



BIOR

PĀRTIKAS DROŠĪBAS, DZĪVNIEKU VESELĪBAS
UN VIDES ZINĀTNISKAIS INSTITŪTS

INSTITŪTA “BIOR”

ATSKAITE

LATVIJAS IZCELSMES MEDUS AUTENTISKUMA, KVALITĀTES UN NEKAITĪGUMA NOVĒRTĒJUMS

Izpildītājs:

Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības
un vides zinātniskais institūts “BIOR”

RĪGA 2025

APSTIPRINU
Zemkopības ministrijas
Dzīvnieku veselības, audzēšanas, aizsardzības un pārtikas nekaitīguma departamenta direktore
Antra Briņķe

Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts "BIOR"

Zemkopības ministrijas pasūtītais zinātniskais pētījums

**LATVIJAS IZCELSMES MEDUS AUTENTISKUMA,
KVALITĀTES UN NEKAITĪGUMA NOVĒRTĒJUMS**

GALA ATSKAITE

Rīga
2025

SATURS

IEVADS.....	4
1. LITERATŪRAS APSKATS	6
1.1. Medus raksturojums	6
1.2. Medus sastāva un uzturvērtības izvērtējums.....	6
1.3. Pesticīdu atliekvielu sastopamība medus paraugos.....	7
1.4. Pirolizidīna alkaloīdu klātbūtne medū.....	9
1.5. Elementu sastāvs medū	9
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	11
2.1. Medus kvalitātes novērtējums.....	11
2.2. Medus nekaitīguma novērtējums	11
2.3. Medus izcelsmes autentiskuma noteikšana.....	11
2.4. Pētījumā iekļauto Latvijas izcelsmes paraugu apraksts	12
2.5. Pētījumā iekļauto ārzemju paraugu apraksts.....	13
3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS	14
3.1. Medus kvalitātes noteikšana	14
3.2. Medus nekaitīguma novērtēšana	16
3.2.1. Pesticīdu atliekvielu sastopamība medus paraugos	16
3.2.2. Pirolizidīna alkaloīdu medus paraugos	18
3.3. Medus autentiskuma analīzes - elementu sastāvs Latvijas izcelsmes medus paraugos	19
SECINĀJUMI.....	27
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	28
1. Pielikums	32

IEVADS

Medus ir dabīga, salda viela, ko medus bites (*Apis mellifera*) ražo no augu nektāra, augu dzīvo daļu sekrētiem vai sūcējzinsekšu izdalījumiem. Bites šos substrātus ievāc, pārveido ar saviem fermentiem, nogulsnē šūnās, dehidrē un ļauj tiem nobriest līdz pilnīgi izveidojušam medum. Medus ir viens no senākajiem un plaši izmantotajiem dabiskajiem pārtikas produktiem, kas augstu novērtēts gan uzturvērtības, gan funkcionālo īpašību dēļ. Mūsdienās ir zināmi vairāk nekā 300 dažādu medus veidi, kuri iedalāmi vienziedu un daudziedu, un to dažādību veido augu skaits no kuriem bites ievāc nektāru.

Medus sastāvs atspoguļo gan ģeogrāfiskās vietas floru, gan vides vispārējo kvalitāti. Tāpēc bites un to produkciju var uzskatīt par noteiktas teritorijas piesārņojuma indikatoru. Pieaugošā nepieciešamība pēc pārtikas ir izraisījusi intensīvu pesticīdu lietošanu, lai kontrolētu kukaiņus, nematodes, grauzējus, nezāles un sēnītes. Pesticīdi, ko izmanto kultūraugiem, var piesārņot bites, kas savāc nektāru un ziedputekšņus uz ziediem, kas savukārt var izraisīt šo toksisko ķīmisko vielu uzkrāšanos medū. Nav izslēgts, ka bišu stropi var būt arī tieši piesārņoti ar pesticīdiem, ja tie tiek lietoti cīņā pret parazītiem. Iepriekšējo gadu pētījumu rezultāti norāda uz biežu pesticīdu atliekvielu sastopamību medus paraugos.

Pirolizidīna alkaloīdi (PA) ir dabīgi augu sekundārie metabolīti, kas kalpo kā aizsardzības mehānisms pret herbivoriem un kukaiņiem. Šīs vielas ir plaši sastopamas dažādās augu dzimtās, īpaši *Boraginaceae*, *Asteraceae* un *Fabaceae*, un līdz šim ir identificēti vairāk nekā 600 atšķirīgi savienojumi. PA var nonākt pārtikā netieši – caur bitēm, kas savāc ziedputekšņus un nektāru no PA saturošiem augiem. Pētījumi liecina, ka medus var saturēt dažādu PA, piemēram, intermedīnu, likopsamīnu, senecionīnu un retrorsīnu, kā arī to N-oksīdus, kuru daudzums ir atkarīgs no augu sugas un ģeogrāfiskās izcelsmes. Šo alkaloīdu klātbūtne medū rada bažas saistībā ar iespējamo hepatotoksisko, genotoksisko un kancerogēno iedarbību. Eiropas Pārtikas nekaitīguma iestāde (EFSA) ir norādījusi, ka PA saturs medū var būt būtisks riska faktors, īpaši bērniem un cilvēkiem, kas regulāri patērē medus uzturā.

Kā dabisks produkts ar salīdzinoši augstu tirgus vērtību, medus jau ilgstoši ir bijis viens no visbiežāk viltojamiem pārtikas produktiem. Medus autentiskums ir būtisks gan komerciālā, gan patērētāju veselības aizsardzības kontekstā, jo viltojumi var ne tikai maldināt patērētājus, bet arī samazināt uzturvērtību un, noteiktos gadījumos, radīt potenciālus veselības riskus. Autentiskuma noteikšana ir sarežģīta, jo dabiskā variabilitāte — ko ietekmē nektāra botāniskā izcelsme, klimatiskie apstākļi, augsnes īpašības, bišu barošanās teritorija, kā arī apstrādes un uzglabāšanas procedūras — bieži pārklājas ar viltošanas radītajām izmaiņām.

Autentiskuma nodrošināšanai tiek izmantota kombinēta pieeja, kas ietver fizikāli ķīmisko parametru, sastāva un izcelsmes marķieru analīzi. Svarīgu medus autentiskuma un kvalitātes indikatoru grupu veido arī mikro- un makroelementi, kuru saturs medū atkarīgs no nektāra botāniskās izcelsmes, augsnes minerālvielu pieejamības un vides piesārņojuma līmeņa konkrētajā reģionā. Elementu saturs ir salīdzinoši stabils un mazāk pakļauts apstrādes ietekmei, līdz ar to tas kalpo kā uzticams ģeogrāfiskās izcelsmes marķieris.

Darba uzdevumi:

1. Medus autentiskuma noteikšana, veicot medus sastāvā esošo elementu analīzi ar induktīvi saistītās plazmas - masspektrometrijas metodi. Papildināt elementu profilu datubāzi ar vismaz 20 ārvalstu izcelsmes medus paraugu elementu līmeņiem un, izmantojot pētījuma gaitā izveidoto datubāzi, izstrādāt testēšanas algoritmu, kas ļauj atšķirt Latvijas izcelsmes medu no ārvalstu izcelsmes medus.
2. Medus kvalitātes parametru (HMF, cukuru satura, elektrovadītspējas, ūdens satura u. c.) noteikšana Latvijas izcelsmes medus paraugos.
3. Pesticīdu atliekvielu izplatības monitorings ar masspektrometrijas metodēm (AEŠH-MS/MS un GH-MS/MS) un pirolizidīna alkaloīdu satura noteikšana ar AEŠH-MS/MS vismaz 20 paraugos.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Medus raksturojums

Medus ir viens no senākajiem un plaši izmantotajiem dabiskajiem pārtikas produktiem, kas augstu novērtēts uzturvērtības, bioloģiski aktīvo savienojumu un funkcionālo īpašību dēļ. Mūsdienās ir zināmi aptuveni 320 dažādi medus veidi, kurus iedala vienziņu un daudzziņu medū. To dažādību nosaka augu sugas un biotopi, no kuriem bites ievāc nektāru vai medus rasu. Katram medus veidam ir raksturīga savdabīga garša, krāsa, aromāts un kristalizācijas ātrums. Līdz aptuveni 18. gadsimta beigām medus Eiropā un daudzviet citur bija galvenais un bieži vien vienīgais plaši pieejamais saldinātājs, līdz to pakāpeniski aizstāja rūpnieciski ražots cukurs [1].

Vizuāli medus ir viskozs, bieži želejveidīgs šķīdums, savukārt ķīmiski tas ir sarežģīts organisko un neorganisko savienojumu komplekss. Medu nav nepieciešams uzglabāt ledusskapī, un tas praktiski nesabojājas, ja tiek glabāts cieši noslēgtā traukā, sausā vietā un istabas temperatūrā [2].

1.2. Medus sastāva un uzturvērtības izvērtējums

Medus ķīmiskais sastāvs ir sarežģīts un ļoti atkarīgs no ievāktā augu nektāra, bišu barības, klimatiskajiem apstākļiem, bišu sugas un daudziem citiem faktoriem. Kopumā medus ir pārsātināts cukuru šķīdums, kurā ogļhidrāti veido aptuveni 80 % no masas, bet ūdens parasti 15–20 %, atkarībā no botāniskās izcelsmes un uzglabāšanas apstākļiem. Galvenie cukuri ir monosaharīdi fruktoze un glikoze, kas kopā veido lielāko daļu sausnas, savukārt saharoze un citi di- un oligosaharīdi ir klātesoši mazākā daudzumā [3].

Medus ķīmiskajā sastāvā ietilpst arī olbaltumvielas un fermenti (galvenokārt diastāze, invertāze un glikozes oksidāze), brīvās aminoskābes (īpaši prolīns), organiskās skābes (piemēram, glikonskābe), minerālvielas (kālijs, kalcijs, magnijs, fosfors, mikroelementi), kā arī vitamīni (B grupas vitamīni nelielā daudzumā, askorbīnskābe u.c.). Šie komponenti, lai gan kvantitatīvi ir mazāk pārstāvēti nekā cukuri, būtiski ietekmē medus buferkapacitāti, skābumu, fermentatīvo aktivitāti un bioloģisko iedarbību [1].

Svarīgu daļu no medus bioaktīvā profila veido fenoliskie savienojumi – fenolskābes un flavonoīdi –, kā arī citi antioksidanti (askorbīnskābe, karotinoīdi, enzīmi). Tie ir atbildīgi par nozīmīgu daļu no medus antioksidatīvās un pretiekaisuma aktivitātes, kas tiek saistīta ar iespējamu labvēlīgu ietekmi uz cilvēka veselību. Fenolisko savienojumu saturs un sastāvs ir cieši saistīts ar medus botānisko un ģeogrāfisko izcelsmi, līdz ar to medus sastāva izvērtēšana var kalpot arī kā viens no autentiskuma un izcelsmes pierādījuma elementiem [4].

