

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte
Latvia University of Life Sciences and Technologies

Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģijas fakultāte
Faculty of Agriculture and Food technology



Mg. sc.soc. Vjačeslavs Kočetkovs 

IEPAKOJUMA IETEKME UZ DĒJĒJVISTU OLU PRODUKTU KVALITĀTI
THE INFLUENCE OF PACKAGING ON THE QUALITY OF EGG PRODUCTS

Promocijas darba KOPSAVILKUMS
zinātnes doktora (Ph.D.) zinātnes grāda iegūšanai

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

JELGAVA
2024

Promocijas darba vadītāji / Scientific supervisors:
LBTU Dr.sc.ing. **Sandra Muižniece-Brasava**
LBTU Dr.sc.ing. **Vitalijs Radenkovs**

Darba recenzenti / Official reviewers:
Vadoša pētniece / *Leading researcher*, Dr.sc.ing. Vita Šterna – Agroresursu un ekonomikas institūts / *Institute of Agricultural Resources and Economics*;

Asociētais profesors / *Associate professor*, Dr.sc.ing. Mārtiņš Šabovics – Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte / *Latvia University of Life Sciences and Technologies*;

Vadošais pētnieks / *Leading researcher*, Dr.agr. Imants Jansons – Agroresursu un ekonomikas institūts / *Institute of Agricultural Resources and Economics*.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Pārtikas un dzērienu tehnoloģijas nozares promocijas padomes atklātajā sēdē 22.03.2024. plkst. 14:00 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 22.03.2024. at 14:00 at the Food Institute, Rigas Street 22a, Jelgava.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties LBTU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielajā iela 2, Jelgavā un portālā (pieejams: www.kopkatalogs.lv). Atsauksmes sūtīt Pārtikas un dzērienu tehnoloģijas nozares promocijas padomes sekretārei, asociētai profesorei Dr.sc.ing. **J.Zagorskai** (Rīgas iela 22a, Jelgava LV-3004, e-pasts: jelena.zagorska@lbtu.lv).

The doctoral thesis is available at the Fundamental Library of the Latvia University of Life Sciences and Technologies, Liela Street 2, Jelgava, and on the internet (www.kopkatalogs.lv). References should be sent to professor Dr.sc.ing. **J.Zagorskai**, the Secretary of the Promotion Board of Food and Beverage Technology at the Faculty of Food Technology, Rigas Street 22a, Jelgava LV-3004, Latvia or e-mail: jelena.zagorska@lbtu.lv.

SATURS

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE.....	4
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA	7
MATERIĀLI UN METODES	8
REZULTĀTI UN DISKUSIJA	20
1. Svaigu olu kvalitāte un tā izmaiņas uzglabāšanas laikā apkārtējās vides apstākļos...	21
2. Pasterizētas un četru veidu iepakojumos fasētas olu masas izvērtējums uzglabāšanas laikā	27
3. Viedais iepakojums	37
SECINĀJUMI	43

CONTENT

TOPICALITY OF THE RESEARCH	44
APPROBATION OF THE RESEARCH WORK	47
MATERIALS AND METHODS	47
RESULTS AND DISCUSSION	49
1. Fresh egg quality and its changes during storage in ambient conditions	49
2. Evaluation of pasteurized egg mass packed in four types of packages during storage.....	50
3. Smart packaging	51
CONCLUSIONS	53

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Olas ir būtisks olbaltumvielu avots, un tās lieto visā pasaulē. Uzturvērtības ziņā tās ir pilnvērtīgs pārtikas produkts, kas nepieciešams organisma funkcionēšanas un labsajūtas nodrošināšanai (Simons, van Schie & Holleman, 2017). Vistu olu mērķauditoriju veido galvenokārt mājsaimniecības, bet olu produkti (šķidrie un sausie) ir ļoti ērti lietošanā un pieprasīti rūpniecisko pārtikas produktu ražotāju vidū. Salīdzinošs lētums un pieejamība olas līdz ar zivīm padara par vienu no vissvarīgākajiem dzīvnieku olbaltumvielu avotiem visos valstu iedzīvotājiem (Ķirse-Ozoliņa, 2019). Bagātākās pasaules daļās olas veido veselīgu uztura kopumu. Pieprasījums pēc olu ražošanas visā pasaulē joprojām strauji pieaug. Pēdējo piecpadsmit gadu laikā olu patēriņš ir pieaudzis par vismaz 40 % (Suman *et al.*, 2019).

Mūsdienās lielāko daļu olu joprojām pārdod nepārstrādātā veidā, taču pēdējo gadu laikā pārstrādāto olu un olu produktu izmantošana ir ievērojami palielinājusies. Tiek lēsts, ka Eiropā no 20 līdz 25 % olu tiek pārstrādātas olu produktos, un ir sagaidāms, ka līdz 2025. gadam šis skaitlis varētu būt 30 % līdz 35 %. ASV faktiskais procents jau ir lielāks par 30 %, un, saskaņā ar ASV pieejamo informāciju, šis skaitlis līdz 2030. gadam būs tuvu 40 % vai 1.74 miljoniem tonnām (Nys, Bain & Van Immerseel, 2011; Simons, van Schie & Holleman, 2017).

Šķidros olu produktus nepieskaita pie kopējā olu patēriņa, bet tie konceptuāli un tieši aizstāj olas čaumalās. Pārtikas rūpniecībā olas aizstāj ar olu produktiem, jo:

- olu atdalīšana no čaumalām ir darbietilpīgs process;
- normatīvie akti prasa īpašas iekārtas un mehānismus pirmapstrādes procesa nodrošināšanai;
- izvēloties olas bez čaumalām, samazinās atkritumu daudzums uzņēmumā (čaumala sastāda ap.12 % no vistu olas svara);
- olu produkti ir vieglāk uzglabājami;
- olu produktus ir vieglāk un ērtāk izmantot.

Pasterizētā šķidrā olu masa ir ērtāk lietojama, jo nav nepieciešams atdalīt olu masu no čaumalas pirms lietošanas, kā arī tā ir pietiekami ilgi uzglabājama, - vismaz 28. dienas. Tā ir mikrobioloģiski droša, jo pasterizācijas procesā iet bojā patogēnie mikroorganismi un to veģetatīvās formas, kā arī inaktivējas fermenti, tādējādi aizkavējot produkta bojāšanos un pagarinot tā derīguma termiņu. Mūsdienās pasterizētai šķidrajai olu masai ir plašs pielietojums dažādās nozarēs:

- pārtikas nozarē, izmantojot kā izejvielu, ražojot: cepumus, kūkas, kūku maisījumus, konfektes, šokolādi, konditorejas izstrādājumus, olu krēmus, mērces, olu liķierus, zivju vai gaļas produktus, saldējumu, makaronus, zefīrus, majonēzi, nūdeles, omletes, gatavos ēdienus, pudiņus, zupas, spageti, pīrāgus, u.c.;
- medicīnas un kosmētikas nozarē kā izejvielas, ražojot mazgāšanas līdzekļus, šampūnus, lecitīnu, lūpu krāsas, mitrinošus krēmus, u.c.;
- tehniskiem nolūkiem ādas rūpnieciskā apstrādē.

Sakarā ar cilvēku nāves gadījumiem, ko pēdējā laikā izraisījusi inficēšanās ar salmonellām, ēdināšanas nozare dod priekšroku pasterizētiem olu produktiem, kas ir garantēti bez salmonellu un citu patogēnu klātbūtnes (Group & Markets, 2022).

Dažās valstīs, piemēram, ASV, Japānā un daudzviet Eiropā pasterizētās olu masas izmantošana ir kļuvusi obligāta viesnīcām, restorāniem, slimnīcām un aviokompānijām. Lai pagarinātu pasterizētu šķidro olu produktu uzglabāšanas laiku līdz piecām vai sešām, vai pat 10 līdz 12 nedēļām, pārstrādātājiem bija jāiegulda lielas investīcijas, lai olu atdalīšanas process no čaumalas būtu ekonomiski iespējams. Ir

nepieciešams veikt uzlabojumus visā loģistikas ķēdē, sākot ar temperatūras režīma kontroli un autotransporta monitoringu preču pārvadāšanas laikā un beidzot ar higiēnas līmeņa kontroli, lai ražošanas vide būtu pēc iespējas sterilāka.

Iepakojumam ir būtiska nozīme jebkurā modernā integrētā produktu piegādes laikā. Tas ne tikai aizsargā produkta kvalitāti un īpašības, sākot no ražošanas, izplatīšanas un uzglabāšanas, bet arī ietekmē patērētāju veselību un drošību (Silva & Pålsson, 2022a). Iepakojums nodrošina pārtikas aizsardzību no apkārtējās vides, pasargājot to no tādiem fizikāliem, ķīmiskiem un mikrobioloģiskiem faktoriem kā: skābekļa, mitruma, gaismas ietekmes vai mikrobioloģiskā piesārņojuma, kas var ietekmēt produkta kvalitāti (Moldovan & Pantea, 2012).

Tradicionālais pārtikas iepakojums galvenokārt ir paredzēts pārtikas saturēšanai un pasargāšanai no ārējo faktoru ietekmes, piemēram, skābekļa, blakus aromātiem, gaismas u.c., tādējādi garantējot pārtikas kvalitātes saglabāšanu ilgāku laika periodu. Galvenais mērķis šiem materiāliem, kas nonāk tiešā saskarē ar pārtiku, ir pēc iespējas būt inertākiem, t.i., pārtikas un iepakojuma minimālas mijiedarbības nodrošināšana. Patērētājiem iepakojums norāda arī informāciju par produkta zīmola integritāti vai apstiprina produkta autentiskumu (Yildirim *et al.*, 2018).

Pēdējās desmitgadēs viena no inovācijām pārtikas iepakojuma jomā ir “aktīvais un viedais” iepakojums, kura pamatā ir apzināta iepakojuma mijiedarbība ar pārtiku vai ar iepakojuma iekšienē esošo vidi ap produktu. “Aktīvā iepakojuma” mērķis ir pagarināt pārtikas produktu uzglabāšanas laiku. “Viedais iepakojums” norāda uz produkta svaigumu. “Viedais iepakojums” ir plašs jēdziens, kas aptver vairākas funkcijas atkarībā no iepakotā produkta veida. Pašreizējā un turpmākā funkcionālā “vieduma” piemēri varētu būt iepakojumos, kas (Kuswandi *et al.*, 2011):

- saglabā produkta kvalitāti un aktīvi novērš pārtikas bojāšanos (uzglabāšanas laikā);

- uzlabo produkta īpašības (piemēram, izskatu, garšu, aromātu utt.);
- aktīvi reaģē uz izmaiņām produkta vai iepakojuma vidē;
- paziņo lietotājam informāciju par produktu, produkta uzglabāšanas vēsturi vai kvalitātes izmaiņām;
- apstiprina produktu autentiskumu, lai novērstu aizvietojamību.

Olu produktu ražotāji izmanto viena vai divu litru laminētā kartona iepakojumus Tetra Pak® veidā, kā arī trīs, piecu vai 10 litru iepakojumus “bag in box”, lai transportētu pastērizētu olu masu ražotājiem, piemēram, gaļas produktu ražotājiem/pārstrādātājiem, ceptuvēm, saldējuma ražotājiem, restorāniem, slimnīcām u.c. Iepakojumi 300 ml, 500 ml un 1000 ml paredzēti tiešam patēriņam. Jau šodien Eiropas tirgū ir pieejami šie iepakojumi, lielveikalā līdztekus pakotām olām, uzglabājot līdz 6 °C temperatūras režīmā.

Šobrīd Latvijā nav padziļinātu pētījumu par iespējamību izmantot modernas iepakojuma tehnoloģijas olu industrijā. Līdzšinējie pētījumi galvenokārt veltīti svaigu olu uzturvērtības un kvalitātes izpētei (Kočetkovs & Muižniece-Brasava, 2019), taču datu par fizikāli-ķīmisko un bioloģiski aktīvo vielu izmaiņām šķidrā olu masā atkarībā no iepakojuma veida un uzglabāšanas ilguma šobrīd nav. Vērtējot un analizējot zinātniskajā literatūrā un elektronisko resursu avotos pieejamo informāciju par pastērizētiem šķidrajiem olu produktiem, viedo iepakojumu tehnoloģijas ietekmi uz šķidriem produktiem, gaļas produktiem, augļu un dārzeņu produktu uzglabāšanas laiku, promocijas darbā izvirzīta hipotēze:

Promocijas darba **hipotēze**: olu pārstrāde šķidrā olu masā un tās uzglabāšana konvencionālā, un biodegradējamā iepakojumā nodrošina produkta kvalitātes saglabāšanos līdz 35 dienām.

Promocijas darba mērķis: noteikt dējējvistu olu kvalitāti uzglabāšanas laikā un definēt optimālo realizācijas laiku pastērizētai un iepakotai šķidrai olu masai, nosakot fizikāli-ķīmiskos un mikrobioloģiskos rādītājus.

Promocijas darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi **uzdevumi**

1. Analizēt un salīdzināt olu čaumalu morfoloģiskās īpašības un olu fizikāli-ķīmiskos parametrus, kas iegūti no trīs šķirņu dējējvistām, kas turētas sprostos un ārpus sprostu apstākļos;

2. Veikt pastērizētās un iepakotās šķidrās olu masas kvalitātes izmaiņu novērtējumu uzglabāšanas laikā četrus veidu iepakojumos;

3. Noskaidrot ražotāju, tirgotāju un patērētāju viedokli, zināšanas un gatavību pieņemt olu masu konvencionālā un viedā iepakojumā;

4. Izvērtēt iespējamību izmantot viedo iepakojumu olu masas iepakšanai.

Promocijas darba **novitāte un zinātniskais nozīmīgums**

1. Pirmo reizi Latvijā veikts pētījums, sprostos turētu dējējvistu un ārpus sprostiem turētu dējējvistu olu kvalitātes izmaiņas, pārstrādājot tās pastērizētā šķidrā olu masā un uzglabājot produktu konvencionālajā un biodegradējamā iepakojumā;

2. Izvērtētas šķidrās olu masas fizikāli-ķīmisko rādītāju izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas ilguma un iepakojuma veida;

3. Analizēta šķidrās olu masas bioloģiski aktīvo savienojumu un vitamīnu daudzveidība un to izmaiņas atkarībā no uzglabāšanas laika un iepakojuma veida.

4. Noteikts piemērotākais iepakojuma veids šķidrās olu masas uzglabāšanai, kas nodrošina kvalitātes saglabāšanos visā realizācijas laikā.

Promocijas darba **tautsaimnieciskā nozīmība**

1. Pētījums sniedz jaunu informāciju par šķidrās olu masas ķīmiskā sastāva, bioloģiski aktīvo vielu daudzveidību, to satura izmaiņām produkta uzglabāšanas laikā konvencionālajā un biodegradējamā iepakojumā;
2. Oļas pārstrādājot šķidrā pastērizētā olu masā, kas iepakotā konvencionālajā un biodegradējamā iepakojumā būtiski uzlabojas transportēšanas efektivitāte, tādejādi nodrošinot produkta eksportu lielākos attālumos;
3. Piedāvājot pastērizēto olu masu uzņēmumiem, kuri izmanto oļas ražošanā, būtiski uzlabosies ražošanas efektivitāte, izslēdzot izmaksas un laika patēriņu, kas rodas olu pirmapstrādes un pārstrādes (atčaulošanas) procesā;
4. Pētījumā iegūta informācija par iespējam saglabāt šķidro olu masu konvencionālā un biodegradējamā iepakojumā ļauj ražotājiem izvēlēties atbilstošu iepakojumu eksporta nodrošināšanai un tirgus vajadzībām.

Promocijas darba izstrāde līdzfinansēta no projekta: “Viedā iepakojuma izstrāde šķidrajiem olu produktiem”, Nr. 19-00-A01620-000087, ELFLA (Eiropas Lauksaimniecības fonds lauku attīstībai).



NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS
Eiropas Lauksaimniecības fonds
lauku attīstībai

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījuma rezultāti apkopoti un publicēti 9 recenzētos zinātniskos izdevumos, kuri indeksēti SCOPUS un/vai Web of Science datubāzēs:

1. Kocetkovs V., Radenkovs V., Juhnevica-Radenkova K., Jakovlevs D., Muizniece-Brasava (2022) The impact of eggshell thickness on the qualitative characteristics of stored eggs produced by three breeds of laying hens of the cage and cage-free housed systems. *Applied Sciences*. Vol. 12(22). DOI: 10.3390/app122211539.
2. Kocetkovs V., Radenkovs V., Juhnevica-Radenkova K., Muizniece-Brasava (2022) Variation in the fatty acid and amino acid profiles of pasteurized liquid whole hen egg products stored in four types of packaging. *Animals*, Vol. 12(21), 2990. DOI: 10.3390/ani12212990.
3. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2022) Variation of vitamins and minerals in four types of packaging during shelf life of pasteurised eggs . *21th International Scientific Conference Engineering for Rural Development conference proceedings*, Jelgava, Latvia. pp. 407 – 414., DOI: 10.22616/ERDev.2022.21.TF135.
4. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2022) Biodegradable packaging impact on shelf life of pasteurised egg mass. 3th International Conference: *Nutrition and Health 2020*. University of Latvia, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Riga Stradiņš University, LU. Proceedings of the latvian academy of sciences. Riga, Latvia. Section B, Vol. 76, No. 1 (736), pp. 64–68. DOI: 10.2478/prolas-2022-0010.
5. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2021) Influence of different types of packaging on the change of liquid pancake dough shelf-life. Republican Scientific Conference: *Modern Technologies for Sustainable Environment 2021*. Vilnius, Lithuania, pp. 36 – 43.
6. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2020) HDPE polymer and biodegradable packaging effect on the shelf life of pasteurised egg white. 8th International Conference Agriculture & Food, conference proceedings. Organized by Bulgarian Academy of Sciences; Union of Scientists in Bulgaria; *Science & Education Foundation*. Burgas, Bulgaria. Vol. 8, pp. 169 - 176.
7. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2020) Biodegradable packaging impact on shelf life of pasteurised egg white. 19th International Scientific Conference *Engineering for Rural Development: conference proceedings*. Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Jelgava, Latvija. pp. 813 – 818. DOI: 10.22616/ERDev2020.19.TF190.
8. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2019) Introduction of smart packaging systems in the market of Latvia – attitudes of manufacturers and retailers. 25th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2019": conference proceedings. University of Life Sciences and Technologies. Jelgava, Latvija, pp. 222 – 228. DOI: 10.22616/rrd.25.2019.033.
9. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S., Kirse-Ozolins A. (2019) Consumer awareness and attitudes towards active and intelligent packaging systems in the Latvian market. *FoodBalt 2019: 13th Baltic conference on food science and technology "Food. Nutrition. Well-Being": conference proceedings*, Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Food Technology. Jelgava, Latvija. LLU, pp. 222 – 226. DOI: 10.22616/FoodBalt.2019.025.

Par pētījuma rezultātiem ziņots 10 starptautiskās zinātniskajās konferencēs Latvijā, Lietuvā, Igaunijā un Bulgarijā:

1. Kocetkovs V., Sazonova S., Muizniece-Brasava S., Kivite J. (2023) Analysis of packaged egg product shelf life after opening. Conference: *16th Baltic Conference on Food Science and Technology "Tradittional meets non-traditional in future food"* FoodBalt-2023. 11-12.05.2023., Jelgava, Latvia. (stenda referāts / poster presentation).
2. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2022) The impact of eggshell thickness on the qualitative characteristics of stored eggs produced by three breeds of laying hens of the cage and cage-free housed systems. Conference: *15th Baltic Conference on Food Science and Technology "Food R&D in the Baltics and Beyond"* FoodBalt-2022. 26- 7.09.2022., Kaunas, Lithuania (stenda referāts / poster presentation).
3. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2022) Variation of vitamins and minerals in four types of packaging during shelf life of pasteurised eggs . *21th International Scientific Conference Engineering for Rural Development: conference proceedings*, 25-27.05.2022, Jelgava, Latvia. (mutiskais referāts / oral presentation).
4. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2021) Influence of different types of packaging on the change of liquid pancake dough shelf-life. Republican Scientific Conference: *Modern Technologies for Sustainable Environment 2021*. 06.05.2021., Vilnius, Lithuania. (mutiskais referāts / oral presentation).
5. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2021) The shelf-life of liquid pancake dough, depending on the different types of packaging. Conference: *Biosystems Engineering 2021*. 05.05.2021., Tartu, Estonia (stenda referāts / poster presentation or mutiskais referāts / oral presentation).
6. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2020) Biodegradable packaging impact on shelf life of pasteurised egg mass. *3th International Conference: "Nutrition and Health" 2020*. University of Latvia, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Riga Stradiņš University, LU. 09-11.12.2020., Riga, Latvia. (mutiskais referāts / oral presentation).
7. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2020) HDPE polymer and Biodegradable packaging effect on the shelf life of pasteurised egg white. *8th International Conference Agriculture & Food*, conference proceedings. 26-29.08.2020., Burgas, Bulgaria. (mutiskais referāts / oral presentation).
8. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2020) Biodegradable packaging impact on shelf life of pasteurised egg white. *19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development: conference proceedings*. 20-22.05.2020., Jelgava, Latvia. (mutiskais referāts / oral presentation).
9. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2019) Introduction of smart packaging systems in the market of Latvia – attitudes of manufacturers and retailers. *25th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2019"*. 15-17.05.2019., Jelgava, Latvia. (mutiskais referāts / oral presentation).
10. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S., Kirse-Ozolins A. (2019) Consumer awareness and attitudes towards active and intelligent packaging systems in the Latvian market. FoodBalt 2019: *13th Baltic conference of Food science and technology "Food. Nutrition. Well-Being"* and NEEFood 2019, 5th North and East European Congress on Food, 02-03.05.2019., Jelgava, Latvia. (mutiskais referāts / oral presentation).

Prezentācijas starptautiskās pārtikas izstādes:

1. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2022) Influence of innovative packaging solutions on the lead time of pasteurized egg mass. *27th International Food Fair Riga Food 2022*. 08 – 10.09.2022., Rīga, Latvia. (stenda referāts / oral presentation).
2. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2021) Viedā iepakojuma izstrāde šķidrajiem olu produktiem, Biodegradējamais iepakojums siera nogatavināšanai. Izstāde: *Laikamniecības un meža tehnika 2021*. 30.09.–02.10.2021., Rīga, Latvia. (stenda referāts / oral presentation).
3. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2021) Viedā iepakojuma uzstrāde šķidrajiem olu produktiem. *26th International Food Fair Riga Food 2021*. 09-11.09.2021, Rīga, Latvia. (stenda referāts / oral presentation).
4. Kocetkovs V., Muizniece-Brasava S. (2020) Biodegradējamais iepakojums, tā ietekme uz pasterizēta olu baltuma realizācijas laiku. *25th International Food Fair Riga Food 2020*. 09-12.09.2020, Rīga, Latvia. (stenda referāts / oral presentation).

MATERIĀLI UN METODES

Pētījuma norises laiks un vieta.

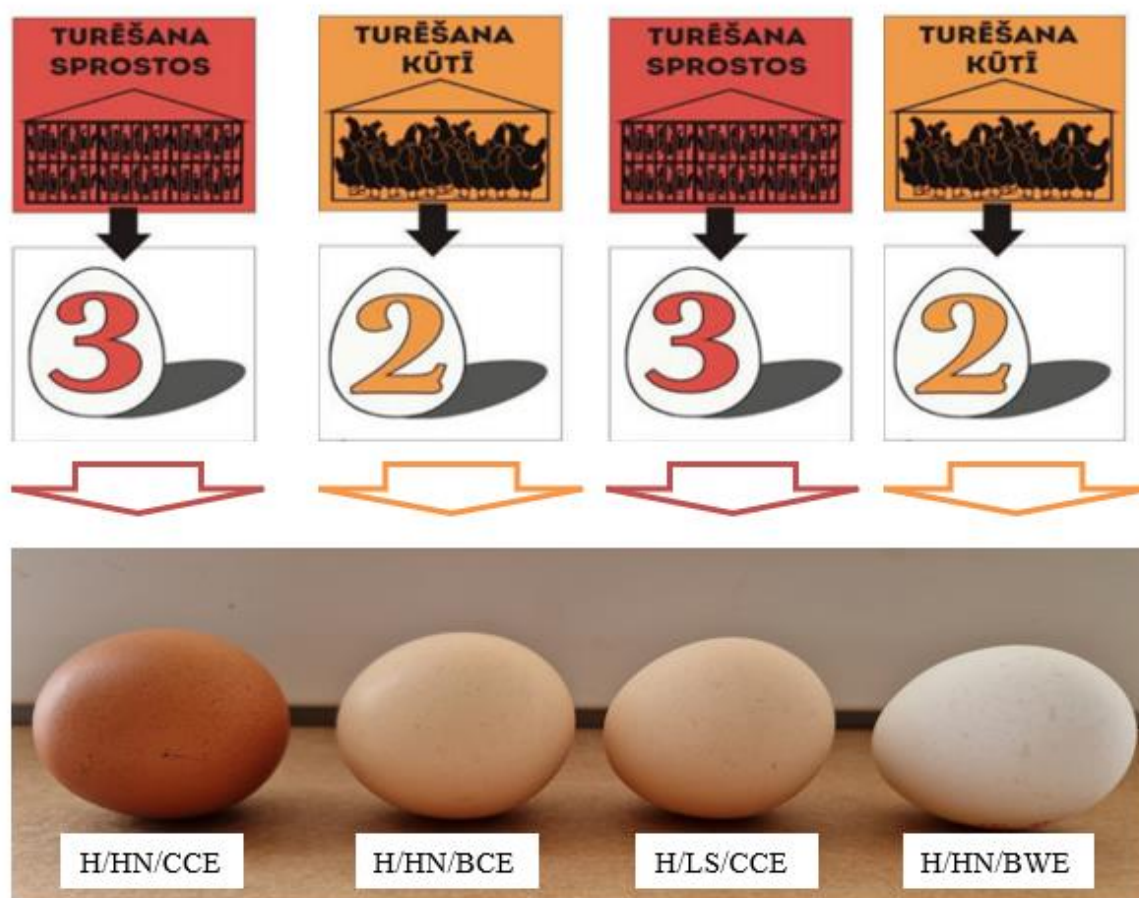
Pētījumi veikti laika posmā no 2019. gada līdz 2023. gadam šādās institūcijās:

1. AS Balticovo mikrobioloģijas laboratorijā: (pH, MAFam, enterobaktēriju, pienskābes baktēriju, *Salmonella* spp., raugu, pelējumu, fizikālo parametru noteikšana);
2. J.S. Hamilton laboratorijā: A, B₂, B₄, B₅, B₆, B₉, B₁₂, E, D vitamīnus noteikšana;
3. Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātē:
 - Viedo tehnoloģiju nodaļā Biotehnoloģiju zinātniskajā laboratorijā: holesterīns, taukskābes, aminoskābes, čaumalas morfoloģija, elementu sastāva analīze;
 - Agronomisko analīžu nodaļā Biotehnoloģiju zinātniskajā laboratorijā: mikro un makroelementu sastāva noteikšana;
 - Pārtikas tehnoloģijas fakultātē Zinātniskās mikrobioloģijas laboratorijā: mikrobioloģiskās analīzes.

