

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Lauksaimniecības fakultāte

*Latvia University of Agriculture
Faculty of Agriculture*



Mg. agr. Anda Liniņa

**AGROEKOLOĢISKO FAKTORU IETEKME UZ
ZIEMAS KVIEŠU (*TRITICUM AESTIVUM L.*) GRAUDU
TEHNOLOĢISKAJĀM ĪPAŠĪBĀM**

*INFLUENCE OF AGRO-ECOLOGICAL FACTORS ON
WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM L.*) GRAIN
TECHNOLOGICAL PROPERTIES*

Promocijas darba **KOPSAVILKUMS**
Dr. agr. zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY

of the Doctoral Thesis for the scientific degree of Dr. agr.

Jelgava
2018

Darba zinātniskais vadītājs / *Scientific supervisor*

Dr. habil. agr. Antons Ruža

Darba zinātniskais konsultants / *Scientific advisor*

Dr. sc. ing. Daiga Kunkulberga

Darba recenzenti / *Reviewers*

Dr. agr. Zinta Gaile

Dr. agr. Sanita Zute

Dr. sc. ing. Tatjana Ķince

Promocijas darba aizstāvēšana paredzēta Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauksaimniecības nozares Laukkopības apakšnozares promocijas padomes atklātā sēdē 2018. gada 20. aprīlī plkst. 10:00, LLU, 123. auditorijā, Lielā ielā 2, Jelgavā.

The defence of the Thesis in open session of the Promotion Board of Agriculture will be held on 20 April 2018, at 10.00 AM in room 123, Latvia University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava, Latvia.

Ar promocijas darbu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā ielā 2, Jelgavā.

The Thesis is available at the Fundamental Library of the Latvia University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava.

Atsauksmes sūtīt Lauksaimniecības zinātņu nozares Laukkopības apakšnozares promocijas padomes sekretārei *Dr. agr. Maijai Ausmanei*, Lielā ielā 2, Jelgava, LV-3001.

References are welcome to send: Dr. agr. Maija Ausmane, the Secretary of the Promotion Board, Latvia University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava, Latvia, LV-3001.

AgroBioRes

ISBN 978-9984-48-290-3
DOI: 10.22616/lluthesis/2018.003

SATURS / CONTENTS

IEVADS	4
PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODEDES	6
REZULTĀTI	10
Gada meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma ietekme uz ziemas kviešu graudu tehnoloģiskajām īpašībām un ražu.....	10
Sakarības starp graudu tehnoloģiskajām īpašībām.....	13
Gada, slāpekļa mēslojuma un šķirnes faktoru ietekmes īpatsvars uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām un ražu	14
Graudu tehnoloģisko īpašību izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā.....	15
Sakarības starp graudu tehnoloģiskajām īpašībām.....	24
Graudu uzglabāšanas laika, šķirnes, gada meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma faktoru ietekmes īpatsvars uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām.....	24
SECINĀJUMI	26
INTRODUCTION	29
MATERIALS AND METHODS.....	31
RESULTS	33
Influence of year meteorological conditions and nitrogen fertilizer on winter wheat grain technological properties and yield.....	33
Correlation between grain technological properties.....	36
Impact factors of year, nitrogen fertilizer and cultivar on the technological properties of grains and yield.....	37
Changes in grain technological properties during grain storage period	38
Correlation between grain technological properties.....	40
in grain storage period	40
Impact of cultivar, meteorological conditions and nitrogen fertilizer on the technological properties in grain during grain storage time.....	41
CONCLUSIONS	43
PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA / APPROBATION OF THE DOCTORAL THESIS	45

IEVADS

Ģeogrāfiski Latvija atrodas ziemas kviešu (*Triticum aestivum* L.) audzēšanai labvēlīgā zonā. Ziemas kvieši Latvijā aizņem nozīmīgu daļu no lauksaimniecībā izmantojamās zemes. Kvalitatīvu ziemas kviešu graudu ieguve ir aktuāla graudkopības problēma. No kviešu graudiem iegūst miltus, no kuriem ražo svarīgāko pārtikas produktu – maizi –, kā arī cepumus, brokastu pārslas, makaronus u. c.

Kviešu graudu kvalitāti nosaka vairāki tehnoloģiskās īpašības raksturojoši rādītāji, kas ir atkarīgi no graudu ķīmiskā sastāva. Galvenie kvalitātes rādītāji ir kopproteīna un lipekļa saturs, sedimentācijas vērtība un krišanas skaitlis. Ziemas kviešu graudu tehnoloģiskās īpašības ietekmē agroekoloģiskie faktori, no kuriem svarīgākie ir gada meteoroloģiskie apstākļi: gaisa temperatūra un mitruma nodrošinājums. Ziemas kviešu audzēšanā liela ietekme uz graudu kvalitāti ir slāpekļa mēslojumam, kas ir viens no dinamiskākajiem augu barības elementiem. Tāpēc ir svarīgi noskaidrot, ar kādu slāpekļa mēslojuma normu var iegūt kvalitatīvus kviešu graudus. Graudu tehnoloģiskās īpašības ietekmē arī šķirnes ģenētiskais potenciāls, kas var mainīties atšķirīgos meteoroloģiskajos apstākļos. Pieaugot patērētāju prasībām pēc veselīgākiem produktiem, arvien vairāk uzturā tiek lietoti pilngraudu produkti, kuru ražošanā tiek izmantots viss grauds. Tie ir veselīgāki, jo no graudiem nav atdalīti graudapvalki un dīglis, un tie satur gan taukus šķīstošo E vitamīnu, gan ūdenī šķīstošos B grupas vitamīnus. Tādējādi pilngraudu produktiem piemīt lielāka bioloģiskā vērtība. Līdz ar to rodas nepieciešamība noteikt pilngraudu miltu reoloģiskās īpašības, proti, mīklas veidošanās laiku, mīklas stabilitāti, mīklas izplūstamību, kā arī noskaidrot, kādi faktori tās ietekmē, jo līdzšinējos pētījumos Latvijā tiem nav veltīta pietiekama uzmanība.

Pēc graudu nokulšanas graudus līdz malšanai uzglabā dažus mēnešus vai pat gadu, tāpēc jānovērtē, vai graudu uzglabāšanas laikā mainās to kvalitāte un pilngraudu miltu mīklas reoloģiskās īpašības, jo līdz šim Latvijā šāda tipa jautājumi nav pētīti kompleksi. Zinātniskajā literatūrā trūkst datu par ziemas kviešu pilngraudu miltu ūdens uzņemšanas spēju un mīklas reoloģisko īpašību izmaiņām atkarībā no šķirnes, slāpekļa mēslojuma normas, gada meteoroloģiskajiem apstākļiem un graudu uzglabāšanas laika.

Darba hipotēze

Slāpekļa mēslojuma normas, gada meteoroloģisko apstākļu un graudu uzglabāšanas ilguma ietekme uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām dažādām kviešu šķirnēm ir atšķirīga.

Darba mērķis

Izvērtēt slāpekļa mēslojuma normas, gada meteoroloģisko apstākļu un graudu uzglabāšanas ilguma ietekmi uz divu ziemas kviešu šķirņu, atšķirīgu pēc potenciālās ražības un kvalitātes, graudu tehnoloģiskajām īpašībām.

Darba uzdevumi

1. Vērtēt graudu tehnoloģiskās īpašības pēc ražas novākšanas atkarībā no slāpekļa mēslojuma normas, gada meteoroloģiskajiem apstākļiem un šķirnes, kā arī noteikt tehnoloģisko īpašību savstarpējās saakarības.
2. Izvērtēt graudu ražu atkarībā no slāpekļa mēslojuma, gada meteoroloģiskajiem apstākļiem un šķirnes.
3. Noteikt pētāmo faktoru ietekmes īpatsvaru un mijiedarbību uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām un ražu.
4. Skaidrot graudu tehnoloģisko īpašību izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā (pēc 60, 120 un 360 dienām), kā arī izvērtēt tehnoloģisko īpašību savstarpējās saakarības.
5. Noskaidrot graudu uzglabāšanas laika, slāpekļa mēslojuma, gada meteoroloģisko apstākļu un šķirnes faktoru ietekmes īpatsvaru un mijiedarbību uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām.

Aizstāvāmās tēzes

1. Slāpekļa mēslojums būtiski ietekmē ziemas kviešu graudu fizikālos un ķīmiskos kvalitātes rādītājus, bet gada meteoroloģisko apstākļu un šķirnes ietekme ir lielāka.
2. Dažādu šķirņu pilngraudu miltu mīklas reoloģiskās īpašības atšķiras.
3. Pilngraudu mīklas reoloģiskās īpašības ietekmē kviešu augšanas laikā lietotais slāpekļa mēslojums, gada meteoroloģiskie apstākļi un šķirne.
4. Graudus uzglabājot vienu gadu, ķīmiskie kvalitātes rādītāji būtiski mainās.
5. Graudus uzglabājot vienu gadu, mīklas reoloģiskās īpašības ziemas kviešu šķirnēm mainās, tomēr milti ir piemēroti pilngraudu miltu ražošanai.

Darba novitāte

1. Latvijā pirmo reizi veikta ziemas kviešu šķirņu graudu ķīmisko kvalitātes rādītāju izpēte graudu uzglabāšanas laikā un dažādu slāpekļa mēslojuma normu un gada meteoroloģisko apstākļu ietekmē.
2. Pirmo reizi vērtētas ziemas kviešu šķirņu pilngraudu miltu ūdens uzņemšanas spējas un mīklas reoloģisko īpašību (mīklas veidošanās laiks, mīklas stabilitāte un izplūstamības pakāpe) izmaiņas slāpekļa mēslojuma, meteoroloģisko apstākļu un graudu uzglabāšanas laikā.
3. Izvērtēti graudu tehnoloģisko īpašību ietekmes faktori un to mijiedarbība.

Promocijas darba izstrāde līdzfinansēta

1. ZM subsīdiju projekts “Minerālmēsļu maksimālo normu noteikšana kultūraugiem” (2009.–2014. g.).
2. Valsts pētījumu programmas “Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā (AgroBioRes)” (2014.–2017. g.) projekts Nr. 1 “Augsnes ilgtspējīga izmantošana un mēslošanas risku mazināšana (AUGSNE)”.

Pētījuma rezultāti atspoguļoti 12 zinātniskās publikācijās (piecas no tām iekļautas *Scopus* un/vai *Web of Science* datu bāzēs) angļu un latviešu valodā un deviņu konferenču tēzēs. Par rezultātiem ziņots 10 starptautiskās un astoņās citās konferencēs un semināros.

PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODES

Pētījuma iekārtošanas metodika

Lauka izmēģinājumi veikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes Mācību un pētījumu saimniecībā (LLU MPS) “Pēterlauki” (ģeogrāfiskās koordinātas: 56° 30.658' Zp. un 23° 41.580' Ag.) trīs gadus: 2009./2010. g., 2010./2011. g. un 2011./2012. g. (faktors A).

Izmēģinājums iekārtots vidēji smaga smilšmāla velēnu karbonātaugsnē (*Endocalcaric Abruptic Luvisol* (World Reference Base, 2014)). Organiskās vielas saturs augsnē – 27–31 g kg⁻¹; pH KCl 6.6–7.0, ar vidēju augiem viegli izmantojamā fosfora un vidēju apmaiņas kālija saturu. Pētījumā izmantota tradicionālā augsnes apstrāde, kas ietver augsnes aršanu. Ziemas kvieši sēti (13.09.2009., 25.09.2010., 12.09.2011.) pēc melnās papuves, četros atkārtojumos; izsējas norma – 450 dīgtspējīgu sēklu uz 1 m².

Pētījumā iekļautas divas ziemas kviešu šķirnes – ‘Bussard’ un ‘Zentos’ (Vācija) (faktors C). Pamatmēslojumā reizē ar sēju iestrādāts P₂O₅ (70 kg ha⁻¹) un K₂O (90 kg ha⁻¹). Slāpekļa (N) mēslojums dots pavasarī pēc veģetācijas atjaunošanās: N60, N90, N120 un N150 (faktors B). Pētījumā tika lietoti herbicīdi, augu augšanas regulatori un fungicīdi atbilstoši audzēšanas tehnoloģijas prasībām. Ziemas kviešus novāca optimālā laikā – augusta sākumā (04.08.2010., 05.08.2011., 03.08.2012.). Iegūtā raža pārrēķināta tonnās no hektāra, pie standartmitruma 14% un 100% tīrības. No katra atkārtojuma noņemts vidējais paraugs atbilstoši LVS 270 standartam. Graudi uzglabāti mainīgos apstākļos; graudi analizēm ņemti tūlīt pēc to nokulšanas un to uzglabāšanas laikā – 60, 120 un 360 dienas (faktors D).

Meteoroloģisko apstākļu raksturojums

Ziemas kviešu augšanas ilgums no veģetācijas perioda atjaunošanās līdz graudu novākšanai izmēģinājuma gados bija atšķirīgs: 2010. un 2011. gadā attiecīgi 126 dienas un 121 diena, bet 2012. gadā – 111 dienas, jo veģetācijas periods sākās vēl (15. aprīlī) (1. tab.). Nokrišņu daudzums 2010., 2011. un 2012. gadā graudu veidošanās un nogatavošanās periodā jūlijā bija attiecīgi 298, 179 un 197 mm, kas ievērojami pārsniedza ilggadējo vidējo rādītāju (81.7 mm). Aktīvo temperatūru summa (virs +5 °C) ziemas kviešu veģetācijas periodā 2010. un 2011. gadā bija attiecīgi 1777 °C un 1769 °C, bet 2012. gads bija vēsāks, ar zemāku aktīvo temperatūru summu – 1561 °C. Meteoroloģisko apstākļu raksturošanai izmēģinājuma gados veģetācijas periodā izvēlēts

Seljaņinova hidrotermiskais koeficients (HTK), ko izsaka kā sakarību starp nokrišņu un gaisa temperatūru (virs +10 °C) summu noteiktā periodā (1. tab.).

Novērots, ka 2010. un 2012. gada veģetācijas periods bija pārmitrs, jo HTK bija attiecīgi 2.79 un 2.65 (1. tab.). Savukārt 2011. gadā HTK bija 1.92, kas norāda uz pietiekamu mitruma nodrošinājumu.

1. tabula / Table 1

**Ziemas kviešu attīstības etapu perioda ilgums un laika apstākļi
izmēģinājumā, 2010.–2012. g. /**

*Duration of winter wheat growth stages and description of the weather
conditions in the investigation, 2010–2012*

Rādītāji / Traits	Gads / Year	Attīstības etapi (AE) / Growth stages (GS)			
		24–91	25–30	31–50	51–91
Perioda ilgums, dienas / Duration of the period, days	2010	126	45	29	52
	2011	121	42	20	61
	2012	111	31	19	61
Aktīvo temperatūru summa, +5 °C / Sum of active temperatures, +5 °C	2010	1777	360	424	994
	2011	1769	363	296	1111
	2012	1561	310	236	1016
Diennakts vidējā temperatūra, °C / Mean daily temperature, °C	2010	14.1	8.0	14.6	19.1
	2011	14.5	8.9	14.8	18.2
	2012	14.7	10.0	12.4	16.7
Nokrišņu summa, mm / Sum of precipitation, mm	2010	495	107	52	337
	2011	339	71	13	255
	2012	414	89	35	289
Hidrotermiskais koeficients (HTK) / Hydrothermal coefficient (HTC)	2010	2.79	2.96	1.23	3.24
	2011	1.92	1.96	0.43	2.26
	2012	2.65	2.88	1.50	2.75

Kopumā 2009./2010. gada sezona bija lietaina, kas neveicināja augstas kviešu graudu ražas, bet vasara bija silta un jūlija mēnesī bija daudz saulainu dienu, un graudi izveidojās ar labu kvalitāti. Vērtējot 2010./2011. gada sezonu, var secināt, ka no augu stiebrošanas līdz vārpošanai kviešiem bija par maz mitruma, bet jūlija mēnesī, kad kviešu graudi nobrieda, bija lietaini laika apstākļi, tomēr lietus mijās ar saulainu un ļoti siltu laiku, tāpēc arī šajā gadā graudu kvalitāte bija laba. Kopumā šī sezona bija piemērota ziemas kviešu audzēšanai. Tomēr 2011./2012. gada sezona, salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem, bija vēsāka. Veģetācija atjaunojās vēlu – tikai aprīļa vidū, līdz ar to ziemas kviešu augšanas ilgums no veģetācijas perioda atjaunošanās līdz graudu novākšanai 2012. gadā bija par 9–15 dienām īsāks, salīdzinot ar iepriekšējiem izmēģinājuma gadiem. Palielinātais nokrišņu daudzums jūtami ietekmēja ražas veidošanās procesu: pozitīvi ietekmēja ražas lielumu, bet negatīvi – graudu kvalitāti.

Datu matemātiskā apstrāde

Pētījumā iegūto datu apstrāde veikta ar divfaktoru, trīsfaktoru un četrfaktoru dispersijas analīzi, izmantots Fišera kritērijs ($p < 0.05$), aprēķināta robežstarpība ($R_{S_{0,05}}$), vērtēts faktoru ietekmes īpatsvars (η , %). Starp graudu tehnoloģiskajām īpašībām veikta korelācijas un regresijas analīze. Statistiskās stabilitātes izvērtēšanai aprēķināts variācijas koeficients (V , %). Atšķirības starp abu ziemas kviešu šķirņu graudu tehnoloģiskajām īpašībām noteiktas ar t-testu.

