


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

Pārtikas tehnoloģijas fakultāte
Faculty of Food Technology



Latvijas
Biozinātņu un tehnoloģiju
universitāte

Mg. chem. Anete Keķe 

DEHIDRĒTA MEDUS IEGŪŠANA UN KVALITĀTE
PRODUCTION AND QUALITY OF DEHYDRATED
HONEY

Promocijas darba KOPSAVILKUMS
zinātnes doktora (Ph.D.) zinātniskā grāda iegūšanai
pārtikas un dzērienu tehnoloģijās

SUMMARY

*of the Doctoral thesis for acquiring a Doctor of Science (Ph.D.) in
Food and Beverage technologies*

Jelgava
2023

Promocijas darba vadītājs / Scientific supervisor:
LBTU asociētais profesors Dr.sc.ing. **Ingmārs Cinkmanis**

Darba recenzenti / Official reviewers:
Vadošā pētniece, profesore / *Leading researcher, professor* Dr.sc.ing. **Ruta Galoburda** – Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte / *Latvia University of Life Sciences and Technologies*;

Vadošā pētniece / *Leading researcher*, Dr.sc.ing. **Daliņa Segliņa** – Dārzkopības institūts / *Institute of Horticulture*;

Profesors / *Professor* Dr.chem. **Artūrs Vīksna** – Latvijas Universitāte / *University of Latvia*

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Pārtikas un dzērienu tehnoloģijas nozares promocijas padomes atklātajā sēdē 24.02.2023. pl. 14.00 Pārtikas tehnoloģijas fakultātes 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 24.02.2023. at 14.00 at the Faculty of Food Technology, 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, profesorei Dr.sc.ing. **I. Beitānei** (Rīgas iela 22a, Jelgava LV-3004, e-pasts: ilze.beitane@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. **I. Beitane**, 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: ilze.beitane@lbtu.lv.*

SATURS

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE	4
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA.....	6
MATERIĀLI UN METODEDES	7
REZULTĀTI UN DISKUSIJA	15
1. Medus paraugu atlase dehidrēšanai	15
2. Nesējvielas un to koncentrācijas ietekme dehidrēta medus ieguvē, izmantojot izsmidzināšanas un sublimācijas kaltes	18
3. Izsmidzināšanas kaltēšanā un sublimācijā iegūtā dehidrēta medus kvalitāte	21
SECINĀJUMI	32

CONTENT

TOPICALITY OF THE RESEARCH	34
APPROBATION OF THE RESEARCH WORK.....	36
MATERIALS AND METHODS.....	36
RESULTS AND DISCUSSION.....	39
1. Selection of honey for the dehydration	39
2. Effect of carriers and their concentration on obtaining dehydrated honey using spray and freeze-dryers.....	40
3. Quality of the dehydrated honey obtained spray drying and freeze-drying ..	41
CONCLUSIONS	45

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Medus ir produkts, kuru cilvēce izmanto kopš seniem laikiem. Senās tautas (senie grieķi, ķīnieši, ēģiptieši, romieši, maiji un babilonieši) medu patērēja gan augstās uzturvērtības, gan ārstniecisko īpašību dēļ (Samarghandian et al., 2017). Medus galvenokārt sastāv no ūdens un ogļhidrātiem, kas nodrošina produkta augsto enerģisko vērtību. Papildus ogļhidrātiem medus satur dažādus citus ķīmiskus savienojumus, piemēram, brīvās aminoskābes, olbaltumvielas, vitamīnus, minerālvielas, dažādus fenolu un gaistošos savienojumus. Tā ķīmiskā sastāva dēļ medum raksturīga prebiotiska iedarbība, antioksidatīvās, antibakteriālās, pretvīrusu, pretiekaisuma, imūnmodulējošas īpašības (Miguel et al., 2017).

Pēdējo gadu laikā uztura izraisīta aptaukošanās un tās izraisītie vielmaiņas traucējumi, piemēram, 2. tipa diabēts, ir globāla problēma. Viens no galvenajiem cēloņiem ir paaugstināts cukuru pārtikas produktu un dzērienu patēriņš (van Dam et al., 2020). Problēmas risināšanai veselības organizāciju eksperti ir ieteikuši samazināt pievienotā cukura patēriņu ikdienā (Hagger et al., 2017).

Saharoze ir viens no visplašāk uzturā lietotajiem cukuriem. Saharozei ir būtiska loma cilvēka uzturā, jo saharozes sastāvā esošā monosaharīda glikozes metabolisms nepieciešams adenozīna trifosfāta un citu bioloģiski aktīvu molekulu sintēzei (Castro-Muñoz et al., 2022). Saharozī iegūst no kukurbietēm vai cukurniedru sulas, kuras rafinēšanas procesā produkts zaudē bioloģiski aktīvos savienojumus (Singh et al., 2015). Saharozes aizvietošana ar medu tiek piedāvāts kā viens no risinājumiem cukura patēriņa samazināšanai. Medu izmanto dažādu pārtikas produktu: kā konditorejas izstrādājumu, uzskodu, graudaugu produktu, bezalkoholisko dzērienu ražošanā un alus brūvēšanā. Dabiskās saldvielas plašu izmantošanu pārtikas rūpniecībā un farmācijā ierobežo tā fizikālās īpašības: augstā viskozitāte un blīvums.

Dehidrēts medus ir alternatīva šķidram medum, kura ražošana ļautu paplašināt medus izmantošanu pārtikas rūpniecībā, piemēram, sauso maisījumu ražošanā. Medus dehidrēšanas process ir sarežģīts, jo to apgrūtina augstais fruktozes un glikozes saturs. Iegūstot dehidrētu medu, to iespējams izmantot ne tikai pārtikā, bet arī farmācijā, kosmētikas ražošanā. Tādā veidā tiktu paplašināta Latvijas medus ražotāju konkurētspēja Eiropā un pasaulē.

Promocijas darba **hipotēze**: dehidrēta medus kvalitāti ietekmē kaltēšanas metode, nesējvielas veids un tās koncentrācija.

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

1. Medus kvalitāte ietekmē medus piemērotību dehidrēšanas procesam.
2. Izsmidzināšanas kaltēšana un sublimācija ir piemērotas metodes dehidrēta medus iegūšanai.
3. Nesējviela un tās koncentrācija ietekmē dehidrēta medus iznākumu.

4. Kaltēšanas metode, nesējviela un tās koncentrācija ietekmē dehidrēta medus fizikālās un ķīmiskās īpašības.

Promocijas darba mērķis ir iegūt dehidrētu medu un noteikt iegūta produkta kvalitātes rādītājus.

Promocijas darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi **uzdevumi**:

- 1) izvēlēties piemērotāko medu dehidrēšanai;
- 2) iegūt dehidrētu medu, izmantojot izsmidzināšanas un sublimācijas kaltes;
- 3) analizēt izmantoto nesējvielu un to koncentrāciju ietekmi uz medus dehidrēšanas procesu;
- 4) noteikt diastāzes un invertāzes aktivitāti medū un dehidrētā medū;
- 5) noteikt 5-hidroksimetilfurfuroļa koncentrāciju medū un dehidrētā medū;
- 6) noteikt prolīna, fenolu savienojumu, organisko skābju saturu medū un dehidrētā medū;
- 7) noteikt dehidrēta medus fizikālos rādītājus: ūdens saturu, ūdens aktivitāti, higroskopiskumu, samitrināmību, plūstamību un šķīdību ūdenī.

Promocijas darba **novitāte**.

Pirmo reizi Latvijā veikti pētījumi par dehidrēta medus iegūšanu un pētīta dehidrēta medus kvalitāte.

Promocijas darba **tautsaimnieciskā nozīme**.

1. Dehidrēta medus ražošana var dod iespēju Latvijas biškopjiem palielināt bišu saimju skaitu un sekmēt biškopības nozares attīstību valstī;
2. Dehidrēta medus ražošana dod iespēju paplašināt biškopības produktu klāstu, piedāvājot izmantošanu pārtikas rūpniecībā, farmācijā un kosmētikas ražošanā;
3. Izmantojot dehidrētu medu, iespējams samazināt saharozes patēriņu, sniedzot patērētājiem veselīgu cukura aizvietošanu.

Promocijas darba izstrāde līdzfinansēta:

- Latvijas Lauksaimniecības universitātes pētniecības programma “Zinātnes kapacitātes stiprināšana LLU”. Projekts “Dehidrēta medus iegūšana un kvalitāte”. Projekta Nr. Z35. Līguma Nr. 3.2-10/2019/LLU/140.
- Eiropas Sociālā fonda projekts Nr. 8.2.2.0/18/A/014 “LLU akadēmiskā personāla pilnveidošana”.



Latvijas
Lauksaimniecības
universitāte

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Sociālais
fonds

"Zinātniskās kapacitātes stiprināšana LLU"

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījuma rezultāti apkopoti un publicēti 6 recenzētos zinātniskos izdevumos, kuri indeksēti SCOPUS un/vai Web of Science datubāzēs:

1. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2022) Changes in the content phenolic compounds in honey after spray drying. *Proceedings of Latvian Academy of Sciences, Section B*, Vol. 76 (2022), No. 1 (736), pp. 157–160 DOI: 10.2478/prolas-2022-0024;
2. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2022) Comparison of individual phenolic compounds in freeze-dried and spray-ried honey powders. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, Vol. 38, pp. 187–191. UDC: 638.162:547.56]:66.047.3;
3. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2021) Total phenolic content and antiradical activity of honey powders. *27th Annual International Scientific Conference “Research for Rural Development 2021”*. *International Scientific Conference Proceedings*, Vol. 36, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, pp. 104–110. DOI: 10.22616/rrd.27.2021.015;
4. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2020) α -Amylase activity in freeze-dried and spray-dried honey. *26th Annual International Scientific Conference “Research for Rural Development 2020”*, *International Scientific Conference Proceedings*, Vol. 35, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, pp. 112–117. DOI: 10.22616/rrd.26.2020.017;
5. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2020) Changes in α -amylase activity in honey during the freeze-drying process. *Agronomy Research*, Vol. 18 (S3), pp.1717–1726. DOI: 10.15159/AR.20.042;
6. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2019) Determination of organic acids in honey samples from Latvian market by high-performance liquid chromatography. *25th Annual International Scientific Conference “Research for Rural Development 2019”*, *International Scientific Conference Proceedings*, Vol. 1, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, pp. 229 – 233. DOI: 10.22616/rrd.25.2019.034.

Par pētījuma rezultātiem ziņots 7 starptautiskās zinātniskajās konferencēs Latvijā, Igaunijā un Nīderlandē:

1. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2021) Total phenolic content and antioxidant activity of honey powders. *27th Annual International Scientific Conference “Research for Rural Development 2021”*, 12.–13.05.2021., Jelgava, Latvija (E-stenda referāts / *E-poster presentation*);
2. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2020) Changes in phenolic content of honey during spray-drying process. *3rd International Scientific Conference “Nutrition and*

- Health", 9.–11.12.2020., Rīga, Latvija (E-stenda referāts / *E-poster presentation*);
3. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2020) α -amylase activity in freeze-dried and spray-dried honey. 26th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2020", 13.–15.05.2020., Jelgava, Latvija (E-referāts / *E-poster presentation*);
 4. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2020) Changes in α -amylase activity in honey during the freeze-drying process. 11th International Conference "Biosystems Engineering 2020", 6.–8.05.2020., Tartu, Igaunija (E-stenda referāts / *E-poster presentation*);
 5. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2019) Determination of Individual Phenolic Compounds in Latvian Honey by HPLC-DAD. 33rd EFFoST International Conference, 12.–14.11.2019., Roterdama, Nīderlande (Stenda referāts / *Poster presentation*);
 6. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2019) Determination of organic acids in honey samples from Latvian market by high-performance liquid chromatography. 25th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2019", 15.–17.05.2019., Jelgava, Latvija (Mutisks ziņojums / *Oral presentation*)
 7. **Keke A.**, Cinkmanis I. (2019) Total phenolic and flavonoid content, antioxidant activity, and colour of honey samples from Latvian market. FoodBalt 2019: 13th Baltic Conference on Food Science "FOOD. NUTRITION. WELL-BEING" and NEEFood 2019: 5th North and East European Congress on Food, 2.–3.05.2019. (E-stenda referāts / *E-poster presentation*)

Promocijas darba pētījuma rezultāti prezentēti starptautiskajās pārtikas, dzērienu, pārtikas pārstrādes, tehnoloģiju, iepakojuma, inovāciju, sabiedriskās ēdināšanas, viesnīcu un veikalu aprīkojuma un servisa izstādēs "Rīga Food 2019", "Rīga Food 2020", "Rīga Food 2021" un izgudrojumu un inovāciju festivālā "MINOX Zemgale 2020".

MATERIĀLI UN METODES

Pētījuma norises laiks un vieta

Pētījums veikts laika periodā no 2018. gada septembra līdz 2022. gada aprīlim. Eksperimentālais darbs veikts šādās Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes (iepriekš Latvijas Lauksaimniecības universitātes) struktūrvienībās:

- Pārtikas tehnoloģijas fakultātes Ķīmijas katedras laboratorijās,

- Pārtikas tehnoloģijas fakultātes Pārtikas tehnoloģijas katedras Procesu un iekārtu laboratorijā,
- Biotehnoloģiju zinātniskās laboratorijas Viedo tehnoloģiju nodaļā.

Pētījuma objekts - dehidrēts medus. Dehidrēta medus iegūšanai izmantots Latvijā 2018. gadā ievākts ziedu medus paraugs.

Pētījuma struktūra

Pētījums veikts trīs posmos. Pētījuma galvenie posmi apkopoti 1. tabulā.

