

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

LATVIJĀ PĀRTIKĀ IZMANTOJAMO SĒŅU ĶĪMISKĀ SASTĀVA
IZPĒTE
BAKALAURA DARBS

Autors: Madara Raiska

Stud. apl. nr20049

Darba vadītājs: prof., Dr. habil. ķīm., Māris Kļaviņš

Konsultants: pētnieks, Dr.ķīm., Jorens Kviesis

RĪGA 2023

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā pētīts Latvijā izplatītu sēņu ķīmiskais sastāvs - parastā gailene (*C. cibarius*), brūnā apšubeka (*L. durisculum*), parastā apšubeku (*L. aurantiacum*), parastā žultsbeka (*T. felleus*), parastā cūcene (*L. turpis*), eglu baravika (*B. edulis*) un pelēkā tintene (*C. atramentarius*). Gailenes tika ievāktas pilsētu apkārtnēs, taču bekas, cūcene, baravika un tintene - grants karjeru tuvumā. Darbā tika apkopota literatūra, kas saistīta ar bazīdijsēņu mikoķīmisko sastāvu, kas ietver sēņu vispārīgo raksturojumu un īpašības. No Latvijas reģioniem ievāktie sēņu paraugi tika analizēti, izmantojot dozimetriju, infrasarkanu spektrometriju, induktīvi saistītās plazmas spektrometriju metālu satura noteikšanai, kā arī hromatogrāfijas metodes, lai identificētu un kvantitatīvi noteiktu nesaistītās taukskābes un mikosterolus. Šo paraugu ekstraktiem tika novērtēts ķīmiskais sastāvs savienojumiem, kas pakļauti ārējo faktoru ietekmei. Par pārtikā izmantojumu sēņu paraugiem kalpoja tirdzniecības tīklos iegādātās dažādas kultivētās sēnes - austersēnes (*P. ostreatus*), šimeji (Marmora čemurpūkaine) (*H. tessellatus*), šitaki (*L. edodes*), baltie šampinjoni (*A. bisporus*), brūnie šampinjoni (*A. brunnescens*), lielie, brūnie šampinjoni (*A. brunneofibrillosus*). Izvēlētajos potenciālo piesārņotāju areālos augošajām sēnēm, salīdzinot ar nepiesārņotā vidē ievāktiem paraugiem, būtiskas atšķirības ķīmiskajā sastāvā un mērītajos fizikāli-ķīmiskajos rādījumos, netika fiksētas. Gailenes var izcelt ar tikai tajās konstatēto acetilēntaukskābju klātbūtni, kas nodrošina to spēju aizsargāties pret kukaiņiem. Veiktais pētījums sniedz informāciju par sēņu ķīmisko sastāvu, bioloģiski aktīvajām īpašībām un apkārtējās vides ietekmi uz tām.

Atslēgas vārdi: bazīdijsēnes, piesārņojums, smagie metāli, ergosterols, taukskābes, jonizējošais starojums, gāzu hromatogrāfija, masspektrometrija.

ANNOTATION

The bachelor's thesis studied the chemical compositions of common mushrooms in Latvia - golden chanterelle (*C. cibarius*), bolete (*L. durisculum*), orange oak bolete (*L. aurantiacum*), bitter bolete (*T. felleus*), ugly milk-cap (*L. turpis*), penny bun (*B. edulis*), common ink-cap (*C. atramentarius*). The golden chanterelles were gathered in urban areas, but the boletes, ugly milk-cap, penny bun, and the common ink-cap - near gravel quarries. This work presents a review of literature related to the mycochemical composition of basidiomycetes, including the fungi's general characteristics and characteristics. Samples of mushrooms collected from different regions of Latvia were analyzed using dosimetry, infrared spectrometry, inductively coupled plasma mass spectrometry to determine the metal content, as well as chromatography methods to identify and do a quantitative analysis of fatty acids and mycoosterols. Extracts of these samples were evaluated for the chemical composition of the compounds that are exposed to external factors. Various cultivated mushrooms were purchased in supermarkets and served as food examples - oyster mushrooms (*P. ostreatus*), beech mushroom (*H. tessellatus*), shiitake (*L. edodes*), white champignon (*A. bisporus*), brown champignon (*A. brunnescens*), large brown champignon (*A. brunneofibrillosus*). No significant differences in the chemical compositions and measured physicochemical parameters were recorded for the mushrooms growing in the selected areas of potential pollutants, compared to the samples collected in an unpolluted environment. The golden chanterelle stands out being the only one that tested positive for the presence of acetylenic fatty acids, which ensures its ability to fight against insects. The conducted research provides information on the chemical compositions, biologically active properties of mushrooms, and the influence of the surrounding environment on them.

Key words: basidiomycetes, pollution, heavy metals, ergosterol, fatty acids, ionizing radiation, gas chromatography, mass spectrometry.

SATURS

<i>IEVADS</i>	7
<i>1. LITERATŪRAS APSKATS</i>	9
1.1. Sēņu izpētes pirmsākumi	9
1.2. Sēņu augšanas vide un bioloģiskās īpašības	9
1.3. Sēņu ķīmiskā sastāva izpētes metodes	10
1.4. Bazīdijseņu ķīmiskā sastāva un satura raksturojums	13
1.4.1. Primārie metabolīti	13
1.4.2. Sekundārie metabolīti	16
1.5. Izmaiņas sēnēs UV un gamma starojuma ietekmē	18
1.6. Sēņu loma apkārtējās vides piesārņojuma novērtēšanā	21
1.7. Bioekonomika	21
<i>2. MATERIĀLI UN METODEDES</i>	23
2.1. Sēņu paraugu ievākšana un apstrāde	23
2.2. Ievāktu paraugu ekstrakcija	24
2.3. Taukskābju gāzu hromatogrāfija	25
2.4. Mikosterolu šķidrums hromatogrāfija	26
2.5. Jonizējošā starojuma mērījumi	27
2.6. Metālu noteikšanas analīzes	27
2.7. Furjē transformācijas infrasarkanā spektroskopija	28
2.8. Datu apstrādes metodes	28
<i>3. PĒTĪJUMU REZULTĀTI UN DISKUSIJA</i>	29
3.1. Jonizējošā starojuma indikācija	29
3.2. Smago metālu, mikro- un makroelementu daudzums	30
3.3. Būtiskāko ķīmisko funkcionālo grupu noteikšana sēnēs izmantojot infrasarkanā spektroskopiju	32
3.4. Mikosterolu un to fotoizomēru satura novērtējums kā UV starojuma iedarbības indicators	37

3.5. Taukskābju kvalitatīvās un kvantitatīvās analīzes ar gāzu hromatogrāfiju	39
<i>IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI</i>	45
<i>PIELIKUMI</i>	53

SAĪSINĀJUMU SARAKSTS

FTIR – Furjē transformācijas infrasarkanā spektroskopija (angļu val. *Fourier transform infrared spectroscopy*)

IR – infrasarkanā spektroskopija (angļu val. *infrared spectroscopy*)

h – stundas apzīmējums (latīņu val. *hora*)

UV – ultravioletais starojums

MS – masspektrometrs

GH – gāzu hromatogrāfija (GC – *gas chromatography*)

ULPC – ultra-augstefektīvā šķidrums hromatogrāfija (angļu val. *Ultra-performance liquid chromatography*)

MUFA – mononepiesātinātās taukskābes (angļu val. *Monounsaturated fatty acids*)

PUFA – polinepiesātinātās taukskābes (angļu val. *Polyunsaturated fatty acid*)

UFA – nepiesātinātās taukskābes (angļu val. *Unsaturated fatty acids*)

CLA – konjugēto saišu linoleīnskābe (angļu val. *Conjugated linoleic acid*)

DMSO – dimetilsulfoksīds

TMPAH – trimetilfenilamonija hidroksīds (angļu val. *Trimethylsulfonium hydroxide*)

LOD - noteikšanas robežvērtība (angļu val. *Limit of detection*)

LOQ - kvantitatīvā robežvērtība (angļu val. *Limit of quantification*)

IEVADS

Latvijā meži aizņem 52% no sauszemes teritorijas (LVM 2022) un tiem ir būtiska loma valsts tautsaimniecības attīstībā. Meža resursi ietver arī nekoksnes produktus, kā, piemēram, sēnes. Šobrīd cilvēki apzināti izvēlas dabīgas izcelsmes vietējos produktus. Starp ziemeļvalstīm Latviju var izcelt ar plašu savvaļā augošu sēņu klāstu, un sēņu ievākšana jeb sēņošana ir viena no iecienītākajām nodarbēm. Sēņošana visbiežāk tiek uzskatīta par vaļasprieku, bet nereti tā ir arī izdevīgs ienākumu avots, nododot tās starpniekiem vai pārdodot vietējā tirgū.

Bekas, gailenes un baravikas var uzskatīt par iecienītākajām Latvijā augošajām sēnēm, galvenokārt dēļ to patīkamās garšas. Tās var uzskatīt par augstas uzturvērtības produktiem, jo satur ogļhidrātus, taukskābes, nozīmīgus mikroelementus – Mn, Ba, Si un makroelementus - Mg, Ca, K, S, un cilvēka organismam nepieciešamās olbaltumvielas un šķiedrvielas. Īpaši savvaļā augušās sēnes ir atzīmējamas ar antioksidantu dažādību, piemēram, fenola savienojumu, tokoferolu, askorbīnskābes, karotinoīdu un citu bioloģiski aktīvo savienojumu klātbūtni, kuri ir izmantojami hronisku slimību ārstēšanā. Sēnes darbojas kā antibakteriāls, imūnsistēmu stiprinošs un holesterīna līmeni regulējošs produkts, daļēji pateicoties ūdenī šķīstošai B grupas vitamīnu – riboflavīna (B₂), niacīna (B₃), nikotīnamīda (B₃) un pantotēnskābes (B₅) klātbūtnei. Pateicoties šādam specifiskam sastāvam, bieži vien sēņu ekstrakti tiek izmantoti cilvēku veselības stiprināšanai un ir atrodami kā uztura bagātinātāji (Valverde et al. 2015).

Sēnes tiek uzskatītas par lieliskiem vides piesārņojuma bioindikatoriem. Par vienu no tiem var uzskatīt sēņu spēju akumulēt radionuklīdus. To uzkrāšanās sēnēs var radīt apdraudējumu cilvēka veselībai, tāpēc būtiski ir noteikt radioaktivitāti gan kultivētajās, gan savvaļā augušajās sēnēs (Yamada et al. 2023).

Ir būtiska savvaļas sēņu izpēte attiecībā pret ķīmisko un bioķīmisko savienojumu klātbūtni savvaļas sēnēs, jo ir zināms, ka daudzas savvaļas ēdamo sēņu sugas satur augstu nepiesātināto taukskābju līmeni (Ergönül et al. 2013). Salīdzinot ar citiem augu un dzīvnieku izcelsmes pārtikas produktiem, sēnēs ir augsta polinepiesātināto taukskābju koncentrācija. Sēnēs sastopamas tādas taukskābes kā linolskābe, oleīnskābe, linolēnskābe u.c. (Sande et al. 2019).

Sēņu īpašības un to bioindikācijas spējas var būt nozīmīgi kritēriji, lai noteiktu to veselības kvalitāti un vides piesārņojuma pakāpi noteiktā teritorijā. Visā pasaulē pieaug savvaļas ēdamo sēņu patēriņš un zināšanas par savvaļā augošo sēņu sastāvu ir nepieciešamas,

lai paplašinātu zināšanas par uzturu, it īpaši cilvēkiem, kas izvēlas uzturā neiekļaut dzīvnieku izcelsmes produktus.

Bakalaura darba **mērķis** ir novērtēt Latvijā pārtikā izmantojamo sēņu fizikāli-ķīmisko sastāvu potenciāli piesārņotā vidē, salīdzinot ar nepiesārņotu.

Bakalaura darba uzdevumi:

1. Apkopot un analizēt literatūru pa bazīdijsēņu ķīmisko sastāvu, taukskābju, metālu, mikosterolu saturu un to analīzes metodēm;
2. Veikt pārtikā izmantojamo Latvijas sēņu paraugu ievākšanu un pirmapstrādi;
3. Novērtēt jonizējošā starojuma līmeni ievāktajos sēņu paraugos;
4. Veikt smago metālu, mikro- un makroelementu satura mērījumus;
5. Būtiskāko ķīmisko funkcionālo grupu noteikšana sēnēs ar infrasarkanā spektrometriju;
6. Mikosterolu un to fotoizomēru satura novērtējums kā UV starojuma iedarbības indikatori;
7. Taukskābju kvalitatīvās un kvantitatīvās analīzes ar gāzu hromatogrāfiju.

Bakalaura darbs ietver 3 galvenās nodaļas – literatūras apskatu; materiālu un metožu sadaļu; pētījuma rezultātu un diskusiju sadaļu. Pirmajā nodaļā apkopota informācija par sēņu izpētes pirmsākumiem, sēņu augšanas vidi un bioloģiskajām īpašībām, sēņu ķīmiskā sastāva izpētes metodēm, bazīdijsēņu ķīmiskā sastāva un satura raksturojumu, izmaiņām sēnēs UV un gammas starojuma ietekmē, sēņu lomu apkārtējās vides piesārņojuma novērtēšanā un bioekonomikā. Otrajā nodaļā veikts apraksts par izmantojamajiem sēņu paraugiem, to ekstrakciju, taukskābju gāzu hromatogrāfiju, mikosterolu šķīduma hromatogrāfiju, jonizējošā starojuma mērījumiem, metālu noteikšanas analīzēm, Furjē transformācijas infrasarkanā spektroskopiju un datu apstrādes metodi. Trešajā nodaļā veikta iegūto pētījuma rezultātu izvērtēšana.

Darba kopējais apjoms – 64 lappuses, iekļauti 11 attēli, 5 tabulas un 11 pielikumi.

Par pētījuma rezultātiem ziņots konferencē:

Raiska, M., Kļaviņš, M. *Latvijā augošu un pieejamu sēņu ķīmiskā sastāva izpēte*. Sekcija: Lietišķie pētījumi vides zinātnē. *81st International Scientific Conference of the University of Latvia 2023*.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Sēņu izpētes pirmsākumi

Mikoloģija kā zinātne tika atzīta vien 19.gs., līdz tam sēnes pētīja kopā ar augiem, lai gan dabas pētnieki jau senatnē bija uzsvēruši sēņu atšķirīgās un savdabīgās īpašības. Viduslaikos, kad būtiski attīstījās dabaszinātnes, arī sēnēm tika pievērsta lielāka vērība. Aktuāla kļuva tolaik zināmo sēņu sugu klasifikācija. Tā laika zinātniekus ļoti ietekmēja sengrieķu zinātnieka Teofrasta (372. g. 288. g. p.m.ē.) viedoklis, ka sēnes ir augi bez galvenās daļas (saknes, lapām, sēklām) tika aizgūts un papildināts ar dažādām teorijām par šo organismu augšanu un attīstību. Radās teorija, ka sēnes rodas no mitruma, dažādu organisko vielu, īpaši augu, pūšanas rezultātā un ilgu laiku tika uzskatīta par visnoslēpumaināko dabas produktu (Carteret, Hamonou-Mahieu 2010).

Nozīmīgs atklājums sēņu pētījumos saistīts ar mikroskopa izgudrošanu 1590. gadā, jo zinātniekiem bija iespēja aprakstīt ne tikai sēņu ārējās pazīmes, bet aplūkot arī iekšējās struktūras. Luidži Ferdinando Marsigli 1714. gadā pētīja sēņu vairošanos un secināja, ka micēlijs spontāni veidojas no sadalītām organiskajām vielām un, ka pati sēne rodas micēlija metamorfizācijas rezultātā. Tikai 19. gadsimtā Luiss Pastērs, franču mikrobiologs, noraidīja teoriju par sēņu spontānu veidošanos (Carteret, Hamonou-Mahieu 2010).

Zinātnieki Ķīnā gadsimtiem ilgi ir pētījuši sēņu sugas ne tikai to uzturvērtības un garšas, bet arī farmaceitisko īpašību dēļ. Arī mūsdienās sēnes tiek augsti vērtētas, ko pierāda milzīgā savvaļā augošo un kultivēto sēņu vākšana un tirdzniecība. Ķīna ir lielākā kultivēto sēņu eksportētājvalsts (Boa 2004). Mūsdienās sēnes ir populāri un vērtīgi pārtikas produkti, jo tajās ir maz kaloriju, ogļhidrātu, nesatur holesterīnu, kā arī nodrošina svarīgas uzturvielas, tostarp selēnu, kāliju, riboflavīnu, niacīnu, D vitamīnu, olbaltumvielas un šķiedrvielas.

Samērā ilgu laiku sēnes netika iekļautas nevienā starptautiskā dokumentā, kas saistītas ar dabas aizsardzību, tikai nesenā pagātnē vairākas sēņu sugas tika iekļautas Starptautiskās dabas un dabas resursu aizsardzības savienības (IUCN) apdraudēto sugu sarakstos. Latvijas Sarkanajā grāmatā sēnes pirmo reizi tika iekļautas 1985. gadā – kopumā 32 sugas (Dāniele, Meiere 2020). Šobrīd Latvijā sastopamas 66 aizsargājamo sēņu sugas (MK 2000).

1.2. Sēņu augšanas vide un bioloģiskās īpašības

Sēnes nav pieskaitāmas ne pie augiem, ne dzīvniekiem, tās izdala atsevišķā valstī - sēņu valstī. Sēnes, atšķirībā no augiem, nesatur hlorofilu un nesintezē organiskos materiālus no

oglekļa dioksīda un ūdens. Sēnes ir heterotrofi organismi, tomēr netiek pieskaitīti pie dzīvnieku valsts, jo tās nespēj aktīvi kustēties (Harry, Hudson 1986).

Sēnes, salīdzinot ar citiem augu izcelsmes produktiem, aug un attīstās strauji. Lai sēne izaugtu līdz vidējam lielumam, nepieciešamas aptuveni 3-6 dienas, bet līdz pilnīgam briedumam – 8-12 dienas (Латюк, Попова 2021). Apstākļos, kad ir zems gaisa mitrums, palielinās tārpu invāzija, bet lietainos laika apstākļos tās bojā invazīvais Spānijas kailgliemezis (*Arion vulgaris*), kas šobrīd plaši izplatās Latvijas teritorijā (Jakubāne et al. 2022). Diennakts laikā sēņu augšana nemainās, būtiskākais apstāklis, kas ietekmē sēņu augšanu ir laikapstākļi – sēnes aug straujāk pēc lietusegāzēm. Pirmo 5-8 dienu laikā sēnes organisms aug vienmērīgi, pēc tam turpina augt tikai pati sēnes cepurīte (Латюк, Попова 2021).

Visizplatītākās savvaļā augošās ēdamās sēnes ir gailēņu (*Cantharellaceae*) un beku (*Boletaceae*) dzimtas sēnes. Gailenes ir lapiņsēnes, kas savvaļā aug mitros, mēreni mitros un sausos skujkoku, kā arī jauktu koku mežos (Zviedre 2022). Ļoti reti sastopamas tārpinas gailenes, jo šīm sēnēm piemīt kukaiņu atbaidošas īpašības. Augšanas periods Latvijā ir no jūnija līdz novembrim. Bekas izplatītas skābās augsnēs, skujkoku un jauktu koku mežos (Dāniele, Meiere 2020 ; Vimba 2014). Bekas aug simbiotiski kopā ar kokiem, veidojot mikorizu, kas palīdz no augsnes uzņemt minerālvielas, tas atspoguļojas arī to nosaukumos (Antone, Kalniņa 2017). Beku ģintī ietilpst vairāk nekā 100 sugas (Sokovic et al. 2018).

Lielākoties aizsargājamo sēņu sugas aug tieši dabiskos mežos, jo tajos atrodas daudz kritālas un lielu dimensiju dzīvi koki, kā arī vienmērīgs mitruma līmenis. Sēnes kalpo arī kā indikatoraugi dabiskos mežu biotopos. Par šī brīža lielāko problēmu var atzīt sēņu izplatības apdraudējumu intensīvas mežizstrādes rezultātā, kā arī procesiem, kas saistīti ar zālāju un piejūras kāpu degradāciju (Zviedre 2022).

1.3. Sēņu ķīmiskā sastāva izpētes metodes

Lai noteiktu sēnēs esošās taukskābes un fitosterolus, jāveic paraugu ekstrakcija jeb vielu atdalīšanas process izmantojot šķīdinātājus. Parastās ekstrakcijas metodēs parasti izmanto ūdeni vai organiskos šķīdinātājus, un tās var izraisīt ievērojamu komponentu noārdīšanos. Ekstrahēšanas tradicionālajās metodēs izmanto ūdeni vai organisko šķīdinātāju, atkarībā no savienojuma, ko vēlas iegūt un to gala pielietojuma. Tomēr šīs metodes ir laikietilpīgas un var izraisīt sēnēs atrodamo vērtīgo savienojumu noārdīšanos un koagulāciju. Turklāt organisko šķīdinātāju ekstrakcija ietver dārgu šķīdinātāju izmantošanu (Rosello-Soto et al. 2015).

Ekstrakcija izmantojot ūdeni ir plaši izmantota, jo tā ir ekonomiska metode, un tai nav nepieciešams īpašs aprīkojums. Šāda veida ekstrakcijai nepieciešama augsta temperatūra ($T =$

50–80 °C) un salīdzinoši ilgs apstrādes laiks ($t = 1,5\text{--}5\text{ h}$), tādējādi veicinot vērtīgu savienojumu noārdīšanos (Rosello-Soto et al. 2015).

Ekstrakcija ar ultraskaņu ir lēta, mazāk laikietilpīga un efektīva metode. Ultraskaņas izraisītā ekstrakcija galvenokārt ir saistīta ar akustisko kavitāciju ietekmi, ko šķīdinātājā rada ultraskaņas viļņa pāreja, tādējādi izjaucot šūnu sienas struktūru un paātrinot difūziju caur membrānām (Kumar 2021).

Īpaši augstas izšķirtspējas šķidrums hromatogrāfija (UPLC) sastāv no hromatogrāfijas sistēmas, kas darbojas augsta spiediena apstākļos (līdz 100 MPa). Salīdzinājumā ar augstas izšķirtspējas šķidrums hromatogrāfiju (HPLC), UPLC ir piemērota daļiņām, kuru diametrs ir mazāks par 2 μm , lai iegūtu labāku izšķirtspēju, ātrumu un jutību (Taleuzzaman et al. 2015). Tā ir ļoti jutīga, dinamiska un efektīva tehnika ar uzlabotu izšķirtspēju, kas prasa mazāku šķīdinātāju izmantošanu un nodrošina ātrākus rezultātus, padarot UPLC rentablu un videi draudzīgu. Šī hromatogrāfijas metode arī samazina mobilās fāzes tilpuma patēriņu par 80% ar daudz mazāku darbības laiku (Batool, Mena 2020). UPLC izmanto dabisko produktu un ārstniecības augu analīzei. Tam ir ļoti uzlabotas noteikšanas un atdalīšanas iespējas, lai identificētu aktīvos savienojumus, kas atrodas dabisko produktu un augu izcelsmes zāļu paraugos (Chandraman 2016).

Infrasarkanā (IS) un Ramana spektrometrija ir visplašāk izmantotās vibrācijas spektroskopijas metodes vides objektu ķīmiskās struktūras raksturošanai. IS un Ramana ir lineāras spektroskopijas metodes, kurās inducētā polarizācija ir lineāri saistīta ar elektriskā lauka intensitāti. IR un Ramana spektrometrija tiek plaši izmantotas, lai pētītu celulozi, pektīnu un lignīnu (Kavkler 2012; Garside 2003). Ja konkrētas sastāvdaļas var identificēt vai attēlot ar raksturīgiem signāliem bez citu sastāvdaļu interferencēm, tad to intensitāti var izmantot, lai novērtētu koncentrāciju paraugā. Gadījumos, ja vairākiem sastāvā esošiem savienojumiem ir kopīgas vibrācijas iezīmes un tās nevar atšķirt ar raksturīgiem maksimumiem, tad šāda atsevišķu sastāvdaļu identifikācija un kvantitatīva noteikšana kļūst sarežģīta (Makarem 2019). FTIR piemīt augsta precizitāte, ātrums, paaugstinātu jutību un darbības vienkāršība. Tādēļ polisaharīdi veiksmīgi tiek novērtēti un klasificēti sēnēs ar FTIR palīdzību (Seedevi 2019). Metodes ērtību var raksturot ar salīdzinoši vienkāršo paraugu sagatavošanas un mērījumu procesa veikšanu. Iegūtais signāls tiek pārraidīts caur parauga virsmu vai reflektējas no tās, jo tiek absorbēti konkrēti enerģijas viļņu garumi. Spektra stars iziet cauri detektoram un tālāk tiek nodots apstrādes datorprogrammai enerģijas signālu attēlošanai (Undavalli et al. 2021).

Būtiski novērtēt taukskābju saturu sēnēs, kas ir viens no svarīgākajiem lielumiem uzturzinātnē, tādēļ parasti izvēlas gāzu hromatogrāfiju (Kozarski 2015). Gāzu hromatogrāfijā (GH) par kustīgo fāzi izmanto gāzes, taču par stacionāro fāzi izmanto kapilārās, vairāku metru

garās kolonnas, kas no iekšpuses klātas ar termoizturīgu sorbenta slānīti. GH analīzei nepieciešams piemērots molekulu veids - savienojumiem ir jābūt gaistošiem, nesadalīties un nereaģēt ar stacionārajām un mobilajām sistēmas komponentēm. Mazgaistošu savienojumu analizēšanā, par kādām var uzskatīt taukskābes sēnēs, tiek pielietota mikrosintēze, proti, paraugam pievieno esterificējošu reaģentu. Līdzīgi priekšapstrādi lieto ar mikosteroliem pirms to pētījumiem GH sistēmā (Hamman 2016). Lai izmērītu paraugu ar nezināmu koncentrāciju, tiek ievadīts standarta paraugs ar zināmu koncentrāciju. Lai aprēķinātu koncentrāciju, standarta parauga izdalīšanās laiku un laukumu salīdzina ar testa paraugu (Forgács, Cserhádi 2003). Gāzu hromatogrāfija kopumā (GC) ir viena no populārākajām hromatogrāfijas metodēm gaistošu savienojumu vai vielu atdalīšanai (Forgács, Cserhádi 2003).

