Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte
Latvia University of Life Sciences and Technologies
Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģijas fakultāte
Faculty of Agriculture and Food Science

Mg. sc. ing. **Santa Pūķe**

KŪPINĀTU BRĒTLIŅU KVALITĀTI NOTEICOŠIE FAKTORI
FACTORS INFLUENCING SMOKED SPRAT QUALITY

Promocijas darba kopsavilkums
Zinātnes doktora (Ph.D.) grāda iegūšanai

SUMMARY
of the Doctoral thesis for the Doctoral degree of Science (Ph.D.)

JELGAVA
2025

Promocijas darba zinātniskā vadītāja / *Scientific supervisor*

Dr. sc. ing. **Ruta Galoburda** – Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes profesore (Emeritus) */ professor Emeritus at Latvia University of Life Sciences and Technologies*

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes (LBTU) Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģijas fakultātes Pārtikas institūtā laika posmā no 2019. gada septembra līdz 2025. jūnijam. Promocijas darba izstrādei saņemts LBTU programmas "Zinātniskās kapacitātes stiprināšana LLU" projekta Z43 atbalsts.

The research was conducted from September 2019 to June 2025 at the Faculty of Agriculture and Food Technology of Latvia University of Life Sciences and Technologies (LBTU). The research work received support from the LBTU internal program "Strengthening research capacity in the Latvia University of Life Sciences and Technologies" project Z43.

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers*

Dr. sc. ing. **Vita Šterna** – Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes APP Agroresursu un ekonomikas institūta vadošā pētniece / *leading researcher at the Institute of Agricultural Resources and Economics, Latvia University of Life Sciences and Technologies*

Dr. sc. ing. **Mārtiņš Šabovics** – Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes asociētais profesors, Starptautiskās sadarbības centra vadītājs / *associated professor, head of the International Cooperation Centre at Latvia University of Life Sciences and Technologies*

Dr. sc. ing. **Vitālijs Radenkovs** – Dārzkopības institūta vadošais pētnieks / *leading researcher at the Institute of Horticulture*

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LBTU Pārtikas un dzērienu tehnoloģijas nozares promocijas padomes atklātajā sēdē 2025. gada 29. decembrī plkst. 11^{00} Pārtikas institūta 216. auditorijā, Rīgas ielā 22a, Jelgavā. / *The defence of the doctoral thesis in an open session of the Promotion Board of the Food and Beverage Technology of Latvia University of Life Sciences and Technologies will be held on December 29th, 2025, at 11^{00} o'clock a.m. in Food Institute auditorium 216, Rigas Street 22a, Jelgava.*

SATURS

CONTENT

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Latvijā viens no tradicionāliem un populāriem zivju produktu veidiem ir kūpinātas zivis. Kūpināšanai izmanto dažādu sugu zivis, tostarp brētliņas. Baltijas brētliņas (*Sprattus sprattus balticus*) ir sezonālas zivis, kuras zvejo no septembra beigām vai oktobra sākuma līdz aprīļa beigām vai maija sākumam, ievērtējot tādus ārējos vides faktorus, kā ūdens temperatūra un zivju nārsta laiks. Tās ir svarīgs olbaltumvielu un tauku avots (Babikova et al., 2020) un spēj nodrošināt vismaz 20% no olbaltumvielām, kas nepieciešamas cilvēku uzturā (Mohanty et al., 2019). Ir zināms, ka zivju kvalitāte nozvejas sezonā ir mainīga un tā ir atkarīga ne tikai no izejvielas kvalitātes, bet arī no nozvejas metodes un uzglabāšanas apstākļiem (Usydus et al., 2012; Sabu and Sasidharan, 2020). Zivju mainīgie kvalitātes rādītāji ietekmē to izmantošanas iespējas ražošanā, ņemot vērā ne tikai sezonalitāti, bet arī to apstrādes veidu (atvēsināta vai saldēta izejviela).

Literatūrā ir pieejami pētījumi par Atlantijas zivīm (Pop and Frunză, 2015; Dawson et al., 2018), to kūpināšanu (Costa, 2016; Sutikno et al., 2019), apstrādi kvalitātes uzlabošanai (Huong, 2014; Ruiz-Alonso et al., 2021), ir pētījumi par dažādiem sardīņu apstrādes veidiem un to praktisko pielietojumu (Kilinc and Cakli, 2004; Saldanha et al., 2008), taču ir maz informācijas par Baltijas brētliņām, kas ir pieejamas plašai Eiropas daļai, un par brētliņu kvalitātes mainību sezonas laikā. Literatūrā ir aprakstītas brētliņu un Atlantijas zivju (piemēram makreles, lašu) tauku un taukskābju sastāva izmaiņas sezonas ietvaros, taču nav detalizēti analizētas ķīmiskā sastāva (tauku, olbaltumvielu, aminoskābju, mitruma) izmaiņas sezonalitātē un to savstarpējā korelācija ar kūpināto brētliņu kvalitāti, piemēram, struktūru, krāsu, mikrobioloģiskiem rādītājiem.

Tā kā sezonas laikā brētliņu kvalitāte mainās (Timberg et al., 2011; Usydus et al., 2012; Merdzhanova et al., 2018), ir nepieciešams rast to apstrādes iespējas ar pirmapstrādes līdzekļiem, kas spētu panākt nemainīgu kvalitāti gan atvēsinātām, gan saldētām brētliņām. Pieejama plaša informācija par sāls un skābju ietekmi uz zivju muskuļaudiem (Zheng et al., 2019; Babikova et al., 2020; Ruiz-Alonso et al., 2021; Astruc et al., 2022), tomēr nav informācijas, kā šo līdzekļu izmantošana apstrādē pirms kūpināšanas ietekmē gatavā produkta kvalitāti (sensorās īpašības, mikrobioloģiskos rādītājus, pH, krāsu un struktūru), jo īpaši saistībā ar dažādiem nozvejas periodiem.

Promocijas darba **hipotēze.**

Sezonāli mainīgo kūpināto brētliņu kvalitāti iespējams stabilizēt, izmantojot atbilstošus pirmapstrādes līdzekļus (etiķskābi, nātrija hlorīdu un kalcija hlorīdu).

Promocijas darba hipotēze tika pierādīta ar aizstāvamām **tēzēm.**

1. Brētliņu sezonāli mainīgais ķīmiskais sastāvs būtiski ietekmē kūpināto brētliņu kvalitātes rādītājus.

2. Izmantojot pirmapstrādes līdzekļus, kūpinātu brētliņu kvalitātes rādītāji mainās atšķirīgi, ja kā izejvielu izmanto atvēsinātas vai saldētas zivis.
3. Piemērotu pirmapstrādes līdzekļu izmantošana sezonas ietvaros ļauj stabilizēt kūpinātu brētliņu kvalitātes rādītājus, ja ražo kūpinātas brētliņas gan no atvēsinātām, gan no saldētām brētliņām.

Promocijas darba **pētījuma objekts** ir atvēsinātas un saldētas Baltijas brētliņas (*Sprattus sprattus balticus*), kūpinātas brētliņas.

Promocijas **darba mērķis** - izpētīt kūpinātu brētliņu kvalitāti ietekmējošos faktorus saistībā ar atvēsinātu un saldētu brētliņu sezonālajām kvalitātes izmaiņām un atlasīt atbilstošus pirmapstrādes līdzekļus nemainīgas kvalitātes nodrošināšanai.

Lai sasniegtu promocijas darba mērķi, izvirzīti šādi pētnieciskā **darba uzdevumi**:

1) izvērtēt brētliņu fizikālo īpašību un ķīmiskā sastāva izmaiņas sezonas ietvaros;
2) salīdzināt sezonāli mainīgo kūpināto brētliņu struktūras, krāsas un tehnoloģisko parametru (kūpināšanas zudumi, nožuvums) izmaiņas, ražošanai izmantojot atvēsinātas vai saldētas brētliņas;
3) izvērtēt pirmapstrādes līdzekļu ietekmi uz kūpinātu brētliņu kvalitātes rādītājiem;
4) novērtēt pirmapstrādes līdzekļu ietekmi uz kūpinātu brētliņu sensorajiem un mikrobioloģiskajiem rādītājiem, derīguma termiņu.

Promocijas **darba novitāte un zinātniskais nozīmīgums**. Pirmo reizi Latvijā veikts pētījums par kūpinātu brētliņu kvalitātes rādītāju nodrošināšanu sezonas ietvaros. Novērtētas Baltijas brētliņu (*Sprattus sprattus balticus*) fizikālo rādītāju (pH, ūdens aktivitāte, struktūra, krāsa) un ķīmiskā sastāva (mitruma, tauku, taukskābju, olbaltumvielu un aminoskābju saturs) atšķirības atvēsinātām un saldētām brētliņām nozvejas sezonas laikā. Izpētīta šo rādītāju ietekme uz kūpinātu brētliņu kvalitāti un pirmapstrādes līdzekļu saistība ar tiem.

Promocijas darba **tautsaimnieciskā nozīmība**. Izmantojot atšķirīgus pirmapstrādes līdzekļus sezonas laikā, ir iespējams uzlabot kūpināto brētliņu iznākumu (samazinot tehnoloģiskos zudumus) un panākt kvalitātes rādītāju saglabāšanu sezonas ietvaros.

Promocijas darba struktūra. Promocijas darbu veido piecas tematiski vienotas zinātniskas publikācijas, kuras publicētas recenzētos žurnālos, kas ir indeksēti Scopus vai Web of Science datubāzēs. Pirmajā (I) publikācijā veikta literatūras analīze, kurā apkopoti kūpinātu zivju kvalitāti ietekmējošie faktori,

raksturotas atvēsinātas un kūpinātas brētliņas, sniegts ieskats par zivju saldēšanu un atkausēšanu, raksturoti pirmapstrādes veidi (sālīšana, marinēšana) un to ietekme uz zivju ķīmisko sastāvu un īpašībām, dots ieskats kūpināšanā. Otrajā (II) publikācijā ir analizēts brētliņu ķīmiskais sastāvs nozvejas sezonā (rudenī, ziemā un pavasarī) un izvērtēta mainīgā ķīmiskā sastāva ietekme uz kūpināto brētliņu struktūru un krāsu. Pirmapstrādes līdzekļu ietekme uz kūpinātu brētliņu kvalitāti ir apkopota trešajā (III) publikācijā, respektīvi, veikts sensorais novērtējums un analizēti tehnoloģiskie zudumi, pielietojot pirmapstrādes līdzekļus, raksturoti kūpināto brētliņu fizikālie rādītāji. Ceturtajā (IV) publikācijā analizēta pirmapstrādes līdzekļu ietekme uz kūpināto brētliņu fizikālajiem un mikrobioloģiskajiem rādītājiem. Noteiktas mikrobioloģisko rādītāju izraisītās izmaiņas zivīs, ja izmanto pirmapstrādes līdzekļus. Izmantoto pirmapstrādes līdzekļu ietekme (sālīšana, marinēšana) uz kūpinātu brētliņu kvalitāti atkarībā no nozvejas perioda raksturota piektajā (V) publikācijā, kurā ir analizēti tādi rādītāji kā struktūra un krāsa.

Promocijas darbs veidots kā vienota publikāciju kopa, kas apvieno pētījuma materiālus atspoguļotus piecās zinātniskajās publikācijās. Promocijas darbā iegūtie pētījumu rezultāti norāda, ka pirmapstrādes līdzekļu izmantošana ir piemērota kūpinātu brētliņu kvalitātes uzlabošanai, izmantojot ražošanā gan atvēsinātas, gan saldētas brētliņas.

Promocijas darba izstrāde tika atbalstīta ar LBTU programmas "Zinātniskās kapacitātes stiprināšana LLU" projekta Z43 finansējumu.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījuma rezultāti apkopoti piecās publikācijās, kas ir indeksētas Scopus vai Web of Science datubāzēs.

I. **Puke S.,** Galoburda R. (2020) Factors affecting smoked fish quality: A review. Proceedings of the International Scientific Conference "*Research for Rural Development 2020*". Jelgava– Vol. 35, p. 132–139. DOI: 10.22616/rrd.26.2020.020.

II. **Puke S**., Galoburda R. (2024) Seasonal variations in Baltic sprat (*Sprattus sprattus balticus*) chemical composition and their impact on smoked sprat quality. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, Vol. 74(4), p. 399–407. DOI: 10.31883/pjfns/195389

III. **Puke S.,** Galoburda R., Straumite E. (2022) Effect of pre-treatment on the quality of smoked Baltic sprats. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*. *Section* B. – Vol. 76, No. 1(736) p. 69–75. DOI: 10.2478/prolas-2022-0011.

IV. **Puke S**., Galoburda R. (2021) Pre-treatment effect on physical and microbial parameters of smoked Baltic sprats. *Rural Sustainability Research,* Vol.46 (341), p. 22–30. DOI: 10.2478/plua-2021-0014.

V. **Puke S.,** Galoburda R., Dmitrijeva O. (2024) Influence of pre-treatment on the seasonal variation of smoked Baltic sprat texture and color. *Applied Sciences,* Vol. 14(2), art. 504. DOI: https://doi.org/10.3390/app14020504

Par pētījuma rezultātiem ziņots sešās starptautiskās konferencēs Latvijā, Lietuvā, Šveicē un Ziemeļmaķedonijā.

1. **Puke S**., Galoburda R. (2022) Smoked sprat quality: Effect of season and freezing. 15th Baltic Conference on Food Science and Technology "Food R&D in the Baltics and Beyond" FOODBALT-2022, 26.09.–27.09.2022. Kauņa, Lietuva. (Mutiskais ziņojums / *Oral presentation*).
2. Galoburda R., **Puke S.,** Dmitrijeva O. (2022) Effect of seasonal variation on colour and texture of smoked Baltic sprats produced from fish after frozen storage. Nutricon 2022: Food quality and safety, health and nutrition, 08.06.–10.06.2022. Ohrida, Maķedonija. (Stenda ziņojums / *Poster presentation*).
3. **Puke S**., Galoburda R. (2021) Seasonal variation of the smoked Baltic sprat's quality parameters, EFFoST 2021 International Conference "Healthy Individuals, Resilient Communities, and Global Food Security", 01.11.–04.11.2021. Lozanna, Šveice. (Stenda ziņojums / *Poster presentation*).
4. **Puke S**., Galoburda R. (2021) Pre-treatment effect on physical and microbial parameters of smoked Baltic sprats "Research for Rural Development", 12.–14.05.2021. Jelgava, Latvija. (Mutiskais ziņojums / *Oral presentation*).
5. **Puke S.,** Galoburda R., Straumīte E. (2020) Effect of pre-treatment on the quality of smoked Baltic sprats "Nutrition and Health 2020", 09.11.–11.12.2020, Rīga, Latvija. (Mutiskais ziņojums / *Oral presentation*).
6. **Puke S.,** Galoburda R. (2020) Factors affecting smoked fish quality: A review "Research for Rural Development", 13.05.–15.05.2020, Jelgava, Latvija. (Mutiskais ziņojums / *Oral presentation*).

Darbā lietoto terminu skaidrojums

Eksperimentālo paraugu pzīmējumi promocijas darba vajadzībām veidoti tā, lai varētu viegli atpazīt paraugus, un tie nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem.

Pirmapstrāde šī promocijas darba ietvaros pirmapstrāde ir darbību kopums, kas vērsts uz galaprodukta kvalitātes uzlabošanu, nodrošinot stabilitāti un ražošanas efektivitāti. Tas ietver atvēsinātu vai saldētu un pēc tam atkausētu Baltijas brētliņu apstrādi pirms kūpināšanas, ar pirmapstrādes līdzekļu šķīdumiem (marinēšana, sālīšana).

Pirmapstrādes līdzekļi šī promocijas darba ietvaros pirmapstrādes līdzekļi apzīmē nātrija hlorīdu (*NaCl*), kalcija hlorīdu ($CaCl_2$) un etiķskābi (CH_3COOH)

dažādās proporcijās, kas izšķīdināti dzeramajā ūdenī, iegūstot noteiktas koncentrācijas šķīdumu.

MATERIĀLI UN METODES

Promocijas darbā veiktais pētījums īstenots laika posmā no 2019. gada septembra līdz 2025. gada jūnijam Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātē, kā arī zivju pārstrādes uzņēmumā NS Estate. Uzņēmumā no atvēsinātām un saldētām brētliņām, tās apstrādājot ar pirmapstrādes līdzekli, tika iegūtas kūpinātas brētliņas, kas turpmākajos pētījumos analizētas gan LBTU, gan JH Hamilton Baltic laboratorijās. Pētījumu shēma apkopota 1. tabulā.

Pētījumā izmantotie materiāli un paraugu sagatavošana.

Pētījumā izmantotas Baltijas brētliņas (*Sprattus sprattus balticus*). To nozvejas rajons ir Baltijas jūra FAO27. III. D. 28.2, kas atbilst centrālajai Baltijas jūras Rīgas jūras līča dienvidu daļai, to nozvejas metode – pelaģiskais tralis (OTM).

Atvēsinātās brētliņas ražošanas uzņēmumā zvejas sezonas ietvaros nogādātas 48 stundu laikā pēc to nozvejas, nodrošinot, ka temperatūra zivīs ir 2 ± 2 °C. Zivju svaigums atbilst A kategorijai, izmēra kategorija ir 1, un līdz apstrādei tās uzglabātas līdz 12 stundām, konteineros ar ledu, attiecībā 1:3. Temperatūra uzglabāšanas kamerā 2 ± 2 °C.

Saldētās brētliņas uzglabā –18 ± 1 °C temperatūrā, 75 ± 5% gaisa relatīvā mitrumā, 12 mēnešus no zivju nozvejas brīža, kad tās nekavējoties sasaldētas (III publikācija). Brētliņas sasaldē pa 10 kg, izmantojot šoka saldēšanu, līdz saldētā zivju bloka centrā tiek sasniegta vismaz –18 °C temperatūra. Brētliņas defrostē, izmantojot ūdens tvaika (100 °C) izsmidzināšanas mehānismu, līdz bloka vidū temperatūra sasniedz 0 °C.

Kā zivju **pirmapstrādes līdzekļi** pētījumā izmantoti:

- etiķskābe – pārtikas piedeva (CH_3COOH), E260, šķīdums, satur 80% etiķskābes, tas iegādātas no piegādātāja kompānijas Safrāns, Rīga, Latvija;
- $CaCl_2$ – granulēts $CaCl_2$ satur 97% vielas, E509, no ražotāja Lachner, Čehija;
- NaCl – vārāmais Ekstra sāls, no ražotāja Mozyrsalt, Baltkrievija.

Apstrādes šķīduma pagatavošanai izmanto dažādus iepriekš minētos pirmapstrādes līdzekļus, sajaucot tos ar aukstu ūdeni bez ledus noteiktā proporcijā (2. tabula) un maisot, līdz visas vielas ir homogēni sajaukušās ar ūdeni un izšķīdušas, ja izmanto NaCl un $CaCl_2$.

