



LATVIJAS UNIVERSITĀTE
**BIOLOĢIJAS
INSTITŪTS**



Latvijas
Biozinātņu un
tehnoloģiju
universitāte



Latvijas
Lauksaimniecības
universitāte

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS
Eiropas Lauksaimniecības fonds
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

Projekta

“JAUNU MIKROBIOLOĢISKO PREPARĀTU IZSTRĀDE UN PĀRBAUDE KULTŪRAUGU RAŽĪBAS PAAUGSTINĀŠANAI”

Noslēguma pārskats

Projekts Nr. 22-00-A01612-000014

Informācijas sagatavotājs: Latvijas Universitātes Medicīnas un dzīvības zinātņu fakultātes
Bioloģijas institūts, Rūpnieciskās mikrobioloģijas un pārtikas biotehnoloģijas laboratorija

Projekta vadītājs: *Dr. biol. Pāvels Semjonovs*

Sadarbības partneri:

Latvijas Universitāte

Latvijas Biozinātņu un Tehnoloģiju Universitāte

Baltiņa Jelgavas rajona z/s “AKMENTIŅI”

Šņickovska Jelgavas rajona z/s “KLĪVES”

Vītiņu pagasta z/s “RAITI”

Saimnieciskās darbības veicējs E. Gūtmanis

SIA “VA AGRO”

Latvijas Augļkopju asociācija

Projekta īstenošanas periods: 01.08.2022. – 30.06.2025.

Projekta kopējais finansējums – 455 222,25 EUR

RĪGA 2025

SATURS

TEKSTĀ LIETOTIE SAĪSINĀJUMI	5
PAMATJĒDZIENI	7
KOPSAVILKUMS	8
1. VISPĀRĪGĀ PROJEKTA INFORMĀCIJA	10
1.1. Partneri	10
1.2. Projekta mērķis.....	10
1.3. Ievads	11
1.4. Tēmas aktualitāte.....	12
1.5. Plānotie rezultāti.....	13
1.6. Projektā iesaistīto partneru uzdevumi un atbildības jomas	14
2. KULTŪRAUGU RAKSTUROJUMS.....	17
2.1. Kultūraugu ekonomiskā nozīme Latvijā	17
2.2. Kultūraugu raksturojums, galvenās problēmas	18
2.3. Latvijas apstākļiem izmantotas tradicionālas augu barošanas un aizsardzību veicinošas metodes un to ietekme uz vidi.....	28
3. MIKROAĻĢES - VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS	33
4. PROJEKTĀ IZMANTOTO MIKROAĻĢU RAKSTUROJUMS	41
4.1. Tetradismus obliquus.....	41
4.2. Graesiella emersonii.....	42
4.3. Spirulina platensis	43
4.4. Chlorella vulgaris	44
5. MIKROAĻĢU PRODUCĒTI VĒRTĪGI SAVIENOJUMI AUGIEM	46

5.1.	Biostimulanti	46
5.2.	Mikroaļģu biostimulantu (aļģu ekstraktu) pielietošana augiem	65
5.3.	Mikroaļģes kā biopesticīdi	68
6.	MIKROAĻĢU ŠŪNU EKSTRAKTU IEGŪŠANAS METODES.....	70
7.	PROJEKTA PRAKTISKĀ DARBĪBA.....	76
7.1.	Analītiskās metodes.....	76
7.2.	PROTOKOLS: Kultivācijas procesu optimizēšana plūsmas bioreaktoros	83
7.2.1.	Fotoautotrofa kultivācija dažādās temperatūrās.....	83
7.2.2.	Fotoautotrofa kultivācija ar dažādām barotnes koncentrācijām	90
7.2.3.	Fotoautotrofa kultivācija, izmantojot dažādu krāsu gaismas	92
7.2.4.	Fotoautotrofas kultivācijas novērtējums reāllaikā fotobioreaktorā pēc vides apstākļu optimizēšanas.....	98
7.3.	Mikroaļģu biomasas atdalīšanas metodes	103
7.4.	PROTOKOLS: aļģu biomasas pārstrāde un ekstraktu ieguve	110
7.4.1.	Ekstraktā esošo šķīdinātāju attiecība un ekstrakcijas laika izvēle, analīze	110
7.4.2.	Ekstraktā esošo mikroaļģu koncentrācijas izvēle, analīze	117
7.4.3.	Mikroaļģu ekstrahēšanas metodes un to ietekme uz ekstraktu fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām	121
8.	MIKROAĻĢU EFEKTIVITĀTES SKRĪNINGS UN LAUKA IZMĒĢINĀJUMI	129
8.1.	Tomāti	129
8.1.1.	Bioķīmiskie rādītāji tomātos	156
8.2.	Rudens avenas	168
8.2.1.	Rudens aveņu efektivitātes skrīninga rezultāti	174
8.2.2.	Secinājumi.....	182
8.2.3.	Rudens avenas- Ogu Bioķīmiskās analīzes LBTU laboratorijā.....	182
8.2.3.	Avenas – izmēģinājumi sadarbības partneru saimniecībās.....	197

8.2.4.	avenes Sadarbības partneru saimniecībās- Ogu Bioķīmiskās analīzes (Rezultāti)	210
8.3.	VASARAS UN ZIEMAS RAPSIS	217
8.3.1.	Metodika	219
8.4.	Burkāni	245
8.4.1.	Pētījuma metodika	256
8.4.2.	Iegūtās dārzeņu produkcijas ķīmisko analīžu noteikšanas metodika.....	258
8.4.3.	Rezultāti	263
8.5.	Mikrozaļumi	272
8.5.1.	Pētījuma metodika	282
8.5.2.	Rezultāti	283
	GALVENIE SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS.....	288
	PUBLICITĀTES PASĀKUMI.....	289
	PUBLICITĀTES VIZUĀLAIS MATERIĀLS	292
	LITERATŪRAS SARAKSTS.....	299

TEKSTĀ LIETOTIE SAĪSINĀJUMI

°Brix – Šķīstošo cietvielu saturs

3N-BBM-V – angl. *Bold Basal Medium with 3-fold Nitrogen and Vitamins*

4-Cl-IAA - 4-hloroindola-3-acetāts

AAZI – Augsnes un augu zinātņu institūts

ANOVA – Variabilitātes statistiskais tests

BSC – Bioloģiskā augsnes garoza

CCAP – angl. *Culture collection of algae and protozoa*, Aļģu un protistu kultūru kolekcija

CMV – Gurķu mozaīkas vīruss

CPC – C-fikocianīns

CPC – C-fikocianīns

DHA – Dokozaheksaēnskābe

EBIC – Eiropas biostimulantu rūpniecības padome

EPA – Eikozapentaēnskābe

ES – Eiropas Savienība

FAME – Taukskābju metilesteri

FAO – angl. *Food and Agriculture organisation*, Pārtikas un Lauksaimniecības organizācija.

FBR – Fotobioreaktors

FCR – Folin-Ciocalteu reaģents

GLA – γ-linolēnskābe

Gs – Giberelīnskābe

HIV – Cilvēka imūndeficīta vīruss

IAA – Indola-3-acetāts

IBA – Indola-3-butirāts

IMA – Indola-3-acetamīds

LAD – Lauka atbalsta dienests

LBTU – Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte

LOX – Lipoksigenāze

LPPF – Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģiju fakultāte

LRCSP – Latvijas Republikas centrālās statistikas pārvalde

LU – Latvijas Universitāte
MAE – Mikroviļņu asistētā ekstrakcija
MEP – Metileritritolafosfāts
MNTS – Mononepiesātinātās taukskābes
MS – angl. *Microsoft*
MVA – Mevalonāns
PAL – Fenillanīnaamonijaliāzs
PNTS – polinepiesātinātās tauksābes
PPTS – Polipiesātinātās tauksābes
RBDV – Aveņu krūmu pundurvīruss
ROS – angl. *Reactive oxygen species*, reaktīvie skābekļa radikāļi
rpm – angl. *Rounds per minute*, apgriezini minūtē
rRNS – Uz RNS balstīta gēnu analīze
SD – Standartnovirze
SEG – Siltumnīcas efekta gāzes
SIA – Sabiedrība ar ierobežotu atbildību
SPP – angl. *Several species*, vairākas sugas
TYLCV – Tomātu dzeltenlo lapu čokurošanās vīruss
ToMV – Tomātu mozaīkas vīruss
TSWV – Tomātu plankumainās vīšanas vīruss
UAE – Ultraskaņas asistētā ekstrakcija
USDA – angl. *United States department of Agriculture*, Amerikas Savienoto Valstu Agrikultūras departaments
UV – Ultravioletā gaisma
VLCFA – angl. *Very long chain fatty acids*, ļoti garu ķēžu taukskābes
z/s – Zemnieku saimniecība

PAMATJĒDZIENI

Barotne - uzturvielu maisījums, ko izmanto mikroorganismu vai augu šūnu audzēšanai laboratorijā vai rūpniecībā. Tā nodrošina nepieciešamās vielas augšanai un attīstībai.

Biomasa - dzīvo organismu kopējā masa noteiktā vidē vai no konkrēta organisma veida iegūtā organiskā viela, ko var izmantot tālākai apstrādei, piemēram, bioaktīvo savienojumu ieguvei.

Biostimulants - dabisks vai sintētisks produkts, kas uzlabo augu augšanu, izturību vai produktivitāti.

Ekstrakcija - procesa metode, kuras laikā no materiāla (piemēram, augiem vai mikroaļģēm) tiek iegūti noteikti savienojumi, izmantojot šķīdinātājus vai citas tehnikas.

Ekstrakts - koncentrēta viela, kas iegūta ekstrakcijas rezultātā un satur konkrētus aktīvos savienojumus no sākotnējā materiāla.

Fenoli - dabiskas izcelsmes savienojumi ar antioksidatīvām īpašībām, kas bieži sastopami augos un mikroaļģēs, un var pozitīvi ietekmēt augu veselību un noturību pret stresu.

Flavonoīdi - fenolu grupa, kas sastopama daudzos augos un mikroaļģēs. Tie darbojas kā antioksidanti un piedalās augu aizsardzībā pret stresu.

Fotoautotrofa kultivācija - mikroorganismu (piemēram, mikroaļģu) audzēšanas metode, kuras laikā tie izmanto gaismu kā enerģijas avotu un oglekļa dioksīdu kā oglekļa avotu, lai veidotu organiskas vielas, biomasu.

Fotobioreaktors (FBR) - speciāli izstrādāta iekārta mikroaļģu vai citu gaismu izmantojošu organismu audzēšanai, kas nodrošina kontrolētus apstākļus (gaismu, temperatūru, CO₂ utt.) to augšanai.

Fotosintēze - dabisks process, kura laikā augi, aļģes un daži mikroorganismi, izmantojot gaismas enerģiju, pārvērš oglekļa dioksīdu un ūdeni organiskās vielās (piemēram, cukuros), izdalot skābekli kā blakusproduktu.

Mikroaļģe - sīks, viencūnas ūdens organisms, kas spēj veikt fotosintēzi. Mikroaļģes tiek izmantotas biotehnoloģijā, jo tās ātri aug un satur vērtīgus savienojumus, piemēram, olbaltumvielas, lipīdus un antioksidantus.

KOPSAVILKUMS

Viena no būtiskākajām problēmām, ar ko jāsaskaras lauksaimniekiem, ir ražas zudumi, kas rezultējas ar to, ka ražotāji nevar palielināt produkcijas apjomus un efektivitāti. To ietekmē vairāki faktori - klimata pārmaiņas, augsnes degradācija, ierobežoti dabas resursi un pieaugošās ražošanas un apsaimniekošanas izmaksas. Šī projekta ietvaros tiek piedāvāts inovatīvs risinājums – izstrādāt un pārbaudīt uz mikroaļģu biomasas ekstraktiem balstītus biostimulantus, kas stimulē augu augšanu un attīstību. Tie tika izstrādāti Latvijā no kontrolētos apstākļos audzētām viensūnu mikroaļģēm, tādējādi veicinot vietējo ekonomiku, samazinot transportēšanas izmaksas un kopējās emisijas, kā arī palielinot šo līdzekļu pieejamību Latvijas lauksaimniekiem. Projekta laikā tika īstenoti vairāki uzdevumi - izstrādāta efektīva mikroaļģu audzēšanas metodika slēgtā tipa sistēmās (fotobioreaktors), izveidota tehnoloģija mikroaļģu biomasas ievākšanai un pārstrādei, iegūti augu augšanu stimulējoši ekstrakti, veikta šo līdzekļu efektivitātes kontrole uz dažādiem kultūraugiem gan laboratorijā, gan uz lauka, noteikta optimālā lietošanas deva, biežums un piemērotākās mikroaļģu sugas. Skrīninga ietvaros tika pētīta mikroaļģu *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis*, *Dunaliella salina*, *Tetrademus obliquus* un *Graesiella emersonii* ietekme uz tomātu stādu, avenu, rapšu un burkānu augšanu un attīstību.