Medus sastāvā esošās vielas tiek uzskatītas par ļoti efektīvām ar lielu potenciālu kalpot kā ārstnieciskam preparātam, ne tikai tautas medicīnā, bet arī klīnisko gadījumos, lai cīnītos pret iekaisumu, infekciju izraisītājiem, piemēram, baktērijām un sēnītēm, kā arī klepu (astmu), brūču

dziedēšanu. Tām ir arī liela nozīme reproduktīvās sistēmas uzlabošanai. Pirmās ziņas par medus antibakteriālajām īpašībām ir saglabājušās no 1982. gada. Viens no vērtīgākajiem medus veidiem ir mānukas medus (*Leptospermum scoparium*), kas izrāda inhibējošu iedarbību pret 60 baktēriju sugām, kā arī viršu (*Erica arborea*), rapšu (*Brassica napus*), ēdamā kastaņa (*Castanea sativa*), akācijas (*Fabaceae acacia*) un vairāki daudziedu medi. Pētījumi apstiprina medus antibakteriālās īpašības pret dažādām baktēriju izraisītām slimībām, piemēram, septicēmiju (*Proteus spp.*, *Serratia marcescens* u.c.), urīnceļu un brūču infekcijām (*E. Coli*, *P. aeruginosa*) un infekcijām, kas saņemtas veselības aprūpes laikā (*S. Aureus*). Galvenie faktori, kas norāda uz medus antimikrobiālajām īpašībām, ir zems ūdens saturs un pH (skābā vide), zems olbaltumvielu saturs, viskozitāte, kas ierobežo izšķīdušā skābekļa un citu vielu daudzumu medū. Šo iemeslu dēļ tiek kavēta sēnīšu un baktēriju augšana [2, 5, 6].

Latvijas ģeogrāfiskais stāvoklis ir labvēlīgs augstvērtīga medus iegūšanai. Mērenā klimata zonas jaukto koku meži, kas mijas ar plašiem siliem, dabiskajām un palieņu pļavām, krūmājiem, purviem un virsājiem, ir lieliska nektāraugu mājvieta. Nektāraugu daudzveidība un to kvalitāte ir galvenais priekšnosacījums ievāktā medus kvalitātei. Turklāt ziemeļu reģionos, arī Latvijā, nektāraugu īsajā ziedēšanas laikā nektārs izdalās koncentrētāks un bagātāks ar bioloģiski aktīvām vielām nekā dienvidu reģionos [7].

1.3. Pesticīdu atliekvielu sastopamība medus paraugos

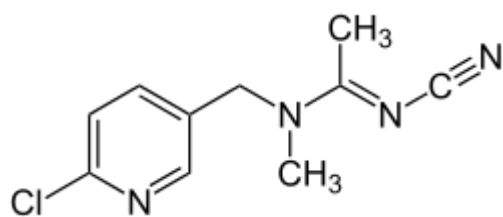
Eiropas medus bite (*Apis mellifera*) ir viens no nozīmīgākajiem apputeksnētājiem pasaulē, kam ir būtiska ekoloģiska un ekonomiska nozīme. Tās veicina gan savvaļas, gan kultivēto augu apputeksnēšanu, uzlabojot kultūraugu ražu un kvalitāti, tādējādi nodrošinot arī nozīmīgu ieguldījumu pārtikas ražošanā un bioloģiskās daudzveidības saglabāšanā. Medus bitēm ir svarīga loma ne tikai biškopības produktu – medus, vaska, ziedputekšņu un bišu maizes – ieguvē, bet arī vides ekosistēmu līdzsvara uzturēšanā [8].

Pēdējo desmitgadu laikā novērots medus bišu populāciju samazinājums, ko veicina vairāki savstarpēji saistīti faktori, tostarp klimata pārmaiņas, invazīvās sugas, parazīti un slimības. Viens no būtiskākajiem šīs lejupslīdes cēloņiem ir augu aizsardzības līdzekļu (AAL) jeb pesticīdu lietošana. Lai gan pesticīdi ir svarīga sastāvdaļa kvalitatīvas lauksaimniecības ražas nodrošināšanā, tie var negatīvi ietekmēt bišu fizioloģiju, uzvedību un koloniju dzīvotspēju. Pesticīdu iedarbība var būt gan letāla, gan subletāla, izraisot traucējumus barošanās paradumos un imūnsistēmas darbībā [9]. Medus bites var tikt pakļautas pesticīdiem gan tiešā kontaktā ar augu virsmām, kuras apstrādātas ar AAL, gan netieši – caur piesārņotu nektāru un ziedputekšņiem, kurus tās nogādā stropā. Šādi pesticīdu atlikumi var uzkrāties bišu produktos, piemēram, medū, vaskā un ziedputekšņos. Tā kā bites barības vākšanas laikā nonāk saskarē ar dažādiem vides piesārņotājiem un nogādā tos stropā, biškopības produkti var kalpot

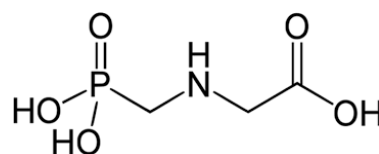
kā vides piesārņojuma indikatori. Tādējādi pesticīdu kontrole biškopības produktos ir būtiska ne tikai bišu dzīvotspējas un ekosistēmu līdzsvara saglabāšanai, bet arī patērētāju veselības aizsardzībai, nodrošinot, ka tirgū nonāk nekaitīgi un kvalitatīvi pārtikas produkti [10].

Pētījumi par Latvijas medus paraugiem no 2020.–2024. gadam uzrādīja, ka pesticīdu atliekvielas tika konstatētas regulāri, un visbiežāk tika kvantificētas tiakloprīda, glifosāta un acetamiprīda atliekvielas. Laika gaitā kopējā pesticīdu sastopamība samazinājās, atsevišķos gados dominējušā viela bija tiakloprīds, bet pēdējos gados acetamiprīds un glifosāts. 2024. gadā bija konstatēts zemāks piesārņojuma līmenis salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem, taču pesticīdu atliekvielas, īpaši glifosāts, joprojām tika konstatētas arī bioloģiski sertificētā medū [11-14].

Ietekmes ziņā nozīmīgāks pesticīdu piesārņojuma avots medū ir tieši ārējie avoti – ar pesticīdiem apstrādātas lauksaimniecības kultūras, kur bites ievāc medu. Lauksaimniecībā izmantojamo pesticīdu klāsts ir ļoti plašs, kā arī to ietekme uz bitēm ir atšķirīga. Uz šo brīdi, glifosāts ir visbiežāk lietotais herbicīds pasaulē [15]. Taču, vieni no kaitīgākajiem pesticīdiem bitēm ir neonikotinoīdi, to skaitā ir Latvijā viens no visbiežāk detektētajiem pesticīdiem medus paraugos – acetamiprīds [16].



1.1. att. Acetamiprīds



1.2. att. Glifosāts

Neonikotinoīdi pirmo reizi ES tika apstiprināti lietošanai 2005. gadā, bet 2013. gadā ES kā aktīvās vielas izmantošanai augu aizsardzības līdzekļos tika apstiprināti pieci neonikotinoīdu insekticīdi, proti, klotianidīns, imidakloprīds, tiametoksams, acetamiprīds un tiakloprīds, taču vēlāk tika atklāts, ka tie ne tikai iedarbojas uz kaitēkļiem – insektiem, bet arī nodara kaitējumu bišu saimēm. Līdz 2020. gadam visi neonikotinoīdi, izņemot acetamiprīdu, bija aizliegti lietošanai, jo riska izvērtējumā tika konstatēts, ka neonikotinoīdu ietekmē bitēm pasliktinās mācīšanās spēja, ir apgrūtināta orientēšanās, līdz ar to pazeminās medus vākšanas efektivitāte. Tāpat ir pierādījumi, ka neonikotinoīdi negatīvi ietekmē bišu vairošanās spējas [16]. Uz šo brīdi, pateicoties ārkārtas atkāpes atļaujām acetamiprīdu ir atļauts lietot āra kultūraugu aizsardzībai (šī atļauja ir spēkā līdz 2033. gadam (ES, 2018/113)). Acetamiprīds tiek uzskatīts par drošāko no neonikotinoīdiem medus bitēm, jo tā LD₅₀ (tiešajā kontaktā) ir 100 reizes augstāks nekā tiametoksāmam [17].

1.4. Pirolizidīna alkaloīdu klātbūtne medū

Pirolizidīna alkaloīdi ir plaši izplatīti augu sekundārie metabolīti — zināmi vairāk nekā 600 savienojumi, kurus producē ap 6000 augu sugu visā pasaulē [18]. Galvenie PA avoti ir *Boraginaceae*, *Asteraceae* (īpaši *Senecioneae* un *Eupatorieae* ciltis) un *Fabaceae* (*Crotalaria* ģints) dzimtas augi. Kad šie augi aug lauksaimniecības teritorijās, tie var piesārņot kultūraugus un dzīvnieku barību.

Bites, vācot nektāru un ziedputekšņus no PA saturošiem augiem, var pārnest šos savienojumus uz medu [19]. Strukturāli PA ir terciārie amīni ar necīna skeletu, kas veido mono-, di- vai makrocikliskus esterus [20]. Atkarībā no necīna bāzes struktūras tie iedalās četrās grupās — retronecīna, heliotridīna, otonecīna un platinecīna tipos [21].

Aptuveni 3% no visām ziedošo augu sugām satur PA un to N-oksīdus [22]. Ir aprakstīti vairāki intoksikācijas gadījumi, kas saistīti ar PA piesārņotu pārtiku un augu izcelsmes produktiem — tostarp zāļu tējām, medu, graudaugiem, ārstniecības augu preparātiem un dzīvnieku barību [23]. Medus ir viens no produktiem, kas visbiežāk var saturēt šos savienojumus, jo bites, vācot nektāru un ziedputekšņus, apmeklē plašu augu spektru, tostarp arī PA saturošās sugas. Tādējādi dažādu pirolizidīna alkaloīdu klātbūtne medū ir loģisks bioloģiskā procesa rezultāts.

Dažādos pētījumos konstatēts augsts PA pozitīvo medus paraugu īpatsvars. Piemēram, Spānijā veiktā pētījumā, analizējot 103 neapstrādāta medus paraugus, līdz pat 94,2% no tiem saturēja noteicamus PA daudzumus [24]. Tas norāda uz plašu šo savienojumu izplatību dabiskajos medus produktos.

Latvijas teritorijā identificētas vismaz 25 sugas no *Boraginaceae* dzimtas un 10 sugas no *Asteraceae* dzimtas, kas potenciāli var sintezēt PA. Lielākā daļa *Boraginaceae* dzimtas augu (izņemot 2–3 retāk sastopamās sugas) ir bieži novērojamas dabiskajos biotopos, savukārt *Asteraceae* dzimtas pārstāvji ir retāki. Šie augi pārsvarā aug sausās, atklātās vietās — ceļmalās, pļavās, nezālienēs un laukmalēs. Tādēļ, pat neskatoties uz salīdzinoši ierobežotu PA saturošo augu sugu daudzveidību Latvijā, bites var kalpot kā efektīvi šo alkaloīdu pārnēsētāji, kas potenciāli izraisa medus produktu piesārņojumu ar šī veida alkaloīdiem [25].

1.5. Elementu sastāvs medū

Lai gan medus galvenokārt satur ūdeni, ogļhidrātus un dažādas organiskas vielas, arī makroelementu un mikroelementu saturam var būt ietekmē uz medus organoleptiskajām īpašībām. Elementu sastāvu medū ietekmē vairāki faktori. Pirmkārt, to nosaka medus izejvielu veids - ziedu medus vai izsvīduma-lapu medus. Salīdzinot abus medus veidus, izsvīdumu-lapu medū makroelementu un mikroelementu saturs būs augstāks par ziedu medu. Otrkārt, elementu saturu ietekmē arī medus ģeogrāfiskā un botāniskā izcelsme. Ņemot vērā, ka minerālvielas tiek pārnestas no augsnes uz augiem, tieši augsnē esošo minerālvielu profils lielā mērā nosaka medū esošo elementu

saturu. Pateicoties tam, elementu saturu medū var izmantot, lai daļēji raksturotu parauga ģeogrāfisko izcelsmi. Papildus šiem faktoriem, arī biškopības prakse, apkārtējās vides piesārņojums, mēslošanas līdzekļu izmantošana un medus pārstrādē pielietotās tehnoloģijas var ietekmēt atsevišķu minerālvielu saturu medū [26-28].

