

Latvia University of Agriculture
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Faculty of Food Technology
Pārtikas tehnoloģijas fakultāte



Mg. sc. sal. Asnate Ķirse

**EFFECT OF ADVANCED PROCESSING METHODS
ON THE QUALITY OF PULSE SPREADS DURING
SHELF-LIFE**

***PROGRESĪVU APSTRĀDES PANĒMIENU IETEKME
UZ PĀKŠAUGU PASTĒŠU KVALITĀTI
UZGLABĀŠANAS LAIKĀ***

SUMMARY

of the Doctoral Dissertation for the scientific degree of *Dr. sc. ing.*

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

Jelgava
2017

Scientific supervisor /
Promocijas darba vadītāja:

Prof., *Dr.sc.ing.* **Daina Kārklīņa**

Official reviewers / *Oficiālie recenzenti:*

Dr. habil. sc. ing. **Lija Dukalska** (State Emeritus Scientist / *Valsts emeritētā zinātniece*)

Dr. chem. **Dace Šantare** (Senior Expert, Central Finance and Contracting Agency of the Republic of Latvia, Educational, science and human resource development project selection division / *Vecākā eksperte, Centrālā finanšu un līgumu aģentūra, Izglītības, zinātnes un cilvēkresursu attīstības projektu atlases nodaļa*)

Prof., *Dr. habil. sc. ing.* **Pēteris Rivža** (Latvia University of Agriculture, Faculty of Information technologies / *Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Informācijas tehnoloģiju fakultāte*)

The research leading to these results has received funding from the European Project EUROLEGUME “Enhancing of legumes growing in Europe through sustainable cropping for protein supply for food and feed” (Seventh Research Framework Programme of the European Union, FP7 research project n° 613781).

Darba izstāde veikta ar ES 7. ietvara programmas pētniecības projekta Nr. 613781 EUROLEGUME “Ilgtspējīgu pākšaugu audzēšanas tehnoloģiju izstrāde un to izmantošanas veicināšana proteīna nodrošināšanai Eiropā pārtikas un lopbarības ražošanā” atbalstu.



The defence of the dissertation in an open session of the Promotion Board of Food Science of Latvia University of Agriculture will be held on April 12, 2017, at 1 p.m. in auditorium 216 at the Faculty of Food Technology of Latvia University of Agriculture, 22 Rigas Street, Jelgava.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Pārtikas zinātnes nozares promocijas padomes atklātajā sēdē 2017. gada 12. aprīlī plkst. 13⁰⁰ Pārtikas tehnoloģijas fakultātes 216. auditorijā, Rīgas ielā 22, Jelgavā.

The dissertation is available at the Fundamental Library of the Latvia University of Agriculture, 2 Liela Street, Jelgava LV-3001, and on the internet http://lufb.llu.lv/promoc_darbi_en.html. References should be sent to Dr. sc. ing. **I. Beitane**, the Secretary of the Promotion Board of Food Science at the Faculty of Food Technology, Latvia University of Agriculture, 22 Rigas Street, Jelgava LV-3004, Latvia or e-mail: ilze.beitane@llu.lv.

*Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā ielā 2, Jelgavā LV-3001, un internetā (pieejams: http://lufb.llu.lv/promoc_darbi_en.html). Atsauksmes sūtīt Pārtikas zinātnes nozares promocijas padomes sekretārei, LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes asoc. prof. *Dr.sc.ing.* **I. Beitānei** (Rīgas iela 22, Jelgava LV-3004, e-pasts: ilze.beitane@llu.lv).*

CONTENT

Topicality of the research	4
Approbation of the research	6
Materials and methods	9
Results and discussion	15
1. Qualitative parameters of new pulse spreads	15
2. The effect of advanced processing methods on pulse spread quality	17
3. Modelling microbial inactivation kinetics of <i>sous vide</i> treatment in maple pea spread	21
4. Quality changes of pulse spreads during storage.....	24
5. Nutritional value assessment of pulse spreads.....	33
Conclusions	34

SATURS

Pētījuma aktualitāte	36
Zinātniskā darba aprobācija	38
Materiāli un metodes	38
Rezultāti un diskusija	41
1. Jauno pākšaugu pastēšu kvalitatīvie rādītāji	41
2. Progresīvu apstrādes paņēmienu ietekme uz pākšaugu pastēšu kvalitāti	42
3. Mikroorganismu inaktivācijas kinētikas modelēšana <i>sous vide</i> apstrādātā pelēko zirņu pastētē	44
4. Kvalitātes izmaiņas pākšaugu pastēšu uzglabāšanas laikā	46
5. Pākšaugu pastēšu uzturvērtības novērtējums	53
Secinājumi	54

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Pulses, plant seeds in the family *Fabaceae*, are grain legumes harvested for the dry grain which constitute an important protein source for a large proportion of the world's population. Pulses are relatively inexpensive and highly nutritious, providing good quality plant-based protein, complex carbohydrates and B-vitamins.

Despite nutritional advantages, pulse consumption in Europe is $\frac{1}{3}$ of the world average (7.21 kg per capita); the average pulse consumption in Latvia was 7.8 g per capita per day in 2015, with the annual consumption 2.83 kg per capita. As the main reason for low pulse consumption is the lengthy cooking time, innovative products from pulses that can reduce or exclude time-consuming preparation are an excellent option for consumers today, as modern lifestyle has substantially changed eating habits, leading to a significantly higher demand for ready-to-eat foods. Furthermore, year 2016 was declared the 'International Year of Pulses' by the 68th United Nations General assembly to raise public awareness of the "nutritional benefits of pulses as part of sustainable food production aimed towards food security and nutrition".

Plant-based spreads have become important for health-conscious people, however, the variety of plant-based spreads in the Latvian market is limited. In addition, pulses growing in Europe / of local origin are not represented in commercially available plant-based spreads.

Regardless of the advantages of developing pulse spreads, these products can be affected by the growth of a wide range of microorganisms. Advanced processing methods should be considered, as consumers are becoming more cautious towards the use preservatives while demanding products with increased shelf-life (Can, Harun, 2015).

Sous vide processing of products in flexible packaging is a fairly new method that allows to improve safety, maintain quality and extend shelf-life of products. High pressure processing is a successfully commercialized non-thermal processing method (Farkas, 2016), mostly applied to pasteurize refrigerated low-acid foods (Sarker *et al.*, 2013), that preserves sensory and nutritional attributes of food with minimal quality loss; it is recognised as a novel processing method by EC Regulation No 2283/2015, recently introduced to improve safety, quality and shelf-life of foodstuff. Both preservation methods are described as suitable for the elimination of vegetative microorganism cells and non-spore forming food-borne pathogens, thus extending shelf-life of food products.

The **hypothesis** of the doctoral dissertation: shelf-life of pulse spreads can be significantly extended through high pressure processing or *sous vide* treatment.

The hypothesis of the doctoral dissertation is supported by the following **theses**:

1. The developed technology is suitable for the production of high quality spreads from pulses growing in Europe / of local origin which are safe for consumption. Seasonings significantly influence the quality of pulse spreads.
2. The selected regimes of processing methods influence the microbiological, physicochemical and sensory parameters of pulse spreads.
3. The kinetic models for inactivation of microorganisms can be applied to evaluate the experimental data of *sous vide* thermal treatment.
4. *Sous vide* and high pressure processed pulse spreads maintain their microbial, sensory and physicochemical quality during storage.
5. Experimentally developed pulse spreads are eligible for such nutrition and health claims – ‘high protein’ and ‘high fibre’.

The **research object** of the doctoral dissertation: spreadable plant protein based pulse products.

The **aim** of the doctoral dissertation was to investigate the influence of high pressure processing and *sous vide* treatment technologies on the quality of new pulse spreads.

The following **research objectives** were set to reach the aim of the doctoral dissertation:

1. to develop a production technology for new plant protein based spreads from cowpeas and maple peas, and determine the qualitative parameters of spreads,
2. to determine the optimal *sous vide* treatment and high pressure processing regimes suitable to ensure pulse spread quality during shelf-life,
3. to model the inactivation kinetics of microorganisms in *sous vide* treated pulse spreads,
4. to evaluate the microbiological, sensory and physicochemical quality changes of pulse spreads during storage,
5. to assess the conformity of nutritional value of the new products to nutrition and health claims, and compare the nutrient coverage according to the nutrient recommendations for adolescents and adults.

The **novelty** and **scientific significance** of the doctoral dissertation:

1. the suitability of cowpeas and maple peas for the development of innovative pulse spreads has been studied for the first time,
2. new pulse products – spreads have been developed and the production method has been registered with RL patent N° 14705 (2014),
3. the influence of high pressure processing and *sous vide* treatment on the quality of pulse spreads has been established, and suitable processing regimes have been found,
4. the quality of pulse spreads during storage has been evaluated and suggested shelf-life of spreads has been given,

5. the modelling of inactivation kinetics of microorganisms in *sous vide* treated pulse spreads has been conducted using linear and non-linear mathematical models.

The economic significance of the doctoral dissertation:

1. pulse utilization for production of novel foods rich in protein and dietary fibre,
2. the new products exclude the time-consuming pulse preparation for consumption,
3. the developed pulse spreads extend the range of products offered to consumers, especially vegetarians.

APPROBATION OF THE RESEARCH

Research results have been summarised and published in 12 peer reviewed scientific issues, including 5 publications indexed in the international citation database SCOPUS and Web of Science, one Patent N° 14705 (Republic of Latvia) has been received.

Publications / publikācijas – 12

1. **Kirse A.**, Karklina D., Muizniece-Brasava S., Galoburda R. (2017) Influence of *sous vide* treatment and high pressure processing on nutritional value and overall acceptance of pulse spreads. Accepted to be published in *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*.
2. **Kirse A.**, Skudra L., Karklina D., Galoburda R., Muizniece-Brasava S. (2017) Shelf-life prediction of *sous vide* and high pressure processed pulse spreads. Accepted to be published in *Agronomy Research*.
3. **Kirse A.**, Karklina D., Muizniece-Brasava S. (2016) Shelf-life extension of maple pea (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) spread using *sous vide*. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, Vol. 70, No. 6, p. 393-399. DOI: 10.1515/prolas-2016-0056 (SCOPUS)
4. **Kirse A.**, Karklina D., Muizniece-Brasava S., Galoburda R. (2016) Physicochemical stability of pulse spreads during storage after *sous vide* treatment and high pressure processing. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, Vol. 10, No. 12, pp. 719-723.
5. **Kirse A.**, Straumite E., Karklina D. (2016) Influence of *sous vide* treatment and high pressure processing on sensory quality of pulse spreads during storage. Scientific seminar proceedings *Harvest Festival "Vecauce-2016"*. Jelgava: LLU, pp. 36-39. ISBN 978-9984-48-240-8
6. **Kirse A.**, Karklina D., Muizniece-Brasava S. (2016) Consumer acceptance of new pulse spreads before and after *sous vide* treatment. *Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food*, Vol. 4, pp. 104-114. ISSN 1314-8591 (AGRIS)

7. **Kirse A.**, Karklina D., Muizniece-Brasava S., Galoburda R. (2015) High pressure processing for pea spread shelf-life extension: a preliminary study. *GRANT journal*. Vol. 4, No. 2, pp. 102-108. ISSN 1805-0638 (*EBSCOhost*)
8. **Kirse A.**, Karklina D. (2015) Integrated evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and maple pea (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) spreads. *Agronomy Research*, Vol. 13, No. 4, pp. 956-968. ISSN 1406-894X (*Web of Science*)
9. **Kirse A.**, Karklina D. (2014) Attitudes of Latvian adults to the consumption of pulses. *Research for Rural Development 2014: Annual 20th International Scientific Conference Proceedings*, Vol. 1. Jelgava: LLU, pp. 130-137. ISSN 1691-4031 (*SCOPUS*)
10. **Kirse A.**, Karklina D. (2014) Nutritional evaluation of pulse spreads in comparison to nutrient recommendations. *Proceedings of 9th Baltic Conference on Food Science and Technology – FoodBalt 2014*, Jelgava: LLU, pp. 138-143. ISSN 2255-9817 (*Web of Science*)
11. **Kirse A.**, Karklina D., Strautniece E.V. (2013) Sensory evaluation of new bean spreads for vegetarians. *Research for Rural Development 2013: Annual 19th International Scientific Conference Proceedings*, Volume 1. Jelgava: LLU, pp. 79-83. ISSN 1691-4031 (*SCOPUS*)
12. **Kirse A.**, Karklina D. (2013) Quality evaluation of new vegetarian bean spreads. *European Scientific Journal*. Special Edition, Vol. 4, pp. 453-457. ISSN: 1857-7881 (*EBSCOhost*)

Republic of Latvia Patent / LR Patents – 1

1. **Kirse A.**, Karklina D. (2014) Bean spread production method, *Republic of Latvia Patent* N^o 14705. *Inventions, trademarks and industrial designs: The Official Gazette of the Patent Office of the Republic of Latvia*, No. 5, p. 600. ISSN 2255-9655

The results of the research work have been presented at 14 international scientific conferences and seminars in Latvia, Estonia, Lithuania, Czech Republic, Portugal, Bulgaria, Italy, as well as during the international food industry fair “Riga Food” at the exhibition stand of Latvia University of Agriculture in 2013, 2014, 2015 and 2016.

Presentations / prezentācijas – 14

1. **Kirse A.** (2016) Physicochemical stability of pulse spreads during storage after *sous vide* treatment and high pressure processing // A. Kirse, D. Karklina, S. Muizniece-Brasava, R. Galoburda // *18th International Conference on Nutrition and Food Technology*. December 8-9, Rome, Italy (oral presentation / *mutiskais referāts*).
2. **Kirse A.** (2016) Inactivation of microorganisms in maple pea (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) spread // A. Kirse, D. Karklina, S. Muizniece-Brasava, R. Galoburda // *5th International Conference of Young Scientists*

Young Scientists for Advance of Agriculture. November 10, Vilnius, Lithuania (oral presentation / *mutiskais referāts*).

3. **Kirse A.** (2016) Influence of *sous vide* treatment and high pressure processing on sensory quality of pulse spreads during storage // A. Kirse, D. Karklina, E. Straumite // Scientific seminar *Harvest Festival "Vecauce - 2016"*. November 3, Vecauce, Latvia (oral presentation, in Latvian / *mutiskais referāts latviešu valodā*).
4. **Kirse A.** (2016) Influence of *sous vide* treatment and high pressure processing on nutritional value and overall acceptance of pulse spreads // A. Kirse, D. Karklina // 2nd International Conference *Nutrition and Health*. October 5-7, Riga, Latvia (poster presentation / *stenda referāts*).
5. **Kirse A.** (2016) Maintaining the quality of pulse spreads: new solutions. Scientific-practical seminar *Innovative product development from grains and legumes* within 21st International Food Fair Riga Food 2016. September 8, Riga, Latvia (oral presentation / *mutiskais referāts*).
6. **Kirse A.** (2016) Consumer acceptance of new pulse spreads before and after *sous vide* treatment // A. Kirse, D. Karklina, S. Muizniece-Brasava // 4th International Conference *Agriculture & Food*. June 20-24, Elenite, Bulgaria (poster presentation / *stenda referāts*).
7. **Kirse A.** (2016) Plant-based spreads and their availability in the Latvian market. 11th international scientific conference *Students on their Way to Science*. April 22, Jelgava, Latvia (oral presentation / *mutiskais referāts*).
8. **Kirse A.** (2015) High pressure processing for pea spread shelf-life extension: a preliminary study // A. Kirse, D. Karklina, S. Muizniece-Brasava, R. Galoburda // 4th International Scientific Conference for PhD students of EU countries (*CER 2015*). October 26-30, Prague, Czech Republic (oral presentation / *mutiskais referāts*).
9. **Kirse A.** (2015). Microbiological safety of heat treated pea spread // A. Kirse, D. Karklina, S. Muizniece-Brasava // FoodBalt 2015: 10th Baltic Conference on Food Science and Technology *Future Food: Innovations, Science and Technology*. May 21-22, Kaunas, Lithuania (poster presentation / *stenda referāts*).
10. **Kirse A.** (2015) Integrated evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and maple pea (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) spreads // A. Kirse, D. Karklina // 6th International Conference *Biosystems Engineering 2015*. May 7-8, Tartu, Estonia (poster presentation / *stenda referāts*).
11. **Kirse A.** (2014) Attitudes of Latvian adults to the consumption of pulses // A. Kirse, D. Karklina // The Annual 20th International Scientific Conference *Research for Rural Development 2014*. May 19-21, Jelgava, Latvia (oral presentation / *mutiskais referāts*).
12. **Kirse A.** (2014) Nutritional evaluation of pulse spreads in comparison to nutrient recommendations // A. Kirse, D. Karklina // FoodBalt 2014: 9th Baltic Conference on Food Science and Technology *Food for consumer well-being*. May 8-9, Jelgava, Latvia (oral presentation / *mutiskais referāts*).

13. **Kirse A.** (2014) Nutritional comparison of pulses. 9th international scientific conference *Students on their Way to Science*. April 25, Jelgava, Latvia (oral presentation / *mutiskais referāts*).
14. **Kirse A.** (2013) Quality evaluation of new vegetarian bean spreads // A. Kirse, D. Karklina // Global Multidisciplinary e-Conference *Science does NOT know borders*. November 10-12, Portugal (oral presentation / *mutiskais referāts*).

Presentations during the international food industry fair “Riga Food” / prezentācijas starptautiskajā pārtikas izstādē “Riga Food” – 4

1. **Kirse A.** (2016) Maintaining the quality of pulse spreads: *sous vide* treatment and high pressure processing. 21st International Food Fair *Riga Food 2016*. September 7-10, Riga, Latvia (oral presentation and a flayer, in Latvian / *mutiskais referāts un skrejlapa latviešu valodā*).
2. **Kirse A.** (2015) Suitability of legumes for vegetarian spread production. 20th International Food Fair *Riga Food 2015*. September 2-5, Riga, Latvia (poster presentation and a brochure, in Latvian / *stenda referāts un buklets latviešu valodā*).
3. **Kirse A.** (2014) Development of new legume products. 19th International Food Fair *Riga Food 2014*. September 4-7, Riga, Latvia (poster presentation, in Latvian / *stenda referāts latviešu valodā*).
4. **Kirse A.** (2013) New bean spreads for vegetarians. 18th International Food Fair *Riga Food 2013*. September 4-7, Riga, Latvia (poster presentation, in Latvian / *stenda referāts latviešu valodā*).

MATERIALS AND METHODS

Time and place of the research

Experiments were carried out during the period from 2013 to 2016. Product development and analysis were performed at several institutions:

- » Faculty of Food Technology and Analytical laboratory for Agronomy Research, Latvia University of Agriculture,
- » J.S. Hamilton Baltic Ltd.,
- » Kipsala International Exhibition Centre, International food industry fair “Riga Food” 2013, 2014, 2015 and 2016.

Materials used in the research

Spreads were made from two types of pulses: cowpeas (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. cv. Fradel), harvested in 2013, Portugal, and maple peas (*Pisum sativum* var. *arvense* L. cv. Bruno), harvested in 2014, Priekuli, Latvia. Additional ingredients were as follows: canola oil, citric acid, Himalayan salt, sesame seeds, onion seasoning, bell pepper seasoning, bruschetta seasoning (dried tomato, basil and garlic), green herb seasoning (dried parsley, dill, spring onion). Six different spreads from each pulse were developed: one without

seasoning (Table 1) – control sample and five with seasonings (Table 2) to obtain flavour diversity. The objective in developing new pulse products was to obtain spreads with high protein and fibre content, and low fat content, based on the nutrition and health claims defined in EC Regulation No 1924/2006 and CM Regulation No 172/2012.

Table 1 / 1. tabula

**Recipes of pulse spreads without seasonings /
Pākšaugu pastēšu receptūra pastētēm bez piedevām**

Ingredients / Izejvielas	The composition of pulse spreads / Pākšaugu pastēšu sastāvs, g kg ⁻¹	
	cowpea spread / melnacoto pupiņu pastēte	maple pea spread / pelēko zirņu pastēte
Cowpeas / Melnacotās pupiņas	934.0	–
Maple peas / Pelēkie zirņi	–	934.0
Canola oil / Rapšu eļļa	60.0	60.0
Himalayan salt / Himalaju sāls	3.8	3.8
Citric acid / Citronskābe	2.2	2.2

Table 2 / 2. tabula

**Sample abbreviations of pulse spreads used in the research /
Pēfīto pākšaugu pastēšu paraugu apzīmējumi**

Added seasonings / Pievienotās garšvielas	Amount of seasonings / Piedevu daudzums, %	Pulse spreads / Pākšaugu pastētes	
		cowpea spread / pupiņu pastēte	maple pea spread / zirņu pastēte
Without seasoning / Bez piedevām	–	CS	MS
Bruschetta seasoning / Brušeta garšviela	1.00	CS_S	MS_S
Green herbs / Zaļumi	1.30	CS_H	MS_H
Onion seasoning / Sīpolu garšviela	2.10	CS_O	MS_O
Bell pepper seasoning / Paprikas garšviela	3.30	CS_B	MS_B
Sesame seeds / Sezama sēklas	0.95	CS_E	MS_E

Research structure

The study was conducted in five stages (Fig. 1).

