Vitamīnu satura izmaiņas pilngraudu rudzu maizes ražošanā Changes in Vitamin Content during the Whole Grain Rye Bread Processing

Vija Ozoliņa*, Daiga Kunkulberga
LLU Pārtikas tehnoloģijas katedra
Department of Food Technology, LLU

Abstract. Whole grain rye bread is a historically rich item in Latvian culture, and Latvians are rightly proud of the rye bread tradition they have cultivated. Much international research has shown that regular intake of rye bread positively influences the consumer health. Latvia has a long history of rye bread preparation, but lacks information about changes in vitamin content during the manufacturing process – from the beginning of baking till the end product – bread. The aim of the study was to investigate the changes in vitamin content during the whole grain rye bread production process. The object of the research work: traditional Latvian whole grain rye bread, the dough of which is prepared with scald and natural yeast and then baked in a wood-fired clay oven. AOAC standard methods were used to determine the content of thiamine (B₁ vitamin), riboflavin (B₂ vitamin), niacin (B₃ vitamin), and α -tocopherol (E vitamin). The content of vitamins was analyzed in whole grain rye flour, leavened rye flour dough, and rye bread baked for 30, 45, 60 and 75 minutes. Bread crust and crumb were analyzed separately. The content of B complex vitamins in whole grain rye flour and bread was determined using LC–MS combined with stable isotope dilution assay. The study showed that whole grain rye bread contains a wide range of B complex vitamins. During the whole grain rye bread processing it was observed that, compared to vitamin content in flour, thiamine content reduced by 36%, but content of riboflavin, niacin and α -tocopherol increased by 53%, 40% and 6% respectively.

Key words: Whole grain rye bread, thiamine, riboflavin, niacin, α -tocopherol.

Ievads

Maize ir viens no galvenajiem uztura produktiem, ko lietojam ikdienā, jo tā nodrošina gandrīz divas trešdaļas no dienā nepieciešamā enerģijas daudzuma. Saskaņā ar senajām latviešu tradīcijām rudzu rupjmaize tiek cepta no kvalitatīviem rudzu rupjajiem miltiem, sāls, cukura un ķīmenēm, pievienojot dabīgo ieraugu. Pēdējos gados arī Latvijā arvien plašāk tiek lietots termins „pilngraudu maize”. Tā ir maize, kuru gatavo no kviešu vai rudzu pilngraudu miltiem, un tiem maizes sastāvā jābūt ne mazāk par 90% no kopējā miltu daudzuma. Pilngraudu miltu sastāvā ir visas grauda sastāvdaļas, tajā skaitā dīglītis, graudapvalki un endosperma. Pilngraudu milti var būt samalti rupjākā vai smalkākā frakcijā. Pārtikas drošības nolūkos pieļaujama neliela (līdz 2%) grauda daļu (virsējā grauda apvalka) atdalīšana (Kunkulberga & Segliņš, 2010). Latvijā ražotie rupjie rudzu milti atbilst pilngraudu miltu definīcijai, jo ražošanas procesā tiek notīrīts grauda virsslānis, kas veido ne vairāk par 2% no visa grauda. No šiem

miltiem ražotā maize atbilst pilngraudu maizes nosaukumam.

Maizes gatavošanas process sākas ar miltu plaucēšanu: aptuveni trešdaļu rudzu miltu aplej ar karstu ūdeni un rūpīgi izmaisa (1. att.). Šajā procesā miltos esošā ciete sadalās līdz vienkāršajiem cukuriem, plaucējums pamazām atdziest, iecukurojas un kļūst salds. Lai šis process noritētu ātrāk, plaucējumam pievieno fermentatīvi aktīvu rudzu iesalu. Pēc tam plaucējumu atdzesē un pievieno ieraugu, kurā ir aktīvas pienskābes baktērijas. Šādi plaucējums tiek ieskābēts un ieraudzēts un rodas rudzu maizei raksturīgā saldskābā garša. Kad ieraugs ir pietiekami uzrūdzis un ieskābis, abas tiek gatavota mīkla: ieraugam pievieno miltus, ūdeni, cukuru, ķīmenes un sāli. Mīklas tālākās raudzēšanas laikā galvenokārt veidojas pienskābe, mazāk – etiķskābe un citas organiskās skābes. Procesā laikā izdalās ogļskābā gāze, kura irdina mīklu un piešķir maizei porainību. Kopējais rūgšanas process ilgst 36 stundas, kuru noslēdz kukulīša veidošana un cepšana.

* Corresponding author's email:
vro@apollo.lv

1. att. Rudzu pilngraudu mīklas gatavošanas tehnoloģija un režīmi.
Fig. 1. The scheme of whole grain rye dough making and conditions.

Svarīgākais posms visā maizes gatavošanas procesā ir cepšana. Cepšanas laikā nestabila un mitra mīkla kļūst par garšīgu izstrādājumu ar pietiekami sausu, elastīgu mīkstu un stingru garozu. Tieši cepšanas procesā notiek izstrādājuma kvalitātes veidošanās, tādēļ svarīgi zināt, kas notiek šajā laikā un kā šos procesus var ietekmēt, virzīt un panākt nepieciešamo rezultātu.