Analīžu metodes

LLU Lauksaimniecības fakultātes Agrobiotehnoloģijas institūta Graudu un sēklu mācību zinātniskajā laboratorijā noteikta 1000 graudu masa (LVS EN ISO 520), graudu tilpummasa (LVS 273), lipekļa saturs un indekss (LVS 275), sedimentācijas vērtība (LVS ISO 5529) un krišanas skaitlis (LVS EN ISO 3093: 2007). LLU Agronomisko analīžu zinātniskajā laboratorijā noteikts kopproteīna saturs (LVS 277) ar Kjeldāla metodi (nosakot slāpekļa saturu un to reizinot ar koeficientu 5.7) un cietes saturs graudos (LVS EN ISO 10520). Kviešu iedalījums grupās pēc kvalitātes rādītājiem dots 2. tabulā.

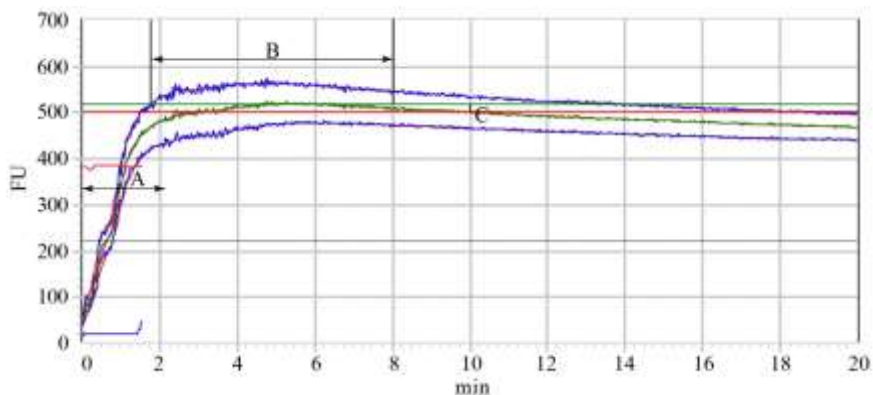
2. tabula / Table 2

Lielāko graudu eksportētāju uzņēmumu pieņemtais kviešu graudu iedalījums pēc kvalitātes rādītājiem /

The breakdown of wheat grain by the biggest grain exporters by quality indices

Kvieši (grupa) / <i>Wheat (group)</i>	Kopproteīna saturs / <i>Crude protein, %</i>	Zeleny indekss / <i>Zeleny index</i>	Lipekļa saturs / <i>Gluten content, %</i>	Tilpummasa / <i>Volume weight, g L⁻¹</i>	Krišanas skaitlis / <i>Falling number, s</i>
A +	>14.5	>50	>28	>780	>280
A	>13.5	>30	>26	>760	>250
B	>12.0	>22	>23	>740	>240
L (lopbarībai / <i>for feed</i>)	<11.0	<22	<22	<740	<240

LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes Pārtikas tehnoloģijas katedras Pārtikas produktu laboratorijā veikta pilngraudu miltu mīklas reoloģisko īpašību izpēte ar farinogrāfu (ICC 115/1), nosakot pilngraudu miltu ūdens uzņemšanas spēju, mīklas veidošanās laiku, mīklas stabilitātes laiku un mīklas izplūstamības pakāpi (1. att). Reoloģiskās īpašības vērtētas pēc 3. tabulā dotā miltu iedalījuma grupās: vāji, vidēji stipri, stipri un ļoti stipri.



1. att. Pilngraudu miltu reoloģisko īpašību noteikšana pēc farinogrāfa rādītājiem. /

Fig. 1. Determination of wholemeal rheological properties by farinograph indices:

A – mīklas veidošanās laiks (MVL), min / dough development time (MVL), min;

B – mīklas stabilitātes laiks (STA), min / dough stability time (STA), min;

C – mīklas izplūstamības pakāpe (MI), FU (farinogrāfa vienības) / degree of softening (MI), FU (farinograph units)

3. tabula / Table 3

Miltu iedalījums pēc mīklas reoloģiskajām īpašībām /
Flour quality groups divided by dough rheological properties

Miltu kvalitātes grupa / Flour quality group	Mīklas reoloģiskās īpašības / Dough rheological properties			
	ŪS, g kg ⁻¹	MVL, min	STA, min	MI, FU
Vāji / Weak	<550	≤1	1–3	>110
Vidēji stipri / Medium strong	550–580	2–4	4–7	110–70
Stipri / Strong	>580	3–5	8–14	<70
Ļoti stipri / Extra strong	>580	6–12	20–32	<70
Autori / References	Koppel, Ingver, 2008	William, 1997	Koppel, Ingver, 2008	Mašauskiene, Cesevičiene, 2006b

ŪS – ūdens uzņemšanas spēja, g kg⁻¹ / water absorption, g kg⁻¹;

MVL – mīklas veidošanās laiks, min / dough development time, min;

STA – mīklas stabilitātes laiks, min / dough stability time, min;

MI – mīklas izplūstamības pakāpe, FU (farinogrāfa vienības) / degree of softening, FU (farinograph units)

REZULTĀTI

Gada meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma ietekme uz ziemas kviešu graudu tehnoloģiskajām īpašībām un ražu

Graudu fizikālie rādītāji

Vidēji trīs gados, lietojot dažādas slāpekļa mēslojuma normas, ziemas kviešu šķirnei 'Zentos' **1000 graudu masa** bija 43.6 g, bet 'Bussard' graudiem – 43.4 g ar variācijas koeficientu attiecīgi 5% un 4% (4. tab.). Graudu **tilpummasa** šķirnei 'Zentos' bija 795.8 g L⁻¹, savukārt šķirnei 'Bussard' – 791.7 g L⁻¹, kas liecina, ka graudi bija atbilstoši A+ kvalitātes grupai (4. tab.). Būtiskas atšķirības ($p>0.05$) starp 'Bussard' un 'Zentos' šķirņu 1000 graudu masas un tilpummasas vidējiem rādītājiem netika konstatētas.

Graudu kvalitātes ķīmiskie rādītāji

Kopproteīna saturs vidēji trīs gados šķirnes 'Bussard' graudiem bija 143 g kg⁻¹ (V = 10%), kas par 21 g kg⁻¹ pārsniedza šķirnei 'Zentos' noteikto (123 g kg⁻¹, V = 14%). Šķirnes 'Bussard' graudu kopproteīna saturs jau pie N60 sasniedza pārtikas graudiem (maizes cepšanai) izvirzītās prasības (139.2 g kg⁻¹), bet šķirnei 'Zentos' – tikai pie slāpekļa mēslojuma normas N120 (127.5 g kg⁻¹) (2. att.).

Sedimentācijas vērtība šķirnes 'Bussard' graudiem bija 55.9 mL, kas bija par 13.3 mL augstāka ar zemāku variācijas koeficientu (V = 18%), salīdzinot ar šķirnei 'Zentos' noteikto (42.6 mL, V = 23%) (4. tab., 3. att.). Kopproteīna saturs un sedimentācijas vērtība bija būtiski ($p<0.05$) zemāki 2012. gadā iegūtajiem ziemas kviešu graudiem, jo nelabvēlīgie meteoroloģiskie apstākļi – zema vidējā gaisa temperatūra (vidēji 12.7 °C visā veģetācijas periodā) un lielais nokrišņu daudzums (496 mm visā veģetācijas periodā) – nesekmēja kopproteīna uzkrāšanos. Šķirnes 'Bussard' graudiem sedimentācijas vērtība jau pie N60 bija atbilstoša A+ kvalitātes grupai (53.5 mL), bet šķirnes 'Zentos' graudiem pie visām N mēslojuma normām tā ietilpa A grupā.

Lipekļa saturs un lipekļa indekss. Šķirnes 'Bussard' graudu vidējais lipekļa saturs sasniedza 284 g kg⁻¹, kas bija par 48 g kg⁻¹ augstāk ($p<0.05$) ar zemāku variācijas koeficientu (V = 12%) nekā šķirnei 'Zentos' (lipekļa saturs – 236 g kg⁻¹ ar V = 15%). Lipekļa saturs šķirnei 'Bussard' 2010. un 2011. gadā pārsniedza 300 g kg⁻¹ un bija atbilstošs A+ grupas prasībām, bet 'Zentos' graudi raksturojās ar zemāku lipekļa saturu, un tos varēja iedalīt A un B pārtikas graudu kvalitātes grupā. Zemāks lipekļa saturs abu šķirņu graudiem iegūts 2012. gadā, kad 51.–91. AE bija zemāka gaisa temperatūra (16.7 °C), salīdzinot ar 2010. un 2011. gadu. Lipekļa saturs 2012. gadā šķirnes 'Zentos' graudiem nebija atbilstošs maizes cepšanai (197 g kg⁻¹), bet šķirnes 'Bussard' graudi bija atbilstoši B kvalitātes grupai (243 g kg⁻¹) (4. att.).

Ziemas kviešu šķirņu ‘Bussard’ un ‘Zentos’ graudu tehnoloģisko īpašību un ražas vidējie rādītāji, 2010.–2012. g. /

Average data of grain technological properties and yield of winter wheat cultivars ‘Bussard’ and ‘Zentos’, 2010–2012

Rādītāji / Traits	Vidēji / Mean	Min	Max	V, %
‘Bussard’				
1000 graudu masa / 1000 grain weight, g	43.4±0.5	40.6	46.4	4
Tilpummasa / Volume weight, g L ⁻¹	792±5.1	764	817	2
Kopproteīna saturs / Crude protein content, g kg ⁻¹	143±4.3	116	159	10
Sedimentācijas vērtība / Sedimentation value, mL	56±2.8	39	65	18
Lipekļa saturs / Gluten content, g kg ⁻¹	284±10.2	225	335	12
Lipekļa indekss / Gluten index	80±2.3	71	95	10
Cietes saturs / Starch content, g kg ⁻¹	674±4.9	654	702	3
Krišanas skaitlis / Falling number, s	301±15.1	221	383	17
Ūdens uzņemšanas spēja / Water absorption, g kg ⁻¹	721±4.6	693	748	2
Mīklas veid. laiks / Dough developm. time, min	4.8±0.2	3.5	6.1	15
Mīklas stabilitāte / Dough stability time, min	9.0±0.5	6.7	12.5	21
Mīklas izplūstamība / Dough softening, FU	23.8±2.0	13.2	38.3	30
Graudu raža / Grain yield, t ha ⁻¹	5.90±0.2	5.13	6.63	9
‘Zentos’				
1000 graudu masa / 1000 grain weight, g	43.6±0.6	40.0	46.3	5
Tilpummasa / Volume weight, g L ⁻¹	796±5.6	765	824	3
Kopproteīna saturs / Crude protein content, g kg ⁻¹	123±4.8	96	144	14
Sedimentācijas vērtība / Sedimentation value, mL	43±2.9	28	59	23
Lipekļa saturs / Gluten content, g kg ⁻¹	237±10.3	176	289	15
Lipekļa indekss / Gluten index	63±2.6	52	81	14
Cietes saturs / Starch content, g kg ⁻¹	680±4.6	658	706	2
Krišanas skaitlis / Falling number, s	350±7.2	300	381	7
Ūdens uzņemšanas spēja / Water absorption, g kg ⁻¹	687±5.8	662	717	3
Mīklas veid. laiks / Dough developm. time, min	5.9±0.2	5.1	6.8	12
Mīklas stabilitāte / Dough stability, min	6.8±0.5	3.8	8.9	24
Mīklas izplūstamība / Dough softening, FU	43.0±3.0	30.0	61.4	24
Graudu raža / Grain yield, t ha ⁻¹	6.54±0.1	6.18	6.92	4

Trīs izmēģinājuma gados vidējais **lipekļa indekss** šķirnes ‘Bussard’ graudiem bija 80, kas bija par 17 vienībām augstāk ($p < 0.05$) ar zemāku variācijas koeficientu ($V = 10\%$) nekā šķirnei ‘Zentos’ (lipekļa indekss 63, $V = 14\%$). Lipekļa indekss šķirnes ‘Bussard’ graudiem bija no 74 līdz 84 un visos izmēģinājuma gados ietilpa I kvalitātes grupā. Arī šķirnes ‘Zentos’ graudi 2011. un 2012. gadā novērtēti atbilstoši I kvalitātes grupai (attiecīgi 63 un 72), bet 2010. gadā lipekļa indekss bija 55 un graudi ietilpa II kvalitātes grupā (5. att.).

Cietes saturs šķirņu ‘Bussard’ (674 g kg⁻¹) un ‘Zentos’ (680 g kg⁻¹) graudiem būtiski ($p>0.05$) neatšķirās. Būtiski augstāks cietes saturs bija 2012. gadā iegūtajiem ziemas kviešu graudiem: ‘Bussard’ – 696 g kg⁻¹, ‘Zentos’ – 700 g kg⁻¹ (4. tab.). Palielinot slāpekļa mēslojuma normas, abām šķirnēm cietes saturs graudos būtiski ($p<0.05$) samazinājās.

Krišanas skaitlis šķirnei ‘Zentos’ vidēji bija 395 s, kas bija būtiski augstāk nekā šķirnei ‘Bussard’ (346 s). Šķirnes ‘Zentos’ graudiem krišanas skaitlis bija stabilāks ar variācijas koeficientu 12%, savukārt šķirnei ‘Bussard’ – 19%. Abu šķirņu graudi, vērtējot pēc krišanas skaitļa (6. att.), ievērojami pārsniedza pārstrādes uzņēmumu A+ grupas prasības pārtikas graudiem (280 s).

Pilngraudu miltu mīklas reoloģiskās īpašības

Ūdens uzņemšanas spēja šķirnes ‘Bussard’ pilngraudu miltiem bija vidēji 721 g kg⁻¹, un tie piesaistīja par 34 g kg⁻¹ vairāk ūdens ($p<0.05$) nekā ‘Zentos’ pilngraudu milti (vid. 687 g kg⁻¹) (4. tab.). Ūdens uzņemšanas spēja bija būtiski ($p<0.05$) lielāka, ja kviešu augšanas laikā tika lietotas lielākas slāpekļa mēslojuma normas. Pie N60 pilngraudu miltu spēja piesaistīt ūdeni bija 707 g kg⁻¹ (‘Bussard’) un 677 g kg⁻¹ (‘Zentos’) (7. att.), bet pie N120 un N150 – attiecīgi 727–732 g kg⁻¹ un 690–706 g kg⁻¹. Abu šķirņu pilngraudu milti pēc ūdens absorbcijas spējas bija stipri.

Mīklas veidošanās laiks šķirnes ‘Zentos’ pilngraudu miltiem (vid. 5.9 min) bija būtiski ilgāks ($p<0.05$) ar zemāku variācijas koeficientu (12%), salīdzinot ar šķirnei ‘Bussard’ noteikto (vid. 4.8 min, V = 15%), un milti bija stipri (8. att.).

Mīklas stabilitāte šķirnes ‘Bussard’ pilngraudu miltu mīklai (vid. 9.0 min) bija būtiski ($p<0.05$) par 2.3 min augstāka ar zemāku variācijas koeficientu (V = 21%) (4. tab.), salīdzinot ar šķirnei ‘Zentos’ noteikto (vid. 6.8 min, V = 24%). Šķirnes ‘Bussard’ pilngraudu milti bija stipri, bet ‘Zentos’ pilngraudu milti – vidēji stipri. Ja ziemas kviešu augšanas laikā bija lietotas lielākas N mēslojuma normas (N120 un N150), tad miltu mīklas stabilitāte ieilga: no 9.3 līdz 10.4 min ‘Bussard’ šķirnei un no 7.1 līdz 6.9 min ‘Zentos’ šķirnei (9. att.).

Mīklas izplūstamības pakāpe vidēji trīs gados šķirnes ‘Bussard’ pilngraudu miltu mīklai (23.8 FU) bija būtiski ($p<0.05$) par 19.2 FU zemāka ar lielāku variācijas koeficientu (V = 30%), salīdzinot ar šķirnei ‘Zentos’ noteikto (43.0 FU, V = 24%) (4. tab.). Palielinot N mēslojuma normas, šķirnes ‘Zentos’ pilngraudu miltu mīklas izplūstamības pakāpe samazinājās: pie N60 tā bija 50.0 FU, bet pie N120 un N150 tā bija būtiski zemāka – attiecīgi 40.1 FU un 37.4 FU. Šķirnes ‘Bussard’ graudiem miltu izplūstamības pakāpe pie dažādām N mēslojuma normām svārstījās mazāk: no 21.2 FU līdz 26.8 FU (10. att.). Abu šķirņu pilngraudu miltu mīklas izplūstamības pakāpe bija salīdzinoši zema, kas liecina, ka milti bija stipri.

Tēze “Dažādu šķirņu pilngraudu miltu mīklas reoloģiskās īpašības atšķiras” apstiprinājās.

Graudu raža vidēji trīs gados (4. tab.) šķirnei 'Zentos' sasniedza 6.54 t ha^{-1} un bija par 0.58 t ha^{-1} jeb 10% augstāka ar zemāku variācijas koeficientu ($V = 4\%$) nekā šķirnei 'Bussard' (vidējā raža 5.91 t ha^{-1} , $V = 9\%$). Graudu ražu abām šķirnēm būtiski ($p < 0.05$) ietekmēja gada meteoroloģiskie apstākļi. Trijos izmēģinājuma gados netika konstatēta būtiska slāpekļa papildmēslojuma ietekme uz graudu ražu ($p > 0.05$). Tas skaidrojams ar to, ka izmēģinājums veikts ļoti auglīgajās Pēterlauku augsnēs, kurās organiskās vielas saturs bija 27–31 mg kg⁻¹. Vērojama tendence, ka abām šķirnēm pie N90 mēslojuma normas raža palielinājās, salīdzinot ar N60 normu, bet tālāka N mēslojuma normas palielināšana graudu ražu nepaaugstināja.