Var atzīmēt, ka šķidrums hromatogrāfija komplektācijā ar UV gaismas detektoru ir lieliska metode sterolu un vitamīnu noteikšanai sēnēs. Piemēram, ergosterola kvantitatīvajiem mērījumiem izmanto šī savienojuma UV signāla absorbcijas spēju pie 280 nm (Villares 2014). Līdzīgā veidā tiek noteikts D vitamīns sēnēs (Keegan 2013) un ūdenī šķīstošo B grupas vitamīnu saturu piepēs *Ganoderma tsugae* (Chan et al. 2015). Par vienu no savienojumu grupām, kas ir īpaši interesantas un veido sēņu garšu, var uzskatīt aminoskābes. Par saldajām aminoskābēm uzskata alanīnu, glicīnu, serīnu un treonīnu, bet par rūgtajām aminoskābēm - arginīnu, leicīnu, izoleicīnu, histidīnu, metionīnu, fenilalanīnu un valīnu. Sēņu ūdens un metanola ekstraktos, minēto aminoskābju noteikšana tiek veikta ar šķidrums hromatogrāfiju, kas aprīkots ar fluorescences detektoru. Ņemot vērā aminoskābju īpašību UV gaismas diapazonā neveidot absorbcijas spektru, tiek veidoti fluorescējoši atvasinājumi, pielietojot mikrosintēzes paņēmienus. Apstrādes rezultātā rodas iespēja aminoskābju kvantitatīvai noteikšanai, ieregulējot fluorescences detektora ierosināšanas viļņu garumu pie 250 nm (λ excitation), bet emitējošo pie 395nm (λ emission) (Yuwa-Amornpitak 2020)

Metālu analīzes visbiežāk tiek veiktas izmantojot ICP-MS jeb induktīvi saistītās plazmas-masas spektrometriju. Šo metodi izmanto metālu elementu un izotopu koncentrācijas noteikšanai šķīdros, cietos vai gāzveida paraugos.

Kā vienu no ICP-MS priekšrocībām var uzskatīt tās spēju noteikt elementus pat ļoti mazās koncentrācijās. Paraugu ieteicams sagatavot izmantojot šķīdināšanu teflona kapsulās, jo no stikla tiek izskaloti piemaisījumi. Tomēr arī šie materiāli var saturēt izskalojamus piesārņotājus, piemēram, fosfora vai bārija savienojumus. Visas tvertnes, pipetes, pipešu uzgaļi un tamlīdzīgi priekšmeti jāizmērcē 1–2% HNO₃ (ICP-MS 2016).

1.4. Bazīdijsēņu ķīmiskā sastāva un satura raksturojums

1.4.1. Primārie metabolīti

Minerālvielas

Minerālvielas ir neorganiskas vielas, kas atrodas dzīvajos organismos – augos, dzīvnieku un cilvēku organismos. Tās pēc satura, auga vai organisma darbības nodrošināšanas funkcijām, iedala mikro- un makroelementos. Minerālvielas lielākoties tiek uzņemtas ar uzturu un tām ir būtiska loma dažādu organisma funkciju veikšanai, kā, piemēram, pareizai organisma augšanai, attīstībai un fizioloģijai (Al-Fartusie 2017).

1.1.tabula

Minerālvielu saturs bazīdijsēnēs mg kg⁻¹ sausa svara (*L. turpis*, *C. atramentarius* un *A.brunnescens* – mg kg⁻¹ svaiga sv.)

Sēņu sugas (mērvienība)	Ca	Na	Mg	Zn	K	Fe	Mn	Cu	P	Literatūra
Parastā gailene <i>C. cibarius</i>	747,0	78,0	950	100,0	42,0	57,2	13,0	49,1	-	Brzezicha-Cirocka et al. 2019
Parastā apšubeka <i>L. aurantiacum</i>	55,2	91,4	91,4	-	23287,1	158,5	23,3	-	-	Mleczek et al.2013
Parastā cūcene <i>L. turpis</i>	6630	300	2900	86	2840	54	30	87	-	Niedzielski et al. 2019
Egļu baravika <i>B. edulis</i>	273	351	700	155	24,0	85,2	16,0	31,0	-	Brzezicha-Cirocka et al. 2019
Pelēkā tintene <i>C. atramentarius</i>	-	-	-	288,4	-	162,92	64,20	57,12	-	Bengu 2019
Austersēnes <i>P. ostreatus</i>	1,26	1,53	1,70	142	21,9	682	-	47,1	3,26	Gençcelep et al. 2013
Šimeji <i>H. Tessellatus</i>	89,08	72,62	39,44	6,74	1545,74	12,50	-	-	105,60	Chauhan et al. 2017
Baltie šampinjoni <i>A. bisporus</i>	641,8	-	121,7	61,3	-	153,1	9,9	39,8	-	Yildiz et al. 2019
Brūnie šampinjoni <i>A.brunnescens</i>	19,7	33,0	108,0	4,4	2060	2,3	-	4,0	889,0	Winterboer et al. 1983

Sēnes tiek uzskatītas par bagātīgu minerālvielu avotu un ir veikti daudzi pētījumi par dažādu sēņu sugu minerālo sastāvu (skat. 1.1. tabulu), lai precīzāk novērtētu to uzturvērtību, kā arī atsevišķu komponentu uzkrāšanās mehānismu. Sēņu spēja uzkrāt mikro- un makroelementus ir saistīta ar specifisko micēlija struktūru: veģetatīvo šūnu atklāto virsmu un lielām hifu virsmām. Tām ir spēja uzglabāt minerālvielas lielos daudzumos, pat pārsniedzot koncentrāciju,

kas atrodama vidē, kurā tās augušas. Sēnēm fizioloģiski būtisku elementu (K, P, Mg, Mn, Cu, Ca, Na, Zn) uzņemšana ar micēliju un to tālāku uzkrāšanos auglķermeņos ir atkarīga no to sugas. Atšķirībā no vaskulārajiem augiem, sēnes spēj uzkrāt augstu minerālvielu koncentrāciju, pat augot augsnēs ar zemu metālu saturu. Tādā veidā tās kļūst par īpaši bagātīgu minerālvielu avotu. Sēņu ķīmiskā sastāva atšķirības vienas sugas ietvaros ir lielākas nekā augiem. Katrs atsevišķs augļa ķermenis var rasties dažādu hifu krustošanās rezultātā, un tādējādi tam ir atšķirīgs genotips, līdz ar to arī atšķirīgs minerālvielu saturs. Neņemot vērā sugu atšķirības, būtiski faktori, kas ietekmē mikroelementu līmeni auglķermeņos ir substrāta sastāva līmenis, augsne, pH, enzīmu aktivitāte un lokālais piesārņojums ar mikroelementiem (Gałgowska, Pietrzak-Fiećko 2020). Minerālvielu klātbūtne cilvēka uzturā ir ļoti svarīga, šos elementus iespējams uzņemt galvenokārt tikai ar uzturu. Plaša klāsta mikro- un makroelementu klātbūtne ēdamajās sēnēs ir mudinājusi pētniekus veikt pētījumus par šo izejvielu uzturvērtību.

Olbaltumvielas

Pētījumi liecina, ka olbaltumvielu saturs ēdamajās sēnēs ir robežās no 6,60 līdz 36,87 g 100g⁻¹, ar vidējo vērtību 23,80 g 100g⁻¹ sausu sēņu. Dati liecina, ka ēdamajās sēnēs ir augsts olbaltumvielu līmenis, taču arī tas var atšķirties atkarībā no sugas. Dažām ēdamajām sēnēm ir augstāka olbaltumvielu vērtība nekā dārzeņiem, augļiem un graudaugiem. Lai gan parasti tiek patērēts viss sēnes auglķermenis, jāatzīmē, ka dažādām sēņu daļām ir atšķirīgs olbaltumvielu saturs (Wang, Zhao 2023). Ņemot vērā olbaltumvielu saturu sēnēs, tam ir potenciāls kļūt par nozīmīgu izejvielu gaļas analogu pagatavošanai pievienojot pupiņas, graudaugus un citas augu izcelsmes izejvielas. Nākotnē ēdamo sēņu nozarei ir liels potenciāls, jo to audzēšanai nav nepieciešams liels izejvielu daudzums (Wang, Zhao 2023).

Ogļhidrāti

Ogļhidrāti, tostarp polisaharīdu makromolekulas, ir galvenās sēņu šūnu sienas sastāvdaļas. To vidū noteicošās ir homopolimēru vai heteropolimēru glikāna molekulas, jo tās ne tikai aizsargā sēņu šūnas, bet arī sniedz plašu pozitīvu bioloģisku ietekmi uz dzīvnieku un cilvēku organismiem. Sēnēs ogļhidrāti atrodas monosaharīdu (glikoze, mannoze, galaktoze), polisaharīdu un disaharīdu (trehalozes) veidā (Kuhnu et al. 1990).

Polisaharīdus var uzskatīt par galveno daļu no šūnu struktūrveidotājiem, kā piemēram, glikozes polimeri kā α un β glikāni, celuloze, kas sēnēs sastopama mazos daudzumos, kā arī mannāzes polimēri jeb mannāni. Šūnu membrānu veido arī oligomēri, kas saistīti ar olbaltumvielām, kurus dēvē par glikopeptīdiem. Šūnu stingrību nodrošina hitīns vai hitozāns (Hu, Wang et al. 2014).

Lipīdi

Lipīdi ir mazšķīstoši vai nešķīstoši savienojumi, kas šķīst tikai nepolāros organiskos šķīdinātājos. Lipīdi ir eļļas, taukskābes, terpēni, fosfolipīdi un steroīdi. Šūnu membrānā fosfolipīdi ir izvietoti divos slāņos, tādējādi nodrošinot šūnu aizsardzību un kalpojot par barjeru noteiktām molekulām (Ahmed et al. 2022).

Ir pierādīts, ka plazmas membrānas lipīdi ir svarīgi sēņu aizsardzības regulatori, glikolipīdi piešķir virulentas īpašības vairākām sēņu sugām (Athenaki et al. 2018).

Kopējais lipīdu saturs parasti ir aptuveni no 2 līdz 6 % no sēņu sausnas masas (Kalac, 2009). Sēņu lipīdu frakcijā ir identificēts pietiekoši liels klāsts taukskābju (Kalac, 2013), kas tuvojas vairākiem desmitiem. Tās sastāvā dominē polinepiesātinātās taukskābes, kas veido aptuveni 75 % no kopējā taukskābju daudzuma, no kurām nozīmīgākās ir linolskābe (18:2 Δ 9,12) un oleīnskābe (18:1 Δ 9) (Ribeiro et al. 2009), bet lielāko daļu no piesātinātajām taukskābēm veido palmitīnskābe (C16:0) (Rathee et al. 2012). Tomēr jāatzīmē, ka taukskābju sastāvs sēnēs būtiski atšķiras atkarībā no sēņu sugas (Yilmaz 2006).

Sēņu lipīdu uzturvērtība ir ierobežota, jo to kopējais lipīdu saturs ir neliels un tajos ir mazs vēlamo ω -3 taukskābju īpatsvars (Kalac 2012).

1.2.tabula.

Savvaļā augošu ēdamo sēņu taukskābju saturs (% no kopējā ekstrahētā taukskābju daudzuma)

Taukskābes*	Bazīdijsēņu sugas								
	<i>T. felleus</i>	<i>C. cibarius</i>	<i>B. edulis</i>	<i>P. ostreatus</i>	<i>A. bisporus</i>	<i>L. arantiacum</i>	<i>L. turpis</i>	<i>C. atramentarius</i>	<i>L. versipelle</i>
14:0	0,15	0,09	–	–	0,96	0,65	–	0,28	1,08
15:0	0,57	0,14	–	6,18	3,54	2,53	–	0,58	4,26
16:0	16,0	7,19	24,6	20,54	20,97	16,5	8,02	21,24	21,22
16:1	0,44	0,20	–	4,34	-	2,01	–	0,46	0,96
17:0	0,11	0,09	–	–	3,58	0,12	–	–	0,26
18:0	1,72	3,34	9,1	16,05	11,61	0,90	12,60	10,49	0,88
18:1	25,2	8,13	31,1	12,57	3,46	21,1	26,29	29,81	14,10
18:2	54,4	50,01	33,8	40,31	49,74	52,9	48,55	33,17	55,47
20:1	0,08	27,98	–	–	0,56	0,19	–	–	0,09
22:0	0,09	0,23	1,0	–	5,58	0,25	–	0,00	0,34

22:2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
24:0	0,11	0,51	–	–	–	0,36	–	–	0,10
24:1	0,07	1,23	–	7,22	–	0,25	–	–	0,06
Litera- tūras avoti	Pedneaul t et al. 2006	Barros et al. 2008	Kavis hree et al. 2008	Bengu 2020	Bengu, 2020	Pedneaul t et al. 2006	Vieira et al. 2014	Bengu 2019	Pietrzak- Fiećko et al. 2020

* Miristīnskābe (C14:0), pentadekānskābe (C15:0), palmitīnskābe (C16:0), palmitoleīnskābe(C16:1), margarīnskābe (C17:0), stearīnskābe (C18:0), oleīnskābe (C18:1), linoleīnskābe (C18:2), arahidonskābe (C20:1), behēnskābe (C22:0), dokozodiēnskābe (C22:2), lignocerīnskābe (C24:0), nervonskābe (C24:1).

1.4.2 Sekundārie metabolīti

Mikosteroli

Sēņu sastāvā atrodas unikāli savienojumi, ko sauc par steroliem, kas pārveidojas par D vitamīnu un var kalpot kā UV starojuma līmeņa indikators, neraugoties uz to, ka sēnes aug noēnotās vietās. Vegānā diēta kļūst arvien populārāka un ir nepieciešams meklēt alternatīvas, kā D vitamīnu uzņemt ar augu valsts izcelsmes produktiem. Ir konstatēts, ka dažas no sēņu sugām satur D₂ vitamīnu, ko var palielināt, ņemot vērā sēnēm raksturīgi augsto ergosterola saturu, kas kalpo par izejvielu D₂ vitamīna sintēzei. Sēnes, kas audzējot tiek pakļautas ultravioletā starojuma avotam, piemēram, saules gaismai vai UV starojumam, satur uzturvērtības ziņā nozīmīgus daudzumus D vitamīna. Sēnes svaigā vai apstrādātā veidā, ir bagātas ar sterīniem, galvenokārt ergosterolu (Taofiqa 2017).

Var atzīmēt to, ka samērā maz pētījumi veltīti D₂ vitamīna un mikosterolu noteikšanai savvaļas sēnēs (skat. 1.3. tabulu), vairāk pievērsta uzmanība mikroelementu vai aminoskābju saturam. Pretēja situācija ir kultivēto sēņu pētījumos, kur ergosterola un D₂ vitamīna attiecība tiek rūpīgi iztirzāta atkarībā no pielietotā UV starojuma veida, ilguma un intensitātes ar mērķi gūt paaugstinātas konkurences produktu tirgus vajadzībām.

D vitamīna daudzums katrai sēņu sugai var atšķirties. D₂ vitamīns ievērojamos daudzumos sastopams tādās uzturā lietojamajās sēnēs kā divsporu atmatenēs (*Agaricus bisporus*), šitaki (*Lentinula edodes*), austersēnēs (*Pleurotus ostreatus*) (Taofiqa 2017), šimeji (*Hypsizigus marmoreu*) (Huang et al. 2015). Pēc 2 stundu apstarošanas ar UV gaismu, D₂ vitamīns sēnēs ievērojami paaugstinājās sākot no 0–3,93 mg/g līdz 15,06–208,65 mg/g sausas masas (Huang et al. 2015).

Mikosterolu un ergokalciferola (D₂ vitamīns) saturs savvaļas sēnēs (izteikts mg/g uz sēņu sausa svara mikosteroliem un µg 100g⁻¹ D vitamīnam)

Komponenti	Bazīdijsēņu sugas				Literatūras avots
	Divsporu atmatene A. bisporus	Egļu baravika B. edulis	Parastā gailene C. cibarius	Austersēne P. ostreatus	
Ergosterols (brīvais ¹)	6,42	4,00	0,23	3,31	Villares 2014
Ergosterols (kopējais ²)	3,06	5,69	2,61	3,75	Gil-Ramirez 2011
Fungisterol (kopējais ²)	0,67	0,87	–	0,51	Gil-Ramirez 2011
D2 Vitamīns (kopējais ²)	7,7	–	81,25	–	Mattila 2002

¹ – komponente iegūta ekstrakciju veicot ar mērķi iegūt nesaistītās formas savienojumus; ² – komponents iegūts hidrolīzes ceļā atbrīvojot saistīto savienojumu formas.

Pigmenti

Sēnēs atrodas arī dažādu ķīmisko grupu pigmenti. Dažiem no pigmentiem ir pozitīva loma cilvēku uzturā, bet citi ir kaitīgi. Salīdzinot ar augiem, hlorofils un antociāni sēnēs nav sastopami. Pigmenti pastāv karotinoīdu, hinonu, un melanīnu formās. Šie pigmenti ir filoģenētiski plaši izplatīti. Krāsas izmaiņas, parasti tiek novērotas pēc augļķermeņa audu mehāniskiem bojājumiem. Šāda veida izmaiņas izraisa katalizēta fenolisko savienojumu oksidācija. Piemēram, hinonu krāsa ir mainīga atkarībā no pH, taču biežāk tā krāsojums redzams gaiši dzeltenā un gandrīz melnā tonī. Sēnes toni nodrošina arī kompleksveidojošie hinona savienojumi ar dažādiem metālu sāļiem. Augsta radionuklīdu koncentrācija, kas pēc Černobiļas atomelektrostacijas avārijas tika konstatēta Lāča samtbeķas (*Boletus Fr.*) augļķermeņos, tiek skaidrota ar ¹³⁷Cs kompleksjona veidošanos ar tā sauktajām naftalenoīdu fulvīnskābēm, kas parastos apstākļos veido kālija sāļus sēnes cepurītes miziņā. Galvenie savienojumi ir badions un norbadions, kas ir atbildīgi par šokolādes brūno un zeltaini dzeltenu krāsu *Boletus* sugu cepurīšu miziņās (Velíšek 2011).

Karotinoīdi dabā veido bagātīgu pigmentu grupu. Karotinoīdi ir iesaistīti reakcijās, kas saistīti ar sēņu fototropismu, bet dažu sēņu sugām pilda aizsargfunkcijas pavairošanās laikā. Pierādīts, ka vairāk nekā 200 sēņu sugas spēj ražot karotīnu. Turklāt, melanīns veicina sēņu spēju izdzīvot un attīstīties nelabvēlīgos apstākļos. Sēnēs melanīna molekulas ir polifenolu savienojumu formā. Pateicoties tā fizikāli ķīmiskajām īpašībām, melanīns var būt starpnieks virknē šūnu funkciju, ļaujot tām pielāgoties dažādiem vides faktoriem, tostarp UV gaismas,

karstuma, jonizējošā starojuma iedarbībai un citiem oksidatīvajiem stresa faktoriem. Dažiem pigmentiem ir labvēlīga ietekme, bet citi ir kaitīgi cilvēka organismam (Lin, Xu 2020).

Toksīni

Daudzas sēņu sugas tiek uzskatītas par indīgām, jo tās veido bīstamus toksīnus. Visā pasaulē ir sastopamas daudzas toksiskas sēnes, tostarp tās, kas satur ciklopeptīdus. Mušmiru (*Amanita*) ģintī ietilpst lielākā daļa cilvēkiem toksisko sēņu, kas veido aptuveni 900 līdz 1000 sugu, no kurām deviņas sintezē indīgo amatoksīnu. Mušmiru (*Amanita*) ģints sugas izraisa lielāko daļu nāves gadījumu, kas saistīti ar saindēšanos ar sēnēm (Tavassoli et al. 2019).

Lai gan labi zināms, ka daudzas ēdamās sēnes satur toksīnus, tomēr atšķirība joprojām lielā mērā ir atkarīga no individuālas jutības un apstrādes veida. Veicot statistiskas analīzes ar parasto gaileni (*Chantarelus cibarius*), tika konstatēta lēna cibārskābes veidošanās (maksimālo koncentrāciju sasniedz 15 min laikā), tai reaģējot uz ievainojumiem vai bojājumiem. Tika noskaidrots, ka savienojumam piemīt vāja citotoksicitāte un nematicīda darbība, tādēļ gaileni varētu uzskatīt par nevēlamu sēni uzturā. Tās augļķermeņos cibārskābes koncentrācija bija konstatēta aptuveni 100 mg kg⁻¹. Cibārskābes klātbūtne termiski apstrādātos paraugos netika pārbaudīta, taču karsēšana ūdenī 100 °C temperatūrā 10 minūšu garumā, norādīja par cibārskābes sadalīšanos (Anke 1996).

Vitamīni

Sēnes ir labs vitamīnu avots ar augstu riboflavīna (B₂ vitamīna), niacīna, folskābes un C, B₁, B₁₂, D un E vitamīna daudzumu. Sēnes ir vienīgais augu izcelsmes pārtikas avots, kas satur D vitamīnu, un tāpēc tās ir vienīgās dabiskās D vitamīna sastāvdaļas vegāniem. Atšķirībā no kultivētajām, savvaļas sēnes arī var kalpot kā D₂ vitamīna avoti, īpaši tādēļ, ka D₂ vitamīna ražošanai ir nepieciešama UV-B gaisma (Valverde et al. 2015).

1.5. Izmaiņas sēnēs UV un gamma starojuma ietekmē

Sēnēs esošais ergosterols jeb pro-vitamīns D₂ absorbē UV starojumu no 240 līdz 320 nm (UV-B) un tādējādi, var pieņemt, ka darbojas kā saules aizsargsavienojums. UV-B starojuma iedarbības rezultātā pro-vitamīna ierosinātās 9. un 10. atoma saites šķeļas, tādējādi molekula pārveidojas par pre-vitamīnu D₂, kas pēc tam termiski izomerizējās par atvērtu cis-heksatriēna atvasinājumu jeb vitamīnu D₂. Fotoaktivizējot pre-ergosterolu un tahisterolu notiek ne tikai interkonversija, bet arī gredzena atkalveidošanās, kas noved pie atkārtota ergosterola un lumisterola rašanās (9, 10 trans-izomēri), bet pre-vitamīna D gredzena termiskā atkalveidošanās izraisa piro- un izopirokalciferola rašanos (9, 10 cis-izomēri). Zīmīgi, ka lumisterols, kvantitatīvi foto-izomerizējas par pre-ergokalciferolu. Visbeidzot, var atzīmēt, ka piro- un

izopirokalciferols veido ultravioleto starojumu absorbcijas spektrus, kas ir līdzīgi ergosterola un lumistkrola spektriem, šādā veidā apgrūtinot to identificēšanu ar spektrofotometriskām metodēm (Havinga et al. 1960).

Jāatzīmē, ka endogēnā ceļā iegūtais D vitamīns atšķiras no sēnēs esošā D vitamīna. Vitamīna forma, kas veidojas cilvēku un dzīvnieku ādas audos sauc par D₃ vitamīnu (holekalciferols), bet augos esošo D vitamīnu par D₂ vitamīnu (ergokalciferols). D₂ vitamīns un D₃ vitamīns ir strukturāli ļoti līdzīgi. Vienīgā atšķirība ir tā, ka D₂ vitamīnam ir dubultā saite starp 22. un 23. oglekļa atomiem un metilgrupa uz 24. oglekļa atoma alkilvirknē. Sākotnēji tika uzskatīts, ka šīs vitamīnu formas ir vienlīdz iedarbīgas, taču vistām, kuras baroja ar D vitamīnu, kas iegūts no UV gaismas apstarota rauga, bija minimāla pretrahīta iedarbība, pretstatā mencu aknu eļļas izmantošanai, kas pilnībā novērsa rahīta sekas (Holick 2006).

Radioaktīvie elementi dabiski ir sastopami minerālos un iežos, gaisā, ūdenī un augos, no kuriem tie var nonākt arī cilvēka organismā. Vidējā radiācijas deva pasaules valstīs, uzņemot ar pārtiku ir 0,26 mSv. Fona starojuma vērtības katrā reģionā ir atšķirīgas un nav saistītas ar cilvēka veiktajām darbībām (Kļaviņš 2023). Radionuklīdu uzkrāšanās sēnēs, kuras pēc tam patērē cilvēki var atstāt negatīvu ietekmi uz veselību. Daudzos pētījumos ir apskatīts radionuklīdu saturs sēnēs, galvenokārt tikai radioaktīvā cēzija saturs. Tomēr dabā sastopami arī citi radionuklīdi, kā piemēram, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb un ²¹⁰Po, kam arī būtu nepieciešams pievērst uzmanību, lai nodrošinātu pietiekamu sabiedrības radioloģisko aizsardzību (Guillen, Baeza 2014).