1. tabula / *Table 1*

Brētliņu pētījumu shēma / *Scheme of sprat research*

Posma numurs / *Stage number*	**Posma raksturojums / *Description of the stage***	**Publikācijas numurs / *Publication number***	**Brētliņu nozvejas sezona / *Sprat harvest season***	**Izejvielu apraksts/ *Description of raw material***
1. posms / *Stage 1*	Literatūras analīze / *Literature analysis*	I	–	–
2. posms / *Stage 2*	Brētliņu ķīmiskā sastāva korelācijas ar kūpināto brētliņu kvalitāti novērtējums dažādos nozvejas periodos (rudens, ziema, pavasaris) / *Evaluation of the correlation between the chemical composition of sprats and quality of smoked sprats in different fishing periods (autumn, winter, spring)*	II	2021./2022.	Atvēsinātas un saldētas pēc viena gada uzglabāšanas / *Chilled and frozen after one year storage*
3. posms / *Stage 3*	Pirmapstrādes līdzekļu atlase, balstoties uz sensoro vērtējumu un šo līdzekļu ietekmes novērtēšana uz kūpinātu brētliņu sensorajām īpašībām / *Selection of pre-treatment agents based on sensory evaluation, and assessment of their impact on the sensory properties of smoked sprats*	III	2019./2020. 2020./2021.	Saldētas / *Frozen* Atvēsinātas / *Chilled*
4. posms / *Stage 4*	Pirmapstrādes līdzekļu ietekmes uz mikrobioloģisko kvalitāti un uzglabāšanas laiku izvērtēšana / *Evaluation of the impact of pre-treatment agents on microbiological quality and storage time*	IV	2020./2021.	Atvēsinātas / *Chilled*
5. posms / *Stage 5*	Pirmapstrādes līdzekļu ietekmes izvērtējums uz kūpināto brētliņu fizikālajiem kvalitātes rādītājiem atkarībā no nozvejas perioda / *Evaluation of the impact of pre-treatment agents on the physical quality indicators of smoked sprats depending on the fishing period*	V	2021./2022.	Saldētas / *Frozen*

Brētliņas (ne mazāk kā 1000 g) iemērc šķīdumā proporcijā 1 : 2 (zivis : šķīdums) uz 30 minūtēm un periodiski manuāli apmaisa, bet ne retāk kā ik pēc 5 minūtēm, maisījuma temperatūra nedrīkst pārsniegt 4 °C. Kontroles paraugam (*Control*) netiek pielietoti pirmapstrādes līdzekļi un brētliņas uzreiz pēc defrostācijas ver uz irbjiem un pārvieto uz termisko apstrādi. Pēc izturēšanas sagatavotajā pirmapstrādes līdzekļu šķīdumā zivis uzver uz irbjiem (10 zivis uz viena irbja) un veic karsto kūpināšanu periodiskas darbības kūpināšanas krāsnī (*Reich Foodsystems*, Vācija) (II publikācija).

2. tabula / *Table 2*

Brētliņu pirmapstrādes šķīdumu receptūras/
Composition of the pre-treatment solution ingredients for sprat pre-treatment

Paraugi / *Sample*	**Šķīduma pagatavošanas receptūras, % / *The amounts used for preparation of the solutions, %***		
	granulēts NaCl / *granulated NaCl*	**granulēts $CaCl_2$ / *granulated $CaCl_2$***	**etiķskābe CH_3COOH / *acetic acid***
*Control**	–	–	–
*Na**	2.91	–	–
*3Na2Ca**	2.86	1.67	–
*2Na3Ca**	1.67	2.86	–
*Ace**	–	–	0.99
*NaAce**	2.88	–	0.71
*CaAce**	–	2.88	0.71
NaCa	2.83	2.83	–
Ca	–	2.91	–
3Na3CaAce	2.80	2.80	0.94
3Na2CaAce	2.84	1.65	0.95

Produkti, kas atzīmēti ar *, izvēlēti tālākai apstrādei, produkti bez * netiek analizēti pētījuma turpinājumā. / * *Products used for further analyses, products without * were not further analysed.*

Pirmapstrādes līdzekļu atlase, balstoties uz sensoro vērtēšanu.

Pētījuma pirmajā daļā, lai atlasītu pirmapstrādes līdzekļu kombinācijas, veikta sensorā vērtēšana, izmantojot tieši laikā (*Just About Right* – JAR) metodi kūpinātajām brētliņām. Šai metodei ir pieejami starptautiski atzīti gan ISO (ISO 13299:2016; ISO 11136:2014), gan ASTM (ASTM E1490-12(2017); ASTM E253-12(2008)) standarti, kuros rekomendētais ekspertu skaits ir no 8 līdz 12 ekspertiem. Sensoro vērtēšanu veica 22 dažādi apstrādātiem kūpināto brētliņu paraugiem, lai atlasītu piemērotākos paraugus tālāko pētījumu veikšanai. Ir veikta atlase 11 kūpinātu brētliņu veidiem, kas pagatavoti no atvēsinātām brētliņām, un 11 kūpināto brētliņu paraugiem, kas pagatavoti no saldētām zivīm.

Pētījuma otrajā daļā turpināta sensorā vērtēšana sešiem pirmapstrādes variantiem, kas pirmajā posmā bija saņēmuši visatbilstošāko novērtējumu, un

vienam kontroles paraugam (*Control*), kuram pirms kūpināšanas netika veikta pirmapstrāde (III publikācija). Kūpināto zivju paraugus analizē, izmantojot "tieši laikā" metodi JAR, novērtējot tādus sensoros rādītājus kā aromāts, krāsa, struktūra, garša, nosakot šo īpašību intensitāti un atbilstības pakāpi. Katru paraugu raksturojošās sensorās īpašības novērtē 5 punktu skalā, kur ar 1 apzīmē "par maz", bet 5 apzīmē "par daudz," savukārt 3 apzīmē "tieši laikā".

Atvēsināto un saldēto brētliņu ķīmisko un fizikālo rādītāju noteikšanas metodes.

Atvēsinātām un saldētām brētliņām nozvejas sezonas laikā (sezonas sākumā, vidū un beigās) tika noteikts mitruma saturs, pH, olbaltumvielu saturs un aminoskābju sastāvs, tauku saturs un taukskābju sastāvs, savukārt kūpinātām brētliņām tika veikts sensorais novērtējums un tehnoloģisko zudumu mērījumi, pH, struktūras mērījumi, krāsas novērtēšana, analizēti mikrobioloģiskie rādītāji, mitruma saturs, sāls saturs, ūdens aktivitāte.

Zivju pH analizē, izmantojot pH-metru JENWAY 3520 (Jenway, EU). Katru paraugu analizē trīs reizes. Mitruma satura noteikšanai izmanto standarta metodi ISO 1442:1997. Ūdens aktivitātes noteikšanai izmantota PN-ISO 21807:2005 standarta metode.

Tauku saturs un olbaltumvielu saturs analizēts kā atvēsinātām, tā arī saldētām brētliņām, kur tauku saturs analizēts pēc ISO 1443: 1973, bet olbaltumvielu saturs analizēts balstoties uz Kjeldāla metodes principu, izmantojot slāpekļa konversijas koeficientu 6.25, pieņemot, ka vidējais slāpekļa saturs olbaltumvielās ir 16% (Hayes, 2020). Kopējais aminoskābju saturs noteikts saskaņā PB – 53/HPLC ed. II no 30.12.2008 metodi, kas paredz kopējo aminoskābju sastāva analīzi, izmantojot augstas efektivitātes šķidruma hromatogrāfiju (līdzīgs ISO 13903:2005, ISO20483:2013). Savukārt triptofāna noteikšanai tika izmantota PB – 53/HPLC ed. II no 30.12.2008 metode (ISO 17025), kas ietver sārmaino hidrolīzi un pēc tam neitralizāciju un filtrāciju. Analīzi veica ar augstas izšķirtspējas šķidruma hromatogrāfiju un UV detektoru.

Kopējais taukskābju saturs analizēts atvēsinātām brētliņām, izmantojot gāzu hromatogrāfiju pēc taukskābju transmetilēšanas sārmainos apstākļos saskaņā ar PN-EN ISO 12966-1:2015-01; PN-EN ISO 12966-2:2017-05; PN-EN ISO 12966-4:2015-07. Ņemot vērā lipīdu frakcijā esošo taukskābju proporciju, tās raksturotas, pielietojot aterogēno indeksu (IA), trombogēno indeksu (IT) un hipoholesterinēmisko indeksu (HH), kurus sākotnēji izveidoja Ulbricht and Southgate (1991) (II publikācija).

Kūpinātu brētliņu mikrobioloģisko rādītāju noteikšana.

Kūpināto brētliņu paraugu atlase veikta nejaušas izlases veidā no paraugu uzglabāšanas kastēm pēc vienas dienas, vienas nedēļas un divām nedēļām. Mikrobioloģisko rādītāju testēšana veikta pēc standartmetodēm, kas apkopotas

3. tabulā (IV publikācija). Testēšana veikta akreditētā laboratorijā J. S. Hamilton (Polija).

3. tabula / *Table 3*

Mikrobioloģiskās testēšanas metodes /
Microbiological testing methods

Parametrs / *Variable*	**Metode / *Standard***
Raugi / *Yeast*	LVS ISO 21527 −2: 2008
Pelējumi / *Mould*	LVS ISO 21527−2: 2008
Mezofīli aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu kopskaits (MAFAm) / *Total plate count (TPC)*	LVS EN ISO 4833−1: 2014
Bacillus cereus	LVS EN ISO 7932: 2005
Salmonella spp.	LVS EN ISO 6579−1: 2017
Listeria monocytogenes	LVS EN ISO 11290−2: 2017
Pseudomonas spp.	PN-EN ISO 13720: 2010
Clostridium perfringens	LVS EN ISO 7937: 2005
β-glikuronidāzes pozitīvie *Escherichia coli* / *β-glucuronidase positive Escherichia coli* /	LVS ISO 16649−2: 2007
Vibrio parahaemolyticus	PN-EN ISO 21872−1: 2017−10

Fizikālās metodes kūpināto brētliņu analīzēm.

Kūpināšanas zudumi (KZ) ir galvenais tehnoloģiskais parametrs, kas var raksturot ražotās produkcijas iznākumu. Kūpināšanas zudumus aprēķina, izmantojot masu pirms apstrādes un masu pēc apstrādes, izmantojot 1. formulu.

$$KZ, \% = \frac{(m_0)-(m_1)}{(m_0)} \times 100 \quad (1.)$$

kur:

KZ – kūpināšanas zudumi, %;
m_0 – masa pirms kūpināšanas, g;
m_1 – masa pēc kūpināšanas, g.

Pēc kūpināšanas, uzglabāšanas kamerā zivīm veidojas **nožuvums (NZ)** un vislielākais tas ir novērots tieši pirmās diennakts laikā, tāpēc ir svarīgi to minimizēt. NZ aprēķina pēc 2. formulas, kur m_0 ir masa pirms uzglabāšanas, un m_1 masa pēc uzglabāšanas.

$$NZ, \% = \frac{(m_0)-(m_1)}{(m_0)} \times 100 \quad (2.)$$

kur:

NZ – nožuvums, %;
m_0 – masa pirms uzglabāšanas, g;
m_1 – masa pēc uzglabāšanas, g.

Tehnoloģisko zudumu noteikšanai, katrai apstrādes metodei kūpināšanu veic vismaz trīs partijās, katru ne mazāk par 200 g.

Ūdens aktivitātes noteikšanai izmantota standartmetode ISO 18787:2017, **Mitruma satura** noteikšanai pielietota gravimetriskā metode. **Sāls satura** noteikšanai izmantots pārrēķina koeficients (Na × 2.5). Savukārt **pH** mērīšanai izmantots pH-metrs JENWAY 3520.

Kūpinātu brētliņu struktūras analīze. Struktūras noteikšanai izmanto struktūras analizatoru (1 mm biezuma plaknes nazis, kura izmērs ir 60 × 80 mm) TA.HD.Plus (Stable Microsystems, Lielbritānija) ar plaknes *Warner-Bratzler* nazi. Katru kūpināto brētliņu sadala, izņem asaku, iegūstot divus atdalītus filejas gabalus, platumā līdz 10 mm. Pirms novietošanas uz struktūras analizatora nomēra filejas platumu un parametru ievada programmā. Katram apstrādes veidam testēšanu atkārto vismaz septiņām filejām.

Kūpināto brētliņu krāsas analīze. Kūpināto brētliņu krāsas analīzei, kūpinātās brētliņas novieto uz koka dēlīša, kurš pārklāts ar polietilēna plēvi. Uz tās novieto zivis, pārklāj ar polietilēna plēvi un veic testēšanu. Krāsas mērīšanai izmanto ColorTec–PCM (Accuracy Microsensors Inc., ASV) ar programmatūru Color-Tec – Color Sowf QCW. Datus atspoguļo CIE (L*a*b*) sistēmā. Krāsas novērtēšanai papildus aprēķināts arī hroma indekss (C*), kas raksturo krāsas piesātinājumu un kura aprēķināšanai izmanto a* un b* vērtības,

Papildus aprēķināts arī nokrāsas leņķis H_0, kas raksturo relatīvo krāsu gammu, kuru izsaka grādos.

Datu statistiskā apstrāde.

Visi rezultāti atspoguļoti kā vidējās vērtības. Vidējās vērtības un standartnovirzes (SD) aprēķinātas izmantojot MS Office Excel 2016 datorprogrammu.

Sensorās vērtēšanas datu apstrāde veikta, izmantojot *Penalty* analīzi (*XLSTAT 2020*), kuras pamatā ir daudzkārtējās atbilstības analīze *Just-About-Right* (JAR), ar kuru novērtēta kūpināto brētliņu krāsa, garša, pēcgarša, aromāts un struktūra. Sensorā vērtējuma datu analīzei izmantota datora programma *XLSTAT 2020* (Addinsoft, ASV).

Sezonas un izmantotā pirmapstrādes līdzekļa ietekmes izvērtēšanai uz kūpināto brētliņu krāsu un struktūru veikta vienfaktora un daudzfaktoru dispersijas analīze (ANOVA). Pēc tam paraugi salīdzināti savā starpā, pielietojot t-testu vai *Post Hoc Tukey* testu, *Post Hoc LSD* (IBM SPSS Statistics, Version 28.0.1.1. (15)) (SPSS Inc., Čikāga, Il, ASV), pie būtiskuma $p \leq 0.05$; $p \leq 0.01$ un $p \leq 0.001$, kā norādīts tabulās un attēlos.

Vairāku faktoru ietekmes novērtēšanai uz kūpināto brētliņu kvalitātes rādītājiem, ja tās ražotas no atvēsinātām vai saldētām zivīm, kā arī sezonas ietekmes izvērtēšanai, izmantota multikritēriju lēmumu analīze. Galvenie

kvalitātes rādītāji ir noteikti, balstoties uz ieguldījuma procentuālo vērtību (4. tabula). Multikritēriju analīzes pirmajā posmā iegūto punktu skaita rezultātus sakārto pēc nozīmīguma. Jo mazāks iegūtais punktu skaits, jo produktam tiek panākta augstāka kvalitāte.

Atšķirību noteikšanai starp mainīgajiem kvalitātes rādītājiem tika izmantota arī korespondences analīze (CA), ietverot kategoriskos datus nevis skaitliskos mērījumus, lai analizētu saistības starp kategoriskajiem mainīgajiem. Atšķirības tika analizētas, izmantojot t-testu ($p \leq 0.05$).

4. tabula / *Table 4*

Kvalitāti ietekmējošo kritēriju nozīmīgums multikritēriju lēmumu analīzē /
Weight of respective quality criteria for multicriteria decision analysis

Parametrs / ***Parameter***	**Vērtība /** ***Value***	**Vēlamā vērtība /** ***Expected value***
Struktūra / *Texture*	25	< 0.99 N/mm; 2.16 N/mm*s
Mitruma saturs / *Moisture content*	20	> 61.5%
Kūpināšanas zudumi / *Smoking losses*	20	Min
Nožuvums / *Drying loss*	20	Min
Nokrāsas leņķis (H_0) / *Hue angle (h_0)*	5	Max
Krāsas piesātinājuma indekss (C*) / *Saturation index of chroma (C*)*	5	Max
pH	5	Vidēji / on average (6.73)
Kopā / *Total*	**100**	

Galveno komponentu (PCA) dziļāka datu analīze (skaitliskie mērījumi) veikta, izmantojot *Python Release 3.9.0* programmu, pielietojot *Scikit-learn* bibliotēkas funkcijas principu un *Matplotlib* datu vizualizācijai. Dati apstrādāti izmantojot Z-punktu normalizāciju, lai novērstu mainīgo mērogu ietekmi un nodrošinātu to salīdzināmību.

REZULTĀTI UN DISKUSIJA

1. Atvēsināto brētliņu ķīmiskā sastāva izmaiņas sezonas laikā

Pētījuma dati liecina, ka Baltijas brētliņās visaugstākais tauku saturs novērots nozvejas sezonas sākumā (rudenī) 19.2 g 100 g^{-1}, bet nozvejas sezonas beigās (pavasarī) tajās ir visaugstākais mitruma saturs – līdz 70 g 100 g^{-1} (5. tabula).

Pie zemākā 62.4 ± 1.2 g 100 g^{-1} mitruma satura ir visaugstākais tauku saturs 19.2 ± 1.3 g 100 g^{-1} un otrādi, kas sakrīt ar Timberg et al. (2011) pētījuma rezultātiem. Pētījuma dati atspoguļo diezgan stabilu olbaltumvielu saturu sezonas laikā (5. tabula) no 16.4 ± 1.3 g 100 g^{-1} nozvejas sezonas sākumā līdz

16.8 ± 1.3 g 100 g^{-1} beigās. Arī Usydus et al. (2012) pētījumā tas nedaudz mainījās – no 17.06 g 100 g^{-1} pavasarī līdz 16.61 g 100 g^{-1} rudenī.

5. tabula / *Table 5*

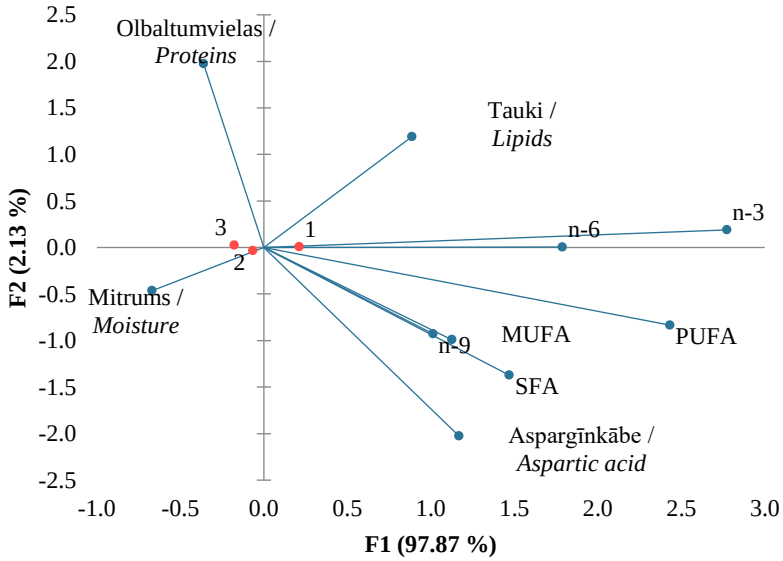
Atvēsinātu brētliņu (2020./2021. gada sezona) ķīmiskais sastāvs dažādos nozvejas periodos / *Chilled sprat (season 2020/2021) chemical composition across the fishing season*

Parametri / ***Parameters***	**Pētījumā iegūtie dati** / ***Research data***			**Literatūras dati** / ***Data in literature*** (Timberg et al., 2011; Usydus et al., 2012)	
	rudens / ***autumn***	**ziema** / ***winter***	**pavasaris** / ***spring***	**rudens** / ***autumn***	**pavasaris** / ***spring***
Mitruma saturs / *Moisture content*, g 100 g^{-1}	62.4 ± 1.2[b]	69.2 ± 1.2[a]	70.0 ± 1.2[a]	66.40	77.48
Olbaltumvielu saturs / *Protein content*, g 100 g^{-1}	16.4 ± 1.3[a]	14.9 ± 1.3[a]	16.8 ± 1.3[a]	16.61	17.06
Tauku saturs / *Lipid content*, g 100 g^{-1}	19.2 ± 1.3[a]	12.9 ± 1.3[b]	12.1 ± 1.3[b]	15.46	5.10

* Nozvejas sezona: novembris – marts. Vidējās vērtības (n = 3) ± standartnovirze (SD). Vienādi burti vienā rindā norāda, ka starp paraugiem nav būtiskas atšķirības p > 0.05 (t-tests). / **Fishing season November – March. Average value (n = 3) ± standard deviation (SD). The same letters in a row show no significant difference between samples p > 0.05 (t-test).*

Korespondences analīze (1. att.) parāda ķīmisko īpašību (tauku, taukskābju, olbaltumvielu un aminoskābju saturs) un mitruma satura saistību ar dažādiem nozvejas periodiem (pavasaris, ziema, rudens).