Sakarības starp graudu tehnoloģiskajām īpašībām

Korelatīvās sakarības liecina, ka šķirnei 'Bussard' starp kopproteīna saturu un lipekļa saturu bija būtiska sakarība – $r_B = 0.927$, savukārt šķirnei 'Zentos' $r_Z = 0.966$ ($n = 12$, $r_{0.05} = 0.575$, $r_{0.01} = 0.708$). Starp kopproteīna saturu un cietes saturu novērota negatīva korelācija – $r_B = -0.963$, $r_Z = -0.921$. Starp lipekļa saturu un lipekļa indeksu šķirnes 'Zentos' graudiem novērota cieša negatīva sakarība ($r_Z = -0.765$), un arī šķirnes 'Bussard' graudiem tendence bija līdzīga – $r_B = -0.485$. Pieaugot cietes saturam graudos, samazinājās sedimentācijas vērtība ($r_B = -0.979$, $r_Z = -0.811$). Ūdens uzņemšanas spējai konstatēta būtiska pozitīva korelācija ($p < 0.05$) ar kopproteīna un lipekļa saturu tikai šķirnes 'Bussard' graudiem ($r_B = 0.615$), kaut gan šī tendence novērota arī šķirnei 'Zentos' ($r_Z = 0.590$). Ja graudos bija lielāks kopproteīna un lipekļa saturs, pilngraudu milti spēja piesaistīt vairāk ūdens. Sakarību analīze liecina, ka mīklas veidošanās laiks cieši korelēja ($p < 0.01$) ar graudu kopproteīna saturu, sedimentācijas vērtību un lipekļa saturu, un korelācijas koeficienti starp šiem rādītājiem šķirnei 'Bussard' bija no $r_B = 0.728$ līdz $r_B = 0.822$, bet 'Zentos' šķirnei – no $r_Z = 0.825$ līdz $r_Z = 0.917$. Arī starp mīklas reoloģisko īpašību rādītājiem konstatētas sakarības. Mīklas stabilitāte pozitīvi korelēja ($p < 0.05$) ar ūdens uzņemšanas spēju šķirnes 'Bussard' graudiem ($r_B = 0.581$), un līdzīga tendence novērota arī šķirnei 'Zentos' ($r_Z = 0.436$). Palielinoties mīklas veidošanās laikam, mīklas stabilitāte pagarinājās ($r_B = 0.797$, $r_Z = 0.710$; $p < 0.01$), bet mīklas izplūstamība samazinājās ($r_B = -0.606$, $r_Z = -0.761$). Korelatīvās sakarības ietekmē ne tikai šķirnes ģenētiskās īpašības, bet arī konkrētā gada meteoroloģiskie apstākļi, kuri sekmē vai ierobežo viena vai otra kvalitatīvā rādītāja uzkrāšanos graudos un to attiecības endospermā.

Gada, slāpekļa mēslojuma un šķirnes faktoru ietekmes īpatsvars uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām un ražu

Lai noskaidrotu, cik liela daļa no pazīmes vērtību variēšanas trīs pētījuma gados ir saistāma ar faktoriem “šķirne”, “gada meteoroloģiskie apstākļi” (jeb “gads)”, “slāpekļa mēslojums” un šo faktoru mijiedarbību, pēc trīs faktoru dispersijas analīzes veikšanas noteica šo faktoru ietekmes relatīvo īpatsvaru (η , %) kopējā dispersijā.

Šķirnes ietekmes īpatsvars (η , %) uz analizēto tehnoloģisko īpašību mainību bija no 1% līdz 56%. Šķirne vairāk ietekmēja graudu lipekļa indeksu (50%), ūdens uzņemšanas spēju (54%) un mīklas izplūstamību (56%). Mazāka ietekme šķirnei bija uz cietes saturu (3%) un tilpummasu (1%). **Gads** būtiski ietekmēja ($p < 0.05$) visus graudu kvalitātes rādītājus. Lielāka gada ietekme bija uz graudu tilpummasu (87%) un cietes saturu (84%). Gads nozīmīgi ietekmēja arī graudu kopproteīna saturu (56%), sedimentācijas vērtību (53%) un lipekļa saturu (47%). **Slāpekļa mēslojuma ietekme** uz graudu tehnoloģisko īpašību izmaiņām bija būtiska ($p < 0.05$) – tā variēja no 0.1% (pilngraudu miltu ūdens uzņemšanas spējai) līdz 23% (1000 graudu masai). Slāpekļa mēslojums ietekmēja lipekļa satura izmaiņas par 17% un mīklas veidošanās laiku par 13%, kā arī mīklas stabilitāti, kopproteīna saturu un sedimentācijas vērtību par 9%, savukārt cietes saturu – par 8%. Konstatēta arī **šķirnes** \times **gada mijiedarbības** ietekme uz kviešu graudu tehnoloģisko īpašību mainību. Salīdzinoši lielāka šī faktora ietekme bija uz pilngraudu miltu ūdens uzņemšanas spēju (24%), lipekļa indeksu un krišanas skaitli (10%). **Gada** \times **slāpekļa mēslojuma** ietekme lielāka bija uz graudu lipekļa indeksu – 15%, bet mīklas veidošanās laiku šis faktors ietekmēja par 6%. Novērota arī **šķirnes** \times **slāpekļa mēslojuma mijiedarbība**, kas mīklas izplūstamību ietekmēja par 6%, bet mīklas stabilitāti par 3%. Neliela ietekme uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām konstatēta **šķirnes** \times **slāpekļa mēslojuma** \times **gada** mijiedarbībai, kas mīklas izplūstamību ietekmēja par 7% un mīklas stabilitāti un krišanas skaitli – par 4%.

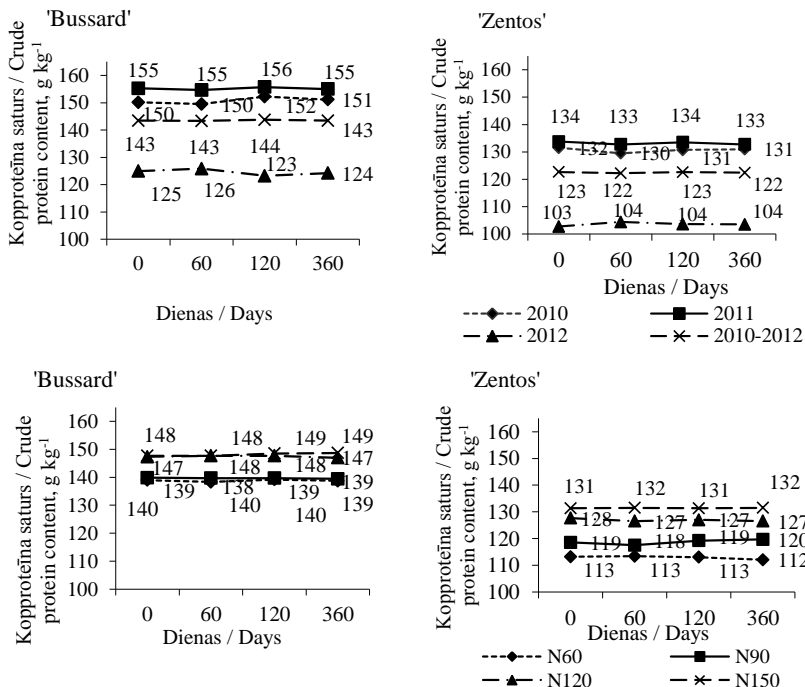
Analizējot abas šķirnes kopā, vairāk **graudu ražu** ietekmēja šķirne (34%) un gads (33%), mazāka ietekme bija gada \times šķirnes mijiedarbībai (13%). Salīdzinoši maza ietekme uz graudu ražu novērota slāpekļa mēslojuma \times gada mijiedarbībai (4%), bet slāpekļa mēslojumam bija vismazākā ietekme (3%).

Apstiprinājās tēzes “Slāpekļa mēslojums būtiski ietekmē graudu fizikālos un ķīmiskos kvalitātes rādītājus, bet gada meteoroloģisko apstākļu un šķirnes ietekme ir lielāka” un “Pilngraudu mīklas reoloģiskās īpašības ietekmē kviešu augšanas laikā lietotais slāpekļa mēslojums, gada meteoroloģiskie apstākļi un šķirne”. Ziemas kviešu graudu ražu vairāk ietekmēja šķirne un gada meteoroloģiskie apstākļi.

Graudu tehnoloģisko īpašību izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā

Graudu kvalitātes ķīmisko rādītāju izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā

Kopproteīna saturs, ziemas kviešu graudus uzglabājot vienu gadu, šķirnei ‘Bussard’ mainījās no ± 0.2 līdz ± 2.8 g kg^{-1} , bet šķirnei ‘Zentos’ – no ± 0.3 līdz ± 3.5 g kg^{-1} , bet šīs izmaiņas nebija statistiski būtiskas ($p > 0.05$) (2. att.).



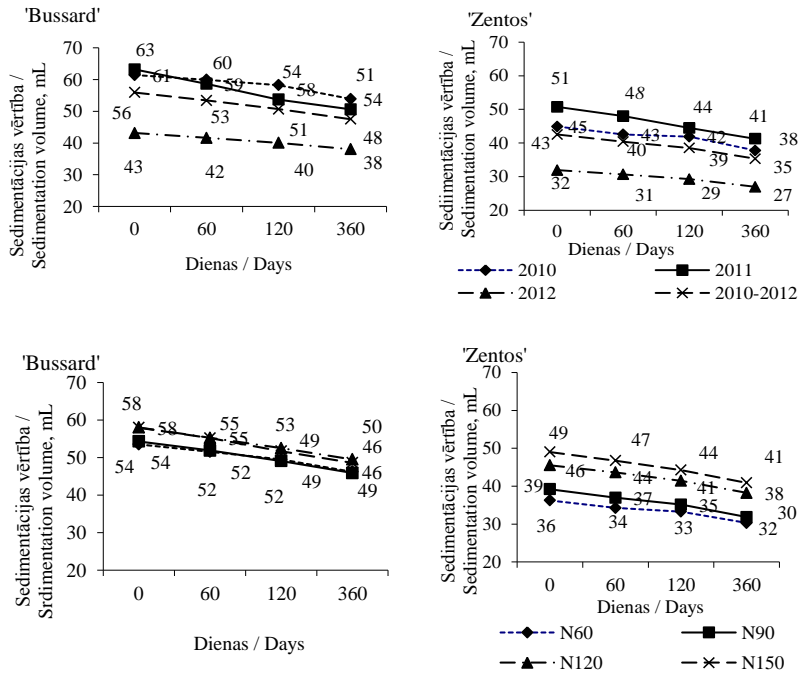
2. att. **Kopproteīna saturs (g kg^{-1}) izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no pētījuma gada un slāpekļa mēslojuma. /**

Fig. 2. Crude protein (g kg^{-1}) variations in grain storage time, affected by trial year and nitrogen fertilizer.

Sedimentācijas vērtība ziemas kviešu graudu uzglabāšanas laikā būtiski samazinājās ($p < 0.05$). Šķirnes ‘Bussard’ graudiem pēc 60 dienām sedimentācijas vērtība samazinājās par 2–5 mL, pēc 120 dienām tā bija jau būtiski par 3–10 mL zemāka, un pēc viena gada – par 5–13 mL zemāka, bet šķirnei ‘Zentos’ – attiecīgi par 1–3, 3–6 un 5–10 mL zemāka, salīdzinot ar tikko nokultiem graudiem noteikto sedimentācijas vērtību (3. att.).

Novērota tendence – ja kviešu augšanas laikā bija lietotas lielākas slāpekļa mēslojuma normas (N120 un N150), tad sedimentācijas vērtība

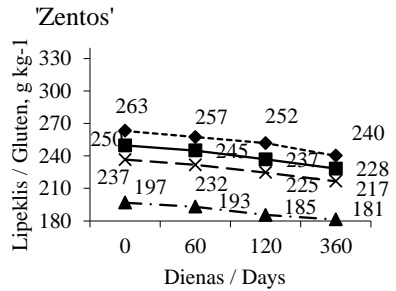
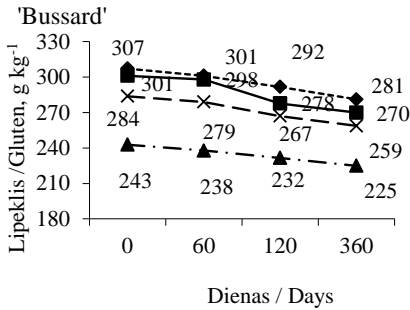
samazinājās vairāk: 9 mL šķirnes ‘Bussard’ graudiem un 7–8 mL šķirnes ‘Zentos’ graudiem.



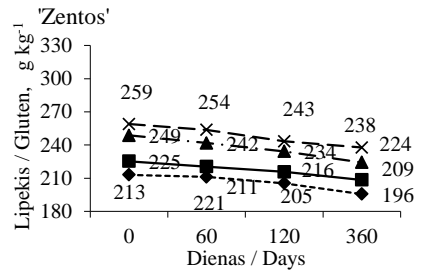
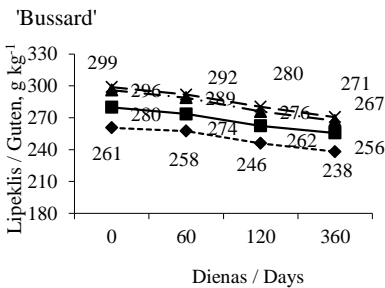
3. att. Sedimentācijas vērtības (mL) izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no gada un slāpekļa mēslojuma. /

Fig. 3. Sedimentation value (mL) variations in grain storage time, affected by trial year and nitrogen fertilizer norm.

Lipekļa saturs jau 60 dienas pēc graudu nokulšanas šķirnes ‘Bussard’ graudiem samazinājās par 3–7 g kg⁻¹, bet ‘Zentos’ graudiem – par 2–5 g kg⁻¹; pēc 120 dienām lipekļa saturs samazinājās attiecīgi par 15–17 g kg⁻¹ un 6–15 g kg⁻¹ (4. att.). Ziemas kviešu graudus uzglabājot 360 dienas, lipekļa saturs šķirnei ‘Bussard’ samazinājās par 23–29 g kg⁻¹, bet ‘Zentos’ šķirnei – par 17–24 g kg⁻¹, salīdzinot ar tikko nokultiem graudiem noteikto lipekļa saturu. Graudu uzglabāšanas laikā tajos notiek bioķīmiski procesi: mainoties olbaltumvielu struktūrai, samazinās lipekļa daudzums un arī sedimentācijas vērtība, kaut arī kopproteīna saturs paliek nemainīgs (Mezei, Sios, Gyori, 2007).



---◆--- 2010 ■--- 2011
 -▲- 2012 -×- 2010-2012

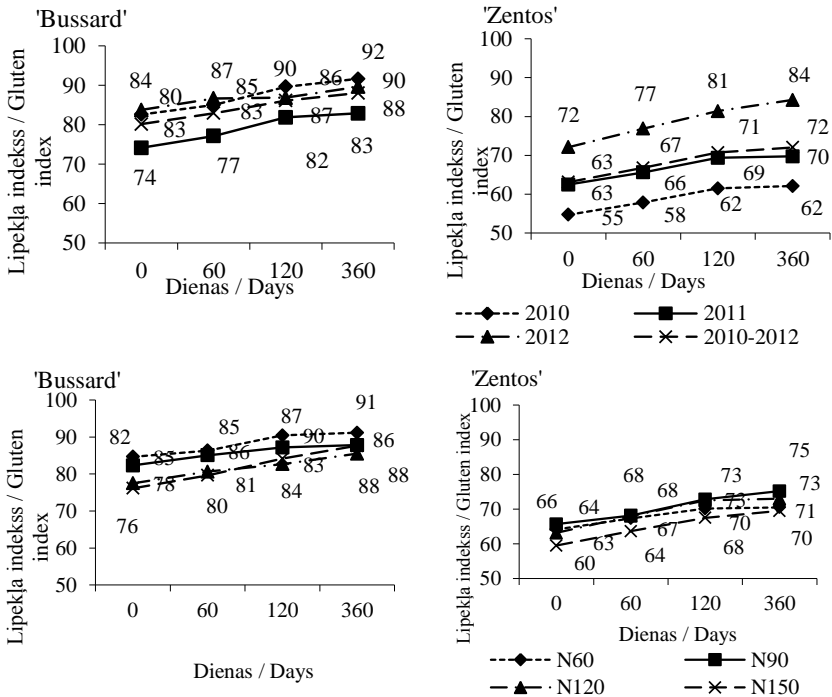


---◆--- N60 ■--- N90
 -▲- N120 -×- N150

4. att. **Lipekļa saturs (g kg^{-1}) izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no pētījuma gada un slāpekļa mēslojuma. /**

Fig. 4. *Gluten content (g kg^{-1}) variations in grain storage time, affected by trial year and nitrogen fertilizer.*

Lipekļa indekss graudu uzglabāšanas laikā būtiski palielinājās ($p < 0.05$): 60 dienas pēc graudu nokulšanas 'Bussard' šķirnei par 2–4 vienībām, 'Zentos' šķirnei par 3–4 vienībām; pēc 120 dienām – attiecīgi par 5–8 un 6–8 vienībām, salīdzinot ar tikko nokultiem graudiem noteikto lipekļa indeksu (5. att.). Graudus uzglabājot 360 dienas, šķirnes 'Bussard' graudiem lipekļa indekss palielinājās par 7–12 vienībām, bet 'Zentos' graudiem – par 6–10 vienībām, salīdzinot ar tikko novāktiem graudiem noteikto lipekļa indeksu. Kviešu graudu uzglabāšanas laikā tika konstatēts, ka lipekļa saturs ir samazinājies, bet lipekļa indekss ir palielinājies, jo starp šiem rādītājiem pastāv negatīva sakarība, ko apstiprina arī citi pētījumi (Dabkevičius, Cesevičiene, Mašauskiene, 2006). Uzglabājot graudus no 120 līdz 360 dienām, lipekļa indeksa variēšana vairs nebija būtiska.