Eksperimentu gaitā tika izveidoti protokoli efektīvai mikroaļģu audzēšanai fotobioreaktors, kur kā optimālākā augšanas barotnes koncentrācija visām mikroaļģu sugām tika noteikta 1 g/L un augšanas temperatūra 25°C, bet apgaismojuma izvēlē ir atkarīga no mērķa metabolītu izvēles, jo uz katru mikroaļģu sugu apgaismojuma krāsa un intensitāte rada savu ietekmi.

Kā efektīvākā un operatoram draudzīgākā mikroaļģu biomasas ievākšanas metode tika atzīta mikroaļģu nostādināšana paaugstinātā pH vidē tālāk iekonzentrēto mikroaļģu biomasu pārvietojot uz centrifūgu tālākai ūdens atdalīšanai no biomasas. Kā pēdējais solis ir žāvēšana termostātā, lai iegūtu sausu mikroaļģu biomasas pulveri.

No sausās mikroaļģu biomasas tika veikti vairāki eksperimenti, lai iegūtu mikroaļģu ekstraktus. Tika secināts, ka ne tikai ekstrakcijas metode ietekmē ekstrakta kvalitāti, bet arī izvēlēta mikroaļģu suga. Kā efektīvākā un vienkāršākā metode tika noteikta karsēšanu 70°C un mikroviļņu asistēto ekstrakciju. Abas metodes uzrādīja līdzvērtīgi augstus rezultātus.

Tālāk laboratorijā iegūtie mikroaļģu ekstrakti tika nodoti Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes pārziņā, lai veiktu eksperimentus uz tomātiem, avenēm, rapsi un burkāniem.

Apstrādājot tomātu stādus ar iegūtajiem mikroaļģu ekstraktiem, pētījuma laikā netika konstatēta negatīva ietekme uz tomātu augšanu un ražas veidošanos. Tika novērota būtiska ietekme uz lapu skaitu, garumu vidējā stumbra mezglā un šķīstošo cietvielu saturu. Kas ļauj secināt, ka tomātu stādi bija veselīgi un spēcīgāki salīdzinot ar kontroles grupām.

Apstrādājot remontantās avenes ar mikroaļģu ekstraktiem, līdzīgi kā tomātu stādiem, netika novērota negatīva ietekme uz aveņu augšanu un ražas veidošanos. Kopumā iegūtie rezultāti variēja starp aveņu stādiem un dažādiem mikroaļģu ekstraktiem, bet būtiskākos rezultātus uzrādīja *Chlorella vulgaris* ekstrakts.

Apsmidzinot vasaras un ziemas rapsi ar mikroaļģu ekstraktiem tika izvirzīti vairāki būtiski secinājumi. Pielietojot mikroaļģu ekstraktus vasaras rapsim tika novērota sānzuņu un pāksteņu skaita palielināšanās augam. Pirms ziemošanas rapšu stādiem tika novērots augstāks augšanas punkta augstums, kā arī rapša auga sausnas saturs bija lielāks izmantojot mikroaļģu ekstraktus.

Mikroaļģu ekstraktu izmantošana mikrozaļumu (balto sinepju un eļļas rutka) apstrādē var uzlabot izskatu, krāsu un tekstūru, kā arī zemākās koncentrācijās neveido negatīvu ietekmi uz to garšu. Kopumā mikroaļģu ekstraktu lietošana potenciāli var uzlabot uzturvērtību un augšanas dinamiku, kas ir vērtīgs papildinājums mikrozaļumu ražošanā.

Burkānu stādu apstrāde ar mikroaļģu ekstraktiem sniedza būtisku ietekmi uz maksimālo ražu salīdzinot ar kontroles grupu, kā arī sausnas saturs un šķīstošās sausnas saturs (BRIX) bija augstāks mikroaļģu ekstraktu apstrādes grupās.

Šī projekta pētījuma rezultāti apstiprina mikroaļģu potenciālu izmantošanu kā ilgtspējīgu un funkcionālu biostimulantu dažādu Latvijā plaši izplatītu un mazāk izplatītu kultūraugu apstrādei ar mērķi stimulēt noteiktus augu parametrus. Attiecīgi piemeklējot atbilstošāko mikroaļģes un kultūrauga savienojumu izvēlēto mērķa parametru stimulēšanai.

Projektā minētie mērķi un izvirzītie uzdevumi izpildes laikā tika sekmīgi izpildīti un detalizēti aprakstīti šīs atskaites tupinājumā.

1. VISPĀRĪGĀ PROJEKTA INFORMĀCIJA

1.1. Partneri

- **Latvijas Universitāte**, Raiņa bulvāris 19, Rīga, LV-1586, Pētniecības iestāde, *Dr. biol.* Līga Jankeviča, e-pasts liga.jankevica@lu.lv ;
- **Latvijas Biozinātņu un Tehnoloģiju Universitāte**, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001, Pētniecības iestāde, *Dr. agr.* Kaspars Kampuss, e-pasts kaspars.kampuss@llu.lv;
- Baltiņa Jelgavas rajona zemnieku saimniecība “**AKMENTIŅI**”, “Akmentiņi”, Vilces pag., Jelgavas nov., LV-3026, Jānis Baltiņš, e-pasts akmentini.b@inbox.lv;
- Šņickovska Jelgavas rajona zemnieku saimniecība “**KLĪVES**”, “Klīves”, Elejas pag., Jelgavas nov., LV-3023, Māris Šņickovskis, e-pasts maris.snickovskis@inbox.lv;
- Vītiņu pagasta zemnieku saimniecība “**RAITI**”, Liepu iela 5/6, Vītiņi, Vītiņu pag., Auces nov., LV-3708, Raitis Ence, e-pasts raitis.ence@gmail.com;
- Pašnodarbinātais **EDGARS GŪTMANIS**, “Dzērves”, Vircavas pagasts, Jelgavas novads, LV-3020, Edgars Gūtmanis, e-pasts evitass@inbox.lv;
- **SIA “VA AGRO”**, Zemnieku iela 24, Eleja, Elejas pag., Jelgavas nov., LV-3023, Agris Vanags, e-pasts andisvanags@inbox.lv;
- **Latvijas Augļkopju Asociācija**, Saltavota iela 30, Kalnabeites, Siguldas pag., Siguldas nov., LV-2150

1.2. Projekta mērķis

Projekta mērķis ir izstrādāt augu augšanu un attīstību stimulējošus preparātus, izmantojot vienkāršu mikroaļģu biomasas ekstraktus, un pārbaudīt to efektivitāti dažādu kultūraugu stādījumos - gan kontrolētos apstākļos, veģetācijas traukos, gan mainīgos ražošanas apstākļos.

Aļģu izcelsmes produktu izmantošana lauksaimniecībā prasa:

- 1) izstrādāt mikroaļģu audzēšanas metodiku,
- 2) ievāktās mikroaļģu biomasas pārstrādi,
- 3) pētījumus par aļģu izcelsmes produktu efektivitāti uz kultūraugiem.

Eiropas Savienība par prioritāti izvirzījusi attīstīt ilgtspējīgu, zināšanās bāzētu bioekonomiku, ko Latvija iekļāvusi kā vienu no tautsaimniecības viedās specializācijas (RIS3) jomas mērķiem. Atbilstoši tai un nepieciešamībai rast jaunus konkurētspējīgus un ilgtspējīgus risinājumus lauksaimniecības produkcijas ražošanā, projekts piedāvā veidot Latvijā vēl nebijušu praktisko zināšanu bāzi par viensūnas mikroaļģu audzēšanu kontrolētos apstākļos, slēgtās platībās un pārbaudīt no mikroaļģēm iegūto līdzekļa efektivitāti augu augšanas, ražošanas un stresa tolerances veicināšanā Latvijas apstākļos augošajiem kultūraugiem.

Piedāvātajai metodei ir vairākas priekšrocības, salīdzinājumā ar esošajiem līdzekļiem, ietverot atvieglinātu biomasas ievākšanu un pārstrādi, potenciāli jaunu aktīvo savienojumu izmantošanu un nākotnes iespējas aļģu produktu bioinženierijā.

1.3. Ievads

Mūsdienu lauksaimniecība saskaras ar būtiskiem izaicinājumiem – klimata pārmaiņas, augsnes degradācija, ierobežoti dabas resursi un pieaugošas ražošanas izmaksas. Tas būtiski ietekmē kultūraugu ražību un lauksaimnieku spēju konkurēt tirgū. Vienlaikus arvien lielāks uzsvars tiek likts uz ilgtspējīgas, videi draudzīgas un zināšanās balstītas bioekonomikas attīstību. Lauksaimnieki meklē alternatīvas tradicionālajiem sintētiskajiem mēslojumiem un pesticīdiem, kuri ilgtermiņā nelabvēlīgi ietekmē ekosistēmas un cilvēka veselību. Tāpēc īpaši aktuāla kļūst bioloģiskas izcelsmes augu augšanas stimulatoru izstrāde, kas palīdzētu nodrošināt kultūraugu produktivitāti, samazinot ārējo vides risku faktoru ietekmi.

Šī projekta ietvaros tiek piedāvāts inovatīvs risinājums – izstrādāt un pārbaudīt mikroaļģu biomasas ekstraktos balstītus biostimulantus, kas stimulē augu augšanu un attīstību. Atšķirībā no esošajiem tirgū pieejamajiem jūras aļģu produktiem, šie preparāti tiks iegūti no kontrolētos apstākļos audzētām viensūnu mikroaļģēm Latvijā, tādējādi nodrošinot vietējo resursu izmantošanu, samazinot transporta izmaksas un emisijas, kā arī palielinot šo līdzekļu pieejamību Latvijas lauksaimniekiem. Mikroaļģu audzēšana slēgtā tipa bioreaktoros ir ilgtspējīga tehnoloģija, kas ne tikai ļauj iegūt augstas kvalitātes biomasu, bet arī asimilē oglekļa dioksīdu, tādējādi sniedzot pozitīvu ieguldījumu klimata pārmaiņu mazināšanā.

Projekta mērķis ir izstrādāt efektīvus un videi draudzīgus augu augšanu un attīstību veicinošus preparātus, izmantojot viensūnu mikroaļģu biomasas ekstraktus, un pārbaudīt to efektivitāti dažādu kultūraugu stādījumos gan kontrolētos, gan mainīgos ražošanas apstākļos. Šie

preparāti paredzēti lietošanai gan bioloģiskajās, gan integrētajās saimniecībās, lai uzlabotu kultūraugu augšanas rādītājus, ražas kvalitāti un stresa noturību. Turklāt tiem ir potenciāls daļēji vai pilnībā aizstāt sintētiskos mēslošanas līdzekļus, nodrošinot veselīgāku un dabai draudzīgāku ražošanu.

Lai sasniegtu projekta mērķi, paredzēts īstenot vairākus galvenos uzdevumus – izstrādāt efektīvu mikroaļģu audzēšanas metodiku slēgtā tipa sistēmās; izveidot tehnoloģiju mikroaļģu biomasas ievākšanai un pārstrādei, iegūstot augu augšanu stimulējošus ekstraktus; veikt šo līdzekļu efektivitātes novērtējumu dažādos kultūraugos – gan laboratorijas apstākļos, gan izmēģinājumu lauka apstākļos; noteikt optimālās lietošanas devas, biežumu un piemērotākās mikroaļģu sugas.

Projektā paredzētais risinājums apvieno tehnoloģisku jauninājumu ar praktisku lietojamību, veidojot zināšanās balstītu pamatu mikroaļģu biostimulantu attīstībai un ieviešanai Latvijas lauksaimniecībā. Tas ne tikai sniegs pienesumu videi draudzīgas ražošanas attīstībā, bet arī uzlabos saimniecību ekonomisko dzīvotspēju un nākotnē var sekmēt inovatīvu, eksportspējīgu biotehnoloģiju nozari Latvijā.

1.4. Tēmas aktualitāte

Viena no būtiskākajām problēmām, ar ko saskaras lauksaimnieki, ir ražas zudumi, kas šobrīd daudziem ražotājiem neļauj kāpināt produkcijas apjomu, ražīgumu un efektivitāti. Izstrādājot un aprobējot jaunu un efektīvu augu biostimulatoru, kas ļautu cīnīties ar ārējo apstākļu ietekmi, tādējādi paaugstinot produktivitāti un augu augšanas rādītājus, tiktu uzlabota lauku saimniecību dzīvotspēja un konkurētspēja, kā arī veicināta inovatīvu metožu ieviešana.

Projektā plānotais risinājums ir videi draudzīgs, jo gan aļģu audzēšanas process ir ilgtspējīgs, gan preparāta izmantošanas laikā paredzēts samazināt sintētisko materiālo lietošanu (t.sk. aizstājot sintētiskos slāpekli, fosforu un kāliju saturošus līdzekļus).

Mikroaļģu kultivācijas gaitā tiek asimilēta CO₂, ar ko saistāms to potenciāls pielietojums rūpniecības un lauksaimnieciskās ražošanas emisijas gāzu samazināšanai; šāds tehnoloģiskais risinājums prasītu atsevišķu rūpniecisku izpēti un būtu iespējams kā šī projekta turpinājums, mērogojot jaunā biostimulanta ražošanas apjomu sadarbībā ar komersantiem. Jāatzīmē, ka emisijas

gāzu izmantošana mikroaļģu kultivācijas procesos ne tikai sniedz ieguldījumu klimata pārmaiņu samazināšanā, bet arī uzlabo mikroaļģu biomasas sintēzes efektivitāti.