Pētījumi, kuros novērtēta jonizējošā starojuma ietekme, lielākoties ir pieejama tikai kultivētām sēņu sugām - *Agaricus bisporus*, *Lentinus edodes* un *Pleurotus ostreatus*. Ir pierādīts, ka sēņu apstarošana ar gamma starojumu pagarinātu svaigu sēņu glabāšanas laiku. Pārtikas veselības organizācija apliecina, ka apstarotu pārtika cilvēkam nav kaitīga (WHO 1994). Ieteicamā deva svaigu sēņu derīguma termiņa pagarināšanai ir 1 – 3 kGy (Fernandes 2013). Lielākā daļa pārtikas saglabāšanas metodes darbojas palēninot vai kavējot mikroorganismu augšanu. Apstrādājot tās ar karstumu un jonizējošu starojumu var pilnībā kavēt mikrobu augšanu, kā rezultātā tiek iegūti komerciāli sterili un uzglabājami pārtikas produkti (Fernandes 2015).

Apstarošana ir spējīga izmainīt lipīdu saturu pastarpinātā veidā izraisot molekulāro autooksidāciju jeb tiešā veidā iedarbojoties ar augsta starojuma iedarbību, iniciējot elektronu pārgrupēšanos. Taukskābju autooksidācija lielākoties notiek izmantojot brīvo radikāļu ķēdes reakcijas mehānismu. Tā kā nepiesātināto saišu tieša reakcija ar skābekli ir termodinamiski sarežģīta, pirmajiem dažiem radikāļiem, kas nepieciešami, lai sāktu lavīnveida reakciju, jāveidojas, izmantojot skābekli. Pēc pietiekama daudzuma brīvo radikāļu veidošanās, ķēdes

reakcija izplatās, ūdeņraža atomiem pievienojoties dubultsaišu pozīcijām (α), kam seko skābekļa ofensīva šajās vietās, kā rezultātā rodas peroksīda radikāļi $ROO\cdot$. Tie savukārt atņem ūdeņradi no citu molekulu metilēngrupām RH , veidojot hidroperoksīdus $ROOH$ un jaunus radikāļus ($R\cdot$ grupas), kas reaģē ar skābekli, un process šādi lavīnveidīgi turpinās, parasti novedot pie dubultsaišu stāvokļa maiņas taukskābēs (Nawar 1986). Tiek uzskatīts, ka lipīdu radiolīzes mehānisms ietver arī molekulas jonizāciju, kam seko pozitīvā lādiņa migrācija vai nu uz karboksilgrupu, vai uz dubultsaitēm, šādā veidā veicinot nepiesātināto taukskābju noārdīšanos (Molins 2001). Ierosinātās molekulas noārdīšanās ceļš ir iespējams ar vairākām variācijām, proti, molekula var disociēt brīvajos radikāļos ($A^* \rightarrow C^* + D^*$), veidot atsevišķas molekulas ($A^* \rightarrow E + F$) jeb apvienoties ar citu ($A^* + B \rightarrow AB$), realizēties elektronu pārnese ($A^* + B \rightarrow A^+ + B^-$) vai ūdeņraža pārnese ($A^* + RH \rightarrow AH^* + R\cdot$) (Nawar 1986).

Ņemot vērā gamma starojuma pozitīvo pielietojuma pieredzi sezonāla rakstura pārtikas produktu tirdzniecības laika pagarināšanā un to kvalitātes saglabāšanā, zinātniskajā literatūrā atrodami arī tehnoloģiskie risinājumi kultivēto sēņu fizikālo parametru stabilizēšanai. Realizācijas laika pagarināšanai, gamma apstarošanas tehnoloģija galvenokārt pētīta *Agaricus*, *Lentinula* un *Pleurotus* ģints pārstāvēm (Fernandes et al. 2011).

Starp savvaļas sēnēm, gamma starojuma ietekme uz ķīmisko sastāvu, antioksidatīvo aktivitāti un fizikālajiem parametriem pētīta *Lactarius deliciosus* sugai. Pētījumā secināts, ka apstarošana bija efektīva 1 kGy dozas apmērā, saglabājot svaigā parauga ķīmisko sastāvu, sākot no apstarošanas brīža līdz neatgriezeniskas bojāšanās pazīmēm (Fernandes et al. 2012). Eksperimenta laikā tika novērots, ka 1 kGy dozas ($1 \cdot 10^9 \mu Sv$) ietekme uz ogļhidrātiem, antioksidatīvās aktivitātes EC_{50} vērtībām, uzturvērtības parametriem un tokoferoliem bija mazāk nozīmīga nekā izmaiņas, ko izraisīja glabāšanas laiks. Apstaroto un neapstaroto *L. deliciosus* paraugu ogļhidrātu saturs (zināms kā uzticams atbilstošas uzglabāšanas tehnoloģijas rādītājs) un uzturvērtības profils (kas jā saglabā vadoties no jebkuras uzglabāšanas metodes) uzrādīja lielu līdzību (Fernandes et al. 2012).

Apstrāde ar 2,0 kGy ($2 \cdot 10^9 \mu Sv$) devu, egļu baravikai (*B. edulis*) un klinģerenēm (*H. Repandum*), uzrādīja pelējuma un patogēno baktēriju likvidēšanas efektu, pagarinot to glabāšanas laiku no 2 līdz 8 dienām, glabājot 10 °C temperatūrā (Lacroix 2000; Skou 1974).

Egļu baravikas (*B. edulis*) testi ar dažādu gamma-starojuma dozas pielietojumu skaidri uzrādīja atšķirības starp starošanas devām. Ar 1 kGy apstarotajām baravikām tika konstatēts fruktoze satura samazinājums, bet no taukskābēm – arahidīnskābes (C20:0) un eikozopentaēnskābes (C20:5) satura sarukums. Par pozitīvu efektu tika atzīmēta fumārskābes, kopējo mononepiesātināto (MUFA) taukskābju un atsevišķu piesātināto taukskābju (C23:0; C24:0) satura palielināšanās efekts. Apstarojumu paceļot līdz 2 kGy, konstatēta visu izomēru

formu tokoferolu (α -, γ - un δ -tokoferols) sastāva izmaiņas. Apstarošana līdz minimumam samazināja brīvo ogļhidrātu saturu un maksimāli palielināja γ - un δ -tokoferola daudzumu. Šāds efekts tika skaidrots ar iepakojuma atmosfēras izmaiņām cukuru noārdīšanās rezultātā, jo tokoferola noārdīšanās ir cieši saistīta ar brīvā skābekļa pieejamību. Turklāt, α -tokoferols tika konstatēts tikai neapstarotajos paraugos. Apstarošana samazināja arī skābeņskābes un citronskābes saturu. Attiecībā uz gamma starojuma ietekmi kopumā, visievērojamākās izmaiņas tika novērotas olbaltumvielu saturā, kas pēc apstarošanas būtiski samazinājās (Fernandes et al 2013).

1.6.Sēņu loma apkārtējās vides piesārņojuma novērtēšanā

Bioindikatori ir organismi, kas reaģē uz kādām noteiktām vielām, tādējādi ļaujot noteikt apkārtējās vides kvalitāti. Sēnēm ir plaši attīstītas micēlijas un tās savos audos spēj uzkrāt toksiskas vielas, kā piemēram, smagos metālus un pesticīdus. Pateicoties šai sēņu spējai, nav ieteicams ievākt sēnes lielu autoceļu, rūpnīcu tuvumā. Sēnes var kalpot kā apkārtējās vides piesārņojuma indikators, jo sēnes micēlijam ir salīdzinoši ilgs mūžs, kas padara tās par ļoti labiem bioindikatoriem. Tāpēc to bioakumulācijas īpašības var izmantot, lai noteiktu pat zemu piesārņojuma līmeni (Marzano et al. 2001)

Salīdzinājumā ar augiem, ēdamās sēnes var saturēt lielu daudzumu smago metālu, kā, piemēram, svīnu, kadmiju un dzīvsudrabu. Galvenie faktori, kas ietekmē smago metālu uzkrāšanos sēnēs, ir vides faktori - metālu koncentrācija augsnē, pH, organiskās vielas un atmosfēras piesārņojums.

Pēc Černobiļas atomelektrostacijas avārijas tika veikta dažādās valstīs savākto ēdamo baravīku paraugu analīze. Neskatoties uz ilgo laiku kopš Černobiļas avārijas, Taro ielejā, Itālijā ievāktās baravīkās, tika noteikta liela radiocēzija koncentrācija (Marzano et al. 2001).

1.7.Bioekonomika

Tiek prognozēts, ka iedzīvotāju skaits 2050.gadā pasaulē varētu pieaugt līdz 9,5 miljardiem. Pieaugot cilvēku skaitam, būtiski palielināsies arī pieprasījums pēc dažādām precēm, it īpaši pārtikas. Jau šobrīd Zeme nespēj atjaunot to resursu daudzumu, ko cilvēki patērē ikdienā, tāpēc ir jāmeklē ilgtspējīgi risinājumi, kas ļautu nodrošināt cilvēku vajadzības arī turpmākajām paaudzēm, nepasliktinot to dzīves kvalitātes līmeni un nekaitējot videi (A sustainable bioeconomy for Europe 2018).

Bioekonomika ir tautsaimniecības daļa, kur atjaunojamie dabas resursi (augi, dzīvnieki, mikroorganismi) tiek izmantoti ražošanas procesā pārdomātā un ilgtspējīgā veidā, lai ražotu pārtiku, rūpniecībā izmantojamus produktus, kā arī enerģiju. Viens no senākajiem civilizācijas tautsaimniecības sektoriem ir bioekonomika, kurai ar zinātnes un biotehnoloģijas palīdzību, ir potenciāls kļūt par vienu no modernākajām tautsaimniecības nozarēm. Bioekonomikas attīstības galvenie virzieni ir lauksaimniecība, zivsaimniecība, pārtikas rūpniecība, mežsaimniecība, kokrūpniecība, celulozes un papīra rūpniecība, kā arī atsevišķi ķīmiskās rūpniecības, biotehnoloģiju un enerģētikas nozaru sektori (A sustainable bioeconomy for Europe 2018).

Daba, ekonomika un sabiedrība ir trīs ilgtspējīgas attīstības pamatprincipi uz kā balstās bioekonomika. Latvijā bioekonomikai ir liels potenciāls, jo Latvijas ekonomikas attīstības spēcīgākās nozares ir lauksaimniecība un mežsaimniecība. Daudziem vietējās bioloģiskas izcelsmes produktiem piemīt augsts potenciāls, kas palielina produktu pievienoto vērtību, aizstāj fosilos kurināmos enerģijas ražošanā, izstrādājot nākotnes bioloģiskas izcelsmes produktus un samazinot siltumnīcefekta gāzu emisijas (Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2016).

Latvija ir bagāta ar atjaunīgiem bioloģiskajiem resursiem, kā piemēram, meži, tāpat šeit ir liels zinātniskais potenciāls un tiek veikti dažādi pētījumi, kas saistīti ar Latvijā pieejamajiem, atjaunīgajiem resursiem. Turklāt, arvien pieaug arī to uzņēmēju skaits, kuri vēlas pilnveidot savu uzņēmumu un ražot inovatīvus produktus un pakalpojumus. Latvijā ir arī radoša sabiedrība, kas prot novērtēt un atbalstīt vietējos, jaunus uzņēmējus (Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2016).

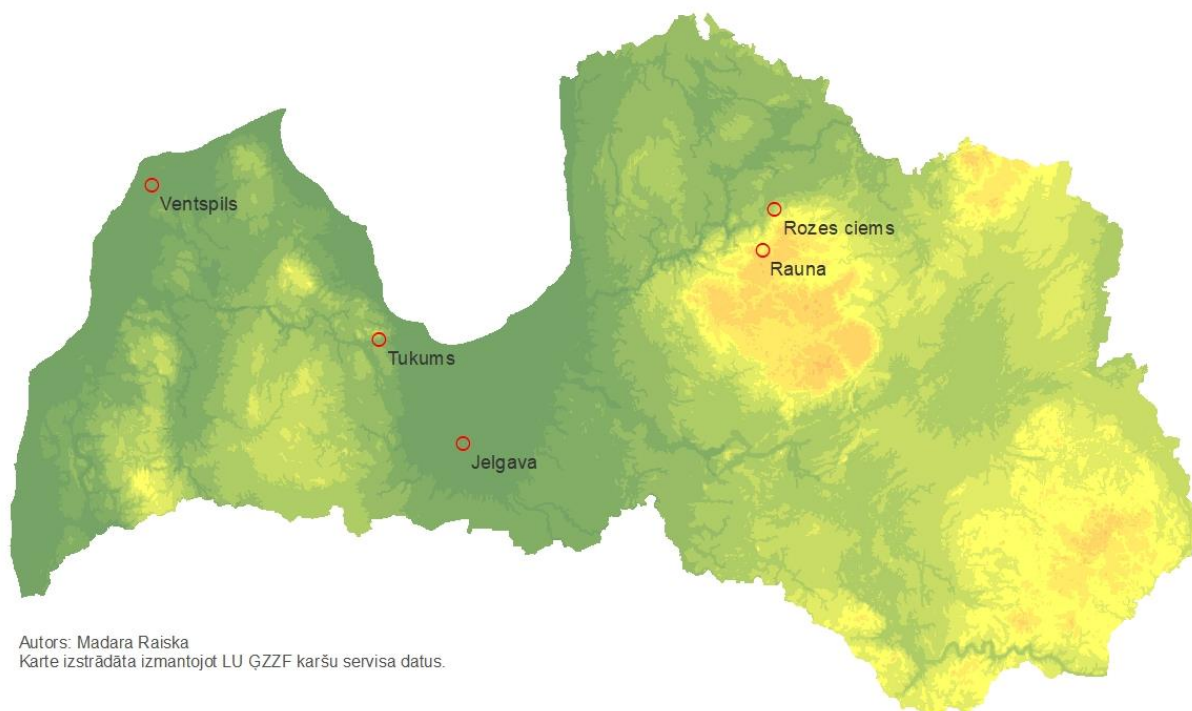
Bioresursu ražošana un efektīva pārstrāde galvenokārt ir saistīta ar bioekonomikas attīstību. Bioekonomika tieši lauku teritorijām un reģioniem rada lielas attīstības iespējas, tā veicinās šo reģionu būtisku attīstību (Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2016).

2. MATERIĀLI UN METODES

2.1.Sēņu paraugu ievākšana un apstrāde

Par pētījuma objektiem kalpoja pārtikā izmantojamās Latvijas sēnes. Savvaļā augošās sēnes - parastā gailene (*Cantharellus cibarius*), brūnā apšubeka (*Leccinum duriusculum*), parastā apšubeka (*Leccinum aurantiacum*), parastā žultsbeka (*Tylopilus felleus*), parastā cūcene (*Lactarius turpis*), egļu baravika (*Boletus edulis*), pelēkā tintene (*Coprinus atramentarius*) tika ievāktas ar rokām. Kultivētās sēnes - austersēnes (*Pleurotus ostreatus*), šimeji (Marmora čemurpūkaine)(*Hypsizygu tessellatus*), šitaki (*Lentinula edodes*), baltie šampinjoni (*Agaricus bisporus*), brūnie šampinjoni (*Agaricus brunnescens*), lielie, brūnie šampinjoni (*Agaricus brunneofibrillosus*) tika iegādātas veikalā.

Parastās gailenes *Cantharellus cibarius* paraugu ievākšanas vietas



1.1.attēls.Parastās gailenes *Cantharellus cibarius* paraugu ievākšanas vietas.

Sēņu paraugi ievākti 2023. gada rudens sezonā - no septembra līdz oktobrim, Jelgavas, Ventspils un Tukuma piepilsētas mežos, kā arī atklāta grants karjera izstrādes apkārtnē – Rozēs un Raunā - Raunas pagastā, Smiltenes novadā (2.1. attēls). Par ievāktu sēņu piederību sugai, konsultēja Diāna Meiere no Latvijas Mikologu biedrības.

Sēnes pēc ievākšanas tika ievietotas un uzglabātas saldētavā -20 °C. Pēc nogādāšanas laboratorijā, tika notīrītas, nosvērtas un liofilizētas. Liofilizācija ir vissaudzīgākā ātri bojājošo

produktu žāvēšana metode. Liofilizēšanas laikā ūdens sublimācija noris pazemināta spiediena un temperatūras apstākļos (Bhambere 2015). Rezultātā izžāvētās sēnes tika nosvērtas un sasmalcinātas, izmantojot laboratorijas asmeņu dzirnaviņas. Sausu sēņu pulveris tika izsijāts caur nerūsējošā tērauda sietu ar 0,5mm acs diametru, bet putekļveida daļiņas tika aizvāktas ar 0,25 mm sietu (skat. 2. attēlu). Iegūtais sēņu pulveris tika uzglabāts hermētiskā plastikāta iepakojumā.



2.2.attēls. Pēti sēņu paraugu žāvēšana un izpētei sagatavotie paraugi

2.2.Ievākto paraugu ekstrakcija

Lai noteiktu sēnēs esošās taukskābes un fitosterolus, tika veikta paraugu ekstrakcija. Sēņu paraugu ekstrakcijas process tika intensificēts ar ultraskaņas palīdzību. Aptuveni 8 mg sasmalcinātam sēņu pulverim pievienoti 10mL dimetilsulfoksīda (DMSO). Šķīdums 30 minūtes tika ievietots ultraskaņas vanniņā uzturot aptuveni 40 – 45 °C temperatūru. Pēc apstrādes šķīdumam pievienoti 10 ml metanola/ūdens šķīdums (CH₂OH/H₂O 1:1 v/v) un 20 ml heksāna (C₆H₁₄), un vēlreiz atkārtota ekstrakcija ar ultraskaņu 40°C temperatūrā 30 minūtes. Iegūtais ekstrakts centrifugēts ar 4000 apgr./sek (2575 xg) 10 minūtes. Atlikumu trīs reizes ekstrahēja ar 20 ml heksānā un dekantēja pēc centrifugēšanas (skat. 2.3. attēlu). Heksāna

frakcijas tika apvienotas un ietvaicētas izmantojot vakuuma rotācijas iekārtu. Sausais atlikums atkārtoti tika šķīdināts 4,0 ml etanolā (96%). Sagatavotais paraugs tika pakļauts šķidrums hromatogrāfiskajiem mikosterolu noteikšanas pētījumiem. Ekstrakcijas metode veikta balstoties uz aprakstu, kas izklāstīts Huang et al. 2015 pētījumā. Identiski tika sagatavoti paralēlie paraugi, kas pēc vakuuma rotācijas, tika šķīdināti 4,0 ml ētera/metanola šķīdumā ($\text{CH}_3\text{O}/\text{CH}_3\text{OH}$ 1:1 v/v). Vienam mililitram sagatavotā šķīdumam pievienoti 5 μl 1% fenoftaleīna šķīduma metanolā, un 50 μl trimetilfenilamonija hidroksīda (TMPAH) [79266] reaģenta, metilatvasinājumu veidošanai. Sagatavotais paraugs tika pakļauts taukskābju noteikšanas mērījumiem ar gāzu hromatogrāfiju. Parauga sagatavošana veikta saskaņā ar ASTM D5974 – 96 standartā izklāstīto aprakstu.



2.3.attēls. Sēņu paraugu ekstrakcijas process

2.3.Taukskābju gāzu hromatogrāfija

Sēņu hromatogrāfiskās analīzes veiktas lietojot „Perkin Elmer” „Clarus 580” gāzu hromatogrāfu, kas aprīkots ar maselektīvo detektoru ar kvadrupolu tipa analizatoru „Clarus SQ 8 C”. Savienojumi izdalīti lietojot polietilēnglikola stacionārās fāzes Omegawax 250 kapilāro kolonnu ($30\text{ m} \times 0,25\text{ mm}$, $0,25\text{ }\mu\text{m}$ sorbenta slānīša biezums). Kolonnas termostata sākuma temperatūra $75\text{ }^\circ\text{C}$ (iztur $2,0\text{ min}$), tad paaugstina līdz $130\text{ }^\circ\text{C}$ ($20\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$), tad līdz $205\text{ }^\circ\text{C}$ ($4\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$) un nobeidz pie $230\text{ }^\circ\text{C}$ ($2,9\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$) ar $10,88\text{ min}$ izturēšanas laiku (analīzes laiks 43 min). Nesējgāzes (hēlijs, tīrība 5.0) programmētais plūsmas ātrums 1.0 ml min^{-1} ar plūsmas

dalījumu 1:4 (10 mL min⁻¹). Paraugs šķaidīts metanols/etilēteris 1/1 v/v un ievadītais tilpums hromatogrāfijas sistēmā bija 1 µL. Masselektīvā detektora režīms tika ieregulēts sekojošs: elektronu trieciena jonizācija (elektronu enerģija 70 kV); jonu avota temperatūra: 230 °C; vadules temperatūra: 260 °C; kopējo jonu plūsmas režīms m/z intervālā: 25-480; jonu pavairotāja strāva: 1700V ar 0,2 s skenēšanas laiku (625 Da/sek). Iekārtas vadību nodrošināja „TurboMass Ver6.0.0” programmatūra, bet datu apstrāde realizēta ar „NIST MS 2.2 Library (FairCom Corp., USA)” datorprogrammu.

Piesātināto un nepiesātināto taukskābju koncentrācija aprēķināta ar ārējā standarta kalibrēšanas metodi, par standartvielu izmantojot metilheptadekanoātu, koncentrācijas diapazonā no 5–500 µg mL⁻¹. Iegūto metilheptadekanoāta taisni apraksta sekojošs vienādojums: $y=826651551 \cdot x-1483$ (y –signāla laukums, normalizētā intensitāte sekundē; x –koncentrācija, mg mL⁻¹), ar taisnes korelācijas koeficienta vērtību $R^2 = 0,9990$. Metodes kvantitatīvā robežvērtība - LOQ 0,14 mg mL⁻¹; noteikšanas robežvērtība - LOD 0,05 mg mL⁻¹. Atsevišķas taukskābes (konjugēto saišu tauks. - CLA) tika identificētas atbilstoši to izdalīšanās laikiem (Alves 2009; Rodríguez-Alcalá 2012) un to masspektri salīdzināti ar atsaucēm spektru bibliotēkā (NIST datu bāzes).

2.4. Mikosterolu šķidrums hromatografija

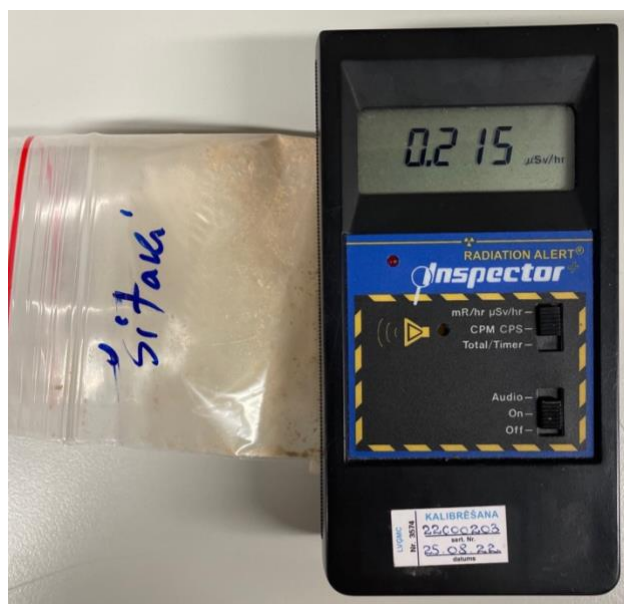
Šķidrums hromatogrāfijas metode mikosterolu un to fotoizomēru kvantitatīvajām analizēm ekstraktā, tika izstrādāta balstoties uz Keegan et al. 2013 norādījumiem sēņu paraugu identificēšanā un testēšanā (uz Keegan et al. 2013).

Hromatogrāfiskajiem mērījumiem tika izmantota Waters Acquity UPLC H-class iekārta aprīkota ar augstspiediena sūkņu (Quaternary Solvent Manager) sistēmu, automātisko paraugu ievades sistēmu (FTN), kolonnas termostatu (CHA) un ultravioletās UV gaismas detektoru (PDA eλ Detector). Hromatogrāfiskā procesa un datu apstrādē izmantota Waters Empower3 Pro programmatūra.

Mērījumi veikti lietojot UPLC BEH C18 analītisko kolonnu (1,7 µm, 2,1 × 150 mm), kas termostatēta pie 30 °C. Ķīmisko savienojumu izdalīšanās kontrolēta ar UV detektoru pie 265 un 280 nm. Kvantitatīvie mērījumi veikti ar ārējās kalibrēšanas standartu metodi par references standartu izmantojot ergosterolu ($y=4607457x+47653$; $R^2=0,9991$) un ergokalciferolu ($y=23830079x-11708$; $R^2=0,9998$) (y –signāla laukums, µV·s; x –koncentrācija, mg mL⁻¹). Metodes kvantitatīvā robežvērtība ergokalciferolam (D2) - LOQ 0,06 mg mL⁻¹; noteikšanas robežvērtība - LOD 0,02 mg mL⁻¹. Metodes kvantitatīvā robežvērtība ergosterolam - LOQ 0,03 mg mL⁻¹; noteikšanas robežvērtība - LOD 0,01 mg mL⁻¹.

2.5. Jonizējošā starojuma mērījumi

Jonizējošā starojuma mērījumi tika veikti izmantojot SE International Inspector portatīvo detektoru. Mērinstrumenta tipiskā noteikšanas efektivitāte pie 1 MeV ir apmēram 25 %. Gamma-starojumu noteikšanas robežas sastāda 0,01 - 1000 $\mu\text{Sv/hr}$ ar precizitāti $\pm 10\%$, temperatūras intervālā no 10 °C līdz 50 °C. Mērinstrumenta precizitāti nodrošina iebūvētā references standartviela - ^{137}Cs (3340 CPM/mR/h). Zemākais noteikšanas līmenis ^{125}I ir 0,02 μCi (700 μSv) ciešā kontaktā ar objektu. Aptuveni 100,0 g samaltie sēņu paraugi tika mērīti ciešā kontaktā caur polietilēna maisiņiem (2.4.attēls). Katram paraugam tika veikti 50 mērījumi ar mērķi noteikt zemākās un augstākās starojuma vērtības (fluktuācijas). Līdzīgi veikti iepakojuma fona mērījumi, kas atrēķināti no pamatmērījumiem, kuri rezultējoši izteikti mērījuma mediānas vērtībās.



