskaites laiks 2017., 2018. un 2019. gada rudenī	47.
2.3.	Ar tuvo infrasarkanā staru spektroskopiju noteiktie sēklu kvalitātes rādītāji pētītajiem kultūraugiem	48.
3.1.	Ziemas kviešu laukdīdzība (%) 2017. gada rudenī pirmajā un pēdējā uzskaites reizē	57.
3.2.	Ziemas kviešu laukdīdzība (%) 2018. gada rudenī pirmajā un pēdējā uzskaites reizē	58.
3.3.	Ziemas kviešu laukdīdzība (%) 2019. gada rudenī pirmajā un pēdējā uzskaites reizē	59.
3.4.	Ziemas kviešu vidējā raža ($t\ ha^{-1}$) 2017.–2020. gadā atkarībā no augsnes apstrādes un augu maiņas varianta	61.
3.5.	Ziemas kviešu graudu raža ($t\ ha^{-1}$) 2017.–2020. g. pēc dažādiem priekšaugiem tradicionālajā un reducētajā augsnes apstrādes sistēmā	63.
3.6.	Ziemas kviešu salmu raža ($t\ ha^{-1}$) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta 2017.–2020. gadā	64.
3.7.	Ziemas kviešu produktīvo stiebru ($gab.\ m^{-2}$) skaits atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā	67.
3.8.	Ziemas kviešu graudu skaits vārpā atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā	68.
3.9.	Ziemas kviešu 1000 graudu masa (g) atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā	69.
3.10.	Ziemas kviešu vidējie graudu kvalitātes rādītāji atkarībā no pētītajiem faktoriem	71.
3.11.	Proteīna saturs (%) ziemas kviešu graudos atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā	72.
3.12.	Zeleny indeksa vērtības ziemas kviešu graudiem atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā	74.
3.13.	Ziemas kviešu graudu tilpummasa ($kg\ hL^{-1}$) atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā	74.
3.14.	Ziemas kviešu graudu kvalitātes atbilstība LPKS “Latraps” graudu iepirkšanas kvalitātes prasībām 2022. gadā	77.
3.15.	Ziemas rapša raža ($t\ ha^{-1}$) 2017.–2020. gadā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta	78.
3.16.	Ziemas rapša augu skaits ($gab.\ m^{-2}$) 2017.–2020. gadā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta	79.
3.17.	Ziemas rapša 1000 sēklu masa (g) 2017.–2020. gadā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas	80.
3.18.	Ziemas rapša tilpummasa ($g\ L^{-1}$) 2017.–2020. gadā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta	80.
3.19.	Eļļas saturs ziemas rapša sēklās (%) 2017.–2020. gadā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta	81.
3.20.	Vasaras miežu ražas indekss 2017.–2019. gadā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas	82.
3.21.	Vasaras miežu ražas struktūrelementi atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas izmēģinājuma gados	84.

Nr.	Nosaukums	Lpp.
3.22.	Vasaras miežu graudu kvalitātes rādītāji atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas izmēģinājuma gados	85.
3.23.	Lauka pupu ražas indekss tradicionālajā un reducētajā augsnes apstrādes sistēmā 2018.–2020. gadā	87.
3.24.	Lauka pupu ražas struktūrelementi 2018.–2020. gadā tradicionālajā un reducētajā augsnes apstrādes sistēmā	88.
3.25.	Lauka pupu sēkļu proteīna saturs (%) un tilpummasa (kg hL^{-1}) 2018.–2020. gadā tradicionālajā un reducētajā augsnes apstrādes sistēmā	89.
3.26.	Kultūraugu pamatprodukcijas un blakusprodukcijas enerģētiskās vērtības (MJ kg^{-1}) 2017.–2020. gadā	90.
3.27.	Ziemas kviešu graudu enerģētiskā ietilpība (MJ kg^{-1}) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta izmēģinājuma periodā	91.
3.28.	Ziemas kviešu salmu enerģētiskā ietilpība (MJ kg^{-1}) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas izmēģinājuma periodā	91.
3.29.	Iegūtā enerģijas raža (GJ ha^{-1}) 2017.–2020. gadā atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes varianta	92.
3.30.	Ziemas kviešu enerģijas raža (GJ ha^{-1}) no virszemes biomasas atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā	94.
3.31.	Organiskā oglekļa saturs (%) augsnē 0–20 cm dziļumā atkarībā no augsnes apstrādes un augu maiņas varianta 2017. un 2022. gadā un salīdzinājumā ar 2010. gadu	96.
3.32.	Organiskā oglekļa saturs (%) augsnē 20–40 cm dziļumā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas 2017. un 2022. gadā un salīdzinājumā ar 2010. gadu	98.
3.33.	Organiskā oglekļa saturs (%) augsnē 40–60 cm dziļumā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas 2017. un 2022. gadā un salīdzinājumā ar 2010. gadu	99.
3.34.	Izmēģinājumā iegūto kultūraugu ražu vidējās iepirkuma cenas, EUR t^{-1} , 2017.–2020. gadā	101.

DARBĀ IEVIETOTO ATTĒLU SARAKSTS

Nr.	Nosaukums	Lpp.
1.1.	Lauksaimniecības kultūraugu sējumu struktūra Latvijā 2022. gadā	15.
2.1.	Vidējās gaisa temperatūras 2016./2017.–2019./2020. gada sezonās izmēģinājuma vietā “Poķi”, salīdzinājumā ar ilggadīgajiem novērojumiem Jelgavas HMS	52.
2.2.	Nokrišņu daudzums 2016./2017.–2019./2020. gada veģetācijas periodos izmēģinājuma vietā “Poķi”, salīdzinājumā ar ilggadīgajiem novērojumiem Jelgavas HMS	53.
2.3.	Hidrotermiskā koeficienta izmaiņas ziemas kviešiem periodā no veģetācijas atjaunošanās līdz novākšanas gatavībai 2017.–2020. gadā	54.
2.4.	Hidrotermiskā koeficienta izmaiņas ziemas rapsim periodā no veģetācijas atjaunošanās līdz novākšanas gatavībai 2017.–2019. gadā	55.
2.5.	Hidrotermiskā koeficienta izmaiņas vasaras miežiem veģetācijas periodā no sējas līdz novākšanas gatavībai 2018.–2019. gadā	55.
2.6.	Hidrotermiskā koeficienta izmaiņas lauka pupām periodā no sējas līdz novākšanas gatavībai 2018.–2020. gadā	56.
3.1.	Ziemas kviešu dīgšanas dinamika no dīgstu parādīšanās piecās uzskaites reizēs ik pēc divām dienām un pēdējā uzskaites reizē	60.
3.2.	Ziemas kviešu graudu raža ($t\ ha^{-1}$) atkarībā no priekšauga	62.
3.3.	Ziemas kviešu salmu raža ($t\ ha^{-1}$) atkarībā no priekšauga	64.
3.4.	Ziemas kviešu ražas indekss atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas 2017.–2020. gadā	65.
3.5.	Ziemas kviešu salmu ražas un ražas indeksa savstarpējā sakarība ($p<0.001$)	65.
3.6.	Ziemas kviešu produktīvo stiebru skaita ($gab. m^{-2}$) sakarība ar graudu skaitu vārpā ($gab.$) ($p<0.001$)	68.
3.7.	Ziemas kviešu veldres noturības un 1000 graudu masas savstarpējās sakarības 2020. gadā ($p=0.0002$)	70
3.8.	Ziemas kviešu 1000 graudu masas (g) un proteīna satura (%) graudos sakarība 2020. gadā ($p<0.001$)	73.
3.9.	Ziemas kviešu 1000 graudu masas un tilpummasas savstarpējās sakarības	75.
3.10.	Vasaras miežu raža ($t\ ha^{-1}$) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas izmēģinājuma periodā no 2017. līdz 2019. gadam	81.
3.11.	Vasaras miežu graudu ražas un ražas indeksa savstarpējās sakarības ($p=0.005$)	83.
3.12.	Lauka pupu raža ($t\ ha^{-1}$) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas 2018.–2020. gadā	86.
3.13.	Augu maiņas iekļauto kultūraugu vidējā enerģijas raža ($GJ\ ha^{-1}$) no graudiem / sēklām un pēcplaujas atliekām pētījuma gados, kuros kultūraugi audzēti	92.
3.14.	Vidējā gadā iegūtā enerģijas raža ($GJ\ ha^{-1}$) atkarībā no augu maiņas iekļauto kultūraugu kombinācijām 2017. līdz 2020. gadā un augsnes apstrādes varianta	93.
3.15.	Iegūtā enerģijas raža ($GJ\ ha^{-1}$) no izmēģinājumā iekļautajām kultūraugu kombinācijām augu maiņā atkarībā no ziemas kviešu īpatsvara četrus gadu pētījumu periodā	94.

Nr.	Nosaukums	Lpp.
3.16.	Iegūtā vidējā enerģijas raža ($GJ\ ha^{-1}$) gadā no augu maiņā iekļautā kultūrauga un enerģijas ražas proporcija (%) atbilstoši iekļautajiem kultūraugiem augu maiņā un to īpatsvaram augu maiņas pilnā garumā	95.
3.17.	Augsnes organiskā oglekļa saturs (%) 2010., 2017. un 2022. gadā tradicionālā (TA) un reducētā (RA) augsnes apstrādes sistēmā dažādos augsnes dziļumos	97.
3.18.	Augsnes organiskā oglekļa krājumi ($t\ ha^{-1}$) 0-20 cm dziļumā atkarībā no pētītajiem faktoriem	98.
3.19.	Vidējie ieņēmumi gadā ($EUR\ ha^{-1}$), realizējot izmēģinājumā audzēto kultūraugu pamatprodukciju laikā no 2017. līdz 2020. gadam	101.
3.20.	Vidējās ražošanas mainīgās izmaksas gadā ($EUR\ ha^{-1}$) izmēģinājumā audzētajiem kultūraugiem laikā periodā no 2017.–2020. gadam	102.
3.21.	Izdevumu grupu īpatsvars (%) kopējās ražošanas mainīgajās izmaksās ziemas kviešiem, ziemas rapsim, vasaras miežiem, lauka pupām	103.
3.22.	Augu maiņu un augsnes apstrādes variantu iespējamais bruto segums ($EUR\ ha^{-1}$) četru gadu periodā (2017.–2020. g.)	104.
3.23.	Augu maiņu un augsnes apstrādes sistēmu ekonomiskais izdevīgums vidēji gadā, $EUR\ ha^{-1}$	105.

TEKSTĀ LIETOTIE SAĪSINĀJUMI UN ABREVIATŪRAS

AE	attīstības etaps
ASV	Amerikas Savienotās valstis
BBCH	kultūraugu augšanas un attīstības decimālā skala
C_{org}	organiskais ogleklis
HMS	hidrometeoroloģiskā stacija
HTK	hidrotermiskais koeficients
LPKS	Lauksaimniecības pakalpojumu kooperatīvā sabiedrība
K	ziemas kvieši
LR	Latvijas Republika
M	vasaras mieži
P	lauka pupas
R	ziemas rapsis
RA	reducētā augsnes apstrāde
RI	ražas indekss
TA	tradicionālā augsnes apstrāde ar velēnas apvēršanu

IEVADS

Pieaugošais pasaules iedzīvotāju skaits ir izaicinājums pārtikas un enerģijas ražošanas nozarēm, kā arī citu pamatvajadzību nodrošināšanai. Zemes, augsnes un ūdens resursi ir ierobežoti un pakļauti klimata izmaiņām, kamēr lauksaimniekiem ar pieejamajiem resursiem ir jāiegūst lielāka kultūraugu produktivitāte (Cacho et al., 2018). Kultūraugu audzēšanas galvenais mērķis ir pārtikas un lopbarības ražošana, un, lai novērtētu ilgtspējīgas ražošanas iespējas minētajiem mērķiem, ir jāvērtē to audzēšana ilgākā periodā. Nepietiekama ir konkrētu kultūraugu audzēšanas īslaicīgu ieguvumu un ieguldījumu aprēķināšana un izvērtēšana, ir jāvērtē pilna audzēšanas sistēma vairāk nekā vienas sezonas garumā (Costa et al., 2021).

Promocijas darba aktualitāte: kultūraugu produktivitāti un audzēšanas rentabilitāti var ietekmēt vienkāršas agronomiskas prakses – augu maiņa un augsnes apstrādes sistēma, kuras lielākoties tiek aizstātas ar sintētisko mēslošanas līdzekļu un augu aizsardzības līdzekļu lietošanu. Latvijā pēdējie pētījumi, kuros salīdzināta dažādu augu maiņu produktivitāte, ietverot arī augsnes apstrādes sistēmas, veikti 20. gadsimtā beigās (Lejiņš, Lejiņa, 2002; Kroģere et al., 2005). Divdesmit pirmajā gadsimtā Latvijā ir mainījusies plaši audzēto laukaugu struktūra, pasaulē mainījušās laukaugu audzēšanas tendences un tehnoloģijas, tāpēc, ņemot vērā arī globālās klimata izmaiņas, nepieciešams pētīt šo agronomisko praksi ietekmi uz kultūraugu produktivitāti gan sugas ietvaros, gan vērtējot dažādas sugas, kas ietvertas augu maiņā. Tā kā augu maiņā tiek ietvertas dažādas sugas, tad iegūtās sēkļu ražas masas salīdzinājums ($t\ ha^{-1}$) nav pietiekami objektīvs. Ieguvumu salīdzināšanai var izmantot laukaugu biomasas enerģijas ražu ($GJ\ ha^{-1}$) vai bruto segumu ($EUR\ ha^{-1}$). Svarīgi pētīt arī augsnes apstrādes un augu maiņas ietekmi uz augsnes organiskā oglekļa krājumu palielināšanas iespējām Latvijas apstākļos, lai risinātu pasaules mēroga problēmu – globālās klimata izmaiņas, palielinoties siltumnīcefekta gāzu emisijas. Oglekļa satura (%) izmaiņas augsnē novērojamas ilgtermiņā, tāpēc nozīmīgi oglekļa krājumus ($t\ ha^{-1}$) augsnē salīdzināt ilggadīgā augu maiņu un augsnes apstrādes sistēmu izmēģinājumā.

Darba hipotēzes

1. Samazinot ziemas kviešu īpatsvaru augu maiņā, uzlabojas ziemas kviešu produktivitāte ($t\ ha^{-1}$), pieaug kopējā augu maiņas enerģētiskā produktivitāte ($GJ\ ha^{-1}$) un ziemas kviešu ražošana ilgtermiņā ir ekonomiski izdevīgāka ($EUR\ ha^{-1}$).
2. Līdzvērtīgas ziemas kviešu ražas iespējams iegūt, pielietojot gan tradicionālo, gan reducēto augsnes apstrādes sistēmu.

Promocijas darba mērķis

Skaidrot augu maiņas produktivitāti atkarībā no ziemas kviešu īpatsvara tajā un pielietotās augsnes apstrādes sistēmas.

Pētījuma uzdevumi

1. Vērtēt ziemas kviešu augšanu un attīstību atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas.
2. Noteikt ziemas kviešu ražas un tās struktūrelementu veidošanos atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas.
3. Vērtēt ziemas kviešu ražas kvalitāti atkarībā no pētāmajiem faktoriem.
4. Vērtēt pārējo augu maiņas iekļauto kultūraugu produktivitāti divās augsnes apstrādes sistēmās.
5. Noteikt pētāmo faktoru ietekmi uz ziemas kviešu un citu augu maiņā iekļauto kultūraugu enerģijas ražu un kopējo augu maiņas enerģijas ražu.
6. Vērtēt organiskā oglekļa uzkrāšanos augsnē atkarībā no pētāmajiem faktoriem.
7. Aprēķināt un analizēt augu maiņas ekonomisko izdevīgumu atkarībā no kviešu īpatsvara tajā un augsnes apstrādes varianta.

Darba novitāte: Latvijā līdz šim nav veikts komplekss pētījums, kurā tiktu vērtēti vairāki augu maiņas varianti un divas augsnes apstrādes sistēmas stacionārā, vairāku gadu (8–10) garumā ilgušā izmēģinājumā, lai skaidrotu ieguvumus (ražība, enerģijas raža, ekonomiskais izdevīgums, oglekļa uzkrāšanās augsnē) no kultūraugu dažādošanas augu maiņas, salīdzinot ar kviešu bezmaiņas sējumiem. Pētījums sniedz iespēju secināt, cik produktīvi ir ilgstoši sēt ziemas kviešus bezmaiņas sējumos tieši Latvijas apstākļos, kā arī novērtēt dažādu augsnes apstrādes sistēmu ietekmi uz to produktivitātes rādītājiem. Tieši Latvijas apstākļos trūkst pētījumu par augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas ietekmi uz oglekļa uzkrāšanos augsnē ilggadīgā pētījumā.

Aizstāvāmās tēzes

1. Ziemas kviešu ražas pieaug, dažādojot augu maiņu; tradicionālās un reducētās augsnes apstrādes sistēmās kviešu attīstība notiek un ražas struktūrelementi veidojas līdzvērtīgi, kā arī abās sistēmās iespējams iegūt līdzvērtīgas ražas.
2. Abas pētītās augsnes apstrādes sistēmas (tradicionālā un reducētā) lielākoties nodrošina savstarpēji līdzvērtīgu sēklu ražu sugas ietvaros ziemas rapsim, vasaras miežiem un lauka pupām.
3. Augu maiņas dažādošana var nodrošināt augstāku tās enerģijas ražu, bet augu maiņā iekļauto laukaugu ietekme uz augu maiņas kopējo enerģijas ražu ir atkarīga no meteoroloģiskajiem apstākļiem vērtēšanas periodā.
4. Ilgtermiņā, atstājot pēcplaujas atliekas uz lauka, iespējams paaugstināt augsnes organiskā oglekļa saturu neatkarīgi no pētītajiem augsnes apstrādes vai augu maiņas variantiem.
5. Augsnes apstrādes dziļuma samazinājums smaga putekļaina māla augsnē ir finansiāli maznozīmīgs, tomēr augu dažādošana augu maiņā var nodrošināt lielāku bruto segumu.

Promocijas darba izstrādes līdzfinansējums saņemts četru projektu ietvaros.

1. VPP AgroBioRes “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā”, 1. daļa Augsne “Augsnes ilgtspējīga izmantošana un mēslošanas risku mazināšana”.
2. LR Zemkopības ministrijas subsīdijas, projekts “Minimālās augsnes apstrādes ietekme uz augsnes auglības saglabāšanu, kaitīgo organismu attīstību un izplatību, ražu un tās kvalitāti bezmaiņas sējumos (S392)”.
3. Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes pētniecības programma “Zinātnes kapacitātes stiprināšana LBTU”
4. ESF projekts ES32 Nr. No.8.2.2.0/20/I/001 – “LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli”.

Promocijas darba aprobācija¹

Zinātniskie raksti, kuri indeksēti Scopus un / vai Web of Science datu bāzēs

1. Darguza M., Gaile Z. (2023). Productivity of crop rotation depending on included plants and soil tillage. *Agriculture*. 13, Article No. 1751. DOI:103390/Agriculture13091751.
2. Darguza M., Gaile Z. (2020). The Effect of Crop Rotation and Soil Tillage on Winter Wheat Yield. *In: “Research for Rural Development 2020”, Annual 26th International Scientific Conference Proceedings (13–15 May, 2020), Vol. 35. Jelgava: LLU, p. 14–21. DOI: 10.22616/rrd.26.2020.002.*
3. Darguza M., Gaile Z. (2019). Yield and Quality of Winter Wheat, Depending on Crop Rotation and Soil Tillage. *In: “Research for Rural Development 2019”, Annual 25th International Scientific Conference Proceedings (15–17 May, 2019). Jelgava: LLU, Vol. 2, p. 29–35. DOI: 10.22616/rrd.25.2019.045.*

¹ Darba izstrādes gaitā mainīts disertācijas autores uzvārds no Darguža uz Misule

4. Darguža M., Gaile Z. (2018). Productivity of crop rotation measured as energy produced by included plants: a review. *In: "Research for Rural Development 2018" Annual 24th International Scientific Conference Proceedings* (16–18 May, 2018). Jelgava: LLU, Vol. 2, p. 20–27. DOI: 10.22616/rrd.24.2018.046.

Publikācijas citos semināru un konferenču rakstu un tēžu krājumos

1. Darguža M., Gaile Z. (2023). Productivity of crop rotation applying different tillage practices. *In: "Agriculture and Horticulture 2023" book of abstract 3rd Global conference*, Valencia, Spain, 11-13 September, 2023. MagnusGroup, p. 54 – 55.
2. Darguža M., Gaile Z. (2021). Ziemas kviešu graudu ražas un kvalitātes veidošanās 2020. gadā. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība 2021: zinātniski praktiskās konferences tēzes*, Jelgava, Latvija, 25.–26.febr., 2021. LLU LF, LAB, LLMZA: Jelgava, 26. lpp.
3. Virčava I., Dorbe A., Darguža M., Erdberga I., Bankina B. (2021). Augsnes apstrādes veida un augu maiņas ilgtermiņa ietekme uz augsnes agrofizikālajām īpašībām. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība 2021: zinātniski praktiskās konferences tēzes*, Jelgava, Latvija, 25.– 26. febr., 2021. LLU LF, LAB, LLMZA: Jelgava, 26. lpp.
4. Darguža M., Gaile Z. (2020). Ziemas kviešu ražība dažādās augu maiņās un augsnes apstrādes sistēmās. *No: zinātniskā semināra rakstu krājuma "Ražas svētki "Vecauce – 2020": Pētniecība COVID–19 ēnā"*, Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. SIA "LLU mācību un pētījumu saimniecība "Vecauce"" Vecauce, LLU, 2020. 20.–24. lpp.
5. Darguža M., Gaile Z. (2020). Comparison of Energy Output Produced in Different Crop Rotations. *In: Book of abstracts of XVI European Society of Agronomy Congress "Smart Agriculture for Great Human Challenges"* 1–3 September, 2020, Sevilla, Spain, European Society for Agronomy, p. 132.
6. Darguža M., Gaile Z. (2019). Crop Rotation and Soil Tillage Influence on Winter Wheat Yield Formation. *In: The international conference of young scientists abstracts: "Young scientists for advance of agriculture"*, Vilnius, Lithuania, Nov. 15, 2019. Vilnius: Division of agricultural and forestry sciences of the Lithuanian Academy of Sciences., p. 17.
7. Darguža M., Gaile Z. (2019). Energy Gain from Crop Rotation Depending on Included Crops. *In: Book of Abstracts of conference: European Conference on Crop Diversification*, 18–21 September 2019, Hungary, Budapest, p. 140–141.
8. Darguža M., Gaile Z., Ruza A. (2018). The yield and quality of winter wheat, depending on crop rotation and soil tillage. *In: The international conference of young scientists abstracts: "Young scientists for advance of agriculture"*, Vilnius, Lithuania, Nov. 15, 2018. Vilnius: Division of agricultural and forestry sciences of the Lithuanian Academy of Sciences, p. 15.
9. Darguža M., Gaile Z. (2018). Wheat yield and energy produced by it. *In: 26th NJF congress programme and summaries of presentation: "Agriculture for the next 100 years"*, Kaunas, Lithuania, 27–29 of June, 2018. Kaunas: Aleksandras Stulginskis University, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Lithuanian Academy of Sciences, 2018, p. 96.

Mutiskie referāti konferencēs

1. Darguža M., Gaile Z. (2020). The Effect of Crop Rotation and Soil Tillage on Winter Wheat Yield. International scientific conference "Research for Rural Development 2020", Latvia, Jelgava, LLU, 13–15 May, 2019. Jelgava, online congress.
2. Darguža M., Gaile Z. (2019). Crop Rotation and Soil Tillage Influence on Winter Wheat Yield Formation. The international conference of young scientists: Young scientists for advance of agriculture, Lithuania, Vilnius, Division of agricultural and forestry sciences of the Lithuanian Academy of Sciences. Nov. 14, 2019.

3. Darguža M., Gaile Z. (2019). The yield and quality of winter wheat, depending on crop rotation and soil tillage. International scientific conference “Research for Rural Development 2019”, Latvia, Jelgava, LLU, 15–17 May, 2019. Jelgava
4. Darguža M., Gaile Z., Ruza A. (2018). The yield and quality of winter wheat, depending on crop rotation and soil tillage. The international conference of young scientists: Young scientists for advance of agriculture, Lithuania, Vilnius, Division of agricultural and forestry sciences of the Lithuanian Academy of Sciences. 15 November, 2018.
5. Darguža M., Gaile Z. (2018). Productivity of crop rotation measured as energy produced by included plants: a review. International scientific conference: Research for Rural Development 2018”, Latvia, Jelgava, LLU, 16–18 May, 2018. Jelgava.

Stenda referāti konferencēs

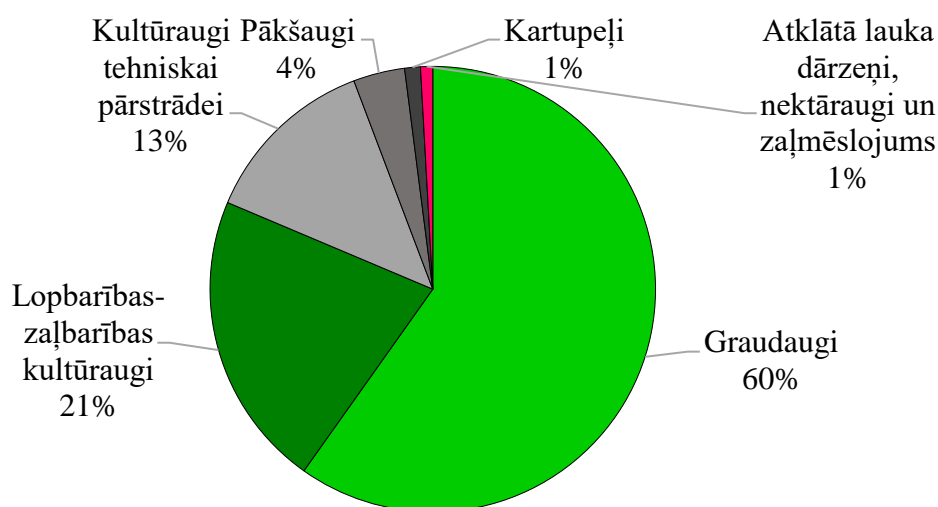
1. Darguža M., Gaile Z. (2023). Productivity of crop rotation applying different tillage practices. 3rd Edition on Global Conference on Agriculture and Horticulture 2023 (11.09.23.–13.09.2023.), Valencia, Spain.
2. Darguža M., Gaile Z. (2021). Ziemas kviešu graudu ražas un kvalitātes veidošanās 2020. gadā. Zinātniski praktiskā konference “Līdzsvarota lauksaimniecība 2021” (25.02.21.–26.02.2021), Jelgava: LLU, tiešsaistes konference.
3. Darguža M., Gaile Z. (2020). Ziemas kviešu ražība dažādās augu maiņās un augsnes apstrādes sistēmās. Ražas svētki “Vecauce – 2020”: Pētniecība COVID–19 ēnā, 5. novembris, 2020, Jelgava, Latvija, tiešsaistes seminārs.
4. Darguža M., Gaile Z. (2020). Comparison of Energy Output Produced in Different Crop Rotations. XVI European Society of Agronomy Congress “Smart Agriculture for Great Human Challenges” 1–3 September, 2020, Sevilla, Spain, online congress.
5. Darguža M., Gaile Z. (2019). Energy Gain from Crop Rotation Depending on Included Crops. European Conference on Crop Diversification, 18–21th September 2019, Hungary, Budapest.
6. Darguža M., Gaile Z. (2018). Wheat yield and energy produced by it. 26th NJF congress: Agriculture for the next 100 years, Lithuania Kaunas, Aleksandras Stulginskis University, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Lithuanian Academy of Sciences, 27–29 of June, 2018.

1. LITERATŪRAS APSKATS

Pasaulē pieaugošais iedzīvotāju skaits rada izaicinājumu pārtikas un enerģijas ražošanai iedzīvotāju pamatvajadzību nodrošināšanai. Zemes, augsnes un ūdens resursi ir limitēti un pakļauti klimata izmaiņām. Lauksaimniecības sistēmas virzās uz augstāku produktivitāti (Cacho et al., 2018), tomēr tas ir jādara, neaizmirstot par ilgtspējīgas lauksaimniecības principiem, kuru pamatā jābūt pārdomātai zemes resursu apsaimniekošanai un ķīmiski sintezēto preparātu pielietojumam, lai mazinātu lauksaimniecības ietekmi uz vidi. Augkopība šobrīd atrodas krustpunktā, kad jāatrod veidi, kā ražošanu padarīt efektīvāku, samazinot ieguldījumus agrotehnikā, bet nesamazinot ražotās produkcijas apjomu (Squatrino et al., 2020).

1.1. Promocijas darbā pētīto kultūraugu raksturojums

Lielāko daļu pasaules lauksaimniecībā izmantojamās zemes aizņem vien nedaudzas komerciāli nozīmīgas laukaugu sugas. Līdzīga situācija ir arī Latvijā, kur vairāk nekā pusi no lauksaimniecības kultūraugu sējumu platībām pēc 2022. gada LR Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datu bāzēs atrodamās informācijas (skat. 1.1. att.) aizņem graudaugu (*Poaceae*) sējumi (60%). No graudaugiem plašāk audzētās sugas ir kvieši (*Triticum*), auzas (*Avena sativa*) un mieži (*Hordeum vulgare*). Piekto daļu no lauksaimniecības kultūraugu platībām Latvijā aizņem lopbarībai un zaļbarībai paredzēto kultūraugu sējumi, no kuriem 91% aizņēma ilggadīgie zālāji¹.



1.1. att. Lauksaimniecības kultūraugu sējumu struktūra Latvijā 2022. gadā²

Trešā lielākā kultūraugu grupa pēc CSP datiem ir kultūraugi tehniskai pārstrādei, tie, kuru audzēšanas galaprodukts ir, piemēram, eļļa, šķiedra, ārstniecībā izmantojamās auga daļas. No apsētajām platībām ar šīs grupas augiem 2022. gadā 95% aizņēma eļļas rapsis (*Brassica napus* ssp. *oleifera*). Pākšaugu grupa 2022. gadā veidoja tikai 4% no apsētajām platībām, tie ir tauriņziežu dzimtas (*Leguminosae*) augi, kurus audzē, galvenokārt, sēklu ieguvei. Lielāko īpatsvaru (98%) pākšaugu grupā aizņem sējas zirņi (*Pisum sativum*) un lauka pupas (*Vicia faba*). Tie ir labi priekšaugi citiem kultūraugiem, jo no augu atliekām augsnē akumulējas arī ar

² Lauksaimniecības kultūraugu sējumu platība. *Latvijas oficiālās statistikas portāls*. [Tiešsaiste] [skatīts 25.02.2023]. Pieejams: https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START__NOZ__LA__LAG/LAG020/?loadedQueryId=261&timeType=from&timeValue=2000.

gumiņbaktēriju palīdzību saistītais slāpekļis (Köpke, Nemecek, 2010). Kviešu lielais īpatsvars kultūraugu sējumu struktūrā liecina par to augsto ekonomisko nozīmi produkcijas ražošanā.

Eiropas Savienībā kultūraugu sējumu struktūra pēc 2021. gada datiem bija līdzīga kā Latvijā, lielāko tās daļu aizņēma graudaugi – 63% (no tiem 46% kvieši, 20% mieži, 18% kukurūza (*Zea mays*)), zaļmasas augi – 17%, eļļas augi – 12% (no tiem nozīmīgo daļu aizņēma rapsis un saulespuķes (*Helianthus annuus*)); pākšaugi – 4%, no tiem nozīmīgākās bija sojas (*Glycine max*) sējplatības, un tai seko zirņi³.

Turpmākajās apakšnodalās aprakstītas Latvijas augkopības struktūrā lielākās platības aizņemošās sugas: kvieši, rapsis, mieži un lauka pupas, kuras bieži tiek iekļautas augkopības produkciju ražojošās augseklās vai augu maiņās un kuras ir pētītas promocijas darbā.

1.1.1. Ziemas kviešu tautsaimnieciskā nozīme un audzēšana

Kviešus audzē plaši, jo tiem ir spēja pielāgoties dažādām audzēšanas tehnoloģijām un mainīgiem agroekoloģiskajiem apstākļiem (Pena, 2007). Pēc apsētajām platībām kvieši ierindojas pirmajā vietā pasaulē, aiz sevis atstājot tādas sugas kā kukurūzu sēklu ieguvei, rīsus (*Oryza*) un soju, bet pēc saražotās produkcijas daudzuma ik gadu kviešu graudi ierindojās trešajā vai ceturtajā vietā aiz cukurniedrēm, kukurūzas sēklām, un dalot trešo vietu ar rīsiem⁴. Latvijā plašāk sēj mīksto kviešu ziemāju formu. Kvieši no citiem kultūraugiem atšķiras ar to graudos esošo proteīna sastāvu, kas nodrošina maizes cepamīpašības (Pena, 2007; Chaudhary, Dangi, Khatkar, 2016). Daudzveidīgais kviešu graudu pielietojums pārtikas nodrošināšanā ir svarīgākais iemesls to nozīmei globālajā ekonomikā. Lai arī kviešu miltu produkti ir kalorijām bagāti un pasaules attīstītajās valstīs bieži tiek uzskatīti par neveselīgiem, tomēr, ņemot vērā, ka tie ir ar barības vielām un enerģiju bagāts produkts, tad tā ir nozīmīga pārtikas sastāvdaļa valstīs, kur iedzīvotāji cieš badu vai pārtikas trūkumu (Pena, 2007). Kviešu graudi satur samērā nelielu mitruma daudzumu 12–15%, kas nodrošina ilgstošu produkcijas uzglabāšanas iespēju (Schinabeck et al., 2019).

Latvijā kviešu graudu kvalitāti, pamatojoties uz nacionālās pārtikas kvalitātes shēmu⁵noteikumiem, raksturo: proteīna saturs, lipekļa saturs, proteīna kvalitāte (Zeleny indekss), krišanas skaitlis. Graudu iepircēji papildus vērtē arī graudu tilpummasu.

Kviešu graudus izmantot arī bioetanolā un spirta ražošanai. Graudi ar zemāku kopproteīna saturu, bet augstu cietes saturu nodrošina lielāku bioetanolā iznākumu (Poiša, Adamovičs, 2012; Jansone, Gaile, 2013). Ziemas kviešu pēcplaujas atliekas jeb blakusprodukcija ir salmi, kurus biežāk iestrādā augsnē, lai to papildinātu ar organisko vielu, bet tie var tikt izmantoti arī bioenerģijas ražošanā, piemēram, kā kurināmais materiāls (Jansone, Gaile, 2012). Salmos esošie cukuri ir piemēroti arī citu bioenerģijas veidu ražošanai – biogāze, bioetanolā un bioūdeņradis (Kaparaju et al., 2009).

Pēc ilggadīgiem pētījumiem par optimālu ziemas kviešu sējas termiņu Latvijā rekomendē 10.–25. septembri (Gaile u.c., 2013), izvēloties šķirnes, kuras piemērotas audzēšanai Latvijas agroklimatiskajos apstākļos. Optimālais sēklu dīgšanas laiks ir nedēļa, bet nepiemērotu ekoloģisko apstākļu ietekmē (ilgstošs sausums, zemas temperatūras) tas var ieilgt līdz pat 20 dienām un ilgāk (Jackson, Williams, 2006). Augstu kviešu ražu iegūšanai piemērota izsējas norma ir 400 līdz 500 dīgstošas sēklas m⁻² (sējot līnijšķirnes) ar sējas dziļumu 2.5–4.0 cm (Gaile u.c., 2013). Ziemas kviešu ražas veidošanos var ietekmēt arī sēklas materiāla rupjums (Protic

³ *Kultūraugu audzēšanas platības Eiropas Savienībā 2021.gadā*. Faostat. [Tiešsaiste] [skatīts 26.02.2023]. Pieejams: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

⁴ *Kultūraugu audzēšanas platības ražošanas apjoms pasaulē 2021. gadā*. Faostat. [Tiešsaiste] [skatīts 26.02.2023]. Pieejams: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

⁵ *Prasības pārtikas kvalitātes shēmām, to ieviešanas, darbības, uzraudzības un kontroles kārtība*. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 26. janv.]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/268347-prasibas-partikas-kvalitates-shemam-to-ieviesanas-darbibas-uzraudzibas-un-kontroles-kartiba>.

et al., 2019), kas ir šķirnei raksturīga pazīme (Koppel, Ingver, 2008), ko ietekmē konkrētā gada meteoroloģiskie apstākļi (Protic et al., 2019) un audzēšanas tehnoloģija (Stramkale u.c., 2023).

Ziemas kviešu ražas un graudu kvalitātes veidošanai svarīgi ir visi barības elementi, bet īpaši izceļ slāpekli un sēru (piemēram, Ruža, 2014; Castellari et al., 2023). Pētījumos ir pierādījies, ka palielinot kopējo lietoto slāpekļa normu, pieaug kviešu ražas apjoms. Latvijā veikti vairāki izmēģinājumi, kuros pētītas slāpekļa mēslojuma normas, un šajos pētījumos pierādījies, ka augstas un kvalitatīvas kviešu graudu ražas iegūšana iespējama pie dažādām slāpekļa normām. Pētnieki L. Litke, Z. Gaile un A. Ruža secinājuši, ka būtisks ražas pieaugums novērojams līdz slāpekļa papildmēslojuma normai 180 kg ha^{-1} (Litke, Gaile, Ruža, 2017; Litke, Gaile, Ruža, 2019a), bet maizes cepšanas kvalitātei atbilstošu proteīna saturu graudos izdevies sasniegt, lietojot augstāko N papildmēslojuma normu – 240 kg ha^{-1} (Litke, Gaile, Ruža, 2019a). Citā pētījumā Latvijā ar dažādām slāpekļa papildmēslojuma normām noskaidrots, ka pie ziemas kviešu vidējās ražības 6.3 t ha^{-1} nepieciešamā slāpekļa norma ir zemāka un ziemas kviešu ražas atšķirības nav bijušas būtiskas, lietojot N mēslojuma normas no 90 kg ha^{-1} līdz 150 kg ha^{-1} . Šajā izmēģinājumā skaidrots, ka lielāka ietekme uz ražas apjomu bijusi šķirnes faktoram un konkrētās sezonas meteoroloģiskajiem apstākļiem nekā slāpekļa mēslojumam (Linina, Ruža, 2018). Līdzvērtīgas slāpekļa papildmēslojuma normas apstiprinājušās vēl vienā izmēģinājumā Latvijā, kur būtisks ražas pieaugums vidēji trīs gadu periodā novērots, palielinot normu līdz 153 kg ha^{-1} , bet augstākas slāpekļa normas būtisku ražas pieaugumu vairs nedeva, kā arī pie minētās slāpekļa mēslojuma normas iegūti graudi ar pārtikai grupai atbilstošu proteīna saturu. Tomēr vienā no pētījuma gadiem novēroja, ka būtiski augstāks ražas līmenis iegūts, palielinot slāpekļa mēslojumu līdz 175 kg ha^{-1} un dodot papildus sēra mēslojumu 21 kg S ha^{-1} , attiecīgi $\text{N175+S21} - 10.2 \text{ t ha}^{-1}$, $\text{N153} - 7.4 \text{ t ha}^{-1}$, $\text{N187} - 6.8 \text{ t ha}^{-1}$ (Skudra, Ruža, 2017). Augstāks proteīna saturs graudos iegūts variantos, kur papildmēslojuma normu sadalīja trīs daļās (pirmo reizi papildmēslojums dots veģetācijai atjaunojoties, otrais – stiebrošanas sākumā (32. AE), trešais – vārpošanas sākumā (51. AE)) (Skudra, Ruža, 2014).

Augus nodrošinot ar sēru, uzlabojas slāpekļa mēslojuma uzņemšanās (Podlesna, Cacak-Pietrzak, 2008). Augstākas ziemas kviešu ražas un proteīna saturs graudos tiek iegūts, ja kviešu papildmēslojumu daļa divās vai vairāk daļās. Daļītā slāpekļa mēslojuma pielietošanas ietekme uz ražas palielināšanu lielāka ir mitrā klimatā nekā sausā, bet lielāks efekts uz proteīna saturu ir sausuma apstākļos (Hu et al., 2021).

Kviešu produktivitāti ietekmē mitruma nodrošinājums. Dažādos pētījumos konstatēts, ka kviešu ražība ir zemāka pussausajos reģionos (Zentner et al., 2001; Gan et al., 2003) vai sausās sezonās (Kirkegaard, Howe, Pitson, 2001). Kviešu ražai pastāv būtiska pozitīva sakarība ar veģetācijas perioda nokrišņu daudzumu, bet negatīva sakarība – ar gaisa temperatūru, t.i. augstāka temperatūra – zemāka ražība (Schlegel et al., 2017). Samazināta produktīvā ūdens nodrošinājuma apstākļos kviešu augiem veidojas īsāki stieбри un mazāks lapu laukums (Ma et al., 2019). Lielākais mitruma patēriņš ziemas kviešiem ir no stiebrošanas līdz vārpošanai, jo šajā laikā attīstās liela veģetatīvā masa (Streda et al., 2011). Ja kvieši cieš no sausuma stresa nozīmīgos ražas veidošanās posmos, tad novērota negatīva ietekme uz graudu skaitu vārpā un 1000 graudu masu. Sausums un paaugstināta temperatūra ietekmē arī fotosintēzes procesu, tās aktivitātes pazemināšanās graudu pildīšanās laikā (70.–79. AE) traucē ogļhidrātu piegādi jaunizveidotajām sēklām (Kumari et al., 2007). Karstuma stress kviešu graudu pildīšanās laikā pazemina 1000 graudu masu, bet palielina proteīna saturu tajos, tomēr negatīvi ietekmē proteīna kvalitāti (Veisz, Bencza, Vida, 2007). Paaugstināta gaisa temperatūra saīsina graudu veidošanās kritisko periodu (ziedēšana un graudu pildīšanās sākums (61.–70. AE)), bet saīsinātais periods karstuma stresa ietekmē ir galvenais graudu ražas un graudu skaita vārpā samazināšanos veicinošais faktors. Ražas starpība starp faktisko ražu un potenciālo ražu ir ievērojamāka, ja augs cieš no mitruma un slāpekļa deficīta (Cossani, Sadras, 2021).

1.1.2. Vasaras miežu tautsaimnieciskā nozīme un audzēšana

Mieži pēc apsētās platības pasaules mērogā ir piektā plašāk audzētā kultūraugu suga aiz kviešiem, kukurūzas, rīsiem un sojas un 13. vietā pēc saražotās produkcijas apjoma⁶, no kuras ik gadu lielākā daļa (55–60%) tiek izmantota lopbarībai, iesala ražošanai izmanto 30–40% un pārtikai 5–10% (Ullrich, 2010). Miežu sējplatības pasaulē samazinās, jo to audzēšanu aizstāj ar ekonomiski pelnošākiem kultūraugiem – kviešiem un kukurūzu (Zhou, 2010).

Vasaras mieži ir jutīgi pret sausuma stresu. Sausuma stress graudu pildīšanās laikā rezultējas samazinātā graudu masā, beta-glikānu daudzumā, bet palielinās kopproteīna daudzums un beta-amilāzes aktivitāte (Hong, Zhang, 2020). Audzēšanas tehnoloģijā svarīgi ir nodrošināt augus ar barības elementiem. Latvijā veiktos pētījumos mēslošanas laiki miežiem ir šādi: 1) visa barības elementu norma pamatmēslojumā (Bleidere, Grunte, 2019); 2) pamatmēslojumā kompleksais mēslojums un slāpekļa papildmēslojums stiebrošanas sākumā (Bleidere, Damškalne, Zute, 2020) vai 3) cerošanas laikā (Maļeckā, Stramkale, Vaivode, 2020). Slāpekļa mēslojuma norma (no 65 līdz 120 kg ha⁻¹) tiek izvēlēta atbilstoši plānotajam ražas līmenim, un tā ir (Kārklīšs, Ruža, 2013). Miežu mēslošanas shēma ir tieši atkarīga no graudu izmantošanas veida. Lopbarības graudiem vēlamā augstāks proteīna saturs, bet iesala ražošanai paredzētajiem graudiem tas ir ierobežots – 9–11.5%, līdz ar to lielākais slāpekļa mēslojuma daudzums tiek lietots pamatmēslojumā (Beillouin et al., 2018).

Vasaras mieži ir piemēroti audzēšanai mērenā klimatā. To ražas līmeni limitē meteoroloģiskie apstākļi, un izteikti karstās un sausās vasarās mieži nerasniedz ražas potenciālu. Šķirņu un mēslošanas shēmu izmēģinājumā dažādos Latvijas reģionos konstatēts, ka sausā un karstā gadā barības elementu (N-P-K-S) mēslošanas norma nebija ietekmējusi ražības līmeni, bet sausā gadā pie augstākas mēslojuma normas graudos bija koncentrējies augstāks proteīna saturs. Savukārt gadā ar optimāliem augšanas apstākļiem paaugstinātas mēslošanas normas nodrošināja augstākas ražas un būtiski augstāku 1000 graudu masu, bet neietekmēja proteīna saturu graudos (Maļeckā u.c., 2020). Citā pētījumā Latvijā arī konstatēts, ka rupjāki graudi veidojas mitros gados, bet ar zemāku 1000 graudu masu – sausos, arī proteīna uzkrāšanās graudos bijusi augstāka gados ar optimālu mitruma nodrošinājumu, salīdzinot ar proteīna saturu graudos gadā ar zemu nokrišņu nodrošinājumu pie vidējiem ražas līmeņiem (mitrā gadā – 7.7 t ha⁻¹, bet sausā – 4.4 t ha⁻¹). Salīdzinot miežu graudu tilpummasu šķirņu izmēģinājumā, vidējam lielumam netika konstatētas būtiskas atšķirības meteoroloģisko apstākļu ietekmē, tomēr tā būtiski atšķīrās dažādām šķirnēm (Bleidere, Grunte, 2019).

Pozitīvu efektu uz vasaras miežu graudu ražas un kvalitātes veidošanos atstāj sedzējaugu audzēšana ziemas periodā pirms vasaras miežu sējas. Lielbritānijā veikts pētījums ar dažādu sedzējaugu maisījumiem, kuri sēti tiešajā sējā vasaras miežu rugainē pēc vasaras miežu ražas novākšanas. Sedzējaugi tika iestrādāti augsnē, izmantojot augsnes apvēršanu pirms vasaras miežu atkārtotas sējas. Pētījumā noskaidrots, ka, sējot sedzējaugus, kur dominē krustziežu (*Brassicaceae*) dzimtas augi, iegūtas augstākas vasaras miežu graudu ražas un lielāks slāpekļa daudzums graudos. Tāpat, sējot miežus pēc sedzējaugiem, samazinās augsnes pretestība, salīdzinot ar kontroles variantu, kurā augsne ar priekšauga stublājiem tiek apvērsta pavasarī (Holland et al., 2021).

1.1.3. Ziemas rapša tautsaimnieciskā nozīme un audzēšana

Rapsis ir zināms kā lielu enerģijas daudzumu uzkrājošs kultūraugs, jo tā sēklas satur daudz eļļas (aptuveni 40% un vairāk). Rapša sēklu sausna satur arī 17–23% proteīna (Kowalska et al., 2020). Rapša sēklu eļļu izmanto pārtikā, bet sēklas pēc eļļas izspiešanas ir vērtīgs lopbarības produkts ar augstu proteīna un tauku saturu (Atsbehaa et al., 2020). Lopbarības

⁶ *Barley production and harvested area in the world*. Faostat [Tiešsaiste] [skatīts 21.07.2021.] Pieejams: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

devās, pievienojot rapša eļļu tauku nodrošinājumam, konstatēta samazināta metāna rašanās (Brask et al., 2013). Rapša eļļa satur vērtīgas taukskābes, to ieteicams lietot uzturā (Nath et al., 2016). No rapša sēklām izspiesto eļļu izmanto arī biodegvielas ražošanai (Sollis et al., 2017).

Rapsis spēj veidot lielu biomasu. Pētījumā Latvijā, kur audzēti dažādi zaļmasas kultūraugi, konstatēts, ka, salīdzinot ar amarantu (*Amaranthus* spp.), kukurūzu, kaņepēm (*Cannabis sativa*) un saulespuķēm, rapša biomasa 85. AE ir visaugstākā. Ierīkotajā izmēģinājumā tā vidēji bijusi 62 t ha⁻¹ (kukurūzai 61 t ha⁻¹), bet augstākā sausnas raža bija kukurūzai (16.4 t ha⁻¹), rapsim –13.3 t ha⁻¹ (Balodis, Bartuševis, Gaile, 2011).

Rapša augšanā un attīstībā liela loma ir šķirnei (Wang-Hao, Yu-Zhen, Cun-Fu, 2007) un laikapstākļiem (Weymann et al., 2015). Lielākajā daļā sējplatību tiek sētas rapša hibrīdās šķirnes, jo tām sēklas dīgšanas un pirmo lapu attīstības etapi noris straujāk. Kritiskais periods ziemas rapša audzēšanā ir ziemošana. Šķirņu salīdzinājumos Baltijas apstākļos, kur izmantotas hibrīdās un līnijšķirnes, augstāku ziemcietību uzrāda hibrīdās šķirnes (Velička, Pupalienē, Butkevičienē, 2012; Balodis, Gaile, 2015). Latvijā veiktā izmēģinājumā trīs sezonu garumā noskaidrotās piemērotās rapša izsējas normas (sējas laiks 1. līdz 20. augusts) līnijšķirnei bija 60 – 80 dīgspējīgas sēklas m⁻² (sējas laiks 1.10. un 20. augusts), bet hibrīdajai šķirnei – 40 – 80 dīgspējīgas sēklas m⁻² (Balodis, 2017). Augšanas konusā ziemošanai uzkrāto ogļhidrātu saturs hibrīdajām šķirnēm samazinās lēnāk nekā līnijšķirnēm, bet tie ir galvenais enerģijas avots ziemošanas un veģetācijas atjaunošanās laikā. Ogļhidrātu uzkrāšanās un to daudzums ir atkarīgs no sējas laika un augu attīstības pēc sējas, ko būtiski ietekmē mitruma nodrošinājums augsnē (Velička, Pupalienē, Butkevičienē, 2012). Ja rapsi sēj agrāk vai vēlāk par optimālu sējas laiku, tad novērojams lielāks augu skaita samazinājums ziemošanas periodā, salīdzinot ar optimālu sējas termiņu. Sliktāk pārziemo augi, kuri sēti novēlotā laikā, kā arī tie, kuri sēti sabiezinātā sējumā, pielietojot palielinātu izsējas normu (Balodis, Gaile, 2015).

Rapša ražas līmenis lielā mērā ir atkarīgs no kultūrauga nodrošinājuma ar slāpekli (Rathke, Christen, Diepenbrock, 2005; Litke, Gaile, Ruža, 2019b). Lielas slāpekļa normas pazemina eļļas daudzumu rapša sēklās. Slāpekļa mēslojums pozitīvi ietekmē sēklu ražu un proteīna saturu (Rathke, Christen, Diepenbrock, 2005). Latvijā veiktā pētījumā četru sezonu garumā secināts, ka ziemas rapša raža būtiski pieaug līdz slāpekļa papildmēslojuma normai 180 kg ha⁻¹, tomēr pētījuma laikā konstatētas arī būtiskas ražu līmeņu atšķirības starp pētījuma gadiem, un katra gada meteoroloģiskās situācijas ietvaros slāpekļa papildmēslojuma norma, līdz kurai ir būtisks ražas pieaugums, bija mainīga. Līdz ar ražas pieaugumu, palielinot slāpekļa normu, palielinājās arī no augsnes izmantotā fosfora un kālija daudzums ar iznesto auga biomasu, bet rapša sēklās palielinājās slāpekļa koncentrācija, samazinot tajās esošā fosfora un kālija daudzumu (Litke, Gaile, Ruža, 2019b).

Vācijā veiktā pētījumā minēts, ka rapša ražas mainīgums 40% gadījumu skaidrojams ar laikapstākļiem konkrētās augšanas un attīstības fāzēs. Svarīgākās attīstības fāzes ir no ziedkopu veidošanās līdz ziedēšanas vidum (50.–65. AE) un sēklu attīstības fāze (71.–79. AE). Asimilācijas ātrumu pāksteņu pildīšanās laikā ietekmē temperatūra, sausums un saules radiācija, kas ietekmē sēklu skaitu un izmēru. Laikā pēc ziedēšanas rapša ražu visvairāk ietekmē temperatūra, jo tā nosaka veģetācijas perioda garumu. Zemākā gaisa temperatūrā asimilācijas periods, kurā veidojas sēklu masa, pagarinās. Tomēr sēklu izmērs rapša ražu izteikti neietekmē, jo pastāv ražas komponentu kompensācijas mehānisms sēklu skaitam un 1000 sēklu masai (Weymann et al., 2015). Līdzīgi secinājumi izteikti arī jau agrākajos pētījumos, kuri veikti Austrijā (Aksouh-Harradj, Campbell, Mailer, 2006).

1.1.4. Lauka pupas tautsaimnieciskā nozīme un audzēšana

Lauka pupas (*Vicia faba*) ir nozīmīgs tauriņziežu dzimtas augs daudzās pasaules valstīs. Pēc apsētajām platībām lauka pupas ir trešais nozīmīgākais pākšaugš pēc sojas un zirņiem (Singh et al., 2013). To sēklas uzskata par ļoti vērtīgu olbaltumvielu avotu cilvēku pārtikā un

dzīvnieku barībā; tās raksturo salīdzinoši augsts sagremojamās cietes un olbaltumvielu saturs, kas ir ar sabalansētu aminoskābes – lizīna daudzumu (Crepon et al., 2011). Lielsēklu pupas (*V. faba ssp. major*) parasti izmanto cilvēku pārtikā, bet sīksēklu jeb lauka pupas (*V. faba ssp. minor*) – lopbarībai.

Lauka pupas ir slāpekli piesaistošie augi. Galvenais ieguvums videi ir to spēja simbiotiski fiksēt atmosfēras slāpekli un padarīt šo atjaunojamo resursu pieejamu, lai nodrošinātu pozitīvu priekšauga ietekmi daudzveidīgās augu maiņās (Köpke, Nemecek, 2010). Viena no lauka pupu audzēšanas priekšrocībām ir tā, ka tām nav nepieciešama papildus mēslošana ar slāpekli, jo tas tiek simbiotiski fiksēts no atmosfēras, turklāt saistītais slāpeklis augsnē ir pieejams arī nākamajam audzētajam kultūraugam. Lauka pupu sakņu sistēma uzlabo augsnes struktūru, tāpēc tās ir novērtētas kā labs priekšaugi dažādiem kultūraugiem augu maiņā (Stute et al., 2019). Lauka pupas kā priekšaugi arī palielina augsnē pieejamā fosfora daudzumu nākamajam kultūraugam, ir vērtīga starpkultūra intensīvās labību augu maiņās (Köpke, Nemecek, 2010). Šī suga veicina lauksaimniecības ilgtspēju, jo uzlabo augsnes auglību, tai ir nozīmīga loma augu maiņā (Ali et al., 2019; Stute et al., 2019), to audzēšana ir veids kā saimniekot ilgtspējīgi un samazināt fosilās enerģijas pielietojumu (Jensen, Peoples, Hauggaard-Nielsen, 2010).

Lauka pupas ir vidēji siltumprasīgs augs, bet augsta temperatūra traucē to apputeksnēšanos. Līdz ziedēšanas sākumam lauka pupām nepieciešama aktīvo temperatūru summa 830–1000 °C. Optimālā gaisa temperatūra ziedēšanas laikā ir 22–23 °C. Lauka pupas ir pašapputes augs, bet karstuma stresa ietekmē var apaugļoties mazāks ziedu skaits, jo pastāv konkurence starp veģetatīvo un ģeneratīvo daļu attīstību (Patrick, Stoddard, 2010). Arī apaugļoti ziedi karstuma un sausuma stresa ietekmē var neattīstīt pākstis. Sēklu nogatavošanās norit nevienmērīgi, kamēr augšējās pākstīs norit sēklu pildīšanās, apakšējās var būt jau nogatavojušās (Stoddard, 1986). Pākšu skaits pa gadiem pupām ir mainīgs, bet sēklu skaits pākstī stabils atkarībā no šķirnes (Plūduma-Paunina et al., 2019). Pupām ir dziļa mietsakne, tomēr tās labāk aug nesablīvētās, porainās augsnēs, kur saknēm pieejams gan ūdens, gan gaiss. Par grūtībām sakņu sistēmas veidošanai var liecināt arī samazināts auga garums (Zute, 2016).

Pupas ir mitrumprasīgas veģetācijas perioda pirmajā pusē, sējot pupas agrāk pavasarī, tiek nodrošināts nepieciešamais mitrums vienmērīgai sadīgšanai (Khan et al., 2010), tomēr pupas nedrīkst sēt arī pārāk agri, kad augsne nav iesilusi, lai neattīstītos dīgstu puve (ieros. *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. u.c.) un pupu iedega (*Didymella fabae*) (Zute, 2016), savukārt novēloti iesētas pupas ir pakļautas augstākas gaisa temperatūras un saules radiācijas ietekmei, kas saīsina veģetācijas perioda garumu un var rezultēties zemākā ražā (Villacampa et al., 2009). Gados ar nepietiekamu mitruma daudzumu lauka pupu sēklās veidojas augstāks proteīna saturs, bet pārāk liela mitruma apstākļos – zemāks (Barlóg, Grzebisz, Łukowiak, 2019).

1.2. Augu maiņa kā laukaugu produktivitāti veicinošs faktors

Pārdomātas augu maiņas veidošana ir sen atzīta sistēma, kas samazina augsnes erozijas veidošanos, uzlabo augsnes struktūru, mikrobioloģisko aktivitāti, augsnes ūdens uzkrāšanas spēju un palielina organisko vielu saturu. Ar kultūraugu dažādošanu augu maiņā samazinās nepieciešamība pēc sintētisko mēslošanas līdzekļu ieguldījuma, jo notiek barības elementu aprīte augsnē, tiek uzturēta augsnes auglība ilgtermiņā, samazinās risks uzkrāties kaitīgajiem organismiem, kuri savairojas bezmaiņas sējumos (Bailey et al., 2000; Bennett et al., 2012; Stein, Steinmann, 2018), tas rezultējās ar augstākām ražām un samazinātiem ieguldījumiem kaitīgo organismu ierobežošanā (Zegada-Lizarazu, Monti, 2011). Augu maiņas plānošana ir daļa no saimniekošanas sistēmas. Augu maiņas ievērošana ir veids, kā palielināt audzējamo kultūraugu daudzveidību saimniecībā (Dury et al., 2013).

Plānojot kultūraugu maiņu, ir jāņem vērā auga sakņu dziļums un ražas nogatavošanās laiks. Piemēram, ražu palielinošs efekts ziemas kviešiem, audzējot tos pēc sējas kaņepēm,

saglabājās nākamos divus gadus (Robson et al., 2002). Ziemas rapsis rudenī labāk attīstīsies, ja tas būs iesēts pēc agri novākta priekšauga, piemēram, ziemas miežiem vai ziemas kviešiem (Christen, Evans, Nielsson, 1999).

Vēl viens faktors, kas jāņem vērā, plānojot augu maiņas, ir katra kultūrauga spēja uzlabot augsnes fizikālās īpašības. Eļļas augi, graudaugi, sakņaugi, kultūraugi enerģijas ražošanai un citi kultūraugi ir ar atšķirīgu sakņu biomasu un sakņu arhitektūru, kas atšķirīgi var ietekmēt augsnes struktūru, tās stabilitāti, un galvenokārt tas notiek, mijiedarbības dēļ starp organisko vielu daudzumu un augsnes agregātu veidošanos dažādos augsnes dziļumos (Robson et al., 2002; Zegada-Lizarazu, Monti, 2011).

Kultūraugi ar dziļu sakņu sistēmu, piem., rapsis saulespuķes, sorgo (*Sorghum* ssp.), kenafs (*Hibiscus cannabinus*) un kaņepes ir labi priekšaugi laukaugiem ar seklu sakņu sistēmu, jo kultūraugi ar dziļu sakņu sistēmu augsnes mitrumu un barības vielas būs izmantojoši no dziļākiem augsnes slāņiem (Zegada-Lizarazu, Monti, 2011, Saldukaitē et al., 2022).

Rapsis ir labs priekšaugš kviešiem un miežiem un labības ir piemērots priekšaugš rapsim (Christen, Evans, Nielsson, 1999). Ziemas rapša iekļaušana augu maiņā pārtrauc patogēnu attīstības ciklus, ierobežo nezāles un kopumā nodrošina augstāku augsekas ekonomisko ieguvumu. Tomēr, audzējot rapsi, plaši lieto augu aizsardzības līdzekļus, kas var atstāt negatīvu ietekmi uz vidi, un, lai no tā izvairītos, nepieciešams ievērot ilgtspējīgas lauksaimniecības praksi un neaudzēt rapsi atkārtotos sējumos (Saldukaitē et al., 2022). Ir novērots, ka rapša ražas ir augstākas, ja to audzē augu maiņā ne biežāk kā reizi 3–4 gados (Christen, Sieling, 1995; Hegewald et al., 2018). Labs priekšaugš ziemas rapsim ir ziemas mieži, jo tad var ievērot optimālus rapša sējas termiņus, tomēr augstākas ziemas rapša ražas Vācijas ziemeļu daļā izdevies iegūt, ja rapša priekšaugš bija pākšaugi vai kvieši (Hegewald et al., 2018). Daudzviet Eiropā ziemas miežu audzēšanu aizstāj ar ziemas kviešiem, bet ziemas kviešu ražas novākšanas laiks var kavēt optimālu rapša sēju, kas savukārt ietekmē rapša attīstību rudenī, kas ir noteicošā veismīgāi pārziemošanai. Novēlotu sēju var kompensēt ar papildus slāpekļa devu attīstības veicināšanai rudenī (Sieling, Böttcher, Kage, 2017). Garāks kultūraugu maiņas periods mazina risku savairoties un izplatīties patogēniem, kā rezultātā iespējams iegūt augstas ražas ar mazāku ietekmi uz vidi (Hossard, Souchere, Jeuffroy, 2018).

Kviešu ražas pieaugums novērojams, ja pirms kviešiem bijusi papuve vai citas sugas kultūraugs (Miller, Holmes, 2005). Izvēlētais priekšaugš var atstāt pozitīvu ietekmi arī uz kviešu graudu proteīna saturu (Kirkegaard et al., 1994; Gan et al., 2003), kā arī pozitīvi ietekmēt otrā gada pēcaugu (Kirkegaard et al., 1997; Evans et al., 2003). Sējot rapsi kā priekšaugu ziemas kviešiem, novērots, ka iegūtas būtiski augstākas kviešu ražas nekā pēc atkārtotiem kviešu sējumiem, un graudiem bijusi lielāka 1000 graudu masa (Litke, Gaile, Ruža, 2017).

Tradicionālo laukaugu augu maiņas pasaulē ir plaši pētītas, bet Zegada-Lizarazu un Monti pievērsa uzmanību mazāk audzētu augstu enerģētisko iznākumu producējošu kultūraugu (sorgo, kaņepes, kenafs, sinepes (*Brassica carinata*)) iekļaušanai tradicionālo kultūraugu maiņās, lai skaidrotu to ietekmi uz pēcaugiem. Pētījumā secināja, ka labākā izvēle Ziemeļeiropas valstu mērenajam klimatam tomēr ir rapsis, labību sugas, lini un pākšaugi, jo atbilstošajā klimatā iespējams iegūt augstas ražas, ierobežot kaitīgos organismus un uzlabot augsnes īpašības (Zegada-Lizarazu, Monti, 2011). Lai nodrošinātu bioloģisko daudzveidību uz labībām centrētās augu maiņās, ir iespēja sēt starpkultūras vai uztvērējaugus, kas var uzlabot arī augsnes īpašības, piesaistot augu barības vielas aramkārtā (Nemecek et al., 2015).

Latvijā ilggadīgi pētītā augu maiņa sastāv no trīs dažādiem augu maiņas variantiem ar četriem dažādiem kultūraugiem: ziemas kvieši atkārtotos sējumos, ziemas kvieši trīs gadu rotācijā ar rapsi, kur rapsi sēj pēc divus gadus atkārtoti sētiem ziemas kviešiem, un augu maiņa ar četriem dažādiem kultūraugiem: lauka pupas, ziemas kvieši, ziemas rapsis, vasaras mieži (Ruža et al., 2016; Konavko, Ruža, 2017). Augu maiņas ar līdzīgu kultūraugu sastāvu (labības, eļļas augs un pākšaugš) pētītas arī Kanādā (Lafond et al., 2006). Saimniecības, kuras fokusējas uz pārdomātu dažādu kultūraugu maiņu, var sagatavot stabilu saimniecības pārvaldības plānu

ilgtermiņā, bet šis ilgtermiņa plāns var traucēt pielāgošanos mainīgajiem klimatiskajiem apstākļiem augkopībā (Dury et al., 2013).

Augu maiņā iekļaujot lauka pupas, papildus ieguvumiem no slāpekļa piesaistes ir arī citi pozitīvi aspekti, piemēram, iespēja salīdzinoši ērti ierobežot graudzāļu dzimtas nezāles, samazināta slimību un kaitēkļu izplatība, augsnes produktīvā ūdens uzkrāšana, uzlabota augsnes struktūra. Lauka pupu sēšana pirms labību sugām augu maiņā pārtrauc augsnē esošo labību patogēnu (piem., baltvārpainības ieros. *Gaeumannomyces graminis*) attīstības ciklus (McEwen et al., 1990). Augsnes mikroorganismu darbība aktivizējas un kļūst daudzveidīga, ja augu maiņā iekļauj pākšaugus (Lupwayi, Kennedy, 2007).

Lauka pupu nozīme augu maiņā ir plaši pētīta gan pasaulē, gan Eiropā, gan arī arī Latvijā (Konavko, Ruža, 2017; Bankina et al., 2021). Lauka pupu vieta augu maiņā ir plaši pētīta Francijā. A. Aschi un kolēģu izmēģinājumā pētīja divas augu maiņas piecu gadu periodā: ar iekļautiem pākšaugiem – lauka pupām (auga trešajā gadā) un bez tām. Konstatēts, ka augu maiņas pēdējā gadā, kurā aug kvieši, augsnes organiskā oglekļa daudzums ir palielinājies, salīdzinot ar tā saturu augsnē pirms pieciem gadiem, kad uzsākts eksperiments, un tas ir augstāks, salīdzinot ar augu maiņu, kurā lauka pupas un citi pākšaugi netika iekļauti. To skaidro arī ar nabadzīgo augsnes organisko vielu saturu eksperimenta sākumā, un lielāku iestrādāto augu atlieku daudzumu eksperimenta laikā tieši no lauka pupām, salīdzinot ar liniem, kurus audzēja lauka pupu vietā otrajā augu maiņas variantā (Aschi et al., 2017). Citā pētījumā Francijā salīdzinātas dažādas pākšaugu sugas (to skaitā arī lauka pupas) kā priekšaugi ziemas kviešiem (2014. un 2016. gadā), lai skaidrotu pākšaugu radītās slāpekļa plūsmas augsnē un to izmantojamību pēcaugam – kviešiem. Noskaidrots, ka lauka pupas, salīdzinot ar citām pākšaugu sugām, 2016. gadā spēja piesaistīt vislielāko N daudzumu, kā arī uzkrāja lielāko N daudzumu sēklās. Tomēr lauka pupu spēja saistīt neorganisko slāpekli augsnē un slāpekļa izskalošanās risks ir augstāks nekā, piemēram, sojas pupām. Konstatēts arī, ka ziemas kviešu veģetatīvajās daļās, ja tie sēti pēc lauka pupām, zirņiem, vīķiem (*Vicia sativa*) vai lēcām (*Lens esculenta*), bija tendence uzkrāt lielāku N daudzumu salīdzinājumā ar variantiem, kur priekšaugi bija auna zirņi (*Cicer arietinum*), parastās pupiņas (*Phaseolus vulgaris*) un sojas pupas (Guinet, Nicolardot, Voisin, 2019).

Lauka pupu ietekme uz ziemas kviešu graudu kvalitāti arī ir pozitīva. Iegūtie rezultāti pierāda, ka, kviešus audzējot pēc lauka pupām, ir iespējams iegūt graudus ar augstāku proteīna un lipīdu saturu, salīdzinot ar kviešiem, kuri sēti pēc kviešiem (Konavko, Ruža, 2017). Arī Francijā vērtējot pākšaugu ietekmi uz pēcauga ražas lielumu 2017. gada ražai, konstatēts, ka kviešu raža pēc lauka pupām bija būtiski augstāka nekā pēc kviešiem, bet nebija būtiski augstākapēc citiem priekšaugiem – pākšaugiem. Šajā pašā izmēģinājumā nenovēroja pākšauga kā priekšauga pozitīvo ietekmi uz ražību rapsim – ražas līmenis būtiski neatšķīrās vai rapša priekšaugi bija kvieši vai lauka pupas (Schneider et al., 2019). Atsevišķos pētījumos ražas pieaugums no pākšauga kā priekšauga labībai (vasaras kviešiem) nav konstatēts, to skaidro ar priekšauga – pākšauga zemo ražību (piem., sausuma dēļ), līdz ar to arī mazāku augu atlieku iestrādi augsnē un pēcaugam pieejamo slāpekļa nodrošinājumu (Wieme et al., 2020).

Pētījumā Vācijā konstatēts, ka ziemas kviešu raža pieauga, ja tos sēja augu maiņā pēc zirņiem, salīdzinot ar variantu, kurā bija iekļautas tikai labības. Divu sezonu ilgā pētījumā ar trīs dažādas intensitātes audzēšanas sistēmām iegūtās ziemas kviešu ražas pēc zirņiem bija no 5.22–7.63 t ha⁻¹, un pēc labību sugas priekšauga 2.86–6.55 t ha⁻¹. Ziemas kviešu salmu raža visos gadījumos arī bija visaugstākā, ja kviešus audzēja pēc zirņiem, salīdzinot ar to audzēšanu pēc graudaugiem: attiecīgi 7.77–10.35 t ha⁻¹ un 2.96–7.35 t ha⁻¹. Šāda tendence bija vērojama arī tad, kad tritikāli (*×Triticosecale* Wittm.) audzēja pēc zirņiem un graudaugiem (Rosenberger et al., 2001). Kviešu graudi ar augstāku proteīna saturu, audzējot tos pēc sojas, salīdzinot ar ziemas rapsi kā kviešu priekšaugu, iegūti arī pētījumā Polijā, tomēr šis būtiskās atšķirības starp proteīna saturu atkarībā no priekšaugiem vidēji bija tikai 0.4% robežā (13.0 % pēc sojas, 12.6% pēc ziemas rapša) (Gawęda, Haliniarz, 2021). Augu maiņas pozitīvo ietekmi uz augsnes

fizikālajām, ķīmiskajām un bioloģiskajām īpašībām var papildināt, iekļaujot tajā sedzējaugus un samazinot augsnes apstrādes intensitāti (Zegada-Lizarazu, Monti, 2011).

Iekļaujot pākšaugus augu maiņā, tie savā biomasā akumulē no gaisa fiksēto slāpekli. Bez papildus N minerālmēslojuma lietošanas biomasā saistītā slāpekļa daudzums sējas zirņiem un lupīnai (*Lupinus angustifolius*) vairāku gadu lauka izmēģinājumos Austrālijā bija ap 160–175 kg ha⁻¹ gadā (Xing et al., 2017). Pētot pākšaugu ietekmi uz labību graudu proteīna saturu, novērots, ka priekšaugam ir ietekme uz proteīna saturu labību graudos, tomēr lielāka loma proteīna uzkrāšanā graudos ir gada meteoroloģiskajai situācijai (Wieme et al., 2020). Arī pētnieki Latvijā konstatējuši, ka gada meteoroloģiskajiem apstākļiem ir lielāka ietekme uz kviešu ražas veidošanos kā pielietotajai agronomiskajai praksei (Linina, Ruza, 2018). Pākšauga iekļaušana augu maiņā ir iespēja samazināt slāpekļa normu pēcaugam, un kā starpaugs augu maiņā tas samazina arī nepieciešamību pēc pesticīdu lietošanas, jo mazinās kaitīgo organismu izplatību (Petersson, Thomsen, Hauggaard-Nielsen, 2007). Eiropas zinātnieku grupa, savstarpēji salīdzinot saimniekošanas sistēmas ar vai bez pākšaugu iekļaušanas augu maiņās ir secinājusi, ka, augu maiņā iekļaujot pākšaugus, augu nodrošināšanai ar N patērētais mēslojuma daudzums ir par 17–40% mazāks, kā arī par 12–30% samazinās NO₂ emisijas (Reckling et al., 2016).

Amerikā pētīta eļļas rapša iekļaušana starp tradicionāli audzētajiem kultūraugiem – soju, kukurūzu un kviešiem. Secināts, ka kukurūzas raža pieauga, ja sēts jebkurš cits priekšaugšs, izņemot kukurūzu, bet šajā izmēģinājumā sojas un kviešu ražām nenovēroja būtiskas ražas izmaiņas atkarībā no priekšauga. Novērots, ka eļļas rapsim ir zemāks ūdens patēriņš nekā kukurūzai un sojai (Scott et al., 2021). Pat ja ražas pieaugumu nenovēro, tad kā galvenais labums no eļļas augu vai pākšaugu iekļaušanas tradicionālā augu maiņā, minēti papildus ekoloģiskie ieguvumi, kas saistīti ar mazāku pesticīdu pielietojumu vai samazinātām minerālmēslojuma normām (MacWilliam, Wismer, Kulshreshtha, 2014; Scott et al., 2021).

Kanādā veiktajā pētījumā secināts, ka miežu ražai bijis 13% samazinājums, sējot tos atkārtoti pēc miežiem, salīdzinot ar citu priekšaugu – kviešiem. Augstākas ražas miežiem iegūtas, ja pirms tiem audzēti citu dzimtu augi, piemēram, rapsis vai lini (*Linum usitatissimum*) (Nagy et al., 2000).

Eiropā pētīta dažādu laukaugu grupu ražas stabilitāte, un secināts, ka pavasarī sētu pākšaugu ražas mainība ir aptuveni 30%, kas ir tikai nedaudz vairāk nekā pavasarī sētiem graudaugiem – 27%. Zemākā ražas nestabilitāte ir ziemāju labībām (19%), un šī pētījuma rezultāti apliecina, ka pākšaugu sēklu raža ir tikpat prognozējama kā vasarāju labībām, tāpēc lauksaimniekiem būtu vērts apsvērt pākšaugu iekļaušanu augu maiņās (Reckling et al., 2018).

Tā kā daži kultūraugi ir ekonomiski izdevīgāki nekā citi, jo tie spēj pielāgoties dažādiem augšanas apstākļiem, tad kultūraugu daudzveidība saimniecībās ir samazinājusies. Bieži tiek izmantotas augu rotācijas ar nelielu augu daudzveidību. Biežāk dominē vairākus gadus sekojoši labību bezmaiņas sējumi; pākšaugus vai eļļas augus audzē reizi trijos līdz četros gados labību augu maiņā.

Neskatoties uz iepriekš minēto, Vācijas zinātnieki vēlreiz atgādina, ka pārdomāta augu rotācijas ir aktuāla augkopības sastāvdaļa arī mūsdienās, un graudaugu vietā kā priekšaugu izmantojot citas sugas var panākt ražas pieaugumu (Rosenberger et al., 2001), labāk ierobežot graudzāļu dzimtas nezāles (Nikolich et al., 2012; Wozniak, 2019) un stiebru un lapu slimības (Bankina et al., 2021).

1.3. Augsnes apstrādes sistēmas un to ietekme uz kultūraugu produktivitāti

Pasaulē izmanto vairākas augsnes apstrādes sistēmas, kas ietver augsnes pamatapstrādi, augsnes pirmssējas apstrādi un citas operācijas. Pasaulē izplatītas augsnes apstrādes sistēmas ir tradicionālā (saukta arī par konvencionālo) augsnes apstrādes sistēma (turpmāk – TA), reducētā augsnes apstrādes sistēma (saukta arī samazinātā vai minimālā augsnes apstrāde, turpmāk –

RA) un augsnes bezapstrādes sistēmas (turpmāk – BA). Reducētās augsnes apstrādes sistēmas ir izstrādātas, lai samazinātu pielietotā darbaspēka, laika (Morris et al., 2010) un patērētās enerģijas (Brennan et al., 2012) daudzumu, kā arī samazinātu augsnes eroziju (Pittelkow et al., 2015), un kopējās izejmateriālu izmaksas, kas nepieciešamas kultūraugu audzēšanai, kā arī izmantotu ieguvumus no uzlabotas augsnes struktūras (Lal, 1998; Busari et al., 2015; Li et al., 2019).

Pētot literatūru, sastopami dažādi lietotie termini augsnes apstrādes variantu raksturošanai. Par tradicionālo augsnes apstrādi, parasti sauc augsnes apvēršanu ar arklu, bet dažādos pētījumos ir atšķirīgs augsnes apstrādes dziļums, piem. 20–30 cm dziļumā (MacLaren, Labuschagne, Swanepoel, 2021; Alskaf et al., 2021), vai tikai 10 cm (Schlegel et al., 2017). Tā ir vēsturiski izmantota augsnes apstrādes sistēma, kurā lietoti vairāki apstrādes veidi, lai sagatavotu augsni sējai, un tā ir intensīvākā salīdzināmā augsnes apstrādes sistēma (Morris et al., 2010; Mitchell et al., 2016). Dziļā augsnes apstrāde (ang. *deep tillage*) ir arī augsnes dziļirdināšana (> 25 cm), saukta arī par čīzelēšanu (ang. *chieseling*), neveicot augsnes apvēršanu, bet veicot augsnes irdināšanu ar kaltiem (Peralta, Alvarez, Taboada, 2021; Topa, Cara, Jităreanu, 2021).

Reducētās augsnes apstrādes varianti parasti ietver augsnes apstrādi mazākā dziļumā – līdz 15 cm vai tikai slejās. Augsnes apstrādi slejās sauc par sleju apstrādi. Pie reducētās augsnes apstrādes parasti pieder augsnes apstrādes veidi, kuri neparedz augsnes apvēršanu, un augsnes apstrādes rezultātā uz augsnes virskārtas saglabājās >30% augu atlieku (Morris et al., 2010). Augsnes bezapstrādes tehnoloģija paredz sēklas materiāla ievadīšanu augsnē bez speciālas sēklas gultnes sagatavošanas un papildus augsnes virsmas apstrādes opcijām, atstājot priekšauga atliekas nekustinātas uz augsnes virsmas (Morris et al., 2010). Bezapstrādi sīkāk iedala kā nulles apstrādi ar augsnes atvēršanu sēklas ievadīšanai augsnē, izmantojot disku atvērēju, un kā bezapstrādi, kur notiek sēklas ievade augsnē ar zariem atverot un aizverot augsni (MacLaren, Labuschagne, Swanepoel, 2021). Bezapstrāde paredz tikai sēklas materiāla ievadīšanu augsnē.