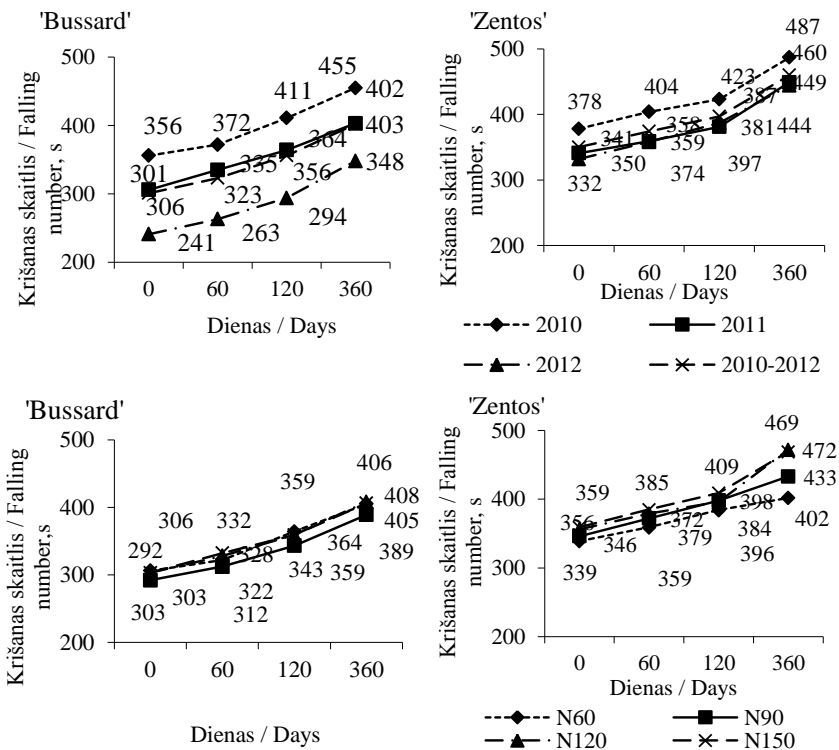


5. att. Lipekļa indeksa izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no pētījuma gada un slāpekļa mēslojuma. /

Fig. 5. Gluten index variations in grain storage time, affected by trial year and nitrogen fertilizer.

Krišanas skaitlis graudu uzglabāšanas laikā būtiski ($p < 0.05$) palielinājās. Šķirnes 'Bussard' graudiem, uzglabājot tos 60 dienas, krišanas skaitlis palielinājās par 16–22 s, salīdzinot ar tikko novāktiem graudiem noteikto krišanas skaitli; pēc 120 dienām tas palielinājās par 71–86 s, bet viena gada laikā – par 97–107 s (6. att.). Šķirnes 'Zentos' graudiem novērota līdzīga tendence: uzglabājot kviešus 60 dienas, krišanas skaitlis palielinājās par 18–27 s, pēc 120 dienām – par 40–55 s, bet pēc 360 dienām – par 109–112 s, salīdzinot ar tikko nokultiem graudiem konstatēto krišanas skaitli. Krišanas skaitlis paaugstinās, jo graudu uzglabāšanas laikā graudapvalkos (perikarpā) samazinās α -amilāzes aktivitāte (Lunn, Kettlewell, Major et al., 2001). M. M. Karaoglu ar līdzautoriem uzsver, ka α -amilāzes enzīma samazinātā darbība ir saistīta ar cietes klīsterizēšanas graudu uzglabāšanas laikā (Karaoglu, Aydeniz, Kontanciar et al., 2010). Maizes cepšanai piemērotu kviešu graudu krišanas skaitlim nav vēlams pārsniegt 360 s (Belderok, 2000). Pēc 360 dienu uzglabāšanas graudu krišanas skaitlis pārsniedza 400 s; ražošanā šādus miltus

var samaisīt ar miltiem, kuru krišanas skaitlis ir zemāks, tādējādi iegūstot optimālu rādītāju.



6. att. Krišanas skaitļa (s) izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no pētījuma gada un slāpekļa mēslojuma. /

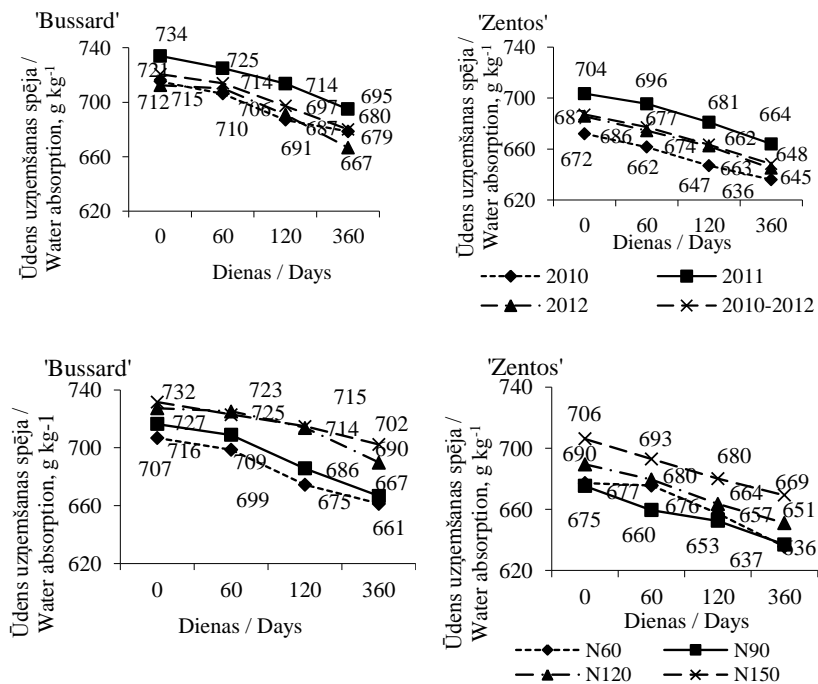
Fig. 6. Falling number (s) variations in grain storage time, affected by trial year and nitrogen fertilizer.

Tēze “Graudus uzglabājot vienu gadu, graudu kvalitātes ķīmiskie rādītāji būtiski izmainās” apstiprinājās: līpekļa saturs un sedimentācijas vērtība būtiski samazinājās, bet līpekļa indekss un krišanas skaitlis būtiski palielinājās. Proteīna saturs izmaiņas netika konstatētas.

Miklas reoloģisko īpašību izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā

Ūdens uzņemšanas spēja šķirnes ‘Bussard’ pilngraudu miltiem, graudus uzglabājot līdz 60 dienām, samazinājās par 2–9 g kg⁻¹, pēc 120 dienām tā bija jau būtiski ($p < 0.05$) par 21–28 g kg⁻¹ zemāka un pēc viena gada par 37–46 g kg⁻¹ zemāka, bet šķirnei ‘Zentos’ – attiecīgi par 8–11, 23–25 un par

36–41 g kg⁻¹ zemāka, salīdzinot ar tikko nokultu graudu miltiem noteikto ūdens uzņemšanas spēju (7. att.).

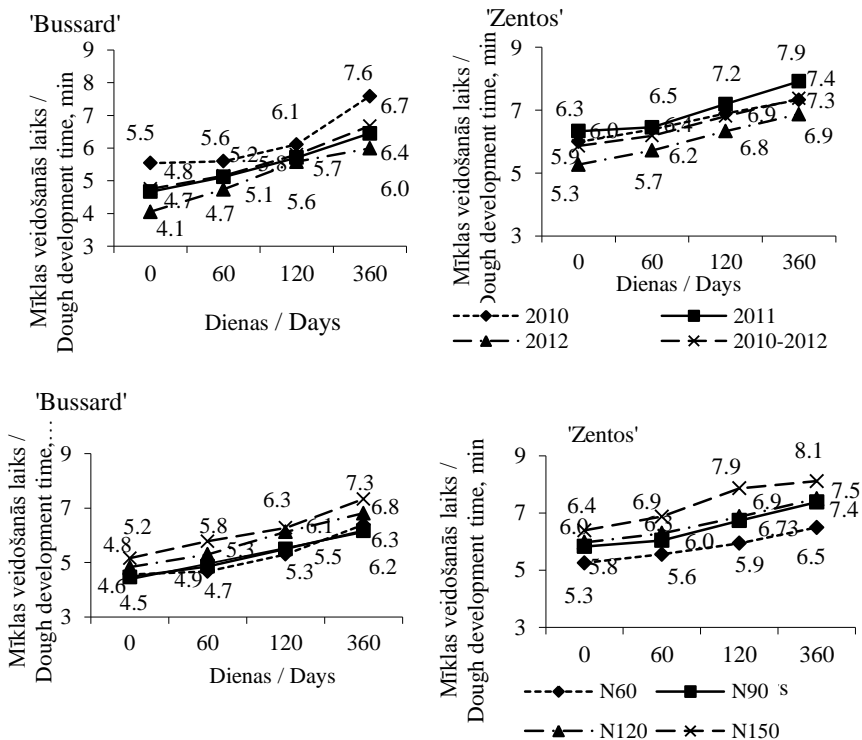


7. att. Pilngraudu miltu ūdens uzņemšanas spējas (g kg⁻¹) izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no pētījuma gada un slāpekļa mēslojuma. / Fig. 7. Wholemeal water absorption (g kg⁻¹) variation in grain storage time, affected by trial year and nitrogen fertilizer norm.

Lai arī pēc 360 dienu ilgus graudu uzglabāšanas pilngraudu milti, veidojot no tiem mīklu, piesaistīja mazāk ūdens, tomēr to ūdens uzņemšanas spēja bija salīdzinoši augsta.

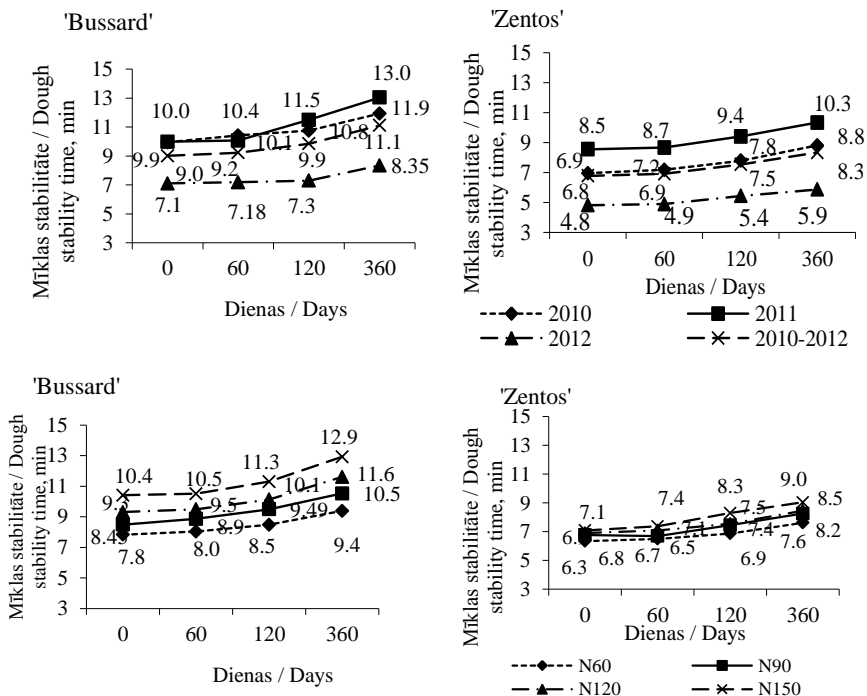
Kā minēts R. Koppelas un A. Ingveras (Koppel, Ingver, 2010) pētījumā, ja miltu ūdens uzņemšanas spēja ir >580 g kg⁻¹, milti ir stipri un piemēroti maizes cepšanai.

Miklas veidošanās laiks tūlīt pēc šķirnes ‘Bussard’ graudu novākšanas pilngraudu miltiem bija 4.8 min, bet pēc viena gada graudu uzglabāšanas tas palielinājās ($p < 0.05$) par 1.9 min un bija 6.7 min; šķirnei ‘Zentos’ – attiecīgi 5.9 min un 7.4 min (palielinājās par 1.5 min) (8. att.). Pilngraudu miltu miklas veidošanās laiks graudu uzglabāšanas laikā palielinājās, milti palika stiprāki un bija piemēroti maizes cepšanai.



8. att. Pilngraudu miltu mīklas veidošanās laika (min) izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no pētījuma gada un slāpekļa mēslojuma. / Fig. 8. Wholemeal dough development time (min) variations in grain storage time, affected by trial year and nitrogen fertilizer.

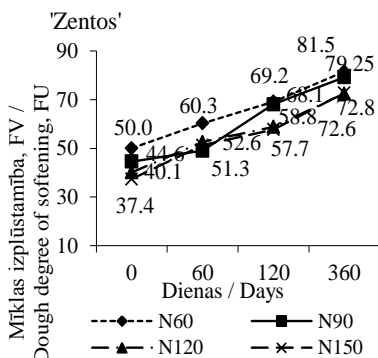
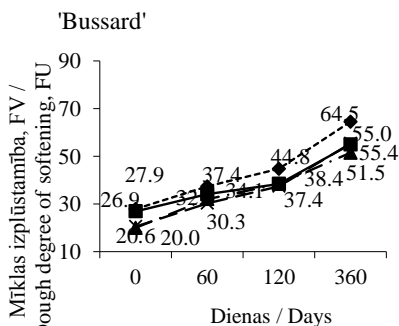
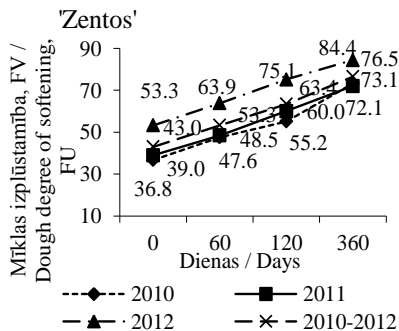
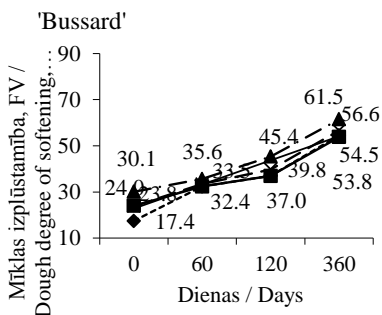
Mīklas stabilitāte palielinājās ($p < 0.05$), graudus uzglabājot no 60 līdz 360 dienām (9. att.): šķirnes 'Bussard' pilngraudu miltu mīklai vidēji par 2.1 min, bet 'Zentos' miltu mīklai par 1.6 min. 2010. un 2011. gadā tikko nokultiem šķirnes 'Bussard' graudiem bija augstāka pilngraudu miltu mīklas stabilitāte (10.0 min) un tā palielinājās vairāk (360 dienu laikā no 2.0 līdz 3.1 min), salīdzinot ar 2012. gadā nokultajiem graudiem (gada laikā par 1.2 min), kuru pilngraudu miltu mīklas stabilitāte bija zemāka (7.1 min). Novērots: ja pilngraudu miltu mīklas stabilitāte ir augstāka (pie N120 un N150 slāpekļa mēslojuma), tad pēc 360 dienām tā palielinās vairāk.



9. att. **Pilngraudu miltu mīklas stabilitātes (min) izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no pētījuma gada un slāpekļa mēslojuma.** / Fig. 9. Wholemeal dough stability time (min) variations in grain storage time, affected by year and nitrogen fertilizer.

Mīklas izplūstamības pakāpe, graudus uzglabājot 60–360 dienas, pilngraudu miltiem būtiski ($p < 0.05$) palielinājās. Ja mīklas izplūstamības pakāpe nepārsniedz 70 FU (farinogrāfa vienības), tad mīklas mīcīšanas kvalitāte ir laba, bet, pārsniedzot 110 FU, mīkla ir vāja un labas kvalitātes maizi neizdosies izcept (Mašauskiene, Cesevičiene, 2006). Salīdzinot ar tikko novāktiem graudiem, pilngraudu miltu izplūstamības pakāpe šķirnei ‘Bussard’ palielinājās no 29.8 līdz 37.1 FU, šķirnei ‘Zentos’ – attiecīgi no 31.1 līdz 36.4 min (10. att).

Lai arī pilngraudu miltu izplūstamība šķirnēm ‘Bussard’ un ‘Zentos’, uzglabājot graudus vienu gadu, būtiski palielinājās, tā nepārsniedza kritisko vērtību, t. i., 110 FU. Tādējādi, vērtējot pēc miltu mīklas izplūstamības, šķirnes ‘Bussard’ pilngraudu milti bija stipri, bet šķirnes ‘Zentos’ milti – vidēji stipri.



10. att. Ziemas kviešu pilngraudu miltu mīklas izplūstamības (FU) izmaiņas graudu uzglabāšanas laikā atkarībā no pētījuma gada un slāpekļa mēslojuma. /

Fig. 10. Wholemeal dough degree of softening (FU) variations in grain storage time, affected by trial year and nitrogen fertilizer.

