

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Latvia University of Agriculture

Pārtikas tehnoloģijas fakultāte
Faculty of Food Technology



Mg.sc.ing. **Solvita Kalniņa**

**LATVIJĀ AUDZĒTU GRAUDAUGU
PIEMĒROTĪBA PILNGRAUDU MAKARONU
RAŽOŠANAI**

***SUITABILITY OF CEREALS CULTIVATED IN
LATVIA FOR WHOLE-GRAIN PASTA
PRODUCTION***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS

Dr. sc. ing. zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY

of the Doctoral thesis for the scientific degree of Dr. sc. ing.

Jelgava
2017

Promocijas darba zinātniskā vadītāja:
Scientific supervisor:

Tatjana Ķince
prof., Dr. sc. ing.

Promocijas darba zinātniskā konsultante:
Scientific advisor:

Daiga Kunkulberga
asoc.prof., Dr. sc. ing.

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers:*

- Emeritus Prof., *Dr. habil. sc. ing.* **Imants Atis Skrupskis** – Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Pārtikas Tehnoloģijas fakultāte, Latvija / *Latvia University of Agriculture, Faculty of Food Technology, Latvia*
- *Dr. habil. agr.* **Antons Ruža** – vadošais pētnieks, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Lauksaimniecības fakultāte, Agrobiotehnoloģijas Institūts, Latvija / *key researcher, Latvia University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Institute of Agrobiotechnology, Latvia*
- Prof., *Dr.* **Elena Bartkienė** – Lietuvas Veselības Zinātņu universitāte, Pārtikas nekaitīguma un kvalitātes katedra, Lietuva / *Lithuanian University of Health Sciences, Department of Food Safety and Quality, Lithuania*

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Pārtikas zinātnes promocijas padomes atklātajā sēdē 2017. gada 14. jūnijā, plkst. 10⁰⁰ Jelgavā, Rīgas ielā 22, Pārtikas Tehnoloģijas fakultātē, 216. auditorijā.

The defence of the PhD thesis in an open session of the Promotion Council of Food Science of Latvia University of Agriculture will be held at 10⁰⁰ a.m. on June 14, 2017, in Room 216, Faculty of Food Technology, Rīgas Street 22, Jelgava.

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā Lielā ielā 2, Jelgavā, LV 3001 un http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html.
Atsauksmes sūfīt Pārtikas zinātnes nozares promocijas padomes sekretārei LLU Pārtikas Tehnoloģijas fakultātes *asoc. prof., Dr.sc.ing. I. Beitānei* (Rīgas iela 22, Jelgava, LV 3004 vai e–pasts: ilze.beitane@llu.lv).
*The PhD thesis is available for the review at the Fundamental Library of Latvia University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava, LV 3001, and on the internet: http://llufb.llu.lv/promoc_darbi_en.html. References are welcome to be send to **I. Beitāne**, *Dr.sc.ing.*, the Secretary of the Promotion Council in the sector of Food Science, at the Faculty of Food Technology, Latvia University of Agriculture, Rīgas Street 22, Jelgava, LV 3004, Latvia, or e–mail: ilze.beitane@llu.lv.*

DOI: 10.22616/LLUthesis/2017.007

SATURS

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE	4
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA.....	6
MATERIĀLI UN METODEDES.....	9
PĒTĪJUMU REZULTĀTI UN DISKUSIJA	17
1. Graudu fizikāli-ķīmisko rādītāju izvērtējums	17
2. Mīklas kvalitātes parametru izvērtējums.....	20
3. Makaronu ekstrūzijas parametru izvērtējums	23
4. Makaronu kvalitātes parametru izvērtējums	24
SECINĀJUMI	32

CONTENT

<i>TOPICALITY OF THE RESEARCH.....</i>	<i>33</i>
<i>APPROBATION OF THE RESEARCH WORK.....</i>	<i>35</i>
<i>MATERIALS AND METHODS.....</i>	<i>35</i>
<i>RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION.....</i>	<i>41</i>
<i>1. Evaluation of grain physical and chemical parameters</i>	<i>41</i>
<i>2. Evaluation of dough quality parameters.....</i>	<i>42</i>
<i>3. Assessment of pasta extrusion parameters</i>	<i>43</i>
<i>4. Assessment of pasta quality parameters</i>	<i>44</i>
<i>CONCLUSIONS</i>	<i>47</i>

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Pieaugošais pieprasījums pēc veselīgas pārtikas veicina pārtikas uzņēmumiem virzīt un ražot tādus produktus, kas nodrošina ne tikai uztura funkcijas, bet arī labvēlīgi ietekmē veselību. Viens no tiem ir graudaugi un to produkti. Graudaugi satur proteīnu, taukus un ogļhidrātus, kas nepieciešami cilvēku uzturam. Tie piegādā minerālvielas un vitamīnus, kas ir būtiski veselības saglabāšanai.

Viens no izplatītākajiem graudu pārstrādes produktiem, ko bieži lietojam uzturā, ir makaroni. Makaroni ir pārtikas produkts, kurus tradicionāli ražo no speciāla maluma cieto kviešu miltiem un ūdens, nedaudz pievienojot sāli. Šobrīd veikalos iespējams iegādāties arī makaronus bez sāls piedevas, pilngraudu makaronus, makaronus ar B vitamīnu un dažādu minerālvielu – kalcija, dzelzs, folijskābes – piedevu. Eiropā un Amerikā pārsvarā ražo tradicionālos makaronus no cieto kviešu miltiem, savukārt Āzijas valstīs iecienītāki ir makaroni no pupiņu, rīsu un griķu miltiem vai kartupeļu cietes. Makaroni mēdz būt dažādas formas un krāsas, piemēram, zaļu, zilu, dzeltenu, sarkanu – makaronu ražošanā tiek izmantotas dabiskās krāsvielas. Šī pārtikas produkta nenoliedzama priekšrocība – tas nav dārgs, ir viegli un ātri pagatavojams (Twombly, Manthey, 2005).

Eiropā makaronu ražošanai pārsvarā izmanto cieto kviešu mannu, bet makaroni, kas būtu ražoti no Latvijas izejvielām, īpaši dažādu graudaugu miltu maisījumiem, piemēram, rudzu, kailgraudu miežu un citiem, nav nopērkami. Tāpēc ir nepieciešams veikt pētījumus par Latvijā audzētu kviešu, rudzu, tritikāles un kailgraudu miežu graudaugu šķirņu izmantošanas iespējām makaronu ražošanā.

Apkopojot literatūrā sastopamos teorētiskos un eksperimentālos datus, ir izvirzīta promocijas darba **hipotēze**: kvalitatīvus makaronus ar paaugstinātu bioloģisko vērtību var iegūt, daļu kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu kviešu, rudzu, tritikāles vai kailgraudu miežu miltiem.

Promocijas darba hipotēze ir aizstāvama ar **tēzēm**:

- 1) Latvijā konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēto rudzu, kviešu, kailgraudu miežu un tritikāles graudu fizikāli-ķīmiskie rādītāji būtiski atšķiras un tie ir piemēroti makaronu ražošanai;
- 2) gatavojot makaronu mīklu, daļu kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu tritikāles, rudzu, kailgraudu miežu vai kviešu miltiem, tās fizikālie parametri un reoloģiskās īpašības būtiski mainās;
- 3) makaronu ekstrūzijas temperatūra būtiski ietekmē graudu cietes klīsterizāciju;
- 4) daļu kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu kviešu, rudzu, tritikāles vai kailgraudu miežu miltiem var iegūt makaronus ar paaugstinātu bioloģisko vērtību un labu kvalitāti.

Promocijas darba **mērķis** ir izpētīt Latvijā audzētu kviešu, rudzu, tritikāles un kailgraudu miežu graudu piemērotību makaronu ražošanai.

Darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi **uzdevumi**:

- 1) noteikt Latvijā audzētu dažādu šķirņu kviešu, rudzu, tritikāles un kailgraudu miežu graudu fizikāli-ķīmiskos rādītājus;
- 2) integrēti novērtēt analizēto graudaugu kvalitātes parametrus un izvēlēties piemērotākos makaronu gatavošanai;
- 3) izstrādāt gatavošanas tehnoloģiskos parametrus makaronu ieguvei no dažādu graudaugu miltu maisījumiem;
- 4) analizēt iegūto makaronu mīklu reoloģiskās īpašības;
- 5) izvērtēt makaronu ekstrūzijai piemērotākās temperatūras, pamatojoties uz mīklas īpašību izmaiņām ekstrūzijas procesā;
- 6) izvērtēt iegūto makaronu fizikāli-ķīmiskos rādītājus un sensorās īpašības.

Darba novitāte – ir noteikti tehnoloģiskie parametri makaronu gatavošanai receptūrā, izmantojot pilngraudu rudzu, kailgraudu miežu, tritikāles un kviešu miltus. Pirmoreiz ir veikti pētījumi par Latvijā audzēto dažādu šķirņu kviešu, rudzu, tritikāles un kailgraudu miežu graudu piemērotību makaronu ražošanai.

Darba zinātniskais nozīmīgums – izanalizēti Latvijā konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēto kviešu, rudzu, tritikāles un kailgraudu miežu graudu fizikāli-ķīmiskie rādītāji, balstoties uz mīklu fizikālo parametru izmaiņām ekstrūzijas laikā, ir izstrādāti makaroni, kur daļu kviešu miltus aizstāj ar pilngraudu kviešu, rudzu, tritikāles un kailgraudu miežu miltiem. Izanalizēti iegūto makaronu fizikāli-ķīmiskie rādītāji un sensorās īpašības. Pierādīts, ka pilngraudu kviešu, kā arī netradicionālo graudaugu pilngraudu miltus var izmantot makaronu ražošanā.

Darba tautsaimnieciskā nozīme – rasts risinājums Latvijā audzēto graudaugu pielietojumam makaronu ražošanā, palielinot, īpaši, tritikāles un kailgraudu miežu izmantošanu pārtikas rūpniecībā, tā nodrošinot vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspēju Latvijas tautsaimniecības attīstībai. Makaroniem ar pilngraudu kviešu, rudzu, tritikāles un kailgraudu miežu miltiem ir ne tikai augstāka bioloģiskā vērtība, bet arī labas sensorās īpašības, salīdzinot ar tradicionāliem cieto kviešu pilngraudu makaroniem.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījumu rezultāti apkopoti un publicēti 10 recenzējamos zinātniskajos rakstu krājumos angļu un latviešu valodā, 4 publikācijas ir indeksētas datubāzē SCOPUS, Web of Science un EBSCO.

Publikācijas recenzējamos izdevumos – 10:

1. Kalniņa S., Ķince T. (2016) Investigation of nutritional value and sensory properties of whole-grain pasta. *Proceedings of Annual 57th International Scientific Conference “Materials science and applied chemistry 2016”*. Rīga, RTU. ISBN 978-9934-10-861-7. p. 88–92.
2. Kalniņa S., Ķince T., Kunkulberga D. (2016) Pilngraudu makaronu ekstrūzijas temperatūras noteikšana. *Zinātniskā semināra Ražas svētki „Vecauce 2016”*: Lauksaimniecības zinātne nozares attīstībai rakstu krājums. Jelgava, LLU. ISBN 978-9984-48-240-8. 32.–35. lpp.
3. Kalnina S., Rakcejeva T. (2015) Investigation of physicochemical, sensory characteristics, cooking and texture properties of whole grain pasta. *Chemine Technologija*, 1:66, p. 40–44.
4. Kalniņa S., Rakcejeva T. (2015) Kopējo šķiedrvielu, B₁ un B₂ vitamīna satura izpēte pilngraudu makaronos. *Zinātniskā semināra Ražas svētki “Vecauce – 2015”*. Lauksaimniecības zinātne reorganizācijas laikā rakstu krājums. Jelgava, LLU. ISBN 978-9984-48-202-6. 37.–40. lpp.
5. Kalnina S., Rakcejeva T., Kunkulberga D., Galoburda R. (2015) Rheological properties of whole wheat and whole triticale flour blends for pasta production. *Agronomy Research*, Vol. 4, p. 948–955. (in SCOPUS, Web of Science)
6. Kalnina S., Rakcejeva T. (2015) Rheological properties of whole grain wheat, rye and hull-less barley flour blends for pasta production. *Proceedings of Annual 21th International Scientific Conference Research for Rural Development 2015*. ISSN 1691-4031. 1, p. 150–157. (http://www2.llu.lv/research_conf/Proceedings/21st_volume1.pdf) (in SCOPUS)
7. Kalnina S., Rakcejeva T. (2014) Investigation of total protein content and amino acid composition of whole grain flour blend for pasta production. *Proceedings of Annual 20th International Scientific Conference Research for Rural Development 2014*. ISSN 1691-4043. 1, p. 155–161. (in SCOPUS)
8. Kalnina S., Rakcejeva T., Gramatina I., Kunkulberga D. (2014) Investigation of total dietary fiber, B₁ and B₂ vitamin content of flour blend for pasta production. *Proceedings of 9th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food for Consumer Well-Being”*. ISSN 2255-9817. p. 133–137. (in Web of Science)

9. Kalnina S., Rakcejeva T., Kunkulberga D., Linina A. (2013) Investigation in physically-chemical parameters of in Latvia harvested conventional and organic triticale grains. *World Academy of Science, Engineering and Technology; International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*. PiSSN 2010-376x. 81, p. 942–946.
10. Kalnina S., Rakcejeva T., Kunkulberga D. (2013) Investigation of physically-chemical parameters of conventional and organic hull-less barley harvested in Latvia. *Proceedings of Annual 19th International Scientific Conference "Research for Rural Development 2013"*. ISSN 1691-4031. 1, p.120–124 (in SCOPUS)

Par pētījuma rezultātiem ziņots 11 semināros un starptautiskās zinātniskās konferencēs Latvijā, Itālijā, Igaunijā un Lietuvā.

1. Kalniņa S., Ķince T., Kunkulberga D. Stenda referāts. Pilngraudu makaronu ekstrūzijas temperatūru noteikšana. *Zinātniskais seminārs "Ražas svētki "Vecauce – 2016"*, Vecauce, Latvija, 3. novembris, 2016.
2. Kalnina S., Kince T. Poster presentation. Investigation of nutritional value and sensory evaluation of whole pasta T. *57th International Scientific Conference "Materials Science and Applied Chemistry" 2016*, Riga, Latvia, October 21–22, 2016.
3. Kalniņa S., Rakcejeva T. Stenda referāts. Kopējo šķiedrvielu, B₁ un B₂ vitamīna satura izpēte pilngraudu makaronos. *Ražas svētki "Vecauce – 2015: Lauksaimniecības zinātne reorganizācijas laikā*. Vecauce, Latvija, 5. novembris, 2015.
4. Kalnina S., Rakcejeva T., Kunkulberga D., Galoburda R. Poster presentation. Rheological properties of whole wheat and whole triticale flour blends for pasta production. *6th International conference on Biosystems Engineering 2015*. Tartu, Estonia, May 7–8, 2015.
5. Kalnina S., Rakcejeva T. Oral presentation. Rheological properties of whole grain wheat, rye and hull-less barley flour blends for pasta production. *Research for Rural Development 2015*. Jelgava, Latvia, May 13–15, 2015.
6. Kalnina S., Rakcejeva T. Poster presentation. Investigation of colour, cooking properties and texture of whole-grain pasta. *10th Baltic Conference on Food Science and Technology 2015*. Kaunas, Lithuania, May 21–22, 2015.
7. Kalniņa S., Rakcejeva T. Stenda referāts. Latvijā selekcionētu rudzu un kviešu graudu fizikāli-ķīmisko rādītāju izvērtējums. *5. PTF Studentu zinātniskā konference 2015*. Jelgava, Latvija, Maijs 6, 2015.
8. Kalnina S., Rakcejeva T. Oral presentation. Investigation of total protein content and amino acid composition of whole grain flour blend for pasta production. *Research for Rural Development 2014*. Jelgava, Latvia, May 21–23, 2014.

