

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES
AND TECHNOLOGIES

PĀRTIKAS TEHNOLOĢIJAS FAKULTĀTE
FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY



Mg. sc.ing. Kristīna Antoņenko

**MIKROELEMENTU IETEKME UZ RUDZU
IESALA KVALITĀTI**

***MICROELEMENTS INFLUENCE ON RYE
MALT QUALITY***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS
Dr. sc. ing. zinātniskā grāda iegūšanai

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

Jelgava
2018

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:
Scientific supervisor:

Viesturs Kreicbergs
Prof., Dr. chem.

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers:*

- **Dr. sc. ing. Vita Šterna** (Vadošā pētniece, Agroresursu un ekonomikas institūts, Agroekoloģijas nodaļa / *Senior Expert, Institute of Agricultural Resources and Economics, Agroecology division*);
- **Dr. chem. Ida Jākobsonē** (Asociētā profesore, Latvijas Universitāte, Ķīmijas fakultāte, Organiskās ķīmijas katedra / *Associate professor, University of Latvia, Faculty of Chemistry, Department of Organic Chemistry*);
- **Dr. sc. ing. Ilona Dabiņa - Bicka** (Iesala ražošanas nodaļas vadītāja, LPKS „LATRAPСS”, Latvija / *Head of malt production department, LPKS "LATRAPСS", Latvia*).

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Pārtikas zinātnes promocijas padomes atklātajā sēdē 2018. gada 30. augustā, plkst. 10⁰⁰ Jelgavā, Rīgas ielā 22, Pārtikas tehnoloģijas fakultātē, 216. auditorijā.

The defence of the Doctoral dissertation will be held in an open session of the Promotion Council of Food Science of Latvia University of Life Sciences and Technologies at 10 a.m. on August 30, 2018 in Room 216, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Food Technology, 22 Rīgas Street, Jelgava.

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā Lielā ielā 2, Jelgavā, LV 3001 un <http://llufb.llu.lv>. Atsauksmes sūtīt Pārtikas zinātnes nozares promocijas padomes sekretārei LLU Pārtikas Tehnoloģijas fakultātēs *asoc. prof., Dr.sc.ing. I. Beitānei* (Rīgas iela 22, Jelgava, LV 3004 vai e-pasts: ilze.beitane@llu.lv).

*The Doctoral dissertation is available for the review at the Research Library of Latvia University of Life Sciences and Technologies, Lielā iela 2, Jelgava, LV 3001, and on the internet: <http://llufb.llu.lv>. References are welcome to be sent 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 Life Sciences and Technologies, 22 Rīgas Street, Jelgava, LV-3001, Latvia, or e-mail: ilze.beitane@llu.lv.*

DOI: 10.22616/lluthesis/2018.011

SATURS

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE	4
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA	6
MATERIĀLI UN METODES	9
REZULTĀTI UN DISKUSIJA	15
1. Mikroelementu ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju	15
2. Mikroelementu saturs un akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā	18
3. Mikroelementu ietekme uz rudzu iesala amilāžu aktivitāti	23
4. Mikroelementu ietekme uz rudzu iesala ķīmiskiem rādītājiem	27
5. Ar mikroelementiem bagātināta iesala ietekme uz krišanas skaitli un viskozitāti miltos	30
6. Mikroelementu ietekme uz plaucējuma īpašībām	34
Secinājumi	36

CONTENT

<i>TOPICALITY OF THE RESEARCH</i>	38
<i>APPROBATION OF THE RESEARCH WORK</i>	40
<i>MATERIALS AND METHODS</i>	40
<i>RESULTS AND DISCUSSION</i>	42
<i>1. Effect of microelements rye grain germination</i>	42
<i>2. Microelements content and accumulation efficiency in rye malt</i>	44
<i>3. Effect of microelements on activity of rye malt amylase</i>	47
<i>4. Effect of microelements on rye malt chemical indicators</i>	50
<i>5. The effect of malt on enriched microelements on the number of fall and viscosity in flour</i>	52
<i>6. Microelements effect on scald properties</i>	54
<i>Conclusions</i>	55

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Rudzu iesalam ir plašs pielietojums maizes, kvasa un spirta ražošanā. Rudzu iesalu pievieno pārtikai, lai piešķirtu produktam specifiskas garšas īpašības (Кунце, 2000). Tas ir starpprodukts, ko izmanto iesala kafiju, saldumu, cepumu, iesala konditorejas izstrādājumu, iesala ekstraktu, brokastu pārslu, viskijs un iesala etiķa ražošanā (Briggs, 1998). Vācijā un Austrijā ir speciāli alus veidi, kuru gatavošanā izmanto rudzu iesalu, taču izmantotais rudzu iesala daudzums ir mazs, salīdzinot ar miežu iesalu (Hübner *et al.*, 2010). Latvijā ir senas rudzu iesala ražošanas tradīcijas, kuriem seko rudzu iesala ražotāji Latvijā – LPKS „LATRAPС“ un SIA „Naukšēni“. Neskaitoties uz tik plašu pielietojumu klāstu, ir jāatzīmē, ka literatūrā tikpat kā nav sastopami pētījumi par rudzu iesalu. Zinātniekus vairāk ir interesējis miežu iesals, kas ir galvenā izejviela alus ražošanā (Hübner *et al.*, 2010).

Unikālais rudzu iesala sastāvs tiek iegūts dabīgā rudzu diedzēšanas procesā, kuru laikā graudā veidojas liels daudzums derīgu savienojumu. Rudzu iesals ir vitamīnu, augu fenolu un citu bioloģiski aktīvu vielu avots (Смирнова *et al.*, 1989; Bewley, 1997; Игнатенко, 2011). Maizes ražošanā rudzu iesalu izmanto kā piedevu, kā rezultātā maize veidojas ar izteiktāku aromātu un garšu, maizes struktūra paliek elastīgāka un ar intensīvāku krāsu. Šīs īpašības ir nozīmīgas pārtikas izstrādājumiem, kurus gatavo no zemas kvalitātes miltiem (Šabovics, 2014). Kvalitatīvu iesalu var iegūt, izveidojot piemērotas graudu šķirnes.

Iesala ražošanas process parasti ietver trīs posmus: mērcēšanu, diedzēšanu un kaltēšanu, kuru pamatā ir sarežģīti bioloģiskie, bioķīmiskie, ķīmiskie un fizikālie procesi (Меледина, 2013; Kulp, Ponte, 2000; Briggs, 1998). Nenem vērā iesala ražošanas tehnoloģiskās īpatnības – graudu mērcēšanu, ir iespējams to bagātināt ar dažādiem savienojumiem. Piemēram, pienskābes un diamonija fosfāta izmantošana iesala mērcēšanas laikā intensificē iesala diedzēšanas procesu, samazina zudumus elpošanas un dīglīša veidošanas laikā. Giberelīnskābe un kālija bromīds samazina iesala diedzēšanu līdz četrām diennaktīm. 0,1% sārmu šķidumi palielina ūdens ieklūšanas ātrumu graudā, stimulē fenolu un rūgtvielu izskalošanos no graudu apvalka, kam piemīt spēja regulēt augšanas procesus mērcētā graudā (Меледина, 2013).

Literatūrā nav atrodama informācija par iesala bagātināšanu ar mikroelementiem. Mikroelementus pēc augu spejām tos akumulēt, iedala vāji akumulējošos, vidēji un ļoti labi akumulējošos. Graudi ir selēnu vāji akumulējoši augi. Augi vidēji labi akumulē varu, savukārt cinku tie akumulē ļoti labi.

Mikroelementi – selēns, varš un cinks ir nepieciešami augiem un dzīvniekiem normālai dzīvības procesu norisei (Цховребов *et al.*, 2012; Булыгин *et al.*, 2007). Tie piedalās tādos svarīgos procesos kā elpošana,

fotosintēze, olbaltumvielu, oglhidrātu un taukvielu metabolismā, ietekmē fermentu darbības ievirzi un to aktivitāti (Protasova, 1998; Orlov, 1998).

Apkopojoj literatūrā sastopamos teorētiskos un eksperimentālos datus, ir izvirzīta promocijas darba **hipotēze** – mikroelementiem Se, Cu un Zn ir atšķirīga akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā, tie izmaina iesala tehnoloģiskās īpašības un bioloģiski aktīvo savienojumu saturu.

Hipotezi pierāda ar aizstāvamām **tēzēm**:

1. mikroelementi ietekmē rudzu graudu dīgtspēju;
2. iesalu ar mikroelementiem (Se, Cu un Zn) ir iespējams bagātināt, rudzu graudu mērcējamam ūdenim pievienojot šo elementu sālus;
3. dažādiem mikroelementiem rudzu iesalā ir atšķirīga akumulācijas efektivitāte;
4. mikroelementi izmaina amilāžu aktivitāti iesalā, kura ir salīdzināma ar miltu reoloģisko īpašību izmaiņām, ja tiem pievieno rudzu iesalu;
5. ar mikroelementiem bagātinātā rudzu iesalā ir lielāks kopējo un atsevišķo fenolu saturs, nekā kontroles paraugiem;
6. ar mikroelementiem bagātināts rudzu iesals vairāk samazina plaucējuma konsistenci.

Promocijas darba mērķis ir izpētīt ar mikroelementiem Se, Cu un Zn bagātināta rudzu iesala kvalitāti un mikroelementu akumulācijas efektivitāti iesalā.

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

1. pētīt mikroelementu (Se, Cu, Zn) satura ietekmi uz graudu dīgtspēju;
2. noteikt mikroelementu (Se, Cu, Zn) saturu rudzu iesalā un aprēķināt to akumulācijas efektivitāti;
3. izvērtēt mikroelementu ietekmi uz amilāžu aktivitāti rudzu iesalā;
4. noteikt kopējo un atsevišķo fenolu saturu ar mikroelementiem bagātinātā rudzu iesalā;
5. salīdzināt viena (Se, Cu, Zn) un divu mikroelementu (Se/Cu; Zn/Cu) ietekmi uz akumulācijas efektivitāti, amilāžu aktivitāti rudzu iesalā un miltu reoloģiskajām īpašībām;
6. pārbaudīt rudzu miltu reoloģisko īpašību izmaiņas (krišanas skaitli un viskozitāti), ja tiem pievienots ar mikroelementiem bagātināts iesals;
7. pārbaudīt ar mikroelementiem bagātināta iesala ietekmi uz plaucējuma konsistenci.

Promocijas darba **novitāte un zinātniskais nozīmīgums**: pirmo reizi pētītas mikroelementu Se, Cu un Zn izmantošanas iespējas, gatavojot rudzu iesalu. Izpētīta Se, Cu un Zn akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā. Noteikta mikroelementu ietekme uz fenolu saturu izmaiņām iesalā, kā arī izpētīta amilāžu aktivitātes atkarība no mikroelementa satura iesalā. Noteiktas ar mikroelementiem bagātināta rudzu iesala tehnoloģisko īpašību izmaiņas un piemērotība rudzu maizes plaucējuma gatavošanai.

Promocijas darba **tautsaimnieciskā nozīme**. Ir izstrādāta jauna metode mikroelementu bioloģiskajai akumulācijai iesalā, kā arī aprēķināta selēna, vara un cinka akumulācijas efektivitāte. Iegūtie iesala paraugi ir ar augstāku enzimātisko aktivitāti nekā tradicionāli gatavotie. Tas dod iespējas samazināt iesala patēriņu, gatavojoši rudzu maizes plaucējumu un citrus produktus, kuru ražošanā izmanto iesalu. Perspektīvā ar mikroelementiem bagātinātu iesalu varētu izmantot kā jauna tipa uztura bagātinātāju.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījuma rezultāti apkopoti un publicēti 11 publikācijās recenzējamos zinātnisko rakstu krājumos angļu valodā; 7 publikācijas iekļautas datu bāzēs *SCOPUS* un *EBSCOhost*.

Publikācijas recenzējamos izdevumos / Publications in peer-reviewed editions – 11

1. K. Antonenko, L. Briede, V. Kreicbergs, A. Viksna (2018) Assimilation of selenium, copper and zinc in rye malt. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B.* Vol. 72. No. 2, ISSN 1407-009X, p. 65-70 (*in SCOPUS*).
2. Kristina Antonenko, Viesturs Kreicbergs, Ingmars Cinkmanis (2017) Influence of selenium, copper and zinc on phenolic compounds in rye malt. *FoodBalt 2017: 11th Baltic conference on food science and technology „Food science and technology in a changing world“: conference proceedings.* ISSN 2255-9817, p. 31–35 (*in SCOPUS*).
3. K. Antonenko, M. Duma, V. Kreicbergs, D. Kunkulberga (2016) The influence of microelements selenium and copper on the rye malt amylase activity and flour technological properties. *J. Agronomy Research.* No. 14 (2), p. 1261–1270 (*in SCOPUS, EBSCO*).
4. Kristina Antonenko, Viesturs Kreicbergs, Anda Liniņa, Daiga Kunkulberga (2014) Influence of different selenium concentration on the protein and starch content in rye malt. *9th Baltic Conference on Food Science and Technology „Food for Consumer Well-Being“ FoodBalt 2014 Conference Proceedings.* ISSN 2255-9809, p. 86–89 (*in SCOPUS*).
5. Antonenko K., Kreicbergs V., Ozola S. (2013) Influence of different copper concentration on the functional properties of rye malt. Влияние разного содержания меди на функциональные качества солода ржи. *Инновационные и современные технологии пищевых производств: материалы Международной научно-технической конференции.* Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. ISBN 978-5-88871-620-5, c. 32–35.
6. Kristīna Antoņenko, Emīls Kozlinskis (2013) The influence of selenium and copper on microbiological indicators of rye malt. *Proceedings of Annual*

19th International Scientific Conference Research for Rural Development.
ISSN 1691-4031, Vol.1, p. 116–119 (in SCOPUS, EBSCO).

7. Kristīna Antoņenko, Viesturs Kreicbergs, Sandra Ozola (2013) Investigation of different micronutrients influence of the rye malt microflora. Исследование влияния различных микроэлементов на микрофлору ржаного солода. *Инновации в науке, образовании и бизнесе 2013, XI Международная научная конференция: труды.* Часть 1, ISBN 978-5-94826-365-6, с. 188–190.
8. Kristina Antoņenko, Viesturs Kreicbergs, Mara Duma, Fredijs Dimins, Sandra Ozola, Vita Rudoviča (2013) The influence of copper on the rye malt quality. *Proceedings of FaBE2013 International Conference.* ISBN 978-960-9510-10-3, Vol. 1, p. 391–400.
9. K. Antoņenko, V. Kreicbergs, M. Dūma, S. Ozola (2013) Selenium's influence on rye malt quality. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences.* Vol. 67, No. 4/5 (685/686), ISSN 1407-009X, (685/686), p. 394–398 (in SCOPUS)
10. K. Antoņenko, V. Kreicbergs, M. Dūma (2012) The influence of different copper concentrations on barley grain sprouting and the content of total phenols. *J. Chemine Technologija.* ISSN: 1392-1231, Vol. 62, No. 4, p. 57–60.
11. Kristīna Antoņenko, Viesturs Kreicbergs (2012) The influence of different selenium concentrations on the barley grain 'class' sprouting activity and content of total phenols. *Proceedings of Annual 18th International Scientific Conference Research for Rural Development.* ISSN 1691-4031, Vol. 1, p. 160–163. (in SCOPUS, EBSCO).

Par pētījuma rezultātiem ziņots 10 starptautiskajās zinātniskajās un zinātniski praktiskajās konferencēs un simpozijos Latvijā, Lietuvā, Igaunijā, Grieķijā un Krievijā.

1. Kristina Antonenko, Viesturs Kreicbergs, Ingmars Cinkmanis. Influence of selenium, copper and zinc on phenolic compounds in rye malt. FoodBalt 2017: 11th Baltic conference on food science and technology „Food science and technology in a changing world” Jelgava, Latvia (April 27–28, 2017). **STENDA REFERĀTS / POSTER PRESENTATION.**
2. K. Antonenko, L. Briede, V. Kreicbergs, A. Viksna. Assimilation of selenium, copper and zinc in rye malt. 2nd International conference „Nutrition and Health” Riga, Latvia (October 5 - 7, 2016). **REFERĀTS / ORAL PRESENTATION.**
3. K. Antoņenko, M. Duma, V. Kreicbergs, D. Kunkulberga. The influence of microelements selenium and copper on the rye malt amylase activity and flour technological properties. 7th International conference on Biosystems Engineering, Estonia, Tartu (May 12–13, 2016). **STENDA REFERĀTS / POSTER PRESENTATION.**

4. Kristina Antonenko, Viesturs Kreicbergs, Anda Liniņa, Daiga Kunkulberga. 9th Baltic Conference on Food Science and Technology „Food for Consumer Well-Being” „FOODBALT 2014”, Jelgava, Latvia (May 8-9, 2014). **STENDA REFERĀTS / POSTER PRESENTATION.**
5. Kristīna Antoņenko, Emīls Kozlinskis. The influence of selenium and copper on microbiological indicators of rye malt. Annual 19th International Scientific Conference „Research for Rural Development 2013”, Jelgava, Latvia (May 15–17, 2013). **REFERĀTS / ORAL PRESENTATION.**
6. Antoņenko K., Kreicbergs V., Ozola S. Investigation of different micronutrients influence on the rye malt microflora. XI Международная научная конференция „Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013”, Калининград, Россия (25–27 сентября, 2013). **REFERĀTS / ORAL PRESENTATION.**
7. Kristina Antoņenko, Viesturs Kreicbergs, Mara Duma, Fredijs Dimins, Sandra Ozola, Vita Rudoviča. The influence of copper on the rye malt quality. FaBE2013: International conference on Food and Biosystems Engineering, Skiathos Island, Greece (May 30 – June 02, 2013). **STENDA REFERĀTS / POSTER PRESENTATION.**
8. Antoņenko K., Kreicbergs V., Duma M., Kunkulberga D. Selenium influence on the rye malt falling number. Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) 54. starptautiskā zinātniskā konference. Sekcija: Materiālzinātne un lietišķā ķīmija, Rīga, Latvija (11. Oktobris, 2013). **STENDA REFERĀTS / POSTER PRESENTATION**
9. K. Antoņenko, V. Kreicbergs, M. Dūma. 7th Baltic Conference on Food Science and Technology „FoodBalt–2012”, Kaunas, Lithuania (May 17–18, 2012), **STENDA REFERĀTS / POSTER PRESENTATION.**
10. K. Antoņenko, V. Kreicbergs, M. Dūma, S. Ozola. Selenium’s influence on rye malt quality. International Conference „Nutrition and health”, Riga, Latvia (2012, September 4–6), **STENDA REFERĀTS / POSTER PRESENTATION.**

Dalība izstādēs – 1

1. Starptautiskā izstāde „Riga Food 2013”, Rīga, Latvija. **STENDA REFERĀTS / POSTER PRESENTATION** „Selēna ietekme uz rudzu iesala kvalitāti”. Antoņenko K., Kreicbergs V., Dūma M., Ozola S. (Septembris 03–07, 2013).

MATERIĀLI UN METODES

Pētījumu laiks un vieta

Pētījumi veikti laikā no 2011. gada līdz 2015. gadam.

- LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes Ķīmijas katedras laboratorijās: Analītiskās un neorganiskās ķīmijas laboratorijā, Dabas vielu ķīmijas zinātniskā laboratorijā;
- Lauksaimniecības fakultātes Graudu un sēklu mācību zinātniskajā laboratorijā;
- Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultātē;
- SIA „Naukšēni” uzņēmuma laboratorijā.