Ņemot vērā dažādu elementu nozīmību cilvēka fizioloģijā, šajā pētījumā izmanto šādu elementu klasifikāciju:

- makroelementi (Ca, K, Mg, Na, P, Cl un S);
- mikroelementi (Fe, Zn, Cu, Cr, Se, Co, Mg, Mn, V, Sn, Ni, B un Li);
- toksiskie elementi (As, Cd, Hg, Pb);
- citi elementi, piemēram, retzemju elementi (Sc, Y, La, Ce u.c.) un citas ķīmisko elementu apakšklases, kas maz sastopamas bioloģiskos objektos, tajā skaitā medū.

Kopējais minerālvielu saturs medū ir salīdzinoši zems un mainīgs. Parasti tas ir 0,1–0,7% atkarībā medus veida un izcelsmes. Saskaņā ar apjomīgo apskata rakstu, kas 2015. gadā publicēts žurnālā *“Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety”*, medū visizplatītākais metāliskais elements ir K, kas veido aptuveni 45–85% no kopējā makroelementu profila. Citi elementi, kas plaši sastopami medū un pārsniedz koncentrāciju 1 mg/kg, ir Na, Ca, P, S un Mg [29]. Šo elementu koncentrāciju sadalījums medus paraugos no dažādām Eiropas valstīm ir apkopots 1.1. tabulā.

1.1. tabula

Dažādu makroelementu (Na, K, Ca, Mg, P un S) saturs medus paraugos no dažādām Eiropas valstīm (mg/kg)

Valsts	²³ Na	³⁹ K	⁴⁴ Ca	²⁴ Mg	³¹ P	³² S
Bulgārija	7,2–16	105–1628	32–110	6,0–97	24–124	12–41
Francija	–	–	8,9–130	3,6–69	84–354	9,6–118
Itālija	6,1–63	205–2640	9,1–403	3,9–65	–	–
Polija	6,8–131	12–740	28–61	2,8–145	36–571	–
Spānija	56–152	183–5570	15–202	24–1080	68–205	28–54

2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

2.1. Medus kvalitātes novērtējums

Latvijas izcelsmes medus kvalitātes novērtējumam tika pielietotas septiņas Institutā BIOR akreditētas analītiskās metodes:

- Fruktozes, glikozes un saharozes noteikšana ar augsti efektīvo šķidruma hromatogrāfiju (§ 64 LFGB L 40.00-7);
- Mitruma noteikšana ar refraktometrisko metodi (IHC 1:2009);
- Elektrovadītspējas noteikšana (IHC 2:2009);
- pH un brīvā skābuma noteikšana ar titrēšanu līdz pH 8,3 (IHC 4.1:2009);
- Diastāzes aktivitātes (skaitļa) noteikšana pēc Phadebas (IHC 6.2:2009);
- Ūdenī nešķīstošo vielu noteikšana (IHC 8:2009);
- 5-(Hidroksimetil)furfuola (HMF) noteikšana medū ar šķidruma hromatogrāfiju (BIOR-T-012-184-2016).

2.2. Medus nekaitīguma novērtējums

Medus nekaitīguma novērtēšanai tika testētas pesticīdu atliekvielu un pirolizidīna alkaloīdu klātbūtne un to daudzumi. Testēšanai tika pielietotas akreditētas metodes: pesticīdu atliekvielu noteikšanas multi-metode ar šķidruma un gāzu hromatogrāfiju – tandēma masspektrometriju (LVS EN 15662:2018) un pirolizidīna alkaloīdu noteikšana ar šķidruma hromatogrāfiju – tandēma masspektrometriju (BIOR-T-012-225-2023).

2.3. Medus izcelsmes autentiskuma noteikšana

Medus ģeogrāfiskās izcelsmes datu bāzes papildināšanai tika pielietota akreditēta metode elementu noteikšanai ar induktīvās saistītās plazmas masspektrometriju (BIOR-T-012-148-2013).

2.4. Pētījumā iekļauto Latvijas izcelsmes paraugu apraksts

Pētījumā tika iegādāti un testēti 20 dažādi medus paraugi, kas atšķīrās pēc florālās un ģeogrāfiskās izcelsmes, tajā skaitā 2 ar bioloģiskās lauksaimniecības marķējumu LV-BIO-01 un LV-BIO-02. Iegādāto paraugu saraksts apkopots 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Pētījumā iekļauto Latvijas izcelsmes paraugu saraksts

Nr. p. k.	Novads	Pagasts	Florālā izcelsme	Bioloģiskā lauksaimniecība
1	Ropažu	Stopiņu	Propoliss medū	
2	Cēsu	Drabešu	Griķu-amoliņa ziedu	LV-BIO-02
3	Kuldīgas		Dažādu ziedu	
4	Cēsu		Griķu ziedu	
5	Talsu	Balgales	Dažādu ziedu	LV-BIO-01
6	Saldus	Blīdenes	Dažādu ziedu	
7	Cēsu		Liepziedu	
8	Cēsu		Dažādu ziedu	
9	Ventspils	Zlēku	Rudens ziedu	
10	Aizkraukles	Seces	Dažādu ziedu	
11	Talsu	Lībagu	Dažādu ziedu	
12	Valmieras	Burtnieku	Dažādu ziedu	
13	Aizkraukles	Bebru	Dažādu ziedu	
14	Ropažu	Stopiņu	Dažādu ziedu	
15	Ropažu	Stopiņu	Griķu ziedu	
16	Ropažu	Stopiņu	Meža ziedu	
17	Bauskas	Iecavas	Meža ziedu	
18	Salacgrīvas		Liepu ziedu	
19	Madonas	Cesvaines	Meža ziedu	
20	Valkas		Liepu ziedu	

2.5. Pētījumā iekļauto ārzemju paraugu apraksts

Viegli gaistošo savienojumu un elementu analīze kopumā tika veikta 21 medus paraugiem no dažādām izcelsmes valstīm un botānisko izcelsmi. Paraugu botāniskā izcelsme tika noteikta nevis ar ziedputekšņu analīzes palīdzību, bet atsaucoties uz medus iepakojumā norādīto informāciju. Informācija par paraugiem apkopota 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Pētījumā iekļauto ārzemju paraugu saraksts

Nr. p. k.	Novads	Florālā izcelsme	Bioloģiskā lauksaimniecība
1	Ķīna	Akāciju ziedu	
2	Vācija	Dažādu ziedu	
3	Lietuva	Dažādu ziedu	
4	Francija	Lavandas ziedu	
5	Polija	Dažādu ziedu	
6	Grieķija	Dažādu ziedu	
7	Francija	Eikaliptu medus	
8	Spānija	Dažādu ziedu	
9	Grieķija	Baltā timiāna ziedu	
10	Vācija	Dažādu ziedu	
11	Vācija	Akāciju ziedu	
12	Vācija	Dažādu ziedu	BIO
13	Grieķija	Dažādu ziedu	
14	Ungārija	Akāciju ziedu	BIO
15	Lietuva	Dažādu ziedu	
16	Spānija	Liepziedu	
17	Grieķija	Apelsīnu un citronu ziedu	
18	Spānija	Apelsīnu ziedu	
19	Ķīna	Dažādu ziedu	
20	Spānija	Dažādu ziedu / Pireneju kalnu medus	
21	Spānija	Akāciju ziedu	

3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

3.1. Medus kvalitātes noteikšana

Pētījuma gaitā tika izvērtēti sekojoši medus kvalitātes rādītāji: pH, elektrovadītspēja, mitrums, brīvās skābes, diastāzes skaitlis, hidroksimetilfurfuols, ūdenī nešķīstošās vielas un cukuru saturs. Medus atbilstības izvērtēšanas kvalitātes rādītāji un to normas, kas norādīti MK noteikumos Nr. 251 "Kvalitātes, klasifikācijas un papildu marķējuma prasības medum" un medus paraugu testēšana rezultāti ir apkopoti 3.1. tabulā. Kopumā tika veikti 1397 kvalitātes rādītāju izmeklējumi. Paraugu skaits katram izvērtētajam rādītājam ir norādīts tabulā.

3.1. tabula

Medus sastāva rādītāju apkopojums

Parametrs	pH	Mitrums	Diastāzes skaitlis	Saharozē	Reducējošie cukuri	Brīvais skābums	Hidroksi- metilfurfuols	Elektro- vadītspēja	Ūdenī nešķīstošās vielas
Mērvienība	-	%	Schade skalās vienības	%	%	mekv/kg	mg/kg	mS/cm	g/100g
<i>Paraugu skaits (N)</i>	71	306	280	149	117	129	176	130	39
<i>N < LOQ</i>	-	-	-	128	-	-	19	-	7
<i>Minimālais</i>	3,4	9,3	10	1,0	62	8,5	1,0	0,13	0,003
<i>Maksimālais</i>	6,3	25	83	3,6	86	36	112	1,0	0,255
<i>Vidējais lielums</i>	4,1	17	28	1,6	73	21	3,8	0,38	0,030
<i>Mediāna</i>	3,9	17	28	1,4	73	21	2,3	0,36	0,015
<i>Norma</i>	-	< 20	> 8	< 5	> 60	< 80	< 40	< 0.8 > 0.8	< 0,1
<i>Neatbilstošo paraugu skaits*</i>	-	4	0	0	0	0	1	0	1

* Ņemot vērā metodes nenoteiktību

Kopumā 4 medus paraugi neatbilda noteiktajām prasībām, pārsniedzot ūdenī nešķīstošo vielu un mitruma daudzumu, un HMF saturu paraugā.

Analizētajos medus paraugos vidējais ūdens saturs bija 17 %, ar minimālo vērtību 9,3 % un maksimālo – 25 %. Četri paraugi pārsniedza MK noteikumos Nr. 251 noteikto prasību, kas paredz, ka medū pieļaujamais ūdens saturs nedrīkst būt lielāks par 20 %. Paaugstināts ūdens daudzums, veicina medus rūgšanu. Tas var negatīvi ietekmēt produkta sensoro kvalitāti, stabilitāti un uzglabāšanas termiņu.

Diastāze ir viens no medus fermentiem, ko medus pagatavošanas procesā nektāram pievieno bites. Diastāzes skaitlis ir mazs, ja bites barotas ar cukursīrupu, medus ir pārkarsēts vai ilgi glabāts. Medu uzglabājot, pēc 3-4 gadiem tā fermentu aktivitāte samazinās apmēram divas reizes. Fermentu aktivitāte kalpo kā medus svaiguma rādītājs un pārkarsēšanas indikators. Pētījumā analizēto medu

raksturo plaša diapazona diastāzes skaitlis – no 10 līdz 83 *Schade* jeb *Gotes* vienībām ar vidējo vērtību 28 *Schade* vienības, kopumā norādot uz medus svaigumu un dabīgumu.

Saharoze ir dabīgs disaharīds, kura daudzums medū ir atkarīgs no nektāra botāniskās izcelsmes un bišu veiktās fermentatīvās pārstrādes. Lielākajā daļā ziedu medus šķirņu saharozes saturs dabiskā, nenokarsētā medū nepārsniedz 5 %, kas tiek uzskatīts par kvalitātes un autentiskuma kritēriju. No 149 pētītajiem paraugiem 128 paraugos saharozes saturs bija zemāks par 1% un 21 medus paraugos tā saturs variēja no 1,0 līdz 3,6 %, iekļaujoties MK noteikumos Nr. 251 noteiktai prasībai par saharozes daudzumu līdz 5%.