9. Kalnina S., Rakcejeva T., Gramatina I., Kunkulberga D. Oral presentation. Investigation of total dietary fiber, B₁ and B₂ vitamin content of flour blend for pasta production. *Foodbalt 2014*. Jelgava, Latvia, May 8–9, 2014.
10. Kalnina S. Oral presentation. Comparison of chemical composition and technological properties of in Latvia harvested triticale and hull-less barley grains. *Research for Rural Development 2013*. Jelgava, Latvia, May 15–17, 2013.
11. Kalnina S., Rakcejeva T., Kunkulberga D., Linina A. Oral presentation. Investigation in physically-chemical parameters and technological properties of in Latvia harvested conventional and organic triticale grains. *ICAFS 2013: International Conference on Agrotechnology and Food Sciences*, Rome, Italy September 26–27, 2013.

Dalība izstādēs – 2

1. Kalniņa S. Referāts. Pilngraudu milti makaronu ražošanai. Seminārs “Graudaugi un pākšaugi inovatīvu produktu ražošanā” Starptautiskās izstādes „RIGA FOOD 2016” ietvaros, Rīga, Latvija, 2016. gada 8. septembris.
2. Kalnina S., Rakcejeva T., Gramatina I., Kunkulberga D. Referāts. Content of total dietary fiber and B group Vitamins in whole flour blend for pasta production. Izstāde „RIGA FOOD 2014” Rīga, Latvia, September 4–7, 2014.

Promocijas darba izstrāde līdzfinansēta no:

- Valsts Pētījumu programmas „Vietējo resursu (zemes dziļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas (NatRes)” (2010.–2013.) projekta Nr. 3. „Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei (PĀRTIKA)” / *National research programme Local resources (agrarian depth, forest, food and transport) sustainable use – new products and technologies (NatRes) (2010-2013) project No. 3 “Local resources sustainable use for food with elevated nutritive value development (FOOD)”*.
- Valsts Pētījumu Programmas „Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā (AgroBioRes)” (2014.–2017.) projekta Nr. 4 „Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana kvalitatīvu un veselīgu pārtikas produktu izstrādei (PĀRTIKA)” / *National research programme “Agricultural Resources for Sustainable Production of Qualitative and Healthy Foods in Latvia” (AgroBioRes) (2014 2017), project No. 4 “Sustainable use of local agricultural resources for qualitative and healthy food product development” (FOOD)*.

MATERIĀLI UN METODEDES

Pētījumu laiks un vieta

Eksperimenti veikti no 2012. gada līdz 2015. gadam.

Latvijas Lauksaimniecības universitāte

- LF, Sēklzinību analīžu laboratorija (lipekļa saturs, lipekļa indekss, 1000 graudu masa);
- PTF, Pārtikas kvalitātes laboratorija (šķiedrvielas, proteīns, tauki, miltu daļiņu izmērs un mīklas reoloģiskās īpašības);
- PTF, Ceptuve (makaronu receptūras izstrāde, mīklas mīcīšana, makaronu ekstrūzija, makaronu kaltēšana; makaronu pagatavošanas laika, masas zudumu, ūdens uzsūkšanas spējas noteikšana);
- PTF, Zinātniskā laboratorija (ūdens aktivitāte, ūdens dzidrība, makaronu krāsa, struktūra, skābums un pH);
- PTF, Mikrobioloģijas laboratorija (cietes struktūras izmaiņas ekstrūzijas laikā);
- PTF, Sensorā novērtēšanas laboratorija (makaronu sensorā novērtēšana).

AS „Jelgavas dzirnavas” (pilngraudu miltu ieguve, mitruma, tilpummasas, krišanas skaitļa, proteīna, cietes, beta glikānu noteikšana graudos; cietes klīsterizācijas temperatūra, pelnvielas).

Latvijas Universitātes Bioloģijas institūta laboratorijās (B₁, B₂ vitamīnu un aminoskābju analīzes).

Pētījuma objekts ir Latvijā audzēti kviešu, tritikāles, rudzu un kailgraudu miežu graudi.

Materiāli

- Komerciālie 405. tipa milti (Latvija) (produkta uzturvērtība 100 g produkta: ogļhidrāti 68,9 g; proteīns 10,3 g; taukvielas 1,1 g; enerģētiskā vērtība 334 kcal / 1387 kJ).
- LLU, LF mācību un pētījumu saimniecībā “Pēterlauki” 2012. gada konvencionālā lauksaimniecībā audzēta kviešu graudu šķirne ‘Zentos’.
- LLU, Agroresursu un Ekonomikas institūtā selekcionētie 2012. gada ražas:
 - konvencionālā lauksaimniecībā audzēti šķirnes ‘Kaupo’ un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēti līnijas 9918 rudzu graudi;
 - bioloģiskā lauksaimniecībā audzēta kviešu šķirnes ‘Fredis’ graudi;
 - konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēti šķirnes ‘Dinaro’ un līniju 9403-97, 9405-23 un 9402-3 tritikāles graudi;
 - konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēti šķirnes ‘Irbe’ un līniju PR4651, PR3808.21 un PR5099 kailgraudu miežu graudi.
- Dzeramais ūdens makaronu mīklas pagatavošanai (atbilstoši LR Ministru kabineta 2003. gada noteikumiem Nr. 235 „Dzeramā ūdens obligātās

nekaitīguma prasības”).

- Komerciālais pārtikas sāls (Ukraina) (NaCl 97 g 100 g⁻¹).
- Komerciālie kviešu pilngraudu spageti (produkta uzturvērtība 100 g produkta: ogļhidrāti 68 g; proteīns 12 g; šķiedrvielas 6 g; taukvielas 1 g; enerģētiskā vērtība 337 kcal / 1431 kJ) – kontroles paraugs.

Pētījuma struktūra

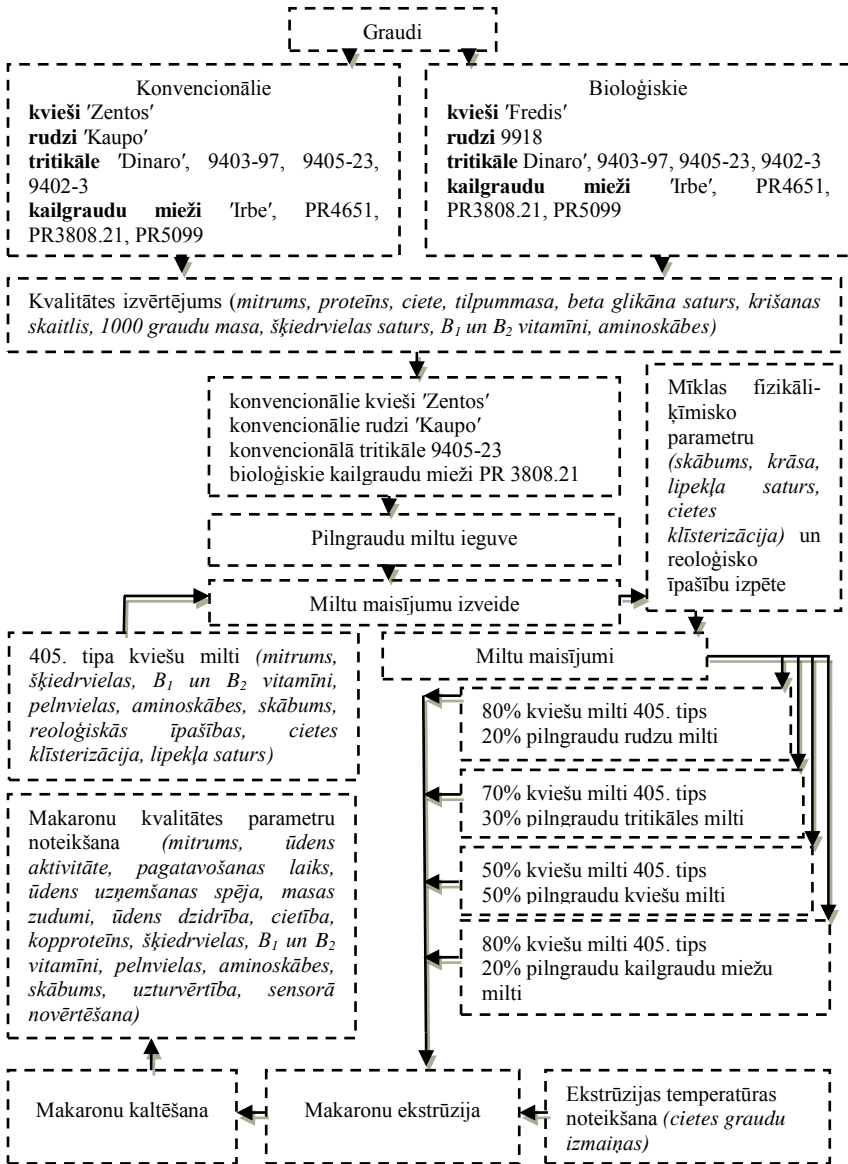
Promocijas darbā veikto pētījumu vispārējā shēma parādīta 1. attēlā. Eksperimentos izmantoti Latvijā bioloģiskā un konvencionālā lauksaimniecībā audzēti kviešu, rudzu, tritikāles un kailgraudu miežu graudi.

Veikts vispusīgs graudu fizikālo parametru un ķīmiskā sastāva izvērtējums ar mērķi pēc kvalitātes parametriem izvēlēties piemērotākos graudus makaronu gatavošanai. Izanalizējot graudu kvalitātes parametrus tālākiem eksperimentiem izvēlēti: konvencionālie šķirnes 'Zentos' kviešu graudi, konvencionālie šķirnes 'Kaupo' rudzu graudi, konvencionālie līnijas 9405-23 tritikāles graudi un bioloģiskie līnijas PR 3808.21 kailgraudu miežu graudi.

No izvēlētiem graudiem iegūti pilngraudu milti. Balstoties uz kviešu mīklu reoloģisko īpašību izmaiņām ir veidoti miltu maisījumi, kur daļu 405. tipa kviešu miltus aizstāj ar pilngraudu rudzu (10–50%), kailgraudu miežu (10–50%), tritikāles (10–100%) vai kviešu (10–100%) miltiem. Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem ir izveidoti četri miltu maisījumi: 50% kviešu milti 405. tips 50% pilngraudu kviešu milti; 80% kviešu milti 405. tips 20% pilngraudu kailgraudu miežu milti; 70% kviešu milti 405. tips 30% pilngraudu tritikāles milti; 80% kviešu milti 405. tips 20% pilngraudu rudzu milti.

Veikta makaronu ekstrūzijas temperatūru noteikšana, pamatojoties uz cietes graudu izmaiņām ekstrūzijas procesā. Makaronu gatavošanās tehnoloģiskā shēma atspoguļota 2. attēlā. Pēc ekstrūzijas gatavie makaroni ir kaltēti līdz $10\pm 2\%$ mitruma saturam.

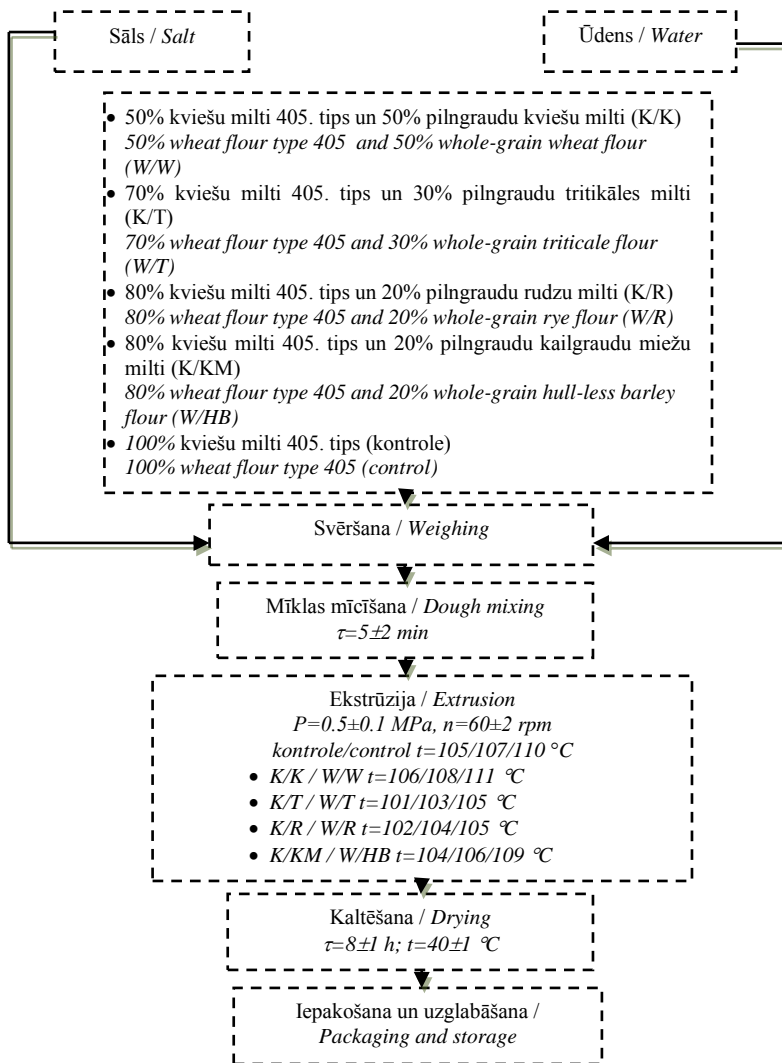
Veikts vispusīgs iegūto makaronu fizikālo parametru, ķīmisko rādītāju un sensoro īpašību izvērtējums, salīdzinot eksperimentos izstrādātos makaronus ar tirgū pieejamiem kviešu pilngraudu makaroniem un makaroniem, kas iegūti no 405. tipa kviešu miltiem.



1. att. Vispārējā eksperimenta shēma

Pilngraudu miltu iegūšana – graudi samalti laboratorijas dzirnavās „PLM 3100/B” (Pertent, Zviedrija) atbilstoši AACC standartam No. 55-30.01. Iegūto pilngraudu miltu granulometriskā analīze veikta ar miltu sījātāja „Retsch AS200” (RETSCH, Vācija) palīdzību atbilstoši ISO 3310-1 standartam.

Makaronu gatavošanas tehnoloģiskā shēma atspoguļota 2. attēlā.



2. att. Makaronu gatavošanas tehnoloģiskā shēma /
 Fig.2. Technological scheme of pasta making

Kvalitātes rādītāju noteikšanas metodes

Graudu mitruma saturs noteikts saskaņā ar standarta metodi LVS 272:2000.

Krišanas skaitlis noteikts ar „*Perten FN 1900*” (Perten, Zviedrija) iekārtu pēc standarta metodes ISO 3093:2009.

Proteīns, ciete, tilpummasa, beta glikāna saturs graudos noteikti ar iekārtas „*Infratec™ 1241 Grain Analyser*” (Foss, Dānija) palīdzību atbilstoši ISO 12099 standarta metodei.

1000 graudu masa ir graudu absolūtā masa – 1000 graudu masa gramos, pārrēķināta uz sausu pēc standarta metodes ISO 520:2010.

Šķiedrvielu saturs graudos noteikts ar „*Fibertec system 1010 Heat Extractor*” (Foss, Dānija) atbilstoši ISO 5498 standarta metodei.

B₁ vitamīna saturu nosaka ar fluorimetru „*Spekol 11*” (Analytik Jena AG, Vācija) atbilstoši AOAC 957.17 standartam.

B₂ vitamīna saturu nosaka ar fluorimetru „*Spekol 11*” (Analytik Jena AG, Vācija) atbilstoši AOAC 970.65 standartam.

Aminoskābju saturs makaronos noteikts ar hromatogrāfisko standarta metodi LVS ISO 13903:2005 ar aminoskābju analizatoru „*Mikrotechna AAA 831*” (Mikrotechna, Čehija).