Mitruma un *n*-3 taukskābju saturs bija vissvarīgākie F1 faktori, katrs ar 0.252 ieguldījumu. Savukārt olbaltumvielu saturam bija visnozīmīgākais ieguldījums F2, attiecīgi 0.522. Atbilstības analīze norāda uz lineāru sakarību starp mitruma un tauku saturu, jo tie ir atspoguļoti pretējos kvadrantos. Ziemas un pavasara periodā nozvejoto zivju ķīmiskais sastāvs bija līdzīgs, abi nozvejas periodi korespondences analīzes grafikā atrodas pa kreisi. Savukārt rudenī nozvejotajām zivīm bija izteiktākas atšķirības no pārējiem analizētajiem paraugiem. Olbaltumvielas veido atsevišķu vektoru, kas virzīts pozitīvā F2 virzienā, kas atspoguļo neatkarīgu ieguldījumu, tāpat tas ir vairāk grupēts ar pavasara sezonu (3), kur olbaltumvielu saturs bija visaugstākais.



1. att. **Ķīmiskā sastāva un nozvejas perioda korespondences analīzes grafiks nozvejas sezonā: rudens (1), ziema (2), pavasaris (3), MUFA – mononepiesātinātās taukskābes; PUFA – polinepiesātinātās taukskābes; SFA – piesātinātās taukskābes /** *Fig. 1.* ***Correspondence Analysis (CA) plot for chemical composition and periods across the fishing season, including autumn (1), winter (2), and spring (3), where MUFA – monounsaturated fatty acids; PUFA – polyunsaturated fatty acids; SFA – saturated fatty acids***

Sezonas laikā *n*-3 taukskābju saturs brētliņās variēja atkarībā no nozvejas perioda (II publikācija), sezonas sākumā tas bija 6.3 ± 0.8 g 100 g^{-1}, savukārt beigās 1.9 ± 0.2 g 100 g^{-1} (skatīt 6. tabulu). Kopējais taukskābju saturs nozvejas sezonas laikā samazinājās. Taukskābju uzturvērtības izmaiņas atspoguļo ar trīs indeksiem – aterogēnais indekss (IA), trombogēnais indekss (IT) un hipoholesterinēmijas taukskābju proporcija (HH). IA indekss norāda proporciju starp piesātināto taukskābju summu un nepiesātināto taukskābju summu, kur brētliņām tā palielinājās no 0.43 ± 0.04 rudenī līdz 0.66 ± 0.04 pavasarī, tikmēr Chen & Liu (2020) pētījumos konstatēja, ka Atlantijas siļķēm *Clupea harengus* IA indekss bija augstāks 0.70. Augstākas IA indeksa vērtības norāda uz nelabvēlīgu ietekmi lipīdu cilvēka metabolismā. IT indekss ir proporcija starp piesātinātajām taukskābēm un MUFA, *n*-6 un *n*-3 taukskābju saturu. HH indekss ir rādītājs, kas raksturo taukskābju ietekmi uz holesterīna līmeni asinīs, proti, tas parāda, vai konkrētais tauku avots veicina holesterīna samazināšanos vai palielināšanos. Brētliņām, kā atspoguļo pētījuma dati, sezonas laikā tas mainās

no viszemākā ziemā sasniedzot 2.44 līdz vislielākajām rudenī 2.52. Tas nozīmē, ka rudenī nozvejotās brētliņas ir ar labāku uzturvērtību pēc HH indeksa. Chen & Liu (2020) norādīja, ka zivīm tas lielākoties ir no 1.54 līdz 4.83. Zemākie IA un IT indeksi brētliņām konstatēti rudenī, kad HH indekss bija augstākais, kas arī liecina par augstāku brētliņu uzturvērtību.

6. tabula / *Table 6*

Taukskābju grupu izmaiņas 2020./2021. gada sezonā atvēsinātām Baltijas brētliņām, g 100 g^{-1} /
Fatty acid group changes (season 2020/2021) in chilled Baltic sprats, g 100 g^{-1}

Taukskābes / *Fatty acids*	**Rudens / *Autumn***	**Ziema / *Winter***	**Pavasaris / *Spring***
Kopējās piesātinātās taukskābes (SAFA) / *Total saturated fatty acids*	4.9 ± 0.6^{a}	3.2 ± 0.4^{b}	2.3 ± 0.3^{c}
Kopējās mononepiesātinātās taukskābes (MUFA) / *Total monounsaturated fatty acids*	6.6 ± 0.9^{a}	4.6 ± 0.6^{b}	3.6 ± 0.5^{c}
Kopējās polinepiesātinātās taukskābes (PUFA) / *Total polyunsaturated fatty acids*	7.0 ± 0.9^{a}	3.6 ± 0.5^{b}	2.2 ± 0.3^{c}
Kopējās *n*-3 taukskābes / *Total n-3 fatty acids*	6.3 ± 0.8^{a}	3.1 ± 0.4^{b}	1.9 ± 0.2^{c}
Kopējās n-6 taukskābes / *Total n-6 fatty acids*	0.7 ± 0.1^{a}	0.4 ± 0.1^{b}	0.3 ± 0.1^{b}

Vidējās vērtības (n = 3) ± SD. Vienādi burti vienā rindā norāda, ka nav būtiskas atšķirības $p > 0.05$ (t-tests). / *Average value (n = 3) ± SD. The same letters in a row show no significant difference $p > 0.05$ (t-test).*

Rudenī nozvejotās brētliņās neaizvietojamo aminoskābju summa bija 6.25 ± 0.36 g 100 g^{-1}, bet pavasarī 6.11 ± 0.35 g 100 g^{-1} (7. tabula), kas apstiprina olbaltumvielu un aminoskābju stabilitāti sezonas ietvaros.

Pētījumā neatkarīgi no nozvejas perioda visvairāk konstatēta glutamīnskābe, asparagīnskābe un no neaizvietojamajām aminoskābēm – lizīns un leicīns. Šādus datus aprakstīja arī Usydus et al. (2009), ka lielāko daļu no kūpinātās brētliņās esošajām aminoskābēm veido asparagīnskābe un glutamīnskābe. Līdzvērtīgus datus atspoguļoja Özden (2005), kur marinētās un atvēsinātās forelēs, anšovos 31% no visām aminoskābēm bija lizīns, asparagīnskābe un glutamīnskābe. Atvēsinātās brētliņās aminoskābe alanīns tika konstatēts nelielā daudzumā, bet glicīna saturs sezonas ietvaros nedaudz palielinājās pavasarī.

7. tabula / *Table 7*

Kopējās aminoskābju satura izmaiņas atvēsinātās brētliņās 2020./ 2021. gada sezonas ietvaros, g 100 g^{-1} / *Changes in total amino acid content in chilled sprats (year 2020/2021), g 100 g^{-1}*

Aminoskābe / *Amino acids*	**Rudens / *Autumn***	**Ziema / *Winter***	**Pavasaris / *Spring***
Daļēji neaizvietojamās/aizvietojamās / *Non - Essential amino acids*			
Arginīns (Arg) / *Arginine (Arg)*	0.86 ± 0.14^{a}	0.92 ± 0.14^{a}	0.86 ± 0.14^{a}
Asparagīnskābe (Asp) / *Asparagine (Asp)*	1.36 ± 0.22^{a}	1.16 ± 0.19^{a}	1.14 ± 0.18^{a}
Cisteīns (Cys) / *Cystine (Cis)*	0.11 ± 0.02^{a}	0.10 ± 0.02^{b}	0.10 ± 0.02^{b}
Glutamīnskābe (Glu) / *Glutamic acid (Glu)*	2.02 ± 0.32^{a}	2.13 ± 0.34^{a}	1.98 ± 0.32^{a}
Glicīns (Gly) / *Glycine (Gly)*	0.73 ± 0.12^{b}	0.76 ± 0.12^{a}	0.74 ± 0.12^{a}
Serīns (Ser) / *Serine (Ser)*	0.57 ± 0.09^{b}	0.57 ± 0.09^{a}	0.56 ± 0.09^{ab}
Neaizvietojamās aminoskābes / *Essential amino acids*			
Histidīns (His) / *Histidine (His)*	0.47 ± 0.08^{a}	0.38 ± 0.06^{b}	0.34 ± 0.05^{b}
Izoleicīns (Ile) / *Isoleucine (Ile)*	0.58 ± 0.09^{a}	0.59 ± 0.09^{a}	0.58 ± 0.09^{a}
Leicīns (Leu) / *Leucine (Leu)*	1.07 ± 0.17^{a}	1.14 ± 0.17^{a}	1.11 ± 0.18^{a}
Lizīns (Lys) / *Lysine (Lys)*	1.25 ± 0.20^{a}	1.25 ± 0.21^{a}	1.24 ± 0.20^{a}
Metionīns (Met) / *Methionine (Met*)	0.44 ± 0.07^{a}	0.46 ± 0.08^{a}	0.46 ± 0.07^{a}
Fenilalanīns (Phe) / *Phenylalanine (Phe)*	0.57 ± 0.09^{a}	0.58 ± 0.09^{a}	0.58 ± 0.09^{a}
Treonīns (Thr) / *Threonine (Thr)*	0.65 ± 0.10^{a}	0.67 ± 0.10^{a}	0.64 ± 0.10^{a}
Valīns (Val) / *Valine (Val)*	0.74 ±0.12 ^{a}	0.67 ± 0.11 ^{a}	0.71 ± 0.11 ^{a}
Triptofāns (Trp) / *Tryptophan (Trp)*	0.48 ± 0.08 ^{a}	0.45 ±0.07 ^{a}	0.45 ±0.07 ^{a}

Vidējās vērtības (n = 3) ± SD. Vienādi burti vienā rindā norāda, ka nav būtiskas atšķirības p > 0.05 (t-tests). / *Average values (n = 3) ± SD. The same letters in a row show no significant difference p > 0.05 (t-test).*

2. Pirmapstrādes līdzekļu atlase

Vismazāk izteikts aromāts konstatēts paraugiem, kas apstrādāti ar nātrija un kalcija hlorīdu vienādās proporcijās (*NaCa*), un paraugiem, kas apstrādāti ar nātrija un kalcija hlorīdiem kombinācijā ar etiķskābi (*3Na2CaAce*). Savukārt pārāk izteikts aromāts ir konstatēta paraugam *3Na3CaAce*.

Analizējot garšu starp kūpināto brētliņu paraugiem no atvēsinātām un no saldētām brētliņām, paraugi *Ace* un *3Na3CaAce* saņēma vērtējumu ar "par daudz", kas bija skāba, metāliska, rūgta. Savukārt paraugos *3Na2CaAce* ir vērojama vismazāk izteiktā garšas intensitāte, saņemot vērtējumu "par maz".

Vērtējot struktūras rādītājus (konsistenci, stingrību, elastību), paraugi bez apstrādes bija ar stingrāko struktūru, kas bija atzīta kā pārāk izteikta, taču atbilstošākā struktūra konstatēta paraugiem *CaAce* un *NaAce*, kas iespējams skaidrojams ar skābes un sāļu klātbūtnes balansu. Paraugiem *3Na2CaAce* novērota visneatbilstošākā struktūra (par mīkstu). Paraugiem, kuriem pievienots NaCl, struktūra kļuva stingrāka, kas saskan ar Bjørnevik et al. (2018) pētījumu. Tāpat arī pētījumā, kurā izmantoja $CaCl_2$, notika ūdens izspiešana no audiem un sāļu difūzija tajos, savukārt pievienojot skābes, palielinājās jonu spēks šūnās un tas veidoja stingrāku struktūru (Serdaroglu et al., 2015).

Par daudz izteikta pēcgarša novērojama *Control* paraugiem un sevišķi par daudz vērojama kūpinātās brētliņās no atvēsinātām brētliņām. Savukārt kūpinātām brētliņām no svaigām zivīm, pielietojot nātrija un kalcija sāļus kombinācijā ar etiķskābi (*3Na3CaAce*), pēcgarša novērtēta ar "sevišķi par daudz".

Atbilstošs krāsas parametrs ir vērojams *Control* paraugam, kuram netika izmantoti nekādi apstrādes materiāli, un paraugam, kas apstrādāts ar kalcija hlorīdu (*Ca*), *3Na3CaAce*; savukārt *NaCa* paraugiem vērojama mazāk izteikta krāsa nekā paraugiem *CaAce*, *NaAce* un *2Na3Ca*.

Kā neatbilstoši paraugi tika atzīti *3Na3CaAce*, *3Na2CaAce*,*Ca* un *NaCa*, kur nevienam paraugam pēc zivju kūpināšanas nav saņemts novērtējums tieši laikā, un pie sensorās novērtēšanas šiem paraugiem novērots vizuāls defekts, ādas lobīšanās. Kā arī, izmantojot apstrādi ar *Ca* un *NaCa*, jūtama izteikti rūgta pēcgarša. Tāpēc šie četri paraugu veidi atzīti kā neatbilstoši tālākai izpētei.

Turpmākajā pētījumā analizēta atlasīto pirmapstrādes līdzekļu ietekme uz kūpināto brētliņu sensorajām īpašībām. Izmantotais pirmapstrādes līdzeklis ietekmē kūpināto brētliņu sensoros rādītājus (III publikācija). Izmantojot pirmapstrādes līdzekļus, ir iespējams uzlabot kūpināto brētliņu sensorās īpašības, taču tas ir jāpiemēro atbilstoši nozvejas periodam, kurā mainās zivju ķīmiskais sastāvs un tādējādi tiek ietekmētas kūpināto brētliņu īpašības. Izvērtējot atvēsinātu zivju izmantošanu kūpinātu brētliņu ražošanai, kā visatbilstošākie pēc krāsas novērtēti paraugi *CaAce* un *Ace*, visneizteiktākā krāsa ir paraugiem *Control* un *Na*. Kā visatbilstošākā struktūra novērtēta paraugiem *3Na2Ca* un *NaAce*, struktūra "par daudz" novērtēta paraugam *Ace*. Aromāts vislabāk novērtēts paraugiem *NaAce* un *2Na3Ca*, savukārt aromāts "par maz" visvairāk atzīmēts paraugam *Na*. Par paraugiem ar vislabāko garšu atzīti paraugi *3Na2Ca* un *NaAce*, savukārt *Control* paraugam tā ir "par maz".

Starp kūpinātām brētliņām, kas ražotas no saldētām zivīm, visatbilstošākā krāsa bija paraugiem *2Na3Ca, Ace* un *CaAce*. Kā visatbilstošākā struktūra novērtēta paraugiem *3Na2Ca, NaAce* un *CaAce*, bet parauga *Ace* struktūra saņēmusi vērtējumu "par daudz", līdzvērtīgi kā tas bija, ražošanā izmantojot atvēsinātās brētliņas. Aromāts vislabāk novērtēts *NaAce* un *2Na3Ca*, savukārt *Control* paraugs novērtēts ar "par maz". Par paraugiem ar vislabāko garšu atzīti paraugi *CaAce*, *2Na3Ca* un *3Na2Ca*, bet *Control* paraugs ir ieguvis vērtējumu "par maz".

Balstoties uz sensoro novērtējumu, kūpinātām brētliņām krāsas novērtējumā par visatbilstošāko atzīti paraugi, kuriem pirmapstrāde veikta ar nātrija hlorīda un kalcija hlorīda kombināciju (paraugs *2Na3Ca*), kā arī kalcija hlorīda un etiķskābes kombināciju (paraugs *CaAce*), kā izejvielas kūpināšanā izmantojot gan atvēsinātas, gan saldētas brētliņas.

3. Mikrobioloģisko rādītāju izmaiņas kūpinātās brētliņās

Mikrobioloģiskos rādītājus analizē kopā ar zivīs noteikto ūdens aktivitāti, mitruma un sāls saturu, kā arī pH vērtību (IV publikācija). Izmantojot pirmapstrādes līdzekļus, izmainās fizikālie parametri, veidojas nelabvēlīgi apstākļi mikroorganismu attīstībai audu virsmā un tālākai difūzijai. Līdz ar to ir iespējams sekmēt ilgāka derīguma termiņa nodrošināšanu, ko apstiprina pētījumā iegūtie dati.

Visātrāk bojājās (vislielākais MAFAm skaits) paraugs *Control*, jo paraugam nav veikta pirmapstrāde ar kādu no līdzekļiem. *Control* paraugam otrajā nedēļā ir konstatēts visaugstākais MAFAm skaits salīdzinājumā ar citiem paraugiem 2.3×10^7 KVV g^{-1}. Šim paraugam arī ir visaugstākais pH 6.6, visaugstākā ūdens aktivitāte 0.951, vislielākais mitruma saturs 67.5%, kā arī zems sāls saturs 0.35%. Savukārt viszemākais pH bija paraugam *CaAce (*pH 5.6), viszemākā ūdens aktivitāte paraugos *3Na2Ca* (0.937) un *CaAce* (0.946), viszemākais mitruma saturs paraugā *2Na3Ca* (61.5%) un *CaAce (*61.7%), kā arī visaugstākais sāls saturs paraugā *3Na2Ca* (0.90%).

MAFAm skaits lēni pieauga kūpinātās brētliņās *Ace* un *CaAce*, kur paraugu pirmapstrādei tika izmantota etiķskābe. Pēc vienas nedēļas uzglabāšanas to vērtība nepārsniedza 5.2×10^2 KVV g^{-1} un 6.4×10^2 KVV g^{-1}, to saskan ar Sengun et al. (2021) pētījuma datiem, ka skābes inhibē raugu un pelējumu attīstību un kavē to augšanu. Atvēsinātās brētliņās MAFAm nedrīkst pārsniegt 1×10^5 KVV g^{-1}, bet apstrādātām zivīm tas nedrīkst pārsniegt 1×10^4 KVV g^{-1}. Izmantojot pirmapstrādes līdzekli, ir iespējams kavēt pelējumu attīstību, jo pēc divām uzglabāšanas nedēļām tikai *Control* paraugā tika konstatēti pelējumi 1.0×10^2 KVV g^{-1}. Raugi kūpinātās zivīs vairāk ir kvalitātes faktors, ne tik daudz drošības faktors. Tie ir pieļaujami līdz 1×10^5 KVV g^{-1}, taču jāievēro labas ražošanas un labas higiēnas prakses vadlīnijas.

Savukārt patogēnā mikroorganisma (*Pseudomonas anguilliseptica* vai *Pseudomonas aeruginosa*) atrašanās produktā nav pieļaujama. *Clostridium perfingens, Vibrio parahaemolyticus,* kā arī *Escherichia coli, Bacillus cereus* uzglabāšanas procesā netika konstatēti nevienā paraugā, sākot ar pirmo testēšanas dienu. *Pseudomonas* spp. stabilitāti un augšanu ietekmē sāls saturs un pH, kā arī pie zemāka pH to attīstība tiek kavēta, ko apliecina arī iegūtie dati, ja zivju apstrādei pirms uzglabāšanas izmantota skābe.