Pētījuma objekts: svaigas, neapstrādātas olas (izejviela), un pasterizēta šķidro olu masa.

Svaigas, neapstrādātas olas – AS “Balticovo”, Iecava, Latvija; kā arī no uzņēmumiem UAB “Lit egg”, Lietuva un OY “Kieku”, Somija, kas darbojas un tiek kontrolēti AS “Balticovo” kvalitātes sistēmā.

Olas pētījumam iegūtas no “Lohmann Brown”, “H&N Coral” un “Dekalb” šķirnes dējējvistām. Olas no dējējvistu grupām, kas turētas sprostos un ārpus sprostiem turētām dējējvistām (AS “Balticovo”, Iecava, Latvija, UAB “Lit egg”, Plunge, Lietuva un OY “Kieku”, Loimaa, Somija) saskaņā ar 2009. gada 7. jūlija Ministru kabineta noteikumiem Nr. 744 “Noteikumi par dējējvistu labturības prasībām un dējējvistu turēšanas uzņēmumu reģistrācijas kārtību”. Olas tika savāktas no dažādām dējējvistu grupām (katra grupa ir vienā kūtī ar 110 000 līdz 130 000 vistām) laika periodā no 2020. līdz 2022. gadam. Vistu vecums olu ievākšanas laikā no 30 līdz 60 nedēļām. Olas tiks iegādātas 24 stunda laikā. Pētījumā izmantoto svaigo, neapstrādāto olu iegūšana, to vietas un apzīmējumi uzskatāmi parādīti 1. attēlā.



1. att. Pētījumā izmantotās svaigās, neapstrādātās olas:

AS “Balticovo”, Iecava, Latvija – 1) no sprostos turētām dējējvistām, kods: H/HN/CCE,

2) no ārpus sprostiem turētām dējējvistām, kods: H/HN/BCE;

UAB “Lit egg”, Lietuva, no sprostos turētām dējējvistām, kods: H/LS/CCE;

OY “Kieku”, Somija, no ārpus sprostiem turētām dējējvistām, kods: H/HN/BWE

/ Fig. 1. The fresh, raw eggs used in the study:

AS “Balticovo”, Iecava, Latvia – 1) laying hens kept in enriched cages, code: H/HN/CCE, 2) laying hens kept barn, code: H/HN/BCE;

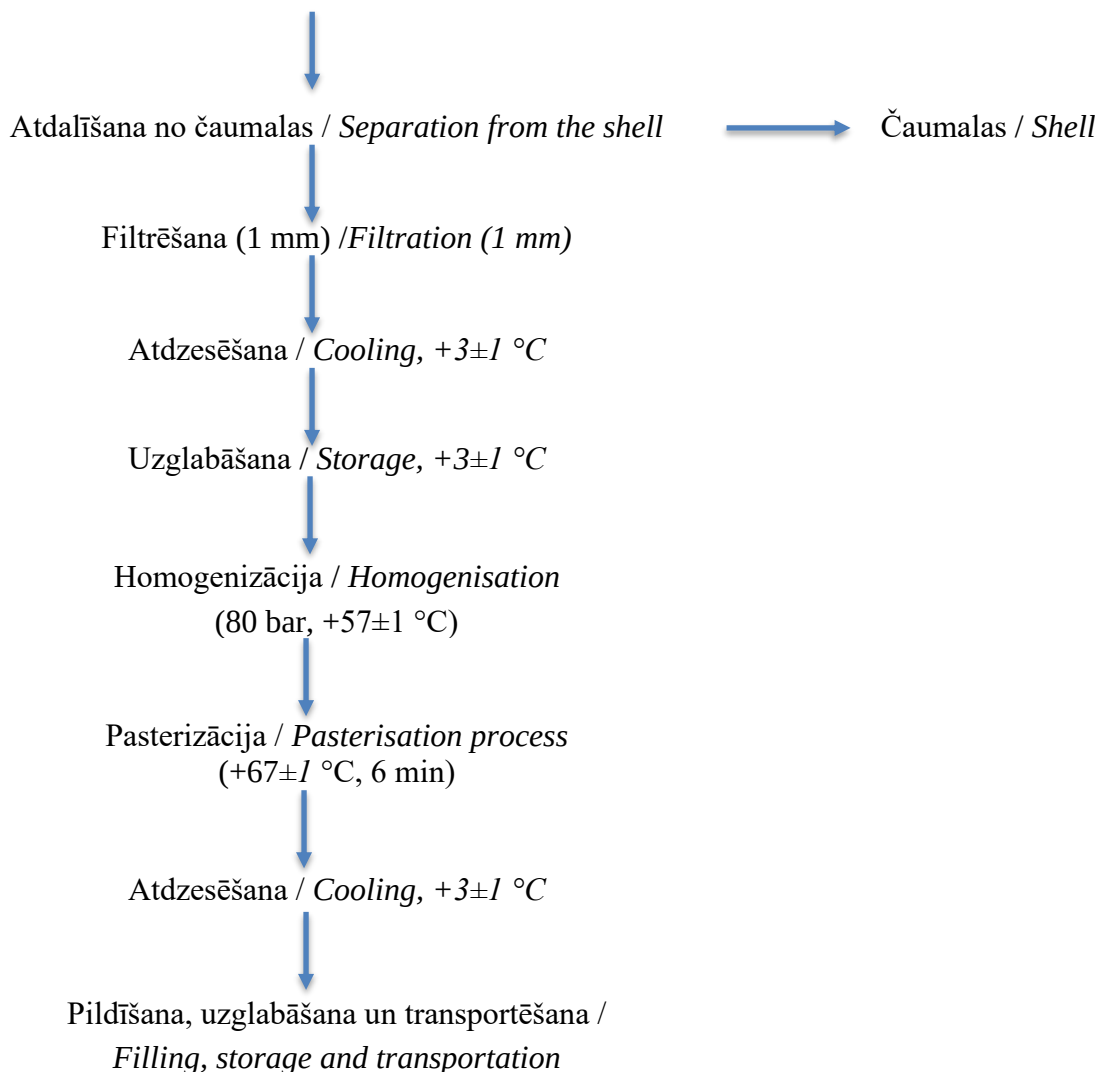
UAB “Lit egg”, Lithuania, laying hens kept in enriched cages, code: H/LS/CCE;

OY “Kieku”, Finland, laying hens kept barn, code: H/HN/BWE

Pasterizēta šķidro olu masa tika saražota AS “Balticovo”, Iecava, Latvija un safasēta pētījuma laikā no svaigām vistu olām (no ārpus sprostiem turētām dējējvistām, paraugs: H/HN/BCE). Pasterizētas šķidrās olu masas ražošanas tehnoloģiskā shēma dota 2. attēlā. Pasterizētu šķidro olu masas ražošana notiek atbilstoši AS “Balticovo”, Iecava, Latvija

izstrādātai tehnoloģijai. Pasterizētas šķidrās olas masas sagatavošanai izmantotas 18 000 gab. olas. Olas novietotas čaumalu atdalīšanas iekārtas (Pelbo) kustīgajā daļā tā, lai izvairītos, ka čaumalu daļa nonāk saskarsmē ar olu masu un piesārņo to. Pēc olu masas atdalīšanas no čaumalām, masa tiek izlaista caur filtru ar šūnu izmēru 1 mm un homogenizēta 57 °C temperatūrā un 80 bar spiedienā.

Olu pieņemšana un uzglabāšana / *Receiving and storing eggs*



2. att. **Pasterizētas šķidrās olu masas ražošanas tehnoloģiskā shēma /**

Fig. 2. Technological scheme of liquid egg mas production process (AS “Balticovo”, Latvija).

Šķidrā olu masa pasterizēta, izmantojot plākšņu pasterizatoru *Ovobel AR56SH* (Brige, Beļģija) AS “Balticovo”, Iecava, Latvija. Pasterizācijas procesa ilgums 6 minūtes, 67–70 °C temperatūrā. Pēc pasterizācijas šķidrā olu masa tika iepakota četru veidu iepakojumos ar tilpumu 0.5 L

Eksperimentos izmantotie iepakojumi:

- Augsta blīvuma polietilēna (HDPE) pudeles – SIA Gamma Plast, Latvija;
- Polietilēntereftalāta (PET) pudeles – SIA Gamma Plast, Latvija;
- Laminētas papīra/polietilēna (PAP/PE) stāvpakas (Doypack) – SIA Multipack, Latvija;
- Daudzslāņu Tetra Pak® Tetra Rex Bio-based biodegradējamās laminētās pakas ar polietilēna (PE) pārklājumu – AS Tetra Pak, Zviedrija.

Pētījumā izmantoto iepakojuma materiālu raksturojums /
The description of materials used for the research

Iepakojums / <i>Packaging</i>	Iepakojuma materiāla nosaukums / <i>Packaging material name</i>	Apraksts, fizikālās īpašības / <i>Description, physical characteristics</i>	Mehāniskās, ķīmiskās un citas īpašības / <i>Mechanical, chemical and other characteristics</i>	Iepakojuma materiāla biezums / Layer thickness, μm
HDPE 	Augsta blīvuma polietilēna pudele	• Blīvums: 945-967 kg/m³ • Caurspīdīgums: necaurspīdīgs • Augsts kristāliskums • Temperatūras diapazons: - 40 °C līdz 120 °C	• Ciets • Stingrs un stiprs • Izturīgs pret taukiem un ķīmiskām vielām • Labas blīvēšanas īpašības • Viegli apstrādājams un veidojams	3.2±0.1 ^a
PET 	Polietilēnter eftalāta pudele	• Blīvums: 1380-1410 kg/m³ • Caurspīdīgums: caurspīdīgs • Zems kristāliskums • Temperatūras diapazons: - 60 °C līdz 200 °C	• Stingrs • Stiprs • Laba noturība pret taukiem un ķīmikālijām	2.8±0.1 ^a
TP 	Laminētā kartona paka	• Blīvums: 268-392 kg/m² • Caurspīdīgums: necaurspīdīgs • Temperatūras diapazons: - 20 °C līdz 120 °C	Ar polietilēnu laminēts papīrs padara to aizkausējamu	1.2±0.1 ^b
DP 	Daudzslāņu laminēta stāvpaka	• Papīra lamināti ir pārklāti vai nepārklāti papīri, kuru pamatā ir kraftpapīrs un sulfīta mīkstums. • Blīvums: 1140-1210 kg/m³ • Caurspīdīgums: necaurspīdīgs • Temperatūras diapazons: - 20 °C līdz 150 °C	Ar polietilēnu laminēts papīrs padara to par karstumā noslēdzamu • Stingrs • Stiprs • Ļoti spēcīga eļļas un tauku izturība	0.9±0.1 ^b

Pētījuma struktūra:

Pētījums veikts divos posmos. Pētījuma galvenie posmi apkopoti 2. tabulā.

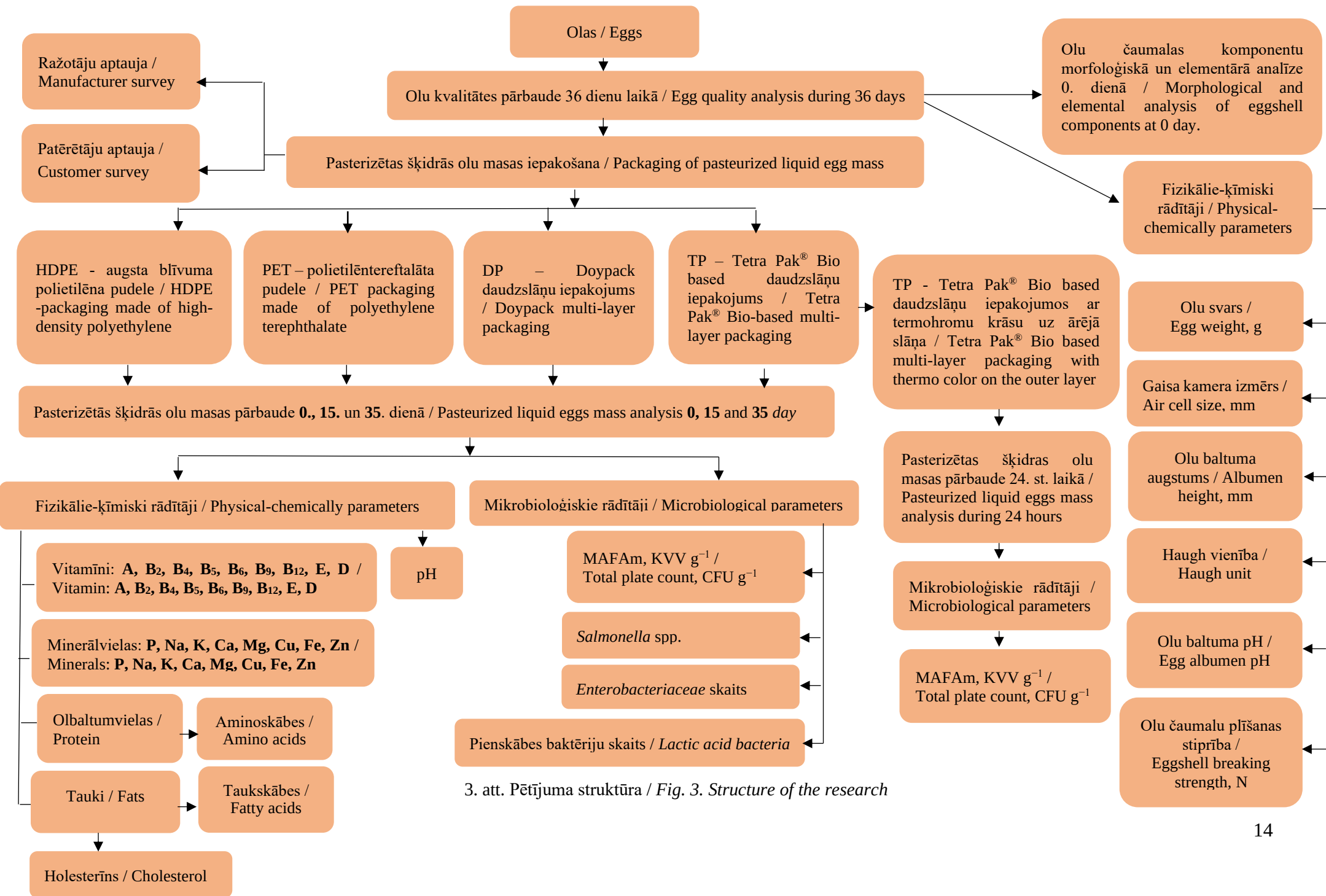
Pirmajā posmā analizētas izejvielas (svaigas olas), kuras iegūtas no diviem dažādiem dējējvistu turēšanas modeļiem: sprostos (būros) turētu un ārpus sprostiem turētu dējējvistu dētas olas, no trim dējējvistu šķirnēm. Būtiski ir noskaidrot, kā dējējvistu turēšanas apstākļi ietekmē olu kvalitāti (izejvielas).

Otrajā posmā veikts pētījums par iepakojuma un uzglabāšanas laika ietekmi uz šķidro olu produktu kvalitāti. Šķidrā olu masa sapildīta četros dažādos iepakojumos: HDPE, PET, Doypack un viedajā iepakojumā Tetra Pak® Tetra Rex Bio-based. Tika noskaidrots: patērētāju informētība un attieksme pret viedo iepakojumu Latvijas tirgū un ražotāju un mazumtirgotāju attieksme pret viedo iepakojumu ieviešanu Latvijas tirgū. Pētījuma struktūra atspoguļota 3. attēlā.

2. tabula / Table 2.

Pētījuma posmi / Stages of the research

Posms / Stage	Apraksts / Description
I posms / Stage I	Analizētas izejvielas (svaigas olas) kuras iegūtas no diviem dažādiem dējējvistu turēšanas modeļiem / <i>Raw materials (fresh eggs) obtained from two different models of laying hens were analyzed</i>
II posms / Stage II	Veikts pētījums par iepakojuma un uzglabāšanas laika ietekmi uz šķidro olu produktu kvalitāti / <i>A study was conducted on the effect of packaging and storage time on the quality of liquid egg products</i>



3. att. Pētījuma struktūra / Fig. 3. Structure of the research

Pētījuma **I posmā** tika veikta svaigas olas atlase un analīze.

Svaigas olas iegūtas uzņēmumā AS “Balticovo” (Iecava, Latvija) no trīs dējējvistu šķirnēm: Lohmann Brown, Sandy (42 nedēļas vecas, sprostos turētas dējējvistas, parauga kods: H/LS/CCE), H&N Coral (41 nedēļu vecas, sprostos turētas dējējvistas, parauga kods: H/HN/CCE), H&N Coral (41 nedēļu vecas, ārpus sprostiem turētas dējējvistas, parauga kods: H/HN/BCE), un Dekalb (43 nedēļas vecas, ārpus sprostiem turētas dējējvistas, parauga kods: H/D/BWE). Lai novērtētu olu fizikāli-ķīmisko īpašību izmaiņas 4 stundu laikā pēc izdēšanas savāktas 180 olas no katras vistu šķirnes. Savāktās olas iepakotas atsevišķi pa 16 gab. kartona iepakojumā ar perforētu vāku. Kopējais savākto olu skaits sasniedza 720 olas. Sākotnējā uzglabāšanas posmā no katras grupas paņemtas 16 olas un nogādātas AS “Balticovo” laboratorijā kvalitātes pārbaudei. Atlikušo olu daļu uzglabāja kontrolētos apstākļos 20 ± 2 °C un 50 % gaisa relatīvā mitrumā. Eksperimenta ilgums noteikts 36 dienas, pamatojoties uz uzņēmumā ražotās šķidrās olu masas derīguma termiņu 28 dienas. Lai noskaidrotu kvalitātes rādītāju izmaiņas, olu fizikāli-ķīmiskās īpašības analizētas katru ceturto dienu, t.i., 1., 4., 8., 11., 15., 18., 22., 26., 28., 32. un 36. dienā. Katrā plānotajā analīžu veikšanas dienā no katras vistu šķirnes paņemtas 16 olas, lai nodrošinātu vidējo paraugu skaitu.

Atlases laikā katra ola nosvērta un pārsista uz līdzenas virsmas. Olu baltuma augstums (Haugh vienība) mērīts ar elektronisko olu baltuma augstuma digitālo Haugh testeru *ORKA* (Bountiful, UT, ASV), pēc Eizens *et al.* (Eisen, Bohren & McKean, 1962) aprakstītas metodes. Olu baltuma pH mērīts 4 stundas pēc dēšanas ar pH-metru *Jenway 3510 Benchtop pH Meter* (Barloworld Scientific, Stafordšīra, Apvienotā Karaliste) saskaņā ar ISO 1842:1991 standartu. Čaumalas biezums mērīts, izmantojot mikrometru *Mitutoyo 223-101* (Kawasaki, Japāna) un un skenējošais elektronmikroskops (SEM). Čaumalas stiprība noteikta, izmantojot *FUTURA Egg-Shell-Tester V. 2.0* (Lohne, Vācija) testeru, kas aprīkots ar alumīnija kompresijas disku 7.62 cm diametrā, kas piestiprināts pie čaumalas un olu turētāja. Ola novietota tā, lai disks saskartos ar olu no tās lielākā gala. Olas sausnas saturs noteikts, izmantojot *Shimadzu MOC-120H* (Shimadzu Corporation, Tokija, Japāna) mitruma analizatoru.

Mikrostruktūras analīze ar skenējošo elektronmikroskopu un rentgenstaru enerģijas dispersijas spektroskopu.

Olu čaumalas paraugi pirms uzglabāšanas analizēti, izmantojot Mira3 skenējošu elektronmikroskopu (Tescan Orsay Holding, a.s., Brno - Kohoutovice, Čehija), kas aprīkots ar sekundāro (Secondary Electron – SE) un atpakaļizkliedēto (Back-scattered Electron – BSE) elektronu detektoru. Olu čaumalas paraugi ($n = 16$ olas, pieci atkārtojumi) mazgāti ar īpaši augstas tīrības pakāpes ūdeni un pēc tam žāvēti apkārtējās vides apstākļos 20 ± 1 °C temperatūrā divas dienas. Žāvētās olu čaumalas manuāli sadala mazos 0.4×0.4 cm gabaliņos. Paraugu fiksēšanai lietots divpusējs oglekļa disks. Elektrovadītspējas uzlabošanai paraugi pārklāti ar 15 nm biezu zelta-palādijs slāni, izmantojot Leica EM ACE600 plazmas apputināšanas iekārtu (Leica Microsystems, Wien, Austrija). Olām čaumalas biezuma mērījumi veikti trijās vietās, t.i., lielajā galā, centrā un mazajā galā. Lai veiktu detalizētus mērījumus, lietots $200\times$ un $2000\times$ palielinājums un 15 kV paātrinājuma spriegums.

Čaumalu elementu sastāva analīze veikta, izmantojot INCA x-act LN2-free analītisko silīcija novirzes detektoru un PentaFET® Precision enerģijas izkļiedes rentgenstaru spektrometru (Oxford Instruments Inc., Bognor Regis, Apvienotā Karaliste). Detektors darbināts ar 15 mm darba attālumu no parauga ar 40 % līdz 60 % neapstrādāto rentgenstaru skaitu (angl. Deat time).

Pētījuma **II posmā** tika veikts pētījums par iepakojuma un uzglabāšanas laika ietekmi uz šķidro olu produktu kvalitāti.

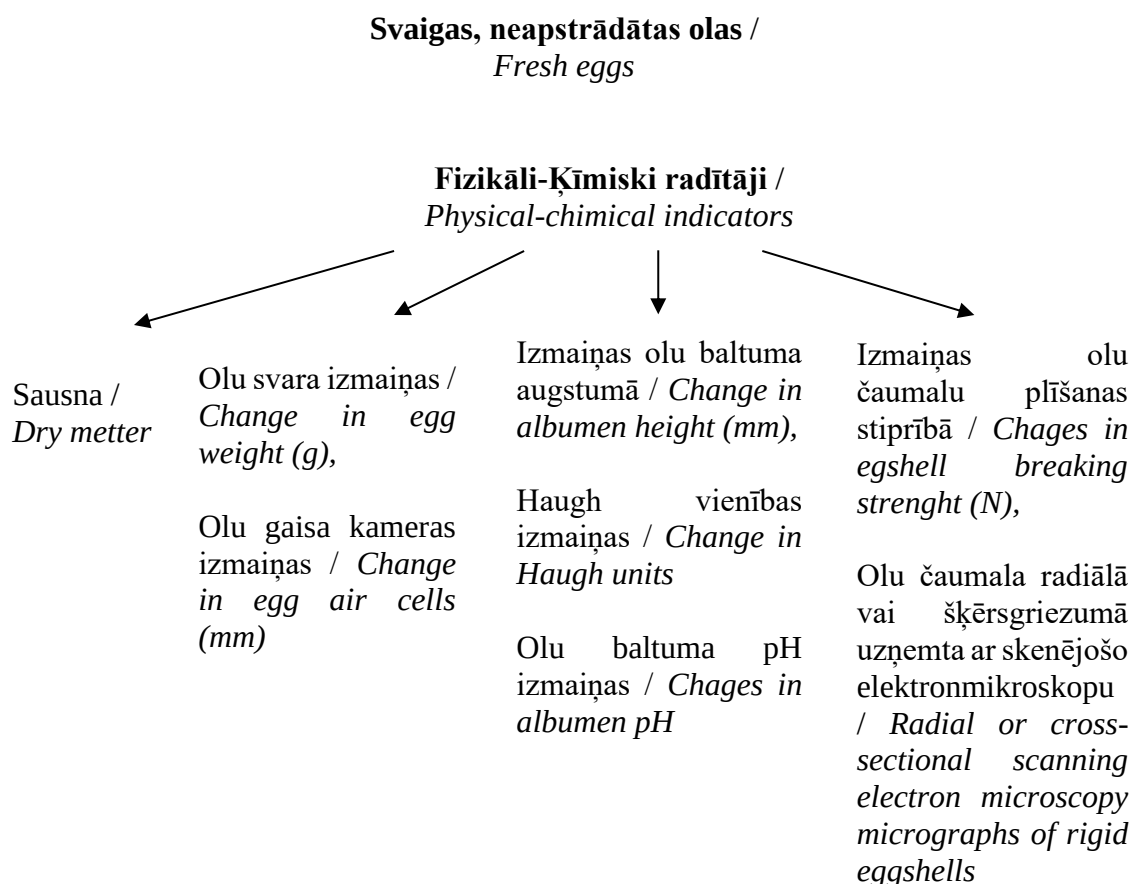
Pasterizētas šķidrās olas masas sagatavošanai izmantotas 18 000 gab olas. Šķidrā olu masa homogenizēta 57 °C temperatūrā, pasterizēta, izmantojot plāksņu pasterizatoru *Ovobel*

AR56SH (Brige, Beļģija) AS Balticovo, Iecava, Latvija. Pasterizācijas procesa ilgums - 6 minūtes 67–70 °C temperatūrā. Pēc pasterizācijas šķidrā olu masa tika iepakota četrus veidus iepakojumos ar tilpumu 0.5 L, t.i., augsta blīvuma polietilēna (HDPE) pudelēs, polietilēntereftalāta (PET) pudelēs, Tetra Pak® Bio based iepakojumos (TP) un Doypack (DP) (1. tabula). Šķidro olu masu eksperimenta laikā uzglabāja 4±1 °C temperatūrā 35. dienas. Produktiem pārbaudes testus veica 0. (uzreiz pēc saražošanas un sapildīšanas), 15. (pirmās indikācijas par izmaiņām mikrobioloģijas rādītājos) un 35. (teorētiskais derīguma termiņš) uzglabāšanas dienās.

Pētījuma ietvaros organizētas divas patērētāju, ražotāju un mazumtirdzniecības uzņēmumu aptaujas. Vienā no tām noskaidrota respondentu (gala patērētāju) attieksme un zināšanas par viedo iepakojumu Latvijas tirgū, savukārt otrās aptaujas ietvaros noskaidrots respondentu (ražotāju un lielveikalu /tīklu vadītāji) viedoklis un zināšanas par viedo iepakojumu pieejamību un priekšrocībām pārtikas produktu aprites ciklā.

Pētījumā izmantotās analīžu metodes

- Svaigas, neapstrādātas olas.
- Analizēto kvalitātes rādītāju noteikšanas shēma ir dota 4. attēlā.