Cepšanas laikā maizes klaipa virskārtā veidojas brūna garoza un būtiski pastiprinās maizes aromāts. Garoza ir ļoti jutīgs izvēlētajai tehnoloģijai un tās ievērošanas rādītājs. Ja cepšanas process ir par ilgu, tas ietekmē kvalitāti – garoza ir par tumšu un cietu, maizes apjoms ir samazināts, un dažreiz pat jūtama rūgta garša; un pretēji – ja cepšanas ilgums bijis par īsu, tad maizei ir nepietiekams aromāts, neizteikta garša un neapmierinošas mīkstuma īpašības (Kunkulberga & Segliņš, 2010).

Latvija ir bagāta ar senu pilngraudu rudzu maizes gatavošanas vēsturi, bet trūkst informācijas

par tās vērtību patērētāju veselības nodrošināšanai. Pēdējo gadu zinātniskie pētījumi (Lindhauer, 2008; Martinez-Villaluenga *et al.*, 2009; Nystrom *et al.*, 2008) pārtikas tehnoloģijā un medicīnā paver iespējas noteikt un izvērtēt tādu pārtikas sastāvdaļu ietekmi uz patērētāju veselību, kuras mērāmas vissīkākajās svara vienībās – miligramos un mikrogramos.

Vitamīni ir bioloģiski aktīvi savienojumi, kas nelielos daudzumos atrodami graudaugos, tomēr zinātnieki visā pasaulē veic pētījumus, vērtējot vitamīnu pozitīvo ietekmi uz patērētāja veselību (Montonen, Knekt, Jarvinen, Aromaa, & Reunanen, 2003; Parikka, Rowland, Welch, & Wahala, 2006; Ward *et al.*, 2008).

Viens no bioloģiski aktīvo savienojumu avotiem ir rudzi, kas pēdējos gados nepelnīti zaudē popularitāti Latvijas ražotāju un patērētāju vidū. Izvērtējot citu valstu pieredzi, ievērojamā loma ir Somijas piemērs. Laika posmā no 1960. gada līdz 2000. gadam rudzu produktu patēriņš gadā

uz vienu iedzīvotāju Somijā samazinājās no 30 līdz 15 kg. Zinātniekiem veicot pētījumus un informējot sabiedrību par rudzu produktu pozitīvo ietekmi uz patērētāju veselību, rudzu popularitāte tika atgūta. No 2004. gada rudzu produktu patēriņš Somijā sāka palielināties, kā rezultātā samazinājās sirds un asinsvadu slimību izraisīto nāves gadījumu skaits (Lehtinen, Kaukovirta-Norja, & Poutanen, 2009). Salīdzinot Latvijā rudzu maizes patēriņš pēdējā desmitgadē ir samazinājies no 33 līdz 19 kg uz vienu iedzīvotāju gadā. Latvijā mirstība sirds un asinsvadu slimību dēļ ieņem pirmo vietu pārējo nāves cēloņu vidū – ik gadu mirst 16 līdz 18 tūkst. iedzīvotāju (LR CSP, 2010). Šo rādītāju, iespējams, varētu samazināt, ja uzturā vairāk tiktu lietoti rudzu produkti, kas satur vitamīnus un šķiedrvielas.

Daudzu valstu zinātnieki pierādījuši, ka rudzu maizes regulāra lietošana uzturā atstāj pozitīvu ietekmi uz patērētāju veselību – samazinās sirds un asinsvadu saslimšanas risks, tiek kavēta krūts un zarnu trakta audzēju veidošanās, uzlabojas gremošana, tiek kavēta holesterīna absorbcija un samazinās 2. tipa cukura diabēta risks (Seal, 2006; Schatzkin *et al.*, 2000; Montonen *et al.*, 2005).

Rudzu maize bez ogļhidrātiem un olbaltumvielām satur bioloģiski aktīvus savienojumus – šķiedrvielas, minerālvielas, vitamīnus un antioksidantus, kas labvēlīgi ietekmē patērētāju veselību, palielina spēju pretoties dažādām slimībām un paaugstina imunitāti (Montonen, Knekt, Jarvinen, Aromaa, & Reunanen, 2003; Liu *et al.*, 2000; Hiller, Schlormann, Gleis, & Lindhauer, 2011).

Rudzu maizes galvenā priekšrocība salīdzinājumā ar kviešu maizi ir tās augstais šķiedrvielu un vitamīnu saturs (Poutanen, 1997).

Latvijas Pārtikas tehnoloģiju platformas (LPTP) Darbības un attīstības stratēģijā 2008.–2020. gadam viens no mērķiem ir kvalitatīvas, veselīgas un drošas pārtikas ražošanas veicināšana, par primāro uzskatot patērētāju intereses. Pamatojoties uz izvirzītajiem mērķiem, jāveic padziļināti pētījumi par Latvijā ceptas pilngraudu rudzu maizes ķīmisko sastāvu.

Šī pētījuma mērķis bija noteikt vitamīnu saturu un tā izmaiņas pilngraudu rudzu maizes cepšanas procesā – miltos, mīklā un maizē.