Miltu daļiņu analīze veikta ar miltu sijātāja „*Retsch AS200*” (RETSCH, Vācija) palīdzību atbilstoši ISO 3310-1 standartam.

Mīklas skābums noteikts izmantojot AACC 02-31.01 standarta metodi.

Lipekļa saturs noteikts ar „*Glutomatic*” (Perten, Zviedrija) sistēmas palīdzību atbilstoši standarta metodei LVS 275; AACC Method No. 38-12, ISO 21415.

Mīklas reoloģisko īpašību izpēte veikta ar farinogrāfu „*Farinograph-AT*” (Brabender® GmbH & Co.KG., Vācija) palīdzību pēc standarta metodes ICC -115/1.

Cietes klusterizēšanās īpašību izpēte veikta ar amilogrāfa „*Amylograph®-E*” (Brabender® GmbH & Co.KG., Vācija) palīdzību pēc standarta metodes ISO 7973; ICC No. 126/1; AACC No. 22-10.

Izejvielu svēršana. Visas izejvielas svērtas uz elektroniskajiem svāriem „*Kern*” (Kern & Sohn GmbH, Vācija).

Mīklas gatavošana. Mīklu gatavoto spirāles tipa mīklas mīcītājā „*Plutone 10*” (Sirman, Itālija)

Makaronu ekstrūzija. Sagatavoto mīklu apstrādā ar ekstrūzijas palīdzību vienskrūves ekstrūderī „*Extrusiometer L20*” (GÖTTFERT, Vācija), makaronus izspiežot caur matricu ar diametru Ø 3 mm, iegūstot spageti formas makaronus. Skrūves rotācijas ātrums 60±2 apgr. min⁻¹, kompresijas koeficients 3 : 1, spiediens 0,5±0,1 MPa.

Cietes graudu izmēra noteikšana. Makaronu apstrādes temperatūra katrai ekstrūdera darba zonai noteikta izvērtējot cietes graudu izmaiņas ekstrūzijas laikā, ar mikroskopu „*Leica DM 3000 LED*” (Leica Microsystems GmbH, Vācija) ar digitālo kameru DFC 290 HD un datorprogrammu Leica V 4.2.

Makaronu kaltēšana. Makaroni līdz mitruma saturam $10\pm 2\%$ ir kaltēti rotācijas-konvekcijas tipa krāsnī „S400” (Sveba Dahlen AB, Zviedrija)

Makaronu uzglabāšana. Atdzesētus makaronus testēšanai uzglabā gaisa vidē polimēra plēves (PA/PE) maisīņos telpas temperatūrā.

Makaronu mitruma saturs noteikts izmantojot standarta metodi LVS 272:2000.

Ūdens aktivitāte makaronos nosaka ar iekārtas „LabSwift-aw” (Novasina AG, Šveice) palīdzību.

Makaronu vārīšanas laiks noteikts izmantojot AACC 16-50 standartmetodi.

Ūdens uzņemšanas spēja noteikta atbilstoši AACC 56-40 standarta metodei.

Masas zudumus vārīšanas laikā un ūdens dzidrība (Matsuo et al., 1992).

Krāsas intensitātes noteikšana mīklai veikta CIE $L^*a^*b^*$ krāsu sistēmā ar iekārtu „ColorTec-PCM” (Accuracy Microsensors, Inc, ASV). Aprēķināta kopējā krāsu diferences ΔE .

Makaronu cietības noteikšanai izmanto struktūras analizatoru „TA.XTplus” (Stable Micro systems, UK).

Proteīna saturu makaronos nosaka ar iekārtas „KjeltecTM 2100” (Foss, Dānija), izmantojot Kjeldala metodi atbilstoši AACC 46-20 standarta metodei.

Makaronu uzturvērtības un enerģētiskās vērtības aprēķins veikts saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes regulu (EK) Nr. 1169/2011 (2011. gada 25. oktobris) par pārtikas produktu informācijas sniegšanu patērētājiem.

Makaronu patikšanas pakāpe noteikta izmantojot ISO 4121:2003 standartmetodi.

Kvalitātes rādītāju noteikšanas metodes dažādos pētījumu posmos apkopotas 1. tabulā.

**Kvalitātes rādītāju noteikšanas metodes dažādos pētījumu posmos /
Methods for the quality assessment at different research stages**

Rādītāji un testa metodes / Indicators and test methods	Pētījumu posmi / Research stages			
	Graudi / Grain	Milti / Flour	Mīkla / Dough	Makaroni / Pasta
Mitrums / Moisture (LVS 272:2000)	+	+	+	+
Krišanas skaitlis / Falling number (ISO 3093:2009)	+	-	-	-
Proteīns / Protein (ISO 12099)	+	-	-	-
Tilpummasa / Bulk density (ISO 12099)	+	-	-	-
Ciete / Starch (ISO 12099)	+	-	-	-
Beta glikāni / beta glucans (ISO 12099)	+	-	-	-
1000 graudu masa / 1000 grain mass (ISO 520:2010)	+	-	-	-
Šķiedrvielas / Dietary fibre (ISO 5498)	+	-	-	+
B ₁ vitamīns / Vitamin B ₁ (AOAC 957.17)	+	-	-	+
B ₂ vitamīns / Vitamin B ₂ (AOAC 970.65)	+	-	-	+
Aminoskābes / Amino acids (LVS ISO 13903:2005)	+	-	-	+
Pilngraudu miltu daļiņu izmērs / Size of whole-grain flour particles (ISO 3310-1)	-	+		
Skābums / Acidity (AACC 02-31.01)	-	-	+	-
Reoloģiskās īpašības / Rheological properties (ICC -115/1)	-	-	+	-
Cietes klīsterizācija / Starch gelatinization (ISO 7973; ICC No. 126/1; AACC No. 22-10)	-	-	+	-
Lipekļa saturs / Gluten content (LVS 275; AACC Method No. 38-12, ISO 21415)	-	+	-	-
Proteīns / Protein (AACC 46-20)	-	-	-	+
Pelni / Ash (LVS EN ISO 2171:2010)	-	-	-	+
Uzturvērtība un enerģētiskā vērtība / Nutritive and energy value (Regulation no. 1169/2011)	-	-		+
Patikšanas pakāpe / Degree of liking (ISO 4121:2003)	-	-	-	+
Cietība / Firmness (Gull et al., 2015)	-	-	-	+
Ūdens dzidrība / Water turbidity (Matsuo et al., 1992)	-	-	-	+
Masas zudumi vārīšanas laikā / Weight loss during cooking (Matsuo et al., 1992)	-	-	-	+
Ūdens saistīšanas spēja / Water binding capacity (AACC 56-40)	-	-	-	+
Krāsa CIE L* a* b* krāsu sistēmā / Colour CIE L* a* b* colour system	-	-	-	+
Vārīšanas laiks / Cooking time (AACC 16-50)	-	-	-	+
Ūdens aktivitāte / Water activity	-	-	-	+

+ noteiktie kvalitātes rādītāji / determined quality indicators

- nav noteikts / was not detected

Rezultātu matemātiskā apstrāde

Pirms dažādu testu izmantošanas pārbauda datu izkliedi, izmantojot parametriskos vai neparametriskos testus. Datu apstrādei lietota divu faktoru dispersijas analīze (ANOVA), izvērtējot divu dažādu faktoru mijiedarbības ietekmi. Izvērtējot dažādu pazīmju savstarpējo kopsakarību, izmanto korelācijas un regresijas analīzi, kā arī mazāko kvadrātu metodi. Ja sakarība starp pazīmēm ir lineāra – determinācijas koeficients sakrīt ar korelācijas koeficientu: R^2 vienāds ar r^2 . Ja korelācijas koeficienta vērtība ir $0,5 \leq |r| \leq 0,8$, starp pētāmajām pazīmēm ir vidēji cieša lineārā sakarība. Ja $|r| > 0,8$, tad starp pētāmajām pazīmēm ir cieša lineārā sakarība (Arhipova, Bāliņa, 2003; Mūrniece, 2010).

Darba pētnieciskajā sadaļā attēli, tabulas izveidotas un aprēķini veikti ar *MS Excel* programmu. Izvirzītās hipotēzes pārbaudītas ar *P*-vērtības metodi, un faktori novērtēti kā būtiski, ja *P*-vērtība $< \alpha_{0,05}$. Rezultātu interpretācijai pieņemts, ka $\alpha=0,05$ ar 95% ticamību, ja nav norādīts citādi (Mūrniece, 2010).

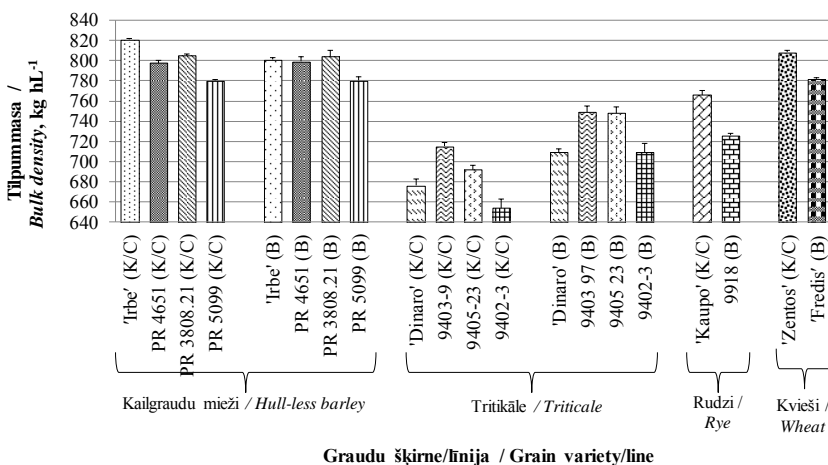
Integrētais novērtējums veikts, lai novērtētu graudu šķirņu piemērotību makaronu ražošanai, pamatojoties uz graudu fizikāliem parametriem un ķīmiskajiem rādītājiem: mitruma saturu, tilpummasu, 1000 graudu masu, krišanas skaitli, proteīnu, šķiedrvielu un cietes saturu. Pie fizikālām pazīmēm lielākais ieguldījuma koeficients ir piešķirts graudu tilpummasai, jo lielāka ir graudu tilpummasa, jo tie ir labāk nogatavojušies un ar barības rezerves vielām bagātāki, kas nozīmē, ka no tiem var iegūt lielāku miltu iznākumu (Ruža, 2004). Integrētā novērtējumā augstāks grupas ieguldījuma koeficients tika piešķirts graudu ķīmiskajiem rādītājiem, zinot to, ka graudu ķīmiskām sastāvam ir ļoti būtiskā nozīme makaronu gatavošanā. Savukārt augstākie ieguldījuma koeficienti pie ķīmiskajām pazīmēm tika piešķirti proteīniem (denaturējas makaronu ekstrūzijas laikā) un cietei (klīsterizējas makaronu ekstrūzijas laikā).

PĒTĪJUMU REZULTĀTI UN DISKUSIJA

1. Graudu fizikāli-ķīmisko rādītāju izvērtējums

Lai pierādītu promocijas darba tēzi – “Latvijā konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēto rudzu, kviešu, kailgraudu miežu un tritikāles graudu fizikāli-ķīmiskie rādītāji būtiski atšķiras un tie ir piemēroti makaronu ražošanai”, veikts vispusīgs konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēto dažādu šķirņu un līniju kviešu, tritikāles, rudzu un kailgraudu miežu graudu fizikālo parametru un ķīmisko rādītāju izvērtējums.

Pēc datu matemātiskās apstrādes noteikts, ka tilpummasā ir atrastas nebūtiskas atšķirības ($P>0,05$) starp audzētiem graudiem bioloģiskā un konvencionālā lauksaimniecībā. Lielākā tilpummasa noteikta konvencionālā lauksaimniecībā audzētiem rudzu, kviešu un kailgraudu miežu graudiem; kā arī bioloģiskā lauksaimniecībā audzētiem tritikāles graudiem (3. attēls). Konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēto graudu tilpummasa attiecīgi variē: kailgraudu miežiem no 780 līdz 804 kg hL⁻¹, tritikālei no 654 līdz 749 kg hL⁻¹, kviešiem no 726 līdz 808 kg hL⁻¹ un rudziem no 726 līdz 766 kg hL⁻¹.



3. att. Graudu tilpummasa /

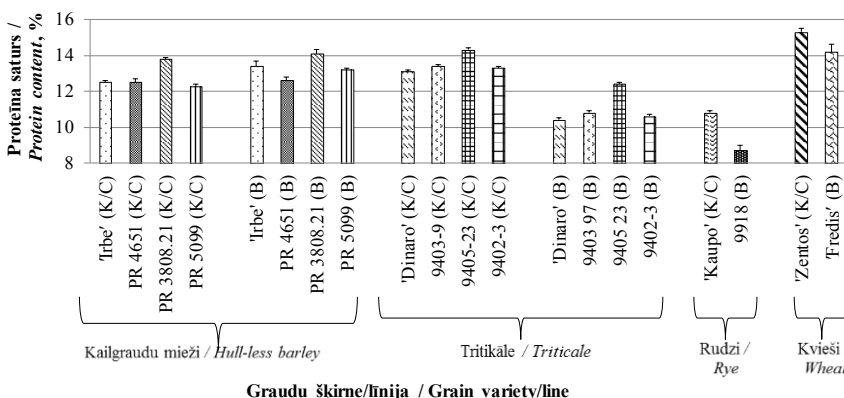
Fig. 3. Grain bulk density

K/C – konvencionālie / conventional; B – bioloģiskie / organic

Proteīna saturā ir atrastas būtiskas atšķirības ($P<0,05$) starp konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzētiem kviešu graudiem. Augstāks proteīna saturs noteikts konvencionālā lauksaimniecībā audzētos kviešu šķirnes 'Zentos' graudos, attiecīgi 15,3%. Būtiskas atšķirības ($P<0,05$) proteīna saturā atrastas

arī starp analizētajiem rudzu graudiem (4. attēls). Augstāks proteīna saturs noteikts konvencionālā lauksaimniecībā audzētos rudzu šķirnes 'Kaupo' graudos, attiecīgi 10,8%.

Proteīna saturā pastāv būtiskas atšķirības ($P < 0,05$) starp analizētajiem bioloģiskajiem un konvencionālajiem tritikāles graudiem. Augstāks proteīna saturs, attiecīgi 14,3 un 12,4% atrasts līnijas 9405-23 gan konvencionālajos, gan bioloģiskajos tritikāles graudos. Pētījumā proteīna saturs analizētajiem kailgraudu miežu graudu paraugiem attiecīgi konvencionālajiem vidēji 12,7%, bet bioloģiskajiem vidēji 13,3%. Augstāks proteīna saturs atrasts bioloģiskajos kailgraudu miežu graudos, salīdzinot ar konvencionālajiem. Starp analizētajiem kailgraudu miežu paraugiem pastāv būtiskas ($P < 0,05$) atšķirības proteīna saturā.

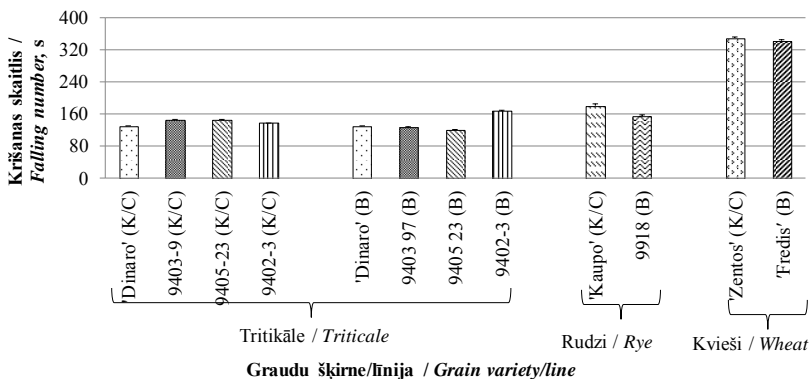


4.att. Proteīna saturs graudos /
Fig. 4. Protein content in grain

K/C – konvencionālie / conventional; B – bioloģiskie / organic

Pētījumā augstāks krišanas skaitlis iegūts bioloģiskā lauksaimniecībā audzētos tritikāles graudos, kas bija ievērojami augstāks ($P < 0,05$), salīdzinot ar konvencionālajiem graudiem (5. attēls).