Pētījuma objekts rudzu (šķirne 'Kaupo') graudi, kas audzēti Vidzemes reģiona ziemeļu daļā. 2012. gads ir analizējamo graudu novākšanas jeb ražas gads. Rudzu graudu kvalitātes rādītāji:

- krāsa: raksturīga veseliem graudiem;
- smarža: raksturīga veseliem graudiem, bez sasmakuma, pelējuma un blakus smaržām;
- stāvoklis: veseli, nesasiluši;
- mitrums: 12,3%;
- tilpummasa: 744 g L⁻¹;
- bez piemaisījumiem un kaitēkļiem.

Materiāli: mikroelementus (selēns, varš, cinks) saturotie sāli, rudzu milti un ūdens, kuru raksturojums apkopots 1. tabulā. Rudzu miltus izmantoja krišanas skaitļa, viskozitātes un cietības noteikšanas metodēs.

1. tabula / *Table 1*

Pētījumos izmantoto materiālu raksturojums / *Characteristics of materials used in research*

Materiāli / <i>Materials</i>	Raksturojums / <i>Characteristics</i>
Selēns / <i>Selenium</i>	Nātrija selenāts (Na ₂ SeO ₄), Fluka, tīrības pakāpe >98% / <i>Sodium selenate (Na₂SeO₄), degree of purity 98%</i>
Varš / <i>Copper</i>	Vara sulfāts (CuSO ₄ ·5H ₂ O), Fluka, tīrības pakāpe >98% / <i>Copper sulphate (CuSO₄·5H₂O), degree of purity 98%</i>
Cinks / <i>Zinc</i>	Cinka sulfāts (ZnSO ₄ ·7H ₂ O), Fluka, tīrības pakāpe >98% / <i>Zinc sulphate (ZnSO₄·7H₂O), degree of purity 98%</i>
Rudzu milti / <i>Rye flour</i>	legādāti AS „Rīgas dzirnavnieks” / <i>Purchased by AS „Rīgas dzirnavnieks”</i>
Dzeramais ūdens / <i>Drinking water</i>	Atbilstoši Ministru kabineta 2017. gada 14. novembra noteikumiem Nr. 671 „Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma un kvalitātes prasības, monitoringa un kontroles kārtība” / <i>According to the Cabinet of Ministers of the 20017th of November 14th rules No. 671 “Drinking water quality and the minimum safety requirements of the monitoring and control arrangements”</i>

1. tabulas turpinājums / Continue of table 1

Materiāli / Materials	Raksturojums / Characteristics
Dejonizēts ūdens / Deionized water	0,055 $\mu\text{S cm}^{-1}$ iegūts ūdens dejonizācijas iekārtā „Crystal E” (SIA „Adrona”, Latvija) / 0,055 $\mu\text{S cm}^{-1}$ obtained in water deionization equipment “Crystal E”(SIA “Adrona”, Latvia)

Mikroelementu ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju

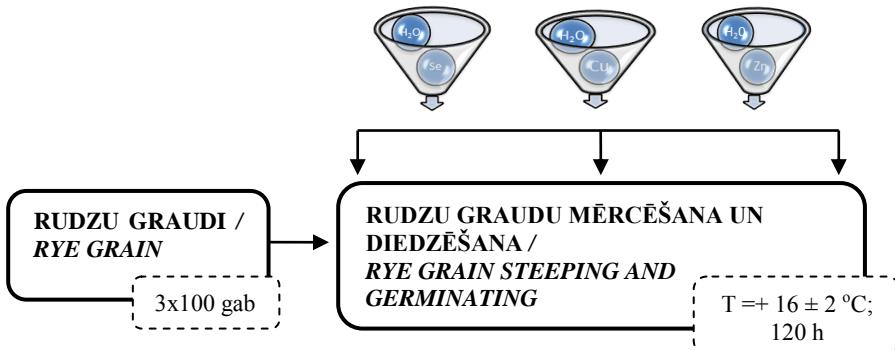
Rudzu graudu dīgtspēja raksturo graudu dzīvības norises un to nosaka ar izdīgušo graudu skaitu (%) pēc piecām diennaktīm. Rudzu graudu mērcēšanas laikā ūdenim pievieno dažādus mikroelementus: selēnu, varu un cinku, kuru koncentrācijas šķidumos ir dotas 2. tabulā. Kā kontrole izmantoti rudzu graudi, kas mērcēti destilētā ūdenī bez mikroelementu pievienošanas.

2. tabula / Table 2

Pētījumā izmantoto mikroelementu saturs šķidumā / Concentrations of microelements in the reserch

Mikroelementi (izmantotie sāļi) / Microelements	Mikroelementu koncentrācija šķidumā / The concentrations of the microelements in solution, (mg L^{-1})						
Se (Na_2SeO_4)	0	1	3	5	8.5	10	17
Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	0	1	10	50	100	500	-
Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0	1	10	50	100	500	-

Rudzu graudu diedzēšanas shēma, pievienojot mikroelementus, ir attēlotā 1. attēlā.

1. att. Graudu dīgtspējas noteikšana /
Fig.1. Scheme of rye grain germination

Rudzu iesala gatavošanas tehnoloģija

Eksperimentālā iesala sagatavošana notika atbilstoši rudzu sauso nefermentēto (balto vai nevītināto) iesalu ražošanas tehnoloģijai un kvalitātes prasībām.

Iesala gatavošanas process sākas ar rudzu graudu mērcēšanu, kura laikā mitruma saturs graudā strauji palielinās, nodrošinot labvēlīgus apstākļus dīgšanas sākumam. Rudzu mērcēšana ilgst 48 stundas +6 līdz +12 °C temperatūrā.

Rudzu diedzēšana ilgst 72 h, +6 līdz +15 °C temperatūrā un ir atkarīga no grauda fizikālajiem parametriem un diedzēšanas ārējiem apstākļiem.

Rudzu graudu mērcēšanas laikā ūdenim pievieno dažādus mikroelementus: selēnu, varu un cinku, kuru koncentrācijas šķīdumos ir dotas 3. tabulā.

3. tabula / *Table 3*

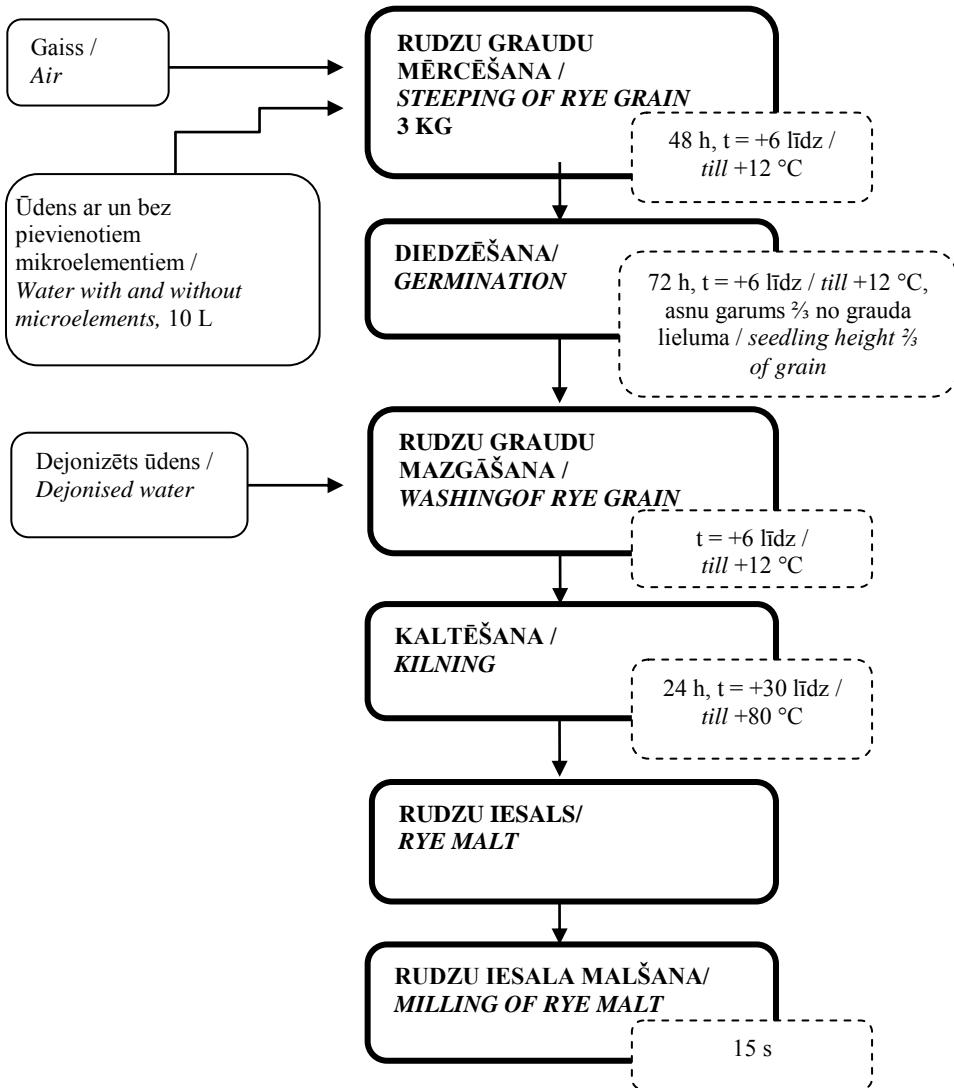
Pētījumā izmantoto mikroelementu saturs ūdenī un paraugu apzīmējumi / Concentrations of the microelements and sample codes used in the research

Apzīmējumi / Codes	Mikroelementi (izmantotie sāļi) / Microelements	Mikroelementu koncentrācijā ūdenī / The concentrations of the microelements in water, mgL ⁻¹			
		K	1	2	3
I	Se (Na ₂ SeO ₄)	0	5	8.5	17
II	Cu (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	0	10	50	100
III	Cu (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	0	10	20	50
IV	Zn (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	0	10	50	100
V	Se (Na ₂ SeO ₄)	0	8.5	0	8.5
	Cu (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	0	0	20	20
VI	Zn (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	0	50	0	50
	Cu (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	0	0	20	20
VII	Se (Na ₂ SeO ₄)	8.5	8.5	8.5	8.5
	Cu (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	0	3	5	10

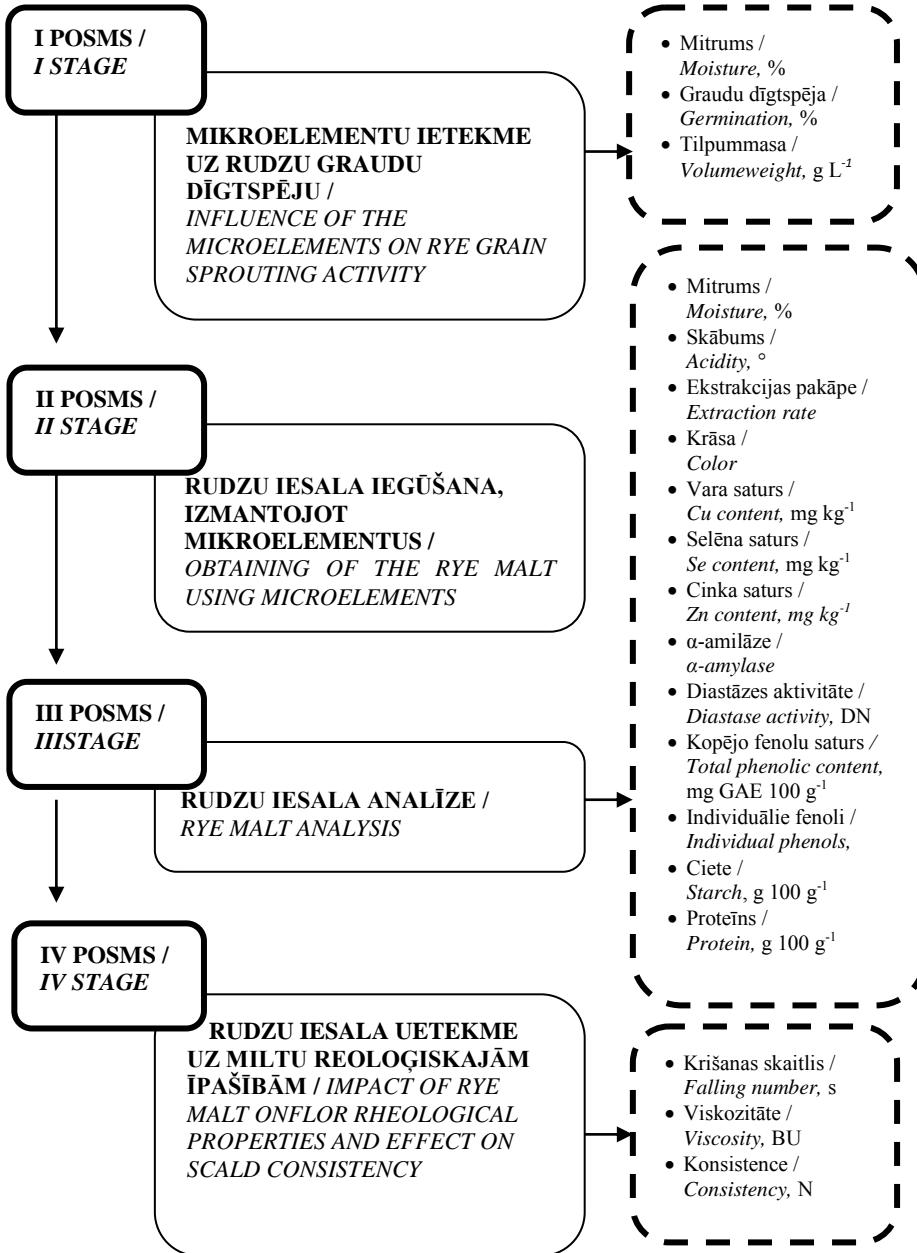
Kontroles paraugam (no I – VI) mikroelementi netika izmantoti, savukārt VII paraugam, par kontoli pieņems rudzu iesals, kuru gatavošanas laikā izmantoja šķīdumu ar selēna koncentrāciju 8,5 mg L⁻¹. Kad grauda dīglis sasniedz izmēru, kas ir $\frac{2}{3}$ no pilna grauda izmēra un tā endosperma ir daļēji modifcējusies, dzīvības procesi graudā tiek apturēti, mazgājot destilētā ūdenī un pēc tam tos kaltējot. Kaltēšana ilgst 24 h +30 līdz +80°C temperatūrā.

Kaltēšanas rezīms un tā parametru stingra ievērošana ir svarīgs faktors rudzu iesala sagatavošanā. Kaltēšanai tika izmantota trīsklājiena kalte. Rudzu iesala gatavošanas shēma, izmantojot mikroelementus, redzama 2. attēlā.

Pētījuma struktūra pa posmiem redzama 3. attēlā.



2. att. Rudzu iesala gatavošana /
Fig 2. Rye malt production technology



3. att. Pētījuma struktūra /
Fig.3. Research structure

Pētījumā izmantoto analīžu metožu raksturojums

Pētījuma analīzēm izmantotās metodes apkopotas 4. tabulā.

4. tabula / Table 4

Pētījuma analīzēm izmantotie standarti un analīžu metodes / Standards and analytical methods used for analysis

Nr. / No.	Rādītāji / Indices	Standarts, metode/ Standard, method
1.	Mitruma / Moisture, %	LVS 6496 272
2.	Graudu dīgtspēja / Germination, %	EBC 3.5.2:1997
3.	Tilpummasa / Volumeweight, g L ⁻¹	Ekspress metode
4.	Skābums / Acidity, °	AACC 02-31.01
5.	Ekstrakcijas pakāpe / Extraction rate, %	ГОСТ 12136-77
5.	Krāsa / Color	ГОСТ 10967
7.	Vara saturs / Cu content, mg kg ⁻¹	ETAAS
8.	Selēna saturs / Se content, mg kg ⁻¹	ICP - MS
9.	Cinka saturs / Zn content, mg kg ⁻¹	ICP - MS
10.	α-amilāze / α-amylase	AOAC 2002.01, <i>Ceralpha</i> metode
11.	Diastāzes aktivitāte / Diastase activity, DN	Phadebas Test
12.	Kopējo fenolu saturs / Total phenolic content, mg GAE 100 g ⁻¹ sausnas / DW	Dabina-Bicka <i>et al.</i> , 2011; Damien-Dorman <i>et al.</i> , 2004
13.	Individuālie fenoli / Individual phenols, mg 100 g ⁻¹ sausnas / DW	Šķidruma hromotogrāfijas metode AEŠH / Liquid chromatography method, HPLC
14.	Ciete / Starch, g 100 g ⁻¹	ISO 12099
15.	Proteīns / Protein, g 100 g ⁻¹	ISO 12099
16.	Krišanas skaitlis / Falling number, s	LVS 274:2000
17.	Viskozitāte / Viscosity, BU	ICC 126/1
18.	Konsistence / Consistency, N	AACC Nr. 74-09.01

Rezultātu matemātiskā apstrāde

Datu matemātiskā apstrāde veikta ar matemātiskās statistikas metodēm. Aprēķini veikti ar *MS Excel* programmu un *IBM SPSS* 21.0. statistikas programmu, izmantojot šādas testēšanas metodes: vienfaktora un divfaktoru dispersijas analīzi (ANOVA). Izvirzītās hipotēzes pārbaudītas ar p-vērtības metodi un faktori novērtēti kā būtiski, ja p-vērtība $\alpha < 0,05$. Hipotēzi par divu ģenerālkopu vidējiem $H_0: \mu_1 = \mu_2$ pārbauda, aprēķinot T-testa p-vērtību. Rezultātu interpretācijai pieņemts, ka $\alpha = 0,05$ ar 95% ticamību, ja nav norādīts citādi. Visiem iegūtajiem rezultātiem aprēķināti vidējie aritmētiskie un standartnovirzes rādītāji.

Dažādu pazīmju savstarpējai kopsakarībai lietota korelācijas un regresijas analīze un mazāko kvadrātu metode. Ja sakarība starp pazīmēm ir lineāra, determinācijas koeficients sakrīt ar korelācijas koeficientu: R^2 vienāds ar r. Ja korelācijas koeficienta vērtība ir $0,5 \leq |r| \geq 0,8$, starp pētāmajām pazīmēm ir vidēji cieša lineārā sakarība. Ja $|r| \geq 0,8$, tad starp pētāmajām pazīmēm ir cieša lineārā sakarība (Arhipova, Bāliņa, 2006).

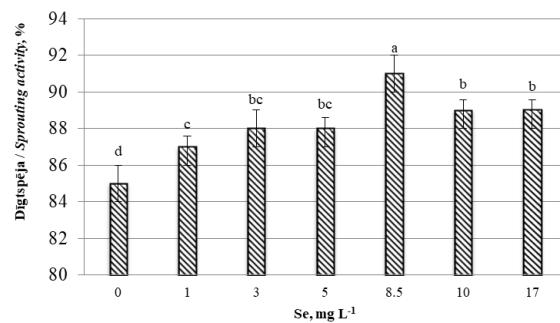
REZULTĀTI UN DISKUSIJA

1. Mikroelementu ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju

Lai pierādītu promocijas darba aizstāvamo tēzi: mikroelementi ietekmē rudzu graudu dīgtspēju, analizējot eksperimentāli iegūtos rezultātus, ir noteikta un izanalizēta mikroelementu - selēna, vara un cinka ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju. Kā kontroli izmantoja rudzu iesalu, kura gatavošanas laikā izmantoja dejonizētu ūdeni bez mikroelementu piedevām.