1.tabula / *Table 1*

Pētījuma posmi / *Stages of the research*

Posms / Stage	Apraksts / Description
I posms / Stage I	Medus atlase dehidrēšanai / <i>Selection of honey for dehydration</i>
II posms / Stage II	Dehidrēta medus iegūšana / <i>Obtaining dehydrated honey</i>
III posms / Stage III	Dehidrēta medus kvalitātes izpēte / <i>Study of the dehydrated honey quality</i>

Pētījuma **I posmā** tika veikta medus atlase dehidrēšanai. Pētījuma posms tika sadalīts trīs soļos:

1. *solis. Medus paraugu iegāde un nogādāšana laboratorijā.* Pētījuma īstenošanai sagādāti 18 dažāda veida medus paraugi (skatīt 2. tabulu).

2. *solis. Iegādāto medus paraugu kvalitātes rādītāju noteikšana.* Noteiktie kvalitātes rādītāji apkopoti 6. tabulā (skatīt 1.-12. punktu).

3. *solis. Medus parauga izvēle dehidrēšanas eksperimentiem.* Medus paraugu izvēlēšanās, izmantojot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodi. Izvēlētie kritēriji apkopoti sadaļā “Datu statistiskā analīze”.

2. tabula / *Table 2*

Pētījumā izmantotie medus paraugi / *Honey samples used in the research*

Paraugs / Sample	Medus veids / Type of honey	Ražošanas gads / Production year	Valsts / Country	Reģions / District
M1	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija / <i>Latvia</i>	Zemgale

2. tabulas turpinājums / *Continuation of the Table 2*

Paraugs / Sample	Medus veids / Type of honey	Ražošanas gads / Production year	Valsts / Country	Reģions / District
M2	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija / <i>Latvia</i>	Zemgale
M3	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija / <i>Latvia</i>	Latgale
M4	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija*/ <i>Latvia*</i>	Nav norādīts**/ <i>Not specified**</i>
M5	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija*/ <i>Latvia*</i>	Nav norādīts**/ <i>Not specified**</i>
M6	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija*/ <i>Latvia*</i>	Nav norādīts**/ <i>Not specified**</i>
M7	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija / <i>Latvia</i>	Vidzeme
M8	Akāciju / <i>Acacia</i>	2018	Tadžikistāna / <i>Tajikistan</i>	Baljuvor
M9	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija / <i>Latvia</i>	Latgale
M10	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija*/ <i>Latvia*</i>	Nav norādīts**/ <i>Not specified**</i>
M11	Meža ziedu / <i>Forest flower</i>	2019	Latvija / <i>Latvia</i>	Kurzeme
M12	Griķu / <i>Buckwheat</i>	2018	Latvija / <i>Latvia</i>	Kurzeme
M13	Griķu / <i>Buckwheat</i>	2019	Latvija / <i>Latvia</i>	Zemgale
M14	Liepzienu / <i>Linden flower</i>	2019	Latvija / <i>Latvia</i>	Kurzeme
M15	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2018	Latvija / <i>Latvia</i>	Vidzeme
M16	Kastaņu / <i>Chestnut</i>	2019	Itālija / <i>Italy</i>	Sicīlija / <i>Sicily</i>
M17	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2019	Latvija*/ <i>Latvia*</i>	Nav norādīts**/ <i>Not specified**</i>
M18	Dažādu ziedu / <i>Multifloral</i>	2019	Igaunija / <i>Estonia</i>	Võrumaa

* paraugs iegādāts lielveikalā / *Sample was bought in supermarket*

** ES valstīs un ārpus ES valstīm ražota medus maisījums / *Blend of EU and non-EU honeys*

Pētījuma **II posmā** tika iegūts dehidrēts medus. Pētījuma posms tika realizēts trīs soļos:

1. *solis*. **Nesējvielu atlase dehidrēšanai.** Maltodekstrīns (DE=4.0-7.0), maltodekstrīns (DE=10.4), D-mannitols, sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts tika izvēlētas kā nesējvielas medus dehidrēšanas eksperimentiem.

2. *solis*. **Medus un nesējvielu maisījumu sagatavošana.** Dehidrēšanas eksperimentiem pagatavoto šķīdumu sastāvs un koncentrācijas apkopotas 3. tabulā.

3. tabula / Table 3

Medus un nesējvielu attiecība šķīdumā / Honey and carrier ratio in the solution

Nesējviela / Carrier	Medus un nesējvielas attiecība šķīdumā / Honey and carrier ratio in the solution	Šķīduma koncentrācija / Concentration of the solution, %
Maltodekstrīns (DE= 4.0-7.0)/ <i>Maltodextrin (DE= 4.0-7.0)</i>	50:50	30
	25:75	
Maltodekstrīns (DE= 10.4)/ <i>Maltodextrin (DE= 10.4)</i>	50:50	20
	25:75	
Sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts/ <i>Whey protein hydrolysate</i>	50:50	20
	25:75	
	60:40	10
D-Mannitols/ <i>D-Mannitol</i>	50:50	10
	25:75	
Maltodekstrīns (DE= 4.0-7.0) : Sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts/ <i>Maltodextrin (DE= 4.0-7.0) : Whey protein hydrolysate</i>	60:39:1	10
	70:10:20	
Maltodekstrīns (DE= 10.4) : Sūkalu olbaltumvielu izolāts/ <i>Maltodextrin (DE=10.4) : Whey protein hydrolysate</i>	60:39:1	10
	70:10:20	

3. *solis*. **Pagatavoto medus un nesējvielu maisījumu kaltēšana, izmantojot izsmidzināšanas un sublimācijas kaltes.**

Dehidrēta medus iegūšana, izmantojot sublimācijas kalti. Medus un nesējvielas maisījumu ūdens šķīdumus (skatīt 3. tabulu) iepildīja pārtikas produktu sasaldēšanai paredzētos traukos un uzglabāja -20±1 °C temperatūrā divas dienas. Pēc divām dienām paraugus kaltēja, izmantojot sublimācijas kalti ALPHA 1-2 LDplus (MARTIN CHRIST Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Vācija). Kaltēšana tika veikta šādos apstākļos:

- ledus kondensatora temperatūra: -50.6 °C,
- spiediens: 0.036 mbar,
- kaltēšanas ilgums: 72 stundas

Dehidrēta medus iegūšana, izmantojot izsmidzināšanas kalti. Izsmidzināšanas kaltēšanai izmantoja 3. tabulā apkopotos medus un nesējvielu maisījumu ūdens šķīdumus. Kaltēšana tika veikta izsmidzināšanas kaltē BÜCHI mini B-290 (Labortechnik AG, Šveice). Šķīdumi kaltēšanas laikā tika vienmērīgi maisīti, izmantojot magnētisko maisītāju BIOSAN MS-3000 (Biosan, Latvija). Kaltēšana tika veikta šādos apstākļos:

- sprauslas izmērs: 1.2 mm,
- gaisa plūsmas ātrums: 670 L h⁻¹,
- parauga padeves ātrums: 18 mL min⁻¹,
- ieplūstošā un izplūstošā gaisa temperatūra: skatīt 4. tabulu

4. tabula / Table 4

**Izsmidzināšanas kaltēšanas apstākļi atkarībā no izmantotās nesējvielas /
Conditions of spray drying depending on the used carrier**

Nesējviela / Carrier	Ieplūstošā gaisa temperatūra / Inlet air temperature, °C	Izplūstošā gaisa temperatūra / Outlet air temperature, °C
Maltodekstrīns (DE= 4.0-7.0) / <i>Maltodextrin (DE= 4.0-7.0)</i>	185	80
Maltodekstrīns (DE= 10.4) / <i>Maltodextrin (DE= 10.4)</i>	170	75
Sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts / <i>Whey protein hydrolysate</i>	130	75
D-Mannitols/ <i>D-Mannitol</i>	135	70
Maltodekstrīns (DE= 4.0-7.0) un sūkalu olbaltumvielu izolāts / <i>Maltodextrin (DE= 4.0-7.0) and whey protein hydrolysate</i>	175	80
Maltodekstrīns (DE= 10.4) un sūkalu olbaltumvielu izolāts / <i>Maltodextrin (DE= 10.4) and whey protein hydrolysate</i>	170	78

Pētījuma **III posmā** tika pētīta iegūto dehidrēta medus paraugu kvalitāte. Dehidrēta medus paraugiem noteikti dažādi fizikālie un ķīmiskie rādītāji:

- prolīna koncentrācija,
- invertāzes aktivitāte,
- diastāzes aktivitāte,
- individuālie fenolu savienojumi,
- organisko skābju saturs,
- 5-hidroksimetilfurfurola koncentrācija.
- ūdens saturs,
- ūdens aktivitāte,

- higroskopiskums,
- tilpummasa,
- sablīvēto daļiņu blīvums,
- plūstamība,
- šķīdība ūdenī,
- samitrināmība.

Izsmidzināšanas kaltē iegūtiem paraugiem papildus veikta morfoloģijas analīze.

Iegūtie rezultāti par dehidrēta medus fizikālajiem un ķīmiskajiem rādītājiem tika izmantoti iegūtā produkta kvalitātes novērtējumam. Lai atvieglotu rezultātu reprezentāciju, dehidrēta medus paraugiem piešķirti apzīmējumi. Apzīmējumi apkopoti 5. tabulā.

5. tabula / Table 5

Dehidrēto medus paraugu apzīmējumi / Designation of the dehydrated honey samples

Apzīmējums / Designation	Parauga sastāvs / Composition of the sample
50:50 M:MD(DE=4-7)	Medus un maltodekstrīns (DE=4.0-7.0) attiecībā 50:50/ Honey and maltodextrin (DE=4.0-7.0) ratio of 50:50
25:75 M:MD(DE=4-7)	Medus un maltodekstrīns (DE=4.0-7.0) attiecībā 25:75/ Honey and maltodextrin (DE=4.0-7.0) ratio of 25:75
50:50 M:MD(DE=10.4)	Medus un maltodekstrīns (DE=10.4) attiecībā 50:50/ Honey and maltodextrin (DE=10.4) ratio of 50:50
25:75 M:MD(DE=10.4)	Medus un maltodekstrīns (DE=10.4) attiecībā 25:75/ Honey and maltodextrin (DE=10.4) ratio of 25:75
50:50 M:SPH	Medus un sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts attiecībā 50:50/ Honey and whey protein hydrolysate ratio of 50:50
25:75 M:SPH	Medus un sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts attiecībā 25:75/ Honey and whey protein hydrolysate ratio of 25:75
60:40 M:SPH	Medus un sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts attiecībā 60:40 / Honey and whey protein hydrolysate ratio of 60:40

5. tabulas turpinājums / *Continuation of the Table 5*

Apzīmējums / Designation	Parauga sastāvs / Composition of the sample
50:50 M:MN	Medus un mannitols attiecībā 50:50 / <i>Honey and mannitol ratio of 50:50</i>
25:75 M:MN	Medus un mannitols attiecībā 25:75 / <i>Honey and mannitol ratio of 25:75</i>
60:39:1 M:MD(DE=4-7):SPH	Medus un maltodekstrīns (DE=4.0-7.0), un sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts attiecībā 60:39:1/ <i>Honey and maltodextrin (DE=4.0-7.0) and whey protein hydrolysate ratio of 60:39:1</i>
70:10:20 M:MD(DE=4-7):SPH	Medus un maltodekstrīns (DE=4.0-7.0), un sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts attiecībā 70:10:20/ <i>Honey and maltodextrin (DE=4.0-7.0) and whey protein hydrolysate ratio of 70:10:20</i>
60:39:1 M:MD(DE=10.4):SPH	Medus un maltodekstrīns (DE=10.4), un sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts attiecībā 60:39:1/ <i>Honey and maltodextrin (DE=10.4) and whey protein hydrolysate ratio of 60:39:1</i>
70:10:20 M:MD(DE=10.4):SPH	Medus un maltodekstrīns (DE=10.4), un sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts attiecībā 70:10:20/ <i>Honey and maltodextrin (DE=10.4) and whey protein hydrolysate ratio of 70:10:20</i>

DE – dekstrozes ekvivalents / *dextrose equivalent*; M – medus / *honey*; MD – maltodekstrīns / *maltodextrin*; MN – mannitols / *mannitol*; SPH – sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts / *whey protein hydrolysate*

Pētījumā izmantotās analīžu metodes

Pētījumā izmantotās analīžu metodes apkopotas 6. tabulā.