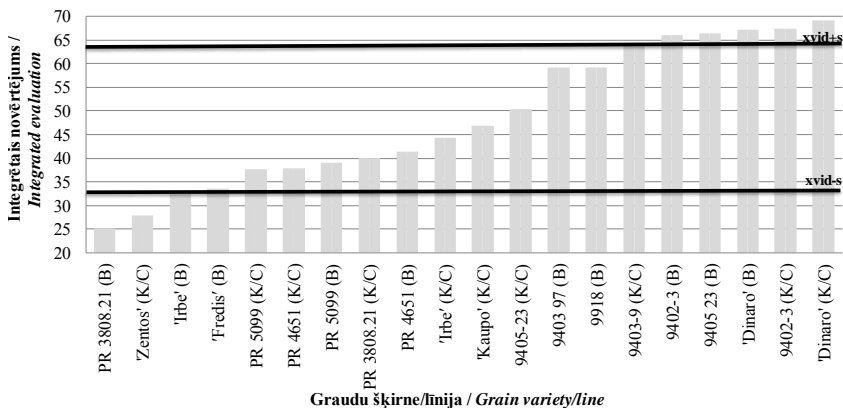
Augsts krišanas skaitlis ir bioloģiskajai tritikāles graudu līnijai 9402-3 attiecīgi 167 s, bet bioloģiskajai tritikāles graudu līnijai 9405-23 – 121 s, kas norāda uz zemāku α -amilāzes aktivitāti. Būtiskas atšķirības ir atrastas krišanas skaitļa vērtībā starp analizētajiem rudzu graudu paraugiem ($P < 0,05$), kur konvencionālajā lauksaimniecībā audzētas rudzu šķirnes 'Kaupo' graudu krišanas skaitlis ir 180 ± 5 s, bet bioloģiskajai rudzu graudu līnijai 9918 attiecīgi 154 ± 3 s. Būtiskas atšķirības ($P > 0,05$) krišanas skaitļa vērtības starp kviešu paraugiem netika atrastas – konvencionālai kviešu graudu šķirnei 'Zentos' krišanas skaitlis bija 348 ± 3 s, bet bioloģiskai šķirnei 'Fredis' – 342 ± 2 s (5. attēls).



5. att. Krišanas skaitlis /
Fig. 5. Felling number

K/C – konvencionālie / conventional; B – bioloģiskie / organic

Integrētais novērtējums veikts, lai novērtētu graudu šķirņu piemērotību makaronu ražošanai (6. attēls).



6. att. Graudu integrētais novērtējums /
Fig. 6. Integrated multifactorial evaluation of grains

Pamatojoties uz graudu fizikāliem parametriem un ķīmiskajiem rādītājiem: mitruma saturu, tilpummasu, 1000 graudu masu, krišanas skaitli, šķiedrvielu, B₁ un B₂ vitamīnu, aminoskābes, beta glikāna, proteīna un cietes saturu, veikts graudu integrētais novērtējums, ar mērķi noteikt kādi graudi būtu piemērotāki makaronu ražošanā. Zemāka integrētā novērtējuma vērtība norāda uz graudu šķirņu/līniju lielāku piemērotību makaronu ražošanai (6. attēls).

Vispusīgi izvērtējot iegūtos datus pieņemts, ka makaronu gatavošanai tiks izmantoti konvencionālā lauksaimniecībā audzēti kviešu šķirnes 'Zentos'

graudi, rudzu šķirnes 'Kaupo' graudi, tritikāles līnijas 9405-23 graudi un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēti kailgraudu miežu līnijas PR 3808.21 graudi.

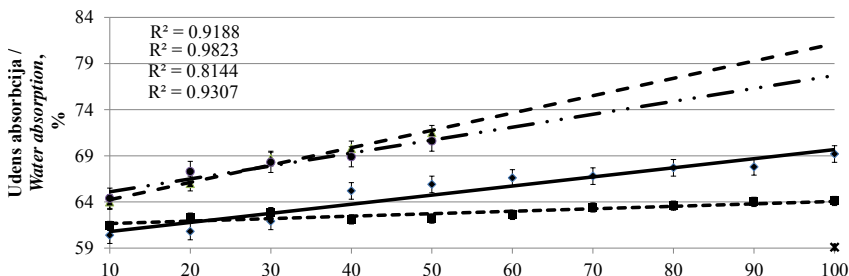
Promocijas darbā izvirzītā tēze – “Latvijā konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēto rudzu, kviešu, kailgraudu miežu un tritikāles graudu fizikāli-ķīmiskie rādītāji būtiski atšķiras un tie ir piemēroti makaronu ražošanai” – ir pierādīta.

2. Mīklas kvalitātes parametru izvērtējums

Lai pierādītu promocijas darba tēzi – “gatavojot makaronu mīklu, daļu kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu tritikāles, rudzu, kailgraudu miežu vai kviešu miltiem, tās fizikālie parametri un reoloģiskās īpašības būtiski mainās”, veikts kviešu mīklas, kur daļu 405. tipa kviešu miltus aizstāj ar pilngraudu rudzu (10–50%), kailgraudu miežu (10–50%), tritikāles (10–100%) vai kviešu (10–100%) miltiem, fizikālo un reoloģisko parametru izvērtējums.

Eksperimentāli ir iegūts, ka mīklu var izveidot, miltu maisījumos kviešu miltus aizvietojo ar pilngraudu kviešu un tritikāles miltiem no 10 līdz 90%, bet ar pilngraudu rudzu un kailgraudu miežu miltiem no 10 līdz 50%.

Zemāka ūdens absorbcija norāda uz mazāku pievienotā ūdens daudzumu mīklas veidošanai (7. attēls).



- ◆ Pilngraudu kviešu milti / Whole-grain wheat flour
- ▲ Pilngraudu rudzu milti / Whole-grain rye flour
- Pilngraudu kailgraudu miežu milti / Whole-grain hull-less barley flour
- Pilngraudu tritikāles milti / Whole-grain triticale flour
- ✕ Kviešu milti 405. tips / Wheat flour type 405

**Kviešu miltiem pievienotais pilngraudu miltu daudzums /
Amount of whole-grain flour added to wheat flour, %**

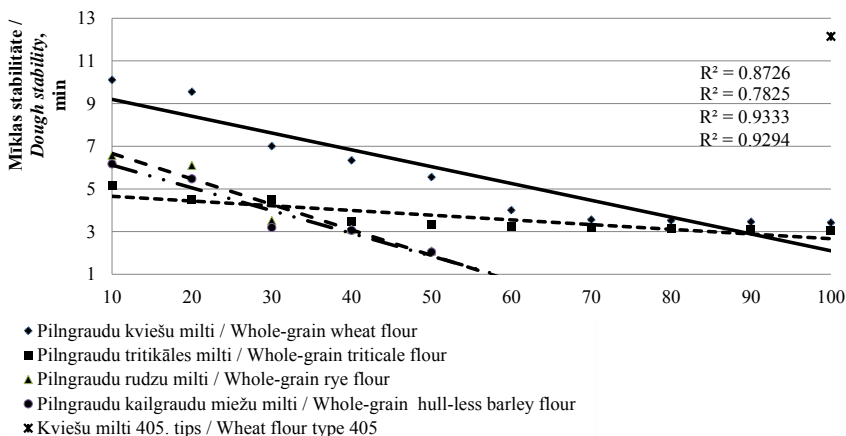
**7. att. Miltu ūdens absorbcija /
Fig.7. Flour water absorption**

Ir noteikts, ka daļu kviešu miltu (405. tips) aizstājot ar pilngraudu miltiem, iegūto miltu maisījumu ūdens absorbcija palielinās, kas saistīts ar pievienoto pilngraudu miltu daudzumu, kuros ir paaugstināts šķiedrvielu saturs, kā rezultātā saistīta ūdens daudzums palielinās.

Iegūtie rezultāti liecina, ka ūdens absorbcija palielinās, mīklā palielinot

pilngraudu miltu daudzumu. Zemākā ūdens absorbcija noteikta kontroles miltu paraugam, 405. tipa kviešu miltiem ($59,1 \pm 0,2\%$), savukārt būtiski ($P < 0,05$) augstāki rādītāji ir iegūti analizējot mīklu ar pilngraudu kviešu ($69,2 \pm 0,2\%$), rudzu ($71,5 \pm 0,2\%$), kailgraudu miežu ($70,6 \pm 0,1\%$) un tritikāles miltiem ($64,1 \pm 0,2\%$) (7. attēls). Cieša lineāra sakarība atrasta starp miltu daudzuma pieaugumu mīklā un ūdens absorbcijas palielinājumu (piemēram, paraugam ar pilngraudu kviešu miltiem $r = 0,9586$ un ar pilngraudu tritikāles miltiem $r = 0,9024$).

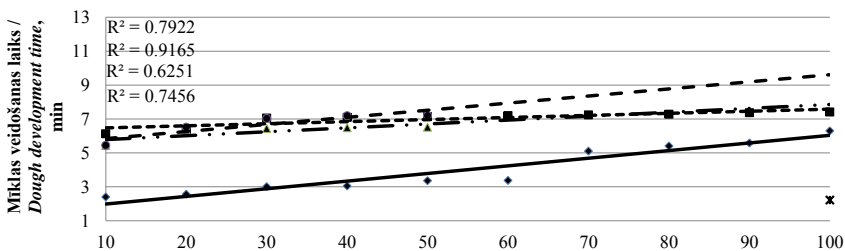
Pētījumos ir iegūts, ka labāka mīklas stabilitāte ir kontroles mīklas paraugam – 12:15 min, bet pievienojot pilngraudu miltus, mīklas stabilitāte samazinās (8. attēls). Šādas izmaiņas galvenokārt var skaidrot ar, iespējami, salīdzinoši zemu lipekļa saturu pilngraudu miltu paraugos. Nodrošinot labas mīklas īpašības, 405. tipa kviešu miltus var aizvietot līdz 20% ar pilngraudu kailgraudu miežu vai pilngraudu rudzu miltiem, līdz 30% ar pilngraudu tritikāles miltiem un līdz 50% ar pilngraudu kviešu miltiem saglabājot stabilas mīklas īpašības.



Kviešu miltiem pievienotais pilngraudu miltu daudzums /
Amount of whole-grain flour added to wheat flour, %

8.att. Mīklas stabilitāte / Fig.8. Dough stability

Pētījumos īsāks mīklas veidošanas laiks (2:22 min) ir mīklai iemīcītai no 405. tipa kviešu miltiem, bet garāks – mīklai veidotai ar pilngraudu kviešu (3:36 min), rudzu (6:36 min), kailgraudu miežu (6:52 min) un tritikāles (7:05 min) miltiem (9. attēls).



- ◆ Pilngraudu kviešu milti / Whole-grain wheat flour
- Pilngraudu tritikāles milti / Whole-grain triticale flour
- ▲ Pilngraudu rudzu milti / Whole-grain rye flour
- Pilngraudu kailgraudu miežu milti / Whole-grain hull-less barley flour
- ✱ Kviešu milti 405. tips / Wheat flour type 405

**Kviešu miltiem pievienotais pilngraudu miltu daudzums /
Amount of whole-grain flour added to wheat flour, %**

**9. att. Mīklas veidošanas laiks /
Fig.9. Dough development time**

Augstāks lipekļa saturs (2. tabula) noteikts 405. tipa kviešu miltos ($32,7 \pm 0,2\%$) un miltu maisījumā ar pilngraudu kviešu miltiem – $27,9 \pm 0,1\%$, savukārt zemāks – miltu maisījumā ar pilngraudu rudzu miltiem – $26,3 \pm 0,3\%$.

2.tabula / Table 2

**Lipekļa kvalitātes raksturojums /
Characterization of gluten quality**

Miltu maisījums / Flour blend	Lipekļa saturs / Gluten content, %	Lipekļa indekss / Gluten index, %	Kvalitātes grupa / Quality group
Kviešu milti 405. tips / Wheat flour type 405	32.7 ± 0.2^a	85 ± 1	1
50% kviešu milti 405. tips un 50% pilngraudu kviešu milti / 50% wheat flour type 405 and 50% whole-grain wheat flour	27.9 ± 0.1^b	69 ± 2	1
70% kviešu milti 405. tips un 30% pilngraudu tritikāles milti / 70% wheat flour type 405 and 30% whole-grain triticale flour	28.2 ± 0.2^b	47 ± 1	2
80% kviešu milti 405. tips un 20% pilngraudu rudzu milti / 80% wheat flour type 405 and 20% whole-grain rye flour	26.3 ± 0.3^c	89 ± 1	1
80% kviešu milti 405. tips un 20% pilngraudu kailgraudu miežu milti / 80% wheat flour type 405 and 20% whole-grain hull-less barley flour	26.4 ± 0.2^c	89 ± 1	1

Vērtības, kas apzīmētas ar dažādiem burtiem būtiski atšķiras ($P < 0.05$) /
Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) as determined by analysis of variance

Ir atrastas būtiskas atšķirības ($P < 0,05$) lipekļa saturā starp 405. tipa kviešu miltiem un pilngraudu miltu maisījumiem. Analizējot lipekļa indeksa rādītājus,

pastāv būtiskas atšķirības ($P<0,05$), kontroles un miltu maisījumiem ar kviešiem, rudziem un kailgraudu miežu miltiem lipekļa indekss ir pirmās kvalitātes grupas – lipekļis ir labs – ļoti labs, bet miltiem ar pilngraudu tritikāles miltiem lipekļa indekss ir otrās kvalitātes grupas – lipekļis ir apmierinošs – labs (2. tabula).

Starp eksperimentāli izstrādātiem miltu maisījumu paraugiem (3. tabula) pastāv būtiskas atšķirības ($P<0,05$) skābuma saturā. Skābums 405. tipa kviešu miltiem ir $1,0\pm 0,1$ °, kas par 20% ir augstāks nekā pilngraudu kviešu un pilngraudu kailgraudu miežu miltu maisījumos.

3. tabula / Table 3.

Mīklas skābums / Dough acidity

Miltu maisījums / <i>Flour blend</i>	Skābums / <i>Acidity, °</i>	pH
Kviešu milti 405. tips / <i>Wheat flour type 405</i>	1.0 ± 0.1^a	5.92 ± 0.35
50% kviešu milti 405. tips un 50% pilngraudu kviešu milti / <i>50% wheat flour type 405 and 50% whole-grain wheat flour</i>	0.8 ± 0.2^a	5.82 ± 0.16
70% kviešu milti 405. tips un 30% pilngraudu tritikāles milti / <i>70% wheat flour type 405 and 30% whole-grain triticale flour</i>	0.6 ± 0.2^b	5.85 ± 0.26
80% kviešu milti 405. tips un 20% pilngraudu rudzu milti / <i>80% wheat flour type 405 and 20% whole-grain rye flour</i>	0.4 ± 0.2^c	5.88 ± 0.34
80% kviešu milti 405. tips un 20% pilngraudu kailgraudu miežu milti / <i>80% wheat flour type 405 and 20% whole-grain hull-less barley flour</i>	0.8 ± 0.1^a	5.67 ± 0.22

Vērtības, kas apzīmētas ar dažādiem burtiem būtiski atšķiras ($P<0.05$) /

Different letters indicate significant differences ($P<0.05$) as determined by analysis of variance

Labas kvalitātes mīklu var iegūt:

- 80% kviešu milti 405. tips un 20% pilngraudu rudzu milti;
- 80% kviešu milti 405. tips un 20% pilngraudu kailgraudu miežu milti;
- 70% kviešu milti 405. tips un 30% pilngraudu tritikāles milti;
- 50% kviešu milti 405. tips un 50% pilngraudu kviešu milti.