Bieži dzirdēts augsnes apstrādes un sējas veids ir tiešā sēja, kas nozīmē, ka sēju veic rugainē viena pārbrauciena laikā bez iepriekšējas augsnes apstrādes, bet metodes tiešajai sējai var būt dažādas – gan augsnes bezapstrāde (saukta arī nulles-apstrāde), minimālā apstrāde vai dziļā apstrāde slejās, kuru laikā sagatavo sēklas gultni (Morris et al., 2010). Izmantojot tiešo sēju, tiek sajaukta mazāk nekā 1/3 augsnes virskārtas (Mitchell et al., 2016).

Augsnes apstrādi, kuru lietojot augsnes struktūru sajauc minimāli (reducētās augsnes apstrādes varianti un bezapstrādes sējas tehnoloģijas), dēvē arī par konservējošo augsnes apstrādi (Reicosky, 2015; Busari et al., 2015; De Mastro et al., 2020). Konservējošā augsnes apstrāde ir daļa no konservējošās lauksaimniecības, kuras trīs galvenie principi ir: 1) minimāla mehāniska augsnes struktūras sajaukšana, 2) augsnes virskārtas pārklāšana ar organiskām vielām, piem., augu atliekām vai starpkultūrām, 3) kultūraugu daudzveidība – pārdomāta augu maiņas veidošana (Hobbs, Sayre, Gupta, 2007). Konservējošās augsnes apstrādes sistēmas ar atlieku saglabāšanu uz augsnes virskārtas pieņem kā daudzsološu stratēģiju, lai saglabātu un atjaunotu augsnes fizikālās īpašības un augsnes organisko vielu krātuves (Vazquez et al., 2019), optimizētu ekonomiskos ieguvumus un mazinātu ietekmi uz vidi (Pretty, Toulmin, Williams, 2011).

Lietojot konservējošās augsnes apstrādes sistēmas, uz augsnes virskārtas pilnībā vai daļēji saglabā augu atliekas, kas veicina ūdens uzkrāšanos augsnē, un tajā pašā laikā aizkavē augsnes iesilšanu, kas var traucēt augu attīstībai, kā arī kavēt barības elementu uzņemšanu augam zemās augsnes temperatūrās (Van den Putte et al., 2010; Ogle, Swan, Paustin, 2012). Konservējošās augsnes apstrādes sistēmu veiksmīgi var apvienot ar pārdomātu augu maiņu un pastāvīgu augsnes virskārtas seguma nodrošināšanu veiksmīgai nezāļu ierobežošanai (Cordeau, Baudron, Adeux, 2020).

Jauns termins augsnes apstrādei, kas atrodams jaunākajā literatūrā, ir “augšnes bio-apstrāde” (angl. *bio-tillage*), kas nozīmē aramkārtas irdināšanu ar bioloģiskiem paņēmieniem.

Tas paredz starpkultūrā tādu augu sēju, kuriem raksturīga strauja sakņu sistēmas augšana, kas irdina augsnes virskārtu. Pie šādiem augiem pieskaitāmi kultūraugi ar mietsakni, jo mietsakne sniedzas dziļākos augsnes slāņos, salīdzinot ar bārksakņu sistēmu, kura galvenokārt ir izvietota aramkārtā. Augsnes bio-irdināšanu var izmantot kopā ar kādu no augsnes apstrādes variantiem (Zhang, Peng, 2021).

Viens no svarīgākajiem faktoriem, izvēloties augsnes apstrādes sistēmu, ir rentabilitāte, kas ir cieši atkarīga no kultūraugu ražības. Kultūraugu audzēšanas sistēmas ir specifiskas atkarībā no ģeogrāfiskās atrašanās vietas un audzējamā kultūrauga, piemēram, tas, kas ir piemērots vidēji sausiem reģioniem, nedarbosies mitros reģionos. Tāpat izvēle ir atkarīga no kultūrauga augšanas un attīstības īpatnības, un tas, kas uzrāda labus rezultātus sākuma etapā, var nebūt noderīgs ilgtermiņā (Schlegel et al., 2017). Sēklu laukdīdžību un dīgšanas apstākļus lielā mērā ietekmē tieši augsnes apstrādes un sējas operāciju izpildes kvalitāte (Romaneckas et al., 2019). Reducētās augsnes apstrādes sistēmas pozitīvo ietekmi uz ražības palielināšanos var novērot ilgstoši praktizējot šo augsnes apstrādi konkrētā vietā (Rusinamhodzi et al., 2011), jo bieži mērenā klimata reģionos pirmajos divos gados vērojams ražas samazinājums, bet, sākot ar trešo gadu, reducētās augsnes apstrādes variantā ražas sasniedz tradicionālas augsnes apstrādes variantu ražas (Piettelkow et al., 2015). Tomēr cits pētījums rāda, ka, praktizējot konservējošo augsnes apstrādi ilgāk par 10 gadiem, kultūraugu ražas sāk kristies, iespējams, nezāļu, kaitēkļu un slimību savairošanās dēļ (Farooq et al., 2011).

Nemainīgas augsnes apstrādes sistēmas izmantošana daudzu gadu garumā vienā dziļumā un ilgstoša augsnes bezaršanas tehnoloģijas izmantošana var veicināt augsnes sablīvēšanos, kad dabiski sastopamie augsnes slāņi ar sablīvētām augsnes daļiņām un zemu porainību veido blīvu slāni (Feng et al., 2020). Augsnes ar sablīvētu struktūru ierobežo laukaugu sakņu sistēmas attīstību, kavējot augsnes dziļākajos slāņos esošo barības vielu izmantošanu, tādējādi radot draudus augu produktivitātei un augsnes ekosistēmai (Shah et al., 2017). Salīdzinot dažādus augsnes apstrādes variantus – TA, RA un BA, novērots, ka BA palielina augsnes tilpummasu (Alskaf et al., 2021).

Salīdzinot tradicionālo augsnes apstrādi ar konservējošās augsnes apstrādes variantiem, secināts, ka augiem pieejamais produktīvā ūdens daudzums augsnē ir lielāks, izmantojot konservējošās augsnes apstrādes metodes (Schlegel et al., 2017), kā arī mitruma saturs augsnē palielinās, palielinoties augsnes tilpummasai (Orzech et al., 2021). Nokrišņu izmantošanās efektivitāte ir atšķirīga starp augsnes apstrādes variantiem šādā secībā – BA > RA > TA (Schlegel et al., 2017). Labāka augsnes ūdens uzkrāšanas spēja ir variantos, kur papildus konservējošās augsnes apstrādes praksei notiek arī augsnes dziļirdināšana, lai izjauktu aruma zoli, kura izveidojusies ilgstošas aršanas rezultātā (Latifmanesh et al., 2018). Mitruma deficīta apstākļos pirmās stresa pazīmes augiem novērotas konvencionālas augsnes apstrādes variantā, kamēr tiešās sējas variantā, un, izmantojot konservējošās augsnes apstrādes veidus, augšanai un attīstībai augiem vēl bijis pieejams produktīvais ūdens augsnes virskārtā 0–10 cm dziļumā (McVay et al., 2006). Augsnes apstrādes varianta ietekme uz augsnes mitrumu un organisko vielu daudzumu novērota galvenokārt 0–5 cm dziļumā (Alskaf et al., 2021). Piemērotākā augsnes apstrādes sistēma konkrētai vietai ir atkarīga no daudziem savstarpēji saistītiem faktoriem, un vienu augsnes apstrādes sistēmu nevar izcelt kā pārāku pār citiem (Ghaley et al., 2018).

Augsnes apstrādes sistēma ietekmē kopējo biomasas ražu, bet neatstāja būtisku ietekmi uz ražas indeksu (RI – graudu/sēklu masas attiecība pret kopējo virszemes biomasu) (Schlegel et al., 2017). Dažādus konservējošās augsnes apstrādes veidus raksturo kā laiku, resursus un enerģiju taupošus, un to pielietošana nesamazina kultūraugu, piemēram, kviešu ražību ilgtermiņā, salīdzinot ar tradicionālu augsnes apstrādi (Cárcer et al., 2019). Atsevišķos pētījumos novērota arī kviešu ražas palielināšanās un kvalitātes rādītāju uzlabošanās, pielietojot samazinātās augsnes apstrādes variantus (Biberdzic et al., 2019; Pagnani et al., 2019).

Pittelkova un kolēģi (2015) veica pasaules mērogā recenzētu publikāciju datu meta analīzi, lai novērtētu dažādu mainīgo vides faktoru ietekmi uz kultūraugu ražu, izmantojot

samazinātās augsnes apstrādes sistēmu (bezapstrādi), salīdzinājumā ar tradicionālo augsnes apstrādi. Secināja, ka piemērota augsnes apstrādes sistēma atšķīrās starp kultūraugu grupām, un vēl svarīgi faktori bija augsnes mitruma līmenis, pēcplaujas atlieku apsaimniekošana, augsnes bezapstrādes izmantošanas ilgums un lietotā slāpekļa mēslojuma norma. Bezapstrādes sistēmā iegūtās ražas eļļas augiem, tauriņziežiem un kokvilnai (*Gossypium* ssp.) sasniedz ražu līmeni, kas iegūts, lietojot tradicionālo augsnes apstrādi. Graudaugu sugām konstatēta negatīva samazinātās augsnes apstrādes ietekme – mazāk tika ietekmēti kvieši, kuru ražas samazinājums bija vidēji 2.6%, bet lielākā ietekme bija uz rīsiem (-7.5%) un kukurūzu (-7.6%). Bezapstrāde labāk attaisnojās sausā klimatā ar zemu nokrišņu daudzumu. Ražas samazinājums, lietojot augsnes bezapstrādi, salīdzinot ar tradicionālo augsnes apstrādi, pirmajā un otrajā gadā bija vērojams gandrīz visiem kultūraugiem, bet pēc 3–10 gadiem iegūtās ražas līmenis sasniedza tradicionālās augsnes apstrādes sistēmas līmeni, izņēmums bija kukurūza un kvieši, kuri audzēti optimālā mitruma apstākļos, un mitrā klimatā to ražība bija augstāka, lietojot tradicionālo augsnes apstrādi. Ražu līmenis dažādās augsnes apstrādes sistēmās bija atkarīgs arī no augu apgādes ar barības vielām, piemēram, lietojot bezapstrādes sistēmu un nelietojot slāpekļa mēslojumu, vidējais ražu samazinājums bija 12%, salīdzinot ar tradicionālo augsnes apstrādi, bet apstākļos ar lietotu minerālo slāpekļa mēslojumu, ražu starpība vidēji pētījumos bijusi ap 4% (Pittelkow et al., 2015).

Ilggadīgā izmēģinājumā ASV mālsmilts augsnē, salīdzinot augsnes apstrādes variantus, visos gados bezapstrādes tehnoloģijā pētīto kviešu ražas bijušas augstākas nekā konvencionālā apstrādē (lobšana 10 cm dziļumā ar vairākkārtēju ecēšanu pirms sējas nezāļu ierobežošanai), tomēr statistiski būtiski augstākas ražas bijušas tikai 12 no 25 gadiem. Izmēģinājumā iegūtās kviešu ražas visā pētījuma periodā bijušas zemas, bet būtiski atšķirīgas starp augsnes apstrādes variantiem – vidēji 1.73 t ha⁻¹, audzējot konvencionālā audzēšanas tehnoloģijā, 1.95 t ha⁻¹ – audzējot reducētajā apstrādē, un 2.24 t ha⁻¹ – tiešajā sējā bez augsnes apstrādes. Salīdzinot ražas struktūrelementus kviešiem, būtiskas atšķirības novērotas vārpu skaitam 1 m² starp variantiem – 800 vārpus m⁻² bezapstrādes variantā, 680 – reducētās apstrādes variantā, un 600 vārpus m⁻² – konvencionālās apstrādes variantā. Graudu skaits vārpā un graudu masa nebija būtiski atšķirīga starp dažādiem augsnes apstrādes variantiem (Schlegel et al., 2017).

Latvijā pētīja ziemas kviešu ražas veidošanos atkarībā no augsnes apstrādes variantiem TA un RA, un tajā konstatēja, ka divās pētītajās veģetācijas sezonās augsnes apstrādes variantam bijusi būtiska ietekme uz ziemas kviešu ražu un tās veidošanos. Augstākā ziemas kviešu raža un graudu skaits vārpā bija TA variantā, bet augstāks produktīvo stiebru skaits – RA variantā. Augsnes apstrādes variants neietekmēja 1000 graudu masu (Litke, Gaile, Ruža, 2017). Polijā ziemas kviešu divfaktoru izmēģinājumā ar divām augsnes apstrādes sistēmām (TA un BA) un diviem kviešu priekšaugiem secināts, ka produktīvo stiebru skaits bija augstāks TA variantā, bet 1000 graudu masa un tilpummasa kviešu graudiem bija būtiski augstāka BA variantā. Novērots, ka garāki augi bijuši tradicionālās apstrādes variantā, kas nodrošināja arī būtiski augstāku salmu ražu, tomēr vidējā graudu raža starp augsnes apstrādes sistēmām būtiski neatšķīrās (Gawęda, Haliniarz, 2021).

Polijā veiktā četru gadu ilgā pētījumā par rapša ražu un tās veidošanos tradicionālajā augsnes apstrādē un tiešajā sējā, secināts, ka tiešā sēja augsnes bezapstrādes variantā pozitīvi ietekmēja ziemas rapša ražu gados, kad bijis nokrišņu trūkums veģetācijas periodā. Gados ar pietiekamu nokrišņu daudzumu augstāka sēkļu raža iegūta tradicionālajā augsnes apstrādes variantā ar augsnes apvēršanu, nevis tiešās sējas tehnoloģijā. Ņemot vērā četru gadu pētījumā iegūtos vidējos sēkļu un salmu ražas rādītājus, laukdīdzību un augu biezību ražas novākšanas laikā, kā arī vērtējot sānzaru skaitu, galvenā dzinuma garumu un 1000 sēkļu masu, secināts, ka augstāki rādītāji iegūti tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā, salīdzinot ar tiešo sēju. Augsnes bezapstrādes tehnoloģijā iegūts lielāks sēkļu skaits pāksteņos un augstāks eļļas saturs sēklās. Netika novērota augsnes apstrādes sistēmu ietekme uz glikozinolātu saturu sēklās. Tiešās sējas laukos bija lielāks nezāļu skaits un to masa (Gawęda, Haliniarz, 2022).

Augsnes apstrādes variantu ietekmi uz lauka pupu ražu pētījis E. Šarauskis ar kolēģiem (2020) Lietuvā. Izmēģinājumā salīdzināti augsnes apstrādes varianti: dziļā aršana (23–25 cm) (kontrolē), dziļirdināšana (23–25 cm), seklā aršana (12–15 cm), seklā irdināšana (12–15 cm), tiešā sēja. Pētījums ilga trīs sezonas, kuru laikā iegūtie vidējie ražu līmeņi būtiski neatšķirās, tomēr skaitliski augstākā raža iegūta, izmantojot augsnes dziļirdināšanu – 4.41 t ha⁻¹, bet zemākā (3.86 t ha⁻¹), izmantojot seklo aršanu (Šarauskis et al., 2020). Citā lietuviešu pētījumā, kur prezentēti rezultāti iepriekš minētajās augsnes apstrādes sistēmās audzējot ziemas rapsi, ziemas kviešus un vasaras miežus, konstatēts, ka būtiskas ražas atšķirības starp augsnes apstrādes sistēmām nav novērotas. Zemāks produktīvo stiebru skaits labību sugām un augu skaits rapsim bija bezapstrādes variantā, kas skaidrojams ar lielo pēcplaujas atlieku daudzumu virs augsnes, kas pazemināja sējas kvalitāti un līdz ar to arī pazemināja sēklu laukdīdzību. Visiem pētītajiem augiem bezapstrādes variantā bijusi augstāka 1000 sēklu/graudu masa nekā pārējos variantos, kas skaidrojams ar ražas kompensācijas mehānismu, kad variantos ar zemāku augu biežību izveidojušas rupjākas sēklas (Romaneckas et al., 2019).

Vasaras miežu graudu raža un augu biomasa atkarībā no lietotās augsnes apstrādes sistēmas pētīta arī Dānijā. Secināts, ka produktivitāte pieaug šādā secībā: tiešā sēja < reducētā augsnes apstrāde < tradicionālā augsnes apstrāde. Būtiski zemākā raža iegūta tiešās sējas variantā bez augsnes priekšapstrādes, tikai ievadot sēklu augsnē 5 cm dziļumā, salīdzinot ar reducēto un tradicionālo augsnes apstrādi, kur notiek augsnes pirmssējas apstrāde (Chatskikh, Olesen, 2007). Līdzīgi rezultāti iegūti arī ASV māsmilts augsnē iekārtotā izmēģinājumā, kur vasaras miežu raža tika vērtēta dažādos augsnes apstrādes variantos ar un bez slāpekļa mēslojuma. Iegūtie rezultāti norādīja, ka vasaras miežu raža tradicionālās augsnes apstrādes variantā vidēji bija par 15% augstāka nekā tiešās sējas (augsnē bezapstrāde) variantā, un tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā tā bija augstāka gan ar slāpekli mēslotajā, gan nemēslotajā variantā, bet raža mēslotajā variantā bija augstāka nekā nemēslotajā (Machado et al., 2006). Lietuvā veiktā pētījumā rezultāti rāda, ka vasaras miežiem tiešajā sējā ar augsnes bezapstrādes tehnoloģiju bijusi zemākā raža un produktīvo stiebru skaits, salīdzinot ar augsnes apstrādes variantiem, kur izmanto gan velēnas apvēršanu, gan lobīšanu ar disku lobītāju dziļumā līdz 12 cm. Tomēr pastāvot ražas kompensācijas mehānismam, bezapstrādes variantā graudi bija ar augstāko 1000 graudu masu (Romaneckas et al., 2019).

Ķīnā veiktajā augsnes apstrādes un augu maiņu izmēģinājumā, kur kultūraugu ražu galvenais limitējošais faktors ir mitrums, secināts, ka evapotranspirācijas procesā un augsnes ūdens krājumos novēroja būtiskas atšķirības sējas un ražas novākšanas laikā, izmantojot bezapstrādi, augsnes dziļirdināšanu vai augsnes aršanu. Par aršanas trūkumu tiek uzskatīta augu atlieku iestrāde augsnē, t.i. tas, ka augsnes virskārta netiek pārklāta ar augu atliekām (Sun et al., 2018).

Dažādu augsnes apstrādes variantu izmēģinājumu rezultāts bieži vien ir cieši saistīts ar meteoroloģiskajiem apstākļiem sējas vai augsnes apstrādes laikā, kas secināts arī Zviedrijā veiktā pētījumā. Piecu gadu lauka izmēģinājuma rezultāti ar augu maiņu, kurā piecus gadus iekļauti graudaugi, neparādīja atšķirīgu dažādu augsnes apstrādes sistēmu, piemēram, augsnes lobīšana, tiešā sēja un augsnes aršana ar velēnas apvēršanu, ietekmi uz ziemas kviešu ražību piemērotos apstākļos. Būtiskas ziemas kviešu ražu atšķirības novērotas vienā no pētījuma gadiem, kad izmantoja reducētās augsnes apstrādes metodes un tiešo sēju, kviešus sējot atkārtoti pēc kviešiem, un šīs ražas atšķirības vairāk bija saistāmas ar pārāk mitriem apstākļiem augsnes apstrādes laikā (Arvidsson, 2010).

Par negatīvo reducētās un konservējošās augsnes apstrādes pusi tiek uzskatīta nezāļu savairošanās (Kadziene et al., 2020). Salīdzinot minimālās augsnes apstrādes variantus – reducēto augsnes apstrādi ar disku lobītāju un bezapstrādi, konstatēts, ka nezāļu skaits sējumā samazinās, lietojot augu maiņu un izmantojot reducēto apstrādi, bet nezāļu skaita samazināšanās bezapstrādes variantā netika novērota (MacLaren, Labuschagne, Swanepoel, 2021).

Francijā salīdzināta tradicionālās augsnes apstrādes, reducētās augsnes apstrādes un bezapstrādes (lietojot glifosātu) ietekme uz kviešu sējuma nezāļainību un ražību izmēģinājumā, kurš iekārtots laukā, kur augsnes apstrādei 17 gadus nav izmantota augsnes apvēršana. Secināts, ka lielākais nezāļu skaits un sugu daudzveidība bijusi RA variantos, vidējais TA variantā, bet zemākais BA (kas varētu būt skaidrojams ar glifosāta lietojumu). Kviešu graudu skaits vārpā un ražība pieauga līdz ar izmantotās augsnes apstrādes sistēmas intensitāti (RA +11%, TA +31%). Ziemas kviešu produktivitātes atšķirības, iespējams, saistāmas ar augsnes struktūras uzlabošanu un augsnes organisko vielu mineralizāciju. Neregulāras augsnes apvēršanas iespējamie ieguvumi ir atkarīgi no apvērstās augsnes nezāļu sēkļu bankas (Cordeau, Baudron, Adeux, 2020).

Augsnes apstrādes intensifikācija palielina augsnes eroziju un veicina augsnes organiskā oglekļa samazināšanos, bet augsnes apstrādi var veiksmīgi samazināt, izmantojot pārdomātu augu maiņu (Jin et al., 2021). Konservējošās augsnes apstrādes prakses ieviešana, kas ietver samazinātu augsnes apstrādi, un precīzas barības vielu nodrošināšanas stratēģijas var uzlabot augsnes auglību, kvalitāti un oglekļa sekvestrācijas potenciālu, kā arī kultūraugu ražīgumu smilšmāla augsnēs, secinājuši Indijas pētnieki. Augsnes apstrāde ietekmē augsnes fizikālo stāvokli. Organiskā viela ir svarīga arī, lai saistītu augsnes minerālu daļiņas. Svaigas pēcplaujas atliekas ir nepārtraukts labila organiskā oglekļa avots, tās iekapsulējās augsnes makroagregātos un ir daļa no tiem. Mineralizācijas pakāpe pieaug, augsnes makroagregātiem pārveidojoties par mikroagregātiem. Augsnes agregātu stabilitāte var aizsargāt augsnes organisko oglekli no mineralizācijas, jo tas fiziski samazina organisko savienojumu pieejamību mikroorganismiem, fermentiem un skābekļa piekļuvei. Augsnes organiskā viela, kura saistīta ar makroagregātiem, bija nestabilāka un mazāk mineralizējusies nekā ar mikroagregātiem saistītā (Parihar, Singh, Jat, 2020).

Augu pēcplaujas atliekas, kuras atstātas augsnē, lai palielinātu organisko vielu daudzumu, uzlabo augsnes ūdens aizturēšanas spēju, nodrošina labāku ūdens infiltrāciju, mazāku produktīvā ūdens noteci un mitruma saglabāšanos, kas veicina arī slieku aktivitāti. Pēcplaujas atlieku saglabāšana uz lauka pēc ražas novākšanas uzlabo arī augsnes mikrobioloģisko aktivitāti (Jat et al., 2019). Augu atliekas, kuras atstātas uz augsnes virskārtas, mineralizējās 1.5–3 reizes lēnāk nekā tās, kuras iestrādātas augsnē (Gupta, Ladha, 2010).

Neskatoties uz dažādajiem pozitīvajiem aspektiem, izmantojot reducēto augsnes apstrādi, liela daļa ražotāju joprojām labprātāk izmanto tradicionālo augsnes apstrādes tehnoloģiju (Findlater, Kandlikar, Satterfiel, 2019; Kassam, Friedrich, Derpsch, 2019), jo tradicionālā augsnes apstrāde ir efektīvs kaitīgo organismu ierobežošanas pasākums, lai samazinātu pielietojamo fungicīdu un herbicīdu daudzumu (Andert et al., 2016). Tomēr samazinātā augsnes apstrāde ļauj taupīt uz izejvielu izmaksām, uzlabot augsnes ūdens saistīšanas spēju un organiskā oglekļa daudzumu augsnē, tāpēc tā tiek uzskatīta par ilgtspējīgas lauksaimniecības praksi ilgtermiņā (Li et al., 2019).

Pārejot uz konservējošās augsnes apstrādes sistēmu, lauksaimniekiem ir grūti virzīties bioloģiskās lauksaimniecības virzienā, jo konservējošā augsnes apstrāde neparedz augsnes apvēršanu, kas ir daļa no veiksmīgas agrotehnikas nezāļu ierobežošanai bioloģiskās saimniecībās, un pretēji – bioloģiskā saimniekošana aizliedz herbicīdus, lai ierobežotu nezāles (Cordeau, Baudron, Adeux, 2020). Īpaši izaicinoša ir daudzgadīgo nezāļu ierobežošana konservējošās augsnes apstrādes sistēmā (Naeem et al., 2021), kā arī slimību izplatības ierobežošana reducētās augsnes apstrādes sistēmās (Bankina et al., 2022).

Teritorijās, kurās augi cieš no sausuma un ir klasificējamās kā pussausās teritorijas, augstākas kultūraugu ražas iegūst, izmantojot augsnes bezapstrādes tehnoloģiju, kamēr mēreni mitros reģionos audzētāji pieļauj nelielus ražas samazinājumus augsnes bezapstrādes tehnoloģijā, jo ekonomiskais ieguvums tomēr ir augstāks nekā pielietojot tradicionālo augsnes apstrādi samazinātu ražošanas izmaksu dēļ (Hansen, Munkholm, Olesen, 2011; Soane et al., 2012; Karlen et al., 2013). Lai arī, piemēram, ziemas kvieši ir piemēroti audzēšanai sausa klimata apstākļos, ražas samazinājums sausuma iespaidā tiek novērots (Musick et al., 1994).

Ķīnā par efektīvu pieeju apstiprinājusies augsnes apstrādes sistēmu ikgadēja maiņa, piemēram, pēc augsnes bezapstrādes sekojoša dziļirdināšana vai apvēršana noveda pie kviešu ražas paaugstinājuma, salīdzinot ar ilggadīgu aršanas izmantošanu (Zhang et al., 2019).

1.4. Laukaugu biomasas enerģētiskā produktivitāte

Lai dažādu sugu kultūraugu produktivitāti varētu savstarpēji salīdzināt, nepieciešams to masu pārvērst vienotā salīdzināšanas sistēmā, piemēram, biomasā akumulētajā enerģijā (GJ ha^{-1}) (Zentner et al., 2004; Alluvione et al., 2011). Kopēju enerģijas ražu no laukaugu audzēšanas var aprēķināt, ņemot vērā kultūrauga sēklu / graudu enerģijas ražu, vai visas kopējās biomasas enerģijas ražu (sēklas / graudi un pēcplaujas atliekas) (Hülsbergen, Feil, Diepenbrock, 2002). Organisko vielu uzkrāšanās kultūraugu biomasā notiek fotosintēzes procesā, kur primārais enerģijas avots ir saule, bet tās uzkrāšanās efektivitāti ietekmē gan regulējamie, gan neregulējamie faktori (Gastal et al., 2015).

1.4.1. Kultūraugu ražas enerģētiskās vērtības noteikšana

Dažādiem kultūraugiem ir atšķirīga enerģētiskā vērtība (MJ kg^{-1}) (Alluvione et al., 2011). Līdzīgi arī dažādām kultūrauga biomasas daļām ir atšķirīga enerģētiskā vērtība, piemēram, graudiem un salmiem, sēklām un stiebriem, jo atšķirīga ir to ķīmiskā uzbūve (Zhang, Xu, Champagne, 2010). Biomasas sastāvdaļas (piem., celuloze, hemiceluloze, lignīns, lipīdi, cukuri, ūdens, ogleklis, pelni u.c.) dažādu sugu augos un to daļās (piem., salmi un graudi) ir atšķirīgos daudzumos un attiecībās (Erol, Haykiri-Acma, Küçükbayrak, 2010). Augu daļās akumulēto vielu daudzumu ietekmē ārējie faktori, ieskaitot cilvēka izvēlētos agrotehniskos pasākumus (sēklas materiāls, mēslošanas sistēma u.c.) (Dai et al., 2016). Biomasas komponentu koncentrācija mainās atkarībā no audu veida, augu attīstības fāzes, kurā iegūst biomasu, un augšanas apstākļiem (Zhang, Xu, Champagne, 2010).

Biomasas enerģētiskās vērtības noteikšanai var izmantot dažādus matemātiskos modeļus (Vargas-Morenoa et al., 2012) vai var izmantot automātiskās iekārtas, piemēram, skābekļa bumbas kalorimetru (Erol, Haykiri-Acma, Küçükbayrak, 2010). Enerģētisko vērtību sauc arī par kalorifisko vērtību, sadegšanas siltumu vai enerģētisko ietilpību (Friedl et al., 2005; Erol, Haykiri-Acma, Küçükbayrak, 2010; Vargas-Morenoa et al., 2012). Enerģētiskā vērtība pētījumos sīkāk iedalās augstākajā sadegšanas siltumā (vai bruto kalorifiskā vērtībā) (Friedl et al., 2005) un zemākajā sadegšanas siltumā (vai neto kalorifiskajā vērtībā) (Erol, Haykiri-Acma, Küçükbayrak, 2010). Atšķirība starp augstāko un zemāko sadegšanas siltuma vērtību ir ūdens tvaika enerģētiskā ietilpība, kas rodas sadegšanas procesā, un zemākās vērtības gadījumā ūdens daudzums augā netiek ieskaitīts enerģētiskajā vērtībā. Ar skābekļa bumbas kalorimetru tiek iegūta augstākā sadegšanas siltuma vērtība, kurā tiek ģenerēts vairāk siltuma (Friedl et al., 2005).

Graudaugu, pākšaugu un eļļas augu blakusproduktus to sastāva dēļ var izmantot bioenerģijas ražošanā, taču tas nav saprātīgs ilgtermiņa risinājums, jo salmi ir nepieciešami augsnes organisko vielu un barības vielu krājumu palielināšanai augsnē (Bauer et al., 2007; Hernanz et al., 2014). Tomēr augu biomasu ir svarīgs atjaunojamās enerģijas avots, kuram kā enerģijas avotam ir gan ekonomiskas, gan ekoloģiskas priekšrocības (Erol, Haykiri-Acma, Küçükbayrak, 2010). Ražojot siltumenerģiju no materiāliem, kas iegūti no augu biomasas, sadegšanas procesā tie neizdala atmosfērā vairāk oglekļa dioksīda nekā tie absorbē fotosintēzes procesā savas dzīves laikā, līdz ar to tas neatstāj nozīmīgu ietekmi uz siltumnīcas efekta gāzu palielināšanos atmosfērā (Sakalauska et al., 2011; Qi et al., 2018).

Dažādu augu enerģētiskā vērtība ir pētīta Turcijā. Kādā no pētījumiem ir secināts, ka enerģētiskā vērtība ir cieši saistīta ar pelnu saturu auga daļās – jo lielāks ir pelnu saturs, jo

zemāks saražotā siltuma daudzums un attiecīgi – enerģētiskā vērtība (Demirbas, 2002), un enerģētiskajai vērtībai ir cieša pozitīva korelācija ar lignīna saturu auga daļās (Demirbas, 2001). Pētnieks A. Demirbas (2002) ir arī apkopojis literatūru par agrākiem pētījumiem enerģētisko vērtību noteikšanai. Morrisons un Boids 1983. gadā rakstīja, ka enerģētiskās vērtības pieaug pie lielāka oglekļa un ūdeņraža daudzuma un to attiecības ar skābekli (Morrison, Boyd, 1983, citēts no Demirbas, 2002).

Latvijā plašāk audzētie kultūraugi ir graudaugi un eļļas rapsis. Šo augu izmantošanas virzieni un enerģētiskā vērtība ir pētīti gan pasaulē, gan Latvijā. Labību graudu produkcijas izmantošanas veidi visbiežāk ir pārtika un lopbarība. Graudiem ir salīdzinoši augsta enerģētiskā vērtība, tāpēc tie ir derīgi arī bioenerģijas ražošanai, piemēram, bioetanolam, kur bioetanolā iznākums ir tieši saistīts ar augstu cietes saturu graudā, un tāpēc enerģijas ražošanai ir vēlams zems proteīna daudzums graudos (Jansone, Gaile, 2012; 2013). Kviešu salmi arī tiek izmantoti bioenerģijas ražošanai, tas ir bioetanolam, pateicoties augstajai enerģētiskajai vērtībai, ko veido augsts celulozes sastāvs salmos (Dai et al., 2016; Townsend, Sparkes, Wilson, 2017). Enerģētiskā vērtība ir atkarīga no audzēšanas tehnoloģijas, kura būtu jāizvēlas atbilstoši vēlamajam produkcijas ražošanas mērķim – pārtika, lopbarība, bioenerģija.

Vācijā ilgtermiņa izmēģinājumā noteikta augstākā enerģētiskā vērtība dažādiem kultūraugiem: ziemas kviešu graudiem – 18.6 MJ kg⁻¹; ziemas kviešu salmiem – 17.7 MJ kg⁻¹; vasaras miežu graudiem – 18.4 MJ kg⁻¹; vasaras miežu salmiem – 18.1 MJ kg⁻¹ (Hülsbergen, Feil, Diepenbrock, 2002). Līdzīga kviešu graudu enerģētiskā vērtība iegūta arī Kanādā ilgtermiņa izmēģinājumā ar dažādiem augsnes apstrādes variantiem – 18.7 MJ kg⁻¹ (Zentner et al., 2004). Atšķirīgas ziemas kviešu salmu enerģētiskās vērtības minētas Ungārijā veiktā pētījumā (noteiktas ar skābekļa bumbas kalorimetru), kur augstākā enerģētiskā vērtība bijusi 16.4 MJ kg⁻¹, bet zemākā – 14.9 MJ kg⁻¹ (Sebestyén et al., 2012), jāpiebilst, ka šajā publikācijā nebija atrodama papildus informācija par kviešu graudu ražu un audzēšanas tehnoloģiju.

Dažādu ziemāju labību sugu enerģētiskā vērtība noteikta arī Latvijā, kur secināts, ka, salīdzinot graudu un salmu sausnas enerģētisko vērtību, augstāka tā ir salmiem. Tajā pašā laikā tika konstatēts, ka lielāka sausnas raža iegūta tieši no graudiem salīdzinājumā ar salmiem, līdz ar to lielāks kopējais enerģijas iznākums iegūstams tieši no graudiem (Jansone, Gaile, 2015). Tāda pati enerģētiskās vērtības sakarība novērota arī Vācijā. Ziemas kviešu un tritikāles enerģētiskās vērtības bija atbilstoši 17.0 un 16.9 MJ kg⁻¹, bet šo sugu salmiem – 17.2 un 17.1 MJ kg⁻¹ (Boehmel, Lewandowski, Claupein, 2008).

Rapša sēklām ir augsta enerģētiskā vērtība, kas apliecināts dažādos pētījumos, kur veica mērījumus sēklu energoietilpībai. Piemēram, Vācijā eksperimentā noskaidrots, ka rapša sēklu zemākā sadegšanas siltuma vērtība ir krietni lielāka nekā salmu vērtība: attiecīgi 26.5 un 17.1 MJ kg⁻¹ (Boehmel, Lewandowski, Claupein, 2008). Polijā trīs gadu izmēģinājumā tika pētīta ziemas rapša audzēšanas enerģētiskā efektivitāte. Pētījumā secināts, ka, izmantojot intensīvu audzēšanas tehnoloģiju, iegūts vislielākais saražotās enerģijas daudzums: 268.5 GJ ha⁻¹. Intensīvā tehnoloģija ietvēra augsnes apstrādi pirms sēšanas, hibrīdās sēklas materiālu, NPKS mēslojumu, nezāļu ierobežošanu, izmantojot herbicīdus, kā arī trīs insekticīdu un trīs fungicīdu izsmidzināšanu. Enerģētiskā vērtība, kas iegūta rapša sēklām, audzējot tās intensīvā tehnoloģijā, bija ievērojami augstāka salīdzinājumā ar mazākus ieguldījumus prasošām tehnoloģijām. Salmi neuzrādīja būtiskas enerģijas ražošanas atšķirības atkarībā no lauksaimnieciskās darbības intensitātes. Rapša enerģētiskā vērtība bija: sēklām – 25.7 MJ kg⁻¹, salmiem – 16.4 MJ kg⁻¹. Kopējā no sēklām iegūtā enerģija intensīvas audzēšanas tehnoloģijā bija 100.2 GJ ha⁻¹, bet zemas intensitātes tehnoloģijā – 81.1 GJ ha⁻¹. Šajā pētījumā rapša sēklu masa sastādīja aptuveni 30% no kopējās virszemes biomasas (sēklas 4.17 t ha⁻¹, salmi – 10.31 t ha⁻¹) (Budzyński, Jankowski, Jarocki, 2015).

Izpētot dažādu augu maiņas iekļauto laukaugu enerģētisko vērtību, secināts, ka starp dažādiem kultūraugiem pastāv atšķirības, piem., kukurūzas graudiem augstākā enerģētiskā vērtība bija aptuveni 18.9 MJ kg⁻¹, kviešu graudiem – 18.4 MJ kg⁻¹, sojas sēklām – 23.65 MJ kg⁻¹ (Alluvione et al., 2011), rapša sēklām – 26.5 MJ kg⁻¹ (Boehmel, Lewandowski,

Claupein, 2008), cukurbietēm – 17.4 MJ kg⁻¹, kartupeļiem – 17.6 MJ kg⁻¹ (Koga, 2008), lauka pupām – 16.2 MJ kg⁻¹ (Crepon et al., 2010). Labības, eļļas augu un pākšaugu pēcplaujas atlieku enerģētiskās vērtības būtiski neatšķirās (Alluvione et al., 2011; Strašil, Vach, Smutný, 2015), bet zemāka tā bija cukurbiešu (16.6 MJ kg⁻¹) un kartupeļu (13.6 MJ kg⁻¹) virszemes ražas atliekām (Koga, 2008).

1.4.2. Augu maiņas un augsnes apstrādes ietekme uz enerģijas ražu

Kopējā iegūtā enerģijas raža no platības vienības ir atkarīga no biomasas enerģētiskās vērtības un ražas un pēcplaujas atlieku masas. Kultūraugu ražību var ietekmēt lietotie agrotehniskie paņēmieni, šķirnes potenciāls un meteoroloģiskie apstākļi (Dai et al., 2016). Pasaulē tiek pētīta ne tikai iegūstamā enerģija no ražošanas vienības (ha), bet arī enerģijas starpība starp iegūto enerģiju (turpmāk – enerģijas raža) un ražošanas procesā ieguldīto enerģiju, ko sauc par neto enerģiju, un enerģijas ražas un ieguldītas enerģijas attiecību, ko sauc arī par enerģētisko produktivitāti (Hülsbergen, Feil, Diepenbrock, 2002; Zentner et al., 2004; Strašil, Vach, Smutný, 2015).

Dažādu augu maiņu un augsnes apstrādes sistēmu ietekme uz kultūraugu enerģijas ražu pasaulē ir vērtēta jau iepriekš. Pētījumos Kanādā (Zentner et al., 2004) ziemas kvieši tika audzēti atkārtotos sējumos smagā māla augsnē ar pH 6.7–7.0. Ziemas kviešu graudu enerģijas raža bija vidēji 45.7 GJ ha⁻¹ (pie vidējā graudu ražas līmeņa izmēģinājumā <3 t ha⁻¹, salmi enerģijas aprēķinā netika ņemti vērā, jo tie tika iestrādāti augsnē). Novērots kviešu enerģijas ražas pieaugums par aptuveni 22%, ja kvieši audzēti pēc līnēm, salīdzinot ar atkārtotiem kviešu sējumiem. R.P. Zentners un kolēģi uzskata, ka šī ietekme ir saistīta ar sakņu un lapu slimību nomākšanu, pateicoties augu dažādošanai augu maiņā. Analizējot augsnes apstrādes sistēmu ietekmi uz ziemas kviešu audzēšanu, secināts, ka nulles-apstrāde (BA) neietekmē ziemas kviešu enerģijas ražu salīdzinājumā ar tradicionālo augsnes apstrādi (TA). Tajā pašā pētījumā eļļas augi (lini) un pākšaugi (zirņi), kas iekļauti augsekā pēc graudaugiem, nodrošināja augstāku enerģijas ražu, pielietojot konservējošās augsnes apstrādes sistēmas (RA un BA) – par 13% līnēm un par 7% zirņiem, salīdzinot ar TA. Šajā eksperimentā augsnes apstrādes sistēmai bija neliela ietekme uz kviešu enerģijas ražu bezmaiņas sējumos. Tomēr enerģijas raža graudaugu un eļļas augu maiņā, lietojot RA, bija ievērojami augstāka, salīdzinot ar TA un BA. Enerģijas raža, kura aprēķināta, audzējot ziemas kviešus pēc graudaugiem (kviešiem vai miežiem), izmantojot dažādas augsnes apstrādes sistēmas, būtiski neatšķirās (42.2 GJ ha⁻¹ TA, 39.7 GJ ha⁻¹ RA, 41.5 GJ ha⁻¹ BA), taču tā bija ievērojami augstāka, ja kvieši tika audzēti pēc rapša (51.0 GJ ha⁻¹ TA, 50.7 GJ ha⁻¹ RA, 48.8 GJ ha⁻¹ BA). Šī pētījuma rezultāti parādīja, ka konservējošās augsnes apstrādes sistēmas, salīdzinājumā ar tradicionālo augsnes apstrādi, parādīja tikai nelielu enerģijas ražas samazinājumu, izmantojot reducēto un nulles-apstrādi. Autori secināja, ka, dažādojot augus augu maiņā un izmantojot dažādas augsnes apstrādes sistēmas, var iegūt ražas pieaugumu un palielināt atjaunojamās enerģijas izmantošanas efektivitāti (Zentner et al., 2004).

Arī agrākos pētījumos Kanādā (Nagy et al., 2000) neatrada būtiskas atšķirības kultūraugu ražībai, pielietojot intensīvākas un mazāk intensīvas augsnes apstrādes tehnoloģijas. Tomēr, ja salīdzina enerģijas ražas iznākumu no dažādām augu maiņām, tad tā atšķirās būtiski. Augstākā vidējā enerģijas (57.1 GJ ha⁻¹) raža iegūta augu maiņā, kur audzēts rapsis un tam sekoja graudaugi trīs gadus (kvieši-mieži-mieži). Nedaudz zemāks enerģijas ražas (54.7 GJ ha⁻¹) iznākums iegūts no augu maiņas varianta rapsis-mieži-zirņi-kvieši, bet būtiski zemākais enerģijas ražas (44.9 GJ ha⁻¹) iznākums bijis no augu maiņas ar iekļautiem diviem eļļas augiem: rapsis-zirņi-lini-mieži. Graudu un sēkļu ražas šajā eksperimentā bija šādas: miežiem 2.6 – 3.8 t ha⁻¹, kviešiem 2.8 – 5.0 t ha⁻¹, rapsim 1.8 – 2.1 t ha⁻¹. Salmu enerģijas raža netika iekļauta uzrādītajā enerģijas aprēķinā (Nagy et al., 2000).

Nebūtiska augsnes apstrādes sistēmu ietekme uz ziemas kviešu, vasaras miežu un balto sinepju (*Sinapis alba*) ražu un virszemes biomasā akumulēto enerģijas iznākumu konstatēta arī Čehijā. Pētījumā izmantoti trīs augu maiņas varianti kopā ar trīs augsnes apstrādes sistēmām (TA, RA un BA). Kopējās biomasas (graudi un salmi) enerģijas raža ziemas kviešiem bija 175.6 GJ ha⁻¹, miežiem – 149.1 GJ ha⁻¹ un baltajām sinepēm – 87.3 GJ ha⁻¹. Ziemas kviešiem šajā izmēģinājumā bija arī visaugstākā graudu un pēcplaujas atlieku masa (Stražil, Vach, Smutný, 2015).

Vācijā Hülsbergens un Kalks (2001) konstatēja, ka ziemas kviešu bezmaiņas sējumi uzrādīja zemāku neto enerģijas ieguvu (168 GJ ha⁻¹), salīdzinot ar ziemas kviešu audzēšanu augu maiņā, kur iekļauts āboliņš (*Trifolium* sp.) (218 GJ ha⁻¹ vidēji gadā no augu maiņas ar 20% āboliņa) vai pēc lucernas (*Medicago sativa*) (226 GJ ha⁻¹ vidēji gadā no augu maiņas ar 40% lucernu) (Hülsbergen, Kalk, 2001, citēts no Hülsbergen, Feil, Diepenbrock, 2002). Kanādā ir secināts, ka nav būtiskas atšķirības starp kviešu ražu un enerģijas ražu, ja priekšaugi bija zirņi vai rapsis (Nagy et al., 2000).

Enerģijas ražas ieguve no augu maiņām studēta arī Japānas galvenajā augkopības reģionā Tokači. Tradicionāla augu maiņa šajā reģionā ir ziemas kvieši-cukurbietes (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*)-pupas-kartupeļi (*Solanum tuberosum*). Lielākā enerģijas raža no hektāra tika iegūta no cukurbiešu saknēm – 252 GJ ha⁻¹ (kopējā enerģija, ieskaitot biomasas atliekas – lapas, stublājus – 346 GJ ha⁻¹), ja cukurbiešu sakņu sausas ražas bija 20 t ha⁻¹. Šajā pētījumā enerģētiskā vērtība, kura noteikta ar skābekļa bumbas kalorimetru, ziemas kviešu graudiem sasniedza 19.1 MJ kg⁻¹, bet salmiem – 18.4 MJ kg⁻¹ (salmu enerģētiskā vērtība bija līdzīga kā augstāk aprakstītajos pētījumos; tādas pašas vērtības iegūtas arī vignām (*Vigna angularis*), atbilstoši sēklām un salmiem. Kartupeļi un cukurbietes uzrādīja zemāku enerģētisko vērtību uz kilogramu sausas, bet tiem bija krietni augstākas ražas nekā labībām un pākšaugiem, piem., cukurbiešu sakņu sausas raža šajā izmēģinājumā bija 2.5 reizes augstāka nekā kviešiem, bet ražas enerģijas iznākums bija 2.3 reizes augstāks, salīdzinot ar ziemas kviešiem (Koga, 2008). Cukurbietes uzrādījušas augstāko enerģijas ražu arī citos pētījumos (Hülsbergen, Feil Diepenbrock, 2002). Tādējādi, iekļaujot cukurbietes vai kartupeļus augu maiņā starp graudaugiem, ir iespējams iegūt lielāku kopējo enerģijas ražu no augu maiņas, jo šie augi nodrošina lielāku enerģijas ražu no hektāra, salīdzinot ar graudaugiem (Koga, 2008).

Austrijā pētīta enerģijas raža no īpaši izveidotām augu maiņām, ieskaitot enerģētiskos kultūraugus un tradicionālos kultūraugus, kurus izmanto pārtikā, lopbarībā un atjaunojamās enerģijas ražošanā (kukurūza, ziemas kvieši, vasaras mieži, cukurbietes, saulespuķes). Lai iegūtu augstāku produktivitāti no augu maiņas, tika ieviestas starpkultūras: āboliņš un lucerna, kurus sēja pirms vasarājiem (miežiem un kukurūzas) (Bauer et al., 2007).

Vācijā salīdzināja tradicionālu laukaugu maiņu ar atkārtotajiem un daudzgadīgajiem sējumiem, pielietojot diferencētas slāpekļa normas, un atsevišķiem izmēģinājumā iekļautajiem kultūraugiem (ziemas rapsim, ziemas kviešiem, ziemas tritikālei) pētīts enerģijas iznākums arī divos augsnes apstrādes variantos – TA un BA. Tradicionālajā augu maiņā tika iekļauts rapsis un graudaugi – ziemas kvieši, tritikāle. Vidējā enerģijas raža gadā no šīs rotācijas bija no 100 GJ ha⁻¹ variantā bez slāpekļa mēslojuma un ar augsnes BA tehnoloģiju; līdz 262 GJ ha⁻¹ variantā ar slāpekļa normu – ziemas kviešiem – 160 kg ha⁻¹ un ziemas rapsim – 240 kg ha⁻¹ abās augsnes apstrādes tehnoloģijās. Salīdzinot vidējo gada enerģijas ražu starp tradicionālu laukaugu augu maiņu, kur pielietotas augstas slāpekļa normas, un augu maiņu no ilggadīgiem augiem, tad laukaugu augu maiņa deva augstāku enerģijas ražu nekā, piemēram, īstā sāre (*Panicum virgatum*); netika konstatēta arī būtiska atšķirība starp tradicionālo augu maiņu un vītoli (*Salix alba*) un miskantes (*Miscanthus* sp.) enerģijas ražu gadā (Boehmel, Lewandowski, Claupein, 2008).

Augsnes apstrādes sistēmas ietekme uz augsekā vidēji iegūto enerģijas ražu pētīta arī Latvijā ilgtermiņa eksperimentā (no 1983. līdz 2002. gadam). Sešu laukaugu augsekā ietilpa šādas sugas: ziemas kvieši, auzas, mieži, mieži pasējā ar stiebrzāļu – āboliņa maisījumu, un sekojošs stiebrzāļu – āboliņa maisījums divus gadus. Pētītās augsnes apstrādes sistēmas bija

(1) ikgadēja dziļa aršana; (2) ik gadu augsnes lobīšana ar disku lobītāju + dziļa aršana vienu reizi augsekas ciklā pirms ziemas kviešiem; (3) līdzīga apstrāde kā (2) variants, bet ar dziļu aršanu pirms zālaugu sēšanas. Pētījumā pierādījās, ka vidējā augsekas enerģijas produktivitāte bija augstāka variantā, kur aršana veikta katru gadu ((1) variants), bet būtiski neatšķīrās iegūtā enerģija no (2) varianta. Kopumā no agronomijas viedokļa vidējās sēkļu ražas un enerģijas ražas samazinājums starp augsnes apstrādes sistēmām nebija nozīmīgs (Krogere et al., 2005).

Lauka pupu audzēšanas enerģētisko produktivitāti atkarībā no lietotās augsnes apstrādes sistēmas pētījuši zinātnieki Lietuvā. Augstākā lauka pupu sēkļu un enerģijas raža bija variantā, izmantojot seklu aršanu (12–15 cm dziļumā), salīdzinot ar dziļu aršanu >23 cm, dziļirdināšanu >23 cm, seklu irdināšanu (12–15 cm), tiešo sēju, bet zemākās CO₂ emisijas no augsnes (481 CO_{2eq} ha⁻¹) konstatētas tiešās sējas variantā. Pētījuma gaitā izteikts secinājums, ka mazāk intensīvai un augsnei draudzīgākai augsnes apstrādes praksei ir mazāka ietekme uz vidi un vienlaikus tiek uzlabota audzēšanas enerģētiskā efektivitāte, nesamazinot ražu (Šarauskijs et al., 2020).

Enerģijas ražu lielā mērā ietekmē tieši biomasas raža. Graudu / sēkļu un salmu attiecība dažādām sugām un arī šķirnēm sugas ietvaros ir atšķirīga, turklāt pa gadiem tā var būt mainīga arī meteoroloģisko apstākļu ietekmē. ASV salmu ražas un ražas indeksa (RI) saistība tika pētīta dažādos kviešu audzēšanas reģionos (astonošos štatos) un dažādām kviešu šķirnēm. Vidējais pētījumā aprēķinātais RI bija 0.45. Rezultāti parādīja, ka mīkstajiem baltajiem kviešiem bija visaugstākā graudu (7.6 t ha⁻¹) un salmu (9.4 t ha⁻¹) raža (RI – 0.49), mīkstajiem sarkanajiem ziemas kviešiem bija visaugstākais RI (0.61), zemākā salmu (3.4 t ha⁻¹) raža un zemākā kopējā virszemes biomasas (8.6 t ha⁻¹). RI neliecina par to, ka augstāka graudu raža vienmēr ir saistīta ar augstu ražas indeksu, tā norāda uz graudu/sēkļu īpatsvaru kopējā biomasā (Dai et al., 2016). Kā izpētīts iepriekš, kviešu salmus var izmantot arī bioenerģijas ražošanai (Townsend, Sparkes, Wilson, 2017), un pētnieki no Lielbritānijas piedāvā veidot jaunas kviešu šķirnes tieši ar paaugstinātu salmu ražu. Lielbritānijas lauksaimnieki, kas papildus augkopībai ražo lopkopības produktus, ir ieinteresēti audzēt arī šādas šķirnes. Lielāku salmu ražu var iegūt, galvenokārt palielinot stiebru garumu (Townsend, Sparkes, Wilson, 2017).

1.5. Organiskā oglekļa uzkrāšanās augsnē atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas

Pasaules mēroga aktualitāte ir oglekļa uzkrāšanās augsnē skaidrošana un krājumu palielinošas lauksaimniecības prakses meklējumi. Produktīvai augu produkcijas ražošanai svarīgs priekšnosacījums ir organisko vielu klātbūtne augsnē. Augsnes virskārtā lielākajā daļā aramzemju akumulējas 2–10% organisko vielu (Bot, Benites, 2005). Pēc Valsts augu aizsardzības dienesta monitoringa 2021. gadā lielākajā daļā Latvijas lauksaimniecībā izmantojamās zemes organisko vielu saturs ir optimāls: 2.1–3.0% (39.3% no lauksaimniecībā izmantojamās zemes) un 3.1–5.0 % (46% no pētītās lauksaimniecībā izmantojamās zemes)⁷.

Augsnes organiskā oglekļa daudzums augsnē ir proporcionāls organisko vielu saturam augsnē. Augsnes organiskais ogleklis ir oglekļa saturs augsnes organiskajās vielās (Kārklīšs, 2012). Organiskā oglekļa monitoringā iegūtie rezultāti norāda, ka tā krājumi augsnē samazinās (Heikkinen et al., 2013).

Augsnes organiskais ogleklis (C_{org}) ir galvenais elements, kas nosaka augsnes kvalitāti, auglību, lauksaimniecības rentabilitāti un oglekļa dioksīda piesaisti no atmosfēras. C_{org} ietekmē augsnes fizikāli ķīmiskās un bioloģiskās īpašības, kas vienlaikus uzlabo augsnes struktūru, ūdens un barības vielu aiztures spēju (Johns et al., 2015; Sharma et al., 2019).

Ogleklis ir galvenā sastāvdaļa augu un dzīvnieku veidotajām organiskām vielām – augi to piesaista no atmosfēras fotosintēzes procesā, dzīvnieki – galvenokārt, patērējot augu barību.

⁷ *Augsnes monitoringa rezultāti 2021. gadā.* VAAD [Tiešsaiste] [skatīts 01.01.2024] Pieejams: <https://www.vaad.gov.lv/lv/media/3437/download?attachment>

Ogleklis, mineralizējoties augu atliekām, uzkrājas augsnē un tālāk atkal var būt izmantojams augiem. Organisko vielu noārdīšanās un oglekļa atbrīvošanās notiek dažādu mikroorganismu darbības rezultātā, piemēram, baktēriju un sēņu (piem. Schnitzer, Monreal, 2011). Kultūraugu ražas lielums pozitīvi korelē ar augsnes organisko vielu saturu (Jankauskas, Jankauskienė, Fullen, 2007). Ilgtspējīgas augsnes apsaimniekošanas uzdevums ir augsnes organiskā oglekļa krājumu palielināšana, palielinot pasīvā un nelabilā oglekļa daudzumu augsnē (Lal, Kimble, 1997).

Lauksaimniecība ir intensīvākais augsnes izmantošanas veids, jo, ražojot augkopības produkciju, no laukiem ar ražu ik gadu aizvāc lielu daudzumu organiskās masas (Haber et al., 2007), kā arī augsnes sagatavošana kultūraugu audzēšanai, sevišķi augsnes aršana ar velēnas apsvēršanu, palielina oglekļa zudumus no augsnes (Baker et al., 2007).

Oglekļa krājumus aprēķina, izmantojot ilgtermiņa lauksaimnieciskos izmēģinājumos iegūtos datus un dažādus simulāciju modeļus, tomēr pastāv lielas nesakritības oglekļa sekvestrācijas ātrumam starp eksperimentiem, kas noris dabā, un datormodeļiem. Politikas izstrādei par pamatu ņem simulāciju modeļus, tomēr to objektivitāte ir apšaubāma, jo tie varētu būt piemēroti nelieliem mērogiem, bet sarežģīti piemērojami globālā mērogā (Lugato et al., 2014).

Organiskais ogleklis augsnē uzkrājas galvenokārt no augu virszemes daļu atliekām pēc ražas novākšana un augu sakņu sistēmas, kura uzņem augu barības vielas, kas augu augšanas laikā nokļūst rizosfērā (Kumar, Pandey S., Pandey A., 2006). Organiskā oglekļa daudzums augsnes slāņos ir mainīgs, tomēr novērots, ka aptuveni puse augsnes profilā akumulētā oglekļa ir aramkārtas dziļumā (aptuveni 50%) un atlikusī daļa 30–100 cm augsnes dziļumā (Batjes, 1996).

Jau 20. gadsimta beigās pētnieki rakstīja, ka pārdomāta augu maiņa, iekļaujot tajā augstu enerģijas daudzumu producējošus kultūraugus, piem., rapsi, ir jāveido, lai samazinātu augsnes apstrādes intensifikāciju un pievienoto enerģijas ieguldījumu ražošanas procesā, kas tajā pašā laikā dod iespēju palielināti C_{org} krājumus augsnē (Smith et al., 1998; Bolinder et al., 1999).

Pastāv atšķirības zinātnieku viedokļos, kad oglekļa krājumi palielinās: ja organiskās vielas uzkrāj augsnes virskārtā vai ja tās ievieto augsnes dziļākos slāņos. Piemēram, Ķīnas zinātnieku grupa pētījusi, ka vairāk oglekļa būtu iespējams uzkrāt, organisko vielu saturošus materiālus ievietojot dziļākajos augsnes slāņos, jo izmēģinājumos noskaidrots, ka augstāks organiskā oglekļa pieaugums novērots, izmantojot dziļās augsnes apstrādes tehnoloģijas, piemēram, dziļaršanu vai dziļirdināšanu. Dziļaršana nodrošināja oglekļa uzkrāšanos augsnē 20–50 cm dziļumā, lai gan tā samazināja oglekļa uzkrāšanos augsnes virskārtā. Pozitīvs efekts no dziļās augsnes apstrādes novērots atkarībā no izmēģinājuma veikšanas vietas, un būtiskas pozitīvas atšķirības dziļās augsnes apstrādes variantos tika konstatētas lielākoties sausos reģionos, kur ir augsnes ar smagu vai vidēji smagu granulometrisko sastāvu un relatīvi augstu augsnes organiskā oglekļa daudzumu ($>6 \text{ g kg}^{-1}$) un augsnes blīvumu virs 1.3 g cm^{-3} . Turklāt labāki oglekļa uzkrāšanās rādītāji konstatēti izmēģinājumos, kur lietota kultūraugu dažādošana, dažādas augsnes apstrādes sistēmas (dziļā apstrāde un bezapstrāde periodiski nomainot viena otru), kā arī mainīgs augsnes apstrādes dziļums un vēlamajam ražas līmenim pielāgots slāpekļa mēslojuma daudzums. Pētnieki uzsver, ka ir jāņem vērā specifiskai audzēšanas vietai raksturīgus vides un agronomiskos apstākļus, nosakot piemērotas augsnes apstrādes sistēmu prakses veiksmīgai oglekļa uzkrāšanai, lai sniegtu uz zinātni balstītas politikas pamatnostādnes ilgtermiņa globālai oglekļa pārvaldībai (Feng et al., 2020). Pētot augsnes apstrādes variantus un mēslošanas plānus kādā izmēģinājumā Indijā, konstatēts, ka, lietojot augsnes nulles-apstrādi un sabalansētu mēslojumu, palielinājās augsnes organiskā oglekļa daudzums un tā izvietojums augsnes profilā, kas noveda pie tālākas augsnes kvalitātes rādītāju uzlabošanās (Parihar et al., 2020).

Organiskā oglekļa daudzuma atšķirības augsnes virskārtā (0–10 cm) ir saistītas gan ar augsnes apstrādes variantu, gan augu atlieku saglabāšanu uz augsnes pēc ražas novākšanas. Rumānijā, vērtēja organiskā oglekļa daudzumu izmēģinājumā, kurā 10 gadus lietota augu

maiņa: soja – ziemas kvieši – kukurūza, un trīs dažādas augsnes apstrādes sistēmas (A – bezapstrāde – augu pēcplaujas atliekas paliek uz lauka; B – čīzelēšanas 25 cm dziļumā ar lobīšanu, izmantojot disku lobītāju, pirms sējas, un pēcplaujas atlieku saglabāšanu uz lauka; C – tradicionālā apstrāde, pēcplaujas atliekas daļēji tiek no lauka novāktas pirms augsnes apstrādes – aršanas 30 cm dziļumā un augsnes lobīšana, izmantojot disku lobītāju, pirms sējas). Konstatēja, ka vairāk organiskā oglekļa augsnes virskārtā (0–10 cm) uzkrājies augsnes bezapstrādes variantā, kur tika saglabātas arī pēcplaujas atliekas, savukārt būtiski zemāks organiskā oglekļa daudzums – artajā variantā, un bez būtiskām atšķirībām no abiem minētajiem variantiem ogleklis uzkrājies lobītajā variantā. Savukārt augsnes dziļumā no 10–20 un 20–30 cm, būtiskas organiskā oglekļa daudzuma atšķirības starp augsnes apstrādes variantiem netika novērotas. Oglekļa uzkrāšanās bija saistīta ar iestrādāto augu atlieku daudzumu (Topa, Cara, Jitoreanu, 2021).

Augu atlieku iestrādei un atstāšanai uz lauka pēc ražas novākšanas ir nozīmīga loma augsnes organiskā oglekļa krājumu palielināšanā. Arī Ķīnā pētīta augsnes organiskā oglekļa daudzuma sakarība tieši ar augu atlieku iestrādi, un secināts, ka pētījumos, kur augu atliekas pirms augsnes apstrādes nav novāktas no laukiem, organiskā oglekļa daudzums palielinājies par aptuveni 14%, salīdzinot ar variantiem, kur pēcplaujas atliekas novāca no tūruma pirms augsnes apstrādes. Tāpat secināts, ka vairāk oglekļa uzkrājies augu maiņās ar vairākiem kultūraugiem, nevis audzējot kultūraugus (rīsi, kukurūza, kvieši) bezmaiņas sējumos (Wang et al., 2021). Bet citā izmēģinājumā, salīdzinot augsnes apstrādes variantus un augu atlieku atstāšanu vai novākšanu, secināts, ka vairāk organiskā oglekļa augsnes virskārtā uzkrājies bezapstrādes variantā ar atstātām augu atliekām, tad bezapstrādes variantā ar augu atlieku novākšanu, kas bija būtiski vairāk nekā tradicionālās augsnes apstrādes variantā ar augu atlieku atstāšanu un bez atstāšanas uz augsnes pēc ražas novākšanas (Kumar, Nath, 2019).

Jaunzēlandē konstatēts, ka kopējais augsnes oglekļa un slāpekļa daudzums nemainās, izmantojot dažādas augsnes apstrādes sistēmas (augus apvēršana, minimālā apstrāde vai bezapstrāde), tomēr mainās oglekļa un slāpekļa izvietojums dažādos augsnes slāņos. Izmantojot augsnes bezapstrādes sistēmu, novērota oglekļa uzkrāšanās 0–15 cm dziļumā, un uzlabojās augsnes struktūra un ūdens uzkrāšanās spēja. Tomēr pētnieki norāda, ka novērota augsnes paskābināšanās 0–5 cm augsnes slānī variantos, kur ilgtermiņā izmantota augsnes bezapstrādes tehnoloģija, bet paskābināšanās nav novērota variantos ar augsnes sajaukšanu. Augsnes skābuma un barības vielu noslāņošanās varētu būt nākamais izaicinājums, izmantojot konservējošās augsnes apstrādes sistēmas (Brooker et al., 2018).

Lai pētītu oglekļa avotu mineralizāciju augsnē un oglekļa noturību – stabilitāti, vairāku valstu zinātnieki pētīja organiskā oglekļa daudzumu augsnē un organisko vielu izmaiņas, ņemot paraugus no laukiem, kuros ilgstoši bijusi melnā papuve (augus bez augiem), uzsverot, ka tieši melnajā papuvē iespējams visveiksmīgāk pētīt oglekļa izmaiņas augsnē. Pētījumā izmantotie augsnes paraugi tika ņemti Dānijā, Francijā, Krievijā, Lielbritānijā un Zviedrijā. Pētījuma rezultāta secināts, ka oglekļa uzkrāšanās stabilitāte ir cieši saistīta ar temperatūras izmaiņām (Chenu et al., 2018).

Kanādas pētnieki ir pētījuši mijiedarbību starp izmantoto augsnes apstrādes sistēmu un augu maiņu, salīdzinot ar kultūraugu bezmaiņas sējumiem oglekļa mineralizācijas un uzkrāšanas procesā. Šajā izmēģinājumā būtiski augstāks oglekļa daudzums uzkrājies, izmantojot augsnes bezapstrādes tehnoloģiju gan augsnes virskārtā (0–5 cm slānī), gan augsnes dziļumā līdz 100 cm. Novērots, ka, dažādojot augus augu maiņā, palielinājās oglekļa daudzums augsnes virsējā slānī (0–5 cm). Bezmaiņas sējumos sēta kukurūza un soja uzrādīja būtiski zemāko oglekļa uzkrāšanos augsnes virskārtā (attiecīgi 13.7 un 11.9 t ha⁻¹), izmantojot konvencionālo augsnes apstrādes sistēmu (aršanu ar augsnes kultivēšanu sēklas gultnes sagatavošanai), salīdzinot ar augu maiņu variantiem, piemēram, sojas–ziemas kviešu augu maiņām (21.5 t ha⁻¹). Salīdzinot augsnē uzkrāto oglekli augu maiņās, izmantojot bezapstrādes tehnoloģiju, – būtiskas oglekļa daudzuma atšķirības netika konstatētas. Sojas–ziemas kviešu augu maiņā iegūts augstāks organiskā oglekļa daudzums, kuru saista ar lielāku lignīna

koncentrāciju kviešu augu atliekās, kas lēnāk pakļaujas sadalīšanās procesiem. Augstāks organiskā oglekļa daudzums ilgtermiņā iegūts no augu maiņām (salīdzinot ar kukurūzas un sojas bezmaiņas sējumiem), kur iekļauti ziemāji (ziemas kvieši) starp vasarāju kultūraugiem. Augsnes apstrādei bijusi lielāka loma oglekļa krājumu palielināšanā augsnē nekā augu maiņai (Van Eerd et al., 2014). Citi Kanādas pētnieki uzsver, ka zemāka augsnes apstrādes intensitāte veicina augsnes organiskā oglekļa līmeņa paaugstināšanos, kur pēc sešu gadu ilga pētījuma konstatēts, ka atšķirība starp zemas un augstas intensitātes augsnes apstrādi ir 6.2% (27.3 un 29.0 t ha⁻¹, atbilstoši), tomēr šīs atšķirības nebija matemātiski būtiskas 90% līmenī. Zemāka augsnes apstrādes intensitāte palielināja arī augsnes makroagregātu procentuālo daudzumu un mikro agregātu stabilitāti, tādējādi palielinot augsnes izturību pret vēja un ūdens eroziju un veicinot vides noturību, jo īpaši svarīgi tas ir bioloģiskās augkopības sistēmā (Fernandez, Zentner, Schellenberg, 2019).

Būtiskas izmaiņas augsnes rādītājos ilgtermiņa izmēģinājumā ar dažādiem augsnes apstrādes un augu maiņas variantiem novērotas tikai pēc 30 gadu ilga pētījumu perioda (Jin et al., 2021). Ilgtermiņa augsnes apstrādes izmēģinājumā Vidusjūras reģionā konstatēts, ka būtiskas organisko vielu satura izmaiņas augsnes aramkārtā (0–30 cm) bija vērojamas tikai pēc desmit izmēģinājuma gadiem, un vairāk organisko vielu uzkrājas augsnes bezapstādes variantos. Tomēr augsnes dziļākajos slāņos ilgtermiņā būtiskas izmaiņas oglekļa uzkrāšanā netika novērotas (Mazzoncini et al., 2016). Augsnes fizikālo rādītāju lielumu ietekmē C_{org} saturs augsnē, kuru ietekmē iestrādāto augu atlieku daudzums (augu atlieku neaizvākšana no lauka). Paaugstinoties augsnes C_{org} saturam, samazinās augsnes tilpummasa un blīvums, palielinās augsnes ūdens atgrūšanas spēja, uzlabojot augsnes elastību un noturību (Blanco-Canqui, Benjamin, 2013).

Francijā veiktajos pētījumos noskaidrots, ka, ilgstoši izmantojot tradicionālo augsnes apstrādi ar velēnas apvēršanu vai samazināto augsnes apstrādi, oglekļa satura izmaiņas aramkārtā (0–28) un arī dziļākā augsnes slānī (līdz 58 cm) nav novērotas; samazinātā augsnes apstrāde palielināja organiskā oglekļa krājumus augsnes virskārtā (0–5 cm), bet tie samazinājās pārējā aramkārtas dziļumā (10–28 cm). Organiskā vielas mineralizācijas ātrums būtiski neatšķirās starp augsnes apstrādes sistēmām vidēji visā aramkārtas dziļumā, tomēr būtiskas atšķirības novērotas dažādos aramkārtas dziļumos – augstākie rādītāji bija, izmantojot reducētās augsnes apstrādes sistēmas augsnes dziļumā 0–10 cm, bet zemākie šo pašu variantu augsnes slānī 10–28 cm, kur augsne netiek apstrādāta. Mineralizācijas rādītājiem bija sakarība ar augsnes slāņos iestrādāto augu atlieku daudzumu, bet ne ar augsnes apstrādes sistēmas intensitāti. Secinājumos uzsvērts, ka galvenā augsnes apstrādes sistēmu ietekme uz organiskā oglekļa krājumiem ir saistīta ar organisko vielu – augu atlieku iestrādes sadalījumu augsnes profilā (Mary et al., 2020). Izmaiņas oglekļa krājumos augšējā augsnes slānī starp dažādām augsnes apstrādes sistēmām prezentējuši arī citu pētījumu rezultāti, tomēr izmaiņas dziļāk augsnes profilā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmām nav novērotas (Haddaway et al., 2017). Augstāki organiskā oglekļa krājumi augsnes virskārtā nodrošina augstāku mikrobioloģisko aktivitāti (Karlen et al., 2013; Haddaway et al., 2017).

Arī Lietuviešu pētnieki secinājuši, ka augsnes apstrādes prakse, kas palielina augsnes organisko vielu saturu, un attiecīgi organiskā oglekļa satura palielināšanos, ir nozīmīga augsnes erozijas mazināšanā (Jankauskas, Jankauskienė, Fullen, 2007).

Sausos reģionos ar zemu nokrišņu daudzumu, izmantojot konservējošās augsnes apstrādes praksi ar augu atlieku saglabāšanu (mulčēšana) augsnes virskārtā, uzlabojas augsnes ūdens režīms un konstatēti lielāki organiskā oglekļa krājumi, salīdzinot ar tradicionālu augsnes apstrādi, kur augu atliekas tiek iestrādātas augsnē (Abbas et al., 2020).

Aramzemī pārveidojot par ilggadīgajiem zālājiem, būtu iespējams gadā uzkrāt 20 t C ha⁻¹ augsnes virskārtā, bet, pārveidojot ilggadīgos zālājus par aramzemī, augsnes organiskā oglekļa zudumi 25 gadu periodā būtu aptuveni 40% (Poeplau, Don, 2013).

Iepriekš aprakstīts, ka, izmantojot tradicionālo augsnes apstrādi, palielinās augu atlieku mineralizācijas ātrums, un hipotētiski būtu jāpalielinās SEG emisiju daudzumam.

Izmēģinājumos Ilinoisā (Amerikas Savienotās valstis) salīdzinātās augsnes apstrādes sistēmas (tradicionālā augsnes apstrāde un augsnes bezapstrādes variants) neuzrādīja palielinātu SEG emisiju (CO_2 un N_2O) daudzumu no augsnes (Behnke et al., 2018).

1.6. Kultūraugu dažādošanas augu maiņā un augsnes apstrādes minimalizācijas ekonomiskais izdevīgums

Kultūraugus bieži audzē ilgstoši bezmaiņas sējumos, ja no tiem ir augsti ieņēmumi, neskatoties uz nepieciešamo augu aizsardzības līdzekļu pielietojumu augstu ražu iegūšanai, ierobežojot kaitīgos organismus. Ne vienmēr lauksaimnieki piekrīt tam, ka nav nepieciešams iegūt tikai augstākās ražas, bet vairāk uzmanības ir jāpievērš ekonomiskajam izdevīgumam un pārdomātai agronomiskajai praksei (Liu, Lehtonen, Purola, 2016).

Kultūraugu audzēšanas ekonomiskā izdevīguma salīdzināšanai visbiežāk aprēķina bruto segumu, ko aprēķina no kultūrauga audzēšanas ieņēmumiem atņemot mainīgās ražošanas izmaksas (mēslošanas līdzekļi, augu aizsardzības līdzekļi, degviela, darbaspēks u.c.) (Ghorbani et al., 2011; Dimitrijević et al., 2020). Vairākos pētījumos konstatēts, ka kviešu audzēšanas mainīgās izmaksas veido vairāk nekā 70% no kopējām izmaksām (Todorović, Filipović, 2010; Dimitrijević et al., 2020).

Dažādos audzēšanas tehnoloģiju salīdzinājumos ir secināts, ka augstākas ražas iespējams iegūt, pielietojot pārdomātu augu maiņu (plašāk aprakstīts 1.2. apakšnodaļā). Pesticīdu pielietošanas daudzums dažādotu kultūraugu augu maiņās samazinās (Pettersson, Thomsen, Hauggaard-Nielsen, 2007), jo ir zemāks slimību un kaitēkļu izplatības risks, līdz ar to samazinās izdevumi augu aizsardzības līdzekļu lietojumam. Tāpat arī, mainot augu maiņā viendīgļlapju un divdīgļlapju sugas, ir iespējams efektīvāk ierobežot nezāles.

Ne vienmēr no izmantotā priekšauga iegūst augstas un ekonomiski izdevīgas ražas, tāpēc svarīgi izvērtēt ekonomisko ieguvumu ne tikai viena konkrēta gada griezumā, bet ilgākā augu audzēšanas posmā, piemēram 3–6 gadu garumā, kurā augu maiņā iekļautie kultūraugi iziet pilnu rotācijas ciklu (Xing et al., 2017). Pētījumos ekonomiskais ieguvums no viena gada pākšaugu ražas bijis zemāks nekā audzējot kviešus vai rapsi (Preissel et al., 2015; Xing et al., 2017), bet pākšauga iekļaušana augu maiņā veicina augstāku ražu iegūšanu pēcaugam bez papildus slāpekļa un augstākus ieņēmumus pākšaugu–labību augu maiņā, salīdzinot ar kviešiem vai rapsi, kuri audzēti ar tādu pašu slāpekļa normu graudaugu augu maiņā (Xing et al., 2017). Izdevumi mēslošanas līdzekļiem veido proporcionāli lielāko daļu mainīgo audzēšanas izmaksu (Jankovic et al., 2013; Dimitrijevic et al., 2020). Mēslojuma izmaksas ir iespējams samazināt, graudaugu augu maiņā iekļaujot tauriņziežus (Xing et al., 2017) vai rapsi (Weiser et al., 2018). Vācijā veiktā pētījumā secināts, ka ziemas kviešu raža pēc rapša ir vidēji par 0.56 t ha^{-1} augstāka nekā audzējot kviešus graudaugu maiņā ar vidējo ražu 7.09 t ha^{-1} . Audzējot kviešus pēc rapša, slāpekļa mēslojuma samazinājums ir 4 līdz 17 kg ha^{-1} , salīdzinot ar nepieciešamo mēslojuma normu, audzējot kviešus graudaugu maiņās. Vācijā rekomendē lietot papildus 20 kg ha^{-1} slāpekļa, ja kviešus sēj labību augu maiņā, kad augiem pieejamais slāpekļa daudzums augsnē pēc priekšauga ir zemāks (Weiser et al., 2018). Ekonomiskais ieguvums, audzējot pākšaugus, no platības vienības ir relatīvi zems un nestabils, bet, iekļaujot pākšaugus augu maiņā, ir iespēja samazināt izmaksas agroķīmikālijām par 20–25%, palielinot ražību labību sugas pēcaugam par $0.2\text{--}1.6 \text{ t ha}^{-1}$ (Zander et al., 2016).

Elļas augu vai pākšauga iekļaušana augu maiņā, kura bijusi balstīta uz graudaugu audzēšanu ilgstoši atkārtotos sējumos, kā arī vasaras papuves izmantošanas samazināšana veicina lielākus ieņēmumus, neskatoties uz nepieciešamajām papildus ražošanas izmaksām (Zentner et al., 2002). Kanādā pētīts ekonomiskais ieguvums no tradicionālas augu maiņas (rapsis–vasaras kvieši–vasaras kvieši–vasaras kvieši) un ar pākšaugu papildinātas augu maiņas (rapsis–vasaras kvieši–lēcas vai zirņi–vasaras kvieši). Pākšauga iekļaušana ļāva samazināt mainīgās izmaksas. Šis izmaksu samazinājums veidojās uz samazinātu mēslojuma pielietojumu

pākšaugam sekojošajai labībai un augstāku tās ražību. Pākšaugu iekļaušana eļļas augu – graudaugu rotācijā ir efektīva metode, kā uzlabot saimniecības ekonomisko stāvokli un mazināt ietekmi uz vidi (MacWilliam, Wismer, Kulshreshtha, 2014). Daudzveidīgākas augu maiņas un garākas rotācijas sniedz ilgstošāku efektu – uzlabojot augsnes kvalitāti, barības vielu apriti un samazinot atkarību no ārējām izejvielām, kas ir īpaši svarīgi bioloģiskās audzēšanas sistēmās (Wieme et al., 2020). Pasaulē tiek vērtēta arī ražas stabilitāte dažādiem kultūraugiem – ražu atšķirības pa gadiem atkarībā no ietekmējošiem faktoriem. Pēdējo gadu pētījumi, analizējot statistikas datus, rāda, ka ražības līmeņa kāpums ir samazinājies, kas saistāms ar ilgtspējīgas lauksaimniecības prakses ieviešanu (Arata, Fabrizi, Sckokai, 2020).