4. att. **Svaigu, neapstrādātu olu fizikāli-ķīmisko kvalitātes rādītāju noteikšanas shēma /**
Fig. 4. Scheme of characterization of physico-chemical properties of raw fresh eggs
(AS “Balticovo”, Latvija)

Svaigu, neapstrādātu olu paraugu atlases algoritms. Olu paraugi eksperimentiem iegūti uzņēmumā AS “Balticovo” (Iecava, Latvija) no trīs dējējvistu šķirnēm: Lohmann Brown, Sandy (42 nedēļas vecas, sprostos turētas dējējvistas, parauga kods: H/LS/CCE), H&NCoral

(41 nedēļu vecas, sprostos turētas dējējvistas, parauga kods: H/HN/CCE), H&N Coral (41 nedēļu vecas, ārpus sprostiem turētas dējējvistas, parauga kods: H/HN/BCE), un Dekalb (43 nedēļu vecas, ārpus sprostiem turētas dējējvistas, parauga kods: H/D/BWE). Lai novērtētu olu fizikāli-ķīmisko īpašību izmaiņas 24 stundu laikā pēc izdēšanas savāktas 180 olas no katras vistu šķirnes. Savāktās olas iepakotas atsevišķi pa 16 gab. kartona iepakojumā ar perforētu vāku. Kopējais savāktu olu skaits sasniedza 720 olas. Sākotnējā uzglabāšanas posmā no katras grupas paņemtas 16 olas un nogādātas AS “Balticovo” laboratorijā kvalitātes pārbaudei. Atlikušo olu daļu uzglabāja kontrolētos apstākļos 20 ± 2 °C un 50 % gaisa relatīvā mitrumā. Eksperimenta ilgums noteikts 36 dienas, pamatojoties uz uzņēmumā ražotās šķidrās olu masas svaigo izejvielu kritēriju prasībām. Lai noskaidrotu kvalitātes rādītāju izmaiņas, olu fizikāli-ķīmiskās īpašības analizētas katru ceturto dienu, t.i., 1., 4., 8., 11., 15., 18., 22., 26., 28., 32. un 36. dienā. Katrā plānotajā analīžu veikšanas dienā no katras vistu šķirnes paņemtas 16 olas, lai nodrošinātu vidējo paraugu skaitu (2.4. att.).

Olu svars noteikts, izmantojot gravimetrisko metodi. Paraugu atlases laikā katra ola tika nosvērta izmantojot verificētus svarus ar precizitāti 0.00 g, bet turpmākajām analīzēm tās tika pārsistas uz līdzenas virsmas. ,

Olu baltuma augstums (Haugh vienība) mērīts ar elektronisko olu baltuma augstuma digitālo Haugh testerī ORKA (Bountiful, UT, ASV), pēc Eizens *et al.* (Eisen, Bohren & McKean, 1962) aprakstītas metodes.

Olu baltuma pH mērīts 4 stundas pēc dēšanas ar pH-metru *Jenway 3510 Benchtop pH Meter* (Barloworld Scientific, Stafordšīra, Apvienotā Karaliste) saskaņā ar GOST 31469-2012, 14. nodaļa standartu.

Olu čaumalas biezums mērīts, izmantojot mikrometru *Mitutoyo 223-101* (Kawasaki, Japāna) un skenējošais elektronmikroskops (SEM).

Olu čaumalas stiprība noteikta, izmantojot *FUTURA Egg-Shell-Tester V. 2.0* (Lohne, Vācija) testerī, kas aprīkots ar alumīnija kompresijas disku 7.62 cm diametrā, kas piestiprināts pie čaumalas un olu turētāja. Ola novietota tā, lai disks saskartos ar olu no tās lielākā gala.

Olu mitruma saturs noteikts, izmantojot *Shimadzu MOC-120H* (Shimadzu Corporation, Tokija, Japāna) mitruma analizatoru.

Pasterizēta šķidro olu masa.

Kīmiskā sastāvā noteikšana. Analizējot pasterizētu šķidro olu masu, ir nepieciešams noteikt tās enerģētisko vērtību un uzturvērtību, kas sniedz pamatinformāciju par produktu. Pētījuma ietvaros noteica: aminoskābes, mg 100 g; taukskābes, mg 100 g; holesterīns, mg 100 g; minerālvielas mg 100 g⁻¹; vitamīni mg kg⁻¹.

Šķidrās olu masas paraugi analizēti pētījuma uzsākšanas brīdī. Kvalitātes rādītāji noteikti eksperimenta uzsākšanas brīdī un pēc 15. un 35. uzglabāšanas dienas. Paraugi uzglabāti 4 ± 1 °C temperatūrā.

Pasterizētas šķidro olu masas minerālvielu kvantitatīvā analīze, proti P, Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu satura noteikšana veikta, izmantojot atomabsorbcijas spektrometrijas sistēmu saskaņā ar LVS EN 14082:2003 metodi.

Pasterizētas šķidro olu masas vitamīnu kvantitatīvā analīze veikta, izmantojot augsti efektīvās šķidruma hromatogrāfijas sistēmu (RP-HPLC) un (HPLC-DAD) saskaņā ar metodēm, norādītām 3. tabulā.

Vitamīnu noteikšanas metodes un standarti /
Methods and standard for determination of vitamin

N.p.k / Nr:	Vitamīni / Vitamins	Metodes / Methods
1.	A vitamīns / vitamin	PB-40/HPLC ed. III, apgrieztās fāzes augstas izšķirtspējas šķidruma hromatogrāfija (RP-HPLC)
2.	B ₂ vitamīns / vitamin	PN-EN 14152:2014-07, apgrieztās fāzes augstas izšķirtspējas šķidruma hromatogrāfija (RP-HPLC)
3.	B ₄ vitamīns / vitamin	QMP_504_KI_51_027: 2020-12, microbiological assay
4.	B ₅ vitamīns / vitamin	PB-325 red. I 30.11.2015, microbiological assay
5.	B ₆ vitamīns / vitamin	PN-EN 14164:2014-08, apgrieztās fāzes augstas izšķirtspējas šķidruma hromatogrāfija (RP-HPLC)
6.	B ₉ vitamīns / vitamin	PB-327 red. I 30.11.2015, microbiological assay
7.	B ₁₂ vitamīns / vitamin	PB-328 ed. I 30.11.2015 apgrieztās fāzes augstas izšķirtspējas šķidruma hromatogrāfija (RP-HPLC)
8.	D ₃ vitamīns / vitamin	MSZ EN 12821:2009, augstas izšķirtspējas šķidruma hromatogrāfija ar diožu matricas detektēšanu (DAD-HPLC)
9.	E vitamīns / vitamin	PB-40/HPLC red. III, apgrieztās fāzes augstas izšķirtspējas šķidruma hromatogrāfija (RP-HPLC)

Fizikāla-ķīmiska rādītāja – pH skaitliskās vērtības noteikšana. Pasterizētai šķidrai olu masai pH tika noteikts, izmantojot pH-metru *Jenway 3510 Benchtop pH Meter* (Bar-lowworld Scientific, Stafordšīra, Apvienotā Karaliste) saskaņā ar GOST 31469-2012, 14. nodaļa.

***Salmonella* spp. noteikšana**

Izmeklējama paraugs 25 g, pievieno 225 ml BPW (bufferd peptone water) barotnes, inkubē 34–38 °C, 18±2 stundas. Tad pārsēj uz RVS (Rappaport-Vassiliadis medium with soya) barotni (inkubē 41.5±1 °C, 24±3 stundas) un MKTTn (Muller-Kauffmann tetrathionate-novobiocin broth) barotni (inkubē 37 °C, 24±3 stundas). Pēc inkubēšanas pārsēj uz XLD (Xyloze Lysine Deoxicholate agar) un BrZFr agara (inkubē 37 °C, 24±3 stundas). Ja izaug ***Salmonella* spp.** tipiskas kolonijas, tad veic bioķīmisko un seroloģisko apstiprināšanu. Rezultātu interpretācija: ir vai nav konstatēta 25 g izmeklējamā paraugā. Saskaņā ar ISO 6579-1:2017 standartu.

Mikrobioloģiskie rādītāji. Mikrobioloģiskā izvērtēšana paraugos veikta ražošanas dienā (0. diena), kā arī 15. un 35. uzglabāšanas dienā, uzglabājot paraugus 4±1 °C temperatūrā. Šajā laikā, katram paraugu veidam HDPE, PET, Doypack un Tetra Pak® Bio Based iepakojumā noteikts mezofīli aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu kopskaits (MAFAM). Savukārt paraugiem iepakotiem HDPE, PET, Doypack iepakojumā papildus noteikta *Salmonella* spp., *Enterobacteriaceae* un pienskābes baktēriju klātbūtne. Paraugiem mikrobioloģiskās analīzes veiktas trīs atkārtojumos, lai pārliecinātos par iegūto rezultātu precizitāti.

Enterobaktēriju (*Enterobacteriaceae*) skaita noteikšana

1 ml testējamā parauga (sagatavo vienu decimālo atšķaidījumu sēriju no analizējamā parauga vai sākotnējās suspensijas) pārnes sterilā Petri platē. Ja nepieciešams, sagatavo vairākus atšķaidījumus. 1 ml no katra atšķaidījuma pārnes uz Petri plati. Katru plati pārlej ar 15 ml VRBG (Violet red glucose agar) barotnes (barotnes temperatūra 44–47 °C). Pēc barotnes sacietēšanas pārlej vēl ar 5-10 ml VRBG barotnes, ļauj sacietēt. Inkubē 37 °C, 24±2h. Skaita kolonijas uz plates ar max skaitu 150. Koloniju skaita aprēķinu veic saskaņā ar LVS EN ISO 7218 (aktuālā versija). Rezultātu interpretācija: KVV⁻¹ produkta.

Pienskābes baktēriju skaita noteikšana

1 ml testējamā parauga (vai sākotnējās suspensijas) pārnes sterilā Petri platē. Ja nepieciešams, sagatavo vairākus atšķaidījumus. 1 ml no katra atšķaidījuma pārnes uz Petri plati. Katru plati pārlej ar 15 ml MRS (de Man, Rogosa & Sharpe, medium) barotnes. Ļauj sacietēt. Inkubē 30±1 °C, 72±3 stundas. Skaita plates ar max 300 kolonijām. Koloniju skaita aprēķinu veic saskaņā ar LVS EN ISO 7218 (aktuālā versija). Rezultātu interpretācija: KVV⁻¹ produkta.

Mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu kopskaits (MAFAM)

1 ml testējamā parauga (vai sākotnējās suspensijas) pārnes sterilā Petri platē. Ja nepieciešams, sagatavo vairākus atšķaidījumus. 1 ml no katra atšķaidījuma pārnes uz Petri plati. Katru plati pārlej ar 12-15 ml PCA (plate count agar) barotnes (barotnes temperatūra 44–47 °C). Ļauj sacietēt. Inkubē 30±1 °C, 72±3 stundas. Skaita plates ar max 300 kolonijām. Koloniju skaita aprēķinu veic saskaņā ar LVS ISO 4833-1-2014 (aktuālā versija). Rezultātu interpretācija: KVV⁻¹ produkta.

Aptaujas veikšana

Pētījuma ietvaros organizētas divas patērētāju, ražotāju un mazumtirdzniecības uzņēmumu aptaujas. Vienā no tām noskaidrota respondentu (gala patērētāju) attieksme un zināšanas par viedo iepakojumu Latvijas tirgū, savukārt otrās aptaujas ietvaros noskaidrots respondentu (ražotāju un lielveikalu /tīklu vadītāji) viedoklis un zināšanas par viedo iepakojumu pieejamību un priekšrocībām pārtikas produktu aprites ciklā.

Patērētāju izpratne un attieksme pret aktīvām un viedām iepakojuma sistēmām Latvijas tirgū. Kopumā aptaujā piedalījās 865 respondenti. Tie atlasīti, lai maksimāli aptvertu Latvijas reģionus, aptuveni 170 respondenti no katra. Aptaujā tika analizēti respondenti, kuri dzīvo šādos Latvijas reģionos: Rīgā, Zemgalē, Vidzemē, Latgalē, Kurzemē. Aptaujas metodoloģija izmantota pētījuma mērķu sasniegšanai. Anketā bija 19 jautājumi ar atbilžu variantiem, un tā izplatīta respondentiem, izmantojot tiešsaistes aptaujas vietni VisiDati.lv. Respondentu sadalījums pēc dzimuma bija 65.9 % sievietes un 44.1 % vīrieši. Lielākā daļa respondentu (46.5 %) bija vecumā no 17 līdz 29 gadiem, 40.7 % bija vecumā no 30 līdz 50 gadiem, bet 12.8 % bija vecāki par 50 gadiem. Atbildot uz izglītības statusu, lielākā daļa aptaujā piedalījušos norādīja, ka viņiem ir augstākā izglītība – 57.0 %; arodizglītība vai profesionālā vidējā izglītība bija 20.6 % aptaujāto. Vidusskolas, izglītība bija 17.4 % respondentu.

Ražotāji izvēlēti no tiem, kuri ražo produktus ar īsu derīgumu termiņu (piemēram, piena produktus, augļus, olas) un kuru produkti atrodas visu 10 populārāko mazumtirgotāju plauktos. Pētījuma mērķa sasniegšanai izmantota anketēšana. Uz katru no 16 rūpīgi izstrādātiem jautājumiem atbildes bija vai nu ar atbilžu variantiem, vai arī respondents ierakstīja savu atbildes variantu. Aptauja veikta, izmantojot tiešsaistes aptaujas vietni VisiDati.lv. Respondentu skaits pēc dzimuma bija: 14 sievietes un 6 vīrieši. Lielākā daļa respondentu (16) bija vecumā no 35 līdz 50 gadiem, 3 bija vecumā no 25 līdz 35 gadiem un 1 bija vecāks par 50 gadiem. Atbildot uz izglītības statusu, aptaujā piedalījušos vairums norādīja, ka viņiem ir augstāka izglītība – 18; 2 respondenti ieguvuši arodizglītību vai profesionālo vidējo izglītību. Aptaujā tika izmantota kvalitatīvā metode. Anketēšanas laikā dalībnieki tika mudināti pilnībā atbildēt uz jautājumiem. Ja viņiem bija nepieciešams skaidrojums, tika sniegta papildu informācija, lai nodrošinātu, ka respondents pilnībā izprot jautājumu.

Datu statistiskā analīze

Iegūtie rezultāti ir parādīti, izmantojot vidējo aritmētiku vērtību un standartnovirzi trīs atkārtojumos ($n = 3$). Lai noteiktu būtiskas atšķirības starp vidējām vērtībām, dati analizēti ar IBM® SPSS® Statistics versiju 20.0 (SPSS Inc., Čikāga, IL, ASV), izmantojot vienfaktora dispersijas analīzi (ANOVA) un Duncan's daudzfaktoru dispersijas analīzi (MANOVA). Izvērtējot faktoru ietekmi, noteikta p-vērtība, kura novērtēta kā būtiska, ja p-vērtība $< \alpha 0.05$.

REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Saskaņā ar Eiropas Komisijas (EK) Regulu Nr. 589/2008 olu uzglabāšanas laiks apkārtējās vides temperatūrā un relatīvā gaisa mitrumā 50 % ir definēts kā 28 dienas pēc izdēšanas. Šajā laikā olas baltuma daļa ievērojami samazinās, A kategorijas, jeb “svaigas” olas pārdēvējot par B kategorijas, kad olas ir paredzētas izmantošanai pārtikas vai nepārtikas rūpniecībā (līme, ādas tīrīšanas līdzeklis), kosmetoloģijas nozarē (Commission Regulation 2008). Turklāt neatgriezeniskas olu baltuma kvalitātes izmaiņas veicina aminoskābju un taukskābju jutīguma palielināšanos pret oksidācijas procesiem (Obianwuna *et al.*, 2022). Tāpēc šādas kvalitātes olas vairs nav piemērotas svaigam patēriņam. Tomēr tās var izmantot kā izejvielu šķidru olu masu ražošanai, ņemot vērā mikrobioloģiskās drošības jautājumus (Kocetkovs *et al.*, 2022). Olu uzglabāšanas laiku attiecībā uz fizikāli-ķīmiskajiem parametriem ietekmē ārējie faktori, piemēram: apkārtējā vide, ražošanas un uzglabāšanas apstākļi, kā arī albumīni, pH un ūdens aktivitāte. Paaugstināta mitruma satura un ūdens aktivitātes dēļ olas un no tām iegūtie produkti tiek raksturoti kā produkti, kas ātri bojājas. Turklāt taukskābju, īpaši mononepiesātināto (MUFA) un polinepiesātināto (PUFA), pieejamība padara šo produktu ļoti jutīgu pret oksidēšanos. Laika posmā no atčaulošanas līdz patēriņam, olu kvalitāte strauji pasliktinās. Lai saglabātu no olām iegūto produktu kvalitāti visā uzglabāšanas laikā, jāizvēlas atbilstošs iepakojums un olu pārstrādes procesā stingri jāievēro mikrobioloģiskās drošības aspekti līdz pārstrādei un iepakojšanai.

Mitruma un CO₂ zudums caur olu čaumalas porām un mikroplaisām ir galvenais faktors, kas izraisa pH paaugstināšanos un olu kvalitātes pasliktināšanos (Eke, Olaitan & Ochefu, 2013). Savukārt pH izmaiņas izraisa reakciju kaskādi, piemēram, ovomucīna-lizocīma kompleksa degradēšanos, olu baltuma sašķidrināšanos, ūdens migrāciju un vitelīnas membrānas vājināšanos (Rizzi 2021). Savukārt olu fizikālo un ķīmisko īpašību izmaiņas ir intensīvākas plānāka olu čaumalas slāņa gadījumos (Ketta & Tůmová, 2018). Šo apgalvojumu papildus apstiprina Veldsman *et al.* (Veldsman *et al.*, 2020) un Ahmeds *et al.* (Ahmed *et al.*, 2021) pētījumi, kas norāda, ka olu čaumalu biezuma un mikrostruktūras integritātei ir būtiska nozīme, lai pasargātu putnu olas no mitruma zuduma un aizsargātu tās no piesārņojuma ar patogēniem mikroorganismiem. Olu uzturvērtības un olu čaumalas strukturālo integritāti nosaka putnu vecums un genotips (Vlčková *et al.*, 2019). Sabalansētas barības nozīmi dējējvistām ir uzsvēruši Stefanello (Stefanello *et al.*, 2014a) un Qiu (Qiu *et al.*, 2020), norādot uz dējējvistu barībā izmantoto minerālu avotu nozīmi, kas iegūti no neorganiskiem savienojumiem, piemēram, karbonātiem, fosfātiem, oksīdiem un sulfātiem olu čaumalu veidošanā (Stefanello *et al.*, 2014a; Vlčková *et al.*, 2019). Atbilstoša daudzuma mikroelementu klātbūtne vistu barībā padara olu čaumalu stingrāku un pietiekami izturīgāku, lai novērstu olu plīšanu iepakojšanas un transportēšanas laikā.

1. Svaigu olu kvalitāte un tā izmaiņas uzglabāšanas laikā apkārtējās vides apstākļos

Olu čaumalu komponentu morfoloģiskā un elementu sastāva analīze ar skenējošo elektronmikroskopu un rentgenstaru enerģijas dispersijas spektroskopu

Zinātniskajos rakstos aprakstīts, ka olu čaumalu sastāvu veido aptuveni 96 % kalcija karbonāts. Salīdzinājumam, atlikušie 4 % ir magnijs, fosfors un dažādi mikroelementi, kas galvenokārt atrodas organiskajā matricā (Ketta & Tūamová, 2016). Olas čaumalu veido pieci histoloģiskie slāņi, kā parādīts 3. A attēlā. Divi iekšējie slāņi ir nepārkalķotās iekšējās (ShMb_I) un ārējās (ShMb_O) apvalka membrānas, kas sastāv no savstarpēji savienotām proteīna šķiedrām. Membrānu funkcijas ietver mineralizētas čaumalas stiprināšanu, jo jebkādi traucējumi olas čaumalas membrānas veidošanā vai struktūrā novērs normālu čaumalas mineralizāciju. Turklāt olas čaumalas membrānai ir liela nozīme, jo tā novērs mikroorganismu migrāciju (Sales, Poggenpoel & Cilliers, 1996). Olas čaumalas membrāna ir attēlota kā šķiedru tīkls, kas sastāv no I tipa kolagēna, dermatāna sulfāta, hondroitīna sulfāta un glikozamīna (Ruff *et al.*, 2009). Olas čaumalas membrānas, kā vairāku veselību veicinošu savienojumu avota atklāšana padara to praktisku un drošu ar ceļa osteoartrītu saistīto sāpju un stīvuma ārstēšanai (Ruff *et al.*, 2009). Kā var redzēt, aiz olas čaumalas membrānām seko mineralizētais konusus masīvs, ko sauc par mamilāro slāni (MaL). Mineralizācijas gaitā mamilārais slānis saplūst, veidojot kompakto palisādes slāni (PsL). Palisādes slānis, kas atbilst divām trešdaļām olas čaumalas minerālu biezuma, beidzas pie plāna vertikāla kristāla slāņa, kas ir perpendikulārs čaumalas virsmai un atrodas uz čaumalas ārējās minerālās virsmas. Ārējais slānis, jeb kutikula (CuL), ir proteīna plēve, kas izvietota uz olas čaumalas minerālās virsmas. Tās sastāvā ir hidroksilapatīta kristāli, kā arī lielākā daļa (2/3) no virspusējiem olas čaumalas pigmentiem.

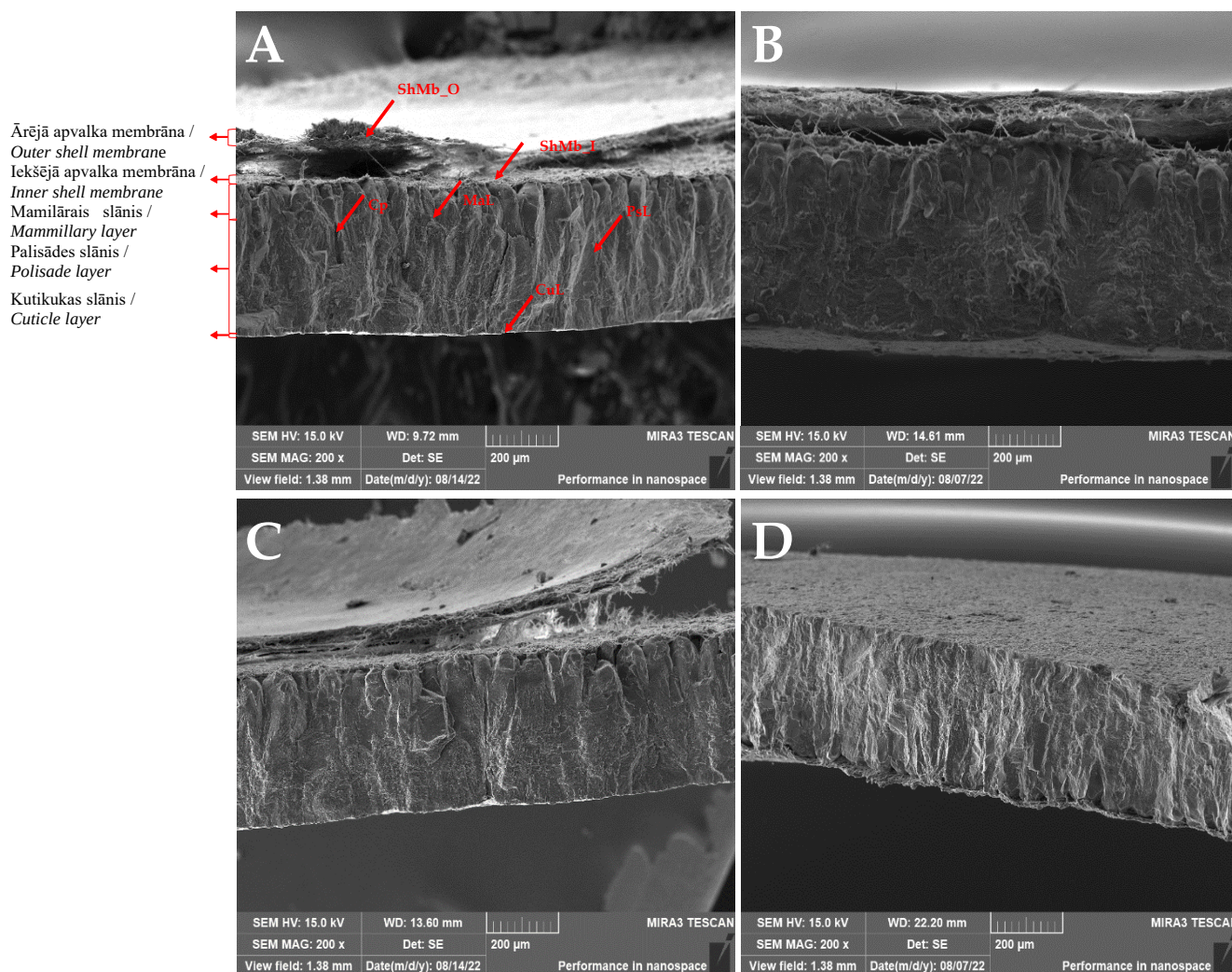
Olas čaumalas mikrostruktūras analīze dziļā vakuuma klātbūtnē SEM sistēmā, ko izmanto, lai novērstu elektrisko izlādi pistoles blokā un ļautu elektroniem netraucēti pārvietoties instrumentā, izraisīja nelielu čaumalas membrānas atdalīšanos no čaumalas (5. A, B, C un D att.). Kā redzams, olas čaumalas biezums svārstās diapazonā no 356.2 līdz 366.4 μm, olu čaumalas, kas iegūtas no sprostos turētu vistu olām H/LS/CCE, bija plānākas. Tomēr ir vērts atzīmēt, ka starp dažādu šķirņu vistu un turēšanas metodēm olu čaumalu biezumā netika novērotas statistiski nozīmīgas atšķirības ($p \geq 0.05$). Novērotās vērtības atbilst Sales *et al.* (Sales *et al.*, 1996), ziņojot par vistu olu čaumalu biezuma diapazonu no 240 līdz 370 μm. Sales *et al.* arī norāda, ka ārpus sprostiem turētu vistu olu čaumalu biezums nav vienmērīgs visā olas virsmā, t.i., biezums pie poliem ir lielāks nekā pie centra. Tomēr Fecheyr-Lippens *et al.* Savukārt statistiski nozīmīgas atšķirības ($p \leq 0.05$) novērotas starp čaumalas membrānas biezumu, kas konstatētas robežās no 20.0 līdz 59.9 μm.

Tāpat kā olas čaumalas biezuma gadījumā, sprostos turētu vistu olām, kas iegūtās no H/LS/CCE vistām, bija jūtami plānāks olu čaumalu membrānas slānis, savukārt no H/D/BWE olām, iegūtām no ārpus sprostiem turētu vistu olām, bija biezāka membrāna (4. tabula). Plānākas olu čaumalu membrānas, kas novērotas sprostos turētām vistām, visticamāk, ir saistītas ar minerālvielu, īpaši Cu, deficītu. Tiek ziņots, ka šis elements darbojas kā olas čaumalas membrānas veidošanā iesaistīts būtisks enzīms, piemēram, Cu saturošās amīnoksidāzes veicinātājs un sastāvdaļa (Qiu *et al.*, 2020).