4. Pirmapstrādes līdzekļu ietekme uz kūpinātu brētliņu fizikālajiem parametriem

Pirmapstrādes līdzekļiem ir atšķirīga ietekme uz fizikālajiem parametriem, jo marinēšana vai sālīšana sekmē sāls un skābes migrāciju audos un vienlaikus nodrošina zemāku mitruma saturu un pH produktā salīdzinājumā ar kontroles paraugu, kuram nav lietoti pirmapstrādes līdzekļi.

4.1. Tehnoloģiskie zudumi brētliņu kūpināšanas procesā

Kūpināšanas zudumi un nožuvums uzglabāšanas kamerā *Control* paraugam bez pirmapstrādes līdzekļu izmantošanas bija līdzvērtīgi kūpinātām brētliņām, kas ražotas no atvēsinātām vai saldētām brētliņām. Pēc kūpināšanas zivju masa samazinājās par 30%, bet pēc 24 h produkta masa samazinājās vēl par 1.6% līdz 1.8%, ko veidoja nožuvums (8. tabula) (III publikācija).

8. tabula / *Table 8*

Tehnoloģiskie zudumi kūpinātām brētliņām /
Technological losses from smoked sprats

Paraugi*/ ***Samples***	**Kūpināšanas zudumi /** ***Smoking losses, %***		**Nožuvums (pēc 24 h, 2 ± 1 °C) /** ***Moisture loss (after 24 h, 2 ± 1 °C), %***	
	no atvēsinātām zivīm / ***from chilled sprats***	**no saldētām zivīm /** ***from frozen sprats***	**no atvēsinātām zivīm /** ***from chilled sprats***	**no saldētām zivīm /** ***from frozen sprats***
Control	29.57 ± 0.64^{aB}	29.68 ± 0.27^{aC}	1.60 ± 0.16^{aD}	1.80 ± 0.06^{bD}
Na	28.04 ± 0.17^{aB}	30.39 ± 0.58^{bC}	3.40 ± 0.34^{aB}	3.50 ± 0.07^{bB}
3Na2Ca	32.31 ± 0.26^{aA}	30.76 ± 0.56^{bC}	0.30 ± 0.03^{aF}	0.40 ± 0.07^{bF}
2Na3Ca	30.73 ± 0.44^{aAB}	31.95 ± 0.07^{aBC}	1.70 ± 0.17^{aD}	1.70 ± 0.03^{aD}
Ace	22.09 ± 0.09^{aD}	33.02 ± 0.17^{bB}	4.90 ± 0.56^{aA}	4.80 ± 0.40^{aA}
NaAce	26.05 ± 0.20^{aC}	25.67 ± 1.54^{aD}	2.10 ± 0.24^{aC}	2.20 ± 0.10^{aC}
CaAce	32.21 ± 0.02^{aA}	36.09 ± 0.11^{bA}	0.60 ± 0.06^{aE}	0.80 ± 0.03^{bE}

* Paraugi apzīmēti ar saīsinājumiem, kas nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem. Vidējās vērtības (n = 3) ± SD. Kūpināšanas zudumiem, nožuvumam, kolonās norādītie dažādie mazie $^{(a\text{-}c)}$ burti un rindās norādītie lielie $^{(A\text{-}B)}$ burti norāda, ka starp paraugiem ir būtiskas atšķirības ($p \leq 0.05$). / *The samples are marked with abbreviations that are not directly related to chemical symbols. Average values (n = 3) ± SD. Separately smoking losses and drying losses, the different letters in one column $^{(a\text{-}d)}$ and capital letters in a row $^{(A\text{-}B)}$ indicate significant differences ($p \leq 0.05$) between values.*

Pēc zivju izturēšanas pirmapstrādes līdzekļu šķīdumā zivju masa var izmainīties 5% robežās. Kūpināšanas procesā daļa ūdens iztvaiko, kā rezultātā produkta masa samazinās, bet sausnas (tostarp tauku, olbaltumvielu un sāls)

relatīvais saturs palielinās (Lerfall & Østerlie, 2011). Pielietojot apstrādi ar nātrija hlorīdu vai tā kombināciju ar etiķskābi (paraugi *Na* vai *NaAce*), ir vērojami nelieli kūpināšanas zudumi, taču palielināts nožuvums. Ja pirmapstrādes līdzekļos ir pielietots nātrija hlorīds, palielinās olbaltumvielu šķīdība, samazinās ūdens saistīšanas un noturēšanas spēja, kas ir olbaltumvielu denaturācijas procesa rezultāts (Abraha et al., 2018). Paraugam *Ace* bija vismazākie kūpināšanas zudumi, ja tika izmantotas atvēsinātās brētliņas. Savukārt uzglabāšanas procesā tieši paraugam *Ace* neatkarīgi no izejvielas veida ir lielāks nožuvums.

Analizējot datus kopumā, kūpinātām brētliņām no atvēsinātām zivīm, salīdzinājumā ar brētliņām no saldētām zivīm ir nedaudz mazāki gan kūpināšanas, gan nožuvuma zudumi. Paraugam *Na* ar nātrija hlorīdu kūpinātām brētliņām no atvēsinātām zivīm nožuvums sasniedza 3.40 ± 0.34% un kūpinātām brētliņām no saldētām zivīm 3.50 ± 0.07%, bet, izmantojot tikai etiķskābi (paraugs *Ace*), nožuvums sasniedza 5% robežu. Viszemākie kūpināšanas zudumi tika sasniegti kūpinātajām brētliņām no atvēsinātajām zivīm 22.09 ± 0.09%, bet no saldētajām zivīm viszemākie kūpināšanas zudumi tika sasniegti, paraugam *NaAce*, 25.67 ± 1.54%.

4.2. Brētliņu pH, mitruma saturs, ūdens aktivitāte un sāls saturs

Paraugiem, kuru apstrādē ir izmantoti pirmapstrādes līdzekļi, salīdzinājumā ar paraugu *Control*, kuram nav izmantoti pirmapstrādes līdzekļi, ir zemāks pH. Mainās arī tādi rādītāji kā ūdens aktivitāte, mitruma saturs un sāls saturs, kas savā starpā korelē. No atvēsinātām brētliņām ražoto kūpināto brētliņu pH bija lielāks nekā no saldētām un tas bija tuvāks atvēsinātu zivju pH 2020. / 2021. gada nozvejas sezonā (III publikācija). Atvēsinātu kūpinātu brētliņu pH nozvejas periodā bija stabils, bet saldēto kūpināto brētliņu pH bija mainīgs nozvejas periodos, sasniedzot zemāko vērtību pavasarī (9. tabula).

Atvēsinātu zivju pH ir ap 7, uzglabājot tas sākotnēji nedaudz pieaug (uzglabāšanas laiks līdz 1–2 dienas), kas saistīts ar sārmaino enzīmu (proteāzes) aktivitāti muskuļu šūnās, kur autolītiskie enzīmi sāk šķelt olbaltumvielas un atbrīvo amonjaku (Abbas et al., 2008). Pētījumā analizēta dažādu izvēlēto pirmapstrādes līdzekļu ietekme uz kūpinātu brētliņu fizikālajiem rādītājiem no pavasara nozvejas brētliņām (10. tabula) (IV publikācija).

9. tabula / *Table 9*

Kūpinātu brētliņu pH vērtību izmaiņas pirms un pēc kūpināšanas/
The pH of smoked sprats before and after smoking

Veids / *Type*	**Rudens / *Autumn***		**Ziema / *Winter***		**Pavasaris / *Spring***	
	no atvēsinātām zivīm / *from chilled sprats*	**no saldētām zivīm / *from frozen sprats***	**no atvēsinātām zivīm / *from chilled sprats***	**no saldētām zivīm / *from frozen sprats***	**no atvēsinātām zivīm / *from chilled sprats***	**no saldētām zivīm / *from frozen sprats***
Neapstrādātas brētliņas / *Raw sprats*	6.70 ±0.02^{b}	6.24 ±0.02^{c}	6.98 ±0.02^{a}	6.50 ±0.03^{bc}	6.93 ± 0.06^{a}	6.15 ± 0.01^{c}
Kūpinātas brētliņas / *Smoked sprats*	7.01 ± 0.01^{a}	6.48 ± 0.07^{b}	7.06 ± 0.05^{a}	6.70 ± 0.17^{b}	7.12 ± 0.02^{a}	6.52 ± 0.08^{b}

Vidējās vērtības (n = 3) ± SD. Vienādi burti vienā rindā norāda, ka starp paraugiem nav būtiskas atšķirības p > 0.05 (t-tests). / *Average values (n = 3) ± SD. The same letters in a row show no significant differences between samples at p > 0.05 (t-test).*

10. tabula / *Table 10*

Kūpinātu brētliņu fizikālie parametri atkarībā no izmantotā pirmapstrādes līdzekļa / *Physical parameters of smoked sprats depending on pre-treatment agent*

Paraugi / *Samples**	**pH**	**Ūdens aktivitāte / *Water activity* (a_w)**	**Mitruma saturs / *Moisture content*, %**	**Sāls saturs (NaCl) / *Salt content*, %**
Control	6.60 ± 0.15^{a}	0.951 ± 0.026 ^{a}	67.5 ± 3.5^{a}	0.35 ± 0.07^{c}
Na	6.44 ± 0.13^{ab}	0.948 ± 0.023 ^{a}	66.7 ± 3.3^{a}	0.70 ± 0.13^{ab}
3Na2Ca	6.04 ± 0.11^{bc}	0.937 ± 0.024 ^{a}	62.5 ± 3.6 ^{a}	0.90 ± 0.17^{a}
2Na3Ca	5.83 ± 0.10^{c}	0.949 ± 0.023 ^{a}	61.5 ± 3.2 ^{a}	0.62 ± 0.12^{ab}
Ace	6.11 ± 0.11^{bc}	0.950 ± 0.026 ^{a}	65.7 ± 3.4 ^{a}	0.32 ± 0.06^{c}
NaAce	6.03 ± 0.05^{bc}	0.948 ± 0.024 ^{a}	62.9 ± 3.2 ^{a}	0.85 ± 0.16^{ab}
CaAce	5.61 ± 0.08^{d}	0.946 ± 0.023 ^{a}	61.7 ± 3.1 ^{a}	0.40 ± 0.08^{bc}

* Paraugi apzīmēti ar saīsinājumiem, kas nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem. Nozvejas periods – 2021. gada marts, atvēsinātas brētliņas. Vidējās vērtības (n = 3) ± SD. Vienādi burti vienā rindā norāda, ka atšķirības nav būtiskas (p > 0.05). */ The samples are marked with abbreviations that are not directly related to chemical symbols. Fishing period – March 2021, chilled sprats. Average value (n = 3) ± SD. The same letters in a row show no significant differences at p > 0.05 (t-test).*

Kūpinātu brētliņu pH variē atkarībā no izmantotā pirmapstrādes materiāla. Viszemākais pH bija *CaAce* paraugiem, kur izmantoja kalcija hlorīdu

kombinācijā ar etiķskābi. *Control* parauga pH bija vislīdzīgākais ar paraugu *Na*, kur kā pirmapstrādes līdzekli izmantoja sāli, šajā produktā netika pievienota skābe, kas sekmētu straujāku pH samazinājumu. Pirmapstrādes līdzekļu pielietošana palielina sāls saturu produktā, kā arī sekmē pH un ūdens satura samazināšanos. Izmantojot dažādus pirmapstrādes līdzekļus, Abbas et al. (2009) konstatēja, ka nav novērotas būtiskas atšķirības starp ūdens aktivitāti un mitruma saturu, bet vērojama būtiska atšķirība produkta pH un sāls saturā. Tāpat nokonstatēts pH vērtības samazinājums, izmantojot kalcija hlorīdu, jo tas satur divus Cl jonus, kas izraisa zemākas pH vērtības, nekā izmantojot nātrija hlorīdu (Vidal et al., 2019).

Pētījumā konstatēts, ka visaugstākais mitruma saturs 67.5 ± 3.5 g 100 g^{-1} bija *Control* paraugam. Sāļiem un skābēm ir ietekme uz olbaltumvielām, sekmējot olbaltumvielu denaturāciju un sāls migrāciju muskuļu audos un izmainot mitruma saturu produktā (Martinez et al., 2012). Tāpat samazinās zivju sulīgums, jo skābes sagrauj saistaudus un to membrānas, līdz ar to samazinot ūdens saistīšanas spēju (Ruiz-Alonso et al., 2021).

Control paraugā sāls saturs bija 0.35 ± 0.07 g 100 g^{-1}, zemāks sāls saturs bija konstatēts tikai izmantojot etiķskābi, t.i., paraugā *Ace* attiecīgi 0.32 ± 0.06 g 100 g^{-1}, bet ūdens aktivitāte 0.951 ± 0.026. Savukārt paraugā *3Na2Ca* sāls saturs bija 0.70 ± 0.13 g 100 g^{-1}, bet ūdens aktivitāte viszemākā 0.937±0.024. Sāls klātbūtne zivīs ietekmē ūdens aktivitāti. Pētījumā iegūtie dati apstiprina, jo augtāks ir sāls saturs produktā, jo zemāka ir ūdens aktivitāte, ko norādīja arī Ruiz-Alonso et al. (2021).

Izmantojot pirmapstrādes līdzekļus, ir iespējams samazināt ūdens aktivitāti, kas ir svarīgs indikators mikroorganismu attīstībai zivīs. Visaugstākā ūdens aktivitāte bija paraugam *Control* (0.951 ± 0.028). Arī Babikova et al. (2020) konstatēja, ka marinētiem anšoviem (*Engraulis anchoita*) ūdens aktivitāte samazinās līdz 0.94. Literatūrā atvēsinātām brētliņām ūdens aktivitāte norādīta 0.97, savukārt atvēsinātām zivīm ūdens aktivitāte ir 0.99, bet apstrādes procesā ūdens aktivitāte parasti samazinās.

Control paraugam, kuram netika pielietota pirmapstrāde, sezonas laikā pH izmaiņas ir nelielas (11. tabula) salīdzinājumā ar paraugiem, kuriem veikta pirmapstrāde. Paraugam *Ace* tas samazinājās līdz pH 6.32 ± 0.03 pavasarī. Savukārt ziemā pH samazinājums konstatēts paraugiem *3Na2Ca* un *2Na3Ca*, kur rudenī pH attiecīgi bija pH 6.41 ± 0.05 un 6.11 ± 0.14. Babikova et al. (2020) pētījumos norādīja, ka saldētu un pēc tam atlaidinātu brētliņu pH ir 6.87, kas ir ļoti līdzīgs šī pētījuma datiem un to var ietekmēt sezona, ķīmiskais sastāvs un nozvejas vietas ģeogrāfiskā lokācija. Viszemākais pH tika konstatēts rudenī, paraugam *CaAce*, ziemā arī paraugam *CaAce*, bet pavasarī paraugam *NaAce*.

Izmantojot pirmapstrādes līdzekļus, ir iespējams samazināt pH, kas ietekmē gan mikrobioloģiskos rādītājus, gan arī produkta sensorās īpašības. Ūdens saturs audos ietekmē apstrādes vielu transportēšanu un migrāciju, tādējādi ietekmējot gala produkta pH. Kalcija hlorīda vai etiķskābes pielietošana izraisa lielākas pH

izmaiņas nekā nātrija hlorīda pielietošana. pH ir svarīgs faktors, kas ietekmē muskuļaudos esošo olbaltumvielu ūdens saistīšanas spēju.

11. tabula / *Table 11*

Kūpināto brētliņu pH izmaiņas, ja tās ražotas no saldētām brētliņām / *Smoked sprats produced from frozen sprats pH*

Pirmapstrādes līdzekļi / *Pre-treatment method*	**Rudens / *Autumn***	**Ziema / *Winter***	**Pavasaris / *Spring***
Control	7.01 ± 0.09^{aA}	7.06 ± 0.04^{aA}	7.12 ± 0.05^{aA}
Na	6.74 ± 0.03^{bA}	6.79 ± 0.01^{bA}	6.47 ± 0.01^{bA}
3Na2Ca	6.41 ± 0.05^{cA}	5.96 ± 0.07^{cB}	6.23 ± 0.04^{cAB}
2Na3Ca	6.11 ± 0.14^{dA}	5.95 ± 0.10^{cA}	6.08 ± 0.03^{dA}
Ace	6.48 ± 0.02^{cA}	6.27 ± 0.05^{cA}	6.32 ± 0.03^{cA}
NaAce	6.48 ± 0.03^{cA}	6.30 ± 0.02^{cA}	6.08 ± 0.03^{dB}
CaAce	6.02 ± 0.03^{dA}	5.50 ± 0.06^{dB}	6.24 ± 0.01^{cdA}

* Paraugi apzīmēti ar saīsinājumiem, kas nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem. Nozveja 2020./2021. Vidējās vērtības (n = 9) ± SD. Kolonās norādītie mazie burti $^{(a-d)}$ un rindās norādītie lielie burti $^{(A-B)}$ norāda, ka nav būtiska atšķirība pie $p \leq 0.05$ / **The samples are marked with abbreviations that are not directly related to chemical symbols. Catching season: 2020/2021. Average value (n = 9) ± SD. Different letters in one column $^{(a-d)}$ and different capital letters in a row $^{(A-B)}$ indicate significant differences ($p \leq 0.05$) between samples.*

4.3. Pirmapstrādes līdzekļu ietekme uz kūpinātu brētliņu krāsu un struktūru

Tumšākas (zemāka *L** vērtība) bija tās kūpinātās brētliņas, kuras bija apstrādātas ar nātrija un kalcija hlorīdu maisījumu (12. tabula), attiecīgi *L** 45.58 ± 8.9 (*3Na2Ca*) un *L** 47.59 ± 13.9 (*2Na3Ca*), kuru pH attiecīgi bija 6.0 ± 0.2 un 5.8 ± 0.2 (IV publikācija). Šie rezultāti bija pretēji Chan et al. (2020) pētījumos konstatētajam, ka zemāks pH nodrošina gaišāku krāsu. Novērota negatīva sarkanās krāsas (*a** vērtības) korelācija ar ūdens aktivitāti (r = –0.55); zemāka ūdens aktivitāte sekmē sarkanās krāsas intensitātes palielināšanos zivīs, bet citiem krāsas parametriem korelācija ar fizikālajiem parametriem netika novērota.

Marinēšana pirms kūpināšanas var uzlabot zivju kvalitātes parametrus. Dhanapal et al. (2013) pētījumos aprakstīja, ka zivīm, kas mērcētas 10% sāls un skābes šķīdumā 60 minūtes, uzlabojās krāsa un struktūra, kā arī sensorie parametri, kas ir redzams arī šī pētījuma datos, par krāsas komponentu izmaiņām brētliņām, kas apstrādātas ar pirmapstrādes līdzekļiem salīdzinājumā ar *Control* paraugu.