Augstāks bruto segums ir graudaugiem (produkcija ir enerģētiski vērtīga, jo bagāta ar cieti), un tas ir galvenais augu maiņu vienkāršošanas un dažu kultūraugu audzēšanas specializācijas tendenču virzītājspēks. Eiropā ir aprēķināts, ka, audzējot viengadīgos pākšaugus, bruto segums ir vidēji par 70 līdz vairākiem simtiem eiro no hektāra zemāks, salīdzinot ar citiem tradicionāli audzētiem laukaugiem vairākās ES valstīs (Zander et al., 2016).

Kultūraugu audzēšanā lielu daļu mainīgo izmaksu veido darbaspēka un kopējās pielietotās enerģijas izmaksas, kas tiek patērētas augsnes apstrādei un sējai. Viena no iespējām, kā samazināt lauksaimnieciskās ražošanas izmaksas, ir ražošanas tehnoloģisko procesu vienkāršošana, ieviešot reducētās augsnes apstrādes sistēma (Romaneckas et al., 2019).

1.7. Literatūras apskata kopsavilkums

Nozīmīgu lomu pasaules un Latvijas kultūraugu sējumu struktūrā ieņem nedaudz sugu, jo daži kultūraugi ir ekonomiski izdevīgāki nekā citi. Latvijā lielākās sējplatības ik gadu aizņem labības, un no tām – ziemas kvieši, kas liecina par kviešu ekonomisko nozīmi, kā arī graudaugu sēšanu atkārtotos sējumos, kas palielina slimību un kaitēkļu izplatības risku. Eiropas Savienībā lauksaimniecības politika paredz videi draudzīgu metožu pielietošanu lauksaimniecībā un kultūraugu daudzveidības palielināšanu sējumu struktūrā. Videi draudzīgas saimniekošanas prakses ietver kultūraugu dažādošanu augu maiņā, kā arī saimniekošanas sistēmai piemērotas, kultūraugu produktivitāti veicinošas un vidi saudzējošas augsnes apstrādes sistēmas izmantošanu.

Pārdomātai augu maiņai ir daudz priekšrocību, kuras ne visos apstākļos ir pierādītas. Saimniecībām stabilu ražu iegūšanai ilgtermiņā, vienlaicīgi samazinot izdevumus mēslošanas un augu aizsardzības līdzekļiem, nepieciešams plānot augu maiņu, veidot augsekas, ņemot vērā tajā iekļauto sugu sakņu dziļumu un to prasības pēc barības elementiem, un kultūraugu nogatavošanās laiku. Pētījumi Latvijā ir nepieciešami, lai apliecinātu kultūraugu dažādošanas ieguvumus ražošanā, kuri īstermiņa izmēģinājumos var netikt novēroti vai būt mainīgi.

Ieguvumi no reducētas augsnes apstrādes sistēmās mērāmi kā samazināts darbaspēka patēriņš, laiks un enerģija, bet tikpat bieži arī uzlabota augsnes struktūra un iespēja augsni irdināt, nodrošinot pozitīvu efektu kopā ar pārdomātu augu maiņu. Piemērotākās augsnes apstrādes sistēmas izvēli bieži vien ietekmē pastāvošā meteoroloģiskā situācija, tāpēc ir būtiski turpināt pētījumus par augsnes apstrādes variantu pielietošanu dažādās augsnēs, pēc atšķirīgiem priekšaugiem un pielietojot atšķirīgas tehnoloģiskās iespējas, jo pasaulē veiktos izmēģinājumos iegūtie rezultāti viennozīmīgi neizceļ kādu no augsnes apstrādes sistēmām kā nozīmīgi pārāku, jo iegūtie rezultāti produktivitātes ziņā arī ir mainīgi atkarībā no konkrētajiem pētījumu pastāvošajiem apstākļiem.

Lai savstarpēji salīdzinātu produktivitāti dažādiem kultūraugiem, iegūtie lielumi tiek novērtēti ne tikai iegūtās ražas ($t\ ha^{-1}$) apjomā, bet arī no virszemes biomasas iegūtā enerģijas ražā ($GJ\ ha^{-1}$) vai arī kā ekonomiskais ieguvums jeb bruto segums ($EUR\ ha^{-1}$). Enerģijas raža atšķiras starp kultūraugiem un to auga daļām (sēklām un stiebriem/stublājiem). Enerģētiski vērtīgākas ir sēklas, kuras satur lielu eļļas daudzumu. Pasaulē veiktajos pētījumos akumulētās enerģijas ziņā efektīvākās augsekas bijušās tās, kurās iekļautas labību sugas, rapsis, arī

cukurbietes vai kartupeļi starp graudaugiem, jo šie augi nodrošina lielāku enerģijas ražu no hektāra. Pētījumi par Latvijā audzētu kultūraugu enerģijas ražu no augsekas pēdējo reizi veikti ap 20. un 21. gadsimta miju, bet šo 20 gadu laikā ir notikusi strauja audzēšanas tehnoloģiju pilnveidošana, kas veicinājusi kultūraugu ražības paaugstināšanos, kas rezultātā ietekmē arī iegūstamo enerģijas ražu. Ar enerģijas ražas apjomu ir iespējams pamatot kultūraugu dažādošanas potenciālu.

Bruto segums ir tieši atkarīgs no produkta realizācijas cenas un mainīgajām izmaksām kultūrauga audzēšanai, no kurām lielāko daļu veido mēslojuma izmaksas. Samazinot izdevumus audzēšanai un pielietojot pārdomātu agronomisko praksi (priekšauga un augsnes apstrādes sistēmas izvēle), iespējams iegūt tādu pašu vai lielāku peļņu kā intensīvas audzēšanas tehnoloģijas apstākļos. Svarīgi izvērtēt ekonomisko ieguvumu visā augu maiņas ciklā, lai novērtētu augu maiņā iekļauto kultūraugu produktivitāti. Ekonomiskie rādītāji var būt strauji mainīgi pastāvošās ekonomiskās situācijas dēļ.

Augu maiņa un augsnes apstrādes sistēmas pasaules mērogā pētīta arī, lai meklētu labu praksi oglekļa krājumu palielināšanai augsnē. Pasaulē publicēto pētījumu rezultāti par oglekļa uzkrāšanos ir atšķirīgi, bieži pretrunīgi gan atkarībā no augsnes apstrādes, gan augu maiņas varianta, kā arī pētījumu vietas augsnes īpatnībām un klimatisko apstākļu iedarbības. Uzskata, ka oglekļa uzkrāšanos var palielināt, palēninot organisko savienojumu sadalīšanās procesu. Vairākos pētījumos minēts, ka būtiskas oglekļa satura izmaiņas augsnē novēro ilgā pētījumu posmā – pēc vairāk nekā 10 gadiem. Latvijā ilggadīgi pētījumi ārpus LBTU LPTF MPS “Pēterlauki” ilggadīgā izmēģinājumu stacionāra 21. gs. nav veikti.

Ilggadīgs augsnes apstrādes sistēmu un augu maiņu izmēģinājums, kuros iekļauti ziemas kvieši dažādās proporcijās, Latvijas apstākļos nepieciešams, lai iegūtu rezultātus par pielietotajām agronomiskajām praksēm, salīdzinātu tās, kā arī sniegtu audzēšanas sistēmu novērtējumu gan no kultūraugu ražības un sēkļu kvalitātes aspekta, gan arī skaidrotu citus ieguvumus no kultūraugu dažādošanas laukaugu struktūrā.

2. PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA

2.1. Pētījuma vietas raksturojums

Lauka izmēģinājumi iekārtoti LLU LF (tagad LBTU LPTF) MPS “Pēterlauki” pētījumu vietā “Poķi” ($56^{\circ} 30.658' Z$ un $23^{\circ} 41.580' A$) divfaktoru izmēģinājuma stacionārā ar divām augsnes apstrādes sistēmām un trīs dažādiem augu maiņas variantiem. Stacionārs iekārtots 2009. gadā, tā kopējā platība ir 6 ha. Pētījums ar laukaugiem promocijas darba ietvaros veikts četru veģetācijas sezonu garumā no 2016./2017. gada līdz 2019./2020. gadam, lai aptvertu pilnu visu augu maiņu ciklu. Augsnes analīzes pētījuma ietvaros veiktas 2017. un 2022. gadā. C_{org} satura un daudzuma salīdzināšanai izmantoti 2010. gadā iegūti analīžu rezultāti⁸. Pilns izmēģinājuma stacionāra plāns pievienots 1. pielikumā.

Izmēģinājums ierīkots virsēji velēnglejotā augsnē (GLu; atbilstoši Latvijas augšņu klasifikācijai; Latvijas augšņu noteicējs, 2009), granulometriskais sastāvs – putekļu māls. Atbilstoši starptautiskajai augšņu klasifikācijai augsne ir *Cambic Calcisol* (World reference base...., 2015; Kārklīšs u.c., 2018).

Pēc 2017. gadā veiktajām augsnes analīzēm, izmēģinājuma vietā augsne 0–20 cm slānī bija ar reakciju (pH 6.7), augstu organisko vielu saturu (vidēji 35 g kg^{-1}), vidēju augiem izmantojamā fosfora saturu (125.9 mg kg^{-1}), augstu kālija, kalcija un magnija sastāvu. Analīžu rezultāti parāda, ka izmēģinājuma vietā svārstīgs bija organisko vielu saturs ($28\text{--}42 \text{ g kg}^{-1}$) un augsne reakcija (pH 6.1–7.0) (skat. 2.1. tab.).

2.1. tabula

Agroķīmiskie rādītāji izmēģinājuma laukā 2017. gadā 0-20 cm augsnes slānī

Rādītājs		Vērtība		
		vidējā	zemākā	augstākā
pH _{KCl}		6.7	6.1	7.0
Organiskā viela	g kg^{-1}	35	28	42
	nodrošinājums	augsts	zems	ļoti augsts
P ₂ O ₅	mg kg^{-1}	125.9	101.0	184.0
	nodrošinājums	vidējs	vidējs	augsts
K ₂ O	mg kg^{-1}	233.0	195.0	276.0
	nodrošinājums	augsts	augsts	augsts
Ca	mg kg^{-1}	1792.0	1653.0	1933.0
	nodrošinājums	augsts	augsts	augsts
Mg	mg kg^{-1}	438.9	338.0	529.0
	nodrošinājums	augsts	augsts	augsts

Augsnes agroķīmisko analīžu rezultātus atsevišķi katram izmēģinājuma laukam 2017. gadā skatīt 2. pielikumā.

⁸ VPP-5.3.1. (Nr.VP26) “Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei” (PĀRTIKA) 3.1. apakšprojekts “Augsnes kā galvenā resursa ilgtspējīga izmantošana drošu un kvalitatīvu pārtikas un lopbarības izejvielu ieguvei no plašāk audzētajām laukaugu sugām”

2.2. Pētāmo variantu apraksts

Promocijas darba pētījumā ietverti trīs faktori:

A – augsnes apstrādes sistēma (divas augsnes apstrādes sistēmas);

B – augu maiņa, kur otrajā augu maiņas variantā ir divi atšķirīgi priekšaugi (trīs augu maiņas varianti);

C – pētījuma gada agrometeoroloģiskie apstākļi (četras veģetācijas sezonas).

Faktors A – Augsnes apstrādes sistēmas

A1: tradicionālā augsnes apstrāde, ietvēra augsnes pamatapstrādi – aršanu ar velēnas apvēršanu 22–24 cm dziļumā un aruma šļūkšanu, kā arī augsnes pirmsējās apstrādi ar kompaktoru 4–5 cm dziļumā (turpmāk – TA);

A2: reducētā augsnes apstrāde, augsnes pamatapstrāde bija lobīšana ar disku lobītāju 8–10 cm dziļumā divas reizes un pirmsējās apstrāde ar kompaktoru 4–5 cm dziļumā (turpmāk – RA). Augsnes pamatapstrāde visiem kultūraugiem veikta rudenī.

Faktors B – Augu maiņas varianti savstarpēji atšķīrās ar iekļautajiem kultūraugiem, augu maiņas garumu un ziemas kviešu īpatsvaru tajās. Katra augu maiņa tika īstenota abos pētītajos augsnes apstrādes variantos.

B1: ziemas kviešu bezmaiņas sējumi ar 100% kviešu īpatsvaru no 2009. gada (izņēmums 2014. gads, kad ziemajiem bija zema ziemcietība un tos pavasarī pārsēja ar tās pašas sugas vasarāju formu – vasaras kviešiem) (turpmāk – 100% kvieši jeb KKK).

B2: augu maiņas garums bija trīs gadi, ar 67% kviešu īpatsvaru tajā, vienu reizi trīs gados augu maiņā iekļaujot ziemas rapsi. Kultūraugu secība: rapsis – kvieši – kvieši. Izmēģinājuma stacionārā katru gadu pētīti divi no trīs rotācijā iekļautajiem kultūraugiem, audzējot tos augu maiņā paredzētajā augu rotācijas kārtībā (turpmāk – 67% kvieši jeb RKK). Šajā augu maiņā vienu gadu kviešu priekšaugi bija rapsis, bet nākamajā kvieši sēti atkārtoti pēc kviešiem, un tad atkal sekoja rapsis.

B3: augu maiņa, kurā pilns augu rotācijas cikls ilga četrus gadus. Augu maiņā iekļauti četri dažādi kultūraugi noteiktā secībā: lauka pupas – ziemas kvieši – ziemas rapsis – vasaras mieži. Ziemas kviešu īpatsvars šajā augu maiņā bija 25% (turpmāk – 25% kvieši jeb PKRM). Izmēģinājuma stacionārā augu maiņā “25% kvieši” katru gadu pētīti trīs no četriem rotācijā iekļautajiem kultūraugiem, audzējot tos augu maiņā paredzētajā augu rotācijas secībā. Augu maiņa ar četriem dažādiem kultūraugiem uzturēta no 2014. gada, kad tajā pirmo reizi iekļautas arī lauka pupas. Izmēģinājuma gados, kad novērota vāja ziemas rapša ziemcietība, atsevišķos lauka nogabalos tas pārsēts ar vasaras rapsi, lai saglabātu iespēju novērtēt rapša kā priekšauga ietekmi uz ziemas kviešu augšanu un attīstību. Pētījumā veiktie novērojumi ziemas rapsim attiecināmi uz nogabaliem, kur tas saglabāts līdz novākšanas gatavībai (89. AE) un ražas novākšanas laikam.

Faktors C – Veģetācijas sezona: izmēģinājums veikts četras sezonas.

C1: 2016./2017. g., C2: 2017./2018. g., C3: 2018./2019. g. un C4: 2019./2020. g. veģetācijas sezonās.

Izmēģinājums uzsākts 2016. gada rudenī izmēģinājumu stacionārā, kurā iekārtoti 12 varianti četros atkārtojumos. Izmēģinājums iekārtots divos lauka blokos, katrā 12 lauki (kopā 24), katrs izmēģinājuma lauks sadalīts uz pusēm (I un II), lai iegūtu četrus atkārtojumus.

Viena lauka izmērs blokā bija 0.25 ha (100 m × 25 m), viena sadalītā lauciņa izmērs – 0.125 ha.

2.3. Agrotehnika izmēginājumā

Priekšaugi un augsnes apstrādes sistēma pētījumā iekļautajiem kultūraugiem piemēroti atbilstoši izmēginājuma shēmai un kultūraugu izvietojuma plānam 2016.–2020. gadā (skat. 1. pielikumā).

Ziemas kvieši (detalizētu audzēšanas agrotehniku skatīt 3. pielikumā).

Augsnes apstrāde veikta augustā vai septembrī (atkarībā no meteoroloģiskās situācijas). Visos ziemas kviešu laukos augsnes apstrāde katrā gadā veikta atšķirīgos datumos, bet gada ietvaros vienā dienā visiem laukiem. Apstrādes laiks bija atkarīgs no vēlākā ziemas kviešu priekšauga ražas novākšanas laika. Visvēlāk novākšanas gatavību sasniedzošais ziemas kviešu priekšaugi bija lauka pupas. Abas augsnes apstrādes sistēmas iekļāva lauka pirmssējas apstrādi ar kompaktoru 4–5 cm dziļumā. Pētītās augsnes apstrādes sistēmas aprakstītas 2.2. apakšnodaļā.

Priekšaugi – ziemas kviešu priekšaugi bija atšķirīgi pa pētāmajiem variantiem: ziemas kvieši, rapsis (atsevišķos gados ziemas, vai arī lauks daļēji pārsēts ar vasaras rapsi) vai lauka pupas. Pilns priekšaugu un augu maiņu apraksts atrodams 2.2. apakšnodaļā.

Sējas laiks. Ziemas kviešu sēja izmēginājuma periodā veikta septembra mēnesī – 19.09.2016.; 30.09.2017., 06.09.2018., 10.09.2019.

Izsējas norma bija 500 dīgtspējīgas sēklas m^{-2} , izņēmums bija 2018. gads, kurā izsējas norma samazināta uz 450 dīgtspējīgam sēklām, jo sējas termiņš bija agrāks.

Šķirne. Pētījuma pirmajā gadā izmantota šķirne ‘Zentos’, kuru sēja kopš stacionārā izmēginājuma uzsākšanas, bet turpmākajos gados tā aizstāta ar ražošanas laukos populāru⁹ ziemas kviešu šķirni ‘Skagen’ Abas šķirnes ir augstražīgas, tās var nodrošināt augstākās klases pārtikas graudus. Abas šķirnes selekcionētas Vācijā.

‘Zentos’ - šķirnei raksturīga graudu pārtikas kvalitāte, labas cepamīpašības un augsts krišanas skaitlis¹⁰. Šķirne ar vidēju ziemcietību un veldres izturību (Fetere, Strazdiņa, 2014).

‘Skagen’ ir vidēji vēlīna, augstražīga šķirne ar ļoti labu ziemcietību. Šķirnei raksturīga vidēja līdz laba veldres noturība. Graudu kvalitātes rādītāji var sasniegt iepircēju augstākās klases pārtikas graudu prasības. Šķirnei raksturīgs augsts kopproteīna saturs un noturīgs krišanas skaitlis. Tā ir vidēji izturīga pret lapu slimībām. Augsts un stabils ražas potenciāls arī sarežģītos augšanas apstākļos.¹¹

Pamatmēslojums iestrādāts augsnē reizē ar sēju. Izmantots kompleksais mēslošanas līdzeklis NPK 10-26-26 (2016. gadā mēslošanas līdzeklis saturēja arī sēru 2 kg uz 100 kg mēslošanas līdzekļa) ar normu 250 kg ha^{-1} , nodrošinot slāpekli (N) 25 kg ha^{-1} , fosforu (P_2O_5) – 65 kg ha^{-1} , kāliju (K_2O) – 65 kg ha^{-1} .

Papildmēslojums pavasarī visos izmēginājuma gados lietots divas reizes ar vienādiem mēslošanas līdzekļiem, vienādās devās. Pirmā papildmēslojuma lietošanas reize bija neilgi pēc veģetācijas atjaunošanās (30.03.2017; 16.04.2018; 29.03.2019; 4.03.2020), lietojot amonija nitrātu (N34.4%) ar devu 250 kg ha^{-1} , nodrošinot 86 kg ha^{-1} slāpekļa. Otrā papildmēslošanas reize bija stiebrošanas sākumā (31.–32. AE), lietojot amonija nitrātu ar devu 250 kg ha^{-1} 2017. gadā, bet pārējos pētījuma gados – 200 kg ha^{-1} , nodrošinot 68.8 kg ha^{-1} slāpekļa. Kopā papildmēslojumā nodrošināti 155 – 172 kg ha^{-1} slāpekļa. Atkarībā no katra gada iespējām lietoti arī ārpussakņu mēslojumi (tvertnes maisījumos ar augu aizsardzības līdzekļiem), pētījuma gados tie atšķīrās, bet visos izmēginājuma variantos katrā konkrētā gadā bija vienādi (skatīt 3. pielikumu).

⁹ *Ziemas kviešu sertificētā sēkla 2017. gadā*. Kopsavilkums par sagatavoto sertificēto sēklu Latvijas atvērto datu portālā. [Tiešsaiste] [skatīts 22.12.2023.]. Pieejams: <https://data.gov.lv/dati/lv/dataset/sagatavota-sertificeta-sekla/resource/ae839ed9-5d09-4f29-be5e-4f8992d8dbbf>.

¹⁰ *Zentos*. VAKS sēklu piedāvājums 2016. gadā. VAKS[Tiešsaiste] [Skatīts 26.02.2023.]. Pieejams: https://www.vaks.lv/upload/File/VAKS_seklas_2016_ziemaji.pdf.

¹¹ *Skagen*. Latraps, ziemas kviešu un rudzu šķirnei. [Tiešsaiste] [Skatīts 26.02.2023.]. Pieejams: <https://www.latraps.lv/latraps/zinas/ziemas-kviesu-un-rudzu-skirnes>.

Kaitīgo organismu ierobežošana ziemas kviešiem.

Nezāļu ierobežošana ziemas kviešu sējumos veikta pavasarī, kviešu stiebrošanas fāzes sākumā, lai ierobežotu īsmūža un daudzgadīgās divdīgļlapju nezāles (2017. un 2018. gadā Mustang forte (florasulams, 5 g L⁻¹, aminopiralīds, 10 g L⁻¹, 2.4-D, 180 g L⁻¹) deva 0.8 L ha⁻¹; 2019. gadā – īsmūža viendīgļlapju un īsmūža divdīgļlapju nezāļu ierobežošanai Tombo WG (piroksulams, 50 g kg⁻¹, florasulams, 25 g kg⁻¹, aminopiralīds, 50 g kg⁻¹) deva 200 g ha⁻¹; 2020. gadā – parastās rudzuzmilgas (*Apera spica-venti*) un īsmūža divdīgļlapju nezāļu ierobežošanai Hussar Activ Plus (2.4-D 2-etilheksil esteris, 300 g L⁻¹, nātrija metiljodosulfurons, 10 g L⁻¹, metil-tiēnkarbazons, 7.5 g L⁻¹) ar devu 1 L ha⁻¹.

Slimību ierobežošana veikta vienu reizi veģetācijas periodā, ziemas kviešu vārpošanas fāzē (51.–55. AE), lai ierobežotu ziemas kviešu lapu slimības (kviešu lapu dzeltenplankumainību (ier. *Pyrenophora tritici repentis*), kviešu lapu pelēkplankumainību (ier. *Zymoseptoria tritici*) (Bankina u.c., 2021). Slimību ierobežošanai 2017. un 2018. gadā izmantots fungicīds Adexar XE (fluksapiroksāds, 62.5 g L⁻¹, epoksikonazols, 62.5 g L⁻¹) ar devām 1 un 2 L ha⁻¹, atbilstoši, bet 2019. un 2020. gadā fungicīds Opera N (epoksikonazols, 62.5 g L⁻¹; piraklostrobīns, 85.0 g L⁻¹) ar devām 1.0 un 1.2 L ha⁻¹, atbilstoši.

Kaitēkļu ierobežošana bija nepieciešama vienā no pētījuma gadiem – 2018. gadā, kad bija ļoti silta vasara un labvēlīgi apstākļi, lai kaitēkļi savairotos. Lietots insekticīds Fastac 50 (alfacipermetrīns, 50 g L⁻¹), deva 0.25 L ha⁻¹, ziemas kviešu vārpošanas laikā (55. AE).

Augu augšanas regulators izmēģinājumā ziemas kviešiem visos pētījuma gados lietots divas reizes stiebrošanas laikā. Pirmā lietošanas reize bija, līdz augs sasniedzis 31. AE, visos pētījuma gados lietojot Cycocel 750 (hlormekvāta hlorīds, 750 g L⁻¹) ar devu 1 L ha⁻¹. Otrā augu augšanas regulatora lietošanas reize bija 37. AE, 2017. gadā lietojot Cerone (etefons, 480 g L⁻¹) ar devu 0.75 L ha⁻¹, 2018. gadā – Medax Top (kalcija proheksadions, 50 g L⁻¹, mepikvāta hlorīds, 300 g L⁻¹) ar devu 1 L ha⁻¹ un Medax Max (kalcija proheksadions, 50 g kg⁻¹, etil-trineksapaks, 75 g kg⁻¹) 2019. un 2020. gadā ar devu 0.5 kg ha⁻¹ (skat. 3. pielikumu).

Ziemas rapsis (detalizētu audzēšanas agrotehniku skatīt 4. pielikumā).

Priekšaugš. Ziemas rapša priekšaugš visos izmēģinājuma variantos bija ziemas kvieši. Ziemas rapsis audzēts divos no pētītajiem augu maiņas variantiem, kur tas sēts reizi trīs gados “67% kvieši” (B2: R-K-K) vai reizi četros gados “25% kvieši” (B3: P-K-R-M). Ziemas rapsis augu maiņā “67% kvieši” sēts trīs no četriem pētījuma gadiem, bet augu maiņā “25% kvieši” – divos gados (detalizēti skatīt 1. pielikumā).

Augsnes apstrāde veikta pēc priekšauga (ziemas kviešu) ražas novākšanas, izmantojot aršanu A1 variantā un augsnes lobīšanu A2 variantā. Izmantotie augsnes apstrādes veidi aprakstīti 2.2. nodaļā un to izmantošanas laiki aprakstīti 4. pielikumā.

Sējas laiks. Ziemas rapsis pētījuma gados sēts optimālā termiņa beigās (18.08.2017.; 18.08.2018.; 19.08.2019.) vai novēloti (28.08.2016.).

Izsējas norma bija 80 dīgļspējīgas sēklas 1 m², audzējot hibrīdā rapša šķirnes. Izsējas norma bija nedaudz palielināta virs ieteicamās, paredzot zemāku laukdīdību putekļu māla augsnē.

Šķirnes. Izmēģinājumā izmantotas ziemas rapša hibrīdās šķirnes, kuras pētījuma gados atšķīrās, bet katrā no pētījuma gadiem sētajos variantos bija vienādas: 2016./2017. gadā sēta šķirne ‘Veritas CL’; 2017./2018. gadā sēta šķirne ‘Visby’ (izvēles pamatojums saistīts ar iepriekšējā gada vēlo sējas laiku); 2018./2019. gadā sēta šķirne ‘Visby’; 2019./2020. gadā sēta šķirne ‘KWS Himalaya CL’ (bija nepieciešams ierobežot krustziežu nezāles un pārsēto vasaras rapši, kurš bija ieviesies kā sārņaugš).

‘Veritas CL’ – raksturojas ar labu attīstību rudenī arī pie vēlāka sējas termiņa, laba ziemcietība. Raksturīgs augsts ražas potenciāls. Sējas termiņš – no vidēja līdz vēlām. Lieliski

pielāgojas un pacieš sausuma periodus, labi aug vieglās smilts augsnēs. Laba noturība pret pāksteņu atvēršanos. Augsts eļļas saturs.¹²

‘KWS Himalaya CL’ – šķirnei raksturīga lēna auga attīstība rudenī un pavasarī veģetācijai atjaunojoties, laba noturība pret pāksteņu atvēršanos un sēklu izbiršanu. Pacieš nedaudz novēlotu sējas laiku.¹³

‘Visby’ – ļoti laba ziemcietība, augsta ražība un augsts eļļas saturs sēklās. Augiem raksturīga strauja augšana rudenī, tāpēc sējas laiks var būt arī apmēram nedēļu vēlāks nekā vispārīgi rekomendētais. Piemērots sējai arī tad, ja izmanto minimālo augsnes apstrādi.¹⁴

Pamatmēslojums iestrādāts augsnē reizē ar sēju, lietojot komplekso mēslošanas līdzekli NPK. Izmantotā kompleksā mēslošanas līdzekļa saturs un daudzums 2016. gadā bija 7-20-28 250 kg ha⁻¹, nodrošinot 17.5 kg ha⁻¹ slāpekļa, 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ un 70 kg ha⁻¹ K₂O. Pārējos pētījuma gados lietots līdzvērtīgs kompleksais mēslošanas līdzeklis NPK 10-26-26, izmantojot normu 230 kg ha⁻¹ 2017. un 2018. gadā (nodrošinot 23 kg ha⁻¹ slāpekļa, 59.8 kg ha⁻¹ P₂O₅ un tik pat daudz K₂O) un 2019. gadā ar normu 250 kg ha⁻¹ (nodrošinot 25 kg ha⁻¹ slāpekļa, 65 kg ha⁻¹ P₂O₅, 65 kg ha⁻¹ K₂O).

Papildmēslojumā pavasarī, ziemas rapša veģetācijai atjaunojoties, visos izmēģinājuma gados lietots amonija nitrāts (34.4% N) ar devu 250 kg ha⁻¹, nodrošinot 86 kg N ha⁻¹. Pirmā papildmēslojuma lietošanas reize bija neilgi pēc veģetācijas atjaunošanās (27.03.2017.; 16.04.2018.; 01.04.2019.; 24.03.2020.). Otrā papildmēslošanas reize bija 3–5 nedēļas pēc pirmās mēslošanas reizes, stublāja pagarināšanās laikā, pirms ziedēšanas. Papildmēslojums 2017.–2019. gadā lietots divas reizes, otrajā reizē izmantojot amonija nitrātu, ar devu 250 kg ha⁻¹ (N 86 kg ha⁻¹) 2017. gadā, bet 200 kg ha⁻¹ (N 69 kg ha⁻¹) 2018. un 2019. gadā. Augstākais ražas potenciāls bija 2020. gadā, kad visos laukos rapsis bija vienmērīgi un labi pārziemojis, lietoti trīs pavasara slāpekļa papildmēslojumi. Otrajā papildmēslojumā divas nedēļas pēc pirmās mēslošanas reizes, lietots amonija sulfāts, deva 200 kg ha⁻¹ (N 42 kg ha⁻¹, S 48 kg ha⁻¹) un vēl pēc divām nedēļām ražas potenciāla attīstīšanai vēlreiz lietots amonija nitrāts, deva 200 kg ha⁻¹ (N 69 kg ha⁻¹), kopā nodrošinot 197 kg ha⁻¹ slāpekļa un 48 kg ha⁻¹ sēra. Atkarībā no katra gada iespējām lietoti arī ārpuskārņu mēslojumi tvertnes maisījumos ar citiem augu aizsardzības līdzekļiem, pētījuma laikā ikgadēji tie atšķīrās, bet visos izmēģinājuma variantos konkrētajā gadā mēslošana bija vienāda. Precīzu agrotehniku skatīt 4. pielikumā.

Kaitīgo organismu ierobežošana. Nezāļu ierobežošana ziemas rapša sējumos veikta atbilstoši nezāļu botāniskajam sastāvam un to daudzumam. Pirmajā pētījuma sezonā (2016./2017.) lietots Clearfield tehnoloģijai piemērots herbicīds Cleravo (imazamokss, 35 g L⁻¹, kvinmeraks, 250 g L⁻¹) ar devu 1.4 L ha⁻¹ rudenī un papildus pavasarī lietots arī viendīgļlapju nezāles un sārņaugus ierobežojošs herbicīds Targa Super (etilkvizalofops-P, 50 g L⁻¹), deva 1 L ha⁻¹. 2017./2018. gadā pēc sējas izmantots augsnes un pieskares iedarbības herbicīds Butisan Star (metazahlor, 333.0 g L⁻¹, kvinmeraks, 83 g L⁻¹) ar devu 2 L ha⁻¹, pavasarī papildus nezāļu ierobežošanu neveica. 2018./2019. gadā pēc ziemas rapša sējas lietots augsnes iedarbības herbicīds Butisan Avant (kvinmeraks, 100 g L⁻¹, metazahlor, 300 g L⁻¹, dimetēnamīds-P, 100 g L⁻¹) dīgstošo viendīgļlapju un divdīgļlapju nezāļu ierobežošanai ar devu 2 L ha⁻¹, papildus pavasarī lietots arī viendīgļlapju nezāles un sārņaugus ierobežojošs herbicīds Targa Super, deva 1 L ha⁻¹. 2019./2020. gadā rudens periodā lietots herbicīds Clamox (metazahlor, 375 g L⁻¹, imazamokss, 17.5 g L⁻¹), deva 2 L ha⁻¹ kopā ar virsmas aktīvo vielu Dash 0.5 L ha⁻¹. Sārņauga ierobežošanai rudenī lietoja Targa Super ar devu 1 L ha⁻¹. Pavasarī atkārtoti lietots herbicīds viendīgļlapju nezāļu un sārņaugu ierobežošanai – Targa Super, deva 1 L ha⁻¹.

¹² Rapša šķirne ‘Veritas CL’. Latraps sēklu piedāvājums. [Tiešsaiste]^o[skatīts 05.01.2022]. Pieejams: <https://www.latraps.lv/data/dokumenti-2017/zimasmrapsaapraksts.pdf>.

¹³ Rapša šķirne ‘KWS Himalaya CL’. KWS produkti. [Tiešsaiste] [skatīts 11.01.2023.]. Pieejams: <https://www.kws.com/lv/lv/produkti/rapsis/kws-himalaya-cl/>.

¹⁴ Rapša šķirne ‘Visby’. Latraps. [Tiešsaiste] [skatīts 05.01.2022.]. Pieejams: <https://www.latraps.lv/data/lauku-diena2/lauku-apskates-izdales-materials-2019.pdf>.

Slimību ierobežošanai fungicīdus nelietoja. Kaitēkļu ierobežošana veikta vismaz vienu reizi katrā sezonā, 2017. gadā ziedēšanas laikā lietots insekticīds Fastac 50 (alfa-cipermetrīns, 50 g L⁻¹) ar devu 0.25 L ha⁻¹; 2018. gadā lietots Proteus OD (tiakloprīds, 100 g L⁻¹, deltametrīns, 10 g L⁻¹), deva 0.7 L ha⁻¹; 2019. gadā Kaiso 50 EG (lambda-cihalotrīns, 50 g kg⁻¹), deva 0.15 g ha⁻¹; 2020. gadā bija nepieciešami trīs insekticīda smidzinājumi, jo siltais un mitrais pavasaris veicināja ilgstošu ziedēšanu un kaitēkļu skaita palielināšanos. Pirms ziedēšanas lietots Proteus OD, deva 0.75 L ha⁻¹, un ziedēšanas laikā Fastac 50, deva 0.25 L ha⁻¹ un Avaunt (indoksakarbs, 150 g L⁻¹) 0.17 L ha⁻¹ (precīzu lietošanas laiku skatīt 4. pielikumā).

Augu augšanas regulators izmēģinājumā ziemas rapsim lietots 2016., 2017., un 2018. gada rudenī; izmantots Caryx (mepikvāta hlorīds, 210 g L⁻¹, metkonazols, 30 g L⁻¹) ar devu 0.7 L ha⁻¹ (skat. 4. pielikumu).

Vasaras mieži pētījuma laikā sēti trīs no četrām sezonām 2017., 2018. un 2019. gadā, atbilstoši augu maiņas plānam stacionārā (skatīt 1. pielikumu; detalizētu audzēšanas agrotehniku skatīt 5. pielikumā).

Priekšaug vasaras miežiem augu maiņā “25% kvieši” bija ziemas rapsis.

Augsnes apstrāde veikta rudenī pēc priekšauga ražas novākšanas, izmantojot aršanu A1 variantā un augsnes lobīšanu A2 variantā. Izmantotie augsnes apstrādes veidi aprakstīti 2.2. nodaļā un to lietošanas laiki pievienoti 5. pielikumā.

Sēja vasaras miežiem pētījuma gados veikta optimālos termiņos (24.04.2017.; 29.04.2018.; 17.04.2019.), izmantoja šķirni ‘Tocada’ ar izsējas normu 450 dīgtspējīgas sēklas 1 m².

Pamatmēslojums izklidēts pirms sējas un iestrādāts augsnē reizē ar sēju, lietojot komplekso mēslošanas līdzekli NPK 15-15-15 ar normu 250 kg ha⁻¹ (2018. un 2019. gadā kompleksajam mēslošanas līdzeklim bija pievienots sērs (+10S)), nodrošinot 38 kg ha⁻¹ slāpekļa un tādu pašu daudzumu P₂O₅ un K₂O. Papildmēslojums lietots cerošanas sākumā (21. AE), nodrošinot papildus slāpekli ar amonija nitrātu 61.9 kg ha⁻¹ 2017. gadā, 68.8 kg ha⁻¹ 2018. gadā un 2019. gadā 54 kg ha⁻¹, izmantojot YaraBela Axan. Kopā vasaras miežiem nodrošinātais slāpekļa mēslojums bija: 2017. gadā – 100 kg ha⁻¹, 2018. gadā – 107 kg ha⁻¹, 2019. gadā – 92 kg ha⁻¹. Precīzu papildmēslošanu skatīt 5. pielikumā.

Kaitīgo organismu ierobežošana. Nezāļu ierobežošana vasaras miežu sējumos notika atbilstoši nezāļu botāniskajam sastāvam un to skaitam. Lietotais herbicīds 2017. gada pavasarī bija Mustang Forte (florasulams, 5 g L⁻¹, aminopiralīds, 10 g L⁻¹, 2,4-D 180 g L⁻¹), deva 0.8 L ha⁻¹ un 2018. gadā ar devu 0.6 L ha⁻¹. Nezāļu ierobežošanai 2019. gadā lietoja herbicīdu Biathlon 4D (tritosulfurons, 714 g kg⁻¹, florasulams, 54 g kg⁻¹), 60 g ha⁻¹. Slimību ierobežošana bija nepieciešama 2017. un 2019. gadā (atbilstoši, lietojot Epox top (epoksikonazols, 40 g L⁻¹, fenpropidīns, 100 g L⁻¹) deva 1.5 L ha⁻¹ un Tango Super (epoksikonazols, 84 g L⁻¹, fenpropimorfs, 250 g L⁻¹), deva 1 L ha⁻¹. Kaitēkļu ierobežošana: insekticīds (Fastac 50 (alfa-cipermetrīns, 50 g L⁻¹), deva 0.25 L ha⁻¹) lietots tikai 2019. gadā, precīzu lietošanas plānu skatīt 5. pielikumā.

Lauka pupas pētījuma laikā sētas trīs no četrām sezonām 2018., 2019. un 2020. gadā, atbilstoši augu maiņas plānam stacionārā (skatīt 1. pielik.; detalizētu audzēšanas agrotehniku skatīt 6. pielikumā).

Priekšaug lauka pupām augu maiņā “25% kvieši” bija vasaras mieži.

Augsnes apstrāde veikta pēc priekšauga (vasaras miežu) ražas novākšanas, izmantojot aršanu A1 variantā un augsnes lobīšanu A2 variantā.

Sēja lauka pupām pētījuma gados veikta atkarībā no iespējamības veikt augsnes apstrādes darbus pavasarī: 24.04.2018., 06.04.2019., 30.03.2020. Visos izmēģinājuma gados sēja šķirni

'Laura' ar izsējas normu 45 dīgtspējīgas sēklas 1 m². Šķirne ir augstražīga, ar vidēji agrīnu nogatavošanās termiņu, noturīga pret lauka pupu slimībām¹⁵.

Pamatmēslojums iestrādāts augsnē reizē ar sēju, lietojot kompleksos mēslošanas līdzekļus: 2018. gadā izmantots MAP NP (12-52) ar normu 120 kg ha⁻¹, nodrošinot N – 14.4 kg ha⁻¹, P₂O₅ – 62 kg ha⁻¹; 2019. gadā un 2020. gadā lietots kompleksais mēslojums NPK 15+15+15 ar devu 200 kg ha⁻¹, nodrošinot N – 30, P₂O₅ – 30, K₂O – 30 kg ha⁻¹.

Kaitīgo organismu ierobežošana. Nezāļu ierobežošana lauka pupu sējumos veikta, izmantojot vairākus herbicīdus. Pēc sējas lietots selektīvs, sistēmas iedarbības herbicīds – Stomp CS (pendimetalīns, 455 g⁻¹) ar devu 2 L ha⁻¹ (lietots lauka pupām visos trīs pētījuma gados, kuros tās audzētas). Stublāja pagarināšanās laikā neilgi pirms ziedēšanas visos izmēģinājuma gados lietots herbicīds Basagran 480 (bentazons, 480 g L⁻¹) ar devu 1.5–2 L ha⁻¹ viendīgļlapju nezāļu un labību sārņaugu ierobežošanai 2018. un 2019. gada jūnijā lietots herbicīds – Targa Super (etil-kvizalofops-P, 50 g L⁻¹) 1 L ha⁻¹.

Slimību ierobežošanai fungicīdus nelietoja. Kaitēkļu ierobežošana notika vienu reizi katrā sezonā lauka pupu ziedēšanas sākumā. Visos pētījuma gados kaitēkļu ierobežošanai lietots insekticīds Proteus OD (tiakloprīds, 100 g L⁻¹, deltametrīns, 10 g L⁻¹) ar devu 0.7 L ha⁻¹.

Izmēģinājuma iekārtošanai un agrotehnisko pasākumu veikšanai izmantota ražojošos laukos pielietotā tehnika. Aršana veikta ar četrkorpusu maiņvērsējarklu Kverneland ES-95-2004, augsnes lobīšanai izmantots uzkarināms disku lobītājs BURY KORAL 4.0 4 m, pirms sējas augsnes apstrādei izmantots kompaktors, sēja veikta ar sējmašīnu Junkkari Simulta 2500 NL 3m vai Horsch Pronto 4 DC 4 m. Minerālmēslu kaisīšana veikta ar izklieģētāju Rauch AXIS H 30.2 EMC+W, smidzināšanas pasākumiem izmantots uzkarināmais smidzinātājs Amazone UF1501, ražas novākšana veikta ar izmēģinājumu kombainu Sampo 130.

2.4. Izmēģinājumā veiktie novērojumi un analīzes

Dīgšanas dinamika ziemas kviešiem uzskaitīta trijos no četriem pētījuma gadiem: 2017., 2018. un 2019. gadā. Dīgšanas dinamikas uzskaitē sāka no pirmo dīgstu parādīšanās brīža veikta ik pēc 2 līdz 3 dienām pirmajā nedēļā un turpināta, līdz dīgstu skaits bija nemainīgs vai sākās cerošana. Uzskaites reižu skaits pētījuma gados bija mainīgs, jo atšķīrās sadīgšanas ātrums un vienmērīgums pa gadiem un augsnes apstrādes variantiem atkarībā no meteoroloģiskajiem apstākļiem dīgšanas laikā. Uzskaitē veikta, izmantojot 0.1 m² rāmīti, veicot trīs mērījumus katrā lauciņā. Pirmajā uzskaites reizē randomizēti izvēlētās uzskaites vietas precīzi atzīmētas ar mietiņiem, un tās bija nemainīgas visu uzskaites laiku katrā gadā.

Visos izmēģinājuma gados uzskaitē veikta kviešu bezmaiņas variantā B1 (100% kvieši); augu maiņā B2 (rapsis-kvieši-kvieši jeb 67% kvieši), kur kvieši audzēti pēc rapša, uzskaitē veikta 2017., 2018. un 2020. gadā, bet kur kvieši audzēti pēc kviešiem – 2018. un 2019. gadā. Četru dažādu kultūraugu maiņā (B3 jeb kvieši 25%) uzskaitē veikta 2018. un 2019. gada septembrī.

2017. gadā sadīgušo augu uzskaitē uzsākta 16. oktobrī (16. dienā pēc sējas), un mērījumi veikti piecas reizes ik pēc divām dienām. 2018. gadā pirmā uzskaitē veikta 8. oktobrī un turpinājās līdz 16. oktobrim, mērījumus veicot katru otro dienu. Pēdējās dīgstu uzskaites laiks (11. AE) bija atšķirīgs – RA variantā – 16. oktobrī, bet TA variantā – 28. oktobrī. 2019. gadā dīgstu uzskaitē sāka 23. septembrī, pirmās četras uzskaites veiktas ar divu dienu intervālu, bet pēdējā – 5. oktobrī. Precīzi uzskaites datumi skatāmi 2.2. tabulā.

¹⁵ *Lauka pupu šķirne 'Laura'*. Scandagra Latvija. [Tiešsaiste] [skatīts 19.09.2023.]. Pieejams: <https://www.scandagra.lv/produkts/laura/>.

**Ziemas kviešu sadīgušo augu (11. AE) uzskaites laiks
2017., 2018. un 2019. gada rudenī**

Rādītājs	Gads					
	2017		2018		2019	
	TA	RA	TA	RA	TA	RA
Dīgšanas sākums	13.10.2017.		06.10.2018.	27.09.2018.	22.09.2019.	
1. uzskaitē	16.10.2017.		08.10.2018.		23.09.2019.	
2. uzskaitē	18.10.2017.		10.10.2018.		25.09.2019.	
3. uzskaitē	20.10.2017.		12.10.2018.		27.09.2019.	
4. uzskaitē	22.10.2017.		14.10.2018.		29.09.2019.	
5. uzskaitē	24.10.2017.		16.10.2018.		05.10.2019.	
Pēdējā uzskaites reizē	24.10.2017.		28.10.2018.	16.10.2018.	05.10.2019.	

TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēma; RA – reducētā augsnes apstrādes sistēma

Katrā pētījuma gadā salīdzināta dīgšanas dinamika abās pētītajās augsnes apstrādes sistēmās piecās kopīgajās uzskaites reizēs un beidzamajā uzskaites reizē, aprēķinot pieaugumu (%).

Ziemas kviešu laukdīdžība (%) aprēķināta pēc 1. formulas, aprēķinam ņemot sadīgušo dīgstu skaitu no pēdējās dīgšanas dinamikas uzskaites.

$$\text{Laukdīdžība} = \frac{SA}{IN} \times 100 \quad (1)$$

kur

SA – sadīgušo dīgstu skaits, (gab. m⁻²)

IN – izsējas norma, dīgtspējīgo sēklu skaits m⁻², (gab. m⁻²)

Pētījuma laikā fiksēta **auga augšana un attīstība**, reģistrējot augšanas un attīstības etapus (AE) pēc BBCH skalas (BBCH Monograph ..., 2018).

Ziemas kviešiem-augšana un attīstība vērtēta visās četrās pētījuma sezonās: sadīgšana rudenī (pilni dīgsti 11. AE), veģetācijas atjaunošanās pavasarī, stiebrošanas sākums (31. AE), vārpošanas sākums (51. AE), piengatavības sākums (73. AE) un graudu novākšanas gatavība (89. AE) (skat. 7. pielik.). Pārējiem izmēģinājumā iekļautajiem kultūraugiem augšanas un attīstības etapi atzīmēti, sākot ar 2017. gada pavasari – vasaras miežiem un lauka pupām, un sākot no 2017. gada rudens – ziemas rapsim.

Ziemas rapsim 2017./ 2018. gadā, 2018./2019. un 2019./2020. gadā fiksēta sadīgšana (11. AE), četru lapu attīstība (14. AE), stublāja pagarināšanās sākums (30. AE), ziedpumpuru parādīšanās (50. AE), ziedēšanas sākums (60. AE), sēklu pildīšanās sākums (71. AE) un novākšanas gatavība (89. AE) (skat. 8. pielik.).

Vasaras miežiem 2018. un 2019. gadā reģistrēta sadīgšana (11. AE), cerošanas sākums (21. AE), stiebrošanas sākums (31. AE), vārpošanas sākums (51. AE), vārpošanas beigas (59. AE), piengatavības vidus (75. AE), novākšanas gatavība (89. AE) (skat. 8. pielik.).

Lauka pupām 2018., 2019. un 2020. gadā atzīmēta sadīgšana (11. AE), stublāja pagarināšanās sākums (30. AE), ziedēšanas sākums (60. AE), novākšanas gatavība (89. AE) (skat. 8. pielik.).

Ziemas kviešu **veģetācijas perioda garums, ziemcietība un izturība pret veldri** noteikta atbilstoši MK noteikumu Nr. 518 “Augu šķirnes saimniecisko īpašību novērtēšanas noteikumi” metodikai¹⁶. Pārējiem kultūraugiem šie rādītāji netika vērtēti.

Ražu veidojošo struktūrelementu noteikšana, izmantojot paraugkūļus. Paraugkūļu ievākšana ziemas kviešiem, vasaras miežiem, lauka pupām un ziemas rapsim notika 89. AE. (skat 7. un 8. pielikumu). Ziemas kviešu un vasaras miežu paraugkūļi ievākti no 0.125 m² laukuma trīs vietās katrā lauciņā. Ziemas rapsim un lauka pupām paraugkūļi ievākti 0.5 m² platībā divās vietās katrā lauciņā. No paraugkūļiem iegūti dati graudu vai sēklu / salmu attiecības noteikšanai, kas tālāk izmantoti salmu masas un ražas indeksa aprēķināšanai.

Paraugkūļi izmantoti arī ražas struktūrelementu noteikšanai:

- ziemas kviešiem un vasaras miežiem – produktīvo stiebru skaits 1 m², graudu skaits vārpā, gab., 1000 graudu masa, g;
- ziemas rapsim – augu skaits 1 m²;
- lauka pupām – augu skaits 1 m², pākšu skaits augam, gab., sēklu skaits pākstī, gab.

Ražas struktūrelements 1000 graudu / sēklu masa noteikta ar standartmetodi (LVS EN ISO 520:2011).

Graudu / sēklu raža ziemas kviešiem, miežiem un lauka pupām iegūta ar tiešo ražas uzskaites metodi, nokuļot lauciņa ražu, kas pārrēķināta pie 100% tīrības un standartmitrums (14%). Nokultā lauciņa uzskaites platība pa gadiem svārstījās un bija vidēji no 100–120 m². Ziemas rapsim ražas uzskaitē veikta ar netiešo ražas uzskaites metodi, izmantojot ievāktos paraugkūļus un no tiem iegūto vidējo sēklu masu pārrēķinot t ha⁻¹ pie 100% tīrības un standartmitrums 8%.

Salmu raža aprēķināta, izmantojot graudu/sēklu ražu un no paraugkūļu analizē iegūtās graudu / sēklu un salmu attiecības, pārrēķinot pie graudu / sēklu standartmitrums (2. formula).

$$\text{Salmu raža, t ha}^{-1} = \frac{\text{salmu masa paraugkūlī, g}}{\text{graudu masa paraugkūlī, g}} \times \text{graudu raža, t ha}^{-1} \quad (2)$$

Aprēķināts **ražas indekss**, kurš izsaka graudu īpatsvaru kopējā virszemes biomasas ražā.

Graudu un sēklu kvalitāte noteikta LLU LF (vēlāk LBTU LPTF) Graudu un sēklu mācību-zinātniskajā laboratorijā, izmantojot tuvo infrasarkanu staru spektroskopiju (NIRS) ar analizatoriem Infratec Analyzer 1241 (2017. gadā) un InfratecTM NOVA (no 2018. gada). Mērinstrumenti Infratec Alayzer 1241 un InfratecTM NOVA pievienoti Latvijas graudu tīklam un ikgadēji tiek kalibrēti. Noteiktie graudu / sēklu kvalitātes rādītāji katram pētījumā iekļautajam laukaugam apkopoti 2.3. tabulā.

2.3. tabula

Ar tuvo infrasarkanu staru spektroskopiju noteiktie sēklu kvalitātes rādītāji pētītajiem kultūraugiem

Kvalitātes rādītājs	Kultūraugs
Proteīna saturs, %	kvieši, mieži, pupas
Lipekļa saturs, %	kvieši
Zeleny indekss	kvieši
Tilpummasa, kg hL ⁻¹	kvieši, mieži, rapsis
Eļļas saturs, %	rapsis
Cietes saturs, %	kvieši, mieži

¹⁶ Augu šķirnes saimniecisko īpašību novērtēšanas noteikumi. Ministru kabineta noteikumi Nr.518. [Tiešsaiste] [skatīts 15.07.2022.]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/250577-augu-skirnes-saimniecisko-ipasibu-novertesanas-noteikumi>.

Ziemas kviešiem krišanas skaitlis (s) noteikts pēc Hagberga-Pertena metodes (ISO 3093:2009). Lauka pupām tilpummasa noteikta pēc standartmetodes LVS 273, izmantojot cilindrus un svarus.

Iegūto graudu un sēklu kvalitātes atbilstība iepirkumam salīdzināta ar LPKS “Latraps” graudu iepirkuma kvalitātes prasībām (skat. 9. pielikumu). Ziemas kviešu graudu atbilstībai kādai no kvalitātes grupām (pārtikas vai lopbarības) vērtēts proteīna un lipekļa saturs, tilpummasa un krišanas skaitlis, atsevišķi netika salīdzināts mitrums un piemaisījumu daudzums, jo kvalitāte vērtēta 100% tīrai ražai pie 14% mitruma. Lauka pupām piemērota lopbarības grupa, jo nepieciešamie kvalitātes novērtējumi, lai pupas iekļautu pārtikas grupā, izmēģinājuma laikā neveica (kaitēkļu bojāto sēklu īpatsvars un šķelto sēklu īpatsvars). Vasaras miežiem iepirkumā vērtēta tilpummasa un tai bija jābūt virs 60 kg hL⁻¹. Rapša sēklu iepirkumā minēts bāzes eļļas saturs – 40%.

Kultūraugu enerģijas raža. Izmēģinājumā iekļauto kultūraugu sēklu un pēcplaujas atlieku enerģētiskās vērtības (kJ kg⁻¹) noteiktas Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūtā ar standartmetodi (EN ISO 18125:2017). Enerģētiskā vērtība noteikta katra varianta vidējam paraugam no četriem atkārtojumiem. Kultūraugu enerģijas raža (kJ ha⁻¹, pārrēķināta GJ ha⁻¹) aprēķināta pēc 3. formulas.

$$R_{en} = (R_{bs} \times E_v) / 10^6 \quad (3)$$

kur:

R_{en} – graudu / sēklu / pēcplaujas atlieku enerģijas raža, GJ ha⁻¹

R_{bs} – biomasas sausnas raža graudiem / sēklām / pēcplaujas atliekām, t ha⁻¹

E_v – graudu / sēklu / pēcplaujas atlieku enerģētiskā vērtība, kJ kg⁻¹

Enerģijas raža atsevišķi rēķināta graudiem / sēklām un ražas pēcplaujas atliekām. Lai noteiktu kopējo enerģijas ražu no 1 ha, summēta pamatprodukcijas enerģijas raža un no ražas pēcplaujas atliekām iegūstamais enerģijas daudzums (kJ ha⁻¹ vai GJ ha⁻¹). Lai savstarpēji salīdzinātu izmēģinājumā iekļautos augu maiņu variantus, aprēķinātas vidējās iegūtās enerģijas ražas no katra kultūrauga katrā augu maiņā atsevišķi (piem., vidējā enerģijas raža no kviešiem augu maiņā “100% kvieši” un vidējā kviešu enerģijas raža augu maiņā “67% kvieši” un analogiski arī augu maiņā “25% kvieši”).

Vidējā enerģijas raža reizināta ar kultūrauga proporciju augu maiņas variantā, un noteikts proporcionālais enerģijas sadalījums no katra kultūrauga augu maiņā.

Organiskais ogleklis (C_{org}) noteikts, salīdzinot to ar organisko vielu (%) saturu augsnē, izmantojot “*Van Bemmelen* faktoru” – pārrēķina koeficientu 1.724 (Minasny et al., 2020) (4. formula).

$$\text{Organiskais ogleklis, \%} = \frac{\text{Organiskā viela, \%}}{1.724} \quad (4)$$

Organisko vielu saturs augsnē noteikts Valsts augu aizsardzības dienesta Agroķīmijas laboratorijā 2010., 2017. un 2022. gadā. Izmantota LR Zemkopības Ministrijas 2022. gada 4. janvārī apstiprinātā kārtība Nr. 1 “Augšņu agroķīmiskās izpētes un izpētes rezultātu novērtēšanas kārtība”, kura ir ekvivalenta 2010. un 2017. gadā izmantotajām metodēm. Veikta mitrā pārpelnošana, izmantojot kālija bihromāta (K₂Cr₂O₇) un sērskābes (H₂SO₄) maisījumu 125 °C temperatūrā. Analizēšanai nodoti paraugi no trīs dažādiem augsnes slāņiem: 0–20 cm, 20–40 cm un 40–60 cm. Paraugi ievākti katrā izmēģinājuma laukā, veicot zondēšanu vismaz trīs dažādās vietās laukā katrā no izmēģinājuma blokiem. Kopā – 24 vidējie paraugi katrā analizētajā augsnes dziļumā. Salīdzināšanai izmantotie augsnes analīžu sākotnējie C_{org} satura dati stacionārā 2010. gadā iegūti agrāk veikta projekta ietvaros: VPP-5.3.1. (Nr.VP26) “Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei” (PĀRTIKA) 3.1. apakšprojekts “Augsnes kā galvenā resursa ilgtspējīga izmantošana

drošu un kvalitatīvu pārtikas un lopbarības izejvielu ieguvei no plašāk audzētajām laukaugu sugām”. Projekta īstenošanas laiks 2010.–2013. gads, vadītājs A. Ruža.

C_{org} krājumu ($t\ ha^{-1}$) aprēķināšanai augsnē 0–20 cm dziļumā izmantots aprēķinātais C_{org} saturs (%) un vidējā augsnes tilpummasa ($g\ cm^{-3}$ pārrēķināta uz $t\ m^{-3}$) augsnes apstrādes sistēmu variantos (vidējā TA un AR), kura noteikta 2017. gadā veiktās augsnes analizēs (iegūtie dati publicēti ZM subsidētā projekta Nr. 310 “Minimālās augsnes apstrādes ietekme uz augsnes auglības saglabāšanu, kaitīgo organismu attīstību un izplatību, ražu un tās kvalitāti bezmaiņas sējumos” atskaites pielikumos, vadītājs A. Ruža¹⁷). C_{org} daudzums 0–20 cm dziļumā aprēķināts pēc 5. formulas (Ellert et al., 2007).

$$C_{org}\text{ krājumi} = TM \times DZ_a \times 10^4 \times \frac{C_{org\text{sat}}}{100} \quad (5)$$

kur: C_{org} krājumi – organiskā oglekļa krājumi augsnē 0–20 cm dziļumā, $t\ ha^{-1}$;
 TM – augsnes tilpummasa, $t\ m^{-3}$;
 DZ_a – augsnes dziļums, kurā aprēķināti C_{org} krājumi, m;
 $C_{org\text{sat}}$ – organiskā oglekļa saturs augsnē, %.

Augkopības produkcijas ražošanas **ekonomiskais izdevīgums** atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes variantiem novērtēts, izmantojot bruto seguma aprēķinu. Bruto segums aprēķināts atbilstoši “Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centra” (LLKC) izstrādātajai metodikai. Bruto segumu iegūst, no produkcijas realizācijas ieņēmumiem atskaitot mainīgās izmaksas izejvielām un mašīnu un roku darba operācijām. Bruto seguma aprēķināšanai izmantoti MPS “Pēterlauki” grāmatvedības uzskaites dokumenti (ienākošās un izejošās pavadzīmes) 2016., 2017., 2018., 2019. un 2020. gadā, LLKC apkopotie dati par augu aizsardzības un mēslošanas līdzekļu vidējām pārdošanas cenām valstī 2016., 2017., 2018., 2019. un 2020. gadā, izmantoto materiālu cenu noskaidrošanai, kuras netika atrastas MPS “Pēterlauki” vai vidējās LLKC cenās, izmantotas arī izejmateriālu cenas, kuras pieejamas ražojošu saimniecību grāmatvedības uzskaites datos. Izejmateriālu cenas, kuras nebija iespējams noskaidrot, norādītas kā alternatīvu līdzekļu ar līdzīgu iedarbības veidu cenas. Mašīnu un roku darba operācijas rēķinātas, izmantojot LLKC apkopotās vidējās traktortehnikas pakalpojumu cenas Zemgales reģionā 2016., 2017., 2018., 2019. un 2020. gadā. Lauksaimniecības produkcijas realizācijas cenām izmantoti dati no LLKC sagatavotajiem bruto segumiem par vidējām graudu / sēkļu realizācijas cenām Latvijā ražas vākšanas gados¹⁸. Ziemas kviešiem izmantotas cenas atbilstoši iegūtajai kvalitātes grupai: pārtikas vai lopbarības graudi atbilstoši LPKS “Latraps” iepirkuma prasībām 2022. gadā.

Ziemas rapša ražu tradicionālās augsnes apstrādes variantā 2019. gadā augu maiņā “67% kvieši” neizdevās iegūt, jo augi nepārziemoja. Lai aprēķinātu bruto segumu augu maiņas variantam “67% kvieši” ar augu secību kvieši-kvieši-rapsis-kvieši tradicionālā augsnes apstrādē, tika veikta pazudušo/neiegūto datu atjaunošana, izmantojot Dž. Snedekora formulu datu atjaunošanai (skat. 6. formula) un aprēķināts ražas lielums, kuru izmantoja bruto seguma aprēķinā (Снедекор, 1961, citēts no Rubenis, 1987).

¹⁷Augsnes tilpummasa. LBTU. [Tiešsaiste] [skatīts 26.05.2023.]. Pieejams: https://www.lbtu.lv/sites/default/files/files/projects/S310_ataskaite.pdf.

¹⁸Bruto segumi. LLKC. [Tiešsaiste] [skatīts 10.11.2022.]. Pieejams: <http://new.llkc.lv/lv/nozares/ekonomika/bruto-segumi>.

$$Y = \frac{L \times V + n \times P - \sum X}{(L-1)(n-1)} \quad (6)$$

kur: Y – atjaunojamais rezultāts;
 L – variantu skaits;
 N – atkārtojumu skaits;
 V – tā varianta datu summa, kur atrodas izkritušais rezultāts;
 P – tā atkārtojuma datu summa, kur atrodas izkritušais rezultāts;
 $\sum X$ – visu datu summa.

Aprēķināts katras augu maiņas vidējais ekonomiskais izdevīgums gadā, kurš izteiks kā bruto segums. Aprēķins veikts, ņemot vidējās bruto seguma vērtības katram kultūraugam vidēji gadā un ņemot vērā kultūrauga īpatsvaru augu maiņā (skat. 7. formula). Augu maiņas vidējais ekonomiskais izdevīgums gadā rēķināts atsevišķi tradicionālajai un reducētajai augsnes apstrādei.

$$\text{Vidējais augu maiņas bruto segums gadā} = \frac{(K1 \times t) + (K2 \times t) + (Kn \times t)}{T} \quad (7)$$

kur:

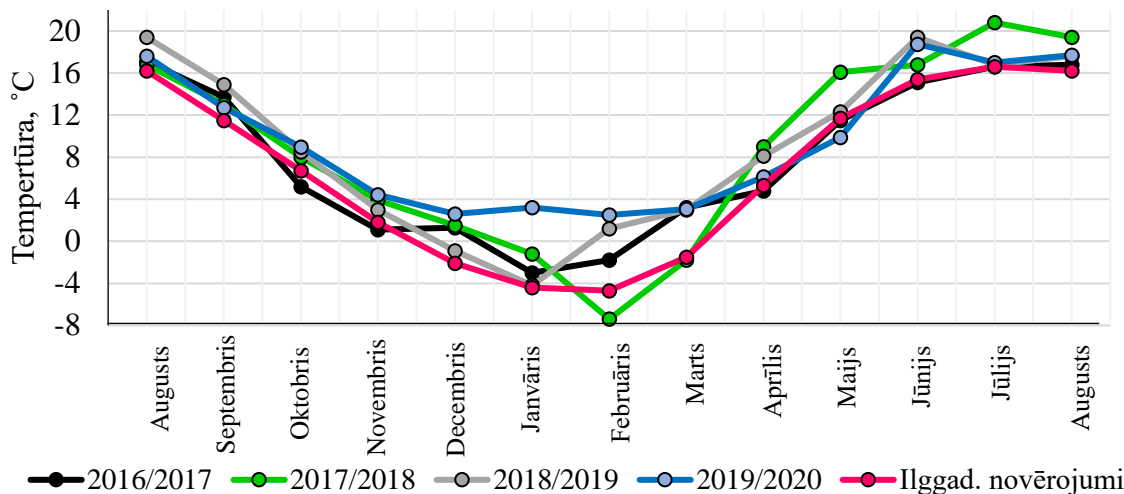
K1, K2...Kn – augu maiņā iekļautā kultūrauga vidējais bruto segums (EUR ha⁻¹) visā periodā tradicionālajā vai reducētajā augsnes apstrādes sistēmā;
 t – ilgums gados, cik tas tiek audzēts vērtētajā augu maiņā;
 T – kopējais augu maiņas garums (100% kvieši – 4 gadi, 67% kvieši – 3 gadi, 25% kvieši – 4 gadi)

Datu matemātiskajai apstrādei izmantotas datorprogrammas MS Excel un RStudio, veicot dispersijas (vienfaktora, divfaktoru un daudzfaktoru), korelācijas un regresijas analīzes. Rezultātu atšķirību būtiskums novērtēts 95% līmenī, izmantojot robežstarpības (RS_{0.05}) vērtību vai Bonferroni testu.

2.5. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums

Meteoroloģiskie apstākļi izmēģinājumā vietā reģistrēti, izmantojot stacionāro, automātisko meteoroloģisko staciju Davis Wireless Vantage Pro2 Plus UV& SOLAR, kura atrodas izmēģinājuma vietā "Poķi". Izmēģinājuma periodā iegūtie meteoroloģiskie dati salīdzināti savstarpēji pa sezonām un ar ilggadīgajiem novērojumiem (vidējie pēdējo 30 gadu dati, tekstā arī "norma") no Jelgavas Hidrometeoroloģiskās stacijas.

Vidējās temperatūras izmēģinājuma laikā krasi atšķirās starp pētījuma sezonām (skat. 2.1. att.). Trīs no izmēģinājuma gadiem raksturojās ar īpaši siltāku pavasara / vasaras veģetācijas periodu (izņemot 2016./2017. g.).



2.1. att. Vidējās gaisa temperatūras 2016./2017.–2019./2020. gada sezonās izmēģinājuma vietā “Poķi”, salīdzinājumā ar ilggadīgajiem novērojumiem Jelgavas HMS

Sējas gada rudens sākās augusta mēnesī, kad veica rapša sēju. Visos izmēģinājuma gados gaisa temperatūra augustā bija augstāka par normu, jo īpaši augsta temperatūra bija 2018. un 2019. gadā (19.4 un 17.6 °C, atbilstoši). Septembris visos izmēģinājuma gados bija siltāks (+1.2 – +3.4 °C) par ilggadīgajiem novērojumiem (vid. 11.5 °C). Arī oktobris trijos no četriem izmēģinājuma gadiem bija siltāks (+1.3 – 2.3 °C) par ilggadīgajiem novērojumiem (vid. 6.7 °C), izņēmums bija 2016. gada oktobris, kad vidējā gaisa temperatūra mēnesī bija tikai 5.2 °C. Līdzīgi novērojumi bija par novembra mēnesi, kas 2016. gadā bija nedaudz vēsāks nekā ilggadīgi novērots.

Ziemas periods gadu no gada atšķirās ar temperatūru svārstībām ziemas mēnešos. Īpaši izceļama bija 2019./2020. gada ziema, kad gaisa vidējā temperatūra vairākkārtīgi pārsniedza ilggadīgos novērojumus: pēc vidējiem ilggadīgajiem novērojumiem decembrī gaisa temperatūra ir 2.1 °C, janvārī -4 °C, februārī -4.7 °C, bet 2019./2020. gadā temperatūra bija augstāka decembrī par 4.7 °C, janvārī par 7.6 °C un februārī par 7.2 °C pārsniedzot ilggadīgo novērojumu vidējo temperatūru. Visaukstākais ziemas mēnesis bija 2018. gada februāris, kad vidējā gaisa temperatūra noslīdēja līdz -7.4 °C, kas bija par 2.7 °C zemāk nekā ilggadīgie novērojumi; šis bija vienīgais gadījums, kad gaisa vidējā temperatūra ziemas mēnešos bija zemāka par ilggadīgajiem vidējiem novērojumiem. Tieši februāra mēnesī starp izmēģinājuma gadiem bija lielākā vidējās mēneša temperatūras atšķirība (2.1. att.).

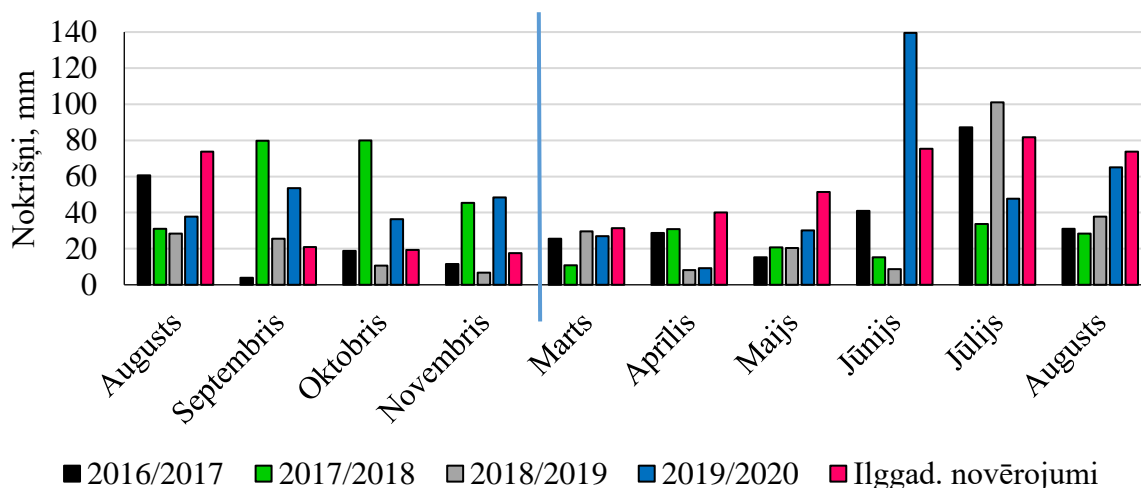
Pavasaris. Gaisa temperatūra 2018. gada martā bija ļoti tuva ilggadīgajiem novērojumiem, vid. -1.5 °C, bet pārējos izmēģinājuma gados marts bija siltāks par 3.0–3.2 °C. Aprīļa mēnesis izteikti siltāks, salīdzinot ar ilggadīgajiem datiem, bija 2017. un 2018. gadā, attiecīgi +9 °C un +8.1 °C. Karstākais maijs bijis 2017. gadā, kad vidējā gaisa temperatūra bija 16.1 °C, pārsniedzot ilggadīgos novērojumus par 4.4 °C, bet vēsākais – 2020. gadā (vid. 9.9 °C).

Vasara. Karstākais jūnija mēnesis bija 2019. un 2020. gadā (vid. 19.4 un 18.7 °C), ilggadīgajos novērojumos atzīmēti 15.4 °C. Vidējā gaisa temperatūra gan jūlijā, gan augustā pārsniedza ilggadīgos novērojuma datus visos izmēģinājuma gados. Karstākais bija 2018. gada periods, kad gaisa temperatūra jūlijā pārsniedza normu par 4.2 °C un augustā par 3.2 °C. Pārējos gados gaisa temperatūras jūlijā bija tuvu ilggadīgajiem novērojumiem, bet augustā arī 2019. un 2020. gadā temperatūra bija par 1.4–1.5 °C augstāka nekā ilggadīgie rādījumi.

Nokrišņu daudzums izmēģinājuma periodā (skatīt 2.2. att.) analizēts rudens veģetācijas periodā un turpinājās ar pavasara mēnešiem. Ziemas mēnešos visos izmēģinājuma gados nebija iespējas noteikt izkritušo nokrišņu daudzumu, jo vairākās no ziemām augsni klāja sniegs, kuru automātiskā meteoroloģiskā stacija neregistrē.

Sējas gada rudens sezona (skat. 2.2. att.). Augusts izmēģinājuma laikā izcēlās ar īpaši zemu nokrišņu daudzumu, jo trijos no četriem sējas gadiem nokrišņu daudzums bija apmēram

puse no normas (73.7 mm), izņēmums bija 2016. gada augusts, kurā nokrišņu daudzums sasniedza 60.7 mm. Septembrī gandrīz visos izmēģinājuma gados (izņemot 2016. gadu) nokrišņu daudzums bija lielāks nekā norma, īpaši izcēlās 2017. gada septembris, kurā nolija četras reizes vairāk nokrišņu nekā ilggadīgi novērots, un četras reizes vairāk par normu nolija arī nākamajā mēnesī – oktobrī. Sausākais septembris bija 2016. gadā, kad nolija tikai 3.9 mm, kas bija piecas reizes mazāk nekā ilggadīgi novērots, savukārt pēdējais no izmēģinājuma rudens sējas gadiem (2019. gads) raksturojams gan ar 2.5 reizu lielākiem nokrišņiem septembrī, gan arī augstāko nokrišņu daudzumu oktobrī (vid. 36.4 mm, norma – 19.3 mm) un novembrī (vid. 48.4 mm, norma – 17.6 mm). Lai arī 2018. gadā nokrišņu daudzums septembrī bija optimāls, tomēr nokrišņu sadalījums mēnesī bija nevienmērīgs, un ilgstoši pēc ziemāju sējas augsnē trūka produktīvā mitruma. Kopumā 2018. gada rudens bija sausākais izmēģinājuma periodā.



2.2. att. Nokrišņu daudzums 2016./2017.–2019./2020. gada veģetācijas periodos izmēģinājuma vietā “Poķi”, salīdzinājumā ar ilggadīgajiem novērojumiem Jelgavas HMS

Pavasaris. Martā trijos no četriem izmēģinājuma gadiem nokrišņu daudzums (25.6 – 29.6 mm) bija tuvu normai, kas ir 31.3 mm, izņemot 2018. gada martu (10.8 mm). Sausākais aprīlis bija 2019. un 2020. gadā – nolija 8.1 un 9.2 mm atbilstoši (norma – 40 mm). Maijs izmēģinājuma periodā bija izteikti sausāks, nokrišņu daudzums bija 30–60% no ilggadīgi novērotajiem.

Vasaras mēneši pētījuma gados nokrišņu ziņā bijuši dažādi. Jūnijs nokrišņu maz bija 2017., 2018. un 2019. gada vasarā, bet 2020. gadā 29. jūnijā nolija gandrīz puse no normas. Jūlija mēnesī nokrišņu daudzuma norma pārsniegta 2017. un 2019. gadā, bet nabadzīgākais bija 2018. gads. Neskatoties uz paaugstinātu nokrišņu daudzumu jūlijā 2017. un 2019. gadā, arī šajās vasarās kopējais nokrišņu daudzums sasniedza tikai 63–69% no nokrišņu normas. Nokrišņu mazāk bija 2018. gada vasarā, vidējais vasaras mēneša nokrišņu daudzums bija 25.7 mm, bet 2020. gada vasara raksturojās ar palielinātu nokrišņu daudzumu, vidējais vasaras mēneša nokrišņu daudzumu bija 84.1 mm.

Kopsavilkums. 2016./2017. gads raksturojās ar mērenu gaisa temperatūru un optimālu nokrišņu daudzumu augustā, bet samazinātu nokrišņu daudzumu rudens mēnešos. Ziema bija siltāka par ilggadīgiem novērojumiem. Pavasaris un vasara raksturojās ar mērenu gaisa temperatūru, nokrišņu daudzums pavasarī un vasaras sākumā bija optimāls, bet jūlijā – palielināts, savukārt augusts un ražas novākšanas laiks bija ar zemu, mērenu nokrišņu daudzumu.

2017./2018. gadā septembris un oktobris raksturojās ar palielinātu nokrišņu daudzumu un paaugstinātu gaisa temperatūru. Aukstākais mēnesis ziemošanas periodā bija februāris, bet vidējā temperatūra decembrī un janvārī bija augstāka par normu. Aprīlis bija nokrišņiem bagāts

un ļoti silts, turpmākajos mēnešos līdz ražas novākšanai bija mitruma deficīts un novērotas paaugstinātas gaisa temperatūras maijā, jūlijā un augustā. Visa veģetācijas perioda garumā bija maz nokrišņu, kas bija tikai 64% no ilggadīgajiem novērojumiem pavasara mēnešos un 33% no normas vasaras mēnešos.

2018./2019. gads turpinājās ar izteiktu mitruma deficītu no 2018. g. oktobra mēneša līdz pat 2019. g. jūlija mēnesim. Jūlijā nolija salīdzinoši liels mitruma daudzums, kas tomēr bija tikai nedaudz augstāks par jūlijā ilggadīgi novēroto. Gaisa temperatūra bija mērena līdz 2019. g. janvārim, pēc tam tā paaugstinājās, un jūnijā tika novērots ekstremāls karstums, bet pārējos vasaras mēnešos temperatūra bija mērena, lai gan nedaudz augstāka par normu.

2019./2020. gads no pārējiem atšķīrās ar siltākiem un nokrišņiem bagātiem rudens mēnešiem. Nokrišņu daudzums 2019. gada rudenī bija 2.4 reizes lielāks nekā ilggadīgi novērots. Ziemas periods bija ar paaugstinātu gaisa temperatūru, nevienā no mēnešiem vidējā temperatūra nenoslīdēja zem 0 °C. Pavasarī un vasarā gaisa temperatūra bija mērena, tomēr jūnijs bija karstāks par normu. Nokrišņu daudzums no aprīļa līdz jūnija vidum bija nepietiekams kultūraugu ražas veidošana, bet jūnija beigās bija ekstremāli palielināts nokrišņu daudzums, kā ietekmē daļa ziemas kviešu lauku cieta no veldrēšanās.

Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz augu augšanu un attīstību tika vērtēta, izmantojot hidrotermisko koeficientu (HTK). Tas parāda attiecību starp nokrišņu daudzumu (reizinātu ar 10) un temperatūru summu (>10 °C) vērtētajā periodā (8. formula). Nokrišņu un temperatūru summu attiecība ir optimāla, ja HTK ir no 1–2 (>2 pārmitrs, <1 pārāk sauss) (pēc Selyaninov (1928)).

$$HTK = \frac{\sum n \times 10}{\sum t} \quad (8)$$

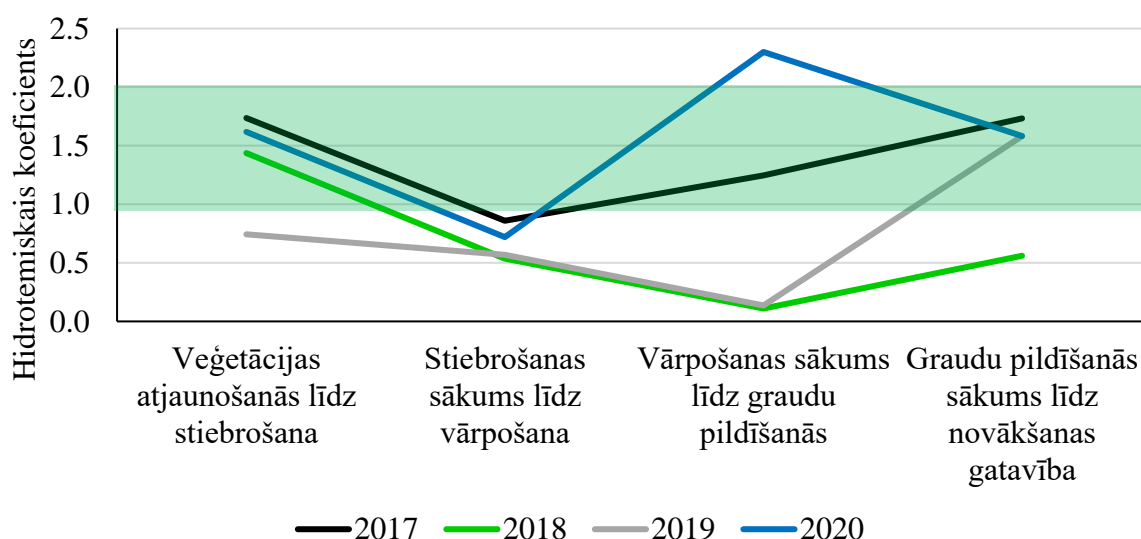
kur:

HTK – hidrotermiskais koeficients;

$\sum n$ – nokrišņu summa periodā, kuru vērtē;

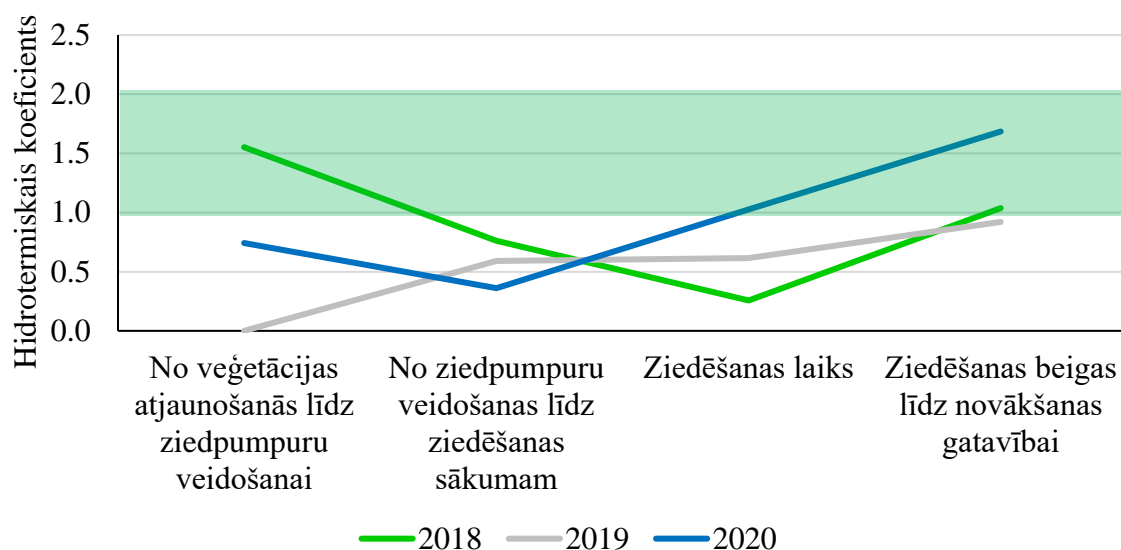
$\sum t$ – temperatūru (lielāka vai vienāda ar 10 °C) summa periodā, kuru vērtē.

Temperatūras un mitruma nodrošinājuma ziņā optimālākie apstākļi ziemas kviešu augšanai un attīstībai bija 2017. un 2020. gadā, savukārt 2018. un 2019. gadā augi cieta no nepietiekama mitruma pie pastāvošajām temperatūrām. Mitruma nodrošinājums no stiebrošanas sākuma līdz graudu pildīšanās laikam bija kritiski zems (skat. 2.3. att.).



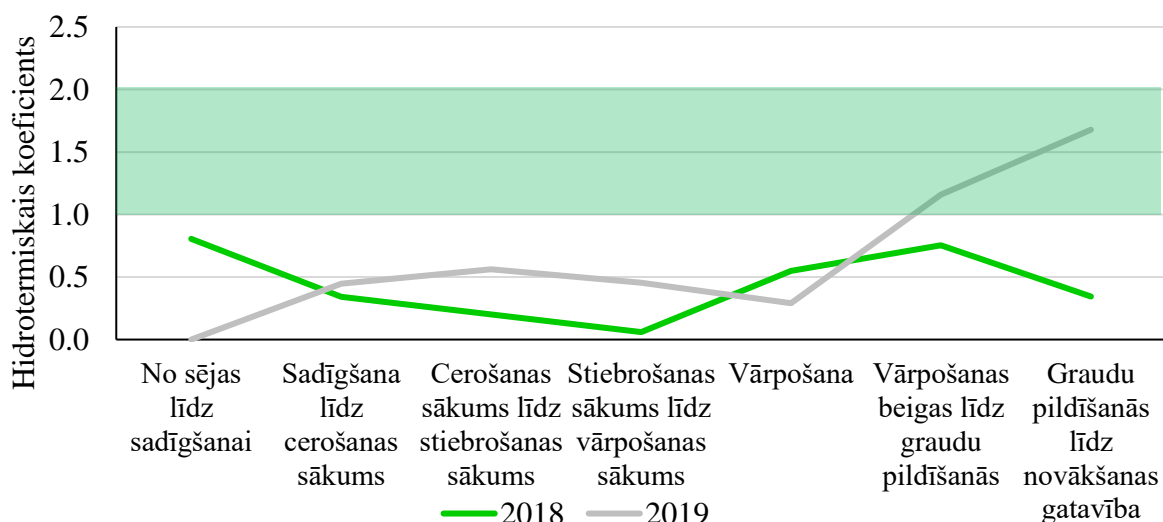
2.3. att. **Hidrotermiskā koeficienta izmaiņas ziemas kviešiem periodā no veģetācijas atjaunošanās līdz novākšanas gatavībai 2017.–2020. gadā** (optimālais intervāls 1–2 iekrāsots zaļš)

Ziemas rapša augšanai un attīstībai mitruma un temperatūras ziņā labvēlīgākais bija 2018. gada pavasara periods. Aprēķinātais hidrotermiskais koeficients 2019. gadā nevienā no attīstības periodiem nesasniedza optimālu līmeni. Ražas veidošanai labvēlīgs bija 2020. gads, kurā no ziedēšanas (60.–69. AE) līdz novākšanas gatavībai mitruma nodrošinājums bija optimāls, kas nodrošināja ilgu rapša ziedēšanas laiku (skat. 2.4. att.).



2.4. att. **Hidrotermiskā koeficienta izmaiņas ziemas rapšim periodā no veģetācijas atjaunošanās līdz novākšanas gatavībai 2017.–2019. gadā** (optimālais intervāls 1–2 iekrāsots zaļš)

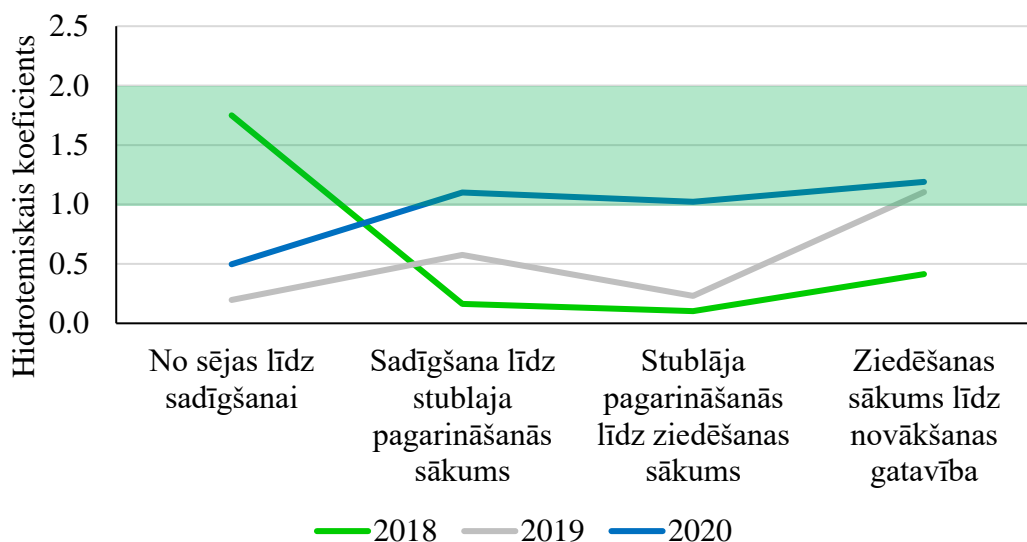
Vasaras miežiem abos pētījuma gados, kad tie izmēģinājumā auga un bija fiksēti augšanas un attīstības etapi, HTK laikā pēc sējas bija zemāks par 1 (mitruma nodrošinājums bija nepietiekošs). Mitruma un temperatūras nodrošinājuma ziņā graudu pildīšanās laikā labvēlīgs bija 2019. gads, kad HTK bija augsts, kas varēja sekmēt rupjāku graudu veidošanos (skat. 2.5. att.).



2.5. att. **Hidrotermiskā koeficienta izmaiņas vasaras miežiem periodā no sējas līdz novākšanas gatavībai 2018.–2019. gadā** (optimālais intervāls 1–2 iekrāsots zaļš)

Lauka pupu augšanai un attīstībai temperatūras un mitruma nodrošinājums sējas laikā optimālās robežās bija tikai 2018. gadā. Turpmākajos 2018. gadā reģistrētajos auga attīstības

etapos pēc sadīgšanas hidrotermiskais koeficients bija kritiski zems. Optimāls mitruma un temperatūras nodrošinājums lauka pupu augšanai un attīstībai, un ražas veidošanai bija tikai 2020. gadā, periodā no sadīgšanas līdz novākšanas gatavībai. Hidrotermiskais koeficients 2019. gadā visos reģistrētajos lauka pupu augšanas un attīstības posmos novērtējams kā ļoti zems (skat. 2.6. att.).



2.6. att. **Hidrotermiskā koeficienta izmaiņas lauka pupām periodā no sējas līdz novākšanas gatavībai 2018.–2020. gadā** (optimālais intervāls 1–2 iekrāsots zaļš)

Kompleksi analizējot nokrišņu un temperatūras nodrošinājumu pētījuma laikā, ar nepietiekamu HTK gandrīz visos vērtētajos augšanas un attīstības posmos nelabvēlīgākie bija 2018. un 2019. gads. Labvēlīgs periods ražas veidošanai visiem kultūraugiem bija 2020. gadā, kad ziedēšanas un sēklu veidošanās laikā HTK bija optimāls.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Ziemas kviešu augšana un attīstība, ražas veidošanās un kvalitāte

3.1.1. Ziemas kviešu augšana un attīstība

Ziemas kviešu sēja izmēģinājuma periodā atkarībā no gada veikta, sākot no agra sējas termiņa un beidzot ar vēlu, ko ietekmēja meteoroloģiskā situācija septembrī. Optimālā sējas laikā ziemas kvieši iesēti 2016. gadā (10. septembris) un 2019. gadā (19. septembris), bet novēloti – 2017. gadā (30. septembris), kad sēju aizkavēja biežais nokrišņu daudzums augustā un septembrī (skat. 2.5. apakšodaļu). Savukārt, 2018. gadā sējas termiņš bija agrs (06. septembris), tas skaidrojams ar sauso un karsto vasaru, kas veicināja ātrāku priekšaugu nogatavošanos un ražas novākšanas laiku, līdz ar to bija iespēja uzsākt augsnes apstrādi un veikt ziemas kviešu sēju jau septembra sākumā. Pēc sausās vasaras neliels nokrišņu daudzums nolija 5. septembrī, kas viesa cerības sadīgšanai. Ņemot vērā agro sējas termiņu, ziemas kviešu izsējas normu samazināja par 50 dīgtspējīgām sēklām m⁻², salīdzinot ar iepriekšējo gadu, lai neveidotos sabiezināts sējums, ko varētu veicināt garāks cerošanas periods. Pēc ilgstošā sausuma vasarā, kas diemžēl turpinājās arī septembrī, ziemas kviešu sadīgšana 2018. gada rudenī notika nevienmērīgi. Optimāla izsējas norma ziemas kviešiem Latvijā ir 400–500 dīgtspējīgas sēklas m⁻² (Urbāns, Gaile, 2011)¹⁹.

Laukdīdība un dīgšanas dinamika. Ziemas kviešu dīgšanas laikā 2017. gadā mitruma nodrošinājums augsnē bija pietiekams (skat. 2.2. un 2.3. att.), kas sekmēja salīdzinoši strauju sadīgšanu; dīgšanas sākums fiksēts 13. dienā pēc sējas, dīgšanas dinamikas uzskaitē sāka 16. dienā pēc sējas un turpinājās ik pēc divām dienām līdz 24. oktobrim, kad sasniedza pilnus dīgstus (11. AE).

Vērtējot augsnes apstrādes sistēmas ietekmi uz ziemas kviešu dīgšanu, novērots, ka apstākļos, kad augsnē bija augsts mitruma nodrošinājums (skat. 2.2. att.), pirmajā uzskaites reizē lielāks sadīgušo augu skaits (p=0.06) bija tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā (vidējā laukdīdība 56.3%), bet reducētās augsnes apstrādes variantā laukdīdība bija 46.2% (skat. 3.1. tabula, 10. pielikums).

3.1. tabula

Ziemas kviešu laukdīdība (%) 2017. gada rudenī pirmajā un pēdējā uzskaites reizē

Augu maiņa	Pirmā uzskaitē 16.10.				Pēdējā uzskaitē 24.10.			
	TA	RA	vidēji	p-vērtība	TA	RA	vidēji	p-vērtība
100% kvieši	49.7	45.3	47.5	0.45	95.8	95.7	95.8	0.43
67% kvieši (priekšaugi kvieši)	56.9	44.4	50.7		99.8	95.4	97.6	
67% kvieši (priekšaugi rapsis)	62.3	48.8	55.5		99.3	98.2	98.7	
Vidēji	56.3	46.2	×		98.3	96.4	×	
p-vērtība	0.06				0.32			

TA – tradicionālā augsnes apstrāde, RA – reducētā augsnes apstrāde

100% kvieši – kviešu bezmaiņas sējumi, 67% kvieši – kvieši augu maiņā ar rapsi, 25% kvieši – četru dažādu kultūraugu maiņa (lauka pupas–ziemas kvieši–ziemas rapsis–vasaras mieži)

Pēc pēdējās laukdīdības uzskaites datiem, būtiskas atšķirības starp abām augsnes apstrādes sistēmām netika konstatētas (p=0.66). Pēdējā uzskaitē laukdīdība abās augsnes

¹⁹ *Izsējas norma*. MK noteikumi 518 “Augu šķirnes saimniecisko īpašību novērtēšanas noteikumi”. [Tiešsaiste] [skatīts 30.11.2022.]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/177506-augu-skirnes-saimniecisko-ipasibu-novertesanas-noteikumi>.

apstrādes sistēmās bija ļoti augsta >95%. Vērtējot dīgšanas atšķirības starp pētītajiem augu maiņas variantiem, netika novērota būtiska priekšauga ietekme uz laukdīdzību nevienā no uzskaites reizēm. Straujākais dīgstu pieaugums notika laikā no pirmās līdz otrajai uzskaites reizei (par 53.7% tradicionālā augsnes apstrādē un par 76.6% reducētā augsnes apstrādē), starp pārējām uzskaitēm pieaugums nepārsniedza 10% līdz vidējā laukdīdzība TA variantā sasniedza 98.3%, bet RA – 96.4%. (skat. 3.1. tab.).

Mitruma nodrošinājums 2018. gada septembrī (pēc HTK koeficienta) bija diametrāli pretējs iepriekšējam rudenim – zems. Pirmā laukdīdzības uzskaitē veikta 21. dienā pēc sējas, kad pirmie dīgsti parādījās RA variantā. Dīgšana bija aizkavējusies sausuma iespaidā. Pirmajā uzskaites reizē tikai aptuveni vienā trešdaļā no visiem izmēģinājuma variantiem un atkārtojumiem fiksēti daži dīgsti. Ilgstošais sausums izraisīja nevienmērīgu sadīgšanu. Ziemas kviešu attīstība bija nevienmērīga, tāpēc uzskaitē izmantoti dati abās augsnes apstrādes sistēmās periodā sākot no 8. oktobra līdz 16. oktobrim. Reducētās apstrādes variantā ziemas kvieši uzsāka cerot, kad artajā sākās vienmērīga dīgšana (TA) – 14. oktobrī. Uzskaites TA veiktas līdz 28. oktobrim, kad iestājās 11. AE, bet RA variantā līdz 16. oktobrim, jo, sākoties cerošanai dīgstu uzskaitē nebija iespējams objektīvi turpināt.

Laukdīdzība pirmajā uzskaites reizē būtiski ($p=0.0007$) atšķīrās starp augsnes apstrādes variantiem (skat. 3.2. tab.), ātrāk tā novērota RA variantā. Vidējā laukdīdzība RA variantā 8. oktobrī pārsniedza 25%, kas bija 32. dienā pēc sējas, bet TA variantā – 14. oktobrī (38. dienā pēc sējas). Salīdzinot laukdīdzību starp augu maiņas variantiem, netika konstatēta būtiska ($p=0.65$) augu maiņas ietekme, tomēr, vērtējot laukdīdzības atšķirības starp augu maiņu variantiem reducētās augsnes apstrādes (RA) variantā, bija novērojams, ka augstākā laukdīdzība pēdējā uzskaites reizē bija atkārtotos kviešu sējumos (38.7% pirmajā uzskaites reizē, un 84.1% pēdējā uzskaites reizē), kas varētu būt skaidrojams ar izbirušo graudu sadīgšanu atkārtotajos sējumos.

3.2. tabula

Ziemas kviešu laukdīdzība (%) 2018. gada rudenī pirmajā un pēdējā uzskaites reizē

Augu maiņa	Pirmā uzskaitē 08.10.				Pēdējā uzskaitē, TA 28.10.; RA 16.10.			
	TA	RA	Vidēji	p-vērtība	TA, 28.10.	RA, 16.10.	Vidēji	p-vērtība
100% kvieši	5.6	38.7	22.1	0.65	51.5	84.1	67.8	0.57
67% kvieši	4.4	44.3	24.4		54.1	68.7	61.4	
25% kvieši	5.0	26.7	15.8		51.9	63.1	57.5	
Vidēji	5.0	36.5	×	52.5	72.0	×		
p-vērtība	0.0007			0.02				

TA – tradicionālā augsnes apstrāde, RA – reducētā augsnes apstrāde

100% kvieši – kviešu bezmaiņas sējumi, 67% kvieši – kvieši augu maiņā ar rapsi, 25% kvieši – četru dažādu kultūraugu maiņa (lauka pupas–ziemas kvieši–ziemas rapsis–vasaras mieži)

Pēdējā laukdīdzības uzskaites reize RA variantā veikta, kad augi sasniedza cerošanas fāzi (16. oktobrī), bet TA variantā – 28. oktobrī, kad vairs nenotika dīgstu skaita palielināšanās. Pēdējā dīgstu uzskaites reizē konstatēta būtiski ($p=0.02$) augstāka laukdīdzība RA variantā – 72.0%, salīdzinot ar TA – 52.5%, kas šajā gadā ir skaidrojams ar labvēlīgākiem dīgšanas apstākļiem reducētā augsnes apstrādē pie neesoša vai minimāla nokrišņu daudzuma pēc sējas.

Analizējot dīgšanas dinamiku (skat. 3.1. att.) 2018. gadā, jāsecina, ka, neskatoties uz straujāku dīgstu skaita pieaugumu TA variantā piecās kopīgajās uzskaites reizēs, laukdīdzība TA variantā arī pēdējā uzskaitē bija zema.

2019. gads raksturojās ar optimāliem meteoroloģiskajiem apstākļiem ziemas kviešu sadīgšanai, kas rezultējās vienmērīgā ziemas kviešu sadīgšanā. Dīgšana notika strauji, dīgšanas sākums atzīmēts 12. dienā pēc sējas. Dīgšana abos augsnes apstrādes variantos notika

vienmērīgi, laukdīdzības uzskaitē uzsākta 23. septembrī (13. dienā pēc sējas). Pirmajā laukdīdzības uzskaitē, augstāka laukdīdzība konstatēta RA variantā nekā TA variantā, lai gan tā būtiski ($p=0.06$) neatšķīrās starp apstrādes variantiem (skat. 3.3. tab.). Pēdējā laukdīdzības uzskaitē būtiskas atšķirības laukdīdzībā atkarībā no augsnes apstrādes varianta netika konstatētas un laukdīdzība kopumā bija ļoti augsta – 98.9% tradicionālā augsnes apstrādē, un 96.4% reducētā augsnes apstrādē. Augu maiņas ietekme uz laukdīdzību netika konstatēta ne pirmajā ($p=0.21$), ne noslēdzošajā uzskaitē ($p=0.14$).

3.3. tabula

Ziemas kviešu laukdīdzība (%) 2019. gada rudenī pirmajā un pēdējā uzskaites reizē

Augu maiņa	Pirmā uzskaitē, 23.09.				Pēdējā uzskaitē, 05.10.			
	TA	RA	vidēji	P-vērtība	TA	RA	vidēji	P-vērtība
100% kvieši	51.5	50.2	50.8	0.21	99.0	96.0	97.5	0.14
67% kvieši	23.3	46.5	34.9		97.8	93.3	95.6	
25% kvieši	31.3	52.2	41.8		100.0	100.0	100.0	
Vidēji	35.4	49.6	×		98.9	96.4	×	
p-vērtība	0.06				0.16			

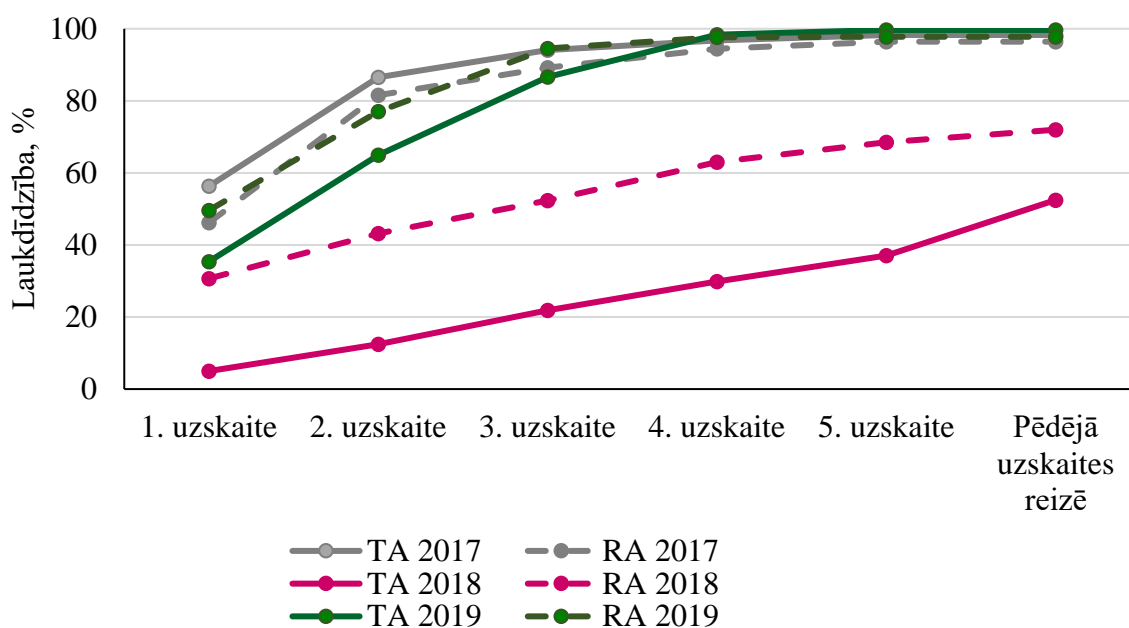
TA – tradicionālā augsnes apstrāde, RA – reducētā augsnes apstrāde
100% kvieši – kviešu bezmaiņas sējumi, 67% kvieši – kvieši augu maiņā ar rapsi, 25% kvieši – četru dažādu kultūraugu maiņa (lauka pupas–ziemas kvieši–ziemas rapsis–vasaras mieži)

Vērtējot vidējo laukdīdzību atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas pa pētījuma gadiem, pierādījās, ka laukdīdzība bija būtiski atkarīga no gada apstākļiem gan pirmajā ($p<0.001$), gan pēdējā uzskaites reizē ($p=0.001$), bet atkarībā no augsnes apstrādes varianta – būtiskas atšķirības pastāvējušas ($p=0.003$) pirmajā uzskaites reizē, saglabājot šo tendenci arī pēdējā uzskaites reizē ($p=0.064$). Abās uzskaites reizēs būtiski zemākā laukdīdzība pētījuma gados bija 2018. gadā, kas raksturojās ar ilgstošu sausuma periodu pēc sējas un apgrūtinātiem dīgšanas apstākļiem. Pirmie dīgsti konstatēti 22. septembrī, kad nolija arī neliels daudzums nokrišņu. Dīgstu uzskaitē tika sākta 23.09., bet dīgšana noritēja ļoti lēni. Pēc nokrišņiem, no 22. līdz 26. septembrim, izveidojās augsnes garoza, kas traucēja dīgšanu.

Novērota būtiska gada apstākļu un augsnes apstrādes varianta mijiedarbības ietekme pirmajā uzskaites reizē ($p<0.001$) un pēdējā uzskaitē ($p=0.001$). Ziemas kvieši straujāk sadīga RA variantā 2018. un 2019. gadā, bet 2017. gadā – tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā. Vidējā laukdīdzība 2017. un 2019. gadā bija ļoti augsta: attiecīgi 97.4–97.7%, bet 2018. gadā vidējais rādītājs bija tikai 62.3%, kas uzskatāms par pazeminātu laukdīdzību. Izvēloties augsnes apstrādes sistēmu, to piemērotība gadu no gada varētu būt mainīga, jo ir mainīgs mitruma nodrošinājums augsnē. Šajā izmēģinājumā nepietiekama mitruma apstākļos sēklu laukdīdzība bija augstāka reducētajā augsnes apstrādes sistēmā. Augsnes apstrādes sistēmu salīdzinājums būtiskas atšķirības parasti izdodas novērot tieši sausākā klimatā, kur salīdzināšanai iekļauti arī tiešās sējas veidi. Piemēram, izmēģinājumā Pakistānā samazināta nokrišņu daudzuma apstākļos, ziemas kviešus sējot optimālā termiņā (atbilstoši vietai – decembrī), būtiski augstāka laukdīdzība bija augsnes bezapstrādes variantos un tiešajā sējā, salīdzinot ar tradicionālo augsnes apstrādi ar augsnes apvēršanu. Variantā ar reducēto augsnes apstrādi, kurā izmantots rugaines kultivators, laukdīdzība būtiski neatšķīrās no abiem pārējiem salīdzinātajiem variantiem (Somayeh, Mohammad, Ghasem, 2015). Izmēģinājumā Lielbritānijā uzsvērts, ka tradicionālā augsnes apstrāde nodrošina labāku sēklas kontaktu ar augsni, un līdz ar to augstāku laukdīdzību salīdzinot ar samazinātās augsnes apstrādes veidiem, tomēr augsnes apstrādes sistēmas izvēlei kopumā uz augu attīstību nav būtiskas ietekmes (Blunk et al., 2021).

Straujākais dīgšanas temps, salīdzinot augsnes apstrādes sistēmas, novērots 2017. gadā TA apstrādes variantā un 2019. g. – RA variantā, kad jau trešajā uzskaites reizē laukdīdzība

pārsniedza 90%. Laukdīdzību virs 90% ziemas kvieši nesasniedza tikai 2018. gadā nevienā no pētītajiem augsnes apstrādes variantiem (3.1. att.).



3.1. att. Ziemas kviešu dīgšanas dinamika no dīgstu parādīšanās piecās uzskaites reizēs ik pēc divām dienām un pēdējā uzskaites reizē

TA – tradicionālā augsnes apstrāde, RA – reducētā augsnes apstrāde

Divos no trīs pētījuma gadiem, kuros tika vērtēta laukdīdzība, ziemas kviešu sadīgšanas ātrumu bija ietekmējusi augsnes apstrādes sistēma, bet tikai vienā gadā (2018. gads) tā atstāja būtisku ietekmi uz laukdīdzību pēdējā uzskaites reizē. Augu maiņas ietekme uz laukdīdzību netika konstatēta nevienā no gadiem.

Ziemcietība visos pētījuma periodos bija augsta un novērtēta ar 9 ballēm, un tā neatšķīrās starp augu maiņu un augsnes apstrādes variantiem. Visos pētījuma gados ziemas kvieši ziemoja cerošanas fāzē.

Veģetācijas perioda garums. Veģetācijas atjaunošanās laiks pavasarī atšķīrās atkarībā no pētījuma gada, agrāk veģetācija atjaunojās 2019. un 2020. gada pavasarī, attiecīgi 15. un 10. martā, bet 2017. un 2018. gadā veģetācijas atjaunošanās konstatēta tikai aprīlī (14.04.2017. un 7.04.2018.) (skat. 7. piel.). Kopējais veģetācijas perioda garums 2017. un 2020. gadā bija attiecīgi 214 un 215 dienas, turpretim īsākie veģetācijas periodi bija 2018. un 2019. gadā – attiecīgi 204 un 206 dienas, un šie veģetācijas periodi raksturojās ar paaugstinātām gaisa temperatūrām un pazeminātu nokrišņu daudzumu, kas veicināja straujāku augu attīstību un nobriešanu.

Izturība pret veldri trīs no četrām pētījuma sezonām bija augsta – novērtēta ar 9 ballēm, izņēmums bija 2020. gada vasara, kad straujas lietavas jūnija beigās veicināja ziemas kviešu veldrēšanos. Vidējais izturības pret veldri vērtējums šajā sezonā bija 6.4 balles. Veldres neskarts bija ilgstoši atkārtotais ziemas kviešu sējums (K-K jeb 100% kvieši), pielietojot reducēto augsnes apstrādi (9.0 balles). Ar vidējo vērtējumu 7.0 balles novērtēti varianti: ziemas kvieši augu maiņā ar rapsi (R-K-K; 67% kvieši) abos augsnes apstrādes variantos, un četru dažādu kultūraugu maiņā (P-K-R-M; 25% kvieši) reducētās augsnes apstrādes variantā. Veldres noturība četru dažādu kultūraugu maiņā TA variantā novērtēta ar 5.6 ballēm. Viszemākā veldres noturība bija atkārtotos kviešu sējumos TA – 2.5 balles. Tādējādi konstatēta augsnes apstrādes varianta būtiska ($p < 0.001$) ietekme uz ziemas kviešu veldres noturību, un TA variantā vidējā veldres noturība bija 5.1 balles, bet RA variantā – 7.7 balles. Veldres noturībai pastāvēja cieša pozitīva sakarība ar 1000 graudu masu ($r = 0.686 > r_{0.05} = 0.404$, $n = 24$), bet nepastāvēja ciešas

sakarības ar augu biežību ($r=|-0.434|>r_{0.05}=0.404$, $n=24$) (detalizētāk par augu biežību 3.3.2. apakšnodaļā).

Kā augu veldrēšanos veicinoši apstākļi zinātniskajā literatūrā minēti stiprs vējš, lietus, lauka reljefs, priekšaugi, agrotehnika un augu slimības. Bieži veldrēšanās ir saistīta ar barības vielu palielinātu nodrošinājumu (Berry et al. 2004). Kanādā vasaras kviešu izmēģinājumā izpētīts, ka labāka veldres noturība bijusi variantos ar mazāku augu biežību (Mangin et al., 2022).

Šajā darbā aprakstītajā izmēģinājumā netika konstatēta cieša sakarība starp augu veldres izturību un produktīvo stiebru skaitu, tomēr vāja negatīva korelācija pierādījās un, analizējot iegūto datu kopu par veldres noturību un augu biežību, augstākais produktīvo stiebru skaits (835 gab. m^{-2}) bija izmēģinājuma laukā, kurā kviešu izturība pret veldri novērtēta ar 1 balli – TA variants, atkārtie kviešu sējumi 2020. gadā.

3.1.2. Ziemas kviešu raža

Ziemas kviešu graudu ražas līmeni pētījumā būtiski ietekmēja sezona ($p<0.001$) un augu maiņas variants (<0.001), bet ražība būtiski neatšķīrās ($p=0.33$) starp pētītajiem augsnes apstrādes variantiem (skat. 3.4. tab.). Izmēģinājumā konstatēja būtisku mijiedarbības efektu starp katriem diviem pētītajiem faktoriem uz ziemas kviešu ražu (augšnes apstrādes sistēma \times augu maiņa $p<0.001$; augsnes apstrādes sistēma \times gads $p<0.001$; augu maiņa \times gads $p=0.01$). Augstākās ražas iegūtas 2017. gadā, kurš raksturojās ar piemērotākajiem mitruma un temperatūras apstākļiem (2.3. att.). Zemākā vidējā raža starp pētījuma gadiem iegūta 2019. gadā.

3.4. tabula

Ziemas kviešu vidējā raža (t ha^{-1}) 2017.–2020. gadā atkarībā no augsnes apstrādes un augu maiņas varianta

Gads	Augsnes apstrāde		Augu maiņa			Vidēji, $p<0.001$
	TA	RA	100% kvieši	67% kvieši	25% kvieši	
2017	6.87 ^a	7.48 ^b	6.38 ^a	7.08 ^a	8.06 ^b	7.17 ^B
2018	6.24 ^a	6.11 ^a	5.23 ^a	6.65 ^b	–	6.18 ^A
2019	5.70 ^a	5.66 ^a	4.93 ^a	5.46 ^b	6.64 ^c	5.68 ^A
2020	6.30 ^a	6.16 ^a	6.06 ^a	6.22 ^{ab}	6.41 ^b	6.23 ^A
Vidēji	6.28 ^A	6.35 ^A	5.39 ^A	6.40 ^B	6.77 ^B	\times
p-vērtība	0.33		<0.001			

^{A,B} – ar lielajiem alfabēta burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām faktora ietvaros visā pētījuma periodā; ^{a,b} – ar mazajiem alfabēta burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām pētāmā faktora ietvaros katrā izmēģinājuma gadā

Mijiedarbības: augsnes apstrādes sistēma \times augu maiņa, $p<0.001$; augsnes apstrādes sistēma \times gads, $p<0.001$; augu maiņa \times gads, $p<0.001$

TA – tradicionālā augsnes apstrāde; RA – reducētā augsnes apstrāde;

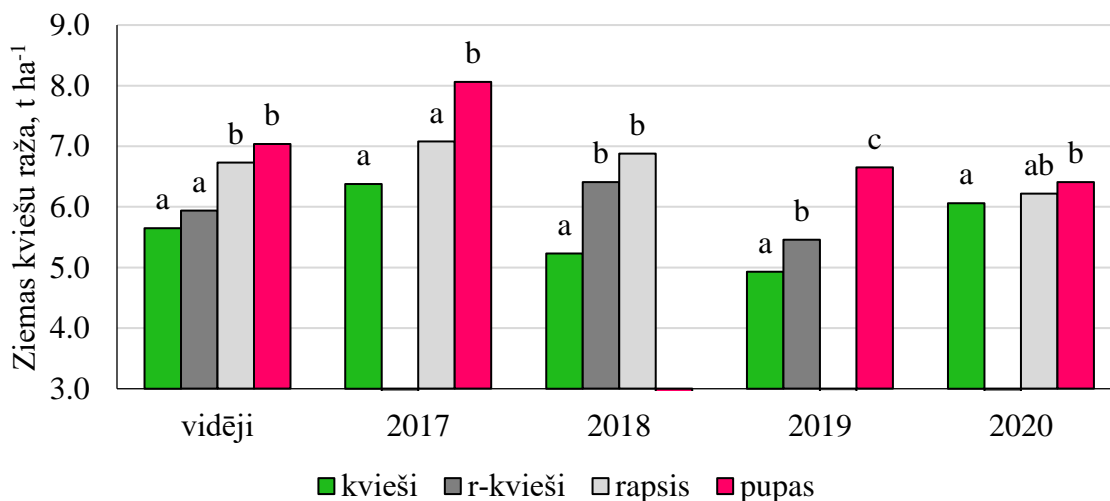
100% kvieši – kviešu bezmaiņas sējumi, 67% kvieši – kvieši augu maiņā ar rapsi (rapsis-ziemas kvieši-ziemas kvieši), 25% kvieši – četrus dažādu kultūraugu maiņa (lauka pupas-ziemas kvieši-ziemas rapsis-vasaras mieži)

Analizējot augu maiņas variantus, augstākās ziemas kviešu graudu ražas iegūtas, audzējot tos augu maiņas variantos, kur iekļauti arī citu sugu kultūraugi. Vidējā ziemas kviešu raža, audzējot tos bezmaiņas sējumos, pētījuma periodā bija 5.39 t ha^{-1} , kas bija būtiski zemāka ($p<0.001$) nekā audzējot kviešus augu maiņā ar rapsi (augšnes secība: ziemas rapsis – ziemas

kvieši – ziemas kvieši; 67% kvieši) (vidējā raža 6.40 t ha⁻¹) vai četru dažādu kultūraugu maiņā (lauka pupas – ziemas kvieši – ziemas rapsis – vasaras mieži; 25% kvieši) (vidējā raža 6.77 t ha⁻¹). Kviešu ražas bija stabili augstākas, audzējot tos augu maiņā ar citiem kultūraugiem nekā ilgstošos kviešu bezmaiņas sējumos.

Pētījumā salīdzinātie augsnes apstrādes varianti ļāva secināt, ka iespējams iegūt līdzvērtīgas ziemas kviešu ražas abās augsnes apstrādes sistēmās, kur vidējie ražas rādītāji četrās pētījuma sezonās būtiski ($p=0.33$) neatšķīrās, nodrošinot vidēji 6.28 t ha⁻¹ tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā un 6.35 t ha⁻¹ reducētās augsnes apstrādes sistēmā. Iegūtie rezultāti norāda uz iespēju mazināt augsnes apstrādes intensifikāciju, bet nesamazinot iegūstamo ražu.

Salīdzinot vidējo kviešu ražu atkarībā no priekšauga (skat. 1. pielikumu), variantos, kur priekšaugi bija citas sugas augs, ražas visos gados un variantos bija augstākas (3.2. att.).



3.2. att. Ziemas kviešu graudu raža (t ha⁻¹) atkarībā no priekšauga

Ar atšķirīgiem burtiem katra gada ietvaros atzīmētas būtiskas atšķirības; $p<0.001$
 r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša. Priekšaugi pētījuma gados analizēti atbilstoši izmēģinājuma plānam (1. pielik.)

Vērtējot kviešu ražas rezultātus katrā no pētījuma gadiem, pastāvēja atšķirības starp priekšaugu ietekmi uz kviešu ražību.

Lauka pupas kā ziemas kviešu priekšaugi, veicināja augstāku ziemas kviešu ražu veidošanos visos pētījuma gados, kuros šis variants tika īstenots. Varianti ar ziemas rapsi kā priekšaugu uzrādīja būtiski augstākas ziemas kviešu ražas, salīdzinot ar kviešu bezmaiņas sējumos audzētajiem kviešiem, tikai vienā (2018. gadā, 3.2. att.) no trīs pētījuma gadiem, kuros šis variants bija iekļauts, bet tajā pašā laikā ziemas kvieši kā priekšaugi, kuri audzēti augu maiņā ar rapsi (67% kvieši, R-K-K), abos pētījuma gados, kuros šis variants tika īstenots (2018. un 2019. gads, 3.2. att.), uzrādīja tendenci, ka kvieši kā priekšaugi, audzējot tos augu maiņā ar rapsi, nodrošina būtiski augstākas kviešu ražas, salīdzinot ar kviešu bezmaiņas sējumiem. Tādējādi var secināt, ka rapša kā priekšauga pozitīvā ietekme uz ziemas kviešu ražu saglabājās vismaz divus gadus. Iegūtie rezultāti apstiprina augu maiņā iekļauto augu daudzveidības pozitīvo ietekmi uz ziemas kviešu ražas veidošanos. Līdzīgi rezultāti iegūti arī Lielbritānijā ilggadīgā izmēģinājumā, kur būtiski zemākas kviešu ražas bija variantā, kur ilgstoši sēti atkārtoti kvieši, salīdzinot ar ziemas kviešu ražu augu maiņā (Macholdt et al., 2020). Savukārt Polijā veikts līdzīgs lauka izmēģinājums kā šajā promocijas darbā aprakstīts, kurā salīdzināja ziemas kviešu ražību pēc ziemas rapša un pākšaugu sugas kultūrauga (soja), un rezultātā būtiski augstākas kviešu ražas iegūtas audzējot tos pēc sojas, salīdzinot ar rapsi (Gawęda, Haliniarz, 2021).

Lai arī būtiskas ražas atšķirības atkarībā no augsnes apstrādes variantu vidējām ziemas kviešu ražām (skat. 3.4. tab.) netika apstiprinātas, tomēr, analizējot katru gadu atsevišķi,

konstatēja atšķirības ražas apjomā atkarībā no tā, kāda augsnes apstrādes sistēma izmantota pēc konkrētiem pētītajiem priekšaugiem. Atsevišķos gadījumos konkrētā gada ietvaros, atšķirības augsnes apstrādes sistēmu variantos atkarībā no priekšauga variantiem bija būtiskas (skat. 3.5. tab.).

3.5. tabula

Ziemas kviešu graudu raža ($t\ ha^{-1}$) 2017.–2020. g. pēc dažādiem priekšaugiem tradicionālajā un reducētajā augsnes apstrādes sistēmā

Gads	Augsnes apstrādes sistēma	Priekšaugu augu maiņa				Vidēji pa augsnes apstrādes veidiem
		kvieši	r-kvieši	rapsis	lauka pupas	
2017.	tradicionālā	6.06	–	6.60	7.95	6.87 ^A
	reducētā	6.70		7.56	8.18	7.48^B
	p-vērtība	0.15		0.05	0.07	0.004
2018.	tradicionālā	5.72	6.40	6.60	–	6.24 ^A
	reducētā	4.74	6.42	7.16		6.11^A
	p-vērtība	0.01	0.81	0.29		0.715
2019.	tradicionālā	5.28	5.29	–	6.54	5.70 ^A
	reducētā	4.59	5.64		6.75	5.66^A
	p-vērtība	0.004	0.07		0.25	0.894
2020.	tradicionālā	6.53	–	6.05	6.31	6.30 ^A
	reducētā	5.58		6.38	6.51	6.16^A
	p-vērtība	0.004		0.098	0.124	0.423
Vidēji, $p < 0.001$		5.65 ^A	5.94 ^A	6.73 ^B	7.04 ^B	×

TA – tradicionālā augsnes apstrāde, RA – reducētā augsnes apstrāde; r-kvieši: kvieši, kuri audzēti nākamā gadā pēc rapša. Treknrakstā izceltas augstākās vērtības starp pētītajām augsnes apstrādes sistēmām katrā no pētījuma gadiem analizējot pēc priekšaugiem. ^{A, B} – ar dažādiem lielajiem burtiem apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām atkarībā no priekšauga vai atkarībā no augsnes apstrādes veida katrā pētījuma gadā.

Augstākas ražas kviešu bezmaiņas sējumos bijušas izmantojot TA (izņemot 2017. gadu). Izmantojot reducēto augsnes apstrādi, augstākās kviešu ražas bija variantos ar priekšaugu rapsi vai lauka pupām. Augu maiņā ar rapsi (priekšaugu r-kvieši, 3.5. tab.), 2018. gadā netika konstatētas ievērojamas ražas starpības atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas, bet 2019. gadā, reducētās augsnes apstrādes variantā raža bija par 350 kg ha^{-1} lielāka. Ražas atšķirības šajā gadījumā ir grūti skaidrot, jo 2018. gada rudenī pastāvēja būtiskas atšķirības laukdīdžībā starp augsnes apstrādes variantiem. Augstāka laukdīdžība bija RA variantos, kur tika iegūts arī aritmētiski augstāks produktīvo stiebru skaits, tomēr uz ziemas kviešu ražu tas atstāja neviennozīmīgu ietekmi. Kā viens no ražas atšķirību skaidrojumiem 2018. gadā varētu būt kviešu lapu dzeltenplankumainības (ieros. *Pyrenophora tritici-repentis*) attīstība starp augsnes apstrādes sistēmām, jo agrāk veiktajos pētījumos ir secināts, ka būtiski augstāka slimības attīstības pakāpe bijusi reducētās augsnes apstrādes sistēmā (Bankina et al., 2021).

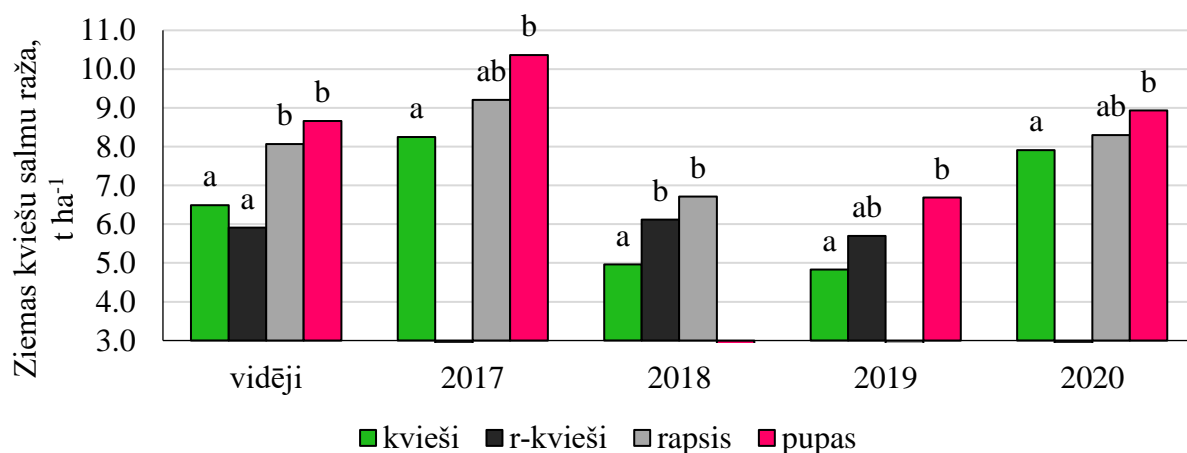
Ziemas kviešu vidējā salmu raža pētījuma periodā, līdzīgi kā graudu ražā, būtiski neatšķīrās starp tradicionālās un reducētās augsnes apstrādes variantiem ($p=0.087$), tomēr novērots, ka 2017. gadā būtiski augstāka bijusi ziemas kviešu salmu raža reducētās augsnes apstrādes variantā (skat. 3.6. tab.). Vidējā salmu raža četru dažādu kultūraugu maiņā ($8.66\ t\ ha^{-1}$) bija būtiski augstāka ($p < 0.001$) nekā abos pārējos pētītajos augu maiņas variantos (67% kvieši – $6.49\ t\ ha^{-1}$; 25% kvieši – $7.21\ t\ ha^{-1}$). Visaugstākā salmu raža iegūta 2017. gadā ($9.27\ t\ ha^{-1}$), kad iegūtas arī būtiski augstākās graudu ražas (3.4. tab.). Tam sekoja salmu ražas 2020. gadā ($8.38\ t\ ha^{-1}$), un zemākais salmu ražu līmenis bija 2018. un 2019. gadā, atbilstoši 5.93 un $5.74\ t\ ha^{-1}$.

**Ziemas kviešu salmu raža ($t\ ha^{-1}$) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas
un augu maiņas varianta 2017.–2020. gadā**

Faktors	Gads, $p<0.001$				Vidēji
	2017	2018	2019	2020	
(A) Augsnes apstrāde, $p=0.087$					
Tradicionālā	8.69 ^a	6.04 ^a	5.55 ^a	8.59 ^a	7.44 ^A
Reducētā	9.85 ^b	5.83 ^a	5.93 ^a	8.17 ^a	7.23 ^A
(B) Augu maiņa, $p<0.001$					
100% kvieši	8.25 ^a	4.96 ^a	4.83 ^a	7.91 ^a	6.49 ^A
67% kvieši	9.21 ^{ab}	6.42 ^b	5.70 ^a	8.30 ^{ab}	7.21 ^A
25% kvieši	10.36 ^b	-	6.69 ^b	8.93 ^b	8.66 ^B
Vidēji gadā	9.27 ^C	5.93 ^A	5.74 ^A	8.38 ^B	×

^{A,B,C} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām faktoru ietvaros; ^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas un augsnes apstrādes variantos katra pētījuma gada ietvaros; augu maiņas varianti: 100% kvieši (K-K-K) – ilgstoši atkārtoti kviešu sējumi; 67% kvieši (rapsis-kvieši-kvieši); 25% kvieši (lauka pupas–ziemas kvieši–ziemas rapsis–vasaras mieži)

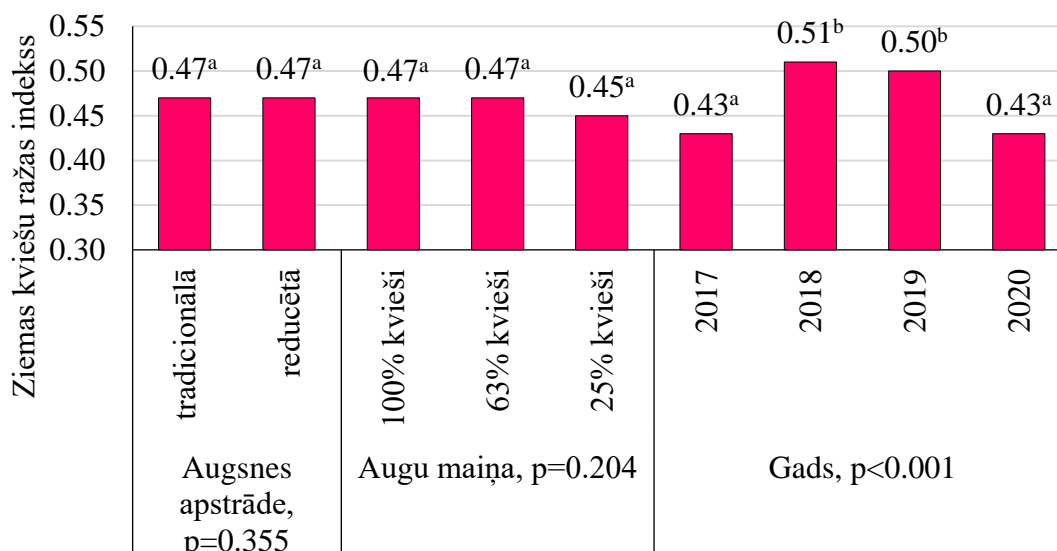
Ziemas kviešu salmu ražu analizējot atkarībā no priekšauga augu maiņas, jāsecina, ka analogiski kviešu graudu ražai, arī vidējās salmu ražas atkarībā no pētītajiem priekšaugiem būtiski augstākas bijušas, ja priekšaugi bija rapsis vai pupas, bet būtiski zemākas, ja priekšaugi bija kvieši ($p<0.001$) (skat. 3.3. att.).



3.3. att. Ziemas kviešu salmu raža ($t\ ha^{-1}$) atkarībā no priekšauga

Ar atšķirīgiem burtiem katra gada ietvaros atzīmētas būtiskas atšķirības; $p<0.001$; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša; priekšaugi pētījuma gados analizēt atbilstoši izmēģinājuma plānam (1. pielik.)

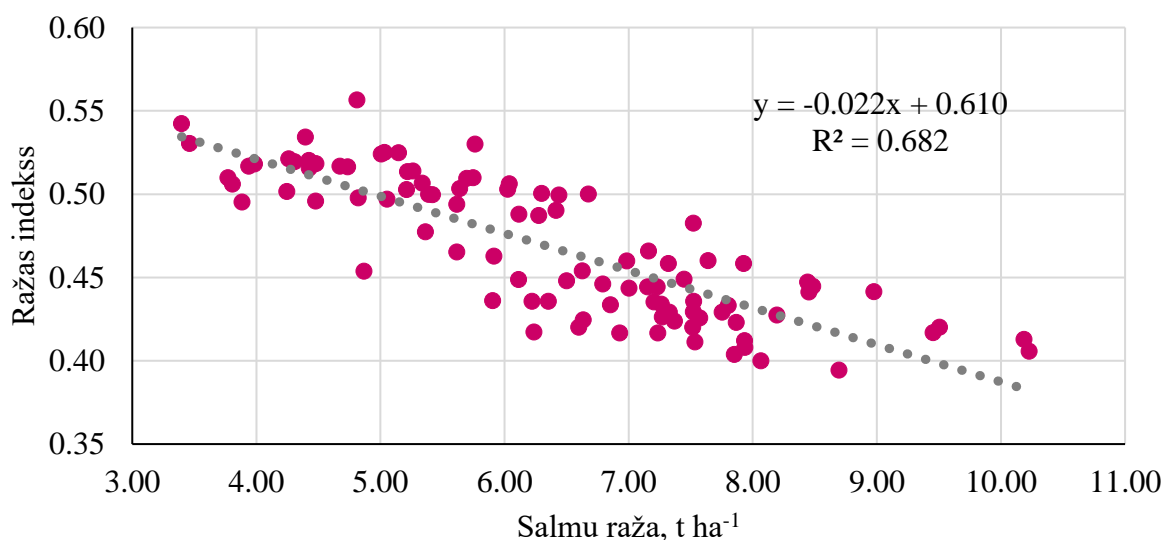
Ziemas kviešu ražas indekss (RI), kas izteikts kā graudu īpatsvars kopējā virszemes biomasā, bija mainīgs pa pētījuma gadiem ($p<0.001$), bet būtiski neatšķīrās no pētītajiem augu maiņas un augsnes apstrādes variantiem (skat. 3.4. att.). Augstākais ražas indekss bija 2018. un 2019. gadā (0.51 un 0.50 atbilstoši), kas raksturojās ar zemākām ražām un vizuāli tika novērots īss augu garums, kas attiecīgi samazināja salmu masu un tās īpatsvaru kopējā biomasā.



3.4. att. Ziemas kviešu ražas indekss atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas 2017.–2020. gadā

Ar atšķirīgiem burtiem atzīmētas būtiskas atšķirības pētāmā faktora ietvaros; augu maiņas varianti: 100% kvieši (K-K-K) – ilgstoši atkārtoti kviešu sējumi; 67% kvieši (rapsis-kvieši-kvieši); 25% kvieši (lauka pupas–ziemas kvieši–ziemas rapsis–vasaras mieži)

Veicot vienfaktora dispersija analīzi, lai noskaidrotu priekšauga ietekmi uz ražas indeksu, konstatēta būtiska priekšaugu ietekme ($p=0.0007$). Augstākais ražas indekss bija variantos, kur priekšaugi bija kvieši (kviešu bezmaiņas sējumos – 0.47, un kvieši augu maiņā ar rapsi (r-kvieši) – 0.50), bet zemākais variants, kur priekšaugi bija lauka pupas un rapsis (0.46 un 0.45). Ziemas kviešu graudu un salmu ražas pēc tādiem priekšaugiem kā lauka pupas un rapsis bija augstākas nekā pēc kviešiem. Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka augstāka biomasas raža (tai skaitā, lielāka salmu masa, ko veido zaļās veģetatīvās augu daļas) nodrošināja augstākas ziemas kviešu graudu ražas. Salmu raža būtiski cieši negatīvi korelēja ar ražas indeksu ($r = |-0.826| > r_{0.05} = 0.196$, $n=96$) (skat. 3.5. att.). Regresijas koeficients atklāj, ka, salmu ražai pieaugot par 1 t ha^{-1} , ražas indekss samazinās par 0.02 vienībām. Uz sakarības ciešumu norāda arī salīdzinoši augstais determinācijas koeficients ($R^2 = 0.682$), kas liecina, ka ražas indeksa izmaiņas 68% gadījumu ir saistāmas ar salmu ražas izmaiņām.



3.5. att. Ziemas kviešu salmu ražas un ražas indeksa savstarpējā sakarība ($p<0.001$)

Ziemas kviešu graudu raža un tās veidošanās dažādās augsnes apstrādes sistēmās analizēta arī Polijā laika periodā no 2014. līdz 2016. gadam (Wozniak, Racho, 2020). Šajā izmēģinājumā secināts, ka augstākās vidējās ziemas kviešu ražas pētījuma periodā iegūtas, izmantojot tradicionālo augsnes apstrādi (TA) ar seklu augsnes apvēršanu (12 cm dziļumā), kam sekoja arī dziļā augsnes apvēršana (18–22 cm dziļumā) pirms sējas, bet zemākās ražas iegūtas reducētās augsnes apstrādes variantos, kas paredzēja (1) augsnes smidzinājumu ar herbicīdu, kam sekoja pirmssējas apstrāde ar kultivatoru un (2) reducētās augsnes apstrādes sistēmu (augšņu kultivēšana divas reizes, un augsnes kultivēšana kopā ar sēju), kurā iegūtais ražas līmenis būtiski neatšķīrās no abiem pārējiem vērtētajiem variantiem. Lielākas ražu atšķirības noteica pētījuma gadu meteoroloģiskie apstākļi, kas ietekmēja ražas struktūrelementu veidošanos. Pastāvēja augsnes apstrādes sistēmas × pētījuma gada apstākļu mijiedarbība, jo atsevišķā pētījuma gadā iegūtās ražas bija augstākas bezapstrādes variantā (Wozniak, Racho, 2020). Rumānijā četru sezonu ilgā pētījumā *haplic chernozems* augsnē ar smilšmāla granulometrisku sastāvu augstāko vidējo ražu pētījuma periodā izdevās iegūt reducētās augsnes apstrādes variantā, un zemāku – tradicionālās augsnes apstrādes variantā. Viszemākais ražas līmenis bija, izmantojot tiešo sēju augsnes bezapstrādes sistēmā (Rāus et al., 2016). Pasaules mēroga datu analizē apkopota informācija un secināts, ka vairumā gadījumu tiešās sējas varianti un augsnes bezapstrāde samazināja kultūraugu ražu, bet daudzos gadījumos izdodas iegūt ražu, kas līdzvērtīga tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā iegūtai ražai (Pittelkow et al., 2015). Izmēģinājuma rezultāti Lietuvā bija līdzīgi kā šajā promocijas darbā aprakstītajā izmēģinājumā, un tradicionālā un reducētā augsnes apstrādes variantā iegūtas līdzvērtīgas kviešu ražas (Seibutis, Deveikytė, Feiza, 2009). Lietuvā veiktajā izmēģinājumā atšķirīgos gados augstākas ziemas kviešu ražas iegūtas gan tradicionālā, gan reducētā augsnes apstrādes sistēmā, tomēr zemākā kviešu raža biežāk veidojās augsnes bezapstrādes tehnoloģijā, kura šajā izmēģinājumā netika iekļauta.

Kviešus audzējot atkārtoti, iespējams ražas samazinājums, salīdzinot ar variantu, kad tos audzē pēc pākšauga, secināts arī citās Eiropas valstīs veiktos pētījumos, piemēram, Polijā (Pszczolkowska et al., 2018) un Čehijā (Vrtilek et al., 2019). Ražas samazinājums, audzējot kviešus ilgtermiņā labību augu maiņās, var būt pat līdz 32%, salīdzinot ar augu maiņu, kurā trīs gadu rotācijas periodā vienu reizi iekļauti pākšaugi (zirņi) (Wozniak, 2019). Arī Lietuvā veiktā pētījumā secināts, ka ziemas kviešu raža pakāpeniski samazinās, atkarībā no tā, cik bieži tie audzēti augu maiņā: reizi trīs gados > reizi divos gados > atkārtoti sējumi (Seibutis, Deveikytė, Feiza, 2009), kas daļēji sakrīt ar promocijas darbā iegūtajiem rezultātiem. Lielāka ziemas kviešu ražas maiņa novērojama atkarībā no pētījumu gadu apstākļiem salīdzinājumā ar pētīto priekšaugu ietekmi sezonas ietvaros, secināts arī Čehijā veiktā lauka izmēģinājumā (Vrtilek et al., 2019).

3.1.3. Ziemas kviešu ražas struktūrelementu formēšanās

Produktīvo stiebru skaitam ir nozīmīga loma ražas veidošanā, jo pie lielāka produktīvo stiebru skaita iespējams iegūt augstākas graudu ražas (Wozniak, Racho, 2020). Produktīvo stiebru skaits m^{-2} pētījuma periodā ziemas kviešiem būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma sezonas ($p < 0.001$) un priekšaugiem augu maiņas variantos ($p = 0.002$). Būtiskas atšķirības produktīvo stiebru skaitam atkarībā no lietotās augsnes apstrādes sistēmas netika konstatētas ($p = 0.284$) (skat. 3.7. tab.). Arī izmēģinājumā Polijā, kur pētīja dažādus augsnes apstrādes variantus, neapstiprinājās augsnes apstrādes sistēmas būtiska ietekme uz ziemas kviešu produktīvo stiebru skaitu (Wozniak, Racho, 2020).

Būtiski zemākais vidējais produktīvo stiebru skaits bija 2019. gadā (409.1 gab. m^{-2}), ko ietekmēja augu sadīgšanai nepietiekamais nokrišņu daudzums 2018. gada vasarā un rudenī. Atkarībā no augu maiņas varianta zemākais produktīvo stiebru skaits iegūts augu maiņā, kur ziemas kviešu priekšaugi bija kvieši, audzējot tos augu maiņā ar rapsi (r-kvieši; 3.7. tab.), tomēr

šajā variantā dati iegūti tikai 2018. un 2019. gadā, kuri izcēlās ar ekstremālo sausumu, tādējādi pasliktinot arī kopējo vidējo rādītāju.

3.7. tabula

Ziemas kviešu produktīvo stiebru skaits (gab. m⁻²) atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā

Gads	Augsnes apstrāde		Augu maiņa un priekšaugi				Vidēji, p<0.001
	TA	RA	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši	
			kvieši	r-kvieši	rapsis	pupas	
2017.	548.9 ^a	567.3 ^a	542.0 ^a	–	546.7 ^a	585.7 ^a	558.1 ^B
2018.	555.8 ^a	504.4 ^a	533.7 ^a	520.0 ^a	536.7 ^a	–	530.1 ^B
2019.	390.9 ^a	412.9 ^a	382.5 ^a	371.8 ^a	–	451.0 ^a	401.9 ^A
2020.	708.1 ^a	660.7 ^a	648.3 ^a	–	666.3 ^a	739.3 ^a	684.7 ^C
Vidēji	551.1 ^A	536.3 ^A	526.6 ^{AB}	445.9 ^A	583.2 ^B	592.1 ^B	×
p-vērtība	0.284		0.002				

TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēma; RA – reducētās augsnes apstrādes sistēma; ^{A,B,C} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām faktoru ietvaros; ^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas un augsnes apstrādes variantos katra pētījuma gada ietvaros; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša

Analizējot produktīvo stiebru skaitu 2019. gadā, secināts, ka zemākais (371.8 gab. m⁻²) tas bija augu maiņas variantā, kur iekļauts rapsis (67% kvieši, priekšaugi r-kvieši; 3.7. tab.), nebūtiski augstāks atkārtotos kviešu sējumos (100% kvieši; 382.5 gab. m⁻²), un augstākais četru dažādu kultūraugu maiņā (25% kvieši; 451.0 gab. m⁻²). Audzējot kviešus atkārtotos sējumos un izmantojot reducēto augsnes apstrādi, dīgstu skaits parasti bija augstāks, jo visticamāk sadīga arī daļa iepriekšējā sezonā ražas novākšanas laikā izbirušo graudu. Nevienā no atsevišķajiem pētījuma gadiem netika konstatēta augu maiņu variantos iekļauto priekšaugu ietekme uz produktīvo stiebru skaitu pie 95% līmeņa, tomēr 2020. gadā tika konstatēta tendence (p=0.08), ka augstāks produktīvo stiebru skaits bija augu maiņā “25% kvieši”. Augu maiņas ietekmi uz augstāku ziemas kviešu produktīvo stiebru skaitu izdevies pierādīt Lietuvā, kur atrasta sakarība, ka augstāks produktīvo stiebru skaits veidojies augu maiņā, kur kvieši sēti pēc rapša gan tradicionālā, gan minimālā augsnes apstrādes sistēmā, salīdzinot ar atkārtotiem kviešu sējumiem (Seibutis, Deveikytė, Feiza, 2009). Produktīvo stiebru skaitam Polijā veiktā izmēģinājumā konstatēts augsts sakarības ciešums ar ziemas kviešu ražu, sakarība bija pozitīva (Gawęda, Haliniarz, 2021), turpretī šajā izmēģinājumā sakarība bija vāja (r=0.36>r_{0.05}=0.206, n= 96).

Graudu skaits ziemas kviešu vārpā būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma gadiem (p<0.001) un priekšaugiem augu maiņā (p=0.04) (skat. 3.8. tab.). Atšķirības, kas saistītas ar priekšaugiem pētītajās augu maiņās, varētu būt skaidrojamas ar to, ka rezultāti variantā (67% kvieši, priekšaugi r-kvieši) iegūti tikai 2018. un 2019. gadā, kad bija visaugstākais graudu skaits vārpā (attiecīgi graudu skaits vārpā bija 32.2 un 34.1 graudi). Šajā variantā tika iegūts zemākais produktīvo stiebru skaits attiecīgajos pētījuma gados, kas norāda uz ražas kompensācijas mehānismu. Konstatēta būtiska sakarība starp graudu skaitu vārpā un produktīvo stiebru skaitu (p<0.001; skat. 3.6. att.).

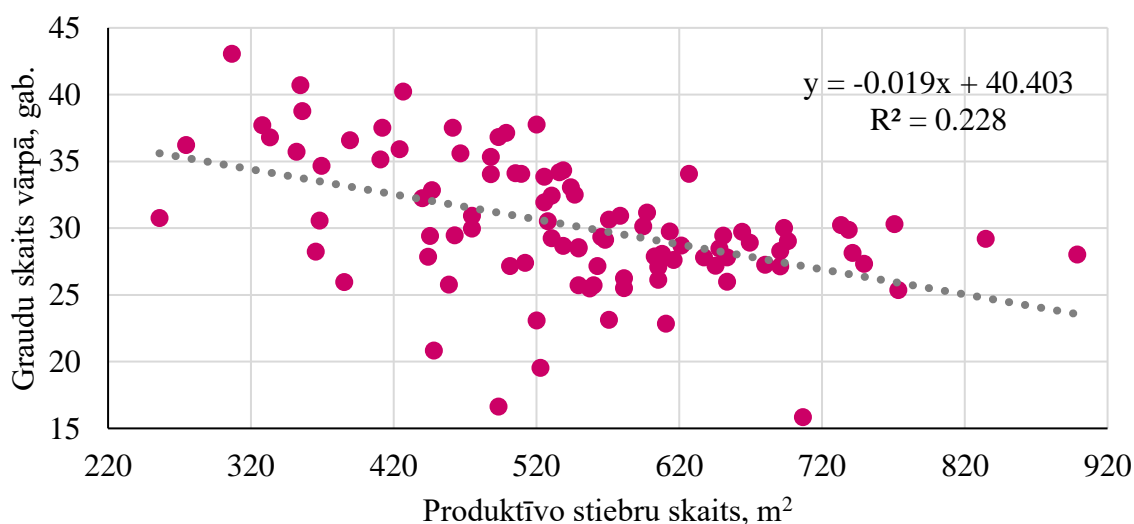
Ziemas kviešu graudu skaits vārpā atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā

Gads	Augsnes apstrāde		Augu maiņa un priekšaugi				Vidēji, p<0.001
	TA	RA	25% kvieši	67% kvieši		25% kvieši	
			kvieši	r-kvieši	rapsis	pupas	
2017.	26.3 ^a	26.4 ^a	25.3 ^a	–	25.1 ^a	28.7 ^a	26.4 ^A
2018.	30.6 ^a	33.9 ^b	31.7 ^a	32.7 ^a	32.3 ^a	–	32.2 ^B
2019.	37.9 ^b	30.3 ^a	33.6 ^a	32.9 ^a	–	35.8 ^a	34.1 ^B
2020.	28.9 ^b	27.4 ^a	27.6 ^a	–	28.3 ^a	28.4 ^a	28.1 ^A
Vidēji	30.9 ^A	29.5 ^A	29.6 ^A	32.8 ^B	28.6 ^A	31.0 ^A	×
p-vērtība	0.16		0.04				

Mijiedarbība: augsnes apstrādes variants×gads p <0.001; TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēma; RA – reducētās augsnes apstrādes sistēma; ^{A,B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām faktoru ietvaros; ^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas un augsnes apstrādes variantos katrā pētījuma gada ietvaros; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša

Izmēģinājumā iegūtie rezultāti nepierādīja priekšauga ietekmi uz graudu skaitu vārpā, kā tas konstatēts Lietuvā veiktā pētījumā, kur augstāks graudu skaits kviešu vārpās veidojas gadījumos, kad priekšaugi ir vasaras rapsis, salīdzinot ar atkārtotiem kviešu sējumiem (Seibutis, Deveikytė, Feiza, 2009).

Graudu skaitu vārpā nebija ietekmējusi arī augsnes apstrādes sistēma (p=0.16). Ražas kompensācijas mehānisma rezultātā konstatēta būtiska (p<0.001) negatīva sakarība starp produktīvo stiebru skaitu un graudu skaitu vārpā ($r = |-0.48| > r_{0.05} = 0.200$; n=96) (skat. 3.6. att.).



3.6. att. Ziemas kviešu produktīvo stiebru skaita (gab. m⁻²) sakarība ar graudu skaitu vārpā (gab.) (p<0.001)

Lai arī sakarība starp produktīvo stiebru skaitu un graudu skaitu vārpā bija būtiska, tomēr determinācijas koeficients (3.6. att.) liecina, ka tikai 23% gadījumu graudu skaita vārpā izmaiņas saistāmas ar produktīvo stiebru skaita izmaiņām.

Tūkstoš graudu masa izmēģinājumā būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma sezonas (p<0.001) un priekšauga augu maiņā (p<0.001). Pētījuma periodā augstākā vidējā 1000 graudu

masa iegūta 2017. gadā (46.1 g) un 2019. gadā (45.2 g), kas bija būtiski augstāka salīdzinājumā ar vērtībām 2018. un 2020. gadā (41.8 un 41.7 g, atbilstoši). 2017. gadā augstāku 1000 graudu masu bija iespējams iegūt, jo HTK svarīgos attīstības etapos (sākot no vārpošanas līdz novākšanas gatavībai) bija optimālajās robežās, savukārt 2019. gadā augstāka 1000 graudu masa varēja veidoties samazinātā produktīvo stiebru skaita (vid. 401.9 gab. m⁻²) dēļ, neskatoties uz to, ka katra individuālā vārpa bija produktīvāka nekā pārējos pētījuma gados. Turpretim 2018. gadā 1000 graudu masas zemais rādītājs varēja veidoties nepietiekamu nokrišņu dēļ (HTK periodā no stiebrošanas sākuma līdz novākšanas gatavībai bija <0.5). 2020. gada zemo vidējo 1000 graudu masu ietekmēja augu veldrēšanās, kas traucēja graudu pilnvērtīgu pildīšanos, kā arī šajā gadā bija augstākais vidējais produktīvo stiebru skaits 1 m². Vērtējot augu maiņas un priekšauga ietekmi uz 1000 graudu masu (skat. 3.9. tab.), secināts, ka pētījuma periodā vidējā 1000 graudu masa bijusi augstāka, audzējot kviešus četru dažādu kultūraugu maiņā (45.2 g), kur kvieši audzēti pēc lauka pupām, bet būtiski zemāka – kviešu bezmaiņas sējumos (42.5 g). Ziemas kviešu vidējā 1000 graudu masa augu maiņā “67% kvieši”, kur kvieši audzēti pēc rapša un pēc kviešiem (43.9 un 43.8 g), būtiski neatšķīrās no abās pārējās augu maiņās iegūtā rezultāta. Analizējot augu maiņas ietekmi uz 1000 graudu masu, konstatēts, ka priekšaugam nebija būtiskas ietekmes 2019. gadā; 2020. gadā zemākā 1000 graudu masa (p=0.057) bija kviešu bezmaiņas sējumos (100% kvieši), salīdzinot ar rapsi un lauka pupām kā priekšaugu. Savukārt 2017. gadā konstatēts, ka 1000 graudu masa bija būtiski zemāka augu maiņā “100% kvieši”, bet 2018. gadā novērotas būtiskas atšķirības starp 1000 graudu masu, kura iegūta, audzējot kviešus atkārtotos sējumos (41.2 g), salīdzinot ar 1000 graudu masu, kviešus audzējot pēc rapša (42.7 g), bet augu maiņas “67% kvieši” variantā, kur priekšaugi bija ziemas kvieši, 1000 graudu masa bija 41.6 g, un tas būtiski neatšķīrās no abiem iepriekš minētajiem variantiem.

3.9. tabula

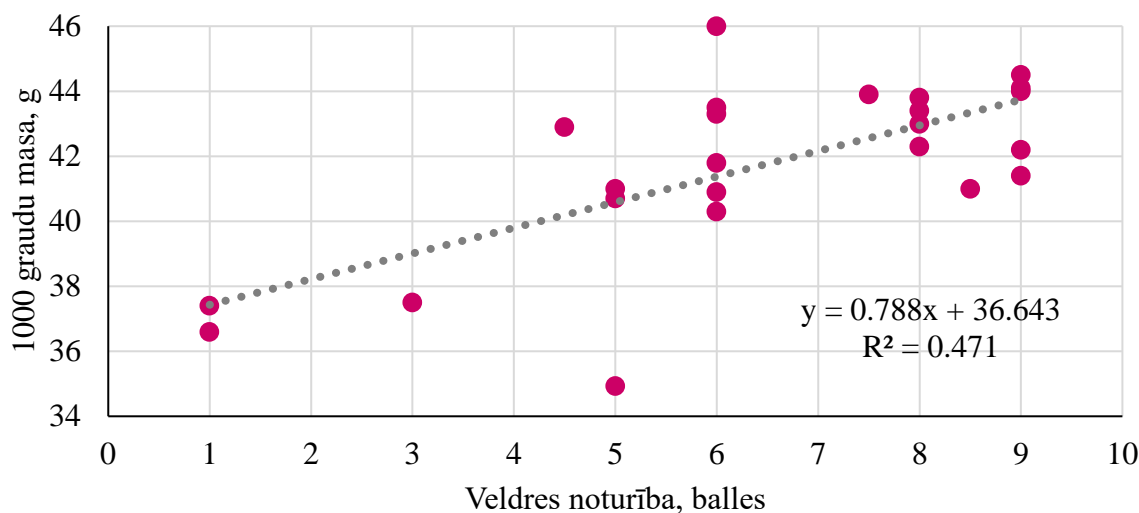
Ziemas kviešu 1000 graudu masa (g) atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā

Gads	Augsnes apstrāde		Augu maiņa un priekšaugi				Vidēji, p<0.001
	TA	RA	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši	
			kvieši	r-kvieši	rapsis	pupas	
2017	46.2 ^a	46.0 ^a	44.6 ^a	–	46.2 ^b	47.6 ^b	46.1 ^B
2018	41.9 ^a	41.7 ^a	41.2 ^a	41.6 ^{ab}	42.7 ^b	–	41.8 ^A
2019	46.0 ^a	44.4 ^a	44.3 ^a	45.9 ^a	–	45.4 ^a	45.2 ^B
2020	40.1 ^a	43.3 ^b	39.8 ^a	–	42.7 ^a	42.5 ^a	41.7 ^A
Vidēji	43.6 ^A	43.9 ^A	42.5 ^A	43.7 ^{AB}	43.9 ^{AB}	45.2 ^B	×
p-vērtība	0.298		<0.001				×

TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā; RA – reducētās augsnes apstrādes sistēmā; ^{A,B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām faktoru ietvaros; ^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas un augsnes apstrādes variantos katra pētījuma gada ietvaros; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša

Vidējo 1000 graudu masu četru pētījuma gadu periodā augsnes apstrādes sistēma nebija ietekmējusi (p=0.298), bet ietekme novērota 2020. gadā (p=0.002), kad 1000 graudu masa RA variantā bija par 3.2 g augstāka nekā TA variantā. Būtiskās atšķirības 2020. gadā iespējams skaidrot ar veldres ietekmi uz ziemas kviešu sēklu rupjumu, jo veldres ietekmē varēja būt traucēta normāla graudu pildīšanās. Tradicionālās augsnes apstrādes variantā veldres noturība 2020. gadā bija būtiski zemāka nekā reducētās augsnes apstrādes variantā (aprakstīts 3.1.1. apakšnodalā).

Korelācijas un regresijas analīze liecina par sakarību starp izturību pret veldri un 1000 graudu masu 2020. gadā (skat. 3.7. att.). Determinācijas koeficients norādīja, ka 47% gadījumu pie augstākas veldres noturības iegūta augstāka 1000 graudu masa, bet regresijas taisnes koeficients norādīja, ka veldres noturībai palielinoties vai samazinoties par vienu balli, iespējamas 1000 graudu masa izmaiņas par 0.79 g.



3.7. att. **Ziemas kviešu veldres noturības un 1000 graudu masas savstarpējās sakarības 2020. gadā (p=0.0002)**

Polijā ilggadīgā izmēģinājumā, kurā ziemas kvieši audzēti labību augu maiņā (augu secība: ziemas tritikāle-vasaras kvieši-ziemas kvieši) un augu maiņā, kas ietvēra pākšaugu (zirņi-vasaras kvieši-ziemas kvieši), pēc 29 gadus ilgas augu maiņas ievērošanas, 2017. gada sezonā analizētajos datos secināts, ka labību augu maiņā ar zirņiem, ziemas kviešu produktīvo stiebru skaits m^{-2} , 1000 graudu masa un vienas vārpa graudu masa bija būtiski ($p < 0.05$) augstāka nekā labību augu maiņā (Wozniak, 2019). Citā pētījumā Polijā arī secināts, ka augstāks produktīvo stiebru skaits, graudu skaits vārpā un augstāka 1000 graudu masa bija, ja ziemas kviešu priekšaugi bija soja, salīdzinot ar ziemas rapsi (Gawęda, Haliniarz, 2021). Lietuvā veiktā pētījumā, kur salīdzināti kviešu bezmaiņas sējumi ar īsām, divu vai trīs augu rotācijām (1) vasaras rapsis-ziemas kvieši un (2) vasaras rapsis-vasaras mieži-ziemas kvieši, secināts, ka augu maiņa un augsnes apstrādes sistēma (tradicionālā vai reducētā) būtiski neietekmēja ziemas kviešu augu skaitu pēc sējas, pēc ziemošanas un pirms ražas novākšanas, bet laikā līdz ražas novākšanai bija būtiski samazinājies (par 32–47%) augu skaits visos pētītajos variantos neatkarīgi no augsnes apstrādes. Ziemas kviešu produktīvo stiebru skaits, cerošanas koeficients un auga garums augstāks iegūts, audzējot kviešus pēc vasaras rapša abās augsnes apstrādes sistēmās, turpretim zemākais produktīvo stiebru skaits iegūts, audzējot ziemas kviešus atkārtotos sējumos (Seibutis, Deveikytė, Feiza, 2009). Augu skaitam ir liela nozīme ražas veidošanā, bet Fišers (2008) apgalvoja, ka graudu masa no ziemas kviešu auga galvenā stiebra veido 30–50% no ražas apjoma, bet 50–70% veidojas no sāndziniem (Fisher, 2008).