Selēna ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju

Pētījumiem par rudzu graudu dīgtspējas atkarību no selēna tika izmantoti nātrijs selenāta (Na_2SeO_4) ūdens šķidumi ar selēna koncentrāciju 1; 3; 5; 8,5; 10 un 17 mg L^{-1} . Pētījumā iegūtie rezultāti attēloti 4. attēlā.



4. att. Dažādu selēna koncentrāciju ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju /

*Fig. 4. The influence of different selenium concentrations
on the sprouting activity of rye grain*

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p > 0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p > 0,05$)

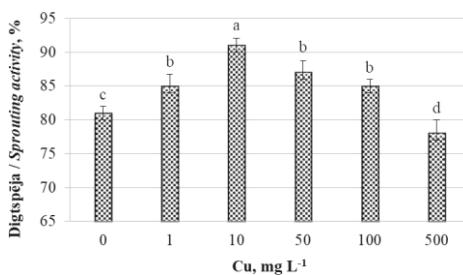
Pētījumā iegūtie rezultāti rāda, ka visas analizētās Se koncentrācijas veicina rudzu graudu dīgtspēju, salīdzinot ar kontroles paraugu. Datu statistiskās analīzes rezultātā konstatēts, ka, palielinoties nātrijs selenāta koncentrācijai šķidumā, būtiski palielinās rudzu graudu dīgtspēja ($p=0,001$; $\alpha=0,05$) (skat. 4. attēlu). Lielākā rudzu graudu dīgtspēja tika noteikta paraugam, kur Se

koncentrācija šķīdumā ir $8,5 \text{ mg L}^{-1}$, tā palielinājās par 7,1%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Iegūtie rezultāti ir līdzīgi ar citu autoru pētījumu rezultātiem (Dūma, 2010).

Hasanuzamann (2010) ar līdzautoriem selēna ietekmi uz dīgšanas procesu graudaugos saista ar antioksidatīvo aktivitāti. Paaugstināta selēna aktivitāte graudos izskaidrojama ar to, ka augu attīstības kritiskās fāzēs, piemēram, graudu dīgšana un dīgļa attīstība, ir raksturīgs augstāks elpošanas līmenis. Šajos periodos augi ir īpaši jutīgi pret dažādiem stresiem. Minētām attīstības fāzēm ir raksturīgas antioksidatīvas aktivitātes paaugstināta sensitivitāte pret skābekļa koncentrāciju, jo palielinās elpošanas intensitāte, savukārt antioksidatīva sistēma vēl nav izveidojusies. Graudu diedzēšanas laikā, kad notiek ātrs šūnu apjomu pieaugums, tiek veicināts enzimātiskas un neenzimātiskas izcelsmes antioksidantu koncentrāciju samazinājums. Selēns šajā periodā augos veic antioksidatīvo aizsardzību. Krievu pētniece Soloveva (2014) augu vajadzību pēc selēna dotajā attīstības fāzē skaidro ar lielu nepieciešamību pēc prolinā (šūnu sieniņu olbaltumvielu galvenā sastāvdaļa), kura veidošanās palielinās mikroelementa selēna klātbūtnē. Pētnieks Yu-Dong Wang (2013) ar kolēgiem savā pētījumā par rīsu bagātināšanu ar selēnu, kā vienu no iemesliem, kas veicina rīsu stādu augšanu, min paaugstinātu antioksidantu aktivitāti augos. Aktivizējot endogēno antioksidantu sistēmu, ir iespējams palielināt selēnglutationa (Se-GSH) saturu.

Vara ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju

Pētījumos par rudzu graudu dīgtspējas atkarību no vara saturā ūdenī tika izmantoti vara sulfāta ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ūdens šķīdumi ar vara koncentrāciju 1; 10; 50; 100 un 500 mg L^{-1} .



5. att. Dažādu vara koncentrāciju ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju /

*Fig. 5. The influence of different copper concentrations
on the sprouting activity of rye grain*

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

Datu matemātiskās apstrādes rezultātā konstatēts, ka visas analizētās vara koncentrācijas šķīdumā būtiski ietekmēja rudzu graudu dīgtspēju (5. att.),

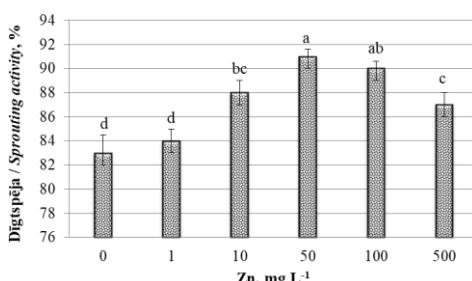
salīdzinot ar kontroles paraugu ($p=0,024$; $\alpha=0,05$). Lielākais izdīgušo graudu skaits tika noteikts paraugam, kura iegūšanā izmantoja vara koncentrāciju šķīdumā 10 mg L^{-1} . Minētajā koncentrācijā rudzu graudu dīgtspēja palielinājās par 12,3%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Jāatzīmē, ka lielākā analizētajā vara koncentrācijā šķīdumā (500 mg L^{-1}) graudu dīgtspēja būtiski samazinājās - par 3,7%, salīdzinot ar kontroles graudiem ($p<0,05$; $\alpha=0,05$).

Iegūtos rezultātus var izskaidrot ar to, ka lielās koncentrācijās varš negatīvi ietekmē augus, izsaucot dažādus traucējumus, piemēram, augšanas, fotosintēzes un elpošanas kavēšanu, kā arī traucē olbaltumvielu sintēzi un donoru akceptoru attiecības, inaktivē metabolisma fermentu darbību un ūdens apmaiņas procesus augu šūnās (Алобайди, 2013). Krievu pētnieks Titovs (2007) ar līdzautoriem uzskatīja, ka vara toksiskums ir atkarīgs no vara jonu spējas veidot izturīgas kovalentās saites, kā arī no to savienojuma stabilitātes ar olbaltumvielu SH – grupām. Savukārt, noteiktās koncentrācijās mikroelements varš palielina elpošanas intensitāti, pozitīvi ietekmē olbaltumvielu un oglhidrātu apmaiņu (Семина, 2009), pozitīvi ietekmē augu augšanu un attīstību (Булыгин *et al.*, 2007), ietekmē šūnu dalīšanos un stiepšanas procesu (Титов *et al.*, 2007).

Cinka ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju

Pētījumiem par rudzu dīgtspējas atkarību no cinka saturā diedzēšanai izmantotajā ūdens šķīdumā izmantoja cinka sulfāta ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ūdens šķīdumus ar cinka koncentrāciju 1; 10; 50; 100 un 500 mg L^{-1} .

Veicot iegūto eksperimentālo datu matemātisko apstrādi, lietojot Scheffe testu, noteikts, ka analizējamais mikroelements būtiski ietekmē gtaudu dīgtspēju, ja Zn koncentrācija šķīdumā ir 10; 50; 100 un 500 mg L^{-1} ($p<0,05$; $\alpha=0,05$). Savukārt mazāka Zn koncentrācija (1 mg L^{-1}) būtiski neietekmēja rudzu graudu dīgtspēju ($p=0,767$; $\alpha=0,05$), salīdzinot ar kontroles paraugu.



6. att. Dažādu cinka koncentrāciju ietekme uz rudzu graudu dīgtspēju /

Fig. 6. The influence of different zinc concentrations on the sprouting activity of rye grain

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

Lielākā rudzu graudu dīgtspēja (6. attēls) noteikta paraugam, kura iegūšanai izmantoja Zn ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} . Šajā gadījumā rudzu graudu dīgtspēja pieauga par 9,6%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Šāds rezultāts izskaidrojams ar to, ka cinks labvēlīgi ietekmē elpošanas intensitātes pieaugumu (Семина, 2009).

Elpošanas intensitātes pieauguma iemesli ir sekojoši: fermentu aktivitāte, organisma energijas patēriņa pieaugums procesiem, kas atbild par bojātu šūnu uzturēšanu un atjaunošanu, kurus izsauc stresa faktoru darbība, kā arī organisko skābju sintēzes nepieciešamība, kas kalpo par mikroelementu helatoriem. Ir zināms, ka cinks ietekmē arī elektronu transporta kēdi oksidatīvo fosforilēšanu, kas saistīta ar elektronu un protonu transportu mitohondrijos; ūdens apmaiņu (turgora) pieaugums, kas savukārt saistīts ar šūnu sieniņu elastību, kas izskaidrojums ar kalcija jonu aizstāšanu ar cinku) (Титов *et al.*, 2007).

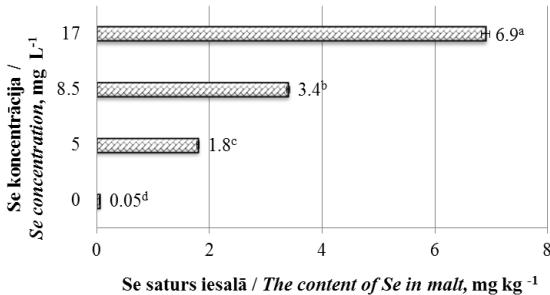
2. Mikroelementu saturs un akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā

Augi, kuri pieder pie dažādām dzimtām, ievērojami atšķiras pēc mikroelementu uzkrāšanas spējas. Atkarībā no augu sugas, mikroelementu saturs tajos var krasi atšķirties (līdz 100 reizēm un vairāk). Zinātniskajā literatūrā ir minēts, ka kultūraugiem ir raksturīga mazāka mikroelementu uzkrāšanas spēja, nekā tās pašas dzimtas savvalas augiem (Вильдфлущ, 2011; Титов *et al.*, 2007). Graudu apvalks darbojas kā barjera mikroelementu uzņemšanai. Mikroelementu nokļūšana līdz sēklām ir atkarīga no mātes auga spējas tos uzņemt no augsnēs un sekojošo transportēšanu līdz sēklām to attīstīšanas procesā (Kranner, Colville, 2011). Citi autori atdzīst, ka tas ir atkarīgs arī no vairākiem apkārtējās vides faktoriem, piemēram, iedarbības laika, augu augšanas formas un absorbcijas mehānisma tipa, elementu veidošanos un paraugu ķemšanas laika (Bonanno, 2011; Третъяк, Герасимов 2007).

Selēna saturs un akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā

Selēna koncentrācija kviešu, kailgraudu miežu, kailgraudu auzu un rudzu graudos, kas audzēti Latvijā, svārstās no $0,01533 \text{ mg kg}^{-1}$ līdz $0,03533 \text{ mg kg}^{-1}$ (Дұма, 2010). Selēna saturs graudaugos, kuri audzēti Somijā, ir piecas reizes lielāks, savukārt Vācijā audzētos ir 25 reizes lielāks, nekā Latvijā audzētos graudaugos (Combs, 2001; Eurola, 1990).

Pētījumos par selēna saturu un asimilācijas pakāpi rudzu iesalā izmantots iesals, kuru gatavošanas laikā izmantoja nātrija selenātu (Na_2SeO_4) ūdens šķīdumus ar selēna koncentrāciju 5; 8,5 un 17 mg L^{-1} . Pētījumā iegūtie rezultāti atspoguļoti 7. attēlā.



7. att. Selēna saturs rudzu iesalā atkarībā no Se koncentrācijas šķīdumā /

Fig. 7. The content of selenium in rye malt depending on the concentration of Se in the solution

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

Selēna saturs analizējamos paraugos bija robežās no $0,05\pm0,01$ līdz $6,9\pm0,3$ mg kg⁻¹. Veicot iegūto datu matemātisko apstrādi, noteikts, ka Se saturs iesalā būtiski atšķirās starp visiem analizētiem paraugiem un bija atkarīgs no selēna koncentrācijas šķīdumā ($p=0,002$; $\alpha=0,05$). Palielinoties Se koncentrācijai šķīdumā, pieauga arī selēna saturs rudzu iesalā. Ja selēna koncentrācija šķīdumā 5 mg L⁻¹, selēna saturs iesalā palielinājās 36 reizes, salīdzinot ar kontroles paraugu. Palielinoties Se koncentrācijai šķīdumā (8,5 un 17 mg L⁻¹), selēna koncentrācija rudzu iesalā pieauga attiecīgi 68 un 138 reizes, salīdzinot ar kontroles paraugu. Varam secināt, ka selēna akumulācija iesalā ir proporcionāla tā koncentrācijai šķīdumā. Pētījumā iegūtie rezultāti ir līdzīgi ar citu zinātnieku pētījumu rezultātiem (Dūma, 2010; Lintschinger *et al.*, 1997).

Ir zināms, ka graudaugi pieder pie augiem, kas Se neakumulē (Çakır *et al.*, 2012; Hasanuzzaman *et al.*, 2010; Terry *et al.*, 2000). Veiktais zinātniskajā pētījumā aprēķināja un analizēja rudzu graudu uzņemto selēnu diedzēšanas procesā, t. i., cik procentus no šķīdumā esošā selēna graudi akumulēja. Iegūtie rezultāti atspoguļoti 5. tabulā.

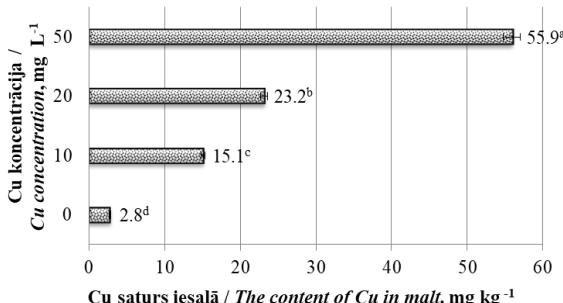
Visvairāk selēna tiek akumulēts, ja selēna koncentrācija šķīdumā ir vislielākā - 17 mg L⁻¹. Šajā gadījumā rudzu graudi uzņēma 12,2% no šķīdumā esošā selēna, savukārt mazākā selēna koncentrācijā šķīdumā (5 mg L⁻¹) graudi uzņēma 10,6%. Rudzu graudu atšķirīgā selēna uzņemšana ir skaidrojama ar to, ka, palielinoties selēna koncentrācijai šķīdumā, bioloģisko procesu laikā selēns patērējas graudam nepieciešamā daudzumā (Dūma, 2010).

Vara saturs un akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā

Mieži, ziemas un vasaras kvieši, kā arī citi kultūraugri ir loti jutīgi pret vara trūkumu augsnē, bet savukārt rudzi atšķiras ar lielu to panesamību (Каталымов, 1965). Varš akumulējas vairāk graudapvalkā (Kranner, Colville, 2011). Zinātniskajā literatūrā atrodami dati, ka vara saturs rudzu

miltos ir $3,02 \mu\text{g g}^{-1}$ (Kopličk *et al.*, 2006), savukārt rudzu graudos $4,99 \text{ mg kg}^{-1}$ (Shtangeeva *et al.*, 2011). Rudzu iesalam šis rādītājs tika noteikts pētījumā un tas ir $2,8 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

Pētījumos par vara saturu un akumulācijas efektivitāti iesalā analizēts rudzu iesals, kuru pagatavošanai izmantoti vara sulfāta ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ūdens šķīdumi ar vara koncentrāciju $10; 20$ un 50 mg L^{-1} . Kā kontrole izmantots rudzu iesals, kuru pagatavošanai izmantots dejonizēts ūdens. Pētījuma rezultāti atspoguļoti 8. attēlā.



8. att. Vara satus rudzu iesalā atkarībā no Cu koncentrācijas šķīdumā /

Fig. 8. *The content of copper in rye malt depending on the concentration of Cu in the solution*

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

Vara saturs analizējamos paraugos bija robežas no $2,8$ līdz $55,9 \text{ mg kg}^{-1}$. Ja vara koncentrācija šķīdumā bija 10 mg L^{-1} , vara saturs rudzu iesalā pieauga $4,4$ reizes, bet ja vara koncentrācija šķīdumā 20 mg L^{-1} vara saturs rudzu iesalā pieauga $7,3$ reizes, salīdzinot ar kontroles paraugu. Iesalā vara saturs tika noteikts 19 reizes lielāks, salīdzinot ar kontroles paraugu, kura iegūšanai izmantoja šķīdumu ar lielāko analizēto vara koncentrāciju 50 mg L^{-1} . Rudzu graudu diedzēšanas laikā, izmantojot Cu, bija novērojamas būtiskas atšķirības starp visiem paraugiem. Savukārt īpaša uzmanība tika pievērsta paraugam, kur graudu mērcēšanai un diedzēšanai izmantoja šķīdumu ar Cu koncentrāciju 20 mg L^{-1} . Šim paraugam asni bija garāki un spēcīgāki, salīdzinot ar kontroles paraugu un paraugiem, kuriem izmantoja citas vara koncentrācijas (10 un 50 mg L^{-1}).

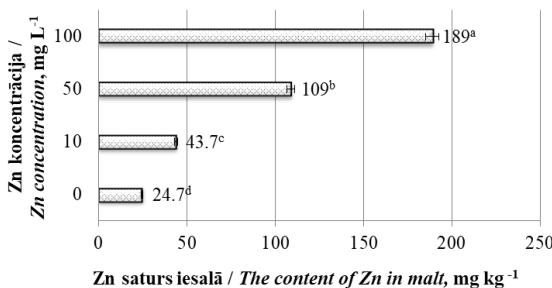
5. tabulā ir atspoguļoti pētījuma rezultāti par Cu akumulāciju iesalā. Pētījumā iegūtie rezultāti rada, ka visvairāk vara tiek akumulēts no eksperimentos lietotā šķīduma, kurā vara koncentrācija ir vismazākā 10 mg L^{-1} . Rudzu graudi šādā koncentrācijā uzņem $36,9\%$ no šķīdumā esoša vara, savukārt lielākās vara koncentrācijās šķīdumā (20 un 50 mg L^{-1}) graudi uzņēma $30,6\%$ un $30,8\%$. Mazāks mikroelementu satus augu reproduktīvos orgānos ir saistīts

ar aizsargmehānismu funkcionēšanu, kas pasargā no mikroelementu lielākas akumulācijas efektivitātes šajos orgānos (Титов *et al.*, 2007).

Cinka saturs un akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā

Cinks (Zn) - mikroelements vai minerālviela, kuram ir svarīga loma augu metabolismā, augšanā un attīstībā (Mousavi *et al.*, 2013). Cinks ietilp vairākos augu fermentos un proteīnos, kā arī kofaktora regulēšanā, piedalās daudzos svarīgos bioķīmiskos procesos. Tie galvenokārt saistīti ar oglhidrātu metabolismu, cukuru konversiju cietē, proteīnu metabolismu, augšanas regulatoru metabolismu, ziedputekšņu veidošanos, bioloģisko membrānu integrītātes uzturēšanu, izturību pret inficēšanos ar noteiktiem patogēniem, kā arī pozitīvu ietekmi uz kultūraugu ražu (Mousavi *et al.*, 2013; Вильдфлущ, 2011; Тишков *et al.*, 2005). Kultūraugu kvantitatīva un kvalitatīva raža ir stipri atkarīga no cinka (Zn) daudzuma augsnē (Mousavi *et al.*, 2013). Zinātniskajā literatūrā ir minēts, ka cinka ienešana augsnē mēslošanas veidā palielināja auzu graudu ražību par 17 – 20,3% (Вильдфлущ, 2011). Cinka saturs rudzu miltos veido $24,1 \text{ } \mu\text{g}^{-1}$ (Koplič *et al.*, 2006), savukārt rudzu graudos – $34,7 \text{ mg kg}^{-1}$ (Shtangeeva *et al.*, 2011). Analizējamā rudzu iesalā (kontroles paraugā) cinka saturs tika noteikts $24,7 \text{ mg L}^{-1}$.