Bišu siekalu dziedzera fermenta invertāzes ietekmē medus gatavošanas procesā notiek saharozes inversija – saharoze tiek sašķelta tās sastāvdaļās glikozē un fruktozē, ko kopā apzīmē par reducējošajiem cukuriem. Medum nogatavojoties, gandrīz visa saharoze pārvēršas glikozē un fruktozē. Parasti dabiskajā medū ir no 65 līdz 75% reducējošo cukuru. Glabāšanas procesā saharozes daudzums medū var samazināties pašinversijas rezultātā, ko veic medū esošie fermenti un organiskās skābes. Testētajos medus paraugos reducējošo cukuri tika konstatēti no 62 līdz 86%, ar vidējo vērtību 73%. Visi rezultāti ir atbilstoši MK noteikumiem Nr. 251, kur norādīts, ka reducējošo cukuru daudzumam jābūt virs 60%.

Medus elektrovadītspēju nosaka medū esošo minerālvielu koncentrācija. Pieļaujamā elektrovadītspēja medū vai medus maisījumos ir līdz 0,8 mS/cm. Pētījumā testētajos medu paraugos elektrovadītspēja bija no 0,13 līdz 1,0 mS/cm, ar mediānas vērtību 0,36 mS/cm. Četru medus paraugu elektrovadītspēja bija virs 0,8 mS/cm, kas raksturīgi lapu izvīduma vai medus rāsas medum un norāda uz citu botānisko izcelsmi, nevis tipisku ziedu medu.

Medū sastopamas galvenokārt organiskās skābes, kas būtiski ietekmē tā garšu, aromātu un kopējo kvalitāti. Dominējošā organiskā skābe ir glikonskābe, kas veidojas fermentatīvā procesā, kad fermenti glikozes oksidāze oksidē glikozi. Medū sastopami arī glikonolaktoni, citronskābe, ābolskābe un citas organiskās skābes, kas kopā piešķir medum raksturīgo skābumu. Pētījumā analizētajos paraugos brīvo skābju saturs variēja no 8,5 līdz 36 mekv/kg, ar vidējo vērtību 21 mekv/kg. Visi rezultāti atbilst MK noteikumu Nr. 251 prasībām, kas nosaka, ka brīvo skābju daudzumam medū jābūt zem 80 mekv/kg. Šie rādītāji apliecina medus labu kvalitāti, pareizu nogatavināšanu un fermentācijas procesu neesamību.

Viens medus paraugs no 37 testētajiem uzrādīja paaugstinātu ūdenī nešķīstošo vielu saturu ($0,26 \pm 0,07\text{g}/100\text{g}$), kurš atbilstoši MK noteikumiem Nr. 251 nedrīkst pārsniegt $0,1\text{g}/100\text{g}$.

Hidroksimetilfurfuols jeb HMF ir cukuru termiskās šķelšanās produkts. HMF daudzums medū ir medus svaiguma un dabiskuma rādītājs. Tikko sviestā dabiskā medū HMF tikpat kā nav konstatējams. Augsts HMF saturs norāda uz augstā temperatūra sildītu vai ilgi glabātu medu. HMF svaigā medū pieaug atkarībā no pH vērtības un uzglabāšanas temperatūras – apmēram par 2-3 mg/kg

gadā. Uzglabājot medu 21°C temperatūrā, gada laikā HMF pieaug līdz 20 mg/kg. Augsts HMF saturs medū cilvēku veselībai nav vēlams, tāpēc svarīgi, lai HMF saturs nepārsniedz normu, kas MK noteikumos Nr. 251 ir noteikta ne vairāk par 40 mg/kg. HMF ir konstatēts lielākai daļai testētajos medus paraugos no 1 līdz 18 mg/kg. Viens paraugs ar HMF koncentrāciju 112 ± 17 mg/kg pārsniedz norādīto normu.

3.2. Medus nekaitīguma novērtēšana

3.2.1. Pesticīdu atliekvielu sastopamība medus paraugos

Pesticīdu izplatības noteikšanai Latvijas izcelsmes medū tika izmantotas AEŠH-MS/MS un GH-MS/MS metodes 233 pesticīdu atliekvielu noteikšanai. Pesticīdu atliekvielu kvantificēšanas robeža (LOQ) bija 0,010 mg/kg. Pesticīdu klātbūtne paraugos tika apstiprināta pēc sekojošiem kritērijiem: i) vielas aiztures laiks: 0,2 min no vielas aiztures laika paraugā ar standartpiedevu, ii) jonu attiecība: $\pm 20\%$ no jonu attiecības paraugā ar standartpiedevu, iii) signāla/trokšņa attiecība >10 . Rezultātu mērījumu nenoteiktība ir 50 %. Paraugu atbilstība maksimālajam atlieku līmenim (MAL) tika izvērtēta, balstoties uz *SANTE 11312/2021* v2 vadlīnijām, kur noteikts, ka paraugs uzskatāms par neatbilstošu, ja iegūtais rezultāts, atņemot mērījumu nenoteiktību, pārsniedz noteikto MAL [30].

25 % no testēšanai iegādātajiem paraugiem (N=20) tika konstatētas pesticīdu atliekvielas virs LOQ (0,010 mg/kg). No visiem pesticīdiem acetamiprīds tika detektēts visbiežāk – 5 paraugos (25 %). Pārējie pesticīdi – DEET, flupiradifurons un piraklostrobīns – katrs detektēts vienā paraugā kopā ar acetamiprīdu. Iegūtie rezultāti apkopoti 3.2. tabulā.

3.2. tabula

Konstatēto pesticīdu daudzumu (mg/kg) apkopojums medū

Nr. p.k.	Pesticīds	Detektēšanas biežums	Maksimālais daudzums, mg/kg	Minimālais daudzums, mg/kg	Vidējā konc., mg/kg	Norma (MAL, mg/kg)	Neatbilstošo paraugu skaits
1	Acetamiprīds	5 (25 %)	0,050	0,010	0,020	0,30	0
2	DEET	1 (5%)	0,022	0,022	0,022	Nav noteikta	0
3	Flupiradifurons	1 (5%)	0,018	0,018	0,018	2,0	0
4	Piraklostrobīns	1 (5%)	0,015	0,015	0,015	0,05	0

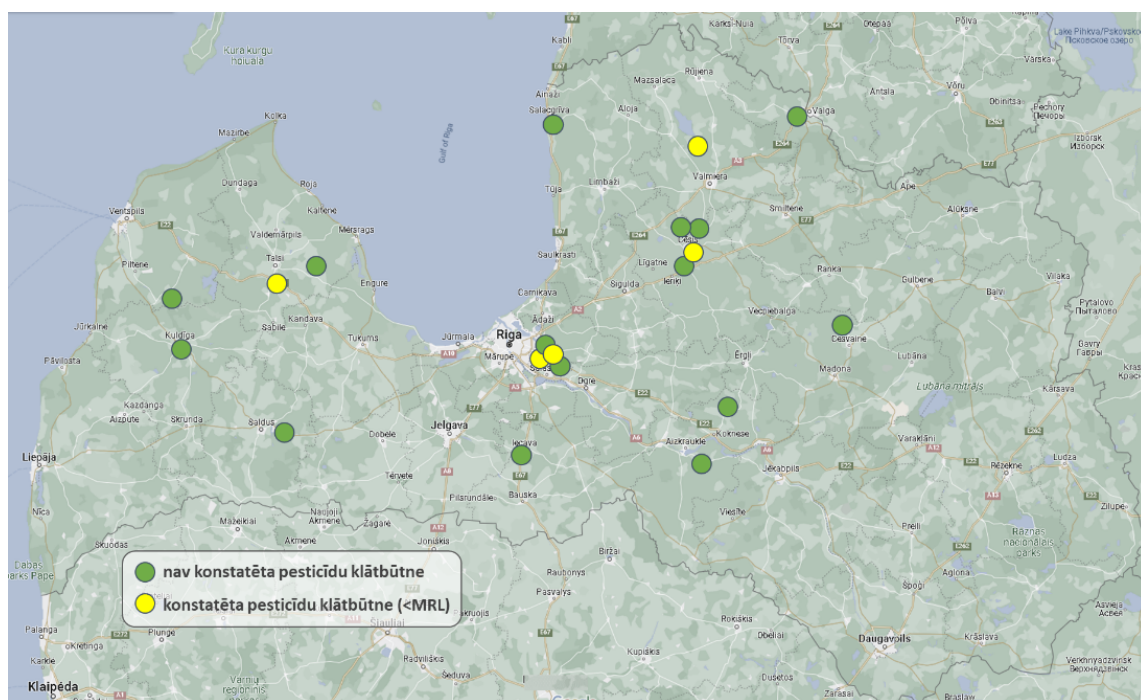
Pēdējo gadu laikā novērojama tendence, kur acetamiprīds tiek detektēts apmērām ceturtdaļā no visiem testētajiem medus paraugiem, 2024. gadā novērota līdzīga tendence [14]. Acetamiprīda atlieku detektētie līmeņi bieži vien ir zemi un nepārsniedz MAL (0,3 mg/kg). Svarīgi atzīmēt, ka ar 2025. gada 20. augustu acetamiprīda atliekvielu MAL medū ir palielinājusies no 0,05 mg/kg uz 0,3 mg/kg. Eiropas Pārtikas nekaitīguma iestāde izvērtēja iesniegtos pieteikumus par MAL maiņu, noteica zemāku acetamiprīda pieļaujamo dienas devu un zemāku akūto standartdevu, kā arī secināja, ka attiecībā uz

medus un pārējiem biškopības produktiem pieprasītās MAL izmaiņas patērētāju drošības ziņā ir pieņemamas [31].

Flupiradifurons tiek izmantots kā insekticīds dažādu lauksaimniecības kaitēkļu kontrolē, savukārt piraklostrobīns ir fungicīds, ko plaši lieto, īpaši graudaugu un dārzeņu audzēšanā, lai novērstu sēnīšu slimību attīstību. To nelielā klātbūtne medū parasti liecina par minimālu saskari ar bišu vākto nektāru vai ziedputekšņiem. DEET jeb N,N-dietil-m-toluamīds ir viela plaši izmantota knišļu atbaidīšanas aerosolos. Tas tiek galvenokārt lietots, uzpūšot uz ādas, lai pasargātu to no kodumiem. Nav ziņots par šīs vielas izplatību bišu vai kādos citos pārtikas produktos, tāpat arī nav zināma tā iedarbība uz bitēm vai patērētāju to norijot. Šādi pētījumi nav veikti galvenokārt tāpēc, ka tas paredzēts tikai ārējai lietošanai un tam nav saistības ar pārtikas ražošanu vai izplatību tajā. Var izteikt tikai minējumus, kāpēc šis savienojums ir detektēts vienā no medus paraugiem – iespējams, šāds kukaiņu atbaidīšanas aerosols ir izmantots bišu stropa tuvumā vai jau ievākta medus tuvumā, taču viennozīmīgu pierādījumu tam nav.

Pēdējo piecu gadu laikā šogad pirmo reizi medus paraugos netika detektēts tiakloprīds, kas kopš 2020. gada ir aizliegts lietošanai AAL. Sākot ar 2023. gadu, tas tiek konstatēts arvien retāk. Kā arī pozitīvi tas, ka medus paraugos no bioloģiskajām saimniecībām netika detektēti pesticīdi.

Medus paraugi tika ievākti Latvijas teritorijā. 7.attēlā ir norādītas medus ievākšanas vietas pēc to novadiem, krāsu indikatori raksturo pesticīdu testēšanas rezultātu dotajā paraugā: zaļš - pesticīdu klātbūtne nav konstatēta, dzeltens - pesticīdu klātbūtne ir konstatēta (zem MAL). Nav novērojamas tendences pesticīdu izplatības un ģeogrāfiskās izcelsmes ziņā.