6. tabula / *Table 6*

Pētījumā izmantotās analīžu metodes / Analytical methods used in the research

Nr.p.k./ No.	Analizētais rādītājs / Analyzed parameter	Metode / Method
1.	Cukuru saturs / <i>Sugar content</i>	Yilmaz et al., 2014**
2.	Ūdens saturs / <i>Water content</i>	Zhang et al., 2012; Subtil et al., 2014**
3.	Ūdenī nešķīstošu vielu saturs / <i>Content of insoluble matter</i>	IHC* 8:2009
4.	Elektrovadītspēja / <i>Electrical conductivity</i>	IHC* 2:2009

6. tabulas turpinājums / *Continuation of the Table 6*

Nr.p.k./ No.	Analizētais rādītājs / <i>Analyzed parameter</i>	Metode / <i>Method</i>
5.	Kopējo skābju saturs / <i>Free acidity</i>	IHC* 4.1:2009
6.	Diastāzes aktivitāte / <i>Diastase activity</i>	T-AMZHY 05/14
7.	5-Hidroksimetilfurfuroļa koncentrācija / <i>Concentration of 5-hydroxymethylfurfural</i>	Lee et al., 2014**
8.	Īpatnējais griešanas leņķis / <i>Specific rotation</i>	IHC* 11:2009
9.	Prolīna koncentrācija / <i>Concentration of proline</i>	IHC* 10:2009
10.	Minerālvielu saturs / <i>Ash content</i>	IHC* 3:2009
11.	Invertāzes aktivitāte / <i>Invertase activity</i>	IHC* 9:2009
12.	pH	IHC* 4.1:2009
13.	Organiskās skābes / <i>Organic acids</i>	Keke & Cinkmanis, 2019
14.	Individuālie fenolu savienojumi / <i>Individual phenolic compounds</i>	Tang et al., 2018
15.	Ūdens aktivitāte / <i>Water activity</i>	FDA, 2014 ¹
16.	Higroskopiskums / <i>Hygroscopicity</i>	Goula & Adamopoulos, 2010; Nurhadi & Roos, 2016
17.	Samitrināmība / <i>Wettability</i>	Samborska et al., 2015
18.	Tilpummasa / <i>Bulk density</i>	Kapoor & Feng, 2022
19.	Sablīvēto daļiņu blīvums / <i>Tapped density</i>	USP, 2015 ²
20.	Plūstamība / <i>Flowability</i>	Lee & Yoo, 2020
21.	Šķīdība ūdenī / <i>Water solubility</i>	Irigoitī et al., 2021
22.	Daļiņu morfoloģija / <i>Morphology of particles</i>	Skenējošā elektronu mikroskopija / <i>Scanning electron microscopy</i>

* IHC – Starptautiskā medus komisija / *International Honey Commission*

** Metodes modifikācija aprakstīta Keke & Cinkmanis, 2020 / *Modification of the method described in Keke & Cinkmanis, 2020*

Datu statistiskā analīze

Pētījumā eksperimenti tika veikti trīs atkārtojumos. Iegūtie rezultāti tika izteikti kā vidējā aritmētiskā vērtība ± standartnovirze. Datu statistiskai apstrādei izmantota viena faktora un divu faktoru dispersijas analīze ANOVA un Tūkija tests. Datu būtiskums tika raksturots ar p vērtību. Ja $p > 0.05$, tad faktors rezultātu

¹ Water Activity (aw) in Foods [tiešsaite / *online*] [skatīts / *viewed* 15.06.2021.] Iegūts no / *obtained from* <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-technical-guides/water-activity-aw-foods>

² BULK DENSITY AND TAPPED DENSITY OF POWDERS [tiešsaite / *online*] [skatīts / *viewed* 14.06.2021.] Iegūts no / *obtained from* https://www.usp.org/sites/default/files/usp/document/harmonization/gen-chapter/bulk_density.pdf

būtiski neietekmē. Ja $p \leq 0.05$, faktors rezultātu būtiski ietekmē. Pīrsona koeficients tika izmantots korelācijas raksturošanai.

Izmantojot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodi, tika izvēlēts piemērotākais medus dehidrēšanas eksperimentiem. Izvēles veikšanai tika definēti pozitīvie un negatīvie kritēriji. Kā pozitīvos kritērijus izvēlējās tādas medus kvalitāti raksturojošus rādītājus, kuru maksimālās vērtības ir vēlamas. Pozitīvie kritēriji:

- prolīna koncentrācija,
- invertāzes aktivitāte,
- reducējošo cukuru saturs,
- diastāzes aktivitāte.

Savukārt kā negatīvos kritērijus izvēlējās tādas rādītājus, kuru minimālās vērtības ir vēlamas. Negatīvie kritēriji:

- 5-hidroksimetilfurfurola koncentrācija,
- ūdens saturs,
- saharozes saturs,
- elektrovadītspēja,
- ūdenī nešķīstošo vielu saturs,
- kopējo skābju saturs.

Aglomeratīvā hierarhiskā klasteru analīze izmantota, lai noteiktu līdzības starp dehidrēta medus paraugiem pēc to fizikālajiem un ķīmiskajiem rādītājiem. Galveno komponentu analīze izmantota, lai analizētu individuālo fenolu savienojumu koncentrācijas datu dispersiju.

Rezultātu apstrādei un to reprezentācijai izmantotie attēlu un tabulu izveidei izmantotas lietojumprogrammas: Microsoft 365 Excel un R (4.2.1. versija) un RStudio (4.2.1. versija).

REZULTĀTI UN DISKUSIJA

1. Medus paraugu atlase dehidrēšanai

Pētījuma I posma mērķis bija atlasīt dehidrēšanas eksperimentiem piemērotāko medus paraugu. Kopumā analizēti 18 dažādi medus paraugi, kurus iegādājās no Latvijas un citu Eiropas Savienības dalībvalstu biškopjiem, Latvijas lielveikalos un vienu medus paraugu saņēma kā dāvinājumu no trešās pasaules valsts biškopja. Medus paraugu raksturojums pēc to izcelsmes, ievākšanas/ražošanas gada un veida apkopots 2. tabulā.

Medus paraugu kvalitāte novērtēta atbilstoši Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumiem Nr. 251/2015 “Kvalitātes, klasifikācijas un

papildu marķējuma prasības medum” un Starptautiskās medus komisijas norādījumiem.

Analizējot iegūtos datus par pētīto medus paraugu kvalitāti, izvēlēti paraugi dehidrēšanas eksperimentiem. Apkopojums par medus paraugu piemērotību dehidrēšanai parādīts 7. tabulā.

7. tabula / Table 7

Medus paraugu piemērotība dehidrēšanai / *Honey samples' suitability for dehydration*

Paraugs / Sample	Piemērotība dehidrēšanai / Suitability for dehydration	Iemesls / Reason
M1	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M2	✗	Zema diastāzes aktivitāte, $DN < 8$ / <i>Low diastase activity, $DN < 8$</i>
M3	✗	Ūdens saturs pārsniedz 20%, 5-HMF koncentrācija pārsniedz 40 mg kg ⁻¹ / <i>Water content is higher than 20%, 5-HMF concentration is higher than 40 mg kg⁻¹</i>
M4	✗	Zema diastāzes aktivitāte, $DN < 8$ / <i>Low diastase activity, $DN < 8$</i>
M5	✗	Zema diastāzes aktivitāte, $DN < 8$, 5-HMF koncentrācija pārsniedz 40 mg kg ⁻¹ / <i>Low diastase activity, $DN < 8$, 5-HMF concentration is higher than 40 mg kg⁻¹</i>
M6	✗	Zema diastāzes aktivitāte, $DN < 8$ / <i>Low diastase activity, $DN < 8$</i>
M7	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M8	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M9	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>

7. tabulas turpinājums / *Continuation of the Table 7*

Paraugs / Sample	Piemērotība dehidrēšanai / Suitability for dehydration	Iemesls / Reason
M10	✘	Zema diastāzes aktivitāte, DN<8, 5-HMF koncentrācija pārsniedz 40 mg kg ⁻¹ / <i>Low diastase activity, DN<8, 5-HMF concentration is higher than 40 mg kg⁻¹</i>
M11	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M12	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M13	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M14	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M15	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M16	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M17	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>
M18	✓	Kvalitātes rādītāji atbilst noteikumiem / <i>The quality parameters comply with regulations</i>

✓ Medus ir piemērots tālākai apstrādei (dehidrēšanai) / *Honey is suitable for further processing (dehydration)*;

✘ Medus nav piemērots tālākai apstrādei (dehidrēšanai) / *Honey is not suitable for further processing (dehydration)*

Dehidrēšanas eksperimentiem piemērotāko medus paraugu izvēlējās, izmantojot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas (*multi-criteria decision making*) metodi. Lai izvērtētu medus paraugus, tie tika novērtēti pēc desmit kritērijiem (skatīt sadaļu “Datu statistiskā analīze”).

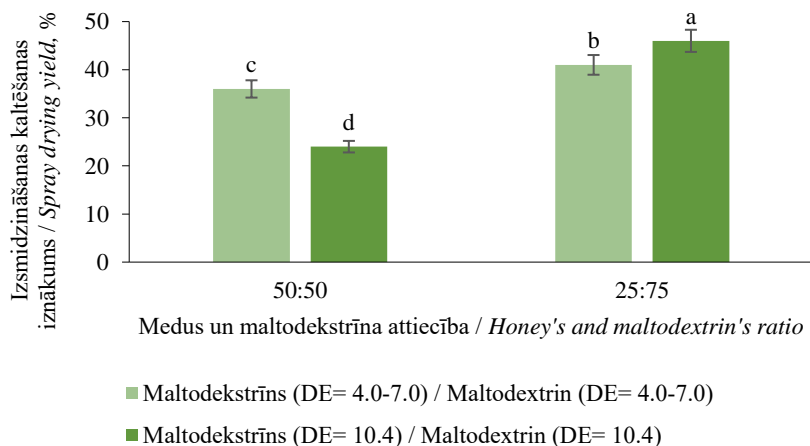
Medus paraugi tika salīdzināti pēc to kritēriju vērtējumu summām. M13 medus paraugs uzrādīja augstāko kritēriju summu – 0.605 –, līdz ar to tas tika uzskatīts par piemērotāko dehidrēšanai. Šis medus pēc florālās izcelsmes ir griķu

ziedu medus. Griķu ziedu medum raksturīga specifiska smarža un garša. Griķu ziedu medus sensoro īpašību dēļ M13 paraugu dehidrēšanas eksperimentiem neizvēlējās. Dehidrēšanai izvēlējās M1 medus paraugu, kurš kritēriju izvērtējumā uzrādīja trešo augstāko summu. M1 paraugs ir dažādu ziedu medus, kas tika ievākts 2018. gadā Zemgalē. Medus paraugu, kurš izvērtējumā uzrādīja otru augstāko summu, neizvēlējās nepietiekamās kvantitātes dēļ, jo netiktu nodrošināta dehidrēšanas eksperimentu atkārtojamība.

2. Nesējvielas un to koncentrācijas ietekme dehidrēta medus ieguvē, izmantojot izsmidzināšanas un sublimācijas kaltes

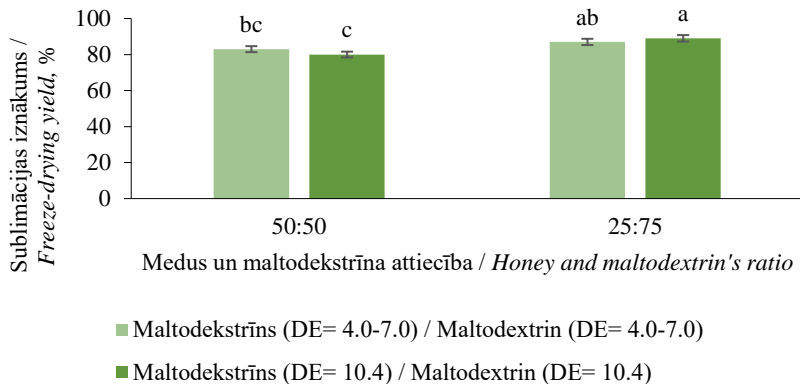
Dehidrēta medus iegūšanai izmantotas divas metodes: izsmidzināšanas kaltēšana un sublimācija. Medus dehidrēšanas procesa īstenošanai tam pievienoja nesējvielas. Nesējvielas dehidrēšanas procesā pievieno ar mērķi palielināt produkta stiklošanās temperatūru un samazināt to higroskopiskumu, iegūstot stabilu dehidrētu produktu (Subtil et al., 2014).

Pētījumā dehidrēta medus iegūšanai izmantots maltodekstrīns ar atšķirīgām dekstrozes ekvivalenta (DE) vērtībām: DE=4.0–7.0 un DE=10.4. Izsmidzināšanas kaltēšanas un sublimācijas eksperimentiem sagatavotie šķīdumi saturēja medu un maltodekstrīnu dažādās attiecībās: 50:50 un 25:75. Izsmidzināšanas kaltēšanas un sublimācijas iznākumi parādīti 1. un 2. attēlā.



1. att. Izsmidzināšanas kaltēšanas iznākums atkarībā no maltodekstrīna DE / Fig. 1 Spray drying yield depending on the maltodextrin's DE

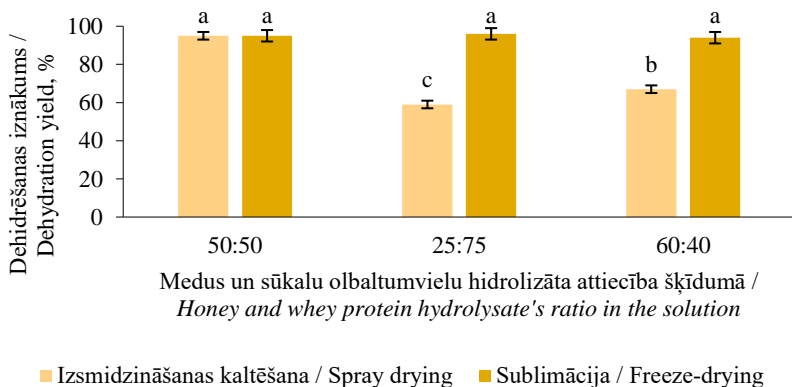
Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)



2. att. **Sublimācijas iznākums atkarībā no maltodekstrīna DE / Fig. 2**
Freeze-drying depending on maltodextrin's DE

Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)

Dehidrēta medus iegūšanai kā nesējvielu izmantoja arī sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu. Sūkalu olbaltumvielu hidrolizāta pievienošana medum deva lielu produktu iznākumu dažādās medus un nesējvielas attiecībās. Rezultāti apkopoti 3. attēlā.



3. att. **Dehidrēšanas iznākums, izmantojot sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu dažādās koncentrācijās / Fig. 3 Dehydration yield by using whey protein hydrolysate in different concentrations**

Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)

Izmantojot sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu kā nesējvielu, medus un nesējvielas maisījumā palielināja medus koncentrāciju līdz 60% no sausas. Lielais produkta iznākums saistīts ar olbaltumvielas virsmaktīvajām īpašībām (Dehnad et al., 2016). Olbaltumvielas ap kaltējamām daļiņām izveido apvalku, tādējādi tiek paaugstināta daļiņas stiklošanās temperatūra un produkta iznākums (Islam et al., 2016).