Palisādes slāņa biezuma un kalcīta kristālu organizācijas nozīmi ir uzsvēruši Stefanello *et al.* (Stefanello *et al.*, 2014b), šie faktori veicina olas čaumalas izturību. Tomēr, kā redzams (3. att.), kalcīta kolonnām visās četrās olās ir ķīļveida struktūra, un starp paraugiem netika novērota būtiska atšķirība. Turklāt, veicot detalizētāku olu čaumalu paraugu mikroskopisko izmeklēšanu, netika novērotas acīmredzamas lielas un vienveidīgas B tipa mamilārās šūnas, un olu čaumalu veidošanās kristalizācijā (Park & Sohn, 2018).

Detalizētākai olu čaumalu mikroplaisu izpētei izmantota SEM sistēmas veiktā atpakaļ izkliedēto elektronu (BSE) attēlveidošanā, ļaujot atdalīt fāzes starp blīviem un plāniem virsmas

reģioniem, tādējādi identificējot amorfos reģionus. Ar sekundāro elektronu detektoru konstatētas acīmredzamas mikroplaisas uz olas čaumalas ārējās virsmas, kā parādīts 6. attēlā.



5.att. **Dējējvistu olas čaumala, radiālā vai šķērsgrīzumā uzņemta ar skenējošo elektronmikroskopu.** Makrostruktūras attēlos redzami olas čaumalas cieši pieguļoši histoloģiski slāņi. Čaumalas apvalka šķiedrainā membrāna dziļā vakuuma ietekmes rezultātā ir atrāvusies no neorganiskās daļas. Sarkanās bultiņas norāda: ShMb_O – ārējā apvalka membrāna; ShMb_I – iekšējā apvalka membrāna; Cp – kutikulas poras; PsL – palisādes slānis; MaL – mamilārās konusveidīgās šūnas; CuL – kutikulas slānis. SEM mikrostruktūras tika uzņemtas sākotnējā uzglabāšanas posmā (0 dienas). A – olas no ārpus sprostiņiem turētām dējējvistām, parauga kods (H/HN/BCE); B – olas no ārpus sprostiņiem turētām dējējvistām (H/D/BWE); C – sprostos turētas dējējvistas (H/LS/CCE); D – sprostos turētas dējējvistas (H/HN/CCE) / Fig. 5. Radial or cross-sectional scanning electron microscopy micrographs of rigid laying hen eggshells showing tightly abutting shell units. The fibrous shell membrane has pulled away from the calcareous layer. Red arrows indicate: ShMb_O – outer shell membrane; ShMb_I – inner shell membrane; Cp – cuticle pore; PsL – palisade layer; MaL – mammillary layer; CuL – cuticle layer. Note: SEM micrographs were taken at the initial stage of storage (0 days). A – eggs from barn laying hens (H/HN/BCE); B – eggs from barn laying hens (H/D/BWE); C – eggs from enriched cage laying hens (H/LS/CCE); D – eggs from enriched cage laying hens (H/HN/CCE).

Biezu un garu mikroplaisu esamība novērota uz čaumalas virsmas olām, kas iegūtas no sprostos turētām dējējvistām H/LS/CCE, kam sekoja ārpus sprostiņiem turētās dējējvistas

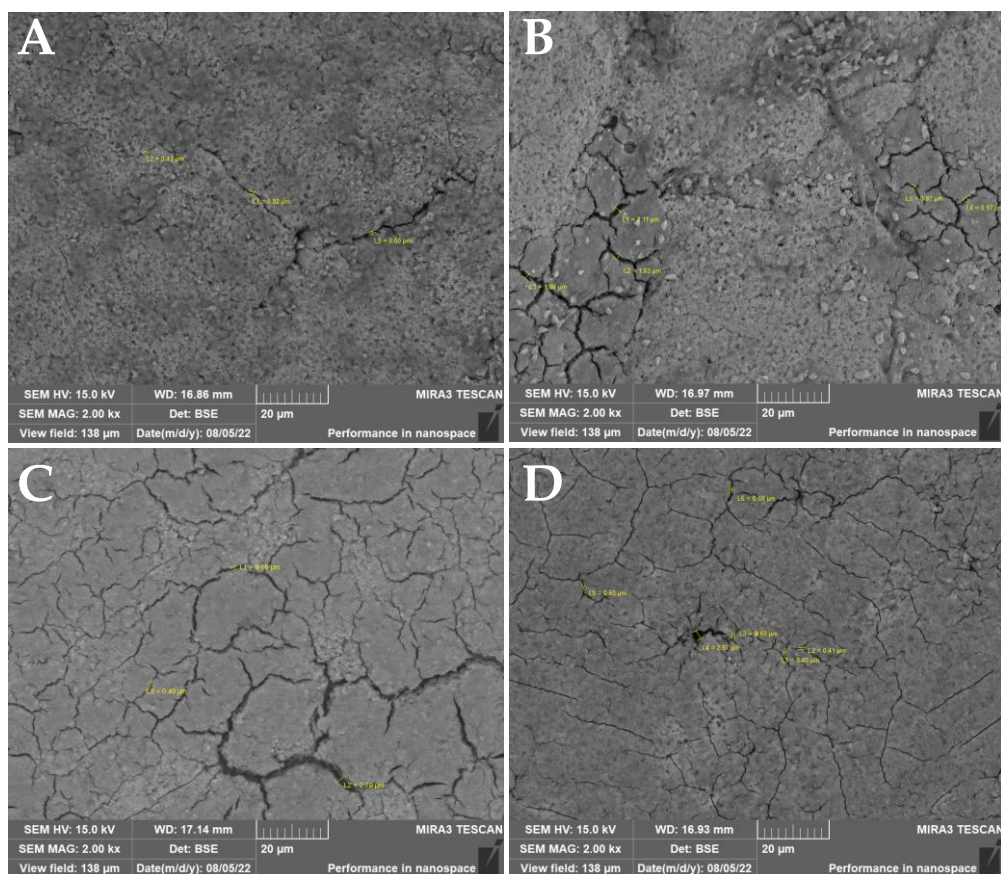
H/D/BWE. Biezuma vērtības vidēji atbilst attiecīgi 1.41 un 1.48 μm . Abos gadījumos uz olu čaumalu virsmas novērotas zirnekļu tīklam līdzīgas plaisas. Vismazākais plaisu skaits, kā arī to biezums konstatēts uz čaumalu virsmas olām, kas iegūtas no ārpus sprostiem turētām dējējvistām H/HN/BCE un sprostos turētām dējējvistām H/HN/CCE, kas attiecīgi atbilst 0.67 un 0.91 μm . Uz čaumalas virsmas olām, kas iegūtas no sprostos turētām dējējvistām H/HN/CCE, ir vērojamas acīmredzamas “matu” līnijas plaisas. Jāatzīmē, ka zinātnieku grupa Khabisi vadībā (Khabisi, Salahi & Mousavi, 2012) uzsvēra “matu” tipa mikroplaisas uz olu čaumalu virsmas, kas veicināja vislielāko svara zudumu un izšķīlšanās spējas samazināšanos salīdzinājumā ar zirnekļu tīklam līdzīgām mikroplaisām uz olu virsmām. Ir vērts atzīmēt, ka no kopējā izmeklēto olu skaita, olām, kas iegūtas no H/HN/BCE ārpus sprostiem turētām dējējvistām, nebija redzamu čaumalas virsmas plaisāšanas pazīmju.

4. tabula / Table 4.

Olas čaumalas un membrānas biezuma un virsmas mikroplaisu vidējā lieluma vērtības /
Mean size values of eggshell and membrane thickness and surface microcracks

	Ārpus sprostiem turētās dējējvistas / Barn eggs H/HN/BCE			Ārpus sprostiem turētās dējējvistas / Barn eggs H/D/BWE			Sprostos turētās dējējvistas / Enriched cage eggs H/LS/CCE			Sprostos turētās dējējvistas / Enriched cage eggs H/HN/CCE		
	ES	SMB	WMC	ES	SMB	WMC	ES	SMB	WMC	ES	SMB	WMC
Vidējais izmērs / Average size, μm	362.6 ^a	53.2 ^b	0.67 ^c	366.4 ^a	59.9 ^a	1.48 ^a	356.2 ^a	20.0 ^c	1.41 ^a	362.4 ^a	21.4 ^c	0.91 ^b
STDEV	22.9	5.3	0.22	17.7	8.5	0.14	19.6	4.2	0.18	11.5	5.3	0.10

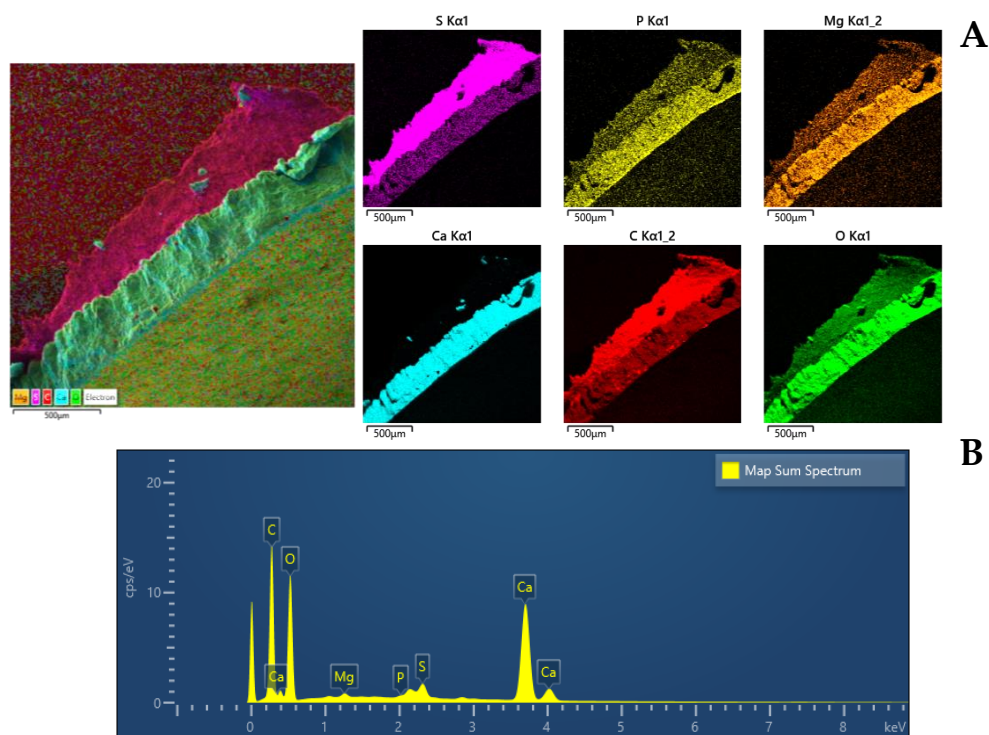
Piezīme: Vērtības ir vidējās $\pm$ SD vērtības $n = 50$. Vidējie rādītāji vienā paraugā ar dažādiem augšraksta burtiem (a,b,c) ievērojami atšķiras, ja $p \leq 0.05$. SD – standarta novirze; ES – olu čaumalas izmērs; SMB – olu čaumalas membrānas izmērs; WMC – virsmas mikroplaisu platums / *Values are means $\pm$ SD values of $n = 50$. Means within the same samples with different superscript letters (a,b,c) are significantly different at $p \leq 0.05$. SD – standard deviation; ES – size of eggshell; SMB – size of eggshell membrane; WMC – width of surface microcracks.*



6.att. Dējējvistu olu čaumalu ārējā virsma, kas fiksēta ar skenējošo elektronmikroskopu, kurā redzama gareniskā “mata” līnija un zirnekļa tīklam līdzīgas plaisas (norādītas ar dzeltenu L burtu ar platuma vērtībām). Piezīme: Skenējošie elektronu mikrogrāfi tika uzņemti sākotnējā uzglabāšanas posmā (0 dienas). A – sprostos turētu dējējvistu olas (H/HN/BCE); B – sprostos turētu dējējvistu olas (H/D/BWE); C – ārpus sprostiem turētu dējējvistu olas (H/LS/CCE); D – ārpus sprostiem turētu dējējvistu olas (H/HN/CCE) / Fig. 6. The external surface of the eggshell of laying hens captured by scanning electron microscope showing longitudinal hairline and spider like cracks (indicated by the yellow L letter with width values). Note: Scanning electron micrographs were taken at the initial stage of storage (0 days). A – eggs from barn housed laying hens (H/HN/BCE); B – eggs from barn housed laying hens (H/D/BWE); C – eggs from enriched cage laying hens (H/LS/CCE); D – eggs from enriched cage laying hens (H/HN/CCE).

Visām olu čaumalām EDS enerģiju izkliedējošā rentgena spektroskopija elementu kartēšanas analīze (angl. *elemental mapping analysis*) no četriem olu paraugiem atklāja gandrīz līdzīgus profilus un elementu sastāvu (dati nav attēloti). Kopumā olu čaumalās tika konstatētas sešu bāzes elementu pazīmes, t.i., Na, Mg, P, S, Ca un O (7. att.). Kā norādīts, intensīvs signāls, kas atbilst S (sērs) elementam, pārsvarā tika identificēts uz membrānas slāņa (vidēji 0.94 % svara). S klātbūtne ir saistīta ar sēru saturošu aminoskābju klātbūtni kolagēna bagātajā frakcijā, piemēram, cistīnu (9–10 %) un metionīnu (3–4 %) (Britton & Hale, 1977).

Elementu vizualizācijas analīzes laikā atklāta P (fosfors) klātbūtne (vidēji 1.50 % svara), galvenokārt kalcija fosfāta ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) veidā, kā ziņo Li *et al.* (Li *et al.*, 2022). Šo apgalvojumu var pastiprināt tāds pats vienmērīgs Ca un O elementu sadalījuma modelis kā P visā olu čaumalas mamilāra un palisādes slāņos. Ir vērts atzīmēt, ka EDS kartēšanas analīzes laikā P klātbūtne ar augstu signāla intensitāti novērota arī olu čaumalu ārējā daļā. Tikmēr atklāta tāda pati intensīva Mg nogulsnešanās pie čaumalas iekšējās un ārējās virsmas (vidēji 0.92 % svara).



7. att. Elementu kartēšanas analīze (A) un enerģijas dispersijas spektrogrammas, kurās atspoguļots elementu sadalījums (B) olu čaumalās. Olu čaumalas iegūtas no H/D/BWE ārpus sprostiem turētu dējējvistu olām, kuru vecums ir 42 nedēļas. Piezīme: S – sērs; P – fosfors; Mg – magnijs; Ca – kalcijs; C – ogleklis; O₂ – skābeklis / Fig. 7. Elemental mapping analysis (A) and energy dispersive spectroscopy (B) of the eggshell. Eggshell derived from eggs of H/D/BWE barn cage laying hens aged 42 weeks. Note: S – sulphur; P – phosphorous; Mg – magnesium; Ca – calcium; C – carbon; O₂ – oxygen.

Par Mg klātbūtni magnija karbonāta (MgCO₃) veidā ziņoja Borhade un Kale (Borhade & Kale, 2017) pētījumi. O, C un Ca elementu līmeņi bija visaugstākie starp visiem elementiem, kas atbilst attiecīgi 48.3, 30.1 un 19.8 % svara sadalījumam. Oglekļa (C) kā galvenā elementa, kas novērots kopā ar Ca un O, klātbūtne ir izskaidrojama ar abpusēju adhezīvu oglekļa disku, ko izmanto olu čaumalu paraugu fiksēšanai. Iepriekšējie pētījumi ar olu čaumalu EDS elementu kartēšanas analīzi atklāja kalcijs karbonāta (CaCO₃) klātbūtni, kas veido 97 % no kopējā elementu daudzuma.

Sākotnējais olu galveno kvalitātes īpašību novērtējums atklāj statistiski nozīmīgas ($p \leq 0.05$) atšķirības izvēlētajās kritēriju vērtībās: olu svars, gaisa kameras izmērs, olu čaumalu plīšanas stiprība, olu baltuma augstums, Haugh vienība (izņemot pH vērtību) 36 uzglabāšanas dienu laikā pie apkārtējās vides temperatūras 20 ± 1 °C un relatīvā gaisa - mitruma (RH) 50 %. Būtiskākās olu fizikālās izmaiņas uzglabāšanas laikā bija **olu svarā** (6. tabula.). Pēc 11 dienu uzglabāšanas novērots olu svara samazinājums par 4.1 %, salīdzinot ar katra olu parauga sākotnējo vērtību. Rezultāti saskan ar zinātnieka Khan vadībā veiktajiem pētījumiem (Khan *et al.*, 2014), kas norāda uz samērā līdzīgu procentuālo samazinājumu pēc 11 dienu olu uzglabāšanas 21 ± 2 °C temperatūrā. Tika konstatēts, ka svara zudums pēc 28 uzglabāšanas dienām ir robežās no 5.3 līdz 12.2 %, kas ir būtiski augstāks, nekā ziņo Džounss *et al.* (Jones *et al.*, 2018) nemazgātām olām, kas četras nedēļas turētas 22 ± 2 °C temperatūrā. Pētījumos ievērojama olā gaisa kameras palielināšanās novērota jau pēc olu 11 dienu uzglabāšanas, kas atbilst palielinājumam diapazonā no 18.7 līdz 53.8 %, kur olām no sprostos turētām vistām H/HN/CCE bija visniecīgākais pieaugums, bet olām, kas iegūtas no sprostos turētām vistām H/LS/CCE visaugstākais. Šī pētījuma rezultāti atklāja pakāpenisku olu baltuma augstuma samazināšanos 36 uzglabāšanas dienu laikā. Eksperimentā noteikts, ka **olu baltuma pH** pirmajā uzglabāšanas dienā svārstās robežās no 8.9 līdz 9.3, un olu baltumam, kas iegūts no

sprostos turētu vistu olām H/NH/BCE, bija viszemākā vērtība, bet olu baltumam, kas iegūts no olām, kuras iegūtas no ārpus sprostiem turētām dējējvistām H/D/BWE – visaugstākais.

5. tabula / Table 5.

Neapstrādātu olu fizikāli-ķīmisko īpašību izmaiņas uzglabāšanas laikā, kopsavilkums /
Changes in physicochemical properties of raw eggs during storage, summary

Paraugs/ Sample	Olu svars / Egg weight, g	Gaisa kamas izmērs / Air cell size, mm	Olu čaumalu plīšanas stiprība / Eggshell breaking strength, N	Olu baltuma augstums / Albumen height, mm	Haugh vienība / Haugh unit	Olu baltums / Albumen, pH
15 uzglabāšanas dienas / days of storage						
H/LS/CCE	-0.03 %	84.62 %	-5.90 %	-26.52 %	-18.49 %	1.63 %
H/HN/CCE	-1.89 %	25.00 %	-11.84 %	-36.70 %	-24.60 %	2.30 %
H/HN/BCE	-1.67 %	15.79 %	-9.35 %	-17.90 %	-12.62 %	1.99 %
H/D/BWE	-4.41 %	44.44 %	-5.34 %	-35.33 %	-23.24 %	1.20 %
28 uzglabāšanas dienas / days of storage						
H/LS/CCE	-5.32 %	123.08 %	-13.47 %	-45.37 %	-34.21 %	2.18 %
H/HN/CCE	-12.03 %	93.75 %	-9.21 %	-63.89 %	-49.98 %	2.41 %
H/HN/BCE	-6.55 %	36.84 %	-2.03 %	-44.37 %	-33.45 %	1.99 %
H/D/BWE	-12.24 %	72.22 %	-7.28 %	-40.79 %	-30.11 %	2.30 %

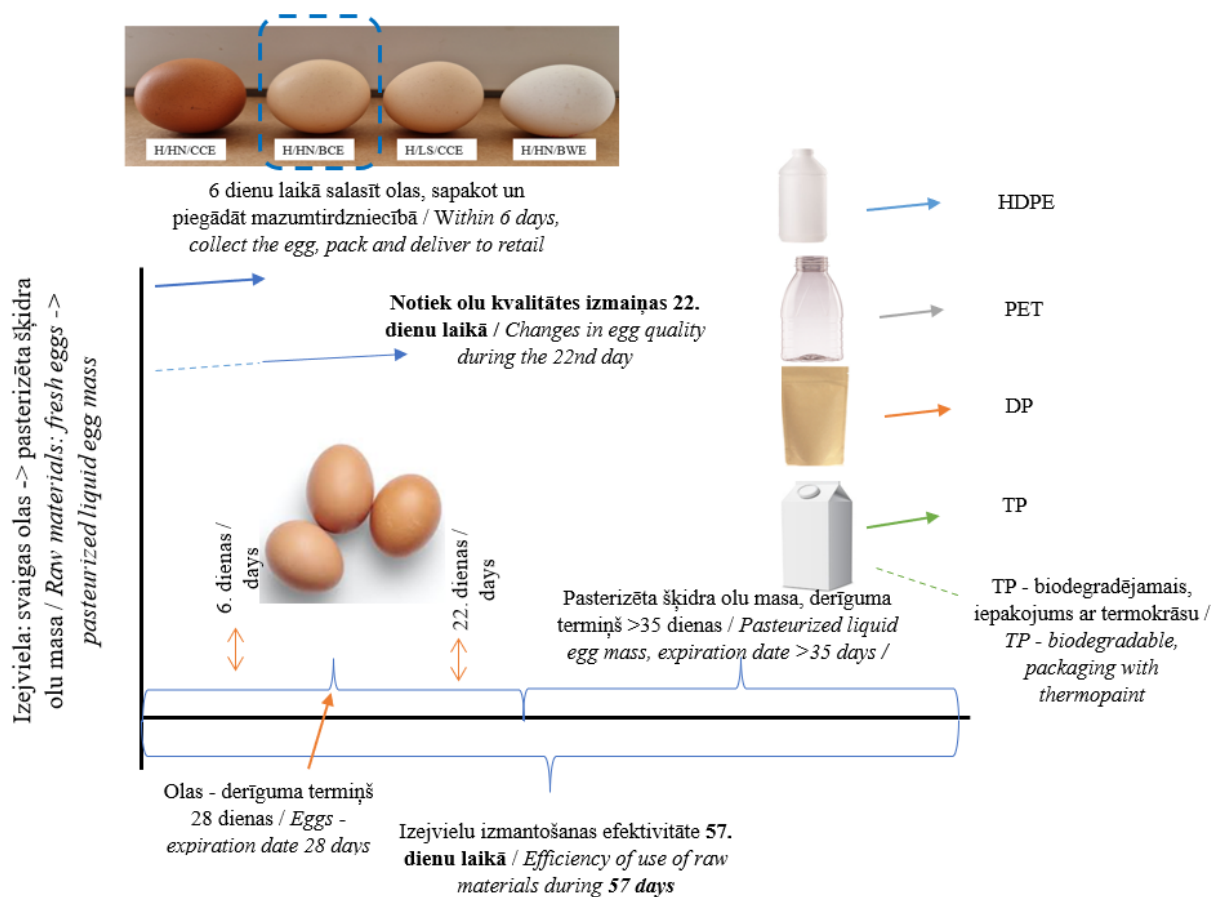
Piezīme: H/LS/CCE – olas no sprostos turētām dējējvistām; H/HN/CCE – olas no sprostos turētām dējējvistām; H/HN/BCE – olas no ārpus sprostiem turētām dējējvistām; H/D/BWE – olas no ārpus sprostiem turētām dējējvistām / *Note:* H/LS/CCE – eggs from enriched cage housed laying hens; H/HN/CCE – eggs from enriched cagehoused laying hens; H/HN/BCE – eggs from barn housed laying hens; H/D/BWE – eggs from barn housed laying hens.

Ņemot vērā analizētos datus par olām no sprostos turētām dējējvistām un ārpus sprostiem turētām dējējvistām, var secināt ka paraugi H/HN/BCE (ārpus sprostos turētas dējējvistas) fizikālās un ķīmiskās īpašības konstatēti ar minimālām izmaiņām. Var secināt, ka izejvielu, ko nebija iespējams realizēt pakotā veidā pirmās sešas dienas, var izmantot, pārstrādājot pasterizētā šķidrā olu masā. 15 uzglabāšanas dienu laikā izejvielas svara zudumi var mainīties no 0.03 % līdz 4.41 %, savukārt 28 uzglabāšanas dienu laikā zudumu % palielinājās no 5.32 % līdz 12.24 %, kā rezultātā sadārdzinās produkta pašizmaksa (5. tabula).

2. Pasterizētas un četru veidu iepakojumos fasētas olu masas izvērtējums uzglabāšanas laikā

Šobrīd eksperimentālā izstrādnē mārketinga nolūkos uzņēmumā Balticovo tiek analizēti dažāda veida iepakojumi, kam ir nozīme ne tikai produktu drošības nodrošināšanai, bet arī ērtai lietošanai un efektīvai patērētāju informēšanai. Pasterizētas olu masas kvalitātes saglabāšana tiek analizēta, izmantojot tādus iepakojumus kā augsta blīvuma polietilēna (HDPE) pudeles, polietilēntereftalāta (PET) pudeles, daudzslāņu laminētās stāvpakas - Doypack (DP) un laminētā kartona Tetra Pak® Bio based (TP) pakas (8. att.). Tomēr līdz šim analizētie dati nav pietiekami, lai sniegtu nepārprotamus apgalvojumus par viena vai otra iepakojuma priekšrocībām, jo līdz šim nav publicēti ziņojumi par pasterizētās šķidrās olu masu kvalitātes saglabāšanos.

Balstoties uz 1. nodaļā iegūtajiem rezultātiem, izlemts pasterizēto olu masu ražot no olām, kas iegūtas no ārpus sprostiem turētām dējējvistām, paraugs (H/HN/BCE) pēc AS "Balticovo" izstrādātās tehnoloģijas (skat. 2. att.). Pasterizētas šķidrās olu masas ražošanas tehnoloģiskā shēma), un olas pārveidot par olu masu ne vēlāk kā 28 dienas pēc to izdēšanas, saskaņā ar iegūtajiem 1. nodaļas rezultātiem. Produkts pēc pakošanas uzglabāts 35 dienas 4 ± 1 °C temperatūrā.



8. att Izejvielu izmantošanas efektivitātes shēma olu un pasterizētas olu masas nodrošināšanai: HDPE – augsta blīvuma polietilēna pudele; PET – polietilēntereftalāta pudele; TP – Tetra Pak® Bio based laminētā kartona paka; DP – Doypack, laminētā daudzslāņu materiāla (PE/PAP/EVOH/PE) stāvpaka. / Fig. 8. Raw material transformed efficiency scheme for providing eggs and pasteurized egg mass: HDPE – high-density polyethylene bottle; PET – polyethylene terephthalate bottle; TP – Tetra Pak® Bio based laminated cardboard package; DP – Doypack, stand-up pack of laminated multilayer material (PE/PAP/EVOH/PE).