Jauni mikroaļģu preparāti apmierinās augošo biostimulantu tirgus pieprasījumu un iespējos bioloģiskā lauksaimniecības sektora attīstību Latvijā un ES. Latvijā ražoti augkopības preparāti var kalpot par pamatu biotehnoloģijās balstītu produktu ražošanas attīstībai un valsts ekonomikas eksportspējas kāpumam, tādējādi atbilstot tautsaimniecības viedās specializācijas (RIS3) jomas mērķiem par zināšanās bāzētu bioekonomiku. Papildus tam, šādi soļi ļaus īstenot ES direktīvas un iniciatīvas (piem., “No lauka līdz galdam”) par sintētisko pesticīdu un minerālmēsli izmantošanas samazinājumu ilgtspējīgas lauksaimniecības produkcijas ieguvei. Svarīgi, ka šāds mērķis pakļaujas arī tirgus tendencēm – augošajam pasaules pieprasījumam pēc bioloģiskas izcelsmes augu augšanas stimulantiem. Projekts piedāvās metodoloģisku jaunradi (nebijušu Latvijas mērogā) un potenciālu mikroaļģu preparātu prototipu izstrādi, kas varētu kalpot par pirmo soli šādu produktu rūpnieciskai izpētei un praktiskai ražošanai Latvijā uzņēmumos.

Jaunu organiskas izcelsmes biostimulantu izmantošana sniegtu potenciālu produktivitātes un konkurētspējas kāpumu Latvijas bioloģiskajās un integrētajās lauku saimniecībās. Šobrīd tirgū pieejamie jūras aļģu ekstrakti, piem., Kelpak, Maxicrop, BioNova, Wuxal u.c., bieži izmanto savvaļā ievāktus (nevis izaudzētus) izejmateriālu resursus, tiek ražoti attāli no produkta patēriņa vietām un nav vietēji ražoti. Latvijā ražots produkts palielinātu vietējiem lauksaimniekiem pieejamo produktu klāstu. Papildus tam, mikroaļģu izmantošanas priekšrocības ietver arī iespēju ražošanu pārcelt tuvāk lauku saimniecībām, samazinot produkta transporta izmaksas un cenu. Projektā izmantotā mikroaļģu audzēšanas tehnoloģija slēgta tipa bioreaktoros ļautu arī šādu ražošanu veikt autonomi lielsaimniecībās, kas pašas rada pietiekamu patēriņu un kam pietiktu tehnoloģiskās jaudas.

1.5. Plānotie rezultāti

Aļģu izcelsmes produktu izmantošana nestu būtisku pienesumu ilgtspējīgas, videi draudzīgas lauksaimniecības attīstībā, samazinot sintētiskā minerālmēslojuma un pesticīdu izmantošanu un ar to lietošanu saistītās izmaksas, tā vietā piedāvājot salīdzināmu pienesumu augu ražības nodrošināšanā, kā arī pievienoto vērtību sabiedrībai, dabisko un agro-ekosistēmu funkciju nodrošināšanā.

Projektā piedāvātais risinājums būs ilgtspējīgs, nodrošinot vienlaicīgi gan vides aizsardzību, gan efektīvu augsnes resursu izmantošanu, gan ekonomisko rādītāju uzlabošanas saimniecībās, kā arī, pielietojot izstrādāto metodi praksē, ražotie produkti būs veselīgi un cilvēka veselībai nekaitīgi. Mikroaļģu biomasā esošie augu fitohormonu analogi spēj regulēt auga atbildes reakcijas pret vides stresu – sausumu, temperatūru, sasāļošanos, palielinot auga noturību šajos apstākļos. Lai novērtētu mikroaļģu biomasu saturoša biostimulanta spēju uzlabot augu augšanas rādītājus, ražas kvalitāti un ražību, tiks veikta tā pārbaude projekta partneru saimniecībās speciāli šiem nolūkiem ierīkotajos izmēģinājumu laukos. Tādā veidā tiks noskaidroti optimālie apstākļi, devas un mikroaļģu sugas Latvijas kultūraugu apstrādei, lai tiktu iegūti labākie un efektīvākie rezultāti un tiktu pēc iespējas precīzāka informācija nodota citiem interesentiem, galvenokārt, lauksaimniekiem.

Projekta ietvaros vairākās saimniecībās paredzēts aizstāt līdz šim izmantotos sintētiskos mēslošanas līdzekļus ar izstrādāto mikroaļģu biostimulējošo līdzekli, kas ir videi draudzīgs, cilvēka veselībai nekaitīgs un nav toksisks. Paredzēts, ka projektā izveidoto mikroaļģu biomasas saturošo līdzekli stādījumu apstrādei varēs izmantot 2-4 reizes mēnesī pēc nepieciešamības, atkarībā no auga un augšanas apstākļiem, t.sk. vai tas tiek lietots profilaktiski augu stresa tolerances paaugstināšanai, vai arī lai ierobežotu augu slimības. Paredzams, ka mikroaļģu biomasu varēs izmantot kā bioloģisko papildmēslojumu, lai uzlabotu augsnes auglību, barības elementu apriti augos, augu augšanu, ražas kvalitāti un uzturvērtību.

Samazinot sintētisko materiālu lietošanu integrētajā audzēšanā, ir plānots atjaunot, uzlabot un saglabāt augsnes sastāvu ogulāju / dārzeņu stādījumos vai rapšu sējumos. Savukārt, bioloģiskajām saimniecībām pēc projekta iespējams būs pieejams preparāts, kas paaugstina to ražošanas efektivitāti, salīdzinājumā ar līdz šim izmantotajiem bioloģiskajiem preparātiem.

Veicot salīdzinājumu eksperimentālajā un kontroles laukā iegūtajiem datiem, ir plānots pārbaudīt ekonomisko rādītāju uzlabošanas, piemēram, veicot ražības rādītāju, ogu/dārzeņu svara, jauno dzinumu un lapu skaita kontroli, lai noteiktu ietekmi uz augšanas rādītāju uzlabošanas. Ja šie rādītāji tiks pierādīti, tad preparāta komercializēšana un pielietošana paaugstinās saimniecību ienākumus un nodrošinās ilgtspējīgu attīstību, saimniekojot videi draudzīgi un ekonomiski.

1.6. Projektā iesaistīto partneru uzdevumi un atbildības jomas

Latvijas Universitāte:

- Projekta koordinācija un vadība - iepirkuma dokumentu sagatavošana, saskaņošana ar LAD, līgumu slēgšana ar piegāžu vai pakalpojumu sniedzējiem. Maksājuma pieprasījumu sagatavošana un iesniegšana. Informācijas un dokumentu aprīte starp partneriem. Citi vadības pienākumi;
- Fitostimulējošo mikroaļģu sugu autotrofās kultivācijas metodoloģijas izstrāde (t.sk. zinātniskās literatūras izpēte un pētījumu metodoloģijas izstrāde) - izstrādāta fitostimulējošo mikroaļģu sugu autotrofās kultivācijas metode, izvēloties produktīvākās kultūras;
- Izvēlētu fitostimulējošo mikroaļģu sugu autotrofās kultivācijas procesa optimizēšana plūsmas bioreaktoros - optimizēti fitostimulējošās mikroaļģu sugas kultivācijas un biomasas veidošanas procesi plūsmas bioreaktorā;
- Mikroaļģu ekstraktu iegūšanas metodoloģijas izstrāde - novērtēta alternatīvu biomasas atdalīšanas (no audzēšanas barotnes) paņēmieni efektivitāte. Novērtēta un optimizēta fitostimulējošo aktīvo vielu ekstrakcijas metožu efektivitāte, izvēloties optimālo;
- Mikroaļģu ekstraktu efektivitātes skrīnings (t.sk. zinātniskās literatūras izpēte un praktiskā pētījuma metodoloģijas izstrāde) – zinātniskās literatūras analīze, izmēģinājumu metodikas izstrāde, izmēģinājumu veikšana veģetācijas traukos siltumnīcās, nosakot aļģu preparātu ietekmi uz kultūraugu augšanu un attīstību, biomasas pieaugumu un ražību, pēc tam prioritizējot preparātus;
- Lauka izmēģinājumu metodoloģijas izstrāde, pārraudzība, datu apkopošana un analīze - izmēģinājumu metodikas izstrāde, izmēģinājumu lauku nodefinēšana, nospraušana un saimniecību pētnieciskā darba pārraudzība. Datu analīze un secinājumu apkopošana;
- Projekta publicitāte - nodrošināta projekta publicitāte gan zinātniskajā vidē, gan lauksaimniecības nozares speciālistu vidū.

Latvijas Biozinātņu un Tehnoloģiju Universitāte:

- Mikroaļģu ekstraktu efektivitātes skrīnings (t.sk. zinātniskās literatūras izpēte un praktiskā pētījuma metodoloģijas izstrāde) – zinātniskās literatūras analīze, izmēģinājumu metodikas izstrāde, izmēģinājumu veikšana veģetācijas traukos siltumnīcās, nosakot aļģu preparātu ietekmi uz kultūraugu augšanu un attīstību, biomasas pieaugumu un ražību, pēc tam prioritizējot preparātus;

- Lauka izmēģinājumu metodoloģijas izstrāde, pārraudzība, datu apkopošana un analīze - izmēģinājumu metodikas izstrāde, izmēģinājumu lauku nodefinēšana, nospraušana un saimniecību pētnieciskā darba pārraudzība. Datu analīze un secinājumu apkopošana;
- Mikroaļģu ekstraktu efektivitātes verifikācija lauka izmēģinājumos - partneru koordinācija, produktu prototipu piegāde saimniecībās. Darbinieku lietošanas apmācība. Lauka izmēģinājumu koordinēšana, nosakot aļģu preparātu ietekmi uz kultūraugu augšanu un attīstību, stresa toleranci, biomasas pieaugumu un ražību;
- Projekta publicitāte - nodrošināta projekta publicitāte gan zinātniskajā vidē, gan lauksaimniecības nozares speciālistu vidū.

SIA “VA AGRO”:

- Mikroaļģu ekstraktu efektivitātes verifikācija lauka izmēģinājumos - lauka izmēģinājumu veikšana. Eksperimentālās un kontroles lauku stādījumu uzturēšana atbilstoši pētnieku norādījumiem.

Latvijas Augļkopju Asociācija:

- Projekta publicitāte - nodrošināta projekta publicitāte gan zinātniskajā vidē, gan lauksaimniecības nozares speciālistu vidū.

Saimniecības:

- Baltiņa Jelgavas rajona zemnieku saimniecība **“AKMENTIŅI”**, “Akmentiņi”, Vilces pag., Jelgavas nov., LV-3026;
- Šņickovska Jelgavas rajona zemnieku saimniecība **“KLĪVES”**, “Klīves”, Elejas pag., Jelgavas nov., LV-3023;
- Vītiņu pagasta zemnieku saimniecība **“RAITI”**, Liepu iela 5/6, Vītiņi, Vītiņu pag., Auces nov., LV-3708;
- Pašnodarbinātais **EDGARS GŪTMANIS**, “Dzērves”, Vircavas pagasts, Jelgavas novads, LV-3020.
- Mikroaļģu ekstraktu efektivitātes verifikācija lauka izmēģinājumos - lauka izmēģinājumu veikšana. Eksperimentālās un kontroles lauku stādījumu uzturēšana atbilstoši pētnieku norādījumiem.

2. KULTŪRAUGU RAKSTUROJUMS

2.1. Kultūraugu ekonomiskā nozīme Latvijā

Latvijas mērenās joslas klimatiskie apstākļi ir piemēroti dažādu kultūraugu audzēšanai. Sākot ar viduslaikiem, pakāpeniski atbrīvojot ainavu no mežiem un iestrādājot zemi lauksaimniecībai, tika uzsākta dažādu kultūraugu audzēšana. Latvijas teritorijās jau izsenis tika piekoptas viensētas kultivēšanas tradīcijas, tas mainījās 20. gs. laikā, mainoties politiskai un ekonomiskai varai, tomēr vēsturiski tendence uz nelielām saimniecībām ir saglabājusies (Irina Pilvere 2013).

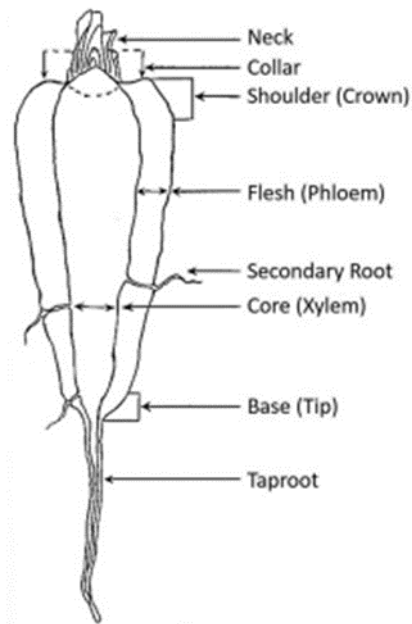
Latvijas teritorijai ekonomiski un pēc aizņemtās platības svarīgākās lauksaimniecības augu kultūras ir dažādi graudaugi, ziemāji, vasarāji, auzas, griķi, pākšaugi un dažādi atklātā lauka dārzeni, piemēram, bietes, burkāni, kartupeļi, sīpoli, u.c. Projektā pētītie augi ir avenas, rapsis, burkāni un tomāti, visas šīs kultūras ir svarīgas Latvijas lauksaimniecībā (skat. 2.1.1. attēlu). Piemēram, rapša (gan ziemas, gan vasaras) kopējās sējuma platības laika periodā no 2019. līdz 2023. gadam saglabājas aptuveni 140 tūkst. hektāru lielas platības. Līdzīgi ar burkānu sējuma platībām - attiecīgajā laika periodā, aizņemot aptuveni 30 līdz 40 tūkst. hektāru. Tomāti Latvijas klimatiskajos apstākļos parasti tiek audzēti siltumnīcās, kur iespējams nodrošināt ilgāku silto veģetācijas laiku. Avenas tiek audzētas atklātā laukā plantāciju veidā (LR CSP 2023a).