Medus dehidrēšanas eksperimentiem izmantoja arī mannitolu kā nesējvielu. Izmantojot izsmidzināšanas kaltēšanu, dehidrētu medu neieguva. Izmantojot sublimāciju, iegūtā produkta iznākums bija liels. Produktos, kuros medus un mannitola attiecība bija 50:50, iznākums bija $86 \pm 2\%$, bet produktos, kur medus un mannitola attiecība bija 25:75, $79 \pm 3\%$.

Medus saturu dehidrētā produktā iespējams palielināt, kombinējot nesējvielas (Shi et al., 2013). Šī iemesla dēļ tika pētīts, kā nesējvielu kombinēšana ietekmē medus dehidrēšanas iznākumu. Kombinējot maltodekstrīnu (gan DE=4.0-7.0, gan DE=10.4) ar sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu dažādās proporcijās, iegūtais iznākums pēc izsmidzināšanas kaltēšanas bija mazs. Savukārt, kaltējot sublimācijas kaltē, iegūts liels iznākums.

Iegūtie rezultāti parādīja, ka, palielinot sūkalu olbaltumvielu hidrolizāta koncentrāciju un samazinot maltodekstrīna koncentrāciju, iespējams iegūt sausu produktu ar augstu medus koncentrāciju. Izsmidzināšanas kaltēšanas un sublimācijas iznākumi apkopoti 8. un 9. tabulā.

8. tabula / Table 8

Izsmidzināšanas kaltēšanā iegūtā dehidrēta medus iznākums, kombinējot nesējvielas / Yield of the obtained spray-dried honey by combining carriers

Pievienotās nesējvielas / Added carriers	Medus un nesējvielu attiecība / Honey and carrier's ratio	Iznākums / Yield, %
Maltodekstrīns (DE=4.0-7.0): Sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts / <i>Maltodextrin (DE=4.0-7.0): Whey protein hydrolysate</i>	60:39:1	14 ± 2^b
	70:10:20	30 ± 3^a
Maltodekstrīns (DE=10.4): Sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts / <i>Maltodextrin (DE=10.4): Whey protein hydrolysate</i>	60:39:1	15 ± 3^b
	70:10:20	34 ± 4^a

Atšķirīgi burti kolonnā norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / Different letters within column denote a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)

Sublimācijas kaltē iegūtā dehidrēta medus iznākums, kombinējot nesējvielas / Yield of the obtained freeze-dried honey by combining carriers

Pievienotās nesējvielas / Added carriers	Medus un nesējvielu attiecība / Honey and carrier's ratio	Iznākums / Yield, %
Maltodekstrīns (DE=4.0-7.0): Sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts / <i>Maltodextrin (DE=4.0-7.0): Whey protein hydrolysate</i>	60:39:1	84±4 ^b
	70:10:20	85±2 ^a
Maltodekstrīns (DE=10.4): Sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts / <i>Maltodextrin (DE=10.4): Whey protein hydrolysate</i>	60:39:1	85±3 ^b
	70:10:20	88±3 ^a

Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) /
Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)

Analizējot, kā sublimācijas iznākumu ietekmē nesējviela un tā koncentrācija, noskaidrots, ka iznākumu būtiski ietekmē izmantotā nesējviela ($p < 0.05$). Savukārt nesējvielas koncentrācija sublimācijas iznākumu būtiski neietekmē ($p > 0.05$).

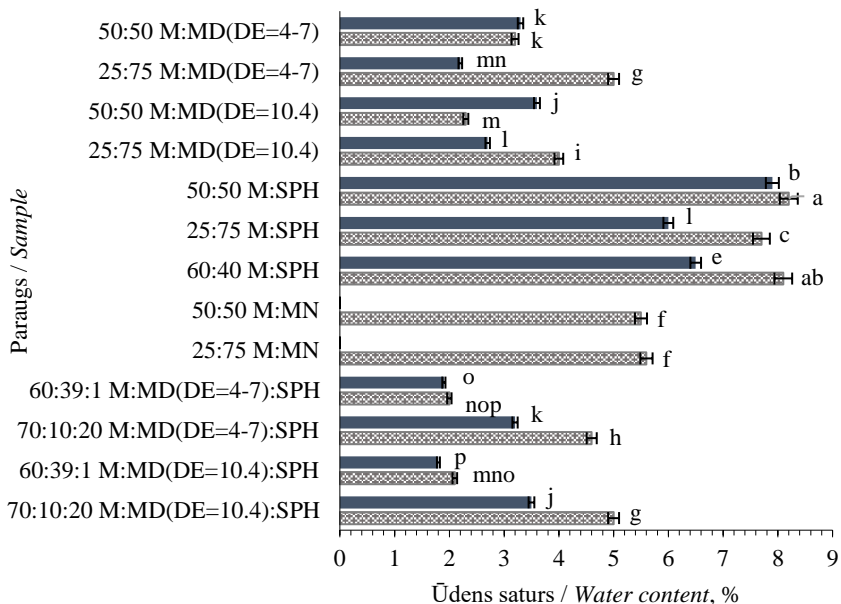
Novērtējot produktu iznākumus, sublimācija ir piemērotākā kaltēšanas metode dehidrēta medus iegūšanai, jo tika iegūts sauss medus ar augstu iznākumu.

3. Izsmidzināšanas kaltēšanā un sublimācijā iegūtā dehidrēta medus kvalitāte

Ūdens saturs. Iegūto dehidrēto produktu ūdens saturs bija robežās no 2.0 līdz 8.5% (skatīt 4. attēlu). Ūdens saturs dehidrēta medus paraugos, kas iegūti ar sublimāciju, ir augstāks. Tas norāda, ka izmantotā dehidrēšanas metode ietekmē paraugu ūdens saturu ($p < 0.05$).

Dehidrēta medus paraugi, kas saturēja sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu, uzrādīja augstāko ūdens saturu. Tas saistīts ar olbaltumvielu spēju labāk saistīt ūdeni nekā maltodekstrīns (Bhusari et al., 2014). Savukārt tie paraugi, kuri saturēja maltodekstrīnu, uzrādīja zemu ūdens saturu.

Dehidrēta medus paraugu ūdens saturu būtiski ietekmēja izmantotā nesējviela ($p < 0.05$), bet nesējvielas un medus savstarpējā attiecība dehidrētājā produktā to neietekmēja ($p > 0.05$).



■ Izsmidzināšanas kaltēšana / Spray-drying ▨ Sublimācija / Freeze-drying

4. att. Ūdens saturs dehidrēta medus paraugos / Fig. 4 Water content in the dehydrated honey samples

Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)

Ūdens aktivitāte raksturo pārtikas produktu mikrobioloģisko stabilitāti. Pētot iegūtos dehidrēta medus paraugus, noteikts, ka ūdens aktivitātes variēja no 0.19 ± 0.02 līdz 0.33 ± 0.02 . Ūdens aktivitātes rādītāji apkopoti 10. tabulā.

10. tabula / Table 10

Dehidrēto medus paraugu ūdens aktivitāte / Water activity of dehydrated honey samples

Paraugs / Sample	Ūdens aktivitāte / Water activity	
	Izsmidzināšanas kaltēšanā / Spray-drying	Sublimācijā / Freeze-drying
50:50 M:MD(DE=4-7)	0.22 ± 0.02^{cd}	0.23 ± 0.03^{bcd}
25:75 M:MD(DE=4-7)	0.20 ± 0.01^d	0.21 ± 0.02^{cd}
50:50 M:MD(DE=10.4)	0.22 ± 0.01^{cd}	0.24 ± 0.02^{bcd}

10. tabulas turpinājums / Continuation of the Table 10

Paraugs / Sample	Ūdens aktivitāte / Water activity	
	Izsmidzināšanas kaltēšanā / Spray- drying	Sublimācija / Freeze-drying
25:75 M:MD(DE=10.4)	0.19±0.02 ^d	0.20±0.03 ^d
50:50 M:SPH	0.23±0.01 ^{cd}	0.24±0.03 ^{bcd}
25:75 M:SPH	0.28±0.01 ^{ab}	0.29±0.01 ^{ab}
60:40 M:SPH	0.25±0.03 ^{bc}	0.25±0.01 ^{bcd}
50:50 M:MN	-*	0.32±0.02 ^a
25:75 M:MN	-*	0.32±0.01 ^a
60:39:1 M:MD(DE=4-7):SPH	0.30±0.01 ^a	0.31±0.01 ^a
70:10:20 M:MD(DE=4-7):SPH	0.25±0.02 ^{bc}	0.27±0.03 ^{abc}
60:39:1 M:MD(DE=10.4):SPH	0.22±0.01 ^{cd}	0.23±0.03 ^{bcd}
70:10:20 M:MD(DE=10.4):SPH	0.26±0.01 ^{abc}	0.28±0.02 ^{ab}

* - produktu neieguva / product was not obtained

Atšķirīgi burti katrā kolonnā norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / Different letters within each column denote a significant difference in the mean ($p < 0.05$)

Vairums no iegūtajiem dehidrēta medus paraugiem uzrādīja ūdens aktivitāti zemāku par 0.30, kas norāda uz to stabilitāti uzglabāšanas laikā. Iegūtie rezultāti parādīja, ka izvēlēta dehidrēšanas metode ietekmēja ūdens aktivitāti iegūtajā produktā ($p < 0.05$).

Higroskopiskums raksturo vielas spēju absorbēt mitrumu, ja to uzglabā vidē ar augstu gaisa relatīvo mitrumu (Thakur et al., 2021). Dehidrēta medus paraugiem, kurus ieguva ar izsmidzināšanas kaltēšanu, higroskopiskums bija robežās no 12.3 līdz 19.2 g 100 g⁻¹. Savukārt ar sublimāciju iegūtajiem paraugiem higroskopiskums variēja no 1.2 līdz 19.1 g 100 g⁻¹.

Samitrināmība raksturo sausa produkta spēju uzņemt ūdeni uz virsmas un samirkt. Samitrināmību definē kā laiku (sekundēs, s), kas nepieciešams, lai sausa viela saistītu ūdeni (Kapoor & Feng, 2022).

Iegūtie samitrināmības dati norāda uz sakarību, ka dehidrētie produkti, kuros bija augstāka medus koncentrācija, samitrināmības laiks bija īsāks.

Izmantojot dažādas dehidrēta medus iegūšanas metodes, novēroja, ka paraugi, kuriem pievienoja maltodekstrīnu, uzrāda labu samitrināmību (samitrināmības laiks bija neilgs), salīdzinot ar paraugiem, kuru iegūšanai izmantoja sākalu olbaltumvielu hidrolizātu. Pētījumā iegūto produktu samitrināmību izmantotā kaltēšanas metode neietekmē ($p > 0.05$), taču to ietekmē izmantotā nesējviela ($p < 0.05$).

Sauso produktu **plūstamība** ir svarīgs parametrs, kas raksturo produkta apstrādes un pārstrādes iespējas (Chávez Montes et al., 2019). Hausnera koeficienta vērtības izmantotas dehidrēta medus plūstamības raksturošanai. Iegūtie rezultāti apkopoti 11. tabulā.

**Aprēķinātās Hausnera koeficienta vērtības dehidrēta medus paraugiem /
Calculated Hausner ratio's values of the dehydrated honey samples**

Paraugs / Sample	Hausnera koeficients / Hausner ratio	
	Izsmidzināšanas kaltē iegūtie produkti / Spray-dried products	Sublimētie produkti / Freeze-dried products
50:50 M:MD(DE=4-7)	1.13±0.02 ^{fg}	1.41±0.06 ^{bc}
25:75 M:MD(DE=4-7)	1.28±0.03 ^{abc}	1.36±0.04 ^{cd}
50:50 M:MD(DE=10.4)	1.11±0.01 ^g	1.30±0.05 ^{cde}
25:75 M:MD(DE=10.4)	1.21±0.03 ^{cde}	1.28±0.02 ^{def}
50:50 M:SPH	1.25±0.03 ^{abcd}	1.38±0.03 ^{bcd}
25:75 M:SPH	1.31±0.02 ^{ab}	1.36±0.05 ^{cd}
60:40 M:SPH	1.17±0.03 ^{efg}	1.37±0.07 ^{cd}
50:50 M:MN	-*	1.56±0.05 ^a
25:75 M:MN	-*	1.50±0.03 ^{ab}
60:39:1 M:MD(DE=4-7):SPH	1.24±0.03 ^{bcde}	1.28±0.04 ^{def}
70:10:20 M:MD(DE=4-7):SPH	1.32±0.03 ^a	1.20±0.03 ^{ef}
60:39:1 M:MD(DE=10.4):SPH	1.20±0.02 ^{def}	1.27±0.02 ^{def}
70:10:20 M:MD(DE=10.4):SPH	1.30±0.05 ^{ab}	1.17±0.04 ^f

Paraugu plūstamību raksturo dažādas krāsas krāsu sistēmā: / *Flowability of the samples is characterised by different colours in the colour system:* ■ - laba / good; ■ - vidēji laba / fair; ■ - daļēja / possible; ■ - slikta / poor; ■ - ļoti slikta / very poor

* - produktu neieguva / *product was not obtained*

Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / *Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)*

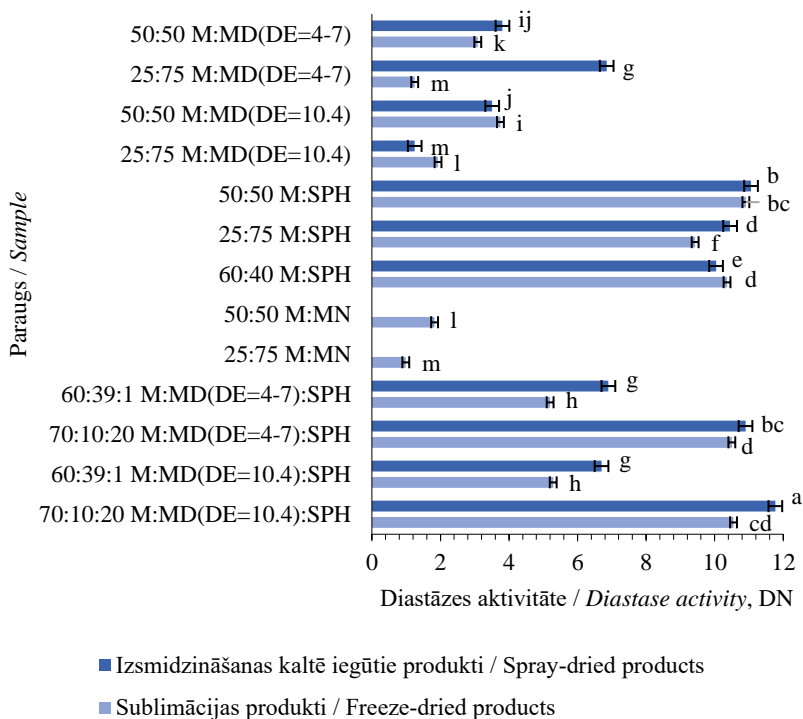
Paraugu plūstamību raksturo dažādas krāsas krāsu sistēmā: / *Flowability of the samples is characterised by different colours in the colour system:*

Vairumam analizēto paraugu aprēķinātais Hausnera koeficients bija lielāks par 1.2, kas norāda uz augstu dehidrēto produktu kohēziju. Līdz ar to dehidrēta medus daļiņām ir tendence salipt kopā un veidot lielākus aglomerātus (Mercan et al., 2018). Dehidrēta medus plūstamību būtiski ietekmē ($p < 0.05$) gan kaltēšanas metode, gan nesējvielas.