Minerālvielu saturs izvērtējums pasterizētas un iepakotas olu masas uzglabāšanas laikā / *Evaluation of mineral content during storage of pasteurized and packaged egg mass*

Olu sastāvā esošās minerālvielas, piemēram, Ca, P, Cu, Fe, Mn un Zn, pieder pie ietekmīgākajiem un pamata mikroelementiem, kas ir būtiski cilvēku un arī cāļu uzturā. Līdz ar to tie bieži tiek papildus pievienoti mājputnu uzturam. Tādējādi pastāv saistība starp šo elementu avotiem un devām mājputniem, uzkrāšanos audos un produktos, izdalīšanos no organisma un to uzkrāšanos augsnē un augos (Attia, Al-Harthi & Shiboob, 2014). Literatūrā ir reti sastopami pētījumi par minerālvielu saturu dažādās olu daļās. Olu minerālvielu saturam ir ievērojama ietekme uz veselību, un mūsdienās pieaug interese papildināt olas ar vairākiem minerāliem, piemēram, Se, Fe, Cr un Zn, lai sniegtu labumu cilvēku veselībai. Turklāt minerālvielu saturs olās un olu čaumalās uzrāda diezgan atšķirīgu koncentrāciju atkarībā no elementa devas un formas un citiem faktoriem, piemēram, fizioloģiskiem iemesliem, lopkopības prakses, ģeogrāfiskā apgabala, kā arī barības papildu piedevas (Kirse-Ozoliņa 2019).

Kā rāda līdzīgu pētījumu dati, redzams, ka uzturā lietotās olas satur nozīmīgu minerālvielu daudzumu - nodrošinot no 63 līdz 97 % no vidējā apjoma, kas ieteikts ES Regulā № 1169/2011 (Regulation (EU) No 1169/2011 of 2011, Roseland *et al.*, 2022). Kā rāda citu zinātnieku pētījumi, pasterizētā olu masā minerālvielas – cinks, fosfors, kalcijs, varš – ir ievērojami mazākā koncentrācijā – attiecīgi 47 %, 52 %, 56 % un 57 %, no rezultātiem līdzīga pētījumā Sophie Réhault-Godbert (6. tabula).

6. tabula / Table 6.

Minerālvielu saturs pasterizētā olu masā pēc 35 uzglabāšanas dienām četru veidu iepakojumos / *Reduction of mineral content in pasteurized egg mass after 35 days of storage in four types of packaging compared to the day of packaging*

Minerālvielas / Minerals	Radītāji / Parameters, mg 100g⁻¹
Fosfors (F)	130.00±6.50
Nātrijs (Na)	140.00±7.00
Kālijs (K)	116.00±5.80
Kalcijs (Ca)	36.00±1.80
Magnijs (Mg)	11.00±0.55
Dzelzs (Fe)	1.37±0.07
Cinks (Zn)	0.88±0.04
Varš (Cu)	0.05±0.00

Minerālvielas: kālijs un dzelzs – mazāk par 19 % un 27 % un minerālvielas nātrijs un magnijs – nenozīmīgi atšķiras: 1 % un 9 %, salīdzinot ar līdzīgiem pētījumiem Sophie Réhault-Godbert (Réhault-Godbert *et al.*, 2019). Savukārt salīdzinot datus, kas iegūti Youssef A. Attia, Mohammed A. Al-Harthi & Mohamed M. Shiboob pētījumā, minerālvielu pētītajā produktā ir vairāk, t.i., - no 35 % līdz 48 % (Attia *et al.*, 2014).

Vitamīnu dinamika pasterizētā un iepakotā olu masā uzglabāšanas laikā / *Dynamics of vitamins in pasteurized and packaged egg mass during storage*

Pasterizēta olu masa ir vitamīniem bagāts produkts, kurā no vitamīniem iztrūkst vienīgi C vitamīns. C vitamīna neesamība olās varētu būt saistīta ar faktu, ka putni var apmierināt vajadzības pēc C vitamīna no barības, ko uzņem, taču pats organisms to nesintezē (Nys *et al.*, 2011; Simons *et al.*, 2017).

Zinātnieki ir pierādījuši, ka olu kvalitāte ir mainīga un atkarīga no vairākiem fizikāliem, ķīmiskiem un bioloģiskiem faktoriem. Ir pierādīts, ka olu veselīguma mainīgums ir saistīts ar tīrību, svaigumu, fizikālajām īpašībām, mikroorganismu piesārņojumu, ķīmisko atliekvielu

piesārņojumu un atbilstošu uzturvielu saturu. Pēdējā laikā ir pastiprinājusies interese par uzturvielu sastāvu olās. Ir veikti zinātniskie pētījumi par vitamīnu satura mainīgumu olās un faktoriem, kas to var ietekmēt, kā arī aprēķināta vitamīnu daudzuma pāreja olās atkarībā no vitamīnu satura vistu barībā (Naber 1993). Ola un, it sevišķi, olas dzeltenums izceļas ar ievērojamu vitamīnu saturu un daudzveidību, proti, tā sastāvā ietilpst gandrīz visi vitamīni. Olas dzeltenums satur ievērojamu A, D, E, K, B₂, B₄, B₅, B₆, B₉ un B₁₂ vitamīnu daudzumu, savukārt olu baltumā ir liels B₂, B₃ un B₅ vitamīnu daudzums un arī ievērojams B₁, B₆, B₈, B₉ un B₁₂ vitamīnu saturs. Dienā apēdot divas olas, tiek nodrošināti no 10 % līdz 30 % no rekomendējamās B grupas vitamīnu dienas devas. Jāatzīmē, ka taukos šķīstošo vitamīnu (A, D, E, K) saturs olas dzeltenumā ir atkarīgs no vistas barības. Papildus šiem vitamīniem olas ir galvenais holīna avots, kas galvenokārt ir koncentrēts dzeltenumā (680 mg 100 g⁻¹ olas dzeltenumā pret 1 mg 100 g⁻¹ olas baltumā) (Anton, Nau & Nys, 2006; Réhault-Godbert *et al.*, 2019).

Pēc iegūtiem rezultātiem var secināt, ka iepakojuma paraugs TP – Tetra Rex Bio based laminētā kartona paka spēja nodrošināt vitamīnu 35. uzglabāšanas dienu laikā pasterizētā olu masā. Vitamīnu zudumi šajā tipa iepakojumā sastādīja no 1.2 līdz 24.6 %. Var atzīmēt, ka HDPE un PET iepakojumi mazākā mērā veicināja vitamīnu saglabāšanos, jo vitamīnu zudumi sastādīja attiecīgi no 1.0 līdz 25.4 % un no 3.4 līdz 27.2 % (7. tabula). Visbūtiskākie vitamīnu zudumi visos iepakojumos novēroti B₂ un B₉ saturā.

7. tabula / Table 7.

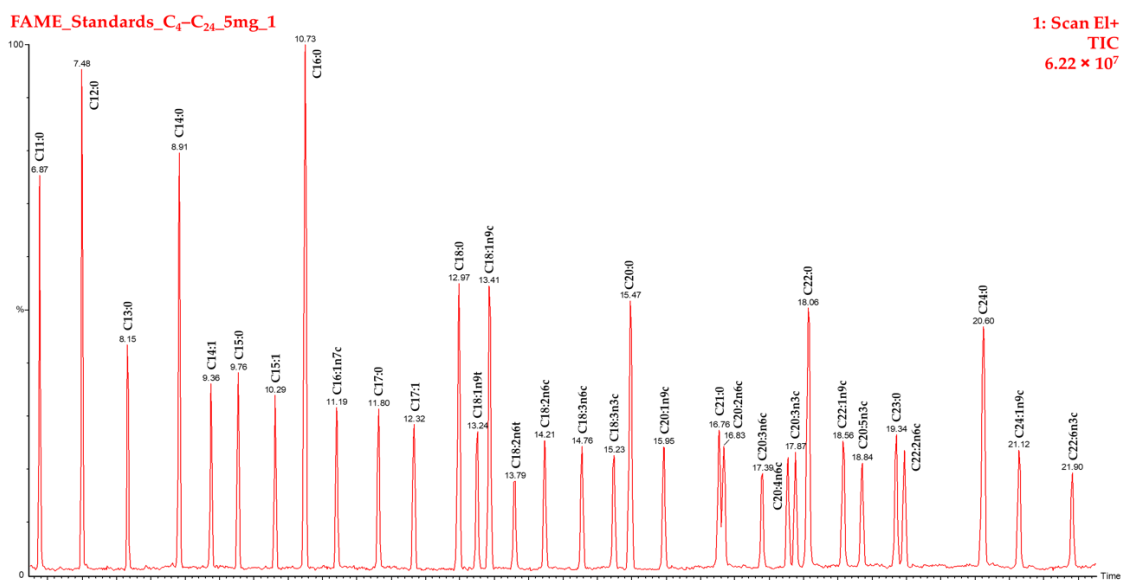
Vitamīnu satura samazinājums pasterizētā olu masā pēc 35 uzglabāšanas dienām četru veidu iepakojumos /

Reduction of vitamin content in pasteurized egg mass after 35 days of storage in four types of packaging compared to the day of packaging

Paraugi / Samples	Vitamīni / Vitamini, Δ%								
	A vitamīns	E vitamīns	D vitamīns	B ₂ vitamīns	B ₄ vitamīns	B ₅ vitamīns	B ₆ vitamīns	B ₉ vitamīns	B ₁₂ vitamīns
TP	-14.8	-1.0	-1.2	-24.6	-5.8	-10.6	-5.0	-14.3	-8.3
HDPE	-23.0	-1.0	-2.4	-25.4	-17.1	-26.1	-11.0	-16.4	-8.3
PET	-20.7	-3.4	-2.4	-27.2	-16.7	-24.1	-10.0	-15.3	-12.5
DP	-18.5	-1.0	-2.4	-26.3	-12.5	-12.6	-15.0	-15.9	-12.5

Pasterizētas un iepakotas olu masas taukskābju profila izmaiņas 35 dienu uzglabāšanas laikā / The changes in fatty acids profile of pasteurized liquid whole egg products during 35 days of storage in four types of packaging

Taukskābju veidus lipīdiem, kas ekstrahēti no olu masas, kura iepakota četru veidu iepakojumos un uzglabāta līdz 35 dienām 4±1 °C temperatūrā, ir parādīts 10. attēlā. Kopumā identificētas un kvantitatīvi noteiktas 28 taukskābes. Visos produktos identificētas sekojošās taukskābes: oleīnskābe (C18:1n9c) (42.45 %), palmitīnskābe (C16:0) (23.49 %), linolskābe (C18:2n6c) (8.86 %), stearīnskābe (C18:0) (6.64 %) uzglabāšanas sākumā (9. att.). Rezultāti cieši sasaucās ar zinātnieka Zita *et al.* (Zita *et al.*, 2022) pētījuma rezultātiem, kas norāda uz salīdzinoši līdzīgu taukskābju saturu un procentuālo sadalījumu bioloģiskajās olās. Kā redzams, uzglabāšanas rezultātā strauji samazinājās taukskābju saturs, un to procentuālais samazinājums bija atkarīgs no uzglabāšanas laika un iepakojuma veida.



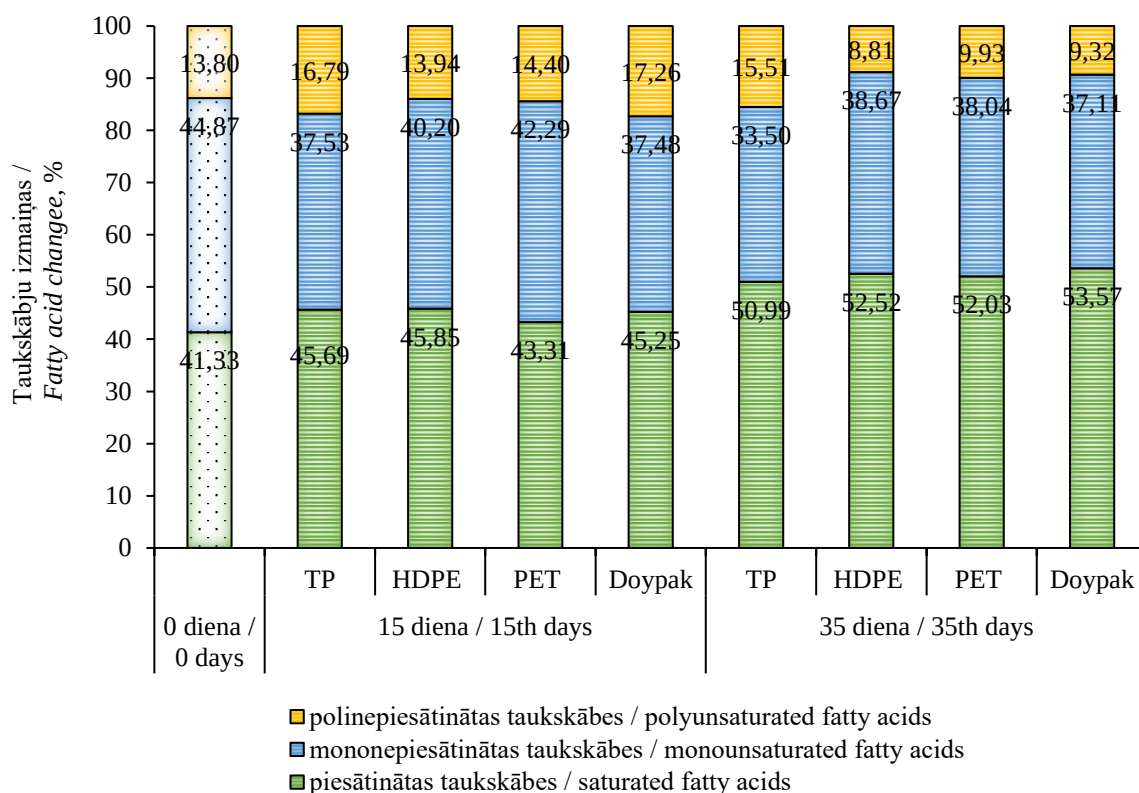
9. att. Taukskābju metilesteru (FAME) standartizdalīšanas laiku GC/MS hromatogramma

/ Fig. 9. GC/MS chromatogram of fatty acid methyl ester (FAME) standard separation times.

6.87 min (C11:0 – undekānskābe), 7.48 min (C12:0 – laurīnskābe), 8.15 min (C13:0 – tridekānskābe), 8.91 min (C14:0 – miristīnskābe), 9.36 min (C14:1 – miristoleīnskābe), 9.76 min (C15:0 – pentadekānskābe), 10.29 min (C15:1 – pentadecēnskābe), 10.73 min (C16:0 – palmitīnskābe), 11.19 min (C16:1n7c – palmitoleīnskābe), 11.80 min (C17:0 – heptadekānskābe), 12.32 min (C17:1 – heptadekānskābe), 12.97 min (C18:0 – stearīnskābe), 13.24 min (C18:1n9t – elaidīnskābe), 13.41 min (C18:1n9c – oleīnskābe), 13.79 min (C18:2n6t – linolelaidīnskābe), 14.21 min (C18:2n6c – linolskābe), 14.76 min (C18:3n6c – γ-linolēnskābe), 15.23 min (C18:3n3c – α-linolēnskābe), 15.47 min (C20:0 – arahīnskābe), 15.95 min (C20:1n9c – eikozēnskābe), 16.76 min (C21:0 – heneikozānskābe), 16.83 min (C20:2n6c – eikozadiēnskābe), 17.39 min (C20:3n6c – eikozadiēnskābe), 17.76 min (C20:4n6c – eikozatetraēnskābe), 17.87 min (C20:3n3c – eikozatriēnskābe), 18.06 min (C22:0 – dokožānskābe), 18.56 min (C22:1n9c – erucīnskābe), 18.84 min (C20:5n3c – eikozapentaēnskābe), 19.34 min (C23:0 – trikožānskābe), 19.46 min (C22:2n6c – dokožadiēnskābe), 20.60 min (C24:0 – tetrakožānskābe), 21.12 min (C24:1n9c – tetrakožēnskābe), 21.90 min (C22:6n3c – dokožaheksaēnskābe) / Fig. 9. 6.87 min (C11:0 – undecanoic acid), 7.48 min (C12:0 – dodecanoic acid), 8.15 min (C13:0 – tridecanoic acid), 8.91 min (C14:0 – tetradecanoic acid), 9.36 min (C14:1 – tetradecenoic acid), 9.76 min (C15:0 – pentadecanoic acid), 10.29 min (C15:1 – pentadecenoic acid), 10.73 min (C16:0 – hexadecanoic acid), 11.19 min (C16:1n7c – hexadecenoic acid), 11.80 min (C17:0 – heptadecanoic acid), 12.32 min (C17:1 – heptadecenoic acid), 12.97 min (C18:0 – octadecanoic acid), 13.24 min (C18:1n9t – octadecenoic acid), 13.41 min (C18:1n9c – octadecenoic acid), 13.79 min (C18:2n6t – linolelaidic acid methyl ester), 14.21 min (C18:2n6c – octadecadienoic acid), 14.76 min (C18:3n6c – octadecatrienoic acid), 15.23 min (C18:3n3c – octa-decatrienoic acid), 15.47 min (C20:0 – eicosanoic acid), 15.95 min (C20:1n9c – eicosenoic acid), 16.76 min (C21:0 – heneicosanoic acid), 16.83 min (C20:2n6c – eicosadienoic acid), 17.39 min (C20:3n6c – eicosatrienoic acid), 17.76 min (C20:4n6c – arachidonic acid), 17.87 min (C20:3n3c – arachidonic acid), 18.06 min (C22:0 – docosanoic acid), 18.56 min (C22:1n9c – erucic acid), 18.84 min (C20:5n3c – eicosapentaenoic acid), 19.34 min (C23:0 – tricosanoic acid), 19.46 min (C22:2n6c – docosadienoic acid), 20.60 min (C24:0 – tetracosanoic acid), 21.12 min (C24:1n9c – tetracosenoic acid), 21.90 min (C22:6n3c – docosaheksaenoic acid).

Konstatēts, ka linolskābes saturs ir atkarīgs no uzglabāšanas laika un iepakojuma veida. Pēc 15 dienu ilgas olu masas uzglabāšanas lielākais šīs taukskābes zudums novērots TP un DP iepakojumos, procentuālais zudums ir attiecīgi 30.5 % un 31.2 %. Pēc 35 uzglabāšanas dienām linolskābes daudzums samazinājās par 22.7–27.9 %, salīdzinot ar sākotnējo vērtību. Vismazākie taukskābes zaudējumi novēroti DP iepakojumā pasterizētā olu masā (22.7 %), bet

vislielākie iepakojumus PET (27.9 %) un TP (27.7 %). Tomēr ir vērts atzīmēt, ka nebija būtisku atšķirību ($p \geq 0.05$) linolskābes saturā no 15. līdz 35. dienai pēc olu masas uzglabāšanas PET iepakojumā. Diemžēl literatūrā pieejamo datu ierobežotā apjoma dēļ, novēroto vērtību tiešu salīdzināšanu nevarēja veikt. Tomēr Drabik un kolektīvs (Drabik *et al.*, 2021) norāda uz linolskābes satura palielināšanos par 16.7 % un samazinājumu par 16.1 % olu dzeltenumā, kas uzglabāts kartonā attiecīgi istabas temperatūrā un pazeminātā 5 ± 1 °C temperatūrā 28 dienas. Tomēr iepriekšminētie autori ziņo tieši pretējas vērtības attiecībā uz plastmasas iepakojumu, kur linolskābes satura samazinājums olas dzeltenumā istabas (21 ± 1 °C) un ledusskapja (5 ± 1 °C) apstākļos sasniedza attiecīgi 16.7 % un tikai 2.9 % (10. att.).

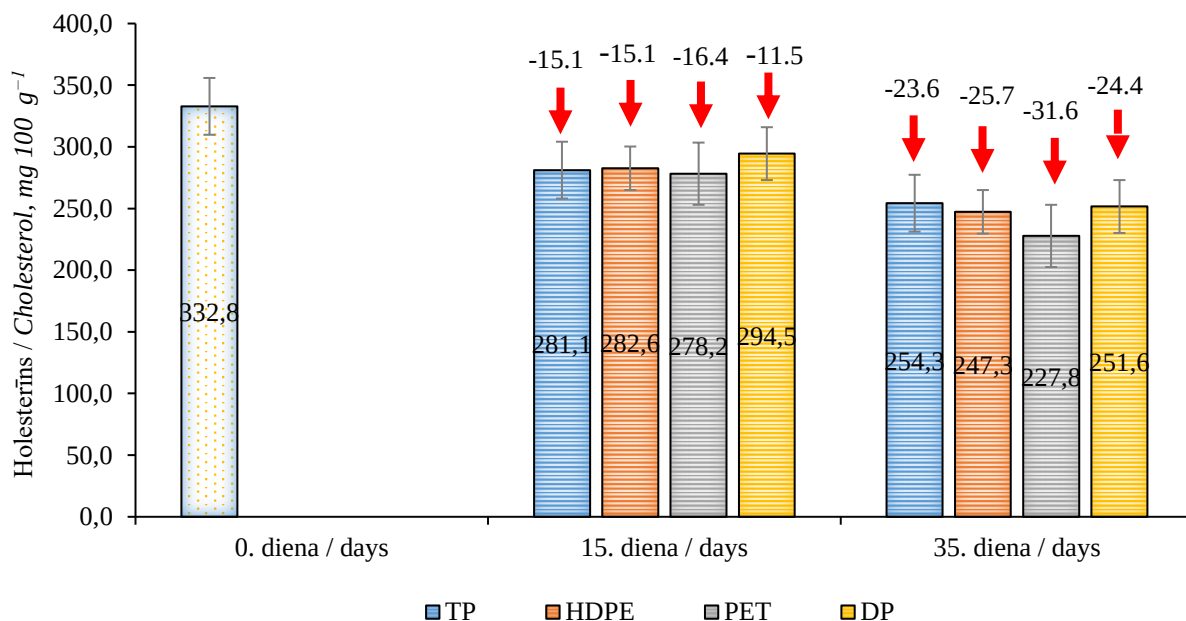


10. att. **Taukskābju profils pasterizēta olu masā attiecībā pret uzglabāšanas laiku un iepakojuma veidu, %.** Vērtības ir trīs atkārtojumu vidējais ($n = 3$). SFA – piesātinātās taukskābes; MUFA – mononepiesātinātās taukskābes; PUFA – polinepiesātinātās taukskābes; Olu masas paraugi iepakoti sekojošos iepakojumos: HDPE – augsta blīvuma polietilēna pudele; PET – polietilēntereftalāta pudele; TP – Tetra Rex Bio based laminētā kartona paka; DP – Doypack, laminētā daudzslāņu materiāla (PE/PAP/EVOH/PE) stāvpaka / Fig. 10. Fatty acid profile of pasteurized liquid whole egg mass in relation to the time of storage and type of packaging, % FW. Values are means of triplicates ($n = 3$). SFAs – saturated fatty acids; MUFAs – monounsaturated fatty acids; PUFAs – polyunsaturated fatty acids; HDPE – high density polyethylene bottle; PET – polyethylene terephthalate bottle; TP – Tetra Rex Bio based laminated cardboard package; DP – Doypack, laminated multilayer material (PE/PAP/EVOH/PE) stand-up pack.

Taukskābju saturu pasterizētā olu masā ietekmē gan uzglabāšanas laiks, gan iepakojuma materiāls. Neatsaucoties uz atsevišķu TS satura pieaugumu, kas, iespējams, ir izskaidrojams ar mitruma zudumu, labāku mononepiesātināto taukskābju (MUFA) saglabāšanu panāca produktā, kas iepakots HDPE iepakojumā, kam sekoja paraugs PET iepakojumā. Tikmēr statistiski nozīmīga TP iepakojuma priekšrocība salīdzinājumā ar citiem iepakojuma materiāliem ir apstiprināta attiecībā uz polinepiesātinātām taukskābēm (PUFA) pēc pasterizētās olu masas 35 uzglabāšanas dienām.

Holesterīns

Olas ir uztura zinātnes speciālistu pretrunīgi vērtēts produkts, jo tajās ir augsts piesātināto taukskābju saturs (apmēram 3 g 100 g) un holesterīna saturs (apmēram 200–300 mg 100 g⁻¹). Šo divu īpašību dēļ pēdējo 40 gadu laikā sabiedrība tika brīdināta par biežu olu patēriņu, jo augstajam holesterīna saturam ir iespējama saistība ar sirds un asinsvadu slimībām (SAS). Tas tika balstīts uz pieņēmumu, ka augsts holesterīna patēriņš uzturā ir saistīts ar augstu asinsspiedienu (Uzturvielas, 2015). Pēc tam turpmākie pētījumi liecina, ka atšķirībā no SFA un PUFA uzturā holesterīnam kopumā un, jo īpaši holesterīnam olās, ir ierobežota ietekme uz holesterīna līmeni asinīs un SAS (Vercese, Beatriz & Faitarone, 2013).



11. att. **Holesterīna saturs olu maisījumā 0. dienā un pēc 15 un 35 uzglabāšanas dienām.** Vērtības ir trīs atkārtojumu vidējie ($n = 3$). Olu masas paraugi iepakoti sekojošos iepakojumos: HDPE – augsta blīvuma polietilēna pudele; PET – polietilēntereftalāta pudele; TP – Tetra Rex Bio based laminētā kartona paka; DP – Doypack, laminētā daudzslāņu materiāla (PE/PAP/EVOH/PE) stāvpaka / Fig. 11. Cholesterol content of egg mixture on day 0 and after 15 and 35 days of storage. Values are means of triplicates ($n = 3$). HDPE – high density polyethylene bottle; PET – polyethylene terephthalate bottle; TP – Tetra Rex Bio based laminated cardboard package; DP – Doypack, laminated multilayer material (PE/PAP/EVOH/PE) stand-up pack.

Pamatojoties uz testēšanas rezultātiem (11. att.), var secināt, ka holesterīna daudzums pasterizētā olu masā 15. uzglabāšanas dienā samazinājās visos četros iepakojumos līdzīgi: no 11.5 % paraugā DP līdz 16.4 % paraugā PET. Savukārt 35. uzglabāšanas dienā vismazākais samazinājums konstatēts TP iepakojumā – 23.6 %, vislielākais samazinājums konstatēts PET iepakojumā – līdz 31.6 %. Līdzīgi rezultāti par holesterīna izmaiņām pasterizēta produkta uzglabāšanas laikā publicējusi zinātnieku grupa Risso vadībā 2021. g. (Risso *et al.*, 2021). Minētajā pētījumā konstatētas izmaiņas oksisterīna daudzumā, kas ir fermentatīvās un ķīmiskās holesterīna oksidācijas produkts. Oksisterīna ietekmē pārtikas produktu uzturvērtība samazinās siltuma, gaismas, starojuma un skābekļa iedarbības rezultātā, kas ir salīdzināmi ar mononepiesātināto un polinepiesātināto taukskābju sastāva nozīmīgajām izmaiņām pētītajos PET un DP iepakojumos.