Materiāli un metodes

Pētījums veikts 2011. gada rudenī Latvijas Universitātes Bioloģijas institūtā un Pārtikas un biotehnoloģijas kompetences centrā Tallinā, Igaunijā.

Pētījumā analizēja rudzu pilngraudu miltus, uzraudzētu rudzu miltu mīklu un rudzu maizi, kas cepta 30, 45, 60 un 75 minūtes. Pētījumos par maizi atsevišķi analizēja maizes garozu un mīkstumus. Vidējos paraugus sagatavoja atbilstoši katrai analīžu metodei un pēc nepieciešamības saldēja un sublimēja. Miltu kvalitātes rādītāju un vitamīnu noteikšanai, kā arī maizes cepšanai izmantoja AS „Jelgavas dzirnavas” ražotos rudzu pilngraudu miltus ar pelnvielu saturu – 1.72%, mitrumu – 12.3%, proteīna saturu – 8.8%, un krišanas skaitli – 160 s.

Mīklas gatavošanai izmantoja rudzu pilngraudu miltus, cukuru, sāli, nefermentēto rudzu iesalu, ķimenes un ūdeni. Mīklu gatavoja pēc tradicionālas rudzu maizes gatavošanas tehnoloģijas, kas sastāv no plaucējuma gatavošanas, atdzesēšanas un ieraudzēšanas, mīklas mīcīšanas, mīklas raudzēšanas, mīklas dalīšanas, klaipu veidošanas un cepšanas (1. att.). Plaucējumu gatavo, ķimenes un vienu trešdaļu no kopējā miltu daudzuma aplejot ar karstu ūdeni. Kad plaucējuma temperatūra ir 67 ± 2 °C, pievieno rudzu nefermentēto iesalu un labi izmaisa. Plaucējumu divas stundas atstāj koka kublā, kur tas gatavots, lai notiktu cietes pārcukurošanās process. Pēc tam plaucējumu ik pa četrām stundām maisa. Plaucējuma atdzesēšana norit 28 stundas. Kad plaucējuma temperatūra ir 35 ± 1 °C, tajā ieliek ieraugu, lai sāktos intensīva pienskābā rūgšana. Kopējais plaucējuma ieraudzēšanas laiks ir piecas stundas. Kad plaucējums uzrūdzis, mīca mīklu. Uzraudzētam plaucējumam pievieno pārējos miltus, cukuru un sāli. Mīklu mīca 15–20 minūtes, kamēr visas sastāvdaļas ir vienmērīgi izmaisītas. Mīklu trīs stundas raudzē, tad to dala 1 kg gabalos, veido klaipus un cep. Vispirms klaipus vienu minūti apcep 400 °C temperatūrā apcepšanas krāsnī, pēc tam tos tālākai cepšanai pārceļ krāsnī uz klona 250 °C temperatūrā.

Cepšanas laikā temperatūru mērijām uz klaipa virsmas un klaipa iekšienē, izmantojot termopārus. Paraugu cepšanas ilgums un temperatūras izmaiņas dotas 1. tabulā. Izveidotā maizes klaipa optimālais cepšanas ilgums ir 60 minūtes. Pēc apcepšanas mīklas sagataves centrā temperatūra bija 37 ± 0.1 °C, temperatūra garozā – 74 ± 7.5 °C. Pēc cepšanas maizes klaipus 12 stundas atdzesēja telpas temperatūrā. Pēc atdzesēšanas tos sagrieza šķēlēs un, atdalot mīkstumus no garozas, ieguva paraugus analīžu veikšanai. Garozas biezums atkarībā no maizes cepšanas laika bija 2–7 mm.

Vitamīnu saturu pilngraudu rudzu miltos un mīklā, kā arī maizes mīkstumā un garozā cepšanas laikā analizēja pēc 30, 45, 60 un 75 min. saskaņā ar

1. tabula / Table 1

Maizes paraugu raksturojums
Characteristics of bread samples

Rudzu maizes klaipa Nr. / No. of the rye bread loaf	Cepšanas laiks / Baking time, min	Temperatūra maizes mīkstuma centrā / Temperature of crumb, °C	Temperatūra maizes garozā / Temperature of crust, °C
1	30	91±3.0	140±5.5
2	45	99±0.4	146±5.5
3	60	100±0.2	152±3.5
4	75	100±0.3	171±1.5

Piezīme. Cepšanas temperatūra krāsnī – 250±2 °C.

Note. Baking temperature in the oven – 250±2 °C.

2. att. Vitamīnu saturs pilngraudu rudzu miltu, mīklas un maizes sausnā.

Fig. 2. Vitamin content in DM of whole grain rye flour, dough and bread.

Kanādas Analītiskās ķīmijas asociācijas (AOAC) apstiprinātajām standartā metodēm:

- tiamīnu (B₁) – AOAC 986.27;
- riboflavīnu (B₂) – AOAC 970.65;
- niacīnu (B₃) – AOAC 942.23;
- α-tokoferolu (E) – AOAC 971.30.