Izsmidzināšanas kaltēšanā un sublimācijā iegūto dehidrēto medus paraugu **šķīdība** bija robežās no 82 līdz 88%. Tā tika raksturota kā laba. Iegūtie dati parāda, ka, kombinējot maltodekstrīnu un sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu, iegūtajiem produktiem ir laba šķīdība. Kombinējot šīs nesējvielas, sūkalu olbaltumvielu hidrolizāts darbojas kā emulgators un maltodekstrīns – kā matricu

veidojošs materiāls (Mohammed et al., 2020). Dehidrēto produktu šķīdību ūdenī ietekmēja izmantotās nesējvielas ($p < 0.05$).

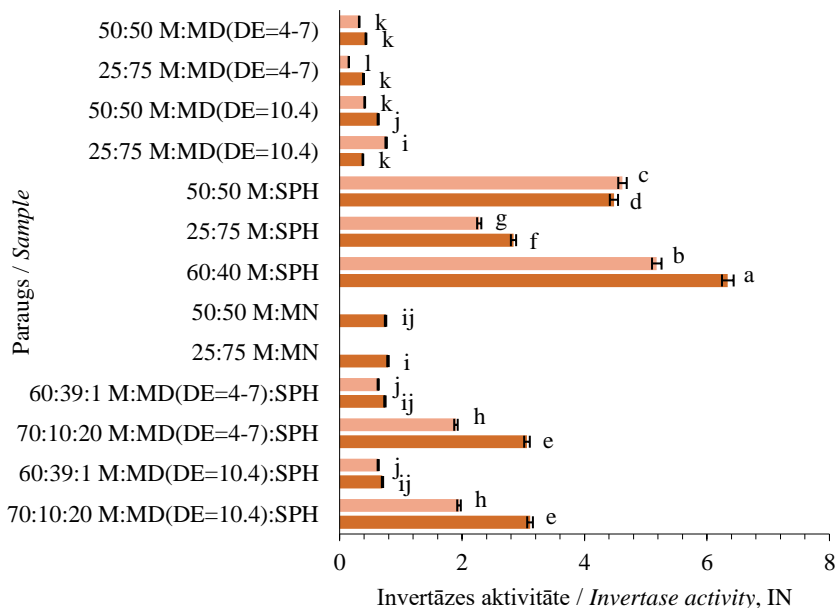
Diastāzes aktivitāti, kuru noteica iegūtajos sausā medus paraugos izteica kā diastāzes skaitli (DN). Izmantojot izsmidzināšanas kaltēšanas un sublimācijas metodes dehidrēta medus iegūšanai, iegūtajos produktos konstatēta enzīma aktivitātes samazināšanās. Diastāzes aktivitāte paraugos variēja no 1 līdz 11.8 DN. Zemākā enzīma aktivitāte noteikta paraugos 25:75 M:MN un 25:75 M:MD(DE=4-7), kurus ieguva sublimācijas procesā, un paraugā 25:75 M:MD(DE=10.4), kuru ieguva izsmidzināšanas kaltē. Šajos sausa medus paraugos enzīma aktivitāte nepārsniedza 2 DN. Diastāzes aktivitāte dehidrēta medus paraugos parādīta 5. attēlā.



5. att. **Diastāzes aktivitāte dehidrēta medus paraugos / Fig. 5 Diastase activity of the dehydrated honey samples**

Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)

Invertāzes aktivitāte, kas tika izteikta kā invertāzes skaitlis (IN), izsmidzināšanas kaltēšanā un sublimācijā iegūtajos produktos bija robežās no 0.15 līdz 7.83 IN (skatīt 6. attēlu). Dehidrēta medus paraugiem, kurus ieguva sublimācijā, enzīma aktivitāte bija lielāka. Datu statistiskās analīzes rezultāti norāda uz to, ka dehidrēšanas veids neietekmē invertāzes aktivitāti paraugos ($p>0.05$), taču dehidrēšanas procesā izmantotās nesējvielas ietekmē ($p<0.05$). Augsta invertāzes aktivitāte līdzīgi kā diastāzes aktivitāte noteikta paraugos, kuri dažādās koncentrācijās saturēja sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu.



■ Izsmidzināšanas kaltē iegūtie produkti / Spray-dried products

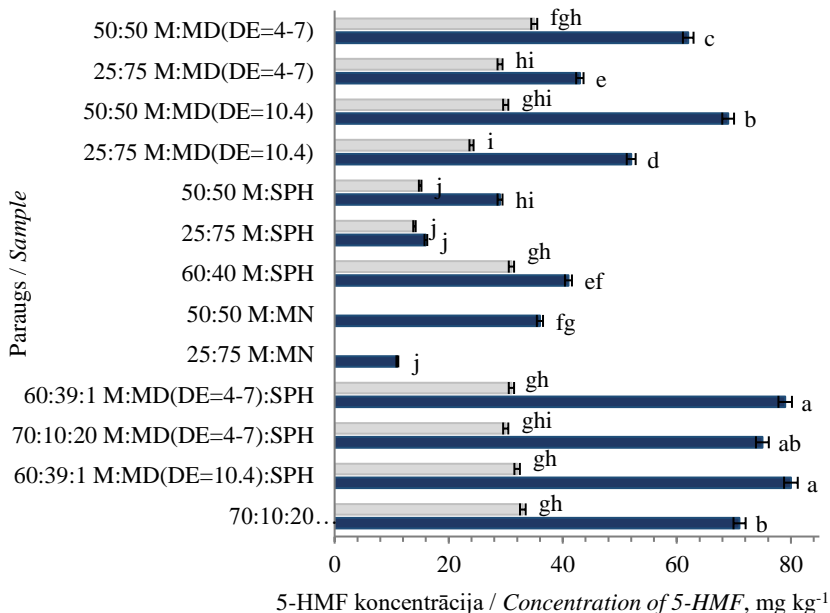
■ Sublimācijas produkti / Freeze-dried products

6. att. **Invertāzes aktivitāte dehidrēta medus paraugos** / Fig. 6 **Invertase activity of the dehydrated honey samples**

Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p<0.05$) / Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p<0.05$)

5-Hidroksimetilfurfurola (5-HMF) koncentrācija medū, kuru izmantoja dehidrēta produkta iegūšanai, bija 5.7 ± 0.4 mg kg⁻¹. Noteiktā 5-hidroksimetilfurfurola koncentrācija dehidrēta medus paraugos bija robežās no

11 līdz 80 mg kg⁻¹ (sausnā). Noteiktās 5-HMF koncentrācijas analizētajos paraugos apkopotas 7. attēlā.



■ Izsmidzināšanas kaltē iegūtie produkti / Spray-dried products

■ Sublimācijas produkti / Freeze-dried products

7. att. **5-HMF koncentrācija dehidrēta medus paraugos / Fig. 7**

Concentration of 5-HMF in the dehydrated honey samples

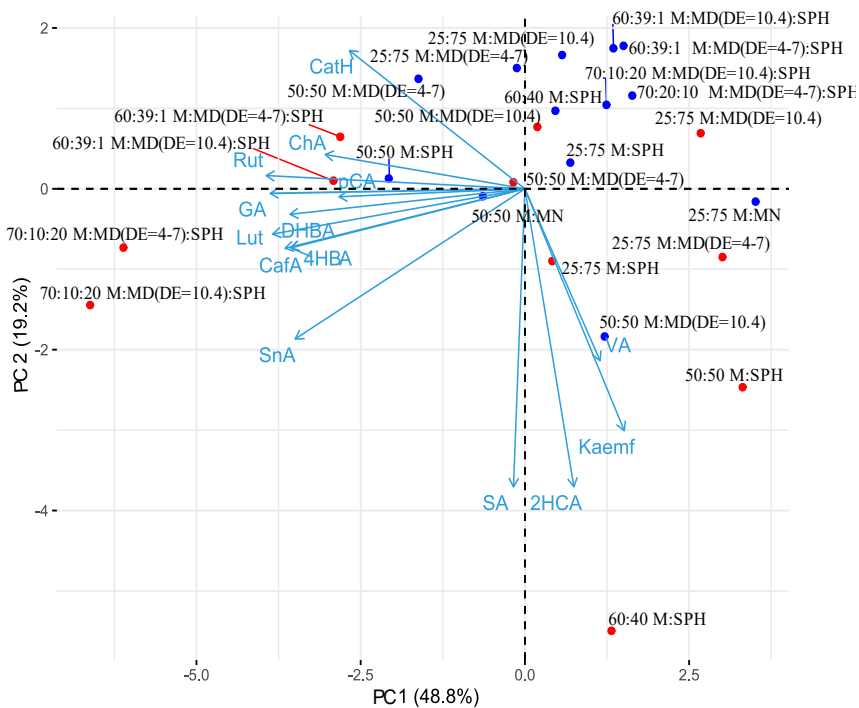
Atšķirīgi burti norāda, ka starp vidējām vērtībām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) / Different letters indicate a significant difference in the mean values ($p < 0.05$)

Dehidrēta medus paraugos, kurus ieguva ar sublimāciju, 5-HMF koncentrācija bija augstāka nekā paraugos, kurus ieguva izsmidzināšanas kaltēšanā. Apkopotajos datos redzams (skat. 7.att.), ka paraugos, kuru iegūšanai izmantoja maltodekstrīnu, 5-HMF koncentrācija bija augstāka. Abos kaltēšanas veidos paraugos 25:75 M:SPH noteiktas vienas no zemākajām analizētā savienojuma koncentrācijām.

Medus un nesējvielu maisījumu ūdens šķīdumi, kaltējot ar sublimācijas kalti, dehidrēšanas procesam tika pakļauti ilgāku laika periodu nekā izsmidzināšanas kaltēšanā. Līdz ar to dehidrēšanas procesa ilgums arī ietekmēja 5-hidroksimetilfurfurola koncentrāciju galaproduktā. Izmantotā medus

dehidrēšanas metode būtiski ietekmēja 5-hidroksimetilfurfuroļa koncentrāciju galaproduktā ($p < 0.05$).

Fenolu savienojumi. Dehidrēta medus paraugos konstatēja 15 dažādus fenolu savienojumus, kā hidroksibenzoskābes, hidroksikaneļskābes, flavonoīdus un fenola aldehīdu dažādās koncentrācijās. Dati par individuālo fenolu savienojumu – hidroksibenzoskābi, hidroksikaneļskābi, flavonoīdu – saturu dehidrētos medus paraugos tika analizēti, izmantojot galveno komponentu analīzi. Analīzē iegūtie rezultāti norādīja, ka pirmā galvenā komponente PC1 izskaidro 48.8% no mērījumu kopējās dispersijas, bet otrā galvenā komponente PC2 – 19.2% (skatīt 8. attēlu).



8. att. Galveno komponentu analīzes biplot diagramma, analizējot fenolu savienojumus izsmidzināšanas un sublimācijas kaltēs iegūtajos dehidrēta medus paraugos / Fig. 8 Biplot diagram of principal component analysis for analysis of phenolic compounds in dehydrated honey obtained by spray and freeze-drying

Iegūtajā galveno komponentu biplot diagrammā (8. att.) redzams, ka lielākā daļa no mainīgajiem (Rut, GA, Lut, CafA, DHBA, 4HBA, ChA, pCA) korelē ar pirmo galveno komponenti PC1. Mainīgie SA, 2HCA, Kaemf, VA korelē ar otro galveno komponenti PC2. Savukārt mainīgie SnA un CatH korelē gan ar pirmo galveno komponenti PC1, gan ar otro galveno komponenti PC2.

Analizējot dehidrēta medus paraugu korelāciju ar galvenajām komponentēm PC1 un PC2, ļoti augstu korelāciju ar PC1 uzrāda 70:10:20 M:MD(DE=10.4):SPH un 70:10:20 M:MD(DE=4-7):SPH paraugi, kurus ieguva izsmidzināšanas kaltēšanā, un 25:75 M:MN, kuru ieguva sublimācijā. Izsmidzināšanas kaltēšanā iegūtais 60:40 M:SPH dehidrēta medus paraugs parāda ļoti augstu korelāciju ar PC2. Sublimācijā iegūtie 60:39:1 M:MD(DE=4-7):SPH, 60:39:1 M:MD(DE=10.4):SPH, 70:10:20 M:MD(DE=4-7):SPH, 70:10:20 M:MD(DE=10.4):SPH, 25:75 M:MD(DE=10.4):SPH, 60:40 M:SPH dehidrēta medus paraugi veido klasteri, kas norāda uz to fenolu savienojumu profilu augsto līdzību.