Promocijas darba izvirzītā tēze – “*gatavojot makaronu mīklu, daļu kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu tritikāles, rudzu, kailgraudu miežu vai kviešu miltiem, tās fizikālie parametri un reoloģiskās īpašības būtiski mainās*” – ir pierādīta.

3. Makaronu ekstrūzijas parametru izvērtējums

Lai pierādītu promocijas darba tēzi – “*temperatūra ekstrūzijas laikā būtiski ietekmē mīklas cietes graudu klīsterizāciju*”, veikta cietes graudu struktūrmehānisko īpašību izpēte makaronu mīklas ekstrūzijas laikā dažādās temperatūrās.

Kvalitatīvu makaronu ražošanai nepieciešams izstrādāt ekstrudēšanas optimālos temperatūras režīmus. Tā kā ekstrūdera temperatūras zonas ir

sadalītas trīs daļās, būtiski noteikt to pareizu sadalījumu.

Vairāku eksperimentu rezultātā pētījumā noteikts optimālais pilngraudu makaronu temperatūras sadalījums pa zonām makaronu ieguvei (4. tabula).

4. tabula / Table 4

**Temperatūras sadalījums ekstrūderā /
The temperature distribution in the extruder**

Nr. / No.	Makaronu paraugi / Pasta samples	Temperatūra / Temperature, °C		
		1. zona / Zone 1	2. zona / Zone 2	3. zona / Zone 3
1.	No kviešu miltiem 405. tips / Wheat flour type 405	105	107	110
2.	Ar pilngraudu tritikāli / With whole-grain triticale	101	103	105
3.	Ar pilngraudu rudziem / With whole-grain rye	102	104	105
4.	Ar pilngraudu kailgraudu miežiem / With whole-grain hull-less barley	104	106	109
5.	Ar pilngraudu kviešiem / With whole-grain wheat	106	108	111

Kvalitatīviem makaroniem cietes graudi ir pilnībā klīsterizējušies un makaroni ir stiklaini, tā iegūstot labas kvalitātes makaronus ekstrūzijas procesā, pielietojot kviešu 105 : 107 : 110 °C, pilngraudu kviešu 106 : 108 : 111 °C, rudzu 102 : 104 : 105 °C, kailgraudu miežu 104 : 106 : 109 °C un tritikāles 101 : 103 : 105 °C mīklām temperatūru sadalījumu. Jāņem vērā, ka ekstrūzijas procesā makaronu kvalitāti var ietekmēt ekstrūdera skrūves griešanās ātrums, spiediens un temperatūra.

Promocijas darba izvirzītā tēze – “*temperatūra ekstrūzijas laikā būtiski ietekmē mīklas cietes graudu klīsterizāciju*” – ir pierādīta.

4. Makaronu kvalitātes parametru izvērtējums

Lai pierādītu promocijas darba tēzi – “*daļu kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu kviešu, rudzu, tritikāles vai kailgraudu miežu miltiem, var iegūt makaronus ar paaugstinātu bioloģisko vērtību un labu kvalitāti*”, veikts vispusīgs makaronu ar pilngraudu miltiem fizikālo parametru, ķīmisko rādītāju un sensoro īpašību izvērtējums.

Makaronu vārīšanas laiks ir svarīgs etaps makaronu termiskā apstrādē. Gatavošanas laikā makaroni var izjukt, salipt, atkarībā no pievienotā pilngraudu miltu satura. Ilgāks makaronu vārīšanas laiks ir noteikts pilngraudu makaroniem ar pilngraudu kviešiem un tritikāli – 9 min, īsāks - makaroniem ar kviešiem, pilngraudu rudziem un pilngraudu kailgraudu miežiem – 5 min (5. tabula).

**Makaronu vārīšanas laiks /
Cooking time for pasta**

Nr. / No.	Makaronu paraugi / Pasta samples	Vārīšanas laiks / Cooking time, min
1.	Kontrole / Control	9±1 ^a
2.	No kviešu miltiem 405. tips / Wheat flour type 405	5±1 ^b
3.	Ar pilngraudu kviešiem / With whole-grain wheat	9±1 ^a
4.	Ar pilngraudu tritikāli / With whole-grain triticale	9±1 ^a
5.	Ar pilngraudu rudziem / With whole-grain rye	5±1 ^b
6.	Ar pilngraudu kailgraudu miežiem / With whole-grain hull-less barley	5±1 ^b

Vērtības, kas apzīmētas ar dažādiem burtiem būtiski atšķiras ($P<0.05$) /
Different letters indicate significant differences ($P<0.05$) as determined by analysis of variance.

Noteikts (6. tabula), ka masas zudumos būtiskas atšķirības ($P<0,05$) pastāv starp kontroles un izstrādātajiem makaroniem ar pilngraudu miltiem. Mazāki masas zudumi vārīšanas laikā noteikti kontroles paraugam, attiecīgi $5,74\pm 0,03\%$, kas ir par 2% mazāki, salīdzinājumā ar izstrādātajiem makaroniem.

Pētījumā iegūts, ka analizēto makaronu masas zudumi vārīšanas laikā palielinās, palielinoties pilngraudu miltu daudzumam makaronu mīklā, ko var skaidrot ar šķīstošajām sastāvdaļām un kliju daļiņām, kas pārrau proteīna tīklojumu, kā rezultātā makaroni kļūst vājāki, nav stingri.

**Masas zudumi vārīšanas laikā /
Weight loss during cooking**

Nr. / No.	Makaronu paraugi / Pasta samples	Masas zudumi / Weight loss, %
1.	Kontrole / Control	5.74±0.03 ^a
2.	No kviešu miltiem 405. tips / Wheat flour type 405	6.98±0.06 ^b
3.	Ar pilngraudu kviešiem / With whole-grain wheat	6.76±0.04 ^c
4.	Ar pilngraudu tritikāli / With whole-grain triticale	6.61±0.02 ^c
5.	Ar pilngraudu rudziem / With whole-grain rye	6.79±0.06 ^c
6.	Ar pilngraudu kailgraudu miežiem / With whole-grain hull-less barley	6.96±0.04 ^b

Vērtības, kas apzīmētas ar dažādiem burtiem būtiski atšķiras ($P<0.05$) /
Different letters indicate significant differences ($P<0.05$) as determined by analysis of variance.

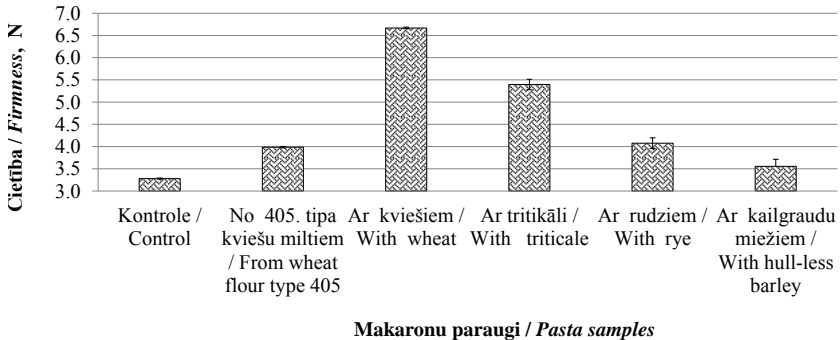
Starp sausas daudzumu, kas pārgājis ūdenī makaronu pagatavošanas laikā pastāv būtiskas atšķirības ($P<0,05$) starp kontroles un makaroniem ar pilngraudu kviešiem un pilngraudu kailgraudu miežiem (7. tabula).

**Ūdens dzidrība /
Water turbidity**

Nr. / No.	Makaronu paraugi / Pasta samples	Sausnas daudzums ūdenī / Dry extract content in water, %
1.	Kontrole / Control	0.041±0.001 ^a
2.	No kviešu miltiem 405. tips / Wheat flour type 405	0.040±0.001 ^a
3.	Ar pilngraudu kviešiem / With whole-grain wheat	0.083±0.002 ^b
4.	Ar pilngraudu tritikāli / With whole-grain triticale	0.037±0.003 ^a
5.	Ar pilngraudu rudziem / With whole-grain rye	0.045±0.002 ^a
6.	Ar pilngraudu kailgraudu miežiem / With whole-grain hull-less barley	0.065±0.001 ^c

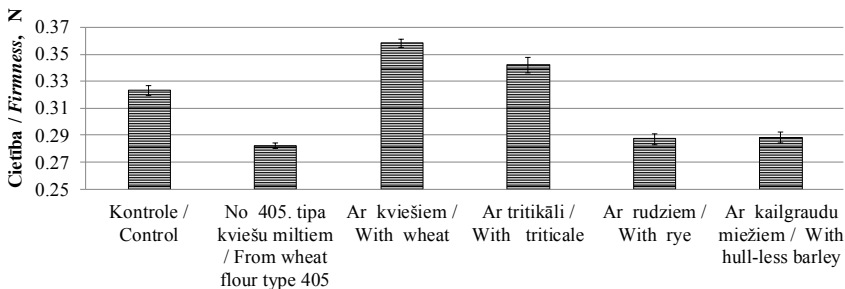
Vērtības, kas apzīmētas ar dažādiem burtiem būtiski atšķiras ($P<0.05$) / Different letters indicate significant differences ($P<0.05$) as determined by analysis of variance.

Cietāka struktūra ir makaroniem ar pilngraudu kviešiem ($6,7\pm 0,2$ N) un pilngraudu tritikāli ($5,4\pm 0,1$ N), bet traušlāki – kontroles, kviešu, kā arī makaroni ar pilngraudu rudziem un pilngraudu kailgraudu miežiem (10. attēls). Makaronu ar pilngraudu kviešiem un tritikāli cietāka struktūra skaidrojama ar pievienoto pilngraudu miltu daudzumu, kas makaronus padara stingrākus.



10.att. Nevārītu makaronu cietība /
Fig. 10. Firmness of uncooked pasta

Pēc izvārīšanas (11. attēls) cietāki ($P<0,05$) ir kontroles ($0,32\pm 0,02$ N), un makaroni ar pilngraudu tritikāli ($0,34\pm 0,01$ N) un pilngraudu kviešiem ($0,36\pm 0,01$ N), bet mīkstāki – makaroni ar pilngraudu rudziem un kailgraudu miežiem. Makaronu ar pilngraudu rudziem un kailgraudu miežiem ir mīkstāki, kas saistīts ar mazāk pievienoto pilngraudu miltu daudzumu un, salīdzinot īsu vārīšanas laiku (5. tabula).



Makaronu paraugi / Pasta samples

11.att. Vārītu makaronu cietība /
Fig.11. Firmness of cooked pasta

Makaronu krāsa ir atkarīga no pievienotā pilngraudu miltu daudzuma, kur dēļ kļuju daļiņām tā ir tumšāka, salīdzinot ar tradicionālajiem makaroniem. Gaišāki (L^*) ir iegūti makaroni ar pilngraudu kailgraudu miežiem un pilngraudu rudziem, kas skaidrojams ar 80% pievienoto 405. tipa kviešu miltiem, veidojot miltu maisījumus makaronu ražošanai (8. tabula).

8. tabula / Table 8

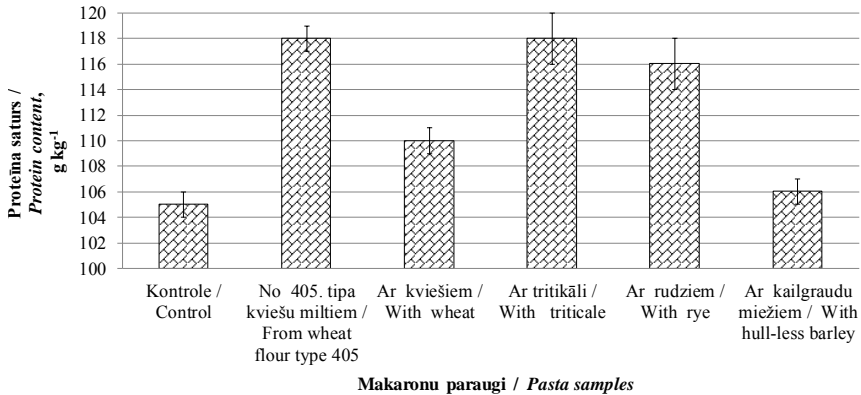
Makaronu krāsas raksturojums /
Colour profile of pasta

Makaronu paraugi / Pasta samples	Krāsas komponentes vērtība, vienības / Value of colour components, units			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
Kontrolē / Control	58.27±0.14	1.28±0.02	20.23±0.16	---
No kviešu miltiem 405. tips / Wheat flour type 405	66.22±0.06	1.18±0.02	14.06±0.12	10.06
Ar pilngraudu kviešiem / With whole-grain wheat	55.71±0.10	2.01±0.04	17.13±0.01	4.09
Ar pilngraudu tritikāli / With whole-grain triticale	58.91±0.16	2.30±0.01	18.01±0.01	2.53
Ar pilngraudu rudziem / With whole-grain rye	61.03±0.09	1.15±0.02	15.82±0.18	5.20
Ar pilngraudu kailgraudu miežiem / With whole-grain hull-less barley	65.11±0.07	1.16±0.01	16.02±0.14	8.03

Izteikta dzeltenā krāsa (b^*) bija kontroles paraugam, kura salīdzinot ar makaroniem ar pilngraudu rudziem bija par 4,41% augstāka. Aprēķinātā kopējās krāsas diferences ΔE vērtība arī norāda uz makaronu krāsas būtisko atšķirību no kontroles makaronu krāsas. Tādējādi, vistuvākie pēc krāsas kontroles paraugu makaroniem ir makaroni ar pilngraudu tritikāles miltu piedevu, taču visatšķirīgākie – makaroni ar kviešu un ar pilngraudu kailgraudu

miežu miltu piedevu (8. tabula).

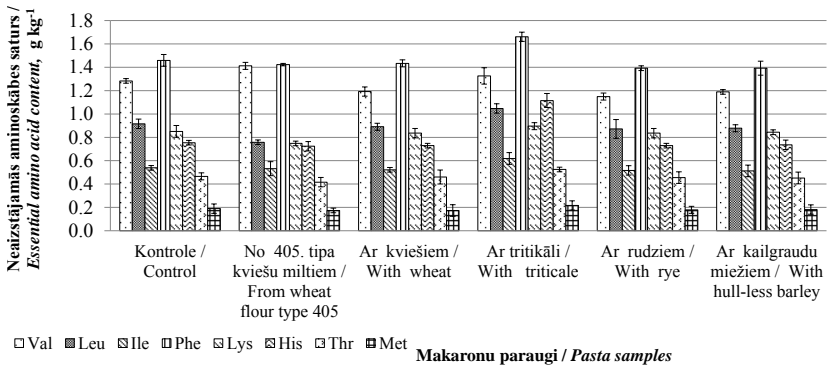
Eksperimentāli nav atrastas būtiskas atšķirības proteīna saturā ($P>0,05$) starp makaroniem no 405. tipa kviešiem un ar pilngraudu tritikāli un pilngraudu rudziem – attiecīgi 118 ± 2 g kg^{-1} ; 118 ± 1 g kg^{-1} un 116 ± 2 g kg^{-1} (12. attēls). Zems proteīna saturs, līdzīgi kā kontroles makaronos, noteikts paraugā ar pilngraudu kailgraudu miežiem 106 ± 1 g kg^{-1} , bet augstāks – paraugā ar pilngraudu tritikāli – 118 ± 2 g kg^{-1} .