Pasterizētas un iepakotas olu masas aminoskābju profila izmaiņas uzglabāšanas laikā /
The changes in the amino acid profile of pasteurized and packaged egg masses during storage

Olu masas aminoskābes (AS) sākotnējās analīzes pētījuma uzsākšanas sākumā (0. diena) norāda uz 17 AS klātbūtni, kuru vērtības svārstās diapazonā no 0.21 līdz 1.15 g 100 g⁻¹. Kā rāda iegūtie rezultāti, apjoma ziņā nozīmīgākā ir glutamīnskābe, kam seko asparagīnskābe, leicīns un lizīns, kuru vērtības atbilst attiecīgi 1.15, 0.92, 0.75 un 0.68 g 100 g⁻¹. Novērotās vērtības atbilst tām, par kurām ziņoja zinātnieku grupa Attia vadībā (Sato *et al.*, 2020), kas arī norāda uz glutamīnskābes satura pārsvaru pār citām AS veselās olās, kas iegūtas no Single Comb White Leghorn dējējvistām.

8. tabula / Table 8.

Pasterizētas olu masas aminoskābju profils attiecībā pret uzglabāšanas laiku un iepakojuma veidu, g 100 g⁻¹ SS /
Amino acid profile of Pasteurized liquid whole egg mass in relation to the time of storage and type of packaging, g 100 g⁻¹ FW

Aminoskābe / Amino Acid	Sākotnējais Initial	HDPE	HDPE	PET	PET	TP	TP	DP	DP
	0. diena / 0 day	15. diena / 15 th day	35. diena / 35 th day	15. diena / 15 th day	35. diena / 35 th day	15. diena / 15 th day	35. diena / 35 th day	15. diena / 15 th day	35. diena / 35 th day
NAs / EAAs	4.84 ± 0.31 ^d	4.19 ± 0.31 ^b	4.15 ± 0.37 ^c	4.83 ± 0.40 ^d	4.78 ± 0.41 ^e	4.15 ± 0.39 ^c	4.16 ± 0.44 ^c	4.29 ± 0.38 ^a	4.19 ± 0.39 ^b
AAs / NEAAs	4.99 ± 0.27 ^d	5.49 ± 0.41 ^c	5.48 ± 0.38 ^c	4.96 ± 0.38 ^d	4.96 ± 0.39 ^e	5.41 ± 0.56 ^d	5.35 ± 0.54 ^b	5.65 ± 0.57 ^a	5.46 ± 0.63 ^b
NAs / AAs EAAs/NEAAs	0.77 ^a	0.76 ^a	0.76 ^a	0.77 ^a	0.78 ^a	0.77 ^a	0.75 ^a	0.76 ^a	0.77 ^a
Kopā / Total	9.83 ± 0.58^e	9.68 ± 0.72^c	9.63 ± 0.75^c	9.79 ± 0.78^f	9.74 ± 0.80^g	9.56 ± 0.95^d	9.51 ± 0.98^b	9.94 ± 0.95^a	9.65 ± 1.02^c

Piezīmes: Vērtības ir trīs atkārtojumu vidējie ± SD (n = 3). Vienā rindā ar dažādiem augšraksta burtiem (a,b,c,d,e,f,g) ievērojami atšķiras, ja $p \leq 0.05$. Olu masas paraugi iepakoti sekojošos iepakojumos: HDPE – augsta blīvuma polietilēna pudele; PET – polietilēntereftalāta pudele; TP – Tetra Rex Bio based laminētā kartona paka; DP – Doypack, laminētā daudzslāņu materiāla (PE/PAP/EVOH/PE) stāvpaka; NAs – kopējās neaizstājamās aminoskābes; AAs – kopējās aizstājamās aminoskābes; NAs/AAs – kopējo neaizstājamās un aizstājamās aminoskābju attiecība; SS – svaigs svars; SD – standarta novirze; n.d. – nav atklāts / Note: Values are means ± SD of triplicates (n = 3). Means within the same row with different superscript letters (a,b,c,d,e,f,g) are significantly different at $p \leq 0.05$. HDPE – high density polyethylene bottle; PET – polyethylene terephthalate bottle; TP – Tetra Rex Bio based laminated cardboard package; DP – Doypack, laminated multilayer material (PE/PAP/EVOH/PE) stand-up pack; EAAs – total essential amino acids; NEAAs – total non-essential amino acids; EAAs/NEAAs – the ratio of total essential to non-essential amino acids; FW – fresh weight; SD – standard deviation; n.d. – not detected.

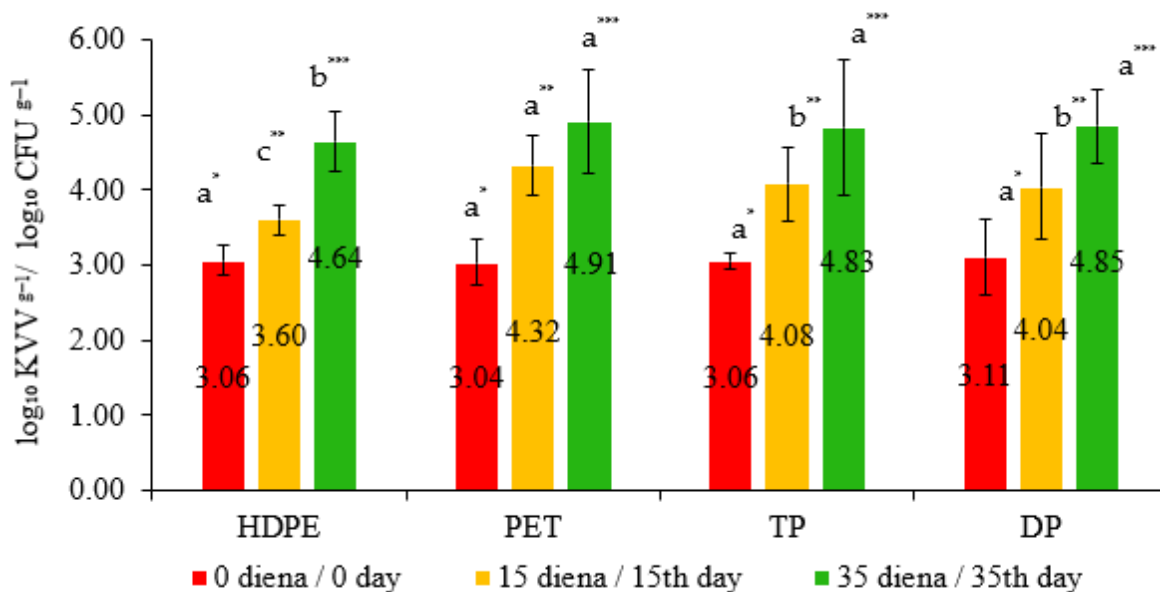
Pasterizētas olu masas aminoskābju profils attiecībā pret uzglabāšanas laiku un iepakojuma veidu pirmā dienā parada sekojošus rezultāti: kopējās neaizstājamās aminoskābes 4.84 g 100 g⁻¹, kopējās aizstājamās aminoskābes 4.99 g 100 g⁻¹. Pēc 15. uzglabāšanas dienām kopējās neaizstājamās aminoskābes viss būtiskāk samazinājas paraugā TP (samazinājums par 14.2 %). Kam seko līdzīgi iepakojumi HDPE un DP (samazinājums par 13.4 % un 11.4 %). Nebūtiskais samazinājums konstatēts iepakojumā PET (samazinājums mazāk nekā 1 %). Pēc 35. uzglabāšanas dienām kopējās aizstājamās aminoskābes viss būtiskāk samazinājas paraugā TP un HDPE (samazinājums par 14.0 %). Kam seko līdzīgi iepakojumi DP (samazinājums par 13.4 %). Nebūtiskais samazinājums konstatēts iepakojumā PET (samazinājums mazāk nekā 1 %). Pēc 15. un 35. uzglabāšanas dienām kopējās neaizstājamās aminoskābes nebūtiskais samazinājums konstatēts paraugā PET iepakojumā (samazinājums mazāk nekā 1 %).

Veicot aminoskābju profila izpēti, tika konstatēts, kā vidēji kopējais aminoskābju satura samazinājums visiem paraugiem iepakojumos atbilst no -3.2% līdz -0.9%. Kopumā, pateicoties izcilajām barjerīpašībām, polietilēnstereftalāta (PET) iepakojums demonstrēja labāku aminoskābju saglabāšanos. No sākotnējās vērtības līdz 35. uzglabāšanas dienai tika novērots tikai 0.9% samazinājums.

Mikrobioloģisko parametru izmaiņas uzglabāšanas laikā / *Dynamics of microbiological parameters during storage*

Lai panāktu produktu drošību un nekaitīgumu, pasterizācijas režīmi svārstās no 65 līdz 68 °C temperatūrā pie izturēšanas no 2 līdz 5 minūtēm, nodrošinot veģetatīvo mikroorganismu daudzuma samazināšanu par 5 līdz 6 log, īpaši iznīcinot *Salmonella enteritidis* un samazinot *Listeria monocytogenes* (Lechevalier *et al.*, 2017). Olu pārstrādē pasterizācijas režīmu ietekmē olbaltumvielu termiskā stabilitāte. Pasterizācijas režīms 3.5 līdz 5 minūtes 65 līdz 68 °C temperatūrā samazina ovotransferīna, livetīna, ovalbumīna, apovitelenīna, lizocīma un/vai ovomucīna denaturāciju (Lechevalier *et al.*, 2017). Olas viskozitātes palielināšanās tiek novērota temperatūrās līdz 56 °C, un tā kā pasterizācijai ir maza ietekme uz šķidrās olas funkcionalitāti, ja to karsē līdz 60 °C (Necidová *et al.*, 2019), karsēšana virs šīs temperatūras samazina putošanas un emulsiju veidošanas īpašības. Augsts viegli sagremojamo olbaltumvielu saturs veselā olā ir liels ieguvums cilvēku uzturam (Lechevalier *et al.*, 2017).

Papildus fizikāli-ķīmiskajām īpašībām un uztura aspektiem mikrobioloģiskā kvalitāte nosaka arī pārtikas drošumu un piemērotību patēriņam (Isnawaida *et al.*, 2021). Mikroorganismu klātbūtne olās apdraud tālāku mikroorganismu attīstību mazumtirdzniecības vidē. Mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu skaits (MAFAM) ir saistīts ar olu drošību un produkta uzglabāšanas laiku (Chousalkar, Khan & McWhorter, 2021). MAFAM attīstības dinamikas raksturošanai veikta pasterizētas šķidrās olu masas uzglabāšana, izmantojot četrus iepakojuma veidus, kas parādīti 12. attēlā. Pēc iegūtajiem rezultātiem var redzēt, ka vidējais KVV skaits sākotnējā uzglabāšanas posmā svārstījās robežās no 3.06 līdz 3.11 log₁₀ KVV g⁻¹.



12. att. MAFAm skaita dinamika pastērizētā šķidrā olu masā 35 uzglabāšanas dienu laikā četrū veidu iepakojumos. Vērtības ir trīs mērījumu vidējie $\pm$ SD ($n = 3$). Vidēji vienā un tajā pašā uzglabāšanas periodā (* – 0. diena, ** – 15. diena, *** – 35. diena) ar dažādiem augšraksta burtiem (a, b, c) būtiski atšķiras pie $p \leq 0,05$. HDPE – augsta blīvuma polietilēna pudele; PET – polietilēntereftalāta pudele; TP – Tetra Rex Bio based laminētā kartona paka; DP – Doypack, laminētā daudzslāņu materiāla (PE/PAP/EVOH/PE) stāvpaka / Fig. 12. Total plate count growth dynamics during pasteurized liquid whole egg mass storage for 35 days in four types of packaging. Values are means $\pm$ SD of triplicates ($n = 3$). Means within the same storage period (* – 0 day, ** – 15 days, *** – 35 days) with different superscript letters (a,b,c) are significantly different at $p \leq 0.05$. HDPE – high density polyethylene bottle; PET – polyethylene terephthalate bottle; TP – Tetra Rex Bio based laminated cardboard package; DP – Doypack, laminated multilayer material (PE/PAP/EVOH/PE) stand-up pack.

Šķidro olu masu mikrobioloģisko parametru noteikšana. Pastērizētas šķidrās olu masas kvalitātes izmaiņas, to uzglabājot 4 ± 1 °C temperatūrā hermētiski noslēgtā iepakojumā, analizētas 0., 15. un 35. uzglabāšanas dienā. Mikrobioloģiskajiem rādītājiem, saskaņā ar spēkā esošajām normām (Eiropas Komisija 2005, regula 2073/2005). *Enterobacteriaceae* atbilst definētam pārtikas drošības kritērijam $\log_{10} < 10^2$ KVV g^{-1} . Pienskābes baktērijas nav konstatētas un atbilst kritērijam $\log_{10} < 10$ KVV g^{-1} . *Salmonella spp.* klātbūtne nav konstatēta 25 g izmeklējamā paraugā. Mezofīli aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu kopskaits atbilst $\log_{10} < 10$ KVV g^{-1} produktā 35. uzglabāšanas dienā, HDPE – augsta blīvuma polietilēna pudele – rezultāti atbilst $4.64 \log_{10}$ KVV g^{-1} , PET – polietilēntereftalāta pudele – atbilst $4.91 \log_{10}$ KVV g^{-1} , TP – Tetra Rex Bio based laminētā kartona paka – atbilst $4.83 \log_{10}$ KVV g^{-1} , DP – Doypack, laminētā daudzslāņu materiāla (PE/PAP/EVOH/PE) stāvpaka – atbilst $4.85 \log_{10}$ KVV g^{-1} .

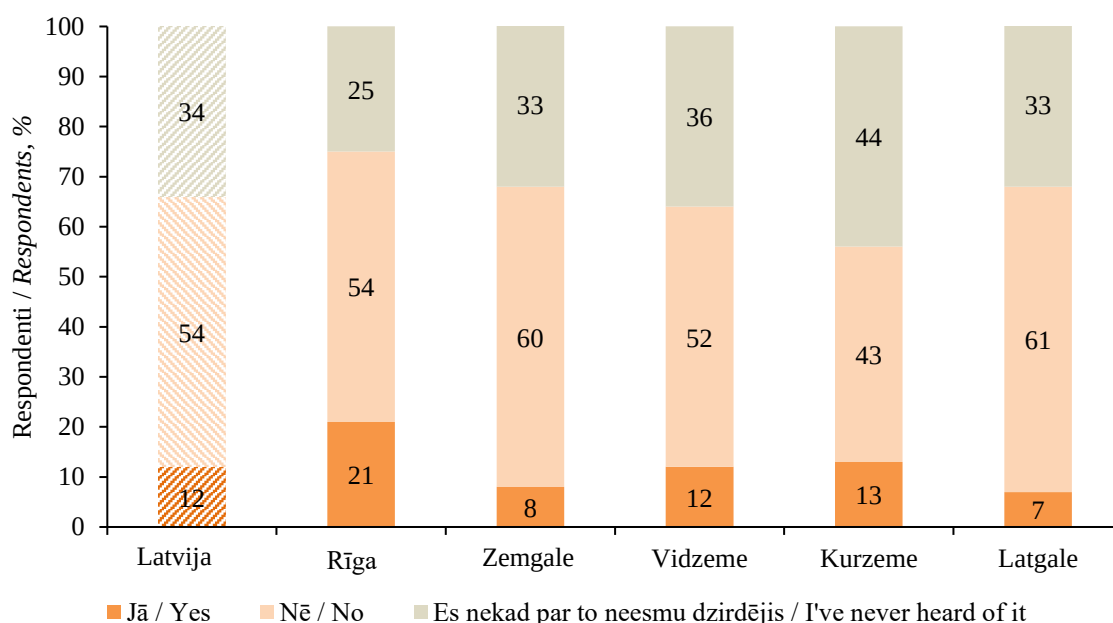
Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka būtiskas atšķirības MAFAm skaita palielināšanās 35 dienu laikā šķidrai olu masai starp HDPE, PET, TP un DP iepakojumiem netika konstatētas.

Atsaucoties uz uzņēmuma AS Balticovo laboratorijas testēšanas plāniem un noteikto iekšējo kārtību (gatavais produkts pēc saražošanas un derīguma termiņa beigās) un pastērizētas olu masas mikrobioloģijas rezultātiem, piemēram, pienskābes baktērijas, raugi, pelējumi, *Staphylococcus*, *Clostridium spp.*, *Bacillus cereus* nav raksturīgi pastērizētas olu masas kvalitātes radītāji un tiek noteikti gadījumos, kad jāizmeklē produkta bojāšanās cēlonis.

3. Viedais iepakojums

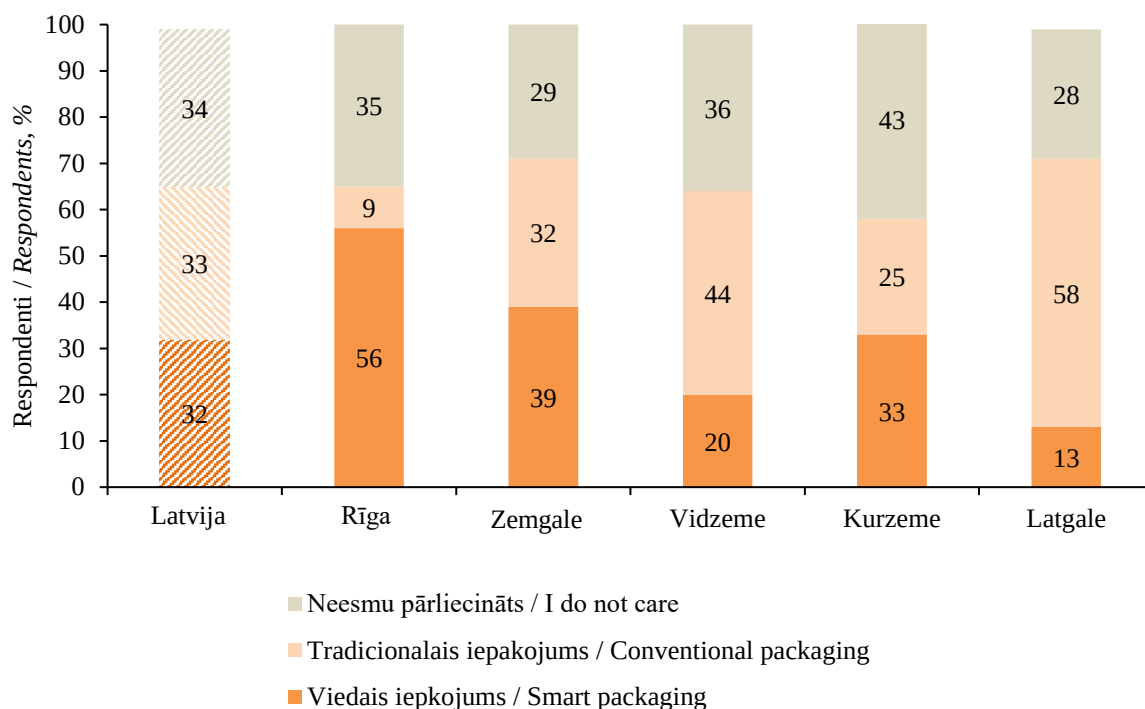
Iepakojums ir jebkuras uzlabotas integrētas produktu piegādes sistēmas būtiska sastāvdaļa. Galvenā priekšrocība ir ne tikai produkta integritātes un īpašību saglabāšana, sākot ar ražošanas līniju un beidzot ar ietekmi uz patērētāju veselību un drošību, bet arī ražošanas un izplatīšanas paātrināšana un uzglabāšanas iespēju uzlabošana (Schaefer & Cheung, 2018b). Tradicionālā pārtikas iepakojuma ražošanas un pielietojuma galvenie riski un bažas ir saistīti ar neilgtspējīgu ražošanu, nepietiekamām iepakojuma mehāniskajām un barjerīpašībām, pārstrādājamības trūkumu. Viedajam iepakojumam ir liela nozīme tradicionālā iepakojuma trūkumu aizstāšanā, pozitīvi ietekmējot pārtikas uzglabāšanas laiku, drošību un kvalitāti, kas ir ļoti svarīgi patērētājiem un ražotājiem. Šobrīd aktīvais un viedais iepakojums piedāvā kopējo iepakojuma koncepciju (Enescu *et al.*, 2019).

Aptaujā noskaidrota Latvijas iedzīvotāju – patērētāju attieksme un zināšanas par iepakojumu. Aptaujas rezultāti parāda, ka respondentiem ir vājas zināšanas par viedo iepakojumu (13. att.), jo tikai 12 % saprot jēdzienu "gudrs", savukārt vairāk nekā puse respondentu Latvijā un tās reģionos kopumā nesaprot jēdzienu "viedais iepakojums".



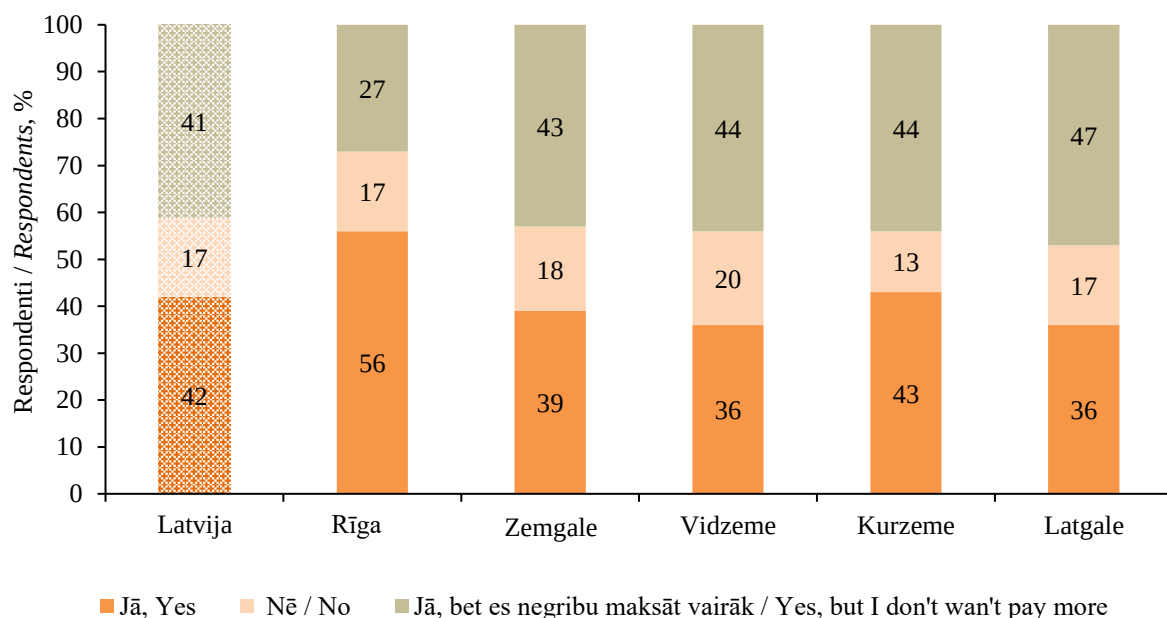
13. att. Patērētāju izpratne par termina "viedais iepakojums" nozīmi /
Fig. 13. Consumer understanding on what the term "smart packaging" means.

14. attēlā ir apkopoti dati, kas liecina, ka patērētāji ir atvērti plašākai inovatīvā iepakojuma izmantošanai pārtikas iepakojumā Latvijā, jo 32 % (vidēji Latvijā) un 56 % (Rīgā) respondentu vēlas iegādāties šādus produktus. Diemžēl aptuveni 30 % aptaujāto jautājums ir vienaldzīgs.



14. att. **Patērētāju izvēle starp produktiem viedajā iepakojumā un tradicionālā iepakojumā /**
Fig. 14. Consumers choice between products in smart packaging and in conventional packaging.

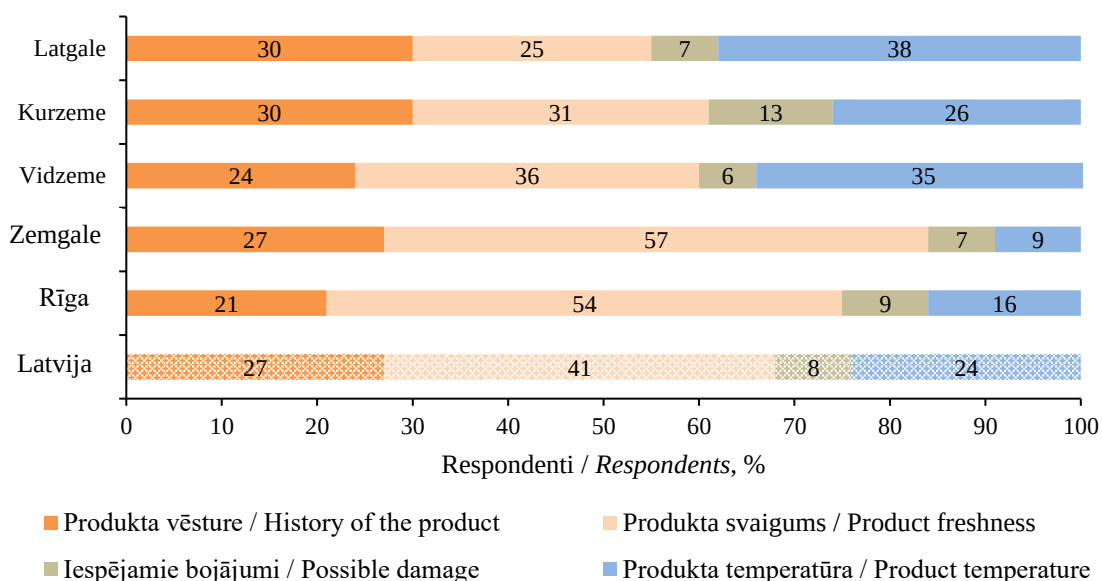
Svarīgi atzīmēt, ka aptaujātie, domājot par viedo iepakojumu, sagaida papildu ieguvumus (15. att.), savukārt 56 % aptaujāto Rīgā un vidēji 42 % Latvijā atbildēja, ka interesējas par iepakojumiem, kas varētu atspoguļot uzglabāšanas apstākļu vēsturi.



15. att. **Patērētāju interese par produkta uzglabāšanas apstākļu vēsturi /**
Fig. 15. Consumers' interest about history of the storage conditions of the product.

Turcijas zinātnieku pētījuma rezultāti liecina, ka lielākā daļa Turcijas patērētāju (75 %) liek cerības uz inovatīvā iepakojuma spēju sniegt informāciju par tajā esošo produktu izsekojamību un kvalitāti (Aday & Caner, 2013; Aday & Yener, 2015).

Detalizētāk analizējot patērētāju vēlmes pēc iepakojuma, redzams, ka pircējiem svarīgs kritērijs ir pārtikas produktu svaigums – 54 % Rīgā un 57 % Zemgalē (16. att.).