2.4. attēls. Jonizējošā starojuma mērīšana

2.6. Metālu noteikšanas analīzes

Lai noteiktu metālu elementu saturu sēņu paraugos, aptuveni 5,0 mg smalcināta (0,5 mm) sēņu pulvera tika nosvērti 120 ml PTFE kapsulās, tad pievienots tam 10 ml 70% HNO_3 (ACS reaģenta pakāpe) pēc kā kapsulas tika noslēgtas. Pēc paraugu mineralizācijas "Ethos Easy" mikroviļņu kamerā (2. tabula), no PTFE kapsulām tika ventilējot aizvadīts NO_x pārpalikums un paraugi filtrēti caur celulozes filtrpapīru un filtrāts atšķaidīts līdz 50 ml ar dejonizētu ūdeni (11 M Ω) jeb galīgajam svaram 50 g. Analogiski tika sagatavoti paralēlie paraugi (divi atkārtojumi).

Sagatavotie paraugi analizēti izmantojot „Thermo Scientific iCAP 7200“ sērijas induktīvi saistītās plazmas spektrometru ar optiskās emisijas detekciju (iCAP-OES Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy). Datu apstrādi nodrošina „Qtegra ISDS Software 2.10“. Iekārtas parametri ieregulēti atbilstoši LVS EN ISO 11885:2009 5. nodaļas „Ieteicamie viļņu garumi, kvantitatīvās noteikšanas robežas un svarīgākie spektrālie traucējumi” aprakstam ar nelielām parametru izmaiņām.

Metālu kvalitatīvās un kvantitatīvās analīzes realizētas ar multielementu ICP standartu (XVI), kas satur 21 elementus slāpekļskābes šķīdumā [1.09487.0100] (Certipur) ar koncentrāciju 100 mg L⁻¹. Atsevišķi sagatavoti K (200 mg L⁻¹), Al (40 mg L⁻¹), Ca (400 mg L⁻¹), Na (40 mg L⁻¹), Mg (40 mg L⁻¹), Mn (10 mg L⁻¹), Zn (10 mg L⁻¹), Fe (40 mg L⁻¹), Cu (200 mg L⁻¹) šķīdumi, no Scharlau firmas standarta šķīdumiem (1000 mg L⁻¹, 0,5 mol L⁻¹ HNO₃). Lineārās sakarības ciešums raksturots ar korelācijas koeficientu, kas nebija zemāks par R²>0,9990.

2.7. Furjē transformācijas infrasarkanā spektroskopija

Furjē transformācijas infrasarkanā spektroskopijas analīzes tika veiktas ar IRTracer-100 spektrofotometrisko iekārtu. Spektru iegūšanai, nepieciešams sagatavot prestableti. Par balastmateriālu, izvēlēts kālija bromīds (KBr), ņemot vērā tā augsto gaismas caulaidības spēju ($T \geq 80\%$), kas vidējajā apgabalā 5000 – 667 cm⁻¹ veido tikai 3% no traucējošās intensitātes. Prestabletes iegūšanai tika ņemti aptuveni 1 – 5% sausa sēņu parauga pulvera un rūpīgi saberzti pietā kopā ar KBr. Prestabletes mērījumi tika veikti infrasarkanās gaismas intervālā no 2500 – 20 000 nm jeb viļņu skaitļa robežās no 500 līdz 4000 cm⁻¹.

2.8. Datu apstrādes metodes

Datu pirmapstrāde un aprēķini tika veikti izmantojot MS Office Excel programmatūru.

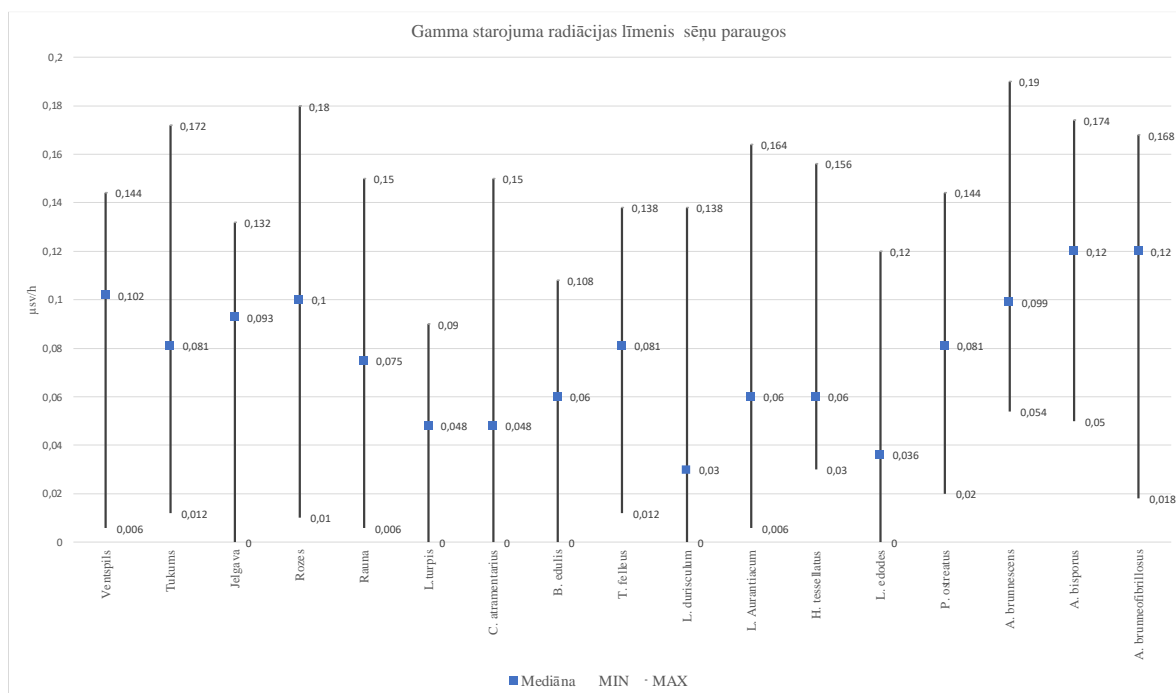
3. PĒTĪJUMU REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Jonizējošā starojuma indikācija

Ir zināms, ka sēnēs vides radioaktīvā piesārņojuma gadījumā intensīvi uzkrājas radionuklīdi, kuru klātbūtni var noteikt, nosakot sēņu emitēto γ starojumu. Veicot sēņu paraugu jonizējošā starojuma mērījumus tika konstatēts, ka ievāktajos sēņu paraugos γ starojuma līmenis ir robežās 0,00-0,19 $\mu\text{Sv/h}$ (3.1. attēls), kas ir atbilstoši fona starojuma līmenim Latvijā (VDD 2022). Dozimetriskā mērījuma specifika nosaka salīdzinoši lielo mērījumu rezultātu izkliedi, tomēr vidējās vērtības ir tuvas. Aukstākās mediānu vērtības starp visām sēnēm uzrāda tirdzniecības vietās iegādātie kultivētie baltie šampinjoni (*A. bisporus*) un brūnie šampinjoni (*A. brunnescens*), kuru audzēšanā, iespējams, izmantota koksnes mulča, kas ir potenciāls un ilglaicīgs gamma starojuma avots. Atzīmējams arī, ka atšķirības starp savvaļā ievāktām un tirdzniecībā iegādāto sēņu paraugu starojumu dozām nav būtiskas.

Vislielākās koncentrācijas no visiem sēņu paraugiem uzrāda Ventspilī ievāktais paraugs – 0,102 $\mu\text{Sv/h}$, kas varētu būt skaidrojams ar salīdzinoši augstākiem fona rādītājiem Ventspilī (VDD 2022). Grants karjera apkārtnē, Raunā, no visiem gailēņu paraugiem ir vismazākā γ starojuma koncentrācija. Vismazākās γ starojuma koncentrācijas no visām grants karjera apkārtnē ievāktajām sēnēm ir egļu baravikai, parastajai apšubekai – 0,06 $\mu\text{Sv/h}$ un brūnajai apšubekai – 0,03 $\mu\text{Sv/h}$.

No kultivētajām sēnēm viszemākās starojuma koncentrācija noteiktas šitaki – 0,036 $\mu\text{Sv/h}$, bet visaugstākās – lielajiem, brūnajiem šampinjoniem un baltajiem šampinjoniem – 0,12 $\mu\text{Sv/h}$. Neviens no pētītajiem paraugiem nepārsniedz vidējo radiācijas (0,26 mSv) devu pasaules valstīs, kas tiek uzņemta ar pārtiku (Kļaviņš 2023).



3.1. attēls. Gamma starojuma līmenis pētītajos sēņu paraugos atkarībā no to ievākšanas vietas (minimālie un maksimālie mērījumu lielumi un to mediānas vērtības)

3.2. Smago metālu, mikro- un makroelementu daudzums

Sēnēs iespējams novērot plašu minerālvielu klāstu. Vislielākās koncentrācijas gailēņu paraugos kopumā konstatētas kālijam ($43729,5 \mu\text{g g}^{-1}$), fosforam ($4510,9 \mu\text{g g}^{-1}$) un magnijam ($1001,5 \mu\text{g g}^{-1}$). No gailenēm, Ventspilī ievāktā gailene satur vislielāko mikro un makroelementu daudzumu, attiecīgi $50518,2$ un $43729,5 \mu\text{g g}^{-1}$, savukārt, vismazāko Raunā ievāktās gailenes ar kopējo elementu daudzumu – $38282,9 \mu\text{g g}^{-1}$. Sēņu paraugu elementu saturs attēlots 1. – 3. pielikumā.

No analizētajiem sēņu paraugiem, visaugstākās alumīnija koncentrācijas konstatētas pelēkajai tintenei – $267 \pm 15 \mu\text{g g}^{-1}$. Gailēņu paraugos alumīnija koncentrācijas ir robežās no 91 – $62 \mu\text{g g}^{-1}$, ar lielāko daudzumu – Tukumā ievāktajai gailenei, bet mazāko – Rozēs ievāktajai. Savvaļā augošās sēnēs konstatēts lielāks Al daudzums nekā kultivētājās. Kultivētajās sēnēs alumīnija daudzums ir robežās no <1 – $8 \mu\text{g g}^{-1}$. Šādas alumīnija koncentrācijas atšķirības paraugos varētu būt skaidrojamas ar augsnes sastāvu.

Nozīmīgas kalcija koncentrācijas raksturīgas visiem sēņu paraugiem, gailēņu paraugiem tā daudzums svārstās no $160,3$ – $545,1 \mu\text{g g}^{-1}$, grants karjera apkārtnē ievāktajām no $20,0$ – $513,19 \mu\text{g g}^{-1}$, bet veikalā iegādātajām – $17,1$ – $312,51 \mu\text{g g}^{-1}$, tomēr būtiski atzīmēt Ventspilī ievāktās gailenes, kurās kalcija saturs ir $545 \mu\text{g g}^{-1}$, pelēko tinteni ar kalcija daudzumu – $545 \mu\text{g g}^{-1}$, brūno šampinjonu – $312 \mu\text{g g}^{-1}$.

Ar vislielāko dzelzs saturu no visām sēnēm var izcelt pelēko tinteni (*C. atramentarius*) ar kopējo saturu – 197,6 $\mu\text{g g}^{-1}$, kā arī tintenē ir vislielākā kālija koncentrācija – 56538 $\mu\text{g g}^{-1}$. Būtiskas fosfora koncentrācijas konstatētas kultivētajām sēnēm – brūnajiem šampinjoniem (10769 $\mu\text{g g}^{-1}$), baltajiem šampinjoniem (11042 $\mu\text{g g}^{-1}$) un lielajiem brūnajiem šampinjoniem (12594 $\mu\text{g g}^{-1}$). Vislielākais sēra daudzums noteikts parastajai žultsbekai – 4698 $\mu\text{g g}^{-1}$ un parastajai apšubekai – 4103 $\mu\text{g g}^{-1}$. no veikalā iegādātajām, vislielākais sēra daudzums konstatēts šitaki (8274 $\mu\text{g g}^{-1}$) un lielajam, brūnajam šampinjonam (3065 $\mu\text{g g}^{-1}$). No gailenēm (skat. 3.1.tab.) sēra daudzuma ziņā izceļas Rozēs ievāktā gailene. Sēņu paraugos tika noteikts arī cinka saturs, kas ir robežās no 10,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ (baravikai) līdz 100,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ pelēkajai tintenei. Netika konstatēts tādu mikroelementu saturs, kā B, Be, Li, Se, Tl, ieskaitot V un Mo kas attiecīgi, tika konstatēts vienīgi pelēkajās tintenēs (*C. atramentarius*) un lielajā brūnajā šampinjonā (*A. brunneofibrillosus*).

Sēnes satur nozīmīgas minerālvielas, kas normas robežās nepieciešamas arī pilnvērtīgai cilvēka organisma darbībai. Var secināt, ka sēnes ir vērtīgs uzturvielu avots.

Nevienā no paraugiem netika konstatēta smago metālu klātbūtne būtiskās koncentrācijās. Netika konstatēta tādu smago metālu klātbūtne kā svins un arsēns. Kadmija daudzums tika konstatēts robežās 0,1 – 0,4 $\mu\text{g g}^{-1}$.

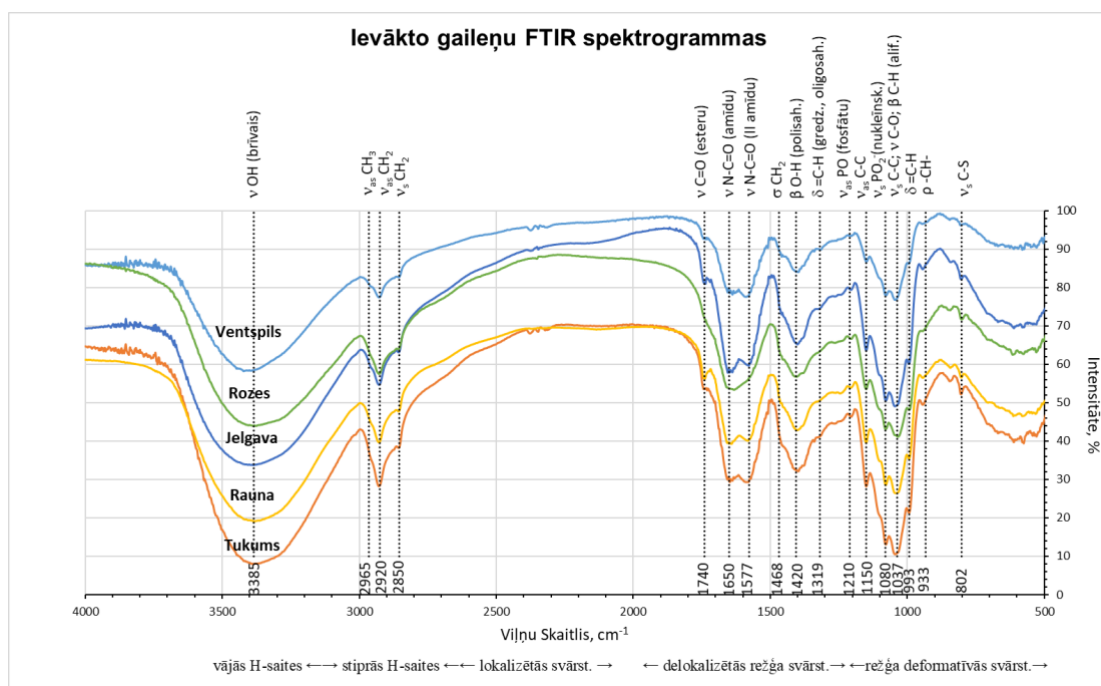
3.1.tabula.

Visu ievākto gailēņu zemākās un augstākās metālu satura vērtības ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Elements	MAKS	MIN	LOD	LOQ	Elements	MAKS	MIN	LOD	LOQ
Al	93,6	61,2	0,8	2,5	Mo	<0,5	<0,5	0,5	1,5
As	<6	<6	5,6	18,5	Na	170,3	28,2	6,4	21,3
B	<5	<6	4,8	15,9	Ni	1,4	0,7	0,3	0,9
Ba	1,3	0,6	0,5	1,6	P	4510,9	3669,8	8,3	27,2
Be	<0,01	<0,01	0,0	0,0	Pb	<0,8	<0,8	0,8	2,6
Ca	546,2	157,0	8,5	28,1	S	798,4	527,0	11,2	37,0
Cd	0,3	0,1	0,1	0,3	Sb	2,2	<1,3	1,3	4,2
Co	0,6	0,2	0,2	0,7	Se	<5	<5	5,0	16,6
Cr	0,8	<0,2	0,2	0,7	Si	144,1	72,1	0,9	3,1
Cu	36,7	21,5	0,3	0,8	Sr	1,0	0,4	0,2	0,6
Fe	74,9	38,1	4,6	15,2	Ti	0,1	0,5	0,5	0,2
K	43729,5	32371,6	140,5	470,0	Tl	<4	<4	3,9	12,9
Li	2,1	1,6	2,2	7,3	V	<0,2	<0,2	0,2	0,7
Mg	1001,5	787,2	1,3	4,4	Zn	88,0	49,0	0,1	0,4
Mn	26,0	16,2	0,1	0,2					

3.3. Būtiskāko ķīmisko funkcionālo grupu noteikšana sēnēs izmantojot infrasarkanā spektroskopiju

Atbilstoši ievāktu Latvijas reģionu vietām, 3.5. attēlā apkopotas gaileņu sausmasas IR spektrogrammas. Spektrogrammās redzami vairāki izteikti augstas intensitātes apgabali. Sēņu matricas šķiedrās (glikānos, hemicelulozē, celulozē) adsorbētās/absorbētās ūdens molekulas veido dažādas iedarbības H-saites, kas realizējas starpmolekulārā, iekšmolekulārās un intramolekulārās sadarbības formās. Augstāko viļņu amplitūdā, novērojamas -OH grupu vibrācijas ar maksimumu pie 3385 cm^{-1} , kas tiek attiecinātas uz brīvā ūdens absorbciju, taču zemākas frekvences signāls 3275 cm^{-1} parasti tiek attiecināts uz kristāliskās vai puskrīstāliskās šķiedrvielas ūdeņraža saišu mijiedarbībām. Augsto intensitāti/laukumu gaileņu paraugos pie 3385 cm^{-1} , varētu izraisīt gan pats ūdens saturs, gan sēņu šķiedras hemilelulozes/celulozes iekšmolekulārā un starpmolekulārā ūdeņražsaišu veidošanās (Ramamoorthy et al. 2015). Spektra signāli starp $3700\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ un $3200\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$, šķietami saplūst viens ar otru, veidojot platu $3700\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ absorbcijas joslu, kas norāda ne tikai par būtisku mitruma saturu, bet var liecināt par papildus ūdeņraža saišu veidošanos ar hidrofoba rakstura mijiedarbību variācijām pašā sēņu šķiedrā.

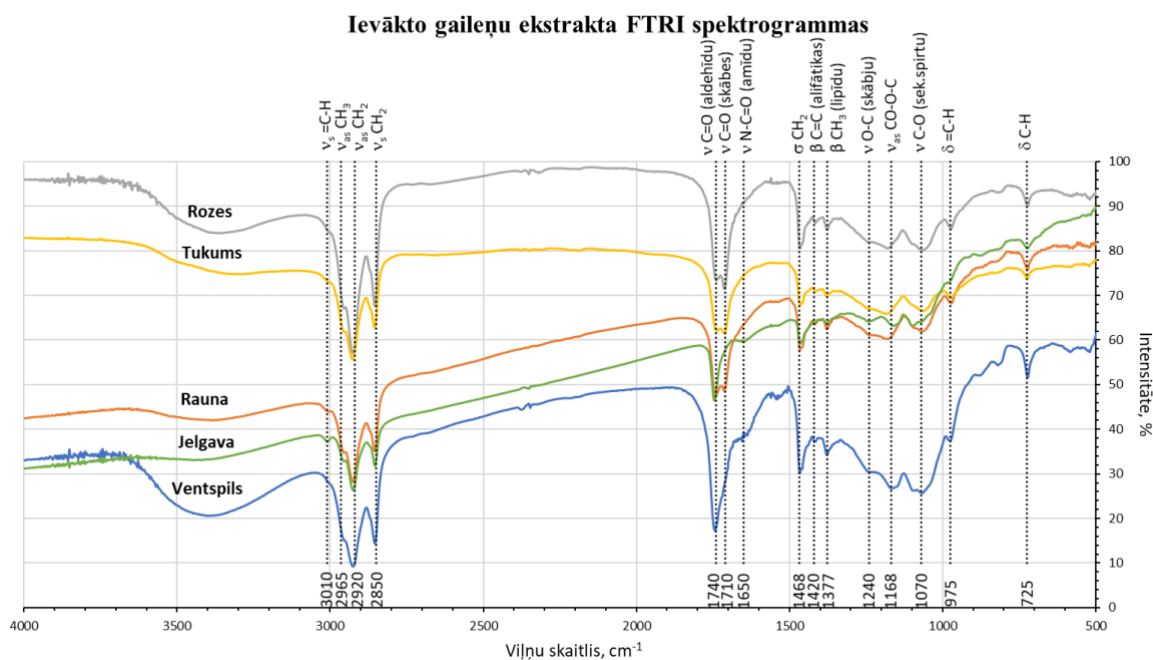


3.2.attēls. No dažādu Latvijas reģionu ievāktu gaileņu sausās masas FTIR spektrogrammas.

Signālu maksimumi pie 1650 cm^{-1} un 1577 cm^{-1} , atbilst pirmējo un otrējo amīdu grupām, kas liecina par olbaltumvielu klātbūtni sēņu sausmasā. Par olbaltumvielu peptīdu saites veidotājiem kalpo amīda grupas. Visām gailēm absorbcijas vērtības pie lipīdu maksimuma

1740 cm^{-1} ir zemākas par absorbcijas vērtībām olbaltumvielu (1700-1500 cm^{-1}) un polisaharīdu signālu (1200-900 cm^{-1}) apgabalos. Starp gailenēm ar lielāko polisaharīdu intensitātes apgabalu, var izdalīt Tukuma apkaimē ievākto paraugu, taču ar zemāko intensitāti var izcelt Ventspils paraugu, kuram tas līdzvērtīgs olbaltumvielu absorbcijas vērtībām. Gaileņu spektrogrammas liecina, par ievērojamu polifosfātu, fosfolipīdu un nukleīnskābju saturu ar raksturīgajiem maksimumiem pie 1300-1200 cm^{-1} . Gaileņu šūnu sienīņu polisaharīdi, spirti un karboksilskābes veido O-H saišu lieces (plaknē) vibrācijas pie 1420 cm^{-1} frekvences, kas novērojamas visiem gaileņu paraugiem.

Gaileņu ekstraktu FTIR spektri apkopti 3.6. attēlā. Izmaiņas spektros pēc ekstrakcijas ar DMSO/heksāns tika konstatētas pie 1650 cm^{-1} un 1577 cm^{-1} maksimumiem, kas attiecināma uz amīdu saitēm olbaltumvielās. Būtiski samazinājās signālu intensitāte arī maksimums pie 1080 cm^{-1} un 1093 cm^{-1} , kas saistīts ar nukleīnskābju un ogļhidrātu skeleta vibrācijām. Šīs izmaiņas atklājušas jaunus, līdz tam fonētus signālus, kas pārsvarā atbilst sekundāro spirtu (1070 cm^{-1}) un asimetriskajām esteru saišu (1168 cm^{-1}) vibrāciju frekvencēm. Starpmolekulārā karbonilgrupu iedarbība ir svarīgs faktors signāla maksimumu veidošanai pie 1740 cm^{-1} ar plecu pie 1710 cm^{-1} .



3.3.attēls. No dažādu Latvijas reģionu ievākto gaileņu sausmasas ekstrakta FTIR spektrogrammas.

Nākamais intensīvāko signālu apgabals ir saistīts ar C=C lieces vibrācijām alkānos 1468 cm^{-1} un 1420 cm^{-1} alkēnos, kas īpaši izteikts un raksturīgs sterolu molekulas spektrogrammām

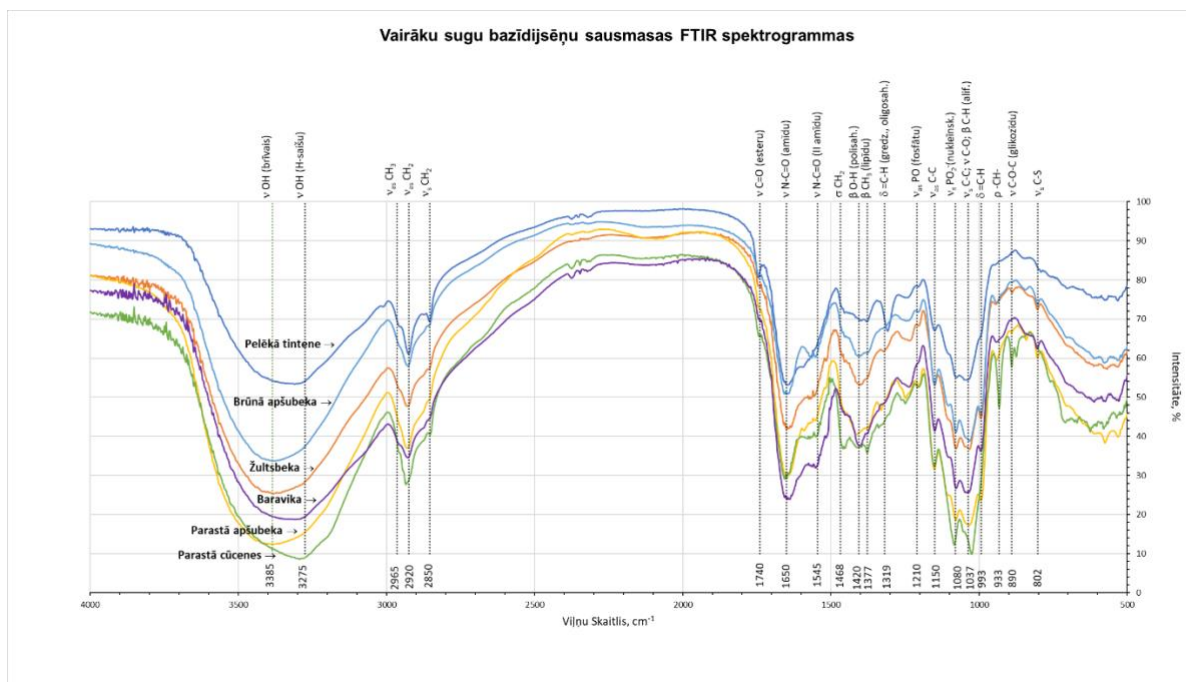
(Manea et al. 2007). Šis maksimums varētu norādīt par vienu no sēnēs izplatītākā mikosterola klātbūtni – ergosterolu.