12. tabula / *Table 12*

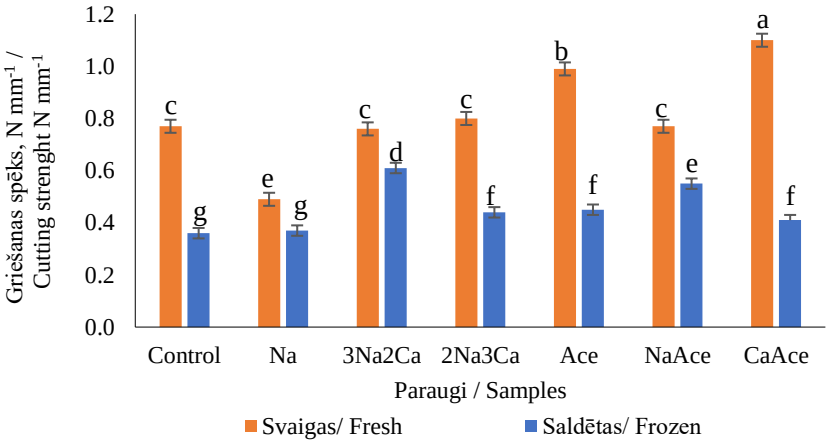
Kūpinātu brētliņu krāsas un struktūras izmaiņas atkarībā no izmantotā pirmapstrādes līdzekļa / *Smoked sprats' colour and texture depending on pre-treatment agent*

Paraugi / *Samples**	**Krāsa / *Colour***			**Struktūra / *Texture***	
	L*	***a****	***b****	**bīdes darbs / *work of shear*, N mm^{-1} s**	**griešanas spēks / *cutting strength*, N mm^{-1}**
Control	57.28 ± 6.7^{a}	-5.14 ± 6.2^{a}	15.54 ± 9.0^{c}	1.27 ± 0.°3^{b}	0.54 ± 0.1^{c}
Na	63.65 ± 11.8^{a}	-13.84 ± 13.5^{b}	32.42 ± 12.8^{ab}	0.94 ± 0.2^{d}	0.37 ± 0.1^{d}
3Na2Ca	45.58 ± 8.9^{b}	-1.04 ± 12.^{a}	26.20 ± 15.6^{abc}	2.38 ± 0.9^{abc}	1.05 ± 0.5^{abc}
2Na3Ca	47.59 ± 13.9^{b}	-6.9 ± 9.9^{ab}	16.88 ± 12.2^{bc}	1.42 ± 0.3^{bc}	0.62 ± 0.1^{ac}
Ace	52.66 ± 13.0^{ab}	-6.71 ± 5.9^{b}	26.56 ± 5.1^{ab}	1.75 ± 0.3^{abc}	0.71 ± 0.1^{abc}
NaAce	62.89 ± 10.2^{a}	-8.32 ± 10.4^{b}	17.19 ± 13.0^{abc}	1.76 ± 0.5^{abc}	0.71 ± 0.2^{abc}
CaAce	61.19 ± 10.5^{a}	-7.19 ± 16.2^{b}	26.38 ± 17.2^{abc}	1.73 ± 0.3^{abc}	0.82 ± 0.1^{abc}

* Paraugi apzīmēti ar saīsinājumiem, kas nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem. Nozvejas sezona – 2021 marts, atvēsinātas brētliņas. Vidējās vērtības (n = 7) ± SD. Vienādi burti kolonnās norāda, ka nav būtiskas atšķirības pie $p > 0.05$. / **The samples are marked with abbreviations that are not directly related to chemical symbols. Catching season – March 2021, chilled sprats. Average values (n = 7) ± SD. The same letters in one column indicate no significant difference ($p > 0.05$) between values.*

Salīdzinot kontroles paraugu (*Control*), kuram bīdes darbs bija 1.27 ± 0.28 N mm^{-1} s un griešanas spēks 0.54 ± 0.12 N mm^{-1}, ar paraugu, kuram izmantota apstrāde ar skābi, bīdes darbs bija 1.75 ± 0.30 N mm^{-1} s, griešanas spēks 0.71 ± 0.14 N mm^{-1} konstatēts, ka struktūra kļūst stingrāka. Parauga struktūras izmaiņas iespējams skaidrojamas ar metāla jonu saišu stipruma pieaugumu (Çağlak, 2015) un pH samazinājumu. Visstingrākā struktūra iegūta paraugam *3Na2Ca*, kur attiecīgi bīdes darbs bija 2.38 ± 0.92 N mm^{-1} s, bet griešanas spēks 1.05 ± 0.49 N mm^{-1}, kas skaidrojams ar sāls ietekmi uz olbaltumvielu ūdens saistīšanas spējām (Martinez et al., 2012), kā arī ar skābes migrāciju audos. Pastāv vidēji negatīva korelācija starp ūdens aktivitāti un struktūru, kur, pieaugot ūdens aktivitātei, samazinās bīdes darbs (r = –0.75) un griešanas spēks (r = –0.78).

Paraugiem *2Na3Ca* un *3Na2Ca*, kā arī *CaAce* kūpinātām no atvēsinātām brētliņām bija stingrāka struktūra (2. att.), kas ir saskaņā ar citu pētnieku datiem, kuri apstiprināja, ka struktūra kļūst stingrāka, ja pieaug sāļu koncentrācija. Tāpat, izmantojot etiķskābi, ir iespējams panākt stingrāku produkta struktūru, kas skaidrojams ar olbaltumvielu denaturāciju (Bjørnevik et al., 2018; Ruiz-Alonso et al., 2021).



2. att. **Griešanas spēks kūpinātām brētliņām, kas nozvejotas sezonas 2019. gadā saldētās un 2020. gadā atvēsinātās /**
Fig. 2. ***Cutting strength for smoked sprats 2019 frozen, 2020 chilled***
Paraugi apzīmēti ar saīsinājumiem, kas nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem. Vidējās vērtības (n = 7) ± SD. Atšķirīgie burti norāda būtiskas atšķirības ($p \leq 0.05$). / *The samples are marked with abbreviations that are not directly related to chemical symbols. Average value (n = 7) ± SD. Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$) between values.*

Saldēšana ietekmē zivju muskuļu struktūru, produkts kļūst sausāks, zaudē sākotnējo zivju struktūru (Andrews, 2014), bet to ir iespējams ietekmēt, izmantojot piemērotus pirmapstrādes līdzekļus. Kā liecina pētījumā iegūtie dati, saldēšanas laikā produkts zaudē mitrumu, taču to atgūst produkta pirmapstrādes procesā. Dati rāda, ka kūpinātu brētliņu, kas ražotas no saldētām brētliņām, struktūras parametri ir līdzīgi atvēsinātām, taču saldētām brētliņām salīdzinājumā ar atvēsinātām ir tendence būt nedaudz atšķirīgām garšā, tās ir nedaudz skābākas (Timberg et al., 2014).

Analizējot struktūras parametrus (bīdes darbu un griešanas spēku) kopumā, redzams, ka pastāv būtiskas atšķirības starp rudeni un pavasari (V publikācija). Rudenī visstingrākā struktūra konstatēta paraugam *Ace* (0.84 ± 0.23 N mm^{-1}), ziemā paraugam *3Na2Ca* (1.05 ± 0.53 N mm^{-1}), turpretī pavasarī paraugam

2Na3Ca (1.27 ± 0.3 N mm^{-1}). Izvēlēto pirmapstrādes līdzekļu veids un to koncentrācija sezonas ietvaros atšķirīgi ietekmē kūpināto brētliņu kvalitātes rādītājus. Paraugiem *NaAce* un *CaAce* kūpinātu brētliņu struktūra sezonas ietvaros kļūst stingrāka, kas skaidrojams ar mitruma izmaiņām produktā un skābes iedarbību uz zivju muskuļaudiem (Chan et al., 2020).

5. Pirmapstrādes līdzekļu izvēle atkarībā no nozvejas perioda

Bīdes darbu un griešanas spēku būtiski ietekmē pirmapstrādes veids, sezona un abu faktoru mijiedarbību (13. tabula). Izmantojot etiķskābi (*Ace*), un sāļu kombināciju (*2Na3Ca*), novērota būtiska ietekme uz bīdes darbu. Tie dod ievērojami augstākas vērtības salīdzinājumā ar *Control* paraugu. Bīdes darbs ir visaugstākais S3 sezonā, īpaši apstrādājot ar NaCl un $CaCl_2$. Sāļi un skābes spēj uzlabot struktūru, tie ievērojami palielina griešanas spēku (*2Na3Ca*, *CaAce*). Šajā pētījumā novērota negatīva korelācija starp griešanas spēku un kūpinātu brētliņu pH vērtību (r = –0.488), kas ir līdzīgi tam, ko norādīja Babikova et al. (2020), ka visstingrākā struktūra novērota tām brētliņām, kurām ir viszemākais pH.

Balstoties uz kūpinātu brētliņu pirmapstrādes līdzekļu un nozvejas perioda ietekmi, ir redzams, ka kūpināto brētliņu struktūra pavasarī būtiski atšķiras no paraugiem rudens un ziemas periodā (V publikācija). Rudenī un ziemā sāļu izmantošana kā paraugiem *Na, 2Na3Ca, NaAce* un *CaAce* zivju pirmapstrādei pirms kūpināšanas, būtiski neietekmēja to struktūru, bet sezonas beigās ievērojami palielināja bīdes darbu un griešanas spēku, kas vienlaikus norāda uz stingrāku struktūru. Sezonas ietekmi var saistīt ar lielāku zivju mitruma saturu pavasarī, kas sekmē labāku sāls migrāciju audos. Kā norādīja Gomes et al. (2021), sāļiem ir būtiska loma olbaltumvielu šķīdināšanā un olbaltumvielu ekstrakcijā, uzlabojot ūdens aizturēšanas spēju. Sāls izraisa struktūras izmaiņas muskuļaudos, galvenokārt caur elektrostatiskām mijiedarbībām starp olbaltumvielu molekulām un nātrija (Na^+) un hlorīda (Cl^-) joniem. Miozīns sasaistās ar kalcija joniem, un veidojas gēla tīklveida struktūra (Totosaus & Pérez-Chabela, 2009; Hu et al., 2022).

Krāsas izmaiņas intensīvi notiek uz zivju virsmas, jo sāls un skābes migrē zivju audos. Apstrāde ar etiķskābi vai tās apvienošana ar sāļiem, veido tumšāku kūpināto brētliņu krāsu. Starp tauku saturu un *L** vērtību vērojama negatīva korelācija (r = –0.646), savukārt vāja korelācija novērota starp tauku saturu un krāsas komponenti *a**, kā arī starp tauku saturu un krāsas komponenti *b**. Vissvarīgākā kūpinātu brētliņu krāsas komponente ir *L**, kas atspoguļo gaišākas vai tumšākas krāsas intensitāti, un *b**, kas atspoguļo zeltainās krāsas intensitāti pēc produkta kūpināšanas. Kā redzams pēc iepriekš minētajiem datiem, rudenī kūpināto brētliņu krāsa bija visgaišākā un komponente *L** būtiski atšķīrās no sezonas vidus vai sezonas beigām (14. tabula).

13. tabula / *Table 13*

Sezonas un pirmapstrādes līdzekļa ietekme uz kūpinātu brētliņu struktūru /
Effect of fishing season and pre-treatment agent on smoked sprat texture

Parametrs/ ***Variable***	**Pirmapstrādes līdzekļa ietekme (vienfaktora ANOVA, Tjūkija tests) /** ***Impact of pretreatment (One-Way ANOVA, Post Hoc Tukey)***	**Sezonas ietekme (vienfaktora ANOVA, Tjūkija tests) /** ***Season impact (One-Way ANOVA, Post Hoc Tukey)***	**Pirmapstrādes līdzeklis × sezona (daudzfaktoru ANOVA, Post Hoc LSD) /** ***Pretreatment type × Season (Three by Seven Factorial Design ANOVA, Post Hoc LSD)***
Bīdes darbs / *Work of shear*	F (6;153) = 4.05, p = 0.001 *Ace* > Control* *3Na2Ca*, 2Na3Ca*, Ace** > Na*	F (2;157) = 11.09, p < 0.05 S3 > S1***, S2**	F (12;161) = 3.48, p < 0.001 *Na*: S3 > S1**, S2** *2Na3Ca*: S3 > S1***, S2*** *3Na2Ca*: S1 < S2***, S3** *CaAce*: S1 < S3** *Ace*: ns; *NaAce*: ns; *Control*: ns
Griešanas spēks / *Cutting strength*	F (6;153) = 4.26, p=0.001 *Ace* > Control* *2Na3Ca**, Ace**, CaAce* > Na*	F (2;157) = 10.08, p < 0.001 S3 > S1***, S2**	F (12;161) = 3.89, p<0.001 *Na*: S2 < S3** 2*Na3Ca*: S3 > S1***, S2*** *Ace*: S3 > S2** *CaAce*: S1 < S3** *3Na2Ca*: S1 < S2*** *NaAce*: ns; *Control*: ns

Paraugi apzīmēti ar saīsinājumiem, kas nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem. Lietotie apzīmējumi: S1 – sezonas sākums (rudens); S2 – sezonas vidus (ziema); S3 – sezonas beigas (pavasaris). Būtiskas atšķirības pastāv ar norādēm pie *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001;. ns – nepastāv būtiskas atšķirības. / *The samples are marked with abbreviations that are not directly related to chemical symbols. Other abbreviations: S1 – beginning of season (Autumn); S2 – middle of season (Winter); S3 – end of season (Spring). Statistically significant differences are marked as follows *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001; ns – no significant difference.*

14. tabula / *Table 14*

Sezonas un pirmapstrādes līdzekļa ietekme uz kūpināto brētliņu krāsu /
Effect of fishing season and pre-treatment agent on smoked sprat colour

Parametrs/ ***Variable***	**Pirmapstrādes līdzekļa ietekme – vienfaktora ANOVA; Tjūkija tests /** ***Impact of pretreatment – One-Way ANOVA; Post Hoc Tukey***	**Sezonas ietekme – vienfaktora ANOVA; Tjūkija tests /** ***Season impact – One-Way ANOVA; Post Hoc Tukey***	**Pirmapstrādes līdzeklis × sezona – daudzfaktoru ANOVA, Post Hoc LSD /** ***Pretreatment type × Season Three by Seven Factorial Design ANOVA; Post Hoc LSD***
*L**	F (6;157) = 2.50, p < 0.05 *CaAce* > *2Na3Ca**, *NaAce**	F (2;161) = 24.16, p < 0.001 S1 < S2***, S3***	F (12;161) = 6.01, p < 0.001 *Ace*: ns; *Control*: ns *Na*: S2 < S3** *3Na2Ca*: S1 < S2***, S3*** *2Na3Ca*: S1 < S2***, S3*** *NaAce*: S1 < S2***, S3*** *CaAce*: S1 < S3***
*a**	F (6;157) = 1.70, p = ns	F (2;161) = 14.14, p < 0.001 S1 > S2***, S3***	F (12;161) = 6.01, p < 0.001 *NaAce*: ns; *Control*: ns *Na*: S3 < S2** *3Na2Ca*: S1 > S2** *2Na3Ca*: S1 > S2***, S3** *Ace*: S1 > S2**, S3*** *CaAce*: S3 < S1***; S2**
*b**	F (6;157) = 2.60, p < 0.05 *NaAce* < *Na*^{t}, *Ace*^{t}, *CaAce*^{t}	F (2;161) = 13.12, p < 0.001 S1>S2***S3***	F (12;161) = 6.01, p < 0.001 *3Na2Ca*: ns; *Control*: ns; *NaAce*: ns *Na*: S1 > S2***, S3** *2Na3Ca*: S2 > S3** *Ace*: S1 > S2***, S3** *CaAce*: S1 > S2***

Paraugi apzīmēti ar saīsinājumiem, kas nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem. Lietotie apzīmējumi: S1 – sezonas sākums; S2 – sezonas vidus; S3 – sezonas beigas. Būtiskas atšķirības pastāv ar norādēm pie *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001;. ns – nepastāv būtiskas atšķirības, t – tendence. / *The samples are marked with abbreviations that are not directly related to chemical symbols. Other abbreviations: S1 – season start Autumn; S2 – season middle Winter; S3 – season end Spring. Statistically significant difference marked *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001; ns – no significant difference, t – trend.*

Krāsas *b** komponentei bija novērojama tendence samazināties nozvejas sezonas beigās, kas skaidrojams ar tauku satura samazinājumu. Paraugos *CaAce, NaAce* pirmapstrādes līdzekļiem ir būtiska ietekme uz *L** vērtību. Pirmapstrādes līdzekļiem kā paraugos *Na, 3Na2Ca, 2Na3Ca* ir mazāka ietekme S1 sezonā, bet būtiska S3 sezonā. Līdz ar to gaišāka krāsa kopumā vērojama produktos rudenī, bet pavasarī (S1) paraugi bija tumšāki. Izteiktāks dzeltenums vērojams S2 un S3 sezonās *Ace, NaAce, CaAce* paraugiem, un viszemākais tas ir *Na* paraugam S1 sezonā. Apstrāde ar *NaAce* samazina *b** vērtību, turklāt dzeltenuma intensitāte pieaug S2 un S3 sezonā.

Samazināto dzeltenās krāsa intensitāti var skaidrot ar samazinātu astaksantīna saturu (Nie et al., 2011), savukārt etiķskābe darbojas kā šķīdinātājs, kurš atbrīvo pigmentu un rada izteiktāku kūpināto zivju ādas dzelteno krāsu, taču krāsas intensitāte ir atkarīga no izmantojamā pirmapstrādes līdzekļa. Skābes ietekme ir būtiska uz mioglobīna autooksidāciju un daži autori norādīja, ka etiķskābes pievienošana veido krāsas blāvumu (Šimat et al., 2019). Etiķskābes izmantošana nozvejas perioda beigās paaugstina zivju virsmas dzeltenās krāsas intensitāti salīdzinājumā ar *Control* paraugu.

Lai noteiktu, kuru no pirmapstrādes līdzekļiem pielietot konkrētajā nozvejas periodā, izmantojot atvēsinātas vai saldētas brētliņas kūpinātu brētliņu ražošanā, tiek pielietota multikritēriju lēmumu shēma, kas balstās uz ekspertu definētajiem izvēles kritērijiem un to nozīmīgumu. Saskaņā ar šo analīzi (15. tabula) rudenī, ziemā un arī pavasarī vislabākās zivis ir tad, ja izmanto atvēsinātās zivis ar pirmapstrādi kā paraugiem *3Na2Ca* vai *CaAce*, *Control*, savukārt kā visneatbilstošākās ir atvēsinātās zivis ar pirmapstrādi kā paraugiem *Ace, Na, NaAce*. Analizējot saldēto brētliņu izmantošanu ar pirmapstrādi, visatbilstošākā ir kā paraugiem *3Na2Ca* vai *CaAce* un rudenī un ziemā *2Na3Ca*, bet pavasarī *NaAce*.

Paraugiem *3Na2Ca* un *CaAce* pielietotie pirmapstrādes līdzekļi sezonas ietvaros atvēsinātajām un arī saldētajām zivīm tiek atzīti kā visatbilstošākie neatkarīgi no nozvejas perioda, taču sezonas beigās saldēto brētliņu apstrādei ieteicams izmantot nātrija hlorīda un etiķskābes kombināciju (*NaAce*).

Galveno komponentu analīze (PCA – *Principial Component Analyses*) tika izmantota, lai noteiktu sezonalitātes un apstrādes materiālu ietekmi uz kūpināto brētliņu kvalitāti (3. att.). Ieguldījuma procentuālā daļa veido 33.72.% (PC1) un 23.39% (PC2), kas norāda uz atšķirībām sezonas laikā. Starp paraugiem ir novērojamas korelācijas pa vairākām grupām.