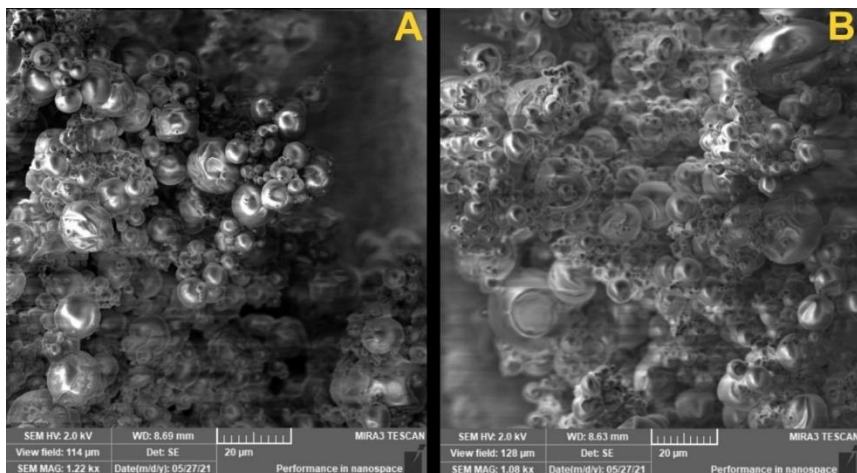
Ekspertimentos noteiktais fenolu savienojumu saturs dehidrēta medus paraugos norāda, ka šie produkti ir bagāti ar fenolu savienojumiem.

Organisko skābju un prolīna koncentrācija. Iegūtajos dehidrēta medus paraugos konstatēja vīnskābi, ābolskābi un citronskābi dažādās koncentrācijās. Noteiktā vīnskābes koncentrācija analizētajos paraugos svārstījās no 0.18 līdz 1.35 g 100 g⁻¹ (sausnā), ābolskābes – no 0.15 līdz 1.06 g 100 g⁻¹ (sausnā) un citronskābes – no 0.03 līdz 0.15 g 100 g⁻¹ (sausnā).

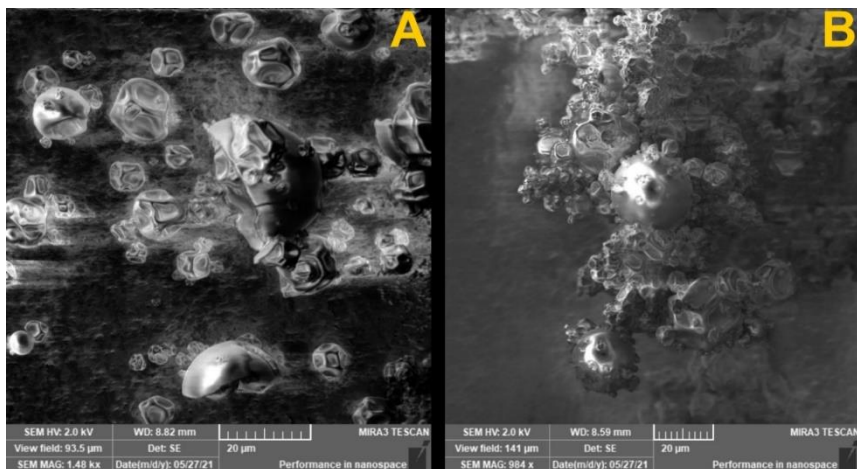
Dehidrēšanas metode būtiski ietekmē citronskābes koncentrāciju sausā medus paraugos ($p < 0.05$), bet vīnskābes un ābolskābes koncentrāciju neietekmē ($p > 0.05$). Izmantotajai nesējvielai un tās koncentrācijai medus un nesējvielas maisījumā ir būtiska ietekme uz organisko skābju koncentrāciju dehidrētā produktā ($p < 0.05$).

Dehidrēta medus paraugos, kuru iegūšanai izmantoja sublimāciju, prolīna koncentrācija bija augstāka par paraugiem, kurus ieguva izsmidzināšanas kaltēšanā. Prolīna koncentrācija dehidrēta medus paraugos bija robežās no 107 līdz 293 mg kg⁻¹.

Dehidrēta medus morfoloģija. Izsmidzināšanas kaltē iegūtie dehidrēta medus paraugi tika izvēlēti morfoloģijas analīzei, izmantojot skenējošo elektronu mikroskopiju (SEM). Izsmidzināšanas kaltēšanas eksperimentos iegūtajos dehidrēta medus paraugos konstatēts, ka mikrodaļiņām galvenokārt ir sfēriska forma. Vairumā gadījumu mikrodaļiņu virsma bija deformēta (skatīt 9. un 10. attēlu). 9. attēlā redzams, ka sfēriskajām mikrodaļiņām ir dažādi izmēri un ka tās savā starpā ir izkārtotas blīvi, veidojot kompleksus agregātus.



9. att. SEM attēli dehidrēta medus paraugiem A – 25:75 M:MD(DE=4-7) un B – 25:75 M:MD(DE=10.4) / Fig. 9 SEM images of dehydrated honey samples A – 25:75 M:MD(DE=4-7) and B – 25:75 M:MD(DE=10.4)



10. att. SEM attēli dehidrēta medus paraugiem A – 25:75 M:SPH un B – 50:50 M:SPH / Fig. 10 SEM images of the dehydrated honey samples A – 25:75 M:SPH and B – 50:50 M:SPH

Izmantoto medus dehidrēšanas metožu salīdzinājums. Pētījumā dehidrēta medus iegūšanai izmantoja divas dehidrēšanas metodes: izsmidzināšanas kaltēšanu un sublimāciju. Pētījumā medus dehidrēšanas

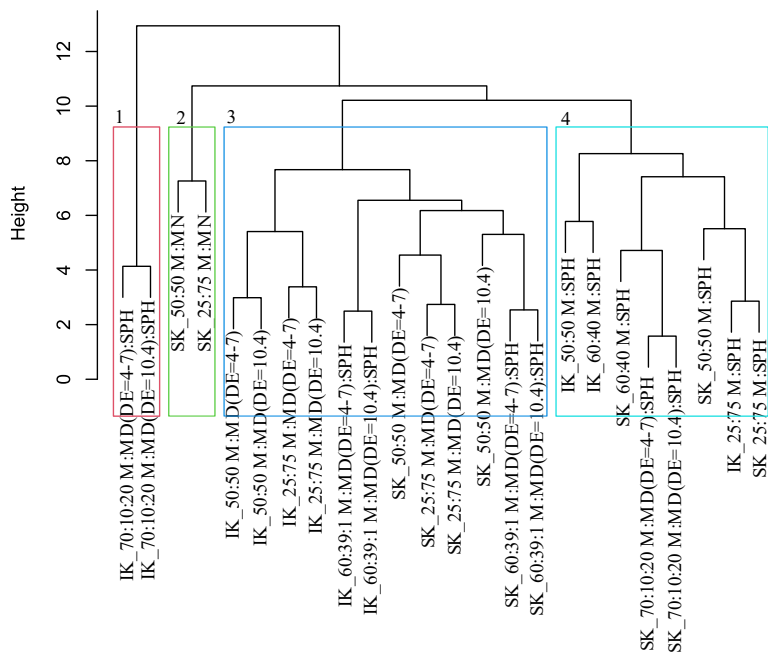
eksperimentus veica, izmantojot laboratorijas mēroga izsmidzināšanas un sublimācijas kaltes. Iegūtā dehidrēta medus iznākumu, izmantojot izsmidzināšanas kaltēšanu, būtiski ietekmēja ($p < 0.05$) izmantotā nesējviela un tās koncentrācija. Sublimācijā iznākumu būtiski ietekmēja ($p < 0.05$) izmantotā nesējviela, taču nesējvielas koncentrācija dehidrēta medus iznākumu būtiski neietekmēja ($p > 0.05$).

Izvērtējot datu statistikas analīzes rezultātus par nesējvielas un kaltēšanas metodes ietekmi uz dehidrēta medus fizikālajiem un ķīmiskajiem rādītājiem, noteikts, ka nesējvielas būtiski ietekmē ($p < 0.05$) dažādus kvalitāti raksturojošus rādītājus. Kaltēšanas metode būtiski ietekmēja tādus rādītājus kā ūdens saturu, plūstamību, diastāzes aktivitāti, 5-hidroksimetilfurfurola, galluskābes, 4-hidroksibenzoskābes, p-kumarīnskābes, sinapīnskābes, katehīna, rutīna, kempferola, citronskābes un prolīna koncentrāciju.

Izmantojot aglomeratīvo hierarhiskās klasteru analīzes metodi, dehidrēta medus paraugi tika sagrupēti klasteros atkarībā no to fizikālajiem un ķīmiskajiem rādītājiem. Iegūtajā dendogrammā (skatīt 11. attēlu) redzams, ka dehidrēta medus paraugi sagrupēti četros klasteros. Klasteros sagrupētos paraugus apvieno līdzīgi fizikālie un ķīmiskie raksturlielumi, kuri atšķiras no citiem dehidrēta medus paraugiem.

Sublimācija, salīdzinot ar izsmidzināšanas kaltēšanu, ir laukietilpīgāks process, jo dehidrēšanas process norit vairākos posmos. Izsmidzināšanas kaltēšana patērē mazāk elektroenerģijas nekā sublimācija.

Pētījumā iegūtie rezultāti pierādīja, ka abas izvēlētās kaltēšanas metodes – izsmidzināšanas kaltēšana un sublimācija – ir piemērotas dehidrēta medus iegūšanai. Rezultātu analīze parādīja, ka nevar viennozīmīgi apgalvot, kura no izmantotajām kaltēšanas metodēm ir piemērotākā dehidrēta medus iegūšanai, jo nesējvielām bija būtiska ietekme uz dehidrēta medus fizikālajiem un ķīmiskajiem rādītājiem. Šī iemesla dēļ nepieciešama padziļināta izpēte, izmantojot citas nesējvielas un izvirzot kritērijus, pēc kuriem noteiktu kaltēšanas metodes piemērotību.



IK - izsmidzināšanas kaltē iegūtie produkti / *Spray-dried products*

SK - sublimācijas kaltē iegūtie produkti / *Freeze-dried products*

11.att. **Aglomeratīvās hierarhiskās klasteru analīzes dendrogramma, parādot fizikālo un ķīmisko rādītāju līdzības starp dehidrēta medus paraugiem / Fig. 11 Dendrogram of agglomerative hierarchical cluster analysis showing similarities of physical and chemical parameters between dehydrated honey samples**

SECINĀJUMI

1. Pētījumā piemērotāko medu dehidrēšanas eksperimentiem izvēlējās, izmantojot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodi. No pētījumā analizētajiem medus paraugiem, Latvijā ievāktais dažādu ziedu medus tika izvēlēts medus dehidrēšanai, jo tas uzrādīja vienu no augstākajām kritēriju summām svērtajā normalizētajā lēmumu pieņemšanas matricā.
2. Izsmidzināšanas un sublimācijas kaltes var izmantot dehidrēta medus ieguvei.
3. Pievienojot dažādās proporcijās maltodekstrīnu un sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu kā nesējvielas, ir iespējams iegūt dehidrētu medu. Mannitols nav piemērota nesējviela dehidrēta medus iegūšanai izsmidzināšanas kaltē.

4. Pētījumā izvēlētās nesējvielas būtiski ietekmēja izsmidzināšanas kaltēšanas iznākumu. Visaugstāko izsmidzināšanas kaltēšanas iznākumu – 95% – ieguva, izmantojot sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu. Izmantojot sublimācijas kalti, dehidrēta medus iznākums bija virs 80%.
5. Diastāzes aktivitāte medū bija 15.3 ± 0.5 DN; invertāzes aktivitāte – 8.2 ± 0.2 IN. Diastāzes un invertāzes aktivitāte dehidrēta medus paraugos bija zemāka nekā medū. Diastāzes aktivitāte bija augstāka izsmidzināšanas kaltē iegūtajos dehidrēta medus paraugos nekā sublimācijas kaltē iegūtajos. Invertāzes aktivitāte bija augstāka sublimācijā iegūtajos dehidrēta medus paraugos nekā izsmidzināšanas kaltē iegūtajos. Dehidrēta medus paraugi, kuri saturēja sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu, uzrādīja augstu diastāzes un invertāzes aktivitāti.
6. 5-Hidroksimetilfurfurola koncentrācija dehidrēta medus paraugos bija augstāka nekā medū (5.7 ± 0.3 mg kg⁻¹). Tā koncentrācija sublimācijas kaltē iegūtajos dehidrēta medus paraugos bija būtiski augstāka nekā izsmidzināšanas kaltē iegūtajos paraugos.
7. Prolīna koncentrācija dehidrētā medū bija zemāka nekā medū (310 ± 21 mg kg⁻¹). Augstākā prolīna koncentrācija, 293 mg kg⁻¹, tika noteikta sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu saturošā dehidrēta medus paraugā. Sublimācijas kaltē iegūtajos dehidrēta medus paraugos prolīna koncentrācija bija būtiski augstāka nekā izsmidzināšanas kaltē iegūtajos paraugos.
8. Pētījumā konstatēts, ka dehidrēšanai izmantotais medus saturēja četras organiskās skābes: vīnskābi, ābolskābi, citronskābi, askorbīnskābi. Organisko skābju koncentrācija bija robežās no 0.03 līdz 1.26 g 100 g⁻¹ sausnā. Trīs organiskās skābes – vīnskābe, ābolskābe un citronskābe – tika konstatētas dehidrēta medus paraugos. Sublimācijas kaltē iegūtajos dehidrēta medus paraugos organisko skābju koncentrācija bija augstāka nekā izsmidzināšanas kaltē iegūtajos paraugos. Augstākās organisko skābju koncentrācijas noteiktas paraugos, kuri saturēja sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu.
9. Pētījumā noskaidrots, ka dehidrēts medus satur 14 dažādus fenolu savienojumus. Fenolu savienojumu koncentrāciju ietekmēja gan nesējviela, gan kaltēšanas metode. Augstāka fenolu savienojumu koncentrācija noteikta sūkalu olbaltumvielu hidrolizātu saturošos dehidrēta medus paraugos.
10. Pētījumā noskaidrots, ka dehidrēta medus fizikālos rādītājus, kā ūdens aktivitāti, higroskopiskumu, samitrināmību, šķīdību ūdenī ietekmēja nesējviela. Dehidrēta medus plūstamību un ūdens saturu ietekmēja gan nesējviela, gan kaltēšanas metode.
11. Promocijas darba pētījumā iegūtie rezultāti apstiprina izvirzīto hipotēzi, ka dehidrēta medus kvalitāti ietekmē kaltēšanas metode, nesējvielas veids un tās koncentrācija.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Honey is a product that has been used by mankind since ancient times. Ancient peoples (ancient Greeks, Chinese, Egyptians, Romans, Mayans, and Babylonians) consumed honey for both its high nutritional value and medicinal properties (Samarghandian et al., 2017). Honey mainly consists of water and carbohydrates, which ensure the high energy value of the product. In addition to carbohydrates, honey contains various other chemical compounds, such as free amino acids, proteins, vitamins, minerals, various phenols, and volatile compounds. Due to its chemical composition, honey has a prebiotic effect, antioxidant, antibacterial, antiviral, anti-inflammatory, and immunomodulating properties (Miguel et al., 2017).