C-H stiepes vibrāciju apgabalā ($3010\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$) ir metila (CH_3) un metilēna (CH_2) svārstības, no kurām katra ir iedalīta antisimetriskajās (as) un simetriskās (s) svārstībās. Katras CH_2 grupas pieaugums taukskābes molekulā novirza svārstību maksimumu no garākās frekvences (2990 cm^{-1}) uz īsāko daļu. Virknes garums, kas atbilst aptuveni oktadekānskābei, veido signālus pie 2920 cm^{-1} (Filopoulou et al. 2021), no kā varam secināt par vidēji garu taukskābju (C16:0 – C18:0) saturu gaileņu ekstraktos. Tā saucamās lokanās CH_2 svārstības novērojamas pie 725 cm^{-1} . Interesanti atzīmēt literatūrā minētu polietilēna pētījumu, kura laikā novērota sakarība starp $-\text{CH}_2-$ grupu skaitu un viļņu frekvenci (Smith 2021). Metilēnu grupu skaits, kas pārsniedz 4 vienības, nobīdīja signālu no $785\text{-}770\text{ cm}^{-1}$ (butāna gadījumā) līdz $725\text{-}720\text{ cm}^{-1}$. Šāds novērojums mūsu gadījumā varētu liecināt, ka gaileņu ekstrakti nesatur īso virkņu alifātiku un alifātiskās taukskābes.

Raugoties no pielietotā ekstrakcijas veida, saprotama ar mitruma saturu saistītā apgabala $3700\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ absorbcijas joslas zemā intensitāte. Ekstrakts vairs nesatur sēņu veidojošās šķiedras, kas bija spējīgas aktīvi veidot H-saišu mijiedarbības ar ūdens molekulām.

Grants karjera izstrādnes apkārtņē ievākto dažādu bazīdijseņu sausmasas IR spektri apvienoti 3.7.attēla spektrogrammā. No ievākto sēņu klāsta, kopīgu IR spektrogrammas ainu veido bekas, tajā skaitā baravika. Baravikai absorbcijas vērtībām olbaltumvielu ($1700\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$) un polisaharīdu signālu ($1200\text{-}900\text{ cm}^{-1}$) apgabalos ir ar līdzvērtīgu intensitāti. Turklāt, olbaltumvielu apgabalā izteikti dominē signāls pie 1650 cm^{-1} , atšķirībā no gaileņu spektrogrammām, kurās vienlīdz izteiktas ir pirmējā un otrējā amīda saišu frekvences. Novērotais liecina par būtiski atšķirīgu proteīnu sastāvu un koncentrāciju, ņemot vērā otrējā amīda maksimuma nobīdi uz īsākās frekvences daļu (1545 cm^{-1}).

Parastai cūcenei (*L. turpis*) deformatīvās (δ) metilēna (CH_2) vibrācijas, kas tiek attiecinātas uz lipīdiem, novērojamas $1470\text{-}1430\text{ cm}^{-1}$ intervālā. Signāls dalās divās joslās, kas redzama, kā maksimums pie 1468 cm^{-1} un 1545 cm^{-1} . Blakus esošās simetriskās CH_3 lieces vibrācijas parādās pie aptuveni $1370\text{-}1350\text{ cm}^{-1}$, bet nav novērojamas antisimetriskās (1473 cm^{-1}). Jāņem vērā, ka šo signālu relatīvā intensitāte parasti samazinās, palielinoties skābju alkilvirkes garumam. Šie novērojumi liek pieņemt, ka cūceņu sastāvā dominēs taukskābes ar garākām virknēm, par tām, kas atrodas bekās.

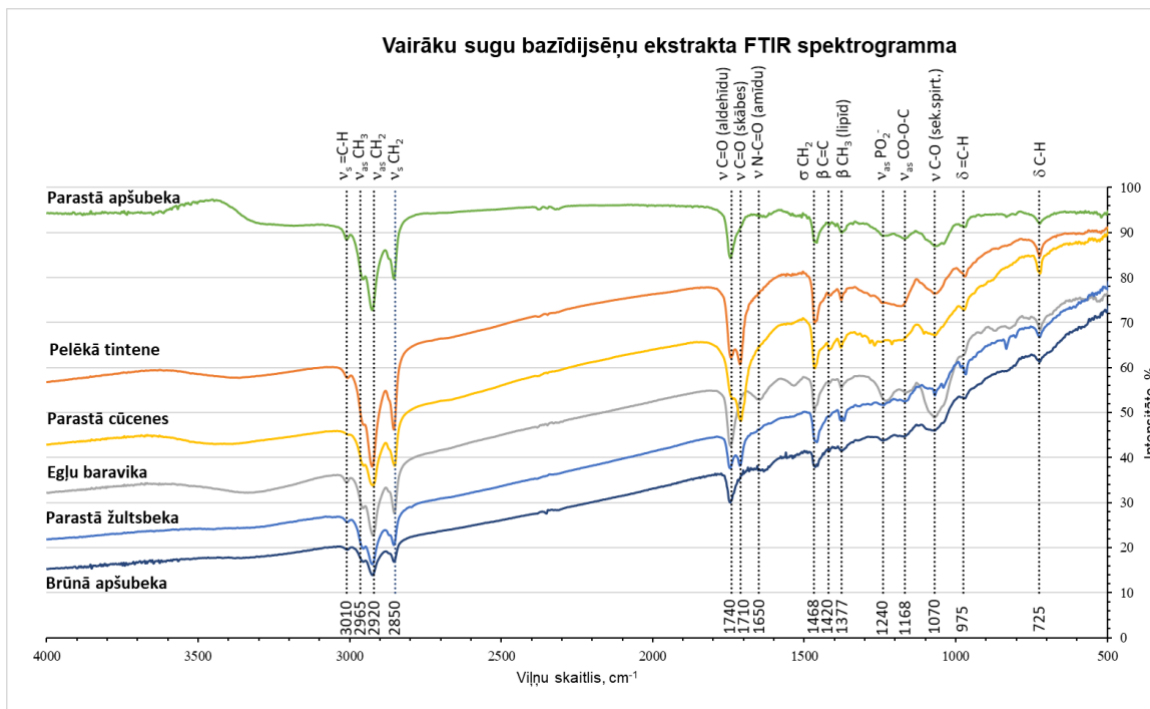


3.4.attēls. Grants karjera apkārtnē ievākto sēņu sausmasas FTIR spektrogrammas

Līdzīgas sakarības virkņu garuma iespaidam piemīt metilēna (CH_2) deformatīvajām vibrācijām (Chapman 1965), kuras ir vērojama visām sēnēm plaša intervālā $1320\text{-}1160\text{ cm}^{-1}$. Signālu progresējoša daudzskaitlība šajā intervālā liecina par ogļūdeņražu virknes garumam. Turklāt, attālums starp secīgi sekojošiem signāliem samazinās, palielinoties ogļūdeņraža virknes garumam. Progresijas var būt spēcīgākas labi kristalizētos ekstrakta paraugos, piemēram, ja kristāliskais stāvoklis ir lēni mainījies. Gadījumos, kad šie signāli ir labi atšķirami, literatūrā minēta iespēja, taukskābju oglekļa atomu skaita novērtēšanai (Kirby et al. 1965). Piemēram, aptuveni 34 cm^{-1} multiplets atbilst dekānskābei (C_{10}), 29 cm^{-1} multiplets atbilst dodekānskābei (C_{12}), 24 cm^{-1} multiplets atbilst plamitīnskābei (C_{16}) un 18 cm^{-1} multiplets atbilst stearīnskābei (C_{18}). Jāatzīmē, ka baravikai iegūtie spektrogrammas intensīvākie vibrāciju signāli saskan ar literatūrā apskatītajiem *B. edulis* norādītajiem (Li et al. 2020).

Grants karjera apkārtnē ievākto sēņu DMSO/heksāna sausmasas ekstraktu FTIR spektrogrammas apkopotas 3.8. attēlā. Kopējā spektrogrammā par vispārīgu pazīmi var atzīmēt absorbciju pie 3010 cm^{-1} ($=\text{C-H}$), kas norāda par nelielu taču izteiktu nepiesātināto taukskābju klātbūtni. Dažādās C-H vibrācijas ir būtiski atkarīgas no taukskābju virknes garuma un starpmolekulārās mijiedarbības starp tām, tādēļ bieži vien intensitāte ir slāpēta īpaši simetrisko un antisimetrisko vibrāciju gadījumā. Otrs būtisks absorbcijas reģions atrodas $1750\text{ - }1700\text{ cm}^{-1}$. Taukskābju karbonilgrupu C=O vibrācija ar maksimums 1740 cm^{-1} , iespējams pārklājas ar aldehīdgrupu signāliem, kas parasti rada intensitāti $1720\text{-}1740\text{ cm}^{-1}$ apgabalā. Jāņem vērā, ka starpmolekulārā karbonskābju mijiedarbība ($\text{COO-H} \cdots \text{OCOH}$) ir būtisks faktors absorbcijas maksimumu nobīdē vai paplašināšanā. Lielāko daļu gadījumu signālu izplūšana skaidrota ar

kabonilgrupu izraisītu kopējā ekstrakta molekulu nesakārtotību, ko veicina atšķirīga virkņu polaritāte molekulā (Filopoulou et al. 2021). Pelēkai tintenei (*C. atramentarius*), parastai žultsbekai (*T. felleus*) un parastai cūcenei (*L. turpis*) ir redzams izteikts blakus signāls ar maksimumu pie 1710 cm^{-1} , kas attiecināmas arī uz C=O vibrāciju karbonskābēs.



3.5.attēls. Grants karjera apkārtnē ievāktu sēņu ekstrakta FTIR spektrogrammas

Nav īpaši skaidri egļu baravikas ekstraktam novērotie signāli ar maksimumiem pie 1240 cm^{-1} un 1070 cm^{-1} . Iespējams, tie ir ekstrahējušies fosfolipīdi, uz kuriem attiecināmas PO_2^- asimetriskās stiepes vibrācijas signāli, kas paralēli redzami arī kā PO_2^- simetriskās stiepes vibrācijas pie 1070 cm^{-1} (Jackson, Mantsch 1999). Pamanāmākās no deformatīvajām saišu vibrācijām, parādās kā vāji signāli pie 975 cm^{-1} un pie 725 cm^{-1} .

Attiecībā uz tirdzniecības vietās iegādāto komerciāli kultivēto sēņu raksturojumu, tās tika izvēlētas, lielākā mērā, par drošas pārtikas etalonprecī ar kuru palīdzību iespējams konstatēt būtiskas atšķirības, ja tādas tiek novērotas savvaļas sēņu sastāvā. Iegūtie sausmasas un sausmasas ekstraktu DMSO/heksāna FTIR spektri ievietoti 4.pielikumā. Audzēto sēņu sausmasas spektrogrammās ir novērojama zināma līdzība ar signālu maksimumiem, kas konstatēta savvaļā augušajai parastajai cūcenei (*L. turpis*) pie $1470\text{--}1430\text{ cm}^{-1}$ un $1370\text{--}1350\text{ cm}^{-1}$. Šīs līdzības tuvina atšķirīgas sēņu sugas ar augsto olbaltumvielu saturu. Līdzīgi kā parastajai cūcenei (*L. turpis*), stiepes N-C=O un lieces (β) N-H vibrāciju signāli veido platu joslu ar plecu, kas redzama, kā maksimums pie 1650 cm^{-1} un 1577 cm^{-1} ar pirmējā un otrējā amīda raksturīgajām frekvencēm. Reģionu ap $1430\text{--}1390\text{ cm}^{-1}$ var saistīt ar taukskābju un

aminoskābju (C=O)-O grupas simetrisko stiepes vibrāciju, kā arī metilgrupas (CH₃) simetriskās lieces (β) vibrācijām olbaltumvielu režģī un simetriskās stiepes (ν) vibrācijām olbaltumvielās (Movasaghi et al 2008). Reģions no 600 līdz 1500 cm⁻¹, kuros ir C-O un C-C grupu vibrācijas, un parasti uzrāda ogļhidrātiem raksturīgās joslas. Uz polisaharīdiem attiecināmās lieces O-H vibrācijas parādās pie 1420 cm⁻¹. Ogļhidrātu gredzena vibrācijas, kuros visi makromolekulārās virknes atomi vibrē vienā fāzē un normālos režīmos, atspoguļojās C-C un C-O savienojumu posmu radītajās 1080 cm⁻¹ frekvencēs šampinjonu paraugiem un 1025 cm⁻¹ frekvencēs komerciāli audzētajiem šimeji (*H. tessellatus*), šitaki (*L. edodes*) un austersēnes (*P. ostreatus*). Šo signālu augstā intensitāte apliecina glikozīdu saišu klātbūtni un saharīdu ciklisko struktūru. Pārējos spektru apgabalos nav novērotas spēcīgas atšķirības. Baltie (*A. bisporus*), brūnie (*A. brunnescens*) un lielie, brūnie šampinjoni (*A. brunneofibrillosus*) lieliski savstarpēji korelē un raksturo sugas līdzību.

Kopumā var atzīmēt, ka IR spektrogrammas parāda sēņu sastāva atšķirības starp sugām, taču iezīmē vairākas līdzības, kas attiecas uz mitruma, polisaharīdu un olbaltumvielu saturu. Signāli, kas liecinātu par naftas produktu (ogļūdeņraži) jeb smago metālu klātbūtni vai to kompleksveidojošiem savienojumiem, ne arī gaisa piesārņojošo ogļūdeņražu raksturīgo signālu maksimumi netika novēroti.

Tirdzniecības vietās iegādāto audzēto sēņu sausmasas ekstraktu FTIR spektrogrammas, pretsatā savvaļas sēnēm, izceļas ar intensīviem signāliem ar vibrāciju maksimumiem pie 1240 cm⁻¹ un 1070 cm⁻¹, ko pirms tam sedza pirmsekstrakcijas 1300 – 1200 cm⁻¹ reģionā esošo grupu vibrācijas. Novērotais līdzinās baravikas (*B. edulis*) spektrogrammai un skaidrojams ar fosfolipīdu radītajām fosfātu, fosfonātu grupu vibrācijām. Šī fosforskābes esteru savienojumu grupa raksturojas ar izteikti polāru fosfāta un nepolāru ogļūdeņražu daļu. Napolārā daļa parasti veido piesātināto jeb nepiesātināto taukskābju atlikumus ar 16 – 22 oglekļa atomiem. Ar šādu divejādas dabas polaritāte, tā vienlaicīgi spējīga iešķīst gan polārā gan nepolāra vidē. Apstākļos, kad to saturs ekstrahējamā objektā ir ievērojami augsts, tā pāriet ekstraktā un kļūst par tā saucamo - saistīto taukskābju daļu.

3.4. Mikosterolu un to fotoizomēru satura novērtējums kā UV starojuma iedarbības indikators

No mikosteroliem vislielākās koncentrācijas tika noteiktas ergosterolam, ar kopējo daudzumu 14634,59 mg kg⁻¹ svaigu sēņu. No kultivētajām sēnēm, vislielākā ergosterola koncentrācija konstatēta šitaki – 1768,83 mg kg⁻¹ svaigu sēņu un brūnajam šampinjonam -

1436,29 mg kg⁻¹ svaigu sēņu, vismazākās – baltajam šampinjonam - 491,96 mg kg⁻¹ svaigu sēņu.

No savvaļā augošajām sēnēm, vislielākās ergostrola koncentrācijas ir Raunā ievāktajai gailenei – 1022, 62 mg kg⁻¹ svaigu sēņu un baravikai – 996,2 mg kg⁻¹ svaigu sēņu, bet vismazākās – parastajai žultsbekai – 0,17 mg kg⁻¹ svaigu sēņu un pelēkajai tintenei – 87,23 mg kg⁻¹ svaigu sēņu.

Šādas būtiskas atšķirības ergosterola koncentrācijās, salīdzinot kultivētās un savvaļā augošās sēnēs, varētu skaidrot ar sēnēm pieejamo UV starojuma daudzumu, proti, mežā ir lielāks noēnojums, bet audzētavās sēnes tiek mākslīgi apgaismotas. Fotoaktivizācijas procesā pre-ergosterols un tahisterols pārtop par ergosterolu.

Salīdzinot ar ergosterolu, 22,23-dihidroergosterols un 7-dehidroholisterols ievāktajos sēņu paraugos ir ievērojami mazākos daudzumos.

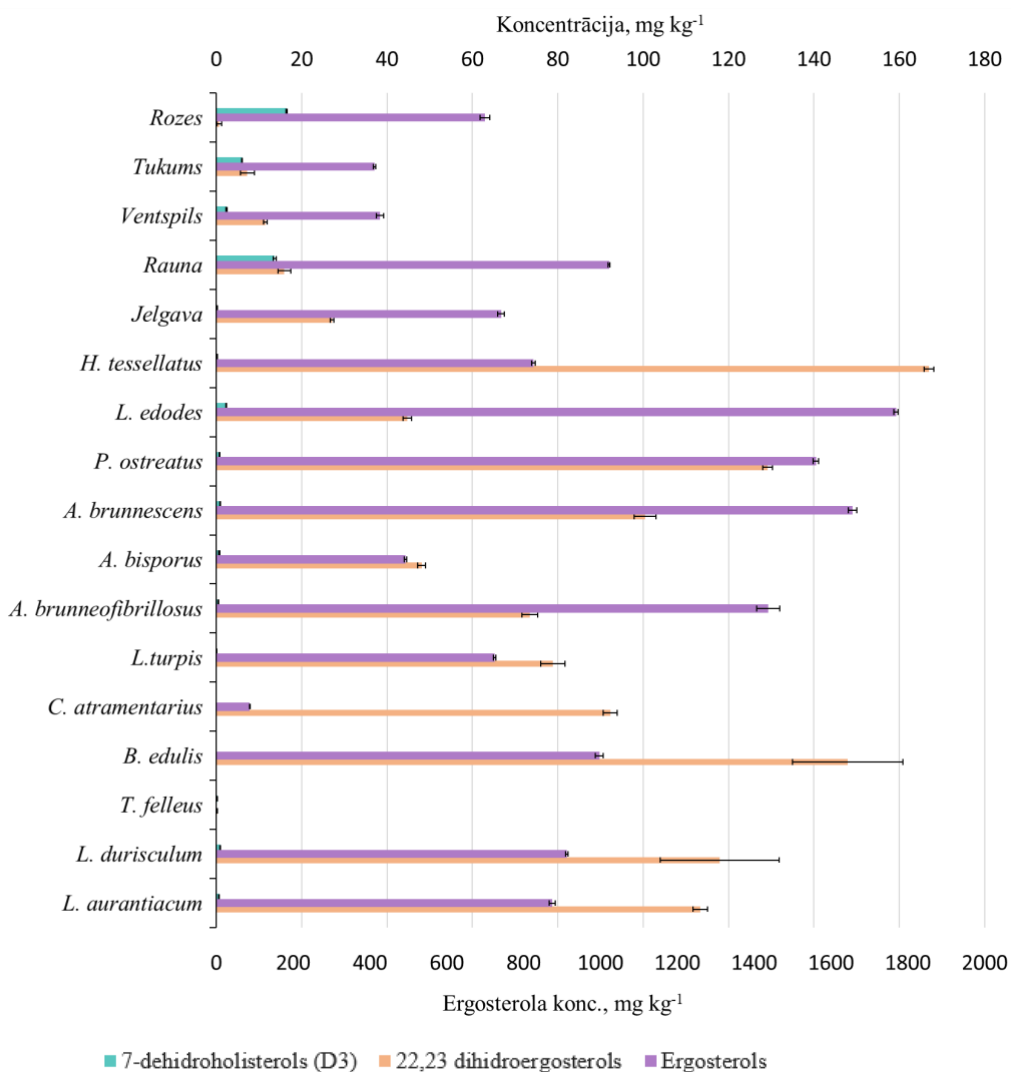
Visaugstākās koncentrācijas 22,23-dihidroergosterols tika konstatēts šimeji – 166,93 mg/kg svaigu sēņu un baravikā – 147,925 mg kg⁻¹. Vismazākais 22,23-dihidroergosterola daudzums bija parastajai žultsbekai – 0,23 mg kg⁻¹ un Rozēs ievāktajai gailenei ir 0,675 mg kg⁻¹ svaigu sēņu. Rozēs ievāktajai gailenei konstatēts lielākais ergosterola daudzums, bet vismazākais 22,23-dihidroergosterola daudzums, kas liecina par to, ka ja šis sēņu paraugs tiktu apstātos ar UV-B starojumu, tajā būtu liels D₂ vitamīna daudzums.

7-Dehidroholisterols jeb provitamīns D₃ vislielāko daudzumu uzrādīja Rozes ciemā un Raunā ievāktajos gailēņu paraugos, attiecīgi – 16,42 un 13,65 mg kg⁻¹ svaigu sēņu. Šajā stadijā 7-dehidroholisterols vēl nav pārtapis par holekalciferolu jeb D₃ vitamīnu. Vismazākās provitamīna 3 koncentrācijas uzrādīja šimeji – 0,3 mg/kg un brūnie šampinjoni – 0,9 mg kg svaigu sēņu, savukārt, pelēkajā tintenē un parastajā žultsbekā šāds mikosterolu paveids netika konstatēts.

Ir pierādīts, ka tahisterols ir D vitamīna prekursors, bet tas veidojas tikai tad ja ir pieejama zemas enerģijas UV gaisma, kā tas ir rīta un vakara stundās (Cisneros et al. 2017). Pārtītajos paraugos tahisterols konstatēts baravikai (0,49 mg kg⁻¹), brūnajai apšubekai (0,54 mg kg⁻¹), parastajai apšubekai (0,41 mg kg⁻¹), šitaki (0,40 mg kg⁻¹), parstajai žultsbekai (0,06 mg kg⁻¹), šimeji (0,23 mg kg⁻¹), austersēnēm (0,44 mg kg⁻¹), bet vislielākai daudzums – brūnajiem šampinjoniem (0,77 mg kg⁻¹ svaiga sēņu svara).

Jāatzīmē, ka D vitamīna radīšanai stundas UV starojuma jaudai jāsasniedz 1,67 mw/cm² (sasniežot 143 μg kg⁻¹ svaigu sēņu), bet LVĢMC dati norāda par to, ka ievākšanas periodā visā dienas garumā tiek sasniegti 1,46 mw/cm² (10.10.2022). Ņemot vērā noēnojumu, cerības sagaidīt augstas D vitamīna koncentrācijas ir mazas, bet ņemot vērā apstākli, ka vienīga

novērojumu stacija atrodas Rucavā, pastāv liela varbūtība, ka statistikas rādījumi neattaino korekti starojuma daudzumu ievākto sēņu areālā.



3.6.attēls. Mikosterolu saturs ievāktajos sēņu paraugos mg kg⁻¹ svaiga sēņu svara

3.5.Taukskābju kvalitatīvās un kvantitatīvās analīzes ar gāzu hromatogrāfiju

Saskaņā ar 6. pielikumā apkopotajiem rezultātiem, pētītajās sēnēs tika konstatētas 38 taukskābes. Kultivēto un bazīdijsēņu taukskābju gāzu hromatogrāfijas hromatogrammas pievienotas 9. un 10.pielikumā. Taukskābju apzīmējumus un to ķīmiskos nosaukumus skatīt 8.pielikumā. Taukskābes ar nepāra oglekļa atomu skaitu, tādas kā pentadekānskābe (15:0), margarīnskābe (17:0), heneikozānskābe (21:0) un C23:0 - trikozānskābe bija nelielos daudzumos. Pentadekānskābe (C15:0), heptadekānskābe (C17:1) un margarīnskābe (C17:0) - tika konstatētas visās testētajās sugās, bet pārējās - tikai dažās. No visām iepriekš minētajām taukskābēm palmitīnskābe (C16:0), stearīnskābe (C18:0), oleīnskābe (C18:1) un linoleīnskābe

(C18:2) lielā procentuālā daudzumā konstatētas visās analizētajās sugās. Līdzīgi novērojumi veikti literatūrā atrodamo sēņu pētījumos (1.2.tabula).

Starp nepiesātinātajām taukskābēm ievērojamā daudzumā tika konstatēta linolēnskābe (C18:2) un oleīnskābe (C18:1), bet palmitīnskābe (C16:0), α -linolēnskābe (C18:3) un nervonskābe (C24:1) tika konstatētas, mazākā procentuālā daudzumā un ne visās sugās. Starp piesātinātajām taukskābēm dominē palmitīnskābe (C16:0) un stearīnskābe (C18:0), bet ievērojami mazākā daudzumā - laurīnskābe (C12:0), miristīnskābe (C14:0), pentadekānskābe (C15:0), margarīnskābe (C17:0), arahidīnskābe (C20:0), heneikozānskābe (C21:0), behēnskābe (C22:0) un lignocerīnskābe (C24:0).