Stage I – Development and qualitative assessment of new pulse spreads

Pulse spread production technology was based on the vegetarian spread preparation method as described in Republic of Latvia Patent N^o 14705 (2014). The technology includes soaking pulses in water (with added NaHCO₃, 21.5 g kg⁻¹) at 20±2 °C for 15 h, then rinsing and boiling rehydrates pulses in a pressure cooker until tender ($\tau = 35 \pm 5$ min, plus 15 min for natural pressure release). Hot cooked pulses are then grinded in a food processor (Philips HR 7761/00, Philips Ltd., Netherlands) together with salt and citric acid, seasoning

is added to the pate (if needed); oil is added at the end of mixing in the food processor.



Fig. 1. **Structure of the research / 1. att. Pētījuma struktūra**

Qualitative assessment of pulse spreads was completed by sensory evaluation (hedonic scale, $n_{\text{panelists}} = 120$), physicochemical (protein, ash, total dietary fibre, total phenols, dry matter, pH, L^* value, firmness) and microbiological (total plate count (TPC), yeast and mould count) parameters. Integrated multifactorial evaluation was used to select spreads with the highest production potential to conduct shelf-life research.

Stage II – Selection of packaging materials and processing method regimes for pulse spread

The following packaging materials were chosen for pulse spreads: two-layer transparent PA/PE laminated pouches with high barrier properties (PTC Ltd., Latvia) and lightproof PET/ALU/PA/PP laminated pouches with high barrier properties (Nordvak Ltd., Latvia) with dimensions 45×170 mm. Packages were hermetically sealed using chamber type vacuum packaging machine *C300* (Multivac Ltd., UK) and subjected to additional treatment for long term storage (Fig. 2).

Sous vide treatment was carried out in water bath (Clifton Food Range, Nickel-Electro Ltd., UK), whereas high pressure processing was completed at ambient temperature using Iso-Lab High Pressure Pilot Food Processor (S-FL-100-250-09-W, Stansted Fluid Power Ltd., Essex, UK) in a 2.0 l pressure vessel. Vacuum packaged untreated (control), *sous vide* and high pressure treated samples were stored at refrigerated conditions (Fig. 2).

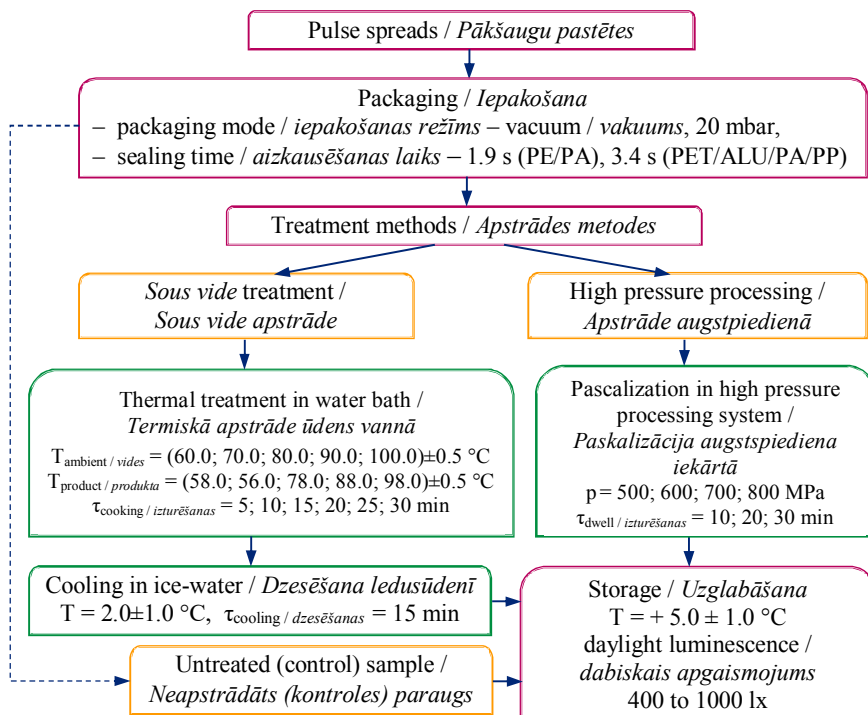


Fig. 2. **Packaging and treatment scheme of pulse spreads / 2. att. Pākšaugu pastēšu iepakošanas un apstrādes shēma**

The abbreviations of processed samples contained two letters characterising processing method and two numbers – the first number described temperature (°C) or pressure (MPa) and the second number described holding time (min):

- » SV 80_15 – *sous vide* treatment at 80 °C for 15 min,
- » HP 700_10 – high pressure processing at 700 MPa for 10 min,
- » C – control sample.

Stage III – Modelling inactivation kinetics of microorganisms in *sous vide* treated pulse spreads

Sous vide treatment of maple pea spread with bruschetta (MS_B) was carried out at five temperature regimes (Fig. 2). Two packages were removed from the heating environment after 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 min and immediately chilled in 2.0±1.0 °C ice-water to core temperature 5.0±1.0 °C within 10 min.

Modelling the inactivation kinetics was performed by constructing survival curves as a function of the temperature applied. For this purpose, log CFU g⁻¹ was plotted against time (min) for each separate experiment. Different models (Table 3) were fitted to the *sous vide* inactivation kinetics.

Primary models used to fit data of *sous vide* inactivation in maple pea spread / Primārie modeļi inaktivācijas datu pielāgošanai *sous vide* apstrādātai pelēko zirņu pastētei (Geerared *et al.*, 2005)

Model / Modelis	Equation / Vienādojums
Log-linear / <i>log-lineārais</i>	$\log(N) = \log(N_0) - \frac{k_{max} \cdot t}{\ln(10)}$
Log-linear with tail / <i>log-lineārais ar asti</i>	$\log(N) = \log[(10^{\log(N_0)} - 10^{\log(N_{res})}) \cdot e^{-k_{max} \cdot t} + 10^{\log(N_{res})}]$
Weibull / <i>Veibula</i>	$\log(N) = \log(N_0) - \left(\frac{t}{\delta}\right)^p$
Biphasic / <i>bifāziskais</i>	$\log(N) = \log(N_0) + \log(f \cdot e^{-k_{max1} \cdot t} + (1 - f) \cdot e^{-k_{max2} \cdot t})$

Joinpoint regression was applied to determine the breakpoints of survivor curves, in order to calculate *D* and *z* values of linear and tail proportions of microorganism curves. Calculations were based on the research of Li *et al.* (2017).

Stage IV – Quality evaluation of pulse spreads during storage

Microbiological quality of pulse spreads during storage was characterised by total plate count, count of yeasts and moulds, and the presence of pathogens. Changes in **sensory quality** of pulse spreads during storage were evaluated by six experts. Each sensory parameter (overall appearance, aroma, mouthfeel and taste) was assessed within a scale of 5 (very good quality) to 1 (unsatisfactory quality) and each sample was given a quality number (QN). Hedonic evaluation was used to determine overall acceptance of processed spreads by consumers. **Physicochemical quality** of pulse spreads during storage was characterised by changes in pH, water activity, moisture, mass losses, colour, protein, dietary fibre, ash, fat, total phenolics and antiradical activity.

Stage V – Nutritional evaluation

Energy value of pulse spreads was calculated according to coefficients described in Regulation (EU) No 1169/2011 and conformity to nutrition and health claims was evaluated according to Regulation (EC) No 1924/2006. Nutrient coverage by one serving (50 g) of pulse spreads for adolescents and adults was analysed in comparison to the reference intake values.

Methods used in the research

Methods used to determine physicochemical, sensory and microbiological parameters are summarized in Table 4.

Table 4 / 4. tabula

**Standards and analytical methods used for analysis of pulse spreads /
Pākšaugu pastēšu paraugu analizēšanai izmantotie standarti un metodes**

No / Nr.	Parameters / Rādītāji	Methods / metodes
Physical parameters / Fizikālie rādītāji		
1.	Moisture content ^{a*} / <i>Mitruma saturs</i> , %	ISO 24557:2009
2.	Firmness ^a / <i>Konsistence</i> , N	TA.XT. Plus Texture Analyser / <i>Struktūras analizators</i>
3.	Colour ^c / <i>Krāsa</i>	ISO 11664-4:2011
4.	Mass losses ^a / <i>Masas zudumi</i> , %	Electronic scale <i>Precisa</i> / <i>Elektroniskie svāri</i> , ±0.01 g
5.	Water activity ^a / <i>Ūdens aktivitāte</i> , a _w	ISO 21807:2004
Chemical parameters / Ķīmiskie rādītāji		
6.	Protein ^a / <i>Olbaltumvielas</i> , g 100 g ⁻¹	ISO 20483:2013
7.	Amino acids ^a / <i>Aminoskābes</i> , g 100 g ⁻¹	ISO 13903:2005
8.	Dietary fibre ^a / <i>Šķiedrvielas</i> , g 100 g ⁻¹	AOAC 985.29-1986
9.	Ash ^a / <i>Pelnielas</i> , mg 100 g ⁻¹	ISO 2171:2007
10.	Fat ^a / <i>Tauki</i> , g 100 g ⁻¹	ISO 11085:2008
11.	pH ^b	ISO 2917:1999
12.	Total phenolics ^a / <i>Kopējie fenoli</i> , mg GAE g ⁻¹	Singleton <i>et al.</i> , 1999
13.	Antiradical activity ^a / <i>Antiradikālā aktivitāte</i> , DPPH ⁻ , μmol TE g ⁻¹ ; ABTS ⁺ , μmol TEAC g ⁻¹	Zia-Ul-Haq <i>et al.</i> , 2013 Erkan <i>et al.</i> , 2011
Sensory parameters / Sensorie rādītāji		
14.	5-point hedonic scale / <i>5-punktu hedoniskā skala</i>	ISO 4121:2003
15.	Sensory properties / <i>Sensorās īpašības</i>	ISO 8586:2012
Microbiological parameters, CFU g ⁻¹ / <i>Mikrobioloģiskie rādītāji, KVV g⁻¹</i>		
16.	Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions / <i>Testa paraugu, sākotnējo suspensiju un decimālatšķaidījumu sagatavošana</i>	ISO 6887-4:2003
17.	Total plate count ^b / <i>Mikroorganismu kopskaits</i>	ISO 4833-1:2013
18.	Yeasts and moulds ^a / <i>Raugi un pelējumi</i>	ISO 21527-1:2008
19.	<i>Enterobacteriaceae</i> count ^a / <i>kopskaits</i>	ISO 21528-2:2004
20.	<i>E. coli</i> ^a	ISO 7251:2005
21.	<i>B. cereus</i> ^a	ISO 7932:2004
22.	<i>C. perfringens</i> ^a	ISO 7937:2004
23.	Identification of microorganisms / <i>Mikroorganismu identifikācija</i>	API identification system / <i>API identifikācijas sistēma</i>

* number of repetitions / *atkārtojumu skaits*, ^a n=3, ^b n=5, ^c n=10

Data analysis

The obtained data processing was performed with statistical software 'R 3.0.2', 'Microsoft Office Excel v16.0' and 'Statistica for Windows v10'. Results were given as mean ± standard deviation. Student's t-test, single factor and multifactor analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test were used to compare the means. Differences were considered significant at $p \leq 0.05$. Pearson's correlation coefficient was calculated to determine the association

between the results. Modelling the inactivation kinetics of microorganisms was carried out using the GInaFit v1.6 inactivation model-fitting tool. Joinpoint Regression Program v4.3.1.0. was applied to obtain Joinpoint regression curves. For statistical analysis of inactivation models, the adjusted statistic determination coefficient (R^2_{adj}) as provided by GInaFit add-in, was used in conjunction with the root mean squared error (RMSE) to measure the goodness-of-fit.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Qualitative parameters of new pulse spreads

The analysis of the raw materials proved cowpeas and maple peas to be suitable for plant-based protein spread development due on their high protein content (25.5 ± 0.20 and 26.0 ± 0.30 g 100 g⁻¹ DW, respectively), however, methionine was found to be the limiting amino acid in both pulses.

Product flavour quality drives consumer acceptance and demand as argued by Singh-Ackbarali and Maharaj (2013), therefore it is necessary to develop products that meet consumer expectations. Six pulse spreads from each pulse were subjected to hedonic evaluation (Fig. 3).

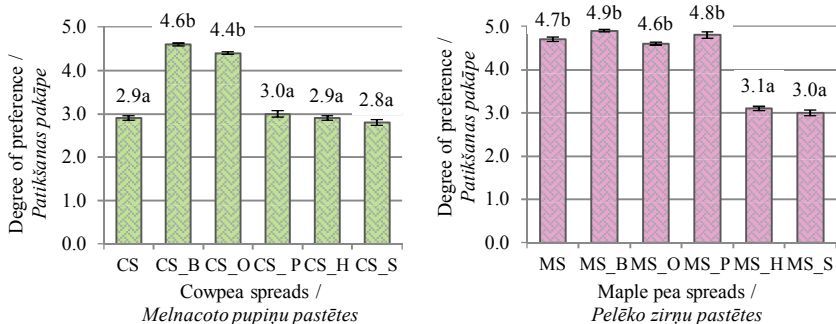


Fig. 3. Results of hedonic evaluation of pulse spreads /
3. att. *Pākšaugu pastēšu hedoniskās vērtēšanas rezultāti*

Values not sharing a superscript letter are significantly different ($p < 0.05$). / *Vērtības ar dažādiem burtiem ir būtiski atšķirīgas ($p < 0.05$).*

Consumers preferred cowpea spread with onions (CS_O) and bruschetta (CS_B) significantly more ($p < 0.05$) than other cowpea spread samples. Four maple pea spread samples had a high preference and did not differ significantly among themselves ($p = 0.221$): maple pea spread with onions (MS_O), bruschetta (MS_B), bell peppers (MS_P) and without seasoning (MS). Added seasonings had a significant influence on the overall acceptance of spreads.

Physicochemical analyses, completed with control samples and highest rated samples (degree of preference > 4.0), showed significant differences for dietary

fibre, total phenolics, L^* value and firmness. Protein content in pulse spreads ranged from 7.10 to 7.43 g 100 g⁻¹ ($p = 0.065$) and ash content (1.00–1.10 g 100 g⁻¹) did not depend on seasonings used ($p = 0.480$). Pulse spreads were good sources of total dietary fibre (10.70 to 14.24 g 100 g⁻¹). The content of total phenolics was higher in spreads with bruschetta. Cowpea spreads were lighter ($L^* 58.70$ – 60.70) than maple pea spreads ($L^* 50.15$ – 57.30) and addition of seasonings had a significant impact on the product lightness (L^*) ($p = 0.010$). pH value ranged from 5.50 to 5.63, except for maple pea spread with bell peppers (pH 5.05). Firmness of pulse spreads ranged from 9.00 to 12.20 N and was influenced by the addition of seasonings ($p = 0.018$).

Total plate count in pulse spreads ranged from 3.20 to 3.40 log CFU g⁻¹, which was significantly higher than in cooked pulses (TPC < 1.0 log CFU g⁻¹). Pulse spreads are vulnerable to cross contamination from ingredients, utensils and the environment during the preparation procedure. TPC did not exceed the admissible level of TPC (< 3.69 log CFU g⁻¹), suggesting that pulse spreads are safe for consumption. Initial shelf-life testing showed that pulse spreads exceeded the admissible TPC within 3 to 5 days of refrigerated storage. The short shelf-life of pulse spreads suggests that post-processing methods and appropriate packaging solutions should be considered to reduce the total number of microorganisms and avoid accelerated deterioration, thus extending shelf-life of the new products.

Integrated multifactorial evaluation (Fig. 4) was carried out based on sensory evaluation, chemical parameters and physical features to determine spread samples with the highest potential for production and shelf-life study.

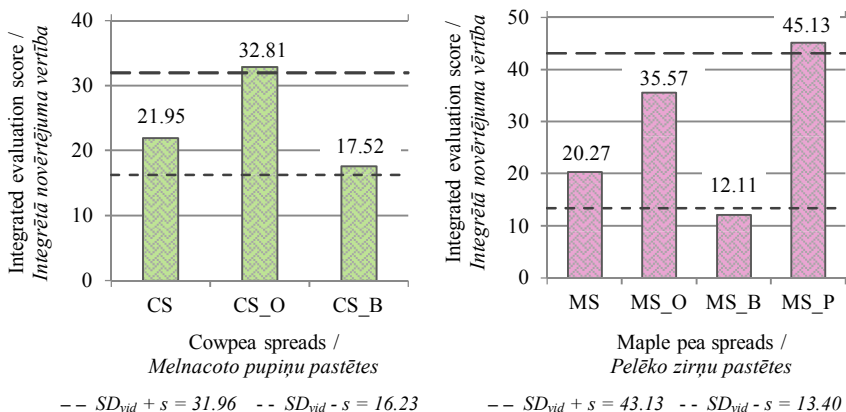


Fig. 4. **Integrated evaluation for quality assessment of pulse spreads /**
 4. att. **Integrētais novērtējums pākšaugu pastēšu kvalitātes izvērtēšanai**

The analysis showed that both cowpea spread with bruschetta (CS_B) and maple pea spread with bruschetta (MS_B) had lower integrated score, indicating that these samples have a better balance between sensory and nutritional

parameters. Spreads with lower integrated scores have more potential to be produced for consumer consumption. The following spreads were selected for shelf-life study: cowpea spread (CS), cowpea spread with bruschetta (CS_B), maple pea spread (MS) and maple pea spread with bruschetta (MS_B).

2. The effect of advanced processing methods on pulse spread quality

Analysis of several *sous vide* treatment regimes showed that total plate count (TPC) in control sample (C) was significantly higher ($p < 0.05$) compared to samples in *sous vide* packaging at various heat treatment regimes (Fig. 5). Heat treatment at 60 °C and 70 °C (Fig. 5a) temperature was efficient to decrease TPC compared to control sample C, although the decline observed was low, therefore these *sous vide* treatment regimes were discarded as unsuitable for pulse spreads.

The third heat-treatment assayed (80 °C) significantly reduced TPC compared to control sample (Fig. 5b) for all heat-treatment times with decreasing efficiency as follows: SV 80_15 = SV 80_20 = SV 80_25 = SV 80_30 (two-log reduction) > SV 80_05 = SV 80_10 (one-log reduction) ($p < 0.05$). TPC reduction efficiency at 90 °C (Fig. 5c) was as follows: SV 90_15 = SV 90_20 = SV 90_25 = SV 90_30 (two-log reduction) > SV 90_05 = SV 90_10 (one-log reduction) ($p < 0.05$). A 2.5-log reduction with significant differences ($p < 0.05$) between cooking times at 100 °C was reported (Fig. 5d). Hence, samples SV 100_15, SV 100_20, SV 100_25 and SV 100_30 displayed significantly lower microbial contamination than other samples ($p = 0.011$).

In addition, although with lower efficiency, heat treatments SV 100_05 and SV 100_10 also reduced significantly ($p < 0.05$) the microbial load relative to the control sample. Cooking time $\tau_{\text{cooking}} = 15$ min was as effective as $\tau_{\text{cooking}} = 30$ min for treatments at 80 °C, 90 °C and 100 °C temperature.

A preliminary shelf-life study established thermal treatment efficiency on microorganism viability during 120-day storage. Treatment at 90 °C was not investigated because it did not show a considerable microbial reduction compared to treatment at 80 °C ($p > 0.05$). The studied regimes were SV 80_15 ($t_c = 80.0 \pm 0.5$ °C, $\tau = 15$ min) and SV 100_15 ($t_c = 100.0 \pm 0.5$ °C, $\tau = 15$ min) based on shorter thermal treatment cycle and their microbial levels. Thermally treated samples exceeded the admissible level of TPC ($N_{\text{max}} < 3.69$ log CFU g⁻¹) after 3 months. Both *sous vide* treatment at 80 °C and 100 °C temperature with cooking time 15 min were suitable for pea spread processing from the microbiological point of view, although pasteurisation at 80 °C was seemingly more economically efficient. It is possible to ensure microbiological safety of *sous vide* treated pea spread with cooking time 15 min at 80 °C temperature up to 96 days and at 100 °C temperature up to 106 days. Microorganism growth during storage after *sous vide* treatment showed that microorganisms adapt to their environment in 50 to 60 days, then a more rapid growth can be observed, therefore, storage time should be proportional to the start of the accelerated growth.

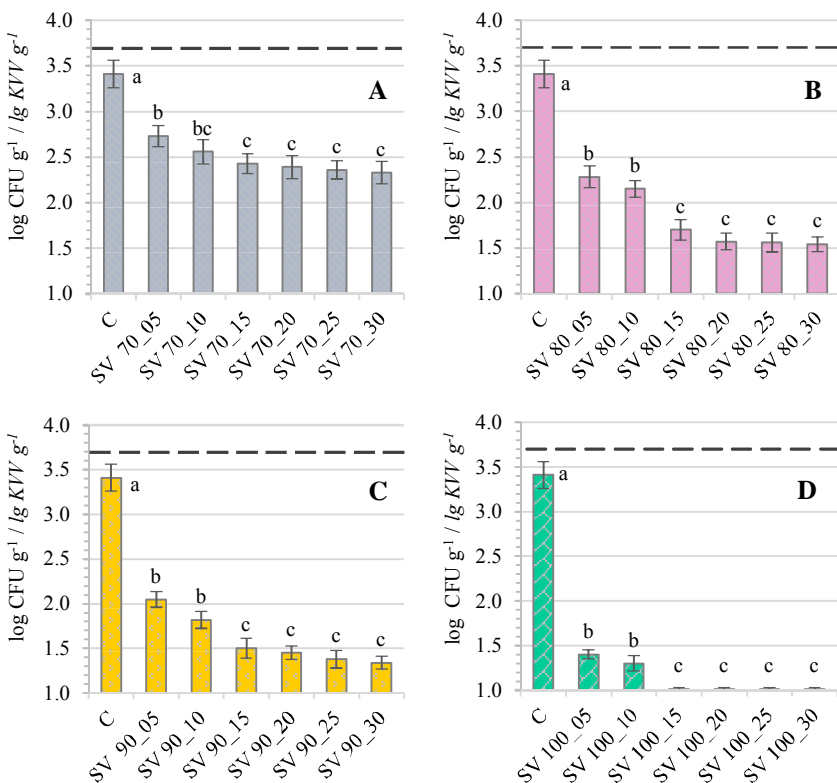


Fig. 5. Total plate count in *sous vide* treated maple pea spread with bruschetta at 70 °C (A), 80 °C (B), 90 °C (C) and 100 °C (D) temperature / 5. att. *MAFAM kopskaitis sous vide apstrādātā pelēko zirņu pastēvē ar brušetu 70 °C (A), 80 °C (B), 90 °C (C) un 100 °C (D) temperatūrā*

The dashed line indicates the admissible level of TPC < 3.69 log CFU g⁻¹ for vegetable purées (CM Regulation No 461/2014). Values sharing a letter within the same *sous vide* treatment temperature are not significantly different ($p > 0.05$). / Raustītā līnija norāda uz pieļaujamo mikroorganismu kopskaitu < 3.69 lg KVV g⁻¹ dārzeņu biežos (MK noteikumi nr. 461/2014). Vērtības ar vienādu burtu katras *sous vide* aprādes temperatūras ietvaros nav būtiski atšķirīgas ($p > 0.05$).