3.1.4. Ziemas kviešu graudu kvalitāte

Vērtējot ziemas kviešu graudu kvalitāti, netika konstatēta augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas ietekme uz pētītajiem kvalitātes rādītājiem (proteīna, lipekļa un cietes saturs, Zeleny indekss, krišanas skaitlis, tilpummasa). Tomēr atsevišķi vērtētie kvalitātes rādītāji

atšķirās atkarībā no priekšauga augu maiņā, kā arī visi rādītāji būtiski atšķirās atkarībā no pētījuma sezonām (skat. 3.10. tab.).

3.10. tabula

Ziemas kviešu vidējie graudu kvalitātes rādītāji atkarībā no pētītajiem faktoriem

Faktors	Proteīna saturs, %	Cietes saturs, %	Lipekļa saturs, %	Zeleny indekss	Krišanas skaits, s	Tilpumam-masa, kg hL ⁻¹
Augsnes apstrāde						
tradicionālā	11.6 ^a	69.3 ^a	22.8 ^a	35.1 ^a	332 ^a	78.0 ^a
reducētā	11.6 ^a	69.3 ^a	23.1 ^a	35.9 ^a	336 ^a	78.2 ^a
p-vērtība	0.816	0.810	0.725	0.724	0.468	0.677
Augu maiņa						
100% kvieši	11.7 ^a	69.0 ^a	23.1 ^a	36.1 ^a	333 ^a	77.5 ^a
63% kvieši	11.3 ^a	69.5 ^a	22.1 ^a	32.9 ^a	336 ^a	78.6 ^a
25% kvieši	11.9 ^a	69.5 ^a	24.3 ^a	38.9 ^a	333 ^a	78.1 ^a
p-vērtība	0.299	0.327	0.199	0.125	0.858	0.270
Priekšaugi						
kvieši	11.7 ^a	69.0 ^{ab}	23.1 ^a	36.1 ^{ab}	333 ^a	77.5 ^a
rapsis-kvieši	12.1 ^a	68.7 ^a	24.0 ^a	37.4 ^{ab}	336 ^a	78.5 ^a
rapsis	10.8 ^a	70.0 ^b	20.7 ^a	29.9 ^a	337 ^a	78.7 ^a
lauka pupas	11.9 ^a	69.5 ^{ab}	24.3 ^a	38.9 ^b	333 ^a	78.1 ^a
p-vērtība	0.394	0.019	0.052	0.040	0.956	0.447
Gads						
2017	10.9 ^b	69.0 ^b	20.9 ^b	31.9 ^b	329 ^a	81.3 ^d
2018	10.2 ^a	70.0 ^c	18.5 ^a	22.8 ^a	339 ^{ab}	79.8 ^c
2019	13.8 ^c	67.7 ^a	29.7 ^d	51.7 ^c	324 ^a	77.0 ^b
2020	11.4 ^b	70.6 ^c	22.8 ^c	35.5 ^b	346 ^b	74.2 ^a
p-vērtība	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.018	<0.001

^{a,b,c,d} – ar atšķirīgiem mazajiem alfabēta burtiem apzīmētas būtiskas atšķirības rādītājiem pētīto faktoru ietvaros; treknrakstā izceltas p-vērtības, kuras norāda uz būtisku faktora ietekmi

Proteīna saturs (%) būtiski atšķirās atkarībā no pētījuma sezonas ($p < 0.001$), vidēji augstākais bija 2019. gadā – 13.8%, bet zemākais 2018. gadā – 10.2% (3.11. tab., 11. pielik.). Proteīna satura veidošanos graudos 2018. gadā traucēja karstums un sausums, kā rezultātā augi nespēja uzņemt slāpekļa mēslojumu, savukārt 2019. gada augsto proteīna saturu graudos var skaidrot ar nokrišņiem jūlijā, kā arī viszemāko vidējo graudu ražu visā pētījumu periodā. Tā kā 2019. gada pavasara periodā bija vērojams nokrišņu deficīts, kā rezultātā ražas apjoms veidojās mazāks, tad jūlijā, graudu pildīšanās laikā, kad uzlabojās mitruma apstākļi, augiem bija iespējams uzņemt slāpekli novirzīt graudu kvalitātes veidošanai.

Proteīna saturs (%) ziemas kviešu graudos atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā

Gads	Augsnes apstrāde (AA)			Augu maiņa (AM) un priekšaugi					Mijiedarbības p-vērtība AA × AM
	TA	RA	p-vērtība	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši	p-vērtība	
				kvieši	r-kvieši	rapsis	pupas		
2017	10.6 ^a	11.3 ^b	0.014	11.0 ^a	-	10.8 ^a	11.0 ^a	0.830	0.209
2018	10.0 ^a	10.4 ^a	0.054	9.9 ^a	10.0 ^a	10.9 ^b	-	<0.001	0.288
2019	13.8 ^a	13.9 ^a	0.151	13.7 ^a	14.1 ^b	-	13.7 ^a	0.006	0.247
2020	11.9 ^b	10.9 ^a	<0.001	12.2 ^b	-	10.8 ^a	11.1 ^{ab}	<0.001	<0.001

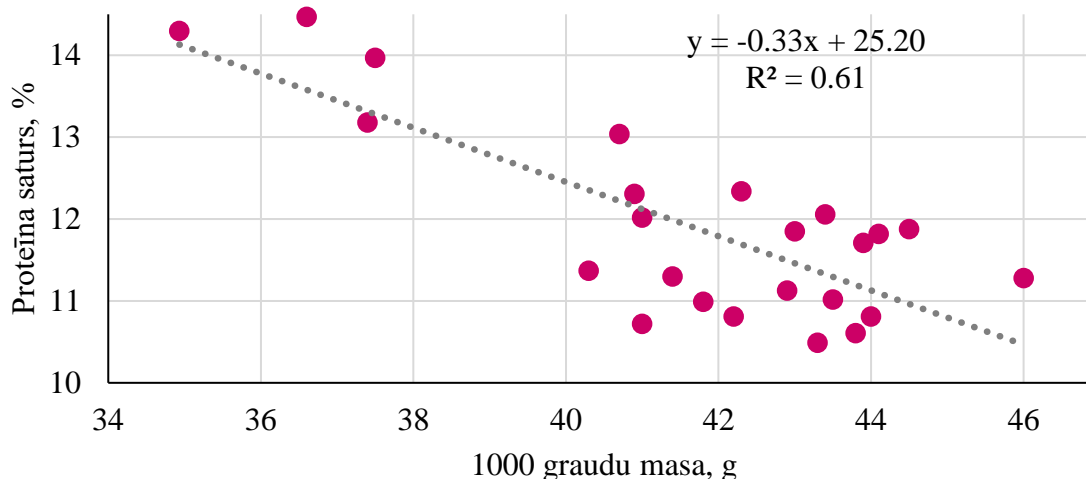
TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēma; RA – reducētās augsnes apstrādes sistēma; ^{a, b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas un augsnes apstrādes variantos katra pētījuma gada ietvaros; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša

Gandrīz visos pētījuma gados, izņemot 2017. gadu, proteīna saturu graudos būtiski ietekmēja priekšaugu maiņa. Augstāks vidējais proteīna saturs bijis augu maiņās, kur kvieši netika audzēti tieši pēc rapša, tomēr pastāvēja nianse starp pētījuma gados iegūtajiem rezultātiem. Ziemas kviešu graudu proteīna saturs 2019. gadā augu maiņā “67% kvieši”, ar priekšaugu ziemas kvieši, bija nodrošinājis augstāko proteīna saturu 14.1%, salīdzinot ar atkārtotu kviešu sējumiem (13.7%) un lauka pupām (13.7%) kā priekšaugu. Proteīna satura starpība starp variantiem bija vien 0.4%, kas šajā situācijā ietekmētu to, ka graudi, kuri iegūti augu maiņā “67% kvieši” ietilptu augstākas kvalitātes grupā, nekā abi pārējie varianti (atbilstoši graudu kvalitātes iepirkuma prasībām, skat. 12. piel.). Turpretim 2020. gadā variantā ar augu maiņu “67% kvieši” un rapsi kā ziemas kviešu priekšaugu uzrādīja zemāko proteīna saturu (10.8%), salīdzinot ar kviešu bezmaiņas variantu (100% kvieši; vidējais proteīna saturs 12.2%) un lauka pupām (25% kvieši, vidējais proteīna saturs 11.1%) kā priekšaugu. Augstākais proteīna saturs 2020. gadā bija augu maiņā ar atkārtotiem kviešu sējumiem (100% kvieši), variantā, kurā iegūta būtiski zemākā kviešu graudu raža.

Starp proteīna saturu graudos un ražas līmeni netika atrasta būtiska savstarpējā sakarība visā periodā un arī analizējot katru gadu atsevišķi, tomēr ir pētījumi, kuros pierādījusies cieša negatīva sakarība (Cooper et al., 2001; Laidig et al., 2017). Proteīna satura graudos un ražas apjoma sakarības ciešums atkarīgs no augšanas vides apstākļiem (Kibite, Evans, 1984) un izmantotā genotipa (Oury, Godin, 2007).

Trijos no četriem pētījuma gadiem (izņemot 2019. gadu) konstatētas būtiskas atšķirības proteīna saturā kviešu graudos atkarībā no augsnes apstrādes varianta – vienā no pētījuma gadiem augstāks proteīna saturs kviešu graudos bija, izmantojot tradicionālo augsnes apstrādi, bet divos – izmantojot reducēto augsnes apstrādi.

Augu maiņas × augsnes apstrādes sistēmas mijiedarbības efekts uz proteīna saturu graudos novērots 2020. gadā, kad ziemas kviešu atkārtotos sējumos būtiski augstāku proteīna saturu uzrādīja tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā audzētie kvieši, bet šajā variantā bija arī zemākā veldres noturība un iegūti graudi ar zemāko 1000 graudu masu, kā rezultātā sīkajos graudos bija koncentrējies augstāks proteīna saturs. Šajā gadā konstatēta cieša negatīva sakarība starp 1000 graudu masu un proteīna saturu graudos ($r = -0.783 | > r_{0.05} = 0.404$, $n = 24$) (skat. 3.8. att.).



3.8. att. **Ziemas kviešu 1000 graudu masas (g) un proteīna satura (%) graudos sakarība 2020. gadā (p<0.001)**

Proteīna satura izmaiņas 2020. gada izmēģinājumā bija saistītas ar 1000 graudu masas izmaiņām 61% gadījumu. Lineārās regresijas koeficients norāda, ka, 1000 graudu masai samazinoties par 1 g, proteīna saturs graudos pieaudzis par 0.33%. Būtisku negatīvu sakarību starp kviešu graudu proteīna saturu un graudu rupjumu konstatējusi arī pētniece V. Strazdiņa (2008).

Lipekļa saturs (%) graudos būtiski (p<0.001) atšķirās atkarībā no pētījuma sezonas, un novērota tendence atšķirībām atkarībā no priekšaugiem augu maiņās. Lipekļa saturam pastāvēja būtiska cieša sakarība ar proteīna saturu ($r=0.995 > r_{0.05}=0.206$, $n=96$). Būtiskas atšķirības lipekļa saturā pastāvēja starp visiem pētījuma gadiem, augstākais lipekļa saturs bija 2019. gadā – 29.7%, sekojoši 2020. gadā – 22.8%, 2017. gadā – 20.9% un 2018. gadā – 18.5%. Augstākais lipekļa saturs bija augu maiņā “25% kviešu”.

Zeleny indekss raksturo proteīna kvalitāti, un tā vidējās vērtības būtiski atšķirās atkarībā no pētījuma gadiem (p<0.001) un priekšaugiem augu maiņās (p=0.004) (skat. 3.12. tab.). Augstākā Zeleny indeksa vērtība līdzīgi kā augstākais proteīna saturs bija 2019. gadā – 51.7, bet zemākais – 2018. gadā – 22.8. Būtiski atšķirīgas no augstākā un zemākā vērtējuma, bet savstarpēji bez būtiskām atšķirībām bija 2017. un 2020. gada Zeleny indeksa vērtības (31.9 un 35.5 atbilstoši). Analizējot katru pētījuma gadu atsevišķi, noskaidrots, ka Zeleny indeksa vērtības būtiski atšķirās atkarībā no augsnes apstrādes varianta 2017. un 2020. gadā. Reducētās augsnes apstrādes variantā augstāks Zeleny indekss, salīdzinot ar tradicionālās augsnes apstrādes variantu, bija 2017. gadā, bet pretēji: tradicionālā augsnes apstrādē būtiski augstāks Zeleny indekss, nekā reducēta augsnes apstrādē, bijis 2020. gadā.

Analizējot augu maiņu ietekmi uz ziemas kviešu graudu Zeleny indeksa vērtību, jāsecina, ka pētījuma sezonās iegūtie rezultāti ir pretrunīgi, jo būtiskās atšķirības un kāda priekšauga stabila ietekme uz Zeleny indeksa rādītāju netika novērota.

Zeleny indeksa vērtības ziemas kviešu graudiem atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā

Gads	Augsnes apstrāde (AA)			Augu maiņa (AM) un priekšaugi				Mijiedarbība AA × AM	
	TA	RA	p- vērtība	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši		p- vērtība
				kvieši	r- kvieši	rapsis	pupas		
2017	28.9 ^a	34.8 ^b	0.016	33.5a	-	30.3a	31.9a	0.512	0.202
2018	21.5a	24.1a	0.056	20.4 ^a	20.9 ^a	27 ^b	-	<0.001	0.132
2019	51.7a	51.8a	0.891	50.6 ^a	53.9 ^b	-	50.6 ^a	0.008	0.782
2020	38.1 ^b	32.9 ^a	<0.001	39.8 ^b	-	32.5 ^a	34.3 ^{ab}	<0.001	<0.001

TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēma; RA – reducētās augsnes apstrādes sistēma; ^{a, b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas variantos katra pētījuma gada ietvaros; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša

Agrāk veiktos pētījumos izmēģinājumu stacionārā (2015. un 2016. gadā) noskaidrots, ka tādiem kviešu kvalitātes rādītājiem kā proteīna saturam, lipekļa saturam un Zeleny indeksam, bijusi augstāka vērtība, ja kvieši audzēti pēc lauka pupām vai rapša, salīdzinot ar kviešiem kā priekšaugu (Konavko, Ruža, 2017). Pētījumā Polijā secināts, ka ilggadīgā izmēģinājumā, kur ziemas kvieši audzēti labību rotācijā un rotācijā ar zirņiem, iegūts būtiski augstāks lipekļa saturs, bet proteīna saturs nebija būtiski atšķiries atkarībā no augu maiņu varianta (Wozniak, 2019).

Tilpummasas (kg hL⁻¹) vidējā vērtība pētījuma periodā būtiski atšķīrās starp pētījuma sezonām (p<0.001), bet pārējo pētīto faktoru ietekme uz izmēģinājuma periodā iegūtajiem vidējiem rādītājiem nebija būtiska (skat. 3.13. tab.).

Ziemas kviešu graudu tilpummasa (kg hL⁻¹) atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā

Gads	Augsnes apstrāde (AA)			Augu maiņa (AM) un priekšaugi				p- vērtība	Mijiedarbība AA un AM
	TA	RA	p- vērtība	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši		
				kvieši	r- kvieši	rapsis	Pupas		
2017	81.4	81.3	0.770	81.4 ^{ab}	-	80.8 ^a	81.8 ^b	0.004	0.063
2018	79.8	79.8	0.932	79.1 ^a	79.7 ^a	80.7 ^b	-	0.001	0.278
2019	76.9	77.0	0.799	76.4 ^a	77.2 ^b	-	77.4 ^b	0.016	0.006
2020	73.7 ^A	74.7 ^B	0.001	73.1 ^a	-	74.5 ^b	75.0 ^b	<0.001	<0.001

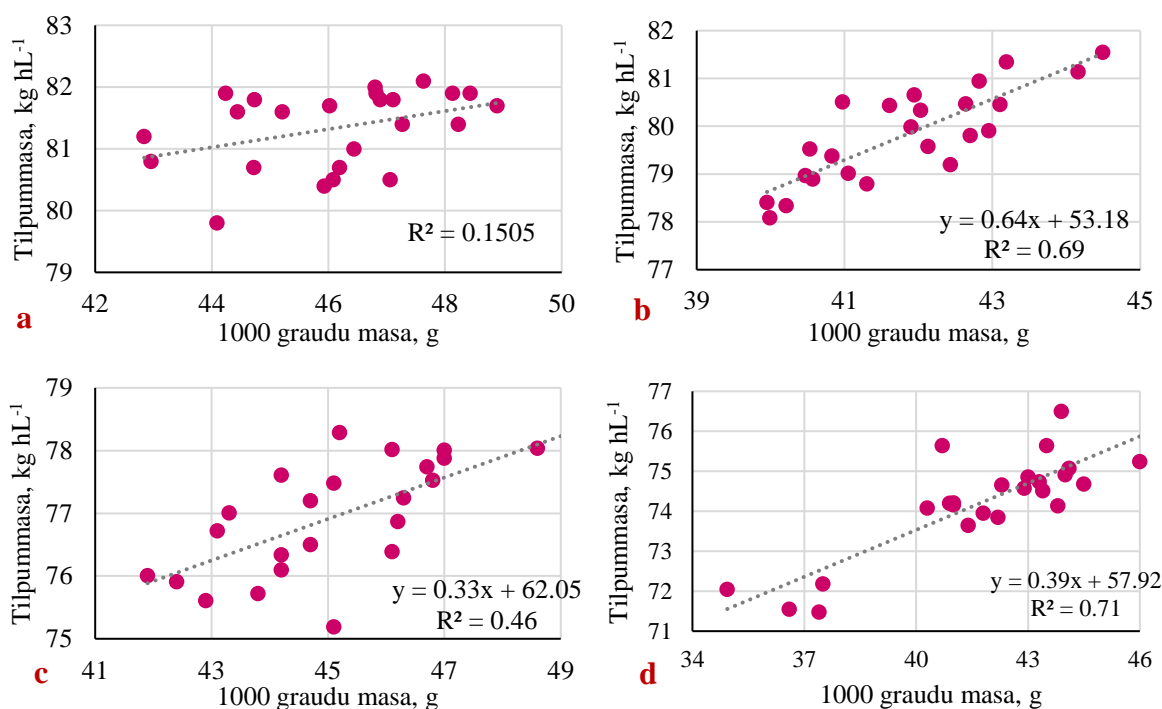
TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēma; RA – reducētās augsnes apstrādes sistēma; ^{A, B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp augsnes apstrādes sistēmām katrā izmēģinājuma gadā; ^{a, b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas variantos katra pētījuma gada ietvaros; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša

Augstākā vidējā ziemas kviešu graudu tilpummasa bija 2017. gadā (81.3 kg hL⁻¹), zemākā – 2020. gadā (74.2 kg hL⁻¹), un pastāvēja būtiskas atšķirības starp visiem izmēģinājuma gados iegūtajiem tilpummasas lielumiem. Augu maiņa kā faktors būtiski ietekmēja graudu tilpummasu katrā pētījuma gadā atsevišķi (skat. 3.13. tab.), neskatoties uz to, ka vidējās rādītāja vērtības augu maiņas variants būtiski neietekmēja. Augsnes apstrādes varianta būtiska ietekme novērota 2020. gadā, kad augstāka vidējā tilpummasa iegūta reducētās augsnes apstrādes

variantā (74.7 kg hL^{-1}), salīdzinot ar tradicionālo augsnes apstrādi (73.7 kg hL^{-1}). Šāds iznākums skaidrojams ar 2020. gada veldres ietekmi uz 1000 graudu masas veidošanos (skat. 3.9. tab. un 3.7. att.).

Visos pētījuma gados augu maiņā “100% kvieši” iegūtā tilpummasa bija zemākā (izņemot 2017. gadu), bet kviešu tilpummasa augu maiņā “25% kvieši” visos pētījuma gados, kuros bija iekļauts šis variants, bija skaitliski augstākā, kā arī būtiski augstāka par variantu “100% kvieši”, 2019. un 2020. g. Rapsis kā priekšaug divos no trīs pētījuma gadiem, kuros tas bija iekļauts, nodrošināja būtiski augstāku tilpummasu nekā variantā “100% kvieši” un šī iegūtā tilpummasa būtiski neatšķīrās no varianta “25% kvieši”. Līdzīgs rezultāts iegūts Polijā, kur salīdzināta augu maiņa ar labību sugām un augu maiņu ar iekļautiem zirņiem pirms vasaras kviešiem, kuriem seko ziemas kvieši. Šajā pētījumā tilpummasa bija būtiski zemāka, audzējot kviešus labību augu maiņā (Wozniak, 2019).

Trijos no četriem pētījuma gadiem novērota cieša pozitīva sakarība starp 1000 graudu masu un tilpummasu (skat. 3.9. att.): 2018. gadā $r=0.828 > r_{0.05}=0.404$, $n=24$; 2019. gadā $r=0.677 > r_{0.05}=0.404$, $n=24$; 2020. gadā $r=0.843 > r_{0.05}=0.404$, $n=24$. Ciešākas šīs sakarības bija 2018. (3.9. att. b) un 2020. (3.9. att. d) gadā.



3.9. att. Ziemas kviešu 1000 graudu masas un tilpummasas savstarpējās sakarības

a – 2017. gadā, $p=0.06$; b – 2018. gadā, $p<0.001$;

c – 2019. gadā, $p<0.001$); d – 2020. gadā, $p<0.001$

Krišanas skaitlis (s) visā pētījuma laikā bija augsts, vidējais radītājs starp pētījuma sezonām bija no 329 līdz 346 s (skat. 3.10. tab.). Konstatētas būtiskas ($p=0.018$) atšķirības atkarībā no pētījuma gadiem, bet skaitliski starpība veidoja tikai 17 s, kas nav uzskatāma par agronomiski nozīmīgu atšķirību pie augstām krišanas skaitļa vērtībām, kuras visas atbilda pārtikas kvalitātes graudu prasībām. Analizējot katru pētījuma gadu atsevišķi, netika konstatēta priekšauga augu maiņā ietekme uz krišanas skaitļa vērtību. Augstāks, bet ne būtiski ($p=0.08$), vidējais krišanas skaitlis 2020. gadā ziemas kviešu graudiem bija tradicionālā augsnes apstrādē (361 s) nekā reducētā augsnes apstrādes sistēmā (332 s), neskatoties uz to, ka tradicionālā augsnes apstrādē bija zemāka veldres noturība (skat. 3.1.1. apakšnodaļā). Arī vairākos agrāk veiktos pētījumos ir apliecināts, ka krišanas skaitļa vērtība ir atkarīga no genotipa un meteoroloģiskajiem apstākļiem graudu gatavošanās laikā. Pazemināts krišanas skaitlis var būt

gadījumos, kad nobriedušos graudos pirms ražas novākšanas sākās dīgšanas process pastiprināta mitruma ietekmē vai arī graudu nobriešanas laikā ir zemas temperatūras (Derx, Mares, 2020; Sjoberg et al., 2021).

Cietes saturs (%) kā kvalitātes rādītājs netiek vērtēts, iepērkot graudus pārtikai, bet tas ir svarīgs, ja graudus pārstrādā kādam no bioenerģijas veidiem. Atrasta būtiska ($p=0.019$) priekšauga augu maiņā ietekme uz cietes saturu kviešu graudos, kas saistīta ar proteīna satura atšķirībām kviešu graudos atkarībā no augu maiņu variantiem (skat. 3.10. tab.). Konstatēta būtiska cieša negatīva sakarība cietes un proteīna saturam. Izmantojot visā periodā iegūtos datus, sakarību raksturojošais korelācijas koeficients bija $r=-0.806$ ($r_{0.05}=0.206$, $n=96$), bet atsevišķos pētījuma gados tas variēja no -0.818 2019. gadā līdz -0.977 2019. gadā ($r_{0.05}=0.404$, $n=24$). Vidējās cietes satura vērtības atkarībā no priekšauga variēja tikai 1.3% robežās (68.7%–70.0%). Augsnes apstrādes variants būtiski ($p=0.810$) neietekmēja cietes saturu graudos, abās augsnes apstrādes sistēmās vidēji tas bija 69.5%. No pētījuma gadiem zemākais cietes saturs bija 2019. gadā – 67.7%, būtiski augstāks 2017. gadā – 69.0%, un būtiski augstākais bija 2018. un 2020. gadā, attiecīgi 70.0 un 70.6%.

Izmēģinājumā vairākiem kvalitātes rādītājiem atrastas būtiskas atšķirības atkarībā no augsnes apstrādes varianta, bet līdzīgos pētījumos, kur analizēti ziemas kviešu kvalitātes rādītāji, netika konstatēta augsnes apstrādes ietekme uz graudu kvalitāti (Rusu, Gus, Moldovan, 2008; Woźniak, Rachoń, 2020), kas ļauj secināt, ka ietekme uz graudu kvalitātes rādītājiem varētu veidoties priekšauga un augsnes apstrādes varianta mijiedarbības rezultātā. Šajā izmēģinājumā pastāvēja būtiska mijiedarbība starp augsnes apstrādes veidu un gada apstākļiem uz tādiem kvalitātes rādītājiem kā proteīna saturs ($p<0.001$), lipekļa saturs ($p<0.001$), Zeleny indekss ($p<0.001$) un tilpummasa ($p=0.02$). Atsevišķos gadījumos promocijas darba izmēģinājumā, piemēram, 2020. gadā proteīna saturu un tilpummasu TA variantā, iespējams, vairāk ietekmēja sējuma veldrēšanās konkrētas augsnes apstrādes sistēmas laukos, nevis augsnes apstrādes sistēma.

Polijā veiktā pētījumā ar ziemas kviešu priekšaugiem soju un ziemas rapsi secināts, ka pēc sojas ziemas kviešu graudiem bija būtiski augstāks proteīna saturs un Zeleny indekss, bet starp lipekļa saturu un tilpummasu šajos divos variantos būtisku atšķirību nebija (Gawęda, Haliniarz, 2021).

Ziemas kviešu graudu kvalitāte 2017., 2018. un 2020. gadā lielākajā daļā gadījumu atbilda lopbarības kvalitātei (skatīt 3.14. tab. un 12. pielikumu), bet 2019. gadā visos variantos iegūti pārtikas kvalitātes graudi. Analizējot katru gadu atsevišķi, 2017. gadā vienīgi augu maiņas variantā “100% kvieši”, izmantojot reducēto augsnes apstrādi, iegūti pārtikas kvalitātes graudi (B3 grupa), grupu limitējošie rādītāji bija proteīna un lipekļa saturs, jo tilpummasa un krišanas skaitlis atbilda augstākās pārtikas kvalitātes grupai (E). Arī pārējos 2017. gadā salīdzinātajos variantos krišanas skaitļa un tilpummasas vērtības atbilda augstākā grupas (E) kvalitātes prasībām, tomēr limitējošie rādītāji, kuri noteica graudu atbilstību lopbarības kvalitātes grupām variantos “100% kvieši, TA” un “67% kvieši, TA” bija proteīna un lipekļa saturs, bet pārējo variantos – lipekļa saturs. Vienīgajā variantā 2018. gadā, kurā graudi atbilda pārtikas kvalitātei, bija augu maiņa “67% kvieši”, izmantojot reducēto augsnes apstrādi pēc rapša kā priekšauga, atbilstoši iegūti zemākās pārtikas kvalitātes grupas (B5) graudi, limitējošais rādītājs – lipekļa saturs. Pārējos variantos iegūti lopbarības graudi, jo lipekļa un proteīna saturs šajos variantos bija zemāks par pārtikas kvalitātei noteikto ($<10.5\%$). Tilpummasa un krišanas skaitlis atbilda augstākās kvalitātes graudu pieņemšanas prasībām.

Augstākās kvalitātes graudi iegūti 2019. gadā, kur kvalitāte visos pētītajos variantos atšķīrās tikai divu secīgu kvalitātes grupu robežās (no A3 līdz B1). Atšķirībā no diviem iepriekš aprakstītajiem pētījuma gadiem, 2019. gadā atbilstību zemākajai kvalitātes grupai noteica tilpummasa (3.13. tab.). Krišanas skaitlis atbilda augstākās kvalitātes grupai.

Ziemas kviešu graudu kvalitātes atbilstība LPKS “Latraps” graudu iepirkšanas kvalitātes prasībām 2022. gadā

Augu maiņas variants un priekšaugšs	Augsnes apstrādes variants	Gads			
		2017	2018	2019	2020
100% kvieši	TA	L	L	B1	L
	RA	B3	L	B1	L
67% kvieši, priekšaugšs kvieši	TA	-	L	B1	-
	RA	-	L	A3	-
67% kvieši, priekšaugšs rapsis	TA	L	B5	-	L
	RA	L	L	-	L
25% kvieši, priekšaugšs lauka pupas	TA	L	-	B1	B3
	RA	L	-	A3	L

TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēma; RA – reducētā augsnes apstrādes sistēma

L – ziemas kviešu lopbarības kvalitātes grupa; A3, B1, B3, B5 – kviešu graudu pārtikas kvalitātes grupas

Atbilstību kvalitātes grupām 2020. gadā limitēja atšķirīgi kvalitātes rādītāji, kuri noteica graudu piederību lopbarības kvalitātes grupai. Pārtikai kvalitātes grupai (B3) atbilda graudi variantā “25% kvieši, TA”, kur gan proteīna un lipekļa saturs, gan tilpummasa bija atbilstoša B3 grupai, bet krišanas skaitlis E grupai. Lielākajā daļā variantu 2020. gadā lopbarības kvalitātei atbilda lipekļa satura rādītājs, izņēmums bija variants “100% kvieši, TA”, kur veldres ietekmē graudu pildīšanās laika iegūti sīki graudi ar zemu tilpummasu.

3.2. Pārējo pētīto kultūraugu ražas un kvalitātes veidošanās

3.2.1. Ziemas rapša produktivitāte 2017.–2020. gadā

Ražas novākšanas laiks pētījuma sezonās nozīmīgi neatšķirās. Ražas novākšana pētījuma gados tika uzsākta 6–12 dienas pēc novākšanas gatavības (89. AE) iestāšanās, kas ziemas rapsim no 2018.–2020. gadam iestājās jūlija II dekādē, novākšanas gatavības iestāšanās ziemas rapsim 2017. gadā nav atzīmēta.

Ziemas rapša sēklu raža pētījuma laikā no 2017. līdz 2020. gadam būtiski atšķirās atkarībā no pētījuma sezonām ($p < 0.001$), bet netika konstatētas atšķirības starp ražību pētītajās augsnes apstrādes sistēmās ($p = 0.81$) vai augu maiņas variantos ($p = 0.278$), kuros rapsis audzēts pētījuma laikā (skat. 3.15. tab.). Lai arī ražu atšķirības pētījuma gados bija būtiskas, un tās var pamatot ar meteoroloģiskajiem apstākļiem pētījuma sezonās, tomēr katrā pētījuma gadā tika audzētas dažādas šķirnes, līdz ar to arī starp šķirņu spēju nodrošināt ražu konkrētos apstākļos varēja pastāvēt būtiskas atšķirības. Tāpēc analizēt ražu atšķirības, kā pētījuma gadu apstākļu izraisītas, nav korekti. Augstākā rapša raža iegūta 2020. gadā 3.95 t ha^{-1} , kas bija būtiski augstāka nekā pārējos pētījuma gados. Ziemas rapša raža 2019. gadā tradicionālās augsnes apstrādes variantā netika iegūta, jo sausajā 2018. gada augustā šajā augsnes apstrādes variantā sētais rapsis sāka dīgt vēlu un nepaspēja līdz veģetācijas perioda beigām sasniegt veiksmīgai pārziemošanai nepieciešamos attīstības parametrus. Tāpēc pavasarī šo lauku nācās pārsēt ar vasaras rapsi, lai nodrošinātu rapsi kā priekšaugu augu maiņā. Tomēr tālākajiem aprēķiniem tika modelēta ziemas rapša raža 2019. gada tradicionālās augsnes apstrādes variantā, izmantojot Dž. Snedekora formulu pazudušo/niegūto datu atjaunošanai (modelētā rapša raža bija 2.39 t ha^{-1}).

**Ziemas rapša raža (t ha⁻¹) 2017.–2020. gadā atkarībā no
augšnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta**

Rādītāji	Gads				Vidēji
	2017.	2018.	2019.	2020.	
Augu maiņa					
67% kvieši	2.89 ^a	–	2.44	4.00 ^a	3.25 ^A
25% kvieši	2.45 ^a	2.70	–	3.90 ^a	3.02 ^A
p-vērtība	0.791	–		0.257	0.278
Augsnes apstrādes sistēma					
tradicionālā	2.45 ^a	2.84 ^a	2.39 ^{a*}	4.04 ^a	3.16 ^A
reducētā	2.89 ^a	2.57 ^a	2.44 ^a	3.87 ^a	3.09 ^A
p-vērtība	0.262	0.478	0.807	0.607	0.81
Vidēji gadā, p<0.001	2.67 ^A	2.70 ^A	2.44 ^A	3.95 ^B	×

A, B – ar dažādiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības vidējām ražām pētījuma gados;

^a – pētījumiem rādītājiem nepastāvēja būtiskas atšķirības konkrētos pētījuma gados atkarībā no pētītā faktora;

* modelētā rapša sēklu raža pēc Dž. Snedekora formulas, skat. (5) formulu.

Netika atrastas būtiskas atšķirības starp iegūtajām ražām atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas nevienā no pētījuma gadiem (2017. gadā p=0.262, 2018. gadā p=0.478, 2019. g. p=0.807, 2020. g. p=0.607). Tāpat 2017. un 2020. gadā netika konstatētas atšķirības ražās starp augu maiņu variantiem, kuros rapsis bija audzēts reizi trīs vai reizi četros gados (2017. gadā p=0.791, 2020. gadā p=0.257).

Ziemas rapsi veiksmīgi izdodas audzēt kā tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā, tā arī konservējošās augsnes apstrādes sistēmās, bet citos pētījumos iegūtie rezultāti ir dažādi. Piemēram, Rumānijā veiktos izmēģinājumos augstākas ziemas rapša ražas smilšmāla augsnē ieguva tradicionālās (konvencionālās) augsnes apstrādes sistēmā, salīdzinot ar samazinātas augsnes apstrādes variantiem (Rāus et al., 2016), savukārt Polijā veiktā izmēģinājumā, starp augsnes apstrādes sistēmām būtiskas ražas atšķirības neapstiprinājās (Bečka et al., 2021), līdzīgi, kā šajā izmēģinājumā.

Rapša ražas indekss bija zemākais starp visiem augu maiņas audzētajiem kultūraugiem, vidēji – 0.3. Ražas indekss nebija būtiski atšķirīgs atkarībā no pielietotajām augsnes apstrādes sistēmām, bet bija mainīgs pa pētījuma gadiem. Piemēram, augstākais ražas indekss iegūts 2017. un 2018. gadā, kad 2017. g. sezona bija labvēlīga rapša audzēšanai, bet nākamā – īpaši sausa. Zemākais ražas indekss bija 2019. un 2020. gadā (vidēji 0.27 un 0.26), bet ražas indeksa mainību nevar izskaidrot, jo, piemēram, 2020. gadā, kad iegūtas augstākās rapša sēklu ražas, iegūtais ražas indekss bija līdzvērtīgs 2019. gadā iegūtajam, lai arī 2019. gadā iegūtas zemākās rapša ražas visā izmēģinājuma periodā. Pēc ražas lieluma un ražas indeksa var izdarīt secinājumus arī par salmu ražu – augstākā tā bija 2020. gadā (vidēji 15.2 t ha⁻¹, bet zemākās 2017. un 2018. gadā, kad iegūtas zemākās salmu ražas (vidēji 8.3 un 8.2 t ha⁻¹), bet augstāks ražas indekss. Ražas indekss varētu atšķirties arī izmantoto dažādo šķirņu dēļ, lai arī šķirņu raksturojumos netika atrasts, ka kāda no šķirnēm būtu ar pundurainības gēnu.

Ziemas rapša augu skaits m⁻² pētījuma periodā būtiski atšķīrās atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas (p=0.003), bet būtiskas atšķirības neapstiprinājās vidējam augu skaitam atkarībā no pētījuma sezonām (p=0.347) un augu maiņas (p=0.165) (skat. 3.16. tab.). Būtiski augstāks augu skaits izmēģinājuma periodā bija tradicionālās augsnes apstrādes variantā (41.6 gab. m⁻²) salīdzinājumā ar reducētās augsnes apstrādes (32.2 gab. m⁻²) variantu, neskatoties uz apstākli, ka 2019. gadā reducētās augsnes apstrādes sistēmā iegūts augstākais augu skaits visa izmēģinājuma laikā (44.3 gab. m⁻²), bet TA variantā 2019. gadā nebija pārziemojis (nebija iespējas iegūt datus). Rapsim pastāv izteikts ražas kompensācijas

mehānisms (Balodis, Gaile, 2016), tāpēc jāuzsver, ka, neskatoties uz būtiskām atšķirībām augu skaitā, tas nebija atstājis ietekmi uz ražas lielumu augsnes apstrādes variantos.

3.16. tabula

Ziemas rapša augu skaits (gab. m⁻²) 2017.–2020. gadā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta

Rādītāji	Gads				Vidēji
	2017.	2018.	2019.	2020.	
Augu maiņa					
67% kvieši	40.0 ^a	–	44.3	38.0 ^a	40.1 ^A
25% kvieši	30.1 ^a	34.0	–	35.4 ^a	33.4 ^A
p-vērtība	0.147	–	–	0.631	0.165
Augsnes apstrādes sistēma					
tradicionālā	42.9 ^b	39.5 ^a	–	41.3 ^a	41.6 ^B
reducētā	28.0 ^a	28.5 ^a	44.3	32.1 ^a	32.2 ^A
p-vērtība	0.03	0.100	–	0.113	0.003
Vidēji gadā, p=0.347	35.4 ^A	34.0 ^A	44.3 ^A	36.7 ^A	×

^{A,B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības vidējam augu skaitam starp pētītajiem faktoriem 95% ticamības līmenī; ^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības vidējam augu skaitam starp augsnes apstrādes variantiem 2017. gadā 95% līmenī

Salīdzinot augu skaitu atsevišķos pētījuma gados, secināts, ka 2017. gadā vairāk augu bija tradicionālās augsnes apstrādes variantā ($p=0.031$), bet būtiskas atšķirības neapstiprinājās atkarībā no augu maiņas variantiem ($p=0.209$), lai gan augu skaita atšķirība bija ievērojama, un variantā, kur rapsis audzēts reizi trīs gados (augu maiņa “67% kviešu”), uzskaitīts par 10 augiem vairāk nekā augu maiņas variantā, kur rapsi audzēja reizi četros gados (“25% kvieši”). Arī 2018. gadā lielāks augu skaits bija tradicionālās augsnes apstrādes variantā (39.5 augi m⁻²) nekā reducētas apstrādes variantā (28.5 augi m⁻²), bet atšķirības nebija matemātiski būtiskas 95% līmenī ($p=0.099$). Līdzīgas atšķirības starp augsnes apstrādes variantiem novērotas arī 2020. gadā, kad bija vidēji 9.2 augu m⁻² starpība starp tradicionālās un reducētās augsnes apstrādes variantiem ($p=0.113$) (skat. 3.16. tab.).

Rapša 1000 sēklu masa izmēģinājumā būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma sezonas ($p<0.001$), bet augsnes apstrādes variants un augu maiņa to nebija ietekmējuši būtiski ($p=0.712$ un $p=0.406$, atbilstoši) (skat. 3.17. tab.). Pētījuma periodā vidējā 1000 sēklu masa bija 5.08 g. Zemākā 1000 sēklu masa iegūta 2018. gadā (4.30 g), kas bija ļoti sauss un karsts gads, rapša ziedēšanas laiks bija īss, sēklu pildīšanās sasteigta (skat. 2.5. apakšnodaļu un 8. piel.). Būtiski augstāka 1000 sēklu masa bija pārējos pētījuma gados (5.15–5.33 g).

Arī 1000 sēklu masas atšķirības analizēt, pamatojot tās tikai ar gada apstākļu ietekmi, nav korekti, jo, kā jau iepriekš minēts, izmēģinājuma gados izmantotas dažādas šķirnes. Līdz ar to 1000 sēklu masas atšķirības radās gan meteoroloģisko apstākļu ietekmē, gan arī tās varēja būt šķirnes ģenētisko īpašību noteiktas. Būtiskas atšķirības 1000 sēklu masai atkarībā no augsnes apstrādes un augu maiņas variantiem netika konstatētas.

**Ziemas rapša 1000 sēklu masa (g) 2017.–2020. gadā atkarībā no
augšnes apstrādes sistēmas un augu maiņas**

Rādītāji	Gads				Vidēji
	2017.	2018.	2019.	2020.	
Augu maiņa					
67% kvieši	5.29	–	5.15	5.16	5.21
25% kvieši	5.37	4.30	–	5.31	4.99
p-vērtība	0.599	–	–	0.505	0.410
Augšnes apstrādes sistēma					
tradicionālā	5.30	4.42	–	5.15	5.06
reducētā	5.35	4.19	5.15	5.34	5.11
p-vērtība	0.751	0.463	–	0.377	0.712
Vidēji gadā, p<0.001	5.33 ^B	4.30 ^A	5.15 ^B	5.24 ^B	×

^{A,B} – ar dažādiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības vidējai 1000 sēklu masai pētījuma gados

Ziemas rapša tilpummasa (skat. 3.18. tabula) būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma gadiem (p<0.001), tā bija no 637.4 kg hL⁻¹ 2018. gadā (šajā gadā iegūta zemākā 1000 sēklu masa (3.17. tabula), līdz 692.3 kg hL⁻¹ 2019. gadā), atšķirīgas iegūtās tilpummasas arī varētu būt gan šķirņu ģenētisko īpašību, gan arī gada apstākļu ietekmētas, piemēram, 2018. gadā 1000 sēklu masu, visticamāk, ietekmēja karstais un sausais laiks (2.4. att.).

**Ziemas rapša tilpummasa (g L⁻¹) 2017.–2020. gadā atkarībā no
augšnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta**

Rādītāji	Gads				Vidēji
	2017.	2018.	2019.	2020.	
Augu maiņa					
67% kvieši	655.0	–	682.3	680.6	672.7
25% kvieši	658.0	637.4	–	689.9	661.8
p-vērtība	0.349	–	–	0.102	0.092
Augšnes apstrādes sistēma					
tradicionālā	659.5	637.0	–	684.8	665.1
reducētā	653.5	637.7	692.3	685.8	668.1
p-vērtība	0.635	0.658	–	0.832	0.573
Vidēji gadā, p<0.001	656.5 ^B	637.39 ^A	692.3 ^C	685.3 ^C	×

^{A,B} – ar dažādiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības vidējai 1000 sēklu masai pētījuma gados
Mijiedarbība vidējām vērtībām augšnes apstrādes variants × augu maiņa: p=0.002

Eļļas saturs ziemas rapša sēklās visos variantos pārsniedza pieņemto eļļas bāzes saturu un bija virs 40% (3.19. tab.). Augstākais eļļas saturs rapša sēklās bija 2018. gadā, audzējot šķirni ‘Visby’ – 46.2%. Šķirne ‘Visby’ audzēta arī 2019. gadā, kad iegūts būtiski zemāks eļļas saturs sēklās (42.6%), bet tas bija līdzvērtīgs 2017. gada iegūtajam eļļas saturam sēklās (43.0%), audzējot šķirni ‘Veritas CL’. Zemākais eļļas saturs sēklās bija 2020. gadā – 40.3% (šķirne ‘Himalaya CL’), kad iegūta visaugstākā ziemas rapša sēklu raža.

**Eļļas saturs ziemas rapša sēklās (%) 2017.–2020. gadā atkarībā no
augšnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta**

Rādītāji	Gads				Vidēji
	2017.	2018.	2019.	2020.	
Augu maiņa					
67% kvieši	43.2	–	42.6	40.2	41.9
25% kvieši	42.8	46.2	–	40.4	43.1
p-vērtība	0.482	–	–	0.601	0.721
Augsnes apstrādes variants					
tradicionālā	43.4	46.2	–	40.3	42.8
reducētā	42.6	46.2	42.6	40.3	42.4
p-vērtība	0.178	0.986	–	0.902	0.219
Vidēji gadā, $p<0.001$	43.0 ^B	46.2 ^C	42.6 ^B	40.3 ^A	×

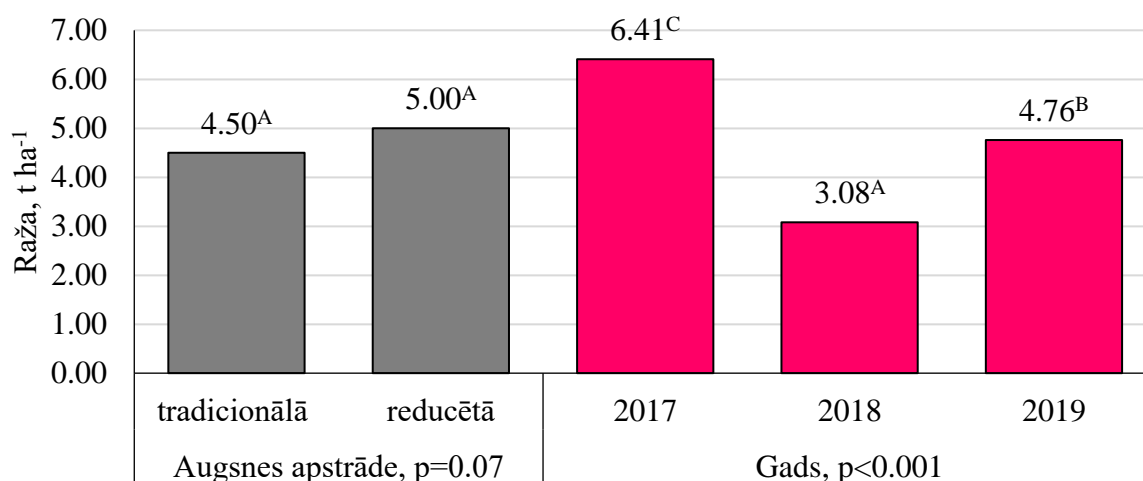
^{A,B} – ar dažādiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības vidējai 1000 sēklu masai pētījuma gados
Mijiedarbība AA un AM $p<0.001$

Starp rapša sēklu kvalitātes rādītājiem pastāvēja būtiskas sakarības. Sēklās ar augstāku 1000 sēklu masu bija koncentrējies zemāks eļļas saturs ($r=-0.593|>r_{0.05}=0.292$, $n=0.44$), bet sēklām ar augstāku eļļas saturu bija augstākā enerģētiskā vērtība ($r=0.792>r_{0.05}=0.292$, $n=0.44$). Eļļas saturu var ietekmēt gan šķirne, gan apstākļi sēklu nogatavošanās laikā, gan katra auga individuālā produktivitāte. Rapša sēklām nogatavojoties strauji, eļļas saturs parasti ir zemāks, bet ilgākā nogatavošanās procesā veidojas arī augstāks eļļas saturs sēklās. Produktīvākos rapša sējumos ar augstāku ražu iespējams iegūt sēklas ar augstāku eļļas saturu (Peltonen-Sainio, Jauhiainen, 2008).

Rapša atkārtota audzēšana pēc diviem citās sugas kultūraugiem ir populāra prakse valstīs, kur rapsis ir viens no galvenajiem audzētajiem laukaugiem. Tomēr, palielinot starplaiku starp atkārtotu rapša audzēšanu konkrētā laukā, pieaug rapša raža (Hegewald et al., 2018). Tādu pašu tendenci apstiprina arī Lielbritānijā veikts pētījums, ka, audzējot rapsi augu maiņā, rapša raža palielinās, salīdzinot ar atkārtotiem rapša sējumiem, tāpat arī, ja izmanto biežāko praksi, kad rapsi sēj īsās augu maiņās ar starpaugu ziemas kviešiem, tad iegūtā raža ir mazāka, nekā rapsi iekļaujot augu maiņā reizi četros gados (Bennett et al., 2020). Promocijas darba veiktajā pētījumā neizdevās pierādīt būtiskas rapša ražas atšķirības atkarībā no tā sēšanas biežuma augu maiņā – reizi trīs gados, ja starpaugs divus gadus ir kvieši, vai reizi četros gados, ja starpaugi bija divas labību sugas un pākšaugi. Pētījuma periods bija pārāk īss, un daži gadi bija ļoti netipiski meteoroloģisko apstākļu ziņā.

3.2.2. Vasaras miežu produktivitāte 2017.–2019. gadā

Vasaras mieži pētījumā audzēti tikai augu maiņas variantā “25% kvieši” un pētījuma periodā trijos no četriem gadiem (2017.–2019. g.). Vasaras miežu graudu ražas līmeni pētījuma laikā būtiski ietekmēja izmēģinājumu sezona ($p<0.001$), un novērota tendence arī augsnes apstrādes sistēmas ietekmei uz ražas apjomu ($p=0.07$) (skat. 3.10. att.). Augstākās ražas iegūtas 2017. gadā (6.41 t ha^{-1}), kurš raksturojās ar optimālākajiem mitruma un temperatūras apstākļiem (skat. 2.1. un 2.2. att.). Zemākā vidējā raža iegūta 2018. gadā (3.08 t ha^{-1}), kad bija zems nokrišņu daudzums agrīnajās miežu augšanas un attīstības fāzēs, tādejādi kavējot un traucējot dīgšanu, vēlāk arī nepietiekamie nokrišņi stiebrošanas laikā kavēja vārvas produktivitātes veidošanos, kā arī graudu pildīšanās laiks bija pārmērīgi sauss. Vidējais ražas līmenis, kurš būtiski atšķīrās no augstākā un zemākā, iegūts 2019. gadā (4.76 t ha^{-1}).



3.10. att. Vasaras miežu raža ($t\ ha^{-1}$) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas izmēģinājuma periodā no 2017. līdz 2019. gadam

^{A, B, C} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības atkarībā no faktoriem

Lielākās ražas atšķirības atkarībā no augsnes apstrādes variantiem novērotas 2018. gadā, kad starpība starp tradicionālā ($2.59\ t\ ha^{-1}$) un reducētā ($3.57\ t\ ha^{-1}$) augsnes apstrādes variantā iegūtajām ražām sasniedza $0.98\ t\ ha^{-1}$. Lielā ražas starpība skaidrojama ar to, ka sausajā 2018. gada pavasarī reducētās augsnes apstrādes variantā augiem, iespējams, bija pieejams vairāk mitruma, kas bija svarīgi vārpas veidošanās laikā, kad formējās graudu skaits. Lai arī iegūtie rezultāti norāda uz iespēju mazināt augsnes apstrādes intensifikāciju vasaras miežiem, tomēr jāņem vērā, ka vidējās ražas atšķirības atkarībā no pētījumā iekļautajiem augsnes apstrādes variantiem galvenokārt nodrošināja būtiskā ražu starpība tieši sausajā 2018. gadā. Polijā veiktā pētījumā ar augsnes apstrādes variantiem (tradicionālo, reducēto un bezapstrādi) *Albic Luvisol* smilšmāla augsnē ar organisko vielu saturu 1.4% iegūtie rezultāti arī norādīja, ka tradicionālajai un reducētajai augsnes apstrādei nebija būtiskas ietekmes uz vasaras miežu ražu, savukārt bezapstrādes sistēmā iegūtā raža bija par 6.8% zemāka nekā tradicionālā apstrādē (Malecka et al., 2012).

Vasaras miežu ražas indekss pētījuma periodā bija vidēji 0.43, un tas bija zemāks nekā 0.5, kas parāda, ka miežu graudu masas īpatsvars kopējā biomasā bija zemāks nekā salmu masas īpatsvars (skat. 3.20. tab.).

3.20. tabula

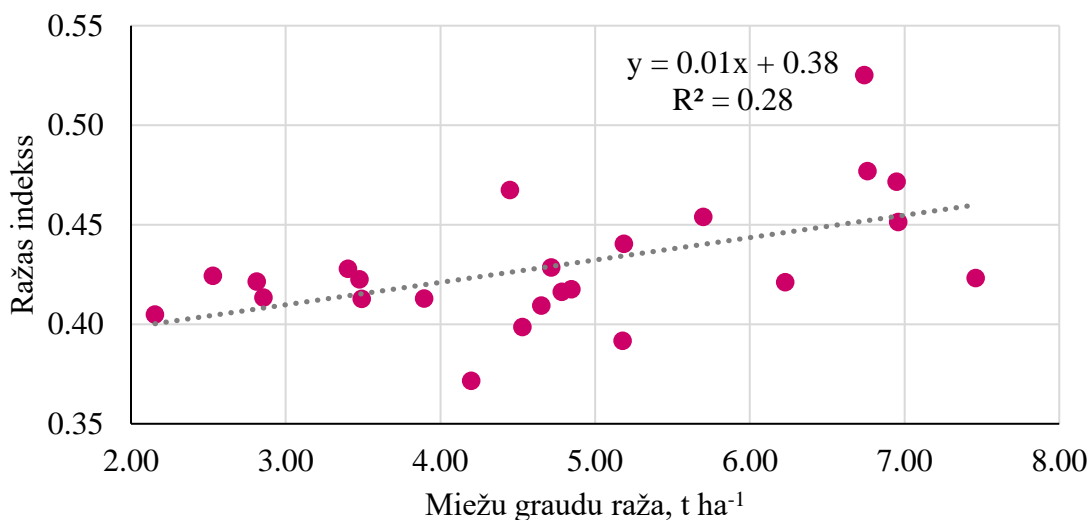
Vasaras miežu ražas indekss 2017.–2019. gadā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas

Augsnes apstrāde	Gads			Vidēji, p=0.250
	2017.	2018.	2019.	
Tradicionālā	0.49	0.42	0.40	0.43 ^A
Reducētā	0.44	0.42	0.42	0.42 ^A
Vidēji, $RS_{0.05}=0.02$	0.46 ^B	0.42 ^A	0.41 ^A	×

^{A, B} – ar atšķirīgiem lielajiem latīņu alfabēta burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības faktora ietvaros

Ražas indekss pētījuma laikā būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma sezonām ($p<0.002$). Augstākais ražas indekss bija 2017. gadā – 0.46, un no tā būtiski zemāks ražas indekss bija 2018. un 2019. gadā (0.42 un 0.41, atbilstoši). Līdzīgi rezultāti attiecībā uz lietoto augsnes apstrādi iegūti arī Dānijā, kur augstāka vasaras miežu biomasā un sēklu raža veidojās, izmantojot tradicionālo augsnes apstrādi, salīdzinot ar konservējošās augsnes apstrādes variantiem, tomēr ražas indekss būtiski neatšķīrās atkarībā no lietotā augsnes apstrādes varianta (Chatskikh, Olesen, 2007).

Promocijas darba pētījumā konstatēts mijiedarbības efekts starp augsnes apstrādes variantu \times pētījuma sezonu ($p=0.005$), un 2017. gadā augstākais ražas indekss iegūts tradicionālās augsnes apstrādes variantā, 2019. gadā – reducētās augsnes apstrādes variantā, bet 2018. gadā ražas indekss abās augsnes apstrādes sistēmās bija vienāds (0.42). Pastāvēja pozitīva savstarpējā sakarība starp vasaras miežu ražas lielumu un ražas indeksu ($r=0.533 > r_{0.05}=0.404$, $n=24$) (skat. 3.11. att.).



3.11. att. Vasaras miežu graudu ražas un ražas indeksa savstarpējās sakarības ($p=0.005$)

Produktīvo stiebru skaits (gab. m^{-2}) pētījuma periodā vasaras miežiem būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma sezonām ($p<0.001$), un novērota arī augsnes apstrādes varianta ietekmes tendence, jo augstākais produktīvo stiebru skaits iegūts RA ($p=0.099$) (skat. 3.21. tab.). Zemākais vidējais produktīvo stiebru skaits bija 2018. un 2019. gadā (atbilstoši 526 un 567 gab. m^{-2}), ko ietekmēja nepietiekamais nokrišņu daudzums 2018. un 2019. gada veģetācijas periodos, turpretim būtiski augstākais produktīvo stiebru skaits vasaras miežiem bija 2017. gadā (764 gab. m^{-2}), kad mitruma nodrošinājums sezonas laikā bija vienmērīgāks, un tika iegūta arī augstākā miežu raža.

Graudu skaits vārpā vasaras miežiem būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma gadiem ($p=0.032$), bet neatšķīrās ($p=0.176$) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmām (skat. 3.21. tab.). Augstākais graudu skaits vārpā bija 2019. gadā (17.1 gab.), zemākais – 2018. gadā (16.0 gab.), bet no abiem līmeņiem būtiski neatšķīrās graudu skaits vārpā 2017. gadā (16.0 gab.).

Tūkstoš graudu masa izmēģinājumā būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma sezonas ($p<0.001$), bet augsnes apstrādes variants to būtiski ($p=0.406$) nebija ietekmējis (skat. 3.21. tab.). Pētījuma periodā augstākā vidējā 1000 graudu masa tika iegūta 2019. gadā (57.5 g), kas bija būtiski augstāka nekā 2017. un 2018. gadā (51.6 un 51.9 g, atbilstoši).

Analizējot miežu 1000 graudu masas rādītājus katrā no pētījuma gadiem, nevienā gadījumā atšķirības nebija būtiskas 95% līmenī, bet 2018. gadā reducētās augsnes apstrādes variantā iegūta augstāka 1000 graudu masa ($p=0.09$), un 2019. gadā augstāka 1000 sēkļu masa bija tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā ($p=0.07$).

**Vasaras miežu ražas struktūrelementi atkarībā no augsnes
apstrādes sistēmas izmēģinājuma gados**

Rādītājs		Gads			Vidēji
		2017.	2018.	2019.	
Produktīvo stiebru skaits, gab. m ⁻²					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	736 ^a	519 ^a	512 ^a	589 ^A
	reducētā	791 ^a	532 ^a	622 ^a	648 ^A
	p-vērtība	0.495	0.737	0.108	0.099
Vidēji, p<0.001		764 ^B	526 ^A	567 ^A	×
Graudu skaits vārpā, gab.					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	16.5 ^a	15.3 ^a	16.8 ^a	16.2 ^A
	reducētā	16.0 ^a	16.6 ^b	17.0 ^a	16.7 ^A
	p-vērtība	0.358	0.019	0.482	0.176
Vidēji, p=0.032		16.2 ^{AB}	16.0 ^A	17.1 ^B	×
1000 graudu masa, g					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	50.9 ^a	50.9 ^a	58.3 ^a	53.4 ^A
	reducētā	52.3 ^a	52.8 ^a	56.6 ^a	53.9 ^A
	p-vērtība	0.354	0.096	0.0746	p=0.406
Vidēji, p<0.001		51.6 ^A	51.9 ^A	57.5 ^B	×

^{A,B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības atkarībā no augsnes apstrādes sistēmām katrā izmēģinājuma gadā

^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp pētīto faktoru vidējām vērtībām katra pētījuma gada ietvaros

Cieša pozitīva sakarība vasaras miežu ražai ar produktīvo stiebru skaitu konstatēta 2017. gadā ($r=0.766 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$), bet 2018. gadā ražas lielumam bija būtiska pozitīva sakarība ar graudu skaitu vārpā ($r=0.757 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$); 2019. gadā neviens no ražas struktūrelementiem neveidoja ciešu sakarību ar vasaras miežu ražu.

Vasaras miežiem noteiktie graudu kvalitātes rādītāji bija tilpummasa un proteīna saturs (skat. 3.22. tab.). Abi vērtētie graudu kvalitātes rādītāji būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma sezonām (abiem $p<0.001$), bet tie nebija būtiski atšķirīgi atkarībā no pētītajiem augsnes apstrādes variantiem (tilpummasai $p=0.830$; proteīna saturam $p=0.383$). Vidējā tilpummasa augsnes apstrādes variantos bija 59.5 kg hL⁻¹ TA, un 59.4 kg hL⁻¹ RA. Augstākā tilpummasa konstatēta 2017. gadā (61.1 kg hL⁻¹), arī šajā gadā konstatēta zemākā 1000 sēklu masa (vid. 51.6 g), un augsts produktīvo stiebru skaits. Tilpummasa 2018. gadā (59.8 kg hL⁻¹) bija līdzvērtīga 2017. g. iegūtajai, un šajā gadā konstatēta cieša pozitīva sakarība starp 1000 sēklu masu un tilpummasu ($r=0.892 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$), lai arī visā izmēģinājuma periodā šādas sakarības būtiskums nepierādījās, un promocijas darba izmēģinājuma laikā iegūti dati, kuri parāda, ka augstākā tilpummasa bijusi pie zemākās 1000 sēklu masas un otrādi. Būtiski zemākā tilpummasa bija 2019. gadā (starpība ar 2018. gadu – 2.4 kg hL⁻¹, ar 2017. gadu – 3.7 kg hL⁻¹), jāatzīmē, ka šajā gadā iegūta augstākā 1000 sēklu masa. Būtiska pozitīva sakarība starp miežu 1000 graudu masu un tilpummasu nav pierādījusies arī citā pētījumos vairāku gadu garumā (Hadjichristodoulou, 1990).

**Vasaras miežu graudu kvalitātes rādītāji atkarībā no
augšnes apstrādes sistēmas izmēģinājuma gados**

Rādītājs		Gads			Vidēji
		2017.	2018.	2019.	
Tilpummasa, kg hL ⁻¹					
Augšnes apstrādes sistēma	tradicionālā	61.4 ^a	59.2 ^a	57.8 ^a	59.5 ^A
	reducētā	60.7 ^a	60.4 ^a	57.0 ^a	59.4 ^A
	p-vērtība	0.093	0.174	0.455	0.830
Vidēji, p<0.001		61.1 ^B	59.8 ^B	57.4 ^A	×
Proteīna saturs, %					
Augšnes apstrādes sistēma	tradicionālā	10.8 ^a	13.3 ^a	13.2 ^a	12.4 ^A
	reducētā	10.5 ^a	12.9 ^a	13.6 ^a	12.3 ^A
	p-vērtība	0.238	0.087	0.209	0.383
Vidēji, p=0.032		10.6 ^A	13.1 ^B	13.4 ^B	×
Cietes saturs, %					
Augšnes apstrādes sistēma	tradicionālā	62.1 ^a	60.4 ^a	60.2 ^b	60.9 ^A
	reducētā	62.0 ^a	60.7 ^a	59.3 ^a	60.7 ^A
	p-vērtība	0.496	0.134	0.0001	0.169
Vidēji, p<0.001		62.1 ^C	60.5 ^B	59.7 ^A	×

^{A, B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp pētījumu gadiem
Mijiedarbība cietes saturam: augšnes apstrādes sistēma × gads, p=0.0001

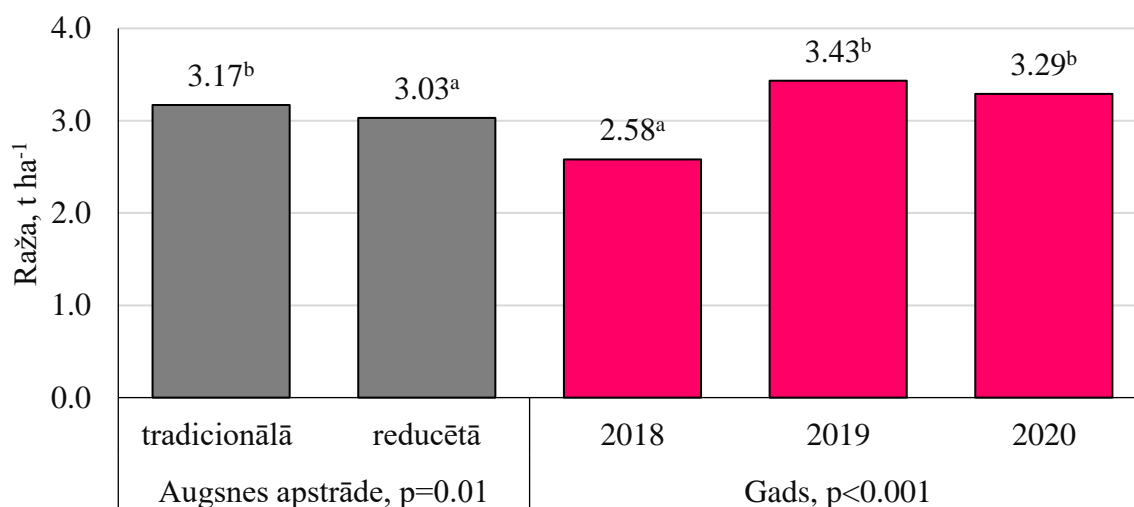
Vidējais proteīna saturs atkarībā no pētītajām augšnes apstrādes sistēmām bija 12.4% TA un 12.3% RA. Pētījuma sezonas, kurās veidojies augstākais proteīna saturs, bija 2018. un 2019. g. (13.1% un 13.4%, atbilstoši), kad iegūtas zemākās ražas izmēģinājuma periodā, bet būtiski zemākais proteīna saturs bija 2017. gadā – 10.6%., šajā gadā iegūta augstākā raža (6.41 t ha⁻¹). Ražas apjomam ar proteīna saturu konstatēta cieša negatīva sakarība visā pētījuma periodā ($r=-0.807|>r_{0.05}=0.404$, n=24) un produktīvo stiebru skaitu ($r=-0.813|>r_{0.05}=0.404$, n=24).

Cietes saturs miežu graudos vidēji bija robežās no 59.3% līdz 62.1%, un tas būtiski atšķīrās pētījuma gados – augstākais cietes saturs sasniegts 2017. gadā (vid. 62.1%), bet zemākais 2019. gadā (59.7%). Cietes saturam pastāvēja negatīva cieša sakarība ar proteīna daudzumu graudos ($r=-0.932|>r_{0.05}=0.404$, n=24), bet pozitīva cieša ar graudu tilpummasu ($r=0.834|>r_{0.05}=0.404$, n=24), kas ir pretrunā ar citos pētījumos iegūtajiem rezultātiem, kur augstāks slāpekļa saturs graudos konstatēts graudos ar augstāku blīvēšanās spēju, nevis ar augstāku cietes saturu (Hoyle et al., 2019).

3.2.3. Lauka pupu produktivitāte 2018.–2020. gadā

Lauka pupas bija iekļautas augu maiņas variantā “kvieši 25%”, un tās izmēģinājumā audzēja trīs gadus: 2018.–2020. g. Lauka pupu raža izmēģinājumā bija būtiski atšķirīga atkarībā no augšnes apstrādes varianta (p=0.01) un pētījuma gada (p<0.001) (skat. 3.12. att.). Augstākās ražas iegūtas 2019. un 2020. gadā (3.43 un 3.29 t ha⁻¹, atbilstoši), bet būtiski zemāka – 2018. gadā, kurš jau iepriekš aprakstīts kā ekstremāli sauss (2.2. att. un 2.6. att.). Lai arī 2019. gadā HTK nebija pietiekošs, tomēr temperatūras un nokrišņu sadalījums ziedēšanas un pākšu pildīšanās laikā bija labvēlīgāks nekā 2018. gadā, kas rezultējās augstākā ražā (augiem bija vidēji uz pusi vairāk pākšu nekā 2018. gadā). Raža 2020. gadā būtiski neatšķīrās no 2019. gada ražas, tāpat kā ražas struktūrelementu vērtības. Analizējot augšnes apstrādes variantus, jāsecina, ka lauka pupas labāk augušas, pielietojot TA (3.17 t ha⁻¹) nekā RA (3.03 t ha⁻¹), lai arī vidējo ražu atšķirība mērāma vien 140 kg ha⁻¹, bet visos pētījuma gados

augstākās ražas iegūtas TA sistēmā. Vidējās lauka pupu ražu starpības atkarībā no augsnes apstrādes varianta visos pētījuma gados nebija augsta: 230 kg ha⁻¹ 2018. gadā, 90 kg ha⁻¹ 2019. gadā, un 100 kg ha⁻¹ 2020. gadā. Lielākā diference starp abiem variantiem bija sausajā 2018. gadā, kad iegūtas zemākās ražas.



3.12. att. Lauka pupu raža (t ha⁻¹) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas 2018. – 2020. gadā

^{a, b} – ar atšķirīgiem alfabēta mazajiem burtiem apzīmētas būtiskas atšķirības atkarībā no pētītajiem faktoriem

Pētnieki Lietuvā ieguvuši rezultātus, kuros augstākā lauka pupu raža iegūta variantos ar dziļu augsnes apstrādi – augsnes lobīšanu līdz 25 cm dziļumam (4.41 t ha⁻¹), tomēr starp salīdzinātajiem augsnes apstrādes variantiem būtiskas ražas atšķirības netika atrastas, un līdzvērtīga raža iegūsta arī variantos ar augsnes apvēršanu 25 cm dziļumā un augsnes bezapstrādes sistēmā (4.22 un 4.24 t ha⁻¹) (Šrauskis et al., 2020).

Pētījumā kultūraugu raža atkarībā no lietotās augsnes apstrādes sistēmas bija būtiski atšķirīga, tikai audzējot lauka pupas, kurām augstāka vidējā raža iegūta tradicionālās augsnes apstrādes variantā, bet pārējiem pētītajiem laukaugiem vidējais ražas līmenis būtiski nebija atšķirīgs atkarībā no lietotās augsnes apstrādes sistēmas. Citā izmēģinājumā, kurš veikts Šveicē ilggadīgā izmēģinājumā, pētot dažādu kultūraugu produktivitāti augu maiņā atšķirīgās augsnes apstrādes sistēmās, iegūti pretrunīgi rezultāti. Izmēģinājums bija iekārtots smilšmāla augsnē, *Eutric Cambisol*. Salīdzinot tradicionālās augsnes apstrādes sistēmu, kurā izmantota augsnes apvēršana 25 cm dziļumā, ar augsnes bezapstrādes tehnoloģiju – tiešo sēju, secināts, ka būtiski augstākas ražas tiešajā sejā bija ziemāju labību sugām (ziemas kviešiem un ziemas miežiem) un arī pākšaugiem (lauka pupām un zirņiem), bet tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā augstākas ražas bija kartupeļiem un sakņaugiem, kuriem nepieciešama iršana un labi aerēta augsne aramkārtā augstu ražu veidošanai (Martínez et al., 2016).

Lauka pupus ražas indekss vidēji bija 0.485 un tas būtiski neatšķīrās starp pētījumu sezonām (p=0.079) un augsnes apstrādes variantiem (p=0.267) (3.23. tab.).

**Lauka pupu ražas indekss tradicionālajā un reducētajā
augšnes apstrādes sistēmā 2018.–2020. gadā**

Augšnes apstrādes sistēma	Gads			Vidēji, p= 0.267
	2018.	2019.	2020.	
Tradicionālā	0.45	0.54	0.51	0.50
Reducētā	0.45	0.50	0.47	0.47
Vidēji, p=0.079	0.45	0.52	0.49	×

Augstākais ražas indekss (0.52) bija 2019. gadā, kas liecina, ka lauka pupu sēklu masa 2019. gadā bija nedaudz augstāka nekā salmu raža. Zemākais ražas indekss bija 2018. gadā, kad lauka pupām bija iegūta zemākā raža. Šāda datu sakritība ļauj izvirzīt pieņēmumu, ka, palielinoties lauka pupu kopējai biomasai, iespējams iegūt augstāku sēklu īpatsvaru kopējā biomasā, un optimālā faktoru nodrošinājumā ražas indekss var būt zemāks, jo, veidojoties lielākai biomasai, samazinās sēklu proporcija tajā, savukārt ierobežotos augšanas apstākļos ražas indekss veidojās augstāks.

Citu pētnieku darbos secināts, ka augsta biomasas sausnas raža ne vienmēr noved pie augstas sēklu ražas. Augstāks ražas indekss veidojas genotipiem ar sīkākām sēklām, ja iespējama agrīnāka ražas nogatavošanās nekā rupjāku sēklu varietātēm. Augstāks ražas indekss veidojas augiem ar mazāku augu biezību (Al-Rifae et al., 2004), līdzīga tendence konstatēta arī šajā izmēģinājumā (p=0.11), jo 2019. gadā, kad iegūts augstākais ražas indekss, bija zemākais augu skaits, un pretēji – 2018. gadā.

Augu skaits m^{-2} lauka pupām pētījuma periodā būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma sezonas (p<0.001), turpretim būtiska augšnes apstrādes varianta ietekme netika atrasta (p=0.700) (skat. 3.24. tab.). Zemākais vidējais augu skaits m^{-2} bija 2019. un 2020. gadā (atbilstoši 32.8 un 35.4 augi m^{-2}), bet augstākais – 2018. gadā 47.8 augi m^{-2} , kad iegūta zemākā raža. Augstākais augu skaits m^{-2} varētu būt skaidrojams ar to, ka 2017. gada rudens un ziema bija bagāti ar nokrišņiem, un pavasarī, pirms lauka pupu sējas, augsnē vēl bija pietiekams mitrums vienmērīgai sadīgšanai, tomēr tālākajās veģetācijas fāzēs mitruma trūka, kā arī bija paaugstinātas temperatūras, kas ietekmēja augu individuālo produktivitāti. Turpretim 2019. gadā bija nepietiekams nokrišņu daudzums dīgšanas laikā, ko ietekmēja arī nokrišņu deficīts 2018. gada vasaras un rudens periodos, un līdzīgi bija ar 2020. gada pavasara sējas laikā, kad augsnē vēl joprojām trūka mitruma vienmērīgai lauka pupu sadīgšanai (skat. 2.6. att.).

Pākšu skaits augam lauka pupām būtiski atšķīrās atkarībā no pētījuma gada (p=0.0003), bet to būtiski neietekmēja augšnes apstrādes sistēma (p=0.273) (skat. 3.24. tab.). Sēklu skaits pākstī bija stabils visos izmēģinājuma gados (2.6 – 2.7 sēklas), un to būtiski neietekmēja ne pētījuma sezona (p=0.203), ne augšnes apstrādes variants (p=0.583).

Lauka pupu 1000 sēklu masa izmēģinājumā būtiski atšķīrās gan atkarībā no pētījuma sezonas (p<0.001), gan augšnes apstrādes varianta (p=0.0004) (skat. 3.24. tab.). Pētījuma periodā augstākā vidējā 1000 sēklu masa iegūta 2019. gadā (546.1 g,) kas bija būtiski augstāka nekā 2018. un 2020. gadā (468.2 un 476.2 g, atbilstoši). Augstāka 1000 sēklu masa 2019. gadā bija tradicionālās augšnes apstrādes variantā, bet abos pārējos pētījuma gados – reducētās augšnes apstrādes variantā, turklāt 2018. gadā būtiski (p<0.001) un ievērojami augstākā 1000 sēklu masa reducētās augšnes apstrādes variantā atstāja arī nozīmīgu ietekmi uz vidējām 1000 sēklu masas vērtībām atkarībā no augšnes apstrādes varianta.

**Lauka pupu ražas struktūrelementi 2018.–2020. gadā
tradicionālajā un reducētajā augsnes apstrādes sistēmā**

Rādītājs		Gads			Vidēji
		2018.	2019.	2020.	
Augu skaits, m ²					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	47.8 ^a	33.8 ^a	35.8 ^a	39.1 ^A
	reducētā	47.8 ^a	31.8 ^a	35.0 ^a	38.2 ^A
	p-vērtība	0.999	0.662	0.883	0.700
Vidēji, p=0.0001		47.8 ^B	32.8 ^A	35.4 ^A	×
Pākšu skaits augam, gab.					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	5.3 ^a	10.5 ^a	10.0 ^a	8.6 ^A
	reducētā	5.0 ^a	9.9 ^a	8.0 ^a	7.6 ^A
	p-vērtība	0.509	0.793	0.166	0.273
Vidēji, p=0.0003		5.1 ^A	10.2 ^B	9.0 ^B	×
Sēklu skaits pākstī, gab.					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	2.7 ^a	2.6 ^a	2.7 ^a	2.7 ^A
	reducētā	2.7 ^a	2.5 ^a	2.7 ^a	2.6 ^A
	p-vērtība	0.972	0.11	0.539	0.583
Vidēji, p=0.203		2.7	2.6	2.7	×
1000 sēklu masa, g*					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	412.3 ^a	554.0 ^a	459.9 ^a	475.4 ^A
	reducētā	524.2 ^b	538.3 ^a	492.5 ^a	518.3 ^B
	p-vērtība	<0.001	0.502	0.138	0.0004
Vidēji, p<0.001		468.2 ^A	546.1 ^B	476.2 ^A	×

*1000 sēklu masu būtiski ietekmēja mijiedarbība augsnes apstrāde × pētījuma gads (p<0.001);

^{A,B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības vidējam radītājam katra faktora (augšrakstā un izmēģinājuma gads) ietvaros;

^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām rādītāja vērtībām katra pētījuma gada ietvaros.

Konstatēta cieša pozitīva sakarība starp pākšu skaitu augam un iegūto pupu sēklu ražu ar ($r=0.830 > r_{0.05}=0.404$, $n=24$), negatīva cieša sakarība konstatēta augu skaitam m⁻² ar pākšu skaitu augam ($r=-0.852 > r_{0.05}=0.404$). Tūkstoš sēklu masa būtiski nekorelēja ne ar vienu no pētītajiem ražas struktūrelementiem, tomēr konstatēta cieša pozitīva sakarība ar lauka pupu kvalitātes rādītāju – tilpummasu ($r=0.829 > r_{0.05}=0.404$, $n=24$). Analizējot rādītājus katrā no pētījuma gadiem atsevišķi, secināts, ka 2018. gadā pastāvēja tikai viena cieša pozitīva sakarība: starp 1000 sēklu masu un tilpummasu ($r=0.983 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$); 2019. gadā ciešas sakarības bija viena auga pākšu skaitam un ražai ($r=0.752 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$), cieša negatīva sakarība augu skaitam 1 m² un pākšu skaitam no auga ($r=-0.720 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$), ražai un proteīna saturam ($r=-0.741 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$); 2020. gadā pastāvēja negatīva cieša korelācija starp augu skaitu m⁻² un sēklu skaitu pākstī ($r=-0.786 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$).