15. tabula / *Table 15*

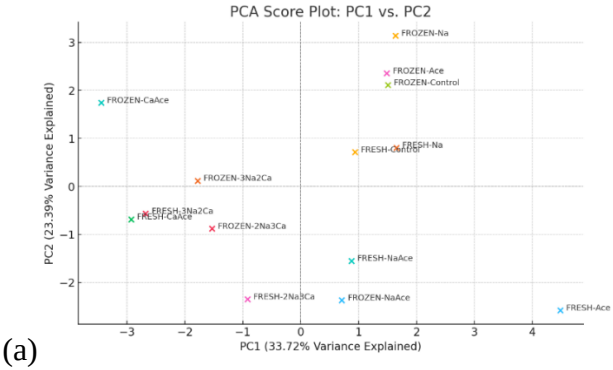
Multikritēriju lēmumu analīzes rezultāti kūpinātu brētliņu ražošanai no atvēsinātām un saldētām brētliņām /
The results of multi-criteria decision analysis for smoked sprats made from chilled and frozen sprats

Paraugi / *Samples*	**Atvēsinātas brētliņas / *Chilled sprats***						**Saldētas brētliņas / *Frozen sprats***					
	rudens/ *autumn*		**ziema / *winter***		**pavasaris / *spring***		**rudens/ *autumn***		**ziema / *winter***		**pavasaris / *spring***	
	Ranžējums / Assessment	**Vērtība / *Value***	***Ranžējums / Assessment***	**Vērtība / *Value***	***Ranžējums / Assessment***	**Vērtība / *Value***	***Ranžējums / Assessment***	**Vērtība / *Value***	***Ranžējums / Assessment***	**Vērtība / *Value***	***Ranžējums / Assessment***	**Vērtība / *Value***
Control	*3*	1.73	*3*	1.61	*3*	1.71	*4*	1.82	*5*	1.84	*4*	1.85
Na	*6*	2.80	*6*	2.94	*6*	2.94	*6*	2.91	*6*	2.74	*6*	3.02
3Na2Ca	*1*	0.84	*1*	0.98	*1*	1.02	*1*	0.85	*1*	1.10	*1*	1.10
2Na3Ca	*4*	1.8	*5*	1.93	*5*	2.15	*3*	1.66	*3*	1.74	*5*	1.93
Ace	*7*	3.88	*7*	3.71	*7*	3.34	*7*	3.80	*7*	3.98	*7*	3.96
NaAce	*5*	2.00	*4*	1.91	*4*	1.87	*5*	1.91	*4*	1.76	*3*	1.82
CaAce	*2*	1.05	*2*	1.17	*2*	1.25	*2*	1.1	*2*	1.18	*2*	1.20

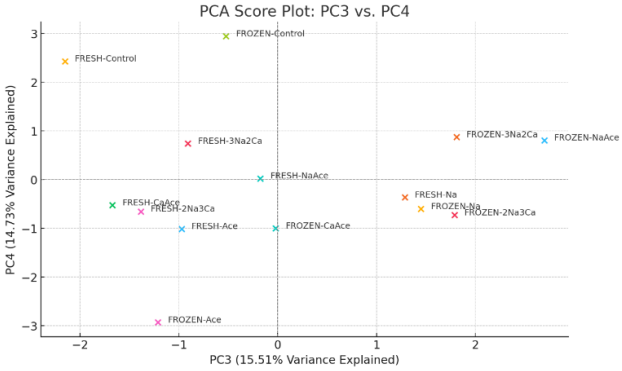
Paraugi apzīmēti ar saīsinājumiem, kas nav tieši saistāmi ar ķīmiskajiem simboliem. Ranžējums: 1 – vislabākais novērtējums; 7 – vissliktākais novērtējums. / *The samples are marked with abbreviations that are not directly related to chemical symbols. Assessments: 1 – the best result; 7 – the worst result.*

Paraugu sadalījumu pa galvenajām komponentēm, kur saldēto brētliņu apstrādes paraugi un atvēsināto brētliņu apstrādes paraugi veido atšķirīgas kopas, norāda, ka apstrādes metodes būtiski ietekmē produkta fizikāli-ķīmiskās īpašības. Tā kā saldēto brētliņu paraugi ir ciešāk grupēti, tas norāda uz lielāku strukturālo stabilitāti visā datu kopā. Taču atvēsināto brētliņu apstrādes paraugi ir vairāk izkliedēti, kas norāda uz lielāku fizikālo īpašību izkliedi sezonas laikā, īpaši atzīmējot tādus rādītājus kā mitrums un krāsa. Galvenais komponents (PC1) norāda, ka ar struktūru saistītās īpašības (griešanas spēks un bīdes darbs) ir galvenais faktors, kas ietekmē un atšķir paraugus, savukārt PC2 ir kūpināšanas

zudumi, nožuvums, pH un mitruma saturs. Mitruma saturs, pH vērtība un nožuvums cieši korelē ar PC2, kas nozīmē, ka tam ir sezonālas ietekmes radītās izmaiņas. Strukturālās īpašības un krāsu parametri vairāk ietekmē PC1, norādot to nozīmi apstrādes metožu atlasē. Savukārt 3.b att. norāda uz detalizētākām variācijām starp paraugiem. Struktūras un krāsas izmaiņas sezonā parādās izteiktāk, jo paraugi maina pozīciju lokācijas starp sezonām. Atvēsināto brētliņu paraugi atspoguļo lielākas atšķirības starp PC3 un PC4, kas nozīmē, ka struktūra un krāsa vairāk mainās atvēsināto brētliņu paraugos, salīdzinot ar saldētu brētliņu paraugiem.



(a)



(b)

3. att. **PCA diagramma – (a) paraugu sadalījums pa komponentēm un (b) papildus to analīze PC3 vs PC4** / *Fig. 3.* ***PCA Score – (a) Sample distribution in the principal component space; (b) PC3 vs. PC4 Score Plot – Additional analysis to observe more detailed variations***

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, pētījumā secināts, ka saldēto brētliņu paraugiem ir augstāka struktūras stabilitāte, bet atvēsināto brētliņu paraugiem

fizikāli ķīmiskās īpašības. Atvēsināto brētliņu paraugi ir daudz vairāk atkarīgi no ārējiem faktoriem (uzglabāšanas apstākļiem un pašas izejvielas kvalitātes) nekā saldēto brētliņu paraugi, līdz ar to kvalitātes kontrole tieši atvēsinātajām brētliņām ir būtiskāka.

Kūpinātās brētliņas no atvēsinātām un saldētām brētliņām, ja tiek izmantota apstrāde kā paraugam *Na*, ir līdzīgas. Būtiski atšķiras paraugs no saldētām brētliņām, kura apstrādei izmantots kalcija hlorīds kombinācijā ar etiķskābi (*CaAce*) un no atvēsinātām brētliņām paraugs *2Na3Ca*. Kūpināto brētliņu ražošanā no saldētām brētliņām piemērotākā pirmapstrāde – rudenī un ziemā kā paraugiem *2Na3Ca*, bet pavasarī, kā paraugam *NaAce*.

SECINĀJUMI

1. Pētījumā iegūtie rezultāti apstiprina hipotēzi, ka sezonāli mainīgo kūpināto brētliņu kvalitāti iespējams stabilizēt, izmantojot pirmapstrādes līdzekļus.
2. Pastāv sakarība starp mitruma un tauku saturu Baltijas brētliņās, kur visaugstākais tauku saturs 19.2 g 100 g^{-1} un viszemākais mitruma saturs 62.4 g 100 g^{-1} konstatēts nozvejas sezonas sākumā (rudenī), bet nozvejas sezonas beigās (pavasarī) tajās ir visaugstākais mitruma saturs 70.0 g 100 g^{-1} un viszemākais tauku saturs 12.1 g 100 g^{-1}.
3. Olbaltumvielu saturs brētliņās sezonas laikā ir stabils, bet daļēji aizvietojamo aminoskābju (glutamīnskābe, asparagīnskābe) saturs samazinās nozvejas sezonas laikā.
4. Baltijas brētliņās ir augsts mononepiesātināto un polinepiesātināto taukskābju saturs, kas sezonas laikā mainās. Taukskābju frakciju kvalitātes indeksi norāda, ka labāka uzturvērtība ir rudenī nozvejotām brētliņām, kur aterogēnā un trombogēnā indeksa vērtības ir viszemākās.
5. Kūpināto brētliņu sensorais novērtējums ir līdzīgs zivīm, kas ražotas no atvēsinātām un saldētām brētliņām, taču tas būtiski mainās sezonas laikā un pirmapstrādes līdzekļu ietekmē.
6. Kūpināšanas zudumi un nožuvums kontroles paraugam bija līdzvērtīgi kūpinātām brētliņām, kas ražotas no atvēsinātām vai saldētām brētliņām, ap 30%, un nožuvums ap 1.6% līdz 1.8% pēc 24 h uzglabāšanas. Izmantojot apstrādi ar etiķskābi, ir iespējams samazināt kūpināšanas zudumus, ja izmanto atvēsinātās brētliņas un, izmantojot nātrija hlorīda un etiķskābes kombināciju, ja izmanto saldētas brētliņas. Nožuvumu ir iespējams samazināt līdz 0.3–0.4%, izmantojot nātrija un kalcija hlorīdu kombināciju kā atvēsinātām, tā saldētām brētliņām. Savukārt, ja izmanto apstrādi ar etiķskābi, strauji pieaug nožuvums līdz 4.8–4.9%.
7. Pielietojot pirmapstrādes līdzekļus iespējams sekmēt garāku kūpināto brētliņu derīguma termiņu. Izmantojot etiķskābi vai kalcija hlorīda un

etiķskābes kombināciju, ir iespējams vairāk kavēt MAFAM skaita palielināšanos vienas nedēļas uzglabāšanas laikā.

8. Izmantotais pirmapstrādes līdzeklis būtiski ietekmē kūpināto brētliņu pH un sāls saturu, taču mazāk ietekmē mitruma saturu un ūdens aktivitāti. Kūpinātu brētliņu pH gan no atvēsinātām, gan saldētām brētliņām ir līdzīgs.
9. Gaišākas kūpinātās brētliņas var iegūt, izmantojot apstrādi ar nātrija hlorīdu vai tā kombināciju ar etiķskābi. Saldētās brētliņas ir gaišākas, ja tās nozvejotas rudenī un ziemā, bet atvēsinātās brētliņas ir gaišākas, ja tās nozvejotas pavasarī.
10. Stingrākas pēc struktūras kūpinātās brētliņas var iegūt, izmantojot kalcija hlorīda un etiķskābes kombināciju. No atvēsinātām brētliņām saražotajām kūpinātajām brētliņām ir stingrāka struktūra nekā no saldētām brētliņām ražotajām kūpinātajām brētliņām.
11. Pēc kūpināto brētliņu kvalitātes rādītāju multikritēriju izvērtējuma ir konstatēts, ka visatbilstošākās kūpinātās brētliņas tiek iegūtas, ja izmanto pirmapstrādi ar nātrija hlorīda un kalcija hlorīda kombināciju vai kalcija hlorīda kombināciju ar etiķskābi.

PRIEKŠLIKUMI

1. Lai uzlabotu kūpinātu brētliņu kvalitātes rādītājus sezonas ietvaros, ražojot tās kā no atvēsinātām, tā arī no saldētām brētliņām, var pielietot pirmapstrādes līdzekļus, kuri attiecīgi ir jāpielāgo pēc nozvejas perioda, ko galvenokārt raksturo izejvielas mitruma un tauku saturs.
2. Lai iegūtu vislabākos sensoros rādītājus kopvērtējumā (struktūru, garšu, pēcgaršu, aromātu un krāsu), svaigas brētliņas ieteicams apstrādāt ar nātrija hlorīda un etiķskābes maisījumu, bet saldētas ar nātrija hlorīda un etiķskābes vai kalcija hlorīda un etiķskābes maisījumu.
3. Lai samazinātu kūpināšanas zudumus zem 30%, ražošanas procesā ir ieteicams izmantot etiķskābi, kā pirmapstrādes līdzekli, ja ražošanā izmanto atvēsinātas brētliņas, tādējādi kūpināšanas zudumus ir iespējams samazināt līdz 22%. Ja izmanto saldētas brētliņas, rekomendēts pielietot nātrija hlorīdu kombinācijā ar etiķskābi, kur kūpināšanas zudumi ir 26%.

PATEICĪBAS

Pateicība par atbalstu no projekta "Zinātniskās kapacitātes stiprināšana LLU" Nr. 3.2.-10/123, projekts Z43 "Kūpinātu zivju kvalitāti noteicošie faktori".

Pateicība par iespēju veikt eksperimentālo daļu zivju pārstrādes ražošanas uzņēmumā NS Estate, lai izgatavotu pētījumam nepieciešamos paraugus.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

In Latvia, one of the traditional and popular types of fish products is smoked fish. Various species of fish are used for smoking, including sprats. Baltic sprats (*Sprattus sprattus balticus*) are seasonal fish that are caught from the end of September or the beginning of October until the end of April or the beginning of May, taking into account external environmental factors such as water temperature and fish spawning time. They are an important source of protein and lipids (Babikova et al., 2020) and can provide at least 20% of the protein required in the human diet (Mohanty et al., 2019). It is known that the quality of fish during the fishing season is variable and depends not only on the quality of the raw material but also on the fishing method and storage conditions (Usydus et al., 2012; Sabu and Sasidharan, 2020). The variable quality indicators of fish affect their usability in production, taking into account not only seasonality, but also the type of processing (chilled or frozen raw material).

Existing literature includes research on Atlantic fish species (Pop and Frunză, 2015; Dawson et al., 2018), their smoking processes (Costa, 2016; Sutikno et al., 2019), and various processing methods aimed at improving quality (Huong, 2014; Ruiz-Alonso et al., 2021). Additionally, studies have examined different techniques for sardine processing and their practical applications (Kilinc and Cakli, 2004; Saldanha et al., 2008). However, there is a notable lack of information regarding Baltic sprats, which are widely available across much of Europe, particularly in relation to their seasonal quality variability. While some studies have described seasonal changes in the lipid and fatty acid composition of sprats and other Atlantic fish species (e.g., mackerel, salmon), comprehensive analyses of the seasonal variation in their overall chemical composition – including lipid, protein, amino acids, and moisture content – remain limited. Furthermore, the correlation between these compositional changes and key quality parameters of smoked sprats, such as texture, colour, and microbiological characteristics, has not been thoroughly investigated.

As the quality of sprats varies throughout the fishing season (Timberg et al., 2011; Usydus et al., 2012; Merdzhanova et al., 2018), it is necessary to identify processing methods using pre-treatment agents that can ensure consistent quality in both chilled and frozen sprats. A substantial body of research exists on the effects of salt and acids on fish muscle tissue (Zheng et al., 2019; Babikova et al., 2020; Ruiz-Alonso et al., 2021; Astruc et al., 2022). However, there is a lack of data regarding how the application of these agents prior to smoking influences the quality of the final product – particularly in terms of sensory attributes, microbiological parameters, pH, colour, and texture – and how these effects may vary depending on the fishing period.

The **hypothesis** of doctoral thesis.

The seasonally variable quality of smoked sprats can be effectively stabilized through the application of pre-treatment agents – acetic acid, sodium chloride, and calcium chloride.

The hypothesis of the doctoral thesis was substantiated through the following **defendable theses**.

1. The seasonal variation in the chemical composition of sprats significantly affects the quality parameters of smoked sprats.
2. The impact of pre-treatment agents on the quality indicators of smoked sprats differs depending on whether chilled or frozen fish are used as raw material.
3. The use of suitable pre-treatment agents during the fishing season enables for the stabilization of smoked sprat quality indicators, regardless of whether the production utilizes chilled or frozen sprats.

The **research object** of the doctoral thesis is chilled and frozen Baltic sprats (*Sprattus sprattus balticus*), as well as smoked sprats.

The **aim** of the doctoral thesis is to investigate the factors influencing the quality of smoked sprats in relation to seasonal variation in chilled and frozen sprat quality, and to identify appropriate pre-treatment agents for ensuring product consistency.

To achieve the aim of the doctoral thesis, the following **research objectives** have been set:

1) to evaluate the seasonal changes in the physical properties and chemical composition of sprats;
2) to compare the seasonal variations in the texture, colour, and technological parameters (smoking loss, drying loss) of smoked sprats produced from chilled or frozen raw material;
3) to assess the impact of pre-treatment agents on the quality indicators of smoked sprats;
4) to evaluate the influence of pre-treatment agents on the sensory and microbiological properties of smoked sprats, as well as their shelf life.

Novelty and scientific significance of the doctoral thesis. For the first time in Latvia, a study has been conducted on ensuring the quality parameters of smoked sprats throughout the fishing season. The research evaluates the differences in physical indicators (pH, water activity, texture, colour) and chemical composition (moisture, lipids, fatty acids, protein, and amino acid content) of Baltic sprats (*Sprattus sprattus balticus*) both chilled and frozen during the fishing season. The influence of these parameters on the quality of

smoked sprats was investigated, as well as the relationship between these factors and the application of pre-treatment agents.

Economic significance of the doctoral thesis. The application of various pre-treatment agents throughout the fishing season offers the potential to improve the production yield of smoked sprats by reducing technological losses, while also ensuring the consistency of quality parameters across different seasonal conditions.

Structure of the doctoral thesis. The doctoral thesis comprises five thematically interconnected scientific publications; all published in peer-reviewed journals indexed in the Scopus or Web of Science databases. The first publication (I) presents a literature review summarizing factors affecting the quality of smoked fish. It characterizes chilled and smoked sprats, discusses the processes of fish freezing and thawing, describes pre-treatment methods (salting, marinating). The review also explores how these methods affect the chemical composition and properties of fish, and offers an overview of smoking techniques. The second publication (II) analyses the seasonal variation in chemical composition of sprats harvested during different fishing periods (autumn, winter, and spring). It evaluates how these seasonal variations influence the texture and colour of smoked sprats. The third publication (III) evaluates the effects of different pre-treatment agents on the quality of smoked sprats. It includes sensory analysis, assessment of technological losses associated with the processing methods, and characterization of the physical parameters of smoked sprats. The fourth publication (IV) examines the influence of pre-treatment agents on the physical and microbiological changes in fish caused by the use of these agents. The fifth publication explores (V) how the use of pre-treatment agents (such as salting and marinating) interacts with seasonal variation to affect the quality of smoked sprats. It emphasises changes in texture and colour across different fishing periods.

The doctoral thesis has been developed as a coherent set of publications, incorporating research materials presented in five scientific articles. The research results obtained in the thesis indicate that the use of pre-treatment agents is effective in improving the quality of smoked sprats, using both chilled and frozen sprats in production.

The development of the doctoral thesis was supported by funding from the LBTU program “Strengthening Scientific Capacity at LLU,” project Z43.

APPROBATION OF THE SCIENTIFIC WORK

Research results are **published in five scientific articles** in issues indexed in Scopus or Web of Science databases. **Research results have been presented at six international scientific conferences** in Latvia, Lithuania, Switzerland, and North Macedonia (see the list on pages 6–7).

Glossary of the terms used in the thesis.

In the current thesis, the sample abbreviations are chosen to enhance readability and comprehension; however, they do not correspond directly to standard chemical symbols.

Pre-treatment. Within the scope of this doctoral thesis, pre-treatment refers to the activities aimed at improving quality of the final product, ensuring stability and production efficiency. It includes the treatment of chilled or frozen and subsequently thawed Baltic sprats before smoking with solutions of pre-treatment agents (pickling, brining).

Pre-treatment agents. Within the scope of this doctoral thesis, pre-treatment agents refer to sodium chloride (NaCl), calcium chloride ($CaCl_2$), and acetic acid (CH_3COOH) in various proportions, dissolved in drinking water to obtain a solution of specific concentration.

MATERIALS AND METHODS

The research of this doctoral thesis was carried out between September 2019 and June 2025 at the Latvia University of Life Sciences and Technologies (LBTU), as well as at the fish processing company NS Estate. In the company, smoked Baltic sprats were produced from both chilled and frozen raw material, using pre-treatment agents. These smoked products were subsequently analysed in the laboratories of both LBTU and JH Hamilton Baltic. The experimental design is summarized in Table 1.

Materials used in the research and sample preparation

The study utilized Baltic sprats (*Sprattus sprattus balticus*) caught in the Baltic Sea, FAO fishing area 27. III. D. 28.2, corresponding to the southern part of the Riga Gulf in the central Baltic Sea. The fishing method employed was pelagic trawling (OTM).