3.1. attēls. Medus paraugu izcelsme no dažādiem novadiem un pesticīdu atliekvielu konstatēšanas dati

3.2.2. Pirolizidīna alkaloīdu medus paraugos

Pirolizidīna alkaloīdu (PA) izplatības noteikšanai Latvijas izcelsmes medū tika izmantota AEŠH–MS/MS metode, aptverot 30 individuālus savienojumus. PA kvantificēšanas robeža (LOQ) bija 5 µg/kg atsevišķiem alkaloīdiem un 10 µg/kg vielām, kas analīzes gaitā neatdalās. PA klātbūtne tika apstiprināta, ievērojot trīs kritērijus: i) aiztures laiks $\pm 0,2$ min robežās no parauga ar standartpiedevu; ii) jonu attiecība ± 20 % no atbilstošās relatīvās jonu attiecības; iii) signāla/trokšņa attiecība >10 . Rezultātu mērījumu nenoteiktība bija 50 %, kas ir raksturīga šīs savienojumu grupas kvantificēšanai sarežģītās pārtikas matricās.

No 20 analizētajiem medus paraugiem tikai trijos tika konstatēti PA virs kvantificēšanas robežas. Tika identificēti četri savienojumi: intermedīns (5 %), ehinatīns (10 %), ehinatīna N-oksīds (10 %) un ehimidīns (5 %). Visas noteiktās koncentrācijas bija zemā līmenī — maksimālā summa 30 µg/kg — un ievērojami zem Eiropas Komisijas noteiktās maksimālās pieļaujamās koncentrācijas, kas medum ir 500 µg/kg. Detalizēti rezultāti apkopoti 3.3. tabulā.

3.3. tabula

Konstatēto PA daudzumu (µg/kg) apkopojums medū

Nr. p.k.	PA	Detektēšanas biežums	Maksimālais daudzums, µg/kg	Minimālais daudzums, µg/kg	Vidējā konc., µg/kg	Norma (ML, µg/kg)	Neatbilstošo paraugu skaits
1	Intermedīns	1 (5 %)	7,7	7,7	7,7	-	0
2	Ehinatīns	2 (10 %)	16	7,1	12	-	0
3	Ehinatīna N-oksīds	2 (10 %)	19	5,7	13	-	0
4	Ehimidīns	1 (5 %)	6,8	6,8	6,8	-	0
5	PA summa	3 (15 %)	30	6,8	21	500	0

Dominējošie PA (ehinatīns un tā N-oksīds) ir raksturīgi ģimenei *Boraginaceae*, kā arī citām šīs dzimtas sugām. Latvijas apstākļos par galveno šo savienojumu avotu bišu barošanās vidē visticamāk var uzskatīt parasto daglīti (*Echium vulgare*) [20,32].



3.2. attēls. Parastais daglītis (*Echium vulgare*)

Pēc botāniskās izcelsmes divi paraugi, kuros konstatēti PA, bija marķēti kā dažādu ziedu medus un viens paraugs kā vienziņu – griķu medus. Šajā griķu medus paraugā tika konstatēts ehimidīns, kas nav raksturīgs griķu ziedu (*Fagopyrum esculentum*) galvenajam nektāra avotam. Griķi nav PA akumulējošs augs — tie nepieder nevienai no trīs klasiskajām PA-sintēzi veicinošajām augu dzimtām (*Boraginaceae*, *Asteraceae* (*Senecioneae*), *Fabaceae* (*Crotalaria*)). Tas ir liecina, ka bites barošanās laikā paralēli griķu laukiem ir apmeklējušas PA saturošus *Boraginaceae* dzimtas augus. Tas papildus apstiprina, ka pat monoflorālais medus dabiskos apstākļos var saturēt nektāru no dažādiem savvaļas augiem, atspoguļojot bišu barošanās areāla botānisko daudzveidību [33]. Konstatētās zemas PA koncentrācijas neliecina par nekaitīguma risku, taču var sniegt vērtīgu papildinformāciju par potenciālajiem augu avotiem un pieejamību medus botāniskās izcelsmes izvērtēšanā.

3.3. Medus autentiskuma analīzes - elementu sastāvs Latvijas izcelsmes medus paraugos

Šajā pētījumā tika izvērtēti 154 medus paraugi, kas aptver laika periodu no 2022. līdz 2025. gadam. No tiem 113 paraugi ir iegūti Latvijā, savukārt 41 paraugs pārstāv ārvalstu izcelsmi, tostarp Vāciju, Grieķiju, Franciju, Spāniju, Kirgizstānu, Lielbritāniju, Ķīnu, Lietuvu, Poliju un Ungāriju. 2025. gadā tika analizēti papildus 21 ārzemju paraugi, kas papildina iepriekšējos gados iegūto datu kopu un nodrošina plašāku salīdzinājumu starp Latvijas un importētā medus elementu profiliem. Visi elementu analīzes dati iegūti ar ICP-MS metodi. Kopā datubāzē norādīta trīsdesmit viena ķīmiskā elementa sastāvs (mg/kg) katrā medus paraugā: ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{23}\text{Na}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{27}\text{Al}$, ${}^{39}\text{K}$, ${}^{44}\text{Ca}$, ${}^{51}\text{V}$, ${}^{52}\text{Cr}$, ${}^{55}\text{Mn}$, ${}^{56}\text{Fe}$, ${}^{59}\text{Co}$, ${}^{60}\text{Ni}$, ${}^{63}\text{Cu}$, ${}^{66}\text{Zn}$, ${}^{71}\text{Ga}$, ${}^{75}\text{As}$, ${}^{78}\text{Se}$, ${}^{85}\text{Rb}$, ${}^{88}\text{Sr}$, ${}^{95}\text{Mo}$, ${}^{107}\text{Ag}$, ${}^{105}\text{Pd}$, ${}^{111}\text{Cd}$, ${}^{118}\text{Sn}$, ${}^{121}\text{Sb}$, ${}^{133}\text{Cs}$, ${}^{137}\text{Ba}$, ${}^{201}\text{Hg}$, ${}^{205}\text{Tl}$ un ${}^{208}\text{Pb}$. Starp šiem tikai divpadsmit elementi (${}^{23}\text{Na}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{27}\text{Al}$, ${}^{39}\text{K}$, ${}^{44}\text{Ca}$, ${}^{55}\text{Mn}$, ${}^{56}\text{Fe}$, ${}^{63}\text{Cu}$, ${}^{66}\text{Zn}$, ${}^{85}\text{Rb}$, ${}^{88}\text{Sr}$, ${}^{137}\text{Ba}$) tika detektēti vairāk nekā 70 % paraugu, ļaujot tos kvantitatīvi raksturot un izmantot

turpmākajā analīzē. Pārējie elementi tika konstatēti reti vai netika detektēti vispār, kas saistāms ar to zemajām koncentrācijām medus paraugos vai ICP-MS noteikšanas robežām.

Medus elementu sastāvs atspoguļo gan nektāra botānisko izcelsmi, gan ražošanas vietas ģeoloģiskās un vides īpatnības, tādēļ to var izmantot kā ģeogrāfiskās izcelsmes marķieri. Augi no augsnes un gruntsūdeņiem uzņem gan makroelementus, gan mikroelementus, kas tālāk caur nektāru vai medus rasu nonāk medū. Papildus tam, pastāv arī lokāli antropogēni piesārņojuma avoti (piem., transports, rūpnieciskā aktivitāte un lauksaimnieciskā darbība). Šo faktoru mijiedarbības rezultātā dažādu reģionu medum veidojas raksturīgi daudzelementu profili. Ģeogrāfiskā izcelsme ietekmē gan makroelementu (piem., K, Ca, Mg, Na), gan mikroelementu (piem., Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd) saturu medū. Literatūras apskati par medus autentiskuma noteikšanu norāda, ka šādi ķīmisko elementu profili, spēj sniegt informāciju par medus ģeogrāfisko izcelsmi. Tomēr jāuzsver, ka atsevišķu elementu absolūtās koncentrācijas pašas par sevi nespēj droši norādīt uz medus izcelsmi. Lai ģeogrāfisko izcelsmi varētu paredzēt ar pietiekamu precizitāti, nepieciešama sarežģītāku datu analīžu izmantošana, piemēram, galveno komponentu analīze (no angļu val. *Principal component analysis*, GKA), daļējā mazāko kvadrātu diskriminantanalīze (no angļu val. *Partial least squares discriminant analysis*, PLS-DA), lineāra diskriminantanalīze (no angļu val. *Linear Discriminant Analysis*) un gadījuma mežu klasificēšanas algoritms (no angļu val. *Random forests*). Šādas statistiskās pieejas ļauj izmantot visu daudzelementu profilu kā kopējo elementu "pirkstu nospiedumu" un nodrošina informatīvāku un reproducējamāku izcelsmes novērtējumu [34-36].

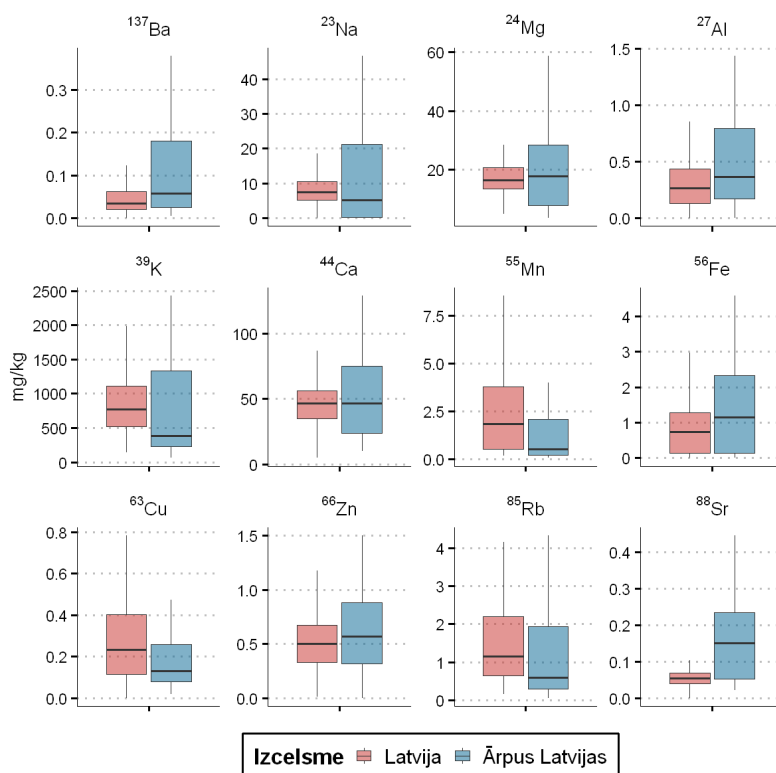
Viens no šī pētījuma mērķiem bija izvērtēt elementu satura rezultātu lietderību, lai atšķirtu Latvijas izcelsmes medus paraugus no ārzemju medus paraugiem. Lai to panāktu, sākotnēji tika aplūkots tas, vai pastāv būtiskas atšķirības elementu saturā starp paraugu grupām pēc to ģeogrāfiskās izcelsmes. Iegūtie rezultāti apkopoti 3.4. tabulā un to vērtību amplitūdu diagramma 3.3. attēlā. Redzams, ka rezultātu izkliede starp paraugiem ir augsta un vairumā elementu nav iespējams novērot statistiski nozīmīgu atšķirību starp paraugkopām. Tikai trīs elementu gadījumā var novērot *p*-vērtības, kas mazākas par 0,05. Šie elementi ir ⁵⁵Mn (*p*-vērtība: 0,001), ⁸⁵Rb (*p*-vērtība: 0,02) un ⁸⁸Sr (*p*-vērtība: 0,000007). Šo elementu izcelsme galvenokārt saistīta ar reģionālo augsnes un iežu sastāvu, kas nosaka to mobilitāti un pieejamību augiem. Mangāns ir mikroelements, kura koncentrāciju medū ietekmē augsnes pH un minerālu sastāvs, savukārt rubīdijs uzvedas līdzīgi kā kālijs un atspoguļo silikātu minerālu eroziju dažādos ģeoloģiskajos nogulumos. Stroncijs ir viens no izteiktākajiem ģeoloģiskajiem marķieriem, kura saturs medū atspoguļo vietējo karbonātiežu un dolomītu sastāvu [37].