Cinka saturs rudzu iesalā atkarībā no Zn koncentrācijas šķīdumā ir redzams 9. attēlā. Pētījumā iegūtie rezultāti rāda, ka, palielinoties cinka koncentrācijai šķīdumā, būtiski palielinās cinka saturs rudzu iesalā ($p=0,001$; $\alpha=0,05$). Lielākais cinka saturs (189 mg kg^{-1}) rudzu iesalā tika noteikts ar cinka koncentrāciju šķīdumā 100 mg L^{-1} , kas pieauga 6,7 reizes, salīdzinot ar kontroles paraugu.



9. att. Cinka saturs rudzu iesalā atkarībā no Zn koncentrācijas šķīdumā /

Fig. 9. The content of zinc in rye malt depending on the concentration of Zn in the solution

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) / Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

5. tabulā ir atspoguļoti rezultāti par cinka akumulāciju iesalā. Eksperimentā iegūtie rezultāti rāda, ka visvairāk cinka tiek akumulēts no šķīduma, kurā cinka

koncentrācija ir vismazākā 10 mg L^{-1} . Rudzu graudi šajā gadījumā uzņem 57% no šķīdumā esošā cinka, savukārt lielākajā analizētajā cinka koncentrācijā šķīdumā (100 mg L^{-1}) graudi uzņem 49,3%. Rudzu graudu atšķirīgā cinka uzņemšana ir skaidrojama ar to, ka stabilāki savienojumi ar šūnu membrānām veidojas pie mazas mikroelementu koncentrācijas vidē. Līdz ar koncentrācijas pieaugumu mikroelementu saites ar šūnām ievērojami novājinās.

5. tabula / *Table 5*
Mikroelementu akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā /
The accumulation of microelements in rye grain

Mikroelementi / Microelements	Akumulācijas efektivitāte / The accumulation efficiency, %	Paraugi / Samples		
Selēns / <i>Selenium (Se)</i>	Koncentrācija šķīdumā / <i>Concentration in solution, mg L⁻¹</i>	5.0	8.5	17.0
	Akumulācijas efektivitāte / <i>Accumulation efficiency, %</i>	10.6	12.0	12.2
Varš / <i>Copper (Cu)</i>	Koncentrācija šķīdumā / <i>Concentration in solution, mg L⁻¹</i>	10.0	20.0	50.0
	Akumulācijas efektivitāte / <i>Accumulation efficiency, %</i>	36.9	30.6	30.8
Cinks / <i>Zinc (Zn)</i>	Koncentrācija šķīdumā / <i>Concentration in solution, mg L⁻¹</i>	10.0	50.0	100.0
	Akumulācijas efektivitāte / <i>Accumulation efficiency, %</i>	57.0	50.6	49.3

Iespējams, ar mazu jonu koncentrāciju šķīdumā sākumā piesātinās vietas, kuras ar mikroelementu katjoniem veido stabilākus savienojumus. Pēc šo vietu absorbcijas piesātinātības ieslēdzās citas funkcionālās grupas, kuru saites ar mikroelementu katjoniem ir ievērojami vājākas¹.

Iegūtie rezultāti parāda, ka, palielinoties mikroelementu selēna, vara un cinka koncentrācijai šķīdumos, palielinās arī mikroelementu saturs rudzu iesalā. Zinot būtisko mikroelementu nozīmi augu valstī (Цховребов *et al.*, 2012; Булыгин *et al.*, 2007; Протасова, 1998; Орлов, 1998), nākamais mūsu eksperimenta solis bija apvienot abus mikroelementus – selēnu un varu, kā arī cinku un varu kopā. Mikroelementu koncentrācijas tika izvēlētas optimālās, pamatojoties uz eksperimentu rezultātiem (1. un 2. nodaļa). Pētījumā iegūtie rezultāti rāda, ka mikroelementu maišījumu (Se/Cu un Zn/Cu) izmatošana iesala ražošanā dažādā koncentrācijā palielina mikroelementu saturu rudzu iesalā: selēna, vara un cinka saturs būtiski pieaug līdz ar mikroelementu koncentrāciju šķīdumā ($p<0.05$; $\alpha=0,05$). Varu un selēna saturu rudzu iesalā

¹ Jonu mijiedarbība augu attīstībā [Skatīts 07.06.2015.] Pieejams / Available: <http://openacc.ru/mikroelementy/2019-vzaimodeystvie-ionov-pri-razvitiya-rasteniy.html>

pieaug par 6,2 un 45 reizēm, salīdzinot ar kontroles paraugu. Savukārt cinka un vara saturs rudzu iesalā pieaug 3,6 un 10,1 reizes, salīdzinot ar kontroles paraugu. Iegūtie dati liecina, ka starp analizētajiem mikroelementiem (Se/Cu un Zn/Cu) nepastāv antagoniskas attiecības. Eksperimentā iegūtie rezultāti parāda arī to, ka lielāka akumulācijas efektivitāte noteikta paraugiem, kuru pagatavošanai izmantoja mikroelementu maisījumus. Mikroelementu (Se un Cu) akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā ir 9,3 un 30,5%, savukārt Zn un Cu akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā ir 56,7 un 39,5%.

3. Mikroelementu ietekme uz rudzu iesala amilāžu aktivitāti

Iesala veidošanās laikā rudzu graudi sintezē vai aktīvē dažādus enzīmus. Nozīmīgākie iesala enzīmi ir amilāzes. Gatavojot mīklu un maizi, amilāžu aktivitāte ir galvenais faktors, kas nosaka rudzu iesala funkcionālās īpašības. Nozīmīgs ir α -amilāzes saturs iesalā. Amilolītiskas aktivitātes noteikšanai rudzu iesalā izmatotas divas metodes:

- *Megazyme* reaģentu komplekts (α -amilāzes aktivitātes noteikšanai);
- *Phadebas Amylase* tests (diastāzes aktivitātes noteikšanai).

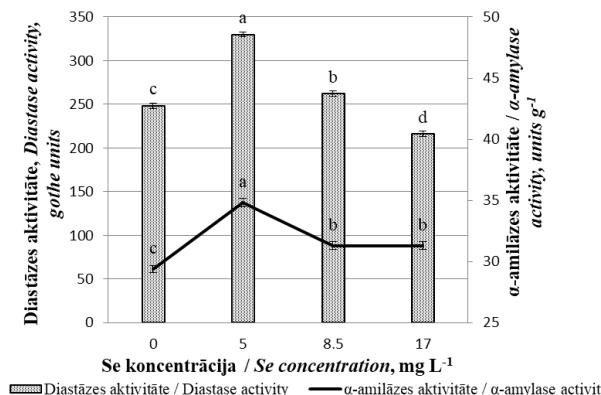
Selēna ietekme uz rudzu iesala amilāžu aktivitāti

α -Amilāzes aktivitātes noteikšana, izmantojot *Megazyme reaģentu komplektu*. Ir vairāki enzīmi, kas hidrolizē cieti, bet svarīgākais no tiem ir α -amilāze. Veicot iegūto eksperimentālo datu matemātisko apstrādi, lietojot *Scheffe* testu, konstatēts, ka selēns būtiski ietekmēja α -amilāzes aktivitāti rudzu iesalā ($p=0,007$; $\alpha=0,05$), salīdzinot ar kontroles paraugu. Lielāka α -amilāzes aktivitāte ($34,8 \pm 0,1$ vienības g^{-1}) tika noteikta analizējamam paraugam, kuru pagatavošanā izmantoja selēnu ar koncentrāciju šķīdumā 5 mg L^{-1} , tā pieauga par 18,4%, salīdzinot ar kontroles paraugu, kurā mikroelementu piedevu neizmantoja (10. att.). Eksperimentāli iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka mikroelements selēns veicināja enzīmu aktivitāti.

Enzīmu aktivitātes noteikšana ar Phadebas testu. Diastāzes aktivitātes noteikšanai ir dažādas metodes. Viena no tām ir *Phadebas Amylase* tests. Neskatoties uz to, ka šī metode parasti tiek piemērota medus paraugiem, to var izmantot diastāzes noteikšanai arī citos pārtikas paraugos. Diastāzes aktivitātes Gotes vienība ir fermenta daudzums, kas tiek izmantots, lai šķeltu $0,01\text{ g}$ cietes 1 h laikā $+40^\circ\text{C}$ temperatūrā. Gala rezultāts tika izteikts uz 1 g produkta.

Pēc datu matemātiskās apstrādes noteikts, ka visas analizējamās selēna koncentrācijas šķīdumos būtiski ietekmēja diastāzes aktivitāti rudzu iesalā ($p=0,011$; $\alpha=0,05$) (skat. 10. att.). Lielāka aktivitāte (330 Gotes vienības) ir noteikta rudzu iesalam, kuru pagatavošanā izmantoja selēnu ar koncentrāciju 5 mg L^{-1} šķīdumā. Iesalā, kura pagatavošanai izmantoja minēto selēna koncentrāciju, diastāzes skaitlis palielinājās par 33,1%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Savukārt rudzu iesalā, kuru pagatavošanā izmantoja lielāko selēnu

koncentrāciju šķidumā (17 mg L^{-1}), diastāzes aktivitāte samazinājās par 12,9%, salīdzinot ar kontroles paraugu.



10. att. Dažādu selēna koncentrāciju ietekme uz α – amilāzes un diastāzes aktivitāti rudzu iesalā /

Fig. 10. The influence of different selenium concentration on the α – amylase and diastase activity in rye malt

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

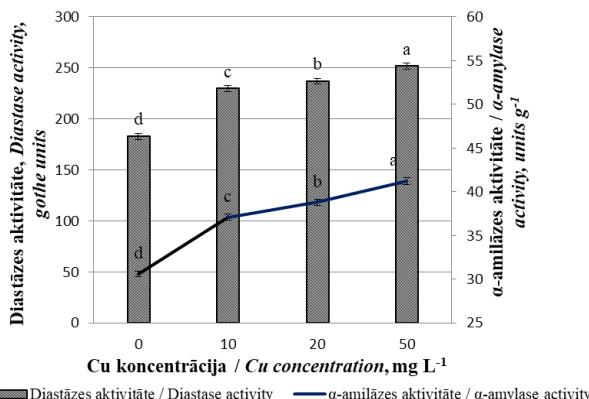
Salīdzinot pētījumā iegūtos rezultātus, izmantojot divas dažādas metodes (10. att.), varam secināt, ka selēns būtiski ietekmēja amilāžu aktivitāti rudzu iesalā un lielāka aktivitāte tika noteikta iesalam, kuru pagatavošanai izmantoja šķidumu ar selēna koncentrāciju 5 mg L^{-1} . Fermentu aktivitātes pieaugums rudzu iesalā, iespējams, ir saistīts ar selēna dalību rudzu graudos esošo mazmolekulāro vielu difūzijā no vairodiņa uz dīglīti. Iespējama arī selēna dalība dažādu savienojumu hidratācijā, kā rezultātā veidojas labvēlīgi apstākļi augstmolekulāro vielu hidrolīzes procesiem.

Pētījumā iegūtie rezultāti ir līdzīgi ar citu autoru pētījumiem. Zinātnieks no Sibīrijas savā pētījumā atklāja, ka, izmantojot selēnu kviešu graudu diedzēšanas laikā, diedzētos graudos būtiski palielinās amilolītiskā un proteolītiskā aktivitāte (Аслалиев, 2009). Savukārt zinātnieks no Meksikas pētījumā par selēna ietekmi uz fermentu aktivitāti tomātos apgalvoja, ka Se (5 mg L^{-1}) būtiski palielināja katalāzes, glutationa peroksidāzes un superoksīda dismutāzes aktivitāti tomātos par 352,7%, 312,2% un 200,8%, salīdzinot ar kontroles paraugu (Castillo-Godina *et al.*, 2016).

Vara ietekme uz rudzu iesala amilāžu aktivitāti

α -Amilāzes aktivitātes noteikšana, izmantojot Megazyme reaģentu komplektu. Eksperimentos iegūtie rezultāti (11. att.) parāda, ka dažādas vara

koncentrācijas šķīdumā būtiski palielina α -amilāzes aktivitāti rudzu iesalā ($p=0,021$; $\alpha=0,05$), salīdzinot ar kontroles paraugu. Palielinoties vara koncentrācijai šķīdumā no 10 līdz 50 mg L⁻¹, palielinās α -amilāzes aktivitāte analizējamos paraugos. Lielāka α -amilāzes aktivitāte ($41,2 \pm 0,2$ vienības g⁻¹) bija iesala paraugam, kuru pagatavošanā izmantoja šķīdumu ar lielāko Cu koncentrāciju šķīdumā (50 mg L⁻¹). Salīdzinot ar kontroles paraugu, tā palielinājās par 34,6%.



11. att. Dažādu vara koncentrāciju ietekme uz α - amilāzes un diastāzes aktivitāti rudzu iesalā /

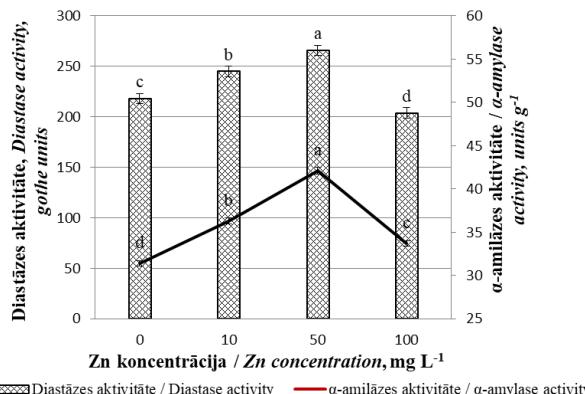
Fig. 11. The influence of different copper concentration on the α -amylase and diastase activity in rye malt

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) / Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

Enzīmu aktivitātes noteikšana ar Phadebas testu. Līdzīgus rezultātus uzrāda zinātniskais pētījums, kurā, nosakot dažādu vara koncentrāciju ietekmi uz diastāzes aktivitāti rudzu iesalā, izmantoja otru metodi (Phadebas Amylase Test tabletas). Iegūtie pētījuma rezultāti (11. attēls) parāda, ka visas analizētās vara koncentrācijas šķīdumos būtiski palielina diastāzes aktivitāti rudzu iesalā, salīdzinot ar kontroles paraugu ($p=0,016$; $\alpha=0,05$). Lielāka aktivitāte ($252,0 \pm 3,0$ Gotes vienības) ir noteikta rudzu iesalam, kuru pagatavošanā izmantoja varu ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L⁻¹. Šajā gadījumā diastāzes skaitlis palielinājās par 37,7%, salīdzinot ar kontroles paraugu, kas liecina par vara pozitīvo ietekmi uz amilāzes aktivitātes pieaugumu rudzu iesalā. Pētījumā iegūtie rezultāti, tāpat kā iepriekš minētie par selēnu, liecina par mikroelementa vara pozitīvo ietekmi uz amilāzes aktivitāties pieaugumu rudzu iesalā. Iegūtie rezultāti ir līdzīgi ar citu zinātnisko autoru rezultātiem. Piemēram, Mihoub u.c. (2005) savā pētījumā apgalvo, ka α -amilāzes aktivitāte diedzētos zirņos būtiski pieaug, ja to bagātināšanā izmanto varu.

Cinka ietekme uz rudzu iesala amilāžu aktivitāti

α -Amilāzes aktivitātes noteikšana, izmantojot Megazyme reāgentu komplektu. Dažādu cinka koncentrāciju ietekme uz α -amilāzes aktivitāti rudzu iesalā ir atspoguļota 12. attēlā. Līdzīgi selēnam un varam, arī cinks būtiski ietekmē α -amilāzes aktivitāti rudzu iesalā ($p=0,018$; $\alpha=0,05$), salīdzinot ar kontroles paraugu. Lielāka α -amilāzes aktivitāte tika noteikta analizējamam paraugam, kura pagatavošanā izmantoja cinku ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} . Salīdzinot ar kontroles paraugu, kurā mikroelementu piedevu neizmantoja, tā pieauga par $34,1\%$.



12. att. Dažādu cinka koncentrāciju ietekme uz α - amilāzes un diastāzes aktivitāti rudzu iesalā /

Fig. 12. The influence of different zinc concentration on the α -amylase and diastase in rye malt

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

Enzīmu aktivitātes noteikšana ar Phadebas testu. Līdzīgus rezultātus uzrāda pētījums, kurā, nosakot dažādu cinka koncentrāciju ietekmi uz diastāzes aktivitāti rudzu iesalā, izmantoja Phadebas Amylase metodi. Pētījumā iegūtie rezultāti (12. att.) parāda, ka visas analizētās cinka koncentrācijas šķīdumos būtiski ietekmēja diastāzes aktivitāti rudzu iesalā ($p=0,011$; $\alpha=0,05$), salīdzinot ar kontroles paraugu. Lielāka diastāzes aktivitāte (266±2 Gotes vienības) rudzu iesalā tika noteikta paraugam, kura pagatavošanā izmantoja cinku ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} . Šim paraugam diastāzes skaitlis palielinājās par 22%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Savukārt rudzu iesalā, kuru pagatavošanā izmantoja lielāko cinka koncentrāciju šķīdumā (100 mg L^{-1}), diastāzes aktivitāte samazinājās par 6,4%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Salīdzinot abu metožu rezultātus, gan α -amilāzes aktivitāte, gan diastāzes aktivitāte ir lielākā rudzu iesala paraugam, kura pagatavošanai izmantoja cinka koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} . Visas izmantotās metodes amilolītiskas

aktivitātes noteikšanai rudzu iesalā uzrāda, ka mikroelementu selēns un vara maisījums negatīvi ietekmē amilāzes aktivitāti rudzu iesalā. Savukārt mikroelementu cinka un vara maisījums uzrāda pretējus rezultātus, kuri liecina par analizējamo mikroelementu maisījumu (Zn/Cu) pozitīvo ietekmi uz amilāzes aktivitāti rudzu iesalā, salīdzinot ar paraugiem, kuru pagatavošanā izmantoja Zn un Cu atsevišķi.

4. Mikroelementu ietekme uz rudzu iesala ķīmiskiem rādītājiem

Zinātniskajā literatūrā ir norādīts, ka **mitruma saturs** rudzu iesalā var svārstīties robežās no 4% līdz 10%^{2,3}. Mitruma saturs būtiski ietekmē iesala malšanas un iejavošanas procesu, kā arī kvalitātes parametrus uzglabāšanas laikā (Hertrich, 2013; Меледина *et al.*, 2013). Eksperimentāli ir noteikts, ka pētāmo rudzu iesala mitruma saturs svārstījās robežās no 4,1% līdz 10,2%.

Datu matemātiskās apstrādes rezultātā konstatēts, ka **cietes saturs** ar mikroelementiem bagātinātā rudzu iesalā bija robežās no $57,1 \pm 1,0$ līdz $59,8 \pm 1,10$ g 100 g^{-1} . Pētījuma iegūtie rezultāti ir lielāki salīdzinot ar citu zinātnieku rezultātiem, kuri norāda, ka cietes saturs rudzu iesalā ir $41 \pm 1,63$ g 100 g^{-1} (Balcerēk *et al.*, 2016).

Proteīna saturs iesalā ir atkarīgs no graudu šķirnes īpašībām un no agrotehnoloģijas, it īpaši no slāpekļa saturošo mineralvielu ienešanas daudzuma un laika, kā arī no iesala ražošanas tehnoloģijas un kaltēšanas režīma. Ir zināms, ka proteīna saturs iesalā ir par 0,1 – 0,5% mazāks salīdzinot ar graudiem (Меледина *et al.*, 2013). Zinātniskajā literatūrā ir norādīts, ka proteīna saturs rudzu iesalā nedrīkst pārsniegt 12,5%⁴. Eiropā miežu iesalā proteīna saturs nedrīkst pārsniegt 11,5%, savukārt Ziemeļamerikā 13,5% (Hertrich, 2013; Меледина *et al.*, 2013). Veicot iegūto eksperimentālo datu matemātisko apstrādi, noteikts, ka analizējamiem paraugiem proteīna saturs bija robežās no $8,7 \pm 0,9$ līdz $10,5 \pm 0,3$ g 100 g^{-1} . Polijā veikta pētījumā zinātnieki atklāja, ka proteīna saturs rudzu iesalā ir $8,5 \pm 0,32$ g 100 g^{-1} (Balcerēk *et al.*, 2016).