Šis pētījums liecina (ka sēnēs nepiesātināto taukskābju saturs ir lielāks (70,91 - 88,00 %) par piesātināto (12,00 – 29,09 %) taukskābju saturu (5.tabula). Jāatzīmē, ka gailenes (*C. cibarius*) uzrādīja ievērojami augstāku UFA saturu nekā citas analizētās sēņu sugas (84,95-88,00%). Būtiski augstāku PUFA saturu nekā citas analizētās sēņu sugas (68,88-75,49%) novērojamas kultivētajām sēnēm, taču reizē ar to arī zemākais MUFA saturs (0,73-12,89%). No savvaļas sēnēm, tik pat zemu MUFA saturu, uzrāda tikai savvaļas baravika (*B. edulis*) - 4,68%, kurām kopējais taukskābju sadalījums (PUFA>SFA>MUFA) tuvinās šitaki (*L. edodes*) novērotajam. Par vienīgo sēni, kurai taukskābju sadalījums ir atšķirīgs var nosaukt pelēko tinteni (*C. atramentarius*) (PUFA>SFA>MUFA), sakarā ar lielo olēnskābes saturu. Piesātināto un nepiesātināto taukskābju attiecība UFA/SFA tiek pielietota vienas ģints taksonomiskai diferenciacijai, taču var būt noderīgs raksturlielums ķīmiskā sastāva un taksonomijas sasaistē (Kavishree et al. 2008). Augstākais UFA/SFA starp gailenēm ir 7,33 Tukuma apkaimē ievāktajam paraugam, kas ir augstākais rādītājs starp visām ievāktajām sēnēm un literatūrā (Bengu, 2020) sniegto gailēņu summāro vērtību (2,43). Ievērojami zemā UFA/SFA vērtība (0,32) šitaki (*L. edodes*) sēnēm skaidrojama ar tās saturā esošās oleīnskābes zemo daudzumu. Attiecības zemākās vērtības konstatējamas cūcenei (2,54) un atmatenei (*A. bisporus*) (2,44). Par savvaļas sēnēm, kopumā ir atzīmējas tas, ka bekām, ieskaitot baraviku, UFA/SFA attiecības ir līdzvērtīgas, ko nevarētu teikt par gailenēm. Gailenēm šie rādītāji dinamiski mainās, kas lielākā mērā norāda par Latvijā augošo gailēņu atšķirībām, kuras var interpretēt, ka daļu no apkārtējās vides ietekmējošo seku rezultātu. Taču ietekmējošā faktora konkretizēšanai, nepieciešama lielāka paraugu kopa un padziļināti ķīmiskā sastāva pētījumi. Taukskābju

3.2.tabula. Taukskābju saturs sēņu paraugos

<i>C. cibarius</i>	* MUFA	PUFA	SFA	UFA	UFA/SFA
Rozes	37,71	47,64	16,01	86,22	5,39
Tukums	27,58	59,99	12	88	7,33
Ventspils	32,22	51,84	15,37	84,63	5,5
Rauna	36,01	51,21	12,39	87,62	7,07
Jelgava	30,28	54,03	15,06	84,95	5,64

*	MUFA	PUFA	SFA	UFA	UFA/SFA
<i>H. tessellatus</i>	9,33	70,83	18,2	80,5	4,42
<i>L. edodes</i>	2,07	73,92	23,45	76,55	0,32
<i>P. ostreatus</i>	12,89	70,68	16,79	83,21	4,95
<i>A. brunnescens</i>	1,26	75,49	22,69	77,31	3,41
<i>A. bisporus</i>	0,73	68,88	29,09	70,91	2,44
<i>A. brunneofibrillosus</i>	1,26	71,37	26,5	73,54	2,77

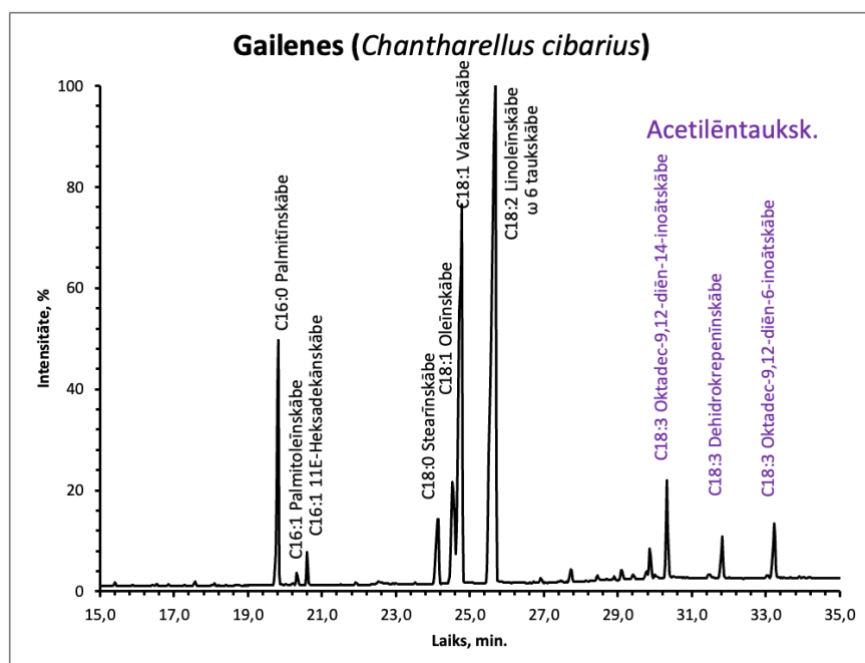
*	MUFA	PUFA	SFA	UFA	UFA/SFA
<i>L.turpis</i>	32,48	39,01	28,22	71,78	2,543
<i>C. atramentarius</i>	38,82	35,6	15,03	84,97	5,65
<i>B. edulis</i>	4,68	70,97	23,55	76,45	3,25
<i>T. felleus</i>	28,06	49,15	21,92	78,08	3,56
<i>L. durisculum</i>	23,59	54,07	21,39	78,61	3,67
<i>L. Aurantiacum</i>	18,45	58,23	21,92	78,08	3,56

*SFA - piesātinātās taukskābes; MUFA- mononepiesātinātās taukskābes; PUA - polinepiesātinātās taukskābes; UFA - nepiesātinātās taukskābes; UFA/SFA- nepiesātināto taukskābju attiecība pret piesātinātajām.

Acetilēntaukskābes ir specifiski augu metabolīti, kurus attiecina uz aizsargreakcijas iniciētu procesa produktiem. Lielākā daļa tās atrodamas tādos augos, kā sūnās un sēnēs (Minto et al. 2008). Par sākotnējiem savienojumiem primārajā metabolismā tiek uzskatītas krepenīnskābe, stearolskābe un tarīnskābe, kas veido lielāko daļu acetilēnveida produktus augā. Atzīts, ka gailenes ir visproduktīvākās acetilēntaukskābju sintezētājas, taču hromatogrāfiskā rakstura pētījumi ir maz (Blacklock et al. 2010), galvenokārt izpēte veltīta šo savienojumu bioloģiskās veidošanās mehānismiem un to ietekmi slimību ārstēšanā (Dembitsky 2006). Līdz

šim ir noskaidrots, ka gailenēs oleīnskābe (C18:1 9Z) ir linoleīnskābes (18:2 Δ9Z,12Z), krepenīnskābes (18:1 Δ9Z,12A) un 14Z-dehidrokrepenīnskābes (18:2 Δ9Z,12A,14Z) veidotāja. Varētu prognozēt līdzīgas pārvērtības ar citām taukskābēm, piemēram palmitoleīnskābi (C16:1 9Z), taču konstatēts, ka tās desaturācija (jaunas dubultsaites veidošanās) notiek līdz 16:2 Δ9Z,12Z un 16:2 Δ9Z,12E taukskābēm, tiešā veidā neturpinoties acetilīnāzes stadijai (trīskāršās saites veidošanās), bet notiek reizē ar virknes pagarināšanos. Aprakstīti pat elongācijas ceļi, kas sintezē tauksābes ar ogļūdeņražu skaitu C20 un garāku (Minto et al. 2008). Jāatzīmē, ka desaturācijas laikā rodas blakusprodukti, tādi kā α-linolēnskābe, vernoleīnskābe un rīcinolskābe (sēklu eļļu sastāvdaļa). Lai gan novērotais process kopumā, rada zināmas neskaidrības, pētnieki pamana tendences starp atšķirīgajām desaturāzēm, kas darbojas ar savdabīgu reģio- vai ķīmisko selektivitāti, bet ļauj atšķirt to funkciju, pamatojoties uz primāro metabolītu klāstu.

Veicot hromatogrāfiskās ievāktu gaileņu ekstrakta analīzes, tika konstatēti jonizācijas signāli, kas atbilst taukskābēm ar trīskāršo saiti (3.7. attēls). Katras dubultsaites vai trīskāršās saites pieaugums taukskābju molekulās, uzrāda masspektros molekulāro masu proporcionālu ūdeņražu masas zudumam (-2H atbilst -2 m/z). Piemēram, palmitīnskābes (C16:0) molekulārais jons atbilst 256 m/z, bet tās nepiesātinātajai formai -palmitoleīnskābei (C16:1), molekulārais jons būs fiksējams ar 254 m/z vērtību, taču jau palmitīnskābei ar trīskāršo saiti (alkinil-palmitīnskābe), molekulārais jons būs jau ar vērtību 252 m/z. Izmantojot publikācijās pieejamās masspektrālās ainas un savienojumu fragmenēšanās raksturu (Haritos et al. 2012, Okada et al. 2013), tika identificētas trīs no sešām gailenēs konstatētajām acetilēntaukskābēm. Intensīvākos signālus hromatogrammās veidoja dehidrokrepenīnskābe (18:3 Δ9Z,12A,14Z), oktadeka-9,12-diēn-6-inoāts (18:3 Δ6A,9Z,12Z) un oktadeka-9,12-diēn-14-inoāts (18:3 Δ9Z,12Z,14A). Starp ievāktajām gailenēm augstākais etilēntaukskābju saturs konstatētstēts Raunas apkārtnē ievāktajai gailenei ($442,2 \pm 9,0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sv.s}$), bet zemākais Rozes paraugam ($224,8 \pm 14,0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sv.s}$). Starp gailenēm novērojams dinamiska rakstura etilēntaukskābju koncentrācijas attiecības. Vienas vai otras formas savienojumu pārsvars ir grūti komentējams un, šķiet, vāji pamatojams ar augšanas vietu kādā no Latvija reģioniem. Kopumā, gailenes taukskābju saturs, kas aprēķināts uz kopējo taukskābju daudzumu, sasaucas ar Brazīlijas pētnieka sniegtajiem datiem (Barros et al. 2008), ar būtisku izņēmumu eikozēnskābes (C20:1; 27,89%) saturā. Latvijas reģionos ievāktu gaileņu ekstraktos šī taukskābe netika vispār konstatēta. Augstas koncentrācija garo virkņu taukskābju satur ir atzīmējams par visu sēņu kontekstā, neraksturīgu parādību.



3.7.attēls. Jelgavas apkārtnē ievāktās gailēņu *C. cibarius* gāzu hromatogrāfijas taukskābju hromatogramma

SECINĀJUMI

1. Pētīto sēņu paraugu radioaktīvā starojuma doza, kuru raksturo gamma starojuma līmenis visos pētīto sēņu paraugos atbilst vidējā fona rādījumiem, kas raksturīgi Latvijā.
2. Mikroelementu saturs pētītajos sēņu paraugos vērtājams kā zems (159 – 290 $\mu\text{g g}^{-1}$): netika konstatēta tādu toksisko mikroelementu kā svins un arsēns Pb un As klātbūtne, bet kadmija daudzums tika konstatēts robežās no 0,1 līdz 0,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ jeb 11 – 44 $\mu\text{g kg}^{-1}$ svaigu sēņu (pieļaujamā norma 200 $\mu\text{g kg}^{-1}$). Starp makroelementiem būtiskas vērtības konstatētas kālijam (33,50 mg g^{-1}) fosforam (P – 43,80 mg g^{-1}) un sēram (S – 0,687 mg g^{-1}).
3. Infrasarkanā spektra rādījumi norāda par fosfolipīdu ($\nu_{\text{as}}\text{PO}_2^-$ 1210 cm^{-1} ; $\nu_{\text{s}}\text{PO}_2^-$ 1080 cm^{-1} ; $\nu_{\text{C=O}}$ 1740), ogļhidrātu ($\nu_{\text{C-O-C}}$ 1577 cm^{-1} ; $\nu_{\text{C-C}}$, $\nu_{\text{C-O}}$, $\beta_{\text{C-H}}$ 1037 cm^{-1} ; $\delta_{\text{C-H}}$ 1319 cm^{-1}), glikoproteīnu ($\nu_{\text{N-C=O}}$ 1650 cm^{-1}), taukskābju (ν ; β_{CH_3} 1377 cm^{-1}), sterolu (ν_{CH_3} 2965 cm^{-1} ; $\beta_{\text{C=C}}$ 1420 cm^{-1}) raksturīgo grupu klātbūtni sēņu struktūrā.
4. FTIR signāli, kas liecinātu par naftas produktu (ogļūdeņraži) jeb smago metālu sāļu klātbūtni vai to kompleksveidojošiem savienojumiem, ne arī gaisa piesārņojošo poliaromātisko ogļūdeņražu raksturīgo signālu maksimumi netika novēroti.
5. Sēņu ekstraktu IR spektrogrammas liecina par taukskābju klātbūtni ar tām raksturīgajiem alifātiskās daļas radītajiem signāliem (3010-2850 cm^{-1}) un karbonskābju vibrācijām (1740- 1710 cm^{-1}), kā arī par steroliem un to fotoizomēriem, kas konstatējami, kā divkāršo saišu vibrācijas to struktūrās (1468 cm^{-1} un 1420 cm^{-1}). Kultivētās sēnes konstatēti signāli, kas piederīgi fosfolipīdu savienojumu grupai.
6. Gailenēs, atšķirībā no pārējām pētīto sēņu sugām, tika konstatēti acetilēnlipīdi, kuru kopējais daudzums bija 0,20 – 2,50 g kg^{-1} svaigu sēņu. Kopējais taukskābju saturs bija robežās no 7359 līdz 28172 $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$.
7. Šķidrums hromatogrāfijas pētījumos konstatēts, ka ergosterols ir dominējošais no mikosteroliem pētītajās sēnēs (no 318 līdz 833 $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$). Identificēti tādi fotoizomēri kā tahisterols un pre-ergokalciferols.
8. Potenciāli piesārņotās vietās augošajās sēnēs, būtiskas novirzes ķīmiskajā sastāvā un mērītajos fizikāli-ķīmiskajos rādījumos, netika konstatētas.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

Publicētie avoti

- Ahmed, S., Shah, P., Ahmed, O. 2022. *Biochemistry, Lipids*. StatPearls Publishing.
- ASTM D5974 – 96. 1996. American Standard Test Methods for fatty and rosin acids in tall oil fractionation products by capillary gas chromatography.1-5.
- Al - Fartusie, F. S., Mohhsan S. N. 2017. Essential Trace Elements and Their Vital Roles in Human Body. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*. 5(3), 127-136.
- Alves, P.S., Bessa, R. J. B. 2009. Comparison of two gas–liquid chromatograph columns for the analysis of fatty acids in ruminant meat. *Journal of Chromatography A*. 1216, 5130–5139.
- Anke, H., Morales, P., Sterner, O. 1996. Assays of the biological activities of two fatty acid derivatives formed in the edible mushrooms *Cantharellus cibarius* and *C. tubaeformis* as a response to injury. *Planta Med*. 62, 181-183.
- Antone, M., Kalniņa, I. 2017. *Sēnes*. Rīga, “Izdevniecība avots”. (49-51).
- Athenaki, M., Gardeli, C., Diamantopoulou, P., Tchakouteu, S. S., Sarris, D., Philippoussis, A., Papanikolaou, S. 2018. Lipids from yeasts and fungi: physiology, production and analytical considerations. *Journal of Applied Microbiology*. 124(2), 336-367.
- Barros, L., Venturini, B. A., Baptista, P., Estevinho, L. M, Ferreira I. C. F. R. 2008. Chemical Composition and Biological Properties of Portuguese Wild Mushrooms: A Comprehensive Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56, 3856-38862.
- Batool, A., Mena, F. 2020. Chapter 13 - Concentration and purification of seaweed components by chromatography methods. *Sustainable Seaweed Technologies*. 315-370.
- Bengu, A. S. 2019. Some elements and fatty acid profiles of three different wild edible mushrooms from Tokat province in Turkey. *Progress in Nutrition*. 21(1), 189-193.
- Bengu, A. S. 2020. The fatty acid composition in some economic and wild edible mushrooms in Turkey. *Progress in Nutrition*. 22 (1), 185-192.
- Bhambere, D., Gaidhani, K., Harwalkar, M., Nirgude, P. 2015. Lyophilization/freeze drying – a review. *World Journal of Pharmaceutical Research*. 4. 516-543.
- Blacklock, B. J., Scheffler, B. E., Shepard, M. R., Jayasuriya, N., Minto, R.E. 2010. Functional Diversity in Fungal Fatty Acid Synthesis. The first acetylenase from the pacific golden chanterelle, *cantharellus formosus*. *The journal of biological chemistry*. 285, 37, 28442–28449.
- Brzezicha, J., Grembecka, M., Grochowska, I., Falandysz, J., Szefer, P., 2019. Elemental composition of selected species of mushrooms based on a chemometric evaluation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 173. 353-365.
- Boa, E. 2004. *Wild Edible Fungi: A Global Overview of Their Use and Importance to People*. 1-3.

- Carteret, X., Hamonou-Mahieu, A. 2010. *Mycological illustration (16th-18th century)* Les dessins de Champignons de Claude Aubriet [en ligne]. Publications scientifiques du Muséum, Paris.
- Chan, J.S., Asatiani, M.D., Sharvit, L.E., Trabelcy, B., Barseghyan, G.S., Wasser, S.P. 2015. Chemical Composition and Medicinal Value of the New *Ganoderma tsugae* var. *jannieae* CBS-120304 Medicinal Higher Basidiomycete Mushroom. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 17(8), 735-47.
- Chandraman, K. 2016. An Updated Review on Ultra Performance Liquid Chromatography. *Analytical Chemistry: An Indian Journal*. 16(15), 114.
- Chapman, D. Infrared spectroscopy of lipids. 1965. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 42, 353–371.
- Chauhan, G., Prasad, S., Rathore, H., Sharma, S. 2017. Nutritional profiling and value addition of products from *Hypsizygus tessellatus*. *Food Biology*. 6, 1-6.
- Cisneros, C., Thompson, T., Baluyot, N., Smith, A.C., Tapavicza, E. 2017. The role of tachysterol in vitamin D photosynthesis - a non-adiabatic molecular dynamics study. *Physical Chemistry Chemical Physics*.19(8), 5763-5777.
- Dāniele, I., Meiere, D. 2020. *Lielā Latvijas sēņu grāmata*. Jāņa sēta.
- Dembitsky V. 2006. Anticancer activity of natural and synthetic acetylenic lipids. *Lipids*. 41, 883–924.
- Ergönül, G. P., Akata, I, Kalyoncu, F. 2013. Fatty acid compositions of six wild edible mushroom species. *The Scientific World Journal*. 1–4.
- European Commission EC. 2018. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Luxembourg, publications Office of the European Union.
- Fernandes, Â., Antonio, A. L., Barros, L., Barreira, J. C. M., Bento, A., Botelho, M. L., Ferreira, I. C. F. R. 2011. Low dose γ -irradiation as a suitable solution for chestnut (*Castanea sativa* Miller) conservation: Effects on sugars, fatty acids, and tocopherols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (18), 10028–10033.
- Fernandes, Â., Antonio, A. L., Barreira, J. C. M., Oliveira, M. B. P. P., Martins, A., Ferreira, I. C. F. R. 2012. Effects of gamma irradiation on physical parameters of *Lactarius deliciosus* wild edible mushroom. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 79–84.
- Fernandes, A., Antonia, A. L., Barreira, J.C.M., Botelho, M.L., Oliveira, M. B. P. P., Martins, A., Ferreira, I. 2013. Effects of Gamma Irradiation on the Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Lactarius deliciosus* L. Wild Edible Mushroom. *Food and Bioprocess Technology*. 6(10), 2895-2903.

- Fernandes, A., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P. P., Martins, A., Ferreira, I. C. F. R. 2015. Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: A review. *Food Chemistry*. 135(2)641-650, 0308-8146.
- Filopoulou, A., Vlachou, S., Boyatzis S. C. 2021. Fatty acids and their metal salts: a review of their infrared spectra in light of their presence in cultural heritage. *Molecules*. 26, 6005.
- Forgacs, E., Cserhati, T. 2003. *The Encyclopedia of Agrochemicals Chromatography TLC*. John Wiley & Sons. 12.
- Gałgowska, M., Pietrzak-Fiećko, R. 2020. Mineral Composition of Three Popular Wild Mushrooms from Poland. *Molecules*. 25(16), 3588.
- Gençcelep, H., Uzun, Y., Tunçtürk, Y., Demirel, K. 2009. Determination of mineral contents of wild-grown edible mushrooms. *Food Chemistry*. 113(4), 1033-1036, 0308-8146,
- Gil-Ramirez, A., Clavijo, C., Palanisamy, M., Soler-Rivas, C., Ruiz-Rodriguez, A., Martin, F. R. M., Reglero, R., Pérez, M. 2011. Edible mushrooms as potential sources of new hypocholesterolemic compounds. *Proceedings of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, France*.
- Guillén, J., Baeza, A. 2014. Radioactivity in mushrooms: A health hazard? *Food Chemistry*. 154, 14-25, 0308-8146.
- Hamann, S., Lehnert, K., Vetter, W. 2016. Esterified sterols and their contribution to the total sterols in edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*. 54, 48-54, 0889-1575.
- Haritos, V. S., Horne, I., Damcevski, K., Glover, K., Gibb, N., Okada, S., Hamberg, M. 2012. The convergent evolution of defensive polyacetylenic fatty acid biosynthesis genes in soldier beetles. *Nature communications*. 3, 1150.
- Harry, J., Hudson, J. 1986. *Fungal Biology*. Great Britain, Cambridge University Press 1-2.
- Havinga, E., De Kock, R.J., Rappoldt, M.D. 1960. The photochemical interconversions of provitamin d, lumisterol, previtamin d and tachysterol. *Tetrahedron*. 11, 276-284, 19.
- Holick, M. F. 2006. Resurrection of vitamin D deficiency and rickets. *The Journal of Clinical Investigation*. 116(8), 2062-72.
- Huang, S. J., Lin, C. P., Tsai, S. Y. 2015. Vitamin D2 content and antioxidant properties of fruit body and mycelia of edible mushrooms by UV-B irradiation. *Journal of Food Composition and Analysis*. 42, 38-45.
- Hu, Y., Wang, T., Yang, X., Zhao, Y. 2014. Analysis of compositional monosaccharides in fungus polysaccharides by capillary zone electrophoresis. *Carbohydrate Polymers*. 102, 481-488.
- Jackson, M., Mantsch, H.H. 1999. Medical Science Applications of IR. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry*. 978-0-12-226680-5.

- Jakubāne, I., Pilāte, D., Stalažs, A., Kivleniece, I., Ruņģis, D. 2022. *Spānijas kailgliemezis (Arion vulgaris) un citu invazīvo kailgliemežu sugas Latvijā un to ierobežošanas metodes*. Daugavpils. Daugavpils Universitātes Dabas izpētes un vides izglītības centrs.
- Kalac, P. 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food Chemistry*. 113, 9-16.
- Kalac, P. 2013. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 93, 209-18.
- Kavishree, S., Hemavathy, J., Lokesh, B. R., Shashirekha, M. N., Rajarathnam, S. 2008. Fat and fatty acids of Indian edible mushrooms. *Food Chemistry* 106,597–602.
- Kavkler, K., Demšar, A. 2012. Application of FTIR and raman spectroscopy to qualitative analysis of structural changes in cellulosic fibres. *Tekstilec*. 55,19-44.
- Keegan, R.J., Lu, Z., Bogusz, J., Williams, J., Holick, M. 2013. Photobiology of vitamin D in mushrooms and its bioavailability in humans. *Dermato-endocrinology*. 5. 165-76.
- Kirby, E.M., Evans-Vader, M.J., Brown, M.A. 1965. Determination of the length of polymethylene chains in salts of saturated andunsaturated fatty acids by infrared spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 42, 437–446.
- Kļaviņš, M. 2023. *Radioaktivitāte*. Latvijas Universitātes Akadēmiskais centrs. 39.
- Kumar, K., Srivastav, S., Sharanagat, V.S. 2021. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrason Sonochem*. 70,105325
- Kozarski, M., Klaus, A., Vunduk, J., Zizak, Z., Niksic, M., Jakovljevic, D., Vrvic, M.M., Van Griensven, L.J. 2015. Nutraceutical properties of the methanolic extract of edible mushroom *Cantharellus cibarius* (Fries): primary mechanisms. *Food & Function*. 6(6), 1875-86.
- Lacroix, M., Ouattara, B. 2000. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products — a review. *Food Research International*. 33, 719–724.
- Li, X.P., Li, J., Li, T., Liu, H., Wang, Y. 2020. Species discrimination and total polyphenol prediction of porcini mushrooms by fourier transform mid-infrared (FT-MIR) spectrometry combined with multivariate statistical analysis. *Food Science & Nutrition*. 8, 754–766.
- Lin, L., Xu, J. 2020. Fungal Pigments and Their Roles Associated with Human Health. *Journal of Fungi*. 6(4), 280
- Makarem, M., Lee, C.M., Kafle, K., Huang, S., Chae, I., Kubicki, J.D., Kim, S.H. 2019. Probing cellulose structures with vibrational spectroscopy. *Cellulose*. 26, 35–79.
- Manea, M., Gheevarghese, R., Chiosa, V. 2007. Molecular interaction of a cholinesterase activator with ergosterol studied by high resolution ftir spectrometry. *Analele Universității din București – Chimie*. 33 – 37.