Analysis of several **high pressure processing** regimes showed that total plate count (TPC) in control sample (C) was significantly higher ($p < 0.05$) compared to high pressure processed maple pea spreads (Fig. 6). High pressure processing reduced TPC compared to control sample with decreasing efficiency as follows: HP 800_10 = HP 700_30 = HP 700_20 = HP 700_10 = HP 600_20 (1.5-log reduction) > HP 600_10 > HP 500_20 > HP 500_10. Significant differences were not found between total plate count in HPP samples at 600 MPa, 700 MPa and 800 MPa after processing ($p = 0.289$).

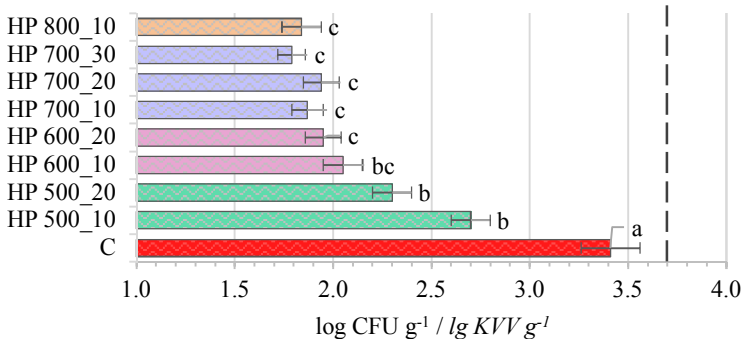


Fig. 6. Total plate count in high pressure processed maple pea spread with bruschetta at different pressure levels / 6. att. MAFAm kopskaitis dažādos spiediena režīmos apstrādātā pelēko zirņu pastētē ar brušetu

The dashed line indicates the admissible level of TPC < 3.69 log CFU g⁻¹ for vegetable purées (CM Regulation No 461/2014). Values sharing a letter are not significantly different ($p > 0.05$). / Rausītā līnija norāda uz pieļaujamo mikroorganismu kopskaitu < 3.69 lg KVV g⁻¹ dārzeņu biezeņos (MK noteikumi nr. 461/2014). Vērtības ar vienādu burtu nav būtiski atšķirīgas ($p > 0.05$).

A preliminary shelf-life study illustrated pascalisation treatment efficiency on microorganism viability during 45-day storage. TPC did not exceed the admissible level after 7 weeks in high pressure processed samples. Processing at 500 MPa was not suitable because TPC in samples HP 500_10 and HP 500_20 was higher than in other HPP samples ($p < 0.05$). During storage samples HP 600_10 and HP 600_20 had a significant increase in TPC compared to processing at higher pressure levels. Regimes HP 700_10, HP 700_20 and HP 700_30 showed similarities in TPC after processing and storage, comparable to sample HP 800_10. Out of all investigated regimes, HP 700_10 showed the highest potential based on lower microorganism count and less consumption of resources. Microorganism dynamics during storage after high pressure processing indicated that microorganisms adapt to their environment in 20 to 30 days, then a slow but steady growth of microorganisms can be observed.

Microorganisms found in samples of maple pea spread with bruschetta after processing were gram positive bacteria of *Bacillus* spp. These spore-forming bacteria are commonly found in many spices and seasonings, and spores can withstand pasteurization and pressure up to 1500 MPa (Zhang, Mittal, 2008). *Sous vide* and high pressure processing are suitable for the elimination of vegetative microorganism cells and non-spore forming food-borne pathogens; however, processed foods retain nearly unaltered spore levels of pathogenic and food spoilage bacteria found in raw foods (Sarker *et al.*, 2013; Shin *et al.*, 2014).

In order to determine whether chosen treatment methods are appropriate for pulse spread processing, **physical** and **sensory parameters** were also assessed immediately after *sous vide* and high pressure treatments. Food colour is an essential product sensory cue driving the sensory expectations that consumers

hold regarding foodstuffs that they purchase and consume (Garber *et al.*, 2015). **Colour** changes were analysed for the potentially suitable samples SV 80_15, SV 100_15 and HP 700_10, and regimes with minimum and maximum temperature / pressure values for each processing method (Fig. 7). The results showed that *sous vide* treatment had a significant influence on the total colour difference of maple pea spread with bruschetta contrary to high pressure processing. *Sous vide* thermal treatment caused the product to become darker, the total colour difference for *sous vide* samples ranged from ΔE^* 2 to 8.2 compared to control. Maple pea spreads packed in film with lightproof properties (PET/ALU/PA/PP) showed significantly less pronounced colour changes compared to spreads packed in transparent (PA/PE) film at temperatures 80 °C and 100 °C with processing time ≥ 15 min ($p < 0.05$).

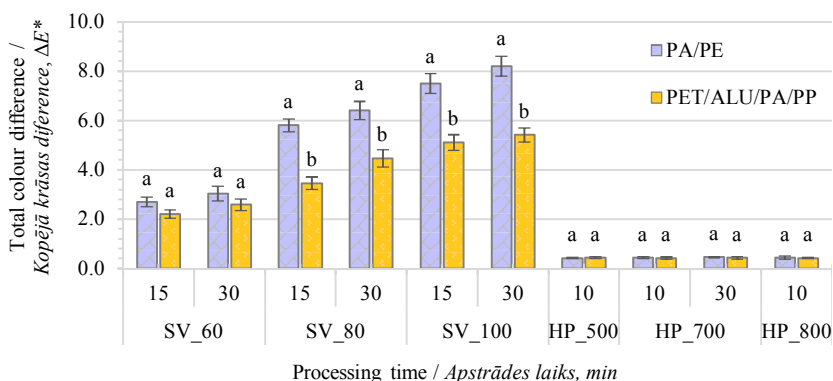


Fig. 7. Colour difference of maple pea spread with bruschetta after *sous vide* treatment and high pressure processing compared to untreated spread
 / 7. att. **Krāsas izmaiņas pelēko zirņu pastētē ar brušetu pēc apstrādes *sous vide* un augstspiedienā, salīdzinot ar neapstrādātu pastēti**

Values within the same treatment temperature/pressure and time regime sharing a letter are not significantly different ($p > 0.05$). / Vērtības ar vienādiem burtiem nav būtiski atšķirīgas starp paraugiem ar vienādu apstrādes temperatūru/spiedienu un izturēšanas laiku ($p > 0.05$).

The influence of high pressure processing on product colour was insignificant, in addition colour differences between lightproof and transparent film were not found for high pressure processing ($p > 0.05$). *Sous vide* and high pressure processing had an insignificant effect on pH, water activity, firmness and moisture of maple pea spread with bruschetta, suggesting that both methods are suitable to maintain physical stability of pulse spreads after processing, except for colour. High pressure processing did not affect sensory parameters of pulse spreads (5 panellists), whereas after *sous vide* treatment at 80.0 °C maple pea spread had noticeably more pronounced aroma of peas and seasonings contrary to thermal treatment at 100.0 °C.

Optimal processing regimes for pulse spreads are as follows: *sous vide* treatment at 80.0 °C for 15 minutes and high pressure processing at 700 MPa for 10 minutes.

3. Modelling microbial inactivation kinetics of *sous vide* treatment in maple pea spread

Microbial survivor curves of *sous vide* maple pea spread with bruschetta during different treatment temperatures (Fig. 8) showed that reduction of microorganisms between 15 and 40 min during thermal treatment at 60.0 °C and 70.0 °C was less significant ($p > 0.05$) contrary to treatment at higher temperatures. Thermal treatment efficiency at 100.0 °C was reached after 30 min when the count of viable cells decreased under the detectable level. The survival curves of aerobic and facultative anaerobic, mesophilic microorganisms (TPC) during *sous vide* treatment in maple pea spread fitted with the linear, linear with tail, Weibull, and biphasic models are presented in Fig. 8. The obtained data showed that survival curves deviated from linearity and tailing was observed, particularly at higher temperatures; thermal inactivation did not follow first-order kinetics. At 60 °C, 70 °C, and 80 °C the inactivation pattern was close to linearity; however, at 100 °C a pronounced downward curvature was observed followed by tailing after 25-min corresponding to approx. 2.5-log reductions. Scanlon *et al.* (2015) also observed the tailing phenomenon when submitting bacteria to thermal processing.

Even though first-order kinetics are widely used to model inactivation of microorganisms, in this case the clear occurrence of tails makes the log-linear model inappropriate to describe the experimental data of *sous vide* inactivation kinetics; it would lead to considerable errors in the determination of inactivation time. For instance, if the target reduction of microorganisms in maple pea spread was 1.5-log, the processing time would be 9 min at 100 °C, 14 min at 90 °C and 20 min at 80 °C based on biphasic model. The relevant time for the Weibull model would be 8, 16 and 22 min at 100 °C, 90 °C and 80 °C, respectively. Based on the linear model, the corresponding time would be 14 min at 100 °C, 20 min at 90 °C and 24 min at 80 °C, thus increasing processing time by 36%, 20%, and 8% compared to these non-linear models.

The log-linear with tail model produced a good fit to the survival curves, however, it was unable to fit the data of survival curves at 70 °C, 80 °C and 90 °C temperature, therefore it was not analysed further. The Weibull model has been used often to describe the non-linear inactivation kinetics of bacteria subjected to thermal treatment (Coroller, 2006). However, in the present study, the biphasic model produced the best fit to all the survival curves, as indicated by the lowest RMSE and the highest R^2_{adj} values at all temperatures studied. The results indicate that before a resistance tail appears, a first-order kinetic trend can be generally applicable to describe *sous vide* inactivation of microorganisms in maple pea spread.

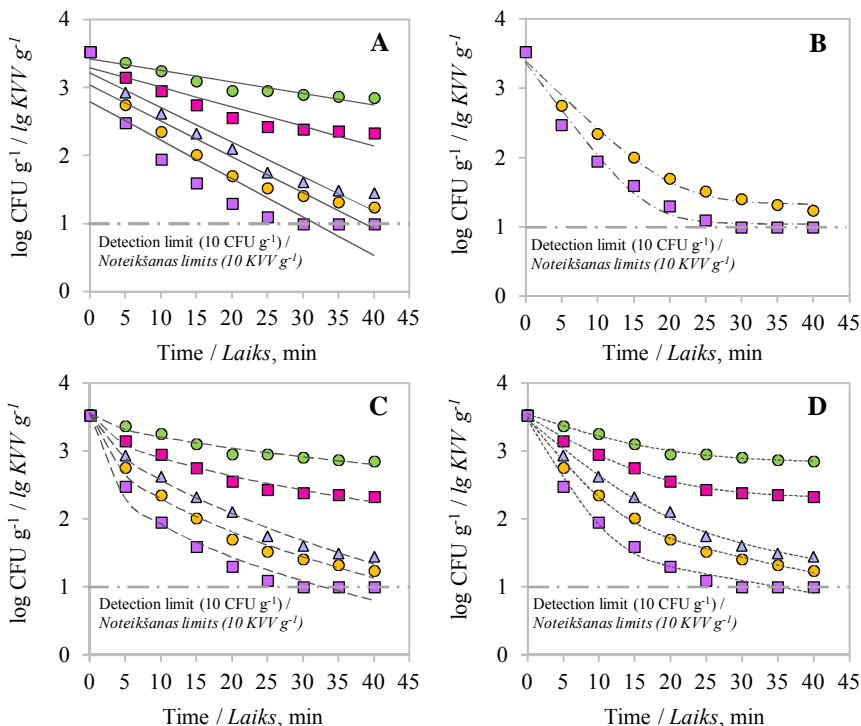


Fig. 8. Inactivation kinetics of microorganisms during *sous vide* treatment at 60 °C (●), 70 °C (■), 80 °C (▲), 90 °C (●), 100 °C (■) temperature in maple pea spread / 8. att. Mikroorganismu inaktivācijas kinētika pelēko zirņu pastētē *sous vide* apstrādes laikā 60 °C (●), 70 °C (■), 80 °C (▲), 90 °C (●) un 100 °C (■) temperatūrā

Symbols represent observed data while lines correspond to the estimated models: log-linear (A), log-linear with tail (B), Weibull (C), biphasic (D). Log-linear with tail model was unable to fit the inactivation data at 60, 70 and 80 °C. / Simboli apzīmē iegūtos rādījumus, un līnijas apzīmē izmantotos modeļus: log-līnējais (A), log-līnējais ar asti (B), Veibula (C), bifāziskais (D). Inaktivācijas datus 60, 70 un 80 °C temperatūrā nebija iespējams izmantot log-līnējam ar asti modelim.

The biphasic nature of the survivor curves suggested that two discrete populations were present. Therefore, Joinpoint regression was used to separate the survival curves into two distinct linear regression lines – linear and tail proportion (Fig. 9), each with a separate equation and determination coefficient, in order to obtain a better overview of predictive D values.

D values were calculated for the linear and tail proportion (Table 5). z values for the two inactivation rates were derived from plots of the log D values versus temperature. D value, as calculated by first-order kinetics (Table 5), represents the decimal reduction time throughout processing, while parameter δ given by

Weibull model represents the first decimal reduction time. δ value at 60 °C was 66.93 min, at 70 °C – 23.76 min, at 80 °C – 10.45 min, at 90 °C – 6.22 min and at 100 °C – 2.76 min. D value was lower for treatment at 60 °C compared to the first decimal reduction time ($p < 0.001$), while the thermal treatment at the rest of the temperatures showed lower first decimal reduction time contrary to D value ($p < 0.05$). At 90 °C temperature δ was twice as low, and at 100 °C temperature δ was three times lower than the calculated D value.

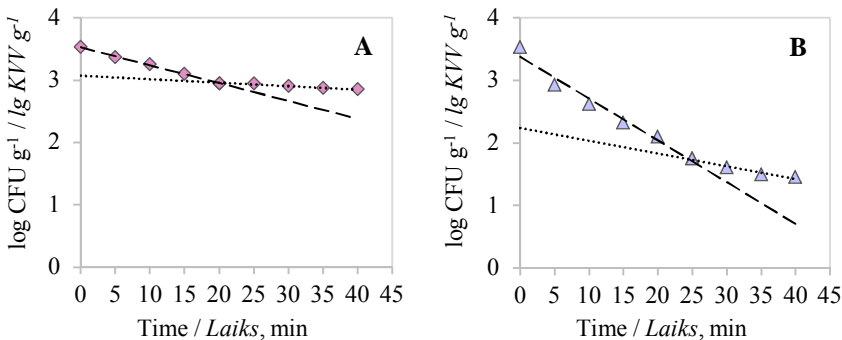


Fig. 9. **Linear regression of survival curves ($\log \text{CFU g}^{-1}$) at 60 °C (A) and 80 °C (B) temperature** / 9. att. **Mikroorganismu inaktivācijas ($\lg \text{KVV g}^{-1}$) lineārās regresijas līknes 60 °C (A) un 80 °C (B) temperatūrā**

Dashed line represents the initial (linear) proportion and dotted line represents the tail proportion of survivors. / Rausītā līnija raksturo mikroorganismu sākotnējo (lineāro) proporciju, un punktotā līnija apzīmē astes proporciju.

When survival curves are not linear, calculation of the D value (time for a one-log inactivation), which is usually determined by considering the linear portion of the survival curve, is not the best approach as it would result in over- or under-processing depending on the shapes of the survival curves, which agrees with the findings of Chen and Hoover (2004). In order to obtain the first decimal reduction in maple pea spread using thermal treatment at 60 °C, the product would be under-processed by 18 minutes if the calculation of decimal reduction time is carried out based on linear survival curves. However, thermal treatment at higher temperatures based on this D value would produce a considerable over-processing, as the time for the first decimal reduction is significantly lower based on Weibull model.

Linear D values were significantly lower ($p < 0.001$) than tail D values at all temperatures studied, indicating that it takes considerably longer time to obtain 1-log reduction after the initial microbial proportion has been destroyed. The data suggests that the initial proportion of microorganisms is less resistant to thermal processing than the tail proportion, especially at higher temperatures. Based on the microorganisms identified in *sous vide* treated maple pea spread with bruschetta, the initial proportion could consist of the vegetative cells of *Bacillus*

spp., but the tail proportion - of *Bacillus* spp. spores which cannot be eliminated during thermal treatment below 100.0 °C (Shin *et al.*, 2014).

Table 5 / 5. tabula

Calculated *D* values and the corresponding correlation coefficients for linear and tail regions of the survivor curves, and *D* value as calculated by first order kinetics /

Aprēķinātās D vērtības un korelācijas koeficienti mikroorganismu līknes lineārajai un astes daļai, un pirmās kārtas kinētikas D vērtība

Temperature / Temperatūra, °C	Linear <i>D</i> value / lineārās daļas <i>D</i> vērtība, min ^a	Linear <i>D</i> R ² / lineārā daļas <i>D</i> R ²	Tail <i>D</i> value / astes daļas <i>D</i> vērtība, min ^b	Tail <i>D</i> R ² / astes daļas <i>D</i> R ²	<i>D</i> value ^{c*} / <i>D</i> vērtība
60	34.60	0.998	178.57	0.942	48.31
70	19.34	0.959	94.34	0.875	26.95
80	13.30	0.952	49.02	0.951	16.16
90	9.99	0.931	44.64	0.970	14.25
100	5.94	0.915	43.67	0.779	9.84

* First order kinetics *D* value / pirmās kārtas kinētikas *D* vērtība

^a *z* value for the linear *D* data is 5.5 °C ($R^2 = 0.987$) / *z* vērtība lineārās daļas *D* vērtībai ir 5.5 °C ($R^2 = 0.987$)

^b *z* value for the tail *D* data is 6.5 °C ($R^2 = 0.837$) / *z* vērtība astes daļas *D* vērtībai ir 6.5 °C ($R^2 = 0.837$)

^c *z* value for linear model is 6.0 °C ($R^2 = 0.954$) / *z* vērtība lineārajam modelim ir 6.0 °C ($R^2 = 0.954$)

Therefore, in order to deliver safe product to consumers it is necessary to observe microbial growth during storage to determine optimal shelf-life.

4. Quality changes of pulse spreads during storage

Based on the results described in chapter 2, one treatment regime for each processing method was analysed: *sous vide* treatment at 80 °C temperature for 15 min (SV 80_15) and high pressure processing at 700 MPa pressure for 10 min (HP 700_10). The investigated storage time for processed pulse spreads was 62 days. A total of four pulse spread were investigated: cowpea spread (CS), cowpea spread with bruschetta (CS_B), maple pea spread (MS) and maple pea spread with bruschetta (MS_B).

Quality changes of *sous vide* treated pulse spreads

Microbiological quality. *Sous vide* treatment had a positive influence on total plate count (TPC) reduction; over 1.5-log reduction in TPC was observed for pulse spreads after processing without significant differences between pulse spreads and samples in different packaging materials ($p < 0.05$). TPC dynamics in pulse spreads during storage in different flexible packaging films showed that after 62-day storage TPC was significantly higher than immediately after processing ($p = 0.011$) (Fig. 10).

Initial TPC in spreads packed in PA/PE and PET/ALU/PA/PP after *sous vide* treatment was between 1.62 to 1.77 log CFU g⁻¹. After 62-day storage over one-

log increase of TPC in cowpea and maple pea spreads was observed without significant differences among pulse spreads and samples in different packaging materials ($p < 0.05$); TPC did not exceed the admissible level ($N_{\max} < 3.69 \log \text{CFU g}^{-1}$) for any of the samples.