Slēdziens. Graudus uzglabājot vienu gadu, pilngraudu miltiem samazinājās ūdens uzņemšanas spēja, palielinājās mīklas veidošanās laiks, mīklas stabilitāte un mīklas izplūstamības pakāpe, salīdzinot ar miltiem, kas samalti no tikko novāktiem graudiem. Šķirnes ‘Bussard’ pilngraudu milti bija ar augstāku ūdens uzņemšanas spēju, zemāku mīklas veidošanās laiku, ilgāku mīklas stabilitāti un zemāku mīklas izplūstamību. Kopumā šķirnes ‘Bussard’ pilngraudu milti bija stipri, bet šķirnes ‘Zentos’ pilngraudu milti – vidēji stipri.

Apstiprinājās tēze “Graudus uzglabājot vienu gadu, mīklas reoloģiskās īpašības ziemas kviešu šķirnēm mainās, tomēr milti ir piemēroti pilngraudu miltu ražošanai”.

Sakarības starp graudu tehnoloģiskajām īpašībām graudu uzglabāšanas laikā

Graudus uzglabājot 360 dienas, šķirnei 'Bussard' kopproteīna saturs būtiski ($n = 12$, $r_{0.05} = 0.575$, $r_{0.01} = 0.708$) pozitīvi korelēja ar miltu ūdens uzņemšanas spēju: $r_B = 0.668$ (95% līmenī). Starp pilngraudu miltu ūdens uzņemšanas spēju un lipekļa saturu novērota pozitīva sakarība ($p < 0.05$) šķirnei 'Bussard' ($r_B = 0.590$), bet šķirnei 'Zentos' novērota līdzīga tendence ($r_Z = 0.479$). Graudus uzglabājot vienu gadu, mīklas veidošanās laiks korelēja ar kopproteīna saturu, sedimentācijas vērtību un lipekļa saturu. Korelācijas koeficienti šīm sakarībām šķirnei 'Bussard' bija no $r_B = 0.637$ ($p < 0.05$) līdz $r_B = 0.775$ ($p < 0.01$), bet 'Zentos' šķirnei – no $r_Z = 0.812$ līdz $r_Z = 0.896$ ($p < 0.01$). Mīklas stabilitātei novērota cieša pozitīva ($p < 0.01$) sakarība ar kopproteīna saturu, sedimentācijas vērtību un lipekļa saturu, un to korelācijas koeficienti bija no $r_B = 0.880$ līdz $r_B = 0.905$ un no $r_Z = 0.820$ līdz $r_Z = 0.918$. Ja kopproteīna saturs bija augstāks, mīkla kļuva stabilāka.

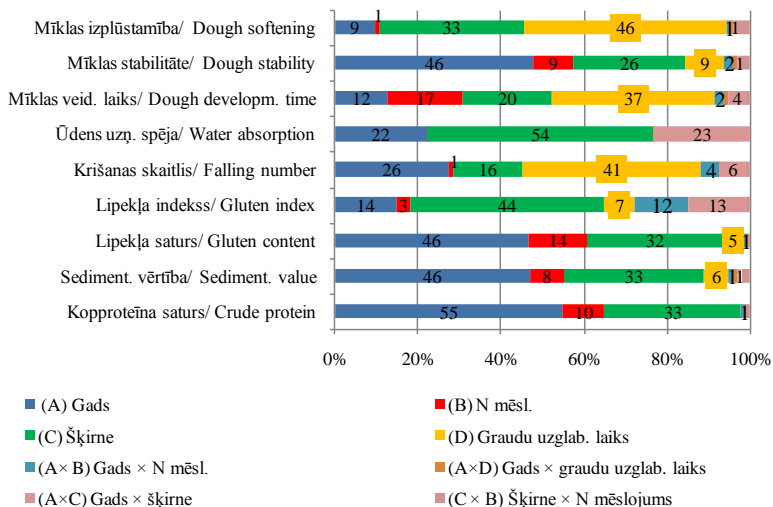
Negatīvas sakarības novērotas starp kopproteīna saturu graudos un mīklas izplūstamības pakāpi: $r_B = -0.661$, $r_Z = -0.889$ ($n = 12$, $r_{0.05} = 0.575$, $r_{0.01} = 0.708$); arī mīklas izplūstamības pakāpe negatīvi korelēja ar sedimentācijas vērtību un lipekļa saturu. Mīklas stabilitāte pozitīvi korelēja ($p < 0.01$) ar ūdens uzņemšanas spēju šķirnei 'Bussard' ($r_B = 0.754$); līdzīga tendence novērota arī šķirnei 'Zentos': ja milti spēj uzņemt vairāk ūdens, tad mīkla ir stabilāka. Graudus uzglabājot līdz 360 dienām, palielinājās mīklas veidošanās laiks un mīkla kļuva stabilāka. Starp šīm mīklas reoloģiskajām īpašībām noteikta pozitīva sakarība: $r_B = 0.668$ ($p < 0.05$), $r_Z = 0.834$ ($p < 0.01$). Savukārt, ja palielinājās mīklas veidošanās laiks, tad mīklas izplūstamība samazinājās ($p < 0.01$): $r_B = -0.644$, $r_Z = -0.802$.

Graudu uzglabāšanas laika, šķirnes, gada meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma faktoru ietekmes īpatsvars uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām

Lai noskaidrotu, cik liela daļa no pazīmes vērtību variēšanas trīs pētījuma gados ir saistāma ar faktoriem "graudu uzglabāšanas laiks", "šķirne", "gada meteoroloģiskie apstākļi" ("gads"), "slāpekļa mēslojums" un šo faktoru mijiedarbību, pēc 4 faktoru dispersijas analīzes veikšanas noteica šo faktoru ietekmes relatīvo īpatsvaru (η , %) kopējā dispersijā.

Graudu **uzglabāšanas laiks** būtiski ($p < 0.05$) ietekmēja visas graudu tehnoloģiskās īpašības. Lielāka ietekme graudu uzglabāšanas laikam bija uz krišanas skaitļa (41%) (11. att.), mīklas veidošanās laika (37%) un mīklas

izplūstamības izmaiņām (46%). Mazāka ietekme graudu uzglabāšanas laikam bija uz mīklas stabilitāti (9%), lipekļa indeksu (7%) un lipekļa saturu (5%).



11. att. Faktoru ietekmes īpatsvars (η , %) uz graudu tehnoloģiskajām īpašībām to uzglabāšanas laikā. /

Fig. 11. Impact of factors' influence (η , %) on grain technological properties in grain storage time:

A – year; B – nitrogen fertilizer; C – cultivar; D – grain storage time.

Šķirnei kā faktoram graudu uzglabāšanas laikā bija būtiska ($p < 0.05$) ietekme uz visu tehnoloģisko īpašību mainību, kas variēja no 16% līdz 54%. Augstākais šķirnes kā faktora ietekmes īpatsvars bija ūdens uzņemšanas spējai (54%) un lipekļa indeksam (44%), bet mazāks tas bija krišanas skaitļa mainībai (16%). Vērtējot katra faktora relatīvo ietekmi uz tehnoloģisko īpašību mainību, konstatēts, ka **gada kā faktora** ietekmes īpatsvars (η , %) uz analizēto pazīmju mainību bija ievērojami augstāks par šķirnes, slāpekļa mēslojuma un graudu uzglabāšanas laika ietekmi šādiem rādītājiem: kopproteīna saturam (55%), sedimentācijas vērtībai (46%), lipekļa saturam (46%) un mīklas stabilitātei (46%). **Slāpekļa mēslojuma** kā faktora ietekme bija būtiska ($p < 0.05$) visām tehnoloģiskajām īpašībām – lielāka tā bija uz mīklas veidošanās laika (17%) un lipekļa satura (14%) izmaiņām, bet kopproteīna saturu tā ietekmēja par 10%. Nozīmīga **gada × šķirnes** ietekme konstatēta arī uz ūdens uzņemšanas spējas (24%) un lipekļa indeksa (12%) izmaiņām.

Lai arī pārējās mijiedarbības – **graudu uzglabāšanas laiks × gads**, **šķirne × gads × slāpekļa mēslojums**, **šķirne × graudu uzglabāšanas laiks** –

pārsvārā būtiski ($p < 0.05$) ietekmēja graudu tehnoloģiskās īpašības, taču šī ietekme bija ļoti maza – no 0.01% līdz 3%.

Slēdziens

Šajā trīs gadu praktiskās ievirzes pētījumā izmantotas divas ziemas kviešu šķirnes: ‘Bussard’, kura bija ar augstāku graudu kvalitāti, bet zemāku graudu ražas līmeni, un ‘Zentos’ – ar ierobežotu graudu kvalitāti, bet augstāku ražu.

Trīs gadu pētījuma rezultāti liecina, ka pie N90 slāpekļa mēslojuma normas augušiem graudiem sasniegta augstāka raža (šķirnei ‘Bussard’ – 5.96 t ha^{-1} , ‘Zentos’ – 6.62 t ha^{-1}) un tālāka N mēslojuma normas palielināšana nav paaugstinājusi graudu ražu.

Palielinot slāpekļa mēslojuma normu, ziemas kviešu graudu tehnoloģiskās īpašības būtiski uzlabojās. Šķirnes ‘Bussard’ graudiem noteikts augstāks kopproteīna saturs, lipekļa saturs un sedimentācijas vērtība, salīdzinot ar ‘Zentos’ graudiem. Šķirnes ‘Bussard’ graudu milti bija stipri, ar augstu samaisīšanas vērtību ar vājākiem miltiem, bet šķirnes ‘Zentos’ graudu milti bija vidēji stipri un tos varētu izmantot tiešai maizes cepšanai. Lai sasniegtu pārtikas kviešiem atbilstošu graudu kvalitāti un **iegūtu kvalitatīvus pilngraudu miltus**, šķirnei ‘Bussard’ nepieciešams lietot slāpekļa mēslojumu 120 kg ha^{-1} , bet ‘Zentos’ šķirnei – 150 kg ha^{-1} .

Graudus uzglabājot vienu gadu, to kvalitāte pasliktinājās. Kopproteīna saturs nemainījās, bet lipekļa saturs un sedimentācijas vērtība samazinājās, salīdzinot ar šiem pašiem rādītājiem tūlīt pēc graudu nokulšanas.

Pilngraudu miltiem samazinājās ūdens uzņemšanas spēja, palielinājās mīklas veidošanās laiks, mīklas stabilitāte un mīklas izplūstamības pakāpe, salīdzinot ar tikko novāktiem graudiem. Graudus ilgāk uzglabājot, milti no tiem kļuva vājāki, tomēr **tie bija ar labām tehnoloģiskajām īpašībām un piemēroti pilngraudu miltu ražošanai.**

SECINĀJUMI

1. Ziemas kviešu **1000 graudu masa** un **tilpummasa** būtiski ($p < 0.05$) samazinājās līdz ar slāpekļa mēslojuma normas palielināšanu. Lielāka ietekme uz 1000 graudu masu bija gada meteoroloģiskajiem apstākļiem, mazāka bija slāpekļa mēslojuma ietekme, bet šo faktoru mijiedarbības ietekme bija īpaši maza. Tilpummasu vairāk ietekmēja gada meteoroloģiskie apstākļi, bet pārējo faktoru ietekme bija maza.
2. **Kopproteīna saturs** šķirnes ‘Bussard’ graudiem ar slāpekļa mēslojuma normu N120 sasniedza A+ kvalitātes grupai izvirzītās prasības, savukārt šķirnes ‘Zentos’ graudi pie N150 ietilpa A grupā. Kopproteīna saturu vairāk ietekmēja gada meteoroloģiskie apstākļi un šķirne, mazāka ietekme

- bija slāpekļa mēslojumam, bet šo faktoru mijiedarbības ietekme bija ļoti maza. Kviešu graudu uzglabāšanas laikā kopproteīna saturs būtiski nemainījās.
3. Pēc **sedimentācijas vērtības** rādītāja šķirnes ‘Bussard’ graudi bija atbilstoši A+ kvalitātes grupai ar slāpekļa mēslojuma normu N60–N120, bet šķirnes ‘Zentos’ graudi – tikai ar N150 mēslojuma normu. Sedimentācijas vērtību vairāk ietekmēja gada meteoroloģiskie apstākļi un šķirne, mazāka ietekme bija slāpekļa mēslojumam un visu faktoru mijiedarbībai. Graudus uzglabājot vienu gadu, abām šķirnēm sedimentācijas vērtība būtiski ($p < 0.05$) samazinājās, šķirnes ‘Bussard’ graudi iekļāvās A kvalitātes grupā, bet šķirnes ‘Zentos’ graudi – tikai B kvalitātes grupā.
 4. **Lipekļa saturs** šķirnes ‘Bussard’ graudiem bija atbilstošs A+ kvalitātes grupai ar slāpekļa mēslojuma normu N90–N150, bet šķirnes ‘Zentos’ graudiem ar N150 mēslojuma normu tas ietilpa B grupā. Lipekļa saturu graudos vairāk ietekmēja gada meteoroloģiskie apstākļi un šķirne, mazāka ietekme bija slāpekļa mēslojumam, bet šo faktoru mijiedarbībai bija īpaši maza ietekme. **Lipekļa indekss** abām šķirnēm bija atbilstošs I kvalitātes grupas graudiem. Lipekļa indeksu vairāk ietekmēja šķirne, mazāka bija gada un mijiedarbības “gads \times N mēslojums” ietekme, bet īpaši maza bija N mēslojuma ietekme. Graudus uzglabājot vienu gadu, lipekļa saturs būtiski ($p < 0.05$) samazinājās, un tie ietilpa zemākas kvalitātes grupā: šķirnes ‘Bussard’ graudi – B grupā, bet ‘Zentos’ graudi – L grupā. Lipekļa indekss būtiski paaugstinājās, bet abu šķirņu graudiem palika I kvalitātes grupā.
 5. **Krišanas skaitlis** abām šķirnēm pie visām N mēslojuma normām bija atbilstošs A+ kvalitātes graudu prasībām. Krišanas skaitlis vairāk bija atkarīgs no gada meteoroloģiskajiem apstākļiem un šķirnes, bet mazāka ietekme bija mijiedarbībai “gads \times šķirne”. Graudu uzglabāšanas laiks par 41% ietekmēja krišanas skaitļa izmaiņas, kas būtiski ($p < 0.05$) palielinājās un bija atbilstošs A+ pārtikas kviešu prasībām.
 6. Pilngraudu miltu **ūdens uzņemšanas spēja** abām šķirnēm bija augsta un milti – stipri. Ja kviešiem bija lietotas augstākas slāpekļa mēslojuma normas, pilngraudu miltu ūdens uzņemšanas spēja palielinājās. Ūdens uzņemšanas spēju pilngraudu miltiem visvairāk ietekmēja šķirne, mazāka ietekme bija mijiedarbībai “gads \times šķirne”. Graudu uzglabāšanas laikā ūdens uzņemšanas spēja pilngraudu miltiem būtiski ($p < 0.05$) samazinājās, bet milti palika stipri.
 7. Vērtējot pēc pilngraudu miltu **mīklas veidošanās laika**, abām šķirnēm milti bija stipri. Lietojot augstākas slāpekļa mēslojuma normas, pilngraudu miltu mīklas veidošanās laiks bija ilgāks. Mīklas veidošanās laiku visvairāk ietekmēja šķirne, mazāka ietekme bija gada meteoroloģiskajiem apstākļiem un slāpekļa mēslojumam. Graudu

- uzglabāšanas laiks par 37% ietekmēja mīklas veidošanās periodu, kurš pagarinājās.
8. Pēc pilngraudu miltu **mīklas stabilitātes** šķirnes 'Bussard' milti bija stipri, bet 'Zentos' milti – vidēji stipri. Palielinot slāpekļa mēslojuma normas, mīkla kļuva stabilāka. Pilngraudu miltu mīklas stabilitāti vairāk ietekmēja gada meteoroloģiskie apstākļi un šķirne, bet citu faktoru un to mijiedarbības ietekme bija mazāka. Pēc viena gada milti kļuva stiprāki un mīkla stabilāka.
 9. Pilngraudu **mīklas izplūstamības** pakāpe bija salīdzinoši zema, šķirnes 'Bussard' milti bija stipri, bet 'Zentos' milti – vidēji stipri. Zemāka mīklas izplūstamība bija pie augstākām slāpekļa mēslojuma normām. Pilngraudu miltu izplūstamību vairāk ietekmēja šķirne, mazāka bija gada meteoroloģisko apstākļu un šo faktoru mijiedarbības ietekme. Graudu uzglabāšanas laiks pilngraudu mīklas izplūstamību ietekmēja par 46%, un tā kļuva ilgāka. **Pēc viena gada graudu uzglabāšanas milti no šiem graudiem kļuva vājāki, tomēr šķirnēm 'Bussard' un 'Zentos' pēc miltu iedalījuma tie attiecīgi palika stipri un vidēji stipri un bija piemēroti pilngraudu miltu ražošanai.**
 10. Graudu kvalitātes ķīmiskie rādītāji ir cieši saistīti ar mīklas reoloģiskajām īpašībām. Mīklas veidošanās laiks un mīklas stabilitāte pozitīvi korelēja ar kopproteīna saturu, sedimentācijas vērtību un lipekļa saturu. Mīklas stabilitāte pozitīvi korelēja ar ūdens uzņemšanas spēju. Starp pilngraudu mīklas izplūstamību un kopproteīnu, kā arī lipekļa saturu un sedimentācijas vērtību novērota negatīva sakarība. Mīklas veidošanās laiks negatīvi korelēja ar mīklas izplūstamību.
 11. Šķirnei 'Zentos' bija vidēji par 0.58 t ha⁻¹ augstāka **graudu raža**, bet zemāka graudu kvalitāte, salīdzinot ar šķirni 'Bussard'. Ziemas kviešu graudu ražu vairāk ietekmēja šķirne un gads, neliela ietekme bija mijiedarbībai "gads × šķirne", bet slāpekļa mēslojuma ietekme uz graudu ražas lielumu bija maza.