Lauka pupām noteiktie sēklu kvalitātes rādītāji bija proteīna saturs (%) un tilpummasa (g L⁻¹) (skat. 3.25. tab.). Vidējais proteīna saturs izmēģinājuma periodā bija 32.3%, un tas bija stabils neatkarīgi no pētījuma sezonām (p=0.233) un izmantotā augsnes apstrādes varianta (p=0.658). Vidējā tilpummasa būtiski atšķīrās atkarībā no pētītā augsnes apstrādes varianta (p<0.001). Augtākā lauka pupu sēklu tilpummasa bija reducētās augsnes apstrādes variantā (756.4 g L⁻¹), zemākā – tradicionālajā augsnes apstrādes variantā (735.5 g L⁻¹). Vidēji augstāko tilpummasu reducētās augsnes apstrādes variantā nodrošināja lielā tilpummasu starpība 2018. gadā, kad sausuma un karstuma apstākļos, acīmredzot, augi bija labāk apgādāti ar mitrumu un barības vielām reducētās augsnes apstrādes variantā. Reducētās augsnes apstrādes

variantā 2018. gadā iegūta arī būtiski augstāka 1000 sēklu masa, pārējiem ražas struktūrelementiem būtiski neatšķiroties atkarībā no augsnes apstrādes sistēmām. Dažādos pētījuma gados pastāvēja būtiskas tilpummasas atšķirības ($p < 0.001$), un augstākā vidējā tilpummasa veidojās 2019. gadā (773.3 g L^{-1}), kad konstatēta arī būtiski augstākā 1000 sēklu masa (546.1 g).

3.25. tabula

Lauka pupu sēklu proteīna saturs (%) un tilpummasa (kg hL^{-1}) 2018.–2020. gadā tradicionālajā un reducētajā augsnes apstrādes sistēmā

Rādītājs		Gads			Vidēji
		2018.	2019.	2020.	
Proteīna saturs, %					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	32.5 ^a	31.7 ^a	32.3 ^a	32.2
	reducētā	32.8 ^a	31.6 ^a	32.7 ^a	32.4
	p-vērtība	0.769	0.931	0.378	0.658
Vidēji, $p=0.233$		32.6 ^A	31.7 ^A	32.5 ^A	×
Tilpummasa, g L^{-1}					
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	691.8	773.5	741.4	735.5 ^A
	reducētā	763.0	773.0	733.4	756.4 ^B
	p-vērtība	<0.001	0.947	0.385	<0.001
Vidēji, $p < 0.001$		727.4 ^A	773.3 ^B	737.4 ^A	×

^{A, B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības vidējam rādītājam katra faktora (augšraksts un izmēģinājuma gads) ietvaros;

^{a, b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējam rādītāja vērtībām katra pētījuma gada ietvaros

Tilpummasa 2020. gadā bija līdzvērtīga 2018. gadā iegūtajai lauka pupu sēklu tilpummasai (737.4 g L^{-1} un 727.4 g L^{-1} , atbilstoši). Analizējot sakarības starp kvalitātes rādītājiem un pārējiem analizētajiem rādītājiem, būtiska cieša pozitīva korelācija konstatēta tikai 2018. gadā starp 1000 sēklu masu un tilpummasu ($r=0.983 > r_{0.05}=0.707$, $n=8$).

3.3. Augu biomasas enerģijas raža atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes sistēmas

Lai salīdzinātu dažādu augu maiņu produktivitāti jeb ieguvumu no dažādiem kultūraugiem atkarībā no pētītajām audzēšanas sistēmām (augu maiņas un augsnes apstrādes variants) kopumā, aprēķināts enerģijas ieguvums no viena hektāra, izsakot to kā enerģijas ražu (GJ ha^{-1}). Augu maiņas ietvertie kultūraugi viens no otra atšķiras gan pēc iegūta pamatprodukcijas un blakusprodukcijas masas apjoma (t ha^{-1}), gan biomasas daļu ķīmiskā sastāva, kas nosaka to atšķirīgu enerģētisko ietilpību (MJ kg^{-1}) (skat. 3.26. tab.). Augstākā enerģētiskā ietilpība starp pētījumā iekļautajiem kultūraugiem un to biomasas daļām bija ziemas rapša sēklām – vidēji 28.58 MJ kg^{-1} (augstākā 2019. gadā – 29.23 MJ kg^{-1} , bet zemākā 2020. gadā – 27.90 MJ kg^{-1}). Rapša sēklu enerģētiskajai ietilpībai un eļļas saturam sēklās pastāvēja būtiska cieša savstarpējā sakarība ($r=0.792 > r_{0.05}=0.292$, $n=44$). Līdzvērtīga ziemas rapša sēklu enerģētiskā ietilpība noteikta arī citu pētījumu rezultātos (Boehmel, Lewandowski, Claupein, 2008; Budzyński, Jankowski, Jarocki, 2015). Nākamās vidēji enerģētiski ietilpīgākās bija lauka pupu sēklas (18.96 MJ kg^{-1}), bet pētījuma gados pastāvēja nozīmīgas atšķirības pupu sēklu enerģētiskajai ietilpībai: augstākā iegūta 2020. gadā – 20.09 MJ kg^{-1} , zemākā – 2018. gadā 17.84 MJ kg^{-1} ; šajos gados pastāvēja būtiskas atšķirības starp pupu ražas lielumu, bet, piemēram, proteīna saturs, kurš ietekmē lauka pupu sēklu enerģētisko ietilpību, nebija

būtiski atšķirīgs. Labību sugu graudu enerģētiskā ietilpība (ziemas kviešiem vidēji – 17.75 MJ kg⁻¹, vasaras miežiem – 17.46 MJ kg⁻¹) bija zemāka nekā šo pašu sugu salmu enerģētiskā ietilpība (ziemas kviešiem – 18.37 MJ kg⁻¹, vasaras miežiem – 17.83 MJ kg⁻¹). Salīdzinot pēcplaujas atlieku enerģētisko ietilpību, starp tām nepastāvēja lielas atšķirības. Augstākā vidējā enerģētiskā ietilpība bija ziemas kviešu salmiem (vidēji 18.37 MJ kg⁻¹), bet zemākā – lauka pupu pēcplaujas atliekām (stiebriem, lapām un pākstīm) (vidēji 17.82 MJ kg⁻¹).

3.26. tabula

Kultūraugu pamatprodukcijas un blakusprodukcijas enerģētiskās vērtības (MJ kg⁻¹) 2017.–2020. gadā

Kultūraugs	Gads	Augu maiņa	Biomases daļa					
			graudi / sēklas			pēcplaujas atliekas		
			TA	RA	vidēji	TA	RA	vidēji
Kvieši	2017.	100% kvieši	17.31	17.81	17.56	18.36	18.24	18.30
		67% kvieši*	17.99	17.73	17.86	18.11	18.38	18.25
		25% kvieši	18.33	18.16	18.25	17.93	17.72	17.83
	2018.	100% kvieši	18.25	17.48	17.87	18.50	18.31	18.41
		67% kvieši**	16.54	16.39	16.47	18.66	18.54	18.60
		67% kvieši*	16.84	17.04	16.94	18.61	18.47	18.54
	2019.	100% kvieši	18.09	17.66	17.88	18.69	18.82	18.76
		67% kvieši**	18.27	18.07	18.17	18.41	18.62	18.52
		25% kvieši	17.56	17.78	17.67	18.61	18.68	18.65
	2020.	100% kvieši	18.24	18.19	18.22	18.32	18.20	18.26
		67% kvieši*	18.12	17.88	18.00	17.98	18.33	18.16
		25% kvieši	18.08	18.16	18.12	17.92	18.39	18.16
Mieži	2017.	25% kvieši	17.44	17.63	17.53	18.21	17.58	17.90
	2018.		16.94	17.16	17.05	17.51	17.31	17.41
	2019.		17.93	17.64	17.79	18.31	18.06	18.19
Rapsis	2017.	67% kvieši	28.28	28.17	28.23	18.20	17.74	17.97
		25% kvieši	28.61	28.63	28.62	18.09	17.75	17.92
	2018.	25% kvieši	29.65	28.82	29.24	18.00	18.45	18.23
	2019.	67% kvieši	–	28.77	28.77	–	18.44	18.44
	2020.	67% kvieši	27.98	27.87	27.93	17.82	17.72	17.77
		25% kvieši	27.77	27.96	27.87	17.73	18.09	17.91
Pupas	2018.	25% kvieši	17.90	17.78	17.84	17.24	17.56	17.40
	2019.		18.79	19.11	18.95	18.10	18.04	18.07
	2020.		21.44	18.74	20.09	17.95	18.00	17.98

TA – tradicionālā augsnes apstrāde, RA – reducētā augsnes apstrāde; *ziemas kviešu priekšaugi – rapsis; **ziemas kviešu priekšaugi – kvieši

Augsnes apstrādes varianta ietekme uz kultūraugu sēklu un pēcplaujas atlieku enerģētisko ietilpību netika atrasta ($p > 0.05$).

Pētījuma periodā konstatēta būtiska priekšauga ietekme ($p < 0.001$) uz ziemas kviešu graudu un salmu vidējo enerģētisko ietilpību (skat. 3.27. tab. un 3.28. tab.). Augstākā enerģētiskā ietilpība bija ziemas kviešu graudiem, kuri iegūti, ja priekšaugi bija lauka pupas (18.01 MJ kg⁻¹), savukārt ziemas kviešu salmiem, kas iegūti, audzējot kviešus pēc lauka pupām, bija zemākā enerģētiskā ietilpība (18.21 MJ kg⁻¹) starp pētītajiem variantiem. Augsnes apstrādes variants nebija ietekmējis ziemas kviešu graudu enerģētisko ietilpību ($p = 0.833$).

Ziemas kviešu graudu enerģētiskā ietilpība (MJ kg^{-1}) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas varianta izmēģinājuma periodā

Augsnes apstrādes sistēma	Augu maiņa un priekšaugi				Vidēji, $p=0.833$
	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši	
	kvieši	r-kvieši	rapsis	pupas	
Tradicionālā	17.72	17.41	17.65	17.99	17.72 ^a
Reducētā	17.79	17.23	17.55	18.03	17.70 ^a
Vidēji, $p<0.001$	17.75 ^{bc}	17.32 ^a	17.60 ^{ab}	18.01 ^c	×

^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas variantos un augsnes apstrādes sistēmās; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša.

Konstatētas būtiskas atšķirības ziemas kviešu salmu enerģētiskajā ietilpībā (3.28. tab.) atkarībā no priekšaugiem augu maiņās, tomēr fiziskās vienībās starpība bija tikai 0.22 MJ kg^{-1} . Augsnes apstrādes variants nebija ietekmējis kviešu salmu enerģētisko vērtību ($p=0.349$).

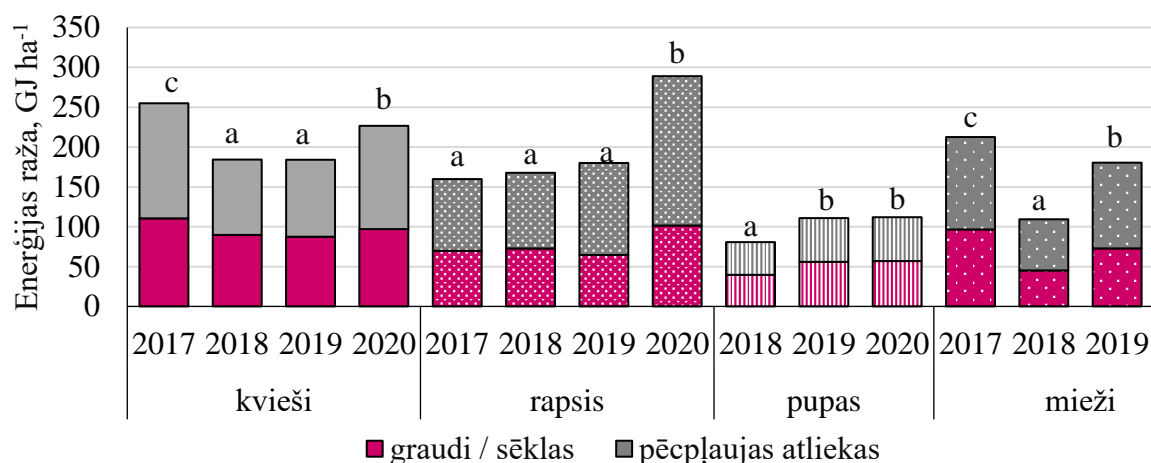
Ziemas kviešu salmu enerģētiskā ietilpība (MJ kg^{-1}) atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas izmēģinājuma periodā

Augsnes apstrādes sistēma	Augu maiņa un priekšaugi				Vidēji, $p=0.349$
	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši	
	kvieši	r-kvieši	rapsis	pupas	
Tradicionālā	18.47	18.54	18.23	18.15	18.39 ^a
Reducētā	18.39	18.58	18.39	18.26	18.34 ^a
Vidēji, $p<0.001$	18.43 ^{bc}	18.56 ^c	18.31 ^{ab}	18.21 ^a	×

^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām augu maiņas variantos un augsnes apstrādes sistēmās; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša.

Pētījumā iekļautie kultūraugi nodrošināja atšķirīgas vidējās enerģijas ražas katrā no pētījuma sezonām (skat. 3.13. att.). Vērtējot vidējās enerģijas ražas atkarībā no kultūrauga ($p<0.001$), konstatēts, ka augstākā enerģētiskā produktivitāte bija ziemas kviešiem (vidējā pētījuma periodā iegūtā enerģijas raža – $212.43 \text{ GJ ha}^{-1}$) un ziemas rapsim (vidējā iegūtā enerģijas raža – $209.99 \text{ GJ ha}^{-1}$). Būtiski zemāku vidējo enerģijas ražu nodrošināja vasaras mieži (vidēji – $167.42 \text{ GJ ha}^{-1}$), bet viszemākā (būtiski atšķiroties no miežu enerģijas ražas līmeņa, $p<0.001$) enerģijas raža bija lauka pupām – $101.13 \text{ GJ ha}^{-1}$.

Ziemas kviešiem augstākā vidējā enerģijas raža iegūta 2017. un 2020. gadā (254.90 un $226.59 \text{ GJ ha}^{-1}$, atbilstoši), ziemas rapsim – 2020. gadā ($288.89 \text{ GJ ha}^{-1}$), lauka pupām 2019. un 2020. gadā (110.82 un $111.91 \text{ GJ ha}^{-1}$), vasaras miežiem 2017. un 2019. gadā (212.53 un $180.38 \text{ GJ ha}^{-1}$, atbilstoši).



3.13. att. Augu maiņas iekļauto kultūraugu vidējā enerģijas raža ($GJ ha^{-1}$) no graudiem / sēklām un pēcplaujas atliekām pētījuma gados, kuros kultūraugi audzēti (ar atšķirīgiem burtiem norādītas būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības katram kultūraugam starp pētījuma gadiem)

Iegūtā enerģijas raža ($GJ ha^{-1}$) atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes varianta bija mainīga pa gadiem (3.29. tab.). Būtiskas enerģijas ražas atšķirības pētījuma periodā atkarībā no augsnes apstrādes variantiem netika konstatētas ($p = 0.553$), vidējā iegūtā enerģijas raža četru gadu periodā tradicionālas augsnes apstrādes variantā bija $188.9 GJ ha^{-1}$ gadā un reducētā augsnes apstrādē – $193.9 GJ ha^{-1}$. Nozīmīgas enerģijas ražas atšķirības, lietojot tradicionālo un reducēto augsnes apstrādi, nav konstatētas arī citos veiktajos pētījumos (Nagy et al., 2000; Strašil, Vach, Smutný, 2015).

3.29. tabula

Iegūtā enerģijas raža ($GJ ha^{-1}$) 2017.–2020. gadā atkarībā no augu maiņas un augsnes apstrādes varianta

Gads	Augsnes apstrāde		Augu maiņa			Vidēji, $p < 0.001$
	tradicionālā	reducētā	100% kvieši	67% kvieši	25% kvieši	
2017.	201.8 ^a	230.4 ^a	226.3 ^a	213.1 ^a	214.8 ^a	216.1 ^B
2018.	152.9 ^a	150.6 ^a	156.7 ^b	198.0 ^c	119.2 ^a	151.7 ^A
2019.	167.6 ^a	171.4 ^a	153.8 ^a	181.7 ^a	169.0 ^a	169.7 ^A
2020.	233.4 ^a	223.1 ^a	217.5 ^a	257.6 ^a	212.3 ^a	228.2 ^B
Vidēji	188.9 ^A	193.9 ^A	188.6 ^{AB}	214.7 ^B	178.8 ^A	×
p-vērtība	0.553		0.0004			

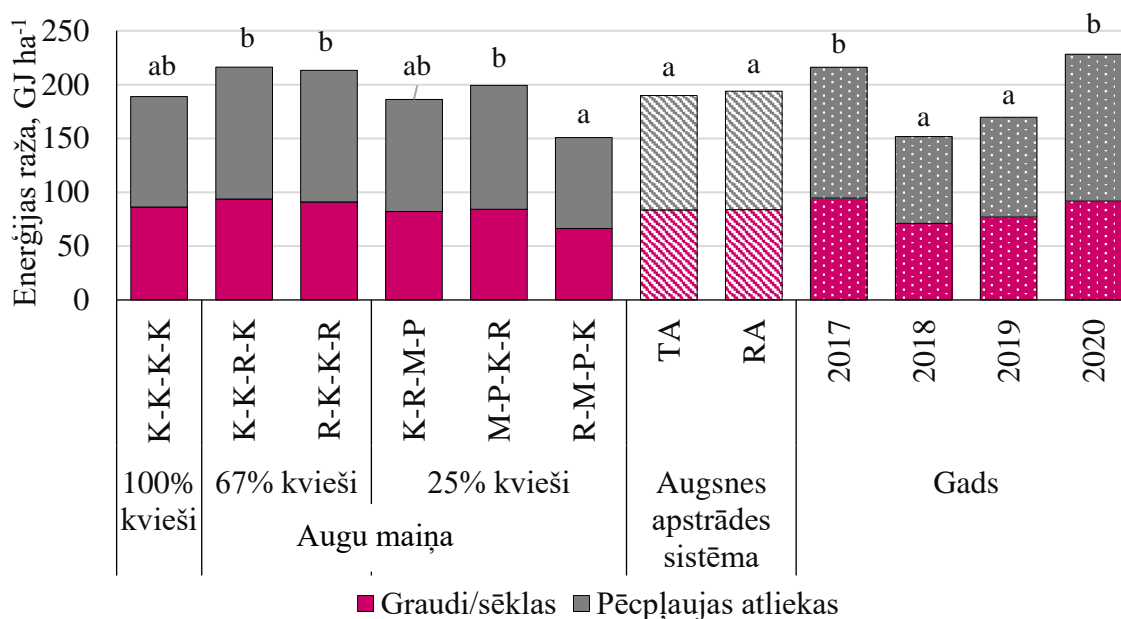
^{A,B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām katram faktoram; ^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām katra pētījuma gada ietvaros

Salīdzinot augu maiņas variantus pēc nodrošinātās enerģijas ražas, augstākais enerģijas iznākums biomasas ražā bija akumulējies augu maiņā “67% kvieši” – vidēji $214.7 GJ ha^{-1}$ gadā, bet zemākais augu maiņā “25% kvieši” ($178.8 GJ ha^{-1}$). Kviešu atkārtotos sējumos (augu maiņa “100% kvieši”) iegūtā enerģijas raža ($188.6 GJ ha^{-1}$) būtiski neatšķirās no abos pārējos variantos iegūtās enerģijas ražas.

Nemot vērā krasās ražas atšķirības vasarāju kultūraugiem pa pētījuma sezonām, katrs variants tika analizēts arī atsevišķi atbilstoši konkrētajā laukā pastāvošajai kultūraugu maiņai pētījuma periodā, jo vidējie iegūtie rezultāti augu maiņai “25% kvieši” divās īpaši sausajās

sezonās (2018. un 2019. gads) pasliktināja augu maiņas potenciālu (skat. 3.14. att.) iegūt augstu enerģētisko ražu no augu maiņas ar četriem dažādiem kultūraugiem.

Veicot novērtējumu vidējai iegūtajai enerģijas ražai gadā atbilstoši katrā izmēģinājuma varianta laukā iegūtajiem rezultātiem, secināts, ka viszemākais enerģijas iznākums bija augu maiņā “25% kvieši” (secība: ziemas rapsis–mieži–lauka pupas–ziemas kvieši), kur secīgi 2018. un 2019. gadā audzēti vasarāji – mieži un pupas, kas rezultējās zemā biomasas ražā un, attiecīgi pārrēķinot enerģijas iznākumu, tas bija 150.96 GJ ha⁻¹, no kuriem 66.36 GJ ha⁻¹ bija no pamatprodukcijas iegūtā enerģija, bet 84.60 GJ ha⁻¹ no pēcplaujas atliekām iegūtā. Ja augu maiņā “25% kvieši” rezultātus tikko aprakstītajai augu secībai salīdzināja ar secību ziemas kvieši–ziemas rapsis–mieži–lauka pupas (vidēji gadā 186.30 GJ ha⁻¹) un kviešu bezmaiņas sējumiem (“100% kvieši”; 188.97 GJ ha⁻¹), tad būtiskas atšķirības nekonstatēja.



3.14. att. Vidējā gadā iegūtā enerģijas raža (GJ ha⁻¹) atkarībā no augu maiņās iekļauto kultūraugu kombinācijām 2017. līdz 2020. gadā un augsnes apstrādes varianta

(K – kvieši, R – rapsis, M – mieži, P – pupas; TA – tradicionālā augsnes apstrāde; RA – reducētā augsnes apstrāde; ar atšķirīgiem burtiem norādītas būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības pētīto faktoru ietvaros)

Augstāko enerģijas iegūvi nodrošināja augu maiņas “67% kvieši” iekārtotie lauki četrus gadu periodā, jo tajos iekļautie kultūraugi šajā izmēģinājumā bija ar augstāko vidējo enerģijas ražu (skat. 3.13. att.). Kultūraugu secība četrus gadu periodā šajos variantos bija ziemas kvieši–ziemas kvieši–ziemas rapsis–ziemas kvieši (216.27 GJ ha⁻¹) un ziemas rapsis–ziemas kvieši–ziemas kvieši–ziemas rapsis (213.23 GJ ha⁻¹). Pētnieki Kanādā, vērtējot no augu maiņas iegūto enerģijas ražu, arī secinājuši, ka no labību augu maiņas, kurā iekļauts ziemas rapsis, iegūtā enerģijas raža bija lielāka, nekā tā, ko ieguva no četrus dažādu kultūraugu maiņas, kurā iekļauts arī pākšaugi – zirņi (rapsis–mieži–zirņi–kvieši). Pākšaugi augu maiņās atstāj pozitīvu efektu uz pēcgaugu un no tā iegūstamo ražu, bet paši ir enerģijas ražas ziņā mazāk produktīvi (Nagy et al., 2000).

Ziemas kvieši bija iekļauti visās augu maiņās, to enerģijas raža nebija būtiski atšķirīga starp pētītajiem augsnes apstrādes variantiem ($p = 0.076$), bet tā atšķīrās atkarībā no augu maiņā esošā priekšauga ($p < 0.001$) (skat. 3.30. tab.). Ziemas kviešu enerģijas raža visos pētījuma gados kviešu bezmaiņas sējumos bija viszemākā, salīdzinot ar enerģijas ražu augu maiņās, kur iekļauti arī citi kultūraugi.

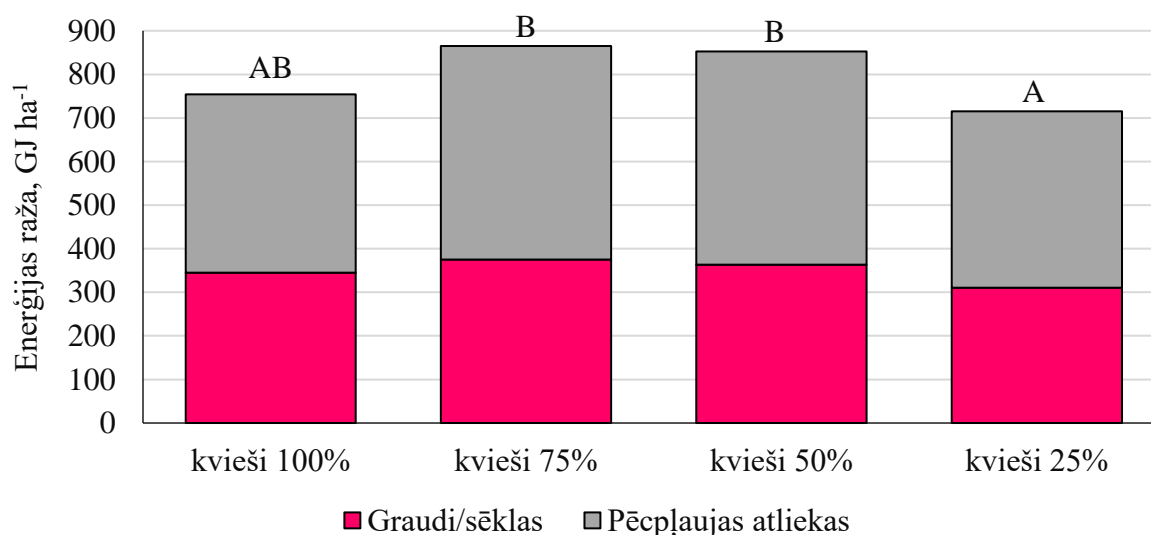
Ziemas kviešu enerģijas raža (GJ ha⁻¹) no virszemes biomasas atkarībā no augsnes apstrādes varianta un priekšauga augu maiņā 2017.–2020. gadā

Gads	Augsnes apstrāde		Augu maiņa un priekšaugi				Vidēji, p<0.001
	TA	RA	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši	
			kvieši	r-kvieši	rapsis	pupas	
2017.	241.3 ^a	268.5 ^b	226.3 ^a	-	253.2 ^a	285.3 ^b	254.9 ^C
2018.	187.1 ^a	181.4 ^a	156.7 ^a	188.7 ^b	207.4 ^b	-	184.2 ^A
2019.	181.0 ^a	187.0 ^a	153.8 ^a	182.6 ^b	-	215.7 ^c	184.0 ^A
2020.	230.1 ^a	223.1 ^a	217.5 ^a	-	225.1 ^{ab}	237.2 ^b	226.6 ^B
Vidēji	209.9 ^A	215.0 ^A	188.6 ^A	185.6 ^A	228.6 ^B	246.1 ^B	×
p-vērtība	0.076		<0.001				

TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā; RA – reducētās augsnes apstrādes sistēma; ^{A,B} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām faktoru ietvaros; ^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām katra pētījuma gada ietvaros, atsevišķi augsnes apstrādes sistēmām un priekšaugiem augu maiņā; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša.

Arī citos pētījumos konstatēts, ka ziemas kviešu enerģijas raža ir augstāka, audzējot tos augu maiņā, salīdzinot ar kviešu bezmaiņas sējumiem (Hülsbergen, Feil, Diepenbrock, 2002), tomēr kviešu enerģijas raža, audzējot tos pēc pākšauga (zirņiem) vai pēc rapša, nebija būtiski atšķirīga (Nagy et al., 2000).

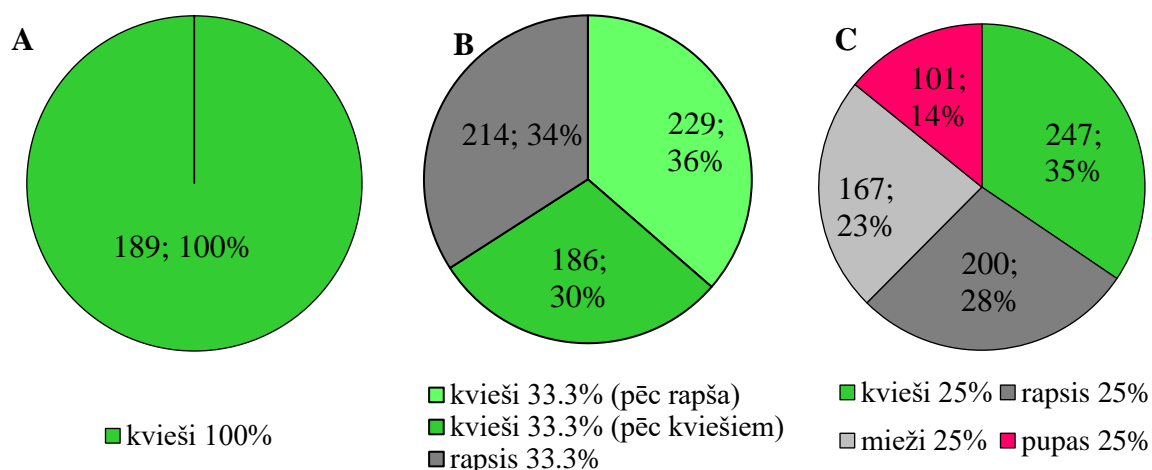
Augu maiņa “67% kvieši”, kuras garums bija trīs gadi, vērtējot to četru gadu periodā, veidoja divas atsevišķas proporcijas: ar ziemas kviešiem 75% (kvieši-kvieši-rapsis-kvieši) un ar ziemas kviešiem 50% (rapsis-kvieši-kvieši-rapsis) (3.15. att.).



3.15. att. Iegūtā enerģijas raža (GJ ha⁻¹) no izmēģinājumā iekļautajām kultūraugu kombinācijām augu maiņā atkarībā no ziemas kviešu īpatsvara četru gadu pētījumu periodā (kvieši 100% – kviešu bezmaiņas sējumi, 75% – “67% kvieši” rotācijas variants – ziemas kvieši – z. kvieši – rapsis – z. kvieši, 50% – “67% kvieši” rotācijas variants – z. rapsis – z. kvieši – z. kvieši – z. rapsis, 25% – četru laukaugu rotācija “25% kvieši”, kur kvieši audzēti reizi četros gados; ar atšķirīgiem burtiem norādītas būtiskas (p<0.05) atšķirības starp variantiem)

Kopējais enerģijas iznākums no augu maiņām četru gadu periodā nemainīgi norādīja uz to, ka augu maiņas, kuras sastāvēja no ziemājiem, kviešiem un rapša, bija enerģētiski produktīvākās, tomēr arī četru dažādu kultūraugu maiņā “25% kvieši”, kur divus gadus bija iekļauti vasarāji, kopējais četru gadu periodā iegūtais vidējais enerģijas daudzums ($715.24 \text{ GJ ha}^{-1}$) nebija būtiski zemāks ($p < 0.05$) nekā augu maiņā “100% kvieši” četros gados ($754.19 \text{ GJ ha}^{-1}$).

Augu maiņās iekļauto kultūraugu enerģijas ražas apjoms un tās īpatsvars kopējā iegūtajā enerģijā ne visās augu maiņās bija proporcionāls kultūrauga proporcijai augu maiņā (skat. 3.16. att.). Augu maiņā “67% kvieši”, kuras garums bija trīs gadi, vidējā enerģijas raža, kura iegūta no divu gadu ziemas kviešu enerģijas ražām, veidoja 66% no kopējās iegūtās enerģijas (gadā vidēji 207 GJ ha^{-1}), bet enerģijas raža no ziemas rapša – 34% (vidēji gadā 214 GJ ha^{-1}), kurš augu maiņā aizņem 33%. Analizējot četru dažādu kultūraugu maiņu “25% kvieši”, secināts, ka lielāko enerģijas īpatsvaru šajā augu maiņā veidoja ziemas kviešu enerģijas raža (35%), neskatoties uz to, ka kviešu proporcijas augu maiņas garumā ir tikai 25%. Tomēr jāuzsver, ka ziemas kviešu un lauka pupu biomasā akumulēta enerģija kopā veidoja 49% no kopējās augu maiņā iegūtās enerģijas, kas veido gandrīz pusi no iegūtās enerģijas ražas atbilstoši arī abu kultūraugu kopējam īpatsvaram augu maiņā četru gadu garumā. No ziemas kviešiem iegūta augstāka enerģijas raža, pateicoties priekšauga (lauka pupu) ietekmei (skat. 3.30. tab.).



3.16. att. Iegūtā vidējā enerģijas raža (GJ ha^{-1}) gadā no augu maiņā iekļautā kultūrauga un enerģijas ražas proporcija (%) atbilstoši iekļautajiem kultūraugiem augu maiņā un to īpatsvaram augu maiņas pilnā garumā (A – ziemas kviešu bezmaiņas sējumi vidēji gadā (100% - kvieši); B – augu maiņa “67% kviešu”, C – četru laukaugu rotācija, kur četru gadu periodā katrs kultūraugs audzēts vienu reizi (25%))

Ziemas kviešu ražas apjomu visos pētījuma gados bija pozitīvi ietekmējušas lauka pupas kā priekšaugi un enerģijas ražas īpatsvars no ziemas kviešiem augu maiņā “25% kvieši” bija 35%, un vidēji gadā tas bija 247 GJ ha^{-1} , kas bija lielākais enerģijas iznākums no ziemas kviešiem starp pētītajiem augu maiņas variantiem. Otrs lielākais īpatsvars augu maiņā “25% kvieši” akumulētajai enerģijai bija ziemas rapšim (28%, vidēji 200 GJ ha^{-1}). Vasaras mieži vidēji četru gadu pētījuma periodā bija akumulējuši gandrīz tikpat daudz enerģijas ražas, cik liela ir to proporcija augu maiņā – 23% (167 GJ ha^{-1}). Lauka pupu vidējā enerģijas raža augu maiņā “25% kvieši” bija tikai 14% (101 GJ ha^{-1}), tomēr nedrīkst aizmirst par lauka pupu pozitīvo ietekmi uz pēcauga – ziemas kviešu produktivitāti. Summējot ziemas kviešu un lauka pupu enerģijas ražu proporciju, tā sastāda 49%, kas ir tikai par 1% mazāk nekā abu kultūraugu kopējais īpatsvars augu maiņā.

3.4. Organiskā oglekļa uzkrāšanās augsnē atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas

C_{org} saturs augsnes aramkārtā (0–20 cm) pētījuma laikā palielinājās, salīdzinot ar oglekļa saturu laikā drīz pēc izmēģinājuma iekārtošanas (izmēģinājumu iekārtoja 2008. g., C_{org} saturu noteica 2010. g.) (3.31. tabula). Salīdzinot augsnes apstrādes sistēmas, augstāks C_{org} satura pieaugums aramkārtā (0–20 cm dziļumā) pēc septiņiem gadiem (2017. g.) bija vērojams tradicionālās augsnes apstrādes variantā (TA + 0.800%, RA +0.627%), bet pēc 12 gadiem (2022. g.) augstāks C_{org} saturs bija paraugos, kuri ievākti reducētās augsnes apstrādes variantā (TA +0.557%, RA +0.795%), salīdzinot ar 2010. gadu. Konstatēts augsnes paraugu analizēšanas gada \times augsnes apstrādes varianta mijiedarbības efekts ($p=0.006$) uz konstatēto oglekļa saturu augsnē. C_{org} saturs 2022. gadā ievāktajos paraugos bija augstāks nekā 2010. g., bet, salīdzinot ar 2017. gadā analizētajiem paraugiem, tas TA variantā bija samazinājies, bet RA variantā turpināja pieaugt. C_{org} satura pieaugums periodā no 2010. gada līdz 2017. gadam bija augstāks, salīdzinot ar C_{org} satura izmaiņām visā 12 gadu periodā līdz 2022. gadam (3.31. tab.).

3.31. tabula

Organiskā oglekļa saturs (%) augsnē 0–20 cm dziļumā atkarībā no augsnes apstrādes un augu maiņas varianta 2017. un 2022. gadā un salīdzinājumā ar 2010. gadu

Pētītie faktori	2010.*	2017.	Izmaiņas, salīdzinot ar 2010. g.	2022.	Izmaiņas, salīdzinot ar 2010. g.
Augsnes apstrādes sistēma, $p=0.969$					
tradicionālā	1.299	2.099	+0.800	1.856	+0.557
reducētā	1.276	1.903	+0.627	2.071	+0.795
Augu maiņa, $p=0.590$					
100% kvieši	1.189	2.045	+0.856	1.871	+0.682
67% kvieši	1.334	1.980	+0.646	1.950	+0.616
25% kvieši	1.291	2.001	+0.710	2.023	+0.643
Vidēji, $p<0.001$	1.288 ^a	2.001 ^b	\times	1.963 ^b	\times

Mijiedarbības efekts gads \times augšrakstā apstrādes veids, $p=0.006$

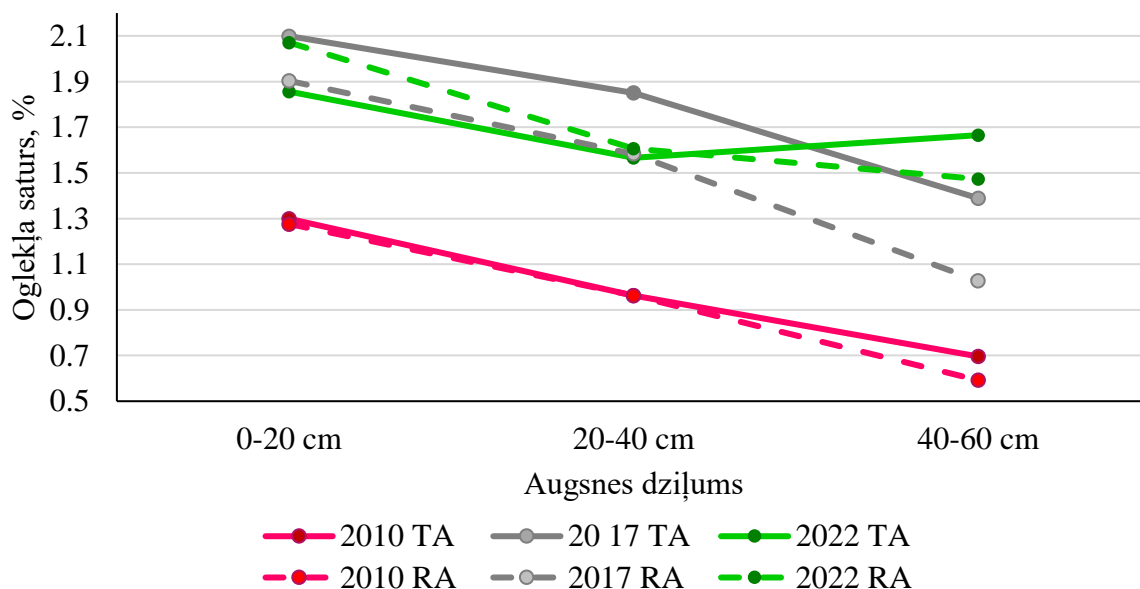
^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām katra pētījuma gada ietvaros; * dati no projekta VPP-5.3.1. (Nr.VP26) “Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei” (PĀRTIKA) 3.1. apakšprojekts “Augsnes kā galvenā resursa ilgtspējīga izmantošana drošu un kvalitatīvu pārtikas un lopbarības izejvielu ieguvei no plašāk audzētajām laukaugu sugām” pārskata

Augsnes C_{org} samazinājumu virskārtā var izraisīt augsnes erozija (gan vēja, gan nokrišņu izraisīta (Lal, 2019; Hancock, Wells, 2021), kas ir risks sevišķi augsnēs ar smalkām daļiņām, kuru tuvumā koncentrēts C_{org} (Lal, 2019), kā tas ir arī šajā promocijas darbā veiktā izmēģinājuma laukā, tāpēc samazinātās augsnes apstrādes sistēmu (saukta arī par konservējošo augsnes apstrādi) pozitīvais efekts uz C_{org} paaugstināšanos daļēji varētu būt skaidrojams ar augsnes erozijas samazināšanu (Li et al., 2016).

Neatrada nozīmīgu augu maiņas ietekmi uz C_{org} saturu ne 2017. gadā, ne 2022. gadā. C_{org} satura starpības atkarībā no augu maiņu varianta bija minimālas gan 2017. gadā (0.065%), gan 2022. gadā (0.152%). Šajā izmēģinājumā lielākās skaitliskās izmaiņas C_{org} saturā pētījuma periodā bija augu maiņā “100% kvieši”, bet zemākās – augu maiņā “67% kvieši”. Augstākais vidējais C_{org} saturs augsnē bija 2017. gadā – 2.001% (par 0.713 vairāk nekā 2010. gadā, par 0.04% vairāk nekā 2022. gadā).

Izmēģinājumos Polijā konstatēts, ka augu maiņās, kur 29 gadus nemainīgi audzētas labības, salīdzinot ar augu maiņu, kur iekļauti arī pākšaugi, C_{org} saturs aramkārtā bija būtiski zemāks. Augsnes C_{org} palielinājums saistāms ar iegūtajām būtiski augstākajām graudu un salmu ražām augu maiņā, kurā bez labību sugām iekļauti arī pākšaugi (Wozniak, 2019).

Palielinoties augšnes dziļumam, konstatēts zemāks C_{org} saturs augsnē (skat. 3.18. att.). C_{org} saturs 0–20 cm dziļumā salīdzinot ar 20–40 cm dziļumu vidēji visos trīs gados, kad ievākti paraugi, bija par 19.5% augstāks. Lielākā starpība starp C_{org} saturu 0–20 cm dziļumā un 20–40 cm dziļumā 2017. un 2022. gadā bija reducētās augšnes apstrādes variantā (19.6%), bet tradicionālās augšnes apstrādes variantā tā bija 13.7%. Starp augšnes dziļumiem 20–40 cm un 40–60 cm vērojama mainīga C_{org} satura dinamika. Piemēram, 2010. gadā C_{org} satura starpība šajos dziļumos bija vidēji 33.1%, 2017. gadā – 30.0%, bet 2022. gadā atšķirības pētītajos augšnes dziļumos, kas bija dziļāki par 20 cm, bija niecīgas. Organiskā oglekļa satura starpība aramkārtā un dziļākajā augšnes slānī nevienā no variantiem nepārsniedza 1%. Organiskā oglekļa saturs 2010. gadā 0–20 cm un 20–40 cm dziļumā bija skaitliski līdzvērtīgs abos augšnes apstrādes variantos, nelielas atšķirības novērotas 40–60 cm dziļumā (TA – 0.706%, RA – 0.609%) (skat. 3.17. att.).



3.17. att. Augšnes organiskā oglekļa saturs (%) 2010.²⁰, 2017. un 2022. gadā tradicionālā (TA) un reducētā (RA) augšnes apstrādes sistēmā dažādos augšnes dziļumos

Augsnes C_{org} izmaiņu tendences atkarībā no augšnes dziļuma, iespējams, varētu skaidrot tādējādi, ka C_{org} satura palielinājums dziļākajā slānī (40–60 cm) 2022. gadā vērojams tādēļ, ka tas samazinājies vidējā dziļumā (20–40 cm), kad augšnes daļiņas ar piesaistīto C_{org} varētu būt novietojušās zemākos augšnes slāņos, bet 2018. un 2019. gadā mikrobioloģiskajiem procesiem atstātā augu pēcpļaujas atlieku biomasa bija niecīga, līdz ar to atstājot laukā mazāk nepieciešamo izejvielu C_{org} palielinājumam augšnes slānī 0–20 cm.

Augsnes C_{org} saturs 20–40 cm dziļumā pētījuma laikā no 2010. līdz 2022. gadam palielinājās par 64.7%, sasniedzot vidēji 1.586%, salīdzinot ar C_{org} saturu augsnē, uzsākot izmēģinājumu (3.32. tabula). Salīdzinot augšnes C_{org} saturu atkarībā no augšnes apstrādes sistēmas, augstāks C_{org} pieaugums pēc septiņiem gadiem (2017. gadā) bija vērojams tradicionālās augšnes apstrādes variantā – par 0.887%, bet reducētās augšnes apstrādes variantā

²⁰ Dati no projekta VPP-5.3.1. (Nr.VP26) “Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei” (PĀRTIKA) 3.1. apakšprojekts “Augsnes kā galvenā resursa ilgtspējīga izmantošana drošu un kvalitatīvu pārtikas un lopbarības izejvielu ieguvei no plašāk audzētajām laukaugu sugām” pārskata

par 0.620% (vidējais saturs TA – 1.851%, RA – 1.583%), bet 2022. gadā C_{org} saturs star RA un TA bija vien 0.04% (TA – 1.566%, RA–1.606%). Augsnes apstrādes variantam nebija būtiskas ietekmes uz vidējo C_{org} saturu augsnē ($p=0.175$). Organiskā oglekļa satura pieaugums augsnes slānī 20–40 cm dziļumā periodā no 2010. gada līdz 2017. gadam bija straujāks, salīdzinot ar C_{org} daudzuma izmaiņām šajā slānī no 2017. gada līdz 2022. gadam.

3.32. tabula

Organiskā oglekļa saturs (%) augsnē 20–40 cm dziļumā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas 2017. un 2022. gadā un salīdzinājumā ar 2010. gadu

Rādītājs	2010.*	2017.	Izmaiņas, salīdzinot ar 2010. gadu	2022.	Izmaiņas, salīdzinot ar 2010. gadu
Augsnes apstrāde, $p=0.175$					
tradicionālā	0.963	1.850	+0.887	1.566	+0.603
reducētā	0.963	1.583	+0.620	1.606	+0.643
Augu maiņa, $p=0.313$					
100% kvieši	0.986	1.842	+0.856	1.552	+0.566
67% kvieši	1.015	1.791	+0.776	1.559	+0.544
25% kvieši	0.899	1.581	+0.682	1.631	+0.730
Vidēji, $p<0.001$	0.963 ^a	1.717 ^b	+0.754	1.586 ^b	×

^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām katra pētījuma gada ietvaros; * dati no projekta VPP-5.3.1. (Nr.VP26) “Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei” (PĀRTIKA) 3.1. apakšprojekts “Augsnes kā galvenā resursa ilgtspējīga izmantošana drošu un kvalitatīvu pārtikas un lopbarības izejvielu ieguvei no plašāk audzētajām laukaugu sugām” pārskata

Vērtējot augsnē uzkrātā oglekļa saturu atkarībā no augu maiņas, netika atrasta būtiska faktora ietekme uz oglekļa satura skaitliskajām vērtībām ($p=0.313$), tomēr 2017. gadā augstākais oglekļa saturs bija augu maiņā ar “100% kviešiem”, un zemākais – “25% kvieši”, bet 2022. gadā novērota pretēja tendence. Oglekļa satura starpības augu maiņu variantos 2017. gadā bija 0.252% robežās, 2022. gadā – 0.106%. Augsnes dziļumā 20–40 cm lielākās skaitliskās izmaiņas oglekļa saturā 2017. gadā, salīdzinot ar 2010. gadu, bija augu maiņā “100% kvieši” (+0.856%), bet zemākā – augu maiņā “25% kvieši” (+0.682%), savukārt 2022. gadā, salīdzinot ar 2010. gadu, lielākais oglekļa satura pieauguma bija četru dažādu kultūraugu maiņā “25% kvieši” (+0.730%). Augstākais vidējais oglekļa saturs augsnes dziļumā 20–40 cm bija 2017. gadā – 1.717% (par 0.754%) vairāk nekā 2010. gadā, par 0.131% vairāk nekā 2022. gadā).

Augsnes organiskā oglekļa vidējais saturs 40–60 cm dziļumā pētījuma laikā no 2010. gada līdz 2022. gadam bija palielinājies par 143.6% no 0.644% līdz 1.569% (3.33. tab.).

Organiskā oglekļa saturs (%) augsnē 40–60 cm dziļumā atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas un augu maiņas 2017. un 2022. gadā un salīdzinājumā ar 2010. gadu

Rādītājs	2010.*	2017.	Izmaiņas, salīdzinot ar 2010. gadu	2022.	Izmaiņas, salīdzinot ar 2010. gadu
Augsnes apstrāde, p=0.087					
Tradicionālā	0.696	1.389	+0.693	1.665	+0.908
Reducētā	0.592	1.027	+0.435	1.473	+0.875
Augu maiņa, p=0.959					
100% kvieši	0.725	1.363	+0.638	1.218	+0.493
67% kvieši	0.580	1.131	+0.551	1.733	+1.153
25% kvieši	0.667	1.182	+0.515	1.581	+0.851
Vidēji, p<0.001	0.644 ^a	1.198 ^b	+0.554	1.569 ^b	×

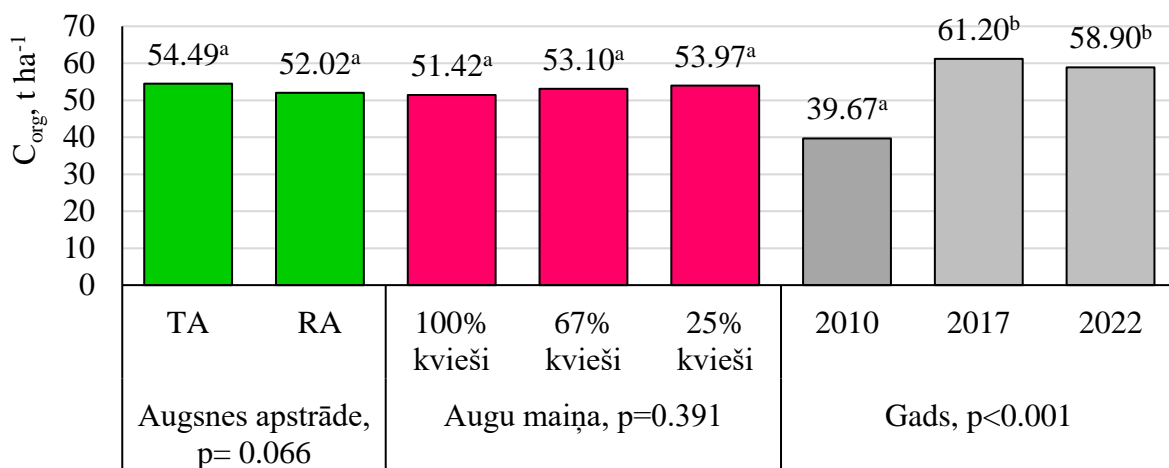
^{a,b} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām katra pētījuma gada ietvaros; * dati no projekta VPP-5.3.1. (Nr.VP26) “Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei” (PĀRTIKA) 3.1. apakšprojekts “Augsnes kā galvenā resursa ilgtspējīga izmantošana drošu un kvalitatīvu pārtikas un lopbarības izejvielu ieguvei no plašāk audzētajām laukaugu sugām” pārskata

Vērtējot organiskā oglekļa saturu atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas, augstāks oglekļa satura pieaugums pēc septiņiem un 12 pētījuma gadiem bija vērojams tradicionālās augsnes apstrādes variantā (TA – 1.389% 2017. gadā, 1.665% 2022. gadā, RA – 1.027% 2017. gadā un 1.473% 2022. gadā).

Novērota tendence, ka tradicionālās augsnes apstrādes variantā 40–60 cm dziļumā organiskā oglekļa saturs (p=0.076) bija augstāks, tomēr jāatzīmē, ka, jau uzsākot izmēģinājumu, analīzes norādīja, ka TA varianta laukos šajā dziļumā ir par 0.101% lielāks organiskā oglekļa daudzums nekā reducētās augsnes apstrādes varianta laukos. Organiskā oglekļa satura pieaugums periodā no 2010. gada līdz 2017. gadam bija par 86.0%, bet no 2017. gada līdz 2022. gadam tas bija par 30.9%.

Vērtējot augsnē uzkrātā organiskā oglekļa saturu 40–60 cm dziļumā atkarībā no augu maiņas, netika atrasta nozīmīga faktora ietekme uz oglekļa satura skaitliskajām vērtībām (p=0.959) (3.33. tab.). Lielākais augsnes C_{org} satura pieaugums 2017. gadā konstatēts augu maiņā “100% kvieši” (+0.638%), bet izmaiņas pārējos augu maiņu variantos bija līdzvērtīgas, jo pieauguma starpība starp augu maiņas variantiem bija tikai 0.123% robežās. Augstākais oglekļa saturs 2022. gadā bija augu maiņā “67% kvieši” – 1.733, un zemākais – “100% kvieši” – 1.218%. Augsnes dziļumā 40–60 cm lielākās skaitliskās izmaiņas oglekļa saturā 2022. gadā, salīdzinot ar 2010. gadu, bija augu maiņas variantā “67% kvieši” (+1.153%), bet mazākās – augu maiņas variantā “100% kvieši” (+0.493%). Augstākais vidējais oglekļa saturs augsnes dziļumā 40–60 cm bija 2022. gadā – 1.569% (par 0.925% vairāk nekā 2010. gadā (p<0.001), un par 0.371% vairāk nekā 2017. gadā (p>0.05).

Balstoties uz iegūtajiem C_{org} satura un augsnes tilpummasas datiem, tika aprēķināti arī C_{org} krājumi un to izmaiņas 0–20 cm dziļumā. Šajā pētījumā divpadsmit gadu periodā (2010.–2022. g.) augsnes dziļumā 0–20 cm netika atrasts būtiskas oglekļa krājumu izmaiņas atkarībā no lietotās augsnes apstrādes sistēmas (p=0.066) vai augu maiņas (p=0.391) (skat. 3.18. att.). Būtisks C_{org} daudzuma pieaugums augsnes virskārtā novērots atkarībā no pētījuma gada (p<0.001). C_{org} krājumi 2017. gadā bija vidēji 61.20 t ha⁻¹, kas būtiski atšķīrās no 2010. gadā noteiktā C_{org} daudzuma (39.67 t ha⁻¹).



3.18. att. **Augsnes organiskā oglekļa krājumi (t ha⁻¹) 0-20 cm dziļumā atkarībā no pētītajiem faktoriem** (TA–tradicionālā augsnes apstrādes sistēma; RA–reducētā augsnes apstrādes sistēma) (2010. g. dati salīdzināšanai – no projekta VPP-5.3.1. (Nr.VP26) “Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei” (PĀRTIKA) 3.1. apakšprojekts “Augsnes kā galvenā resursa ilgtspējīga izmantošana drošu un kvalitatīvu pārtikas un lopbarības izejvielu ieguvei no plašāk audzētajām laukaugu sugām”)

Augsnes organiskā oglekļa krājumu veidošanās ilgtermiņā atkarībā no dažādām augsnes apstrādes sistēmām pietiekami plaši pētīta pasaulē, bet tikai daļā no izmēģinājumiem pierādījies, ka augsnes bezapvēršanas sistēmas, kur lielāks augu atlieku daudzums ilgāk saglabājās uz augsnes virsmas, nodrošināja augsnes organiskā oglekļa pieaugumu augsnes virskārtā, salīdzinot ar tradicionālo augsnes apstrādi (Martínez et al., 2016; Woźniak, Rachoń, 2020). Vienā no pasaules mēroga datu apkopojumiem ziņots, ka vairāk nekā pusē (54 no 100) apskatīto pētījumu rezultātiem C_{org} saturs augsnē palielinājies, izmantojot augsnes samazinātās apstrādes sistēmas, salīdzinot ar tradicionālo augsnes apstrādi (Palm et al., 2014). Lai arī pieaugums novērots augsnes virskārtā, tomēr nav viennozīmīgu rezultātu, ka pieaugtu augsnes organiskā oglekļa krājumi augsnes profilā arī dziļākos slāņos. Līdzīgi kā šajā pētījumā, kur neapstiprinājās būtiska augu maiņas vai augsnes apstrādes ietekme uz augsnes C_{org} saturu, citā pētījumā ir secināts, ka mitrās mērenā klimata augsnēs C_{org} izmaiņas ir nelielas, un kopumā tas ir izaicinājums pierādīt, ka šajās augsnēs bezaršanas augsnes apstrādes sistēmas ir efektīvs augsnes organiskā oglekļa uzkrāšanas pasākums (Hermle et al., 2013).

C_{org} satura izmaiņas augsnē bija ievērojamas, salīdzinot 2017. gadā iegūtos rezultātus ar 2010. gada datiem. Periodā no 2017. gada līdz 2022. gadam vēra ņemamas izmaiņas C_{org} saturam un arī daudzumam augsnes apstrādes un augu maiņu variantos netika novērotas, bet starp pētītajiem variantiem, iegūtās vērtības bija līdzvērtīgas. Izmēģinājumu ar augu maiņu un augsnes apstrādes sistēmu salīdzinājumu būtu nepieciešams turpināt, lai novērotu C_{org} satura un daudzuma izmaiņas ilgstošākā periodā.

3.5. Augu maiņu un augsnes apstrādes sistēmu kombināciju ekonomiskais novērtējums

Pētītajās audzēšanas sistēmās (augu maiņu un augsnes apstrādes variantu kombinācijas) ikgadēji atšķīrās iegūtā kultūraugu ražība pētītajos variantos, kā arī pa pētījumu gadiem atšķīrās izdevumi mainīgo izmaksu segšanai (13.–30. pielik.) un realizējamās produkcijas iepirkuma cenas (skat. 3.34. tab. un 13.–30. pielik.). Iepirkuma cenas pētījuma gados bija mainīgas, mainoties tirgus situācijai. Augstākā iepirkuma cena visos izmēģinājuma gados bija rapša sēklām (vidēji 359 EUR), otra augstākā iepirkuma cena bija lauka pupu sēklām (vidēji 213 EUR), tam sekoja kviešu graudi, kuri atbilda kādas pārtikas kvalitātes grupas prasībām (vidēji 167 EUR), tad lopbarības kvalitātes kviešu graudu iepirkuma cena (vidēji 151 EUR) un

zemākā iepirkuma cena bija miežu graudiem (vidēji 144 EUR). Lielākā cenu svārstība starp pētījuma gadiem bija miežu graudiem, kura bija 47.40 EUR starp 2017. un 2018. gada iepirkuma cenām.

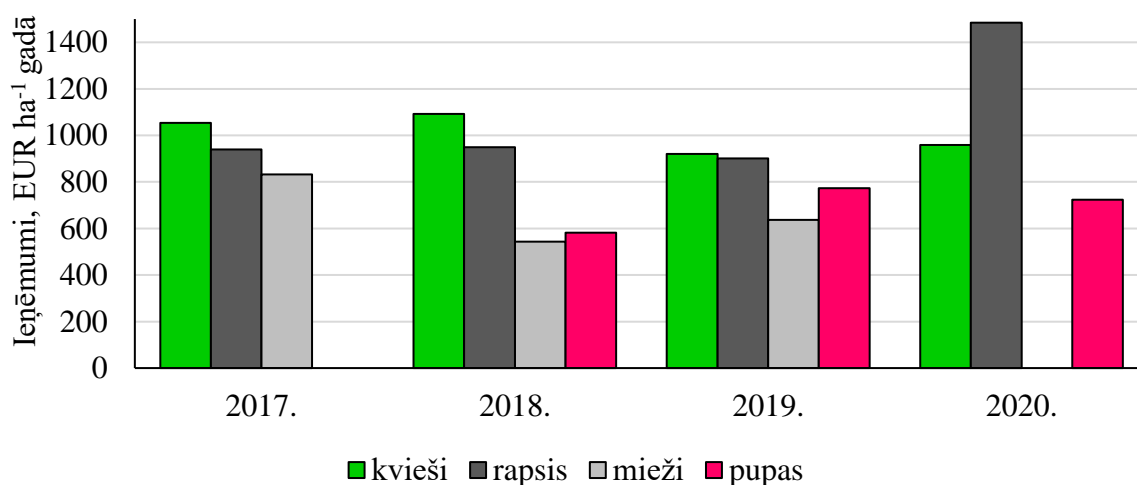
3.34. tabula

Izmēģinājumā iegūto kultūraugu ražu vidējās iepirkuma cenas (EUR t⁻¹) 2017.–2020. gadā

Sēklas realizācijai	Gads			
	2017.	2018.	2019.	2020.
Kviešu graudi, pārtikai	152.00	185.00	162.00	169.00
Kviešu sēklas, lopbarībai	134.00	175.00	144.00	151.00
Rapša sēklas	352.00	351.00	373.00	356.00
Miežu graudi	129.00	176.37	133.60	137.00
Lauka pupu sēklas	200.00	225.00	225.00	220.00

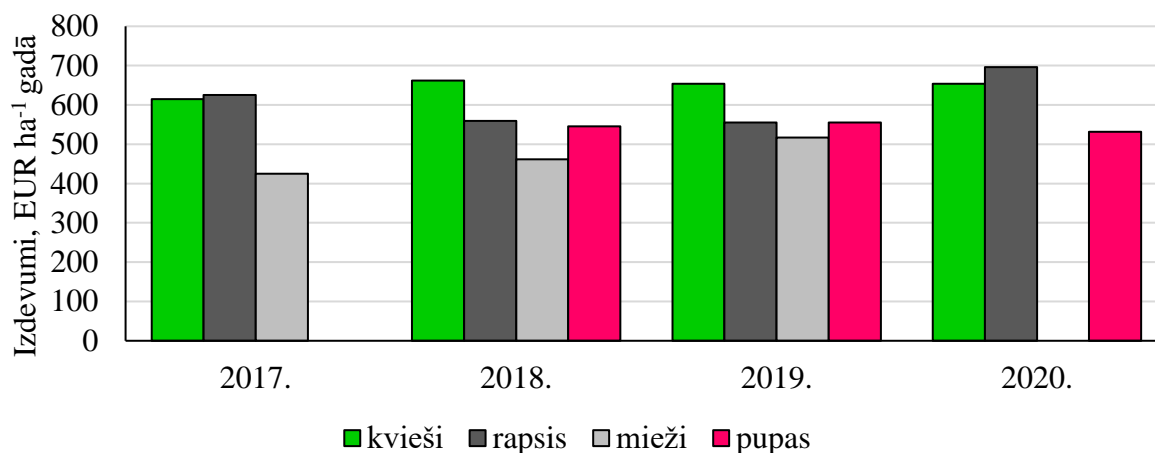
Pēc LLKC bruto segumu aprēķiniem 2017., 2018., 2019. un 2020. gadam

Iegūtie graudu/sēklu realizācijas ieņēmumi nozīmīgi atšķirās atkarībā no audzētā kultūrauga, kā arī atkarībā no pētījuma gadiem (skat. 3.19. att.). Augstākie ieņēmumi uz vienu hektāru bija no ziemas rapša sēklām 2020. gādā, pārējos pētījuma gados augstākos ieņēmumus veidoja ieņēmumi par ziemas kviešu graudiem, savukārt zemākie ieņēmumi iegūti, realizējot audzēto vasarāju kultūraugu graudus/sēklas.



3.19. att. Vidējie ieņēmumi gadā (EUR ha⁻¹), realizējot izmēģinājumā audzēto kultūraugu pamatprodukciju laikā no 2017. līdz 2020. gadam

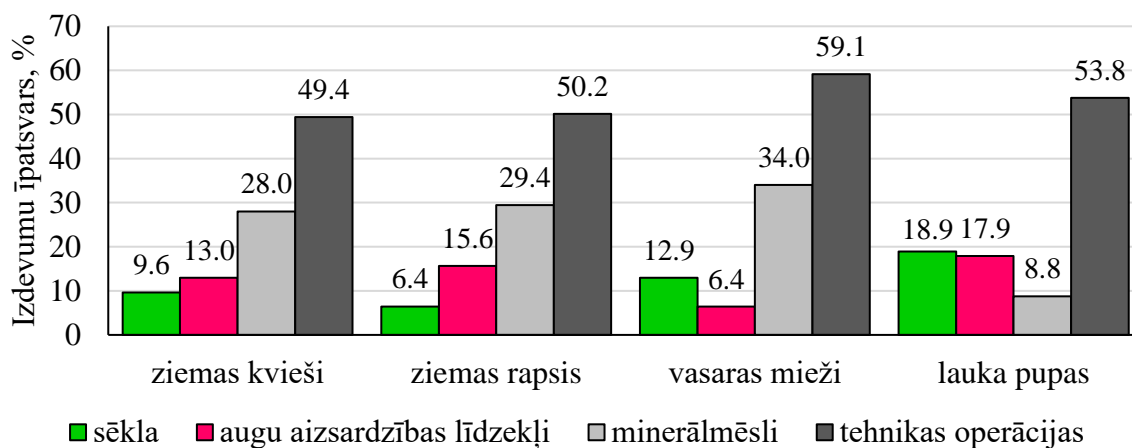
Analizējot izdevumus (3.20. att.) izmēģinājuma gados atkarībā no pētītajiem kultūraugiem, secināts, ka izdevumi starp augstāko un zemāko izdevumu līmeni variēja gan atkarībā no pētījuma gada, gan audzētajiem kultūraugiem. Mazāka ikgadējā izdevumu starpība bija, audzējot lauka pupas – 24 EUR ha⁻¹.



3.20. att. Vidējās ražošanas mainīgās izmaksas gadā (EUR ha⁻¹) izmēģinājumā audzētajiem kultūraugiem laikā periodā no 2017.–2020. gadam

Ziemas kviešu audzēšanas izdevumi starp pētījuma sezonām variēja no 614 EUR ha⁻¹ 2017. gadā līdz 662 EUR ha⁻¹ 2018. gadā, un izmaksu pieaugums veidojās, palielinoties izejvielu izmaksām. Lielākā izmaksu starpība bija izmantotajai rapša audzēšanas tehnoloģijai, kura atšķīrās no 556 EUR ha⁻¹ 2019. gadā līdz 695 EUR ha⁻¹ 2020. gadā, jo 2020. gadā bija nepieciešams vairāk līdzekļus tērēt nezāļu un kaitēkļu ierobežošanai, turklāt tika izmantots arī arī ārpussakņu mēslojums, kas kopumā sadārdzināja izmaksas, bet tās attaisnojās ar augstāku ražību un augstākiem ieņēmumiem.

Izdevumi atkarībā no salīdzinātajām audzēšanas sistēmām katrā gadā katra kultūrauga audzēšanas tehnoloģijā atšķīrās tikai pozīcijā “tehnikas operācijas”, jo pētīja atšķirīgas augsnes apstrādes sistēmas: tradicionālo un reducēto augsnes apstrādi. Lielākā cenu atšķirība starp augsnes apstrādes variantiem bija 2017. gadā, kad reducētās augsnes apstrādes variants bija par 9.50 EUR ha⁻¹ izdevīgāks nekā tradicionālā apstrāde, bet 2020. gadā tradicionālās augsnes apstrādes variants bija par 3.67 EUR ha⁻¹ izdevīgāks nekā reducētā augsnes apstrāde. Mazās starpības starp augsnes apstrādes variantiem saistītas ar to, ka reducētajā augsnes apstrādes variantā lietotā augsnes lobīšana tika veikta divas reizes, un pēc tās sekoja tāda pati augsnes pirmssējas apstrāde kā tradicionālās augsnes apstrādes variantā pēc aršanas. Nepieciešamība pēc augsnes dubultas lobīšanas skaidrojama ar augsnes granulometrisko sastāvu – putekļu mālu, kurš ir smags ar smalkām augsnes daļiņām, kuras var veidot rupju augsnes struktūru, līdz ar to, lai to vienmērīgi sastrādātu, nepieciešami vairāki lobīšanas gājieni. Līdzīgu pieredzi par rapša sēju smaga granulometriskā sastāva augsne aprakstījuši Balodis I. un Balodis O. (2013). Apstākļos, ja lobīšanu veiktu tikai vienu reizi, izmaksas reducētā augsnes apstrādes sistēmā samazinātos par 39.70 EUR ha⁻¹ 2017. gadā, 34.39 EUR ha⁻¹ 2018. gadā, 41.43 EUR ha⁻¹ 2019. gadā un 37.08 EUR ha⁻¹ 2020. gadā, salīdzinot ar tradicionālās augsnes apstrādes sistēmu. Ņemot vērā, ka atšķirības augsnes apstrādes izdevumos starp pētītajiem variantiem (TA un RA) bija nenoīmīgas, tad, aprēķinot izdevumu grupu proporciju no kopējiem izdevumiem, tika izmantots vidējais rādītājs pozīcijai “tehnikas operācijas” starp abiem augsnes apstrādes variantiem (skat. 3.21. att.). Tehnikas operāciju izmaksas visu kultūraugu audzēšanas tehnoloģijās veidoja proporcionāli lielākās izmaksas. Kultūraugiem, kuru kopējās vidējās audzēšanas izmaksas bija zemākas (mieži, lauka pupas, salīdzinot ar kviešiem un rapsi), pozīcija “tehnikas operācijas” veidoja lielāko izmaksu daļu – 59.1% vasaras miežiem un 53.8% lauka pupām. Ziemas kviešu audzēšanas tehnoloģijā “tehnikas operācijas” bija 49.4%, bet ziemas rapsim – 50.2%.



3.21. att. Izdevumu grupu īpatsvars (%) kopējās ražošanas mainīgajās izmaksās ziemas kviešiem, ziemas rapsim, vasaras miežiem, lauka pupām

Pētījumos, kur analizēta augsnes apstrādes intensifikācijas mazināšana, parasti tiek secināts, ka samazinās izdevumi enerģijai un darba spēkam, kas rezultējas ekonomiskā izdevīgumā (Mayer et al., 2021), šajā izmēģinājumā attiecībā uz augsnes apstrādes sistēmu salīdzinājumu, pamatojoties uz vidējām tehnikas operāciju pakalpojumu cenām, to neizdevās pierādīt, kā galveno iemeslu minot nepieciešamību izmantot augsnes lobīšanu divas reizes augsnes granulometriskā sastāva dēļ.

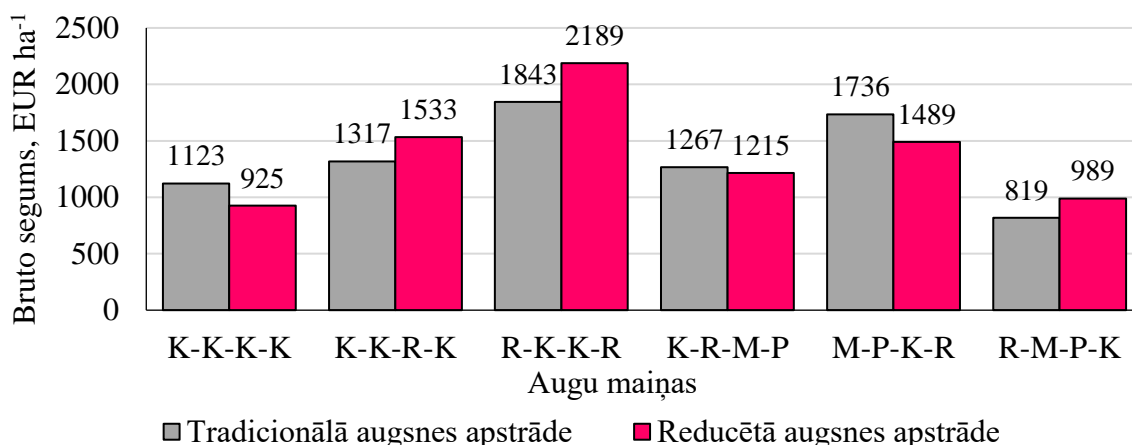
Otra ievērojamākā pozīcija audzēšanas izmaksās labībām un rapsim bija “minerālmēsli”, kas veidoja no 28.3% ziemas kviešiem, līdz 35.1% vasaras miežiem, lauka pupu audzēšanas tehnoloģijā minerālmēslojums sastādīja proporcionāli mazāko daļu – 8.8%, jo minimāli izmantots slāpekļa minerālmēslojums. Ziemas kviešu un ziemas rapša audzēšanas tehnoloģijās mazākā izdevumu sadaļa bija sēklas materiālam, bet 13.0–15.6% bija izlietoti augu aizsardzības līdzekļu iegādei. Vasaras miežiem mazākā pozīcija bija “augu aizsardzības līdzekļi” (6.4%), jo ikgadēji tika lietots tikai herbicīds, bet fungicīda un insekticīda lietojums bija atkarīgs no kaitīgo organismu izplatības sējumā (skat. 5. pielikumu – miežu audzēšanas agrotehnoloģija). Rapša audzēšanas tehnoloģijā nevienā no pētījuma gadiem netika smidzināts fungicīds, kas samazināja augu aizsardzības līdzekļu izdevumu īpatsvaru kopējos izdevumos, jo fungicīds visbiežāk ir dārgākā augu aizsardzības līdzekļu pozīcija (skat. 4. pielikumu – rapša audzēšanas agrotehnoloģija). Lauka pupu audzēšanas tehnoloģijā nepilnus 20% sastādīja izdevumi par sēklas materiālu (dati no LLKC vidējām sēklas materiāla izmaksām), un nedaudz zemāki izdevumi (17.9%) bija par augu aizsardzības līdzekļiem – herbicīdiem nezāļu ierobežošanai un insekticīdiem kaitēkļu ierobežošanai, bet fungicīds netika lietots.

Citos Eiropā veiktos izmēģinājumos ir izcelts, ka proporcionāli lielākā izdevumu pozīcija ir minerālmēslojums (Jankovic et al., 2013; Dimitrijevic et al., 2020), kas liecina par audzēšanas tehnoloģiju atšķirībām, kuras ietekmē izmaksu grupu proporciju.

Minerālmēslojuma izmaksās lielāko daļu veido tieši slāpekļa izmaksas, bet no lietotā slāpekļa daudzuma tikai puse tiek akumulēta augu virszemes biomasā, neliela daļa saglabājas arī saknēs, tomēr ievērojama daļa izskalojas vai veido savienojumus, kuri ir siltumnīcas efekta gāzes (Peoples et al., 2019). Tiek prognozēts, ka slāpekļa mēslojuma patēriņš līdz 2050. gadam dubultosies, lai nodrošinātu kultūraugu produktivitāti tādiem kultūraugiem kā kvieši, rīsi un kukurūza, kuri ir galvenais uzturs lielākajai daļai pasaules iedzīvotāju. Galvenie slāpekļa nodrošināšanas veidi ir bioloģiskā slāpekļa fiksēšana no atmosfēras (N_2) un sintezētā slāpekļa izmantošana, kurš iegūts ar resursu ietilpīgo Haber-Boša metodi, kas veido lielās izmaksas slāpekļa minerālmēslojuma ražošanas procesā (Ladha et al., 2022).

Augu maiņu novērtējumā četru gadu periodā atbilstoši bruto seguma aprēķinam (bruto segums II; bez valsts atbalsta maksājumiem; peļņa pēc mainīgo izmaksu atskaitīšanas – turpmāk – bruto segums) uz vienu hektāru (skat. 3.22. att.), ienesīgākā bija augu maiņa

“67% kvieši” reducētās augsnes apstrādes sistēmā ar augu secību rapsis-kvieši-kvieši-rapsis, kurai bruto segums pētījuma periodā bija 2189 EUR ha⁻¹.



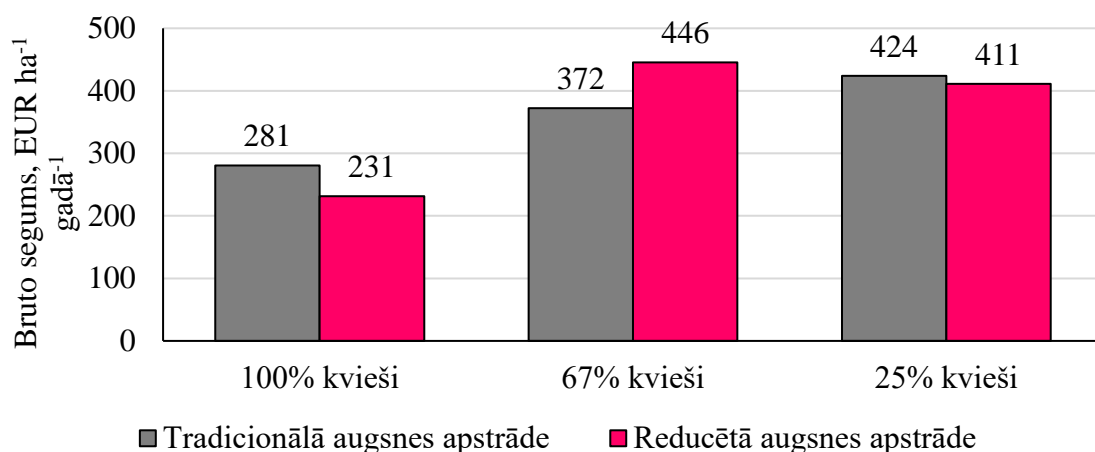
3.22. att. **Augu maiņu un augsnes apstrādes variantu iespējamai bruto segums (EUR ha⁻¹) četrus gadu periodā (2017.–2020. g.)**

(K – ziemas kvieši, R – ziemas rapsis, M – vasaras mieži, P – lauka pupas)

Otrais ienesīgākais variants bija tās pašas augu maiņas un augu secības variants tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā (1843 EUR ha⁻¹), bet trešais – augu maiņa “25% kvieši” ar kultūraugu secību mieži-lauka pupas-kvieši-rapsis tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā (1736 EUR ha⁻¹).

Mazāk ienesīgie varianti bija augu maiņa “25% kvieši” ar kultūraugu secību rapsis-mieži-lauka pupas-kvieši tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā, kurā četrus gadu bruto segums (EUR ha⁻¹) veidoja tikai 819 EUR, kas bija par 2.67 reizēm mazāk nekā ekonomiski izdevīgākajā variantā (2189 EUR ha⁻¹, augu maiņā “67% kvieši”, RA, R-K-K-R). Ekonomiski neizdevīgākie augu maiņu varianti, ja vērtē vidējo bruto segumu atkarībā no abiem augsnes apstrādes variantiem, bija augu maiņa “25% kvieši” ar kultūraugu secību rapsis-mieži-pupas-kvieši (vidēji 904 EUR ha⁻¹), augu maiņa “100% kvieši” (vidēji 1024 EUR ha⁻¹) un augu maiņa “25% kvieši” ar kultūraugu secību kvieši-rapsis-mieži-pupas (1241 EUR ha⁻¹).

Lai salīdzinātu vidējo bruto segumu gadā no konkrētās augu maiņas, atbilstoši tam, kāds bija to augu maiņas cikla ilgums, modelēts augu maiņu vidējais bruto segums gadā, aprēķinot vidējo bruto segumu katrā augu maiņā un augsnes apstrādes sistēmā ietilpstošajiem kultūraugiem, un reizināts ar kultūrauga proporciju augu maiņā (skat. 3.23. att.). Secināts, ka augstākais vidējais gada bruto segums bija augu maiņai “67% kvieši” tradicionālā augsnes apstrādē (446 EUR ha⁻¹ gadā), otra ekonomiski izdevīgākā augu maiņa bija “25% kvieši”, kur vidēji gadā iegūti 424 EUR ha⁻¹ TA variantā un 411 EUR ha⁻¹ RA variantā. Ekonomiski neizdevīgākais variants izmēģinājuma periodā bija kviešu bezmaiņas sējumi (vidēji 256 EUR ha⁻¹ gadā).