- Marzano, F. N., Bracchi, P. G., Pizzetti, P. 2001. Radioactive and Conventional Pollutants Accumulated by Edible Mushrooms (*Boletus sp.*) Are Useful Indicators of Species Origin. *Environmental Research*. 85(3), 260-264.
- Mattila, P., Lampi, A. J., Ronkainen, R., Toivo, J., Piironen, V. 2002. Sterol and vitamin D2 contents in some wild and cultivated mushrooms. *Food Chemistry*. 76(3), 293-298.
- Minto, R. E., Blacklock, B. J. 2008. Biosynthesis and function of polyacetylenes and allied natural products *Progress Lipid Research*. 47, 4, 233–306.
- Mleczek, M. 2023. Lactarius and Russula mushroom genera – Similarities/differences in mineral composition within the Russulaceae family. *Journal of Food Composition and Analysis*. 115, 104970.
- Mleczek, M., Siwulski, M., Stuper-Szablewska, K., Sobieralski, K., Magdziak Z., Goliński, P. 2013. Accumulation of elements by edible mushroom species II. A comparison of aluminium, barium and nutritional element contents. *Journal of Environmental Science and Health*. 48(4), 308-317.
- Molins, R.A. 2001. *Food irradiation: Principles and applications*. New York: Wiley.
- Molz, P., Ellwanger, J.H, Santos, C., E., L., Dias, J.F., Campos, D., Corbellini, V.A., Putzke, D., P., M., T., L., Franke, S., I., R. 2014. A metabolomics approach to evaluate the effects of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) treatment in undernourished young rats. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 318, 194-197.
- Moura, P. L. C., Maihara, V. A., de Castro, L. P., Figueira, R. C. L. 2007. Essential trace elements in edible mushrooms by neutron activation analysis. *2007 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007, Brazil*.
- Movasaghi, Z., Rehman, S., Rehman, I. U. 2008. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues. *Applied Spectroscopy*. 43, 134–179
- Nawar, W. W. 1986. Volatiles from food irradiation. *Food Reviews International*. 2, 45–78.
- Niedzielski, P., Szostek, M., Budka, A., Budzyńska, S., Siwulski, M., Proch, J., Kalač, P., Garside, P., Wyeth, P. 2003. Identification of Cellulosic Fibres by FTIR Spectroscopy I: Thread and Single Fibre Analysis by Attenuated Total Reflectance. *Studies in Conservation*. 48 (4),10,2307, 1506916.
- Noteikumi par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu sarakstu. Latvijas Republikas Ministru Kabineta noteiktumi Nr.396. Pieņemts 14.11.2000.

- Okada, S., Zhou, X.-R., Damcevski, K., Gibb, N., Wood, C., Hamberg, M., Haritos, V. S. 2013. Diversity of $\Delta 12$ fatty acid desaturases in Santalaceae and their role in production of seed oil acetylenic fatty acids. *The journal of biological chemistry*. 288, 45, 32405–32413.
- Pedneault, K., Angers, P., Gosselin, A., Tweddell, J. R. 2006. Fatty acid composition of lipids from mushrooms belonging to the family Boletaceae. *Mycological Research*. 110, 1179 – 1183.
- Pietrzak-Fiećko, R., Gałgowska M., Falandysz J. 2020. Impact of Mushrooms' Vegetative Places and Morphological Parts of a Fruiting Body on the Fatty Acids Profile of Wild *Leccinum aurantiacum* and *Leccinum versipelle*. *Chem Biodiversity*. 17(4).
- Ramamoorthy, S.K., Skrifvars, M., Rissanen, M. 2015. Effect of alkali and silane surface treatments on regenerated cellulose fibre type (*Lyocell*) intended for composites. *Cellulose*. 22, 637–654.
- Rathee, S., Rathee, D., Rathee, D., Kumar, V., Rathee, P. 2012. Mushrooms as therapeutic agents. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 22, 459-474.
- Ribeiro, B.M, Pinho, P.G., Andrade, P., Baptista, P., Valentão, P. 2009. Fatty acid composition of wild edible mushrooms species: A comparative study. *Microchemical Journal*. 93, 29-35.
- Rodríguez-Alcalá, L. M., Calvo, M. V., Fontecha, J. 2012. A quick, optimized method for routine analysis of essential and trans- octadecenoic acids in edible fats and oils by GLC. *Journal of Chromatographic Science*. 51(1), 70-81.
- Roselló-Soto, E., Parniakov, O., Deng, Q., Patras, A., Koubaa, M., Grimi, N., Boussetta, N., Brijes, K., T., Vorobiev, E., Lebovka, N., Barba, F. 2015. Application of Non-conventional Extraction Methods: Toward a Sustainable and Green Production of Valuable Compounds from Mushrooms. *Food Engineering Reviews*. 8. 10.1007,12393-015-9131-1.
- Sande, D., Pereira de Oliveira, G., Moura, M. A. F., Martins, B. A., Lima, M. T. N. S., Takahashi, A. J. 2019. Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids. *Food Research International*. 125, 108524, 0963-9969.
- Seedevi, P., Ramu, G., A, Mohan, K., Raguraman, V., Sivakumar, M., Sivasankar, P., Loganathan, S., Rajamalar, P., Vairamani, S., Shanmugam, A. 2019. Chemical structure and biological properties of a polysaccharide isolated from *Pleurotus sajor-caju*. *RSC Advances*. 9(35), 20472-20482.
- Skou, J. F., Beett, H., Lundsten, K. 1974. Effects of ionizing radiation on mushrooms as influenced by physiological and environmental conditions. *Radiation Botany*, 14, 287–299.
- Smith, B. C. 2021. The infrared spectra of polymers II: Polyethylene. *Spectroscopy*. 36(9), 24–29.
- Soković, M., Glamočlija, J., Ćirić, A., Petrović, J., Stojković, D. 2018. Chapter 5 - Mushrooms as Sources of Therapeutic Foods. *Handbook of Food Bioengineering, Therapeutic Foods*. Academic Press, 141-178.

- Tabanca, N., Demirci, B., Ozek, T., Kirimer, Baser, K. H. H. C., Bedir, E., Khan, I.A., Wedge, D. E. 2006. Gas chromatographic–mass spectrometric analysis of essential oils from *Pimpinella* species gathered from Central and Northern Turkey. *Journal of Chromatography A*. 1117 (2), 194-205.
- Taleuzzaman, M., Ali, S., Gilani, S.J., Imam, S.S., Hafeez, A. 2015. Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC) - A Review. *Austin Journal of Analytical and Pharmaceutical Chemistry*. 2(6), 1056.
- Taofiq, O., Fernandes, A., Barrosa, L., Barreiro, M. F., Ferreira, I. C. F. R. 2017. UV-irradiated mushrooms as a source of vitamin D2: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 70, 82-94.
- Tavassoli, M., Afshari, A., Arsene, A.L., Mégarbane, B., Dumanov, J., Paoliello, M. M. B., Tsatsakis, A., Carvalho, F., Hashemzadeh, M., Karimi, G., Rezaee, R. 2019. Toxicological profile of *Amanita virosa* - A narrative review. *Toxicology Reports*. 9(6), 143-150.
- Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., Paredes-López, O. 2015. Edible Mushrooms: Improving Human Health and Promoting Quality Life. *International Journal of Microbiology*. 376387, 14.
- Velíšek, J., Cejpek, K. 2011. Pigments of Higher Fungi: A Review. *Czech Journal of Food Sciences*. 29(2), 87-102.
- Vieira, V., Barros, L., Martins, A., Ferreira, I. C. F. R. 2014. Expanding current knowledge on the chemical composition and antioxidant activity of the genus *Lactarius*. *Molecules* 10; 19(12), 20650-63.
- Villares, A., Mateo-Vivaracho, L., García-Lafuente, A., Guillamón, E. 2014. Storage temperature and UV-irradiation influence on the ergosterol content in edible mushrooms. *Food Chemistry*. 15(147), 252-6.
- Undavalli, V.K., Ling, C., Khandelwal, B. 2021. Chapter 6 - Impact of alternative fuels and properties on elastomer compatibility. *Aviation Fuels*. Academic Press. 113-132.
- Wang, M., Zhao, R. 2023. A review on nutritional advantages of edible mushrooms and its industrialization development situation in protein meat analogues. *Journal of Future Foods*. 3(1), 1-7.
- Winterboer, A., Eicker, A. 1982. A preliminary report on the nutrient content of *Coprinus comatus*. *South African Journal of Botany*. 2(1).
- World Health Organisation. 1994. Safety and nutritional adequacy of irradiated food. WHO, Geneva.
- Yamada, T., Furutaka, K., Hachinohe, M., Hachisuka, A. 2023. Applicability of non-destructive equipment for radioactivity measurement to screening radio-caesium in foods. *Applied Radiation and Isotopes*. 110671, 194.

- Yilmaz, N., Türkekul, İ., Bulut, S., Sahin, F., Bayrak, Ö. 2013. Fatty Acid Composition in Ten Mushroom Species Collected from Middle Black Sea Region of Turkey. *Asian Journal of Chemistry*. 25. 1216-1220.
- Yildiz, S., Gürgen, A., Çevik, U. 2019. Accumulation of metals in some wild and cultivated mushroom species. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* 37, 1371-1380.
- YUWA-AMORNPITAK, T., BUTKHUP, L., YEUNYAW, P.N. 2020. Amino acids and antioxidant activities of extracts from wild edible mushrooms from a community forest in the Nasrinual District, Maha Sarakham, Thailand. *Journal of Food Science and Technology*. 40(3).
- Латюк, Г. І., Попова, Л. М. 2021. *Грибівництво*. Міністерство освіти і науки України, Одеса, Астропринт, УДК. 635.8. 083.13.

Nepublicētie avoti

- Griķīts, A. 2014. *Bērza čaga Inonotus Oblicuus*. AGFonds. Sk. 01.05.2023. Pieejams: <https://www.agfonds.lv/senes/arstnieciskas-senes/berza-caga-inonotus-oblicuus/>
- ICP-MS for Trace Metal Analysis. 2016. *Chemistry LibreTexts*. Sk. 17.05.2023. Pieejams: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_Nano_Science_\(Barron\)/01%3A_Elemental_Analysis/1.06%3A_ICP-MS_for_Trace_Metal_Analysis](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_Nano_Science_(Barron)/01%3A_Elemental_Analysis/1.06%3A_ICP-MS_for_Trace_Metal_Analysis)
- Latvijas Valsts Meži. 2022. *Skaitļi un fakti*. Sk. 5.05.2023. Pieejams: https://www.lvm.lv/images/lvm/Par_mums/Skaitli_un_finanses/lvm-fakti-lv-2022-wk.pdf
- Vimba, E. 2014. *Latvijas sēnes*. Sk. 12.05.2023. Pieejams: http://latvijas.daba.lv/augi_senes/senes/ievads.shtml
- Zemkopības Ministrija. 2016. *Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2030. Informatīvais ziņojums*. Ministru kabineta rīkojums Nr. 275. Sk. 12.05.2023. Pieejams: https://www.llu.lv/sites/default/files/2018-07/Bioeconomy_Strategy_Latvia_LV.pdf
- Zviedre, E. 2021. *Sēnes Latvijā*. Sk. 13.04.2023. Pieejams: <https://enciklopedija.lv/skirklis/7260-senes-Latvijā>

PIELIKUMI

1. Pielikums

Savvaļas un kultivēto bazīdijsēņu elementu (Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu) sastāvs (µg/g)

Sēņu sugas	Elementi									
	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu
<i>C. cibarius</i>										
Ventspils	76±3	<6	<5	1,3±0,02	<0,01	545±1	0,3±0	0,5±0,1	0,7±0,1	36±1
Rozes	62±2	<6	<5	0,8±0,1	<0,01	298±1	0,1±0	0,3±0,1	0,3±0,1	34±0
Rauna	82 ± 3	<6	<5	0,7±0,2	<0,01	160±3	0,2±0	0,3±0,1	<0,2	22±1
Jelgava	84±5	<6	<5	1,3±0	<0,01	455±5	0,2±0	0,4±0	0,5±0,1	33±1
Tukums	91±4	<6	<5	1,2±0	<0,01	485±15	0,1±0	0,3±0	0,8±0,1	30±0,4
Grants karjera apkārtnē ievāktās sēnes										
<i>C. atramentarius</i>	267±15	<6	<5	3,1±0,2	<0,01	513±19	0,4±0	0,2±0	1,4±0	31±0,2
<i>T. felleus</i>	2±0	<6	<5	<0,5	<0,01	61±23	0,7±0	0,2±0	<0,2	25±11
<i>L. duriusculum</i>	5±0	<6	<5	<0,5	<0,01	53±0	0,6±0	<0,2	0,16±0	13±10,5
<i>B. edulis</i>	4±27	<6	<5	<0,5	<0,01	20±0	0,1±0	<0,2	<0,2	3±0
<i>L. turpis</i>	42±1	<6	<5	1,2±0	<0,01	320±13	0,3±0	<0,2	<0,2	29±1
<i>L. aurantiacum</i>	31±3	<6	<5	<0,5	<0,01	49±0	0,6±0	0,3±0	<0,2	35±0,1
Kultivētās sēnes no tirdzniecības vietām										
<i>A. brunnescens</i>	6±4	<6	<5	<0,5	<0,01	312±51	<0,1	<0,2	0,3±0	17±0,1
<i>L. edodes</i>	<1	<6	<5	<0,5	<0,01	273±3	0,6±0	<0,2	0,2±0	7±0,2
<i>A. bisporus</i>	<1	<6	<5	<0,5	<0,01	120±5	<0,1	<0,2	0,2±0	16±0,1
<i>P. ostreatus</i>	<1	<6	<5	<0,5	<0,01	17±1	0,1±0	<0,2	0,2±0	7±0,1
<i>A. brunneofibrillosus</i>	<1	<6	<5	<0,5	<0,01	179±4	<0,1	<0,2	0,5±0,1	21±0,4
<i>H. tessellatus</i>	8±0	<6	<5	<0,5	<0,01	110±0	0,13±0	<0,2	<0,2	5±0,1
LOD	1	6	5	0,5	0,01	9	0,1	0,2	0,2	0,3
LOQ	3	19	16	1,6	0,05	28	0,3	0,7	0,7	0,8

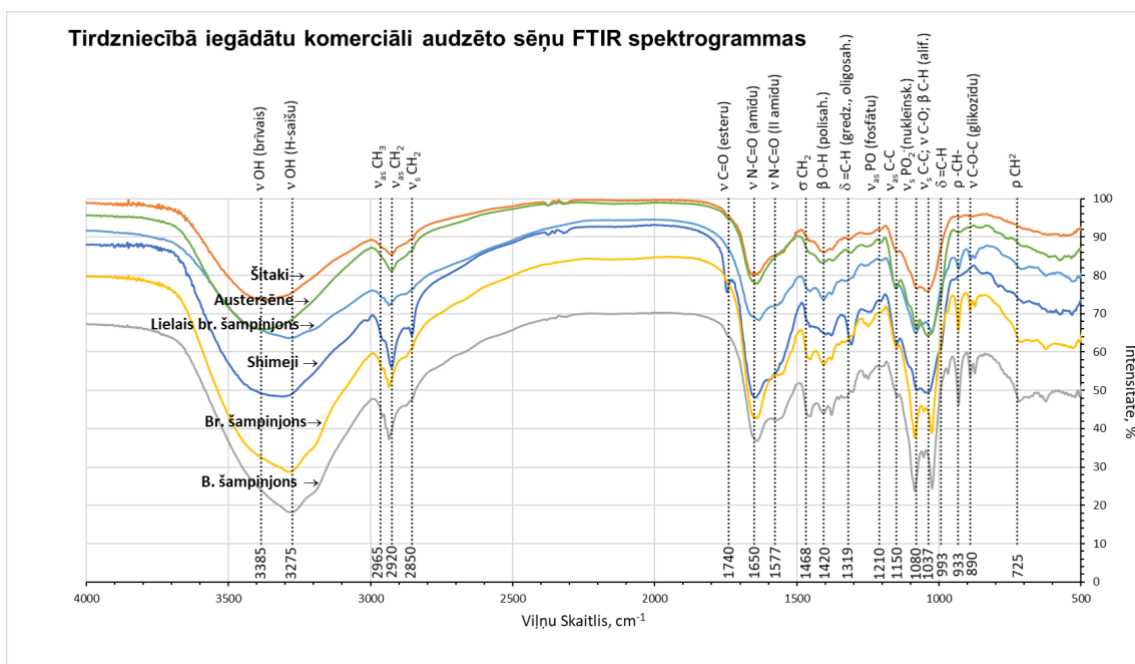
Savvaļas un kultivēto bazīdijsēņu elementu (Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb) sastāvs (µg/g)

Sēņu sugas	Elementi									
	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
<i>C. cibarius</i>										
Ventspils	66±2	43170±792	<2	990±16	26±0	<0,5	83±1	1,4±0	4508±5	<0,8
Rozes	52±3	35447±448	<2	810±10	16±0	<0,5	30±0,7	0,7±0	4416±28	<0,8
Rauna	38±0	32620±351	<2	800±18	26±0	<0,5	166±0,9	0,9±0	3697±39	<0,8
Jelgava	58±14	38854±452	<2	852±9	24±1	<0,5	53±1	1±0	4235±69	<0,8
Tukums	74±1,5	35609±311	<2	849±7	20±1	<0,5	61±2	1±0	4304±7	<0,8
Grants karjera apkārtnē ievāktās sēnes										
<i>C. atramentarius</i>	197±6	56538±182	<2	1675±0,9	14±0	<0,5	376±1	0,8±0	8536±170	<0,8
<i>T. felleus</i>	32±17,6	39109±17931	<2	855±391	7±3	<0,5	17±4	0,5±0,3	6628±2870	<0,8
<i>L. duriusculum</i>	16±1	23357±275	<2	666±5	5±0,1	<0,5	146±0,8	0,4±0,1	4490±58	<0,8
<i>B. edulis</i>	6±0	3554±0	<2	75±0	1±0	<0,5	8±0	<0,3	492±0	1±0
<i>L. turpis</i>	30±1,3	24833±481	<2	801±16	9±0,1	<0,5	16±2	0,3±0	4420±90	<0,8
<i>L. aurantiacum</i>	30±0,7	20780±103	<2	567±5	8±0,5	<0,5	12±5	<0,3	3999±4	<0,8
Kultivētās sēnes no tirdzniecības vietām										
<i>A. brunnescens</i>	27±1	39449±48	<2	1053±3	6±0	<0,5	319±6	<0,3	10769±23	<0,8
<i>L. edodes</i>	34±3	23490±251	<2	1396±6	21±0,1	<0,5	230±6	<0,3	8320±67	<0,8
<i>A. bisporus</i>	18±0,4	38403±133	<2	1082±10	5±0,1	<0,5	437±3	<0,3	11042±141	<0,8
<i>P. ostreatus</i>	70±2	28402±149	<2	1244±5	6±0	<0,5	144±4	<0,3	8150±119	<0,8
<i>A. brunneofibrillosus</i>	44±0,8	43840±302	<2	1184±12	7±0	0,6±0	398±3	0,3±0	12594±69	<0,8
<i>H. tessellatus</i>	102±3	29804±670	<2	930±11	14±0,4	<0,5	377±19	<0,3	7897±162	<0,8
LOD	5	140	2	1	0,07	0,5	6	0,3	8	0,8
LOQ	15	470	7	4	0,22	1,5	21	0,9	27	2,6

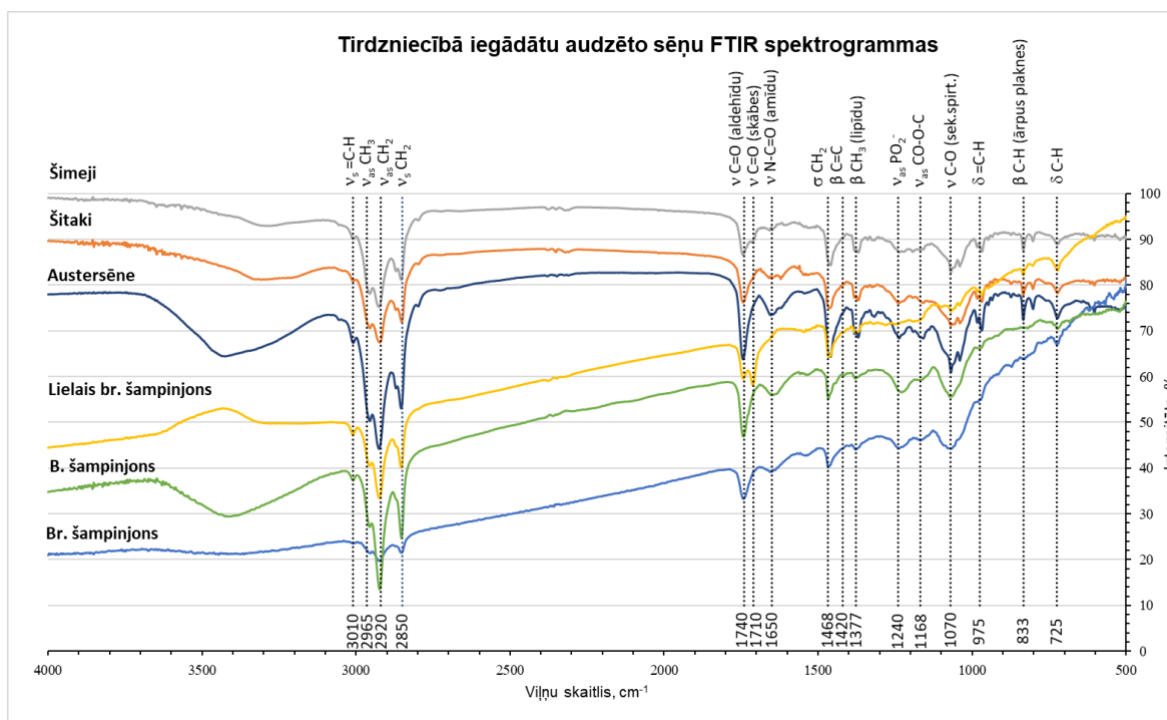
Savvaļas un kultivēto bazīdijseņu elementu (S, Se, Si, Sr, Ti, Tl, , Zn) sastāvs (µg/g)

Sēņu sugas	Elementi								
	S	Sb	Se	Si	Sr	Ti	Tl	V	Zn
<i>C. cibarius</i>									
Ventspils	797±2	2±2	<5	126±14	0,9±0	2±1	<4	<0,2	86±2
Rozes	715±18	<1,3	<5	77±6	0,4±0	1±0	<4	<0,2	76±1
Rauna	537±14	<1,3	<5	82±12	0,4±0	1±0	<4	<0,2	49±0
Jelgava	688±22	<1,3	<5	113±15	0,8±0	2±0	<4	<0,2	74±1
Tukums	614±2	<1,3	<5	133±16	0,7±0,3	3±0,1	<4	<0,2	74±0,6
Grants karjera apkārtnē ievāktās sēnes									
<i>C. atramentarius</i>	1711±23	<1,3	<5	359±12	1±0,4	12±0,7	<4	0,5±0,2	100±0,6
<i>T. felleus</i>	4698±2116	1,7±0,3	<5	<1	0,2±0,2	0,3±0	<4	<0,2	91±40
<i>L. duriusculum</i>	2798±24	<1,3	<5	7±0,1	<0,2	0,3±0	<4	<0,2	62±1
<i>B. edulis</i>	334±0	<1,3	<5	10±0	<0,2	0,3±0	<4	<0,2	10±0
<i>L. turpis</i>	1059±26	1,6±1	<5	93±0,8	1±0,1	1±0,1	<4	<0,2	34±1
<i>L. aurantiacum</i>	4103±40	<1,3	<5	58±8	<0,2	2±0,1	<4	<0,2	51±1
Kultivētās sēnes no tirdzniecības vietām									
<i>A. brunnescens</i>	2614±27	<1,3	<5	<1	1±0,1	<0,15	<4	<0,2	51±0,1
<i>L. edodes</i>	8274±66	<1,3	<5	11±0	0,9±0	<0,15	<4	<0,2	87±0,3
<i>A. bisporus</i>	2271±39	<1,3	<5	<1	0,2±0,1	<0,15	<4	<0,2	42±0,4
<i>P. ostreatus</i>	1679±1	1,6±1	<5	1±0	<0,2	<0,15	<4	<0,2	43±0
<i>A. brunneofibrillosus</i>	3065±45	<1,3	<5	<1	1,6±0	<0,15	<4	<0,2	56±0,3
<i>H. tessellatus</i>	1373±26	<1,3	<5	75±2	0,2±0	0,6±0,2	<4	<0,2	35±1,2
LOD	11	1,3	5	1	0,2	0,15	4	0,2	0,1
LOQ	37	4,2	17	3	0,6	0,49	13	0,7	0,4

Tirdzniecības vietās iegādāto komerciāli audzēto sēņu sausmasas FTIR spektrogrammas



Tirdzniecības vietās iegādāto audzēto sēņu sausmasas ekstraktu FTIR spektrogrammas



Latvijas reģionos ievāktu savvaļas gailēņu (*Chanterelle cibarius*) nesaistīto taukskābes saturs (mg kg⁻¹ svaigu sēņu masu)