12. att. **Proteīnu saturs makaronu paraugos /**
Fig. 12. Protein content in pasta samples

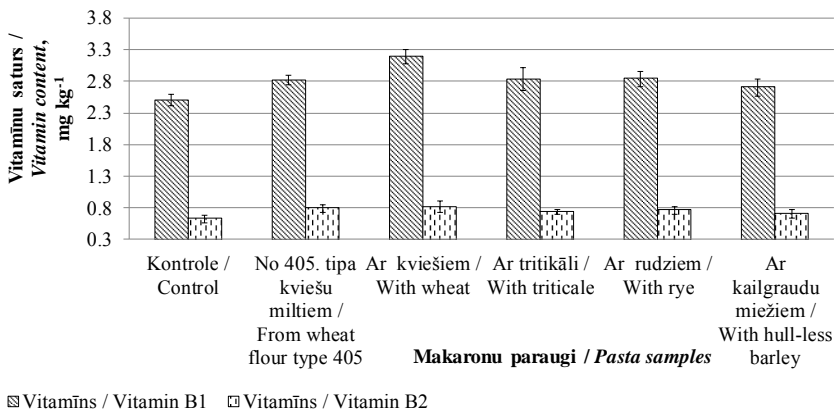
Eksperimentāli augstāks ($P<0,05$) neaizstājamo aminoskābju saturs ir noteikts makaronos ar pilngraudu kviešiem, salīdzinot ar pārējiem makaronu paraugiem. Nav atrastas būtiskas atšķirības ($P>0,05$) lizīna saturā starp analizējamiem makaronu paraugiem ar pilngraudu miltiem (13. attēls).

Kontroles makaroniem B₂ vitamīna saturs ir par 52% zemāks, salīdzinot ar makaroniem ar pilngraudu rudziem un pilngraudu kviešiem, bet par 32% zemāks, salīdzinot ar makaroniem ar pilngraudu kailgraudu miežiem un par 37% zemāks salīdzinot ar makaroniem ar pilngraudu tritikāli (14. attēls). Salīdzinot izstrādātos makaronus savā starpā noteikts, ka zemāks B₂ vitamīna saturs ir makaronos ar pilngraudu kailgraudu miežiem, rudziem un tritikāli, bet augstāks makaronos ar pilngraudu kviešiem – $0,81\pm 0,09$ mg kg^{-1} . Augstāks B₁ un B₂ vitamīnu saturs ir noteikts makaronos ar kviešiem, pilngraudu kviešiem, tritikāli, rudziem un kailgraudu miežiem, salīdzinot ar kontroli. Savukārt starp makaroniem ar pilngraudu rudziem un tritikāli nepastāv būtiskas atšķirības ($P>0,05$) B₁ un B₂ vitamīnu saturā.



13. att. Neizstājāmās aminoskābes makaronu paraugos /
Fig.13. Essential amino acid content in pasta samples

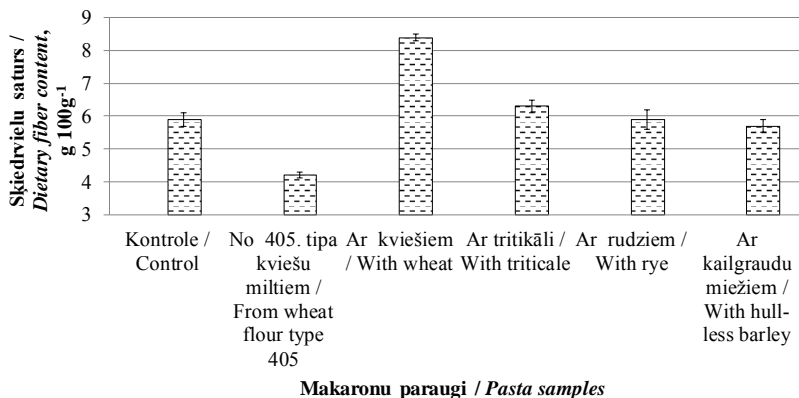
Zemāks B₁ vitamīna saturs iegūts makaronos ar pilngraudu kailgraudu miežiem – 2,7±0,14 mg kg⁻¹, bet augstāks makaronos ar pilngraudu kviešiem – 3,19±0,12 mg kg⁻¹



14. att. B₁ un B₂ vitamīnu saturs makaronos /
Fig.14. Vitamin B₁ and B₂ content in pasta samples

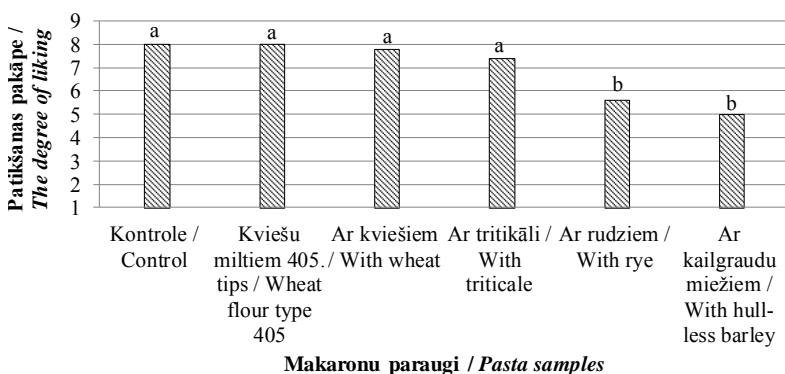
Zemāks šķiedrvielu saturs noteikts eksperimentāli izstrādātos makaronos ar pilngraudu kailgraudu miežiem un pilngraudu rudziem (15. attēls), kas izskaidrojams ar makaronu receptūras izveidi, kur 80% no miltu maisījuma veido 405. tipa kviešu milti. Augsts šķiedrvielu saturs noteikts makaronos ar pilngraudu kviešiem ir 8,4±0,1 g 100 g⁻¹, kas par 70% augstāks salīdzinot ar kontroles makaronu paraugu, un par 73% salīdzinot ar makaroniem ar pilngraudu tritikāli un par 30% augstāks salīdzinot ar makaroniem ar pilngraudu kviešiem. Šķiedrvielu saturs makaronos ar pilngraudu rudziem un pilngraudu kailgraudu miežiem būtiski neatšķiras ($P>0,05$). Augstāku

Šķiedrvielu saturu pilngraudu kviešu makaronos nodrošina 50%, bet tritikāles makaroniem 30% pievienotie pilngraudu miltu daudzums.



15. att. Šķiedrvielu saturs makaronu paraugos /
Fig. 15. Dietary fibre content in pasta samples

Augsts pelnvielu saturs noteikts makaronos ar pilngraudu kviešu miltiem, attiecīgi $1,31 \pm 0,05$ g 100g^{-1} un kontroles makaronu paraugā, attiecīgi $1,30 \pm 0,04$ g 100g^{-1} . Būtiskas atšķirības ($P < 0,05$) konstatētas starp kontroles un makaroniem ar pilngraudu rudzu, kailgraudu miežu miltiem.



16. att. Makaronu patikšanas pakāpe /
Fig. 16. Degree of pasta liking

Vērtības, kas apzīmētas ar dažādiem burtiem būtiski atšķiras ($P < 0,05$) /
Different letters indicate significant differences ($P < 0,05$) as determined by analysis of variance.

Salīdzinot ar kontroli, pelnvielu saturs makaronos ar pilngraudu rudzu miltiem ir zemāks 11,45 reizes, bet ar kailgraudu miežu miltiem – 7,63 reizes.

Zemāks pelnvielu saturs norāda, ka makaronu paraugi ir gaišāki, kas saskan ar krāsas analīzes datiem, kur augstāka L^* krāsas komponentes vērtība ir makaroniem ar pilngraudu rudzu un pilngraudu kailgraudu miežu miltiem (8. Tabula).

Sensori tika novērtēti seši makaronu paraugi (16. Attēls) – kontrole un pieci pētījumā izveidotie makaronu veidi no 405. Tipa kviešu, un ar pilngraudu kviešu, tritikāles, kailgraudu miežu un rudzu miltiem. Rezultāti rāda, ka patikšanas ziņā vērtētājiem vislabāk patika kontroles makaroni, kā arī makaroni ar kviešu, pilngraudu kviešu un pilngraudu tritikāles miltiem, starp kuriem patikšanas ziņā nepastāv būtiskas atšķirības ($P>0,05$), bet zemākā patikšanas pakāpe bija makaroniem ar pilngraudu rudzu un pilngraudu kailgraudu miežu miltiem.

Iespējams, ka noteicošais faktors makaronu novērtēšanā sniedza vizuālais izskats, kurā kontroles un makaroni no 405. Tipa kviešu miltiem, kā arī makaroni ar pilngraudu kviešu un pilngraudu tritikāles miltiem ir stingri, ne tik lipīgi kā makaroni ar pilngraudu rudzu un kailgraudu miežu miltiem.

Promocijas darba tēze – *“daļu kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu kviešu, rudzu, tritikāles vai kailgraudu miežu miltiem, var iegūt makaronus ar paaugstinātu bioloģisko vērtību un labu kvalitāti”* – ir pierādīta.

SECINĀJUMI

1. Latvijā konvencionālā un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēto kviešu, rudzu, kailgraudu miežu un tritikāles graudu fizikāli-ķīmiskie rādītāji būtiski ($P < 0,05$) atšķiras: konvencionālā lauksaimniecībā audzētiem kviešu un rudzu graudiem ir lielākā tilpummasa; kā arī kviešu, rudzu un tritikāles graudos ir augstāks proteīna, neaizvietoājamo aminoskābju, B grupas vitamīnu un šķiedrvielu saturs. Savukārt bioloģiskā lauksaimniecībā audzētos kailgraudu miežu graudos ir augstāks B grupas vitamīnu un šķiedrvielu saturs.
2. Pēc integrētā daudzkritēriju novērtējuma rezultātiem noteikts, ka makaronu ražošanai piemērotākie ir konvencionālā lauksaimniecībā audzēti kviešu graudi šķirnes 'Zentos', rudzu graudi šķirnes 'Kaupo', tritikāles graudi līnijas '9405-23' un bioloģiskā lauksaimniecībā audzēti kailgraudu miežu graudi līnijas 'PR 3808.21', jo tajos ir lielāks šķiedrvielu, beta glikānu, B₁ un B₂ vitamīnu, proteīna un cietes saturs, tilpummasa un krišanas skaitlis.
3. Gatavojot makaronu mīklu, daļu 405. Tipa kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu tritikāles, rudzu, kailgraudu miežu vai kviešu miltiem, tās fizikālie parametri un reoloģiskās īpašības būtiski mainās: vidēji par 10% palielinās ūdens absorbcijas spēja, divas reizes saīsinās mīklas veidošanās laiks un samazinās lipekļa saturs mīklā.
4. Kvalitatīvu makaronu mīklu, var iegūt, 405. Tipa kviešu miltus aizvietojojt līdz 20% ar pilngraudu kailgraudu miežu vai pilngraudu rudzu, līdz 30% ar pilngraudu tritikāles un līdz 50% ar pilngraudu kviešu miltiem.
5. Makaronu optimālās ekstrūzijas temperatūras ar mērķi nodrošināt cietes klīsterizāciju ir: 106:108:111 °C pilngraudu kviešu, 102:104:105 °C pilngraudu rudzu, 104:106:109 °C kailgraudu miežu un 101:103:105 °C tritikāles.
6. Salīdzinot ar komerciāliem pilngraudu kviešu makaroniem, jaunizstrādāto makaronu masas zudumi vārīšanas laikā vidēji ir par 18% lielāki. Makaronos ar pilngraudu kviešu miltiem ir augstāks B₁ (par 23%), B₂ (par 38%) un šķiedrvielu (par 29%) saturs; ar pilngraudu kailgraudu miežiem B₁ (par 23%) un B₂ (par 38%) vitamīnu saturs, ar pilngraudu rudziem un tritikāli B₁ (par 11%) un B₂ (par 28%) vitamīnu saturs.
7. Sensorās vērtēšanas rezultāti pēc hēdoniskās skalas parāda, ka visaugstākā patikšanas pakāpe ir komerciāliem pilngraudu kviešu (8.0), eksperimentāliem pilngraudu kviešu (7.8) un pilngraudu tritikāles (7.4) makaroniem, savukārt zemākā pilngraudu rudzu (5.6) un pilngraudu kailgraudu miežu (5.0) makaroniem.
8. Pētījumos iegūtie dati apstiprina izvirzīto hipotēzi – *“kvalitatīvus makaronus ar paaugstinātu bioloģisko vērtību var iegūt, daļu kviešu miltus aizstājot ar pilngraudu kviešu, rudzu, tritikāles vai kailgraudu miežu miltiem”*.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Increased demand for healthy food advance food enterprises to develop products which not only provide food functionality, but also has health benefits. One of such products are cereals and their processing products. Cereals contain proteins, fats and carbohydrates, which are necessary in human diet. They supply body with mineral substances and vitamins for health maintenance.

Pasta is one of the most popular cereals processing products, which is often used in the human diet. Pasta is food product, which traditionally is produced from special hard wheat and water, with salt additive. Nowadays in the market it is possible to purchase pasta without salt additive, whole-grain pasta, pasta with B-vitamins and several mineral substances as calcium, iron and folic acid additive. In Europe and United States of America pasta is traditionally made from hard wheat flour, while in Asia – from rice, buckwheat, bean or potato starch. Pasta may have different shapes and colour – as green, blue, yellow, red; in pasta production technology generally natural colourants are used. Main advantages of pasta – low price, easy to cook and long shelf-life (Twombly et al., 2005).

In Europe pasta mainly is produced from hard wheat grain flour, however, pasta made from cereals cultivated in Latvia, especially rye, triticale and hull-less barley is not available. Therefore it is necessary to perform research on application possibilities wheat, rye, triticale and hull-less barley cultivated in Latvia for pasta production.

After summarising the available theoretical and experimental data found in literature, the research **hypothesis** was set as follows – it is possible to obtain pasta with enriched biological value partially replacing wheat flour with whole-grain wheat, rye, triticale, and hull-less barley flour.

The research hypothesis is supported by the **arguments** to be defended:

- 1) physical and chemical parameters of wheat, rye, hull-less barley, and triticale grains cultivated in Latvian conventional and organic farming systems differ significantly and such grains are suitable for pasta production;
- 2) physical parameters and rheological properties of pasta dough made from flour blends containing wheat, whole-grain wheat, rye, hull-less barley or triticale flour differ significantly;
- 3) pasta extrusion temperature significantly influences starch gelatinization;
- 4) it is possible to obtain good quality pasta with enriched biological value by partially replacing wheat flour with whole-grain wheat, rye, hull-less barley or triticale flour.

The aim of the doctoral thesis is – to investigate the suitability of wheat, rye, triticale and hull-less barley grains for pasta production.

In order to achieve the aim, the following **tasks** were set:

- 1) to determine physical and chemical parameters of grains of different varieties of wheat, rye, triticale and hull-less barley cultivated in Latvia;
- 2) to perform multifactorial evaluation of quality parameters of the analysed cereals and to select the most suitable ones for pasta making;
- 3) to determine technological parameters for pasta making by using various cereal flour blends;
- 4) to assess rheological properties of the obtained pasta dough;
- 5) to determine the most appropriate temperatures for pasta extrusion taking into account the changes of dough properties during extrusion process;
- 6) to evaluate physical and chemical parameters and sensory attributes of the obtained pasta.

Novelty of the research – technological parameters were established for pasta production using whole-grain wheat, rye, triticale or hull-less barley flour in pasta recipe. Research on the suitability of different wheat, rye, triticale, and hull-less barley varieties cultivated in Latvia for pasta making has been done for the first time in Latvia.

The scientific significance of the research – physical and chemical parameters were analysed for wheat, rye, triticale and hull-less barley cultivated in Latvian conventional and organic farming systems; pasta from wheat flour, which was partially replaced with whole-grain wheat, rye, triticale or hull-less barley flour was developed based on the changes in dough physical and rheological properties during its extrusion. Physical and chemical parameters as well as sensory properties of the obtained pasta were analysed. It was proved, that whole-grain wheat and non-traditional whole grain flour is suitable for pasta production.

The economic significance of the research – solution was found for application of cereals cultivated in Latvia for pasta production by increasing use of triticale and hull-less barley grain in food industry, thus providing sustainability of local agricultural resources for development of Latvian national economy. Pasta made with whole-grain wheat, rye, hull-less barley or triticale flour has both increased biological value, and good sensory properties in comparison with commercial hard whole-grain wheat pasta.