3.23. att. **Augu maiņu un augsnes apstrādes sistēmu ekonomiskais izdevīgums vidēji gadā, EUR ha⁻¹**

Eiropas Savienības politika ir vērsta uz vietējās izcelsmes augu valsts proteīna avotu nodrošināšanu, lai samazinātu lauksaimniecības dzīvnieku skaitu, kurus audzē gaļas ražošanai, jo gaļa šobrīd patērētajos daudzumos atstāj negatīvu ietekmi uz siltumnīcās efekta gāzu emisijām (Gerber et al., 2013). Tāpat arī pārāk liels gaļas patēriņš atstāj negatīvu ietekmi uz cilvēku veselību (Godfray et al., 2018; Chen et al., 2019). Dzīvnieku izcelsmes proteīna avotus pārtikā iesaka aizstāt ar augu valsts proteīna avotiem, un pamatā augu valsts proteīna avots ir pākšaugu dzimtas augi (Gazan et al., 2021). Nesenā Eiropā veiktā pētījumā, kurā aptaujāti Dānijā, Vācijā, Polijā, Spānijā un Lielbritānijā dzīvojošie iedzīvotāji, noskaidrots, ka iedzīvotāji par galveno ieguvumu no pākšaugu audzēšanas min, galvenokārt, veselīgu uzturu un pārtikas aspektu, bet par pākšaugu pozitīvo ietekmi uz vidi patērētāji maz aizdomājās, līdz ar to, lai popularizētu pākšaugu patēriņu un audzēšanu, nepieciešams papildus investēt informatīvās kampaņās (Henn et al., 2022). Pieņemot, ka tuvākā nākotnē pieprasījums pēc vietējās izcelsmes proteīnaugiem palielināsies, tad līdz ar pieprasījuma palielinājumu varētu palielināties arī pākšaugu sēkļu iepirkuma cena, kas varētu mudināt lauksaimniekus audzēt pākšaugus lielākās platībās (Reckling et al., 2016).

Ieguvumi no pākšaugu iekļaušanas augu maiņās ir jāvērtē no vairākiem aspektiem, un dažādos pasaules reģionos lielākie ieguvumi būs atšķirīgi. Piemēram, iekļaujot pākšaugus augu maiņā, mazinās kopējais nepieciešamais slāpekļa mēslojuma patēriņš, kas attiecas gan uz iespēju nelietot slāpekli platībās, kur audzē pākšaugus, gan arī uz slāpekļa normas samazināšanas iespēju pēcaugam. Augu maiņas ar iekļautiem pākšaugiem nodrošina arī vairāk sagremojamo olbaltumvielu mājlopu barības devām ar zemāku ietekmi uz vidi, salīdzinot ar tradicionālām labību augu maiņām. Tomēr atsevišķos pētījumu gados no augu maiņām, kurās iekļauti pākšaugi, tomēr neizdodas sasniegt pietiekamu mājlopiem piegādāto apmaiņas enerģiju, salīdzinot ar labību-eļļas augu un labību-labību augu maiņām (Costa et al., 2021).

Kultūraugu dažādošanai augu maiņā šajā izmēģinājumā ir pierādījies ekonomiskais pamatojums, jo iegūtie vidējie bruto segumi gadā no augu maiņām “67% kvieši” un “25% kvieši” bija pārlicinoši augstāki nekā atkārtotos kviešu sējumos, lietojot gan tradicionālo, gan reducēto augsnes apstrādes sistēmu. Dažādojot kultūraugus, saimniecības struktūrā rodas iespēja gan sadalīt riskus, gan veiksmīgāk pārvaldīt darbu veikšanas laikus, jo dažādām sugām ir atšķirīgs veģetācijas garums un nepieciešamais agrotehnisko pasākumu kopums, un darbu veikšanas laiks.

SECINĀJUMI

1. Lai arī ziemas kviešu augšana un attīstība nebija atkarīga no pētītajiem augu maiņas variantiem ne rudens, ne vasaras veģetācijas periodos, tomēr ziemas kviešu dīgšanas sākums un temps bija atšķirīgs atkarībā no pētītās augsnes apstrādes sistēmas. Priekšrocības, pateicoties atšķirīgam nokrišņu nodrošinājumam pētījuma gados, bija gan vienai, gan otrai augsnes apstrādes sistēmai, tomēr būtiskas atšķirības laukdīdībā novēroja tikai ekstremāli sausajā 2018. g., kas parādīja reducētās augsnes apstrādes priekšrocības ziemas kviešu dīgšanas nodrošināšanā. (1. uzdevums, 1. tēze)
2. Vidējās ziemas kviešu graudu un salmu ražas bija līdzvērtīga tradicionālā un reducētā augsnes apstrādes sistēmā (apstiprinās otrā hipotēze), un būtiski augstākas kviešu vidējās ražas iegūtas augu maiņās “67% kvieši” un “25% kvieši”, salīdzinot ar kviešu bezmaiņas sējumiem (apstiprinās daļa pirmās hipotēzes). Ziemas kviešu ražas, audzējot tos pēc lauka pupām un rapša, bija augstākas, izmantojot reducēto augsnes apstrādi, bet kviešu bezmaiņas sējumos trijos no četriem pētījuma gadiem – tradicionālās augsnes apstrādes variantā. (1. tēze)
3. Ziemas kviešu ražas struktūrelementu vidējās vērtības nebija būtiski atšķirīgas atkarībā no augsnes apstrādes sistēmām, bet tās ietekmēja pētījuma gados pastāvošie meteoroloģiskie apstākļi un atsevišķus – priekšaugu augu maiņa. Būtiski atšķirīga bija vidējā 1000 graudu masa atkarībā no priekšauga augu maiņa, un augstākā tā bija augu maiņas variantā “25% kvieši”, kur ziemas kviešu priekšaugi bija pupas. Produktīvo stiebru skaits un graudu skaits vārpā nevienā no pētījuma gadiem nebija būtiski atšķirīgi atkarībā no priekšaugiem augu maiņas variantos. (1. tēze)
4. Ziemas kviešu graudu kvalitātes rādītāju (proteīna saturs, lipekļa saturs, Zeleny indekss, krišanas skaitlis, tilpummasa) vidējās vērtības nebija atkarīgas no pētītās augsnes apstrādes sistēmas vai augu maiņas varianta, bet būtisks bija ziemas kviešu priekšauga efekts uz lipekļa saturu un Zeleny indeksu, un augstāki tie bija, ja kviešus audzēja pēc lauka pupām. Visiem kvalitātes rādītājiem novērotas būtiskas vidējo rādītāju atšķirības pētījuma gados. Lielākā ietekme uz kvalitātes veidošanos bija konkrēto gadu meteoroloģiskajai situācijai. (1. tēze)
5. Ziemas rapša un vasaras miežu ražas izmēģinājumā bija līdzvērtīgas abās augsnes apstrādes sistēmās, savukārt lauka pupu vidējā raža bija nedaudz, bet būtiski augstāka tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā. (2. tēze)
6. Enerģētiski produktīvākie augu maiņas iekļautie kultūraugi bija ziemas kvieši ($212.43 \text{ GJ ha}^{-1}$) un ziemas rapsis ($209.99 \text{ GJ ha}^{-1}$). Enerģijas ražas būtiski atšķīrās atkarībā no pētītajiem augu maiņu variantiem, bet atšķirības atkarībā no pētītā augsnes apstrādes varianta nebija būtiskas. Augstāko enerģijas ražu (GJ ha^{-1}) no pētītajiem augu maiņas variantiem nodrošināja augu maiņa “67% kvieši”, bet augu maiņa “25% kviešu” nodrošināja līdzvērtīgu enerģijas ieguvu bezmaiņas kviešu sējumu variantam (100% kvieši), kas pētījuma gados bija saistīts ar zemajām vasarāju ražām sausajā 2018. un 2019. gadā. Tādējādi hipotēzi par augstākas enerģijas ražas ieguvu, samazinot kviešu īpatsvaru augu maiņā, četru gadu periodā neizdevās pierādīt. Daļēji apstiprinās 1. hipotēze, ka, samazinot kviešu īpatsvaru augu maiņā, pieaug augu maiņa akumulētās enerģijas daudzums. (3. tēze)
7. Augsnē uzkrātā organiskā oglekļa saturs divpadsmit gadu periodā (2010.–2022. g.) bija būtiski pieaudzis visos pētītajos augsnes dziļumos (0–20 cm, 20–40 cm, 40–60 cm), bet pētījumu periodā to būtiski neietekmēja ne pētītais augu maiņas, ne augsnes apstrādes variants. Augsnes organiskā oglekļa saturs bija atšķirīgs dažādos augsnes dziļumos. Augsnes apstrādes sistēmai un augu maiņai uz kopējiem oglekļa krājumiem augsnē 0–20 cm dziļumā būtiskas ietekme netika konstatēta. (4. tēze)
8. Augstāku bruto segumu nodrošināja augu maiņas varianti ar diviem un vairākiem kultūraugiem salīdzinājumā ar ilgstošiem bezmaiņas sējumiem. Pētījuma periodā ekonomiski visizdevīgākā bija augu maiņa “67% kvieši”, izmantojot reducēto augsnes

apstrādi, kurai sekoja augu maiņa “25% kvieši”, izmantojot abus augsnes apstrādes variantus. Ekonomisko rezultātu pa gadiem ietekmēja gan mainīgās izejmateriālu cenas, gan mainīgās kultūraugu ražas. Hipotēze, ka kviešu audzēšana dažādotā augu maiņā ekonomiski attaisnojas, daļēji pierādīta. (5. tēze)

PATEICĪBAS

Pētījums veikts, pateicoties vairāku projektu finansējumam:

- 1) VPP AgroBioRes “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā”, 1. daļa Augsne “Augsnes ilgtspējīga izmantošana un mēslošanas risku mazināšana”;
- 2) LR Zemkopības ministrijas subsīdijas, projekts “Minimālās augsnes apstrādes ietekme uz augsnes auglības saglabāšanu, kaitīgo organismu attīstību un izplatību, ražu un tās kvalitāti bezmaiņas sējumos”;
- 3) Latvijas Lauksaimniecības universitātes pētniecības programma “Zinātnes kapacitātes stiprināšana LLU”. Projekts Nr. Z33 “Augsekas produktivitāte atkarībā no ziemas kviešu īpatsvara tajā un augsnes apstrādes paņēmiena”. Līguma Nr. 3.2-10/2019/LLU/138;
- 4) ESF projekts ES32 Nr.8.2.2.0/20/I/001 – “LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli”.

Izsaku personīgu pateicību:

- profesoram, Dr. habil. agr. Antonam Ružam par vērtīgiem padomiem doktora darba izstrādē un paldies par iespēju darboties A. Ružas vadītajā projektā Valsts pētījumu programmā;
- profesorei, Dr. biol. Birutai Bankinai par iespēju pievienoties projektam “Minimālās augsnes apstrādes ietekme uz augsnes auglības saglabāšanu, kaitīgo organismu attīstību un izplatību, ražu un tās kvalitāti bezmaiņas sējumos”, par finansējumu projekta veikšanai, par iespēju ziņot projekta rezultātus starptautiskās konferencēs, kā arī par padomiem un sarunām promocijas darba izstrādes laikā;
- Dr. sc. ing. Jānim Rižikovam, Valsts Koksnes ķīmijas institūta vadošajam pētniekam, par sadarbību sadegšanas siltuma (biomasas enerģētiskās vērtības) noteikšanā, kā arī par konsultācijām enerģētiskās vērtības izmantošanai;
- Kristapam Vitolam, Latvijas Lauku konsultāciju centra bruto segumu ekspertam, par palīdzību vidējo izcenojumu sagatavošanā augu aizsardzības un mēslošanas līdzekļiem, kuri tika izmantoti bruto segumu sagatavošanā;
- LBTU LPTF (agrāk LLU LF) MPS “Pēterlauki” kolektīvam laika periodā no 2016.–2020. gadam, jo īpaši darbiniecēm Mg. agr. Lindai Litkei un Mg. agr. Ievai Plūdumai-Pauniņai par izmēģinājuma regulāru apsekošanu un palīdzību datu ieguvē, Mg. agr. Merabam Katamadzem par agronomiskajiem risinājumiem izmēģinājuma laukos;
- profesoram, Dr. habil. agr. Aldim Kārklīnam par konsultācijām un skaidrojumiem par organiskā oglekļa veidošanos un uzkrāšanos augsnē, kā arī padomiem literatūras izpētē un iegūto datu aprakstīšanā;
- kolēģei Mg. agr. Ievai Erdbergai par veltīto laiku konsultācijām saistībā ar augsnes organisko oglekli;
- profesorei, Dr. oec. Aina Dobelei par vērtīgiem padomiem rezultātu ekonomiskās nozīmes novērtēšanā;
- LPKS “Latraps” darbiniekiem, īpaši Līgai Ružai, Edītei Konivālei un Gintai Briedei par palīdzību ar informācijas iegūšanu par augu aizsardzības līdzekļu un minerālmēslojuma cenām;
- docentei, Dr. agr. Gundegai Putniecei par konsultācijām laukkopības terminu lietošanā;
- docentei, Ph. D. Sarmītei Rancānei par palīdzību zinātnisko avotu meklēšanā par ilggadīgo augu maiņu stacionāru Skrīveros;
- profesorei, Dr. math. Natālijai Sergejevai, doktorantūras skolas un projekta “ESF projekts ES32 – “LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli” vadītājai par atbalstu projekta īstenošanas gaitā un motivēšanu;

- manai kolēģei un tiešajai darba vadītājai Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģijas fakultātes dekanātā, asociētajai profesorei, Dr. agr. Dacei Siliņai par iecietību un morālo atbalstu laikā, kad, pildot darba pienākumus, gatavoju promocijas darbu, paldies par motivēšanu, padomiem, uzticību;
 - profesorei, Dr. agr. Gunitai Bimšteinei par ieteikumiem valodas uzlabošanai darbā un padomiem;
 - kolēģei, Ph.D. Agritai Švartai par padomiem un motivēšanu promocijas darba izstrādes nobeiguma posmā;
 - asoc. prof., Ph.D. Kristapam Kļaviņam par padomiem un palīdzību angļu valodas tulkojumiem;
 - absolventiem Reinim Lazdānam, Kristapam Lisovskim, Kristapam Zemītim, Edgaram Bajinskim par dalību izmēģinājumā datu iegūšanā;
 - Marikai Reihai, latviešu valodas skolotājai, manai tantei, par latviešu valodas rediģēšanu promocijas darbā un kopsavilkumā;
 - draugam Sandim par atbalstu un motivēšanu darba izstrādes nobeigumā, un rūpīgu iedziļināšanos darba noformēšanā
 - ģimenei, radiem, draugiem, kuri atbalstīja, palīdzēja ar bērnu pieskatīšanu un arī atsevišķu datu ievākšanā, kā arī juta līdzī un motivēja.
- ♥ **Vislielākā pateicība maniem vecākiem Inārai un Guntaram Misuļiem, māsām Alisei un Agatei, manām mīļajām meitiņām Laurai un Dārtai un viņu tētiņam Armandam Dargužim par pacietību un atbalstu vairāk nekā sešu gadu garumā, lai šis darbs taptu!**

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Abbas F., Hammad H. M., Ishaq W., Farooque A. A., Bakhat H. F., Zia Z. Fahad S., Farhad W., Cerdà A. (2020). A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, Vol. 268, No. 110319.
2. Aksouh-Harradj N.M., Campbell L.C., Mailer R.J. (2006) Canola response to high and moderately high temperature stresses during seed maturation. *Canadian Journal of Plant Science*, Vol. 86, p. 967–980.
3. Ali S., Tedone L., Verdini L., Cazzato E., De Mastro G. (2019). Wheat Response to No-Tillage and Nitrogen Fertilization in a Long-Term Faba Bean-Based Rotation. *Agronomy*, Vol. 9, *Issues* 2, No. 50, p. 4468–4481.
4. Alluvione F., Moretti B., Sacco D., Grignani C. (2011). EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy*, Vol. 36, Iss.7, 4468–4481.
5. Al-Rifaae M., Turk M., Al Tawaha A.R. (2004). Effect of Seed Size and Plant Population Density on Yield and Yield Components of Local Faba Bean (*Vicia faba* L. Major). *Int. J. Agri. Biol.*, Vol. 6, No. 2, p. 294 – 299.
6. Alskaf K., Mooney S. J., Sparkes D. L., Wilson P., Sjögersten S. (2021). Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil & Tillage Research*, Vol. 206, No.104803.
7. Andert S., Bürger J., Stein S., Gerowitt B. (2016). The Influence of Crop Sequence on Fungicide and Herbicide Use Intensities in North German Arable Farming. *European Journal of Agronomy*, Vol. 77, p. 81–89.
8. Arata L., Fabrizi E., Sckokai P. (2020). A worldwide analysis of trend in crop yields and yield variability: evidence from FAO data. *Econ. Model.* Vol, 90, p. 190–208.
9. Arvidsson, J. (2010). Energy use efficiency in different tillage systems for winter wheat on a clay and silt loam in Sweden. *European Journal of Agronomy*, Vol. 33, Iss. 3, p. 250–256.
10. Aschi A., Aubert M., Aiah-Anglet W., Nelieu S., Dubois C, Akpa-Vinceslas M., Trinsoutrou-Gattin I. (2017). Introduction of Faba bean in crop rotation: Impacts on soil chemical and biological characteristics, *Applied Soil Ecology*, Vol. 120, p. 218 – 228.
11. Atsbehaa M.D., Flaten O., Fjerdingsby Olsen H., Kjos N.P., Kidane A., Skugor A., Prestløkken E., Øverland M. (2020). Technical and economic performance of alternative feeds in dairy and pig production. *Livestock Science*, Vol. 240, p.104123.
12. Bailey K.L., Gossen B.D., Derksen D.A., Watson P.R. (2000). Impact of agronomic practices and environment on diseases of wheat and lentil on southeastern Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* Vol. 80, p. 917–927.
13. Baker J. M., Ochsner T. E., Venterea R. T., Griffis T. J. (2007). Tillage and soil carbon sequestration —What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 118, 1–5.
14. Balodis I., Balodis O. (2013). Ziemas rapša audzēšana – zemnieku saimniecības „Azaidi” pieredze. No: Zinātniski praktiskā konference Lauksaimniecības zinātne veiksmīgai saimniekošanai. Febr. 2013, 224.-227. lpp.
15. Balodis O. (2017). *Agroekoloģisko faktoru ietekme uz ziemas rapša (Brassica napus L.) augšanu un attīstību*: Promocijas darbs Dr. agr. zinātniskā grāda iegūšanai. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Jelgava, LLU. 111 lpp.
16. Balodis O., Bartuševics J., Gaile Z., (2011). Biomass yield of different plants for biogas production. *In: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*, Vol. 1, p. 238–245
17. Balodis O., Gaile Z. (2015). Changes of Winter Oilseed Rape Plant Survival During Vegetation. *Rural Sustainability Research*, Vol. 33, Iss. 328, p. 35–45.
18. Balodis O., Gaile Z. (2016). Sowing date and rate effect on winter oilseedrape (*Brassica napus* L.) yield componens' formation. *In: Proceedings of the Latvian Academy of*

- Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences.* Vol. 70, No. 6 (705), p. 384–392.
19. Bankina B., Bimšteine G., Arhipova I., Kaņeps, J., Darguža, M. (2021). Impact of Crop Rotation and Soil Tillage on the Severity of Winter Wheat Leaf Blotches. *Rural Sustainability Research*, Vol. 45, Iss. 340, p. 21–27.
 20. Bankina B., Darguža M., Bimšteine G., Kaņeps J. (2021). Augsnes apstrādes ietekme uz kviešu lapu plankumainību attīstību. *No: "Līdzsvarota lauksaimniecība" zinātniski praktiskās konferences tēzes*, Jelgava, Latvija, 25.-26. febr., 2021. LLU LF, LAB, LLMZA: Jelgava, 20. lpp.
 21. Bankina B., Kaņeps J., Darguža M., Bimšteine G. (2022). Development of wheat leaf blotches depending on soil tillage system. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1096, art. No. 012002
 22. Barłóg P., Grzebisz W., Łukowiak R. (2019). Agronomy The Effect of Potassium and Sulfur Fertilization on. *Agronomy Journal*, Vol. 9(209), p. 1–18.
 23. Batjes N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. Vol. 47. Iss. 2, p. 151–163
 24. Bauer A., Hrbek R., Amon B., Kryvoruchko V., Bodiroza V., Wagentristl H., Zollitsch W., Liedmann B., Pfeffer M., Friedl A., Amon T. (2007). Potential of biogas production in sustainable biorefinery concepts. *In: 15th European Biomass Conference and Exhibition proceedings*, ETA-Florence, Italy and WIP-Munich, Germany, 7–11.5.2007.
 25. *BBCH Monograph* (2001). Ed by U. Meier. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 158 p.
 26. *BBCH Monograph. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants* (2018). Meier, U., Ed.; Julius Kühn-Institut: Quedlinburg, Germany, pp. 18–22. 10.5073/20180906-074619.
 27. Bečka D., Bečková L., Kuchtová P., Cihlář P., Pazderů K., Mikšík V., Vašák J. (2021). Growth and yield of winter oilseed rape under strip-tillage compared to conventional tillage. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 67 (2), p. 85–91.
 28. Behnke G. D., Zuber S. M., Pittelkow C. M., Nafziger E. D., Villamil M. B. (2018). Long-term crop rotation and tillage effects on soil greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 261, p. 62–70.
 29. Beillouin D., Trépos R., Gauffreteau A., Jeuffroy M. H. (2018). Delayed and reduced nitrogen fertilization strategies decrease nitrogen losses while still achieving high yields and high grain quality in malting barley. *European Journal of Agronomy*, Vol. 101, p. 174–182.
 30. Bennett A.J., Bendinger D., Hilton G.D., Chandl S., Mills P. (2012). Meeting the demand for crop production: The challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological Reviews*, Vol. 87, p. 52–57.
 31. Bennett A.J., Hilton S., Chandler D., Mill, P., Bending G.D. (2020). Relationships between yield, rotation length, and abundance of *Olpidium brassicae* and *Pyrenochaeta* sp. in the rhizosphere of oilseed rape. *Applied Soil Ecology*. Vol. 147, art. No. 103433.
 32. Berry P.M., Sterling M., Spink J.H., Baker C.J., Sylvester-Bradley R., Mooney S.J., Tams A.R., Ennos A.R. (2004). Understanding and reducing lodging in cereals. *Advances in Agronomy*, Vol. 84, p. 217–271
 33. Biberdzic M., Barac S., Lalevic D, Djikic A., Prodanovic D. (2019). Influence of Soil Tillage System on Soil Compaction and Winter Wheat Yield, *Chilean journal of agricultural research*, Vol. 80, No. 1, p. 80–89.
 34. Blanco-Canqui H., Benjamin J.G. (2013). Impacts of Soil Organic Carbon on Soil Physical Behavior. *In: Advances in Agricultural Systems Modeling*, Chapter 2 (eds S. Logsdon, M. Berli and R. Horn), p.11–40.
 35. Bleidere M., Damšklane M., Zute S. (2020). Dažādu sējas tehnoloģiju ietekme uz vasaras miežu graudu ražu. *No: "Līdzsvarota lauksaimniecība" zinātniski praktiskās konferences tēžu krājums*, LLU:Jelgava, 20.lpp.

36. Bleidere M., Grunte I. (2019). Atšķirīgu meteoroloģisko apstākļu ietekme uz vasaras miežu šķirņu graudu ražu un kvalitāti. *No: "Līdzsvarota lauksaimniecība"* zinātniski praktiskās konferences tēžu krājums, LLU:Jelgava, 18.lpp.
37. Blunk S., Bussell J., Sparkes D., de Heer M.I., Mooney S.J., Sturrock C.J. (2021). The effects of tillage on seed-soil contact and seedling establishment. *Soil and Tillage Research*, Vol. 206, art. No. 104757, <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104757>.
38. Boehmel C., Lewandowski I., Claupein W. (2008). Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural Systems*, Vol. 96(1–3), p. 224–236.
39. Bolinder M. A., Angers D. A., Gregorich E. G., Carter M. R. (1999). The response of soil quality indicators to conservation management. *Can. J. Soil Sci.* Vol. 79: p. 3745.
40. Bot A., Benites J. (2005). The importance of soil organic matter key to drought-resistant soil and sustained food and production. FAO Soils Bulletin 80, FAO, Rome.
41. Brask M., Lund P., Weisbjerg M.R., Hellwing A.L.F, Poulsen M., Larsen M.K., Hvelplund T. (2013). Methane production and digestion of different physical forms of rapeseed as fat supplements in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Vol. 96, No. 4, p. 2356–2365.
42. Brennan S., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F. Et al (2012).. No-till in northern, western and south western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, Vol. 118, p.66–87
43. Brooker T., Horrocs A., Chynowth R., Pyke N. (2018). Challenges of retaining uniformity of soil fertility in a long-term cultivation experiment in Canterbury, New Zealand. *In: Abstracts of conference "The future of long-term experiments in agriculturam science"* 21–23 May 2018, Rothamsted, United Kingdom, p. 29.
44. Budzyński W.S., Jankowski K.J., Jarocki M. (2015). An analysis of the energy efficiency of winter rapeseed biomass under different farming technologies. A case study of a large-scale farm in Poland. *Energy*, 90, p. 1272–1279.
45. Busari M.A, Kukul S.S., Kaur A., Bhat R., Dulazi A.A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment | Elsevier Enhanced Reader. *International Soil and Water Conservation Research*, Vol. 3, p. 119–129.
46. Cacho J.F., Negri M.C., Zumpf C.R., Campbell P. (2018). Introducing perennial biomass crops into agricultural landscapes to address water quality challenges and provide other environmental services. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, Vol. 7(2), p. 1–11, e275. DOI: 10.1002/wene.275.
47. Cárcer P, Sanginés, Sinaj S., Santonja M., Fossati D., Jeangros B. (2019). Long-Term Effects of Crop Succession, Soil Tillage and Climate on Wheat Yield and Soil Properties. *Soil and Tillage Research* Vol. 190, p.209–219.
48. Castellari M.P., Poffenbarger H.J., Van Sanford D.A. (2023). Sulfur fertilization effects on protein concentration and yield of wheat: A meta-analysis. *Field Crops Research*, Vol. 302, art. No. 109061,
49. Chatskikh D., Olesen J.E. (2007). Soil tillage enhanced CO₂ and N₂O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil & Tillage Research*, Vol. 97, p. 5–18.
50. Chaudhary N., Dangi P., Khatkar B.S. (2016). Relationship of molecular weight distribution profile of unreduced gluten protein extracts with quality characteristics of bread. *Food Chem.* 210, p. 325–331.
51. Chen C., Chaudhary A., Mathys A.(2019). Dietary change scenarios and implications for environmental, nutrition, human health and economic dimensions of food sustainability. *Nutrients*, Vo. 11, Art. No. 856.
52. Chenu C., Barre P., Christensen B., Houot S., Macdonald A., Katterer T., Romanenkov V, van Oort F. (2018). Decadal and centennial scale stable soil organic carbon: insights from long term bare fallows. *In: Abstracts of conference "The future of long-term experiments in agriculturam science"* 21–23 May 2018", Rothamsted, United Kingdom, p. 29.

53. Christen O, Sieling K. (1995). Effect of different preceding crops and crop rotations on yield of winter oil-seed rape (*Brassica napus* L.). *J Agron Crop Sci.* Vol. 174, p. 265–271.
54. Christen O., Evans E., Nielsson C., Haldrup C. (1999). Oilseed rape cropping systems in NW Europe. *In: proceedings of the 10th International rapeseed congress.* Canberra, Australia, p.
55. Cooper M., Woodruff D.R, Phillips I.G, Basford K.E, Gilmour A.R (2001). Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat. *Field Crops Research*, Vol. 69, Iss. 1, p. 47-67.
56. Cordeau S., Baudron A., Adeux G. (2020). Is Tillage a Suitable Option for Weed Management in Conservation Agriculture? *Agronomy*; Vol.10, Iss. 11, p.:1746.
57. Cossani C. M., Sadras V. O. (2021). Nitrogen and water supply modulate the effect of elevated temperature on wheat yield. *European Journal of Agronomy*, Vol. 124, No. 126227.
58. Costa M.P., Reckling M., Chadwick D., Rees R.M., Saget S., Williams M., Styles D. (2021). Legume-modified rotations deliver nutrition with lower environmental impact. *Front. Sustain. Food Syst.* Vol. 5., art. No. 656005
59. Crepon K., Marget P., Peyronnet C., Carrouee B., Paolo A., Duc G. (2010). Nutritional Value of Faba Bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research*, Vol. 115, 329–339.
60. Dai J., Bean B., Brown B., Bruening W., Edwards J., Flowers M., Karow R., Lee C., Morgan G., Ottman M., Ransom J., Wiersma J. (2016). Harvest index and straw yield of five classes of wheat. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 85, 223–227.
61. De Mastro F., Traversa A., Brunetti G., Debiase G., Coccozza C., Nigro F. (2020). Soil culturable microorganisms as affected by different soil managements in a two year wheat-faba bean rotation. *Applied Soil Ecology*, Vol. 149, No. 103533.
62. Demirbas A. (2001). Relationships between lignin contents and heating values of biomass. *Energy Conversion & Management*, Vol. 42, p. 183–188.
63. Demirbas A. (2002). Relationships Between Heating Value and Lignin, Moisture, Ash and Extractive Contents of Biomass Fuels. *Energy Exploration & Exploitation*, Vol. 20, p.105–111.
64. Derkx A.P., Mares D. J. (2020). Late-maturity α -amylase expression in wheat is influenced by genotype, temperature and stage of grain development. *Planta*, Vol. 251, Art. No. 51.
65. Dimitrijević A., Gavrilović M., Ivanović S., Mileusnić Z., Miodragović R., Todorović S. (2020). Energy use and economic analysis of fertilizer use in wheat and sugar beet production in Serbia. *Energies*, Vol. 13, Iss.9., No. 2361
66. Dury J., Garcia F., Reynaud A., Bergez J.-E. (2013). Cropping-plan decision-making on irrigated crop farms: A spatio-temporal analysis. *European Journal of Agronomy*, Vol. 50, p. 1–10.
67. Ellert B.H., Janzen H.H., VandenBygaart A.J., Bremer E. (2007). Measuring Change in Soil Organic Carbon Storage. *In: Soil sampling and methods of analysis 2nd Edition*, ed. by. M.R. Carter and E.G. Gregorich. Boca CRC Press Taylor & Francis Group: USA. P. 25–38.
68. Erol M., Haykiri-Acma H., Küçükbayrak S. (2010). Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. *Renewable Energy*, Vol.35, Iss. (1), p. 170–173.
69. Evans J., Scott G., Lemerle D., Kaiser A., Orchard B., Murray G.M., Armstrong E.L. (2003). Impact of legume “break” crops on the yield and grain quality of wheat and relationship with soil mineral N and crop N content. *Aust. J. Agric. Res.* 54, 777–788.
70. Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P. (2012). Using of The Hydrothermal coefficient (HTC) for Interpretation of Distribution of Non-native Three Species in Latvia on Example of Cultivated Species of Genus *Tilia*. In. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis.* 12. 2012-1407.

71. Farooq M., Flower K.C., Jabran K., Wahid A., Siddique K.H.M. (2011). Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. *Soil Tillage Res.*, Vol. 117, 172–183.
72. Feng Q., An C., Chen Z., Wang Z. (2020). Can deep tillage enhance carbon sequestration in soils? A meta-analysis towards GHG mitigation and sustainable agricultural management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 133, No.10293,
73. Fernandez M.R., Zentner R.P., Schellenberg M.P., Aladenola O., Leeson J.Y., St Luce M., McConkey B.G., Cutforth H. (2019). Soil fertility and quality response to reduced tillage and diversified cropping under organic management. *Agronomy Journal*, Vol. 111, Issue 2, p. 781–792.
74. Fetere V., Strazdiņa V. (2014). Ziemas kviešu šķirņu novērtējums Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūtā 2011.–2013. gadā. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība, konferences rakstu krājums*, 20. – 21.02.2014. Jelgava: LLU, 65.–70. lpp.
75. Findlater K.M., Kandlikar M., Satterfield T. (2019). Misunderstanding conservation agriculture: challenges in promoting, monitoring and evaluating sustainable farming. *Environ. Sci. Policy*, Vol. 100, p. 47–54
76. Fischer R.A. (2008). The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Res.* Vol. 105, p. 15–21.
77. Friedl A., Padouvas E., Rotter H., Varmuza K. (2005). Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Analytica Chimica Acta*, 544, p. 191–198.
78. Gaile Z., Balodis O., Urbāns R., Pelēce I. (2013). Ziemas kviešu sējas laiks Latvijā 20. un 21. gadsimtā. *No: Zinātniski praktiskā konference „Lauksaimniecības zinātne veiksmīgai saimniekošanai”* (2013. gada februāris). Jelgava, LLU, 36.– 40. lpp.
79. Gan Y.T., Miller P.R., McConkey B.G., Zentner R.P., Stevenson F.C., McDonald C.L. (2003). Influence of diverse cropping sequences on durum wheat yield and protein in the semiarid northern Great Plains. *Agron. J.*, Vol. 95, p. 245–252.
80. Gastal, F., Lemaire, G., Durand, J. L., & Louarn, G. (2015). Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. *In: Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy: Second Edition*, p. 161–206.
81. Gawęda D, Haliniarz M. (2022). The Yield and Weed Infestation of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg) in Two Tillage Systems. *Agriculture*. Vol. 12(4), art. No. 563.
82. Gawęda D., Haliniarz M. (2021). Grain yield and quality of winter wheat depending on previous crop and tillage system. *Agriculture (Switzerland)*, Vol. 11(2), art. No. 133, p. 1–16.
83. Gazan R., Maillot M., Reboul E., Darmon N. (2021). Pulses Twice a Week in Replacement of Meat Modestly Increases Diet Sustainability. *Nutrients*, Vol. 13., article no. 3059.
84. Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B., Mottet, A., Opio C.; Dijkman J.; Falcucci A.; Tempio G. (2013). Tackling Climate Change Through Livestock – A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities. Rome: FAO. P. 139.
85. Ghaley B. B., Rusu T., Sandem T., Spiegel H., Menta C., Visioli G. (2018). Assessment of benefits of conservation agriculture on soil functions on arable production systems in Europe. *Sustainability*, Vol. 10, No. 3, p. 794.
86. Ghorbani R., Mondani F., Amirmoradi S., Feizi H., Khorramdel S., Teimouri M., Sanjani S., Anvarkhah S., Aghel H. (2011). A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, Vol. 88, Iss.1, p. 283–288.
87. Godfray H.C.J., Aveyard P., Garnett T., Hall J.W., Key T.J., Lorimer J., Pierrehumbert R.T., Scarborough P., Springmann M., Jebb S.A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science* , Vol. 361, aam5324
88. Guinet M., Nicolardot B., Voisin A.S. (2019). Multifunctional analysis of ecosystem services relative to the nitrogen fluxes provided by ten legume crops. *In: “European*

- conference on crop diversification 2019”, *book of abstracts*, Budapest, Hungary., p. 134–135.
89. Gupta R.K., Ladha J.K. (2010). Placement effects on rice residue decomposition and nutrient dynamics on two soil types during wheat cropping in rice–wheat system in north-western India. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, Vol. 88, p. 471–480.
 90. Haberl H., Erb K. H., Krausmann F., Gaube V., Bondeau A., Plutzer C., Gingrich S., Lucht W., Fischer-Kowalski M. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth’s terrestrial ecosystems. *In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* Vol. 104(31), p. 12942–12947.
 91. Haddaway N. R., Hedlund K., Jackson L. E., Kätterer T., Lugato E., Thomsen I. K., Jørgensen H.B., Isberg, P. E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, Vol. 6, No. 30.
 92. Hadjichristodoulou A. (1990). Stability of 1000-grain weight and its relation with other traits of barley in dry areas. *Euphytica*. Vol. 51, p. 11–17.
 93. Hancock G.R., Wells T. (2019). Predicting soil organic carbon movement and concentration using a soil erosion and Landscape Evolution Model. *Geoderma*, Vol. 382, Art. No. 114759.
 94. Hansen E. M., Munkholm L. J., Olesen J. E. (2011). N-utilization in non-inversion tillage systems. *Soil and Tillage Research*. May 2011, p. 55.-60.
 95. Hegewald H., Wensch-Dorendorf M., Sieling K., Christen O. (2018). Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. *European Journal of Agronomy*. Nov. 2018, p. 63-77.
 96. Heikkinen J., Ketoja E., Nuutinen V., Regina, K. (2013). Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Glob Change Biol*, Vol. 19, p. 1456-1469.
 97. Henn K., Zhang X., Thomsen M., Rinnan Å, Bredie W.L.P. (2022). The versatility of pulses: Are consumption and consumer perception in different European countries related to the actual climate impact of different pulse types? *Future Foods*, Volume 6, 2022, art. No. 100202, <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100202>.
 98. Hermle S., Anken T., Leifeld J., Weisskopf P. (2008). The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions, *Soil and Tillage Research*, Vol. 98, Issue 1, p. 94-105.
 99. Hernanz J.L., Sánchez-Girón V., Navarrete L., Sánchez M.J. (2014). Long-term (1983-2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. *Field Crops Research*, Vol. 166, p. 26–37.
 100. Hobbs P. R., Sayre K., Gupta, R. (2007). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 363(1491), p. 543–555.
 101. Hoyle A., Brennan M., Jackson G.E., Hoad S. (2019). Increased grain density of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) is associated with an increase in grain nitrogen. *Journal of Cereal Science*, Vol. 89, art. No. 102797.
 102. Holland, J., Brown, J. L., Mackenzie, K., Neilson, R., Piras, S., & Mckenzie, B. M. (2021). Over winter cover crops provide yield benefits for spring barley and maintain soil health in northern Europe. *European Journal of Agronomy*, 130, 1161–0301.
 103. Hong Y., Zhang G. (2020). The influence of drought stress on malt quality traits of the wild and cultivated barleys. *Journal of Integrative Agriculture*. Vol. 19 is. 8, p. 2009 – 2015.
 104. Hossard L., Souchere V., Jeuffroy M. H. (2018). Effectiveness of field isolation distance, tillage practice, cultivar type and crop rotations in controlling phoma stem canker on oilseed rape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 252, p. 30-41.
 105. Hu C., Sadras V. O., Lu G., Zhang P., Han Y., Liu L., Xie J., Yang X., Zhang S. (2021). A global meta-analysis of split nitrogen application for improved wheat yield and grain protein content. *Soil and Tillage Research*, Vol. 213, No 105111.

106. Hülsbergen K.J., Feil B., Diepenbrock W. (2002). Rates of nitrogen application required to achieve maximum energy efficiency for various crops: results of a long-term experiment. *Field Crops Research*, Vol. 77, Iss. 1, p. 61–76.
107. Jackson L., Williams J. (2006). Growth and Development of Small Grains. *In: Small Grain Production Manual*, Part 2. University of California. Publication No. 8165, p. 1 – 7.
108. Jankauskas B., Jankauskienė G., Fullen M.A. (2007). Relationships between soil organic matter content and soil erosion severity in Albeluvisols of the Žemaičiai Uplands. *Ekologija*, Vol. 53. No. 1. p. 21–28.
109. Janković S., Kuzevski J., Radišić R., Rakic S., Ljiljanic N. (2013). Economic effects of winter wheat production on farms in Republic of Serbia in 2006 and 2011. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 2013, Vol. 50, Iss.1, p. 36–42
110. Jansone I., Gaile Z. (2012). Cereal grain as alternative fuel in Latvia. *In: Proceedings of the international scientific conference, Renewable Energy and Energy Efficiency*, 28–30 May, 2012. Jelgava: LLU. P. 33–38.
111. Jansone I., Gaile Z. (2013). Graudi kā izejviela bioetanola. *No: Zinātniski praktiskās konferences rakstu krājums "Lauksaimniecības zinātne veiksmīgai saimniekošanai"*, 21–22 February, 2013, Vol. 1, p. 74–78. Jelgava: LLU.
112. Jansone I., Gaile Z. (2015). Heat of winter cereal crops. *In Scientific conference proceedings, Research for Rural Development*, 13–15 May, 2015, Vol. 1, (p. 40–44). Jelgava: LLU.
113. Jat S.L., Parihar C.M., Singh A.K., Nayak H.S., Meena B.R., Kumar B., Parihar M. D., Jat M.L. (2019). Differential response from nitrogen sources with and without residue management under conservation agriculture on crop yields, water-use and economics in maize-based rotations. *Field Crop Res.* Vol. 236, p. 96–110.
114. Jensen E.A., Peoples M.B., Hauggaard-Nielsen H. (2010). Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, Vol. 115, p. 203–216.
115. Jin V.L., Wienhold B.J., Mikha M.M., Schmer M.R. (2021). Cropping system partially offsets tillage-related degradation of soil organic carbon and aggregate properties in a 30-yr rainfed agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, Vol. 209, p.104968.
116. Johns T., Angove M., Wilkens S. (2015). Measuring soil organic carbon: which technique and where to from here? *Soil Research*, Vol. 53, p. 717-736.
117. Kadziene G., Suproniene S., Auskalniene O., Pranaitiene S., Svegzda P., Versulienė A., Ceseviciene J., Janusauskaite D., Feiza V. (2020). Tillage and Cover Crop Influence on Weed Pressure and Fusarium Infection in Spring Cereals. *Crop Protection*, Vol. 127, No.
118. Kaporaju P., Serrano M., Thomsen A.B., Kongjan P., Angelidaki I. (2009). Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept. *Bioresource Technology*, Vol. 100, p. 2562 – 2568.
119. Karkliņš A., Ruža A. (2013). *Lauka kultūraugu mēslošanas normatīvi*. Jelgava: LLU. 55. lpp.
120. Karlen D.L., Cambardella C.A., Kovar J.L., Colvin T.S., (2013). Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. *Soil Tillage Res.* 133, p. 54–64.
121. Karlen D.L., Kovar J.L., Cambardella C.A., Colvin T.S. (2013). Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. *Soil Tillage Res.*, 130 (2013), pp. 24-41.
122. Kassam A., Friedrich T., Derpsch R. (2019). Global spread of conservation agriculture. *Int. J. Environ. Stud.*, Vol. 76 (1), p. 29–51.
123. Karkliņš A. (2012). *Zeme, augsne, mēslojums: Terminu skaidrojošā vārdnīca*. Jelgava: LLU. 477 lpp.
124. Karkliņš A., Līpenīte I., Ruža A. (2018). Augsnes agroķīmisko īpašību dinamika Poļu izmēģinājuma laukā. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība, zinātniski praktiskās konferences tēžu krājums*. LLU: Jelgava, 16. lpp.

125. Khan H.R., Paull J.G., Siddique K.H.M., Stoddard F.L. (2010). Faba bean breeding for drought-affected environments: A physiological and agronomic perspective. *Field Crops Research*. Vol. 115, p. 279–286.
126. Kibite S., Evans L.E. (1984). Causes of negative correlations between grain yield and grain protein concentration in common wheat. *Euphytica*, Vol. 33, p. 801–810.
127. Kirkegaard J.A., Gardner P.A., Angus J.F., Koetz E. (1994). Effect of Brassica break crops on the growth and yield of wheat. *Aust. J. Agric. Res.* Vol. 45, 529–545.
128. Kirkegaard J.A., Hocking P.J., Angus J.F., Howe G.N., Gardner P.A., (1997). Comparison of canola Indian mustard and Linola in two contrasting environments. II. Break-crop and nitrogen effects on subsequent wheat crops. *Field Crops Res.*, Vol. 52, p. 179–191.
129. Kirkegaard J.A., Howe G.N., Pitson G. (2001). Agronomic interactions between drought and crop sequence. *In: Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference Hobart*.
130. Koga, N. (2008). An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 125, p. 101–110.
131. Konavko A., Ruža A. (2017). Augšnes apstrādes veida un augmaiņas ietekme uz ziemas kviešu graudu kvalitāti. *No: "Līdzsvarota lauksaimniecība", zinātniski praktiskās konferences rakstu krājums*, 2017. gada 23. februārī, Jelgava: LLU, 50.–54. lpp.
132. Köpke U., Nemecek T. (2010). Ecological services of faba bean. *Field Crops Research*, 115(3), p. 217–233.
133. Kowalska G., Kowalski R., Hawlena J., Rowiński R. (2020). Seeds of oilseed rape as an alternative source of protein and minerals. *Journal of Elementology*. Vol. 25 iss. 2, p. 513 – 522.
134. Kroģere R., Liepiņš J., Ausmane M., Melngalvis I. (2005). Augšnes pamatapstrādes minimalizācija augsekā I Augsekas produktivitāte. *No: LLU raksti*, Nr. 13(308), p. 18–25.
135. Kumar N., Nath C. P. (2019). Impact of zero-till residue management and crop diversification with legumes on soil aggregation and carbon sequestration. *Soil and Tillage Research*, Vol. 189, p. 158–167.
136. Kumar R, Pandey S, Pandey A. (2006). Plant roots and carbon sequestration. *Curr Sci* 2006; Vol. 91, iss. 7:, p. 85–90.
137. Kumari M., Singh V.P., Tripathi R., Joshi A.K. (2007). Variation for staygreen trait and its association with canopy temperature depression and yield traits under terminal heat stress. *In: Wheat Production in Stressed Environments*, ed. By Buck H.T., Nick J.E., Salmon N., Vol. 12, p. 357 – 363
138. Ladha J.K., Peoples M.B., Reddy P.M., Biswas J.C., Bennett A., Jat M.L., Krupnik T.J. (2022). Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems. *Field Crops Research*, Vol. 283, art. No. 108541,
139. Lafond G.P., May W.E., Stevenson F.C., Derksen D.A. (2006). Effects of tillage systems and rotations on crop production for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research*, Vol. 89, Iss. 2, p. 232–245.
140. Laidig F., Piepho HP., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. (2017). Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theor Appl Genet*, Vol. 130, p. 223–245.
141. Lal R. (1998). Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Crit. Rev. Plant Sci*. Vol. 17, p. 319–464.
142. Lal R. (2019). Accelerated Soil erosion as a source of atmospheric CO₂. *Soil and Tillage Research*, Vol. 188., p. 35–40.
143. Lal R., Kimble J. M. (1997). Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 49 (1–3), p. 243–253.
144. Latifmanesh, H., Deng, A., Nawaz, M. M., Li, L., Chen, Z., Zheng, Y., Wang, P., Song, Z., Zhang, J., Zheng, C., & Zhang, W. (2018). Integrative impacts of rotational tillage on

- wheat yield and dry matter accumulation under corn-wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*, 184, 100–108.
145. *Latvijas augšņu noteicējs* (2009). A. Kārkliņa red. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte. 235 lpp.
 146. Lejiņš A., Lejiņa B. (2002). Pētījumi par augmaiņu un nezāļu apkaršanu ziemas rudzos un miežos augseku stacionārā Skrīveros no 1997.–2000. g. *LLMZA. Agronomijas vestis*, Nr. 4., Jelgava, LLU, 102.–106. lpp.
 147. Li Y., Li Z., Cui S., Jagadamma S., Zhang Q., (2019). Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta – analysis. *Soil Tillage Res.* Vol. 194, art. No. 104292.
 148. Li Z., Nie X., Chang X., Liu L., Sun L. (2016). Characteristics of soil organic carbon loss by water erosion on the Loess Plateau in China. *PLoS One*, Vol. 11, art. no. e0154591
 149. Linina A., Ruža A. (2018). The influence of cultivar, weather conditions and nitrogen fertilizer on winter wheat grain yield. *Agronomy Research*, Vol. 16, Iss. 1, p. 147–156
 150. Litke L., Gaile Z., Ruža A. (2017). Nitrogen fertilizer influence on winter wheat yield and yield components depending on soil tillage and forecrop. *In: Research for rural development 2017 conference proceedings*, Jelgava:LLU, Vol. 2, p. 54 –61
 151. Litke L., Gaile Z., Ruža A. (2019a). Effect of Nitrogen Rate and Forecrop on Nitrogen Use Efficiency in Winter Wheat (*Triticum aestivum*). *In. Biosystems Engineering, book of abstracts*, Tartu, Estonia, 8th – 10th May, 2019, p. 127.
 152. Litke L., Gaile Z., Ruža A. (2019b). Effect of nitrogen rate use efficiency in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *In: "Research for Rural Development" Annual 25th International Scientific Conference Proceedings*, Vol. 2. p. 43–49
 153. Liu X., Lehtonen H., Puroila T., Pavlova Y., Rötter R., Palosuo, T. (2016). Dynamic economic modelling of crop rotations with farm management practices under future pest pressure. *Agricultural Systems*, Vol. 144, p. 65–76.
 154. Lugato E., Bampa F., Panagos P., Montanarella L., Jones, A. (2014). Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Glob Change Biol*, Vol. 20: p. 3557-3567.
 155. Lupwayi, N.Z., Kennedy, A.C., 2007. Grain legumes in Northern Great Plains: impacts on selected biological soil processes. *Agronomy Journal*, Vol. 99, p. 1700–1709.
 156. Ma S. C, Zhang W.Q., Duan A.W., Wang T.C. (2019). Effects of controlling soil moisture regime based on root-sourced signal characteristics on yield formation and water use efficiency of winter wheat. *Agricultural Water Management*, Vol. 221, p. 486 – 492.
 157. Machado S., Petrie S., Rhinhart K., Qu. A. (2006). Long-term continuous cropping in the Pacific Northwest: Tillage and fertilizer effects on winter wheat, spring wheat, and spring barley production, *Soil and Tillage Research*, Volume 94, Issue 2, p. 473-481.
 158. Macholdt J., Piepho H. P., Honermeier B., Perryman S., Macdonald A., Poulton P. (2020). The effect of cropping sequence, fertilization and straw management on the yield stability of winter wheat (1986–2017) in the Broadbalk wheat experiment, Rothamsted, UK. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 158, Issue 1–2, p. 65–79.
 159. MacLaren C., Labuschagne J., Swanepoel S.A. (2021). Tillage practices affect weeds differently in monoculture vs. Crop rotation. *Soil and Tillage Research*, Vol. 205, art. No. 104795.
 160. MacWilliam S., Wismer M., Kulshreshtha S. (2014). Life cycle and economic assessment of Western Canadian pulse systems: The inclusion of pulses in crop rotations. *Agricultural Systems*, Vol. 123, p. 43–53.
 161. Mayer M. L., Veal M. W., Godfrey III E. E., Chinn M. S. (2021). Response of canola yields from marginal lands managed with tillage practices. *Journal of Agriculture and Food Research*. June 2021, art. No. 100133.

162. Malecka I., Blecharczyk A., Sawinska Z., Dobrzeński T. (2012). The effect of various long-term tillage systems on soil properties and spring barley yield. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Vol. 36: No. 2, Article No. 8.
163. Maļeckā S., Stramkale V., Vaivode A., Damškalne M. (2020). Latvijā selekcionēto un plašāk audzēto miežu šķirņu raža un kvalitāte. *No: "Līdzsvarota lauksaimniecība" zinātniski praktiskās konferences rakstu krājums*, 20.02.20220, Jelgava: LLU, 15.–20. lpp.
164. Mangin A., Brûlé-Babel A., Flaten D., Wiersma J., Lawley Y. (2022). Canopy management: the balance between lodging risk and nitrogen use for spring wheat production in the Canadian Prairies. *Can. J. Plant Sci.*, Vol. 102 (5), p. 984-1000.
165. Mary B., Clivot H., Blaszczyk N., Labreuche J., Ferchaud, F. (2020). Soil carbon storage and mineralization rates are affected by carbon inputs rather than physical disturbance: Evidence from a 47-year tillage experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 299, art. No. 106972.
166. Martínez I., Chervet A., Weisskopf P., Sturny W.G., Etana A., Stettler M., Forkman J., Keller T. (2016). Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part I. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil profile, *Soil and Tillage Research*, Vol. 163, p. 141-151.
167. Mazzoncini M., Antichi D., Bene C., Risaliti R. P., Bonari E., Berti A., Marta A., Tei, F. (2016). Soil carbon and nitrogen changes after 28 years of no-tillage management under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, Vol. 77, p. 156–165.
168. McEwen J., Darby R. J., Hewitt M. V., Yeoman D. P. (1990). Effects of field beans, fallow, lupins, oats, oilseed rape, peas, ryegrass, sunflowers and wheat on nitrogen residues in the soil and on the growth of a subsequent wheat crop. *The Journal of Agricultural Science*, Volume 115, Issue 2, p. 209 - 219
169. McVay K.A., Budde J.A., Fabrizzi K., Mikha M.M., Rice C.W., Schlegel A.J. et al (2006). Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 70, p. 434-438
170. Miller P.R., Holmes J.A. (2005). Cropping sequence effects of four broadleaf crops on four cereal crops in the northern Great Plains. *Agron. J.* 97, p. 189–200.
171. Minasny B., McBratney A.B., Wadoux A.M.J.-C., Nyak Akoeb E., Tengku S. (2020). Precocious 19th century soil carbon science. *Geoderma Regional*, Vol. 22, Art. No. e00306,
172. Mitchell J.P., Carter L.M., Reicosky D.C., Shrestha A., Pettygrove G.S., Klonsky K.M., Marcum D.B., Chessman D., Roy R., Hogan P., Dunning L. (2016). A history of tillage in California's Central Valley. *Soil and Tillage Research*, Vol. 157, p. 52–64.
173. Morris N. L., Miller P. C. H., Orson J. H., Froud-Williams R. J. (2010). The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment: A review. *Soil & Tillage Research*, Vol. 108, p. 1–15.
174. Musick J.T., Jones O.R., Stewart B.A., Dusek D.A. (1994). Water-yield relationships for irrigated and dryland wheat in the U.S. Southern Plains. *Agron. J.* Vol. 86, p. 980– 986
175. Naeem M., Farooq M., Farooq S., Ul-Allah S., Alfarraj S., Hussain M. (2021). The impact of different crop sequences on weed infestation and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different tillage systems. *Crop Protection*, Vol. 149, art. No. 105759.
176. Nagy C.N., Jonhston A.M., Wall D.D., Zentner R.P., Gill R. (2000). Influence of tillage method on non-renewable energy use efficiency in the black and gray soil zones. In Regina, *In: Proceedings of the Climate Change Workshop*, Saskatchewan Agriculture and Food, December, 2000. Saskatoon, Sask.
177. Nath U.K., Kim H.T., Khatum K., Park J.-I., Kang K.K., Nou I.-S. (2016). Modification of Fatty Acid Profiles of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Oil for Using as Food, Industrial Feed-Stock and Biodiesel. *Plant Breed. Biotech.*, Vol., 4, No. 2, p. 123–124.

178. Nemeček T., Hayer F., Bonnin E., Carrouée B., Schneider A., Vivier C. (2015). Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. *European Journal of Agronomy*, 65, 40–51.
179. Nikolich L., Milosev D., Seremesich S., Dalovich I., Vuga-Janjatov V. (2012). Diversity of weed flora in wheat depending on crop rotation and fertilisation. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18, 608–615.
180. Ogle S.M., Swan A., Paustian K. (2012). No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration. *Agric. Ecosyst. Environ.*, Vol. 149, p. 37-49.
181. Orzech K, Wanic M, Załuski D. (2021). The Effects of Soil Compaction and Different Tillage Systems on the Bulk Density and Moisture Content of Soil and the Yields of Winter Oilseed Rape and Cereals. *Agriculture*, Vol. 11, Iss. 7, p. Art. No. 666.
182. Oury F.-X., Godin D. (2007). Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes?. *Euphytica*, Vol. 157, p. 45–57.
183. Pagnani G, Galieni A., D'Egidio S., Visioli G., Stagnari F., Pisante M. (2019). Effect of Soil Tillage and Crop Sequence on Grain Yield and Quality of Durum Wheat in Mediterranean Areas. *Agronomy*, Vol. 9, Iss. 9, p. 1–20.
184. Palm C.; Blanco-Canqui H.; DeClerck F.; Gatere L.; Grace P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agric. Ecosyst. Environ.* Vol. 187, p. 87–105.
185. Parihar C.M., Singh A.K., Jat S.L., Dey A., Nayak H.S., Mandal B.N., Saharawat Y.S., Jat M.L., Yadav, O. P. (2020). Soil quality and carbon sequestration under conservation agriculture with balanced nutrition in intensive cereal-based system. *Soil and Tillage Research*, Vol. 2020, p. 104653.
186. Patrick J.W., Stoddard F.L. (2010). Physiology of flowering and grain filling in faba bean. *Field Crops Research*. Vol. 115, p. 234–242.
187. Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L. (2008). Association of growth dynamics, yield components and seed quality in long-term trials covering rapeseed cultivation history at high latitudes. *Field Crops Research*. July 2008, p. 101-108.
188. Pena R.J. (2007). Current and future trends of wheat quality needs. *In: Wheat Production in Stressed Environments*, ed. By Buck H.T., Nick J.E., Salmon N., Vol. 12, p. 411 – 424
189. Peoples M. B., Hauggaard-Nielsen H., Huguenin-Elie O., Jensen E. S., Justes E., Williams M. (2019). The contributions of legumes to reducing the environmental risk of agricultural production. *In: Agroecosystem Diversity*, eds G. Lemaire, P. C. De Faccio Carvalho, S. Kronberg, S. Recous. Academic Press, p. 123–143.
190. Peralta G., Alvarez C. R., Taboada M. Á. (2021). Soil compaction alleviation by deep non-inversion tillage and crop yield responses in no tilled soils of the Pampas region of Argentina. A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, Vol. 211, art. No. 105022.
191. Petersson A., Thomsen M.H., Hauggaard-Nielsen H., Thomsen A.-B. (2007). Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, p. 812–819. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.06.001.
192. Pittelkow C. M., Linquist B. A., Lundy M. E., Liang X., van Groenigen K. J., Lee J., van Kessel C. (2015). When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research*, Vol. 183, p. 156–168.
193. Pittelkow, C.M.; Liang, X.; Linquist, B.A.; van Groenigen, K.J.; Lee, J.; Lundy, M.E.; van Gestel, N.; Six, J.; Venterea, R.T.; van Kessel, C. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 2015, 517, 365–368.
194. Plūduma-Pauniņa I., Gaile Z., Bankina B., Balodis R. (2019). Variety, Seeding Rate and Disease Control Affect Faba Bean Yield Components. *In: Biosystem Engineering conference book of abstracts*, May 8 -10, 2019, Tartu, Estonia, p. 131.

195. Podlesna, A., Cacak-Pietrzak, G. (2008). Effects of fertilization with sulphur on quality of winter wheat: A case study of nitrogen deprivation *In: Sulphur Assimilation and Abiotic Stress in Plants*, Khan N., Singh S., Umar S. (eds.) Springer-Verlag, Berlin, pp. 355–365
196. Poeplau C., Don A. (2013). Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma*, Vol. 192, p. 189–201.
197. Poiša I., Adamovičs A. (2012). Cietes un bioetanola saturs ziemas kviešiem. *No: „Zinātne Latvijas lauksaimniecības nākotnei: pārtika, lopbarība, šķiedra un enerģija” zinātniski praktiskās konferences rakstu krājums* (2012. gada februāris). Jelgava: LLU, 37.–41. lpp.
198. Preissel S., Reckling M., Schläfke N., Zander P., (2015). Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: a review. *Field Crop Res.*, Vol. 175, p. 64–79.
199. Pretty J., Toulmin C., Williams S. (2011). Sustainable intensification in African agriculture. *Int. J. Agric. Sustain.*, Vol. 9, p. 5–24.
200. Protic, R.; Todorovich, G., Selanski, M. Protic, N. (2019). Effect of variety and a seed size on productivity traits of a winter wheat spike. *Azorian J. Agric.* Vol. 6(3), p. 67-73.
201. Pszczolkowska A., Okorski A., Olszewski J., Fordonski G., Krzebietke S., Charenska A. (2018). Effects of pre-preceding leguminous crops on yield and chemical composition of winter wheat grain. *Plant Soil Environment*, Vol. 64, No. 12, p. 592–596.
202. Qi J., Zhao J., Xu Y., Wang Y., Han K. (2018). Segmented heating carbonization of biomass: Yields, property and estimation of heating value of chars. *Energy*, Vol. 144, p. 301–311.
203. Rathke G.W., Christen O., Diepenbrock W. (2005). Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*, Vol. 94, p. 103–113.
204. Răus L., Jităreanu G., Ailincăi C., Pârvan L., Țopa D. (2016). Impact of different soil tillage systems and organo-mineral fertilization on physical properties of the soil and on crops yields in pedoclimatic conditions on Moldovian pedoclimatic condition of Moldovian plateau. *Romanian Agricultural Research*. No. 33, p. 111–123.
205. Reckling M., Döring T. F., Bergkvist G., Stoddard F. L., Watson C. A., Seddig S., Chmielewski F.-M., Bachinger J. (2016). Trade-Offs between Economic and Environmental Impacts of Introducing Legumes into Cropping Systems. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 7, art. 669.
206. Reckling M., Döring T. F., Bergkvist G., Stoddard F. L., Watson C. A., Seddig S., Chmielewski F.-M., Bachinger J. (2018). Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 38, Iss. 6, p. 63.
207. Reckling Moritz, Bergkvist Göran, Watson Christine A., Stoddard Frederick L., Zander Peter M., Walker Robin L., Pristeri Aurelio, Toncea Ion, Bachinger Johann (2016). Trade-Offs between Economic and Environmental Impacts of Introducing Legumes into Cropping Systems. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 7, art. No. 669.
208. Reicosky D.C. (2015). Conservation tillage is not conservation agriculture. *J. Soil Water Conserv.*, Vol. 70, p. 103A-108A
209. Robson M.C., Fowler S.M., Lampkin N.H., Leifert C., Leitch M., Robinson D. (2002). The agronomic and economic potential of break crops for ley/arable rotations in temperate organic agriculture. *Advances in Agronomy*, Vol. 77, p 369 – 427
210. Romaneckas, K., Avižienytė, D., Adamavičienė, A., Bogužas, V., Sinkevičienė, A., Šarauskius, E., Jasinskas, A., Kimbirauskienė, R., Balandaitė, J., Minajeva, A., Marks, M., Tyburski, J., Smanov, A., Romaneckas, K., Avižienytė, D., Adamavičienė, A., Bogužas, V., Sinkevičienė, A., Šarauskius E, Jasinskas A. (2019). Impact of reduced tillage on spring oil seed rape, winter wheat, maize and barley production in Lithuania. *In: "Actual Tasks on Agricultural Engineering" 47th Symposium proceedings ,Opatija, Croatia, 2019.*, p.61–67

211. Rosenberger A., Kaul H.-P., Senn T., Aufhammer W. (2001). Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals: the effect of crop production intensity. *Applied Energy*, Vol. 68, Iss. 1, p. 51–67.
212. Rubenis J. (1987). *Agronomisko izmēģinājumu metodikas praktikums*. 156 lpp.
213. Rusinamhodzi L., Van Wijk M.C., Rufinio M.C., Nyamangara J., Giller K.E. (2011). A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture practices on maize yields under rain-fed conditions. *Agron. Sustain. Dev.*, Vol. 31, p. 657–673.
214. Rusu T., Gus P, Moldovan I. F. (2008). Influence of soil tillage system on winter wheat bread manufacture quality. *In: IV International Symposium on Applications of Modelling as an Innovative Technology in the Agri-Food-Chain, Madrid, Spain*, p. 231 – 237.
215. Ruza A., Gaile Z., Kreita D., Litke L. (2016). Winter wheat production as affected by tillage system and crop rotation. *In: ESA 14 – Growing landscapes – Cultivating innovative agricultural systems: conference*, Edinburgh, Scotland, 5-9 September 2016. Association of Applied Biologists. Scotland's Rural College. Edinburgh, 2016, p. 25–26.
216. Ruža A. (2014). Slāpekļa mēslojuma normu pamatojums. *No: Demonstrējumi laukkopībā un lopkopībā 2014*. Ozolnieki: Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs, 18.-22. lpp.
217. Sakalauskas A., Jasinskas A., Šarauski E., Kalinauskaitė S., Stollberg C., Gerath H. (2011). Thermochemical energy conversion and environmental aspects of straw biomass regeneration. *Agronomy Research, Biosystem Engineering*, 12–13 May, 2011. Special Issue, 1, p. 213–222. Tartu, Estonia: Estonian University of Life Sciences.
218. Saldukaitė L., Šarauski E., Zabrodskiy A., Adamavičiene A., Buragienė S., Kriaučiūnienė Z., Savickas D. (2022). Assessment of energy saving and GHG reduction of winter oilseed rape production using sustainable strip tillage and direct sowing in three tillage technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. June 2022, art. No. 101911.
219. Schinabeck T.M., Weigler F., Mellmann J., Idler C., Flöter E. (2019). Dynamics of the particle moisture distribution during storage of wheat under laboratory and pilot-scale conditions. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 82, p. 54 – 66.
220. Schlegel A. J., Assefa Y., Haag L. A., Thompson C. R., Stone L. (2017). Long term tillage on Yield on Yield and Water Use of Grain Sorghum and Winter Wheat. *Agronomy Journal*, Vol. 110, Iss. 1, p. 269–280.
221. Schneider A., Pelzer E., Jeuffroy M.-H., Guinet M., Voisin A.S. (2019). Pre-cropping effect from grain legumes on wheat and oilseed rape: nitrogen fluxes and productivity. *In: Book of Abstracts of conference: European Conference on Crop Diversification*, 18.–21. september 2019, Hungary, Budapest, p. 85–86.
222. Schnitzer M. I., Monreal C. M. (2011). Quo vadis Soil Organic Matter Research? A Biological Link to the Chemistry of Humification. Chapter Three *In: Advances in Agronomy* (Book series), pp. 139–213.
223. Scott D.A., Eberle C., Gesch R.W., Schneider S., Weyers S., Johnson J.M.F. (2021). Yield, nitrogen and water use benefits of diversifying crop rotations with specialty oilseeds. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 317, p. 107472
224. Sebestyén Z., Lezsovits F., Jakab E., Várhegyi G. (2012). Correlation between heating values and thermogravimetric data of sewage sludge, herbaceous crops and wood samples. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 110, Iss. 3, p. 1501–1509.
225. Seibutis V., Deveikytė I., Feiza V. (2009). Effects of short crop rotation and soil tillage on winter wheat development in central Lithuania. *Agronomy Research*, Vol. 7(1), p. 471–476.
226. Selyaninov G.L. (1928). About the agricultural evaluation of the climate. *Trudy GGO*, 20: p. 177–185. (in Russian)
227. Shah A.N., Tanveer M., Shahzad B., Yang G., Fahad S., Ali S., Bukhari M.A., Tung S.A., Hafeez A., Souliyanonh B. (2017). Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. *Environ Sci Pollut Res*, Vol. 24, 10056–10067 (2017).

- 228.Sharma G., Sharma L.K., Sharma K.C. (2019). Assessment of land use change and its effect on soil carbon stock using multitemporal satellite data in semiarid region of Rajasthan. *India Ecological Processes*, Vol.8, p. 42.
- 229.Sieling K., Böttcher U., Kage H. (2017). Sowing date and N application effects on tap root and above-ground dry matter of winter oilseed rape in autumn. *European Journal of Agronomy*. Febr. 2017, p. 40-46.
- 230.Singh A.K., Bharati R.C., Manibhushan N.C., Pedpati A. (2013). An assesment of faba bean (*Vicia faba* L.) current status and future prospect. *African Journal of Agricultural Research*. Vol. 8, Iss. 55, p. 6634– 6641.
- 231.Sjoberg SM, Carter AH, Steber CM, Garland-Campbell KA. (2021). Application of the factor analytic model to assess wheat falling number performance and stability in multienvironment trials. *Crop Science*, Vol. 61, p. 372–382.
- 232.Skudra I., Ruža A. (2014). Ziemas kviešu slāpekļa papildmēslošanas veidu salīdzinājums integrētā audzēšanas sistēmā. *No: "Līdzsvarota lauksaimniecība 2014"* zinātniski praktiskās konferences raksti, Jelgava:LLU, 30.–34. lpp.
- 233.Skudra I., Ruža A. (2017). Slāpekļa mēslojuma izmantošanās efektivitāte ziemas kviešos. *No: "Ražas svētki Vecaucē 2017"* zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava: LLU, 77.–80. lpp.
- 234.Smith P., Powlson D.S., Glendining M.J., Smith J.O (1998). Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *In Glob Change Biol*, Vol 4, p. 679-685.
- 235.Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. (2012). No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Res*. Vol. 118 (2012), p. 66-87.
- 236.Sollis J.L., Berkemar A.L., Alejo L., Kiros Y. (2017). Biodiesel from rapeseed oil (*Brassica napus*) by supported Li₂O and MgO. *International Journal Energy Environment*, Vol., 8 p. 9–23.
- 237.Somayeh S., Mohammad A., Ghasem. T. (2015). Effect of Various Tillage Systems on Viability, Germination, Establishment and Yield of Wheat. *Journal of Research in Applied sciences*. Vol. 2, iss. 4, p. 108-118.
- 238.Squatrito S., Arena E., Palmeri R., Fallico B. (2020). Public and private standards in crop production: their role in ensuring safety and sustainability. *Sustainability*, Vol. 12, iss.2, p. 606.
- 239.Stein S., Steinmann H. (2018). Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. *European Journal of Agronomy*, Vol. 92, p. 30–40.
- 240.Stoddard F.L. (1986). Pollination and fertilization in commercial crops of field beans (*Vicia faba* L.). *The Journal of Agricultural Science*. Vol. 106, p. 89.–97.
- 241.Stramkale V., Maļeckā S., Auziņa L., Černova L. (2023). Ziemas kviešu šķirņu raža un kvalitāte Latvijas reģionos integrētā audzēšanas sistēmā. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība*, zinātniski praktiskās konferences rakstu krājums 23.-24.02.2023., Jelgava:LBTU, 32–36. lpp.
- 242.Stražil Z., Vach M., Smutný V. (2015). The energy effectiveness of crops in crop rotation under different soil tillage systems. *Agriculture*, Vol. 61, Iss. (3), p.77–87.
- 243.Strazdina V. (2008). Evaluation of main traits and their relationships of spring wheat. *Latvian Journal of Agronomy*, No.11, p. 154–158.
- 244.Streda T., Dostal V., Horakova V., Chloupek O. (2011). Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe. *Agricultural Water Management*, No. 104, p. 203–209.
- 245.Stute I., Kezeya-Sepngang B., Haberlah-Korr V., Mergenthaler M. (2019). The association Rheinische Ackerbohne e.V. – A contribution to the diversification through the revival of a traditional, nearly forgotten crop. *In: Book of Abstracts of conference: European*

- Conference on Crop Diversification*, 18.–21. september 2019, Hungary, Budapest, p. 54–55.
246. Sun L., Wang S., Yujiao Z., Jun L., Wang X., Wang R., Lyu W., Chen N., Wang, Q. (2018). Conservation agriculture based on crop rotation and tillage in semi-arid Loess Plateau, China: Effect of crop yield and soil water use. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 251, p. 67–77.
247. Šarauskis E., Romanekas K., Jasinskas A., Kimbirauskienė R., Naujokienė V. (2020). Improving energy efficiency and environmental mitigation through tillage management in faba bean production. *Energy*, Vol. 209, art. No. 118453.
248. Todorović S. Z., Filipović N. S. (2010). Economic analysis of wheat production on family farms. *Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 55, Iss.1, p. 79–87.
249. Topa D., Cara I. G., Jitoreanu G. (2021). Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis. *Catena*, Vol. 199(9).
250. Townsend T.J., Sparkes D.L., Wilson, P. (2017). Food and bioenergy: reviewing the potential of dual-purpose wheat crops. *GCB Bioenergy*, 9(3), 525–540.
251. Ullrich S.E. (2010). Significance, Adaption, Productio, and Trade of Barely. *In: Barley: Production, Improvement, and Uses*. John Wiley & Sons, p. 3-14.
252. Urbāns R., Gaile Z. (2011). Ziemas kviešu raža atkarībā no sējas termiņa, izsējas normas un šķirnes. *No: "Ražas svētki "Vecauce 2011""*, rakstu krājums. 57.–61. lpp.
253. Van den Putte A., Govers G., Diels J., Gillijns K., Demuzerea M. (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *Eur. J. Agron.*, Vol. 33, p. 231–241.
254. Van Eerd L. L., Congreves K. A., Hayes A., Verhallen, A., Hooker D. C. (2014). Long-term tillage and crop rotation effects on soil quality, organic carbon, and total nitrogen. *Canadian Journal of Soil Science*, 94(3), 303–315.
255. Vargas-Moreno J.M., Callejón-Ferreá A.J., Pérez-Alonso J., Velázquez-Martí B. (2012). A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3065–3083.
256. Vazquez E., Benito M., Espejo R., Teutscherova N. (2019). Effects of no-tillage and liming amendment combination on soil carbon and nitrogen mineralization. *Eur. Journal of Soil Biology*. Vol. 93 p. 103090.
257. Veisz O., Bencza S., Vida G. (2007). Changes in the abiotic stress tolerance of wheat as a result of an increased atmospheric CO₂ concentration. *In: Wheat Production in Stressed Environments*, ed. By Buck H.T., Nick J.E., Salmon N., Vol. 12, p. 341–347.
258. Velička R., Pupalienė R., Butkevičienė L.M., Kriauciūnienė Z. (2012). Peculiarities of overwintering of hybrid and conventional cultivars of winter rapeseed depending on the sowing date. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, Vol. 11(1), p. 53–66.
259. Villacampa Y., Confalone A., Cortes M., Ruiz-Nogueira B., Sau F. (2009). Modelling the effect of temperature and photoperiod on the faba bean (*Vicia faba* L.). *Transactions on Ecology and the Environment*. Vol. 122, p. 53.–60.
260. Vrtilek P., Smutny V., Dryšlova T., Neudert L., Kren J. (2019). The effect of agronomic measures on grain yield of winter wheat in drier conditions. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 65, No. 2, p. 63–70.
261. Wang Y., Wu P., Mei F., Ling Y., Qiao Y., Liu C., Leghari S.J., Guan X., Wang, T. (2021). Does continuous straw returning keep China farmland soil organic carbon continued increase? A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, Vol. 288, No. 112391.
262. Wang-Hao Z., Yu-Zhen C., Cun-Fu L. (2007). Differences in biochemical responses to cold stress in two contrasting varieties of rape seed (*Brassica napus* L.). *For. Stud. China*, Vol. 9, No. 2, p. 142–146.