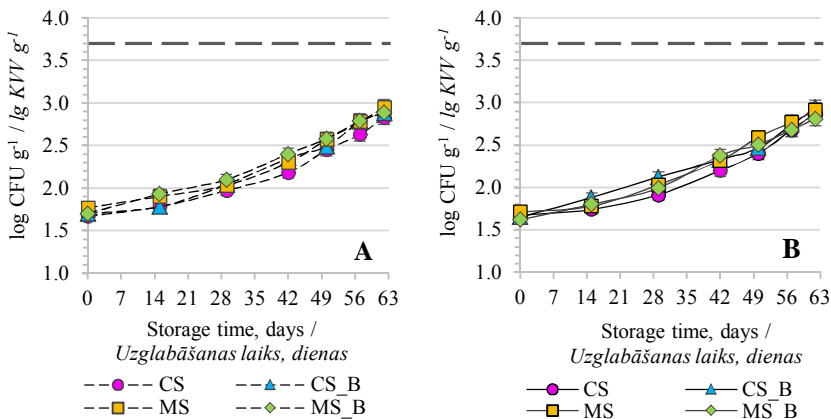


Fig. 10. TPC dynamics during storage of *sous vide* treated spreads packed in PA/PE (A) and PET/ALU/PA/PP (B) /

10. att. MAFam kopskaita dinamika uzglabāšanas laikā *sous vide* apstrādātās pastētēs PA/PE (A) un PET/ALU/PA/PP (B) iepakojumā

The dashed line denotes the admissible level of TPC $< 3.69 \log \text{CFU g}^{-1}$ for vegetable purées (CM Regulation No 461/2014). / Rausītā līnija norāda pieļaujamo mikroorganismu kopskaitu $< 3.69 \log \text{KVV g}^{-1}$ dārzeņu bieženos (MK noteikumi nr. 461/2014).

The presence of yeasts and moulds was not confirmed in any *sous vide* treated samples. Several studies have shown that storage at refrigeration temperature up to 63 days was able to maintain microbial quality of *sous vide* products (Levkane *et al.*, 2010; Can, Harun, 2015; Pino Hernández *et al.*, 2017). Based on the results of TPC in *sous vide* treated pulse spreads, 62-day shelf-life is optimal, as the load in spreads did not exceed the admissible level.

Sensory quality. Sensory properties of pulse spreads (overall appearance, aroma, mouthfeel and taste) were evaluated up to day 62, and the results are represented as quality number (QN). The quality of pulse spreads was very good (QN = 4.96–4.75) up to day 29, regardless of packaging film material. Cowpea spread (CS) and maple pea spread (MS) during 62-day storage maintained good quality in both chosen packaging films, whereas spreads with bruschetta maintained good quality up to day 57 (QN = 4.31–4.67) and average quality – after day 57 (QN = 4.20–4.21). Pronounced colour changes in *sous vide* treated pulse spreads were observed. Experts described *sous vide* treated pulse spreads with pleasant flavour and acidity but less pronounced aroma and taste of pulses after processing (day 0) compared to fresh spreads. After 29-day storage, grainy texture was observed for cowpea spreads, while hard pieces of seed coats that

were difficult to chew were found for maple pea spreads. Based on the results of sensory evaluation by experts, *sous vide* treatment was able to maintain the quality of pulse spreads during 2-month storage.

Similar results on sensory quality during storage of *sous vide* products have been reported in bolognaise meat sauce and chicken tikka masala (Armstrong, McIlveen, 2000), seerfish steaks (Singh *et al.*, 2016) and seabream (Espinosa *et al.*, 2015), suggesting that *sous vide* treated products show acceptable sensory quality throughout 40 to 65 days at refrigeration temperatures.

Physicochemical stability. Physical parameters of untreated pulse spreads were similar for all spread types ($p > 0.1$), pH ranged from 5.379 to 5.491, water activity – from 0.977 to 0.978 and moisture content in spreads was 66.91–67.71%.

Significant differences in **pH** value among investigated *sous vide* treated pulse spreads in different packaging materials during 62-day storage were not found ($p > 0.05$). Several studies reported that *sous vide* treated foods remained at a relatively constant pH during storage (Mol *et al.*, 2012; Can, Harun, 2015; Singh *et al.*, 2016). **Water activity** of *sous vide* treated pulse spreads packed in PA/PE and PET/ALU/PA/PP during 62-day storage at 5.0 ± 1.0 °C did not show a significant increase or decrease ($p > 0.1$). **Mass losses** through product packaging during 62-day storage were not observed.

Food **colour** usually is the first quality parameter evaluated by consumers. The CIE L^* parameter indicates the luminance of pulse spreads, and it was significantly affected by *sous vide* treatment ($p < 0.05$), with a significantly lower L^* value for *sous vide* treated samples packed in PA/PE. Sadilova *et al.* (2009) reported that increased colour degradation is typically associated with heat processing, in accordance to Dutta *et al.* (2006) who suggested that heating time and temperature decreases L^* value due to the degradation of thermo-labile compounds resulting in the formation of dark colour with reduced luminosity. Total colour difference plot (Fig. 11a) shows the ΔE^* value of pulse spread samples after *sous vide* treatment. Pulse spread samples packed in PA/PE had a greater ΔE^* value than *sous vide* treated samples packed in PET/ALU/PA/PP ($p = 0.004$). After processing, *sous vide* treated spreads packed in PA/PE fell into the well visible differences category ($3 < \Delta E^* < 6$), as described by Cserhalmi *et al.* (2006) and Andrés *et al.* (2016). Zepka *et al.* (2009) reported the correlation between total colour difference with consumers' acceptability. Fernández-Vázquez *et al.* (2013) found that ΔE^* value of 2.8 should be considered the colour difference threshold for untrained panellists and consumers.

During storage, the ΔE^* value of *sous vide* treated samples packed in PA/PE increased to 2.13 on day 62 (Fig. 11b). Pulse spreads were stored under daylight conditions in order to mimic storage on a grocery store shelf; significant colour changes were observed for spreads packed in transparent PA/PE film, as colour compounds are sensitive to a number of conditions such as pH variation, oxidation, heat treatment and, most importantly, exposure to daylight (Ghidouche *et al.*, 2013). The threshold of ΔE^* 2.8 units was not achieved after

62-day storage (Fig. 11b), however, pulse spreads packed in PA/PE had a significantly higher total colour difference compared to samples packed in PET/ALU/PA/PP ($p < 0.001$). The results suggested that light proof PET/ALU/PA/PP packaging film was able to preserve the colour of pulse spreads better than transparent PA/PE film.

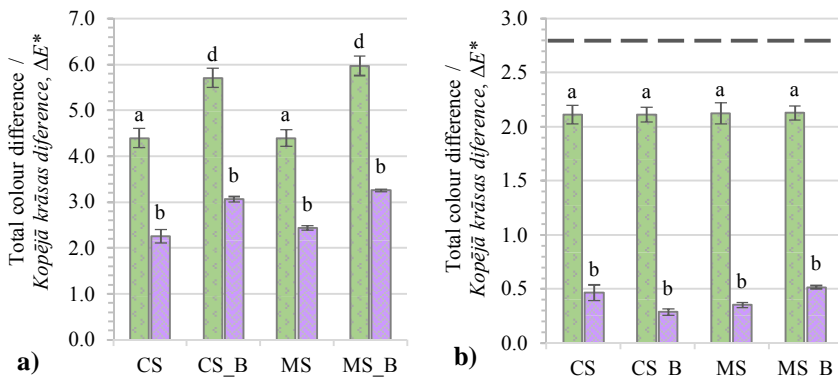


Fig. 11. Colour difference[#] of pulse spreads packed in PA/PE (■) and PET/ALU/PA/PP (■) after *sous vide* treatment a) at day 0 and b) at day 62 / 11. att. Krāsas difference pākšaugu pastētēs PA/PE (■) un PET/ALU/PA/PP (■) iepakojumā pēc apstrādes *sous vide* a) 0. dienā un b) 62. dienā

[#] compared to untreated (control) samples / salīdzinot ar neapstrādātiem (kontroles) paraugiem

Values sharing a letter are not significantly different ($p > 0.05$). Dashed line represents the colour difference threshold for untrained panellists and consumers ($\Delta E^* 2.8$). / Vērtības ar vienādiem burtiem nav būtiski atšķirīgas ($p > 0.05$). Raustītā līnija norāda uz krāsas differences robežvērtību neapmācītiem vērtētājiem un patērētājiem consumers ($\Delta E^* 2.8$).

The proximate **chemical composition** of pulse spreads indicated that spreads contain 7.31 ± 0.14 g protein, 6.08 ± 0.02 g lipids, 1.04 ± 0.02 g ash and 12.87 ± 1.47 g dietary fibre per 100 g pulse spreads. The values of protein, ash and dietary fibre content, established in the current study, are comparable to the literature data (McCroory *et al.*, 2010; Kirse, Karklina, 2013) where grain legumes and spreads from pulses are indicated as good sources of nutrients. Protein, fat and ash content was not significantly different between cowpea and maple pea spreads. Total phenolic content and antiradical activity of *sous vide* treated pulse spreads did not have significant differences during storage.

Chosen thermal treatment regime (SV 80_15) and packaging materials did not influence physicochemical parameters of pulse spreads after processing and 62-day storage ($p > 0.1$), suggesting that consistent product quality is maintained after additional processing and storage.

Quality changes of high pressure processed pulse spreads

Microbiological quality. High pressure processing had a positive influence

on TPC reduction; over 1.5-log reduction in TPC compared to untreated spread samples was observed for pulse spreads after processing without significant differences between pulse spreads and samples in different packaging materials ($p < 0.05$). TPC dynamics in high pressure processed pulse spreads during storage in different flexible packaging films showed a similar trend to *sous vide* treated spreads – after 62-day storage TPC was significantly higher than immediately after processing ($p = 0.017$) (Fig. 12). Initial TPC in spreads packed in PA/PE and PET/ALU/PA/PP after high pressure processing was between 1.75 to 1.87 log CFU g⁻¹. After 62-day storage over one-log increase of TPC in spreads was observed without significant differences between pulse spreads and samples in different packaging materials ($p < 0.05$); TPC did not exceed the admissible level ($N_{\max} < 3.69$ log CFU g⁻¹) for any of the samples.

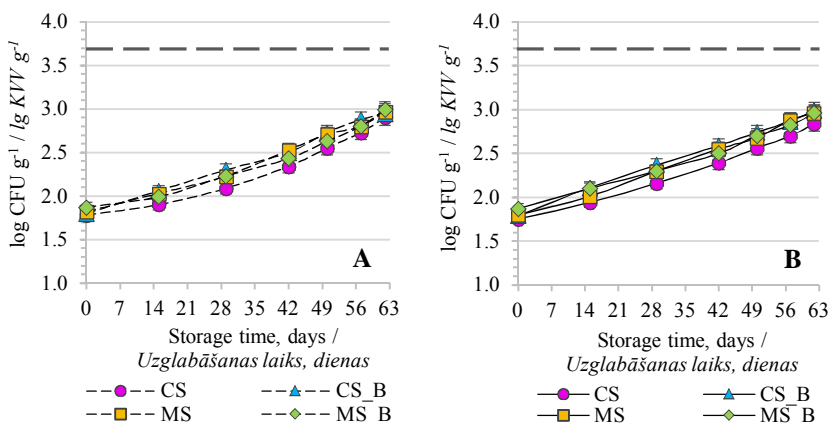


Fig. 12. TPC dynamics during storage of high pressure processed spreads packed in PA/PE (A) and PET/ALU/PA/PP (B) / 12. att. MAFAm kopskaita dinamika uzglabāšanas laikā augstspiedienā apstrādātās pastētes PA/PE (A) un PET/ALU/PA/PP (B) iepakojumā

The dashed line denotes the admissible level of TPC < 3.69 log CFU g⁻¹ for vegetable purées (CM Regulation No 461/2014). / Rausītā līnija norāda pieļaujamo mikroorganismu kopskaitu < 3.69 log KVV g⁻¹ dārzeņu biezeņos (MK noteikumi nr. 461/2014).

The presence of yeasts and moulds was not confirmed in any high pressure processed samples. Several studies have shown that high pressure processed foods stored at refrigeration temperature maintained their microbial stability up to 56 days (Masegosa *et al.*, 2015; Stratakos *et al.*, 2015). Based on the results of TPC in high pressure processed pulse spreads, 62-day shelf-life is optimal, as the load in spreads did not exceed the admissible level.

Sensory quality. The changes in such sensory properties as overall appearance, aroma, mouthfeel and taste were evaluated up to day 62 of high pressure processed pulse spreads. High pressure processed cowpea spreads

maintained very good quality during the whole storage time (QI = 4.99–4.79), besides packaging film materials and seasoning had insignificant influence on the quality of cowpea spreads. Maple pea spread (MS), however, maintained good quality after day 57 (QN < 4.67); maple pea spread with bruschetta (MS_B) in PA/PE packaging maintained good quality (QN < 4.68), but in PET/ALU/PA/PP packaging – very good quality (QN > 4.71). Changes of pulse and seasoning aroma and taste were not observed in high pressure processed spreads. Maple pea spreads had harder pieces of seed coats that were more difficult to chew compared to cowpea spreads. High pressure processed maple pea spread samples were characterised by a pronounced pea aroma and pleasant taste, whereas maple pea spread with bruschetta (MS_B) packed in PA/PE had a slightly bitter and acidic taste after day 57. Based on the results of sensory evaluation by experts, high pressure processing was able to maintain the quality of pulse spreads during 2-month storage.

Similar results have been reported for high pressure processed lasagne (Stratakos *et al.*, 2015), ready-to-eat ‘lacón’ (Del Olmo *et al.*, 2014) and ready-to-heat vegetable meals (Masegosa *et al.*, 2015), suggesting that high pressure processed products show acceptable sensory quality throughout storage.

Physicochemical stability. The influence of high pressure processing (HP 700_10) and chosen packaging materials on physicochemical parameters after processing was not significant for all spread types ($p > 0.1$). Significant differences in **pH** value among investigated high pressure processed pulse spreads in different packaging materials during 62-day storage were not detected ($p > 0.05$). Similar results on pH stability during storage of high pressure processed products were found in ready-to-heat vegetable meals (Masegosa *et al.*, 2015) and lasagne (Stratakos *et al.*, 2015). Furthermore, Vercammen *et al.* (2011) reported that the pH-value of high pressure treated meat remained constant over the entire storage duration, in spite of the development of lactic acid bacteria and other spoilage bacteria. Significant differences in **water activity** and **mass losses** through packaging among investigated high pressure processed pulse spread samples packed in PA/PE and PET/ALU/PA/PP during 62-day storage at 5.0 ± 1.0 °C were not found ($p > 0.05$).

The changes in the chromatic **colour** parameters of untreated and high-pressure processed pulse spread samples was insignificant regardless of packaging materials ($p > 0.1$). The total colour difference plot (Fig. 13a) showed that the ΔE^* value of high pressure processed samples was comparable for pulse spreads packed in in PA/PE and PET/ALU/PA/PP ($p > 0.1$). High pressure processing had an insignificant effect on total colour difference in pulse spreads ($p = 0.836$). Oey *et al.* (2008) have suggested that high pressure processing has limited effects on covalent bonds, therefore, preserving colour of foods (Patras *et al.*, 2009; Andrés *et al.*, 2016). During storage, the ΔE^* value of high pressure processed samples packed in PA/PE increased to 2.01 on day 62 (Fig. 13b). Pulse spreads packed in PA/PE film showed more noticeable colour difference than samples packed in PET/ALU/PA/PP ($p < 0.001$). The threshold of ΔE^* 2.8 units,

suggested as perceivable for untrained panellists and consumers (Fernández-Vázquez *et al.*, 2013), was not achieved after 62-day storage (Fig. 13b).

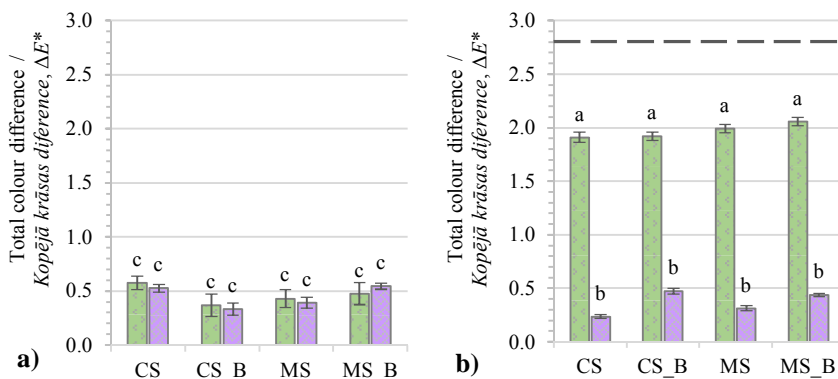


Fig. 13. Colour difference[#] of pulse spreads packed in PA/PE (■) and PET/ALU/PA/PP (■) after high pressure processing a) at day 0 and b) at day 62 /

13. att. Krāsas izmaiņas pākšaugu pastētēs PA/PE (■) un PET/ALU/PA/PP (■) iepakojumā pēc apstrādes augstspiedienā a) 0. dienā un b) 62. dienā

[#] compared to untreated (control) samples / salīdzinot ar neapstrādātiem (kontroles) paraugiem

Values sharing a letter are not significantly different ($p > 0.05$). Dashed line represents the colour difference threshold for untrained panellists and consumers ($\Delta E^* 2.8$). / Vērtības ar vienādiem burtiem nav būtiski atšķirīgas ($p > 0.05$). Raustītā līnija norāda uz krāsas diferences robežvērtību neapmācītiem vērtētājiem un patērētājiem consumers ($\Delta E^* 2.8$).

Light proof PET/ALU/PA/PP packaging film was able to preserve colour of high pressure processed pulse spreads better than PA/PE film under daylight illuminance.

The analysis of **chemical composition** of pulse spreads showed that the influence of high pressure processing on protein, lipid, ash, and dietary fibre content of all investigated pulse spreads was not significant ($p > 0.1$) after processing. Total phenolic content and antiradical activity in high pressure processed pulse spreads during storage did not show significant differences.

Chosen high pressure processing regime (HP 700_10) and packaging materials did not influence physicochemical parameters of pulse spreads after processing and 62-day storage, suggesting that consistent product quality is maintained after additional processing and storage.

Comparison of *sous vide* and high pressure processed pulse spread quality during storage

Both processing methods showed a significant reduction in **total plate count** (over 1.5-log) compared to untreated spread samples without significant differences between pulse spreads and samples in different packaging materials

($p < 0.05$) on day 0. After 62-day storage over one-log increase of TPC in both *sous vide* and high pressure processed pulse spreads was observed, however, TPC did not exceed admissible level ($N_{\max} < 3.69 \log \text{CFU g}^{-1}$) for any of processed pulse spreads.

The number of microorganisms during storage below the admissible level, however, does not guarantee that the product is free from pathogens. Therefore, possible **presence of pathogens** was determined in all samples of pulse spreads stored at $5.0 \pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ (Table 6). The presence of *E. coli* and *C. perfringens* in pulse spreads before preservation treatment and after *sous vide* and high pressure processing with sequential storage for 62 days in both packaging materials was not confirmed. Contamination level of *B. cereus* in pulse spreads after spread preparation was below $2.41 \times 10^2 \text{ CFU g}^{-1}$, whereas after 62-day storage *B. cereus* accounted to $< 10^2 \text{ CFU g}^{-1}$. Chosen thermal and pressure processing methods had a positive effect on *B. cereus* reduction in all samples. Insignificant differences were found between pulse spreads in different packaging materials ($p < 0.05$). Literature data suggests that only *B. cereus* levels between 10^5 and 10^8 cells/spores produce toxins that cause vomiting or diarrhoea (Ceuppens *et al.*, 2015) with the optimum temperatures of $10\text{--}43 \text{ }^\circ\text{C}$ (diarrhoeal toxin) and $12\text{--}37 \text{ }^\circ\text{C}$ (emetic toxin) (Finlay *et al.* 2000, Banerjee, Sarkar, 2004).

Table 6 / 6. tabula

**Pathogens in *sous vide* and high pressure processed spreads, CFU g^{-1} /
Patogēnie mikroorganismi *sous vide* un augstspiedienā apstrādātās pastētēs,
 KVV g^{-1}**

Microorganisms / Mikroorganismi	Samples / Paraugi	Before processing / Pirms apstrādes	After 62-day storage / Pēc 62 dienu uzglabāšanas	
			SV 80_15	HP 700_10
<i>Bacillus cereus</i>	CS	2.00×10^2	36	41
	CS_B	2.41×10^2	98	67
	MS	2.02×10^2	58	57
	MS_B	1.96×10^2	23	32
<i>Escherichia coli</i> , <i>Clostridium</i> <i>perfringens</i>	CS	not detected / nav konstatēts	not detected / nav konstatēts	not detected / nav konstatēts
	CS_B			
	MS			
	MS_B			

During storage, the growth of *B. cereus* was not observed, therefore *B. cereus* should not be a hazard when refrigeration is properly maintained throughout the shelf-life of pulse spreads.

The results of **sensory evaluation by experts** of pulse spreads during 62-day storage suggested that better quality for cowpea and maple pea spreads could be ensured by high pressure processing compared to *sous vide* treatment. **Hedonic evaluation by consumers** showed that the degree of preference of cowpea

spreads (CS) was between ‘not sure’ to ‘like a little’ (3.8–4.0), cowpea spreads with bruschetta (CS_B) – ‘like a little’ to ‘like very much’ (4.4–4.5), and spreads made from maple peas – between ‘like a little’ to ‘like very much’ (4.5–4.8). The results of hedonic evaluation by consumers showed that overall acceptance of new products was not affected by *sous vide* treatment and high pressure processing compared to fresh spread samples ($p > 0.1$). The likelihood to purchase these products at a grocery store was affirmed by the majority of the respondents (75% in 2015, 78% in 2016). The majority of the respondents also confirmed they would like to consume the new products on a daily basis. Overall acceptance and sensory parameters of products are closely related to product demand; therefore, consumer acceptance research is particularly important in the new product development process (Singh-Ackbarali, Maharaj, 2013).