Visas iepriekšminētās analīzes tika veiktas Latvijas Universitātes Bioloģijas institūtā.

Pilngraudu rudzu miltos un maizē noteica B grupas kompleksa vitamērus (tiamīnu, riboflavīnu, niacīnu, nikotīnamīdu, pantotēnskābi, piridoksālu, piridoksīnu) ar šķidrums hromatogrāf-masas spektrometra tandēmu, izmantojot stabilo izotopu atšķaidīšanas metodi (Mihhalevski,

Nisamedtinov, Halvin, Ošeka, & Paalme, 2013). Šīs analīzes tika veiktas Tallinas Pārtikas un biotehnoloģijas kompetences centrā, Igaunijā.

Datu statistiskā apstrāde veikta, izmantojot statistisko datu apstrādes SPSS un Microsoft Excel programmas. Būtiskums pārbaudīts ar *p* vērtības metodi, un faktori novērtēti par būtiskiem, ja *p* vērtība bija <α_{0.05}. Pieņemts, ka α=0.05 ar 95% ticamību (Arhipova & Bāliņa, 2003).

Rezultāti un diskusija

Vitamīni ir vitāli nepieciešami normālai dzīvības procesa norisei organismā, tie nodrošina organisma augšanu, attīstību un imunitātes stiprināšanu. Ražojot

rudzu maizi, ir svarīgi, lai tajā saglabātos maksimāls vitamīnu daudzums, kas atrodas rudzu graudos. Lai to nodrošinātu, maizes cepšanai jāizmanto rudzu pilngraudu jeb rudzu rupjos miltus, kas satur endospermu, dīglīti un visas grauda apvalka daļas un ir galvenais vitamīnu un šķiedrvielu avots. Pētījuma uzdevums bija izvērtēt, kā mainās vitamīnu saturs maizes ražošanas procesā un cik lieli ir to zudumi cepšanas laikā.

Vitamīnu satura izvērtēšanai tika noteikts tiamīna (B_1 vitamīns), riboflavīna (B_2 vitamīns), niacīna (sinonīmi – PP vai B_3 vitamīns, nikotīnskābe, nikotīnamīds, niacīnamīds) un α -tokoferola (E vitamīns) saturs miltos un mīklā, kā arī rudzu maizē ar atšķirīgu cepšanas laiku. Vitamīnu saturs miltos, mīklā un maizē parādīts 2. attēlā. Tiamīna saturs miltos un mīklā attiecīgi bija 0.5 un 0.54 mg 100 g⁻¹ sausas un būtiski neatšķīrās ($p=0.135$). Tas nozīmē, ka raudzēšanas laikā tiamīna saturs būtiski nepalielinājās. Savukārt zinātniskajā literatūrā aprakstīti pētījumi, kuros konstatēts, ka, mīklu raudzējot ar raugu un pagarinot raudzēšanas laiku, var panākt tiamīna satura palielināšanos, bet, izmantojot ieraugu un pienskābes baktērijas, iespējama tiamīna daudzuma samazināšanās (Khetarpaul & Chauhan, 1989).

Mūsu pētījumā tiamīna saturs rudzu maizē (0.32 mg 100 g⁻¹ sausas) bija mazāks nekā mīklā un miltos. Rezultāti rāda, ka tiamīna zudums maizes cepšanas laikā bija 36%. Par līdzīgu pētījumu rezultātiem ziņojuši vairāki pētnieki – piemēram, Hagg and Kumpulainen (2002) un Martinez-Villaluenga *et al.* (2009) noskaidrojuši, ka tiamīna zudums termiskajos procesos veido līdz 53–65% no tā satura miltos.

Mūsu pētījuma rezultāti par riboflavīna satura izmaiņām liecināja, ka mīklā tas ir divas reizes lielākā daudzumā nekā miltos un rūgšanas laikā palielinās no 0.38 līdz 0.95 mg 100 g⁻¹ sausas, turklāt šī atšķirība ir būtiska ($p=0.001$). Savukārt rudzu maizē riboflavīna saturs bija 0.58 mg 100 g⁻¹ sausas. Raugs un pienskābes baktērijas rūgšanas procesā sintezē ūdenī šķīstošos vitamīnus, tādēļ to saturs mīklā, salīdzinot ar miltos esošo, palielinās. Mūsu iegūtie rezultāti apstiprina zinātniskajā literatūrā pausto atziņu, ka maizes raudzēšanas laikā riboflavīna saturs palielinās (Batifoulie, Verny, Chanliaud, Remesy, & Demigne, 2005).

Niacīna saturs mīklas raudzēšanas laikā palielinājās – miltos un mīklā tas bija attiecīgi 4.25 un 6.64 mg 100 g⁻¹ sausas. Maizes cepšanas laikā niacīna saturs samazinājās par 11%,

tomēr maizē tas bija lielākā daudzumā nekā sākotnēji miltos.