INTRODUCTION

Geographically, Latvia is located in a favorable area for winter wheat (*Triticum aestivum* L.) growing. Winter wheat in Latvia occupies a significant part of the agricultural land. Grain harvesting of high quality winter wheat is a topical problem in grain production. Flour from wheat grains is produced from the main food products – bread, biscuits, breakfast flakes, macaroni, etc.

The quality of wheat grain is determined by a number of characteristics characterizing technological properties that depend on the chemical composition of the grain. The main quality indices are crude protein, gluten content, sedimentation value, and falling number. The technological qualities of winter wheat grains are influenced by agroecological factors, of which the most important are annual meteorological conditions: air temperature, and moisture provision.

Nitrogen fertilizer, which is one of the most dynamic elements of plant nutrition, has a major impact on the quality of winter wheat grain. It is therefore important to find out which nitrogen fertilizer rate can produce higher quality wheat grains. Grain technological properties are also affected by the genetic potential of the cultivar, which can vary in different meteorological conditions.

Growing consumer demands for healthier foods are increasingly consuming whole-grain products that use wholemeal. They are healthier because pericarps and germs are not separated from the grains, and they contain both fat-soluble vitamin E and water-soluble vitamins B.

Therefore, wholemeal products have a higher biological value. Consequently, there is a need to determine the rheological properties of wholemeal – dough development time, dough stability time, degree of softening – and to find out what factors affect them, because in the previous studies in Latvia, they were not given enough attention.

After harvest, the grains are stored for milling for several months or even years; therefore, it is necessary to evaluate whether their quality and the rheological properties of wholemeal change during grain storage, because until now, such questions have not been complexly studied in Latvia.

So far, the scientific literature lacks data on the ability of wheat wholemeal to absorb water and on the changes in the rheological properties of dough depending on cultivar, nitrogen fertilizer rate, year meteorological conditions, and grain storage time.

Hypothesis statement

The effect of nitrogen fertilizer rates, year meteorological conditions, and grain storage period on the technological properties of grain varies between different winter wheat cultivars.

Objective of the Doctoral Thesis

To evaluate the effect of nitrogen fertilizer rate, year meteorological conditions, and grain storage period on the technological properties of two winter wheat cultivars which differ by their potential yield and quality.

Terms of reference

1. To evaluate the technological properties of grain after harvest depending on nitrogen fertilizer norm, year meteorological conditions, grain storage period, and cultivar, as well as to determine the interaction between grain technological properties.
2. To evaluate grain yield depending on nitrogen fertilizer rate, year meteorological conditions, and cultivar.
3. To determine the impact and interaction of research factors on grain technological properties and yield.
4. To explain the changes in grain technological properties during grain storage period (after 60, 120, and 360 days), and to evaluate the interaction between grain technological properties.
5. To determine the impact and interaction of research factors (grain storage time, nitrogen fertilizer, year meteorological conditions, and cultivar) on grain technological properties.

Theses to be defended

1. Nitrogen fertilizer significantly affects the physical and chemical quality indices of winter wheat grain, but the impact of year meteorological conditions and cultivar is greater.
2. The rheological properties of the wholemeal dough of different wheat cultivars are different.
3. The rheological properties of wheat wholemeal dough are influenced by the nitrogen fertilizer used during the growth of wheat, as well as by the year meteorological conditions and cultivar.
4. The chemical quality indices of the grains stored for one year change significantly.
5. The dough rheological properties of winter wheat grains stored for one year change; however, the flour is suitable for the production of wholemeal.

Scientific novelty of the Doctoral Thesis

1. For the first time in Latvia, a study of the chemical quality indices of winter wheat cultivars was carried out depending on grain storage period, different nitrogen fertilizer rates, and year meteorological conditions.

2. For the first time, the changes in the water absorption capacity of the wholemeal of winter wheat cultivars and in the rheological properties of dough (dough development time, dough stability, and degree of dough softening) were evaluated depending on nitrogen fertilizer rates, meteorological conditions, and grain storage period.
3. The impact factors of grain technological properties and their interaction were evaluated.

Development of the Doctoral Thesis was co-financed within

1. the subsidy project “Determination of maximal fertiliser norms for crops” (2009–2014) of the Ministry of Agriculture of the Republic of Latvia, and
2. the national research program “Agricultural resources for sustainable production of qualitative and healthy foods in Latvia” (AgroBioRes) (2014–2017); project No. 1 “Sustainable use of soil resources and abatement of fertilisation risks (SOIL)”.

The findings of the research have been reflected in 12 scientific publications (five of them are included in the *Scopus* and/or *Web of Science* data bases) in the English and Latvian languages, and in the abstracts of nine conferences. The research findings have been presented in 10 international conferences and in eight other scientific conferences, congresses and seminars.

MATERIALS AND METHODS

Methodology for setting up the trial

A field trial was carried out in the Study and Research farm “Peterlauki” (56° 30.658' N and 23° 41.580' E) of the Latvia University of Agriculture (LLU) during a three-year period: 2009/2010, 2010/2011, and 2011/2012. Laboratory trials were conducted from August 2010 to August 2013. Soil at the site was Endocalcaric Abruptic Luvisol (World Reference Base, 2014) silt loam. The content of organic matter in the soil was 27–31 g kg⁻¹, pH KCl 6.6–7.0, a medium phosphorus content available for plants, and a medium exchangeable potassium content. In the trial, traditional soil treatment that involves soil plowing was used. Winter wheat was sown (13 September 2009, 25 September 2010, and 12 September 2011) after black fallow, in four replicates. The crop was sown at a rate of 450 germinating seeds per m². The trial included two winter wheat varieties: ‘Bussard’ and ‘Zentos’ (Germany). The fertilizer background was P₂O₅ 70 kg ha⁻¹ and K₂O 90 kg ha⁻¹. Nitrogen was applied in spring after the resumption of vegetative growth. Nitrogen top-dressing rates were as follows: N60, N90, N120, and N150. All the necessary plant protection measures (herbicides, plant growth regulators, and fungicides) were performed. Winter wheat was harvested at the optimal time – at the

beginning of August: on 4 August in 2010, on 5 August in 2011, and on 3 August in 2012. The yield obtained was recalculated in tons per hectare, at a standard volume of the 14% and 100% purity. The average sample was taken from each repeat according to the standard LVS 270. The grains were stored under varying conditions. The grains were taken for analysis immediately after they were removed, storing them for 60, 120, and 360 days.

Description of weather conditions

The duration of winter wheat growth from spring after the resumption of vegetative growth to harvesting was different in the trial years: in 2010 and 2011 – 126 and 121 days, respectively; in 2012 – 111 days (because that year, the vegetation period began later – on April 15) (Table 1). Precipitation in grain filling period in July, which is most decisive for grain quality formation, was 298, 179, and 197 mm in 2010, 2011, and 2012, respectively, which significantly exceeded the long-term average (81.7 mm). The sum of active temperatures (above +5 °C) in the winter wheat vegetation period in 2010 and 2011 was 1777 and 1769 °C, respectively, while the year 2012 was cooler with a lower active temperature – 1561 °C. To evaluate the conditions of dampness of the area, the Seljanin's hydrothermal coefficient (HTC) was used, which shows the relationship between the amount of precipitation and the air temperature (above +10 °C) in the vegetation period. In the vegetation period of 2010 and 2012, excessive moisture was observed, and HTC was 2.79 and 2.65, respectively. In 2011, HTC was 1.92, which indicates a sufficient amount of moisture.

Overall, the 2009/2010 season was rainy, which did not contribute to high wheat grain yields; however, the summers were warm, and there were a lot of sunny days in July and the grains were of good quality. Assessing the 2010/2011 season, it can be concluded that wheat suffered from the lack of moisture during stem elongation and heading of wheat, but in July, when wheat grains matured, the weather was rainy; however, the rainy days were interrupted by sunny and very warm weather, therefore the quality of grains was good that year. However, the 2011/2012 season was colder than the previous years. The period from the resumption of vegetative growth to the harvesting of grain in 2012 was 9–15 days shorter than in the previous investigation years. The abundance of rainfall considerably influenced the process of grain formation: the influence was positive on grain yield but negative on grain quality.

Statistical analysis

Experimental data evaluation was done using two-factor, three-factor, and four-factor analysis of variance, Fisher's criterion ($p < 0.05$), and least significant difference ($LSD_{0.05}$); the influence of impact factors (η , %) was determined. The correlation and regression analysis between technological properties was also carried out. Differences in the technological properties between both winter wheat cultivars were determined by t-test.

Methods of analysis

Technological properties – 1000 kernel weight (LVS EN ISO 520), volume weight (LVS 275), gluten content and index (LVS 275), sedimentation value (LVS ISO 5529), and falling number (LVS EN ISO 3093: 2007) – were determined in the Grain and Seed Research Laboratory of LLU. Grain crude protein content was determined by Kjeldahl method (LVS 277) (calculated by multiplying the total nitrogen content by factor 5.7), and starch content – by LVS EN ISO 10520 in the Scientific Laboratory of Agronomic Analysis of LLU. Quality indices were evaluated according to the specifications indicated in Table 2.

The rheological properties (Fig. 1) of wheat wholemeal dough – water absorption, dough development time, dough stability time, degree of softening – were determined (ICC 115/1) in the Laboratory of Food Analysis of the Faculty of Food Technology, LLU. Dough rheological properties were evaluated according to the breakdown of flour presented in Table 3: weak, medium strong, strong, and extra strong.

RESULTS

Influence of year meteorological conditions and nitrogen fertilizer on winter wheat grain technological properties and yield

Grain physical indices

On average in the three investigation years, using different nitrogen fertilizer rates, the 1000 kernel weight of winter wheat cultivar ‘Zentos’ was 43.6 g, while for the ‘Bussard’ grains – 43.4 g, and the coefficient of variation was 5% and 4%, respectively (Table 4). The grain volume weight of the ‘Zentos’ cultivar was 795.8 g L⁻¹, while that of the ‘Bussard’ cultivar was 791.7 g L⁻¹, indicating that the grains were in accordance with the A+ quality group (Table 4). The average results of 1000 kernel weight and volume weight between cultivars ‘Bussard’ and ‘Zentos’ did not differ significantly ($p>0.05$).

Grain quality chemical indices

Crude protein content. The average data of the three-year investigations suggest that the grain crude protein content of winter wheat cultivar ‘Bussard’ was 143 g kg⁻¹ ($V = 10\%$), which is 21 g kg⁻¹ higher compared to cultivar ‘Zentos’ (123 g kg⁻¹, $V = 14\%$) (Table 4). The crude protein content of ‘Bussard’ grains reached the food grain (bread baking) requirements already at the fertilizer rate of N60 (139.2 g kg⁻¹), but for the cultivar ‘Zentos’ – only at the N120 rate (127.5 g kg⁻¹) (Fig. 2).

Sedimentation value of cultivar ‘Bussard’ was 55.9 mL, which was 13.3 mL higher, with a lower coefficient of variation ($V = 18\%$) compared to cultivar ‘Zentos’ (42.6 mL, $V = 23\%$). Significantly ($p<0.05$) lower values of

crude protein content and sedimentation value were detected in winter wheat grains obtained in 2012, as unfavorable meteorological conditions – low average air temperature (12.7 °C in the vegetation period) and high rainfall (496 mm in the growing season) – did not promote the accumulation of crude protein. It was found that for ‘Bussard’ grains, sedimentation value agreed with the A+ quality group (53.5 mL) requirements already at the N60 fertilizer rate for ‘Zentos’ cultivar grains, and sedimentation value agreed with A quality group at all nitrogen fertilizer rates (Table 4, Fig. 3).

Gluten content and gluten index. The grain of cultivar ‘Bussard’ was characterised by a statistically significant ($p < 0.05$) wet gluten content (284 g kg⁻¹) – higher by 48 g kg⁻¹ compared to ‘Zentos’ grain (236 g kg⁻¹) (Table 4). The variation sequence of wet gluten was, respectively, V = 12% for ‘Bussard’ grain and V = 15% for ‘Zentos’ grain. In 2010 and 2011, wet gluten content of ‘Bussard’ grain exceeded 300 g kg⁻¹, which corresponded to A+ group, while ‘Zentos’ grain corresponded to the A and B quality groups. A lower gluten content in both grain cultivars was produced in 2012, when relatively lower temperatures (16.7 °C) were observed in 51–91 growth stages, compared to the years 2010 and 2011. In 2012, gluten content was lower in cultivar ‘Zentos’, which grains did not correspond to food grain quality (197 g kg⁻¹), while the cultivar ‘Bussard’ grains were consistent with B quality group (243 g kg⁻¹) (Fig. 4).

The average data of three investigation years show that the grain gluten index of winter wheat cultivar ‘Bussard’ was 80, which is 17 units higher ($p < 0.05$) with a lower coefficient of variation V = 10% compared to cultivar ‘Zentos’ (gluten index – 63, V = 14%) (Table 4, Fig. 5). In cultivar ‘Bussard’, grain gluten index ranged from 74 to 84 and corresponded to the quality group I throughout all investigation years. Also, in 2011 and 2012, the grains of ‘Zentos’ cultivar were assessed as quality group I (63 and 72, respectively), while in 2010, gluten index was 55 and ‘Zentos’ grains were assessed as the quality group II grains.

Starch content. The average results of starch content between cultivars ‘Bussard’ (674 g kg⁻¹) and ‘Zentos’ (680 g kg⁻¹) did not differ significantly ($p > 0.05$). A markedly higher starch content was in the winter wheat obtained in 2012: 696 g kg⁻¹ in ‘Bussard’, and 700 g kg⁻¹ in ‘Zentos’ (Table 4). Starch content in grain remarkably ($p < 0.05$) decreased after increasing the nitrogen fertilizer norm.

Falling number. During the investigation period, wheat ‘Zentos’ grain was characterised by a higher falling number (395 s) compared to ‘Bussard’ grain (346 s). The coefficient of variation of the trait was stable for ‘Zentos’ – 12%, while for ‘Bussard’ – 19%. The falling number of the grain of both cultivars considerably exceeded the processing requirements for the food grains of A+ group (280 s).

Wholemeal dough rheological properties

Water absorption. Cultivar ‘Bussard’ wholemeal had a significantly ($p<0.05$) higher (by 34 g kg^{-1}) water absorption capacity (721 g kg^{-1}) compared to ‘Zentos’ wholemeal (687 g kg^{-1}). When nitrogen fertilizer norms were increased, wholemeal water absorption capacity significantly ($p<0.05$) increased. With N60 fertilizer norm, wholemeal could attract 707 g kg^{-1} (‘Bussard’) and 677 g kg^{-1} (‘Zentos’) of water (Fig. 7), while with N120 and N150 fertilizer rates, ‘Bussard’ wholemeal water absorption was $727\text{--}732 \text{ g kg}^{-1}$ and that of ‘Zentos’ – $690\text{--}706 \text{ g kg}^{-1}$. The results demonstrate that the wholemeal of both cultivars was strong.

Dough development time. Cultivar ‘Zentos’ wholemeal flour had a significantly ($p<0.05$) higher **dough development time** (on average 5.9 min) with a lower coefficient of variation (12%) compared to the cultivar ‘Bussard’ wholemeal (on average 4.8 min, $V = 15\%$) (Fig. 8). The wholemeal from both cultivars was strong.

Dough stability. The average data of three investigation years suggest that the cultivar ‘Bussard’ wholemeal dough stability was 9.0 min, which was 2.3 min higher ($p<0.05$) with a lower coefficient of variation ($V = 21\%$) compared to cultivar ‘Zentos’ indices (dough stability – 6.8 min; $V = 24\%$). With higher nitrogen fertilizer rates (N120 and N150), wholemeal dough stability was longer: from 9.3 to 10.4 min for cultivar ‘Bussard’ and from 7.1 to 6.9 min for ‘Zentos’ (Fig. 9). The wholemeal from cultivar ‘Bussard’ was strong, and that of ‘Zentos’ – medium strong.

Dough degree of softening. The average data of three-year investigations suggest that the wholemeal dough degree of softening for cultivar ‘Bussard’ was 23.8 FU ($V = 30\%$), which was significantly ($p<0.05$) 19.2 FU lower compared to cultivar ‘Zentos’ (43.0 FU, $V = 24\%$) (Table 4). If nitrogen fertilizer norms were increased (N120 and N150), the wholemeal dough degree of softening for cultivar ‘Zentos’ decreased: 50.0 FU at the application of N60, and 40.1 FU and 37.4 FU at the application of N120 and N150, respectively. For ‘Bussard’ cultivar, the degree of dough softening at different N fertilizer norms varied less: from 21.2 FU to 26.8 FU (Fig. 10). The degree of wholemeal dough softening for both cultivars was relatively low, which shows that the flour was strong.

The thesis “The rheological properties of the wholemeal dough of different cultivars are different” was proved.