The influence of *sous vide* treatment, high pressure processing, and chosen packaging materials on **pH**, **water activity** and **mass losses** of all investigated pulse spreads was not significant ($p > 0.1$) after processing and 62-day storage. Products with high moisture content (~70%), water activity (>0.96) and pH around 5.5 represent an ideal substrate for microbial growth (Stratakos *et al.*, 2015), therefore accurate temperature conditions must be ensured during storage, as temperature above 5 °C can cause rapid product microbial deterioration (Baldwin, 2012).

Colour parameters of pulse spreads were less affected by high pressure processing than *sous vide* treatment. Significant differences were found ($p < 0.001$) between processing treatment and spread samples in different packaging materials. After processing ΔE^* value of *sous vide* treated samples was significantly higher than those of high pressure treatments ($p < 0.001$). During storage ΔE^* value of *sous vide* treated and high pressure processed samples packed in PA/PE increased to 2.13 and 2.01, respectively, on day 62. The influence of storage conditions (daylight illuminance 400 to 1000 lx) on ΔE^* value was similar for pulse spreads packed in transparent packaging film ($p > 0.1$) regardless of processing methods, yet, the colour difference threshold ($\Delta E^* 2.8$) was not exceeded for any of the samples. Considering that single-sized products usually are not sold in primary packaging, illuminance measured inside a cardboard box gave the value of 0 lx. Therefore, if the products are sold in secondary packaging with light proof properties (e.g., cardboard), it is possible to use either of the investigated packaging materials without the loss of product quality.

The effect of the studied processing methods and chosen packaging materials on **chemical composition** of all investigated pulse spreads after processing and 62-day storage was insignificant ($p > 0.1$).

Shelf-life prediction of pulse spreads

In addition to microbial safety, undesirable sensory and physicochemical changes during storage can lead to food products of inadequate quality. Therefore, shelf-life prediction is based on several deterioration factors –

microbiological, sensory and physicochemical parameters (Dermesonluoglu *et al.*, 2016). The suggested shelf-life of processed pulse spreads is given in Table 7. Considering that *sous vide* and high pressure processing maintained consistent microbiological and physicochemical quality of pulse spreads during 62-day storage, shelf-life prediction was based on the results of sensory evaluation.

Processed pulse spreads should be given the ‘minimum durability date’ (Commission Regulation (EC) No 2073/2005) and packaging should contain ‘best before ...’ label (Commission Regulation (EC) No 1169/2011), as the admissible level of microorganisms was not reached at day 62.

Table 7 / 7. tabula

**Suggested shelf-life of pulse spreads /
Ieteiktais pākšaugu pastēšu derīguma termiņš**

Processing / <i>Apstrāde</i>	Packaging / <i>Iepakojums</i>	Pulse spreads / <i>Pākšaugu pastētes</i>			
		CS	CS_B	MS	MS_B
<i>Sous vide</i> treatment / <i>Sous vide apstrāde</i>	PA/PE	62 days	57 days	62 days	57 days
	PET/ALU/PA/PP	62 days	57 days	62 days	57 days
High pressure processing / <i>Apstrāde augstspiedienā</i>	PA/PE	62 days	62 days	62 days	62 days
	PET/ALU/PA/PP	62 days	62 days	62 days	62 days

Based on the results of quality changes of *sous vide* and high pressure processed pulse spreads during storage, both processing methods are suitable to ensure the production of high quality pulse spreads with significantly longer shelf-life.

5. Nutritional value assessment of pulse spreads

Nutritional value of products is directly linked to human health (Ajibola *et al.*, 2012; Dangour *et al.*, 2010). Nutritional value of pulse spreads (Table 8) was calculated based on nutrient values of untreated samples, since insignificant effect of processing treatments and storage time ($p > 0.1$) was found. Protein and fat content in all spreads was similar ($p > 0.05$). Dietary fibre content was higher in both spreads made from maple peas compared to cowpea spreads ($p = 0.013$). Cowpea spreads had a higher available carbohydrate content than maple pea spreads ($p = 0.016$). Energy value of pulse spreads ranged from 537.51 to 550.56 kJ 100 g⁻¹ without significant differences among spread samples ($p > 0.05$).

The values of nutrients of pulse spreads allow to apply nutrition and health claims defined by Regulation (EC) No 1924/2006. Protein content of all four pulse spreads accomplishes the requirements for the nutrition claim of ‘high protein’ as 21.7–22.9% of the energy value of pulse spreads is provided by protein. The same regulation allows labelling of all developed pulse spreads as

'high fibre' considering they contain ≥ 6.0 g of fibre per 100 g. When pulse spreads are compared to other similar products on the market, the new spreads are 'energy-reduced' by 45 to 60%. With regards to salt content in pulse spreads, the new products are not eligible for 'low in sodium/salt' claim because the added salt amount accounts to 0.38 g 100 g⁻¹; the allowed amount of salt for this claim is ≤ 0.30 g 100 g⁻¹. Nevertheless, the products are suitable for preschoolers based on the CM Regulation No 172/2012 which states the limit for added salt amount (0.4 g per 100 g of product) allowed in food at preschool educational institutions.

Table 8 / 8. tabula

Nutritional value of pulse spreads / Pākšaugu pastēšu uzturvērtība

Nutritional parameters per 100 g / Uzturvērtības rādītāji 100 g produkta	Pulse spreads / Pākšaugu pastētes				p-value / p-vērtība
	CS	CS_B	MS	MS_B	
Protein / Olbaltumvielas, g	7.30	7.17	7.44	7.35	p = 0.261
Dietary fibre / Šķiedrvielas, g	11.58 ^a	11.42 ^a	14.33 ^b	14.06 ^b	p = 0.013
Fat / Tauki, g	6.10	6.07	6.09	6.09	p = 0.895
Available carbohydrates / Pieejamie ogļhidrāti, g	6.36 ^a	6.58 ^a	4.18 ^b	4.51 ^b	p = 0.016
Energy / Enerģētiskā vērtība, kJ	550.56	549.70	537.51	539.43	p = 0.112
Energy / Enerģētiskā vērtība, kcal	132.70	132.47	129.95	130.37	p = 0.134

Values within a row sharing subscript letters are not significantly different ($p > 0.05$). / Vērtības vienā rindā ar vienādu burtu nav būtiski atšķirīgas ($p > 0.05$).

Nutrient coverage (%) of new products from of one serving (50 g) of pulse spreads is 3.9–4.9% protein for adolescents and 4.7–5.6% for adults, 2.8–3.4% fat for adolescents and 4.1–4.9% for adults, and 2.2–3.3% energy for adolescents and adults. The coverage of dietary fibre is 13.7–16.9% for adolescents and 16.9–20.5% for adults from cowpea spreads, and 16.9–20.8% for adolescents and 20.8–25.4% for adults from maple pea spreads. Pulse spreads are a good source of dietary fibre for all investigated age and gender groups, especially for female adults as one serving of maple pea spreads covers $\frac{1}{4}$ of their dietary fibre daily needs.

CONCLUSIONS

1. The results of the study confirm the proposed hypothesis: shelf-life of pulse spreads can be significantly extended through high pressure processing and *sous vide* treatment.
2. The developed technology and selected raw materials ensure the production of pulse spreads with high protein and dietary fibre content which are safe for consumption. Seasonings had a significant influence on the degree of preference, dietary fibre and total phenolic content, colour and firmness of pulse spreads ($p < 0.05$). Total plate count in pulse spreads after preparation

was 3.3 ± 0.1 log CFU g⁻¹ and after 3-day storage it exceeded the admissible level of 3.69 log CFU g⁻¹.

3. The following pulse spreads were selected as the most suitable for further research according to integrated evaluation: cowpea spread (CS), cowpea spread with bruschetta (CS_B), maple pea spread (MS) and maple pea spread with bruschetta (MS_B).
4. Chosen *sous vide* and high pressure processing regimes are suitable to maintain consistent product quality and safety for prolonged storage. Optimal regimes for pulse spread processing are *sous vide* treatment at 80.0 °C temperature for 15 min and high pressure processing at 700 MPa pressure for 10 min. A 1.5 to 1.7 log reduction of microorganisms was observed after processing.
5. Modelling the inactivation kinetics of microorganisms in *sous vide* treated maple pea spread suggested that survival curves were non-linear with discrete populations present. The linear *D* values of inactivation curve were significantly lower ($p < 0.001$) than tail *D* values at all temperatures studied, indicating that the initial proportion of microorganisms (vegetative cells of *Bacillus* spp.) is less resistant to thermal processing than the tail proportion (spores of *Bacillus* spp.).
6. *Sous vide* and high pressure processing maintained the microbiological quality of pulse spreads during 62-day storage without significant differences between spreads in different packaging materials ($p > 0.05$). Sensory quality of *sous vide* treated spreads was good at the end of storage (57 days for spreads with seasoning, 62 days for spreads without seasoning), whereas high pressure processed spreads maintained very good sensory quality (62 days). Both processing technologies had an insignificant influence on pH, water activity, mass losses, total phenolics, antiradical activity and chemical composition of pulse spreads throughout storage, irrespective of packaging materials ($p > 0.1$).
7. The total colour component difference in pulse spreads was significantly higher after *sous vide* treatment compared to high pressure processing ($p < 0.05$). The total colour component difference for all *sous vide* and high pressure processed pulse spread samples packed in transparent PA/PE reached $\Delta E^* \leq 2.13$ units at day 62 compared to untreated samples. The difference for spreads packed in PET/ALU/PA/PP ($\Delta E^* \leq 0.52$) was significantly lower ($p < 0.05$).
8. Nutritional value analysis showed that pulse spreads are eligible for 'high protein' and 'high fibre' nutrition and health claims. Energy value of pulse spreads ranged from 537.51 to 550.56 kJ 100 g⁻¹. Protein and dietary fibre coverage (%) by one serving (50 g) of pulse spreads was dependent on the consumer age and gender.

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Pākšaugi ir tauriņziežu dzimtas *Fabaceae* augi, kuru sēklas izmanto pārtikai. Pākšaugi ir svarīgs olbaltumvielu avots lielai daļai pasaules iedzīvotāju, jo tie ir salīdzinoši lēti, taču ar augstu uzturvērtību, nodrošinot labas kvalitātes augu izcelsmes olbaltumvielas, saliktos ogļhidrātus un B grupas vitamīnus.

Neskatoties uz pākšaugu nozīmīgumu cilvēku uzturā, to patēriņš Eiropā ir tikai $\frac{1}{3}$ no vidējā pākšaugu patēriņa pasaulē (7.21 kg uz vienu iedzīvotāju); vidējais pākšaugu patēriņš uz vienu iedzīvotāju Latvijā 2015. gadā bija 7.8 g dienā, sastādot ikgadējo patēriņu ~2.83 kg uz dienu iedzīvotāju. Ņemot vērā, ka galvenais pākšaugu zemā patēriņa iemesls ir to ilgais pagatavošanas laiks, inovatīvi produkti no pākšaugiem, kas samazina vai izslēdz to laikietilpīgo pagatavošanu, ir lieliska izvēle patērētājiem, jo mūsdienu dzīvesveids ir būtiski mainījis ēšanas paradumus visā pasaulē, kā rezultātā ir ievērojami audzis pieprasījums pēc gataviem produktiem tūlītējai lietošanai. Turklāt, Apvienoto Nāciju Organizācijas Ģenerālās asamblejas 68. sesijā 2016. gads oficiāli tika pasludināts par ‘Starptautisko pākšaugu gadu’, lai palielinātu sabiedrības informētību par pākšaugu uzturvērtības nozīmi kā daļu no ilgtspējīgas pārtikas, kas vērsta uz pārtikas drošību un pieejamību.

Augu izcelsmes pastētes ir svarīga ikdienas sastāvdaļa veselīga dzīvesveida piekritējiem, tomēr augu izcelsmes pastēšu dažādība Latvijas tirgū ir ierobežota. Turklāt Eiropā audzēti / vietējās izcelsmes pākšaugi nav pārstāvēti komerciāli pieejamajās augu izcelsmes pastētēs.

Neskaitoties uz jaunu pākšaugu pastēšu izstrādes priekšrocībām, šie produkti ir pakļauti dažādiem mikroorganismiem, kas izraisa pārtikas bojāšanos. Tādēļ nepieciešams apsvērt progresīvu apstrādes paņēmienu izmantošanu, jo patērētāji izvairās no konservantiem, taču pieprasa produktus ar pagarinātu derīguma termiņu (Can, Harun, 2015).

Sous vide apstrāde mīkstajā iepakojumā ir samērā jauns termiskās apstrādes paņēmiens, kas ļauj uzlabot produkta drošību, nodrošināt tā kvalitāti un pagarināt derīguma termiņu. Apstrāde augstspiedienā ir veiksmīgi komercializēts ne-termiskais apstrādes paņēmiens (Frakas, 2016), kuru galvenokārt izmanto atdzesētu produktu ar zemu vides skābumu pasterizēšanai (Sarker *et al.*, 2013); EK Regulā Nr. 2283/2015 šis paņēmiens ir atzīts par inovatīvu apstrādes metodi, kas ieviesta nesen, lai uzlabotu produktu drošību, kvalitāti un derīguma termiņu. Abi apstrādes paņēmieni tiek raksturoti kā piemēroti, lai iznīcinātu veģetatīvās mikroorganismu šūnas un sporas neveidojošus pārtikas patogēnus, tādējādi pagarinot pārtikas produktu derīguma termiņu.

Promocijas darba **hipotēze**: pākšaugu pastēšu derīguma termiņu var būtiski pagarināt izmantojot augstspiediena vai *sous vide* apstrādes paņēmienu.

Promocijas darba hipotēzi pierāda ar šādām **aizstāvāmām tēzēm**:

1. Izstrādātā tehnoloģija ir piemērota kvalitatīvu un drošu pastēšu ieguvei no Eiropā audzētiem / vietējās izcelsmes pākšaugiem. Pievienotās garšvielas būtiski ietekmē pākšaugu pastēšu kvalitāti.
2. Izvēlēto apstrādes paņēmieni režīmi ietekmē pākšaugu pastēšu mikrobioloģiskos, fizikāli-ķīmiskos un sensoros parametrus.
3. Mikroorganismu inaktivācijas kinētikas modeļi ir izmantojami *sous vide* termiskās apstrādes eksperimentālo datu izvērtēšanai
4. *Sous vide* un augstspiedienā apstrādātas pākšaugu pastētes saglabā mikrobioloģisko, sensoro un fizikāli-ķīmisko kvalitāti uzglabāšanas laikā.
5. Eksperimentāli izstrādātajām pākšaugu pastētēm ir piemērojamas šādas uzturvērtības un veselīguma norādes – ‘daudz obaltumvielu’ un ‘daudz šķiedrvielu’.

Promocijas darba pētījuma **objekts**: augu valsts izcelsmes pākšaugu pastveida produkti.

Promocijas darba **mērķis** ir izstrādāt jaunus pākšaugu produktus un izvērtēt augstspiediena un *sous vide* apstrādes paņēmieni ietekmi uz to kvalitāti uzglabāšanas laikā.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi **uzdevumi**:

1. izstrādāt tehnoloģiju jaunu augu izcelsmes obaltumvielu pastēšu ražošanai no melnacotajām pupiņām un pelēkajiem zirņiem un noteikt pastēšu kvalitātipos rādītājus;
2. noteikt optimālos *sous vide* un augstspiediena apstrādes paņēmieni režīmus pākšaugu pastēšu kvalitātes nodrošināšanai uzglabāšanas laikā;
3. modelēt mikroorganismu inaktivācijas kinētiku *sous vide* apstrādātās pākšaugu pastētēs;
4. izvērtēt pākšaugu pastēšu mikrobioloģiskās, sensorās un fizikāli-ķīmiskās kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā;
5. izvērtēt jauno produktu uzturvērtības atbilstību uzturvērtības un veselīguma norādēm un salīdzināt uzturvielu segumu ar uzturvielu ieteikumiem pusaudžiem un pieaugušajiem.

Promocijas darba **novitāte un zinātniskais nozīmīgums**:

1. pirmo reizi pētīta melnacoto pupiņu un pelēko zirņu piemērotība inovatīvu augu valsts izcelsmes pastveida produktu ražošanai;
2. izstrādāti jauni pākšaugu produkti – pastētes, kuru gatavošanas paņemiens reģistrēts ar LR patentu nr. 14705 (2014);
3. izpētīta augstspiediena un *sous vide* apstrādes paņēmiena ietekme uz pākšaugu pastēšu kvalitāti, un noteikti piemērotākie apstrādes režīmi;
4. izvērtēta pākšaugu pastēšu kvalitāte uzglabāšanas laikā, un noteikts to ieteicamais derīguma termiņš;

5. veikta mikroorganismu inaktivācijas kinētikas modelēšana *sous vide* apstrādātās pākšaugu pastētēs, izmantojot lineāro un nelineāros matemātiskos modeļus.

Promocijas darba **tautsaimnieciskā nozīmība**:

1. pākšaugu izmantošana jaunu olbaltumvielām un šķiedrvielām bagātu produktu ražošanā;
2. jaunie produkti izslēdz patēriņam paredzēto pākšaugu laikietilpīgo sagatavošanas procesu;
3. izstrādātās pākšaugu pastētes paplašina patērētājiem, īpaši veģetāriešiem, piedāvāto produktu sortimentu.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījuma rezultāti ir apkopoti 12 recenzētos zinātniskos izdevumos, ieskaitot 5 publikācijas, kas indeksētas starptautiski citējamās datubāzēs SCOPUS un Web of Science, saņemts viens LR patents Nr. 14705.

Par rezultātiem ziņots 14 starptautiskās zinātniskās konferencēs un semināros Latvijā, Igaunijā, Lietuvā, Čehijā, Portugālē, Bulgārijā, Itālijā, kā arī starptautiskajā pārtikas izstādē “Riga Food” Latvijas Lauksaimniecības universitātes standā 2013., 2014., 2015. un 2016. gadā (publikāciju un prezentāciju sarakstu skatīt 6.–9. lpp.).

MATERIĀLI UN METODES

Pētījuma laiks un vieta

Eksperimenti veikti laika posmā no 2013. līdz 2016. gadam. Produktu izstāde un analīzes veiktas:

- » Latvijas Lauksaimniecības universitātes Pārtikas Tehnoloģijas fakultātē un Agronomisko analīžu zinātniskā laboratorijā,
- » SIA J.S. Hamilton Baltic,
- » Starptautiskajā izstāžu centrā Ķīpsala, starptautiskās pārtikas izstādes “Riga Food” laikā 2013., 2014., 2015. un 2016. gadā.

Pētījumā izmantotie materiāli

Pākšaugu pastētes gatavotas no divu veidu pākšaugiem: melnacotajām pupiņām (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. cv. Fradel), 2013. gada raža, Portugāle, un pelēkajiem zirņiem (*Pisum sativum* var. *arvense* L. cv. Bruno), 2014. gada raža, Priekuli, Latvija. Tika izmantotas šādas papildizejvielas: rapšu eļļa, citronskābe, Himalaju sāls, sezama sēklas, sīpolu garšviela, paprika garšviela, brušetas garšviela (kaltēts tomāts, baziliks, ķiploks), zaļumu garšviela (kaltēts pētersīlis, dilles, lociņi). Seši dažādi pastēšu veidi izstrādāti no katra pākšauga: viens bez garšvielām (1. tabula) – kontroles paraugs un pieci ar garšvielām (2. tabula) pastēšu garšas dažādošanai. Jauno pākšaugu produktu izstrādē mērķis

bija iegūt pastētes ar augstu olbaltumvielu un šķiedrvielu saturu, bet zemu tauku saturu, balstoties uz uzturvērtības un veselīguma norādēm EK Regulā nr. 1924/2006 un MK noteikumiem nr. 172/2012.

Pētījuma struktūra

Pētījums veikts piecos posmos (1. att.).

I posms – Jaunu pākšaugu pastēšu izstrāde un kvalitatīvais novērtējums

Pākšaugu pastēšu ražošanas tehnoloģija ir balstīta uz veģetāro pastēšu ražošanas paņēmieni, kas aprakstīts Latvijas Republikas patentā nr. 14705 (2014). Tehnoloģija ietver pākšaugu mērcēšanu ūdenī (pievienots NaHCO_3 , 21.5 g kg^{-1}) $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrā 15 stundas, tam sekojošu rehidratētu pākšaugu skalošanu un vārīšanu spiediena katlā līdz gatavībai ($\tau = 35 \pm 5 \text{ min}$, un 15 min dabiskam spiediena samazinājumam). Karsti, vārīti pākšaugi pēc tam tiek sasmalcināti virtuves kombainā (Philips HR 7761/00, Philips Ltd., Nīderlande), kopā ar sāli un citronskābi, pastētei tiek pievienotas garšvielas (ja nepieciešams); eļļa tiek pievienota samaisīšanas beigās.

Kvalitatīvais pākšaugu pastēšu novērtējums veikts, izmantojot sensoro vērtēšanu (hedoniskā skala, $n_{\text{vērtētāji}} = 120$), fizikāli-ķīmiskos (olbaltumvielas, pelnvielas, kopējās šķiedrvielas, kopējie fenoli, sausna, pH, L^* vērtība, konsistence) un mikrobioloģiskos (mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu kopskaits (MAFAM), raugu un pelējumu skaits) parametrus. Integretais daudzkritēriju novērtējums izmantots, lai izvēlētos pastētes ar augstāko ražošanas potenciālu derīguma termiņa pētījumam.