Analizējot α -tokoferola satura izmaiņas mīklas raudzēšanas un maizes cepšanas laikā, vērojām tendenci, kas bija līdzīga niacīna satura izmaiņām. Mīklas raudzēšanas laikā α -tokoferola saturs nedaudz palielinājās – no 2.04 līdz 3.07 mg 100 g⁻¹ sausas. Tas atbilst citu pētījumu atziņām, ka miltu plaucēšana un mīklas raudzēšana neatstāj būtisku ietekmi uz α -tokoferola saturu maizē (Hakansson & Jagerstad, 1990; Wennermark & Jagerstad, 1992; Liukonen *et al.*, 2003). Mūsu pētījumā maizes cepšanas laikā α -tokoferola saturs samazinājās par 30% salīdzinājumā ar tā saturu mīklā.

Maize sastāv no divām daļām – maizes mīkstuma un garozas. To fizikālās īpašības un ķīmiskais sastāvs ir atšķirīgs. Lai izvērtētu, kā mainās vitamīnu sastāvs mīkstumā un garozā, tika analizēts vitamīnu saturs katrā maizes daļā atsevišķi. Šobrīd tas ir īpaši aktuāli, jo pēdējos gados daudz tiek diskutēts par garozas drošību un veselīgumu.

Vitamīnu saturs un tā izmaiņas mīklā (cepšanas laiks – 0 min) un maizes mīkstumā un garozā dažādos cepšanas posmos parādīts 3. un 4. attēlā. Redzams, ka maizes mīkstumā un garozā tiamīna, riboflavīna un α -tokoferola daudzums jau pēc pirmajām 30 cepšanas minūtēm samazinās par 30–50%, salīdzinot ar to saturu mīklā. Turpinot cepšanu, vitamīnu saturs maizē vairs būtiski nemainījās, taču, pārsniedzot optimālo cepšanas ilgumu (60 minūtes) par 15 minūtēm, konstatējām, ka vitamīnu daudzums samazinājies vēl par 8% (α -tokoferols) un par 22% (tiamīns). Piecpadsmit minūšu novirze no optimālā cepšanas laika izvēlēta, lai varētu novērtēt izmaiņas arī pārceptā maizē.

Tiamīna saturs cepšanas laikā mīkstumā un garozā samazinājās par 45–48% salīdzinājumā ar tā saturu mīklā, bet, pārsniedzot optimālo cepšanas laiku par 15 minūtēm, tā daudzums samazinājās par 47–59%. Tiamīna satura izmaiņas būtiski ietekmēja cepšanas laiks, īpaši cepšanas posmi no 30. līdz 45. minūtei un no 60. līdz 75. minūtei ($p=0.001$).

Riboflavīna un tiamīna satura izmaiņas maizes cepšanas laikā bija līdzīgas – riboflavīna saturs mīkstumā un garozā būtiski atšķīrās ($p=0.001$), ar vidējo starpību 0.11±0.02 mg 100 g⁻¹ sausas. Salīdzinājumā ar riboflavīna saturu mīklā, tā daudzums cepšanas laika posmā no 60. līdz 75. minūtei ($p=0.001$) būtiski samazinājās: par 47% mīkstumā un par 57% garozā. Riboflavīna satura izmaiņas temperatūras ietekmē raksturo vidēji

3. att. Vitamīnu saturs pilngraudu rudzu maizes mīklā un mīkstumā cepšanas laikā.
Fig. 3. Vitamin content in whole grain rye bread dough and crumb during baking.

4. att. Vitamīnu saturs pilngraudu rudzu maizes mīklā un garozā cepšanas laikā.
Fig. 4. Vitamin content in whole grain rye dough and crust during baking.

cieša korelācija ($r=0.595$), kur 35% no riboflavīna daudzuma izmaiņām var izskaidrot ar temperatūras ietekmi.

α -tokoferola saturs mīkstumā un garozā būtiski atšķīrās ($p=0.001$) – garozā tas bija mazāks nekā mīkstumā, un vidējā starpība bija 0.537 ± 0.055 mg

2. tabula / Table 2

Ražošanas faktoru ietekme uz vitamīnu saturu pilngraudu rudzu maizē
Influence of processing factors on vitamin content in whole grain rye bread

Faktors / Factor	Tiamīns / Thiamine	Riboflavīns / Riboflavine	Niacin / Niacin	α-tokoferols / α-tocopherol
Faktors (mīkstums vai garoza) / Factor (crumb or crust)	0.001*	0.001*	0.001*	0.001*
Temperatūra / Temperature	0.124	0.04*	0.001*	0.247
Cepšanas laiks / Baking time	0.001*	0.001*	0.001*	0.114
Cepšanas etaps/ Baking stage	30–45 min	0.001*	0.063	0.001*
	45–60 min	0.414	1	0.083
	60–75 min	0.001<0.05*	0.001<0.05*	0.114

* – Faktora ietekme ir būtiska. / Influence of factor is significant.

100 g⁻¹ sausnas. Maizes cepšanas laikā α-tokoferola daudzums mīkstumā samazinājās par 24%, garozā – par 39%, bet, cepot maizi 75 minūtes, garozā tas samazinājās par 44%. Cepšanas laikam nebija būtiskas ietekmes uz α-tokoferola saturu ($p=0.114$) nevienā no pētītajiem cepšanas laika posmiem.