	2019	2020	2021	2022	2023
Sējumu platība, tūkst. ha					
Ziemas rapsis	116,4	127,7	132,2	139,3	141,1
Vasaras rapsis	23,7	18,2	14,7	21,0	10,1
Tomāti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Burkāni	1,6	1,4	1,4	1,4	1,2
Kopraža, tūkst. tonnu					
Ziemas rapsis	362,1	415,1	403,2	321,9	334,5
Vasaras rapsis	43,5	36,2	21,8	33,0	15,0
Tomāti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Burkāni	37,0	39,3	30,7	32,3	27,4
Vidējā ražība, cnt no 1 ha					
Ziemas rapsis	31,1	32,5	30,5	23,1	23,7
Vasaras rapsis	18,4	19,9	14,8	15,7	14,8
Tomāti	147,0	41,1	50,0	26,7	38,7
Burkāni	238,0	269,0	213,0	232,0	222,4

2.1.1. attēls. Lauksaimniecības kultūraugu sējumu platība, kopraža un vidējā ražība (LR CSP 2023a).

2.2. Kultūraugu raksturojums, galvenās problēmas

Burkāni (*Daucus carota* L.) tiek raksturoti kā viengadīgas zālaugu kultūras ar atšķirīgām daļām, piemēram, kaklu, apkakli, plecu, mīkstumu un saknes serdi (skat, 2.2.1. attēlu). Tie ir bagāti ar barības vielām, īpaši karotinoīdiem, piemēram, α - un β -karotīniem, kas ir svarīgi cilvēku veselībai, īpaši redzei un imūnsistēmas darbībai (skat. 2.2.2. attēlu). Burkāni ir pazīstami ar to antioksidantu īpašībām, kas var palīdzēt novērst noteiktas slimības. USDA (angl. *United States Department of Agriculture*) iesaka patērēt sarkanos un oranžos dārzeņus, tostarp burkānus, lai gūtu labumu veselībai. Turklāt tumšās krāsas burkāni satur antocianīna pigmentus, kas kalpo kā antioksidanti un dabiskās pārtikas krāsvielas. Kopumā burkānos ir daudz ūdens, ogļhidrātu un šķiedrvielu, padarot tos par vērtīgu papildinājumu veselīgam uzturam (Barzee et al. 2019).



2.2.1. attēls. Gareniskā burkānu daļa (Barzee et al. 2019).

Burkānus parasti novāc ar rokām vai, izmantojot mehāniskas metodes, piemēram, paceļamos kombainus. No augšas paceļamiem kombainiem tiek izmantoti asmeņi, lai atbrīvotu burkānus no augsnes un nodotu visu augu tālākām apstrādes darbībām. Ekskavatori liftveidīgos kombainos izmanto asmeņus un lāpstas, lai atraisītu zemi un izolētu saknes. Lai gan mehāniskā ražas novākšana samazina roku darbu, tā var radīt lielāku kaitējumu burkāniem. No augšas paceļami kombaini ir visizplatītākā komerciāli izmantotā ražas novākšanas metode. Pēc ražas novākšanas burkāni tiek transportēti uz iekārtām, kur tos (vajadzības gadījumā) var uzglabāt

aukstuma kamerās, lai saglabātu ideālus uzglabāšanas apstākļus, kas var pagarināt to glabāšanas laiku līdz 5–9 mēnešiem. Burkāni pirms uzglabāšanas bieži tiek mazgāti un atdzesēti ar ūdeni. Tomēr ir ziņots par ilgāku glabāšanas laiku nemazgātiem burkāniem bez aizsargkārtas, jo ir samazināti apstrādes apstākļi, kas var izraisīt virsmas plaisas un puvi. Uzglabāšanas laikā jāizvairās no mehāniskas spriedzes, piemēram, kratīšanas un nokrišanas, lai novērstu pastiprinātu augu elpošanu un nevēlamu savienojumu veidošanos (Barzee et al. 2019).

Table 1 Biochemical Composition of Raw Carrots			
	Unit	Value	References
MC	% (w.b.)	86–89	Sharma et al. (2012), USDA (2018a)
Protein		0.7–0.93	
Fat		0.2–0.5	
Carbohydrate		6–10.6	
Crude Fiber		1.2–2.8	
Total Ash		1.1	
Ca	mg/	34–80	
Fe	100g	0.3–2.2	
P		25–53	
Na		40–69	
K		240–320	
Mg		9–12	
Cu		0.02	
Zn		0.2–0.24	
Carotenes		5.33	
Thiamin		0.04–0.066	
Riboflavin		0.02–0.058	
Niacin		0.2–0.983	
Vitamin C		4–5.9	

2.2.2. attēls. Neapstrādātu burkānu bioķīmiskais sastāvs (Barzee et al. 2019).

Galvenās burkānu kultūru slimības ir saistītas ar dažādiem mikroorganismiem. Lapotnes puves, piemēram, *Alternaria dauci*, *Cercospora carotae* un *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae* kopā ar augsnē pārnēsātām slimībām, piemēram, *Pythium violae* un *P. sulcatum* rada nozīmīgus draudus burkānu kultūrām. Pelēšana pēc ražas novākšanas ir saistīta ar tādiem patogēniem kā baltā pelējuma (*Sclerotinia sclerotiorum*) un melnās puves mikrosēnēm (*Alternaria radicina*). Turklāt *Berkeleyomyces basicola* un *Chalaropsis thielavioides* izraisa melno sakņu puvi (skat, 2.2.3. attēlu). Sakņu nematodes (*Meloidogyne* spp.) arī rada problēmas audzēšanas un kontroles pasākumiem burkānu audzēšanas reģionos visā pasaulē. Slimību pārvaldības stratēģijas ietver patogēnu identificēšanu, pētniecību patogēnu bioloģijā un epidemioloģijā, kultūras praksi,

biopesticīdus, fungicīdus, saimniekorganisma rezistenci un šo metožu apvienošanu, lai panāktu efektīvu slimību kontroli (Higgins et al. 2023).

Burkānu *alternaria* lapu sēnīte sākotnēji tika aprakstīta Vācijā 1855. gadā, izraisot milzīgus zaudējumus vairākās Ziemeļeiropas valstīs. Organisms tika identificēts kā *Sporidesmium exitiosum*. Tomēr nākamos 90 gadus tas būtiski neietekmēja burkānu ražu Eiropā. Amerikas Savienotajās Valstīs par to pirmo reizi tika ziņots Luiziānā 1890. gadā, identificējot kā *Macrosporium carotae*. Paplašinoties komerciālajai burkānu ražošanai gar austrumu piekrasti, slimība izplatījās no Masačūsetsas uz Floridu, radot būtisku kaitējumu burkānu kultūrām. Laika gaitā *Alternaria* lapu puve ir kļuvusi par vienu no postošākajām burkānu slimībām visā pasaulē, tai skaitā Latvijā. Tā mēdz rasties, ja burkānus audzē mērenā klimata temperatūrā un lapas tiek pakļautas ilgstošai mitrināšanai no nokrišņiem, rasas vai laistīšanas ar smidzinātājiem. Lai gan nav pieejama konkrēta gada zaudējumu statistika, ir ziņots, ka smagas epidēmijas Izraēlā samazināja ražu par 40-60% (James et al. 2004).



2.2.3. attēls. Melnās puves simptomi uz kātiņu pamatnēm un burkānu vainaga (James et al. 2004).

Tomāti (*Solanum lycopersicum* L.) ir būtiski globālā pārtikas patēriņa produkti, ierindojoties kā otrais lielākais dārzenis gan ražošanas, gan patēriņa ziņā (FAO 2016). ASV tie ir otrie visvairāk patērētie svaigie dārzeņi ar vidēji 6 kg uz vienu cilvēku 2017. gadā. Dažādi ar uzturvērtību, tomāti ir bagāti ar vitamīniem (piemēram, C vitamīnu un provitamīnu A), minerālvielām, piemēram, kāliju, un sekundāriem metabolītiem, tostarp likopēnu, flavonoīdiem, fitosterīniem un polifenoliem. Piemēram, 100 g svaigu tomātu var nodrošināt vairāk nekā 46% no

A vitamīna dienas devas, 8% - C vitamīna (dienas deva - 82,5 mg) un 3,4% - kālija (dienas deva - 3500 mg). Apstrādāti tomātu produkti (zupa, pasta, koncentrāts, sula, kečups u.c.) arī sniedz ieguvumus veselībai, pateicoties šo savienojumu klātbūtnei (Evelyn, Villanueva Gutierrez 2018).

Carotenoid Content of Tomatoes and Selected Tomato Products				
Carotenoid	Vitamin A activity ^b	Tomato Product ^a		
		Canned tomatoes	Tomato catsup	Tomato sauce
mg/100 g				
Phytoene	–	1.9	3.4	3.0
Phytofluene	–	0.8	1.5	1.3
zeta-Carotene	–	0.2	0.3	0.8
Neurosporene	–	1.1	2.6	7.0
Lycopene	–	9.3	17.2	18.0
gamma-Carotene	+	1.5	3.0	3.2
beta-Carotene	++	0.2	0.6	0.5

^a Data from Tonucci *et al* (7).

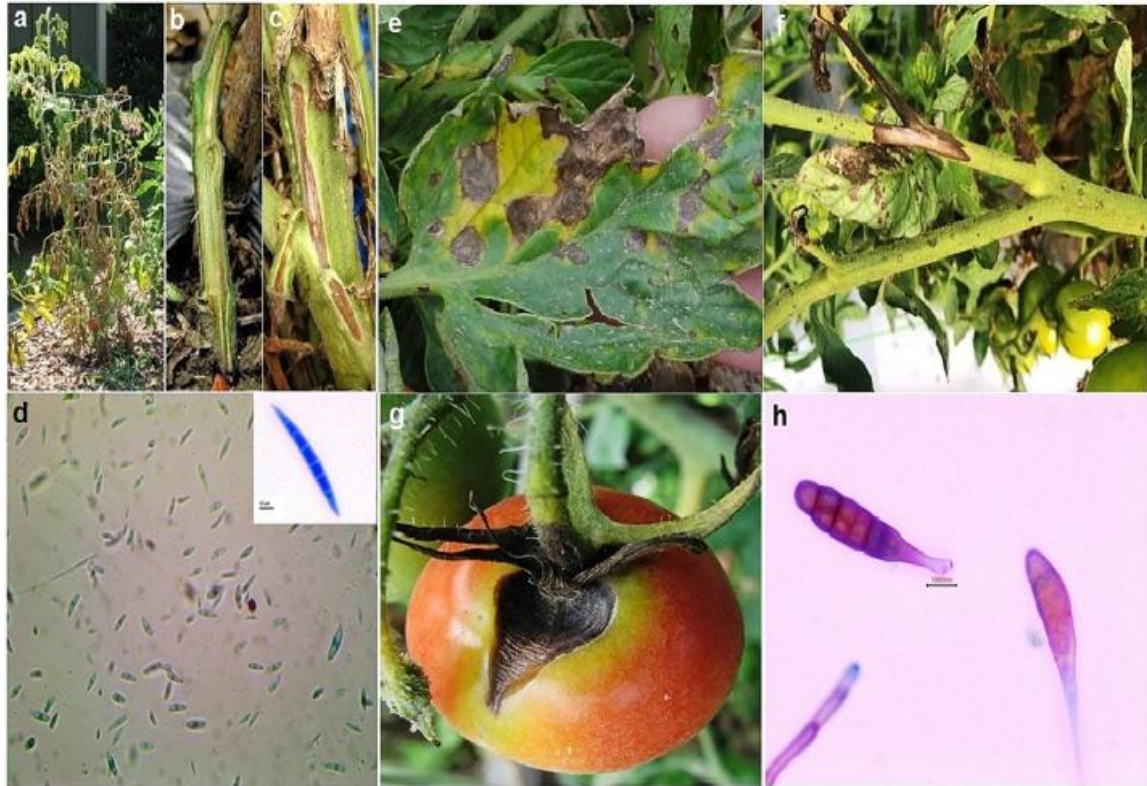
^b Vitamin A activity based on similarity of chemical structure of part of carotenoid molecule to retinol.

2.2.4. attēls. Karotinoīdu saturs tomātos un tomātu produktos (Beecher 1998).