Chilled sprats were delivered to the processing company within 48 hours of capture during the fishing season, ensuring that the internal temperature of the fish remained at 2 ± 2 °C. The fish met A grade freshness category and size category 1. Prior to processing, the sprats were stored for up to 12 hours in containers with ice in a 1:3 fish-to-ice ratio, in a cold storage conditions maintained at 2 ± 2 °C.

Frozen sprats were stored at –18 ± 1 °C with a relative air humidity of 75 ± 5%, for up to 12 months from the time of harvest. The fish were immediately frozen using shock freezing, forming 10 kg blocks, with the core temperature of the block reaching at least –18 °C (publication III). Thawing was performed using a water steam spray system at 100 °C, until the core temperature of the block reached 0 °C.

The following fish **pre-treatment agents** were used in the study:

- acetic acid – food additive (CH_3COOH), E260, solution containing 80% acetic acid, purchased from the supplier Company Safrans, Riga, Latvia;
- $CaCl_2$ – granulated $CaCl_2$ containing 97% of the substance, E509, from the manufacturer Lachner, Czech Republic;
- NaCl – table salt Ekstra, from the manufacturer Mozyrsalt, Belarus.

To prepare the treatment solution, various previously mentioned pre-treatment agents were mixed with cold water (without ice) in a specific ratio (Table 2), stirred until all substance was homogeneously mixed with the water and dissolved, in the case of NaCl un $CaCl_2$.

Sprats (not less than 1000 g) are immersed in the solution at a ratio of 1:2 (fish : solution) for 30 minutes and manually stirred periodically, but no less frequently than every 5 minutes. The temperature of the mixture should not exceed 4 °C. For the *Control* sample, no pre-treatment agents are used, and the sprats are placed on skewers immediately after defrosting and transferred for thermal processing. After soaking in the prepared solution of pre-treatment agents, the fish are skewered (10 fish per skewer) and hot-smoked in a batch operating smoking chamber (*Reich Foodsystems*, Germany) (Publication II).

Selection of pre-treatment agents based on sensory evaluation

In the first part of the study, in order to select combinations of pre-treatment agents, sensory evaluation of smoked sprats was carried out using the Just About Right (JAR) method. This method is supported by internationally recognized standards, both ISO (ISO 13299:2016; ISO 11136:2014) and ASTM (ASTM E1490-12(2017); ASTM E253-12(2008)), which recommend a panel of 8 to 12 experts. Sensory evaluation was performed on 22 smoked sprat samples, processed in different ways, to select the most suitable ones for further research. A total of 11 types of smoked sprats made from chilled fish and 11 samples made from frozen fish were selected.

In the second part, sensory evaluation was continued for six pre-treatment variants that have received the most appropriate evaluation in the first stage, as well as for one control sample (*Control*), which had not undergone any pre-treatment before smoking (Publication III). The smoked fish samples were analysed using JAR method, evaluating sensory indicators such as aroma, colour, texture, and taste, determining both the intensity and the degree of appropriateness of these attributes. The sensory characteristics of each sample

were assessed using 5-point scale, where 1 indicates “too little,” 5 indicates “too much,” and 3 indicates “just about right”.

Methods for chemical and physical analysis of chilled and frozen sprats

For chilled and frozen sprats caught during the fishing season (at the beginning, middle, and end of season), the following parameters were determined: moisture content, pH, protein content and amino acid composition, lipid content, and fatty acid composition. Smoked sprats were evaluated through sensory analysis and measurement of technological losses, pH texture, colour, microbiological indicators, moisture content, and water activity.

Fish pH was analysed using a JENWAY 3520 pH meter (Jenway, EU). Each sample was analysed three times. Moisture content was determined using the standard method ISO 1442:1997. Water activity was determined according to the PN-ISO 21807:2005 standard method.

Lipid and protein contents were analysed in both chilled and frozen sprats. Lipid content was determined using ISO 1443: 1973, and protein content was analysed based on the Kjeldahl method, using a nitrogen conversion factor of 6.25, assuming that the average nitrogen content in proteins is 16% (Hayes, 2020). Total amino acid content was determined in accordance with the PB – 53/HPLC ed. II of 30.12.2008 method, which involves total amino acid composition analysis using high-performance liquid chromatography (similar to ISO 13903:2005, ISO20483:2013). For tryptophan determination, the PB – 53/HPLC ed. II of 30.12.2008 method (ISO 17025) was used, which includes alkaline hydrolysis followed by neutralization and filtration. The analysis was performed using high-resolution liquid chromatography with a UV detector.

Total fatty acid content in chilled sprats was analysed using gas chromatography after fatty acid transmethylation under alkaline conditions, following PN-EN ISO 12966-1:2015-01; PN-EN ISO 12966-2:2017-05; PN-EN ISO 12966-4:2015-07 standards. Based on the proportions of fatty acids in the lipid fraction, they were characterised using the index of atherogenicity (IA); the index of trombogenicity (IT), and the hypocholesterolemic to hypercholesterolemic fatty acid ratio (HH), originally developed by Ulbricht and Southgate (1991) (Publication II).

Microbiological analysis of smoked sprats

The selection of smoked sprat samples was carried out randomly from sample storage boxes after one day, one week, and two weeks. Microbiological analysis was performed according to standard methods summarized in Table 3 (Publication IV). The testing was conducted in an accredited laboratory J. S. Hamilton (Poland).

Physical methods for smoked sprat analysis

Smoking losses (SL) are the main technological parameter that can characterize the yield of the produced product. Smoking losses are calculated using the weight before and after processing, according to Formula 1.

$$SL, \% = \frac{(m_0)-(m_1)}{(m_0)} \times 100 \quad (1.)$$

where:

SL – smoking losses, %;
m_0 – weight before smoking, g;
m_1 – weight after smoking, g.

After smoking, during storage in the chamber, the fish undergo **moisture loss (ML)**, which is most significant during the first 24 hours, so it is important to minimize it. ML is calculated using Formula 2.

$$MZ, \% = \frac{(m_0)-(m_1)}{(m_0)} \times 100 \quad (2.)$$

where:

MZ – moisture losses, %;
m_0 – weight before storage, g;
m_1 – weight after storage, g.

To determine technological losses, each processing method is tested in at least three batches, each not less than 200 g.

To determine **water activity**, the standard method ISO 18787:2017 was used. For determining **moisture content**, the gravimetric method was applied. To determine **salt content**, a conversion factor (Na × 2.5) was used. For **pH** measurement, a JENWAY 3520 pH meter was used.

Texture analysis of smoked sprats. Texture analysis was performed using a TA.HD.Plus texture analyser (Stable Microsystems, United Kingdom) equipped with a *Warner-Bratzler* flat blade (1 mm thick, blade dimensions 60 × 80 mm). Each smoked sprat was dissected to remove the backbone, yielding two separate fillet portions with a maximum width of 10 mm. Prior to analysis, the width of each fillet was measured and the value was input into the analyser software to ensure accurate measurement parameters. For each processing method, the analysis was conducted on a minimum of seven fillets.

Colour analysis of smoked sprats. For the colour analysis of smoked sprats, the fish were placed on a wooden board covered with polyethylene film. Another layer of polyethylene film was placed over the fish before conducting the measurement. Colour was measured using the ColorTec–PCM device (Accuracy Microsensors Inc., USA) with the accompanying Color-Tec – Color Sowf QCW software. The results were expressed in the CIE (L*a*b*) colour space. In addition to the basic colour parameters, the Chroma index (*C**) – which

represents colour saturation – was also calculated using the a* and b* values. Additionally, the hue angle (H_0), representing the relative hue of the colour in degrees, was calculated.

Statistical Analysis

All results are presented as mean values. Means and standard deviations (SD) were calculated using MS Office Excel 2016.

Sensory evaluation data were processed using Penalty Analysis (XLSTAT 2020), based on multiple correspondence analysis of the Just-About-Right (JAR) scale. This method was used to evaluate colour, taste, aftertaste, aroma, and texture of smoked sprats. For sensory data analysis, the software XLSTAT 2020 (Addinsoft, USA) was used.

To assess the impact of seasonality and pre-treatment agent on the colour and texture of smoked sprats, one-way and multi-factor analysis of variance (ANOVA) was performed. Sample comparisons were carried out using the t-test or Post Hoc Tukey test and Post Hoc LSD (IBM SPSS Statistics, Version 28.0.1.1. (15)) (SPSS Inc., Chicago, Il, USA), with as indicated in the tables and figures.

To evaluate the influence of multiple factors on the quality of smoked sprats – produced from either chilled or frozen fish – as well as to assess the seasonal impact, multi-criteria decision analysis (MCDA) was applied. The main quality indicators were determined based on the percentage contribution value (Table 4). In the first stage of the MCDA, the results were ranked according to the total score. A lower score indicated a higher overall product quality.

To identify differences between variable quality indicators, correspondence analysis (CA) was also used. This method incorporated categorical data rather than numerical measurements to analyse relationships between categorical variables. Differences were further assessed using the t-test ($p \leq 0.05$).

A more in-depth numerical data analysis using Principal Component Analysis (PCA) was performed with Python Release 3.9.0, utilizing Scikit-learn library and Matplotlib for data visualisation. The data were processed using Z-score normalization to eliminate the influence of variable scales and ensure comparability.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Variation in the Chemical Composition of Chilled Sprats Across the Fishing Season

The study data indicate that the highest lipid content in Baltic sprats was observed at the beginning of the fishing season (autumn), reaching 19.2 g 100 g^{-1}, whereas at the end of the season (spring) , the highest moisture content was recorded – up to 70 g 100 g^{-1} (Table 5). At the lowest moisture content

62.4 ± 1.2 g 100 g^{-1}, the lipid content was the highest 19.2 ± 1.3 g 100 g^{-1} and vice versa, which is consistent with the findings of Timberg et al. (2011). The study data also reflected a relatively stable protein content throughout the season (Table 5), ranging from 16.4 ± 1.3 g 100 g^{-1} at the beginning of fishing season to 16.8 ± 1.3 g 100 g^{-1} at the end. A similar trend was observed in the study by Usydus et al. (2012), where protein content varied slightly – from 17.06 g 100 g^{-1} in spring to 16.61 g 100 g^{-1} in autumn.

Correspondence analysis (Fig. 1) illustrates the relationship between chemical properties (lipid, fatty acid, protein, and amino acid content) and moisture content in relation to different fishing periods (spring, winter, autumn). Moisture content and *n*-3 fatty acid content were the most influential contributors to the first dimension (F1), each with a contribution of 0.252. In contrast, protein content had the most significant contribution to the second dimension (F2), with a value of 0.522. The correspondence analysis indicates a linear inverse relationship between moisture and lipid content, as they are represented in opposing quadrants. The chemical composition of fish caught during winter and spring was similar, with both fishing periods located on the left side of the correspondence plot. Fish caught in autumn, however, exhibited more pronounced differences compared to the other analysed samples. Protein forms a distinct vector directed toward the positive F2 axis, indicating an independent contribution. This vector is more closely associated with the spring season (3), during which the highest protein content was observed.

During the fishing season, the *n*-3 fatty acid content in sprats varied depending on the catch period (Publication II). At the beginning of the season, it was 6.3 ± 0.8 g 100 g^{-1}, whereas by the end of the season, it had decreased to 1.9 ± 0.2 g 100 g^{-1} (Table 6). The total fatty acid content declined throughout the fishing season.

Changes in the nutritional value of fatty acids are reflected by three indices – the index of atherogenicity (IA); the index of trombogenicity (IT), and the hypocholesterolemic to hypercholesterolemic fatty acid ratio (HH). The IA indicates the ratio between the sum of saturated and unsaturated fatty acids. In sprats, the IA increased from 0.43 ± 0.04 in autumn to 0.66 ± 0.04 in spring. In comparison, Chen & Liu (2020) reported a higher IA value of 0.70 for Atlantic herring (*Clupea harengus*). Higher IA values suggest a less favourable effect on human lipid metabolism. The IT index represents the ratio of saturated fatty acids to the content of MUFA, *n*-3 and *n*-6 fatty acids. The HH index indicates the effect of fatty acids on blood cholesterol levels – specifically, whether a particular lipid source contributed to cholesterol reduction or elevation. According to the study data, the HH index in sprats ranged from a low of 2.44 in winter to a high of 2.52 in autumn, suggesting that sprats caught in autumn offer better nutritional value according to this index. Chen & Liu (2020) noted that for fish in general, the HH index typically ranges from 1.54 to 4.83. The lowest IA

and IT values were observed in sprats caught in autumn, when the HH index was the highest, further indicating superior nutritional quality during this period.

The total content of essential amino acids in sprats caught in autumn was 6.25 ± 0.36 g 100 g^{-1}, while in spring it was 6.11 ± 0.35 g 100 g^{-1} (Table 7), confirming the stability of protein and amino acid content throughout the fishing season.

Regardless of the fishing period, the most abundant amino acids identified in the study were glutamic acid, aspartic acid, and among the essential amino acids – lysine and leucine. Similar findings were reported by Usydus et al. (2009), noting that the majority of amino acids in smoked sprats are composed of aspartic and glutamic acids. Comparable data were also presented by Özden (2005), who found that in marinated and chilled trout and anchovies, lysine, aspartic acid, and glutamic acid together accounted for 31% of the total amino acid content. In chilled sprats, the amino acid alanine was detected in small amounts, while the glycine content showed a slight increase in spring during the course of the fishing season.

2. Selection of Pre-treatment Agents

The weakest aroma intensity was observed in samples treated with equal proportions of sodium and calcium chloride (*NaCa*), as well as in samples treated with a combination of sodium and calcium chlorides and acetic acid (*3Na2CaAce*). In contrast, an overly intense aroma was recorded in the sample 3Na3CaAce.

When comparing the taste of smoked sprats prepared from chilled and frozen raw materials, the samples *Ace* and *3Na3CaAce* received ratings of "too much," being characterized as sour, metallic, and bitter. The sample *3Na2CaAce* exhibited the lowest taste intensity, receiving a "too little" rating.

In terms of texture parameters (consistency, firmness, elasticity), the untreated control samples were rated as having the firmest texture, which was considered "too much." The most appropriate texture was observed in the samples *CaAce* and *NaAce*, likely due to a balanced presence of acids and salts. The sample *3Na2CaAce* showed the least appropriate texture, being rated as "too soft." Samples treated with NaCl had firmer texture, aligning with findings by Bjørnevik et al. (2018). Additionally, in treatments using $CaCl_2$, water expulsion from tissues and salt diffusion into tissues was observed, while acid addition increased ionic strength within cells, resulting in a firmer texture (Serdaroglu et al., 2015).

An overly intense aftertaste was found in the control samples, especially in smoked sprats made from chilled fish. For sprats smoked using sodium and calcium salts combined with acetic acid (*3Na3CaAce*), the aftertaste was rated as "far too much."

The most acceptable colour was observed in the control sample (without pre-treatment), in the sample treated with calcium chloride (*Ca*), and in *3Na3CaAce*.

The *NaCa* samples showed a less intense colour compared to samples *CaAce*, *NaAce*, and *2Na3Ca*.

Samples considered unsuitable for further evaluation included *3Na3CaAce*, *3Na2CaAce*, *Ca*, and *NaCa*. None of these samples received a "just right" rating for sensory parameters, and visible defects such as peeling skin were noted after smoking. Additionally, samples treated with *Ca* and *NaCa* exhibited a distinctly bitter aftertaste. Therefore, these four sample types were deemed unsuitable for further research.

In the following study phase, the effects of selected pre-treatment agents on the sensory properties of smoked sprats were analysed. The applied pre-treatment agents significantly influenced the sensory characteristics of smoked sprats (Publication III). While pre-treatment can improve sensory quality, it must be tailored to the catch period, as the chemical composition of the fish changes seasonally, affecting the final product properties.

Regarding colour of smoked sprats produced from chilled fish, the most appropriate samples were *CaAce* and *Ace*, while the least pronounced colour was found in the control and *Na* samples. The best texture was rated in *3Na2Ca* and NaAce, whereas the texture in *Ace* was rated as "too firm." The most favourable aroma was observed in *NaAce* and *2Na3Ca*, and the least intense aroma was recorded in the *Na* sample. In terms of taste, the best-rated samples were *3Na2Ca* and *NaAce*, while the control sample received a "too little" evaluation.

Among smoked sprats produced from frozen fish, the best colour was noted in the samples *2Na3Ca*, *Ace*, and *CaAce*. The most appropriate texture was found in *3Na2Ca*, *NaAce*, and *CaAce*, while the texture of *Ace* was rated as "too firm," similar to when using chilled fish. Aroma was best evaluated in *NaAce* and *2Na3Ca*, whereas the control sample received a "too little" rating. The best taste was recorded in *CaAce*, *2Na3Ca*, and *3Na2Ca*, while the control sample again received a "too little" evaluation.

Based on sensory assessment, the most suitable smoked sprat samples in terms of colour were those pre-treated with a combination of sodium and calcium chloride (*2Na3Ca*), as well as with calcium chloride and acetic acid (*CaAce*). These results were consistent whether chilled or frozen sprats were used as raw materials.

3. Changes in Microbiological Variables of Smoked Sprats

Microbiological indicators were analysed alongside with water activity, moisture content, salt content, and pH values in the fish (Publication IV). The application of pre-treatment agents altered the physicochemical parameters, creating unfavourable conditions for microbial growth on the surface of the tissue and further microbial diffusion. Consequently, the potential for extended shelf life was confirmed by the results obtained in the study.

The sample that spoiled the fastest – indicated by the highest total plate count (TPC) – was the control, which had not undergone any pre-treatment. By the

second week, the control sample exhibited the highest TPC among all samples 2.3×10^7 CFU g^{-1}. This sample also showed the highest pH 6.6, highest water activity (0.951), highest moisture content (67.5%), and lowest salt content (0.35%). In contrast, the lowest pH was observed in sample *CaAce (*pH 5.6), the lowest water activity in samples *3Na2Ca* (0.937) and *CaAce* (0.946), and the lowest moisture content in samples *2Na3Ca* (61.5%) and *CaAce (*61.7%). The highest salt content was recorded in sample *3Na2Ca* (0.90%).

TPC increased slowly in smoked sprat samples *Ace* and *CaAce*, where acetic acid was used as a pre-treatment agent. After one week of storage, microbial counts in these samples did not exceed 5.2×10^2 CFU g^{-1} and 6.4×10^2 CFU g^{-1}, respectively. This aligns with findings by Sengun et al. (2021), which demonstrated that acids inhibit the development of yeasts and moulds. For chilled sprats, the TPC should not exceed 1×10^5 CFU g^{-1}, while in processed fish, the acceptable limit is 1×10^4 CFU g^{-1}. The use of pre-treatment agents can effectively inhibit mould development: after two weeks of storage, mould growth was detected only in control sample, at 1.0×10^2 CFU g^{-1}. In smoked fish, yeasts are more of quality indicator rather than safety issue. They are acceptable up to 1×10^5 CFU g^{-1}, provided that good manufacturing practice (GMP) and good hygiene practice (GHP) guidelines are followed.

The presence of pathogenic microorganisms such as *Pseudomonas anguilliseptica* or *Pseudomonas aeruginosa* is not acceptable in the product. Furthermore, no presence of *Clostridium perfingens, Vibrio parahaemolyticus*, as well as *Escherichia coli*, or *Bacillus cereus* was detected in any of the samples throughout the storage period, starting from the first day of testing. The growth and stability of *Pseudomonas* spp. are influenced by salt content and pH. Lower pH levels inhibit their development, which is supported by the results – particularly in samples treated with acid before storage.

4. Effect of Pre-treatment Agents on Physical Characteristics of Smoked Sprats

Pre-treatment agents have varying effects of the physicochemical parameters, as marinating or salting promotes the migration of acid and salt into the tissue, while simultaneously resulting in lower moisture content and pH in the product compared to the control sample, which was not treated with any pre-treatment agents.