Pētījuma rezultāti rāda, ka niacīna satura dinamika cepšanas laikā atšķiras no citu analizēto vitamīnu satura izmaiņām. Tiamīna, riboflavīna un α-tokoferola daudzums cepšanas sākumā samazinājās, bet niacīna saturs par 50% palielinājās, un tikai cepšanas posmā no 30. līdz 45. minūtei varēja vērot niacīna daudzuma samazināšanos: maizes mīkstumā par 25%, bet garozā par 39% ($p=0.001$). Datu apstrāde liecināja, ka 86.12% no niacīna satura izmaiņām var izskaidrot ar temperatūras ietekmi, kas bija būtiska ($p=0.001$). Savukārt, pārsniedzot cepšanas ilgumu par 15 minūtēm, niacīna daudzums mīkstumā samazinājās par 33% un garozā par 62%. Niacīna satura pieaugums cepšanas procesa sākumā skaidrojams ar nikotīnamīda adenīna dinukleotīda (NAD) un tā fosforilētās formas (NADP) sadalīšanos temperatūras ietekmē, kā rezultātā atbrīvojas nikotīnamīds, kas kā niacīna vitamērs palielina kopējo B₃ vitamīna saturu maizē (Ball, 2006).

Vitamīnu saturu maizē ietekmē rudzu maizes ražošanas process. Vitamīnu saturu ietekmējošie faktori apkopoti 2. tabulā, kur redzams, ka vitamīnu daudzums maizes mīkstumā un garozā atšķiras ($p=0.001$). Temperatūra cepšanas procesā būtiski ietekmē riboflavīna un niacīna daudzumu maizē. Cepšanas ilgums ir nozīmīgs faktors B grupas vitamīnu – tiamīna un niacīna – saturam maizē

cepšanas sākuma posmā. Optimālā cepšanas laika pārsniegšana ir būtisks faktors vitamīnu zudumiem pilngraudu rudzu maizes cepšanas procesā.

Izmantojot šķidrums hromatogrāfa–masas spektrometra tandēmu, analizējām B vitamīnu kompleksa vitamērus rudzu pilngraudu miltos un rudzu maizē. Vitamēri ir vitamīnu formas, kas atšķiras ar ķīmisko struktūru, bet ir ar vienādu bioloģisko aktivitāti. Niacīnam (B₃) ir divi vitamēri – nikotīnskābe un nikotīnamīds –, savukārt B₆ vitamēri ir piridoksīns un piridoksāls (Ball, 2006a).

Mūsu pētījumā iegūtie rezultāti (5. att.) ir izmantojami relatīvam pārtikas produktu novērtējumam, jo ar šīs analīzes palīdzību nevar noteikt tos B vitamīnu kompleksus, kuri produkta matricā atrodas fosforilētā vai glikozilētā formā.

Konstatējām, ka miltu sausnā B₃ nikotīnamīda formā bija 56 μg un niacīna formā – 203 μg 100 g⁻¹ sausnas. Rudzu maizē B₃ nikotīnamīda formā bija 607 μg 100 g⁻¹ sausnas, turklāt maizes cepšanas procesā tā daudzums palielinājās vairāk nekā 10 reizes. Savukārt B₃ niacīna formā maizē bija 126 μg 100 g⁻¹ sausnas, kas ir par 38 % mazāk nekā miltos.

Pantotēnskābes saturs miltos un maizē bija vienāds, kas apstiprina tās termisko stabilitāti, ja pH ir no 5 līdz 7. Tā kā pantotēnskābe ietilpst acilēšanas kofermenta sastāvā, kam ir nozīmīga loma vielmaiņas procesos, var teikt, ka tā palielina rudzu maizes bioloģisko vērtību.

Pētījumā noskaidrojām, ka rudzu pilngraudu maize satur arī piridoksālu un piridoksīnu, kas ir B₆ vitamīna vitamēri un kas graudu produktos atrodas

■maize / bread ■milti / flour

5. att. B vitamēru komplekss pilngraudu rudzu miltos un maizē.

Fig. 5. Complex of B vitamins in whole grain rye flour and bread.

3. tabula / Table 3

Vitamīnu saturs 100 g maizes un to ieteicamās dienas devas (IDD)
Vitamin content in 100 g of bread and recommended daily allowances (RDA)

Maize / Bread	Tiamīns / Thiamine, mg	Riboflavīns / Riboflavine, mg	Niacīns / Niacin, mg	α-tokoferols / α-tocopherol, mg
Eksperimenta maize / Experimental bread	0.23±0.015	0.41±0.006	4.24±0.100	1.55±0.012
Sausmaizīte / Crispbread (EuroFir, 2011)	0.24	0.27	4	1.36
„Kaimiška” (EuroFir, 2011)	0.17	0.13	1.6	1.69
Maize ar aktivētiem graudiem / Bread with activated grain (Rakčejeva, 2006)	0.32	0.11	1.38	1.88
Pilngraudu rudzu maize / Whole grain rye bread (Fineli, 2010)	0.20	0.15	2.7	0.8
IDD, mg pieaugušajiem / RDA, mg for adults (LR Veselības ..., 2008)	1.2	1.6	16	12
Eksperimentālā maize, % no IDD / Experimental bread, % of RDA	19%	26%	27%	13%

glikozilētā formā, tāpēc to saturu miltos un maizē nevar izvērtēt, taču to klātbūtne maizē ir ļoti svarīga. Pētījums parādīja, ka rudzu maize satur plašu spektru B kompleksa vitamīnus – B₁, B₂, B₃, B₅ un B₆.