Tomātu augiem optimālai augšanai nepieciešams ievērojams daudzums slāpekļa, fosfora un kālija. Šo uzturvielu nelīdzsvarotība var negatīvi ietekmēt augļu kvalitāti. Slāpekļa līmenis ietekmē kopējās šķīstošās cietās vielas augā, un tā samazinājums ir saistīts ar paaugstinātu to koncentrāciju, bet tam var būt dažāda ietekme uz ražu. Augsta kālija koncentrācija palielina kopējo šķīstošo vielu koncentrāciju, iespējams, paaugstinātas elektriskās vadītspējas dēļ. Barības vielu avota veids, piemēram, šķidrā vai cietā mēslojums, arī ietekmē barības vielu uzsūkšanos. Karotinoīdu, īpaši likopēna, līmenis (skat. 2.2.4. attēlu) pozitīvi korelē ar kālija pieejamību augam. Sāluma līmenis augsnē no 2,5 līdz 14 dS m/l palielina cukura saturu tomātos, bet pārāk daudz sāls var samazināt ražu un augļu skaitu. Barības vielu trūkums augsnē var kaitēt tomātu kvalitātei un ražai. Kālija deficīts izraisa nevienmērīgu nogatavināšanu, savukārt kalcija lietošana palielina izturību pret dažādiem nelabvēlīgiem vides faktoriem (Evelyn, Gutierrez 2018).

Tomāti ir uzņēmīgi pret virkni patogēnu (skat. 2.2.5. attēlu), kas var nopietni ietekmēt to augšanu, ražu un vispārējo veselību. Starp nozīmīgākajiem ir mikrosēņu patogēni, tostarp *Phytophthora infestans* (izraisa vēlīno puvi), *Fusarium oxysporum* (izraisa puvi), *Alternaria solani* (izraisa agrīno puvi) un *Botrytis cinerea* (izraisa pelēko pelējumu). Šīs mikroskopiskās sēnes var inficēt dažādas tomātu auga daļas, lapas, stublājus un augļus, izraisot vītumu, puvi un augļu kvalitātes pasliktināšanos. Baktēriju patogēni arī rada ievērojamus draudus tomātiem, piemēram, *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, kas izraisa bakteriālus plankumus, *Pseudomonas*

syringae pv. un *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*. izraisa nopietnas bakteriālas infekcijas, kas izpaužas kā balti plankumi uz auga virszemes daļām, lapu kalšana, čokurošanās, augšanas samazināšanās. Šīs baktērijas var izraisīt bojājumus lapās, kātos un augļos, ietekmējot

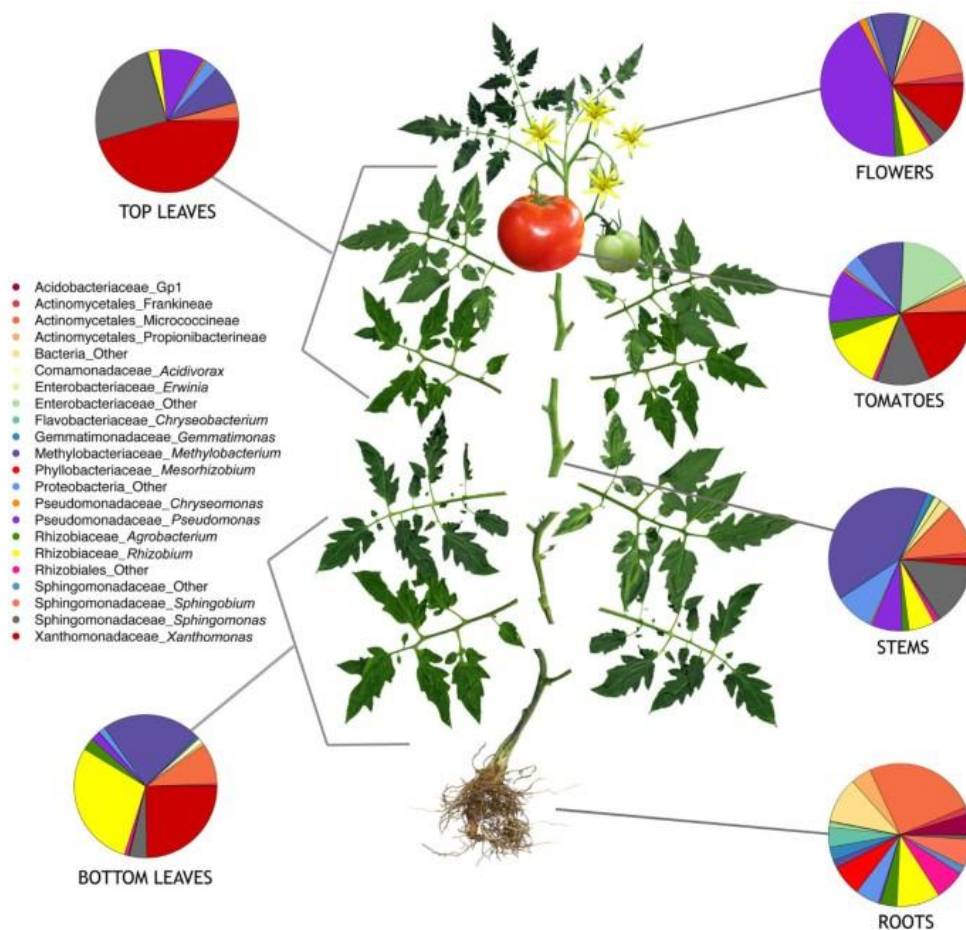


2.2.5. attēls. Attēlos redzami ar *Fusarium* slimību inficēti tomātu augi (a), iekšējie vīšanas simptomi (b un c), *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* mikrosporas un makrospora (d); kā arī agrīnās puves simptomi uz lapām (e), stumbra čūla (f) un augļa bojājumi (g), kopā ar *Alternaria alternata* konīdijām (h) (Abhay et al. 2023).

fotosintēzi, barības vielu uzņemšanu un vispārējo augu veselību.

Vīrusi ir vēl viena patogēnu grupa, kas var izpostīt tomātu kultūras. Tomātu mozaīkas vīruss (ToMV), tomātu dzelteno lapu čokurošanās vīruss (TYLCV), tomātu plankumainās vīšanas vīruss (TSWV) un gurķu mozaīkas vīruss (CMV) ir vienas no visbiežāk sastopamajām vīrusu infekcijām, kas ietekmē tomātus. Šie vīrusi var izraisīt tādus simptomus kā mozaīkas rakstus uz lapām, dzeltenību, augšanas un augļu kvalitātes samazināšanos. Nematodes, īpaši sakņu nematodes (*Meloidogyne spp.*), arī kaitē tomātiem. Šie mikroskopiskie apaļtārpi iekļūst saknēs, izraisot žultiņu veidošanos, kas pasliktina ūdens un barības vielu uzņemšanu augā. Smagas invāzijas var izraisīt panīkušā augšanu, novīšanu un ražas samazināšanos. Lai pārvaldītu šos

patogēnus, ir nepieciešama daudzpusīga pieeja, tostarp izturīgu tomātu šķirņu izmantošana, un vajadzības gadījumā fungicīdu, baktericīdu un nematocīdu lietošana. Turklāt kultūras prakse, piemēram, pareiza apūdeņošana, atstarpes un nezāļu kontrole, var palīdzēt samazināt slimību spiedienu un samazināt tomātu ražošanas zudumus (A. H. Wani et al. 2011; Bianco et al. 2023;



2.2.6. attēls. Mikroskopisko sēņu daudzveidība tomātu augu saknēs, apakšējās lapās, stumbros, augļos, ziedos un augšējās lapās, izmantojot 18S rRNS analīzi. Sēņu daudzveidība dažādos tomātu auga orgānos (18S). (Ottesen et al. 2013).

Orfei et al. 2023; Ong et al. 2020; Kil et al. 2016; Mohamed 2023).

Kādā pētījumā (Ottesen et al. 2013) tika uzsvērts, ka ir nepieciešams padziinātāk izprast mikrobioloģiskos riskus, kas saistīti ar svaigu augu un dārzeņu patēriņu. Tomātu augu specifiskās anatomiskās ničas var veicināt ne tikai augiem, bet arī cilvēkiem bīstamu patogēnu izdzīvošanu lauksaimniecības vidē, un nonākot arī pie gala patērētājiem. No 1990. līdz 2010. gadam tomāti vismaz 17 reizes ir bijuši saistīti ar *Salmonellas* uzliesmojumiem. Šajā pētījumā, izmantojot

mikrobioloģisko sugu raksturošanas metodes, tika noskaidrots, ka visas tomātu augu daļas (saknes, stublāju, lapas, augļus) klāj vietai raksturīga un dažāda mikrovide. Dažādās sugas ietver gan patogēnus, gan augiem un cilvēkiem nekaitīgus mikroorganismus (skat. 2.2.6. attēlu).

Šajā kontekstā būtu nepieciešams izstrādāt jaunus augu biostimulantus un biokontroles līdzekļus, kas ne vien stiprinātu auga dabiskās aizsardzības spējas pret patogēniem un palielinātu ražu, bet arī mērķēti darbotos, kā līdzeklis, kas nomāc nelabvēlīgo mikroorganismu vairošanos uz dažādām tomātu orgānu virsmām.

Rapša (*Brassica napus* L.) kultūrām ir sena kultivēšanas vēsture, kas datēta ar aptuveni 1500. gadu p.m.ē., un arheoloģiskie pierādījumi liecina par to nozīmi jau 5000. g. p.m.ē. *Brassica rapa* tika plaši izplatīta no Ziemeļeiropas uz Ķīnu un Koreju. Tiek uzskatīts, ka *Brassica napus* radās Vidusjūras reģionā kultivēšanas atlases rezultātā, jo nav zināmas savvaļas formas. Tās eļļas ražošana, sākās Eiropā viduslaikos, kur to izmantoja kā lampu eļļu. Papildus *Brassica napus* un *Brassica rapa* kultivētās *Brassica* sugas ietver *B. carinata*, *B. nigra* un *B. oleracea*. Četras visvairāk kultivētās sugas, *B. juncea*, *B. napus*, *B. oleracea* un *B. rapa*, ir ar dažādām produktu īpašībām un tiek audzētas eļļas, augu sēklu, sakņu un dārzeņu ieguvei (Paul 2002).

No kultivētiem rapšiem ir iespējams iegūt dažādus produktus - eļļu, dzīvnieku barības piedevas, proteīnu izolātus, vasku, biodīzeli, organiskus pārklājumus, lecitīnu u.c.. Rapsis ir atzīts par nozīmīgu globālu augu olbaltumvielu avotu, un tam ir potenciāls kā gaļas aizstājējam. Rapšu proteīniem piemīt labvēlīgas uzturvērtības un funkcionālas īpašības, kā rezultātā ir veikti daudzi pētījumi, kuros pētīta to iekļaušana pārtikas produktos kā alternatīva dzīvnieku izcelsmes olbaltumvielām. Rapšu proteīna izolāts pārtikā var pildīt dažādas funkcijas, piemēram, emulgēt, saistīt, putot, želēt, sabiezināt, teksturēt vai vienkārši nodrošināt olbaltumvielu saturu. Līdz ar to tiek pētīts plašs rapšu proteīnu pielietojuma klāsts pārtikā, tostarp maizes, piena un gaļas produktos (Chmielewska et al. 2020).

Kāda pētījuma (Shen et al. 2023) secinājumos, kas aplūkoja dažādas rapšu eļļas un to uzturvērtības saturu minēts, ka viena no galvenajām rapšu eļļas priekšrocībām ir tās augstais nepiesātināto taukskābju saturs. Tāpēc rapšu eļļa varētu pozitīvi ietekmēt 2. tipa diabēta pacientus. Tā pat rapšu eļļa veicina lipīdu vielmaiņu. Katram rapšu auga savienojumu komponentam piemīt savas unikālās bioloģiskās funkcijas, tāpēc šādai eļļai kopumā ir plašs bioloģisko īpašību spektrs.

Rapšu eļļa ir bagātīga ar PNTS, fenoliem, flavonoīdiem, karitonoīdiem, fosfolipīdiem un E vitamīnu (skat. 2.2.7. attēlu).