Fenolu satura noteikšanai rudzu iesalā izmantoja graudus, kuru mērcēšanas laikā ūdenim pievienoja dažādas koncentrācijas selēna, vara un cinka sāļus (3. tabula). Pētījumā tika identificēti 19 fenolu tipa savienojumi, no kuriem 14 ir fenolskābes: 7 benzoskābes atvasinājumi (galluskābe, α -resorcilskābe, protokatehīnskābe, p -hidroksibenzoskābe, vanilīnskābe, ceriņskābe,

² Rudzu iesala mitruma saturs. [Skatīts 02.04.2018.] Pieejams / Available: <http://docs.cntd.ru/document/120003202>

³ Rudzu iesala mitruma saturs. [Skatīts 02.04.2018.] Pieejams / Available: http://resources.countrymaltgroup.com/CMG_catalog.PDF

⁴ Proteīna saturs rudzu iesalā. [Skatīts 03.04.2018.] Pieejams / Available: http://resources.countrymaltgroup.com/CMG_catalog.PDF

p-kumarinskābe), 6 kaneļskābes atvasinājumi (hlorogenskābe, kafijskābe, sinapinskābe, ferulskābe, o-hidroksikanālskābe, m-hidroksikanēlskābe un viens feniletiķskābes atvasinājums (homovanilīnskābe). Vēl tika identificēti četri flavonoīdi (rutīns, kvercetīns, luteoīns kemferols) un viens flavanoīds (catehīns). Lielākai daļai analizējamiem paraugiem individuālu fenolu savienojumu satus bija mazāks par 0,1 mg 100 g⁻¹, dažos paraugos nebija iespējams identificēt, jo individuālo fenolus satus bija zem jutības sliekšņa. Tikai četriem no noteiktajiem fenoliem (α -resorcilskābei, protokatehīnskābei, catehīnam un kemferolam) koncentrācija bija lielāka par 0,1 mg 100 g⁻¹.

Selēna, vara un cinka piedevu ietekme uz kopējiem fenoliem un individuālo fenolu summu attēlota 6. tabulā. Iegūtie rezultāti (6. tab.) rāda, ka visas analizētās selēna koncentrācijas palielina fenolu saturu rudzu iesalā.

6. tabula / Table 6
Selēna ietekme uz kopējo un individuālu fenolu saturu rudzu iesalā /
The influence of selenium on total and individual phenolic content in rye malt

Mikroelementu koncentrācija šķīdumā / Concentration of microelements in solution, mg L ⁻¹	Savienojumi / Compounds	
	Kopējo fenolu satus / Total phenolic content, mg GAE 100 g ⁻¹ sausnas / DW	Individuālu fenolu summa / Individual phenolic content, mg 100 g ⁻¹ sausnas / DW
Se koncentrācija šķīdumā 0 mg L ⁻¹ <i>The content of Se in solution</i>	313±12	6.21±0.54
Se koncentrācija šķīdumā 5 mg L ⁻¹ <i>The content of Se in solution</i>	332±17	9.52±0.72
Se koncentrācija šķīdumā 8.5 mg L ⁻¹ <i>The content of Se in solution</i>	357±14	10.82±0.42
Se koncentrācija šķīdumā 17 mg L ⁻¹ <i>The content of Se in solution</i>	363±11	11.3±0.68
Cu koncentrācija šķīdumā 0 mg L ⁻¹ <i>The content of Cur in solution</i>	231±13	5.48±0.23
Cu koncentrācija šķīdumā 10 mg L ⁻¹ <i>The content of Cur in solution</i>	221±15	7.18±0.42
Cu koncentrācija šķīdumā 20 mg L ⁻¹ <i>The content of Cur in solution</i>	288±18	8.18±0.48
Cu koncentrācija šķīdumā 50 mg L ⁻¹ <i>The content of Cur in solution</i>	311±11	9.99±0.61
Zn koncentrācija šķīdumā 0 mg L ⁻¹ <i>The content of Zn in solution</i>	297±18	8.33±0.38
Zn koncentrācija šķīdumā 10 mg L ⁻¹ <i>The content of Zn in solution</i>	288±14	6.98±0.56

6. tabulas turpinājums / Continue of table 6

Mikroelementu koncentrācija šķidumā / Concentration of microelements in solution, mg L⁻¹	Savienojumi / Compounds	
	Kopējo fenolu saturs / Total phenolic content, mg GAE 100 g⁻¹ sausnas / DW	Individuālu fenolu summa / Individual phenolic content, mg 100 g⁻¹ sausnas / DW
Zn koncentrācija šķidumā 50 mg L ⁻¹ <i>The content of Zn in solution</i>	233±17	7.74±0.49
Zn koncentrācija šķidumā 100 mg L ⁻¹ <i>The content of Zn in solution</i>	275±16	9.09±0.41

Lielākais kopējo fenolu saturs noteikts paraugam, kura iegūšanai izmantoja šķidumu ar selēna koncentrāciju 17 mg L⁻¹, kas ir par 16% lielāks, salīdzinot ar kontroles paraugu. Individuālu fenolu summa rudzu iesalā palielinājās apmēram divas reizes, salīdzinot ar kontroles paraugu. Līdzīgi rezultāti publicēti citos darbos, kas norāda, ka selēns palielina fenolu saturu augos (Motomura *et al.*, 2008). Ibrahim (2014) apgalvo, ka augu antioksidatīvas sistēmas stimulācijas ceļā Se joni var paaugstināt augu izturību pret abiotiskiem stresa faktoriem.

Līdzīgi selēnam, pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka analizētās vara koncentrācijas (20 un 50 mg L⁻¹) pozitīvi ietekmē fenolu saturu rudzu iesalā. Lielākais kopējo fenolu saturs noteikts paraugam, kura iegūšanai izmantoja šķidumu ar vara koncentrāciju 50 mg L⁻¹, kas ir par 34,6% lielāks, salīdzinot ar kontroles paraugu. Salīdzinot ar kontroles paraugu, individuālu fenolu summa rudzu iesalā būtiski palielinājās visos analizējamos paraugos, kuru iegūšanai izmantoja vara piedevas ($p<0,05$; $\alpha=0,05$). Lielāka individuālu fenolu summa noteikta paraugam, kura iegūšanai izmantoja šķidumu ar vara koncentrāciju 50 mg L⁻¹. Eksperimentā iegūtie rezultāti ir līdzīgi ar citu autoru rezultātiem, kuru pētījumi liecina, ka fenolu saturs augos palielinās, palielinoties mikroelementu (Cu un Zn) saturam (Vinod *et al.*, 2012; Hamid *et al.*, 2010; Ganeva, Zozikova 2007).

Kā zināms, varš ir metāls ar vairākām iespējamām oksidēšanas pakāpēm, kas veicina skābekļa aktīvo formu un brīvo radikāļu veidošanos, kā arī izsauc oksidēšanas stresu augu šūnās. Graudu apstrāde ar varu palielina oksidēšanas stresu, kas savukārt izsauc antioksidantu enzīmu aktivāciju – polifenolu saturu palielinājumu (Скрыпник *et al.*, 2014; Алобайди, 2013). Tā var izskaidrot polifenolu pieaugumu analizētajos rudzu iesala paraugos.

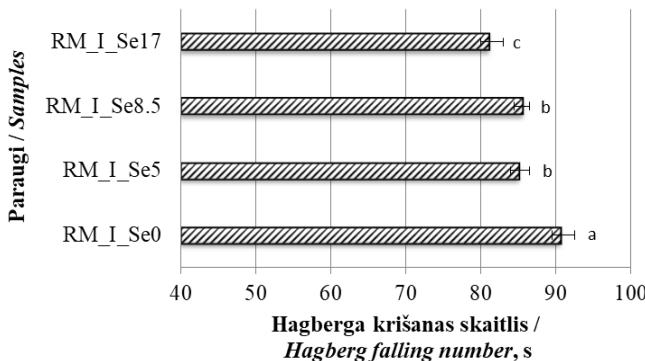
Polifenolu saturu palielinājums rudzu iesalā liecina par oksidēšanās procesa intensitātes izmaiņām šūnā. Tas varētu tikt uzskatīts kā adaptācijas aizsargmehānisms, kas uz antioksidantu līmeņa pieauguma rēķina ļauj palielināt augu izturību pret nelabvēlīgu faktoru ietekmi, kā, piemēram, paaugstināta vara koncentrācija (Скрыпник *et al.*, 2014).

Analizējot iegūtos rezultātus par cinka piedevu izmantošanu iesala iegūšanā, neizdevās iegūt sakarību, pēc kuras varētu viennozīmīgi apgalvot, ka Zn veicina vai kavē fenolu veidošanos. Pēc iegūtajiem rezultātiem (6. tab.) var secināt, ka visas analizētās cinka koncentrācijas samazina kopējo fenolu saturu rudzu iesalā, salīdzinot ar kontroles paraugu. Savukārt lielāka individuālo fenolu summa tika noteikta paraugam, kura iegūšanā izmantoja šķidumu ar cinka koncentrāciju 100 mg L^{-1} . Krievu pētniece Salihova (Салихова, 2016), aprakstot savu zinātniskā pētījuma rezultātus par cinka jonu ietekmi uz antioksidantu līmeni rudzu dīglos, apgalvo, ka lielāks polifenolu saturs noteikts, ja cinka koncentrācijas šķidumā ir no 500 līdz 1000 mg L^{-1} , bet mazākās koncentrācijās tas būtiski nemainījās. Primārās izmaiņas smago metālu ietekmē notiek šūnu līmenī un izpaužas skābekļa aktīvo formu ģenerācijā un oksidēšanas stresa veidošanā. Fenolu satura pieaugums ir augu atbildes reakcija oksidēšanas bojājumu samazināšanai, kurus izsauc cinks.

5. Ar mikroelementiem bagātināta iesala ietekme uz krišanas skaitli un viskozitāti miltos

Ar selēnu bagātināta iesala ietekme uz krišanas skaitli rudzu miltos

Lai noteiktu iesala, kas ir bagātināts ar mikroelementu selēnu, ietekmi uz miltu reologiskām īpašībām, tika pagatavoti miltu paraugi, kuriem pievienoja analizējamo iesalu. Dažādu selēna koncentrāciju ietekme uz krišanas skaitli rudzu miltos ar pievienotu iesalu ir atspoguļota 13. attēlā.



RM_I_Se0: rudzu milti+iesals (Se koncentrācija 0 mg L^{-1}); RM_I_Se5: rudzu milti+iesals (Se koncentrācija 5 mg L^{-1}); RM_I_Se8,5: rudzu milti+iesals (Se koncentrācija $8,5 \text{ mg L}^{-1}$);
RM_I_Se17: rudzu milti+iesals (Se koncentrācija 17 mg L^{-1});

13. att. Ar selēnu bagātināta iesala ietekme uz krišanas skaitli miltos /
Fig. 13. Enriched malt with selenium effect on falling number in flour

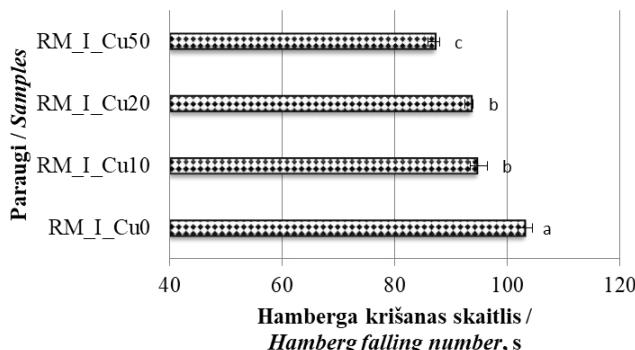
Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

Krišanas skaitlis rudzu miltiem bez pievienota iesala ir 200 s. Pētījumā iegūtie rezultāti rāda, ka visas analizētās selēna koncentrācijas šķidumos būtiski samazina krišanas skaitli analizējamos paraugos, salīdzinot ar kontroles paraugu ($p<0,05$, $\alpha=0,05$). Zemākais krišanas skaitlis (81 s) noteikts paraugam (RM_I_Se17), kuru iesala pagatavošanā izmantoja selēnu ar koncentrāciju šķidumā 17 mg L^{-1} , salīdzinot ar kontroles paraugu tas samazinājās par 10,5%. Krišanas skaitlis (KS) raksturo cietes īpašības un α -amilāzes aktivitāti. Liels krišanas skaitļa samazinājums parasti liecina par lielu hidrolītisko enzīmu aktivitāti rudzu graudos (Salmenkallio-Marttila, Hovinen, 2005). Pētījumā iegūtie rezultāti liecina par mikroelementu - Se pozitīvo ietekmi uz amilāzes aktivitātes pieaugumu analizētajos paraugos.

Ar varu bagātināta iesala ietekme uz krišanas skaitli rudzu miltos

Lai noteiktu iesala ietekmi uz miltu reologiskām īpašībām, tika pagatavoti miltu paraugi, kuriem pievienoja iesalu, kas bagātināti ar mikroelementu – varu. Dažādu vara koncentrāciju ietekme uz krišanas skaitli rudzu miltos ar pievienotu iesalu ir parādīta 14. attēlā.

Krišanas skaitlis rudzu miltiem bez pievienota iesala ir 200 s. Pētījuma iegūtie rezultāti rāda, ka līdzīgi selēnam, visas analizētās vara koncentrācijas šķidumos būtiski samazina krišanas skaitli paraugos, salīdzinot ar kontroli ($p<0,05$, $\alpha=0,05$). Zemākais krišanas skaitlis ($87\pm1,0$ s) noteikts paraugam, kuru iesala pagatavošanā izmantoja varu ar koncentrāciju šķidumā 50 mg L^{-1} , salīdzinot ar kontroles paraugu tas samazinājās par 15,5%.



RM_I_Cu0: rudzu milti+iesals (Cu koncentrācija 0 mg L^{-1}); RM_I_Cu10: rudzu milti+iesals (Cu koncentrācija 10 mg L^{-1}); RM_I_Cu20: rudzu milti+iesals (Cu koncentrācija 20 mg L^{-1});
RM_I_Cu50: rudzu milti+iesals (Cu koncentrācija 50 mg L^{-1});

14. att. **Ar varu bagātināta iesala ietekme uz krišanas skaitli miltos / Fig. 14. Enriched malt with copper effect on falling number in flour**

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) /
Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

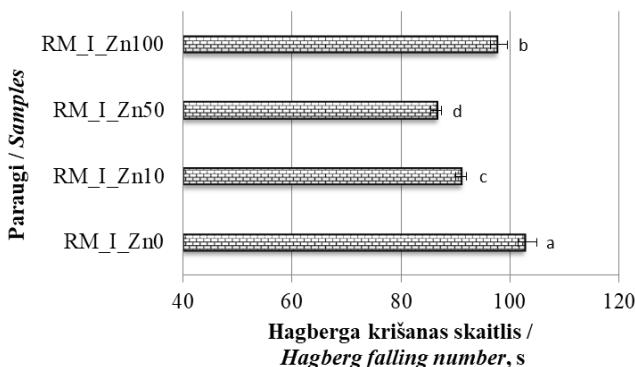
Krišanas skaitlis rudzu miltiem bez pievienota iesala ir 200 s. Pētījuma iegūtie rezultāti rāda, ka līdzīgi selēnam, visas analizētās vara koncentrācijas šķīdumos būtiski samazina krišanas skaitli paraugos, salīdzinot ar kontroli ($p<0,05$, $\alpha=0,05$). Zemākais krišanas skaitlis ($87\pm1,0$ s) noteikts paraugam, kuru iesala pagatavošanā izmantoja varu ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} , salīdzinot ar kontroles paraugu tas samazinājās par 15,5%.

Krišanas skaitlis ir α -amilāzes aktivitātes rādītājs, ko plaši izmanto rudzu miltu cepamīpašību raksturojumam. Jo augstāka ir autolītiskā aktivitāte, jo mazāks ir krišanas skaitlis. Jo mazāka ir fermentu aktivitāte, jo krišanas skaitlis ir lielāks (Gaaloul *et al.*, 2011; Kunkulberga *et al.*, 2007; Hansen, 2004). Pētījumā iegūtie rezultāti liecina par mikroelementa - Cu pozitīvo ietekmi uz amilāzes aktivitātes pieaugumu analizētajos paraugos.

Ar cinku bagātināta iesala ietekme uz krišanas skaitli rudzu miltos

Dažādu cinka koncentrāciju ietekme uz krišanas skaitli rudzu miltos ar pievienotu iesalu ir atspoguļota 15. attēlā.

Iegūtā pētījuma rezultāti norāda, ka cinks līdzīgi selēnam un varam būtiski ietekmēja krišanas skaitli analizētajos paraugos ($p<0,05$; $\alpha=0,05$). Eksperimentā konstatēja, ka, pievienojot rudzu miltiem iesalu, kuru pagatavošanai izmantoja cinku ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} , krišanas skaitlis samazinājās par 15,6%, salīdzinot ar kontroles paraugu, kurā mikroelementu piedevas netika pievienotas.



RM_I_Zn0: rudzu milti+iesals (Zn koncentrācija 0 mg L^{-1}); RM_I_Zn10: rudzu milti+iesals (Zn koncentrācija 10 mg L^{-1}); RM_I_Zn50: rudzu milti+iesals (Zn koncentrācija 50 mg L^{-1});
RM_I_Zn100: rudzu milti+iesals (Zn koncentrācija 100 mg L^{-1});

15. att. Ar cinku bagātināta iesala ietekme uz krišanas skaitli miltos / Fig. 15. Enriched malt with zinc effect on falling number in flour

Vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, būtiski neatšķiras ($p>0,05$) / Values, marked with the same letter, are not significantly different ($p>0,05$)

Iegūtie rezultāti rāda, ka cinks pozitīvi ietekmēja α -amilāzes aktivitāti rudzu iesalā un lielāka α -amilāzes aktivitāte noteikta paraugam, kuru pagatavošanā izmantoja cinku ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} .

Ar mikroelementiem bagātināta iesala ietekme uz rudzu miltu viskozitāti

Cepamīpašības lielā mērā ir atkarīgas no cietes klīsterizācijas un α -amilāzes fermentatīvas aktivitātes miltos. Ľoti liela aktivitāte novēd pie pastiprinātas cietes sadalīšanas, kā rezultātā ciete zaudē savas ūdens saistīšanas spējas klīsterizācijas laikā. Lai raksturotu viskozitāti, rudzu miltu paraugiem uzņemtas amilogrammas līknes. Amilogrammas līknes iegūšanai izmantoja rudzu miltus un analizējamos iesala paraugus.

Pētījumā iegūtās amilogrammas līknes rāda, ka ar mikroelementiem Se, Cu un Zn bagātināts rudzu iesals būtiski ietekmē cietes hidrolizēšanas ātrumu miltos, salīdzinot ar amilogrammas līkni kontroles paraugam, kuram mikroelementi netika pievienoti ($p<0,05$; $\alpha=0,05$). Tas izpaužas ar līknes augstuma būtisku samazinājumu un mazāku amilogrammas platumu bagātināta iesala klātbūtnē. Ir zināms, ka līknes augstums un platumus raksturo ūdens – miltu suspensijas maksimālo viskozitāti cietes klīsterizācijas laikā un klīsterizācijas ilgumu.