Salīdzinot mūsu pētījumā iegūtos datus ar literatūras datiem par vitamīnu saturu līdzīgos maizes paraugos un saskaņā ar Veselības ministrijas 2008. gada 15. oktobra rīkojumu Nr. 174 „Ieteicamās enerģijas un uzturvielu devas Latvijas iedzīvotājiem” (LR Veselības ministrija, 2008), redzams, ka lielākais ieteicamās dienas devas (IDD) segums, ēdot rudzu pilngraudu maizi, ir riboflavīna, niacīna un tiamīna saturam. Apēdot 100 g Lietuvā ražoto rudzu maizi „Kaimiška”, patērētājs uzņem 14% tiamīna, 8% riboflavīna, 10% niacīna un 14% α -tokoferola no IDD. Salīdzinot Lietuvā un Latvijā ceptās maizes sastāvu, konstatējām, ka maize „Kaimiška” satur mazāk B grupas vitamīnu, bet ir bagātāka ar α -tokoferolu.

Saskaņā ar Eiropas Padomes direktīvu 90/496/EEC (Council Directive ..., 1990) maize satur ievērojamu vitamīnu daudzumu, ja to saturs ir vismaz 15% no IDD 100 g produkta. Rudzu pilngraudu maize ir būtisks vitamīnu avots iedzīvotāju uzturā, jo 100 g pilngraudu rudzu maizes no IDD satur 19% tiamīna, 26% riboflavīna, 27% niacīna un 13% α -tokoferola.

Vitamīnu satura salīdzinājums starp pētījuma objektu – ražošanas uzņēmumā ceptu rudzu maizi – un literatūrā atrastajiem datiem un IDD dots 3. tabulā. Mūsu pētījumā iegūtie rezultāti apstiprina pilngraudu rudzu maizes nozīmīgu patērētāju ikdienas uzturā. Izvēloties pilngraudu rudzu maizi, patērētāji veicina veselības saglabāšanu.

Ražotāji var iegūt vitamīniem bagātāku maizi, ja izvēlēsies pilngraudu miltus, garāku mīklas raudzēšanas laiku un optimālu cepšanas laiku rudzu maizes ražošanas procesā.

Secinājumi

1. Vitamīnu saturu rudzu maizes cepšanas procesā ietekmē cepšanas ilgums, temperatūra un izvietojums klaiņā (mīkstumam vai garozai).
2. Maizes cepšanas procesā vitamīnu saturs garozā samazinās vairāk nekā mīkstumā, ar būtisku vitamīnu koncentrācijas atšķirību ($p=0.001$).
3. Salīdzinot ar vitamīnu saturu miltos, cepšanas procesā maizē tiamīna saturs samazinājās par 36%, bet riboflavīna, niacīna un α -tokoferola daudzums palielinājās attiecīgi par 53%, 40% un 6%.
4. Pētījuma objekts – rudzu pilngraudu maize – ir ievērojams tiamīna, riboflavīna un niacīna avots

patērētāju uzturā, kā arī satur plašu spektru citu B grupas vitamīnu: nikotīnamīdu, pantotēnskābi, piridoksālu un piridoksīnu.

Literatūra

1. Arhipova, I., & Bāliņa, S. (2003). *Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SSPS un Microsoft Excel*. Mācību līdzeklis. Rīga: Datorzinību centrs.
2. Ball, G. (2006). *Vitamins in foods. Analysis, bioavailability, and stability*. London, New York: CRC Press, Taylor & Francis group.
3. Batifoulier, F., Verny, M.A., Chanliaud, E., Remesy, C., & Demigne, C. (2005). Effect of different breadmaking methods on thiamine, riboflavin and pyridoxine contents of wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 42, 101–108.
4. Council Directive of 24 September 1990 on nutrition labelling for foodstuffs (90/496/EEC). (1990). *Official Journal of the European Communities*, L. 276, 40–44.
5. EuroFir. (2011). *Whole grain rye bread*. Retrieved from European Food Information web site: <http://ebasis.eurofir.org>
6. Fineli. (2010). *Foods*. Retrieved from Finnish Food Composition database: <http://www.fineli.fi/index.php?lang=en>
7. Hagg, M., & Kumpulainen, J. (2002). Thiamine and riboflavin contents of Finnish breads and their corresponding flours. *Journal of Food Composition and Analysis*, 7, 94–101.
8. Hakansson, B., & Jagerstad, M. (1990). The effect of thermal inactivation of lipoxygenase on the stability of vitamin E in wheat. *Journal of Cereal Science*, 12, 177–185.
9. Hiller, B., Schlormann, W., Gleis, M., & Lindhauer, M.G. (2011). Comparative study of colorectal health related compounds in different types of bread: Analysis of bread samples pre and post digestion in batch fermentation model of the human intestine. *Food Chemistry*, 125, 1202–1212.
10. Khetarpaul, N., & Chauhan, B.M. (1989). Effect of fermentation on protein, fat, minerals and thiamine content of pearl-millet. *Plant Foods for Human Nutrition*, 39, 169–177.
11. Kunkulberga, D., & Segliņš, V. (2010). *Maizes ražošanas tehnoloģija*. Rīga: RTU izdevniecība.
12. Lextinen, P., Kaukovirta-Norja, A., & Poutanen, K. (2009). *Rye and oats – innovative processing and ingredients*. Retrieved from