Taukskābju apzīmējumi	<i>C. cibarius</i>				
	Rozes	Tukums	Ventspils	Rauna	Jelgava
12:0	0,98	0,10	0,24	0,57	0,40
14:0	3,34	1,89	2,12	4,95	3,77
iso15:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:0	3,88	1,75	2,77	5,50	5,21
AZA	2,46	0,00	2,36	2,80	2,73
16:0	221,71	170,61	199,04	352,17	405,40
16:1 (Δ7)	2,66	0,00	0,92	1,39	1,27
16:1 (Δ9Z)	12,76	6,49	9,12	12,94	18,43
16:1 (Δ9E)	0,38	0,14	0,13	0,46	0,30
16:1 (Δ11E)	26,41	21,91	23,98	44,93	46,47
16:2 (Δ9E,12E)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:2 (Δ9Z,12Z)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:0	1,81	1,46	2,08	4,07	3,41
17:1 (Δ10Z)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:0	84,83	76,53	85,53	140,40	158,75
18:1 (Δ9Z)	109,41	115,39	105,19	324,38	217,71
18:1 (Δ11Z)	643,02	467,61	528,30	1215,03	971,15
18:2 (Δ9,12)	709,41	868,33	827,11	1772,20	1743,05
18:3 (Δ6E,9E,12E)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:3 (Δ9Z,12Z,15Z)	5,40	2,98	3,82	4,67	7,88
CLA 18:2 (Δ9Z,11E)	34,44	8,20	6,43	11,12	6,30
CLA 18:2 (Δ10E,12Z)	29,46	15,18	9,33	26,16	24,34
20:0	5,42	4,83	7,94	8,44	11,04
18:3 (Δ9Z,11E,15Z)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:1 (Δ11Z)	3,49	4,16	7,10	0,00	0,00
AcEFA1	11,84	17,35	9,57	0,00	0,00
AcEFA2	11,44	19,01	9,73	18,34	7,61
AcEFA3	5,88	17,25	14,71	28,10	47,02
20:2 (Δ11E,12E)	0,00	4,26	6,04	4,13	7,29
18:3 (Δ9Z,12Z,14A)	0,00	22,01	0,00	41,37	177,75
21:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:3 (Δ9Z,12A,14Z)	94,12	165,39	87,65	154,56	76,16
22:0	0,00	0,00	3,58	4,71	5,46
18:3 (Δ6A,9Z,12Z)	101,51	188,98	101,01	199,85	117,45
18:0 (Δ6 keto)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:0	0,00	0,00	0,00	4,46	0,00
24:0	9,02	8,33	12,60	17,75	18,86
24:1 (Δ15)	0,00	0,00	1,32	0,00	0,00

Tirdzniecības tīklos iegādāto kultivēto bazīdijseņu nesaistīto taukskābju saturs (mg kg⁻¹ svaigu sēņu masu)

Taukskābju apzīmējumi	<i>H. tessellatus</i>	<i>L. edodes</i>	<i>P. ostreatus</i>	<i>A. brunne-scens</i>	<i>A. bisporus</i>	<i>A. brunne-ofibrillosus</i>
12:0	0,07	0,24	0,25	0,20	0,16	0,55
14:0	1,18	1,68	3,39	8,30	8,77	14,13
iso15:0	0,00	0,00	0,00	0,00		1,06
15:0	1,95	17,36	40,41	13,01	15,84	34,74
AZA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:0	96,09	128,58	175,34	222,32	269,17	485,77
16:1 (Δ7)	0,16	0,00	1,38	13,29	0,65	0,70
16:1 (Δ9Z)	0,89	3,27	6,10	7,51	18,69	21,47
16:1 (Δ9E)	0,15	0,05	0,18	0,00		0,31
16:1 (Δ11E)	1,02	0,81	7,32	3,44	2,87	5,22
16:2 (Δ9E,12E)	0,00	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00
16:2 (Δ9Z,12Z)	0,00	0,42	0,78	3,05	2,65	3,42
17:0	0,81	1,77	2,32	5,72	7,91	17,86
17:1 (Δ10Z)	0,00	0,00	0,00	1,30	0,63	15,06
18:0	33,70	16,01	14,63	40,37	60,26	129,23
18:1 (Δ9Z)	52,61	10,36	172,22	0,00	0,00	13,83
18:1 (Δ11Z)	15,44	5,07	4,66	2,60	6,95	0,00
18:2 (Δ9,12)	497,10	552,32	1031,72	1199,14	1035,51	2251,93
18:3 (Δ6E,9E,12E)	0,00	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00
18:3(Δ9Z,12Z,15Z)	1,69	1,13	1,31	1,60	1,24	7,21
CLA18:2(Δ9Z,11E)	17,32	13,26	22,97	16,96	8,96	44,89
CLA18:2(Δ10E,12Z)	17,48	13,55	20,48	17,20	7,75	41,05
20:0	1,29	1,07	1,43	30,76	34,56	87,49
18:3 (Δ9Z,11E,15Z)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:1 (Δ11Z)	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	6,32
AcEFA1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AcEFA2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AcEFA3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:2 (Δ11E,12E)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,57
18:3 (Δ9Z,12Z,14A)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:0	0,00	0,00	2,23	4,71	6,59	17,65
18:3 (Δ9Z,12A,14Z)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:0	0,00	3,73	3,25	25,48	20,21	49,06
18:3 (Δ6A,9Z,12Z)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:0 (Δ6 keto)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:0	0,00	3,71	4,48	4,86	5,47	14,88
24:0	1,50	10,50	11,28	15,96	16,63	18,84
24:1 (Δ15)	0,00	0,00	12,98	0,00	0,00	0,00

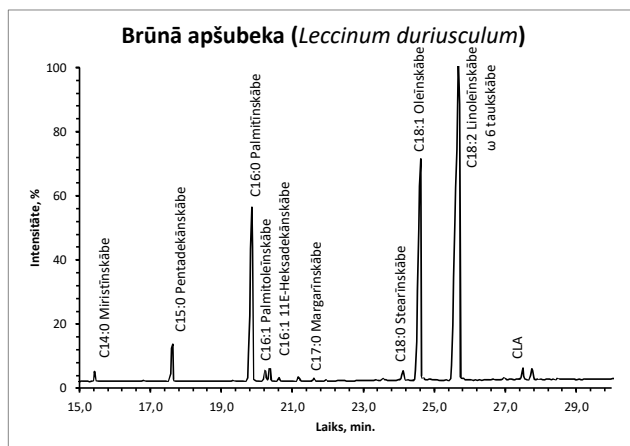
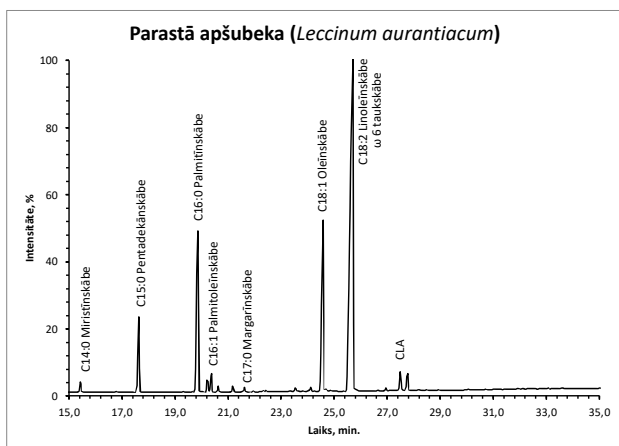
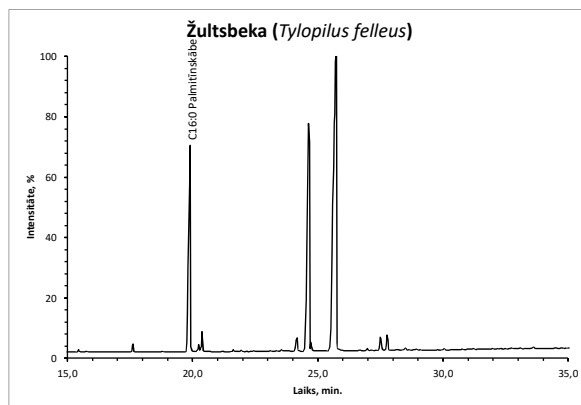
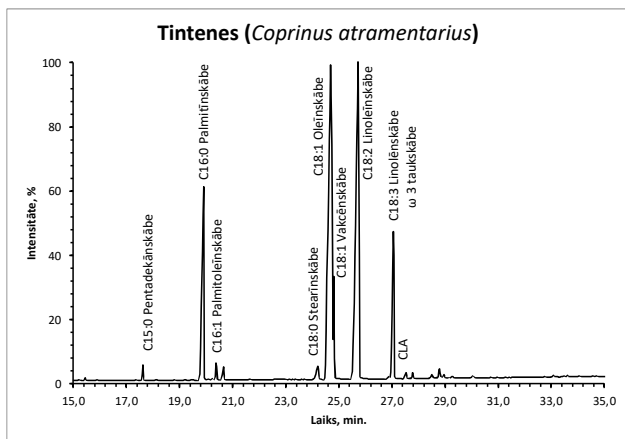
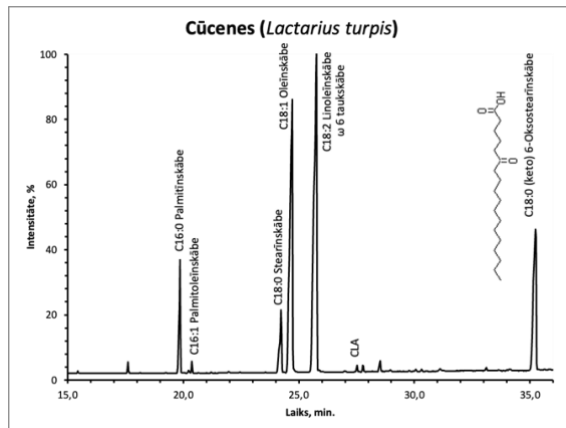
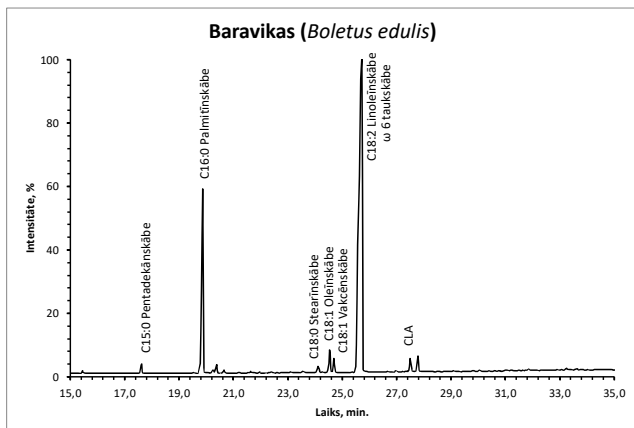
Grants karjeru (Pāvuli, Pāvulkalni) apkārtnē ievākto savvaļas bazīdijsēņu nesaistīto taukskābju saturs (mg kg⁻¹ svaigu sēņu masu)

Taukskābju apzīmējumi	<i>C. atramentarius</i>	<i>B. edulis</i>	<i>T. felleus</i>	<i>L. durisculum</i>	<i>L. aurantiacum</i>	<i>L. turpis</i>
12:0	0,05	0,19	0,32	0,28	0,23	0,93
14:0	1,10	1,91	3,85	8,85	12,56	2,73
iso15:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:0	6,08	6,73	13,59	38,12	91,12	12,88
AZA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:0	138,58	169,02	563,50	255,41	273,14	173,30
16:1 (Δ7)	0,47	2,24	10,55	11,21	14,36	0,00
16:1 (Δ9Z)	7,90	4,93	30,71	12,10	21,02	14,55
16:1 (Δ9E)	0,00	0,24	0,22	0,12	0,06	0,00
16:1 (Δ11E)	0,00	2,34	1,48	3,30	5,67	0,00
16:2 (Δ9E,12E)	0,00	0,66	2,17	3,73	7,74	0,00
16:2 (Δ9Z,12Z)	0,00	1,23	3,65	3,09	5,00	0,00
17:0	0,00	0,56	3,31	1,46	1,07	2,27
17:1 (Δ10Z)	0,00	0,00	0,00	0,96	1,46	0,00
18:0	10,76	5,24	30,77	11,10	6,51	149,99
18:1 (Δ9Z)	396,64	21,24	777,23	332,32	301,63	998,64
18:1 (Δ11Z)	17,48	10,68	8,32	0,60	2,18	0,00
18:2 (Δ9,12)	368,11	533,35	1344,03	768,33	967,41	1180,89
18:3 (Δ6E,9E,12E)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:3(Δ9Z,12Z,15Z)	110,62	1,42	4,13	1,98	3,66	2,30
CLA18:2(Δ9Z,11E)	2,90	11,08	29,07	11,18	23,55	9,86
CLA 18:2 (Δ10E,12Z)	3,36	11,49	25,74	12,50	22,48	9,90
20:0	2,29	0,76	5,14	0,00	0,00	17,37
18:3 (Δ9Z,11E,15Z)	5,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:1 (Δ11Z)	1,46	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28
AcEFA1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AcEFA2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AcEFA3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:2 (Δ11E,12E)	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	3,93
18:3(Δ9Z,12Z,14A)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:0	0,00	0,00	2,35	0,00	0,00	0,00
18:3 (Δ9Z,12A,14Z)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:0	1,33	0,70	3,87	0,84	1,49	6,43
18:3 (Δ6A,9Z,12Z)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:0 (Δ6 keto)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	501,17
23:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24:0	2,58	0,00	3,90	0,00	0,00	9,13
24:1 (Δ15)	4,31	0,00	9,51	0,00	0,00	6,25

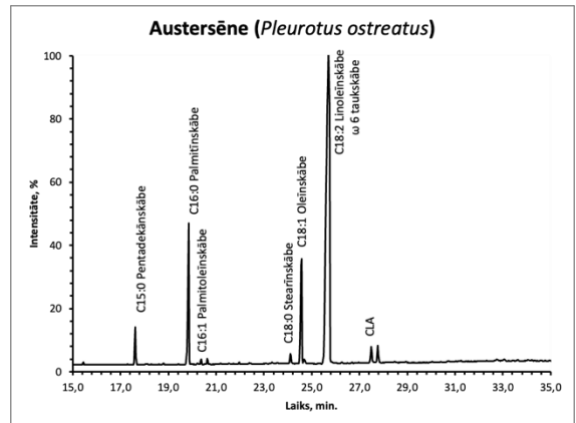
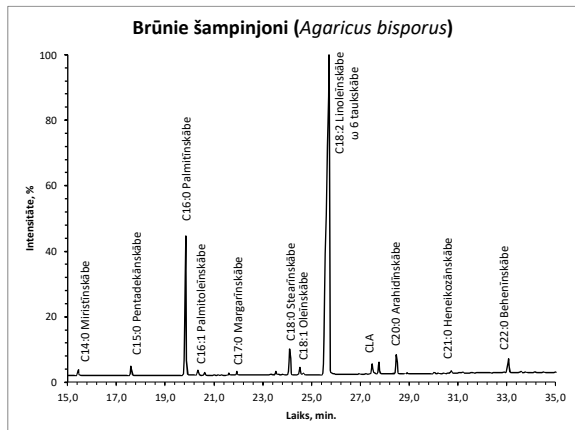
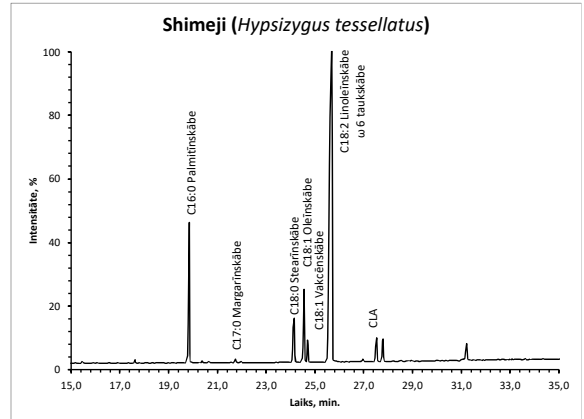
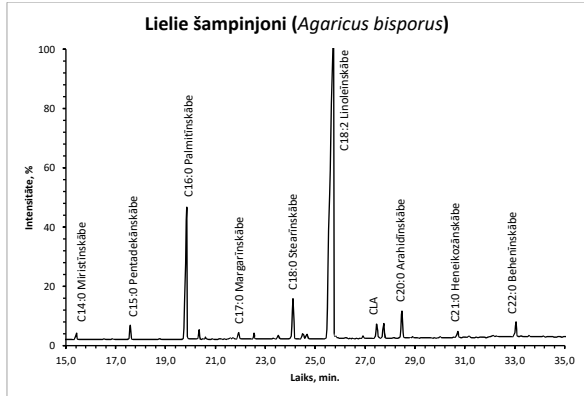
Taukskābju apzīmējumi un to ķīmiskie nosaukumi

Apzīmējums	Nosaukums	Apzīmējums	Nosaukums
12:0	Dodekānskābe	18:3 (Δ 9Z,12Z,15Z)	Linolēnskābe
14:0	Tetradekānskābe	CLA 18:2 (Δ 9Z,11E)	(9Z,11E)- Oktadekadiēnskābe (konjugēto saišu linoleīnskābe)
iso15:0	14-Metilpnetadekānskābe	CLA 18:2 (Δ 10E,12Z)	(10E,12Z)- Oktadekadiēnskābe (konju saišu linoleīnskābe)
15:0	Pentadekānskābe	20:0	Arahidīnskābe
AZA	Azelānskābe	18:3 (Δ 9Z,11E,15Z)	9Z,11E,15Z- Oktadekatriēnskābe
16:0	Palmitīnskābe	20:1 (Δ 11Z)	cis-11-Eikozēnskābe
16:1 (Δ 7)	7-Heksadecēnskābe	AcEFA1	Acetilēntaukskābe
16:1 (Δ 9Z)	9Z-Heksadecēnskābe	AcEFA2	Acetilēntaukskābe
16:1 (Δ 9E)	9E-Heksadecēnskābe	AcEFA3	Acetilēntaukskābe
16:1 (Δ 11E)	11E-Heksadecēnskābe	20:2 (Δ 11E,12E)	11E,14E-Eikozadiēnskābe
16:2 (Δ 9E,12E)	9E,12E-Heksadekadiēnskābe	18:3 (Δ 9Z,12Z,14A)	Oktadeka-9,12-diēn-14- inoāts
16:2 (Δ 9Z,12Z)	9Z,12Z-Heksadekadiēnskābe	21:0	Heneikozānskābe
17:0	Margarīnskābe	18:3 (Δ 9Z,12A,14Z)	Dehidrokrepēnīnskābe
17:1 (Δ 10Z)	10Z-Heptadecēnskābe	22:0	Dokozānskābe
18:0	Stearīnskābe	18:3 (Δ 6A,9Z,12Z)	Oktadeka-9,12-diēn-6-inoāts
18:1 (Δ 9Z)	Oleīnskābe	18:0 (Δ 6 keto)	6-Oksooktadekanoāts
18:1 (Δ 11Z)	Vakcēnskābe	23:0	Trikozānskābe
18:2 (Δ 9,12)	Linoleīnskābe	24:0	Tetrakozānskābe
18:3 (Δ 6E,9E,12E)	6E,9E,12E- Oktadekatrienoīnskābe	24:1 (Δ 15)	15-Tetrakozēnskābe

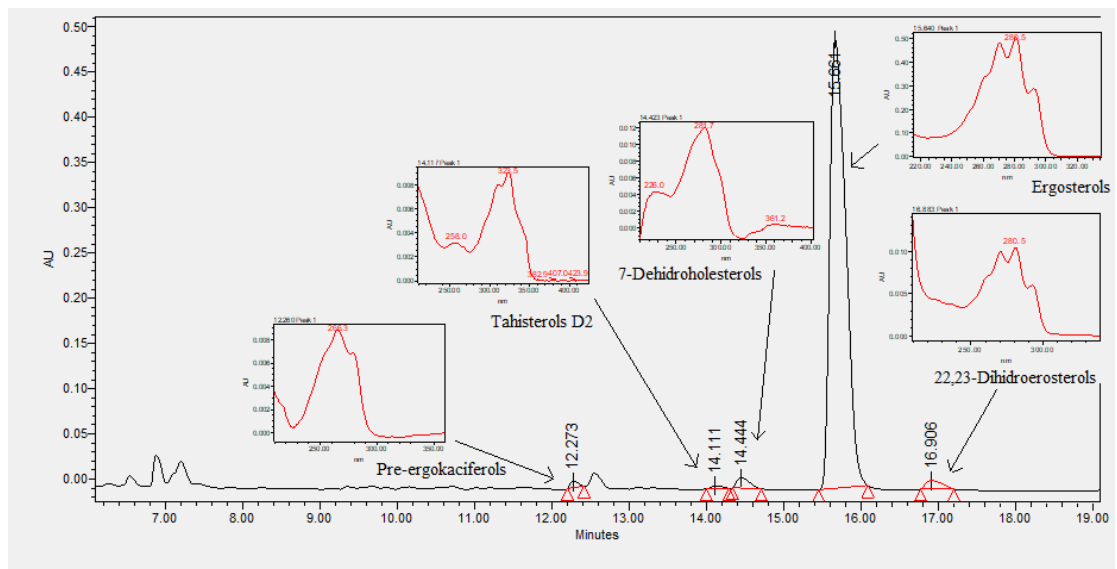
Bazīdijņu taukskābju gāzu hromatogrāfijas hromatogrammas



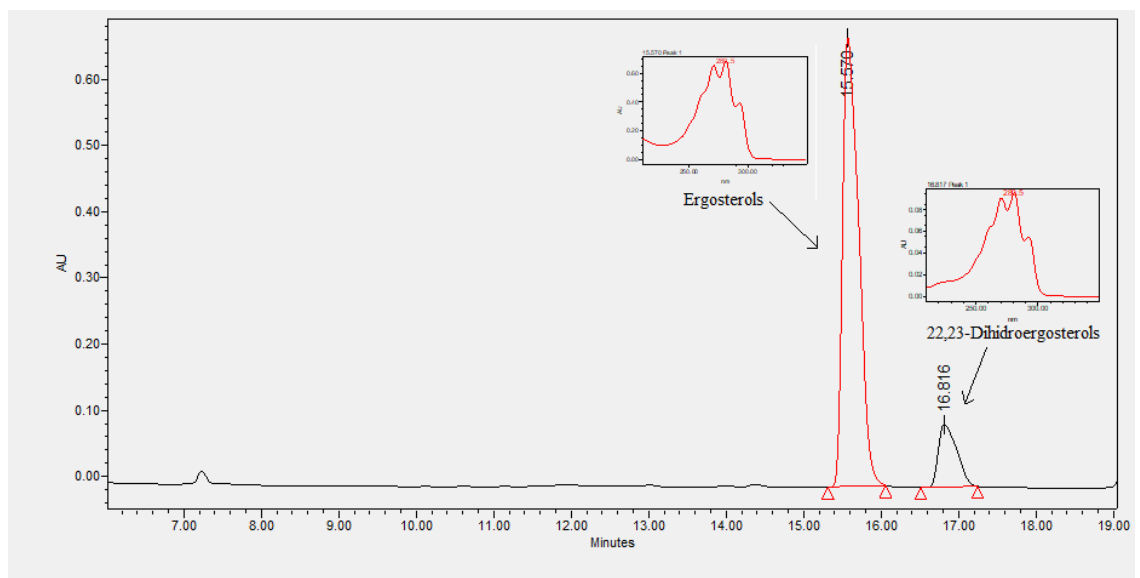
Kultivēto sēņu taukskābju gāzu hromatogrāfijas hromatogrammas



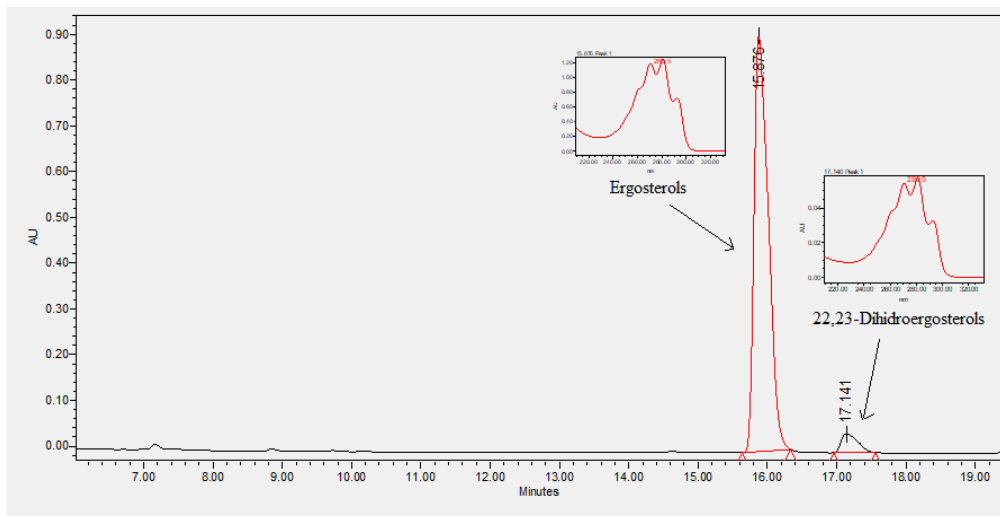
Rozēs ievāktās gailenes gailene (*C. cibarius*) šķidrumu hromatogrāfijas mikosterolu un fotoizomēru hromatogramma



Grants karjera (Pāvuļi) apkārtņē ievāktās baravikas (*B. edulis*) šķidrumu hromatogrāfijas mikosterolu un fotoizomēru hromatogramma



Kultivētā lielā brūnā šampinjona (*A. brunneofibrillosus*) šķidrumu hromatogrāfijas mikosterolu un fotoizomēru hromatogramma



Kultivētās šimeji (*H. tessellatus*) šķidrumu hromatogrāfijas mikosterolu un fotoizomēru hromatogramma