4.1. Technological Losses During Smoking

Smoking losses and moisture loss during storage in the Control sample – without the use of pre-treatment agents – were comparable to those observed in smoked sprats produced from either chilled of frozen raw material. After smoking, the fish weight decreased by 30%, and after 24 hours, the product

weight further decreased by 1.6% to 1.8%, which was attributed to moisture loss (Table 8) (Publication III).

After soaking the fish in the pre-treatment agent solution, the fish weight may change within a 5% range. During the smoking process, part of the water evaporates, resulting in a reduction in product weight, while relative content of dry matter (including lipids, protein, and salt) increases (Lerfall & Østerlie, 2011). When using sodium chloride or its combination with acetic acid (samples *Na* or *NaAce*), only minor smoking losses were observed, but the moisture loss during storage increased. The presence of sodium chloride in the pre-treatment solution enhances protein solubility but reduces the water binding and water holding capacity due to protein denaturation (Abraha et al., 2018). The *Ace* sample showed the lowest smoking losses when chilled sprats were used. However, during storage, the *Ace* sample showed the highest moisture loss, regardless the type of raw material.

Overall, smoked sprats produced from chilled fish had slightly lower smoking and moisture losses compared to those made from frozen fish. In the *Na* sample (sodium chloride treatment), moisture loss reached 3.40 ± 0.34% in sprats from chilled fish and 3.50 ± 0.07% in sprats from frozen fish. When only acetic acid was used (*Ace* sample), the moisture loss reached the 5% threshold. The lowest smoking loss was recorded in sprats from chilled fish: 22.09 ± 0.09%, while the lowest smoking loss among samples from frozen fish was observed in the *NaAce* sample: 25.67 ± 1.54%.

4.2. The pH, Moisture Content, Water Activity and Salt Content in Sprats

Samples treated with pre-treatment agents showed a lower pH compared to the Control sample, which did not undergo any pre-treatment. Other parameters such as water activity, moisture content, and salt content also changes, and those are interrelated and show strong correlations. The pH of smoked sprats made from chilled fish was higher than that of those made from frozen fish and was closer to the natural pH of chilled fish during the 2020/2021 fishing season (Publication III). The pH of smoked sprats from chilled fish remained stable throughout the fishing season, whereas the pH of smoked sprats from frozen fish fluctuated, reaching its lowest value in spring (Table 9).

The natural pH of chilled fish is around 7, and during storage, it initially increases slightly (within 1–2 days), which is associated with the activity of alkaline enzymes (proteases) in muscle tissue. These autolytic enzymes begin to break down proteins and release ammonia (Abbas et al., 2008).

This study analysed the effect of various selected pre-treatment agents on the physical properties of smoked sprats caught in spring (Table 10) (Publication IV).

The pH of smoked sprats varies depending on the pre-treatment applied. The lowest pH was observed in the *CaAce* samples, where calcium chloride was used in combination with acetic acid. The *Control* sample had a pH level most similar to that of the *Na* sample, which was treated only with salt and did not contain acids that would otherwise cause a more pronounced pH drop. The application of pre-treatment agents increased the salt content in the final product and contributed to reduced pH and moisture content. Abbas et al. (2009) reported that while there were no significant differences in water activity and moisture content when using different pre-treatment agents, significant differences were observed in pH and salt content. Furthermore, a notable pH reduction was observed when calcium chloride was used, as it contains two Cl ions, which results in a lower pH than that seen with sodium chloride (Vidal et al., 2019).

The study found that the highest moisture content (67.5 ± 3.5 g 100 g^{-1}) was in the *Control* sample. Salts and acids affect proteins by promoting protein denaturation and salt migration into muscle tissues, thereby altering the moisture content of the product (Martinez et al., 2012). Additionally , the juiciness of the fish decreases because acids break down connective tissue and its membranes, reducing the water holding capacity (Ruiz-Alonso et al., 2021).

In the *Control* sample, salt content was 0.35 ± 0.07 g 100 g^{-1}. A lower salt content was only in the *Ace* sample, where only acetic acid was used – 0.32 ± 0.06 g 100 g^{-1}. The water activity in *Control* was 0.951 ± 0.026, while in the *3Na2Ca* sample, the salt content reached 0.70 ± 0.13 g 100 g^{-1}, and it had the lowest water activity 0.937±0.024. The presence of salt in fish affects water activity. The data from this study confirm that the higher salt content in the product, the lower the water activity – also noted by Ruiz-Alonso et al. (2021).

By using pre-treatment agents, it is possible to reduce water activity, which is a key indicator for microbial development in fish. The highest water activity was observed in the *Control* sample (0.951 ± 0.028). Similarly Babikova et al. (2020) reported that in marinated anchovies (*Engraulis anchoita*), water activity dropped to 0,94. In the literature, water activity for chilled sprats is around 0.97, while in chilled fish in general, it is around 0.99 – but during processing water activity usually decreases.

For the *Control* sample, which did not undergo any pre-treatment, pH changes throughout the season were minimal (Table 11), especially when compared to samples that were treated. In the *Ace* sample, pH dropped to 6.32 ± 0.03 in spring. In winter, pH reductions were observed in *3Na2Ca* un *2Na3Ca* samples, where in autumn, pH was 6.41 ± 0.05 un 6.11 ± 0.14, respectively. Babikova et al. (2020) noted that frozen and then thawed sprats had a pH of 6.87, which closely matches the values found in this study and may be influenced by seasonal variations, chemical composition, and the geographic location of the catch. The lowest pH was recorded in autumn in the *CaAce* sample; in winter, again in sample *CaAce*; and in spring, in the *NaAce* sample.

Using pre-treatment agents allows for reduction in pH, which impacts both microbiological parameters and the sensory properties of the product. Water content in tissues affects the transport and migration of treatment agents, thereby influencing the final product's pH. The application of calcium chloride or acetic acid causes greater pH changes than sodium chloride. The pH is a critical factor affecting the water-binding capacity of proteins in muscle tissues.

4.3. Effect of Pre-treatment Agents on Colour and Texture of Smoked Sprats

The smoked sprats that were treated with a mixture of sodium and calcium chloride were darker (i.e., had lower L* values), as shown in Table 12 – specifically, *L** for sample *3Na2Ca* was 45.58 ± 8.9 and 47.59 ± 13.9 for *2Na3Ca*. Their corresponding pH values were 6.0 ± 0.2 and 5.8 ± 0.2, respectively (Publication IV). These results contrast with findings by Chan et al. (2020), which indicated that a lower pH results in a lighter colour. A negative correlation was observed between the red colour parameter (a* value) and water activity ($r = -0.55$); lower water activity promotes increased red colour intensity. However, no correlation was observed between other colour parameters and physical characteristics.

Marination before smoking can improve fish quality parameters. Dhanapal et al. (2013) described that fish soaked in a 10% salt and acid solution for 60 minutes showed improvements in colour, texture, and sensory attributes – a finding also supported by this study, as reflected in the changes in colour components of sprats treated with pre-treatment agents compared to the *Control* sample.

When comparing the *Control* sample, which had a shear work of 1.27 ± 0.28 N mm^{-1} s and a cutting force 0.54 ± 0.12 N mm^{-1}, with a sample treated with acid – where the shear work was 1.75 ± 0.30 N mm^{-1} s and the cutting force 0.71 ± 0.14 N mm^{-1} – it was found that the texture became firmer. These structural changes may be explained by the increased strength of metal ion bonding (Çağlak, 2015) and the decrease in pH. The firmest texture was observed in sample *3Na2Ca*, with a shear work of 2.38 ± 0.92 N mm^{-1} s and a cutting force of 1.05 ± 0.49 N mm^{-1}. This can be attributed to the effect of salt on the water-binding capacity of proteins (Martinez et al., 2012) as well as acid migration into the tissue. A moderate negative correlation was observed between water activity and firmness, where increasing water activity led to a decrease in shear work ($r = -0.75$) and cutting force ($r = -0.78$).

Samples *2Na3Ca*, *3Na2Ca*, and *CaAce* made from chilled sprats had a firmer texture (Fig. 2), which aligns with findings from other researchers who confirmed that increasing salt concentration results in a firmer texture. Additionally, the use of acetic acid can enhance product firmness due to protein denaturation (Bjørnevik et al., 2018; Ruiz-Alonso et al., 2021).

Freezing affects the muscle structure of fish – the product becomes drier and loses its original fish texture (Andrews, 2014) – but this can be mitigated by using appropriate pre-treatment methods. According to the study results, moisture is lost during freezing but can be restored during the pre-treatment process. Data show that the textural parameters of smoked sprats made from frozen fish are similar to those made from chilled fish. However, sprats made from frozen raw material tend to differ slightly in taste, being somewhat more acidic compared to those made from chilled fish (Timberg et al., 2014).

Analysing the textural parameters (shear work and cutting force) overall, significant differences were observed between autumn and spring (Publication V). In autumn, the firmest texture was found in sample *Ace* (0.84 ± 0.23 N mm^{-1}); in winter, in sample *3Na2Ca* (1.05 ± 0.53 N mm^{-1}); whereas in spring, in sample *2Na3Ca* (1.27 ± 0.3 N mm^{-1}). The type and concentration of selected pre-treatment agents affect the quality parameters of smoked sprats differently across season. In samples *NaAce* and *CaAce*, the texture of smoked sprats becomes firmer over the season, which can be explained by changes in moisture content in the product and the effect of acid on fish muscle tissue (Chan et al., 2020).

5. Selection of Pre-treatment Agents Depending on Fishing Period

The shear work and cutting force are significantly influenced by the type of pre-treatment, the fishing period, and the interaction between both factors (Table 13). The use of acetic acid (*Ace*) and salt combination (*2Na3Ca*), showed a significant effect on shear work, yielding considerably higher values compared to the *Control* sample. The highest shear work was observed in season S3 (spring), especially with treatment using NaCl and $CaCl_2$. Salts and acids can improve texture by significantly increasing the cutting force (*2Na3Ca*, *CaAce*). The study also revealed a negative correlation between cutting force and pH value of smoked sprats ($r = -0.488$), which aligns with findings by Babikova et al. (2020), who reported that the firmest texture was observed in sprats with the lowest pH.

Based on the impact of pre-treatment agents and the fishing period, it is evident that the texture of smoked sprats in spring differs significantly from that of samples from the autumn and winter (Publication V). In autumn and winter, the use of salts – such as in samples *Na*, *2Na3Ca*, *NaAce* and *CaAce* – before smoking had no significant effect on texture, but by the end of season, there was a notable increase in shear work and cutting force, indicating a firmer texture. This seasonal effect may be associated with the higher moisture content in fish during spring, which enhances salt migration into the tissues. As Gomes et al. (2021) noted, salts play and essential role in protein solubilisation and extraction, improving water-holding capacity. Salt causes structural changes in muscle tissue mainly through electrostatic interactions between protein molecules and

sodium (Na^+) and chloride (Cl^-) ions. Myosin binds to calcium ions, forming a gel-like network structure (Totosaus & Pérez-Chabela, 2009; Hu et al., 2022).

Colour changes occur most intensively on the fish surface due to the migration of salt and acid into the tissues. Treatment with acetic acid or its combination with salts results in a darker smoked sprat colour. A negative correlation (r = –0.646) was observed between lipid content and *L** value, while weak correlations were noted between lipid content and the *a** and *b** colour components. The most important colour component of smoked sprats is *L**, reflecting the brightness or darkness of the colour, and *b**, which reflects the intensity of the golden colour after smoking. As shown by the data, the colour of smoked sprats was lightest in autumn and the *L** component differed significantly from mid-season or late-season values (Table 14).

A decreasing trend in the *b** colour component was observed toward the end of the fishing season, which can be explained by a reduction in lipid content. In the *CaAce*, *NaAce* samples, the pre-treatment agents had a significant effect on *L** value. Such pre-treatment agents as in samples *Na*, *3Na2Ca*, and *2Na3Ca* had a smaller effect during season S1 but showed a significant effect in season S3. As a result, lighter colour was generally observed in products in autumn, whereas the samples from spring (S1) were darker. A more pronounced yellow hue was observed in fishing periods S2 and S3 for the *Ace*, *NaAce*, *CaAce* samples, while the lowest yellow intensity was recorded in the *Na* sample during season S1. Treatment with *NaAce* reduced *b** value, while the yellow colour intensity increase in season S2 and S3.

The reduced yellow colour intensity may be explained by decreased astaxantin content (Nie et al., 2011), while acetic acid as a solvent that releases pigment and produced a more pronounced yellow colour on the surface of smoked fish. However, the intensity of the colour depends on the pre-treatment agent used. Acid has a significant effect on the autoxidation of myoglobin, and some authors have noted that the addition of acetic acid can cause dullness in colour (Šimat et al., 2019). The use of acetic acid at the end of the fishing season increases the intensity of the yellow colour on the fish surface compared to the *Control* sample.

To determine which pre-treatment agent should be used during a specific fishing season, when producing smoked sprats from either chilled or frozen raw material, a multi-criteria decision-making scheme is applied. This scheme is based on expert-defined selection criteria and their relative contribution. According to this analysis (Table 15), in autumn, winter and also spring, the best quality fish are obtained when chilled fish are used with pre-treatment corresponding to samples *3Na2Ca* or *CaAce*, as well as *Control*. In contrast, the least suitable options are chilled fish treated as in samples *Ace*, *Na*, and *NaAce*. When using frozen sprats, the most favourable pre-treatments are also *3Na2Ca* or *CaAce*, and in autumn and winter, *2Na3Ca*; however, in spring, *NaAce* is recommended.

The pre-treatment agents used in samples *3Na2Ca* and *CaAce* are considered the most suitable for both chilled and frozen fish across all seasons. Nevertheless, toward the end of the season, the use of a combination of sodium chloride and acetic acid (*NaAce*) is recommended for processing frozen sprats.

Principal Component Analysis (PCA) was used to determine the impact of seasonality and pre-treatment agents on the quality of smoked sprats (Fig. 3). The percentage of contribution was 33.72% for PC1 and 23.39% for PC2, indicating notable seasonal differences. Correlations were observed among the samples across several groups.

The distribution of samples across the principal components, where processed samples of frozen sprats and chilled sprats form different clusters, indicates that the proceesing method significantly affects the physico-chemical properties of the product. Since the frozen sprat samples are more tightly grouped, this suggests greater strustural stability across the dataset. In contrast, the cilled sprat samples are more dispersed, reflecting a wider variation in physical properties throughout the season – especially in parameters such as moisture and colour. The first principal component (PC1) shows that texture-related properties (sutting force and shear work) are the main factors influencing and differentiating the samples. Meanwhile, PC2 includes smoking losses, moisture loss, pH, and moisture content. Moisture content, ph and moisture loss are strongly correlated with PC2, indicating that these parameters are influenced by seasonal changes. Textural properties and colour parameters are more strongly associated with PC1, hughlighting the importance in selecting processing method. Figure 3b shows more detailed variations between samples. Seasonal changes in texture and colour are more pronounced, as the samples shift their positions between seasons. Chilled sprat samples show greater differences across P3 and P4, meaning that texture and colour vary more in chilled sprats compared to frozen sprat samples.

Based on the obtained results, the study concluded that the sprat made from frozen fish exhibit higher textural stability, whereas sprat samples produced from chilled fish display more pronounced physico-chemical properties. Chilled sprat samples are much more dependent on external factors (such as storage condition and the quality of raw material itself) than frozen samples, making quality control particularly important for chilled sprats.

Smoked sprats produced from shilled or frozen sprats are similar when processed using the pre-treatment agents applied to sample *Na*. However, significant differences were observed for the frozen sprat sample processed with calcium chloride in combination with acetic acid (*CaAce*), and for the chilled sprat sample processed as *2Na3Ca*. For the production of smoked sprats from frozen raw material, in autumn and winter the most suitable pre-treatment is *2Na3Ca*, in spring *NaAce* treatment.

CONCLUSIONS

1. The results of the study confirm the hypothesis that the seasonally variable quality of smoked sprats can be stabilized by using pre-treatment agent.
2. There is a correlation between the moisture and lipid content in Baltic sprats: the highest lipid content (19.2 g 100 g^{-1}) and the lowest moisture content (62.4 g 100 g^{-1}) were observed at the beginning of the fishing season (autumn), whereas at the end of the season (spring), the highest moisture content (70.0 g 100 g^{-1}) and the lowest lipid content (12.1 g 100 g^{-1}) were recorded.
3. The protein content in sprats remains stable throughout the fishing season, but the content of conditionally essential amino acids (glutamic acid, aspartic acid) decreases over the course of season.
4. Baltic sprats contain high levels of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids, which vary seasonally. The quality indices of fatty acid fractions indicate better nutritional value in sprats caught in autumn, when the index of atherogenicity (IA) and the index of trombogenicity (IT) are at their lowest.
5. The sensory evaluation of smoked sprats is similar between products made from chilled and frozen sprats, but it changes significantly depending on the fishing period and the type of pre-treatment applied.
6. Smoking losses and moisture loss in the control sample were comparable to those of smoked sprats made from chilled or frozen fish – around 30% smoking loss and 1.6 to 1.8% moisture loss after 24 hours of storage. Smoking losses can be reduced to 0.3–0.4% by using a combination of sodium and calcium chloride for both chilled and frozen fish. In contrast, acetic acid treatment results in a rapid increase in moisture loss up to 4.8–4.9%.
7. Applying pre-treatment agents can help extend the shelf life of smoked sprats. A combination of sodium chloride and acetic acid can effectively delay the growth of total viable count during one week of storage.
8. The type of pre-treatment agent significantly affects the pH and salt content of smoked sprats, while having less influence on moisture content and water activity. The pH of smoked sprats is similar whether made from chilled or frozen fish.
9. Lighter coloured smoked sprats can be achieved by using sodium chloride or its combination with acetic acid. Frozen sprats are lighter in colour when caught in autumn and winter, while chilled sprats are lighter when caught in spring.
10. Firmer textured smoked sprats can be obtained by using a combination of calcium chloride and acetic acid. Smoked sprats made from chilled fish exhibit firmer texture than those made from frozen fish.

11. Based on a multi-criteria evaluation of smoked sprat quality indicators, the most suitable products are obtained when using pre-treatment with a combination of sodium and calcium chloride, or calcium chloride with acetic acid.

RECOMMENDATIONS

1. To improve the quality of smoked sprats throughout the fishing season, whether produced from chilled or frozen fish, pre-treatment agents can be used and should be adapted according to the fishing period, which primarily characterised by the moisture content of the raw matetrial.
2. To achieve the best overall sensory scores (texture, taste, aftertaste, aroma, and colour), it is recommended to treat chilled fish with a mixture of sodium chloride and acetic acid, while for frozen sprats a mixture of sodium chloride and acetic acid or calcium chloride and acetic acid is advised.
3. To reduce smoking losses below 30%, it is recommended to use acetic acid as a pre-treatment agent when producing smoked sprats from chilled fish – this can reduce losses to as low as 22%. When using frozen sprats, a combination of sodium chloride and acetic acid is recommended, which results in smoking losses of around 26%.

ACKNOWLEDGEMENTS

Gratitude is extended for the support received from the project "Strengthening Scientific Capacity at the Latvia University of Life Sciences and Technologies", No. 3.2.-10/123, under subproject Z43 "Factors Determining the Quality of Smoked Fish."

Special thanks to the fish processing company **NS Estate** for providing the opportunity to carry out the experimental part of the study and for possibility to produce the necessary samples for the research.

Mg. sc. ing. Santa Pūķe
e-pasts / *e-mail*: santa_puke@inbox.lv
Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte
Latvia University of Life Sciences and Technologies
Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģijas fakultāte, Pārtikas institūts
Faculty of Agriculture and Food Science, Food Institute