Grain yield

The average data of the three-year investigations show that the grain yield of winter wheat cultivar ‘Zentos’ was 6.54 t ha^{-1} , which was 0.58 t ha^{-1} or 10% higher (with a lower coefficient of variation – $V = 4\%$) than that of cultivar ‘Bussard’ (average yield – 5.91 t ha^{-1} ; $V = 9\%$) (Table 4). The influence of weather conditions on grain yield was significant ($p<0.05$) for both

wheat cultivars. Nitrogen fertilizer did not significantly ($p>0.05$) affect the grain yield of winter wheat in the three investigation years. This can be explained by the fact that the investigation was carried out on the highly fertile Peterlauki soils with the organic content of 27–31 mg kg⁻¹. There was a tendency of grain yield increase when applying N90 fertilizer compared to N60; however, further use of increasing N fertilizer rates did not give a significant grain yield increase.

Correlation between grain technological properties

A significant correlation was detected between grain crude protein content and gluten content: $r_B = 0.927$ for cultivar ‘Bussard’, and $r_Z = 0.966$ for ‘Zentos’ ($n = 12$, $r_{0.05} = 0.575$, $r_{0.01} = 0.708$). A significant negative correlation was found between crude protein content and starch content: $r_B = -0.963$, and $r_Z = -0.921$. A close significant negative correlation was noted between gluten content and gluten index for cultivar ‘Zentos’ ($r_Z = -0.765$), and the trend for ‘Bussard’ grains was similar ($r_B = -0.485$). With the increase in grain starch content, sedimentation value decreased ($r_B = -0.979$, $r_Z = -0.811$).

Water absorption capacity had a significant positive correlation ($p<0.05$) with crude protein content and gluten content only for cultivar ‘Bussard’ grain ($r_B = 0.615$); however, this trend was observed also for ‘Zentos’ grain ($r_Z = 0.590$). If grains had a higher crude protein and gluten content, the whole-wheat flour could attract more water. The study revealed a significant correlation ($p<0.01$) between dough development time and grain crude protein content, sedimentation value and gluten content. The correlation coefficients between these indices for cultivar ‘Bussard’ were from $r_B = 0.728$ to $r_B = 0.822$, while for ‘Zentos’ – from $r_Z = 0.825$ to $r_Z = 0.917$.

Correlations were found also between the rheological properties of dough. A significant positive correlation was noted between dough stability time and water absorption for cultivar ‘Bussard’ grain ($r_B = 0.581$), and a similar tendency was observed also for ‘Zentos’ grain ($r_Z = 0.436$). With the increase in dough development time, the dough stability time increased ($r_B = 0.797$, $r_Z = 0.710$) ($p<0.01$), but the dough degree of softening decreased ($r_B = -0.606$, $r_Z = -0.761$).

The correlative relationships are influenced not only by the genetic characteristics of the cultivar but also by the weather conditions of a definite year, which either promote or restrict the accumulation of certain qualitative indices in grains, as well as their relationship in the endosperm.

Impact factors of year, nitrogen fertilizer and cultivar on the technological properties of grains and yield

In order to find out how much the variation of traits during the three-year period was related to the influence of factors “cultivar”, “year meteorological conditions” (or “year”), and “nitrogen fertilizer” and their interaction, the relative proportion (after three-factor analysis of variance) of these factors (η , %) in total variance was determined.

The impact factor of the **cultivar** (η , %) on the variability of analyzed technological indices was from 1% to 56%. The highest impact of the cultivar was found in the variation of gluten index (50%), water absorption (54%), and dough degree of softening (56%). The lowest impact of this factor was found in the variation of starch content (3%) and volume weight (1%). The **year** had a significant effect ($p < 0.05$) on all grain technological properties. The highest influence of year was found on grain volume weight (87%) and starch content (84%). The year as a factor significantly influenced also the grain crude protein content (56%), sedimentation value (53%) and gluten content (47%).

Nitrogen fertilizer as an impact factor was significant ($p < 0.05$) for all grain technological properties, varying from 0.1% (wholemeal water absorption) to 23% (1000 kernel weight). Nitrogen fertilizers influenced the changes in gluten content by 17%, dough development time by 13%, dough stability, crude protein content and sedimentation value by 9%, and starch content by 8%.

The influence of “cultivar \times year” interaction on wheat grain technological variability was also found. A relatively greater impact of this factor was on wholemeal water absorption (24%), gluten index and falling number (10%). The highest influence of the “year \times nitrogen fertilizer” interaction was found on the grain gluten index (15%), but the dough development time was affected by 6%. Also an interaction of “cultivar \times nitrogen fertilizer” was detected: a 6% impact on the dough degree of softening, and a 3% impact on dough stability.

A slight effect on the technological properties of grains was found in the interaction of “cultivar \times nitrogen fertilizer \times year”, which affected the dough degree of softening by 7%, and dough stability time and falling number by 4%.

The analysis of both varieties together showed that grain yield was mostly influenced by cultivar (34%) and year (33%), but the “year \times cultivar” interaction had less impact (13%). A comparatively small effect on grain yield was observed in the interaction of “nitrogen fertilizer \times year” (4%), but nitrogen fertilizer had the smallest impact (3%).

The theses "Nitrogen fertilizer significantly affects winter wheat grain physical and chemical quality indices, but the impact of year meteorological conditions and cultivar is greater" and "The rheological

properties of wholemeal dough influence the nitrogen fertilizer used during the growth of wheat, the year meteorological conditions, and the cultivar" were proved. The yield of winter wheat grain was more influenced by the cultivar and the year meteorological conditions.

Changes in grain technological properties during grain storage period

Changes in grain quality chemical indices during grain storage period

Crude protein content. When winter wheat grains were stored for one year, the crude protein content varied from ± 0.2 to $+2.8$ g kg⁻¹ in cultivar 'Bussard' grains and from ± 0.3 to 3.5 g kg⁻¹ in cultivar 'Zentos' grains; however, the variations were not statistically significant ($p > 0.05$) (Fig. 2).

Sedimentation value. In grain storage time, sedimentation value significantly ($p < 0.05$) decreased: for cultivar 'Bussard' grains after 60 days of storage – by 2–5 mL, after 120 days – by 3–10 mL, and after a year's storage – by 5–13 mL compared to immediately threshed grain; for cultivar 'Zentos' grains, sedimentation value fell by 1–3 mL, 3–6 mL, and 5–10 mL, respectively, compared to immediately threshed grain (Fig. 3).

A tendency was observed that the application of higher nitrogen fertilizer rates (N120 and N150) during the growth of wheat decreased the sedimentation value more markedly: by 9 mL for 'Bussard' grains and by 7–8 mL for 'Zentos' grains.

Gluten content. Gluten content in cultivar 'Bussard' grains after 60-day storage decreased by 3–7 g kg⁻¹ and in 'Zentos' grains – by 2–5 g kg⁻¹; after 120 days – by 15–17 and 6–15 g kg⁻¹, respectively; after 360-day storage – by 23–29 and 17–24 g kg⁻¹, respectively, compared to the initial values of gluten content in immediately threshed grain (Fig. 4).

During grain storage, grains undergo several biochemical processes, and changes in protein structure decrease both the gluten content and sedimentation value, whereas protein content remains unchanged (Mezei, Sios, Gyori, 2007).

Gluten index. During grain storage, gluten index significantly increased ($p < 0.05$): after 60-day storage – by 2–4 units for cultivar 'Bussard' grains and by 3–4 units for 'Zentos' grains; after 120 days – by 5–8 and 6–8 units, respectively; after 360 days – by 7–12 and 6–10 units, respectively, compared to the initial values of gluten index in fully mature grain (Fig. 5).

Our findings suggest that during storage period, wet gluten content in grain decreased and gluten index increased because there is a negative correlation between these indices, which agrees also with the results of other investigations (Dabkevičius, Cesevičiene, Mašauskiene, 2006). When grains were stored from 120 to 360 days, variations in gluten index were insignificant.

Falling number. During grain storage time, the falling number significantly ($p < 0.05$) increased (Fig. 6). Average data show that the falling

number for cultivar ‘Bussard’ grains stored for 60 days was 16–22 s higher compared to freshly harvested grain, for 120 days stored grains – 71–86 s higher, for 360 days stored grains – 97–101 s higher. For ‘Zentos’ grains, a similar tendency was observed: after 60-day storage, falling number increased by 18–27 s, after 120-day storage – by 40–55 s, and after one-year storage – by 109–112 s compared to the values of freshly harvested grain. As indicated in the literature, the reason for the increase in the falling number could be reduction in the α -amylase activity in pericarp, which occurs during storage (Lunn, Kettlewell, Major et al., 2001). M. M. Karaogly with co-authors (2010) reported that the increase in the falling number may be attributed to the degradation of amylase enzyme and the variation of starch gelatinization properties during storage period (Karaoglu, Aydeniz, Kontanciar et al., 2010). It is not desirable that the wheat falling number suitable for breadmaking exceeds 360 s (Belderok, 2000). In our research, after 360 days of grain storage, the falling number exceeded 400 s; in production, such flour can be mixed with the flour that has a lower falling number, thus obtaining an optimal indice.

The thesis “In the grain stored for one year, chemical quality indices change significantly” was proved: gluten content and sedimentation value significantly decreased, whereas gluten index and falling number significantly increased. No changes were detected in protein content.

Changes in wholemeal dough rheological properties in grain storage time

Water absorption of cultivar ‘Bussard’ wholemeal decreased by 2–9 g kg⁻¹ after 60-day grain storage, and that of cultivar ‘Zentos’ wholemeal – by 8–11 g kg⁻¹; after 120-day storage, water absorption was significantly ($p<0.05$) lower – by 21–28 g kg⁻¹ and 23–25 g kg⁻¹, respectively; after 360 days, water absorption decreased by 37–46 g kg⁻¹ for cultivar ‘Bussard’ wholemeal and by 36–41 g kg⁻¹ for cultivar ‘Zentos’ wholemeal compared to the water absorption of wholemeal from immediately threshed grains (Fig. 5). After storing grain for 360 days, the wholemeal for dough making attracted less water; however, its water absorption was comparatively high. According to Koppel and Ingver (2010), if water absorption is >580 g kg⁻¹, the wholemeal is strong and appropriate for yeast bread baking.

Dough development time. Immediately after grain harvest, the cultivar ‘Bussard’ wholemeal dough development time was 4.8 min, but after one year of grain storage, it increased ($p<0.05$) by 1.9 min and was 6.7 min; for cultivar ‘Zentos’, the same indices were 5.9 min and 7.4 min (a 1.5-min increase), respectively (Fig. 8). During grain storage time, the wholemeal dough development time increased and wholemeal became stronger and appropriate for bread baking.

Dough stability. During the grain storage time (from 60 to 360 days), dough stability significantly ($p<0.05$) increased (Fig. 9): for cultivar ‘Bussard’

wholemeal dough – on average by 2.1 min, and for cultivar ‘Zentos’ – by 1.6 min. In 2010 and 2011, immediately threshed grains had a higher wholemeal dough stability (10.0 min), which had increased comparatively more (in 360 days – from 2.0 to 3.1 min) compared to the year 2012, when wholemeal dough stability was lower (7.1 min), i. e., it had increased only by 1.2 min in a one-year grain storage period. The research suggests that when wholemeal dough stability is higher (at the N120 and N150 fertilizer norms), after 360-day storage it increases more.

Dough degree of softening. During grain storage time (from 60 to 360 days), the wholemeal dough degree of softening significantly ($p < 0.05$) increased (Fig. 10). If the degree of dough softening does not exceed 70 FU, the quality of kneading is good, but if the degree of softening is greater than 110 FU, the dough is weak and good quality bread cannot be baked (Mašauskiene, Cesevičiene, 2006). Compared to freshly harvested grains, the degree of wholemeal dough softening increased: from 29.8 to 37.1 FU for cultivar ‘Bussard’, and from 31.1 to 36.4 FU for cultivar ‘Zentos’ (Fig. 10).

Although the wholemeal dough degree of softening significantly increased for both cultivars ‘Bussard’ and ‘Zentos’ when grains were stored for one year, it did not exceed the critical value of 110 FU. Thus, according to the degree of wholemeal dough softening, it can be concluded that the wholemeal of ‘Bussard’ cultivar was strong, but that of ‘Zentos’ – medium strong.

Conclusion

In grains stored for one year, wholemeal water absorption decreased and dough development time, dough stability and the degree of dough softening increased compared to the wholemeal flour grinded from freshly harvested grains. The wholemeal of cultivar ‘Bussard’ had higher water absorption, lower dough development time, longer dough stability time, and lower dough softening degree. In general, ‘Bussard’ wholemeal was strong, but ‘Zentos’ wholemeal was medium strong.

The thesis “The dough rheological properties of winter wheat grains stored for one year change, but the flour is suitable for the production of wholemeal” was proved.

Correlation between grain technological properties in grain storage period

During 360 days of grain storage, the crude protein content in cultivar ‘Bussard’ grains significantly ($n = 12$, $r_{0.05} = 0.575$, $r_{0.01} = 0.708$) positively correlated with the wholemeal water absorption capacity – $r_B = 0.668$ (at the level of 95%). A positive correlation was found between the wholemeal water absorption and gluten content ($p < 0.05$) for the ‘Bussard’ cultivar ($r_B = 0.590$), and a similar tendency was observed also for cultivar ‘Zentos’ ($r_Z = 0.479$).

During one-year grain storage, the dough development time correlated with crude protein content, sedimentation value and gluten content, and correlation coefficients for these relationships for cultivar 'Bussard' ranged from $r_B = 0.637$ ($p < 0.05$) to $r_B = 0.775$ ($p < 0.01$), but for cultivar 'Zentos' – from $r_Z = 0.812$ to $r_Z = 0.896$ ($p < 0.01$). Dough stability showed a close positive correlation ($p < 0.01$) with crude protein content, sedimentation value and gluten content, and their correlation coefficients varied from $r_B = 0.880$ to $r_B = 0.905$ and from $r_Z = 0.820$ to $r_Z = 0.918$. The results suggest that with the increase in crude protein content, also dough stability increases.

Negative correlations were observed between crude protein content and degree of softening: $r_B = -0.661$, $r_Z = -0.889$ ($n = 12$, $r_{0.05} = 0.575$, $r_{0.01} = 0.708$). Also, the degree of softening negatively correlated with sedimentation value and gluten content. Dough stability positively correlated ($p < 0.01$) with water absorption capacity for 'Bussard' ($r_B = 0.754$). A similar tendency was observed also for cultivar 'Zentos': if wholemeal could absorb more water, dough stability value was greater. When grains were stored for 360 days, both dough development time and dough stability increased, and a positive correlation was detected between these rheological properties: $r_B = 0.668$ ($p < 0.05$), $r_Z = 0.834$ ($p < 0.01$); whereas increase in dough development time decreased the degree of dough softening ($p < 0.01$): $r_B = -0.644$, $r_Z = -0.802$.

Impact of cultivar, meteorological conditions and nitrogen fertilizer on the technological properties of grain during grain storage time

To ascertain how much the variation of traits during the three-year investigation period was related to the influence of factors "grain storage time", "cultivar", "year meteorological conditions" (or "year"), and "nitrogen fertilizer" and their interaction, the relative proportion (after four-factor analysis of variance) of these factors (η , %) in total variance was determined.

Grain **storage time** significantly ($p < 0.05$) influenced all technological properties (Fig. 11). Grain storage time produced the greatest effect on the changes in falling number (41%), dough development time (37%), and degree of softening (46%); less impact was detected on dough stability (9%), gluten index (7%), and gluten content (5%).

The cultivar as a factor during grain storage time had a significant ($p < 0.05$) effect on the variations in all technological properties – from 16% to 54%. The highest impact of this factor was found in the variations in water absorption (54%) and gluten index (44%), but the least impact was detected on the variations in falling number (16%).

Assessing the relative contribution of each factor to the variations in technological properties, it was found that the effect of **year** (η , %) was

significantly higher than that of the cultivar, nitrogen fertilizers and grain storage time on the following properties: crude protein content (55%), sedimentation value (46%), gluten content (46%), and dough stability (46%).

The effect of **nitrogen fertilizer** as a factor was significant ($p<0.05$) for all grain technological properties – it was higher for the variations in dough development time (17%) and gluten content (14%), but the crude protein content was affected less – by 10%. Significant effects of the “year × cultivar” interactions were found on the variations in water absorption (24%) and gluten index (12%).

Although the other interactions – “grain storage time × year”, “cultivar × year × nitrogen fertilizer”, and “cultivar × grain storage time” – had mostly significantly ($p<0.05$) influenced the technological properties of grain, this effect was very small – from 0.01% to 3%.

Conclusion

In the three-year practical trial, two winter wheat cultivars were used: ‘Bussard’, which had a comparatively higher grain quality and a lower grain yield, and ‘Zentos’, which had a limited grain quality and a higher yield.

The research results show that the application of N90 fertilizer norm gave higher grain yields: cultivar ‘Bussard’ – 5.96 t ha⁻¹, and cultivar ‘Zentos’ – 6.62 t ha⁻¹. The investigations suggest that further increase in nitrogen fertilizer rates did not increase the grain yield.

By increasing the nitrogen fertilizer rate, the grain technological properties of both winter wheat cultivars improved significantly. The ‘Bussard’ cultivar grains had higher values of crude protein content, gluten content and sedimentation value than those of ‘Zentos’ grains. The cultivar ‘Bussard’ wholemeal was strong, with a high mixing value with weaker flour, but ‘Zentos’ wholemeal was medium strong and could be used for direct bread baking.

In order to achieve the grain quality suitable for food wheat and obtain high-quality wholemeal, 120 kg ha⁻¹ of nitrogen fertilizer should be used for cultivar ‘Bussard’, and 150 kg ha⁻¹ – for ‘Zentos’. The quality of grain stored for one year decreased. Crude protein content did not change, but the gluten content and sedimentation value decreased compared to the indices of grain immediately after harvest. In wholemeal flour, water absorption capacity decreased and dough development time, dough stability and degree of softening increased compared to freshly harvested grain. With the increase in grain storage, the wholemeal became weaker but with acceptable technological properties and suitable for the production of wholemeal.