263. Weiser C., Fuss R., Kage H., Flessa H. (2018). Do farmers in Germany exploit the potential yield and nitrogen benefits from preceding oilseed rape in winter wheat cultivation? *Arch. Agron. Soil Sci.*, Vol. 64, p. 25–37
264. Weymann W., Bottcher U., Sieling K., Kage H. (2015). Effects of weather conditions during different growth phases on yield formation of winter oilseed rape. *Field Crops Research*, Vol. 173, p. 41–48.
265. Wieme, R. A., Carpenter-Boggs, L. A., Crowder, D. W., Murphy, K. M., & Reganold, J. P. (2020). Agronomic and economic performance of organic forage, quinoa, and grain crop rotations in the Palouse region of the Pacific Northwest, USA. *Agricultural Systems*, 177.
266. *World Reference Base for Soil Resources 2014* (2015). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 203 p.
267. Woźniak A, Rachoń L. (2020). Effect of Tillage Systems on the Yield and Quality of Winter Wheat Grain and Soil Properties. *Agriculture.*; Vol. 10(9), art. No. 405.
268. Wozniak A. (2019). Effect of crop rotation and cereal monoculture on the yield and quality of winter wheat grain and on crop infestation with weeds and soil properties. *International Journal of Plant Production*, Vol. 13, p. 177–182.
269. Xing H., Liu D. L., Li G., Wang B., Anwar M. R., Crean J., Lines-Kelly R., Yu Q. (2017). Incorporating grain legumes in cereal-based cropping systems to improve profitability in southern New South Wales, Australia. *Agricultural Systems*, Vol. 154 (November 2016), 112–123.
270. Zander P., Amjath-Babu T.S., Preissel S., Reckling M., Bues A., Schläfke N., Kuhlman T., Bachinger J., Uthes S., Stoddard F., Murphy-Bokern D., Watson C. (2016). Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agron. Sustain. Dev.* Article Nr. 36:26
271. Zegada-Lizarazu W., Monti A. (2011). Energy crops in rotation. A review. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, iss. 1, p. 12–25.
272. Zentner R., Lafond G., Derksen D., Nagy C., Wall D., May W. (2004). Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research*, Vol. 77, iss. 2, p. 125–136.
273. Zentner R.P., Campbell C.A., Biederbeck V.O., Miller P.R., Selles F., Fernandez M.R. (2001). In Search of a Sustainable Cropping System for the Semiarid Canadian Prairies. *Journal of Sustainable Agriculture*, Vol. 18, Is. 2-3, p. 117–136.
274. Zentner R.P., Wall D., Nagy C., Smith E., Young D., Miller P., Campbell C., Mcconkey B.G., Brandt S., Lafond G., Johnston A., Derksen D. (2002). Economics of Crop Diversification and Soil Tillage Opportunities in the Canadian Prairies. *Agronomy Journal*, Vol. 94, p. 216 – 230.
275. Zhang Y., Wang R., Wang H., Wang S., Wang X., Li J. (2019). Soil water use and crop yield increase under different long-term fertilization practices incorporated with two-year tillage rotations. *Agricultural Water Management*, 221, 362–370.
276. Zhang L., Xu C., Champagne P. (2010). Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. *Energy Conversion and Management*, Vol. 51, 969–982.
277. Zhang Z., Peng X. (2021). Bio-tillage: A new perspective for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*. Vol. 206, art. No. 104844.
278. Zhou M. (2010). Barley Production and Consumption. *In: Genetics and Improvement of Barley Malt Quality*, Chapter 1, p. 1–17.
279. Zute S. (2016). Daži lauka pupu audzēšanas pamatprincipi. *No: Izmēģinājumi augkopībā un lopkopībā 2016. Ozolnieki: LLKC. 30.–32. lpp.*

PIELIKUMI

Izmēģinājumu stacionāra 1. bloka plāns

Ražas novākšanas gads	1. sleja Reducētā augšnes apstrāde	2. sleja Tradicionālā augšnes apstrāde	3. sleja Tradicionālā augšnes apstrāde	4. sleja Reducētā augšnes apstrāde
	1. lauks	2. lauks	3. lauks	4. lauks
2009	Z.* kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V.** rapsis
2010	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2011	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši
2012	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2013	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2014	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši
2015	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2016	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2017	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2018	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2019	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2020	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
	5. lauks	6. lauks	7. lauks	8. lauks
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2011	V. rapsis	V. rapsis	V. kvieši	V. kvieši
2012	Z. kvieši	Z. kvieši	V. rapsis	V. rapsis
2013	V. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2014	V. mieži	V. mieži	Z. rapsis	Z. rapsis
2015	V. rapsis	V. rapsis	V. mieži	V. mieži
2016	Z. kvieši	Z. kvieši	Pupas	Pupas
2017	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2018	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2019	Z. kvieši	Z. kvieši	V. mieži	V. mieži
2020	Z. rapsis	Z. rapsis	Pupas	Pupas
	9. lauks	10. lauks	11. lauks	12. lauks
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	V. rapsis	V. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2011	V. mieži	V. mieži	V. mieži	V. mieži
2012	V. rapsis	V. rapsis	Z. mieži	Z. mieži
2013	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2014	Pupas	Pupas	V. kvieši	V. kvieši
2015	Z. kvieši	Z. kvieši	Pupas	Pupas
2016	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2017	V. mieži	V. mieži	Z. rapsis	Z. rapsis
2018	Pupas	Pupas	V. mieži	V. mieži
2019	Z. kvieši	Z. kvieši	Pupas	Pupas
2020	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši

*Z. – ziemas, **V. – vasaras

Izmēģinājuma stacionāra augsnes agroķīmisko rādītāju vērtības 2017. gadā

Laučiņa Nr.	pH KCl	Organiskās vielas (OV) saturs, g kg ⁻¹	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
			mg augiem izmantojamo barības vielu kg augsnes (mg kg ⁻¹)			
1	6.4	39	105	232	1781	421
2	6.5	37	113	228	1750	455
3	6.9	39	102	208	1831	467
4	6.8	36	109	233	1868	462
5	6.4	36	131	264	1743	395
6	6.7	33	125	242	1776	456
7	6.6	42	155	273	1753	410
8	6.8	36	133	269	1788	468
9	7.0	36	144	231	1864	529
10	7.0	33	135	219	1825	483
11	6.8	32	118	214	1933	524
12	6.7	32	121	208	1765	415
13	6.7	36	126	215	1760	409
14	6.8	36	115	208	1865	453
15	6.8	38	101	216	1822	433
16	6.8	31	116	211	1802	424
17	6.7	37	184	276	1815	408
18	6.9	29	109	215	1782	511
19	6.8	28	132	195	1750	403
20	6.6	30	144	263	1705	384
21	6.7	34	151	226	1744	432
22	6.9	28	135	204	1884	475
23	6.5	37	110	276	1749	378
24	6.1	34	107	266	1653	338
Vidēji	6.7	35	125.9	233.0	1792.0	438.9
STDV	0.21	3.6	19.85	26.24	62.38	46.96
Min	6.1	28	101.0	195.0	1653.0	338.0
Max	7.0	42	184.0	276.0	1933.0	529.0

Rezultātu interpretācija (robežskaitļi)

Nodr. Grupa	pH KCl	OV, g kg ⁻¹	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Apzīm.
Ļoti zema		< 30	< 40	< 50			
Zema			41 – 80	51 – 100	< 1000	< 160	
Vidēja	–		81 – 160	101 – 200	1000 – 1500	161 – 270	
Augsta		30 – 35	161 – 270	201 – 340	> 1500	> 270	
Ļoti augsta		36 – 100	> 270	> 340			

Ziemas kviešu audzēšanas agrotehnoloģija izmēģinājuma periodā

Agrotehniskais pasākums	2016./2017. gads		2017./2018. gads		2018./2019. gads		2019./2020. gads	
Augsnes apstrāde	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā
	aršana 16.08.2016. aruma šļūksana – 15.09.2016.	augšnes lobīšana ar diskkiem. 1. 26.08.2016. 2. 05.09.2016.	aršana 08.09.2017. aruma šļūksana – 26.09.2017.	augšnes lobīšana ar diskkiem divas reizes 09.09.2017.	aršana 27.08.2018 aruma šļūksana – 29.08.2018.	augšnes lobīšana ar diskkiem divas reizes 24.08.2018.	aršana 06.09.2019. aruma šļūksana – 07.09.2019.	augšnes lobīšana ar diskkiem 1. 06.09.2019; 2. 09.09.2019.
	apstrāde ar kompaktoru							
	6 – 8 cm dziļumā – 15.09.2016.		4 – 5 cm dziļumā – 28.09.2017.		4 – 5 cm dziļumā – 04.09.2018.		4 – 5 cm dziļumā – 10.09.2019.	
Pamatmēslojums, reizē ar sēju	NPK 10 – 26 – 16 +2S, 250 kg ha ⁻¹ N 25 kg ha ⁻¹ , P ₂ O ₅ 65 kg ha ⁻¹ ; K ₂ O 40 kg ha ⁻¹ , S 5 kg ha ⁻¹		NPK 10-26-26, 250 kg ha ⁻¹ N 25 kg ha ⁻¹ , P ₂ O ₅ 65 kg ha ⁻¹ ; K ₂ O 65 kg ha ⁻¹					
Sēkla	šķirne 'Zentos'		šķirne 'Skagen'					
	Kodne Maxim Star 025FS (fludioksonils, 75 g L ⁻¹ ; ciprokonazols, 25 g L ⁻¹), deva 1.5 L ha ⁻¹			Kodne Kinto Plus (fludioksonils, 33 g L ⁻¹ , fluksapiroksāds, 33 g L ⁻¹ ; tritikonozols, 33 g L ⁻¹), deva 1.5 L t ⁻¹		Kodne Celest Trio 060 FS (fludioksonils, 25 g L ⁻¹ , difenokonazols, 25 g L ⁻¹ , tebukonazols, 10 g L ⁻¹), deva 1.5 L t ⁻¹		
Izsējas norma	500 dīgstošas sēklas m ⁻²			450 dīgstošas sēklas m ⁻²		500 dīgstošas sēklas m ⁻²		
Sējas laiks	19.09.2016.		30.09.2017.		06.09.2018.		10.09.2019.	
1. papildmēslojums	Amonija nitrāts (N 34.4 %), deva 250 kg ha ⁻¹ , N 86 kg ha ⁻¹							
1. papildmēslojuma lietošanas laiks	30.03.2017., atjaunojoties veģetācijai		16.04.2018., atjaunojoties veģetācijai		29.03.2019., atjaunojoties veģetācijai		24.03.2020., atjaunojoties veģetācijai	
2. papildmēslojums	Amonija nitrāts (N 34.4 %) deva 250 kg ha ⁻¹ , N – 86 kg ha ⁻¹		Amonija nitrāts (N 34.4 %), deva 200 kg ha ⁻¹ N 69 kg ha ⁻¹					
2. papildmēslojuma lietošanas laiks	10.05.2017., 31. AE		07.05.2018., 31. AE		08.05.2019., 31. AE		28.04.2020., 31. AE	
Nezāļu ierobežošana (herbicīds)	Mustang Forte (florasulams, 5 g L ⁻¹ , aminopiralīds, 10 g L ⁻¹ , 2.4-D, 180 g L ⁻¹) deva 0.8 L ha ⁻¹ (12.05.2017.), 31. AE		Mustang Forte (florasulams, 5 g L ⁻¹ , aminopiralīds, 10 g L ⁻¹ , 2.4-D, 180 g L ⁻¹) deva 0.8 L ha ⁻¹ (07.05.2018.), 31. AE		Tombo WG (piroksulams, 50 g kg ⁻¹ , florasulams, 25 g kg ⁻¹ , aminopiralīds, 50 g kg ⁻¹) deva 200 g ha ⁻¹ + VAV* Dash 0.5 L ha ⁻¹ , 30.04.2019, 31. AE.		Hussar Activ Plus (2.4-D 2-etilheksil esteris, 300 g L ⁻¹ , nātrija metil- jodosulfurons, 10 g L ⁻¹ , metil- tiēnkabazons, 7.5 g L ⁻¹) 1 L ha ⁻¹ 20.04.2020., 31. AE	

*VAV – virsmas aktīvā viela

3. pielikuma nobeigums

Agrotehniskais pasākums	2016./2017. gads	2017./2018. gads	2018./2019. gads	2019./2020. gads
Augu augšanas regulatori (retradanti)	1) Cycocel 750 (epoksikonazols, 62.5 g L ⁻¹ ; piraklostrobīns, 85.0 g L ⁻¹) 1 L ha ⁻¹			
	1) lietošanas laiks 12.05.2017., 31. AE	1) lietošanas laiks 07.05.2018., 31. AE	1) lietošanas laiks 30.04.2019., 31. AE	1) lietošanas laiks 20.04.2020., 31. AE
	2) Cerone (etefons, 480 g L ⁻¹), deva 0.75 L ha ⁻¹ ,	2) Medax Top (kalcija proheksadions, 50 g L ⁻¹ , mepikvāta hlorīds, 300 g L ⁻¹) deva 1 L ha ⁻¹	2) Medax Max (kalcija proheksadions, 50 g kg ⁻¹ , etil-trineksapaks, 75 g kg ⁻¹), deva 0.5 kg ha ⁻¹)	
	2) lietošanas laiks 03.06.2017, 37. AE	2) lietošanas laiks 23.05.18, 37. AE	2) lietošanas laiks 22.05.2019, 37. AE	2) lietošanas laiks 23.05.2020., 37. AE
Slimību ierobežošana (fungicīdi)	Adexar XE (fluksapiroksāds, 62.5 g L ⁻¹ , epoksikonazols, 62.5 g L ⁻¹), deva 1 L ha ⁻¹ , lietošanas laiks 28.06.17, vārpošanas fāze		Opera N (epoksikonazols, 62.5 g L ⁻¹ ; piraklostrobīns, 85.0 g L ⁻¹) deva 1.2 L ha ⁻¹ lietošanas laiks 17.06.2020, vārpošanas fāze	
	deva 1 L ha ⁻¹ , lietošanas laiks 28.06.17, vārpošanas fāze	deva 2 L ha ⁻¹ , lietošanas laiks 13.06.2018., vārpošanas fāze	deva 1 L ha ⁻¹ lietošanas laiks 12.06.2019, vārpošanas fāze	deva 1.2 L ha ⁻¹ lietošanas laiks 17.06.2020, vārpošanas fāze
Ārpussakņu mēslojumi	YaraVita® GRAMITREL*, deva 1 L ha ⁻¹ , 12.05.2017, 31. AE	PROFI Basis Plus deva 1 L ha ⁻¹ , 23.05.18, 37. AE; YaraVita™ Thiotrac (S 57%), deva 1 L ha ⁻¹ , 13.06.18, vārpošanas fāze	YaraVita® GRAMITREL*, deva 2 L ha ⁻¹ 30.04.2019, 31. AE; YaraVita® GRAMITREL*, deva 2 L ha ⁻¹ , 22.05.2019, 37. AE.	YaraVita® GRAMITREL*, deva 2 L ha ⁻¹ , 20.04.2020, 31. AE; Nitrophoska (NPK 20-20-20), deva 1.5 kg ha ⁻¹ 23.05.2020, 37. AE; YaraVita® THIOTRAC (S 57%), deva 2 L ha ⁻¹ , 17.06.2020, 55. AE
Kaitēkļu ierobežošana (insekticīds)	×	Fastac 50 (alfa-cipermetrīns, 50 g L ⁻¹) 0.25 L ha ⁻¹ , 13.06.18, 55. AE	×	×

* YaraVita® GRAMITREL sastāvs: N 3.9%, MgO 15.2%, Cu 3%, Mn 9.1%, Zn 4.9%

Ziemas rapša audzēšanas agrotehnoloģija izmēģinājuma periodā

Agrotehniskais pasākums	2016./2017.		2017./2018.		2018./2019.		2019./2020.	
Augsnes apstrādes sistēma	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā
	aršana 16.08.2016., aruma šļūkšana 26.08.2016.	disku lobīšana 17.08.2016.	aršana 14.08.2017., aruma šļūkšana 16.08.2017.	disku lobīšana divas reizes: 14.08.2017.	aršana 16.08.2018. aruma šļūkšana 17.08.2018.	disku lobīšana 2 reizes – 16.08.2018.	aršana – 18.08.2019. aruma šļūkšana – 19.08.2019.	disku lobīšana: 1. 16.08.2019. 2. 18.08.2019.
	apstrāde ar kompaktoru							
	6 – 8 cm dziļumā – 26.08.2016.		3– 4 cm dziļumā- 17.08.2017.		3– 4 cm dziļumā –17.08.2018.		3– 4 cm dziļumā –19.08.2019.	
Pamatmēslojums	NPK 7-20-28, deva 250 kg ha ¹ , N – 18, P ₂ O ₅ - 50, K ₂ O – 70 kg ha ¹		NPK 10- 26 -26 230 kg ha ¹ N – 23, P ₂ O ₅ - 60, K ₂ O - 60 kg ha ¹			NPK 10- 26 -26 , deva 250 kg ha ¹ N – 23, P ₂ O ₅ - 65, K ₂ O - 65 kg ha ¹		
Šķirne	`Veritas CL` (kodināts)		`Visby` (kodināts)			`Hymalay CL` (kodināts)		
Izsējas norma, dīgstošas sēklas m ⁻²	80		80			80		
Sējas laiks	28.08.2016.		18.08.2017.		18.08.2018.		19.08.2019.	
1. papildmēslojums	Amonija nitrāts (34.4 % N), deva 250 kg ha ⁻¹ N 86 kg ha ⁻¹							
1. papildmēsl. lietošanas laiks	27.03.2017., atjaunojoties veģetācijai		16.04.2018., atjaunojoties veģetācijai		01.04.2019., atjaunojoties veģetācijai		24.03.2020., atjaunojoties veģetācijai	
2. papildmēslo- jums	Amonija nitrāts (34.4% N)							
	deva 250 kg ha ⁻¹ , N 86 kg ha ⁻¹		deva 200 kg ha ⁻¹ , N 69 kg ha ⁻¹			Amonija sulfāts (N21 S24) Deva 200 kg ha ⁻¹ , N 42 kg ha ⁻¹ , S 48 kg ha ⁻¹		
2. papildmēsl. lietošanas laiks	02.05.2017., stublāja pagarināšanās fāze		07.05.2018., stublāja pagarināšanās fāze		03.05.2019., stublāja pagarināšanās fāze		08.04.2020., stublāja pagarināšanās fāze	
3. papildmēslojums	×		×		×		Amonija nitrāts (34.4% N) deva 200 kg ha ⁻¹ , N 69 kg ha ⁻¹ , 20.04.2020. ziedpumpuru veidošanās fāze	

4. pielikuma nobeigums

Agrotehniskais pasākums	2016./2017.	2017./2018.	2018./2019.	2019./2020.
Nezāļu ierobežošana (herbicīdi)	CLERAVO (imazamokss, 35 g L ⁻¹ , kvinmeraks, 250 g L ⁻¹) deva 1.4 L ha ⁻¹ + virsmas aktīvā viela Dash 1 L ha ⁻¹ laiks 26.09.2016, lapu attīstība; Targa super (etil-kvizalofops-P, 50 g L ⁻¹) 1 L ha ⁻¹ , lietošanas laiks 03.05.2017, stublāja pagarināšanās fāze	Butisan Star (metazahlors, 333.0 g L ⁻¹ , kvinmeraks, 83 g L ⁻¹) deva 2 L ha ⁻¹ , lietots 22.08.2017. pēc sējas	Butisan Avant (kvinmeraks, 100 g L ⁻¹ , metazahlors, 300 g L ⁻¹ , dimetēnamīds-P, 100 g L ⁻¹) deva 2 L ha ⁻¹ 18.08.2018, Targa Super deva 1 L ha ⁻¹ , 23.04.2019.	Clamox (metazahlors, 375 g L ⁻¹ , imazamokss, 17.5 g L ⁻¹) deva 2 L ha ⁻¹ + Dash 0.5 L ha ⁻¹ 23.09.2019, Targa Super deva 1 L ha ⁻¹ 05.09.2019. un 1 L ha ⁻¹ 22.04.2020.
Kaitēkļu ierobežošana (insekticīds)	Fastac 50 (alfa-cipermetrīns, 50 g L ⁻¹), deva 0.25 L ha ⁻¹ , 11.05.2017., ziedēšanas fāzē	Proteus OD (tiakloprīds, 100 g L ⁻¹ , deltametrīns, 10 g L ⁻¹), deva 0.7 L ha ⁻¹ , 05.05.2018., ziedēšanas fāzē	Kaiso 50 EG (lambda-cihalotrīns, 50 g kg ⁻¹) 23.04.2019., ziedēšanas fāzē	Proteus OD deva 0.75 L ha ⁻¹ 08.04.2020, Fastac 50 deva 0.25 ha ⁻¹ 22.04.2020, Avaunt (indoksakarbs 150 g L ⁻¹) 0.17 L ha ⁻¹ 27.04.2020.
Augšanas regulators	Caryx (mepikvāta hlorīds, 210 g L ⁻¹ , metkonazols, 30 g L ⁻¹), deva 0.7 L ha ⁻¹ , 14.–16. AE			×
	lietošanas laiks 26.09.2016.	lietošanas laiks 19.10.2017.	lietošanas laiks 08.10.2018.	
Ārpussakņu mēslojumi	YaraVita® Bortrac* (B 10.5%), deva 1 L ha ⁻¹ (26.09.2016).	×	YaraVita® Bortrac* 2 L ha ⁻¹ + YaraVita YaraVita® Brasitrel Pro** 2 L ha ⁻¹ 23.04.2019; YaraVita® Bortrac* 2 L ha ⁻¹ + YaraVita YaraVita® Brasitrel Pro** 1 L ha ⁻¹ 08.10.2018	YaraVita® Bortrac* 2 L ha ⁻¹ + YaraVita® Brasitrel Pro** 2 L ha ⁻¹ , lietošanas laiks 08.04.2020, YaraVita® Bortrac* 2 L ha ⁻¹ + YaraVita® Brasitrel Pro**, deva 2 L ha ⁻¹ + YaraVita® THIOTRAC (S 57%), deva 2 L ha ⁻¹ 22.04.2020

* YaraVita® Bortrac sastāvs: B 10.5%

** YaraVita® Brasitrel Pro sastāvs: N 4.5%, MgO – 7.7%, CaO = 8%, B – 3.9%, Mn = 4.6%, Mo = 0.3%

Vasaras miežu audzēšanas agrotehnoloģija izmēģinājuma periodā

Agrotehniskais pasākums	2017. gads		2018. gads		2019. gads	
	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā
Augsnes apstrādes sistēma	aršana 10.10.2016.	disku lobīšana 10.10.2016. un 13.10.2016.	aršana 08.09.2017.; aruma šļūksana 26.09.2017.	disku lobīšana divas reizes 09.09.2017.	aršana 27.08.2018. aruma šļūksana – 29.08.2018.	disku lobīšana divas reizes 24.08.2018. un 18.10.2018.
	apstrāde ar kompaktoru 6 cm dziļumā 15.09.2016.	×	apstrāde ar kompaktoru 4–5 cm dziļumā – 28.09.2017. un 28.04.2018.		apstrāde ar kompaktoru 4–5 cm dziļumā 16.04.2019.	
	Pamatmēslojums		NPK 15-15-15 250 kg ha ⁻¹ N – 38, P ₂ O ₅ – 38, K ₂ O – 38 kg ha ⁻¹		NPK 15-15-15 + 10S 250 kg ha ⁻¹ N – 38, P ₂ O ₅ – 38, K ₂ O – 38 kg ha ⁻¹ , S – 25 kg ha ⁻¹	
Sēkla	šķirne – `Tocada`					
	Kodne - Maxim Star 025FS (fludioksonils 75 g L ⁻¹ ; ciprokonazols 25 g L ⁻¹),					
	deva 1.5 L ha ⁻¹			deva 2 L t ⁻¹		
Izsējas norma	450 dīgstošas sēklas m ⁻²					
Sējas laiks	24.04.2017.		29.04.2018.		17.04.2019.	
Papildmēslojums	Amonija nitrāts (34.4% N) deva 180 kg ha ⁻¹ (62 kg ha ⁻¹), 16.05.2017.		Amonija nitrāts (34.4% N) deva 200 kg ha ⁻¹ (N 69 kg ha ⁻¹), 07.05.2018.		YaraBela® Axan NS 27-4 200 kg ha ⁻¹ deva (N 54 kg ha ⁻¹ , 8 kg ha ⁻¹), 15.05.2019.	
Nezāļu ierobežošana (herbicīdi)	Mustang Forte (florasulams, 5 g L ⁻¹ ; aminopiralīds, 10 g L ⁻¹ ; 2.4-D 180 g L ⁻¹)		Mustang Forte (florasulams, 5 g L ⁻¹ ; aminopiralīds, 10 g L ⁻¹ ; 2.4-D 180 g L ⁻¹)		Biathlon 4D (tritosulfurons, 714 g kg ⁻¹ ; florasulams, 54 g kg ⁻¹), deva 60 g ha ⁻¹ + DASH 0.5 L ha ⁻¹ (23.05.2019.)	
	deva 0.8 L ha ⁻¹ (09.06.2017.)		deva 0.6 L ha ⁻¹ (30.05.2018.)			
Slimību ierobežošana (fungicīdi)	EpoX top (epoksikonazols, 40 g L ⁻¹ , fenpropidīns, 100 g L ⁻¹) deva 1.5 L ha ⁻¹ , (09.06.2017.)		×		Tango Super (epoksikonazols, 84 g L ⁻¹ , Fenpropimorfs, 250 g L ⁻¹), deva 1 L ha ⁻¹ (13.06.2019.)	
Kaitēkļu ierobežošana (insekticīds)	×		×		Fastac 50 (alfa-cipermetrīns, 50 g L ⁻¹), deva 0.25 L ha ⁻¹ (23.05.2019.)	
Ārpussakņu mēslojumi	×		×		YaraVita® GRAMITREL* 2 L ha ⁻¹ (23.05.2019.)	

* YaraVita® GRAMITREL sastāvs: N 3.9%, MgO 15.2%, Cu 3%, Mn 9.1%, Zn 4.9%

Lauka pupu audzēšanas agrotehnoloģija izmēģinājuma periodā

Agrotehniskais pasākums	2018. gads		2019. gads		2020. gads	
	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā	tradicionālā	reducētā
Augsnes apstrādes sistēma	aršana 08.09.2017., aruma šļūkšana - 26.09.2017	augšnes lobīšana ar diskiem divas reizes 09.09.2017.	aršana – 27.08.2018., aruma šļūkšana – 29.08.2018.	augšnes lobīšana ar diskiem 1) 24.08.2018. 2) 18.10.2018.	aršana –21.10.2019.	augšnes lobīšana ar diskiem 1. 06.09.2019; 2. 09.09.2019.
	Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā, 28.09.17 un 23.04.18.		Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā, 05.04.2019.		Apstrāde ar kompaktoru 4–5 cm dziļumā, 30.03.2020.	
Pamatmēslojums	MAP NP 12-52, deva 120 kg ha ⁻¹ (reizē ar sēju), N – 14 kg ha ⁻¹ , P – 62 kg ha ⁻¹		NPK 15-15-15 200 kg ha ⁻¹ (reizē ar sēju) N – 30, P ₂ O ₅ – 30, K ₂ O – 30 kg ha ⁻¹			
Šķirne	‘Laura’					
Izsējas norma, dīgstošas sēklas m ⁻²	45					
Sējas laiks	23.04.2018.		06.04.2019.		30.03.2020.	
Nezāļu ierobežošana (herbicīdi)	Stomp® CS (pendimetalīns, 455 g L ⁻¹), deva 2 L ha ⁻¹ (24.04.2018.)		Stomp® CS, deva 2 L ha ⁻¹ (26.04.2019.)		Stomp® CS, deva 2 L ha ⁻¹ (15.04.2020.)	
	Basagran 480 (bentazons, 480 g L ⁻¹), deva 1.5 L ha ⁻¹ + Dash 0.5 L ha ⁻¹ (29.05.2018.)		Basagran 480, deva 2 L ha ⁻¹ + Contact 100 mL ha ⁻¹ (06.06.2019.)		Basagran 480, deva 2 L ha ⁻¹ (22.05.2020.)	
	Targa Super (etil-kvizalofops-P, 50 g L ⁻¹) 1 L ha ⁻¹ (09.06.2018.)		Targa Super (etil-kvizalofops-P, 50 g L ⁻¹) 1 L ha ⁻¹ (07.06.2019.)			
Kaitēkļu ierobežošana (insekticīds)	Proteus OD (tiakloprīds, 100 g L ⁻¹ , deltametrīns, 10 g L ⁻¹) ar devu 0.75 L ha ⁻¹					
	lietošanas laiks 09.06.2018.		lietošanas laiks 07.06.2019.		lietošanas laiks 05.06.2020.	
Ārpussakņu mēslojumi	YaraVita™ Bortrac* ar devu 1.5 L ha ⁻¹ + HiFos** 1.5 L ha ⁻¹ (09.06.2018.)		YaraVita™ Bortrac* 2 L ha ⁻¹ ; YaraVita® BRASSITREL PRO*** 2 L ha ⁻¹ (07.06.2019.)		×	

*YaraVita® Bortrac sastāvs: B 10.5%

** HiFos sastāvs: - P₂O₅ 30.5%, K₂O 5.1%, Mg 3.3%

*** YaraVita® Brasitrel Pro sastāvs: N 4.5%, MgO – 7.7%, CaO = 8%, B – 3.9%, Mn = 4.6%, Mo = 0.3

Ziemas kviešu augšana un attīstība izmēģinājuma periodā

Attīstības etaps	Sezona			
	2016./2017.	2017./2018.	2018./2019.	2019./2020.
Sēja (00.)	19.09.2016.	30.09.2017.	06.09.2018.	10.09.2019.
09.	30.09.2016.	13.10.2017.	29.09.2018.	23.09.2019.
Veģetācijas atjaunošanās pavasārī	14.04.2017.	07.04.2018.	15.03.2019.	10.03.2020.
31.	09.05.2017.	07.05.2018.	01.02.2019.	19.04.2020.
51.	13.06.2017.	01.06.2018.	01.06.2019.	07.06.2020.
71.	06.07.2017.	10.06.2018.	18.06.2019.	25.06.2020.
89.	02.08.2018.	24.07.2018.	26.07.2019.	03.08.2020.

Ziemas rapša augšana un attīstība 2017./2018.–2019./2020. sezonā

Attīstības etaps	Sezona		
	2017./2018.	2018./2019.	2019./2020.
00.	18.08.2017	18.08.2018	19.08.2019
11.	15.09.2017	06.09.2018	05.09.2019
14.	15.10.2017	11.09.2018	12.09.2019
30.	12.04.2018	10.04.2019	17.06.2020
50.	26.04.2018	28.04.2019	12.04.2020
60.	11.05.2018	09.05.2019	25.04.2020
69.	25.05.2018	23.05.2019	29.05.2020
71.	04.06.2018	03.06.2019	06.06.2020
89.	16.07.2018	20.07.2019	17.07.2020

Lauka pupu augšana un attīstība 2017./2018.–2019./2020. gadā

Attīstības etaps	Sezona		
	2018	2019	2020
00.	23.04.2018	06.04.2019	30.03.2020
11.	06.05.2018	07.05.2019	30.04.2020
30.	28.05.2018	21.05.2019	13.05.2020
60.	06.06.2018	07.06.2019	10.06.2020
89.	10.08.2018	20.08.2019	27.08.2020.

Vasaras miežu augšana un attīstība 2018. un 2019. gadā

Attīstības etaps	Sezona	
	2018.	2019.
00.	29.04.2018	17.04.2019
11.	11.05.2018	27.04.2019
21.	17.05.2018	10.05.2019
31.	25.05.2018	23.05.2019
51.	11.06.2018	14.06.2019
59.	25.06.2018	23.06.2019
71.–77.	07.07.2018	09.07.2019
89.	01.08.2018	15.08.2019

**Ziemas kviešu graudu iepirkuma grupas un atbilstošās kvalitātes prasības LPKS “Latraps”
(2022. gads)**

Kvalitātes grupa	Proteīna saturs, %	Lipeklis, %	Tilpummasa, kg hL ⁻¹	Krišanas skaitlis, s
Ekstra	>14.5	28	>78	>280
A1	14.0–14.4			
A2	13.5–13.9	27	>77	>260
A3	13.0–13.4	26		
B1	12.5–12.9			
B2	12.0–12.4	25	>75	>240
B3	11.5–11.9	23	>74	
B4	11.0–11.40	>25		>230
B5	10.5–10.9	>22		
L	0-10.4	–	–	<230

Ekstra, A1–B5 – pārtikas kvalitātes grupas

L – lopbarības grupa

**Ziemas kviešu laukdīdzība un laukdīdzības pieaugums 2017., 2018.
un 2019. gada rudenī atkarībā no augsnes apstrādes sistēmas**

Rādītājs	2017. gada rudens		2018. gada rudens		2019. gada rudens	
	TA	RA	TA	RA	TA	RA
Laukdīdzība, %						
1. uzskaitē	56.3	46.2	5.0	30.7	35.4	49.6
2. uzskaitē	86.6	81.6	12.4	43.1	64.9	77.1
3. uzskaitē	94.1	89.2	21.9	52.3	86.6	94.5
4. uzskaitē	96.8	94.4	29.9	63.0	98.4	97.7
5. uzskaitē	98.3	96.4	37.1	68.5	99.7	97.8
Laukdīdzības pieaugums, %						
no 1. līdz 2. uzskaitē	53.8	76.7	148.1	40.6	83.5	55.3
no 2. līdz 3. uzskaitē	8.7	9.3	76.1	21.3	33.4	22.6
no 3. līdz 4. uzskaitē	2.8	5.9	36.7	20.4	13.6	3.4
no 4. līdz 5. uzskaitē	1.6	2.1	24.2	8.7	1.3	0.1

TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēma

RA – reducētā augsnes apstrādes sistēma

Ziemas kviešu proteīna saturs atkarībā no pētītajiem faktoriem

Gads	Augsnes apstrāde		Augu maiņa un priekšaugi				Vidēji, p<0.001
	TA	RA	100% kvieši	67% kvieši		25% kvieši	
			kvieši	r-kvieši	rapsis	pupas	
2017	10.6 ^a	11.3 ^b	11.0 ^a	-	10.8 ^a	11.0 ^a	10.9 ^B
2018	10.0 ^a	10.4 ^a	9.9 ^a	10.0 ^a	10.9 ^b	-	10.2 ^A
2019	13.8 ^a	13.9 ^a	13.7 ^a	14.1 ^b	-	13.7 ^a	13.8 ^C
2020	11.9 ^b	10.9 ^a	12.2 ^b	-	10.8 ^a	11.1 ^{ab}	11.4 ^B
Vidēji	11.6 ^A	11.6 ^A	11.7 ^A	12.1 ^A	10.8 ^A	11.9 ^A	×
p-vērtība	0.496		0.395				

TA – tradicionālā augsnes apstrādes sistēmā; RA – reducētās augsnes apstrādes sistēma

^{ABC} – ar dažādiem lielajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām katra faktora ietvaros; ^{ab} – ar dažādiem mazajiem burtiem augšrakstā apzīmētas būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām atsevišķi augsnes apstrādes un augu maiņas variantos katra pētījuma gada ietvaros; r-kvieši – priekšaugi ziemas kvieši, kuri audzēti pēc rapša

Ziemas kviešu graudu atbilstība graudu kvalitātes grupām LPKS “Latraps”, atbilstoši prasībām 2022. gadā

Gads	Variants	Proteīna saturs		Lipekļa saturs		Tilpummasa		Krišanas skaitlis		Atbilstība kvalitātes grupai
		%	grupa	%	grupa	kg hL ⁻¹	grupa	s	grupa	
2017.	100%kv, RA	11.8	B3	23.3	B1	81.6	E	320	E	B3
	100%kv, TA	10.3	L	18.9	L	81.1	E	333	E	L
	67%kv-R, TA	10.4	L	19.0	L	81.2	E	321	E	L
	67%kv-R, RA	11.2	B4	21.6	L	80.5	E	326	E	L
	25%kv, TA	10.9	B5	21.0	L	81.8	E	333	E	L
	25%kv, RA	11.0	B4	21.4	L	81.8	E	339	E	L
2018.	100%kv, RA	10.0	L	17.5	L	78.8	E	343	E	L
	100%kv, TA	9.8	L	16.4	L	79.4	E	330	E	L
	67%kv-K, TA	9.9	L	17.1	L	79.3	E	351	E	L
	67%kv-K, RA	10.1	B5	18.1	L	80.0	E	349	E	L
	67%kv- R, RA	11.3	B4	22.1	B5	80.6	E	329	E	B5
	67%kv- R, TA	10.4	L	19.5	L	80.8	E	330	E	L
2019.	100%kv, RA	13.8	A2	29.7	E	76.5	B1	327	E	B1
	100%kv, TA	13.6	A2	29.3	E	76.2	B1	316	E	B1
	67%kv-k, RA	14.3	A1	30.8	E	76.6	B1	325	E	B1
	67%kv-k, TA	13.9	A2	30.0	E	77.9	A3	317	E	A3
	25%kv, RA	13.6	A2	29.2	E	78.0	E	336	E	A2
	25%kv, TA	13.7	A2	29.2	E	76.7	B1	324	E	B1
2020.	100%kv, RA	11.0	B5	21.3	L	74.3	B3	347	E	L
	100%kv, TA	13.5	A3	28.5	E	71.8	L	350	E	L
	67%kv, TA	10.6	B5	20.4	L	74.5	B3	373	E	L
	67%kv, RA	11.1	B4	21.9	L	74.5	B2	341	E	L
	25%kv, TA	11.6	B3	24.2	B3	74.8	B3	360	E	B3
	25%kv, RA	10.6	B5	20.8	L	75.3	B2	308	E	L

100%kv – atkārtoti kviešu sējumi, 67%kv-R – augu maiņa trīs gadu garumā ar kviešu īpatsvaru 67%, ziemas kviešu priekšaugšs rapsis; 67%kv-K – augu maiņa trīs gadu garumā ar kviešu īpatsvaru 67%, ziemas kviešu priekšaugšs kvieši; 25%kv – četru dažādu laukaugu maiņa, ziemas kviešu priekšaugšs – lauka pupas;

E, A1, A2, A3, B1, B2, B3, B4, B5 – pārtikas kvalitātes grupa ziemas kviešu graudiem

L – lopbarības kvalitātes grupa ziemas kviešu graudiem

**Ziemas kviešu audzēšanas bruto seguma aprēķins 2017. gadam
tradicionālās augsnes apstrādes variantā**

Rādītājs	Daudzums	Cena par vienību, EUR	Augu maiņa		
			100% kvieši	67% kvieši	25% kvieši
			kopā, EUR	kopā, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Graudi, lopbarība, t	6.06/6.60/7.95*	144.00 ^A	872.64	950.40	1144.80
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	kvieši 'Zentos', t	0.23	220.00	50.60	
Pamatmēslojums	NPK 10 – 26 – 16 +2S, t	0.25	310.00	77.50	
Papildmēslojums	AN 34%, t	0.25	180.00	45.00	
	AN 34%, t	0.25	180.00	45.00	
Aārpussakņu mēslojums	Gramitrel L	1.00	5.50	5.50	
Nezāļu ierobežošana	Mustang Forte, L	0.80	11.25	9.00	
Slimību ierobežošana	Adexar XE, L	1.00	46.00	46.00	
Retradants	Cycocel 750, L	1.00	2.10	2.10	
	Cerone, L	0.75	11.56	8.67	
KOPĀ		×		289.37	
Mašīnu un roku darba operācijas					
Aršana (2016. g.), reizes	1	48.57	48.57		
Aruma šļūksšana (2016. g.), reizes	1	21.33	21.33		
Kultivēšana (2016. g.), reizes	1	29.78	29.78		
Mīnerālmēsļu izkliešana (2016. g.), reizes	1	18.29	18.29		
Sēšana (2016. g.), reizes	1	30.20	30.20		
Mīnerālmēsļu izkliešana (2017. g.), reizes	2	14.50	29.00		
Smidzināšana (2017. g.), reizes	3	17.13	51.39		
Graudu kulšana (2017. g.), reizes	1	66.47	66.47		
Graudu tīrīšana, t	6.06/6.60/7.95*	5.45	33.03	35.97	43.33
KOPĀ		×	328.06	331.00	338.36
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×	617.43	620.37	627.73
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×	583.27	661.03	855.43
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×	255.21	330.03	517.07

*norādīts ražas daudzums (t ha⁻¹) secīgi augu maiņu variantos: 100% kvieši / 67% kvieši / 25% kvieši

^A vidējā iepirkuma cena lopbarības kviešiem pēc LLKC bruto segumu datiem 2017. gadā

**Ziemas kviešu audzēšanas bruto seguma aprēķins 2017. gadam
reducētās augsnes apstrādes variantā**

Rādītājs	Daudzums	Cena par vienību, EUR	Augu maiņa		
			100% kvieši	67% kvieši	25% kvieši
			Kopā, EUR	Kopā, EUR	Kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Graudi, pārtika ^A , lopbarība ^B	6.70 / 7.56 / 8.18*	162.00 ^A 144.00 ^B	1085.40*	1088.64**	1177.9**2
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	kvieši 'Zentos', t	0.23	220.00	50.60	
Pamatmēslojums	NPK 10 – 26 – 16 +2S, t (no bruto seg. NPK 8:20:30)	0.25	310.00	77.50	
Papildmēslojums	AN 34%, t	0.25	180.00	45.00	
	AN 34%, t	0.25	180.00	45.00	
Aārpussakņu mēslojums	Gramitrel L	1.00	5.50	5.50	
Nezāļu ierobežošana	Mustang Forte, L	0.80	11.25	9.00	
Slimību ierobežošana	Adexar XE, L	1.00	46.00	46.00	
Retradants	Cycocel 750, L	1.00	2.10	2.10	
	Cerone, L	0.75	11.56	8.67	
KOPĀ		×		289.37	
Mašīnu un roku darba operācijas					
Augsnes lobīšana (2016. g.), reizes	2	30.20	60.40		
Kultivēšana (2016.g.), reizes	1	29.78	29.78		
Mīnerālmēsļu izkliešana (2016. g.), reizes	1	18.29	18.29		
Sēšana (2016. g.), reizes	1	30.20	30.20		
Mīnerālmēsļu izkliešana (2017. g.), reizes	2	14.50	29.00		
Smidzināšana (2017. g.), reizes	3	17.13	51.39		
Graudu kulšana (2017. g.), reizes	1	66.47	66.47		
Graudu tīrīšana, t	6.70 / 7.56 / 8.18*	5.45	36.52	41.20	44.58
KOPĀ		×	322.05	326.73	330.11
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×	611.415	616.102	619.481
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×	796.03	799.27	888.55
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×	473.985	472.538	558.439

*norādīts ražas daudzums (t ha⁻¹) secīgi augu maiņu variantos: 100% kvieši / 67% kvieši / 25% kvieši
^{A, B} vidējā iepirkuma cena kviešiem pēc LLKC bruto segumu datiem 2017. gadā

**Ziemas kviešu audzēšanas bruto seguma aprēķins 2018. gadam
tradicionālās augsnes apstrādes variantā**

Rādītājs	Daudzums	Cena par vienību, EUR	Augu maiņa		
			100% kvieši	67% kvieši	67% kvieši
			kopā, EUR	kopā, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Graudi, lopbarība t	5.72 / 6.40 / 6.60*	175.00 ^A	1001	1120	1155
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	kvieši 'Skagen', t	0.23	300.00	69.00	
Pamat- mēslojums	NPK 10-26-26, t	0.25	299.00	74.75	
Papild- mēslojums	AN 34%, t	0.25	219.00	54.75	
	AN 34%, t	0.20	219.00	43.80	
Ārpussakņu mēslojums	YaraVita™ Thiotrac, L	1.00	2.53	2.53	
Nezāļu ierobežošana	Mustang Forte, L	0.80	11.00	8.80	
Slimību ierobežošana	Adexar XE, L	2.00	46.00	92.00	
Retradants	Cycocel 750, L	1.00	2.23	2.23	
	Medax Top, L	1.00	17.60	17.60	
Kaitēkļu ierobežošana	Fastac 50, L	0.25	10.85	2.71	
KOPĀ	×		368.17		
Mašīnu un roku darba operācijas					
Aršana (2017.g.), reizes	1	50.00	50.00		
Aruma šļūķšana (2017. g.), reizes	1	19.83	19.83		
Kultivēšana (2017.g.), reizes	1	28.33	28.33		
Mīnerālmēsļu izkliedēšana (2017. g.), reizes	1	14.50	14.50		
Sēšana (2017. g.), reizes	1	26.31	26.31		
Mīnerālmēsļu izkliedēšana (2018. g.), reizes	2	16.67	33.34		
Smidzināšana (2018. g.), reizes	3	13.00	39.00		
Graudu kulšana (2018. g.), reizes	1	64.64	64.64		
Graudu tīrīšana, t	5.72 / 6.40 / 6.60*	3.36	19.22	21.50	22.18
KOPĀ	×		295.17	297.45	298.13
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS	×		663.34	665.63	666.30
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)	×		632.83	751.83	786.83
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas)	×		337.66	454.37	488.70

*norādīts ražas daudzums (t ha⁻¹) secīgi augu maiņu variantos: 100% kvieši / 67% kvieši / 67% kvieši
^A vidējā iepirkuma cena lopbarības kviešiem pēc LLKC bruto segumu datiem 2018. gadā

**Ziemas kviešu audzēšanas bruto seguma aprēķins 2018. gadam
reducētās augsnes apstrādes variantā**

Rādītājs	Daudzums	Cena par vienību, EUR	Augu maiņa		
			100% kvieši	67% kvieši priekšaug kvieši	67% kvieši priekšaug rapsis
			Kopā, EUR	Kopā, EUR	Kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Graudi, pārtika ^A , lopbarība ^B , t	4.74 /6.42 / 7.16*	185.00 ^A 175.00 ^B	829.50 ^B	1123.50 ^B	1324.60 ^A
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	kvieši 'Skagen', t	0.23	300.00	69.00	
Pamatmēslojums	NPK 10-26-26, t	0.25	299.00	74.75	
Papildmēslojums	AN 34%, t	0.25	219.00	54.75	
	AN 34%, t	0.20	219.00	43.80	
Ārpussakņu mēslojums	YaraVita™ Thiotrac, L	1.00	2.53	2.53	
Nezāļu ierobežošana	Mustang Forte, L	0.80	11.00	8.80	
Slimību ierobežošana	Adexar XE, L	2.00	46.00	92.00	
Retradants	Cycocel 750, L	1.00	2.23	2.23	
	Medax Top, L	1.00	17.60	17.60	
Kaitēkļu ierobežošana	Fastac 50, L	0.25	10.85	2.71	
KOPĀ	×		368.17		
Mašīnu un roku darba operācijas					
Augsnes lobīšana (2017. g.), reizes	2	35.44	70.88		
Mīnērālmēsļu izkliešana (2017. g.), reizes	1	14.50	14.50		
Kultivēšana (2017. g.), reizes	1	28.33	28.33		
Sēšana (2017. g.), reizes	1	26.31	26.31		
Mīnērālmēsļu izkliešana (2018. g.), reizes	2	16.67	33.34		
Smidzināšana (2018. g.), reizes	3	13.00	39.00		
Graudu kulšana (2018. g.), reizes	1	64.64	64.64		
Graudu tīrīšana, t	4.74 /6.42 / 7.16*	3.36	15.93	21.57	24.06
KOPĀ	×		292.93	298.57	301.06
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS	×		661.10	666.74	669.23
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)	×		461.33	755.33	956.43
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas)	×		168.40	456.76	655.37

*norādīts ražas daudzums (t ha⁻¹) secīgi augu maiņu variantos: 100% kvieši / 67% kvieši / 67% kvieši
^{A,B} vidējā iepirkuma cena pārtikas un lopbarības kviešiem pēc LLKC bruto segumu datiem 2018. gadā

**Ziemas kviešu audzēšanas bruto seguma aprēķins 2019. gadam
tradicionālās augsnes apstrādes variantā**

Rādītājs	Daudzums	Cena par vienību, EUR	Augu maiņa		
			100% kvieši	67% kvieši	25% kvieši
			kopā, EUR	kopā, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Graudi, pārtikas grupa	5.28 / 5.29 / 6.54*	162.00 ^A	855.36	856.98	1059.48
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	kvieši 'Skagen', t	0.20	300.00	60.00	
Pamat- mēslojums	NPK 10-26-26, t	0.25	311.00	77.75	
Papild- mēslojums	AN 34%, t	0.25	200.00	50.00	
	AN 34%, t	0.20	200.00	40.00	
Ārpussakņu mēslojums	YaraVita@ GRAMITREL, L	2.00	5.33	10.66	
	YaraVita@ GRAMITREL	2.00	5.33	10.66	
Nezāļu ierobežošana	Tombo WG, g + Dash	0.20	128.10	25.62	
Slimību ierobežošana	Opera N, L	1.00	24.68	24.68	
Retradants	Cycocel 750, L	1.00	2.03	2.03	
	Medax Max, L	0.50	35.59	17.80	
KOPĀ		×	319.20		
Mašīnu un roku darba operācijas					
Aršana (2018. g.), reizes	1	51.43	51.43		
Aruma šļūkšana (2018. g.), reizes	1	25.00	25.00		
Kultivēšana (2018. g.), reizes	1	33.25	33.25		
Mīnerālmēsļu izkliešana (2018. g.), reizes	1	16.67	16.67		
Sēšana (2018. gads), reizes	1	28.50	28.50		
Mīnerālmēsļu izkliešana (2019. g.), reizes	2	21.25	42.50		
Smidzināšana (2019. g.), reizes	3	18.17	54.51		
Graudu kulšana (2019. g.), reizes	1	69.19	69.19		
Graudu tīrīšana, t	5.28 / 5.29 / 6.54	3.29	17.37	17.40	21.52
KOPĀ		×	338.75	338.78	342.90
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×	657.95	657.98	662.09
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×	536.17	537.79	740.29
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×	197.41	199.00	397.39

*norādīts ražas daudzums (t ha⁻¹) secīgi augu maiņu variantos: 100% kvieši / 67% kvieši / 25% kvieši
^A vidējā iepirkuma cena pārtikas un lopbarības kviešiem pēc LLKC bruto segumu datiem 2019. gadā

**Ziemas kviešu audzēšanas bruto seguma aprēķins 2019. gadam
reducētās augsnes apstrādes variantā**

Rādītājs	Daudzums	Cena par vienību, EUR	Augu maiņa		
			100% kvieši	67% kvieši	25% kvieši
			kopā, EUR	kopā, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Graudi, pārtikas grupa, t	4.59 / 5.64 / 6.75*	162.00 ^A	855.36	856.98	1059.48
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	kvieši 'Skagen', t	0.20	300.00	60.00	
Pamatmēslojums	NPK 10-26-26, t	0.25	311.00	77.75	
Papildmēslojums	AN 34%, t	0.25	200.00	50.00	
	AN 34%, t	0.20	200.00	40.00	
Ārpussakņu mēslojums	YaraVita® GRAMITREL, L	2.00	5.33	10.66	
	YaraVita® GRAMITREL	2.00	5.33	10.66	
Nezāļu ierobežošana	Tombo WG, g + Dash	0.20	128.10	25.62	
Slimību ierobežošana	Opera N, L	1.00	24.68	24.68	
Retradants	Cycocel 750, L	1.00	2.03	2.03	
	Medax Max, L	0.50	35.59	17.80	
KOPĀ		×	319.20		
Mašīnu un roku darba operācijas					
Augsnes lobīšana, reizes	2	35.00	70.00		
Kultivēšana (2018. g.), reizes	1	33.25	33.25		
Mīnerālmēsļu izkliešana (2018. g.), reizes	1	16.67	16.67		
Sēšana (2018. g.), reizes	1	28.50	28.50		
Mīnerālmēsļu izkliešana (2019. g.), reizes	2	21.25	42.50		
Smidzināšana (2019. g.), reizes	3	18.17	54.51		
Graudu kulšana (2019. g.), reizes	1	69.19	69.19		
Graudu tīrīšana, t	4.59 / 5.64 / 6.75*	3.29	15.10	18.56	22.21
KOPĀ		×	330.05	333.51	337.16
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×	649.25	652.70	656.35
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×	424.39	594.49	774.31
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas)		×	94.33	260.98	437.15

*norādīts ražas daudzums (t ha⁻¹) secīgi augu maiņu variantos: 100% kvieši / 67% kvieši / 25% kvieši
^A vdējā iepirkuma cena pārtikas un lopbarības kviešiem pēc LLKC bruto segumu datiem 2019. gadā

**Ziemas kviešu audzēšanas bruto seguma aprēķins 2020. gadam
tradicionālās augsnes apstrādes variantā**

Rādītājs	Daudzums	Cena par vienību, EUR	Augu maiņa		
			100% kvieši	67% kvieši	25% kvieši
			kopā, EUR	kopā, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Graudi, pārtikas ^A / lopbarības ^B grupa	6.53 / 6.05 / 6.31*	169.00 ^A 151.00 ^B	986.03 ^B	913.55 ^B	1066.39 ^A
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	kvieši 'Skagen'	0.23	300.00	69.00	
Pamatmēslojums	NPK 10-26-26	0.25	311.00	77.75	
Papildmēslojums	AN 34%	0.25	200.00	50.00	
	AN 34%	0.20	200.00	40.00	
Aārpussakņu mēslojums	YaraVita® GRAMITREL	2.00	5.40	10.80	
	Nitrophoska 20-20-20	1.50	1.56	2.34	
	YaraVita® THIOTRAC	2.00	2.53	5.06	
Nezāļu ierobežošana	Hussar Activ Plus	1.00	27.14	27.14	
Slimību ierobežošana	Opera N	1.20	25.35	30.42	
Retradants	Cycocel 750	1.00	2.25	2.25	
	Medax Max	0.50	35.59	17.80	
KOPĀ		×		332.56	
Mašīnu un roku darba operācijas					
Aršana (2019.g.)	1	52.83	52.83		
Aruma šļūķšana (2019. g.)	1	25.00	25.00		
Mīnerālmēsļu izkliedēšana (2019. g.)	1	21.25	21.25		
Sēšana (2019. g.)	1	28.50	28.50		
Kultivēšana (2019. g.)	1	31.25	31.25		
Mīnerālmēsļu izkliedēšana (2020. g.)	2	12.00	24.00		
Smidzināšana (2020. g.)	3	17.50	52.50		
Graudu kulšana (2020. g.)	1	64.35	64.35		
Graudu tīrīšana, t	6.53 / 6.05 / 6.31*	3.22	21.03	19.48	20.32
KOPĀ			320.71	319.16	320.0
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×	653.26	651.72	652.6
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×	653.48	581.00	733.8
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas)		×	332.77	261.83	413.8

*norādīts ražas daudzums (t ha⁻¹) secīgi augu maiņu variantos: 100% kvieši / 67% kvieši / 25% kvieši
A, B vidējā iepirkuma cena pārtikas un lopbarības kviešiem pēc LLKC bruto segumu datiem 2020. gadā

**Ziemas kviešu audzēšanas bruto seguma aprēķins 2020. gadam
reducētās augsnes apstrādes sistēmā dažādās augu maiņās**

Rādītājs	Daudzums	Cena par vienību, EUR	Augu maiņa		
			100% kvieši	67% kvieši	25% kvieši
			kopā, EUR	kopā, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Graudi, lopbarības grupa	5.58 / 6.39 / 6.51*	151.00 ^A	986.03 ^A	913.55 ^A	952.81 ^A
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	kvieši 'Skagen', t	0.23	300.00	69.00	
Pamat- mēslojums	NPK 10-26-26	0.25	311.00	77.75	
Papild- mēslojums	AN 34%	0.25	200.00	50.00	
	AN 34%	0.20	200.00	40.00	
Ārpussakņu mēslojums	YaraVita® GRAMITREL	2.00	5.40	10.80	
	Nitrophoska 20- 20-20	1.50	1.56	2.34	
	YaraVita® THIOTRAC	2.00	2.53	5.06	
Nezāļu ierobežošana	Hussar Activ Plus	1.00	27.14	27.14	
Slimību ierobežošana	Opera N	1.20	25.35	30.42	
Retradants	Cycocel 750	1.00	2.25	2.25	
	Medax Max	0.50	35.59	17.80	
KOPĀ		×		332.56	
Mašīnu un roku darba operācijas					
Augsnes lobīšana (2019. g.)	2	40.75	81.50		
Mīnerālmēsli izkliešana (2019. g.)	1	21.25	21.25		
Sēšana (2019. g.)	1	28.50	28.50		
Kultivēšana (2019. g.)	1	31.25	31.25		
Mīnerālmēsli izkliešana (2020. g.)	2	12.00	24.00		
Smidzināšana (2020. g.)	3	17.50	52.50		
Graudu kulšana (2020. g.)	1	64.35	64.35		
Graudu tīrīšana, t	5.58 / 6.39 / 6.51*	3.22	17.97	20.58	20.96
KOPĀ		×	321.32	323.93	324.31
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×	653.87	656.48	656.87
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×	510.03	632.34	650.46
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×	188.71	308.41	326.14

*norādīts ražas daudzums (t ha⁻¹) secīgi augu maiņu variantos: 100% kvieši / 67% kvieši / 25% kvieši
^A vidējā iepirkuma cena lopbarības kviešiem pēc LLKC bruto segumu datiem 2020. gadā

Ziemas rapša audzēšanas bruto seguma aprēķins 2017. gadam reducētās un tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā dažādās augu maiņās

Rādītājs	Tradicionālā						Reducētā						
	67% kvieši			25% kvieši			67% kvieši			25% kvieši			
	dau- dzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	dau- dzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	dau- dzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	dau- dzums,	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	
IEŅĒMUMI													
Rapša sēklas, t	2.58	352.00	908.16	2.31	352.00	813.12	3.20	352.00	1126.40	2.58	352.00	908.16	
MAINĪGĀS IZMAKSAS													
Izejmateriāli													
Sēkla	‘Veritas CL’, kg 80 dīgstošas sēklas	4.00	16.67	66.68	4.00	16.67	66.68	4.00	16.67	66.68	4.00	16.67	66.68
Pamat- mēslojums	NPK 7-20-28*, t	0.25	310.00	77.50	0.25	310.00	77.50	0.25	310.00	77.50	0.25	310.00	77.50
Papild- mēslojums	AN 34%, t	0.25	180.00	45.00	0.25	180.00	45.00	0.25	180.00	45.00	0.25	180.00	45.00
	AN 34%, t	0.25	180.00	45.00	0.25	180.00	45.00	0.25	180.00	45.00	0.25	180.00	45.00
Ārpussakņu mēslojums	Bortrac, L (2016. gads)	1.00	2.10	2.10	1.00	2.10	2.10	1.00	2.10	2.10	1.00	2.10	2.10
Nezāļu ierobežošana	Cleravo, L + Dash, L	1.40	45.00	63.00	1.40	45.00	63.00	1.40	45.00	63.00	1.40	45.00	63.00
	Targa Super	1.00	10.80	10.80	1.00	10.80	10.80	1.00	10.80	10.80	1.00	10.80	10.80
Retradants Kaitēkļu ierobežošana	Caryx, L	0.70	38.00	26.60	0.70	38.00	26.60	0.70	38.00	26.60	0.70	38.00	26.60
	Fastac 50	0.25	10.21	2.55	0.25	10.21	2.55	0.25	10.21	2.55	0.25	10.21	2.55
KOPĀ		×		339.2325	×		339.2325	×		339.23	×		339.233

*cena no bruto seguma 2017. gadam (NPK 8:20:30)

21. pielikuma nobeigums

Mašīnu un roku darba operācijas												
Rādītājs	Tradicionālā augsnes apstrādes sistēma						Reducētās augsnes apstrādes sistēma					
	67% kvieši			25% kvieši			67% kvieši			25% kvieši		
	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums,	cena par vienību, EUR	kopā, EUR
Aršana (2016. g.), reizes	1	48.57	48.57	1	48.57	48.57	-	-	-	-	-	-
Aruma šļūkšana (2016. g.), reizes	1	21.33	21.33	1	21.33	21.33	-	-	-	-	-	-
Augsnes lobīšana (2016. g.), reizes	-	-	-	-	-	-	2	30.20	60.40	2	30.20	60.4
Kultivēšana (2016. g.), reizes	1	29.78	29.78	1	29.78	29.78	1	29.78	29.78	1	29.78	29.78
Minerālmēslu izkliedēšana (2016. g.), reizes	1	18.29	18.29	1	18.29	18.29	1	18.29	18.29	1	18.29	18.29
Sēšana (2016. g.), reizes	1	30.20	30.20	1	30.20	30.2	1	30.20	30.20	1	30.20	30.2
Smidzināšana (2016. g.), reizes	1	17.13	17.13	1	17.13	17.13	1	17.13	17.13	1	17.13	17.13
Minerālmēslu izkliedēšana (2017. g.), reizes	2	14.50	29.00	2	14.50	29	2	14.50	29.00	2	14.50	29
Smidzināšana (2017. g.), reizes	1	17.13	17.13	1	17.13	17.13	1	17.13	17.13	1	17.13	17.13
Kulšana (2017. g.), reizes	1	66.47	66.47	1	66.47	66.47	1	66.47	66.47	1	66.47	66.47
Sēklu tīrīšana, t	2.58	5.45	14.06	2.31	5.45	12.59	3.20	5.45	17.44	2.58	5.45	14.061
KOPĀ	×		291.96	×		290.49	×		285.84	×		282.461
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS	×		631.19	×		629.72	×		625.07	×		621.694
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)	×		568.93	×		473.89	×		787.17	×		568.93
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas)	×		276.97	×		183.40	×		501.33	×		286.47

**Ziemas rapša audzēšanas bruto segums 2018. gadā tradicionālās un reducētās
augšnes apstrādes sistēmās augu maiņā “25% kvieši”**

Rādītājs		Daudzums	Cena par vienību, EUR	Tradicionālā augšnes apstrāde	Reducētā augšnes apstrāde
				kopā, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Rapša sēklas, t		2.84 / 2.57	351.00	996.84	902.07
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	rapsis 'Visby', kg 80 sēklas	4.00	7.50	30.00	
Pamatmēslojums	NPK 10-26-26, t	0.23	299.00	68.77	
Papildmēslojums	AN 34%, t	0.25	219.00	54.75	
	AN 34%, t	0.20	219.00	43.80	
Nezāļu ierobežošana	Butisan star, L	2.00	18.00	36.00	
Retradants	Caryx, L	0.70	38.00	26.60	
Kaitēkļu ierobežošana	Proteus OD, L	0.70	20.00	14.00	
KOPĀ		×		273.92	
Mašīnu un roku darba operācijas					
Aršana (2017.gads), reizes		1	50.00	50.00	-
Aruma šļūkšana (2017. g.), reizes		1	19.83	19.83	-
Augsnes lobīšana (2017. g.), reizes		2	35.44	-	70.88
Kultivēšana (2017. g.), reizes		1	28.33	28.33	
Mīnerālmēsļu izkliešana (2017. g.), reizes		1	14.50	14.5	
Sēšana (2017. g.), reizes		1	26.31	26.31	
Mīnerālmēsļu izkliešana (2018. g.), reizes		2	16.67	33.34	
Smidzināšana (2018. g.), reizes		3	13.00	39.00	
Kulšana (2018. g.), reizes		1	64.64	64.64	
Sēklu tīrīšana, t		2.84 / 2.57	3.36	9.54	8.64
KOPĀ		×		285.49	285.64
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×		559.41	559.56
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×		722.92	628.15
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×		437.43	342.51

**Ziemas rapša audzēšanas bruto segums 2019. gadā tradicionālās un reducētās
augšnes apstrādes sistēmās augu maiņā “67% kvieši”**

Rādītājs		Daudzums	Cena par vienību, EUR	Tradicionālā augšnes apstrāde	Reducētā augšnes apstrāde
				kopā, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI					
Rapša sēklas, t		2.39 / 2.44	373.00	891.47	910.12
MAINĪGĀS IZMAKSAS					
Izejmateriāli					
Sēkla	rapsis 'Visby', kg 80 sēklas	4.00	7.50	30.00	
Pamatmēslojums	NPK 10-26-26, t	0.23	311.00	71.53	
Papildmēslojums	AN 34%, t	0.25	200.00	50.00	
	AN 34%, t	0.20	200.00	40.00	
Nezāļu ierobežošana	Butisan avant, L	2.00	27.40	54.80	
	Targa super, L	1.00	11.10	11.10	
Retradants	Caryx, L	0.70	27.25	19.08	
Ārpussakņu mēslojums	YaraVita® Bortrac, L	4.00	2.25	9.00	
	YaraVita® Brasitrel Pro, L	3.00	2.03	6.09	
KOPĀ		×		291.60	
Mašīnu un roku darba operācijas					
Aršana (2018. g.), reizes		1.00	51.43	51.43	-
Aruma šūķšana (2018. g.), reizes		1.00	25.00	25.00	-
Augšnes lobīšana, reizes		2.00	35.00	-	70.00
Minerālmēsļu izkliešana (2018. g.), reizes		1.00	16.67	16.67	
Kultivēšana (2018. g.), reizes		1.00	33.58	33.58	
Sēšana (2018. g.), reizes		1.00	28.50	28.50	
Minerālmēsļu izkliešana (2019. g.), reizes		2.00	21.25	42.50	
Smidzināšana (2019. g.)		3.00	18.17	54.51	
Kulšana (2019. g.), reizes		1.00	69.19	69.19	
Sēklu tīrīšana, t		2.39 / 2.44	3.29	8.03	8.03
KOPĀ		×		285.49	285.64
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×		559.41	559.56
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×		722.92	628.15
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×		437.43	342.51

Ziemas rapša audzēšanas bruto segums 2020. gadā dažādās augsnes apstrādes sistēmās un augu maiņu variantos

Radītājs		Tradicionālā augsnes apstrāde						Reducētā augsnes apstrāde					
		67% kvieši			25% kvieši			67% kvieši			25% kvieši		
		dau- dzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	dau- dzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI													
Sēklas, t		4.36	361.00	1573.96	3.72	361.00	1342.92	3.66	361.00	1321.26	4.07	361.00	1469.27
MAINĪGĀS IZMAKSAS													
Izejmateriāli													
Sēkla	ziemas rapsis 'Himalaya CL'	4.00	7.50	30.00	4.00	7.50	30.00	4.00	7.50	30.00	4.00	7.50	30.00
Pamat- mēslojums	NPK 10-26-26 , t	0.25	311.00	77.75	0.25	311.00	77.75	0.25	311.00	77.75	0.25	311.00	77.75
Papild- mēslojums	AN 34%, t	0.25	200.00	50.00	0.25	200.00	50.00	0.25	200.00	50.00	0.25	200.00	50.00
	AS (N21 S24), t	0.20	170.00	34.00	0.20	170.00	34.00	0.20	170.00	34.00	0.20	170.00	34.00
	AN 34%, t	0.20	200.00	40.00	0.20	200.00	40.00	0.20	200.00	40.00	0.20	200.00	40.00
Ārpussakņu mēslojums	YaraVita® Bortrac, L	4.00	2.25	9.00	4.00	2.25	9.00	4.00	2.25	9.00	4.00	2.25	9.00
	YaraVita® Brasitrel Pro, L	4.00	4.06	16.24	4.00	4.06	16.24	4.00	4.06	16.24	4.00	4.06	16.24
	YaraVita® THIOTRAC, L	2.00	2.53	5.06	2.00	2.53	5.06	2.00	2.53	5.06	2.00	2.53	5.06
Nezāļu ierobežo- šana	Clamox, L + Dash	2.00	33.14	66.28	2.00	33.14	66.28	2.00	33.14	66.28	2.00	33.14	66.28
	Targa Super, L	1.00	11.10	11.10	1.00	11.10	11.10	1.00	11.10	11.10	1.00	11.10	11.10
	Targa Super, L	1.00	11.10	11.10	1.00	11.10	11.10	1.00	11.10	11.10	1.00	11.10	11.10
Kaitēkļu ierobežo- šana	Proteus OD, L	0.75	19.50	14.63	0.75	19.50	14.63	0.75	19.50	14.63	0.75	19.50	14.63
	Fastac 50, L	0.25	10.65	2.66	0.25	10.65	2.66	0.25	10.65	2.66	0.25	10.65	2.66
	Avaunt, L	0.17	80.03	13.61	0.17	80.03	13.61	0.17	80.03	13.61	0.17	80.03	13.61
KOPĀ		x		381.42	x		381.42	x		381.42	x		381.42

24. pielikuma nobeigumss

Rādītājs	Tradicionālā augsnes apstrāde						Reducētā augsnes apstrāde					
	67% kvieši			25% kvieši			67% kvieši			25% kvieši		
Mašīnu un roku darba operācijas												
	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	Kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	Kopā, EUR
Aršana (2019.gads)	1	52.83	52.83	1	52.83	52.83	-	-	-	-	-	-
Aruma šļūkšana (2019. g.)	1	25.00	25.00	1	25.00	25.00	-	-	-	-	-	-
Augsnes lobīšana (2019. g.)	-	-	-	-	-	-	2	40.75	81.50	2	40.75	81.50
Minerālmēsļu izkliešana (2019. gads)	1	21.25	21.25	1	21.25	21.25	1	21.25	21.25	1	21.25	21.25
Sēšana (2019. gads)	1	28.50	28.50	1	28.50	28.50	1	28.50	28.50	1	28.50	28.50
Kultivēšana (2019. gads)	1	31.25	31.25	1	31.25	31.25	1	31.25	31.25	1	31.25	31.25
Minerālmēsļu izkliešana (2020. gads)	2	12.00	24.00	2	12.00	24.00	2	12.00	24.00	2	12.00	24.00
Smidzināšana (2020. gads)	3	17.50	52.50	3	17.50	52.50	3	17.50	52.50	3	17.50	52.50
Kulšana (2020. gads)	1	64.35	64.35	1	64.35	64.35	1	64.35	64.35	1	64.35	64.35
Sēklu tīrīšana, t	4.36	3.22	14.04	3.72	3.22	11.98	3.66	3.22	11.79	4	3.22	13.11
KOPĀ	×		313.72	×		311.66	×		315.1	×		316.5
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS	×		695.14	×		693.08	×		696.6	×		697.9
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)	×		1192.54	×		961.50	×		939.8	×		1087.8
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)	×		878.82	×		649.84	×		624.7	×		771.4

Vasaras miežu audzēšanas bruto segums 2017. gadā reducētās un tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā

Rādītājs		Tradicionālā augsnes apstrāde			Reducēta augsnes apstrāde		
		daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI							
Graudi, t		6.23	129.82	808.78	6.59	129.82	855.51
MAINĪGĀS IZMAKSAS							
Izejmateriāli							
Sēkla	mieži 'Tocada', t (450 sēklas m ⁻²)	0.24	200.00	48.00	0.24	200.00	48.00
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15, t	0.25	288.00	72.00	0.25	288.00	72.00
Papildmēslojums	AN 34%, t	0.18	180.00	32.40	0.18	180.00	32.40
Nezāļu ierobežošana	Mustang Forte, L	0.80	11.25	9.00	0.80	11.25	9.00
Slimību ierobežošana	Epoxtop, L	1.50	25.00	37.50	1.50	25.00	37.50
KOPĀ		×		198.90	×		198.90
Mašīnu un roku darba operācijas							
Aršana (2016. g.), reizes		1.00	48.57	48.57	-	-	-
Aruma šūkšana (2016. g.), reizes		1.00	21.33	21.33	-	-	-
Augsnes lobīšana (2016. g.), reizes		-	-	-	2.00	30.20	60.40
Sēšana (2017. g.), reizes		1.00	30.20	30.20	1.00	30.20	30.20
Minerālmēslu izkliešana (2017. g.), reizes		2.00	14.50	29.00	2.00	14.50	29.00
Smidzināšana (2017. g.), reizes		1.00	17.13	17.13	1.00	17.13	17.13
Graudu kulšana (2017. g.), reizes		1.00	66.47	66.47	1.00	66.47	66.47
Graudu tīrīšana, t		6.23	5.45	33.95	6.59	5.45	35.92
KOPĀ		×		212.70	×		239.12
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×		411.60	×		438.02
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×		609.88	×		656.61
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas)		×		397.18	×		417.50

**Vasaras miežu audzēšanas bruto segums 2018. gadā reducētās un
tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā**

Rādītājs		Tradicionālā augsnes apstrāde			Reducēta augsnes apstrāde		
		dau- dzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	dau- dzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI							
Graudi, t		2.59	176.37	456.80	3.57	176.37	629.64
MAINĪGĀS IZMAKSAS							
Izejmateriāli							
Sēkla	mieži 'Tocada', t (450 sēklas)	0.24	280.00	67.20	0.24	280.00	67.20
Pamat- mēslojums	NPK 15-15- 15+10S	0.25	248.00	62.00	0.25	248.00	62.00
Papild- mēslojums	AN 34%, t	0.20	219.00	43.80	0.20	219.00	43.80
Nezāļu ierobežošana	Mustang Forte, L	0.60	11.00	6.60	0.60	11.00	6.60
KOPĀ		×		179.6	×		179.6
Mašīnu un roku darba operācijas							
Aršana (2017. g.), reizes		1	50.00	50.00	-	-	-
Aruma šļūksna (2017. g.), reizes		1	19.83	19.83	-	-	-
Kultivēšana (2017. g.), reizes		1	28.33	28.33	1.00	28.33	28.33
Augsnes lobīšana (2017. g.), reizes		-	-	-	2.00	35.44	70.88
Kultivēšana (2018. g.), reizes		1	33.58	33.58	1.00	33.58	33.58
Sēšana (2018. g.), reizes		1	28.50	28.50	1.00	28.50	28.50
Minerālmēslu izkliedēšana (2018. g.), reizes		2	16.67	33.34	2.00	16.67	33.34
Smidzināšana (2018. g.), reizes		1	13.00	13.00	1.00	13.00	13.00
Graudu kulšana (2018. g.), reizes		1	64.64	64.64	1.00	64.64	64.64
Graudu tīrīšana, t		2.59	3.36	8.70	3.57	3.36	12.00
KOPĀ		×		279.92	×		284.27
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×		459.52	×		463.87
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×		277.20	×		450.04
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×		-2.72	×		165.78

**Vasaras miežu audzēšanas bruto segums 2019. gadā reducētās
un tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā**

Rādītājs		Tradicionālā augsnes apstrāde			Reducēta augsnes apstrāde		
		daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI							
Graudi, t		4.69	133.60	626.58	4.84	133.60	646.62
MAINĪGĀS IZMAKSAS							
Izejmateriāli							
Sēkla	mieži 'Tocada', t (450 sēklas)	0.24	280.00	67.20	0.24	280.00	67.20
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15+10S t	0.25	248.00	62.00	0.25	248.00	62.00
Papildmēslojums	AN 34.4 (bija Yara Bella Axan NS 27-4)	0.20	215.00	43.00	0.20	215.00	43.00
Ārpussakņu mēslojums	YaraVita@ GRAMITREL, L	2.00	5.33	10.66	2.00	5.33	10.66
Nezāļu ierobežošana	Biathlon 4D, kg	0.06	172.40	10.34	0.06	172.40	10.34
Slimību ierobežošana	Tango Super, L	1.00	22.07	22.07	1.00	22.07	22.07
Insekticīds	Fastac 50, L	0.25	11.40	2.85	0.25	11.40	2.85
KOPĀ		×		218.12	×		218.12
Mašīnu un roku darba operācijas							
Aršana (2018.gads), reizes		1.00	51.43	51.4300	-	-	-
Aruma šļūkšana (2018. g.), reizes		1.00	25.00	25.0000	-	-	-
Augsnes lobīšana (2018. gads), reizes		-	-	-	2	35	70.00
Kultivēšana (2019. gads)		1.00	33.58	33.5800	1	33.58	33.58
Sēšana (2019. gads), reizes		1.00	28.50	28.5000	1	28.5	28.50
Mīnerālmēslu izkliešana (2019. gads), reizes		2.00	21.25	42.5000	2	21.25	42.50
Smidzināšana (2019. gads)		2.00	18.17	36.3400	2	18.17	36.34
Graudu kulšana (2019. gads), reizes		1.00	69.19	69.1900	1	69.19	69.19
Graudu tīrīšana, t		4.69	3.29	15.4301	4.84	3.29	15.92
KOPĀ		×		301.97	×		296.03
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×		520.09	×		514.16
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×		408.46	×		428.50
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas)		×		106.49	×		132.47

**Lauka pupu audzēšanas bruto segums 2018. gadā
reducētās un tradicionālās augsnes apstrādes sistēmā**

Rādītājs		Tradicionālā augsnes apstrāde			Reducētā augsnes apstrāde		
		daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI							
Sēklas, lopbarība, t		2.70	225.00	607.50	2.47	225.00	555.75
MAINĪGĀS IZMAKSAS							
Izejmateriāli							
Sēkla	pupas 'Laura', 45 dīgst.sēklas m ⁻² , t	0.30	340.00	102.00	0.30	340.00	102.00
Pamatmēslojums	MAP NP15-52, t	0.12	310.00	37.20	0.12	310.00	37.20
Ārpussakņu mēslojums	Yara Vita Bortrac, L	1.50	2.27	3.41	1.50	2.27	3.41
	HiFoss, L	1.50	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
Nezāļu ierobežošana	Stomp CS, L	2.00	13.80	27.60	2.00	13.80	27.60
	Basagran 480, L + Dash	1.50	28.52	42.78	1.50	28.52	42.78
	Targa Super, L	1.00	11.10	11.10	1.00	11.10	11.10
Insekticīds	Proteus OD, L	0.75	20.00	15.00	0.75	20.00	15.00
KOPĀ		×		239.09	×		239.09
Mašīnu un roku darba operācijas							
Aršana (2017. g.), reizes		1	50.00	50.00	-	-	-
Aruma šļūksana (2017. g.), reizes		1	19.83	19.83	-	-	-
Kultivēšana (2017. g.), reizes		1	28.33	28.33	1	28.33	28.33
Kultivēšana (2018. g.), reizes		1	33.58	33.58	1	33.58	33.58
Augsnes lobīšana (2017. g.), reizes		-	-	-	2	35.44	70.88
Sēšana (2018. g.), reizes		1	28.50	28.50	1	28.50	28.50
Mīnērālmēsļu izkliedēšana (2018. g.), reizes		2	16.67	33.34	2	16.67	33.34
Smidzināšana (2018. g.), reizes		3	13.00	39.00	3	13.00	39.00
Kulšana (2018. g.), reizes		1	64.64	64.64	1	64.64	64.64
Sēklu tīrīšana, t		2.70	3.36	9.07	2.47	3.36	8.30
KOPĀ		×		306.29	×		306.569
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×		545.38	×		545.65
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×		368.42	×		316.67
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×		62.12	×		10.10

**Lauka pupu audzēšanas bruto segums 2019. gadā
reducētās un tradicionālās augsnes apstrādes sistēmās**

Radītājs		Tradicionālā augsnes apstrāde			Reducētā augsnes apstrāde		
		daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI							
Sēklas, lopbarība, t		3.48	225.00	783.00	3.39	225.00	762.75
MAINĪGĀS IZMAKSAS							
Izejmateriāli							
Sēkla	pupas 'Laura', 45 d sēklas, t	0.30	340.00	102.00	0.30	340.00	102.00
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15, t	0.20	260.00	52.00	0.20	260.00	52.00
Ārpussakņu mēslojums	Yara Vita Bortrac, L	2.00	2.25	4.50	2.00	2.25	4.50
	Yara Vita Brassitrel	2.00	2.03	4.06	2.00	2.03	4.06
Nezāļu ierobežošana	Stomp CS, L	2.00	11.25	22.50	2.00	11.25	22.50
	Basagran 480, L + Contact	2.00	26.75	53.50	2.00	26.75	53.50
	Targa Super, L	1.00	11.10	11.10	1.00	11.10	11.10
Insekticīds	Proteus OD, L	0.75	19.17	14.38	0.75	19.17	14.38
KOPĀ		×		264.04	×		264.04
Mašīnu un roku darba operācijas							
Aršana (2018.gads), reizes		1	51.43	51.43	-	-	-
Aruma šļūksšana (2018. g.), reizes		1	25.00	25.00	-	-	-
Augšnes lobīšana (2018. gads), reizes		-	-	-	2	35.00	70.00
Kultivēšana (2019. gads)		1	33.58	33.58	1	33.58	33.58
Sēšana (2019. gads), reizes		1	28.50	28.50	1	28.50	28.50
Mīnerālmēsļu izkliešana (2019. gads), reizes		1	21.25	21.25	1	21.25	21.25
Smidzināšana (2019. gads)		3	18.17	54.51	3	18.17	54.51
Kulšana (2019. gads), reizes		1	69.19	69.19	1	69.19	69.19
Sēklu tīrīšana, t		3.48	3.29	11.45	3.39	3.29	11.15
KOPĀ		×		294.91	×		288.18
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×		558.95	×		552.22
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×		518.96	×		498.71
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×		224.05	×		210.53

**Lauka pupu audzēšanas bruto segums 2020. gadā
reducētās un tradicionālās augsnes apstrādes sistēmās**

Rādītājs		Tradicionālā augsnes apstrāde			Reducētā augsnes apstrāde		
		daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR	daudzums	cena par vienību, EUR	kopā, EUR
IEŅĒMUMI							
Sēklas, lopbarība, t		3.34	220.00	734.80	3.24	220.00	712.80
MAINĪGĀS IZMAKSAS							
Izejmateriāli							
Sēkla	pupas 'Laura', 45 d sēklas m ⁻² , t	0.30	350.00	105.00	0.30	350.00	105.00
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15, t	0.20	252.00	50.40	0.20	252.00	50.40
Nezāļu ierobežošana	Stomp CS, L	2.00	12.95	25.90	2.00	12.95	25.90
	Basagran 480, L	2.00	26.75	53.50	2.00	26.75	53.50
Insekticīds	Proteus OD, L	0.75	19.50	14.63	0.75	19.50	14.63
KOPĀ		×		249.43	×		249.43
Mašīnu un roku darba operācijas							
Aršana (2019. gads)		1	52.83	52.83	-	-	-
Aruma šļūksna (2019. g.)		1	25.00	25.00	-	-	-
Augsnes lobīšana (2019. g.)		-	-	-	2	40.75	81.50
Kultivēšana (2020. gads)		1	33.44	33.44	1	33.44	33.44
Sēšana (2020. gads)		1	28.00	28.00	1	28.00	28.00
Mīnērālmēsļu izkliešana (2020. gads)		1	12.00	12.00	1	12.00	12.00
Smidzināšana (2020. gads)		3	17.50	52.50	3	17.50	52.50
Kulšana (2020. gads)		1	64.35	64.35	1	64.35	64.35
Sēklu tīrīšana, t		3.34	3.22	10.75	3.24	3.22	10.43
KOPĀ		×		278.87	×		282.223
KOPĀ MAINĪGĀS IZMAKSAS		×		528.30	×		531.65
BRUTO SEGUMS 1 (ieņēmumi - izejvielu izmaksas)		×		485.38	×		463.375
BRUTO SEGUMS 2 (ieņēmumi - kopā mainīgās izmaksas izmaksas)		×		206.50	×		181.15