3.4. tabula

Ķīmisko elementu saturs medus paraugos ar dažādu izcelsmi un iegūto rezultātu atšķirību statistikā nozīmība (p -vērtība)

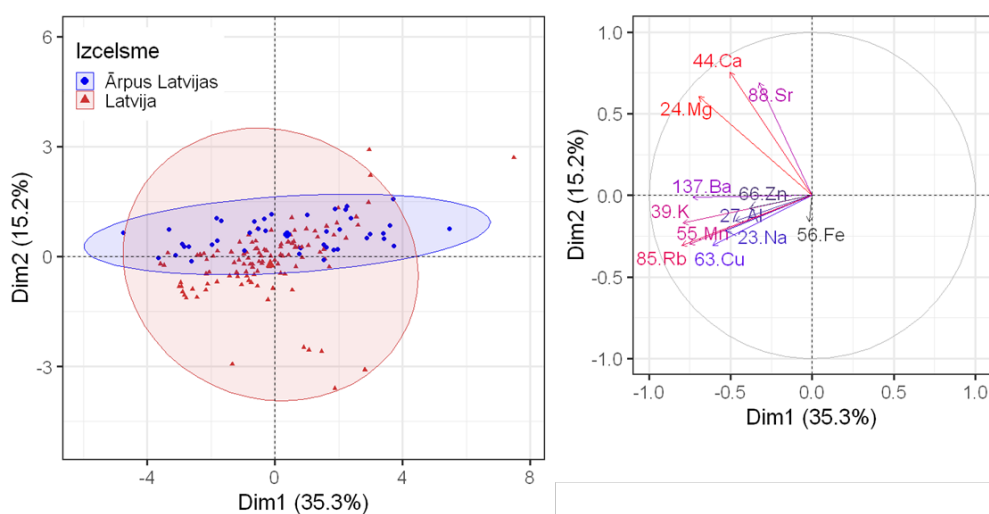
Elements	Medus izcelsme	Vidējā vērtība, mg/kg	Mediāna, mg/kg	Standartnovirze, mg/kg	p -vērtība ¹
²³ Na	Latvija	9,7	7,4	10,5	0,3 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	25,9	5,3	71,0	
²⁴ Mg	Latvija	20,3	16,4	14,0	0,9 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	25,4	17,8	24,7	
²⁷ Al	Latvija	0,49	0,26	0,85	0,2 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	0,60	0,37	0,76	
³⁹ K	Latvija	851	772	451	0,08 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	761	386	687	
⁴⁴ Ca	Latvija	47,4	46,8	19,4	0,7 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	51,5	46,8	30,2	
⁵⁵ Mn	Latvija	3,15	1,83	3,65	0,001 ^{**}
	Ārpus Latvijas	1,74	0,51	2,74	
⁵⁶ Fe	Latvija	1,08	0,73	1,96	0,1 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	1,76	1,16	2,17	
⁶³ Cu	Latvija	0,28	0,23	0,22	0,08 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	0,24	0,13	0,26	
⁶⁶ Zn	Latvija	0,87	0,50	1,55	0,6 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	0,63	0,57	0,39	
⁸⁵ Rb	Latvija	1,92	1,16	2,05	0,02 [*]
	Ārpus Latvijas	1,24	0,59	1,34	
⁸⁸ Sr	Latvija	0,05	0,05	0,03	0,000007 ^{***}
	Ārpus Latvijas	0,31	0,15	0,69	
¹³⁷ Ba	Latvija	0,07	0,03	0,12	0,08 ^{ns}
	Ārpus Latvijas	0,27	0,06	0,65	

¹ Tabulā norādītās p -vērtības iegūtas, izmantojot Mann–Whitney testu, pielāgojot vairākām salīdzināšanām ar “false discovery rate” korekcijas metodi. Apzīmējums **ns** norāda, ka starp grupām netika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība (korigētā $p \geq 0,05$). Savukārt simboli *, ** un *** norāda uz statistiski nozīmīgu atšķirību attiecīgi šādos pielāgoto p -vērtību intervālos: * < 0,05; ** < 0,01; *** < 0,001.



3.3. attēls Vērtību amplitūdas diagramma ķīmisko elementu sastāvam medus paraugos atkarībā no ģeogrāfiskās izcelsmes

Galveno komponentu analīze (GKA) tika izmantota, lai raksturotu datu daudzdimensiju struktūru un noteiktu, vai elementu sastāvs veido dabiskas grupēšanās tendences starp Latvijas un importa medus paraugiem. GKA samazina datu dimensiju skaitu, pārveidojot sākotnējos mainīgos (log10 normalizētas elementu koncentrāciju vērtības) neatkarīgos komponentos, kas sakārtoti pēc to skaidrotās izkliedes, kur PC1 atspoguļo vislielāko variāciju datu kopā, bet PC2 nākamo lielāko. Šo datu GKA grafiks attēlots 3.4. attēlā.



3.4. attēls Galveno komponentu analīzes grafiskais attēlojums un slodzes grafiks pirmajiem diviem galveno komponentu analīzes komponentiem

Pirmais galvenais komponents (PC1) šajā datu kopā ir spēcīgi ietekmēts elementiem, kuriem ir vislielākās negatīvās slodzes: K (-0,38), Rb (-0,39), Mn (-0,37), Ba (-0,36) un Mg (-0,34). Tas norāda, ka PC1 galvenokārt atspoguļo kopējo mineralizācijas līmeni un elementu koncentrāciju gradientu, kas raksturīgs abām paraugu grupām un neļauj tās atdalīt. Latvijas un ārzemju medus izkliede PC1 virzienā skaidri pārklājas. Savukārt PC2 definē galvenokārt elementi ar augstām pozitīvām slodzēm: Ca (+0,56), Sr (+0,51) un Mg (+0,45). Tie ir būtiski ģeoloģiski elementi, kuru saturs augsnē atspoguļo reģiona iežu un augsnes īpatnības. Rezultāti rāda, ka šajā komponentē vairāk Latvijas paraugu koncentrējas negatīvo PC2 vērtību virzienā, bet importētie paraugi biežāk izvietojas pozitīvajās vērtībās. Kopumā GKA rezultāti norāda, ka elementu sastāva izkliede lielā mērā pārklājas, taču otrā galvenā komponenta virzienā sāk iezīmēties ģeoloģiski pamatots atšķirību virziens starp Latvijas un importēto medu.

Balstoties uz GKA rezultātiem, tika izveidots PLS-DA klasifikācijas modelis ar mērķi noteikt, vai elementu sastāvs ļauj paredzēt medus ģeogrāfisko izcelsmi. Pirms modeļa veidošanas tika atlasīti piemērotākie mainīgie, izslēdzot elementus ar minimālu ietekmi uz datu struktūru. Pamatojoties uz PCA rezultātiem, elementi Al, Zn un Fe netika iekļauti modelī, jo to slodzes galvenajās komponentēs bija ļoti zemas, norādot uz niecīgu ieguldījumu paraugu diferenciācijā. Papildu tam no modeļa tika izņemts arī Rb, jo tā saturs cieši korelē ar K, un abu mainīgo vienlaicīga iekļaušana nerada papildu informatīvu ieguvumu.

Izstrādātā PLS-DA modeļa grafiskais attēlojums norādīts 3.5. attēlā. Pēc loģistikās regresijas klasifikācijas robežas (raustītā līnija 3.5. att.) redzams, ka tā arī teju vertikāla un klasifikāciju primāri ietekmē elementu slodze tikai uz Komponentu 1 (x-ass). Importa medus klasifikācija balstās galvenokārt uz augstāku Sr un Ba koncentrāciju, savukārt Latvijas medus paraugiem ir proporcionāli augstāka Na, Ca un Mn koncentrācija. Var novērot, ka Ca, Mg un Cu klasifikāciju ietekmē minimāli.

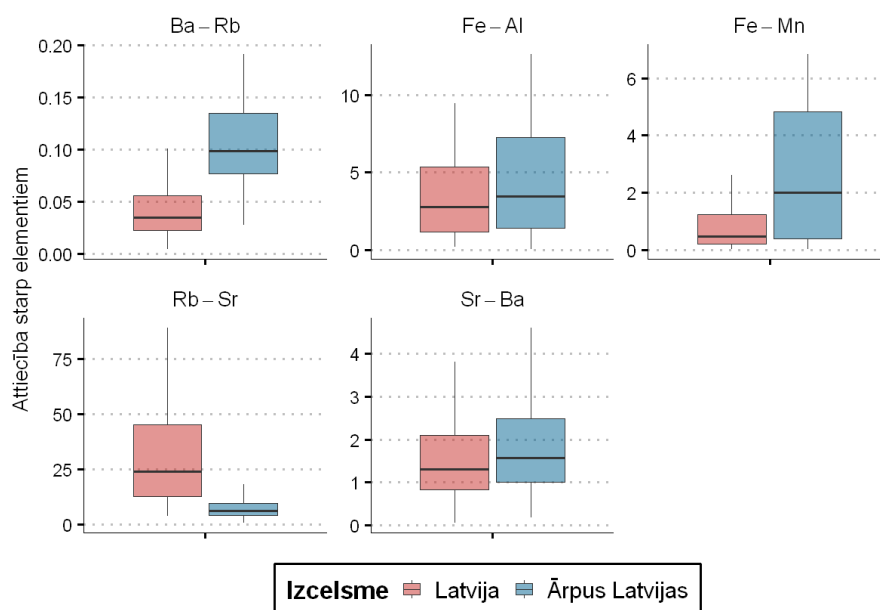


3.5. attēls PLS-DA komponentu izvietojums ar loģistiskās regresijas klasifikācijas robežu (raustītā līnija) Latvijas un importa medus paraugiem (ievades dati – elementu koncentrācija medus paraugos)

Lai novērtētu modeļa stabilitāti un precizitāti, tika veikta atkārtota iekšējā validācija: visi dati tika sadalīti piecās nejaušās apakškopās, un validācija atkārtota 50 reizes, katrā reizē nejauši pārveidojot datu sadalījumu. Izstrādātā modeļa vidējā precizitāte, apmācot un validējot ar šī pētījuma datiem, bija 79-83%. Tā ir augsta precizitāte, tomēr šādam paņēmienam ir būtisks trūkums - modeļa izveidošanai un validācijai tiek izmantota viena un tā pati datu kopa. Tas var radīt riskus PLS-DA modeļa reproducēšanai. Lai pārbaudītu modeļa spēju klasificēt arī neatkarīgus datus, no literatūras avotiem tika iegūti un apkopoti medus elementu profili no dažādiem ģeogrāfiskiem reģioniem [38-40]. Šie ārējie dati ($n = 45$) ir apkopoti 1. pielikumā. Pielietojot izstrādāto PLS-DA modeli neatkarīgai datu kopai, tas spēja pareizi klasificēt tikai 60% paraugu - rezultāts, kas ir tikai nedaudz labāks par nejaušu minējumu. Šie rezultāti norādīti 3.5. attēlā (literatūras avotu medus paraugi apzīmēti ar kategoriju “validation”). Kopumā tas uzrāda, ka, lai gan modelis labi darbojas uz šī pētījuma iekšējiem datiem, tas nav līdz galam reproducējams un nespēj ticami klasificēt medu no ārējiem avotiem, kas ierobežo tā praktisko pielietojamību ģeogrāfiskās izcelsmes noteikšanā.