Lielāko maksimālo viskozitātes kritumu noteica paraugam kura iesala pagatavošanā izmantoja varu ar koncentrāciju šķīdum 20 mg L^{-1} . Viskoziitāte samazinājās par 30%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Analizējamam miltu paraugam, kuram pievienoja iesalu ar Se koncentrāciju šķīdumā 5 mg L^{-1} , viskozitāte samazinājās par 10,4%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Pievienojot cinku ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} , viskozitāte samazinās par 3,9%. Tas izskaidrojams ar to, ka bagātināta iesala enzīmi iedarbojas uz cietes granulām, kas sāk klīsterizēties, un ievērojami paātrina to degradāciju, veidojot tajos rievas un dobumus (Ямашев *et al.*, 2017).

Pētījumā iegūtie rezultāti liecina par mikroelementu – Se, Cu un Zn pozitīvo ietekmi uz amilāzes aktivitātes pieaugumu, analizējamos paraugos amilolītiskie fermenti efektīvi un ātri hidrolizē rudzu miltu cieti. Dotās iesala īpašības var izmantot miltu pārstrādē ar zemu amilolītisko aktivitāti, no kurās maize iznāk ar sausu un drupenu mīkstumu. Zinātnieks Leon u.c. (2002) savā pētījumā norāda, ka ar mikroelementiem bagātinātā iesalā cietes hidrolīze fermentu iedarbībā notiek līdz mazmolekulāriem dekstrīniem ar glikozes atlikumiem no 3 līdz 7, kas palēnina maizes sacietēšanas laiku un bremzē cietes hidrolīzi maizes mīkstumā.

Pētījumā izmantotās metodes krišanas skaitļa un viskozitātes noteikšanai ar mikroelementu maisījumu bagātinātos rudzu miltos uzrāda, ka mikroelementu selēns un vara maisījums negatīvi ietekmē amilāzes aktivitāti analizējamos paraugos. Savukārt, mikroelementu cinka un vara maisījums uzrāda pretējus rezultātus. Krišanas skaitlis analizējamā paraugā samazinājās par 2,8%, viskozitāte par 27,9%, salīdzinot ar kontroles paraugu. Iegūtie rezultāti liecina

par analizējamo mikroelementu (Zn/Cu) maisījuma pozitīvo ietekmi uz amilāzes aktivitāti analizējamos paraugos.

6. Mikroelementu ietekme uz plaucējuma īpašībām

Analizējamo plaucējumu gatavošanas laikā rudzu bīdelētiem miltiem pievienoja iesalu, kuri iegūti diedzēšanas laikā, izmantojot dažādas mikroelementu piedevas (7. tabula). Plaucējuma gatavošanā iesala satus ir robežas no 2 līdz 6%. Analizējamiem plaucējumiem pievienotā iesala satus bija 2,9% (7. tabula).

Iegūtie rezultāti parāda, ka cietāka konsistence (72,54 N) ir plaucējumam, kurā izmantoja rudzu bīdelētos miltus bez pievienota iesala (7. tabula). Tas izskaidrojams ar to, ka plaucējumā cietes granulas uzbriest un noteiktā temperatūrā (apmēram +50 °C) uzsākas cietes klīsterizācija, plaucējums veidojas viskozs un ciets. Saīdzinot šo rezultātu ar plaucējumu, kuram tika pievienots iesals bez mikroelementu piedevas (kontroles paraugs), konsistence samazinājās par 70,3%. Pētījumā iegūtos datus var izskaidrot ar to, ka šajā laikā vērojama intensīva amilāzes darbība, kuras rezultātā uzsākas cietes šķelšana un plaucējuma konsistence paliek skidrāka.

7. tabula / Table 7
Selēna, vara un cinka ietekme uz plaucējuma konsistenci /
Influence of selenium, copper and zinc on the consistency of the scald consistency

Nr. / No.	Plaucējums / Scald	Konsistence / Consistency, N
1.	Rudzu milti / Rye flour + karsts ūdens / hot water	72.54±1.28
2.	Rudzu milti / Rye flour + iesals / malt + karsts ūdens / hot water	42.6±0.95
3.	Rudzu milti / Rye flour + iesals / malt (Se koncentrācija / concentration 8.5 mg L ⁻¹) + karsts ūdens / hot water	24.77±0.32
4.	Rudzu milti / Rye flour + iesals / malt (Cu koncentrācija / concentration 20 mg L ⁻¹) + karsts ūdens / hot water	32.84±0.68
5.	Rudzu milti / Rye flour + iesals / malt (Zn koncentrācija / concentration 50 mg L ⁻¹) + karsts ūdens / hot water	35.42±0.72
6.	Rudzu milti / Rye flour + iesals / malt (Se un / and Cu koncentrācija / concentration 8.5 un 10 mg L ⁻¹) + karsts ūdens / hot water	29.16±0.64
7.	Rudzu milti / Rye flour + iesals / malt (Zn un / and Cu koncentrācija / concentration 50 un 20 mg L ⁻¹) + karsts ūdens / hot water	27.92±0.51

Eksperimentā iegūtie rezultāti pierāda, ka dažādi mikroelementi, kuri tika izmantoti iesala gatavošanas laikā, būtiski ietekmē iesala kvalitāti un līdz ar to

plaucējuma īpašības - konsistenci. Šķidrāka konsistence noteikta plaucējumam, kuru pagatavošanai izmantoja iesalu ar Se piedevu ($8,5 \text{ mg L}^{-1}$), tā samazinājās par 41,9%, salīdzinot ar plaucējumu, kuru pagatavošanā izmantoja iesalu bez mikroelementu piedevas. Savukārt plaucējumiem, kuru pagatavošanai izmantoja iesalu ar Cu (20 mg L^{-1}) un Zn (50 mg L^{-1}) piedevām, konsistence samazinājās par 22,9% un par 31,5%, salīdzinot ar plaucējumu, kuru pagatavošanā izmantoja iesalu bez mikroelementu piedevas. Tas izskaidrojams ar to, ka mikroelementi selēns, varš un cinks palielina fermenta α -amilāzes aktivitāti iesalā.

Eksperimentā iegūtie rezultāti pierāda, ka dažādi mikroelementi, kuri tika izmantoti iesala gatavošanas laikā, būtiski ietekmē iesala kvalitāti un līdz ar to plaucējuma īpašības - konsistenci. Šķidrāka konsistence noteikta plaucējumam, kuru pagatavošanai izmantoja iesalu ar Se piedevu ($8,5 \text{ mg L}^{-1}$), tā samazinājās par 41,9%, salīdzinot ar plaucējumu, kuru pagatavošanā izmantoja iesalu bez mikroelementu piedevas. Savukārt plaucējumiem, kuru pagatavošanai izmantoja iesalu ar Cu (20 mg L^{-1}) un Zn (50 mg L^{-1}) piedevām, konsistence samazinājās par 22,9% un par 31,5%, salīdzinot ar plaucējumu, kuru pagatavošanā izmantoja iesalu bez mikroelementu piedevas. Tas izskaidrojams ar to, ka mikroelementi selēns, varš un cinks palielina fermenta α -amilāzes aktivitāti iesalā.

Datu statistiskās analīzes rezultātā konstatēts, ka abu mikroelementu Zn/Cu (50 un 20 mg L^{-1}) un Se/Cu ($8,5$ un 10 mg L^{-1}) izmantošana iesala gatavošanas laikā samazināja plaucējuma konsistenci par 34,5% un 31,5%, salīdzinot ar plaucējumu, kuru pagatavošanā izmantoja iesalu bez mikroelementu piedevas (7. tabula). Iegūtie eksperimenta rezultāti liecina par to, ka mikroelementu izmantošana iesala gatavošanas laikā paaugstina α -amilāzes aktivitāti iesalā un aktīvāk darbojas plaucējumā. Tas nozīmē, ka tie ir piemērotāki un izdevīgāki izmantošanai maizes ražošanā, kur nepieciešams gatavot plaucējumu.

SECINĀJUMI

1. Pētījumā iegūtie rezultāti apstiprina izvirzīto hipotēzi: mikroelementiem Se, Cu un Zn ir atšķirīga akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā, un tie izmaina iesala tehnoloģiskās īpašības un bioloģiski aktīvo savienojumu saturu.
2. Mikroelementu selēna, vara un cinka izmantošana būtiski ietekmē rudzu graudu dīgtspēju. Lielākais izdīgušo graudu skaits ir paraugiem, kuru pagatavošanai izmantoja selēnu ar koncentrāciju šķīdumā $8,5 \text{ mg L}^{-1}$, varu ar koncentrāciju šķīdumā 10 mg L^{-1} un cinku ar koncentrāciju šķīdumā 50 mg L^{-1} .
3. Se, Cu un Zn izmantošana rudzu iesala ražošanā būtiski palielina mikroelementu saturs rudzu iesalā. Selēna saturs iesalā pieaug 138 reizes (koncentrācija šķīdumā 17 mg L^{-1}), salīdzinot ar kontroli, bet akumulācijas efektivitāte ir robežās no 10,6 līdz 12,2%. Attiecīgi vara saturs pieaug 19 reizes (koncentrācija šķīdumā 50 mg L^{-1}) un akumulācijas efektivitāti no 30,6 līdz 36,9%, bet cinka saturs (koncentrācija šķīdumā 100 mg L^{-1}) pieaug 6,7 reizes ar akumulācijas efektivitāti no 49,3 līdz 57%.
4. Mikroelementu selēna, vara un cinka klātbūtne ietekmē α -amilāzes un diastāzes aktivitāti rudzu iesalā, kā arī krišanas skaitli un viskozitāti paraugos, kuriem pievienoja analizējamo rudzu iesalu.
5. Lielāka amilāzes aktivitāte ir noteikta iesala paraugiem, kuru pagatavošanai izmantoja šķīdumus ar selēna koncentrāciju šķīdumā 5 mg L^{-1} , vara koncentrāciju 50 mg L^{-1} un cinka koncentrāciju 50 mg L^{-1} . Visas analizētās selēna un vara koncentrācijas būtiski samazina ($p<0,05$; $\alpha=0,05$) krišanas skaitli un viskozitāti paraugos, kas liecina par amilāžu aktivitātes palielināšanos.
6. Selēns un varš palielina polifenolu saturu rudzu iesalā, savukārt, cinka sāļu piedevas to samazina. Tika identificēti 19 fenolu tipa savienojumi, no kuriem 14 ir fenolskābes, 4 flavonoīdi un 1 flavanoīds (katehīns). α -resorcīlskābes saturs bija lielāks salīdzinājumā ar citiem noteiktiem fenola savienojumiem gan kontroles paraugā, gan paraugos ar Se, Cu un Zn piedevām ($1,95 - 2,92 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Kontroles un paraugos ar Zn piedevu, catehīna saturs bija zemākais ($0,06 - 0,17 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Selēna un vara piedevas veicina catehīna veidošanos.
7. Mikroelementu maisījuma (Se/Cu un Zn/Cu) izmantošana iesala iegūšanas laikā būtiski ietekmē mikroelementu saturu un akumulācijas efektivitāti rudzu iesalā. Vara un selēna saturs rudzu iesalā pieauga 6,2 un 45 reizes, savukārt cinka un vara saturs 3,6 un 10,1 reizes, salīdzinot ar kontroles paraugu. Mikroelementu (Se un Cu) akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā ir 9,3 un 30,5%, savukārt Zn un Cu akumulācijas efektivitāte rudzu iesalā ir 56,7 un 39,5%, vienlaicīgi izmantojot abus mikroelementus.

8. Vienlaicīga divu mikroelementu (Se/Cu) izmantošana samazina amilāžu aktivitāti rudzu iesalā, kā arī palielina krišanas skaitli un viskozitāti, salīdzinot ar paraugiem, kuriem pievienots tikai viens mikroelements.
9. Mikroelementu (Se, Cu un Zn), kā arī mikroelementu maisījumu (Se/Cu un Zn/Cu) izmantošana būtiski ietekmē rudzu plaucējuma cietību. Ar mikroelementiem bagātinātas rudzu iesala piedevas samazināja plaucējuma konsistenci no 16,8 līdz 41,9%, salīdzinot ar kontroles paraugu.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Rye malt has a wide range of uses in the production of bread, kvass and alcohol. Rye malt is added to foods to give the product a taste-specific taste (Кунце, 2000). It is an intermediate product used in the manufacture of malt for coffee, confectionery, biscuits, malt pastry, malt extract, breakfast cereals, whiskey and malt vinegar (Briggs, 1998). In Germany and Austria there are special types of beer in which rye malt is used, but the amount of rye malt used is low compared to barley malt (Hübner *et al.*, 2010). In Latvia there are old traditions of production of rye malt followed by rye malt producers in Latvia - LPKS "LATRAPPS" and SIA "Naukšēni". Not to mention such a wide range of applications, it should be noted that there is hardly any literature on rye malt. Scientists are more interested in barley malt, which is the main raw material for brewing (Hübner *et al.*, 2010).

The unique composition of rye malt is obtained by natural rye sprouting, during which a large amount of useful compounds are formed in the grain. Rye malt vitamins, plant phenols and other biologically active substances source (Смирнова *et al.*, 1989; Bewley, 1997; Игнатенко, 2011). In the production of bread, rye malt is used as an additive, resulting in breads with a more pronounced aroma and taste, the bread structure remains more flexible and more intense in color. These properties are important for food products which are made from low quality flour (Šabovics 2014). A good malt can be obtained by creating suitable grain varieties.

The malt production process usually involves three stages: soaking, germination and drying, based on complex biological, biochemical, chemical and physical processes (Меледина, 2013; Kulp, Ponte, 2000; Briggs, 1998). Taking into account the technological peculiarities of the production of malt - the grinding of the grain, it is possible to enrich it with various compounds. For example, the use of lactic acid and diammonium phosphate during maturation softens the process of malt germination, reduces the loss during respiration and germ formation. Gibberellic acid and potassium bromide reduce the mucus germination to four days. 0.1% alkali solutions increase the rate of water penetration in the grain, stimulate the leaching of phenols and bitters from the grain shell, which has the ability to regulate the growth processes in the soaked grain (Меледина, 2013).

The literature does not contain information on microelemental enrichment of malt. Trace elements after plant ability to accumulate, are classified as weakly accumulating, medium and very well accumulating. Grains are selenium-weakly cumulative plants. Plants are on average well accumulating power, while zinc accumulates very well.

Microelements - selenium, copper and zinc are necessary for plants and animals for normal life processes (Цховребов *et al.*, 2012; Булыгин *et al.*, 2007). They participate in important processes such as

breathing, photosynthesis, protein, carbohydrate and fat metabolism, affecting the activity of enzymes and their activity (Protasova, 1998; Orlov, 1998).

Summarizing the theoretical and experimental data found in the literature, the **hypothesis** of the doctoral dissertation is raised: the microelements Se, Cu and Zn have different accumulation efficiency in rye malt, they change the technological properties of malt and the content of biologically active compounds.

The hypothesis is proved by defensive **theses**:

1. microelements are affected by germination of rye grains;
2. malt with microelements (Se, Cu and Zn) can be enriched, adding salts of these elements to the salt of the rye grains;
3. different microelements in rye malt have different accumulation efficiency;
4. microelements change the activity of amylase in malt, which is comparable to changes in rheological properties of flour if rye malt is added;
5. microelements in enriched rye malt have a higher content of total and separate phenols than control samples;
6. rye malt enriched with trace elements further reduces the scald consistency.

The **aim** of the dissertation is to study the quality of rye malt enriched with Se, Cu and Zn trace elements and the efficiency of trace element accumulation in malt.

To achieve the goal, the following **tasks** have been set:

1. to study the effect of microelements (Se, Cu, Zn) on grain germination;
2. determine the content of microelements (Se, Cu, Zn) in rye malt and calculate their accumulation efficiency;
3. to evaluate the effect of micronutrients on the activity of amylase in rye malt;
4. determine the total and individual phenol content of trace elements in enriched rye malt;
5. compare the effect of one (Se, Cu, Zn) and two trace elements (Se/Cu; Zn/Cu) on the accumulation efficiency, the amylase activity in the rye malt and the rheological properties of the flour;
6. check the rheological properties of the rye flour (falling number and viscosity) if they are accompanied by trace enriched malt;
7. test the effect of enriched malt on the scald consistency.

The **novelty** and **scientific significance** of the doctoral dissertation: for the first time, the use of the microelements Se, Cu and Zn has been studied in the preparation of rye malt. The efficiency of Se, Cu and Zn accumulation in rye malt was studied. The influence of microelements on the changes in the content of phenols in malt has been determined, as well as the dependence of amylase activity on the content of microelement in malt has been investigated. Changes in the technological properties of rye malt enriched with microelements and their suitability for rye bread baking preparation have been determined.

The **economic significance** of the doctoral dissertation. A new method for bio-accumulation of trace elements in malt has been developed, and the efficiency of accumulation of selenium, copper and zinc has been calculated. The obtained malt samples have higher enzymatic activity than the traditional ones. It gives you the opportunity to reduce the consumption of malt in the preparation of rye bread crumbs and other products used in the production of malt. In the prospect of trace elements, enriched malt could be used as a new type of dietary supplement.

APPROBATION OF THE RESEARCH WORK

The research results are summarized and **published** 11 publications in peer-reviewed research articles in English; 7 publications are included in the databases SCOPUS and EBSCOhost (see page 6).

The results of the research have been **reported** at 10 international scientific and practical conferences and symposiums in Latvia, Lithuania, Estonia, Greece and Russia (see page 7).

MATERIALS AND METHODS

Research time and place

The research was conducted between 2011 and 2015 in:

- laboratories of the Department of Chemistry of the Faculty of Food Technology of the LLU: Laboratory of Analytical and Inorganic Chemistry, Scientific Laboratory of Natural Chemistry;
- Faculty of Agriculture, Faculty of Agriculture, Grain and Seed Training Scientific Laboratory;
- The University of Latvia, Faculty of Chemistry;
- SIA Naukšēni company laboratory.

The research **object** is the rye (breed 'Kaupo') grains grown in the northern part of the Vidzeme region. 2012 is the year of harvesting or harvesting of the cereals to be analyzed. Rye Grain Quality Score:

- color: characteristic of whole grains;
- odor: characteristic of whole grains, no clay, mold and adjacent scents;
- condition: healthy, not bled;
- humidity: 12.3%;
- volume weight: 744 g L^{-1} ;
- free from impurities and pests.

Materials: microelements (selenium, copper, zinc) salts, containing rye flour and water, the characteristics of which are summarized in Table 1. Rye flour was used in methods of determination of fall, viscosity and hardness.

Effect of trace elements on rye grain germination

Rye grain germination characterized life processes and to determine the number of germinated grains (%) after five days. During the soaking of rye grains, various trace elements are added to the water: selenium, copper and zinc, in the concentrations of which are given in Table 2. How to control rye grains soaked in distilled water without the addition of microelements.

Rye grain germination scheme, with the addition of microelements, is given in Figure 1.

Rye Malt preparation technology

Experimental malt preparation was carried out according to the production technology and quality requirements for rye dry non-fermented (white or non-withered) malt. The process of malt preparation begins with rye grains, during which the moisture content of the grain increases rapidly, providing favorable conditions for germination. Soaking the rye lasts for 48 hours at +6 to +12 °C. Rye sprouting lasts for 72 h, +6 to +15 °C and depends on the physical parameters of the grain and the external conditions of the sprouting. During the soaking of rye grains, various microelements are added to the water: selenium, copper and zinc, in the concentrations of which are given in Table 3.