APPROBATION OF THE RESEARCH

The research results are summarised and published in ten peer-reviewed scientific issues in English and Latvian; four publications are indexed in the databases SCOPUS, Web of Science, and EBSCO (list on pages 6 and 7).

The author has reported the research results at 11 seminars and international scientific conferences in Latvia, Lithuania, Estonia, and Italy (list on pages 7 and 8).

Participation in exhibitions: the research results have been presented in two exhibitions (see page 8).

Development of Ph.D. thesis was co-financed from two National research programmes (see page 8).

MATERIALS AND METHODS

The research has been done between 2012 and 2015.

Latvia University of Agriculture:

- Faculty of Agriculture, Laboratory of Seed-science analysis – determination of gluten content, gluten index, 1000 grain mass;
- Faculty of Food Technology, Laboratory for food quality assessment – content of dietary fiber, protein, fats, size of flour particles and dough rheological properties;
- Faculty of Food Technology, Laboratory of bread technology – development of pasta recipes, dough mixing, pasta extrusion, pasta drying; determination of pasta cooking time, dry matter loss, water absorption;
- Faculty of Food Technology, Research laboratory – water activity, cooking water turbidity; colour, texture, acidity and pH of pasta;
- Microbiology laboratory – changes in starch structure during extrusion;
- Laboratory for sensory analysis –sensory assessment of pasta.

Stock company „Jelgavas dzirnavas” – obtaining of whole-grain flour, determination of moisture content, bulk density, falling number, determination of protein, starch, beta glucan content in grains; starch gelatinization temperature, ash content.

Latvia University, Institute of Biology – determination of vitamins B₁, B₂ and amino acids content.

The object of the investigation is wheat, triticale, rye and hull-less barley grains cultivated in Latvia.

In the present research following **materials** were used:

- Commercial type 405 wheat flour (Latvia) (nutritive value of 100 g of product: carbohydrates – 68.9 g, protein – 10.3 g, fats – 1.1 g, energy value

334 kcal / 1387 kJ);

- wheat grains of the variety 'Zentos' cultivated under conventional farming in Latvia University of Agriculture, Faculty of Agriculture education and research farm "Pēterlauki" in 2012 ;
- the following grains cultivated in Latvia University of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Economics in 2012:
 - conventionally cultivated rye grains of the variety 'Kaupo' and organic rye grains line 9918;
 - organic wheat grains of the variety 'Fredis';
 - conventional and organic triticale grains of the variety 'Dinaro' and lines 9403-97, 9405-23 and 9402-3;
 - conventional and organic hull-less barley grains of the variety 'Irbe' and lines PR4651, PR3808.21 and PR5099;
- drinking water for pasta dough development (according to requirements of the Latvia Republic Minister Cabinet No. 235 „Obligatory safety claims for drinking water” from 2003);
- Commercial salt „ (Ukraine) (NaCl 97 g 100 g⁻¹).
- Commercial whole-grain wheat spaghetti (nutritive value per 100 g of product: carbohydrates 68 g; proteins 12 g; fibre 6 g; fats 1 g; energy value 337 kcal / 1431 kJ) – control sample.

The structure of the research

Figure 17 summarize the general scheme of the research. In the present experiments were used organic and conventional wheat, rye, hull-less barley and triticale grains cultivated in Latvia .

Detailed assessment of grain physical and chemical parameters was completed for selection of the most suitable grains for pasta production. After quality assessment of grains for the further experiments grains of conventional wheat variety 'Zentos', conventional rye variety 'Kaupo' and conventional triticale line 9405-23, as well as, organic hull-less barley grains of the line PR 3808.21 were selected.

The selected grains were used to obtain whole-grain flour. Flour blends were developed based on dough rheological properties, where wheat flour type 405 was replaced with whole-grain rye or hull-less barley flour 10–50% and with whole-grain triticale 10–100%. According to dough rheological properties four flour blends were developed: 50% wheat flour type 405 and 50% whole-grain wheat flour, 80% wheat flour type 405 and 20% whole-grain hull-less barley flour, 70% wheat flour type 405 and 30% whole-grain triticale flour, 80% wheat flour type 405 and 20% whole-grain rye flour.

Pasta extrusion temperature was determined based on changes in starch granules during extrusion. Ready pasta after extrusion was dried till 10±2% moisture content.

Detailed evaluation of the obtained pasta physical and chemical parameters, as well as sensory properties was realised, by comparing the developed pasta

with commercial whole-grain wheat pasta available in the market and pasta made from type 405 wheat flour.

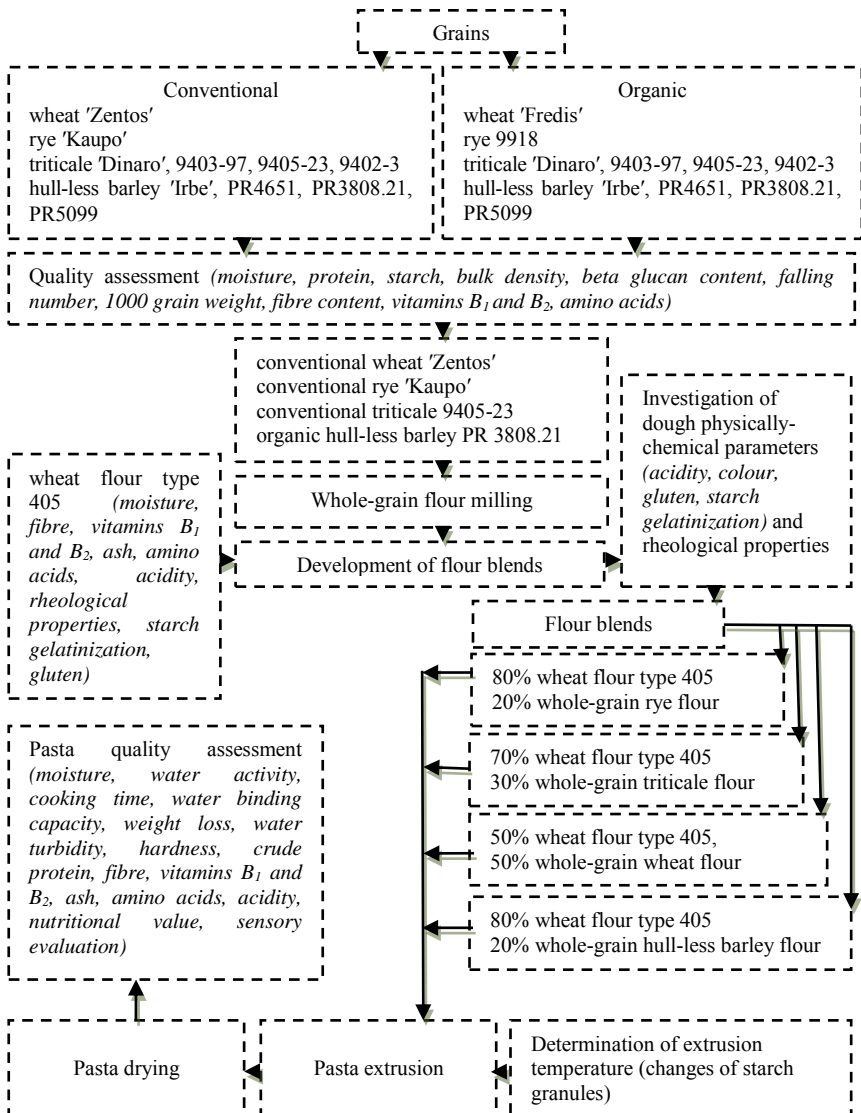


Fig. 17. General scheme of experiments

Whole-grain flour obtaining – cereals were milled in a laboratory mill PLM 3100/B” (Perten, Sweden) according to AACC No. 55-30.01. Granulometric

analysis of the obtained flour were done using a sieve „Retsch AS200” (RETSCH, Germany) according to ISO 3310-1.

Technological scheme of pasta making is summarized in Figure 2 (12 page).

Methods for the determination of quality parameters

Moisture content in grains was determined according to the standard method LVS 272:2000.

Falling number was determined by a „Perten FN 1900” (Perten, Sweden) according to the standard method ISO 3093:2009.

Protein, starch, beta glucan content and bulk density was determined with “Infratec™ 1241 Grain Analyser” (Foss, Denmark) according to the standard method ISO 12099.

1000 grain mass was determined according to the standard method ISO 520:2010.

Dietary fibre content was determined with a „Fibertec system 1010 Heat Extractor” (Foss, Denmark) according to the standard method ISO 5498.

Vitamin B₁ content was determined with a fluorimeter „Spekol 11” (Analytik Jena AG, Germany) according to the standard method AOAC 957.17.

Vitamin B₂ content was determined with a fluorimeter „Spekol 11” (Analytik Jena AG, Germany) according to the standard method AOAC 970.65.

Amino acids content was determined with a „Mikrotechna AAA 831” (Mikrotechna, Czech Republic) according to the standard method LVS ISO 13903:2005

Analysis of flour particle distribution was completed in a flour sieve system „Retsch AS200” (RETSCH, Germany) according to the standard ISO 3310-1.

Dough acidity was determined according to the standard method AACC 02-31.01

Gluten content was determined with a „Glutomatic” (Perten, Sweden) according to the standard methods LVS 275; AACC Method No. 38-12 and ISO 21415.

Dough rheological properties were analysed with the „Farinograph-AT” (Brabender® GmbH & Co.KG., Germany) according to the standard method ICC -115/1.

Starch gelatinization properties were analysed with the „Amylograph®-E” (Brabender® GmbH & Co.KG., Germany) according to the standard methods ISO 7973; ICC No. 126/1; AACC No. 22-10.

Weighing of ingredients was completed using a scale „Kern” (Kern & Sohn GmbH, Germany).

Dough making was realised in a dough mixing machine „Plutone 10” (Sirman, Italy).

Pasta extrusion was done in a one screw extruder „Extrusimeter L20” (GÖTTFERT, Germany). Pasta was pressed through a die with the diameter

Ø3 mm, obtaining pasta in a shape of spaghetti. Screw rotation speed was 60±2 rpm, compression coefficient – 3 : 1 and working pressure – 0.5±0.1 Mpa. Determination of **starch granules size** was done with a microscope Leica DM 3000 LED” (Leica Microsystems GmbH, Germany) with digital camera DFC 290 HD and programme Leica V 4.2.

Pasta drying was realised in a convection-rotary oven „S400” (Sveba Dahlen AB, Sweden).

Pasta was stored in PA/PE pouches at room temperature till analyses..

Pasta moisture content was determined according to the standard method LVS 272:2000.

Pasta water activity was determined with a „LabSwift-aw” (Novasina AG, Switzerland).

Pasta cooking time was detected according to the standard method AACC 16-50.

Pasta water absorption was analysed according to the standard method AACC 56-40.

Pasta mass loses during cooking and cooking water turbidity was measured according to the method Matsuo et al., 1992.

Colour analysis were performed with a „ColorTec-PCM” (Accuracy Microsensors, USA). The total colour difference ΔE was calculated.

Pasta hardness was determined with a „TA.Xtplus” (Stable Micro systems, UK).

Protein content in pasta was determined by a „Kjeltec™ 2100” (Foss, Denmark) according to the standard method AACC 46-20.

Pasta nutritive and energy value was calculated according to the Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers.

Degree of pasta liking was assessed according to the standard method ISO 4121:2003.

The methods used for quality parameters determination in grains, flour, dough and pasta at various stages of the study are summarised in Table 1 (15 page).

Mathematical data processing

Before any mathematical data processing tests data dispersion was analysed using parametric or non-parametric tests. For data processing two factor analysis of variance (ANOVA) was used for evaluation of two factor interaction. Correlation and regression analysis was performed by two indications mutual comparison; least square method was used. If correlation between parameters is linear – determination coefficient correspond to correlation coefficient: R^2 is equal with r^2 . If value of correlation coefficient is $0.5 \leq |r| \leq 0.8$ – it is equal close linear interconnection. If value of correlation

coefficient is $|r| > 0.8$ – it is strong linear interconnection (Arhipova, Bāliņa, 2003; Mūrniece, 2010).

Microsoft Excel software was used for mathematical data processing. The hypothesis of the thesis was verified with *P-value* method, and factors was evaluated as significant if $P < \alpha_{0,05}$. For interpretation of the results it was accepted, that $\alpha=0.05$ with 95% credibility.

Integrated evaluation was performed for evaluation of suitability of different variety / line grains for pasta making taking into account grain physical and chemical parameters: moisture content, bulk density, 1000 grain mass, falling number, content of protein, dietary fibre and starch. Among physical parameters bigger investment coefficient was assigned for grain bulk density, because, bigger grain bulk density indicate grain ripening stage and nutritive compounds amount providing bigger flour outcome (Ruža, 2004). Higher group investment coefficients were assigned to grain chemical parameters, because grain chemical composition is very important in pasta production. However, higher investment coefficients among chemical parameters were assigned to protein (it is denatured during extrusion) and starch (it is gelatinized during pasta extrusion).

RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

3. Evaluation of grain physical and chemical parameters

Comprehensive study on physical and chemical attributes of different conventional and organic cereal genotypes was conducted to support the thesis *“physical and chemical parameters of wheat, rye, hull-less barley, and triticale grains cultivated in Latvian conventional and organic farming systems differ significantly and such grains are suitable for pasta production”*.

Data analysis revealed insignificant differences in grain bulk density ($P>0.05$) between grains cultivated under organic and conventional farming systems. The highest bulk density was established for conventional rye, wheat and hull-less barley grains; as well as for triticale grains cultivated under organic farmer system (Figure 3). Conventional and organic grain bulk density varied as follows: hull-less barley from 780 to 804 kg hL⁻¹, triticale from 654 to 749 kg hL⁻¹, wheat from 726 to 808 kg hL⁻¹, and rye 726 to 766 kg hL⁻¹.

Significant differences ($P<0.05$) were established in protein content between grains cultivated under conventional and organic farming systems. Higher protein content was detected in the conventionally grown wheat variety 'Zentos' – 15.3%. Protein content in rye grains also differed significantly ($P<0.05$) (Figure 4). Higher protein content was in the conventional rye grains – variety 'Kaupo' – 10.8%.

Protein content varied significantly ($P<0.05$) between triticale grain grown in conventional and organic farming. The highest protein content was established in triticale grains of the line 9405-23 cultivated in conventional and organic farming – 14.3 and 12.4%, respectively. The study indicated that protein content in the studied hull-less barley grains cultivated in conventional farming was on average 12.7%, but in organic grains – 13.3%. Thus, higher protein content was in organic hull-less barley grains comparing to organic ones. There exist significant differences ($P<0.05$) between the studied hull-less barley grains.

Among studied triticale grains higher falling number was in organic grains, which was significantly higher ($P<0.05$) in comparison with conventional grains (Figure 5).

The highest falling number was detected in the organic triticale grains of the line 9402-3, namely 167 s, but for organic triticale grains of the line 9405-23 it was 121 s which indicates lower α -amylase activity. Significant differences ($P<0.05$) in falling number value was established between the analysed rye grain samples, where falling number for conventional rye variety 'Kaupo' was 180 \pm 5 s, but for organic rye line 9918 it was 154 \pm 3 s respectively.

Significant differences between wheat grain falling number were not established ($P>0.05$) – for conventional wheat grain variety 'Zentos' falling number was 348 \pm 3 s, however, for biological wheat grain variety 'Fredis' – 342 \pm 2 s (Figure 5).

Integrated multifactorial evaluation was conducted to assess the grain suitability for pasta production (Figure 6).

In the assessment the following physical and chemical attributes cereals were analysed and compared: moisture content, bulk density, 1000 grain weight, falling number, content of fibre, vitamin B₁ and B₂, amino acids, β -glucan, protein and starch. Lower number obtained in the evaluation indicated better suitability of the variety/line for pasta production (Figure 6).

Thus in the further study will be included the most suitable grains – conventional wheat grains of the variety 'Zentos' and rye – variety 'Kaupo', triticale – line 9405-23, as well as organic hull-less barley grains of the line PR 3808.21.