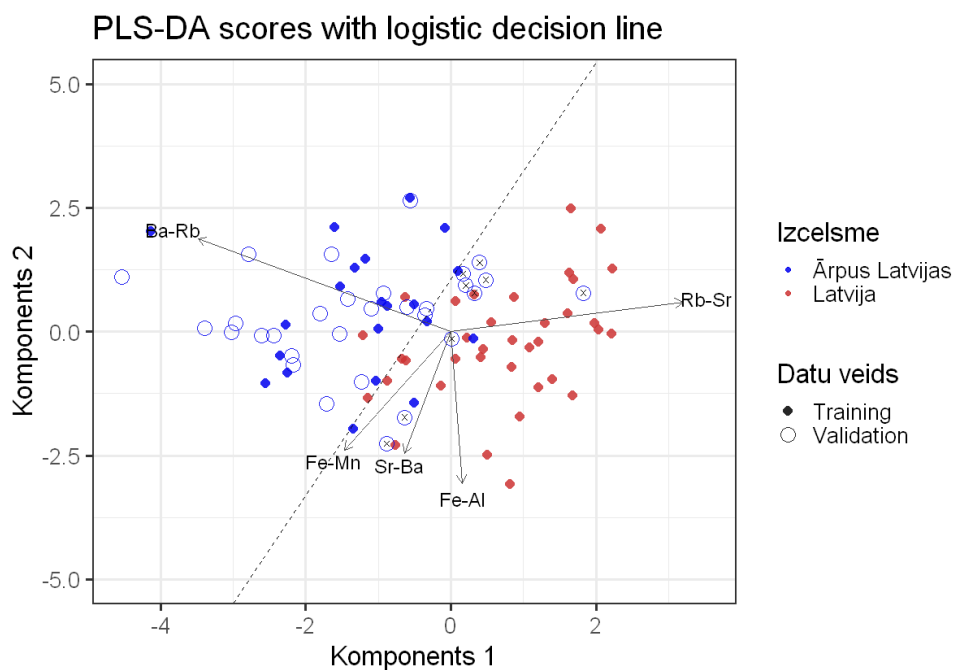
Medus elementu analīzē absolūto koncentrāciju izmantošana ne vienmēr ir optimāla pieeja ģeogrāfiskās izcelsmes noteikšanai, jo šos rādītājus būtiski ietekmē dažādi ārējie faktori, piem., parauga mitrums, bišu barošanās dinamika, sezonālās svārstības un mērījumu tehniskās variācijas. Līdzīgi kā augsnes ķīmijas un augu pētījumos, arī šajā scenārijā precīzāku informāciju varētu sniegt elementu savstarpējā attiecība (piem., Ba/Rb, Fe/Mn vai Sr/Ba). Šādas proporcijas ir mazāk jutīgas pret kopējo mineralizācijas līmeni un mēdz saglabāt reģionāli raksturīgas iezīmes. Tāpēc statistiskajos

modeļos, tostarp PLS-DA, ir lietderīgi iekļaut elementu attiecību rādītājus, kas var uzlabot klasifikācijas precizitāti.



3.6. attēls Vērtībamplitūdas diagramma ķīmisko elementu savstarpējai attiecībai analizētajos medus paraugos atkarībā no ģeogrāfiskās izcelsmes

Turpmākajā analīzes posmā klasifikācijas modeļa veidošanai tika izmantotas sekojošas elementu savstarpējās attiecības: Ba:Rb, Fe:Al, Fe:Mn, Rb:Sr un Sr:Ba. No tām statistiski nozīmīgas atšķirības starp Latvijas un importa medu konstatētas trīs gadījumos — Ba:Rb (p -vērtība $< 0,0001$), Rb:Sr (p -vērtība $< 0,0001$) un Fe:Mn (p -vērtība $= 0,0025$). Šīs atšķirības skaidri redzamas 3.6. attēlā, kur parādīts, ka Ba:Rb attiecība Latvijas medum ir būtiski zemāka nekā importētajiem paraugiem, savukārt Rb:Sr attiecība ir augstāka, atspoguļojot atšķirīgu reģionālo ģeoloģisko fonu.



3.7. attēls PLS-DA komponentu izvietojums ar logistikās regresijas klasifikācijas robežu (raustītā līnija) Latvijas un importa medus paraugiem (ievades dati – elementu attiecības medus paraugos)

Šie relatīvie rādītāji tika izmantoti, lai izveidotu jaunu PLS-DA klasifikācijas modeli, analogiski iepriekš izmantotajai pieejai. Modeļa grafiskā reprezentācija parādīta 3.7. attēlā. Rezultāti liecina, ka tieši Ba:Rb un Rb:Sr attiecību izteiktās grupu atšķirības nosaka dominējošo klasifikācijas virzienu un būtiski ietekmē modeļa lēmumu struktūru. Validējot modeli ar šī pētījuma datiem, tika iegūta augsta klasifikācijas precizitāte (~80%), līdzīga kā iepriekšējam modelim. Tomēr, pretstatā absolūto koncentrāciju modelim, elementu attiecībā balstītais PLS-DA modelis demonstrē uzlabotu reproducējamību, klasificējot arī neatkarīgus ārējos datus no literatūras [38-40]. Šajā gadījumā klasifikācijas precizitāte sasniedza 70%, kas ir jūtami augstāka nekā nejauša minēšana un norāda uz stabilāku ģeogrāfiskās izcelsmes signālu. Tas ļauj secināt, ka elementu savstarpējo proporciju izmantošana būtiski uzlabo klasifikācijas modeļu robustumu. Šāda pieeja varētu kalpot par praktiski pielietojamu instrumentu Latvijas medus izcelsmes autentiskuma novērtēšanā, īpaši situācijās, kur absolūtās elementu koncentrācijas ir pārāk mainīgas vai nepietiekami informatīvas.

SECINĀJUMI

1. Pētījuma projektā iegūti 1397 analītiskie rezultāti medus kvalitātes raksturojumam, no kuriem seši medus kvalitātes rādītāji bija neatbilstoši MK noteikumu Nr. 251 prasībām.
2. Acetamiprīds virs kvantificēšanas robežas (0,010 mg/kg) tika detektēts 25 % no visiem testētajiem medus paraugiem. Papildus šajos pašos paraugos kopā ar acetamiprīdu tika kvantificētas – DEET, flupiradifurona un piraklostrobīna atliekvielas.
3. No trīsdesmit analizētajiem pirolizidīna alkaloīdiem četru savienojumu klātbūtne ļoti zemās koncentrācijās tika konstatēta 15 % medus paraugu. Šie rezultāti apliecina, ka Latvijas izcelsmes medus atbilst ES nekaitīguma prasībām un neuzrāda paaugstinātu PA piesārņojuma risku.
4. Elementu analīze var sniegt būtisku informāciju par medus ģeogrāfisko izcelsmi. Vairākumam elementu absolūtās koncentrācijas parāda augstu rezultātu izkliedi un nelielam skaitam elementu, galvenokārt Mn, Rb un Sr, ir novērojamas statistiski nozīmīgas atšķirības starp Latvijas un importa medu. Galveno komponentu analīze apliecina, ka lielākā daļa variācijas ir saistīta ar kopējo elementu saturu, nevis ar skaidrām reģionālām izmaiņām. Savukārt elementu savstarpējās attiecības sniedz stabilāku ģeoloģisko signālu, kas var uzlabot klasifikācijas algoritmu darbību. PLS-DA modelis, kas balstīts uz šo relatīvo informāciju, demonstrē augstāku reproducējamību un spēj salīdzinoši veiksmīgi realizēt neatkarīgu datu klasifikāciju (salīdzinot ar modeli, kas izmanto absolūtās koncentrācijas). Līdz ar to elementu attiecību izvērtēšanas pieeja ir perspektīvs risinājums Latvijas medus izcelsmes autentiskuma pārbaudē.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Bogdanon, S.; Jurendic, T.; Sieber, R.; Gallmann, P. A. Review: Honey for Nutrition and Health. *J Am Coll Nutr*. 2008, 27, 678–689.
2. Samarghandian S.; Farkhondeh T.; Samini F. Honey and health: A review of Recent Clinical Research. *Pharmacognosy Res*, 2017, 9, 121-127.
3. Alvarez-Suarez, J.M., Tulipani, S., Romandini, S. *et al.* Contribution of honey in nutrition and human health: a review. *Mediterr J Nutr Metab* 3, 15–23 (2010).
<https://doi.org/10.1007/s12349-009-0051-6>
4. Cianciosi, D. *et al.* Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review. *Molecules*. 2018 Sep 11;23(9):2322. doi: 10.3390/molecules23092322.
5. Khan, U. S. *et al.* Honey: single food stuff comprises many drugs. *Saudi J Bio Sci*, 2018, 25, 1-7.
6. Mandal, D.M.; Mandal, S. Honey: its medicinal property and antibacterial activity. *Asia Pac J Trop Biomed*, 2011, 1, 154-160.
7. Poiša, L.; Adamovičs, A.; Teilans, A. Honey production in Latvia. *Sustainable Food Industry* 2025, 1(1). Available online: <https://journals.rta.lv/index.php/SFI/article/view/8372/6831>
8. Potts, S. G., *et al.* (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353.
9. Goulson D, Nicholls E, Botías C, Rotheray EL. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*. 2015 Mar 27;347(6229):1255957. doi: 10.1126/science.1255957.
10. You, E.; Cha, J.H.; Kim, H.J.; Kim, Y.H. Comparison of the Toxicity and Potential Ecological Risks of Various Pesticides for Nurses of Honey Bee (*Apis Mellifera*. L). *Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 2025, 7, 791–801, doi:10.1016/j.eneco.2025.04.008.
11. Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts BIOR. Latvijas izcelsmes medus autentiskuma, kvalitātes un nekaitīguma novērtējums (2021). Available online: <https://www.lbtu.lv/sites/default/files/files/projects/Medus%20atskaite%202021.pdf>
12. Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts BIOR. Latvijas izcelsmes medus autentiskuma, kvalitātes un nekaitīguma novērtējums (2022). Available online: <https://www.lbtu.lv/sites/default/files/files/projects/Medus%20atskaite%202022.pdf>
13. Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts BIOR. Latvijas izcelsmes medus autentiskuma, kvalitātes un nekaitīguma novērtējums (2023). Available online: https://www.lbtu.lv/sites/default/files/files/projects/Atskaite_MEDAUT_2023.pdf

14. Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts BIOR. Latvijas izcelsmes medus autentiskuma, kvalitātes un nekaitīguma novērtējums (2024). Available online: https://www.lbtu.lv/sites/default/files/files/projects/Atskaite_MEDAUT_2024_0.pdf
15. Benbrook, C.M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environ. Sci. Eur.* 2016, 28, 3, doi:10.1186/s12302-016-0070-0.
16. Goulson, D. REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *J. Appl. Ecol.* 2013, 50, 977-987. doi.org/10.1111/1365-2664.12111
17. Capela, N.; Xu, M.; Simões, S.; Azevedo-Pereira, H.M.V.S.; Peters, J.; Sousa, J.P. Exposure and risk assessment of acetamiprid in honey bee colonies under a real exposure scenario in *Eucalyptus* sp. landscapes. *Sci. Total Environ.* 2022, 840, 156485, doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156485.
18. Wang, T.; Frandsen, H. L.; Christiansson, N. R.; Rosendal, S. E.; Pedersen, M.; Smedsgaard, J. Pyrrolizidine Alkaloids in Honey: Quantification with and without Standards. *Food Control* **2019**, 98227–237.
19. Kowalczyk, E.; Kwiatek, K. Pyrrolizidine Alkaloids in Honey: Determination with Liquid Chromatography-Mass Spectrometry Method. *J. Vet. Res.* , 62 (2)173–181.
20. Mädge, I.; Gehling, M.; Schöne, C.; Winterhalter, P.; These, A. Pyrrolizidine Alkaloid Profiling of Four Boraginaceae Species from Northern Germany and Implications for the Analytical Scope Proposed for Monitoring of Maximum Levels. *Food Addit. Contam. Part A* **2020**, 37 (8)1339–1358.
21. Gottschalk, C.; Ronczka, S.; Preiß-Weigert, A.; Ostertag, J.; Klaffke, H.; Schafft, H.; Lahrssen-Wiederholt, M. Pyrrolizidine Alkaloids in Natural and Experimental Grass Silages and Implications for Feed Safety. *Anim. Feed Sci. Technol.* **2015**, 207253–261.
22. Boppré, M. The Ecological Context of Pyrrolizidine Alkaloids in Food, Feed and Forage: An Overview. *Food Addit. Contam. Part A* **2011**, 28 (3)260–281.
23. Wang, T.; Frandsen, H. L.; Christiansson, N. R.; Rosendal, S. E.; Pedersen, M.; Smedsgaard, J. Pyrrolizidine Alkaloids in Honey: Quantification with and without Standards. *Food Control* **2019**, 98227–237.
24. Martinello, M.; Cristofoli, C.; Gallina, A.; Mutinelli, F. Easy and Rapid Method for the Quantitative Determination of Pyrrolizidine Alkaloids in Honey by Ultra Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry: An Evaluation in Commercial Honey. *Food Control* **2014**, 37146–152.
25. Enciklopēdija “Latvijas Daba”. <https://www.latvijasdaba.lv/augi/sistematiskais-raditajs/boraginaceae/> (skatīts 14.11.2025.)