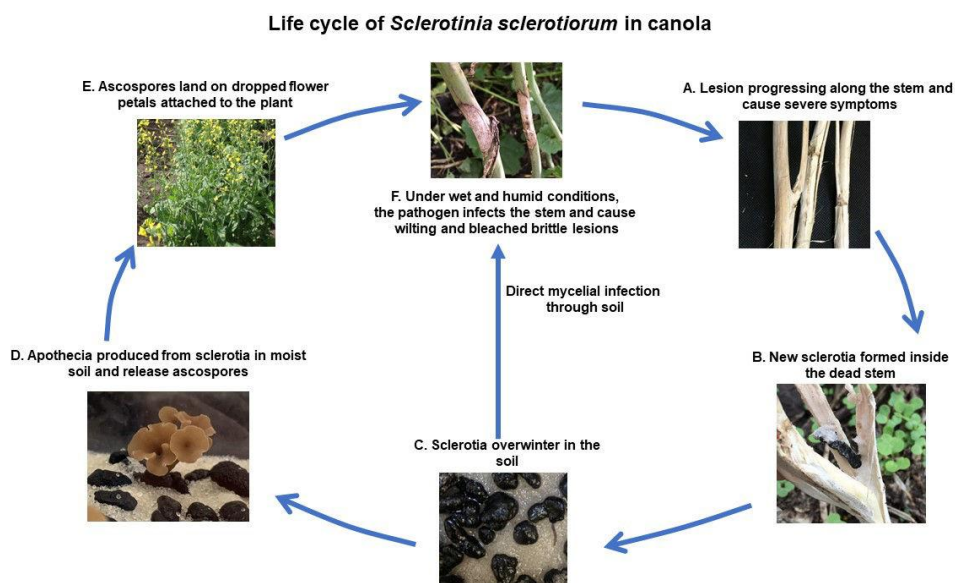
Fatty Acids Composition	Oil Content	Origin
Palmitic acid (C16:0)	2.21–7.99	Eastern Mediterranean, Europe
Stearic acid (C18:0)	1–4.34	Eastern Mediterranean, Europe
Oleic acid (C18:1n-9)	46–66.03	Eastern Mediterranean, Europe
Gadoleic acid (C20:1)	0–4.74	Eastern Mediterranean, Poland
Linoleic acid (C18:2n-6)	13–40.99	Eastern Mediterranean, Europe
Linolenic acid (C18:3n-3)	7.85–14.78	Eastern Mediterranean, Europe
Saturated fatty acid (SFA)	6.1–15.8	Eastern Mediterranean, Europe
MUFA	62.9, 73.39	Europe
PUFA	20.73, 29.6	Europe
Erucic acid	0.4, 1.93	Eastern Mediterranean, Poland

2.2.7. attēls. Dažādo polinepiesātināto taukskābju saturs dažādās rapšu eļļās (Shen et al. 2023).

Neatkarīgi no to uzturvērtības un funkcionālajām īpašībām rapšu proteīniem ir pierādītas bioaktīvās īpašības. Šos peptīdus var atbrīvot kontrolētas hidrolīzes rezultātā, kas potenciāli var radīt produktus ar veselības un farmācijas ieguvumiem. Pētījumi ir parādījuši dažādas rapšu proteīnu bioaktivitātes veidus, tostarp antioksidatīvas, prettrombotiskas, antiamnestiskas, anorektiskas, antihipertensīvas, pretvīrusu un pretsēnīšu īpašības. Bioproduktu tirgus aug un rapšu proteīna produkti, tostarp plastmasa, līmvielas un biokompozītmateriāli, kļūst aizvien interesantāki pētījumu objekti (Chmielewska et al. 2020).

Starp nozīmīgākajām rapšu slimībām ir melnkāts, sklerotīnijas stublāju puve, sakņu puve. Melnkāts, ko izraisa mikroskopiskā sēne *Leptosphaeria maculans*, ir viena no ekonomiski kaitīgākajām slimībām, kas skar rapšus visā pasaulē. Tā galvenokārt ietekmē stublāju, izraisot bojājumus, kas izraisa auga lūšanu un ražas zudumus. Sēne var izdzīvot kultūraugu atliekās, augsnē un alternatīvos saimniekos, tāpēc to ir sarežģīti kontrolēt. Vēl viens būtisks drauds rapšu ražošanai ir sklerotīnijas stublāju puve, ko izraisa mikroskopiskā sēne *Sclerotinia sclerotiorum* (skat. 2.2.8. attēlu). Šī slimība galvenokārt skar stublājus un pākstis, izraisot baltu, pūkainu augšanu un puvi. Sklerotīnijas stublāju puve attīstās vēsos, mitros apstākļos, padarot to īpaši problemātisku mērenajos reģionos. Puve, ko izraisa augsnē pārnēsāts patogēns *Plasmodiophora*

brassicae, nopietni apdraud rapšu ražošanu, īpaši reģionos ar skābām augsnēm. Šī slimība izraisa žultiņu veidošanos uz saknēm, ierobežojot ūdens un barības vielu uzņemšanu un izraisot aizkavētu augšanu un ražas zudumus. *Alternaria* melnā puve, ko izraisa sēne *Alternaria brassicae*, ir lapotnes slimība, kas ietekmē rapšu lapas, stublājus un pākstis. Tā izraisa mazus, tumšus bojājumus uz lapām, kas var saplūst un izraisīt lapu čokurošanos un ražas zudumus, ja tie ir smagi. *Alternaria* mēdz būt vairāk izplatīts siltos, mitros apstākļos (Padmathilake et al. 2022; Shahoveisi et al. 2022; Hwang et al. 2012; Al-Lami et al. 2023).

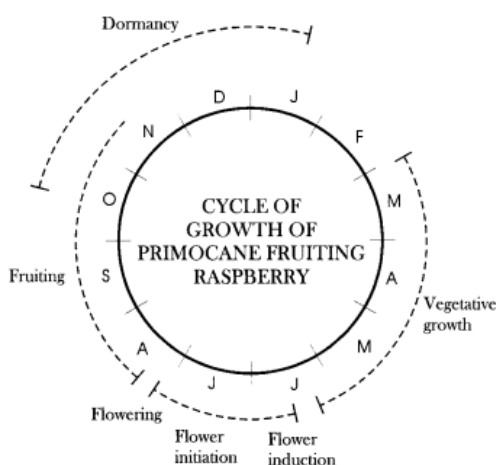


2.2.8. attēls. *Sclerotinia sclerotiorum* dzīves cikls un simptomi rapšu augos (Crop Science 2024).

Aveņu (*Rubus idaeus* L.) daudzgadīgām šķirnēm jauni dzinumi parādās vai nu no sakņu pumpuriem, vai paduses pumpuriem, kas atrodas galvenā dzinuma pamatnē pēc miera perioda beigām. Labvēlīgos pavasara apstākļos dzinumi sāk nepārtrauktu veģetatīvo augšanu, attīstoties lapām un starpmezgliem līdz rudenim, kad augšana apstājas. Dzinuma virsotnē parasti veidojas lapu rozete. Ap septembri sākas mierīgāks augšanas periods, kavējot tālāku augšanu no gala un paduses pumpuriem, vienlaikus nomācot arī veģetatīvo augšanu (Carew et al. 2000) (skat. 2.2.9 attēlu).

Augļi un ogas, neskatoties uz to zemo enerģētisko vērtību, satur svarīgus ogļhidrātus, organiskās skābes, vitamīnus un fenola savienojumus, kas piedāvā antioksidantu aizsardzības īpašības pret dažādiem stresa faktoriem un palīdz novērst neinfekcijas slimības, tādējādi veicinot labāku veselību un dzīves kvalitāti. Avenes izceļas kā ļoti populāra kultūra, jo tā spēj pielāgoties

dažādiem klimatiskajiem apstākļiem. Lai gan daudzi ogu augi ir jutīgi pret sala bojājumiem un puvi, avenes ir salīdzinoši izturīgas, ar vēlū ziedēšanas periodu, kas samazina neaizsargātību pret salu. Turklāt to vēlā ziedēšanas sezona samazina ziedu bojājumus arī citu apstākļu dēļ, nodrošinot nemainīgu produktivitāti. Avenū augļi, kas pazīstami ar savu maigo tekstūru, satur sausās vielas no 10% līdz 23%, un organiskās skābes, piemēram, citronskābi, ābolskābi, skābeņskābi un dzintarskābi, kas veicina to garšas profilu. Šīs ogas arī ir bagātas ar, β -karotīnu, askorbīnskābi (C vitamīns) un tokoferolu (E vitamīnu), kā arī augstu polifenola savienojumu, piemēram, ellagskābes, gallskābes un kvercetīna, koncentrāciju, kam piemīt antioksidanta īpašības. Antocianīni, kas bagātīgi atrodami avenēs, uzlabo to uzturvērtību un piemērotību sasaldēšanai un pārstrādei (Akimov et al. 2021).



2.2.9. attēls. Daudzgadīgo avenū gada augšanas cikls (Carew et al. 2000).

Avenū slimības rada ievērojamas problēmas audzēšanai, ietekmējot augu veselību, ražu un ekonomisko aspektu. Antracnoze, ko izraisa mikroskopiskā sēne (*Elsinoë veneta* L.), ir īpaši postoša, inficējot kātus ar bojājumiem, kas izraisa atmiršanu un augļu zudumu. Šis mikroorganisms aug mitros apstākļos, padarot to izplatītu reģionos ar augstu mitruma līmeni. Sēnītes *Sphaerotheca macularis* izraisītā miltrasa veido baltu pelējumu uz lapām, dzinumiem un augļiem, kavējot fotosintēzi un samazinot augļu kvalitāti. Sakņu puve, ko izraisa dažādas *Phytophthora* sugas, ir izplatīta problēma slikti drenētās augsnēs, kas izraisa sakņu atmiršanu, augšanas kavēšanos un iespējamu augu nāvi. *Verticillium* vīte, ko izraisa augsnē pārnēsātas *Verticillium* ģints sēnes, uzbrūk ūdens apgādes sistēmai, izraisot lapu un dzinumu vīšanu, dzeltēšanu un nekrozi. Šī slimība augsnē var saglabāties gadiem ilgi, padarot to par grūti pārvaldamu. Avenū krūmu pundurvīruss (RBDV), ko pārnēsā laputis, kas sistēmiski inficē augus,

izraisa panīkušu augšanu, lapu krokošanos un samazinātu augļu izmēru. Avenu slimību ārstēšanai nepieciešama daudzpusīga pieeja. Stādīšanai pret slimībām izturīgas šķirnes ir ļoti svarīgas, jo tas samazina infekcijas risku un samazina nepieciešamību pēc ķīmiskiem kontroles pasākumiem. Laba kultūras prakse, piemēram, pareiza apūdeņošana un drenāža, palīdz novērst slimības attīstībai labvēlīgus apstākļus. Sanitārija, tostarp inficētā augu materiāla noņemšana un iznīcināšana, palīdz samazināt mikroorganismu inokulāta līmeni, samazinot slimību intensitāti. Slimību kontrolei var būt nepieciešami fungicīdi, īpaši augsta slimības spiediena periodos (Munro et al. 1988, Swait 1982, Fiola and Swartz 1989, Quito-Avila et al. 2014).

2.3. Latvijas apstākļiem izmantotas tradicionālas augu barošanas un aizsardzību veicinošas metodes un to ietekme uz vidi

Kultivētās augsnēs parasti trūkst pietiekama daudzuma svarīgas barības vielu, kas nepieciešamas, lai nodrošinātu augstu ražu, tāpēc mēslošana ir ļoti svarīga lauksaimniecības produktivitātei. Saistība starp barības vielu pieejamību un labības ražu ir labi dokumentēta, un palielināta barības vielu uzsūkšanās tieši korelē ar lielāku ražu. Mēslošanas līdzekļiem ir nozīme augsnes auglības un produktivitātes uzturēšanā, nodrošinot nepieciešamās barības vielas, tādējādi būtiski veicinot ekonomisku labklājību pārtikas produktu ražošanas industrijā. Papildinot barības vielu līmeni, mēslošanas līdzekļi nodrošina, ka kultūraugiem ir optimāli augšanai nepieciešamie apstākļi, kas laika gaitā nodrošina labāku ražu un uzlabo augsnes veselību. Šis uzturvielu papildinājums ir ļoti svarīgs, lai uzturētu lauksaimniecības produktivitāti un atbalstītu lauksaimniecības darbību ekonomisko dzīvotspēju (Aziz et al. 2015).

Visā pasaulē augi atgūst zemu daudzumu neorganisko mēslojumu, tādēļ uzlabota mēslojuma izmantošanas efektivitāte vai barības vielu izmantošanas efektivitāte ir būtiska ilgtspējīgai lauksaimniecībai. Augi parasti izmanto tikai aptuveni 50% no izmantotā slāpekļa, bet atlikums tiek zaudēts dažādos veidos: 15-25% reaģē ar organiskajiem savienojumiem augsnē, 2-20% tiek zaudēti iztvaikošanas rezultātā, bet 2-10% ietekmē virszemes un gruntsūdeņus. Vidējais lietderīgi izmantoto augiem noderīgo savienojumu līmenis no augsnes, ir aptuveni 65% kukurūzai, 57% kviešiem un 46% rīsiem. Izmantotā fosfora reģenerācijas līmenis ir vēl zemāks, un tikai aptuveni 25% vai mazāk tiek uzņemti kultūraugi augšanas sezonā. Kaļķainās augsnēs fosfors nogulsņējas ar kalciju un magniju, savukārt skābās augsnēs reaģē ar dzelzi un alumīnija oksīdiem, vēl vairāk samazinot tā izmantošanas efektivitāti (Aziz et al. 2015).