- <http://www.aaccnet.org/cerealfoodsworld/pdfs/CFW-54-2-suppl.pdf>.
13. Lindhauer, M.G. (2008). Anti-oxidative potential of breads in dependence on recipees and baking procedure. In Proceedings of 4th International Congress "Flour – Bread '07" (pp. 50–57). Osijek, Croatia.
 14. Liu, S., Manson, J.A., Stampfer, M., Hu, F., Giovannucci, E., Colditz, G., ... Willett, W. (2000). A prospective study of whole-grain intake and risk of type-2 diabetes mellitus in women. *American Journal of Public Health*, 90, 1409–1415.
 15. Liukkonen, K.H., Katina, K., Wilhelmsson, A., Myllymaki, O., Lampi, A.M., Kariluoto, S., ... Poutanen, K. (2003). Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 609–619.
 16. LR CSP (2010). *Latvijas statistikas gadagrāmata 2009*. Rīga: LSP.
 17. LR Veselības Ministrija. (2008). *Ieteicamās enerģijas un uzturvielu devas Latvijas iedzīvotājiem*. Retrieved from [http://phoebe.vm.gov.lv/misc_db/web.nsf/626e6035eadbb4cd85256499006b15a6/195448bbbf7b0975c2257313001f19e0/\\$FILE/IEUD_300908.pdf](http://phoebe.vm.gov.lv/misc_db/web.nsf/626e6035eadbb4cd85256499006b15a6/195448bbbf7b0975c2257313001f19e0/$FILE/IEUD_300908.pdf)
 18. Martinez-Villaluenga, C., Horszwald, A., Frias, J., Piskula, M., Vidal-Valverde, C., & Zielinski, H. (2009). Effect of flour extraction rate and baking process on vitamin B₁ and B₂ contents and antioxidant activity of ginger-based products. *European Food Research & Technology*, 230, 119–124.
 19. Mihhalevski, A., Nisamedtinov, I., Halvin, K., Ošeka, A., & Paalme, T. (2013). Stability of B-complex vitamins and dietary fiber during rye sourdough bread production. *Journal of Cereal Science*, 57, 30–38.
 20. Montonen, J., Jarvinen, R., Heliovaara, M., Reunanen, A., Aromaa, A., & Knekt, P. (2005). Food consumption and the incidence of type II diabetes mellitus. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59, 441–448.
 21. Montonen, J., Knekt, P., Jarvinen, R., Aromaa, A., & Reunanen, A. (2003). Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77, 622–629.
 22. Nystrom, L., Lampi, A., Andersson, A., Kamal-Eldin, A., Gebruers, K., Courtin, C., ... Piironen, V. (2008). Phytochemicals and dietary fiber components in rye varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 9758–9766.
 23. Parikka, K., Rowland, I.R., Welch, R.W., & Wahala, K. (2006). *In vitro* antioxidant activity and antigenotoxicity of 5-n-alkylresorcinols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 1646–1650.
 24. Poutanen, K. (1997). Rye bread: Added value in the world's bread basket. *Cereal Foods World*, 42, 682–683.
 25. Rakčejeva, T. (2006). *Bioloģiski aktivēti graudi kviešu maizes ražošanā*. Promocijas darbs inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda iegūšanai pārtikas zinātnē, LLU, Jelgava.
 26. Schatzkin, A., Lanza, E., Corle, D., Lance, P., Iber, F., Caan, B., ... Slattery, M. (2000). Lack of effect of a low-fat, high-fiber diet on the recurrence of colorectal adenomas. *New England Journal of Medicine*, 342, 1149–1155.
 27. Seal, C.J. (2006). Whole grains and CVD risk. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65, 24–34.
 28. Ward, J., Poutanen, K., Gebruers, K., Piironen, V., Lampi, A.-M., Nystrom, L., ... Shewry, P. R. (2008). The HEALTHGRAIN cereal diversity screen: Concept, results and prospects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 9699–9709.
 29. Wennermark, B., & Jagerstad, M. (1992). Bread making and storage of various wheat fractions affect vitamin E. *Journal of Food Science*, 57(5), 1205–1209.

Pateicība

Pētījums veikts ar ESF projekta „Atbalsts doktora studiju programmu īstenošanai”, vienošanās Nr. 2009/0180/IDP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017/, līguma Nr. 04.4-08/EF2.PD.32, atbalstu.