For the control sample (from I to VI), the trace elements were not used, while for sample VII, rye malt was accepted for the account, using a solution containing 8.5 mg of L⁻¹ selenium at the time of cooking. When the seed germ reaches a size of 2/3 of the full grain size and its endosperm has been partially modified, the life processes in the grain are stopped by washing in distilled water and then drying them. Drying lasts for 24 hours at +30 to + 80 °C. The drying regime and the strict observance of its parameters are an important factor in the preparation of rye malt. For drying was used triple layer dryer. The scheme for preparing rye malt using micronutrients is shown in Figure 2.

The structure of the research by stages is shown in Figure 3.

Characteristics of the analysis methods used in the study

The methods used for analyzing the research are summarized in Table 4.

Mathematical analysis of results

Data mathematical processing was performed using mathematical statistics methods. Calculations are made with the MS Excel program and IBM SPSS 21.0. statistical program using the following test methods: single-factor and two-factor variance analysis (ANOVA). The hypotheses put forward are tested with the p-value method and the factors are estimated to be significant if p-value $\alpha < 0.05$. The hypothesis of the mean of two generic units $H_0: \mu_1 = \mu_2$ is checked by calculating the p-value of the T-test. For the interpretation of the results it is assumed that $\alpha=0.05$ with 95% confidence, unless otherwise indicated. For all the results, average arithmetic and standard deviation values are calculated.

The correlation and regression analysis and the least squares method are used for the correlation of different features. If the relationship between the

features is linear, the determination coefficient coincides with the correlation coefficient: R² equals r. If the correlation coefficient value is $0.5 \leq |r| \geq 0.8$, there is a moderate linear correlation between the studied features. If $|r| \geq 0.8$, then there is a close linear relation between the investigated features (Arhipova, Bălina, 2006).

RESULTS AND DISCUSSION

1. Effect of microelements on rye grain germination

To prove the dissertation defended thesis: micronutrients affects rye grain germination, analyzing experimental results are determined and analysis of microelements - selenium, copper and zinc effects of rye grain germination. As a control used rye malt, which is being prepared to use deionized water free of micro-nutrient supplements.

The effect of selenium on germination of rye grain

Studies on rye grain germination dependence of selenium was done using sodium selenate (Na_2SeO_4) aqueous solution of selenium concentration of 1; 3; 5; 8.5; 10 and 17 mg L^{-1} . The results of the study are shown in Figure 4.

The results of the study show that all analyzed Se concentrations contribute to the germination of rye grains compared to the control sample. As a result of statistical data analysis, the increase in the concentration of sodium selenate in the solution significantly increases the germination of rye grains ($p=0.001$; $\alpha=0.05$) (see Figure 4). The highest germination of rye grains was determined for a sample where the concentration of Se in the solution was 8.5 mg L^{-1} , an increase of 7.1% compared to the control sample. The results obtained are similar to the results of other authors' research (Dūma, 2010).

Hasanuzamann (2010) co-authored the effect of selenium on the germination process in cereals with antioxidant activity. Increased activity of selenium in grains can be explained by the fact that during the critical phases of plant development, such as seed germination and germ formation, there is a higher level of respiration. During these periods, the plants are particularly susceptible to various stresses. The mentioned stages of development are characterized by the high sensitivity of the antioxidative activity to the oxygen concentration, as the respiration rate increases, while the antioxidant system has not yet developed. In the case of grains germinating a rapid increase in cell volume, a decrease in the antioxidant concentrations of enzymic and non-insensitive origin is promoted. Selenium produces antioxidant protection during this period. The Russian scientist Soloveva (2014) explains the need for herbs for selenium in a given developmental phase with the high need for proline (the main component of cell wall proteins), whose formation increases in the presence of trace element selenium. Investigator Yu-Dong Wang (2013) with colleagues in his study of rice enrichment with selenium, one of the

reasons for the growth of rice plants, mentions increased activity of antioxidants in plants. By activating the endogenous antioxidant system, it is possible to increase the amount of selenoglutathione (Se-GSH).

Effect of copper on germination of rye grain

Investigations on the dependence of rye germinating germination on copper content in water were copper sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) aqueous solutions with copper concentration 1; 10; 50; 100 and 500 mg L⁻¹.

As a result of data mathematical processing, it was found that all analyzed copper concentration solutions significantly affected the germination of rye grains (Fig. 5) compared to the control sample ($p=0.024$; $\alpha=0.05$). The biggest sprouting number of grains was determined for a sample of 10 mg L⁻¹ in the solution of copper. In this concentration, the germination of rye grain increased by 12.3% compared to the control sample. It should be noted that in the most analyzed copper concentration in solution (500 mg L⁻¹) grain germination significantly decreased by 3.7% compared to the control grains ($p<0.05$; $\alpha=0.05$).

The results can be explained by the fact that large concentrations of copper negative impact on plants, causing a variety of problems, such as growth, photosynthesis and respiration inhibition, as well as interfere with protein synthesis and donor acceptor, for inactivation of metabolic enzyme activity and water exchange processes in plant cells (Алобайди , 2013). Russian researcher Titov (2007) with co-authors believed that the toxicity of copper depends on the ability of copper ions to form durable covalent bonds and the stability of their compounds with protein SH groups. In contrast, certain concentrations of trace element copper increases respiration rate, a positive effect on protein and carbohydrate exchange (Семина, 2009), a positive effect on plant growth and development (Булыгин *et al.*, 2007), affecting cell division and drawing process (Титов *et al.*, 2007).

The effect of zinc on the germination of rye grain

Zinc sulfate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) aqueous solutions with zinc concentration of 1; 10; 50; 100 and 500 mg L⁻¹ were used for studies on the dependence of rye germination on the zinc content of the aqueous solution used.

The mathematical treatment of the experimental data obtained using the Scheffe test determined that the microelement to be analyzed significantly affects the germination capacity of the gonads when the concentration of Zn in the solution is 10; 50; 100 and 500 mg L⁻¹ ($p<0.05$; $\alpha=0.05$). In contrast, the lower concentration of Zn in the solution (1 mg L⁻¹) did not significantly affect the germination of rye grains ($p=0.776$; $\alpha=0.05$) compared to the control sample.

The highest rye grain germination (Figure 6) was determined for a sample, which was used to obtain Zn with a concentration of 50 mg L⁻¹ in solution. In this case, rye grain germination increased by 9.6% compared to the control

sample. This result is explained by the fact that zinc has a beneficial effect on the increase in respiratory intensity (Семина, 2009).

The reasons for the increase in respiratory intensity are as follows: enzyme activity, increased energy consumption of the organism responsible for the maintenance and repair of damaged cells caused by the action of stress factors, and the need for the synthesis of organic acids, which serve as trace element healers. It is known that zinc also affects the oxidative phosphorylation of the electron transport chain, which involves the transport of electrons and protons in the mitochondria; water exchange (turgid growth, which in turn is associated with cell wall elasticity, as explained by the replacement of calcium ions with zinc) (Титов *et al.*, 2007).

2. Microelements content and accumulation efficiency in rye malt

Plants belonging to different families, differ significantly in their micro-nutrient storage capacity. Depending on the species of plants, the content of microelements can vary widely (up to 100 times and more). Scientific literature has mentioned that crops are characterized by a lower ability to accumulate microelements than those of the same family of wild plants (Вильдфлущ, 2011; Титов *et al.*, 2007). The grain coating acts as a barrier to microelements. The traceability to seed depends on the ability of the mother plant to absorb it from the soil and the subsequent transport to the seed during the development process (Kranner, Colville, 2011). Other authors are reporting that this also depends on several environmental factors, such as exposure time, plant growth pattern and absorption mechanism type, formation of elements and sampling time (Bonanno, 2011; Третьяк, Герасимов 2007).

Selenium content and accumulation efficiency in rye malt

The concentration of selenium in wheat, barley, oat and rye loaves grown in Latvia varies from $0.01533 \text{ mg kg}^{-1}$ to $0.03533 \text{ mg kg}^{-1}$ (Дұма, 2010). The amount of selenium in cereals grown in Finland is five times higher, while in Germany grown 25 times higher than in cereals grown in Latvia (Combs, 2001; Eurola, 1990).

In studies on the level of selenium and the degree of assimilation in rye malt, malt was used, which during the preparation used aqueous solutions of sodium selenate (Na_2SeO_4) with selenium concentration 5; 8.5 and 17 mg L^{-1} . The research results are presented in Figure 7.

The amount of selenium in the samples to be analyzed was in the range of 0.05 ± 0.01 to $6.9 \pm 0.3 \text{ mg kg}^{-1}$. The mathematical processing of the obtained data determined that the content of Se in the malt significantly differed among all analyzed samples and was dependent on the concentration of selenium in the solution ($p=0.002$; $\alpha=0.05$). With increasing concentration of Se in the solution, the selenium content of rye malt increased as well. If the selenium concentration in the solution was 5 mg L^{-1} , selenium content in malt increased

36 times compared to control. With increasing concentrations of Se in solution (8.5 and 17 mg L⁻¹), the selenium concentration in rye malt increased 68 and 138 times, respectively, compared to the control sample. It can be concluded that the accumulation of selenium in the malt is proportional to its concentration in the solution. The results of the study are similar to those of other researchers (Dūma, 2010; Lintschinger *et al.*, 1997).

It is known that cereals belong to plants that do not accumulate Se (Çakır *et al.*, 2012; Hasanuzzaman *et al.*, 2010; Terry *et al.*, 2000). In a research study, rye grains were calculated and analyzed in the gelling process of selenium, i.e., how many percent of the selenium grain in the solution accumulated. The results are shown in Table 5.

The most selenium is accumulated when the concentration of selenium in the solution is greatest - 17 mg L⁻¹. In this case, rye grains absorbed 12.2% of the selenium present in the solution, while the smaller amount of selenium in the solution (5 mg L⁻¹) grains received 10.6%. The acceptance of selenium differing in rye grain is due to the fact that selenium consumes selenium in the amount of grain when the amount of selenium in the solution increases (Dūma, 2010).

Copper content and accumulation efficiency in rye malt

Barley, winter and summer wheat, as well as other crops, are very sensitive to the lack of copper in the soil, but rye varies greatly with their tolerance (Каталымов, 1965). Copper accumulates more in grain (Kranner, Colville, 2011). Scientific literature finds that the copper content of rye flour is 3.02 µg g⁻¹ (Koplik *et al.*, 2006), while rye grains are 4.99 mg kg⁻¹ (Shtangeeva *et al.*, 2011). For rye malt, this indicator was determined in the study and is 2.8 ± 0.3 mg kg⁻¹.

Rye malt is analyzed for copper content and accumulation efficiency in malt, which was prepared using copper sulphate (CuSO₄ · 5H₂O) aqueous solutions with a copper concentration of 10; 20 and 50 mg L⁻¹. To control and how to make rye malt using deionised water, obtained results of the study are shown in Figure 8.

Copper content in the samples to be analyzed was in the range of 2.8 to 55.9 mg kg⁻¹. If the copper concentration in the solution was 10 mg L⁻¹, the copper content in the rye malt increased 4.4 times, but when the copper concentration in the solution increased the content of 20 mg L⁻¹ copper in rye malt by 7.3 times compared to the control sample. The content of copper in the mound was 19 times greater than the control sample, which was used to obtain a solution with the most analyzed copper concentration of 50 mg L⁻¹. Significant differences between all specimens were observed with Cu during rye grain sprouting. In its turn, special attention was paid to a sample where a 20 mg L⁻¹ solution was used for dipping and sprouting the grain. For this sample, the shoots were longer and more vigorous compared to the control sample and samples used for other copper concentrations (10 and 50 mg L⁻¹).

Table 5 shows the results of the study on the accumulation of Cu in malt. The results of the study indicate that most of the copper is accumulated from the experimental solution, in which the copper concentration is at least 10 mg L^{-1} . Rye grains absorb 36.9% of the copper in solution in this concentration, while the highest concentrations of copper in the solution (20 and 50 mg L^{-1}) absorbed 30.6% and 30.8%. Lower microelement content in plant reproductive organs is associated with the functioning of protective mechanisms that prevent the accumulation efficiency of these microorganisms in these organs (ТИТОВ *et al.*, 2007).

Zinc content and accumulation efficiency in rye malt

Zinc (Zn) is a microelement or mineral that plays an important role in the metabolism, growth and development of plants (Mousavi *et al.*, 2013). Zinc is part of several plant enzymes and proteins, as well as cofactor regulation, and is involved in many important biochemical processes. They are mainly related to carbohydrate metabolism, conversion of sugar to starch, protein metabolism, metabolism of growth regulators, pollen production, maintenance of biological membrane integrity, resistance to infection with certain pathogens, and a positive effect on crop yields (Mousavi *et al.*, 2013; Vildflush, 2011; Tishkov *et al.*, 2005). The crop's quantitative and qualitative crop is heavily dependent on the amount of zinc (Zn) in the soil (Mousavi *et al.*, 2013). It has been mentioned in the scientific literature that the introduction of zinc into the soil by fertilization increased oat grain output by 17 - 20.3% (Vildflush, 2011). Zinc content in rye flour is $24.1 \mu\text{g}^{-1}$ (Koplrik *et al.*, 2006), while rye grains account for 34.7 mg kg^{-1} (Shtangeeva *et al.*, 2011). The zinc content of the rye malt analyzed (control sample) was 24.7 mg L^{-1} .

Zinc content in rye malt is shown in Figure 9, depending on the concentration of Zn in the solution. The results of the study show that with increasing zinc concentration in the solution, the zinc content of rye malt significantly increases ($p=0.001$; $\alpha=0.05$). The highest zinc content (189 mg kg^{-1}) in rye malt was determined by zinc concentration in the solution of 100 mg L^{-1} , which increased 6.7 times compared to the control sample.

Table 5 shows the results of zinc accumulation in malt. The experimental results show that most zinc is accumulated from a solution with a minimum concentration of 10 mg L^{-1} . Rye grains in this case take up 57% of the zinc in the solution, while in the most analyzed zinc concentration in solution (100 mg L^{-1}) grains absorb 49.3%. The difference on rye accumulation grade on zinc is due to the fact that more stable compounds with cell membranes are formed at low concentration of microelements in the environment. As the concentration increases, the micronutrient binding to the cells significantly slows down.

It is possible that, with low ion concentration in the solution, saturated areas begin with the formation of more stable compounds with trace element cations.

Following these sites, the absorption saturation was triggered by other functional groups whose cetera bond strengths are significantly weaker.

The obtained results show that as the trace elements, selenium, copper and zinc concentrations increase in solutions, the trace element content in rye malt increases as well. Knowing the importance of the essential micro-nutrients in the plant kingdom (Цховребов *et al.*, 2012; Булыгин *et al.*, 2007; Protasova, 1998; Orlov, 1998), the next step in the experiment was to combine both micronutrients - selenium and copper, and zinc and copper together. The microelement concentrations were selected optimally based on the experimental results (Chapters 1 and 2). The results of the study show that the use of trace element compounds (Se/Cu and Zn/Cu) in the production of malts at different concentrations increases the content of trace elements in rye malt: the content of selenium, copper and zinc increases significantly with the concentration of trace elements in the solution ($p<0.05$; $\alpha=0.05$). The content of copper and selenium in rye malt increases by 6.2 and 45 times compared to the control sample. In contrast, zinc and copper content in rye malt increases by 3.6 and 10.1 times compared to the control sample. The obtained data indicate that there is no antagonistic relationship between the trace elements analyzed (Se/Cu and Zn/Cu). The results of the experiment also show that a higher accumulation efficiency was observed for samples that were prepared using mixtures of micronutrients. The accumulation efficiency of trace elements (Se and Cu) in rye malt is 9.3 and 30.5%, while the accumulation efficiency of Zn and Cu in rye malt is 56.7 and 39.5%.

3. Effect of microelements on activity of rye malt amylase

During the formation of malt, rye grains synthesize or activate various enzymes. The most important malt enzymes are amylases. In the preparation of dough and bread, amylase activity is a key factor in determining the functional properties of rye malt. Significant is the α -amylase content in malt. Two methods have been used to determine amilolytic activity in rye malt:

- Megazyme reagent kit (for determination of α -amylase activity);
- Phaseebus Amylase test (for the determination of diastase activity).

Effect of Selenium on the activity of rye malt amylase

Determination of α -Amylase activity using a Megazyme Reagent Kit. There are several enzymes that hydrolyse starch, but the most important of these are α -amylase. The mathematical treatment of the experimental data obtained from the Scheffe test revealed that selenium significantly influenced α -amylase activity in rye malt ($p=0.007$; $\alpha=0.05$) compared to the control sample. The higher α -amylase activity (34.8 ± 0.1 units g^{-1}) was determined for the sample to be analyzed using selenium at a concentration of 5 mg L^{-1} , an increase of 18.4% compared to a control sample in which the trace element was not used (Fig.10).

Experimental results suggest that the microelement selenium contributed to enzyme activity.

Determination of enzyme activity by Phadeb test. Different methods are used to determine diastase activity. One of them is the Phadeba Amylase test. Despite the fact that this method is usually applied to honey samples, it can also be used to detect diastase in other food samples. Diastase activity a GOTE unit is the amount of enzyme that is used to break down 0.01 g starch for 1 hour at +40 °C. The final result was expressed per 1 g of product.

After mathematical analysis of the data, it was determined that all analyte concentrations of selenium were significantly affected by diastase activity in rye malt ($p=0.011$; $\alpha=0.05$) (Figure 10). Greater activity (330 Gote units) is determined for rye malt, which was prepared using selenium with a concentration 5 mg L^{-1} solution. In the malt used to produce this selenium concentration, the diastase number increased by 33.1% compared to the control sample. Meanwhile, in rye malt with the highest concentrations of selenium in solution (17 mg L^{-1}), diastase activity decreased by 12.9% compared to the control sample.

Comparing the results of the study using two different methods (Fig. 10), it can be concluded that selenium had a significant effect on amylase activity in rye malt, and higher activity was determined for malt, which was prepared using a solution containing 5 mg L^{-1} selenium. The increase in enzyme activity in rye malt is probably due to the presence of selenium in the diffusion of low molecular weight substances in rye grains from cell to germ. The participation of selenium in hydration of various compounds is also possible, as a result of which favorable conditions for the hydrolysis of high molecular weight substances are formed.

The results of the study are similar to those of other authors. A Siberian scientist in his study found that amylolytic and proteolytic activity in germinated grains significantly increases with selenium wheat germ (Аслалиев, 2009). Meanwhile, a Mexican scientist in a study on the effect of selenium on the activity of enzymes in tomatoes claimed that Se (5 mg L^{-1}) significantly increased the activity of catalase, glutathione peroxidase and superoxide dismutase in tomatoes by 352.7%, 312.2% and 200.8%, respectively, compared to the control sample (Castillo-Godina *et al.*, 2016).

Effect of copper on the activity of rye malt amylase

Determination of α -Amylase Activity Using a Megazyme Reagent Kit. Experimental results (Fig. 11) show that different copper concentration solutions significantly increase α -amylase activity in rye malt ($p=0.021$; $\alpha=0.05$) compared to the control sample. With increasing copper concentration in the solution from 10 to 50 mg L^{-1} , the α -amylase activity in the test specimens increases. The higher α -amylase activity ($41.2\pm0.2 \text{ units g}^{-1}$) was for a sample of malt, which was prepared using a solution with the highest

concentration of Cu in solution (50 mg L^{-1}). Compared to the control sample, it increased by 34.6%.