II posms – Iepakojšanas materiālu un pākšaugu pastēšu apstrādes paņēmieni režīmu izvēle

Pākšaugu pastēšu iepakojšanai izvēlēti šādi materiāli: divslāņu caurspīdīgā PA/PE lamināta maisiņi ar augstām barjerīpašībām (SIA PTC, Latvija) un gaismu necaurīdīgā PET/ALU/PA/PP lamināta maisiņi ar augstām barjerīpašībām (SIA Nordvak, Latvija); maisiņu izmērs $45 \times 170 \text{ mm}$. Iepakojumi tika hermētiski aizkausēti, izmantojot kameras tipa vakuuma iepakojšanas iekārtu C300 (Multivac Ltd., Lielbritānija), pēc tam veikta pastēšu apstrāde ilgstošas uzglabāšanas nodrošināšanai (2. att.)

Sous vide apstrāde tika veikta ūdens vannā (Clifton Food Range, Nickel-Electro Ltd., Lielbritānija), savukārt augstspiediena apstrāde notika apkārtējās vides temperatūrā, izmantojot Iso-Lab augstspiediena pilotiekārtu (S-FL-100-250-09-W, Stansted Fluid Power Ltd., Eseksa, Lielbritānija) ar 2.0 l spiediena tvertni. Vakuumā iepakoti neapstrādāti (kontrolē), *sous vide* un augstspiedienā apstrādāti paraugi tika uzglabāti atdzesētos apstākļos (2. att.).

Apstrādātu paraugu apzīmējumi sastāv no diviem burtiem, kas raksturo apstrādes paņēmieni, un diviem skaitļiem, no kuriem pirmais skaitlis apzīmē temperatūru ($^\circ\text{C}$) vai spiedienu (MPa) un otrais skaitlis apzīmē izturēšanas laiku (min):

» SV 80_15 – *sous vide* apstrāde $80 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrā 15 minūtes,

- » HP 700_10 – augstspiediena apstrāde 700 MPa spiedienā 10 minūtes,
- » C – kontroles paraugs.

III posms – Mikroorganismu kinētikas modelēšana *sous vide* apstrādātās pākšaugu pastētēs

Pelēko zirņu pastētes ar brušetu (MS_B) apstrāde *sous vide* tika veikta piecos temperatūrās režīmos (2. att.). Pēc 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 un 40 min no sildošās vides tika izņemti divi iepakojumi, nekavējoties atdzesēti 2.0 ± 1.0 °C ledusūdenī līdz temperatūrai 5.0 ± 1.0 °C iepakojuma iekšpusē 10 min laikā.

Inaktivācijas kinētikas modelēšana tika veikta, izveidojot mikroorganismu inaktivācijas (izdzīvošanas) līknes kā funkciju no temperatūras. Šim nolūkam tika izveidota diagramma ar log KVV g^{-1} atkarību no laika (min) katram atsevišķam mēģinājumam. Dažādu modeļu (3. tabula) piemēroftība *sous vide* inaktivācijas kinētikai tika pārbaudīta.

Savienojumpunktu regresija izmantota inaktivācijas līkņu lūzumpunktu noteikšanai, lai aprēķinātu *D* un *z* vērtības mikroorganismu līkņu lineārajai un astes proporcijai. Aprēķini veikti saskaņā ar Li *et al.* (2017) pētījuma metodiku.

IV posms – Pākšaugu pastēšu kvalitātes izvērtējums uzglabāšanas laikā

Pākšaugu pastēšu **mikrobioloģiskā kvalitāte** uzglabāšanas laikā raksturota ar MAFAm kopskaitu, raugu un pelējumu skaitu, kā arī patogēnu klātbūtni. Seši eksperti piedalījās pastēšu **sensorās kvalitātes** izmaiņu vērtēšanā uzglabāšanas laikā. Katrs sensorais rādītājs (ārējais izskats, smarža, konsistence un garša) tika vērtēts skalā no 5 (ļoti laba kvalitāte) līdz 1 (neapmierinoša kvalitāte), un katram paraugam tika piešķirts kvalitātes skaitlis (KS). Hedoniskā vērtēšana izmantota, lai noteiktu apstrādātu pastēšu patērētāju patikšanas pakāpi. Pākšaugu pastēšu **fizikāli-ķīmiskā kvalitāte** uzglabāšanas laikā raksturota ar pH, ūdens aktivitātes, mitruma, masas zudumu, krāsas, olbaltumvielu, šķiedrvielu, pelnvielu, tauku, kopējo fenolu un antiradikālās aktivitātes izmaiņām.

V posms – Uzturvērtības novērtējums

Pākšaugu pastēšu enerģētiskā vērtība aprēķināta saskaņā ar uzturvielu koeficientiem, kas aprakstīti Regulā (EK) Nr. 1169/2011, un atbilstība uzturvērtības un veselīguma norādēm izvērtēta saskaņā ar Regulu (EK) Nr. 1924/2006. Uzturvielu segums ar vienu pastēšu porciju (50 g) pusaudžiem un pieaugušajiem salīdzināts ar ieteicamo dienas uzturvielu devu.

Pētījumā izmantotās metodes

Metodes, kas izmantotas fizikāli-ķīmisko, sensoro un mikrobioloģisko rādītāju noteikšanai, apkopotas 4. tabulā.

Datu matemātiskā apstrāde

Iegūto datu apstrāde veikta, izmantojot statistikas programmas ‘R 3.0.2’, ‘Microsoft Office Excel v16.0’ un ‘Statistica for Windows v10’. Rezultāti izteikti kā vidējā vērtība \pm standartnovirze. Stjudenta tests, vienfaktora un daudzfaktoru dispersijas analīze (ANOVA) un Tjūkija tests izmantoti, lai

salīdzinātu vērtības. Atšķirības starp vērtībām uzskatītas par būtiskām, ja $p \leq 0.05$. Pīrsona korelācijas koeficients aprēķināts, lai novērtētu sakarības starp rezultātiem. Mikroorganismu inaktivācijas kinētikas modelēšana veikta, izmantojot GInaFIT v1.6 inaktivācijas modeļu pielāgošanas rīku. 'Joinpoint Regression Program v4.3.1.0' izmantota, lai iegūtu savienojumpunktu regresijas līknes. Inaktivācijas modeļu statistiskai analīzei aprēķināts pielāgotais determinācijas koeficients (R^2_{adj}) un vidējās kvadrātiskās kļūdas kvadrātsakne (RMSE), lai novērtētu modeļa sakrītību ar eksperimentālajiem datiem.

REZULTĀTI UN DISKUSIJA

1. Jauno pākšaugu pastēšu kvalitatīvie rādītāji

Izejvielu analīze parādīja, ka melnacotās pupiņas un pelēkie zirņi ir piemēroti augu izcelsmes olbaltumvielu pastēšu izstrādei, pamatojoties uz to augsto olbaltumvielu saturu (attiecīgi 25.5 ± 0.20 un 26.0 ± 0.30 g 100 g⁻¹ sausnā), tomēr, metionīns bija limitējošā aminoskābe abos pākšaugos.

Produkta garšas kvalitāte ir cieši saistīta ar patērētāju pieprasījumu, kā apgalvo Singh-Ackbarali un Maharaj (2013), tāpēc ir nepieciešams izstrādāt produktus, kas atbilst patērētāju vēlmēm. Sešas pastētes no katra pākšauga (1. tabula) tika novērtētas ar hedonisko skalu (3. att.).

Patērētāji deva priekšroku melnacoto pupiņu pastētei ar sīpoliem (CS_O) un brušetu (CS_B) ($p < 0.05$), salīdzinot ar pārējiem melnacoto pupiņu pastēšu paraugiem. Četriem pelēko zirņu pastēšu paraugiem bija augsta patikšanas pakāpe bez būtiskām atšķirībām savā starpā ($p = 0.221$): pelēko zirņu pastētei ar sīpoliem (MS_O), brušetu (MS_B), papriku (MS_P) un bez garšvielām (MS). Pievienotajām garšvielām bija būtiska ietekme uz pastēšu patikšanas pakāpi.

Fizikāli-ķīmiskās analīzes, kuras tika veiktas ar kontroles paraugu un augstāk novērtētajiem paraugiem (patikšanas pakāpe > 4.0), parādīja būtiskas atšķirības starp pastēšu kopējo šķiedrvielu un kopējo fenolu saturu, L^* vērtību un konsistenci. Olbaltumvielu saturs pākšaugu pastētēs bija no 7.10 līdz 7.43 g 100 g⁻¹ ($p = 0.065$), arī pelnielvielu saturs (1.00–1.10 g 100 g⁻¹) nebija atkarīgs no izmantotajām garšvielām ($p = 0.480$). Pākšaugu pastētes bija labs šķiedrvielu avots (10.70 līdz 14.24 g 100 g⁻¹). Kopējo fenolu saturs bija augstāks pastētēs ar brušetu. Melnacoto pupiņu pastētes bija gaišākas ($L^* 58.70$ – 60.70) nekā pelēko zirņu pastētes ($L^* 50.15$ – 57.30), un garšvielu pievienošanai bija būtiska ietekme uz produkta gaišuma pakāpi (L^*) ($p = 0.010$). Produkta pH vērtība bija robežās no 5.50 līdz 5.63, izņemot pelēko zirņu pastēti ar papriku (pH 5.05). Pākšaugu pastēšu konsistence bija robežās no 9.00 līdz 12.20 N, un to ietekmēja pievienotās garšvielas ($p = 0.018$).

Mikroorganismu kopskaits pākšaugu pastētēs bija no 3.20 līdz 3.40 log KVV g⁻¹, kas ir ievērojami vairāk nekā vārītos pākšaugos (MAFam < 1.0 log KVV g⁻¹). Pākšaugu pastētes ir pakļautas šķērspiesārņojumam no sastāvdaļām, piederumiem un apkārtējās vides pastēšu gatavošanas laikā. MAFam nepārsniedza pieļaujamo līmeni (< 3.69 log KVV g⁻¹), kas liecina, ka

pākšaugu pastētes ir drošas patēriņam. Uzglabāšanas laika analīze parādīja, ka pākšaugu pastētes pārsniedz pieļaujamo MAFAm skaitu 3 līdz 5 dienu laikā uzglabājot ledusskapī. Šis īsais uzglabāšanas laiks norāda, ka ir jāapsver apstrādes metodes un atbilstoši iepakojuma risinājumi, lai samazinātu mikroorganismu kopskaitu un izvairītos no pastēšu paātrinātas bojāšanās, tādējādi pagarinot jauno produktu derīguma termiņu.

Integrētais daudzkritēriju novērtējums (4. att.) tika veikts, pamatojoties uz sensoro vērtēšanu, ķīmiskajiem un fizikālajām parametriem, lai noteiktu pākšaugu pastēšu paraugus ar augstāko ražošanas un uzglabāšanas laika izpētes potenciālu.

Analīze parādīja, ka gan melnacoto pupiņu pastētei ar brušetu (CS_B), gan pelēko zirņu pastētei ar brušetu (MS_B) bija zemākā integrētā novērtējuma vērtība, kas rāda, ka šiem paraugiem ir labāks līdzsvars starp sensorajiem un uzturvērtības rādītājiem. Pastētēm ar zemāko integrētā novērtējuma vērtību ir lielāks ražošanas potenciāls patēriņam. Šādi pākšaugu pastēšu paraugi tika izvēlēti uzglabāšanas laika pētījumam: melnacoto pupiņu pastēte (CS), melnacoto pupiņu pastēte ar brušetu (CS_B), pelēko zirņu pastēte (MS) un pelēko zirņu pastēte ar brušetu (MS_B).

2. Progresīvu apstrādes paņēmieni ietekme uz pākšaugu pastēšu kvalitāti

Vairāku *sous vide* apstrādes režīmu analīze parādīja, ka mikroorganismu kopskaits (MAFAm) kontroles paraugā (C) bija ievērojami lielāks ($p < 0.05$) nekā *sous vide* apstrādātos paraugos dažādās termiskās apstrādes režīmos (5. att.). Termiskā apstrāde 60 °C un 70 °C temperatūrā (5.a att.) spēja samazināt MAFAm kopskaitu, salīdzinot ar kontroles paraugu, tomēr mikroorganismu skaita samazinājums bija neliels, tādēļ šie *sous vide* apstrādes režīmi tika atzīti par nederīgiem pākšaugu pastēšu apstrādei.

Trešais pētītais termiskās apstrādes režīms (80 °C) ievērojami samazināja MAFAm, salīdzinot ar kontroles paraugu (5.b att.), visos izturēšanas laika režīmos ar dilstošu efektivitāti: $SV_{80_15} = SV_{80_20} = SV_{80_25} = SV_{80_30}$ (2-log samazinājums) $> SV_{80_05} = SV_{80_10}$ (1-log samazinājums) ($p < 0.05$). MAFAm samazinājums 90 °C temperatūrā (5.c att.) bija šāds: $SV_{90_15} = SV_{90_20} = SV_{90_25} = SV_{90_30}$ (2-log samazinājums) $> SV_{90_05} = SV_{90_10}$ (1-log samazinājums) ($p < 0.05$). Apstrādē 100 °C temperatūrā tika novērtots 2.5-log samazinājums ar būtiskām atšķirībām starp izturēšanas laiku ($p < 0.05$) (5.d att.); paraugi SV_{100_15} , SV_{100_20} , SV_{100_25} un SV_{100_30} uzrādīja ievērojami zemāku mikrobiālo piesārņojumu nekā citi paraugi ($p = 0.011$).

Turklāt, lai gan ar mazāku efektivitāti, arī termiskās apstrādes režīmi SV_{100_05} un SV_{100_10} uzrādīja ievērojamu mikroorganismu samazinājumu, salīdzinot ar kontroles paraugu ($p < 0.05$). Izturēšanas laiks $\tau_{izturēšanas} = 15$ min bija tikpat efektīvs kā $\tau_{izturēšanas} = 30$ min 80 °C, 90 °C un 100 °C apstrādes temperatūrā.

Uzglabāšanas laika priekšmēģinājumā tika pārbaudīta termiskās apstrādes ietekme uz mikroorganismu dzīvotspēju 120 dienu laikā. Apstrāde 90 °C temperatūrā netika pētīta, jo tā neuzrādīja ievērojamu mikroorganismu samazinājumu salīdzinot ar apstrādi 80 °C ($p > 0.05$). Pētītie režīmi bija SV 80_15 ($t_v = 80.0 \pm 0.5$ °C, $\tau = 15$ min) un SV 100_15 ($t_v = 100.0 \pm 0.5$ °C, $\tau = 15$ min), pamatojoties uz īsāku termiskās apstrādes ciklu un to mikrobiālo piesārņojumu. Termiski apstrādātie paraugi pārsniedza pieļaujamo MAFAm ($N_{\max} < 3.69 \log \text{KVV g}^{-1}$) pēc 3 mēnešiem. *Sous vide* apstrāde 80 °C un 100 °C temperatūrā ar izturēšanas laiku 15 min bija piemērota zirņu pastēšu apstrādei no mikrobioloģiskā viedokļa, tomēr pasterizācija 80 °C temperatūrā ir šķietami ekonomiski izdevīgāka. *Sous vide* apstrādātu zirņu pastēšu mikrobioloģisko kvalitāti ir iespējams nodrošināt līdz 96 dienām, veicot apstrādi 80 °C temperatūrā 15 min, un līdz 106 dienām – ar apstrādi 100 °C temperatūrā 15 min. Mikroorganismu augšanas dinamika uzglabāšanas laikā pēc *sous vide* apstrādes parādīja, ka mikroorganismi pielāgojas videi 50 līdz 60 dienu laikā, pēc tam novērojams straujāks to skaita pieaugums, tādēļ uzglabāšanas laikam ir jābūt proporcionālam straujā pieauguma sākumam.

Vairāku **augstspiediena apstrādes** režīmu analīze parādīja, ka mikroorganismu kopskaits (MAFam) kontroles paraugā (C) bija ievērojami lielāks ($p < 0.05$) nekā augstspiedienā apstrādātās zirņu pastētēs (6. att.). Salīdzinot ar kontroles paraugu, augstspiediena apstrāde samazināja MAFAm ar dilstošu efektivitāti: HP 800_10 = HP 700_30 = HP 700_20 = HP 700_10 = = HP 600_20 (1.5-log samazinājums) > HP 600_10 > HP 500_20 > HP 500_10. Būtiskas atšķirības starp mikroorganismu kopskaitu augstspiedienā apstrādātos paraugos 600 MPa, 700 MPa un 800 MPa spiedienā netika novērotas ($p = 0.289$).

Uzglabāšanas laika priekšmēģinājumā tika novērtēta augstspiediena apstrādes ietekme uz mikroorganismu dzīvotspēju 45 dienu laikā. Augstspiedienā apstrādātos paraugos MAFAm nepārsniedza pieļaujamo līmeni pēc 7 nedēļām. Apstrāde 500 MPa spiedienā nebija piemērota, jo MAFAm paraugos HP 500_10 un HP 500_20 bija augstāks nekā citos augstspiedienā apstrādātos paraugos ($p < 0.05$). Uzglabāšanas laikā paraugi HP 600_10 un HP 600_20 uzrādīja ievērojamu MAFAm pieaugumu, salīdzinot ar apstrādi augstākā spiedienā. Apstrādes režīmi HP 700_10, HP 700_20 un HP 700_30 uzrādīja līdzīgas mikroorganismu kopskaita vērtības pēc apstrādes un uzglabāšanas, ka bija salīdzināmas ar paraugu HP 800_10. No visiem pētītajiem režīmiem, paraugam HP 700_10 bija visaugstākais potenciāls, pamatojoties uz zemāko mikroorganismu kopskaitu un mazāko resursu patēriņu. Mikroorganismu dinamika uzglabāšanas laikā pēc augstspiediena apstrādes norādīja, ka mikroorganismi pielāgojas videi 20 līdz 30 dienu laikā, pēc tam vērojams lēns, bet stabils mikroorganismu pieaugums.

Mikroorganismi, kas tika atrasti pelēko zirņu pastētes ar brušetu paraugos pēc apstrādes, bija grampozitīvās *Bacillus* spp. baktērijas. Šīs sporu veidojošās baktērijas ir bieži sastopamas dažādās garšvielās, turklāt sporas var izturēt pasterizāciju un spiedienu līdz 1500 MPa (Zhang, Mittal, 2008). *Sous vide* un

augstspiediena apstrāde ir piemērotas veģetatīvo mikroorganismu šūnu un sporu neveidojošo pārtikas patogēnu likvidēšanai; tomēr apstrādātos produktos saglabājas gandrīz nemainīgs patogēno un pārtikas bojāšanos izraisošo baktēriju sporu daudzums, kas atrodams neapstrādātā pārtikā (Sarker *et al.*, 2013; Shin *et al.*, 2014).

Lai noteiktu, vai izvēlētie apstrādes paņēmieni ir piemēroti pākšaugu pastēšu apstrādei, tika izvērtēti **fizikālie un sensorie parametri** uzreiz pēc apstrādes *sous vide* un augstspiedienā. Produkta krāsa ir būtisks tā sensorās kvalitātes rādītājs, kam patērētāji pievērš uzmanību pirms produkta iegādes un patēriņa (Garber *et al.*, 2015). **Krāsas** izmaiņas tika analizētas potenciāli piemērotajiem paraugiem SV 80_15, SV 100_15 un HP 700_10, kā arī apstrādes režīmiem ar minimālo un maksimālo temperatūras / spiediena vērtību katram apstrādes paņēmienam (7. att.). Rezultāti parādīja, ka *sous vide* apstrāde būtiski ietekmēja pelēko zirņu pastētes ar brušetu kopējo krāsas diferenci pretēji augstspiediena apstrādei. *Sous vide* termiskās apstrādes ietekmē produkts kļuva tumšāks, kopējā krāsu difference *sous vide* apstrādātiem paraugiem svārstījās no ΔE^* 2 līdz 8.2, salīdzinot ar kontroli. Pastētes iepakojuma materiālā ar gaismu necaurļaidīgām īpašībām (PET/ALU/PA/PP) uzrādīja ievērojami mazāk izteiktas krāsas izmaiņas, salīdzinot ar pastētēm caurspīdīgajā (PA/PE) iepakojumā 80 °C un 100 °C temperatūrā ar apstrādes laiku ≥ 15 min ($p < 0.05$). Augstspiediena apstrādei nebija būtiskas ietekmes uz produkta krāsu, turklāt starp gaismu necaurļaidīgo un caurspīdīgo iepakojuma materiālu nebija ievērojamu atšķirību ($p > 0.05$). *Sous vide* un augstspiediena apstrādei bija nenozīmīga ietekme uz pelēko zirņu pastētes ar brušetu pH, ūdens aktivitāti, konsistenci un mitruma saturu, kas liecina, ka abi apstrādes paņēmieni ir piemēroti, lai pākšaugu pastētēm nodrošinātu fizikālo stabilitāti pēc apstrādes, izņemot krāsu. Augstspiediena apstrāde neietekmēja pākšaugu pastēšu sensoros parametrus (5 vērtētāji), bet pēc *sous vide* apstrādes 80.0 °C temperatūrā zirņu pastētei bija ievērojami izteiktāka zirņu un garšvielu smarža, salīdzinot ar termisko apstrādi 100.0 °C temperatūrā.

Optimālie apstrādes režīmi pākšaugu pastētēm ir šādi: *sous vide* apstrāde 15 minūtes 80.0 °C temperatūrā un augstspiediena apstrāde 10 minūtes 700 MPa spiedienā.