In recent years, diet-induced obesity and its associated metabolic disorders, such as type 2 diabetes, have become a global problem. One of the main causes is the increased consumption of sugary foods and drinks (van Dam et al., 2020). To solve the problem, experts from health organisations have recommended reducing the consumption of added sugar on a daily basis (Hagger et al., 2017).

Sucrose is one of the most widely consumed sugars. Sucrose plays an essential role in human nutrition as the metabolism of the monosaccharide glucose contained in sucrose is necessary for the synthesis of adenosine triphosphate and other biologically active molecules (Castro-Muñoz et al., 2022). Sucrose is obtained from sugar beet or sugar cane juice, which products lose biologically active compounds during the refining process (Singh et al., 2015). Replacing sucrose with honey is proposed as one of the solutions for reducing sugar consumption. Honey is used in the production of various food products such as confectionery, snacks, cereal products, soft drinks, and beer brewing. The wide use of natural sweeteners in the food industry and pharmaceuticals is limited by their physical properties: high viscosity and density.

The production of dehydrated honey is an alternative to liquid honey, the production of which would allow the use of honey in the food industry, for example in the production of dry mixes. The process of dehydrating honey is complicated because of its high fructose and glucose content. By obtaining dehydrated honey, it is possible to use it not only in food but also in pharmaceuticals and in the production of cosmetics. In this way, the competitiveness of Latvian honey producers in Europe and the world would be enhanced.

The hypothesis of the **thesis**: the quality of dehydrated honey is affected by drying methods, the type of carrier and its concentration.

The hypothesis of the thesis was confirmed by the **defended thesis**.

1. The quality of honey affects the suitability of the honey for the dehydration process.
2. Spray drying and freeze-drying are suitable methods for obtaining dehydrated honey.
3. Carrier and its concentration affects the yield of dehydrated honey.
4. Drying method, carrier and its concentration affect the physical and chemical parameters of dehydrated honey.

The **aim** of the thesis is to obtain dehydrated honey and evaluate the quality of the obtained product.

The following **tasks** were set to achieve the aim of the thesis:

- 1) to select suitable honey for dehydration;
- 2) to obtain dehydrated honey by spray drying and freeze-drying;
- 3) to analyse the effect of the used carriers and their concentrations on the honey dehydration process;
- 4) to determine diastase and invertase activity in honey and dehydrated honey;
- 5) to determine the concentration of 5-hydroxymethylfurfural in honey and dehydrated honey;
- 6) to determine the content of various bioactive compounds such as proline, phenolic compounds, organic acids in honey and dehydrated honey;
- 7) to determine the dehydrated honey's physical parameters: water content, water activity, hygroscopicity, wettability, flowability and water solubility.

The **novelty** of the thesis.

For the first time in Latvia, the study of the dehydration process of honey and the quality of dehydrated honey was carried out.

The **economic significance**.

1. The production of dehydrated honey enables Latvian beekeepers to increase the number of beehives and to promote the development of beekeeping industry in the country.
2. The production of dehydrated honey could give the opportunity to expand the usage of bee products in food and pharmaceutical industry, and cosmetics.
3. The daily intake of sucrose could be reduced by dehydrated honey, which is healthy and qualitative substitute to sucrose.

The study of doctoral thesis was financially supported by:

- The Latvia University of Life Sciences and Technologies' project "Strengthening Research Capacity in the Latvia University of Life

Sciences and Technologies”. Project “Production and quality of dehydrated honey”. Project No. Z35. Contract No. 3.2-10/2019/LLU/140.

- European Social Fund Project No. 8.2.2.0/18/A/014 “Improvement of LLU academic staff”.



"Zinātniskās kapacitātes stiprināšana LLU"

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Sociālais
fonds

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

APPROBATION OF THE RESEARCH WORK

The research results are summarized and published in 6 peer-reviewed scientific issues, which are indexed in SCOPUS and/or Web of Science databases (the list of publications is shown on page 6).

The research results have been presented in 7 international scientific conferences in Latvia, Estonia and the Netherlands (the list of scientific conferences is shown on pages 6 and 7).

The research results have been presented in the international trade fairs for food, beverages, food processing technology, packaging, innovation, HoReCa and shop equipment and services “Riga Food 2019”, “Riga Food 2020”, “Riga Food 2021” and invention and innovation exhibition “MINOX Zemgale 2020”.

MATERIALS AND METHODS

Time and place of the research

The research was carried out during the period from September 2018 to April 2022. The experimental work of the research was performed at the following institutions of Latvia University of Life Sciences and Technologies:

- Department of Chemistry, Faculty of Food Technology,
- Department of Food Technology, Faculty of Food Technology,
- Division of Smart technologies at Research Laboratory of Biotechnology.

Research object – dehydrated honey. Multifloral honey was used to obtain dehydrated honey. The honey was harvested in Latvia in 2018.

The structure of the research

The research was conducted in three stages. The stages are summarised in Table 1.

In the **Stage I** of the research, the selection of honey for dehydration was carried out. The Stage I of the research was divided into three steps:

1st step. Purchase and delivery of honey samples to the laboratory. For the implementation of the research, 18 different types of honey samples were procured.

2nd step. Determination of the quality of purchased honey samples. The determined quality parameters of the samples are summarised in Table 5 (see points 1–12).

3rd step. Selection of honey sample for dehydration experiments. The honey sample was selected using a multi-criteria decision making method. The selected criteria are summarised in the section "Statistical analysis of data".

In the **Stage II** of the research, dehydrated honey was obtained. The stage was implemented in three steps:

1st step. Selection of carriers for dehydration. Maltodextrin (DE =4.0-7.0), maltodextrin (DE =10.4), D-mannitol, and whey protein hydrolysate were selected as carriers for honey dehydration experiments.

2nd step. Preparation of the blends of honey and carriers. The composition and concentrations of the solutions prepared for the dehydration experiments are summarised in Table 2.

3rd step. Drying of the prepared blends of honey and carriers using spray and freeze dryers.

Obtaining dehydrated honey using freeze-dryer.

Aqueous solutions of the mixture of honey and carriers (see Table 2) were filled into containers intended for freezing food products and stored at -20 ± 1 °C for two days. After two days, the samples were dried using a freeze-dryer, ALPHA 1-2 LDplus (MARTIN CHRIST Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Germany). Drying was carried out under the following conditions:

- temperature of ice condenser: -50.6 °C,
- pressure: 0.036 mbar,
- duration of drying: 72 hours

Obtaining dehydrated honey using spray dryer.

Aqueous solutions of mixtures of honey and carrier substances (summarised in Table 2) were used for spray drying. Drying was carried out in a spray dryer, BÜCHI mini B-290 (Labortechnik AG, Switzerland). The solutions were evenly stirred during drying using a magnetic stirrer, BIOSAN MS-3000 (Biosan, Latvia). Drying was carried out under the following conditions:

- nozzle size: 1.2 mm,

- air flow rate: 670 L h⁻¹,
- sample feed rate: 18 mL min⁻¹,
- Inlet air and outlet air temperature: see Table 3

In the **Stage III** of the research, the quality of the obtained dehydrated honey samples was studied. Various physical and chemical parameters were determined for dehydrated honey samples:

- proline concentration,
- invertase activity,
- diastase activity,
- individual phenolic compounds,
- 5-hydroxymethylfurfural concentration,
- water content,
- water activity,
- hygroscopicity,
- bulk density,
- tapped density,
- flowability,
- water solubility,
- wettability.

The morphology of samples acquired during spray drying was also examined.

The obtained results on the physical and chemical indicators of dehydrated honey were used to evaluate the quality of the obtained product. To facilitate the representation of the results, dehydrated honey samples have been given designations. Designations are summarised in Table 4.

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

In the research, the experiments were performed in three replicates. The obtained results were expressed as the arithmetic mean \pm standard deviation. One-factor and two-factor analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test were used for statistical data processing. The significance of the data was characterised by the p value. If $p \geq 0.05$, then the factor does not significantly affect the result. If $p \leq 0.05$, the factor has a significant impact on the result. Pearson's coefficient was used to characterise the correlation.

Using a multi-criteria decision-making method, the most suitable honey for dehydration experiments was selected. Positive and negative criteria were defined for selection. Parameters describing the quality of honey, the maximum values of which are desirable, were chosen as positive criteria. Positive criteria:

- proline concentration,
- invertase activity,
- reducing sugar content,
- diastase activity.

As a negative criterion, parameters with desired minimum values were chosen. Negative criteria:

- 5-hydroxymethylfurfural concentration,
- water content,
- sucrose content,
- electrical conductivity,
- water insoluble matter,
- free acidity.

Agglomerative hierarchical cluster analysis was used to analyse the differences between dehydrated honey samples. Principal component analysis was used to analyse the variance of individual phenolic compound concentration data.

The applications Microsoft 365 Excel and R (version 4.2.1), and RStudio (version 4.2.1) were used to create the figures and tables. The applications were used for the processing of the results, and their representation.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Selection of honey for the dehydration

The aim of the Stage I of the research was to select the most suitable honey sample for dehydration experiments. In total, 18 different honey samples were analysed, which were purchased from beekeepers in Latvia and other European Union member states in Latvian supermarkets; one honey sample was received as a gift from a beekeeper in a third-world country. The characteristics of honey samples according to their origin, year of collection or production, and type are summarised in Table 2.

The quality of the honey samples was assessed in accordance with the regulations of the Cabinet of Ministers of the Republic of Latvia No. 251/2015, "Quality, classification, and additional labelling requirements for honey," and the instructions of the International Honey Commission.

The most suitable honey sample for dehydration experiments was selected using the multi-criteria decision making method. The honey samples were evaluated according to ten criteria (see the section "Statistical analysis of the data")

The honey samples were compared according to the sums of their criteria ratings. The M13 honey sample showed the highest sum of criteria – 0.605 – therefore it was considered the most suitable for dehydration. The honey is buckwheat honey. Buckwheat honey has a specific smell and taste. The M13 sample was not selected for the dehydration experiments due to the sensory properties of buckwheat honey. The M1 honey sample was chosen for dehydration, which showed the third highest amount in the criteria evaluation. The M11 sample is multifloral honey, which was collected 2018 in Zemgale. The honey sample, which showed the second highest sum of criteria, was not selected due to the insufficient quantity, and the reproducibility of dehydration experiments could not be ensured.

2. Effect of carriers and their concentration on obtaining dehydrated honey using spray and freeze-dryers

Spray drying and freeze-drying methods were used to obtain dehydrated honey. Carriers were added to honey to carry out the dehydration process of the honey. Carriers were added during the dehydration process with the aim of increasing the glass transition temperature of the product and reducing their hygroscopicity, resulting in a stable dehydrated product (Subtil et al., 2014).

In the research, maltodextrin with different dextrose equivalent (DE) values was used to obtain dehydrated honey: DE=4.0–7.0 and DE=10.4. The solutions prepared for the spray drying and freeze-drying experiments contained honey and maltodextrin in different ratios: 50:50 and 25:75. The yield of spray drying, and freeze-drying is shown in Figures 1 and 2.

Whey protein hydrolysate was also used as a carrier for obtaining dehydrated honey. The addition of whey protein hydrolysate to honey gave high yields of products at different ratios of honey and carrier. The results are summarised in Figure 3.

Using whey protein hydrolysate as a carrier increased the concentration of honey in the honey and carrier mixture to 60% of the dry matter. The high yield of the product is related to the surfactant properties of the protein (Dehnad et al., 2016). Proteins create a film around the particles to be dried, thus increasing the glass transition temperature of the particle and the product yield (Islam et al., 2016).

Mannitol was also used as a carrier for the honey dehydration experiments. Dehydrated honey using mannitol as the carrier for spray drying experiments did not result in obtaining any product. The yield of dehydrated honey, which was obtained by freeze-drying using mannitol, was high. Products with a ratio of honey to mannitol of 50:50 yielded $86\pm 2\%$, and products with a ratio of honey to mannitol of 25:75 yielded $79\pm 3\%$.

Honey content in a dehydrated product can be increased by combining carriers (Shi et al., 2013). For this reason, it was investigated how the combination of carriers affects the yield of honey dehydration. Combining maltodextrin (both DE = 4.0–7.0 and DE = 10.4) with whey protein hydrolysate in different ratios gave a low yield after spray drying. A high yield was obtained after freeze-drying. The obtained results showed that by increasing the concentration of whey protein hydrolysate and decreasing the concentration of maltodextrin, it is possible to obtain a dry product with a high concentration of honey. The results of spray drying, and freeze-drying are summarised in Tables 8 and 9.