Gan **sintētiskie**, gan **organiskie mēslošanas līdzekļi** būtiski ietekmē dabu un tajā esošās ekosistēmas. Sintētiskie mēslošanas līdzekļi, ko parasti izmanto tūlītējai un paredzamai barības vielu piegādei, var izraisīt barības vielu noplūdi ūdenstilpēs, izraisot eitrofikāciju. Šis process izraisa pārmērīgu aļģu augšanu, samazina skābekļa daudzumu ūdenī un kaitē ūdens organismiem. Sintētisko mēslošanas līdzekļu ražošana ir energoietilpīga, kas veicina siltumnīcefekta gāzu emisijas (SEG) un klimata pārmaiņas. Pārmērīga šo mēslošanas līdzekļu izmantošana var arī izraisīt augsnes degradāciju, laika gaitā samazinot augsnes auglību. Turpretim organiskais mēslojums, piemēram, komposts un kūstmēsli, uzlabo augsnes struktūru un veicina bioloģisko daudzveidību augsnē. Tomēr, to nepareiza apsaimniekošana var veicināt barības vielu izskalošanos un ūdens piesārņojumu. Abi mēslošanas līdzekļu veidi ietekmē mikrobu kopienas augsnē, un sintētiskie mēslošanas līdzekļi bieži samazina mikroorganismu daudzveidību. Lai gan mēslošanas līdzekļi ir ļoti svarīgi, lai nodrošinātu augstu ražu un pārtikas ražošanu, to ietekme uz vidi prasa rūpīgu apsaimniekošanu un ilgtspējīgu praksi, lai mazinātu nelabvēlīgo ietekmi uz dabiskajām ekosistēmām (Skowrońska, Filipek 2014; Dimkpa et al. 2020).

Pesticīdu lietošana rada vairākas bažas par vidi to plaši izplatītās un bieži vien neparedzētās ietekmes dēļ. Vairāk nekā 98% izsmidzināto insekticīdu un 95% herbicīdu nesasniedz mērķa sugas, tā vietā ietekmējot citas sugas un piesārņojot gaisu, ūdeni un augsni. Pesticīdu dreifs, kurā daļiņas tiek transportētas ar vēju, var izraisīt neparedzētu vietu piesārņošanu. Pesticīdi būtiski veicina ūdens piesārņojumu un augsnes piesārņojumu, un daži no tiem ir noturīgi organiskie piesārņotāji, kas bioakumulējas ekosistēmās. Ideālā gadījumā pesticīdiem vajadzētu būt vidē noārdāmiem vai ātri dezaktivētiem, taču to ķīmiskās īpašības un vides apstākļi bieži palēnina šo procesu. Augsnes absorbcija var samazināt pesticīdu kustību, bet arī ierobežot biopieejamību mikroorganismu degradētajiem. Pesticīdu toksicitāte apdraud augus, augsni, cilvēkus, putnus un citus dzīvniekus, izraisot dažādus fizioloģiskus traucējumus. Šo ķīmisko vielu iedarbība caur piesārņotu augsni, gaisu un ūdeni var izraisīt veselības problēmas, sākot no ādas un acu kairinājuma līdz smagākai ietekmei uz nervu sistēmu, reproduktīvo veselību un paaugstinātu vēža risku. Pētījumi liecina par saistību starp pesticīdu iedarbību un limfomu, leukēmiju, neiro-uzvedības izmaiņām, iedzimtiem defektiem un nāvi. Šie pētījumi uzsver rūpīgas pesticīdu pārvaldības un drošāku alternatīvu izstrādes nozīmi, lai mazinātu to ietekmi uz vidi un veselību (Jawale et al. 2017).

Burkānu mēslošanai pirms sēšanas ar granulētu mēslojumu jāpievieno slāpekļs aptuveni 80 kg/ha, pielāgojot augsnes slāpekļa līmeni (0-60 cm dziļumā). Neapaugļotām kultūrām kontrolēts mēslojuma daudzums ļauj izlietot visu slāpekļa daudzumu pirms sēšanas, tādējādi novēršot nepieciešamību pēc vairākkārtējas pārsēšanas. Fosfāti pilnībā jāpievieno ražas cikla sākumā, pirms sēšanas. Kālijs, kas viegli izskalojas, ir jāsadala 2–3 mēslošanas reizēs vai jāpievieno vienu reizi pirms sēšanas. Apaugļotām kultūrām ir ieteicama iknedēļas kālija pievienošana. Magniju var pilnībā uzklāt ražas cikla sākumā, apstrādājot uz lapām, uzlabojot ražu. **Tāpat kalcijs pilnībā jāuzklāj pirms sēšanas (ICL S.a.).**

Early-medium-late varieties (60 ton/ha)	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	MgO kg/t	CaO kg/t
Leaves	60	21	170	13	70
Root	80	12	151	8	18
Total	140	33	321	21	88

Late and very late varieties (140 ton/ha)	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	MgO kg/t	CaO kg/t
Leaves	40	9	97	17	126
Root	110	69	303	17	56
Total	150	78	400	34	182

7. attēls. Dažādu savienojumu uzņemšana burkānu plantācijās uz tonnu burkānu ražas (ICL S.a.).

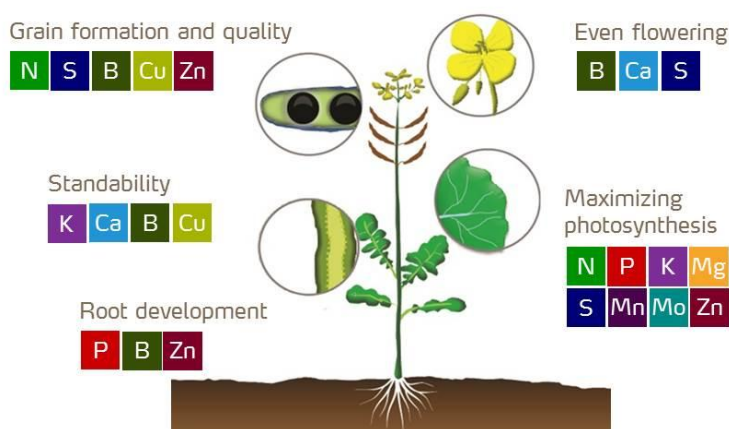
Tomātu mēslošanas līdzekļi parasti satur līdzsvarotu barības vielu maisījumu, lai veicinātu augu augšanu un attīstību. Galvenās barības vielas tomātu mēslošanas līdzekļos ir slāpekļs (N), fosfors (P) un kālijs (K). Slāpekļs ir ļoti svarīgs lapu un stublāju augšanai, veicinot sulīgu, zaļu lapotni. Fosfors ir svarīgs sakņu attīstībai, ziedu veidošanai un augļu veidošanā, palīdzot attīstīt spēcīgas saknes un veidot ziedus un augļus. Kālijs ir svarīgs vispārējai augu veselībai, palīdzot attīstīt spēcīgus stublājus, uzlabojot auga izturību pret slimībām un uzlabojot augļu kvalitāti, izmēru un garšu. Papildus šīm primārajām uzturvielām tomātu mēslošanas līdzekļi bieži satur sekundārās barības vielas un mikroelementus, tostarp kalciju (Ca), magniju (Mg) un sēru (S). Kalcijs novērš ziedu galu puvi, kas ir izplatīta problēma tomātiem, un stiprina šūnu sienīņu struktūru. Magnijs ir būtisks hlorofila ražošanai un fotosintēzei, savukārt sērs palīdz olbaltumvielu sintēzē un fermentu darbībā. Mikroelementi, piemēram, dzelzs (Fe), mangāns (Mn), cinks (Zn), varš (Cu), bors (B) un molibdēns (Mo), arī ir iekļauti nelielos daudzumos, taču tie ir būtiski

optimālai augu veselībai un produktivitātei. Šie mēslošanas līdzekļi ir izstrādāti tā, lai nodrošinātu līdzsvarotu barības vielu piegādi, nodrošinot veselīgu augšanu, bagātīgu ziedēšanu un augstas kvalitātes augļu ražošanu (Gao et al. 2023).

Ķīmisko mēslojumu izmantošana ir izplatīta prakse intensīvajā lauksaimniecībā. Tomēr to ilgstoša lietošana var izraisīt daudzas nevēlamas sekas. Ievērojamu daļu no ķīmiskajā mēslošanas līdzekļos esošajām barības vielām augi neuzsūc; pētījumi liecina, ka vairāk nekā 50% slāpekļa un 90% fosforā no šiem mēslošanas līdzekļiem tiek zaudēti atmosfērā vai ūdenstilpēs. Šis zudums veicina siltumnīcefekta gāzu emisijas, ūdens eutrofikāciju un citas vides problēmas. Turklāt pārmērīga ķīmiskā mēslojuma izmantošana var apdraudēt pārtikas kvalitāti un samazināt dārzu uzturvērtību, izraisot nitrātu uzkrāšanos augos. Organiskais mēslojums piedāvā ilgtspējīgāku pieeju lauksaimniecībai. Atšķirībā no ķīmiskajiem mēslošanas līdzekļiem, organiskā mēslojuma barības vielas tiek atbrīvotas lēni, labāk pielāgojoties augu absorbcijas spējai. Barības vielu saturs organiskajos mēslošanas līdzekļos ir mazāks, un to izdalīšanās ātrumu ietekmē augsnes ūdens un temperatūras apstākļi. Organiskā mēslošanas līdzekļu izmantošana ne tikai mazina ar ķīmisko mēslojumu saistītās vides problēmas, bet arī veicina augsnes veselības uzlabošanu un ilgtermiņa lauksaimniecības produktivitāti (Gao et al. 2023).

Mēslošanas līdzekļi, kas satur slāpekli (N) un fosforu (P), palielina **rapšu** ražu, salīdzinot ar kviešiem. Tas ir tāpēc, ka rapšiem ir lielāka vajadzība pēc šīm uzturvielām (skat.2.3.1. attēlu). Slāpeklis ir svarīgākais elements rapšu vai rapšu eļļas ražošanai. Lauksaimnieki bieži neapzinās, ka rapšu maksimālai sēklu ražai ir nepieciešams vairāk slāpekļa nekā daudzām citām kultūrām, kā rezultātā rodas slāpekļa deficīts un zema raža. *Brassica* eļļas augu kultūras, piemēram, rapsis, pozitīvi reaģē uz N mēslojumu pat tad, lietojot to 180 kg/ ha. Eļļas sēklu sugas maksimālajai ražai nepieciešamais N mēslojuma daudzums atšķiras atkarībā no vides apstākļiem. Sēšanas laiks ietekmē arī rapšu sēklu eļļas un olbaltumvielu ražošanu. Novēlota sēšana var samazināt kopējo N koncentrāciju jaunos nobriedušos lapu kātiņos 5 – 6 rozešu stadijā pat par 50% (Morshedi 2011).

Rapsim ir liels pieprasījums pēc fosfora, kālija, magnija, sēra un bora. Fosfors bieži ir galvenais ierobežojošais faktors visā pasaulē rapša augšanas spējām, un Eiropas valstis uzsver tā nozīmi. Rapsis prasa ievērojamu kālija daudzumu no ziemas beigām līdz ziedēšanai, lai gan liela daļa no tā tiek atgriezta augsnē sezonas beigās. Magnijs ir būtisks, bet bieži tiek ignorēts, parasti tiek piegādāts ar kaļķu vai sēra mēslojumu. Sērs ir vajadzīgs aminoskābju un olbaltumvielu ražošanai, un tas vairāk ir nepieciešams pavasarī kopā ar slāpekli. Boram ir nozīme šūnu veidošanā un dalīšanās procesā, un kaļķainās augsnēs bieži sastopami tā trūkumi. Molibdēns ir svarīgs slāpekļa asimilācijai, skābās augsnēs un pārmērīga sēra lietojumos var radīt tā trūkumu. Mangāna, vara un cinka deficīts ir reti sastopams, lai gan rapšiem ir ievērojama mangāna nepieciešamība (Yara 2024).

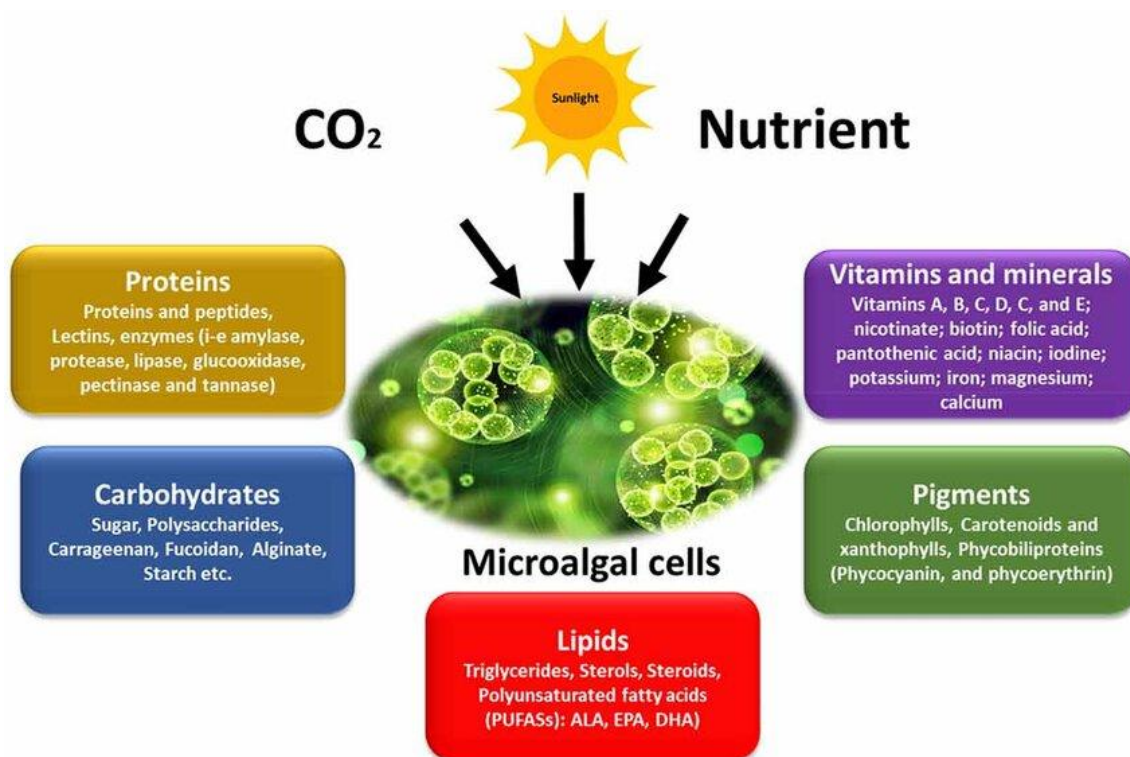


2.3.1. attēls. Nepieciešamie elementi rapša augšanai (Yara 2024).