3. Mikroorganismu inaktivācijas kinētikas modelēšana *sous vide* apstrādātā pelēko zirņu pastētē

Sous vide apstrādātas pelēko zirņu pastētes ar brušetu mikroorganismu inaktivācijas līknes dažādās apstrādes temperatūrās (8. att.) liecina, ka mikroorganismu samazinājums 60.0 °C un 70.0 °C apstrādes temperatūrās starp 15 un 40 min bija mazāk būtisks ($p > 0.05$) nekā augstākās apstrādes temperatūrās. Termiskās apstrādes efekts 100.0 °C temperatūrā tika sasniegts pēc 30 min, kad dzīvotspējīgo šūnu skaits samazinājās zem nosakāmā līmeņa. Mezofīli aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu (MAFAM) inaktivācijas līknes ar tām piemērotajiem modeļiem – lineāro, lineāru ar asti,

Veibula un bifāzisko – redzamas 8. attēlā. Iegūtie dati liecina, ka līknes novirzījās no linearitātes un tām tika novērotas astes, īpaši augstākās temperatūrās; termiskā inaktivācija neatbilst pirmās kārtas kinētikai. 60 °C, 70 °C un 80 °C temperatūrā inaktivācija bija tuvu linearitātei, tomēr 100 °C temperatūrā tika novērota izteikti lejupejoša izliekta līkne, kurai pēc 25 min novērota aste, kas atbilst apmēram 2.5-log samazinājumam. Arī Scanlon *et al.* (2015) norāda, ka mikroorganismus pakļaujot termiskai apstrādei, ir raksturīgas inaktivācijas līknes ar astēm.

Lai gan pirmās kārtas kinētika tiek plaši izmantota mikroorganismu inaktivācijas modelēšanai, šajā gadījumā novērotās līkņu astes liecina, ka log-lineārais modelis ir nepiemērots *sous vide* inaktivācijas kinētikas eksperimentālo datu aprakstīšanai; šādi rastos ievērojamas kļūdas nosakot inaktivācijas laiku. Piemēram, ja pelēko zirņu pastētē paredzēts samazināt mikroorganismu kopskaitu par 1.5-log vienībām, tad apstrādes laiks būtu 9 min 100 °C, 14 min 90 °C un 20 min 80 °C temperatūrā pamatojoties uz bifāzisko modeli. Inaktivācijas laiks pēc Veibula modeļa būtu 8, 16 un 22 min attiecīgi 100 °C, 90 °C un 80 °C temperatūrā. Savukārt pamatojoties uz lineāro modeli, atbilstošais inaktivācijas laiks būtu 14 min 100 °C, 20 min 90 °C un 24 min 80 °C temperatūrā, tādējādi palielinot apstrādes laiku par 36%, 20% un 8%, salīdzinot ar šiem nelineārajiem modeļiem.

Log-lineārais ar asti modelis uzrādīja labu saderību ar mikroorganismu inaktivācijas līknēm, tomēr, nespēja piemērot līknes eksperimentālajiem datiem 70 °C, 80 °C un 90 °C temperatūrā, tādēļ netika pētīts tālāk. Veibula modelis ir bieži izmantots nelineārās mikroorganismu termiskās apstrādes inaktivācijas kinētikas aprakstīšanai (Coroller, 2006). Taču šajā pētījumā bifāziskais modelis uzrādīja labāko piemērotību visu inaktivācijas līkņu aprakstīšanai; to parāda zemākās vidējās kvadrātiskās kļūdas kvadrātsaknes un augstākās R^2_{adj} vērtības visās pētītajās temperatūrās. Rezultāti liecina, ka pirms līknēm parādās pretestības astes, mikroorganismu inaktivācijas aprakstīšanai *sous vide* apstrādātās pelēko zirņu pastētēs iespējams daļēji piemērot pirmās kārtas kinētiku. Inaktivācijas līkņu bifāziskais raksturs norādīja uz divu dažādu populāciju klātbūtni. Tāpēc tika izmantota savienojumpunktu regresija, lai sadalītu inaktivācijas līknes divās atsevišķās lineārās regresijas līnijās – sākotnējā un astes proporcijā (9. att.) ar atsevišķiem vienādojumiem un determinācijas koeficientiem, lai labāk varētu izvērtēt paredzamās D vērtības.

D vērtības tika aprēķinātas līknes lineārai (sākotnējai) un astes daļai (5. tabula). Abu līknes daļu z vērtības tika iegūtas, grafiski attēlojot log D vērtības atkarību no temperatūras. D vērtība, kura aprēķināta balstoties uz pirmās kārtas kinētiku (5 tabula), norāda decimālā samazinājuma laiku (laiks, kas nepieciešams, lai mikroorganismu skaitu samazinātu par vienu kārtu), bet parametrs δ , kurš raksturo Veibula modeli, norāda pirmo decimālā samazinājuma laiku. δ vērtība 60 °C temperatūrā ir 66.93 min, 70 °C – 23.76 min, 80 °C – 10.45 min, 90 °C – 6.22 min un 100 °C temperatūrā – 2.76 min. D vērtība 60 °C apstrādes temperatūrā bija zemāka nekā pirmā decimālā samazinājuma laiks ($p < 0.001$), bet pārējās pētītās temperatūras uzrādīja zemāku pirmā decimālā

samazinājuma laiku nekā D vērtība ($p < 0.05$). 90 °C temperatūrā δ bija divreiz zemāka, un 100 °C temperatūrā – trīs reizes zemāka nekā aprēķinātā D vērtība. Situācijā, kad inaktivācijas līknes nav lineāras, D vērtības aprēķināšana (laiks 1-log samazināšanai), kas tiek veikta balstoties uz lineārām inaktivācijas līknēm, nav labākā pieeja, jo rezultātā tiek iegūts nepietiekoši vai pārāk ilgi apstrādāts produkts atkarībā no inaktivācijas līkņu formas, saskaņā ar Chen un Hoover (2004) pētījuma rezultātiem. Lai iegūtu mikroorganismu skaita pirmo decimālo samazinājumu, apstrādājot zirņu pastētes 60 °C temperatūrā, produkts tiktu nepietiekoši apstrādāts par 18 min, ja decimālā samazinājuma laika aprēķins tiek veikts, balstoties uz lineārām inaktivācijas līknēm. Savukārt termiskā apstrāde augstākās temperatūrās, balstoties uz D vērtību, nodrošinātu būtiski pārāk ilgu produkta apstrādi, jo pirmā decimālā samazinājuma vērtība ir ievērojami zemāka saskaņā ar Veibula modeli.

Inaktivācijas līknes lineārās D vērtības bija ievērojami zemākas ($p < 0.001$) nekā inaktivācijas līknes astes D vērtības visas pētītajās temperatūrās, norādot, ka 1-log samazinājuma iegūšanai nepieciešams ievērojami vairāk laika pēc tam, kad ir iznīcināta mikroorganismu sākotnējā proporcija. Dati liecina, ka mikroorganismu inaktivācijas līknes sākotnējā (lineārā) proporcija ir mazāk izturīga pret termisko apstrādi nekā mikroorganismu inaktivācijas līknes astes proporcija, īpaši augstākās temperatūrās. Pamatojoties uz mikroorganismiem, kas identificēti *sous vide* apstrādātā pelēko zirņu pastētē ar brušetu, mikroorganismu sākotnējā proporcija sastāv no *Bacillus* spp. veģetatīvajām šūnām, bet astes proporcija – no *Bacillus* spp. sporām, kuras nav iespējams iznīcināt termiskās apstrādes temperatūrās zem 100.0 °C (Shin *et al.*, 2014). Tādēļ nepieciešams izvērtēt mikroorganismu attīstību uzglabāšanas laikā, lai noteiktu produktu optimālo derīguma termiņu un varētu piedāvāt patērētājiem drošu produktus.

4. Kvalitātes izmaiņas pākšaugu pastēšu uzglabāšanas laikā

Pamatojoties uz 2. nodaļā aprakstītajiem rezultātiem, no katra apstrādes paņēmiena tālāk analizēts viens režīms: *sous vide* apstrāde 80 °C temperatūrā 15 min (SV 80_15) un augstspiediena apstrāde 700 MPa spiedienā 10 min (HP 700_10). Pētītais uzglabāšanas laiks apstrādātām pastētēm bija 62 dienas. Tika analizētas četras pākšaugu pastētes: melnacoto pupiņu pastēte (CS), melnacoto pupiņu pastēte ar brušetu (CS_B), pelēko zirņu pastēte (MS) un pelēko zirņu pastēte ar brušetu (MS_B).

Kvalitātes izmaiņas *sous vide* apstrādātās pākšaugu pastētēs

Mikrobioloģiskā kvalitāte. *Sous vide* apstrādei bija pozitīva ietekme uz mikroorganismu kopskaita (MAFAM) samazināšanu; pēc apstrādes tika novērots vairāk nekā 1.5-log MAFAM samazinājums bez būtiskas atšķirības starp pākšaugu pastētēm un paraugiem dažādos iepakojuma materiālos ($p < 0.05$). MAFAM dinamika uzglabāšanas laikā pastētēs dažādos mīkstā iepakojuma materiālos norāda, ka pākšaugu pastētēs pēc 62 dienu uzglabāšanas bija

ievērojami augstāks mikroorganismu kopskaits nekā tūlīt pēc apstrādes ($p = 0.011$) (10. att.).

Sākotnējais MAFAM daudzums pākšaugu pastētēs PA/PE un PET/ALU/PA/PP iepakojumā pēc *sous vide* apstrādes bija 1.62 līdz 1.77 log KVV g^{-1} . Pēc 62 dienu uzglabāšanas melnacoto pupiņu un pelēko zirņu pastētēs tika novērots MAFAM vienas log vērtības pieaugums bez būtiskām atšķirībām starp pākšaugu pastētēm un paraugiem dažādos iepakojuma materiālos ($p < 0.05$); MAFAM skaits nepārsniedza pieļaujamo līmeni ($N_{max} < 3.69 \log KVV g^{-1}$) nevienā paraugā. Raugu un pelējumu klātbūtne netika apstiprināta nevienā *sous vide* apstrādātā paraugā. Vairāki pētījumi liecina, ka uzglabāšana ledusskapja temperatūrā līdz 63 dienām spēja nodrošināt mikrobioloģisko kvalitāti *sous vide* apstrādātiem produktiem (Levkane *et al.*, 2010; Can, Harun, 2015; Pino Hernández *et al.*, 2017). Pamatojoties uz mikroorganismu kopskaitu *sous vide* apstrādātās pākšaugu pastētēs, 62 dienu derīguma termiņš ir optimāls, jo MAFAM kopskaits pastētēs nepārsniedza pieļaujamo līmeni.

Sensorā kvalitāte. Pākšaugu pastēšu sensorās īpašības (ārējais izskats, smarža, konsistence un garša) novērtētas līdz 62. dienai, un rezultāti doti kā kvalitātes skaitlis (KS). Pākšaugu pastēšu sensorā kvalitāte līdz 29. uzglabāšanas dienai vērtējama kā ļoti laba (KS = 4.96–4.75), neatkarīgi no iepakojuma materiāla. Melnacoto pupiņu (CS) un pelēko zirņu (MS) pastētes 62 dienu uzglabāšanas laikā saglabāja labu kvalitāti abos iepakojuma materiālos, taču pastētes ar brušetu saglabāja labu kvalitāti līdz 57 dienai (KS = 4.31–4.67), bet vidēju kvalitāti – pēc 57 dienas (KS = 4.20–4.21). Eksperti raksturoja *sous vide* apstrādes pastētes ar patīkamu garšu un skābumu, taču mazāk izteiktu pākšaugu smaržu un garšu pēc apstrādes (0. diena), salīdzinot ar svaigiem (neapstrādātiem) paraugiem. Pēc 29 dienu uzglabāšanas melnacoto pupiņu pastētēm konstatēta graudaina konsistence, bet pelēko zirņu pastētēm bija cieti, grūti sakošļājami apvalciņu gabaliņi. Pamatojoties uz ekspertu sensoro vērtējumu, *sous vide* apstrāde spēja nodrošināt pākšaugu pastēšu kvalitāti 2 mēnešu uzglabāšanas laikā.

Līdzīgi rezultāti par *sous vide* apstrādātu produktu sensoro kvalitāti uzglabāšanas laikā norādīti tādiem produktiem kā bolonjas gaļas mērce un čālis tikka masala mērcē (Armstrong, McIlveen, 2000), makreles steiks (Singh *et al.*, 2016) un sparīda (Espinosa *et al.*, 2015), kas liecina, ka *sous vide* apstrādātiem produktiem ir pieņemama sensorā kvalitāte 40 līdz 65 dienu uzglabāšanas laikā ledusskapja temperatūrā.

Fizikāli-ķīmiskā stabilitāte. Neapstrādātu pākšaugu pastēšu fizikālie rādītāji bija līdzīgi visiem pastēšu veidiem ($p > 0.1$), pH bija robežās no 5.379 līdz 5.491, ūdens aktivitāte – no 0.977 līdz 0.978 un pastēšu mitruma saturs bija 66.91–67.71%.

Būtiskas **pH** vērtības atšķirības starp pētītajām *sous vide* apstrādātajām pākšaugu pastētēm dažādos iepakojuma materiālos 62 dienu uzglabāšanas laikā netika novērotas ($p > 0.05$). Vairāki pētījumi norāda, ka *sous vide* apstrādāti

pārtikas produkti saglabā relatīvi nemainīgu pH uzglabāšanas laikā ((Mol *et al.*, 2012; Can, Harun, 2015; Singh *et al.*, 2016). *Sous vide* apstrādātās pastētēs PA/PE un PET/ALU/PA/PP iepakojumā 62 dienu uzglabāšanas laikā 5.0 ± 1.0 °C temperatūrā netika novērotas ievērojamas **ūdens aktivitātes** svārstības ($p > 0.1$). Arī **masas zudumi** caur produkta iepakojumu 62 dienu uzglabāšanas laikā netika novēroti.

Krāsa visbiežāk ir pirmais kvalitātes parametrs, kuru novērtē patērētāji. CIE L^* parametrs norāda pākšaugu pastēšu krāsas intensitāti, un to būtiski ietekmēja *sous vide* apstrāde ($p < 0.05$), ar ievērojami mazāku L^* vērtību *sous vide* apstrādātiem paraugiem PA/PE iepakojumā. Sadilova *et al.* (2009) ziņoja, ka palielināta krāsas degradācija parasti ir saistīta ar termisko apstrādi, kas ir saskaņā ar Dutta *et al.* (2006) pētījumu, kurā norādīts, ka termiskās apstrādes laiks un temperatūra pazemina L^* vērtību termolabilo savienojumu degradācijas rezultātā, veidojot tumšu krāsu ar samazinātu intensitāti. Kopējās krāsas diferences diagramma (11.a att.) parāda pākšaugu pastēšu paraugu ΔE^* vērtību pēc *sous vide* apstrādes. Pākšaugu pastēšu paraugiem PA/PE iepakojumā bija lielāka ΔE^* vērtība nekā *sous vide* apstrādātiem paraugiem PET/ALU/PA/PP iepakojumā ($p = 0.004$). Pēc apstrādes *sous vide* pastētes PA/PE iepakojumā atrodas labi redzamā krāsas atšķirību kategorijā ($3 < \Delta E^* < 6$), kā aprakstījuši Cserhalmi *et al.* (2006) un Andrés *et al.* (2016). Zepka *et al.* (2009) norādīja uz korelāciju starp kopējo krāsas diferenci un produktu patikšanu patērētājiem. Fernández-Vázquez *et al.* (2013) atklāja, ka ΔE^* vērtība 2.8 ir jāuzskata par krāsas diferences robežu, kuru uztver neapmācīti vērtētāji un patērētāji.

Uzglabāšanas laikā ΔE^* vērtība *sous vide* apstrādātiem paraugiem PA/PE iepakojumā palielinājās līdz 2.13 vienībām 62. dienā (11.b att.). Pākšaugu pastētes tika uzglabātas dienasgaismā, lai imitētu uzglabāšanu lielveikala plauktā; pastētēm PA/PE iepakojumā tika novērotas būtiskas krāsas izmaiņas, jo krāsu savienojumi ir jutīgi uz tādiem apstākļiem kā pH izmaiņas, oksidēšanās, termiskā apstrāde, un īpaši gaismas iedarbība (Ghidouche *et al.*, 2013). $\Delta E^* 2.8$ vienību robeža netika sasniegta pēc 62 dienu uzglabāšanas (11.b att.), tomēr pākšaugu pastētēm PA/PE iepakojumā bija būtiski lielāka kopējā krāsas diferences vērtība, salīdzinot ar paraugiem PET/ALU/PA/PP iepakojumā ($p < 0.001$). Rezultāti liecina, ka gaismas necaurīdīgais PET/ALU/PA/PP iepakojuma materiāls spēja saglabāt pākšaugu pastēšu krāsu labāk nekā caurspīdīgās PA/PE plēves maisiņi.

Aptuvenais pākšaugu pastēšu **ķīmiskais sastāvs** norāda, ka pastētes satur 7.31 ± 0.14 g olbaltumvielu, 6.08 ± 0.02 g tauku, 1.04 ± 0.02 g pelnvielu un 12.87 ± 1.47 g šķiedrvielu uz 100 g pākšaugu pastēšu. Šajā pētījumā noteiktās olbaltumvielu, pelnvielu un šķiedrvielu satura vērtības ir salīdzināmas ar literatūras datiem (McCrary *et al.*, 2010; Kirse, Karklina, 2013), kuros tiek norādīts, ka pākšaugi un to pastētes ir labs uzturvielu avots. Olbaltumvielu, tauku un pelnvielu saturs būtiski neatšķirās starp melnacoto pupiņu un pelēko zirņu pastētēm. Kopējo fenolu saturam un antiradikālai aktivitātei *sous vide* apstrādātās pākšaugu pastētēs nebija būtisku atšķirību uzglabāšanas laikā.

Izvēlētais termiskās apstrādes režīms (SV 80_15) un iepakojuma materiāli neietekmēja fizikāli-ķīmiskos parametrus pēc apstrādes un 62 dienu uzglabāšanas ($p > 0.1$), norādot, ka pēc papildus apstrādes un uzglabāšanas tiek nodrošināta nemainīga produkta kvalitāte.

Kvalitātes izmaiņas augstspiedienā apstrādātās pākšaugu pastētēs

Mikrobioloģiskā kvalitāte. Augstspiediena apstrādei bija pozitīva ietekme uz mikroorganismu kopskaita (MAFAM) samazināšanu; pēc apstrādes tika novērots vairāk nekā 1.5-log MAFAM samazinājums bez būtiskas atšķirības starp pākšaugu pastētēm un paraugiem dažādos iepakojuma materiālos ($p < 0.05$). MAFAM dinamika uzglabāšanas laikā dažādos mīkstā iepakojuma materiālos uzrādīja līdzīgu tendenci *sous vide* apstrādātām pastētēm – pēc 62 dienu uzglabāšanas bija ievērojami augstāks mikroorganismu kopskaits nekā tūlīt pēc apstrādes ($p = 0.017$) (12. att.). Sākotnējais MAFAM daudzums pākšaugu pastētēs PA/PE un PET/ALU/PA/PP iepakojumā pēc augstspiediena apstrādes bija 1.75 līdz 1.87 log KVV g^{-1} . Pēc 62 dienu uzglabāšanas pastētēs tika novērots MAFAM vienas log vērtības pieaugums bez būtiskām atšķirībām starp pākšaugu pastētēm un paraugiem dažādos iepakojuma materiālos ($p < 0.05$); MAFAM skaits nepārsniedza pieļaujamo līmeni ($N_{max} < 3.69$ log KVV g^{-1}) nevienā paraugā. Raugu un pelējumu klātbūtne netika apstiprināta nevienā *sous vide* apstrādātā paraugā. Vairāki pētījumi norāda, ka augstspiedienā apstrādāti produkti uzglabāšanas laikā ledusskapja temperatūrā saglabā mikrobioloģisko kvalitāti līdz 56 dienām (Masegosa *et al.*, 2015; Stratakos *et al.*, 2015). Pamatojoties uz mikroorganismu kopskaitu augstspiedienā apstrādātās pākšaugu pastētēs, 62 dienu derīguma termiņš ir optimāls, jo MAFAM kopskaits pastētēs nepārsniedza pieļaujamo līmeni.

Sensorā kvalitāte. Tādu sensoro īpasību kā ārējais izskats, smarža, konsistence un garša izmaiņas augstspiedienā apstrādātās pākšaugu pastētēs tika vērtētas līdz 62. dienai. Augstspiedienā apstrādātu melnacoto pupiņu pastētes visu uzglabāšanas laiku saglabā ļoti labu kvalitāti (KS = 4.99–4.79), turklāt iepakojuma materiālam un brušeta garšvielai bija nenozīmīga ietekme uz melnacoto pupiņu pastēšu kvalitāti. Savukārt pelēko zirņu pastēte (MS) vērtējama ar labu kvalitāti no 57. uzglabāšanas dienas (QN < 4.67); pelēko zirņu pastēte ar brušetu (MS_B) PA/PE iepakojumā saglabā labu kvalitāti (QN < 4.68), bet PET/ALU/PA/PP iepakojumā – ļoti labu kvalitāti (QN > 4.71). Pākšaugu un garšvielu smaržas un garšas izmaiņas augstspiedienā apstrādātās pākšaugu pastētēs netika novērotas. Pelēko zirņu pastētēm konstatēti izteikti cietāki, grūti sakošļājami apvalciņu gabaliņi, salīdzinot ar melnacoto pupiņu pastētēm. Augstspiedienā apstrādātās pelēko zirņu pastētes eksperti raksturoja ar izteiktu zirņu smaržu un patīkamu garšu, bet pelēko zirņu pastētem ar brušetu (MS_B) PA/PE iepakojumā pēc 57. dienas tika novērota nedaudz rūgta un skābena garša. Pamatojoties uz ekspertu sensoro vērtējumu, *sous vide* apstrāde spēja nodrošināt pākšaugu pastēšu kvalitāti 2 mēnešu uzglabāšanas laikā.