Analysing how the yield of freeze-drying is affected by the carrier and its concentration, it was found that the yield is significantly influenced by the carrier used ($p < 0.05$). The carrier concentration does not significantly affect the yield of freeze-drying ($p > 0.05$). Freeze-drying is the most suitable drying method for obtaining dehydrated honey, as dry honey with a high yield was obtained.

3. Quality of the dehydrated honey obtained spray drying and freeze-drying

Water content. The water content of the obtained dehydrated products ranged from 2.0 to 8.5% (see Figure 4). A higher water content was detected in freeze-dried honey samples. That indicates that the used dehydration method affects the water content in the samples ($p < 0.05$).

Dehydrated honey samples, which contained whey protein hydrolysate, showed the highest water content. It is related to the protein's ability to bind water better than maltodextrin (Bhusari et al., 2014). The samples, which contained maltodextrin, showed low water content.

The water content of dehydrated honey samples was significantly affected by the used carrier ($p < 0.05$), but the ratio of carrier and honey in the dehydrated product did not affect it ($p > 0.05$).

Water activity characterises the microbiological stability of food products. It was determined that the water activity of the obtained dehydrated samples varied from 0.19 ± 0.02 to 0.33 ± 0.02 . The results of water activity are summarised in Table 10.

Water activity in most of the obtained dehydrated honey samples was lower than 0.30, which indicates their stability during storage. The results showed that that the chosen dehydration method affected the water activity in the obtained product ($p < 0.05$).

Hygroscopicity characterises the ability of a substance to absorb moisture when it is stored in an environment with high relative humidity (Thakur et al., 2021). The hygroscopicity of spray-dried honey samples ranged from 12.3 to

19.2 g 100 g⁻¹. The hygroscopicity of the freeze-dried samples varied from 1.2 to 19.1 g 100 g⁻¹.

Wettability is the ability of a dry product to absorb water from a surface and get wet. Wettability is defined as the amount of time (in seconds, s) that is needed for a dry substance to bind water (Kapoor & Feng, 2022).

The obtained data on wettability showed a coincidence that for dehydrated honey samples, which had a higher honey content, the wetting time was shorter.

It was observed that the samples, which were obtained by both drying methods and contained maltodextrin, had a better wettability (a shorter wetting time) than the samples, which contained whey protein hydrolysate. The obtained products' wettability was not affected by the drying method ($p > 0.05$). It was affected by the used carrier ($p < 0.05$).

The **flowability** of dry products is an important parameter that characterises the potential of products processing (Chávez Montes et al., 2019). The values of the Hausner ratio were used to describe the flowability of dehydrated honey. The obtained results are shown in Table 11.

The calculated value of the Hausner ratio in most the samples was higher than 1.2, which indicated that dehydrated products have high cohesion. The particles of dehydrated honey tend to aggregate and form larger agglomerates (Mercan et al., 2018). The flowability of dehydrated honey was significantly affected ($p < 0.05$) by both the drying method and carriers.

The **water solubility** of spray-dried and freeze-dried honey samples ranged from 82 to 88%. It was describing as good. The obtained data shows that when maltodextrin and whey protein hydrolysate are combined, the obtained products have good solubility. By combining these carriers, whey protein hydrolysate acts as an emulsifier, and maltodextrin acts as a matrix forming material (Mohammed et al., 2020). The solubility of dehydrated products in water was influenced by the used carriers ($p < 0.05$).

Diastase activity that was detected in dry honey samples was expressed as a diastase number (DN). Using spray drying and freeze-drying to obtain dehydrated honey, a decrease in enzyme activity was detected in the obtained products. Diastase activity varied from 1 to 11.8 DN. The lowest enzyme activity was detected in the samples 25:75 M:MN and 25:75 M:MD (DE=4–7), that were obtained by freeze-drying, and in the sample 25:75 M:MD (DE=10.4) that was obtained by spray drying. In these dry honey samples, the enzyme activity was not higher than 2 DN. Diastase activity of dehydrated honey samples is shown in Figure 5.

Invertase activity, which was expressed as an invertase number (IN), ranged from 0.15 to 7.83 IN (see Figure 6). The dehydrated honey samples that were obtained by freeze-drying had higher enzyme activity. The results of the statistical data analysis indicate that the dehydration method did not affect the

invertase activity in the samples ($p>0.05$), but the carrier used in the dehydration process did ($p<0.05$). High invertase activity, similar to diastase activity, was determined in the samples that contained whey protein hydrolysate at different concentrations.

The concentration of 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) in the honey that was used to obtain the dehydrated product was 5.7 ± 0.4 mg kg⁻¹. The determined concentration of 5-hydroxymethylfurfural in the samples of dehydrated honey ranged from 11 to 80 mg kg⁻¹ (dry matter). The determined concentration of 5-HMF in the analysed samples is summarised in Figure 7.

The concentration of 5-HMF was higher in the dehydrated honey samples that were obtained by freeze-drying than the samples that were obtained by spray drying. The collected data show (see Fig. 7) that the concentration of 5-HMF was higher in samples that were prepared using maltodextrin. In both drying methods, the 25:75 M:SPH sample showed one of the lowest concentrations of the analysed compound (5-HMF).

Aqueous solutions of mixtures of honey and carrier, when dried with a freeze-dryer, were exposed to the dehydration process for a longer period of time than in spray drying. Therefore, the duration of dehydration affected the concentration in the product. The dehydration method significantly affected the concentration of 5-hydroxymethylfurfural in the product ($p<0.05$).

Phenolic compounds. 15 different phenolic compounds, such as hydroxybenzoic acids, hydroxycinnamic acids, flavonoids, and phenolic aldehyde, were detected in the dehydrated honey samples at different concentrations. The data on the content of individual phenolic compounds – hydroxybenzoic acids, hydroxycinnamic acids, flavonoids – in the dehydrated honey samples were analysed using principal component analysis. The results of the analysis indicated that the first principal component PC1 explains 48.8% of the total variance of measurements and the second principal component PC2 explains 19.2% (see Figure 8).

The obtained principal component biplot (Fig. 8) shows that the majority of variables (Rut, GA, Lut, CafA, DHBA, 4HBA, ChA, pCA) correlate with the first principal component PC1. The variables SA, 2HCA, Kaemf, and VA correlate with the second principal component. But the variables SnA and CatH correlate with both, the first principal component PC1 and the second principal component PC2.

Analysing the correlation of dehydrated honey samples with the principal components PC1 and PC2, a very high correlation with the PC1 shows the samples 70:10:20 M:MD(DE=10.4):SPH and 70:10:20 M:MD(DE=4-7):SPH that were obtained by spray drying and the sample 25:75 M:MN that was obtained by freeze-drying. The 60:40 M:SPH dehydrated honey sample that was obtained by spray drying shows a very high correlation with the PC2. The dehydrated honey samples 60:39:1 M:MD(DE=4-7):SPH, 60:39:1

M:MD(DE=10.4):SPH, 70:10:20 M:MD(DE=4-7):SPH, 70:10:20 M:MD(DE=10.4):SPH, 25:75 M:MD(DE=10.4), and 60:40 M:SPH that were obtained by freeze-drying are forming a cluster, which indicates that the samples have a similar profile of phenolic compounds.

The experimentally determined content of phenolic compounds in the dehydrated honey samples indicates that dehydration products are rich in phenolic compounds.

Concentration of organic acids and proline. Tartaric, malic, and citric acid concentrations were determined in the obtained dehydrated honey samples. The detected concentration of tartaric acid in the analysed samples varied from 0.18 to 1.35 g 100 g⁻¹ (dry matter), the concentration of malic acid in the samples varied from 0.15 to 1.06 g 100 g⁻¹ (dry matter), and the concentration of citric acid varied from 0.03 to 0.15 g 100 g⁻¹ (dry matter).

The dehydration method significantly affects the concentration of citric acid ($p < 0.05$), but not the concentrations of tartaric and malic acid ($p > 0.05$). The used carrier and its concentration in the mixture of honey and carrier have a significant effect on the concentration of organic acids in the dehydrated product ($p < 0.05$).

The concentration of proline in the dehydrated honey samples that were obtained by freeze-drying was higher than that in the samples that were obtained by spray drying. The concentration of proline ranged from 107 to 293 mg kg⁻¹.

Morphology of dehydrated honey. Spray-dried honey samples were chosen for the morphology analysis. The analysis was carried out using scanning electron microscopy (SEM). The particles of the spray-dried honey are spherical. In most cases, the surface of the microparticles was deformed. Figure 9 shows that spherical microparticles have different sizes and are arranged densely, forming aggregates.

Comparison of the used methods for honey dehydration. Two dehydration methods were used to obtain dehydrated honey: spray drying and freeze-drying. In the research, honey dehydration experiments were carried out using laboratory-scale spray- and freeze-dryers. The yield of dehydrated honey that was obtained using spray drying was significantly affected by the used carrier and its concentration ($p < 0.05$). The used carrier affected the yield of freeze-drying ($p < 0.05$), but the concentration of the carrier did not ($p > 0.05$).

Analysing the results of the statistical data analysis about the effect of carrier and drying method on the physical and chemical parameters of dehydrated honey, it was determined that the carrier significantly affects ($p < 0.05$) different quality-describing parameters. The drying method significantly affected parameters such as water content, flowability, diastase activity, 5-hydroxymethylfurfural, gallic acid, 4-hydroxybenzoic acid, p-coumaric acid, sinapic acid, catechin, rutin, kaempferol, citric acid, and proline concentration.

Using agglomerative cluster analysis, dehydrated honey samples were grouped into clusters according to their physical and chemical properties. The obtained dendrogram (see Figure 11) shows that the dehydrated honey samples are grouped into four clusters. Clustered samples are united by similar physical and chemical parameters, which differ from other dehydrated honey samples.

Freeze-drying comparing to spray drying is a time-consuming process. Freeze-drying is carried out in various steps. Spray drying uses less electricity than freeze-drying.

The results of the research showed that both drying methods – spray drying and freeze-drying– are suitable for obtaining dehydrated honey. The analysis of the results showed it is not possible to state unequivocally which of the used drying methods is the most suitable for obtaining dehydrated honey, because the carrier had a significant effect on the physical and chemical parameters of the dehydrated honey. For this reason, further research is needed, using other carriers, and establishing criteria to determine the suitability of the drying method.

CONCLUSIONS

1. In the research, the most suitable honey for dehydration experiments was selected using a multi-criteria decision-making method. From the honey samples analysed in the study, multifloral honey, which was collected in Latvia, was chosen for honey dehydration as it showed one of the highest criteria sums in the weighted normalised decision-making matrix.
2. Spray and freeze dryers can be used to produce dehydrated honey.
3. By adding different proportions of maltodextrin and whey protein hydrolysate as carriers, it is possible to obtain dehydrated honey. Mannitol is not a suitable carrier for obtaining dehydrated honey using a spray dryer.
4. The carriers selected in the study had a significant impact on the yield of spray drying. The highest spray drying yield of 95% was obtained using whey protein hydrolysate. Using a freeze-dryer, the yield of dehydrated honey is over 80%.
5. Diastase activity in honey was 15.3 ± 0.5 DN; invertase activity was 8.2 ± 0.2 IN. Diastase and invertase activity in dehydrated honey samples was lower than in honey. Diastase activity was higher in spray-dried dehydrated honey samples than in freeze-dried honey samples. Invertase activity was higher in dehydrated honey samples obtained by freeze-drying than those obtained by spray drying. Dehydrated honey samples containing whey protein hydrolysate showed high diastase and invertase activity.
6. The concentration of 5-hydroxymethylfurfural in dehydrated honey samples was higher than in honey (5.7 ± 0.3 mg kg⁻¹). The concentration of 5-

hydroxymethylfurfural in freeze-dried honey samples were significantly higher than in samples obtained by spray drying.

7. Proline concentration in dehydrated honey was lower than in honey ($310 \pm 21 \text{ mg kg}^{-1}$). The highest concentration of proline, 293 mg kg^{-1} , was determined in dehydrated honey samples containing whey protein hydrolysate. Proline concentration was significantly higher in dehydrated honey samples obtained by freeze-drying than in samples obtained by spray drying.
8. The study found that the honey used for dehydration contained four organic acids: tartaric acid, malic acid, citric acid, and ascorbic acid. The concentration of organic acids ranged from 0.03 to $1.26 \text{ g per } 100 \text{ g}^{-1}$ dry matter. Three organic acids – tartaric acid, malic acid, and citric acid – were found in dehydrated honey samples. The concentration of organic acids in dehydrated honey samples obtained by freeze-drying was higher than in the samples obtained by spray drying. The highest concentrations of organic acids were determined in samples that contained whey protein hydrolysate.
9. The study found that dehydrated honey contains 14 different phenolic compounds. The concentration of phenolic compounds was affected by both the carrier and the drying method. A higher concentration of phenolic compounds was determined in dehydrated honey samples containing whey protein hydrolysate.
10. The study found that the physical parameters of dehydrated honey, such as water activity, hygroscopicity, wettability, and water solubility, were affected by the carrier. The flowability and water content of dehydrated honey were affected by both the carrier and the drying method.
11. The results obtained in the doctoral research confirm the hypothesis that the quality of dehydrated honey is affected by the drying method, the type of carrier and its concentration.

Mg. chem. Anete Keķe
e-pasts / e-mail: anete.keke@lbtu.lv
Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte / Latvia University of Life Sciences and
Technologies
Pārtikas Tehnoloģijas fakultāte / Faculty of Food Technology
Rīgas iela 22a, Jelgava, LV-3004, Latvija / Riga Street 22a, Jelgava, LV-3040, Latvia