16. att. Patērētāju viedoklis par to, kāda informācija būtu jāsniedz viedajam iepakojumam / Fig. 16. Consumers opinion on what information should be provided by smart packaging.

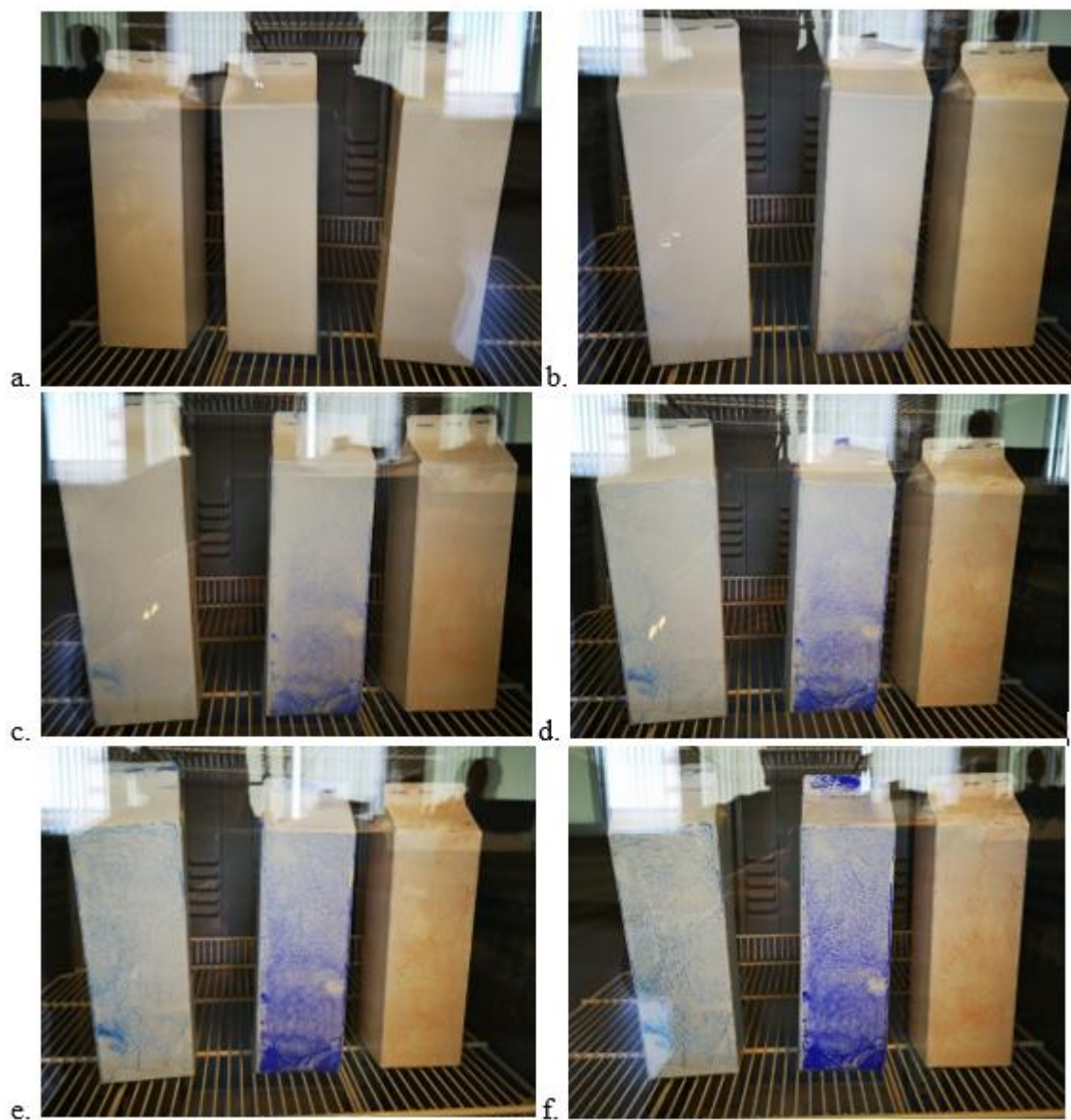
Viedā iepakojuma izmantošana ir atkarīga no iepakojumam nepieciešamajiem nosacījumiem gan pārtikai, gan dzīvniekiem. Sakarā ar pieaugošo pieprasījumu pēc iepakojuma diagnostikas, tam ir liels potenciāls. Pieaugošo interese veicina pircēju pieprasījums pēc plašākas informācijas par pārtikas produktu svaigumu, iespējamajiem bojājumiem, produkta temperatūru un izsekošanas sistēmu nepieciešamību.

Viedā iepakojumā risinājums – biodegradējamā Tetra Pak® Bio based ar termohromu pārklājumu / Smart packaging solution – biodegradable Tetra Pak® Bio based with thermochromic coating

Kā rāda respondentu, gan patērētāju, gan arī ražotāju, spiegtās atbildes, attiecībā uz viedo iepakojumu, redzams, ka respondentiem svarīgs viedā iepakojuma pienesums varētu būt tieši produktu kvalitātes izmaiņu un produkta vēstures atspoguļojums, ko varētu parādīt, iepakojumā izmantojot termohromās tintes. Kā arī būtisku lomu varētu ieņemt arī biodegradējamais iepakojums, jo aizvien aktuālāks kļūst jautājums par dabai draudzīgiem iepakojuma risinājumiem. Līdz ar to pieņemts lēmums eksperimentāli sakombinēt biodegradējamo iepakojumu, pārklājot ar termohromu tinti

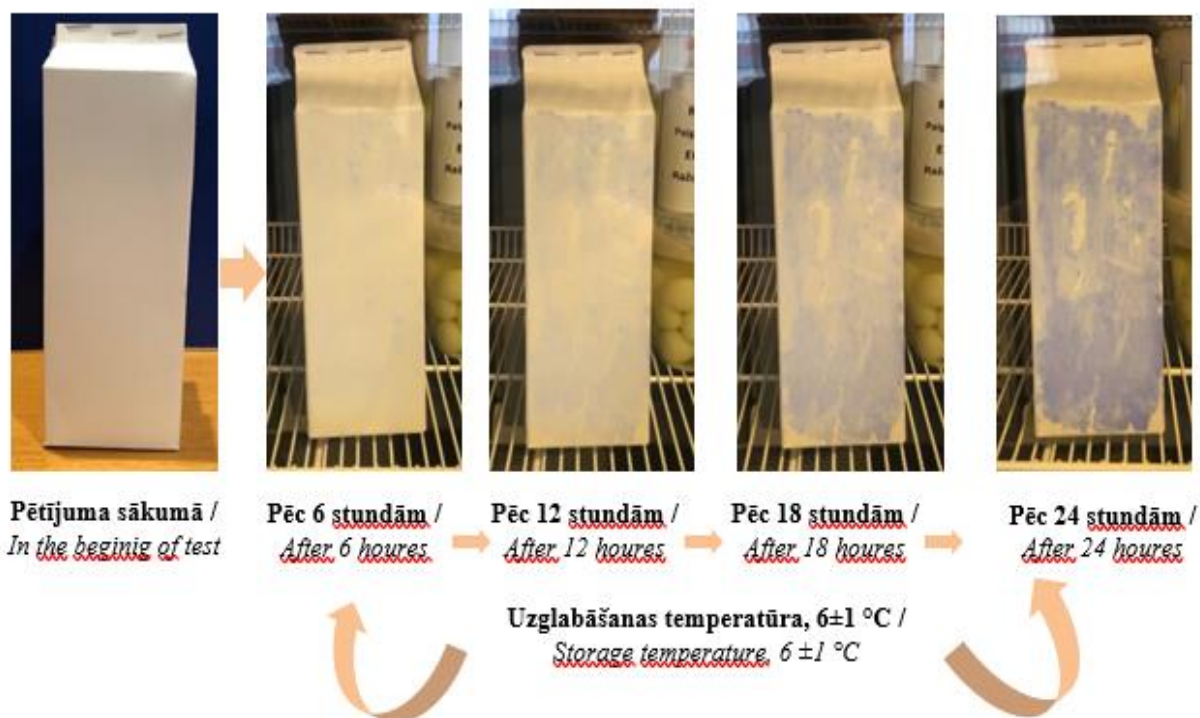
Ir divu veidu termohromās tintes: šķidro kristālu un Leuco krāsvielas. Šķidrie kristāli parāda krāsas izmaiņas šaurā temperatūras intervālā, padarot tos piemērotus temperatūras izmaiņu parādīšanai. Savas fiziskā formas dēļ tie iepakojuma tintēs tiek iekļauti retāk. Leuco krāsvielas maina krāsu plašākā temperatūras diapazonā un ir pieejamas plašākā krāsu diapazonā. Ir pieejams plašs krāsvielu klāsts, kas nodrošina krāsu pāreju plašā temperatūras diapazonā – no –25 °C līdz 65 °C. Leuco krāsvielas ir galvenās krāsvielas, ko izmanto iepakojuma tintēs.

Ir izstrādāti eksperimentālie Tetra Pak® veida viedie iepakojumi, kur pamatā izmantotas termohromās tintes, kuras maina krāsu temperatūras maiņas ietekmē (17. att.). Piemērs:



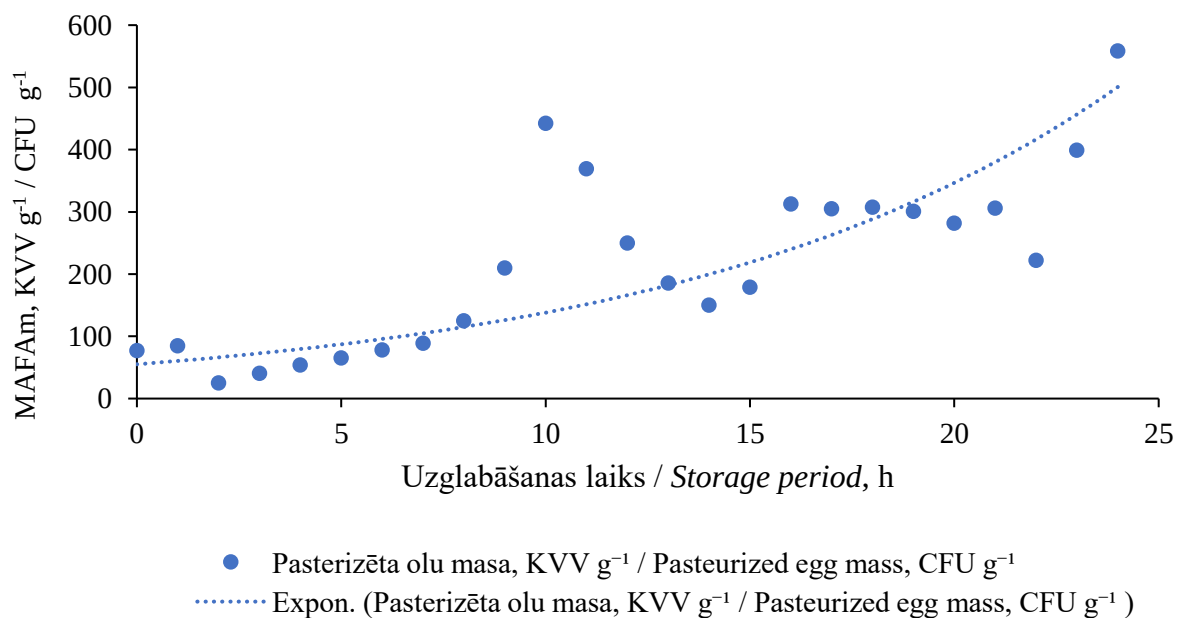
17. att. Eksperimentālie paraugi, izmantojot dažādas termohromās tintes noteiktā temperatūras diapazonā 6 ± 1 °C / Fig. 17. Development of experimental samples using different thermochromic ink at certain temperature ranges 6 ± 1 °C.

Termohromās krāsvilas maiņas ātrums ārējās temperatūras ietekmē ir nebūtisks. Piemēram, tumši zilajai termohromo krāsvilai vajadzētu sasniegt savu pilno krāsas intensitāti pie 6 ± 1 °C, temperatūras diapazons, kurā tiek sasniegta pilna krāsas intensitāte, var svārstīties robežās no 0 līdz 6 °C. Rezultātā, ja āra temperatūra ir augstāka par 6 ± 1 °C, termohromās krāsvielas iepakojuma ārējais slānis nerasniegs vēlamo krāsu un iepakojums iegūs viegli zilu nokrāsu, kas apstiprinās, ka produkta dzesēšana nav notikusi, produkts nav pilnībā dzests. Atkarībā no uzklātās termohromās krāsvielas blīvuma uz iepakojuma ārējā slāņa, krāsas maiņa var notikt dažās minūtēs vai pat vairākās stundās. Dzesēšanā procesa temperatūras diapazons ir kritērijs tam, cik ātri mainās iepakojuma krāsa; ja dzesēšana laikā temperatūra ir virs 6–8 °C, krāsas maiņa uz iepakojumiem var ilgt vairākas stundas. Krāsu maiņas ir atkarīgi no uzklātais krāsvielas blīvuma uz ārējā slāņa. Pēc krāsvielas ražotāja specifikācijas blīvumu jābūt 5–6 μm . Ir izstrādāti eksperimentālie Tetra Pak® veida viedie iepakojumi, kur pamatā izmantotas termohromās tintes, kuras maina krāsu temperatūras maiņas ietekmē (18. att.).

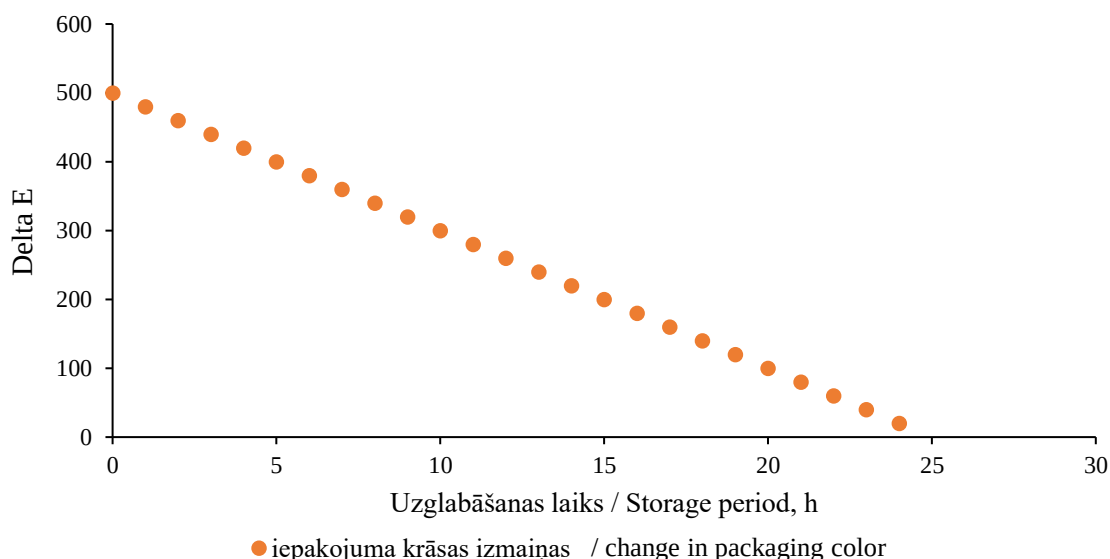


18. att. Eksperimentālo paraugu izstrāde, izmantojot termohromo krāsu, pie temperatūras izmaiņām diapazonā 6 ± 1 °C, 24 stundu laikā / Fig. 18. Development of experimental samples using thermochromic ink at changes in certain temperature ranges 6 ± 1 °C, during 24 hours.

Rezultātā iegūti dati, kas rāda, ka ātri bojājošu produktu kvalitāti var atspoguļot ar iepakojuma krāsas izmaiņām (19. att. un 20. att.).



19. att. Ar termohromo krāsu apstrādātā Tetra Pak® veida viedā iepakojumā iepakotas olu masas MAFAm dinamika uzglabāšanas laikā, PŠOM – pasteurizēta šķidro olu masa / Fig. 19. Dynamics of Total plate account during storage of egg masses treated with thermochromic ink, packed in Tetra Pak® intelligent packaging, PLEM – pasteurized liquid egg mass



20. att. Ar termohromu krāsu apstrādāta Tetra Pak® veida viedā iepakojuma krāsas izmaiņas noteiktā temperatūras izmaiņu diapazonā no 6 ± 1 °C, 24 stundu laikā / Fig. 20. Thermochromic ink-treated, Tetra Pak® type intelligent packaging changes color at specified temperature range changes 6 ± 1 °C, within 24 hours.

Temperatūru, virs kuras krāsas pārstāj zaudēt krāsu, dēvē par “attīrīšanas punktu”. Krāsu maiņa ir “atgriezeniska”, t.i., dzesēšanas laikā sākotnējā krāsa tiek atjaunota. Kad krāsas temperatūra tiek pazemināta no līmeņa virs attīrīšanas punkta, tinte sāk iegūt krāsu apmēram 3 °C zem noteiktā punkta un turpina iegūt krāsu līdz aptuveni 6 °C zem definētā punkta. To sauc par “pilnkrāsu punktu”. Šīs tintes ir pieejamas dažādās krāsās, ar dažādiem dzesēšanas punktiem un pilnkrāsu punktiem. Minētajām krāsām ir pieejamas aktivācijas temperatūras no -25 °C līdz 65 °C. UV fleksogrāfiskā krāsa ir piemērota temperatūru norādošām etiķetēm un iepakojumam. Termohromās krāsas ir jutīgas pret nelabvēlīgiem vides apstākļiem: ilgstošu tiešu saules staru iedarbību, ilgstošu siltuma iedarbību līdz 32 °C vai augstāku, kas var pasliktināt iepakojuma krāsas maiņu un intensitāti. Jutīguma rakstura apraksts un ieteikumi.

Termohromās krāsvielas ir jutīgas arī pret noteiktām ķīmiskām vielām. Tā kā ir maz ticams, ka pārtikas iepakojums standarta apstākļos nonāks saskarē ar kaitīgām ķīmiskām vielām, tas nerada nopietnas bažas (Cheng *et al.*, 2022; Pu & Fang, 2022).

Kā liecina aptaujas rezultāti, Latvijas TOP 10 pārtikas mazumtirgotājiem un pārtikas ražotājiem Latvijā ir maza izpratne par jaunajām iespējām, kuras varētu atklāt, izmantojot viedā iepakojuma tehnoloģijas. Veiktā eksperimenta galvenais mērķis bija atrast kritisko punktu uz iepakojuma krāsas maiņas līknes, kad mikrobioloģiskā drošība produktā vairs netiek uzskatīta par drošu lietošanai uzturā. Tas ir būtiski tieši loģistikas laikā. Iepakojuma krāsu var mainīt gan iepakojuma galvenajam jeb pamata dizainam, gan atsevišķiem iepakojuma dizaina elementiem. Iepakojuma uzglabāšanas nosacījumu ievērošana ir būtiska produkta kvalitātes un iepakojuma funkcionalitātes saglabāšanai. Eksperimenta laikā iegūtie dati sniedz datu kopumu, kas ļauj uzsākt pilnvērtīgu komunikāciju ar Tetra Pak®, Elopak un Italtapack iepakojumu ražotājiem, lai veidotu industriālus iepakojumu paraugus.

SECINĀJUMI

1. Olu čaumalu strukturālā analīze neatklāj būtiskas atšķirības olu čaumalu biezumā, variējot izmēros attiecīgi no 356.2 līdz 366.4 μm . Savukārt čaumalas membrānas biezumā pastāv atšķirības starp olām, kas iegūtas no ārpus sprostiem un sprostos turētām dējējvistām. Biezāka olu čaumalas membrāna ir olām, iegūtām no ārpus sprostiem turētām dējējvistām un plānāka olām, iegūtām no sprostos turētām dējējvistām, variējot attiecīgi no 59.9 līdz 20.0 μm .
2. Pēc 35. uzglabāšanas dienām svara samazinājums olām, iegūtām no ārpus sprostiem turētām dējējvistām bija ar minimālu atšķirību no sprostos turētām dējējvistām, t.i., 6.55 % no sākotnējā svara, uzrādot mazākas izmaiņas: gaisa kamera 36.84% pret 123.08 %, olu baltuma augstums 44.37 % pret 45.37 %, Haugh vienība 33.45 % pret 34.21%, pH – 1.99 % pret 2.18 %.
3. Būtiska olu kvalitātes pazemināšanās konstatēta pēc 28. uzglabāšanas dienām, īpaši svara izmaiņā un čaumalas stiprībā. Galvenais iemesls, kas veicinājis olu čaumalu stiprības pavājināšanos, ir garu un biezu zirnekļa tīklam līdzīgu mikroplaisu veidošanās uz čaumalu virsmas. Līdz ar to 28. uzglabāšanas dienu var uztvert kā robežu olu pārstrādei olu produktā, lai maksimāli saglabātu olu masas apjomu.
4. Neatkarīgi no iepakojuma veida, oksidācijas procesu ietekmes rezultātā, vitamīnu saturs produktā 35. uzglabāšanas dienu laikā būtiski ($p \leq 0.05$) samazinājies. Uzglabājot produktu četru veidu iepakojumos, vidēji vismazākais vitamīnu samazinājums konstatēts TP iepakojumā.
5. Mononepiesātināto taukskābju saglabāšanos produktā visefektīvāk nodrošina HDPE iepakojums, kam seko paraugs iepakots PET iepakojumā. Tīkmēr statistiski nozīmīga TP iepakojuma priekšrocība salīdzinājumā ar citiem iepakojuma materiāliem ir apstiprināta attiecībā uz polinepiesātinātām taukskābēm (PUFA) pēc pasterizētās olu masas 35. uzglabāšanas dienā.
6. Pēc 35. uzglabāšanas dienām konstatētas atsevišķu aminoskābju koncentrācijas izmaiņas. Visbūtiskākais ($p \leq 0.05$) samazinājums novērots produktam TP iepakojumā, kas ir 3.2% apmērā. Savukārt pateicoties izcilajām barjeras īpašībām, polietilēnstereftalāta iepakojums demonstrē labāku aminoskābju saglabāšanos.
7. Mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu kopskaits pasterizēto olu masā 35. uzglabāšanas dienā svārstījās robežās no 4.64 līdz 4.91 $\log_{10}$ KVV g^{-1} . Vislielākais kopējo baktēriju skaits konstatēts PET iepakojumā sastādot 4.91 $\log_{10}$ KVV g^{-1} .
8. Pasterizētā šķidrā olu masa ir jutīga pret ārējiem faktoriem, tādiem kā uzglabāšanas temperatūra. Līdz ar to, uz iepakojuma izmantojot termohromisko krāsvielu, kas ir viedā iepakojuma aktīvā daļa, ir iespējams sekot līdzi olu masas kvalitātes izmaiņām atkarībā no uzglabāšanas temperatūras un ilguma. Šāds pigments maina iepakojuma krāsu 15 stundu laikā. Viedo iepakojumu ar termohromo krāsvielas ārējā slānī var izmantot pasterizēto olu pakošanai olu industrijā.
9. Latvijas iedzīvotāji ir maz informēti par viedo iepakojumu un tā potenciālajiem ieguvumiem. Kā būtiskāko viedā iepakojuma pienesumu gan patērētāji (83 %) gan ražotāji (40 %) un mazumtirgotāji (60 %) atzīst iespēju izsekot līdz produkta dzīves ciklam, sākot no tā ražošanas un fasēšanas brīža līdz nonākšanai pie patērētāja.
10. Darbā izvirzītā hipotēze ir daļēji apstiprināta, jo olu un olu produktu derīguma termiņu ietekmē: ārējie faktori, piemēram, vide, ražošanas un uzglabāšanas apstākļi, kā arī olu ķīmiskie un fizikālie parametri. Olu pārstrāde šķidrajā olu masā un tās uzglabāšana Tetra Pak® Bio-based biodegradējamā iepakojumā nodrošina produkta kvalitātes saglabāšanos līdz 35. dienām.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Eggs are an essential source of protein and are consumed worldwide. In terms of nutritional value, it is a complete food necessary for the functioning and well-being of the organism (Simons, van Schie & Holleman, 2017). Eggs are mainly used for household consumption, but egg products (liquid and dry) are highly demanded among industrial food producers due to their convenience. Relative price affordability make eggs, along with fish, one of the most important sources of animal protein for the population of all countries (Çirise-Ozoliņa, 2019). In wealthier parts of the world, eggs make up a healthy diet. Demand for egg production continues to grow rapidly worldwide. Over the past fifteen years, egg consumption has increased by at least 40% (Suman *et al.*, 2019).

Today, most eggs are still sold unprocessed, but the demand for processed products is growing steadily. It is estimated that 20 to 25 % of eggs are processed into egg products in Europe, and this value is expected to reach 30 % to 35 % by 2025. In the US (the United States), the actual percentage is already higher than 30 %, and according to available information in the US, this value will reach 40 % by 2030 (Nys, Bain & Van Immerseel, 2011; Simons, van Schie & Holleman, 2017).

Liquid egg products do not count towards total egg consumption but conceptually and directly replace shelled eggs. In the food industry, eggs are replaced by egg products because:

- separating the eggs from the shells is a laborious process;
- regulatory acts require special equipment and mechanisms to ensure the pretreatment process;
- choosing eggs without shells reduces the amount of waste within the company (the shell makes up approx. 12% of the weight of a hen's egg);
- egg products are easier to store;
- egg products are easier and more convenient to handle.

The pasteurized liquid egg mass is more convenient to use because it is not necessary to separate the egg mass from the shell before use, and it can also be stored for a long enough time - at least 28 days. It is microbiologically safe because pathogenic microorganisms and their vegetative forms are inhibited during the pasteurization process and enzymes are inactivated, thus delaying the deterioration of the product and extending its shelf life. Today, pasteurized liquid egg mass has a wide range of applications in various industries:

- in the food industry, using as a raw material in the production of: cookies, cakes, cake mixes, candies, chocolate, pastries, custards, sauces, egg liqueurs, fish or meat products, ice cream, pasta, marshmallows, mayonnaise, noodles, omelettes, ready meals , puddings, soups, spaghetti, pies, etc.;
- in the medical and cosmetic industry as raw materials in the production of detergents, shampoos, lecithin, lipsticks, moisturizing creams, etc.;
- for technical purposes in the industrial processing of leather;

Due to recent human deaths caused by *salmonella* infection, the food industry prefers pasteurized egg products guaranteed to be free of *salmonella* and other pathogens (Group & Markets, 2022).

Pasteurized egg mass has become mandatory for hotels, restaurants, hospitals and airlines in some countries, such as the US, Japan and many parts of Europe. To extend the shelf life of pasteurized liquid egg products to five or six, or even 10 to 12 weeks, process industries had to invest heavily to make the shelling process economically feasible. It is necessary to make improvements in the entire logistics chain, starting from the control of the temperature regime and the monitoring of road transport during the transportation of goods and ending with the control of the level of hygiene, so that the production environment is as sterile as possible.