Determination of enzyme activity by Phadeb test. Similar results are presented in a scientific study that used the second method (Phadebas Amylase Test Tablets) to determine the effects of different copper concentrations on diastase activity in rye malt. The obtained results of the study (Figure 11) show that all analyzed copper concentration solutions significantly increase the diastase activity in rye malt compared to the control sample ($p=0.016$; $\alpha=0.05$). Greater activity ($252.0\pm3.0 \text{ GOTs}$) is determined for rye malt, which was made using copper with a concentration of 50 mg L^{-1} . In this case, the diastase number increased by 37.7% compared to the control sample, indicating a positive effect of copper on the increase of amylase activity in rye malt. The results of the study, like the ones mentioned above for selenium, show the positive effects of micronutrient copper on the increase of amylase activity in rye malt. The results obtained are similar to the results of other scientific authors. For example, Mihoub *et al.* (2005) in their study argue that the activity of α -amylase in sprouted peas is significantly increased when copper is used in enrichment.

The effect of zinc on the activity of rye malt amylase

Determination of α -Amylase Activity Using a Megazyme Reagent Kit. The effect of different zinc concentrations on α -amylase activity in rye malt is shown in Figure 12. Similarly to selenium and copper, zinc also significantly affects the activity of α -amylase in rye malt ($p=0.018$; $\alpha=0.05$) compared to the control sample. Larger α -amylase activity was determined for the test sample, which was prepared using zinc concentrate in a solution of 50 mg L^{-1} . Compared to the control sample, in which the trace element additive was not used, it increased by 34.1%.

Determination of enzyme activity by Phadeb test. Similar results are presented in a study using the Phadebas Amylase method when determining the effects of different zinc concentrations on the diastase activity in rye malt. Results obtained in the study (Figure 12) shows that all analyzed zinc concentrations of solutions significantly affected the diastase activity in rye malt ($p=0.011$; $\alpha=0.05$) compared to the control sample. Larger diastase activity (266 ± 2 units of Goet) in rye malt was determined for a sample of zinc with a concentration of 50 mg L^{-1} in solution. For this sample, the diastase number increased by 22% compared to the control sample. Meanwhile, in rye malt with the highest concentration of zinc in solution (100 mg L^{-1}), diastase activity decreased by 6.4% compared to the control sample. Comparing the results of both methods, both α -amylase activity and diastase activity are higher for a sample of rye malt, using zinc concentrations in solution of 50 mg L^{-1} . All methods used for the determination of amylolytic activity in rye malt show that the selenium and copper mix of trace elements negatively affects amylase activity in rye malt. In contrast, the mixture of trace elements zinc and copper

shows opposite results, which indicate the positive effect of the trace element mixture (Zn/Cu) on amylase activity in rye malt compared to samples that were prepared using Zn and Cu separately.

4. Effect of microelements on rye malt chemical indicators

Scientific literature has indicated that **moisture content** in rye malt can vary from 4% to 10%. The moisture content has a significant influence on the milling and ingestion process and the quality parameters during storage (Hertrich, 2013; Меледина *et al.*, 2013). It has been experimentally determined that moisture content of investigated rye malt varied from 4.1% to 10.2%.

As a result of data mathematical processing, **starch content** with microelements in enriched rye malt was found to range from 57.1 ± 1.0 to 59.8 ± 1.10 g 100 g⁻¹. The results of the study are larger than those of other scientists, which indicate that starch content in rye malt is 41 ± 1.63 g 100 g⁻¹ (Balceruk *et al.*, 2016).

The **protein content** of the malt depends on the characteristics of the grain variety and on agrotechnology, in particular the amount and time of the introduction of nitrogenous minerals, and the malt production technology and drying regime. It is known that the protein content of malt is 0.1-0.5% lower than that of grains (Меледина *et al.*, 2013). Scientific literature indicates that the protein content of rye malt must not exceed 12.5%. In Europe, barley malt has a protein content of up to 11.5%, while in North America it is 13.5% (Hertrich, 2013; Меледина *et al.*, 2013). The mathematical processing of the experimental data obtained showed that protein contents were in the range of 8.7 ± 0.9 to 10.5 ± 0.3 g 100 g⁻¹. In a study conducted in Poland, scientists found that protein content in rye malt was 8.5 ± 0.32 g per 100 g⁻¹ (Balceruk *et al.*, 2016).

To determine the **phenolic content** of rye malt, grains were used which, during the soaking, added various concentrations of selenium, copper and zinc salts to the water (Table 3). The study identified 19 phenol type compounds, of which 14 are 7 benzoic acid derivatives (gallic acid, α -resorclic acid, protocatechuic acid, p-hydroxybenzoic acid, vanillin acid, syringic acid, p-coumaric acid), 6 cinnamic acid derivatives (chlorogenic acid, caffeic acid, synapic acid, ferric acid, o-hydroxycinnamic acid, m-hydroxycinnamic acid and one phenylethic acid derivative (homovallic acid). Four flavonoids (rutine, quercetin, luteolin kaempferol) and one flavanoid (catechin). Most of the test specimens of individual phenolic compound content of less than 0.1 mg per 100 g⁻¹, some samples could not be identified because of individual phenolics content was below the sensitivity threshold. Only four of the set phenols (resorclic acid- α , protocatechuic acid, catechin and kaempferol) was greater than 0.1 mg per 100 g⁻¹.

The effects of selenium, copper and zinc additives on total phenols and the sum of individual phenols are shown in Table 6. The obtained results (Table 6) show that all analyzed concentrations of selenium increase the content of phenols in rye malt.

The highest total phenol content was determined for a sample, using a 17 mg L^{-1} selenium solution, which is 16% higher than the control sample. The amount of individual phenols in rye malt increased about twice as compared to the control sample. Similar results are published in other papers, which indicate that selenium increases the phenolic content in plants (Motomura *et al.*, 2008). Ibrahim (2014) argues that the plant's anti-oxidative system stimulates Se ion to increase plant resistance to abiotic stressors.

Similar to selenium, it can be concluded from the obtained results that the analyzed copper concentrations (20 and 50 mg L^{-1}) positively influence the content of phenols in rye malt. The highest total phenol content was determined for a sample, which was used to obtain a solution with a copper concentration of 50 mg L^{-1} , which is 34.6% higher than the control sample. Compared to the control sample, the amount of individual phenols in rye malt increased significantly in all the samples to be analyzed, using copper additives ($p < 0.05$; $\alpha = 0.05$). The higher the sum of individual phenols for a given sample, which was used to obtain a solution with copper concentration 50 mg L^{-1} . The results of the experiment are similar to the results of other authors whose studies indicate that the phenol content of the plants increases with increasing content of trace elements (Cu and Zn) (Vinod *et al.*, 2012; Hamid *et al.*, 2010; Ganeva, Zozikova 2007).

Copper is known to have a number of possible oxidation steps that contribute to the formation of reactive oxygen species and free radicals, as well as causes oxidative stress in plant cells. Grain handling with power increases the oxidation stress, which in turn causes the activation of antioxidant enzymes - an increase in the content of polyphenols (Скрыпник *et al.*, 2014; Alobaydy, 2013). It can explain the growth of polyphenols in the analyzed rye malt samples.

The increase of polyphenols content in rye malt shows the changes in the intensity of the oxidation process in the cell. This could be considered as an adaptive protection mechanism, which, at the expense of the increase in antioxidants, can increase the resistance of plants to adverse effects such as increased copper concentration (Складпник *et al.*, 2014).

Analyzing the results for the use of zinc additives in malt production, it was not possible to obtain a coherence, which could clearly state that Zn facilitates or prevents the formation of phenols. Based on the results obtained (Table 6), it can be concluded that all analyzed zinc concentrations reduce the total phenol content in rye malt compared to the control sample. On the other hand, the higher amount of individual phenols was determined for a sample, which was used to obtain a solution with a zinc concentration of 100 mg L^{-1} . A Russian

researcher Salihova (Салихова, 2016), describing the results of the research on the effect of zinc ions on the level of antioxidants in rye germs, claims that a higher content of polyphenols is determined if the zinc concentration solution contains from 500 to 1000 mg of L⁻¹ but at lower concentrations it did not change significantly. Primary changes in the influence of heavy metals occur at the cellular level and manifest in the formation of the active forms of oxygen and the formation of oxidative stress. The increase in phenol content is a plant response to the oxidation damage caused by zinc.

5. The effect of malt on enriched microelements on the number of fall and viscosity in flour

The effect of selenium rich malt on the number of fall in rye flour

In order to determine the effect of the rheological properties of flour on the malt that is enriched with the microelement selenium, flour samples were added to which the malt was analyzed. The effect of different selenium concentrations on the fall number in rye flour with added malt is shown in Figure 13.

Falling number for rye flour without added malt is 200 s. The results of the study show that all analyzed solutions of selenium significantly reduce the number of fall in the samples to be analyzed compared to the control sample ($p<0,05$, $\alpha=0,05$). The lowest fall number (81 s) was determined for a sample (RM_I_Se17), which was used in the preparation of malts with a concentration of 17 mg L⁻¹ in a solution, compared to a control sample of 10.5%. The Fall Number (KS) is characterized by starch characteristics and α -amylase activity. A large decrease in the number of falls usually indicates a high activity of hydrolytic enzymes in rye grains (Salmenkallio-Marttila, Hovinen, 2005). The results of the study indicate the trace element - Se positive effect on the increase of amylase activity in the analyzed samples.

The effect of copper rich malt on the number of fall in rye flour

To determine the effect of malt on the rheological properties of the flour, flour samples were added to which the malt was enriched with trace elements - the power. The effect of various copper concentrations on the fall number in rye flour with added malt is shown in Figure 14. Falling number for rye flour without added malt is 200 s. The results of the study show that, similar to selenium, all analyzed copper concentration solutions significantly reduce the number of fall in the samples compared to control ($p<0.05$; $\alpha=0.05$). The lowest fall number (87 ± 1.0 s) was determined for a sample of 50 mg L⁻¹ in the production of malt with a concentration of 50 mg L⁻¹, compared with a control sample of 15.5%.

Falling number for rye flour without added malt is 200 s. The results of the study show that, similar to selenium, all analyzed copper concentration solutions significantly reduce the number of fall in the samples compared to control ($p<0.05$, $\alpha=0.05$). The lowest fall number (87 ± 1.0 s) was determined for

a sample of 50 mg L^{-1} in the production of malt with a concentration of 50 mg L^{-1} , compared with a control sample of 15.5%.

Falling figure is an indicator of α -amylase activity, which is widely used for rye flour baking characteristics. The higher the autolysis activity, the smaller the falling number. The lower the activity of the enzymes, as the fall number is higher (Gaaloul *et al.*, 2011; Kunkulberga *et al.*, 2007; Hansen, 2004). The results of the study indicate the positive effect of micronutrient - Cu on the increase of amylase activity in the analyzed samples.

Effect of zinc enriched malt on the fall number in rye flour

The effect of different zinc concentrations on the fall number in rye flour with added malt is illustrated in Figure 15.

The results of the study indicate that zinc is similar to selenium and we can significantly affect the fall number in the analyzed samples ($p<0.05$; $\alpha=0.05$). In the experiment it was found that when adding rye flour to malt with 50 mg L^{-1} zinc concentrate, the fall number decreased by 15.6% compared to the control sample in which the trace element additives were not added.

The obtained results indicate that zinc had a positive effect on α -amylase activity in rye malt and increased α -amylase activity in a specific sample made with zinc concentrate in a solution of 50 mg L^{-1} .

The effect of malt enriched with trace elements on the viscosity of rye flour

The baking properties depend to a large extent on the agglutination of starch and on the enzymatic activity of α -amylase in flour. Very high activity leads to increased starch dissolution, resulting in starch lose its water binding ability during the cessation of the time. To characterize viscosity, samples of rye flour were taken into amylogram curves. Rye meal and samples of malt to be analyzed were used to obtain the amylogram curve.

The amylogram curves obtained in the study show that the trace elements of Se, Cu and Zn enriched rye malt have a significant effect on the rate of starch hydrolysis in flour compared to the control sample for which the microelements were not added ($p<0.05$; $\alpha=0.05$). This is due to a significant reduction in the curvature height and a smaller amylogram in the presence of rich malts. It is known that the height and width of the curve characterize the maximum viscosity of the water - flour suspension during starch gelatinization and the duration of adhesion. The highest maximum drop in viscosity was determined by using a sample of 20 mg L^{-1} in the production of malt. Viscosity decreased by 30% compared to the control sample. Analyze the flour sample for which added malt with a concentration of Se in a solution of 5 mg L^{-1} , the viscosity decreased by 10.4% compared to the control sample. Adding zinc to a concentration of 50 mg L^{-1} in a solution reduces viscosity by 3.9%. This is due to the fact that enriched malt enzymes act on starch granules, which start to become slippery, and greatly accelerate their degradation by forming grooves and cavities in them (Ямашев *et al.*, 2017). The results of the study show the positive effect of micronutrients - Se, Cu and Zn on the increase of amylase

activity, in amilolithic enzymes that are analyzed in the samples, rye flour starch is effectively and quickly hydrolysed. The properties of the given malt can be used for the processing of flour with low amyloytic activity, from which bread comes out with dry and crumbly pulp. Scientist Leon et al (2002) in their study indicates that hydrolysis of starch hydrolysis by microelements in enzymes takes place up to low molecular weight dextrans with glucose residues from 3 to 7, which slows the hardening of the bread and inhibits starch hydrolysis in bread crumbs.

The methods used in the study to determine the amount of fall and viscosity in trace element rich rye flour show that the selenium and copper mix of trace elements negatively affects the amylase activity in the samples to be analyzed. In turn, the mixture of trace elements zinc and copper shows opposite results. The drop in the test sample decreased by 2.8%, viscosity by 27.9% compared to the control sample. The obtained results indicate the positive effect of the mixture of trace elements (Zn/Cu) to be analyzed on the amylase activity in the test samples.

6. Microelements effect on scald properties

During the analysis of scald making, rye bellied flour was added to the malt obtained from the germination using various trace element additives (Table 7). Malt content ranges from 2 to 6% in the process of surfing. The malt content added to the analyzes was 2.9% (Table 7).

The obtained results show that a harder consistency (72.54 N) is for scald using rye flour without added malt (Table 7). This is explained by the fact that the starch granules swell and, at a certain temperature (about +50 °C), begin to become stylistic, and the fusion develops viscous and solid. Comparing this result with a scrub to which malt was added without the trace element additive (control sample), consistency decreased by 70.3%. The data obtained in the study can be explained by the fact that during this time, intense amylase activity is observed, which results in the breaking up of the starch and the smoothness of the texture remains smoother.

The results of the experiment demonstrate that the various microelements used during the malt preparation significantly affect the quality of the malt and, consequently, the properties of the scald consistency. The liquid consistency was determined for fermented malt with the Se additive (8.5 mg L⁻¹), which decreased by 41.9% compared to the scald without the addition of micronutrients. On the other hand, for the preparation of malt with Cu (20 mg L⁻¹) and Zn (50 mg L⁻¹), the consistency decreased by 22.9% and 31.5%, compared to the scald in which the malt was used without trace element additives. This is due to the fact that the microelements selenium, copper and zinc increase the enzyme α-amylase activity in malt.

The results of the experiment demonstrate that the various microelements used during the malt preparation significantly affect the quality of the malt and, consequently, the properties of the scald consistency. The liquid consistency was determined for fermented malt with the Se additive (8.5 mg L^{-1}), which decreased by 41.9% compared to the mucilage without the addition of micronutrients. On the other hand, for the preparation of malt with Cu (20 mg L^{-1}) and Zn (50 mg L^{-1}), the consistency decreased by 22.9% and 31.5%, compared to the scald in which the malt was used without microelement additives. This is due to the fact that the trace elements selenium, copper and zinc increase the enzyme α -amylase activity in malt.

As a result of statistical data analysis, the use of both microelements Zn/Cu (50 and 20 mg L^{-1}) and Se/Cu (8.5 and 10 mg L^{-1}) during malt preparation reduced the scald consistency by 34.5% and 31.5 % compared to the scald preparation of malt with no microelements added (Table 7). The results of the experiment show that the use of micronutrients during malt preparation increases the activity of α -amylase in malt and is more active in the preparation of scald. This means that they are more suitable and more beneficial for use in the manufacture of bread, where it is necessary to prepare scald.

CONCLUSIONS

1. The results of the study confirm the hypothesis proposed: the microelements Se, Cu and Zn have different accumulation efficiency in rye malt and change the technological properties of malt and the content of biologically active compounds.
2. The use of trace elements selenium, copper and zinc has a significant effect on the germination of rye grains. The largest number of developed grains is for samples prepared with selenium concentration of 8.5 mg L^{-1} , a stock with a concentration of 10 mg L^{-1} in solution and a zinc concentration in solution 50 mg L^{-1} .
3. The use of Se, Cu and Zn in the production of rye malt significantly increases the content of microelements in rye malt. The amount of selenium in malt increases 138 times (concentration in solution 17 mg L^{-1}) compared to control, but accumulation efficiency ranges from 10.6 to 12.2%. The copper content increases 19 times (concentration in solution 50 mg L^{-1}) and the accumulation efficiency from 30.6 to 36.9%, but the zinc content (concentration in solution 100 mg L^{-1}) increases 6.7 times with accumulation efficiency from 49, 3 to 57%.
4. The presence of microelements selenium, copper and zinc affects the α -amylase and diastase activity in rye malt as well as the number and viscosity of the samples in the samples to which the rye malt was added.
5. Increased amylase activity is determined for malt samples prepared using solutions with selenium concentration in solution 5 mg L^{-1} , copper concentration 50 mg L^{-1} and zinc concentration 50 mg L^{-1} . All analyzed concentrations of selenium and copper significantly reduce the fall number ($p<0,05$; $\alpha=0,05$) and the viscosity in the samples, indicating an increase in amylase activity.
6. Selenium and copper increase the content of polyphenols in rye malt, while zinc salts add it. 19 phenol compounds were identified, of which 14 were phenolic acids, 4 flavonoids and 1 flavanoid (catechin). The α -resorcinic acid content was higher in comparison with other identified phenolic compounds in both the control and samples with Se, Cu and Zn (1.95 to $2.92 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). In control and samples with Zn, the catechin content was lowest (0.06 to $0.17 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Selenium and copper supplements promotes the formation of catechins.
7. The use of microelements (Se/Cu and Zn/Cu) during malt production has a significant effect on the content of micro-nutrients and the accumulation efficiency in rye malt. The copper and selenium content of rye malt increased 6.2 and 45 times, while the zinc and copper content was 3.6 and 10.1 times, compared to the control sample. The accumulation efficiency of trace elements (Se and Cu) in rye malt is 9.3 and 30.5%, while the

accumulation efficiency of Zn and Cu in rye malt is 56.7 and 39.5%, using both trace elements at the same time.

8. Simultaneous use of two microelements (Se/Cu) reduces the activity of amylase in rye malt, as well as increases the number of fall and viscosity compared to samples that have only one trace element added.
9. The use of trace elements (Se, Cu and Zn) as well as mixtures of trace elements (Se/Cu and Zn/Cu) have a significant influence on the rigidity of rye scald. Enriched rye malt with microelements reduced the scald consistency from 16.8 to 41.9% compared to the control sample.

Mg.sc.ing. Kristīna Antonenko
e-pasts / e-mail: kristina.antonenko@inbox.lv

Lavijas Lauksaimniecības universitāte / Latvia University of Life Sciences and Technologies
Pārtikas tehnoloģijas fakultāte / Faculty of Food Technology
Rīgas iela 22, Jelgava LV-3004, Latvija / 22 Rigas Street, Jelgava LV-3004, Latvia