CONCLUSIONS

1. The **1000 kernel weight** and the volume weight of winter wheat grains significantly decreased ($p<0.05$) with increasing nitrogen fertilizer norms. The impact of meteorological conditions on 1000 kernel weight was greater than that of nitrogen fertilizer rates, but the interaction of these factors was very small. The volume weight was more influenced by the meteorological conditions of year, but the impact of other factors was small.
2. The **crude protein content** of cultivar ‘Bussard’ grains complied with the requirements of A+ quality group at the application of N120 fertilizer norm, while that of cultivar ‘Zentos’ was included in A quality group at the fertilizer norm of N150. The crude protein content was more influenced by the year meteorological conditions and cultivar, but nitrogen fertilizer had less effect; the interaction of these factors was very small. During the storage of wheat grain, crude protein content did not change significantly.
3. According to **sedimentation value**, ‘Bussard’ grains were in compliance with A+ quality group at nitrogen fertilizer rates N60 to N120, but ‘Zentos’ cultivar grains – only at N150 rate. Sedimentation value was influenced more by the meteorological conditions and cultivar, whereas nitrogen fertilizer and the interaction of all factors had less effect. One-year grain storage significantly ($p<0.05$) decreased the sedimentation value for both cultivars: ‘Bussard’ grains were included in A quality group, and ‘Zentos’ grains – only in B quality group.
4. The **gluten content** of ‘Bussard’ grains was suitable for A+ quality group at nitrogen fertilizer rates N90 to N150, but that of ‘Zentos’ grains at N150 fertilizer norm complied with the requirements of B quality group. The content of gluten in grain was influenced more by year meteorological conditions and cultivar than by nitrogen fertilization, but the interaction of these factors had a particularly low impact. The gluten index for both cultivars was adequate for the grade I group grains. The gluten index was more influenced by cultivar; the effect of year and the interaction “year \times N fertilizer” was lower, but the effect of N fertilizer was very low. When grains were stored for one year, the gluten content decreased significantly ($p<0.05$), and the grains were included in a lower quality group: ‘Bussard’ grains – in B quality group, but ‘Zentos’ grains – in L group. Though the gluten index increased significantly during this time, the grains of both cultivars remained in the grade I group.
5. The **falling number** for both winter wheat cultivars complied with the requirements of A+ quality grains at all N fertilizer rates. Falling number was more dependent on the year meteorological conditions and cultivar, but the interaction of “year \times cultivar” had less effect. Grain storage time

- affected the changes in falling number by 41% – it significantly ($p < 0.05$) increased and was adequate for A+ food wheat grains.
6. For both cultivars, wholemeal was strong, and its **water absorption** was high. When higher nitrogen fertilizer rates were applied, the capacity of wholemeal water absorption increased. It was most affected by cultivar, but the interaction “year × cultivar” gave the least impact. During grain storage, the water absorption of wholemeal significantly decreased ($p < 0.05$) but the flour remained strong.
 7. The evaluation of **dough development time** showed that the wholemeal of both cultivars was strong. The application of higher nitrogen fertilizer rates increased the time of wholemeal dough development. It was most influenced by cultivar, but meteorological conditions and nitrogen fertilizer had less impact. Grain storage time affected the dough development time by 37%, i. e., it increased.
 8. The value of wholemeal **dough stability** showed that ‘Bussard’ flour was strong, but that of ‘Zentos’ was medium strong. By increasing the nitrogen fertilizer rate, the dough became more stable. The stability of wholemeal dough was more affected by year meteorological conditions and cultivar, but the influence of other factors and their interaction was lower. After one-year storage, flour became stronger and dough became more stable.
 9. The degree of wholemeal **dough softening** was relatively low – the flour of cultivar ‘Bussard’ grains was strong, but that of ‘Zentos’ grains – medium strong. The degree of dough softening was lower at higher nitrogen fertilizer rates. Also, the degree of dough softening was most influenced by cultivar, but the effect of year meteorological conditions and the interaction of these factors was less expressed. Grain storage time affected the degree of dough softening by 46% – it became longer. **After one-year grain storage, the flour from these grains became weaker; however, the flour of cultivars ‘Bussard’ and ‘Zentos’ remained strong and medium strong, respectively, and were suitable for the production of wholemeal.**
 10. The quality of grain is closely related to the rheological properties of dough. Dough development time and dough stability positively correlated with crude protein content, sedimentation value, and gluten content. Dough stability positively correlated with water absorption capacity. There was a negative correlation between the degree of dough softening and crude protein, as well as between gluten content and sedimentation value. The time of dough development negatively correlated with the degree of dough softening.
 11. Compared to cultivar ‘Bussard’ grains, cultivar ‘Zentos’ had on average a 0.58 t ha^{-1} higher grain yield but a lower grain quality. The yield of winter wheat grain was most influenced by cultivar and year; the interaction “year × cultivar” had less impact, but the effect of nitrogen fertilizer on grain yield was small.

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA / APPROBATION OF THE DOCTORAL THESIS

Publikācijas, kas indeksētas *Scopus* un/vai *Web of Science* datu bāzēs / Articles with indexes in the *Scopus* and/or *Web of Science* data bases

1. Linina A., Ruza A. (2015). Weather conditions effect on fresh and stored winter wheat grain gluten quantity and quality. *In: Proceedings of the 25th congress (NJF) "Nordic View to sustainable Rural Development"*, Riga, Latvia, June 16–18, 2015, p. 148–153. Indexed: Web of Science, CAB-abstract.
2. Liniņa A., Ruža A. (2015). Impact of agroecological conditions on the Hagberg falling number of winter wheat grain during storage. *In: Research for Rural Development 2015, Annual 21st International Scientific Conference Proceedings*, Jelgava, LLU, May 13–15, 2015, Vol. 1, p. 19–26. Indexed: SCOPUS, Web of Science, CAB EBSCOhost Akademic Search Complete, AGRIS.
3. Linina A., Ruza A. (2014). Influence of nitrogen fertiliser on winter wheat wholemeal rheological properties. *In: Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B: Natural, Exact and Applied science*, Vol. 68, No. 3/4, p. 158–165. Indexed: SCOPUS, Web of Science, EBSCOhost Akademic Search Complete, Crossred.
4. Linina A., Ruza A., Kunkulberga D., Rakcejeva T. (2014). The influence of environmental conditions on winter wheat wholemeal protein content and rheological properties. *In: Proceedings of the 9th Conference on Food Science and Technology: "Food for consumer well-being"*, *Foodbalt 2014*, Jelgava, LLU, May 8–9, p. 66–71. Indexed: Web of Science, CAB-abstract, AGRIS, CABI.
5. Linina A., Ruza A. (2012). Cultivar and nitrogen fertilizer effects on fresh and stored winter wheat grain quality indices. *In: Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact and Applied science*, Vol. 66, No. 4/5, p. 177–184. Indexed: SCOPUS, Web of Science, AGRIS.

Citas recenzētās zinātniskās publikācijas / Other peer-reviewed articles

1. Linina A., Ruza A. (2016). Meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma ietekme uz ziemas kviešu graudu cietes saturu. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība. Zinātniski praktiskās konferences raksti* (2016. g. 25.–26. febr.). Jelgava: LLU, 68.–72. lpp.
2. Liniņa A., Ruža A. (2015). Slāpekļa mēslojuma ietekme uz ziemas kviešu graudu līpekli un kvalitāti. *No: Ražas svētki "Vecauce – 2015": Lauksaimniecības zinātne reorganizācijas laikā. Zinātniskā semināra rakstu krājums*. Jelgava: LLU, 50.–53. lpp.

3. Liniņa A., Ruža A. (2015). Slāpekļa mēslojuma un meteoroloģisko apstākļu ietekme uz ziemas kviešu graudu fizikālajiem rādītājiem. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība*. Zinātniski praktiskās konferences raksti, (2015. g. 19.–20. febr.). Jelgava: LLU, 70.–73. lpp.
4. Liniņa A., Ruža A. (2014). Meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma ietekme uz ziemas kviešu graudu lipekli un tā kvalitāti. *No: Ražas svētki "Vecauce – 2014": Lauksaimniecības zinātne jaunajā plānošanas periodā*. Zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava: LLU, 28.–31. lpp.
5. Liniņa A., Ruža A. (2014). Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz ziemas kviešu graudu ražu. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība*. Zinātniski praktiskās konferences raksti. (2014. g. 20.–21. febr.). Jelgava: LLU, 34.–39. lpp.
6. Liniņa A., Ruža A. (2013). Ziemas kviešu graudu kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā. *No: Lauksaimniecības zinātne veiksmīgai saimniekošanai*. Zinātniski praktiskās konferences raksti (2013. g. 21.–22. febr.). Jelgava: LLU, 45.–50. lpp.
7. Liniņa A., Kunkulberga D., Ruža A. (2012). Slāpekļa mēslojuma ietekme uz ziemas kviešu graudu kvalitāti un cepamīpašībām. *No: Zinātne Latvijas lauksaimniecības nākotnei: pārtika, lopbarība, šķiedra un enerģija*. Zinātniski praktiskās konferences raksti (2012. g. 23.–24. febr.). Jelgava: LLU, 33.–37. lpp.

Konferenču tēzes / Conference abstracts

1. Liniņa A., Ruža A. (2017). Šķirnes, meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma ietekme uz graudu kvalitātes rādītājiem. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība*, Zinātniski praktiskās konferences tēzes (2017. g. 23. febr.). Jelgava: LLU, 20. lpp.
2. Linina A., Ruža A. (2017). Cultivar, weather condition and nitrogen fertilizer impact on wholemeal rheological properties. *In: Book of abstracts: 11th Conference on Food Science and Technology "Food science and technology in a changing world", Foodbalt 2017*, Jelgava, LLU, April 27–28, 2014. p. 132.
3. Linina A., Ruža A. (2016). Nitrogen effect on winter wheat grain protein content. *In: Book of abstracts: 20th Baltic Agronomy Forum – 2016*, Jelgava, LLU, July 07–08, 2016. LLU, p. 50.
4. Linina A., Ruža A., Kunkulberga D. (2016). Nitrogen fertilizer effect on winter wheat wholemeal protein content and rheological properties. *In: Book of abstracts: 17th International Conference "Biosystems Engineering 2016"*, Tartu, Estonia, May 11–12, 2016. p. 228.

5. Linina A., Ruza A., Kunkulberga D., Rakcejeva T. (2014). The influence of environmental conditions on winter wheat wholemeal protein content and rheological properties. *In: Book of abstracts: 9th Conference on Food Science and Technology "Food for consumer well-being"*, Foodbalt 2014, Jelgava, LLU, May 8–9, 2014. p. 104.
6. Liniņa A., Kunkulberga D., Ruža A. (2013). Winter wheat wholemeal rheological properties by Brabender farinograph. *In: Book of abstracts: International conference "Crop breeding and management for environmentally friendly farming: research results and achievements"*, Priekuli, Latvia, June 4–6, 2013. p. 71.
7. Linina A., Ruza A. (2013). Cultivar and nitrogen fertilizer effects on fresh and stored winter wheat grain gluten quantity and quality. *In: Book of abstracts: 19th Baltic Agronomy Forum*, Kaunas, Lithuania, July 3–5, 2013. p. 37.
8. Linina A., Kunkulberga D., Ruza A. (2012). Cultivar and nitrogen fertilizer effects on fresh and stored winter wheat grain technological quality. *In: Material of the International Scientific Conference "Diversity in plant breeding and agriculture: strategies for healthy lifestyle"*, Talsi, Latvia. May 30 – June 1, 2012. p. 53–54.
9. Liniņa A., Kunkulberga D., Ruža A. (2012). Impact of nitrogen fertilizer and meteorological conditions on winter wheat grain technological quality. *In: Book of abstracts: 5th International Conference of Botanic Gardens from the Baltic Sea Region: Strategy and Research of Botanic Gardens in Conservation of Local Flora*, Jelgava – Šiauliai, September 27–30, 2012. p. 54.

Referāti starptautiskajās konferencēs un semināros /

Oral or poster presentations in international conferences and seminars

1. Linina A., Ruza A. (2017). Cultivar, weather condition and nitrogen fertilizer impact on wholemeal rheological properties. *11th Conference on Food Science and Technology "Food science and technology in a changing world"*, Foodbalt 2017, April 27–28, 2017. Jelgava, LLU.
2. Linina A., Ruza A. (2016). Nitrogen effect on winter wheat grain protein content. *Agronomy Forum – 2016*, July 07–08, 2016, Jelgava, Latvia.
3. Linina A., Ruza A., Kunkulberga D. (2016). Nitrogen fertilizer effect on winter wheat wholemeal protein content and rheological properties. *7th International Conference "Biosystems Engineering 2016"*. May 11–12, 2016. Tartu, Estonia.
4. Linina A., Ruza A. (2015). Weather conditions effect on fresh and stored winter wheat grain gluten quantity and quality. *The 25th NJF congress "Nordic View to sustainable Rular Development"*. June 16–18, 2015. Riga, Latvia.

5. Linina A. (2015). Impact of agroecological conditions on the Hagberg falling number of winter wheat grain. *The 21st Annual International Scientific conference "Research for Rural Development"*, May 13–15, 2015. Jelgava, Latvia.
6. Linina A., Ruza A., Kunkulberga D., Rakcejeva T. (2014). The influence of environmental conditions on winter wheat wholemeal protein content and rheological properties. In: *The 9th Conference on Food Science and Technology "Food for consumer well-being", Foodbalt 2014*, May 8–9, 2014. Jelgava, Latvia.
7. Liniņa A., Kunkulberga D., Ruža A. (2013). Winter wheat wholemeal rheological properties by Brabender farinograph. *The International conference "Crop breeding and management for environmentally friendly farming: research results and achievements"*, June 4–6, 2013. Priekuli, Latvia.
8. Linina A., Ruza A. (2013). Cultivar and nitrogen fertilizer effects on fresh and stored winter wheat grain gluten quantity and quality. *The 19th Baltic Agronomy Forum*, July 3–5, 2013. Kaunas, Lithuania.
9. Linina A., Kunkulberga D., Ruza A. (2012). Cultivar and nitrogen fertilizer effects on fresh and stored winter wheat grain technological quality. *The International Scientific Conference "Diversity in plant breeding and agriculture: strategies for healthy lifestyle"*, May 30 – June 1, 2012. Talsi, Latvia.
10. Liniņa A., Kunkulberga D., Ruža A. (2012). Impact of nitrogen fertilizer and meteorological conditions on winter wheat grain technological quality. *The 5th International Conference of Botanic Gardens from the Baltic Sea Region: Strategy and Research of Botanic Gardens in Conservation of Local Flora*, September 27–30, 2012. Jelgava, Latvia.

Referāti citās konferencēs un semināros /

Presentations in other conferences and seminars

1. Liniņa A., Ruža A. (2017). Šķirnes, meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma ietekme uz graudu kvalitātes rādītājiem. *Līdzsvarota lauksaimniecība*. Zinātniski praktiskā konference (2017. g. 23. febr.). Jelgava, LLU.
2. Liniņa A., Ruža A. (2016). Meteoroloģisko apstākļu un slāpekļa mēslojuma ietekme uz ziemas kviešu graudu cietes saturu. *Līdzsvarota lauksaimniecība*. Zinātniski praktiskās konferences raksti (2016. g. 25.–26. febr.). Jelgava, LLU.
3. Liniņa A., Ruža A. (2015). Slāpekļa mēslojuma ietekme uz ziemas kviešu graudu lipekli un kvalitāti. *Ražas svētki "Vecauce – 2015": Lauksaimniecības zinātne reorganizācijas laikā* (2015. g. 5. nov.). Vecauce.

4. Liniņa A., Ruža A. (2015). Slāpekļa mēslojuma un meteoroloģisko apstākļu ietekme uz ziemas kviešu graudu fizikālajiem rādītājiem. *Līdzsvarota lauksaimniecība*. Zinātniski praktiskā konference (2013. g. 19.–20. febr.). Jelgava: LLU.
5. Liniņa A., Ruža A. (2014). Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz ziemas kviešu pilngraudu miltu proteīna saturu un mīklas fizikālajām īpašībām, izmantojot Brabendera farinogrāfu. “*Ražas svētki Vecauce 2014*”, *Lauksaimniecības zinātne jaunajā plānošanas periodā* (2014. g. 6. nov.). Vecauce.
6. Linina A., Ruža A. (2014). Meteoroloģisko apstākļu ietekme uz ziemas kviešu graudu ražu. *Līdzsvarota lauksaimniecība*. Zinātniski praktiskā konference (2014. g. 20.–21. febr.). LLU, Jelgava.
7. Liniņa A., Ruža A. (2013). Ziemas kviešu graudu kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā. *Lauksaimniecības zinātne veiksmīgai saimniekošanai*. LLU LF, LAB un LLMZA zinātniski praktiskā konference (2013. g. 21.–22. febr.). Jelgava: LLU.
8. Kunkulberga D., Liniņa A., Ruža A. (2012). Ziemas kviešu graudu kvalitātes rādītāju un cepamīpašību izmaiņas slāpekļa mēslojuma ietekmē. *Zinātne Latvijas lauksaimniecības nākotnei: pārtika, lopbarība, šķiedra un enerģija*. LLU LF, LAB un LLMZA zinātniski praktiskā konference (2012. g. 23.–24. febr.). Jelgava: LLU.