Packaging plays a vital role in any modern integrated product delivery. It not only protects the quality and properties of the product from production, distribution and storage, but also

affects the health and safety of consumers (Silva & Pålsson, 2022a). Packaging protects food from the environment, protecting it from physical, chemical and microbiological factors such as oxygen, moisture, light effects or microbiological contamination, which can affect the quality of the product (Moldovan & Pantea, 2012).

Traditional food packaging is mainly designed to contain and protect food from the influence of external factors, such as oxygen, adjacent aromas, light, etc., thus guaranteeing the preservation of food quality for an extended period of time. The main goal for these materials that come into direct contact with food is to be as inert as possible, i.e., ensuring minimal interaction between food and packaging. For consumers, the packaging also conveys information about the products' brand integrity or confirms the products' authenticity (Yildirim *et al.*, 2018).

In recent decades, one of the innovations in the field of food packaging is the "active and intelligent" packaging, which is based on the conscious interaction of the packaging with the food or with the environment inside the packaging around the product. The purpose of "active packaging" is to extend the shelf life of food. "Intelligent" packaging indicates the freshness of the product. "Smart packaging" is a broad concept that covers several functions depending on the type of product being packaged. Examples of current and future functional "smartness" could be in packages that (Kuswandi *et al.*, 2011):

- preserve product quality and actively prevents food spoilage (during storage);
- improve product characteristics (egg appearance, taste, aroma, etc.);
- actively react to changes in the product or packaging environment;
- notify the user of the information about the product, product storage history or quality changes;
- authenticate products to prevent interchangeability.

Technological advances in food packaging in the twenty-first century are also driven by nanotechnology. The introduction of nanotechnology in the food packaging sector has significantly solved the problems of food quality, safety and stability (Sharma *et al.*, 2017).

Egg product manufacturers use one or two liter laminated carton packages in the form of Tetra Pak[®], as well as three, five or 10 liter bag in box packages to transport pasteurized egg mass to industrial producers, such as meat product manufacturers/processors, bakeries, ice cream manufacturers, restaurants, hospitals, etc. Packages of 300 ml, 500 ml and 1000 ml are intended for direct consumption. These packages are available on the European market already today, together with packaged eggs in the supermarket, stored at a temperature of up to 6 °C.

There are no in-depth studies in Latvia on the possibility of using modern packaging technologies in the egg industry. So far, the studies are mainly dedicated to investigating fresh eggs' nutritional value and quality (Kočetkovs & Muižniece-Brasava, 2019). However, currently, there is no data on the changes of physico-chemical and biologically active substances in the liquid egg mass depending on the packaging type and the storage duration. By evaluating and analyzing the information available in the scientific literature and electronic resource sources about pasteurized liquid egg products, the impact of smart packaging technology on liquid products, meat products, and the storage time of fruit and vegetable products, a hypothesis was put forward in the thesis.

Research hypothesis: the processing of eggs into liquid egg mass and their storage in conventional and biodegradable packaging ensure the preservation of product quality for up to 35 days.

The aim of the research: to determine the quality of laying hen eggs during storage and define the optimal realization time for pasteurized and liquid egg mass packed in conventional and biodegradable packaging, determining physico-chemical and microbiological indicators.

The following tasks have been set to achieve **the goal of the dissertation**.

1. Analyze and compare the morphological characteristics of egg shells and the physico-chemical parameters of eggs obtained from three breeds of laying hens kept in cages and outside cages;
2. Evaluate the quality changes of pasteurized and packaged liquid egg mass during storage in four types of packages;
3. Find out the opinions, knowledge and willingness of producers, traders and consumers to accept egg mass in conventional and smart packaging;
4. Evaluate the possibility of using smart packaging for egg mass packaging.

Novelty and scientific significance of the dissertation.

1. For the first time, the research focused on estimating changes in the quality of eggs of caged and non-caged laying hens has been conducted in Latvia. The possibilities of extending the shelf-life of eggs have been evaluated by processing eggs into pasteurized liquid egg mass and storing them using conventional and biodegradable packaging.
2. The changes in the physico-chemical indicators of the liquid egg mass were evaluated depending on the duration of storage and the type of packaging.
3. The diversity of biologically active compounds and vitamins in the liquid egg mass and their changes depending on storage time and type of packaging was analyzed.
4. A suitable type of packaging for the storage of liquid egg mass, which ensures the preservation of quality during the entire period of sale was found.

The economic significance of the dissertation.

1. The study provides new information about the chemical composition of the liquid egg mass, the diversity of biologically active substances, changes in their content during the storage of the product in conventional and biodegradable packaging;
2. Processing eggs into liquid pasteurized egg mass, which in conventional and biodegradable packaging significantly improves the efficiency of transportation, thus ensuring the export of the product to longer distances;
3. Offering the pasteurized egg mass to companies that use eggs in the production of products will significantly improve production efficiency by eliminating the costs and time consumption that occur for ensuring egg pre-treatment and processing (shelling) processes;
4. Information obtained in the study about the possibilities of preserving liquid egg mass in conventional and biodegradable packaging allows producers to choose appropriate packaging for export and market needs.

The development of the doctoral thesis was co-financed by the project: "Development of smart packaging for liquid egg products", No. 19-00-A01620-000087, EAFLD (European Agricultural Fund for Rural Development).



NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS
Eiropas Lauksaimniecības fonds
lauku attīstībai

APPROBATION OF THE RESEARCH WORK

Research results have been summarised and published in 9 peer reviewed scientific issues, including indexed in the international citation databases SCOPUS and Web of Science. (the list of publications is shown on page 6).

The results of the research work have been presented at 14 international scientific conferences and congresses in Latvia, Lithuania, Bulgaria, including 4 exhibitions – international food industry fair “Riga Food” in 2020, 2021 and 2022, exhibition “Lauksaimniecības un meža tehnika 2021” in Rāmava (the list of scientific conferences is shown on pages 7 and 8).

MATERIALS AND METHODS

Time and place of the research

The research was carried out during the period from September 2019 to May 2023.

The experimental work of the research was performed at the following:

1. JSC Balticovo laboratory
2. J.S.Hamilton laboratory
3. Institutions of Latvia University of Life Sciences and Technologies:
 - Division of Smart technologies at Research Laboratory of Biotechnology,
 - Department of Food Technology, Faculty of Food Technology,
 - Processing and Biochemistry Department, Institute of Horticulture.

Research object - fresh, raw eggs (raw material) and pasteurized liquid egg mass.

The structure of the research

The research was conducted in two stages. The main stages of the study are summarized in Table 1.

In the **Stage I**, raw materials (fresh eggs) obtained from two different models of laying hens were analyzed: eggs laid by laying hens kept in cages and outside cages, from three breeds of laying hens. It is important to find out how the conditions of keeping laying hens affect the quality of eggs (raw materials).

Fresh eggs were obtained at JSC “Balticovo” (Iecava, Latvia) from three breeds of laying hens: Lohmann Brown, Sandy (42-week-old, caged laying hens, sample code: H/LS/CCE), H&NCoral (41-week-old, caged laying hens, sample code: H/HN/CCE), H&N Coral (41-week-old, cage-free laying hens, sample code: H/HN/BCE), and Dekalb (43-week-old, cage-free laying hens, sample code: H/D/BWE). In order to evaluate changes in the physico-chemical properties of eggs, 180 eggs from each breed of chicken were collected within 4 hours after laying. Collected eggs were packed separately in 16 pcs. in a cardboard package with a perforated lid. The total number of eggs collected reached 720 eggs. In the initial stage of storage, 16 eggs were taken from each group and brought to JSC “Balticovo” laboratory for quality testing. The rest of the eggs were stored under controlled conditions of 20±2 °C and 50% relative humidity. The duration of the experiment was set at 36 days, based on the 28-day shelf life of the liquid egg mass produced in the company. In order to clarify changes in quality indicators, the physico-chemical properties of eggs were analyzed every fourth day, i.e., on day 1, 4, 8, 11, 15, 18, 22, 26, 28, 32 and 36. On each planned day of analysis, 16 eggs were taken from each breed of chicken to ensure an average number of samples.

During selection, each egg was weighed and beaten on a flat surface. Egg white height (Haugh unit) was measured with an electronic egg white height digital *Haugh tester ORKA* (Bountiful, UT, USA), according to methods described by Eisen *et al.* (Eisen, Bohren &

McKean, 1962). Egg white pH was measured 4 hours after laying with a *Jenway 3510 Benchtop* pH Meter (Barloworld Scientific, Staffordshire, UK) according to the ISO 1842:1991 standard. Shell thickness was measured using a *Mitutoyo 223-101 micrometer* (Kawasaki, Japan) and a scanning electron microscope (SEM). Shell strength was determined using a *FUTURA Egg-Shell-Tester V. 2.0* (Lohne, Germany) equipped with an aluminum compression disc 7.62 cm in diameter attached to the shell and egg holder. The egg was placed so that the disc is in contact with the egg from its broader end. Egg dry matter content was determined using a *Shimadzu MOC-120H* (Shimadzu Corporation, Tokyo, Japan) moisture analyzer.

The samples of eggs were observed using a *Mira3* scanning electron microscope by Tescan Orsay Holding, a.s. (Brno - Kohoutovice, Czech Republic). The eggshell samples ($n = 10 \text{ eggs} \times 5 \text{ replicates}$) were washed with ultra-high purity water and then dried under ambient conditions at $20 \pm 1^\circ\text{C}$ for two days. The dried eggshells were manually broken into small pieces of $0.4 \times 0.4 \text{ cm}$, mounted onto SEM pin stubs using doublesided adhesive carbon discs, and coated with a gold-palladium 15 nm thick layer using *Leica EM ACE600* vacuum sputter coater (Leica Microsystems, Wien, Austria). The eggshell and membrane thickness measurements were done at three regions of the egg, i.e., broad end, equator, and narrow end. The conditions were set up to operate under high vacuum mode using the *Backscattered Electron* (BSE) and *Secondary Electron* (SE) detectors mixer. The egg morphology was analyzed, increasing magnification up to $2000\times$ for precise dimension measurement and elemental composition analysis at 15 kV acceleration voltage. Elemental composition analysis of the eggshell was carried out with *INCA xact LN2-free Analytical Silicon Drift Detector* with *PentaFET® Precision* energydispersive X-ray spectrometer by Oxford Instruments Inc. (Bognor Regis, United Kingdom), operating at 15 mm working distance and dead time in the range from 40% to 60% for energy spectrum accumulation.

In the **Stage II**, a study was conducted on the impact of packaging and storage time on the quality of liquid egg products. The liquid egg mass was packed in four different packages: HDPE, PET, Doypack and the smart package Tetra Pak® Tetra Rex Bio-based. The following criteria were evaluated: consumer awareness and attitude towards smart packaging in Latvian market and the attitude of manufacturers and retailers towards the introduction of smart packaging in the Latvian market. The structure of the study is reflected in Figure 3.

In the research 18 000 pieces were used for the preparation of pasteurized liquid egg mass. eggs. Liquid egg mass homogenized at 57°C , pasteurized using plate pasteurizer *Ovobel AR56SH* (Bruges, Belgium) AS Balticovo, Iecava, Latvia. The duration of the pasteurization process is 6 minutes at a temperature of $67\text{--}70^\circ\text{C}$. After pasteurization, the liquid egg mass was packed in four types of packages with a volume of 0.5 L, i.e. high density polyethylene (HDPE) bottles, polyethylene terephthalate (PET) bottles, Tetra Pak® Bio based packages (TP) and Doypack (DP) (Table 1). The liquid egg mass was stored at $4 \pm 1^\circ\text{C}$ for 35 days during the experiment. The products were tested on day 0 (immediately after production and filling), 15 (first indications of changes in microbiological indicators) and 35 (theoretical shelf life) of storage.

Preparation of Fatty Acids for GC-MS Analysis

The TMPAH reagent was applied as a methylation agent of the functional groups to obtain volatile FAMES derivatives. The methylation procedure was performed following the methodology described by the American Society for Testing and Materials.

The GC Conditions for FAMES Analysis

The analysis of FAMES was carried out on a “Clarus 600” system PerkinElmer, Inc. (Waltham, MA, USA) equipped with a quadrupole analyzer “Clarus 600 C” mass-selective detector (Waltham, MA, USA). The conditions were adopted from Radenkovs et al.

The MS Conditions for FAMES Detection

The MS conditions were set in accordance with the protocol provided by Radenkova *et al.*

Determination of Amino Acids

The preparation of LWEP samples for analysis of AAs was done according to ISO 13910-2005. The analysis of AAs was done using Biochrom 30+ Automatic Amino Acid Analyzer (Biochrom, Cambridge, UK) in accordance with the protocol described by Summers *et al.*

Microbiological Assessment

Determination of the total microorganisms, mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms was done according to ISO 4833:1:2014.

The analysis methods used in the research

The analysis methods, which were used in the study, are summarised in Table 5.

Statistical analysis of data

The results obtained are shown as means $\pm$ standard deviation of the mean from three replicates ($n = 3$). A p -value of <0.05 was used to denote significant differences between mean values determined using a one-way analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (MANOVA) performed using IBM® SPSS® Statistics version 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTS AND DISCUSSION

1. Fresh egg quality and its changes during storage in ambient conditions.

Morphological and elemental compositional analysis of eggshell components by scanning electron microscope and X-ray energy dispersive spectroscope

Analysis of the eggshell microstructure in the presence of a deep vacuum in the SEM system used to prevent electrical discharge in the gun assembly and allow electrons to travel unimpeded in the instrument resulted in a small separation of the shell membrane from the shell was performed (Fig. 4 A, B, C, and D). The egg shell thickness ranged from 356.2 to 366.4 μm , the egg shells obtained from caged hens H/LS/CCE were thinner. However, it is worth noting that there were no statistically significant differences ($p \geq 0.05$) in eggshell thickness between different breeds of hens and housing methods. The observed values are consistent with Sales *et al.* (1996) reporting hen eggshell thicknesses range from 240 to 370 μm . Sales *et al.* also indicated that the thickness of the eggshells of hens kept outside the cages is not uniform over the entire surface of the egg, i.e., the thickness at the poles is greater than at the center. However, Fechey-Lippens *et al.* statistically significant differences ($p \leq 0.05$) were observed between the thickness of the shell membrane, which was found in the range from 20.0 to 59.9 μm .

The presence of thick and long microcracks was observed on the shell surface of eggs obtained from caged laying hens H/LS/CCE, followed by caged laying hens H/D/BWE. The average thickness values corresponded to 1.41 and 1.48 μm , respectively. In both cases, spider web-like cracks were observed on the surface of the eggshells. The smallest number of cracks, as well as their thickness, was found on the shell surface of eggs obtained from laying hens H/HN/BCE kept outside cages and laying hens kept in cages H/HN/CCE, which corresponded to 0.67 and 0.91 μm , respectively. Eggs obtained from caged laying hens H/HN/CCE show obvious "hairline" cracks on the shell surface. Notably, a group of scientists led by Khabisi (Khabisi, Salahi & Mousavi, 2012) highlighted "hairline" type microcracks on the eggshell surface that contributed to the greatest weight loss and reduced hatchability compared to spider web-like microcracks on egg surfaces. It is worth noting that, of the total number of eggs

examined, eggs obtained from H/HN/BCE cage-free laying hens showed no visible signs of shell surface cracking.

From the results on the analyzed data on eggs from laying hens kept in cages and laying hens kept outside cages, it can be concluded that samples H/HN/BCE and (laying hens kept outside cages) physical and chemical properties with minimal changes. It can be concluded that the raw material, which could not be sold in packaged form for the first six days, can be used by processing it into a pasteurized liquid egg mass. During 15 days of storage, the weight loss of the raw material can vary from 0.03 % to 4.41 %, while during 28 days of storage, the % loss increased from 5.32 % to 12.24 %, as a result of which the cost of the product increases (Table 6).

2. Evaluation of pasteurized egg mass packed in four types of packages during storage

The preservation of the quality of pasteurized egg mass is analyzed using such packages as high-density polyethylene (HDPE) bottles, polyethylene terephthalate (PET) bottles, Doypack (DP) multi-layer laminated standing packs and laminated cardboard Tetra Pak® Bio-based (TP) packs (Fig. 8.). Based on the results obtained in Chapter 1, it was decided to produce pasteurized egg mass from eggs obtained from laying hens kept outside cages, sample (H/HN/BCE) according to the technology developed by AS "Balticovo" (see Fig. 2. Technological scheme for the production of pasteurized liquid egg mass), and transform the eggs into egg mass no later than 28 days after they are laid, according to the obtained results of Chapter 1. After packaging, the product was stored for 35 days at a temperature of 4 ± 1 °C

Reduction of mineral content in pasteurized egg mass after 35 days of storage in four types of packaging compared to the day of packaging

Quantitative analysis of minerals in pasteurized liquid egg mass, namely determination of P, Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu content was performed using an atomic absorption spectrometry system according to the LVS EN 14082:2003 method. Potassium and iron - less than 19 % and 27 % and sodium and magnesium – 1 % and 9 %, compared to similar studies by Sophie Réhault-Godbert (Réhault-Godbert *et al.*, 2019). On the other hand, comparing the data obtained in the study of Youssef A. Attia, Mohammed A. Al-Harthi & Mohamed M. Shiboob, there were more minerals, i.e., 35 % to 48 % (Attia *et al.*, 2014).

Dynamics of vitamins in pasteurized and packaged egg mass during storage

Quantitative analysis of vitamins of pasteurized liquid egg mass was performed using a high-performance liquid chromatography system (RP-HPLC) and (HPLC-DAD) according to the methods listed in Table 3. According to the obtained results, it can be concluded that the package sample TP – Tetra Rex Bio based laminated cardboard package was able to ensure the storage of vitamins for the whole 35 days in pasteurized egg mass. Losses of vitamins in this type of packaging ranged from 1.2 to 24.6 %. It can be noted that HDPE and PET packaging contributed to the preservation of vitamins to a lesser extent, as vitamin losses ranged from 1.0 to 25.4 % and from 3.4 to 27.2 %, respectively (Table 7). The most significant losses of vitamins in all packages were observed to be of B₂ and B₉.

The changes in fatty acids profile of pasteurized liquid whole egg products during 35 days of storage in four types of packaging

The content of fatty acids in pasteurized egg mass is affected by both storage time and packaging material. Without referring to the individual increase in TS content, possibly explained by moisture loss, a better retention of monounsaturated fatty acids (MUFA) was achieved in the product packaged in HDPE packaging, followed by the sample in PET packaging. Meanwhile, a statistically significant advantage of TP packaging compared to other

packaging materials has been confirmed for polyunsaturated fatty acids (PUFA) after 35 days of storage of pasteurized egg mass.

Cholesterol

Based on the testing results (Fig. 11), it can be concluded that the amount of cholesterol in the pasteurized egg mass on the 15th day of storage decreased similarly in all four packages: from 11.5 % in sample DP to 16.4 % in sample PET. On the other hand, on the 35th day of storage, the smallest reduction was found in TP packaging - 23.6 %, the largest reduction was found in PET packaging - up to 31.6 %. Similar results on changes in cholesterol during storage of a pasteurized product were published by a group of scientists led by Risso in 2021. (Risso *et al.*, 2021). The mentioned study found changes in the amount of oxysterol, which is a product of enzymatic and chemical oxidation of cholesterol. Under the influence of oxysterol, the nutritional value of food products decreases as a result of exposure to heat, light, radiation and oxygen, which are comparable to the significant changes in the composition of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids in the studied PET and DP packages.

The changes in the amino acid profile of pasteurized and packaged egg masses during storage

In the process of researched amino acid profile, it was found that the average total decrease in amino acid content for all samples in the packages corresponds from -3.2 % to -0.9 %. Overall, polyethylene terephthalate (PET) packaging demonstrated better amino acid retention due to its superior barrier properties. A decrease of only 0.9 % was observed from the initial value to the 35th day of storage.

Dynamics of microbiological parameters during storage

The total number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms corresponds to $\log_{10} < 10$ CFU g⁻¹ in the product on the 35th day of storage, HDPE – high density polyethylene bottle – results correspond to 4.64 $\log_{10}$ CFU g⁻¹, PET – polyethylene terephthalate bottle – corresponds to 4.91 $\log_{10}$ CFU g⁻¹, TP – Tetra Rex Bio based laminated cardboard pack – corresponds to 4.83 $\log_{10}$ CFU g⁻¹, DP – Doypack, laminated multi-layer material (PE/PAP/EVOH/PE) standing pack – corresponds to 4.85 $\log_{10}$ CFU g⁻¹. According to the obtained results, it can be concluded that no significant differences in the increase in the number of MAFAM during 35 days for liquid egg mass between HDPE, PET, TP and DP packages were found.

Referring to the laboratory testing plans and established internal procedures of AS Balticovo company (finished product after production and expiration date), microbiology results of pasteurized egg mass, such as lactic acid bacteria, yeasts, molds, *Staphylococcus*, *Clostridium* spp., *Bacillus cereus* are not characteristic pasteurized eggs mass quality indicators and are only assessed in cases where the cause of product deterioration must be investigated.

3. Smart packaging

As shown by the responses of the respondents, both consumers and producers, regarding smart packaging, it can be seen that for the respondents, an important contribution of smart packaging could be the reflection of changes in product quality and the history of the product, which could be shown by using thermochromic inks in the packaging. Biodegradable packaging could also play an important role, as the issue of environmentally friendly packaging solutions is becoming more and more relevant. Therefore, a decision was made to experimentally combine biodegradable packaging by covering it with thermochromic ink.

Smart packaging solution – biodegradable Tetra Pak® Bio based with thermochromic coating

Experimental Tetra Pak® type smart packages which use thermochromic inks that change color under the influence of temperature changes have been developed (Fig. 17).

The rate of change of thermochromic dyes under the influence of external temperature is irrelevant. For example, a dark blue thermochromic dye should reach its full color intensity at 6 °C, the temperature range at which full color intensity is reached can vary from 0 to 6 °C. As a result, if the outdoor temperature is higher than 6 °C, the outer layer of the thermochromic dye package will not reach the desired color and the package will acquire a slight blue tint, which will confirm that the product has not been completely cooled. Depending on the density of the applied thermochromic dye on the outer layer of the package, the color change can occur in a few minutes or even several hours. In cooling, the temperature range of the process is a criterion for how quickly the color of the package changes; if the temperature during cooling is above 6-8 °C, the color change on the packages may take several hours. Color changes depend on the density of the applied dye on the outer layer. According to the specification of the dye manufacturer, the density should be 5-6 µm.

The resulting data shows that the quality of perishable products can be reflected by changes in the color of the packaging (Fig. 19 & Fig. 20). Thermochromic dyes are also sensitive to certain chemicals. Since food packaging is unlikely to come into contact with harmful chemicals under standard conditions, this is not a serious concern (Cheng *et al.*, 2022; Pu & Fang, 2022).

As the results of the survey show, Latvian TOP 10 food retailers and food manufacturers have little understanding of the new opportunities that could be discovered using smart packaging technologies. The main purpose of the conducted experiment was to find the critical point on the packaging color change curve, when the microbiological safety in the product is no longer considered safe for human consumption. This is essential during logistics. The color of the package can be changed both for the main or basic design of the package and for individual elements of the package design. Adherence to the storage conditions of the packaging is essential for maintaining product quality and packaging functionality. The data obtained during the experiment provide a set of data that allows to start a full-fledged communication with Tetra Pak®, Elopak and Italpak packaging manufacturers in order to create industrial packaging samples.

CONCLUSIONS

1. The structural analysis of the eggshells did not reveal significant differences in the thickness of the eggshells, varying in size from 356.2 to 366.4 μm . On the other hand, there were differences in shell membrane thickness between eggs obtained from outside cages and caged laying hens. The eggshell membrane was thicker in eggs obtained from laying hens kept outside cages and thinner in eggs obtained from laying hens kept in cages, varying from 59.9 to 20.0 μm , respectively.
2. After 35 days of storage, the weight loss of eggs obtained from laying hens kept outside cages was insignificantly different from laying hens kept in cages, amounting to 6.55 % of the initial weight. Other physical properties included changes air chamber 36.84 % vs. 123.08%, egg white age 44.37 % vs. 45.37 %, Haugh unit 33.45 % vs. 34.21 %, pH – 1.99 % vs. 2.18 %. respectively.
3. Significant deterioration of egg quality was detected after 28 days of storage, especially in weight change and shell strength. The main reason that contributed to the weakening of eggshell strength is the formation of long and thick spider web-like microcracks on the surface of the shells. Therefore, the 28th day of storage can be perceived as a limit for processing eggs into an egg product to preserve the maximum amount of egg mass.
4. Regardless of the type of packaging, due to the influence of oxidation processes, the vitamin content in the product decreased significantly ($p \leq 0.05$) after the 35th day of storage. However, when storing the product in four types of packaging, on average, the smallest reduction of vitamins was found in TP packaging.
5. The preservation of monounsaturated fatty acids in the product is most effectively ensured by HDPE packaging, followed by the sample packaged in PET packaging. Meanwhile, a statistically significant advantage of TP packaging compared to other packaging materials has been the preservation of polyunsaturated fatty acids (PUFA) after 35 days of storage of pasteurized egg mass.
6. Changes in the concentration of individual amino acids were detected after 35 days of storage. The most significant ($p \leq 0.05$) reduction was observed for the product in TP packaging, which was 3.2 %. On the other hand, due to its excellent barrier properties, polyethene terephthalate packaging demonstrates better amino acid retention.
7. The number of total bacteria in the mass of pasteurized eggs on the 35th day of storage ranged from 4.64 to 4.91 $\log_{10}$ CFU g^{-1} . The highest number of total bacteria was found in PET packaging - 4.91 $\log_{10}$ CFU g^{-1} .
8. The pasteurized liquid egg mass is sensitive to external factors, such as storage temperature. Therefore, by using thermochromic pigments on the package, which are the active part of the smart package, it is possible to follow the changes in the quality of the egg mass depending on the storage temperature and duration. Such pigment changes the color of the package within 15 hours.
9. Latvian residents are not well informed about smart packaging and its potential benefits. As the most important contribution of smart packaging, both consumers (83 %), manufacturers (40 %) and retailers (60 %) recognize the possibility of tracking the product's life cycle, starting from the moment of its production and packaging up until reaching consumers.
10. The hypothesis put forward in the work was partially confirmed, because the shelf life of eggs and egg products is affected by: external factors, such as the environment, production and storage conditions, as well as chemical and physical parameters of eggs. Processing eggs into liquid egg mass and storing them in Tetra Pak® Bio-based biodegradable packaging ensures product quality preservation for up to 35 days.

Mg. sc.soc. Vjačeslavs Kočetkovs
e-pasts / e-mail: info@kocetkovs.com
Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte / Latvia University of Life Sciences and Technologies
Lauksaimniecības un Pārtikas tehnoloģijas fakultāte / Faculty of Agriculture and Food technology
Rīgas iela 22a, Jelgava, LV-3004, Latvija / Riga Street 22a, Jelgava, LV-3040, Latvia