Līdzīgi rezultāti ir iegūti par augstspiedienā apstrādātu lazanju (Stratakos *et al.*, 2015), tūlītējai lietošanai gatavu vītinātu šķiņķi 'Iacón' (Del Olmo *et al.*, 2014) un gatavām dārzeni maltītēm (Masegosa *et al.*, 2015), norādot, ka augstspiedienā apstrādātiem produktiem ir pieņemama sensorā kvalitāte uzglabāšanas laikā.

Fizikāli-ķīmiskā stabilitāte. Augstspiediena apstrādei (HP 700_10) un izvēlētajiem iepakojuma materiāliem nebija būtiskas ietekmes uz pākšaugu pastēšu fizikāli-ķīmiskajiem rādītājiem pēc apstrādes ($p > 0.1$). Būtiskas **pH** atšķirības starp pēfītājām augstspiedienā apstrādātām pākšaugu pastētēm dažādos iepakojuma materiālos 62 dienu uzglabāšanas laikā netika konstatētas ($p > 0.05$). Līdzīgi rezultāti par pH stabilitāti augstspiedienā apstrādātos produktos uzglabāšanas laikā tika ziņoti par gatavām dārzeni maltītēm (Masegosa *et al.*, 2015) un lazanju (Stratakos *et al.*, 2015). Turklāt Vercammen *et al.* (2011) norādīja, ka augstspiedienā apstrādātā gaļā pH vērtība bija nemainīga visu uzglabāšanas laiku, neskatoties uz pienskābes baktēriju un citu pārtikas bojāšanos izraisošu baktēriju attīstību. Būtiskas **ūdens aktivitātes** un **masas zudumu** atšķirības starp pēfītājām augstspiedienā apstrādātu pākšaugu pastēšu paraugiem PA/PE un PET/ALU/PA/PP iepakojumā 62 dienu uzglabāšanas laikā 5.0 ± 1.0 °C temperatūrā netika konstatētas ($p > 0.05$).

Augstspiedienā apstrādātu pākšaugu pastēšu hromatiskās **krāsas** parametru izmaiņas bija nenozīmīgas ($p > 0.1$), neatkarīgi no iepakojuma materiāla. Kopējā krāsas diferences diagramma (13.a att.) parādīja, ka ΔE^* vērtība augstspiedienā apstrādātiem paraugiem bija līdzīga PA/PE and PET/ALU/PA/PP iepakojumā ($p > 0.1$).

Augstspiediena apstrādei bija nenozīmīga ietekme uz pākšaugu pastēšu kopējo krāsas diferenci ($p = 0.836$). Oey *et al.* (2008) norāda, ka augstspiediena apstrādei ir ierobežota ietekme uz kovalentajām saitēm, tādēļ tiek saglabāta produktu krāsa (Patras *et al.*, 2009; Andrés *et al.*, 2016). Uzglabāšanas laikā ΔE^* vērtība augstspiedienā apstrādātiem paraugiem PA/PE iepakojumā palielinājās līdz 2.01 vienībām 62. dienā (13.b att.). Pākšaugu pastētēm PA/PE iepakojumā bija būtiski lielāka kopējā krāsas diferences vērtība, salīdzinot ar paraugiem PET/ALU/PA/PP iepakojumā ($p < 0.001$). $\Delta E^* 2.8$ vienību robežvērtība, kura ir ieteikta kā uztveramā (pamanāmā) krāsas atšķirība neapmācītiem vērtētājiem un patērētājiem (Fernández-Vázquez *et al.*, 2013), netika sasniegta pēc 62 dienu uzglabāšanas (13.b att.). Gaismas necaurīdīgais PET/ALU/PA/PP iepakojuma materiāls augstspiedienā apstrādātu pākšaugu pastēšu krāsu dienasgaismā saglabāja ievērojami labāk nekā PA/PE iepakojums.

Pākšaugu pastēšu **ķīmiskā sastāva** analīze parādīja, ka augstspiedienam nebija būtiska ietekme uz pēfīto pākšaugu pastēšu olbaltumvielu, tauku, pelnvielu, un šķiedrvielu saturu ($p > 0.1$) pēc apstrādes. Tāpat kopējo fenolu saturam un antiradikālai aktivitātei augstspiedienā apstrādātās pākšaugu pastētēs nebija būtisku atšķirību uzglabāšanas laikā.

Izvēlētais augstspiediena apstrādes režīms (HP 700_10) un iepakojuma materiāli neietekmēja fizikāli-ķīmiskos parametrus pēc apstrādes un 62 dienu

uzglabāšanas ($p > 0.1$), norādot, ka pēc papildus apstrādes un uzglabāšanas tiek nodrošināta nemainīga produkta produkta kvalitāte.

Sous vide un augstspiediena apstrādātu pākšaugu pastēšu kvalitātes salīdzinājums uzglabāšanas laikā

Abi apstrādes paņēmieni uzrādīja ievērojamu **mikroorganismu kopskaita** (MAFAM) samazinājumu (virs 1.5-log), salīdzinot ar neapstrādātiem pākšaugu pastēšu paraugiem, bez būtiskām atšķirībām starp pākšaugu pastētēm un paraugiem dažādos iepakojuma materiālos ($p < 0.05$) 0. dienā. Pēc 62 dienu uzglabāšanas gan *sous vide*, gan augstspiedienā apstrādātās pākšaugu pastētēs tika novērots MAFAM pieaugums, tomēr MAFAM skaits nepārsniedza pieļaujamo normu ($N_{\max} < 3.69 \log \text{KVV g}^{-1}$) nevienā apstrādātu pākšaugu pastēšu paraugā.

Mikroorganismu skaits, kas uzglabāšanas laikā nepārsniedz pieļaujamo normu, tomēr negarantē, ka produkts nesatur patogēnus. Tāpēc iespējamā **patogēnu klātbūtne** tika noteikta visos pākšaugu pastēšu paraugos, kas tika uzglabāti 5.0 ± 1.0 °C temperatūrā (6. tabula). *E. coli* un *C. perfringens* klātbūtne netika konstatēta pākšaugu pastētēs pirms apstrādes un pēc *sous vide* un augstspiediena apstrādes, ar tai sekojošu 62 dienu uzglabāšanu abos iepakojuma materiālos. *B. cereus* piesārņojuma līmenis pākšaugu pastētēs pēc pastēšu pagatavošanas bija zem $2.41 \times 10^2 \text{KVV g}^{-1}$, bet pēc 62 dienu uzglabāšanas *B. cereus* daudzums bija $< 10^2 \text{KVV g}^{-1}$. Izvēlētie termiskās un spiediena apstrādes paņēmieni pozitīvi ietekmēja *B. cereus* samazinājumu visos paraugos. Starp pākšaugu pastētēm dažādos iepakojuma materiālos bija nenozīmīgas atšķirības ($p < 0.05$). Literatūras dati norāda, ka tikai *B. cereus* līmenis starp 10^5 un 10^8 šūnu/sporu veido toksīnus, kas izraisa vemšanu vai caureju (Ceuppens *et al.*, 2015) ar optimālo temperatūru 10–43 °C (caureju izraisošais toksīns) un 12–37 °C (vemšanu izraisošais toksīns) (Finlay *et al.* 2000, Banerjee, Sarkar, 2004). Uzglabāšanas laikā netika novērots *B. cereus* skaita pieaugums, tādēļ *B. cereus* nerada risku, ja temperatūra tiek pienācīgi nodrošināta visā pākšaugu pastēšu uzglabāšanas laikā.

Pākšaugu pastēšu **ekspertu sensorās vērtēšanas** rezultāti 62 dienu uzglabāšanas laikā liecina, ka melnacoto pupiņu un pelēko zirņu pastētēm augstspiediena apstrādes paņemiens nodrošināja labāku kvalitāti, salīdzinot ar *sous vide* apstrādi. **Patērētāju hedoniskais vērtējums** parādīja, ka melnacoto pupiņu pastēšu (CS) patikšanas pakāpe bija no ‘ne patīk, ne nepatīk’ līdz ‘mazliet patīk’ (3.8–4.0), melnacoto pupiņu pastēšu ar brušetu (CS_B) – ‘mazliet patīk’ līdz ‘ļoti patīk’ (4.4–4.5), un pastētēm no pelēkajiem zirņiem – no ‘mazliet patīk’ līdz ‘ļoti patīk’ (4.5–4.8). Hedoniskā vērtējuma rezultāti rāda, ka jauno produktu patikšanas pakāpi neietekmēja *sous vide* un augstspiediena apstrāde, salīdzinot ar svaigiem pastēšu paraugiem ($p > 0.1$). Lielākā daļa patērētāju apstiprināja (75% 2015. gadā, 78% 2016. gadā), ka vēlētos šos produktus iegādāties pārtikas veikalā. Patērētāju vairākums arī apstiprināja, ka vēlētos jaunos produktu lietot ikdienā. Produkta patikšanas pakāpe un sensorie parametri ir cieši saistīti ar

produktu pieprasījumu. Tādēļ patērētāju pētījumi ir īpaši svarīgi jaunu produktu izstrādes procesā (Singh-Ackbarali, Maharaj, 2013).

Sous vide un augstspiediena apstrādes, kā arī izvēlēto iepakojuma materiālu ietekme uz pētīto pākšaugu pastēšu **pH**, **ūdens aktivitāti** un **masas zudumiem** nebija būtiska ($p > 0.1$) pēc apstrādes un 62 dienu uzglabāšanas. Produkti ar augstu mitruma saturu (~70%), ūdens aktivitāti (> 0.96) un ap pH 5.5 ir ideāla vide mikroorganismu attīstībai (Stratakos *et al.*, 2015), tādēļ jānodrošina precīza temperatūra uzglabāšanas laikā, jo temperatūra virs 5 °C var izraisīt strauju produktu mikrobiālo bojāšanos (Baldwin, 2012).

Augstspiediena apstrāde pākšaugu pastēšu **krāsas** parametrus ietekmēja mazāk nekā *sous vide* apstrāde. Būtiskas atšķirības tika konstatētas ($p < 0.001$) starp apstrādes paņēmieniem un pastēšu paraugiem dažādos iepakojuma materiālos. Pēc *sous vide* apstrādes ΔE^* vērtība pastēšu paraugos bija ievērojami lielāka nekā augstspiedienā apstrādātos paraugos ($p < 0.001$). Uzglabāšanas laikā ΔE^* vērtība *sous vide* un augstspiedienā apstrādātos paraugos PA/PE iepakojumā palielinājās līdz attiecīgi 2.13 un 2.01 vienībām 62. dienā. Uzglabāšanas apstākļu ietekmē (dienas gaisma 400–1000 lx) ΔE^* vērtība bija līdzīga pākšaugu pastētēm caurspīdīgā iepakojuma maisīņos ($p > 0.1$) neatkarīgi no apstrādes paņēmiena, tomēr krāsas diferences robeža (ΔE^* 2.8) nevienā paraugā netika pārsniegta. Ņemot vērā, ka vienas porcijas iepakojuma produkti parasti netiek pārdoti primārajā iepakojumā, apgaismojums, kas tika nomērīts kartona kastes iekšpusē, deva 0 lx vērtību. Tāpēc, ja produkti tiek pārdoti sekundārajā iepakojumā ar gaismu aizturošām īpašībām (piemēram, kartons), iespējams izmantot jebkuru no pētītajiem iepakojuma materiāliem, neietekmējot produktu kvalitāti.

Pētīto apstrādes paņēmieni un izvēlēto iepakojuma materiālu ietekme uz pētīto pākšaugu pastēšu **ķīmisko sastāvu** pēc apstrādes un 62 dienu uzglabāšanas bija nenozīmīga ($p > 0.1$).

Pākšaugu pastēšu derīguma termiņa noteikšana

Papildus mikrobiālai drošībai, nevēlamas sensorās un fizikāli-ķīmiskās izmaiņas uzglabāšanas laikā var novest pie neatbilstošas kvalitātes pārtikas produktiem. Tāpēc derīguma termiņa noteikšana balstās uz vairākiem faktoriem – mikrobioloģiskiem, sensoriem un fizikāli-ķīmiskiem rādītājiem (Dermesonluoglu *et al.*, 2016). Pākšaugu pastēšu ieteicamais derīguma termiņš ir dots 7. tabulā. Ņemot vērā, ka *sous vide* un augstspiediena apstrāde nodrošināja nemainīgu mikrobioloģisko un fizikāli-ķīmisko kvalitāti 62 dienu uzglabāšanas laikā, derīguma termiņa noteikšana balstījās uz sensorās vērtēšanas rezultātiem.

Pākšaugu pastētēm jāpiemēro ‘minimālais derīguma termiņš’ (Komisijas Regula (EK) Nr. 2073/2005) un iepakojumam jāietver ‘ieteicams līdz ...’ marķējums (Komisijas Regula (EK) Nr. 1169/2011), jo pieļaujama mikroorganismu daudzums netika pārsniegts 62. uzglabāšanas dienā.

Pamatojoties uz *sous vide* un augstspiedienā apstrādātu pākšaugu pastēšu kvalitātes izmaiņām uzglabāšanas laikā, abi apstrādes paņēmieni ir piemēroti, lai

nodrošinātu augstas kvalitātes pākšaugu pastēšu ražošanu ar ievērojami garāku derīguma termiņu.

5. Pākšaugu pastēšu uzturvērtības novērtējums

Produktu uzturvērtība ir tieši saistīta ar cilvēku veselību (Ajibola *et al.*, 2012; Dangour *et al.*, 2010). Pākšaugu pastēšu uzturvērtība (8. tabula) tika aprēķināta pamatojoties uz neapstrādāto paraugu uzturvērtību, jo būtiska apstrādes paņēmieni un uzglabāšanas laika ietekme netika konstatēta ($p > 0.1$). Olbaltumvielu un tauku saturs visas pastētēs bija līdzīgs ($p > 0.05$). Kopējo šķiedrvielu saturs bija augstāks abās pelēko zirņu pastētēs, salīdzinot ar melnacoto pupiņu pastētēm ($p = 0.013$). Melnacoto pupiņu pastētēm bija augstāks pieejamo oghidrātu saturs nekā pelēkajiem zirņiem ($p = 0.016$). Pākšaugu pastēšu enerģētiskā vērtība bija robežās no 537.51 līdz 550.56 kJ 100 g⁻¹ bez būtiskām atšķirībām starp pastēšu paraugiem ($p > 0.05$).

Pākšaugu pastēšu uzturvērtību sastāvs ļauj piemērot Regulā (EK) Nr. 1924/2006 definētās uzturvērtības un veselīguma norādes. Visu četru pākšaugu pastēšu olbaltumvielu saturs ļauj piemērot norādi 'daudz olbaltumvielu', jo 21.7–22.9% no pastēšu enerģētiskās vērtības nodrošina olbaltumvielas. Šī regula norāda, ka visām izstrādātajām pākšaugu pastētēm piemērojama norāde 'daudz šķiedrvielu', jo pastētes satur ≥ 6.0 g šķiedrvielu 100 g pastēšu. Salīdzinot pākšaugu pastētes ar analogiem produktiem veikalos, jaunās pastētes ir ar 'samazinātu kaloriju daudzumu' par 45–60%. Attiecībā uz sāls saturu pākšaugu pastētēs, jaunajiem produktiem nedrīkst piemērot norādi 'maz nātrija/sāls', jo pievienotā sāls daudzums produktos ir 0.38 g 100 g⁻¹; pieļaujamais sāls daudzums šai norādei ir ≤ 0.30 g 100 g⁻¹. Tomēr produkti ir piemēroti pirmsskolas vecuma bērnu uzturā, pamatojoties uz MK noteikumiem Nr. 172/2012, kas nosaka maksimālo pievienotā sāls daudzumu (0.4 g 100 g⁻¹) produktiem, kuri tiek piedāvāti pirmsskolas izglītības iestādēs.

Jauno pākšaugu produktu uzturvērtību segums (%) ar vienu pastēšu porciju (50 g) ir 3.9–4.9% olbaltumvielu pusaudžiem un 4.7–5.6% pieaugušajiem, 2.8–3.4% tauku pusaudžiem un 4.1–4.9% pieaugušajiem, un 2.2–3.3% enerģijas pusaudžiem un pieaugušajiem. Šķiedrvielu segums ar melnacoto pupiņu pastētēm ir 13.7–16.9% pusaudžiem un 16.9–20.5% pieaugušajiem, savukārt ar pelēko zirņu pastētēm – 16.9–20.8% pusaudžiem un 20.8–25.4% pieaugušajiem. Pākšaugu pastētes ir labs šķiedrvielu avots visām pētītajām vecuma un dzimuma grupām, īpaši sievietēm, jo viena pelēko zirņu pastētes porcija sedz ¼ dienā nepieciešamo šķiedrvielu daudzumu.

SECINĀJUMI

1. Pētījumā iegūtie rezultāti apstiprina izvirzīto hipotēzi: pākšaugu pastēšu derīguma termiņu var būtiski pagarināt izmantojot augstspiediena un *sous vide* apstrādes paņēmieni.
2. Izstrādātā tehnoloģija un izvēlētās izejvielas nodrošina pākšaugu pastēšu iegūvi ar augstu olbaltumvielu un šķiedrvielu saturu, kas ir drošas patēriņam. Pievienotās garšvielas būtiski ietekmē pastēšu patikšanas pakāpi, šķiedrvielu un kopējo fenola saturu, krāsu un pākšaugu pastēšu konsistenci ($p < 0.05$). Mikroorganismu kopskaits tikko pagatavotās pākšaugu pastētes bija $3.3 \pm 0.1 \log \text{KVV g}^{-1}$, un pēc 3 dienu uzglabāšanas tas pārsniedza pieļaujamo normu $3.69 \log \text{KVV g}^{-1}$.
3. Balstoties uz integrēto novērtējumu, par piemērotākajiem turpmākiem pētījumiem izvēlēti šādi pastēšu paraugi: melnacoto pupiņu pastēte (CS), melnacoto pupiņu pastēte ar brušetu (CS_B), pelēko zirņu pastēte (MS) un pelēko zirņu pastēte ar brušetu (MS_B).
4. Izvēlētie *sous vide* un augstspiediena apstrādes paņēmieni režīmi ir piemēroti pākšaugu pastēšu kvalitātes un drošības nodrošināšanai. Optimālie pākšaugu pastēšu apstrādes režīmi ir *sous vide* apstrāde $80.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 15 minūtes un augstspiediena apstrāde 700 MPa 10 minūtes. Mikroorganismu kopskaita samazinājums pēc apstrādes bija 1.5 līdz 1.7 log vienības.
5. Mikroorganismu inaktivācijas kinētikas modelēšana *sous vide* apstrādātā pelēko zirņu pastētē parādīja, ka inaktivācijas līknes ir nelineāras, jo pastētēs novērota dažādu mikroorganismu populāciju klātbūtne. Inaktivācijas līknes lineārās daļas D vērtības bija ievērojami zemākas ($p = 0.001$) nekā līknes astes daļas D vērtības visās pētītajās temperatūrās, jo sākotnējā mikroorganismu skaita proporcija (*Bacillus* spp. veģetatīvās šūnas) ir mazāk izturīga pret termisko apstrādi nekā mikroorganismu skaita astes proporcija (*Bacillus* spp. sporas).
6. *Sous vide* un augstspiediena apstrādes paņemiens nodrošināja pākšaugu pastēšu mikrobioloģisko kvalitāti 62 dienu uzglabāšanas laikā bez būtiskas atšķirības starp pastētēm dažādos iepakojuma materiālos ($p < 0.05$). *Sous vide* apstrādātu pastēšu sensorā kvalitāte uzglabāšanas beigās bija laba (57 dienas pastētēm ar garšvielu, 62 dienas pastētēm bez garšvielām), bet augstspiedienā apstrādātās pastētes saglabāja ļoti labu kvalitāti (62 dienas). Pākšaugu pastēšu pH un ūdens aktivitātes vērtības, masas zudumu, kopējo fenolu satura, antiradikālās aktivitātes un ķīmiskā sastāva izmaiņas uzglabāšanas laikā nebija būtiskas ($p > 0.05$), neatkarīgi no izvēlētā apstrādes paņēmienu un iepakojuma materiāliem.
7. Kopējā krāsas komponentu diference pastētēm pēc *sous vide* apstrādes bija ievērojami augstāka nekā pēc augstspiediena apstrādes ($p < 0.05$). Kopējā

krāsas komponentu diference visiem *sous vide* un augstspiedienā apstrādātiem pākšaugu pastēšu paraugiem caurspīdīgajā PA/PE iepakojumā 62. uzglabāšanas dienā sasniedza $\Delta E^* \leq 2.13$, salīdzinot ar neapstrādātiem paraugiem. Diference pastētēm PET/ALU/PA/PP iepakojumā ($\Delta E^* \leq 0.52$) bija būtiski mazāka ($p < 0.05$).

8. Uzturvērtības analīze rāda, ka pākšaugu pastētēm ir piemērojamas šādas uzturvērtības un veselīguma norādes – ‘satur daudz olbaltumvielu’ un ‘satur daudz šķiedrvielu’. Pākšaugu pastēšu enerģētiskā vērtība ir robežās no 537.51 līdz 550.56 kJ 100 g⁻¹. Olbaltumvielu un šķiedrvielu segums (%) no vienas pastēšu porcijas (50 g) ir atkarīgs no patērētāju vecuma un dzimuma.