As a result, the argument of the thesis – “*physical and chemical parameters of wheat, rye, hull-less barley, and triticale grains cultivated in Latvian conventional and organic farming systems differ significantly and such grains are suitable for pasta production*” – was proved.

4. Evaluation of dough quality parameters

The study was conducted on physical and rheological properties of wheat dough, where wheat flour type 405 was partially replaced by whole-grain rye (10–50%), whole-grain barley (10–50%), triticale (10–100%) or whole-grain wheat (10–100%) flour, to support the argument of the thesis – “*physical parameters and rheological properties of pasta dough made from flour blends containing wheat, whole-grain wheat, rye, hull-less barley or triticale flour differ significantly.*”

It was experimentally proved that it is possible to develop acceptable pasta dough replacing in flour blends up to 10–100% of wheat grain with whole-grain wheat and triticale or 10–50% with whole-grain rye or whole-grain hull-less barley.

Lower water absorption indicates smaller amount of water required in dough development (Figure 7).

It was established that water absorption of the developed flour blends increased if part of wheat flour type 405 was replaced with whole-grain flour. It was due to the included quantity of whole-grain flour, which contains higher amount of fibre, resulting in increased water binding capacity.

The lowest water absorption was established for the control wheat flour type 405 sample (59.1±0.2%), however, significantly higher ($P<0.05$) value was obtained for flour blends with whole-grain wheat (69.2±0.2%), rye (71.5±0.2%), hull-less barley (70.6±0.1%), and triticale (64.1±0.2%) (Figure 7). There was established a close linear correlation between the whole-grain flour ratio in flour blend and the water absorption capacity (for example, in the sample with whole-grain wheat flour $r=0.9586$ and in the sample whole-grain triticale flour $r=0.9024$).

Research revealed, that dough stability for the control dough sample was

12:15 min, however it decreased if the amount of whole-grain flour in flour blend increased (Figure 8). The change may possibly be due to relatively low gluten content in whole-grain flour. Therefore, in order to maintain acceptable pasta dough quality, the whole-grain flour proportion in flour blend should not exceed 20% for whole-grain barley and whole-grain rye, 30% for whole-grain triticale flour, and 50% whole-grain wheat.

The shortest dough development time (2:22 min) was established for wheat flour type 405, the longest – for dough with whole-grain wheat (3:36 min), rye (6:36 min), hull-less barley (6:52 min) and triticale (7:05 min) flour (Figure 9).

Higher gluten content (Table 2) was determined in wheat flour type 405 ($32.7 \pm 0.2\%$) and in flour blend with whole-grain wheat flour additive – $27.9 \pm 0.1\%$, the lowest gluten content was found in flour blend with whole-grain rye flour additive $26.3 \pm 0.3\%$.

Significant ($P < 0.05$) differences in gluten content was established between the analysed control flour sample and flour blends. Analysis of gluten index indicated that there exist significant ($P < 0.05$) differences between control and experimental samples, where for control sample and flour blends with wheat, rye and hull-less barley flour the gluten quality corresponds to the first class – good and very good, but for flour blend with triticale flour – the second quality class – gluten quality is satisfactory – good (Table 2).

Dough acidity of the experimentally developed flour blends (Table 3) differed significantly ($P < 0.05$). Acidity of wheat flour type 405 was $1.0 \pm 0.1^\circ$, which was by 20% higher than that in flour blends with whole-grain wheat and whole-grain wheat hull-less barley.

It is possible to obtain good quality pasta dough if the following flour blends are used:

- 80% wheat flour type and 20% whole-grain rye flour;
- 80% wheat flour type and 20% whole-grain hull-less barley flour;
- 70% wheat flour type and 30% whole-grain triticale;
- 50% wheat flour type and 50% whole-grain wheat flour.

As a result, the argument of the thesis – *“physical parameters and rheological properties of pasta dough made from flour blends containing wheat, whole-grain wheat, rye, hull-less barley or triticale flour differ significantly”* – was proved.

5. Assessment of pasta extrusion parameters

Structural properties of starch granules in dough extrusion at various temperatures was assessed to support the argument of thesis – *“pasta extrusion temperature significantly influences starch gelatinization”*.

Optimum extrusion parameters should be established for high quality pasta production. It is essential to determine proper temperature distribution in three zones of the extruder.

As a result of multiple experiments optimum temperature distribution for

whole-grain pasta production was established in the current study (Table 4).

For obtaining good quality pasta, starch granules should be completely gelatinized and product should have glassy appearance. The optimum extrusion temperatures for pasta made from wheat flour were established at 105 : 107 : 110 °C, for flour blend with whole-grain wheat flour additive – 106 : 108 : 111 °C, with whole-grain rye flour additive 102 : 104 : 105 °C, with whole-grain hull-less barley flour additive 104 : 106 : 109 °C and with whole-grain triticale flour additive 101 : 103 : 105 °C. It should be considered that pasta quality parameters are significantly affected also by screw rotation speed and developed pressure.

As a result the argument of the thesis – “*pasta extrusion temperature significantly influences starch gelatinization*” – was proved.

6. Assessment of pasta quality parameters

A comprehensive study on physical parameters, chemical indices, and sensory attributes of pasta with whole-grain flour additive was performed to support the following argument of the thesis – “*it is possible to obtain good quality pasta with elevated biological value by partially replacing wheat flour with whole-grain wheat, rye, hull-less barley or triticale flour*”.

Pasta cooking time is an important pasta quality parameter. During cooking pasta can break down or stick together depending on proportion of included whole-grain flour, which leads to different gluten content in flour. The longest cooking time among studied samples was for pasta with whole-grain wheat and whole-grain triticale flour additive – 9 min, the shortest cooking time was for pasta made with whole-grain rye and whole-grain hull-less barley flour additive – 5 min (Table 5).

Significant differences ($P<0.05$) in weight loss during cooking were observed between control and experimental pasta (Table 6). Smaller weight loss during pasta cooking was detected for the control industrially made whole-grain wheat pasta, $5.74\pm 0.03\%$, and it was by 2% less compared to the experimental pasta samples.

Research indicated that pasta weight loss increased during pasta cooking if the amount of whole-grain flour increased in flour blend possibly due to presence of soluble solids and bran, which interrupts protein network; as a result pasta became weaker, not firm.

Significant differences ($P<0.05$) were found in dry matter loss into cooking water during pasta preparation between the experimentally obtained pasta with whole-grain wheat and whole-grain hull-less barley flour additive in comparison with control pasta sample (Table 7).

Texture of uncooked pasta with whole-grain wheat flour additive (6.7 ± 0.2 N) and whole-grain triticale flour additive (5.4 ± 0.1 N) was firmer; pasta samples made with whole-grain rye and whole-grain hull-less barley flour

additive were more brittle (Figure 10). The texture was affected by whole-grain flour which makes it firmer.

After cooking the most firm ($P<0.05$) was control pasta sample (0.32 ± 0.02 N) and pasta sample with whole-grain triticale (0.34 ± 0.01 N) and whole-grain wheat (0.36 ± 0.01 N) flour additive; softer was pasta samples with whole-grain rye and whole-grain hull-less barley flour additive (Figure 11). Pasta with whole-grain additive was softer, which is related to the increased amount of whole-grain flour and relatively short cooking time (Table 5).

Pasta colour depended on the added amount of whole-grain flour, which due to bran particles makes it darker comparing to traditional pasta. Higher L^* value (lighter colour) was detected in pasta with whole-grain hull-less barley and whole-grain flour (Table 8), which is due to high proportion (80%) of used wheat flour type 405, when making pasta dough.

Control sample had the most pronounced yellow colour component b^* , which was by 4.41% higher in comparison with the whole-grain rye pasta. The calculated total colour difference ΔE indicates the visible difference between colour of the developed and control pasta samples. Colour of pasta with whole-grain triticale flour additive was the closest to the control pasta sample colour; however the most different colour was obtained for pasta sample with whole-grain hull-less barley flour additive (Table 8).

In the present research no significant differences ($P>0.05$) were found in protein content between pasta samples with whole-grain triticale and whole-grain rye flour additive – 118 ± 2 g kg^{-1} and 116 ± 2 g kg^{-1} , respectively (Figure 12). Low protein content was observed in pasta sample with whole-grain hull-less barley flour additive – 106 ± 1 g kg^{-1} , higher – in pasta sample with whole-grain triticale flour additive – 118 ± 2 g kg^{-1} .

The highest ($P<0.05$) essential amino acids content was detected in pasta samples with whole-grain wheat flour additive in comparison with other pasta samples. In the present experiments significant differences were not detected in lysine content in the analysed pasta samples (Figure 13).

Content of phenylalanine was significantly different ($P<0.05$); lower amino acid content was observed in pasta sample made with whole-grain triticale flour additive – 1.39 ± 0.07 g kg^{-1} , but higher in pasta sample made with whole-grain wheat flour additive – 1.66 ± 0.06 g kg^{-1} . There was low methionine content in all analysed pasta samples.

Vitamin B_2 content in control pasta was by 52% lower than in pasta with whole-grain rye and whole-grain wheat, but by 32% lower comparing to pasta with whole-grain hull-less barley and by 37% lower than in pasta with whole-grain triticale (Figure 14). Thus the lowest Vitamin B_2 content among experimental pasta samples was detected in pasta with whole-grain hull-less barley, rye and triticale, but the highest in pasta with wholegrain wheat – $0,81\pm 0,09$ mg kg^{-1} . Higher Vitamins B_1 un B_2 content was observed in pasta samples with whole-grain wheat, triticale, rye and hull-less barley flour additive in comparison with commercially made pasta sample. There was no

significant differences ($P>0.05$) between vitamins B₁ and B₂ content in the analysed experimentally developed pasta with whole-grain rye and whole-grain triticale additive. Lower content of Vitamin B₁ was observed in pasta with whole-grain hull-less barley – 2.7 ± 0.14 mg kg⁻¹, but higher in pasta with whole-grain wheat – 3.19 ± 0.12 mg kg⁻¹.

The lowest dietary fibre content was detected in pasta with whole-grain hull-less barley and rye flour additive (Figure 15), which might be due to the developed recipe, which includes 80% of wheat flour type 405. High dietary fibre content was detected in pasta with whole-grain wheat flour additive – 8.4 ± 0.1 g 100 g⁻¹, which was by 70% higher in comparison with control pasta sample, by 73% – in comparison with pasta with whole-grain triticale flour and by 30% – in comparison with pasta with whole-grain wheat flour additive. In the present research significant differences were not observed ($P>0.05$) in dietary fibre content between pasta with whole-grain rye and hull-less barley flour additive. Higher fibre content in pasta with whole-grain wheat flour is provided by 50%, but in triticale pasta by 30% of added whole-grain flour amount.

The highest ash content was detected in pasta with whole-grain wheat flour additive – 1.31 ± 0.05 g 100g⁻¹ and control pasta sample – 1.30 ± 0.04 g 100g⁻¹. Significant differences ($P<0.05$) were observed between control sample and pasta with whole-grain rye, whole-grain hull-less barley. Ash content in pasta with whole-grain rye flour was 11.45 times lower, while in pasta with whole-grain hull-less barley flour – 7.63 times lower. Lower ash content indicates that sample colour is lighter, which corresponds with the colour measurements, where the highest value of component L* was found for pasta with whole-grain rye and whole-grain hull-less barley (Table 8).

In the study sensory attributes of six samples were evaluated (Figure 16) – control and five experimentally developed types of pasta from 405 type wheat, and with whole-grain wheat, triticale, hull-less barley and rye flour. Results demonstrated that consumers prefer control sample as well as pasta made from 405 type wheat, and pasta with whole-grain wheat and whole-grain triticale, which did not differ significantly ($P>0.05$). The lowest degree of acceptance was for pasta with whole-grain rye and whole-grain hull-less barley flour. The major criteria for this decision possibly was because of pasta overall appearance – pasta with whole-grain wheat and whole-grain triticale flour was firm, not as sticky as pasta with whole-grain rye and whole-grain triticale flour. As a result, the argument of the thesis – *“it is possible to obtain good quality pasta with elevated biological value by partially replacing wheat flour with whole-grain wheat, rye, hull-less barley or triticale flour”* – is proven.

CONCLUSIONS

1. Physical and chemical parameters of conventional and organic wheat, rye, hull-less barley and triticale cultivated in Latvia differ significantly ($P < 0.05$): conventionally cultivated wheat and rye cereals are described by higher bulk density; in wheat, rye and triticale grains there is higher content of protein, essential amino acids, B vitamins and dietary fibre. However, hull-less barley cultivated in organic farming contains more B vitamins and dietary fibre.
2. Results of multifactorial integrated evaluation demonstrated, that the most suitable for pasta making are conventionally cultivated wheat grains of the variety 'Zentos', rye grains – variety 'Kaupo', triticale grains – line '9405-23' and organically grown hull-less barley grains – line '9405-23', because they contain higher dietary fibre, vitamins B₁ and B₂, protein and starch content, as well as higher bulk density and falling number.
3. Physical parameters of dough and rheological properties significantly change if part of wheat flour type 405 is replaced with whole-grain wheat, rye, and hull-less barley or triticale flour: water absorption increased by 10% in average, dough development time decreased twofold and content of gluten decreased.
4. It is possible to develop dough with good properties by partial replacement of wheat flour type 405 with 20% of whole-grain wheat or rye flour, with 30% of whole-grain triticale flour and with 50% of whole-grain wheat flour.
5. Optimal pasta extrusion temperatures for starch gelatinization are as follows: for pasta with whole-grain wheat flour 106 : 108 : 111 °C, whole-grain rye flour 102 : 104 : 105 °C, whole-grain hull-less barley flour 104 : 106 : 109 °C, whole-grain triticale flour 101 : 103 : 105 °C.
6. In comparison with the industrially produced whole-grain wheat pasta sample, mass losses during cooking of the developed pasta samples were by 18% higher. Whole-grain wheat pasta had higher content of vitamin B₁ (by 23%), B₂ (by 38%) and dietary fibre (by 29%); whole-grain hull-less barley pasta had higher content of vitamin B₁ (by 23%) and B₂ (by 38%); whole-grain rye pasta had higher content of vitamin B₁ (by 11%) and B₂ (by 28%).
7. The results of sensory assessment using hedonic rating demonstrated that higher degree of liking was attributed to the commercial whole-grain pasta sample (8.0), experimental pasta sample with whole-grain wheat flour additive (7.8) and with whole-grain triticale flour additive (7.4), the lowest rating was for the pasta sample with whole-grain rye (5.6) and whole-grain hull-less barley (5.0) flour additive.
8. The data obtained during experiments confirm the hypothesis – “*it is possible to obtain qualitative pasta with enriched biological value partially replacing wheat flour with whole-grain wheat, whole-grain rye, whole-grain triticale or whole-grain hull-less barley flour*” was proved.

INFORMĀCIJAS AVOTI / *SOURCES OF INFORMATION*

1. Arhipova I., Bāliņa S. (2003) *Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel*. Rīga: Datorzinību centrs, 202.-221. lpp.
2. Gull A., Prasad K., Kumar P. (2015) Effect of millet flours and carrot pomace on cooking qualities, color and texture of developed pasta. *Journal Food Science and Technology*, vol. 63, pp. 470-474.
3. Matsuo R.R., Malcolmso L.J., Edwards N.M., Dexter J. E. (1992) A colorimetric method for estimating spaghetti cooking losses. *Journal Cereal Chemistry*, vol. 69, issue 1, pp. 27-29.
4. Mūrniece I. (2010) *Latvijā selekcionēto šķirņu kartupeļu integrētais novērtējums*. Promocijas darbs, Latvija, Jelgava. 150 lpp.
5. Ruža A. (2004) *Augkopība*. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 138.-140. lpp.
6. Twombly W., Manthey A.F. (2005) *Extruding and drying of pasta*. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering, Volume Four. CRC Press, pp.1-13.