26. Solayman, Md., Islam, Md. A., Paul, S., Ali, Y., Khalil, Md. I., Alam, N., & Gan, S. H. (2015). Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 15, Issue 1, pp. 219–233). Wiley. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12182>
27. Pohl, P., Stecka, H., Sergiel, I., & Jamroz, P. (2011). Different Aspects of the Elemental Analysis of Honey by Flame Atomic Absorption and Emission Spectrometry: A Review. In *Food Analytical Methods* (Vol. 5, Issue 4, pp. 737–751). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9309-y>
28. Di Bella, G., Lo Turco, V., Potortì, A. G., Bua, G. D., Fede, M. R., & Dugo, G. (2015). Geographical discrimination of Italian honey by multi-element analysis with a chemometric approach. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 44, pp. 25–35). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.05.003>
29. ODEH, I., ABULAFI, S., DEWIK, H., ALNAJJAR, I., IMAM, A., DEMBITSKY, V., & HANUS, L. (2007). A variety of volatile compounds as markers in Palestinian honey from *Thymus capitatus*, *Thymelaea hirsuta*, and *Tolpis virgata*. In *Food Chemistry* (Vol. 101, Issue 4, pp. 1393–1397). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.046>
30. Commission, E. Guidance SANTE 11312/2021 – Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed Available online: https://food.ec.europa.eu/system/files/2021-06/cff_animal_vet-progs_guidance_progs_erad_wd-2021-10502.pdf.
31. Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis KOMISIJAS REGULA (ES) 2025/1212 (2025. Gada 24. Jūnijs), Ar Ko Attiecībā Uz Acetamiprīda Maksimālajiem Atlieku Līmeņiem Noteiktos Produktos Vai Uz Tiem Groza Eiropas Parlamenta Un Padomes Regulas (EK) Nr. 396/2005 II Pielikumu. 2025.
32. Boppré, M.; Colegate, S. M.; Edgar, J. A. "Pyrrolizidine alkaloids of *Echium vulgare* honey found in pure pollen." *J. Agric. Food Chem.* 2005, 53 (3), 594–600. DOI:10.1021/jf0484531
33. Lucchetti, M.A.; Glauser, G.; Kilchenmann, V.; Dübecke, A.; Beckh, G.; Praz, C.; Kast, C. "Pyrrolizidine alkaloids from *Echium vulgare* in honey originate primarily from floral nectar." *J. Agric. Food Chem.* 2016, 64 (25), 5267–5273. DOI:10.1021/acs.jafc.6b02320.
34. Inaudi, P., Garzino, M., Abollino, O., Malandrino, M., & Giacomino, A. (2025). Honey: Inorganic Composition as Possible Marker for Botanical and Geological Assignment. *Molecules*, 30(7), 1466. <https://doi.org/10.3390/molecules30071466>
35. Pavlin, A., Kočar, D., Imperl, J., Kolar, M., Marolt, G., & Petrova, P. (2023). Honey Origin Authentication via Mineral Profiling Combined with Chemometric Approaches. *Foods*, 12(15), 2826. <https://doi.org/10.3390/foods12152826>

36. Drivelos, S. A., Danezis, G. P., Halagarda, M., Popek, S., & Georgiou, C. A. (2021). Geographical origin and botanical type honey authentication through elemental metabolomics via chemometrics. *Food Chemistry*, 338, 127936. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127936>
37. Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>
38. Oroian, M., Sonia, S., Amariei, A., Leahu, A., & Gutt, G. (2015). Multi-Element Composition of Honey as a Suitable Tool for Its Authenticity Analysis. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65(2), 93–100. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0018>
39. Grainger, M. N. C., Klaus, H., Hewitt, N., Gan, H., & French, A. D. (2023). Graphical Discrimination of New Zealand Honey from International Honey Using Elemental Analysis. *Biological Trace Element Research*, 202(2), 754–764. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03680-6>
40. Zhou, X., Taylor, M. P., Salouros, H., & Prasad, S. (2018). Authenticity and geographic origin of global honeys determined using carbon isotope ratios and trace elements. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32764-w>

1. Pielikums

Elementu sastāvs (mg/kg) medus paraugiem ārpus Latvijas, kas iegūts no literatūras avotiem

Valsts vai reģions	Na	Mg	Al	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Ba	Lit. avots
Rumānija	171	51,2	11,0	554	53	1,7	19,4	1,8	2,4	0,4	0,3	0,2	[38]
Rumānija	229	75,4	27,0	1648	101	2,5	28,3	3,4	3,9	2,2	0,4	0,5	[38]
Rumānija	154	63,8	13,6	849	164	1,0	24,0	2,4	3,2	1,1	0,4	0,3	[38]
Rumānija	124	50,5	11,2	955	138	0,9	19,2	1,6	2,7	0,9	0,3	0,2	[38]
Argentīna	33	13,0	0,0	392	44	0,2	0,8	0,1	0,7	0,2	0,1	0,0	[39]
Austrālija	281	51,2	2,1	1960	171	2,8	1,4	0,1	57,6	2,8	0,5	0,3	[39]
Austrija	18	42,6	7,0	1430	35	2,9	1,2	0,6	1,4	5,7	0,1	0,1	[39]
Beļģija	15	14,3	0,0	654	34	1,6	0,0	0,2	0,7	0,4	0,1	0,0	[39]
Beliza	25	16,1	0,0	295	46	0,4	0,8	0,0	0,5	0,5	0,1	0,1	[39]
Čīle	23	23,4	2,1	1480	160	1,3	1,9	0,4	0,9	2,6	9,6	5,4	[39]
Ķīna	15	10,1	64,2	145	39	0,1	0,6	0,0	0,3	0,2	0,1	0,0	[39]
Horvātija	18	38,2	0,0	2950	158	21,8	0,6	0,3	1,2	6,5	0,4	1,1	[39]
Dānija	11	27,6	0,9	1120	57	0,4	1,1	0,3	0,6	0,6	0,2	0,1	[39]
Somija	31	26,1	0,0	569	64	1,3	1,3	0,1	0,5	1,0	0,2	0,1	[39]
Francija	17	22,0	0,0	1180	116	5,2	0,7	0,1	1,1	2,6	0,2	0,1	[39]
Gruzija	25	16,5	110	1130	116	5,1	2,3	0,1	0,4	3,6	0,3	0,4	[39]
Vācija	18	21,9	1,8	1090	57	2,0	0,8	0,2	0,7	2,0	0,1	0,1	[39]
Grieķija	33	52,7	8,9	1910	88	1,7	5,4	0,5	1,6	2,7	0,2	0,1	[39]
Indija	86	103,0	8,5	1870	214	17,7	4,4	0,3	1,9	8,7	0,5	0,5	[39]
Itālija	55	22,7	0,0	1000	53	0,3	0,8	0,3	1,0	1,2	0,3	0,1	[39]
Japāna	23	13,1	0,8	1260	52	0,8	1,0	0,1	0,6	3,4	0,3	0,3	[39]
Madeira	118	37,1	0,8	1670	72	2,4	1,5	0,1	1,1	3,3	0,4	0,3	[39]
Maldivija	43	19,0	0,0	450	71	0,7	2,2	0,1	1,1	0,9	0,3	0,2	[39]
Mongolija	26	8,1	0,0	149	27	0,3	2,4	0,1	10,4	0,1	0,1	0,0	[39]
Maroka	24	7,3	1,3	161	31	0,3	1,2	0,1	0,7	0,1	0,1	0,0	[39]
Niue	244	81,6	0,5	1640	107	0,7	1,2	0,6	0,3	0,4	0,1	0,0	[39]
Jaunzēlande	74	31,8	5,4	1280	55	5,2	1,3	0,5	1,0	3,8	0,2	0,2	[39]
Polija	27	40,1	15,6	1230	74	4,0	2,8	0,6	1,7	3,5	0,2	0,1	[39]
Portugāle	45	18,7	0,0	1270	105	0,6	1,5	0,3	1,5	3,9	0,1	0,0	[39]
Krievija	12	14,2	0,0	237	37	2,8	1,3	0,2	1,6	0,6	0,1	0,1	[39]
Dienvīdamerika	70	49,8	3,3	845	158	0,8	5,6	0,2	1,6	0,7	0,8	0,4	[39]
Dienvīdāfrika	37	6,3	0,0	136	19	0,2	2,8	0,0	0,7	0,2	0,1	0,0	[39]
Spānija	42	36,2	0,8	1090	60	0,5	2,7	0,5	2,2	2,1	0,4	0,1	[39]
Turcija	38	18,3	1,5	449	62	0,5	2,0	0,1	2,3	0,4	0,2	0,0	[39]
Apvienotā Karaliste	24	20,5	0,0	473	55	2,2	0,6	0,2	2,1	0,9	0,1	0,1	[39]
ASV	22	26,6	1,8	578	52	2,1	0,5	0,2	0,8	0,7	0,2	0,2	[39]
Uzbekistāna	21	17,7	0,0	711	47	0,3	0,5	0,2	0,5	3,2	0,1	0,2	[39]
Vjetnama	50	19,2	2,5	178	128	0,7	2,1	0,1	0,8	0,4	0,4	0,1	[39]
Kontinentālā Austrālija	137	40,1	2,1	8370	9	4,2	1,4	0,2	1,5	1,8	0,7	0,3	[40]
Tasmānija	28	16,1	2,0	9620	4	3,1	0,9	0,1	0,5	2,2	0,1	0,1	[40]

Āfrika	6	75,0	1,4	7410	12	3,5	2,6	0,0	1,1	4,9	0,9	0,7	[40]
Āfrika	100	24,7	0,1	5020	5	0,8	4,1	0,1	1,3	0,9	0,2	0,2	[40]
Eiropa	19	37,0	1,9	10200	7	2,1	1,4	0,3	1,0	2,0	0,2	0,1	[40]
Ziemeļamerika	21	22,0	0,2	4340	5	0,7	2,7	0,1	1,5	1,0	0,2	0,1	[40]
Izcelsme nav zināma	91	24,0	0,0	6390	7	3,2	2,6	0,1	3,4	1,5	0,4	0,1	[40]