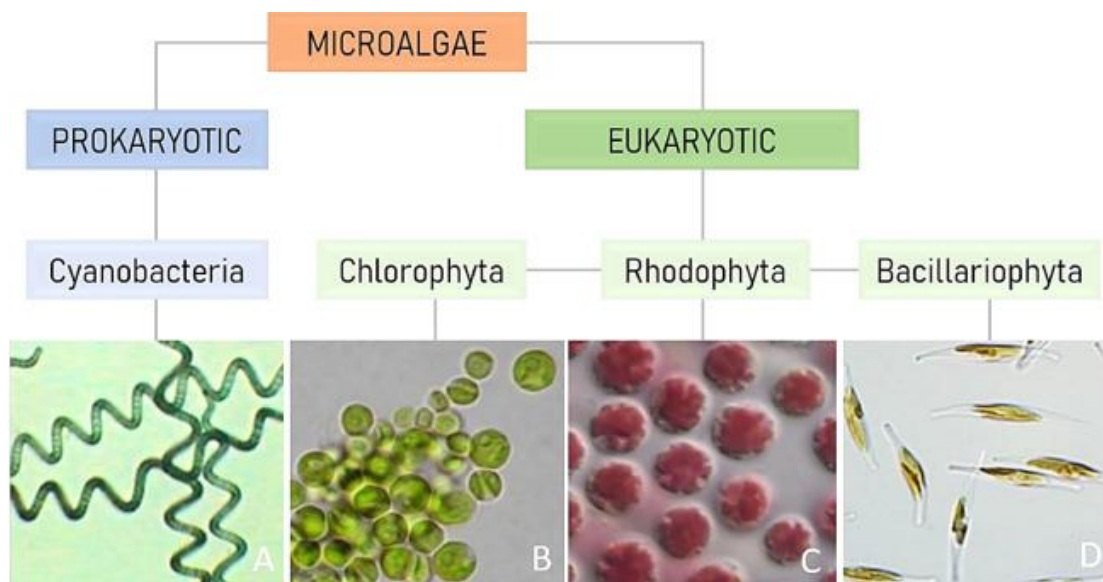
Avenēm ir vienkāršas mēslošanas vajadzības, galvenokārt ar slāpekli bagāts mēslojums. Ideāls ir balansēts slāpekļa mēslojums līdz 2,3 kg uz 30 metru rindas. Organiskiem variantiem var izmantot kūtsmēslus 23 līdz 45 kg uz 30 metriem rindas vai kokvilnas sēklu miltu, langbeinīta un akmens fosfāta maisījumu (attiecībā 10-3-10). Mēslojums jāiestrādā augsnē drīz pēc stādīšanas, nodrošinot, ka tas atrodas 8 līdz 10 cm attālumā no kātiem, lai novērstu apdegumus. Kad avenes ir izaugušas, tās katru gadu nepieciešams mēslot katru pavasari ar nelielu daudzumu kā to pirmajā gadā. Pavasara mēslošana veicina jaunu augšanu, savukārt, mēslošana vasarā vai rudenī var būt kaitīga (Beassler 2021).

3. MIKROAĻĢES - VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

Mikroaļģes ir fotosintezējošie mikroorganismi, kas pārvērš gaismas enerģiju un CO₂ vai organiskos oglekļa avotus uzturvielās biomasā (skat. 3.1.1. attēlu) (Kiran et al. 2014; Ashfaq et al. 2022). Šie mikroorganismi spēj pielāgoties dažādiem vides apstākļiem un ir atrodamī gandrīz visās ekosistēmās, kurās ir saules gaisma un ūdens - augsnē, ledū, upēs, ezeros un dīķos, karstos avotos, jūrās un okeānos (Zullaikah et al. 2019). Tās iekļauj gan eikariotiskos viencelšus, gan prokariotiskos organismus, tostarp cianobaktērijas jeb zilaļģes (*Cyanobacteria* L.) (Torres-Tiji et al. 2020). Eikariotiskās mikroaļģes iedala četrās lielās grupās – zaļās aļģes (*Chlorophyceae* L.), sarkanās aļģes (*Rhodophyceae* L.), brūnāļģes (*Phaeophyceae* L.) un diatomi jeb kramaļģes (*Bacillariophyceae* L.) (3.1.2. skat. attēlu) (Khan et al. 2018; Oliveira et al. 2022).



3.1.1. attēls. Metabolīti, ko ražo mikroaļģes to fotosintētiskās aktivitātes laikā (Ashfaq et al. 2022).

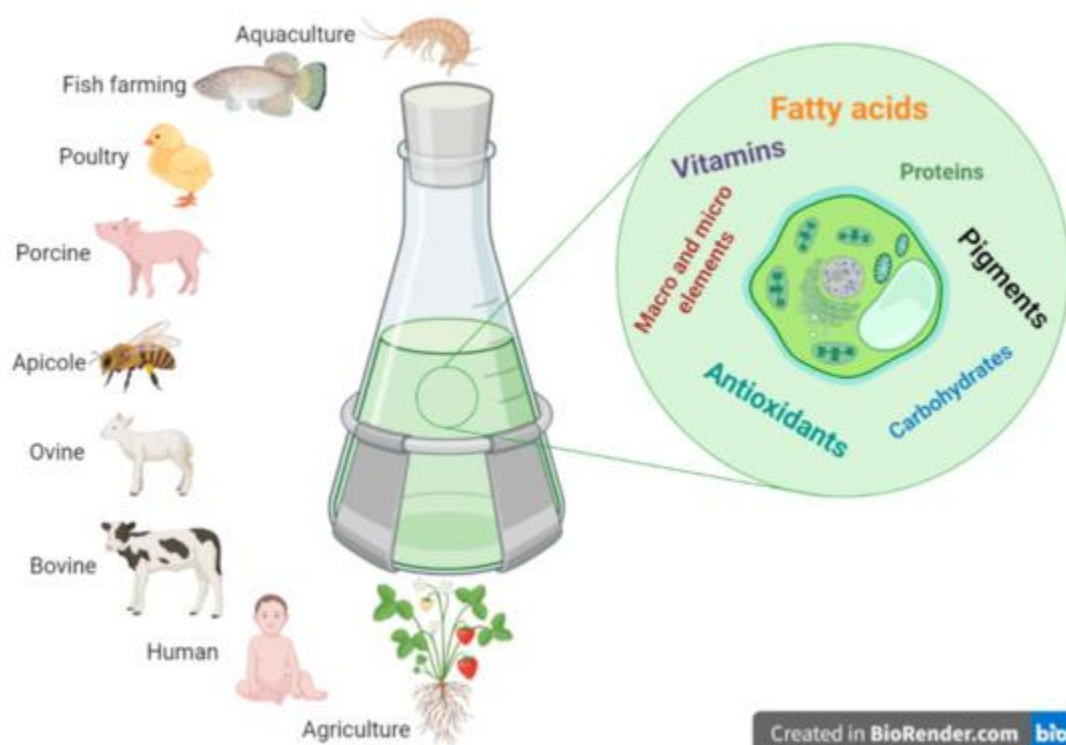


3.1.2. attēls. Mikroaļģu iedalījums un dažādās šūnu struktūras. (A) *Arthrospira platensis*, (B) *Chlorella vulgaris*, (C) *Porphyridium purpureum* un (D) *Phaeodactylum tricornutum* (Oliveira et al. 2022).

Mikroaļģes ir ļoti daudzveidīgs un vēl nepietiekami izpētīts bioloģiskais resurss, ar iespējamu sugu skaitu no 200 000 līdz pat vairākiem miljoniem. Tās sastopamas gandrīz visur – saldūdenī, jūrās, ekstrēmi sāļās vidēs, sniegā, tuksnešos, uz akmeņiem, augsnē un pat gaisā un uz ēku sienām. Mikroaļģes ir mikroskopiskas, vienkāršas viensūnas struktūras organismi, kas kļūst vizuāli redzami tikai veidojot lielas, pigmentiem un citiem savienojumiem bagātas populācijas. Tās var būt brīvi dzīvojošas vai simbiozē ar citiem organismiem, piemēram, sēnēm vai koraļļiem. Mikroaļģēm piemīt augsta fotosintēzes efektivitāte un spēja pielāgoties dažādiem apstākļiem, padarot tās daudzsološas biodegvielas ražošanā, oglekļa piesaistē, farmācijā un uztura bagātinātājos. To plašā pielāgošanās spēja un biotehnoloģiskais potenciāls padara mikroaļģes par būtisku resursu nākotnes ilgtspējīgai attīstībai (Singh et al. 2015).

Papildus lielajai sugu daudzveidībai, ļoti dažāda ir arī mikroaļģu biomasa. Detalizētāk mikroaļģu vērtīgie savienojumi ir aprakstīti 4.sadaļā. Kā galvenie iemesli, kāpēc mikroaļģes aizvien vairāk piesaista ražotāju un zinātnieku uzmanību, ir augstvērtīgais biomasas sastāvs. Svarīgākie biomasas sastāva savienojumi iekļauj ogļhidrātus, proteīnus, taukskābes, vitamīnus, pigmentus, antioksidantus un mikro un makro elementus (skat. 3.1.3. attēlu). Turklāt, mainot audzēšanas apstākļus, ir iespējams palielināt interesējošo savienojumu koncentrāciju un iznākumu. Dažādu industriju ražotāji arvien biežāk iekļauj mikroaļģu biomasu vai no šīs biomasas ekstrahētus

savienojumus dažādam pielietojumam. Piemēram, kosmētikas, pārtikas un dzērienu un farmācijas industrijas iesaista mikroaļģu antioksidantus, kā galaproduktu stabilizatorus.



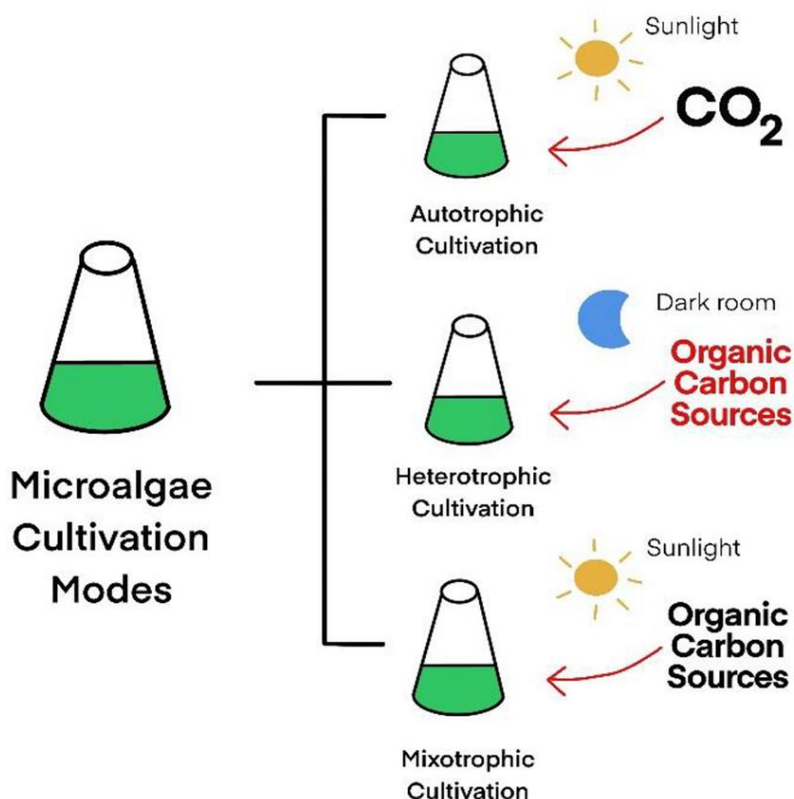
3.1.3. attēls. Mikroaļģu biomasas kā produkta pielietojums dažādās jomās (Sierra et al. 2021).

Ir zināms, ka dažādas uzņemtās vielas ietekmē mikroaļģu augšanu un produktivitāti. Fosfors (P) un slāpeklis (N) ir svarīgi elementi mikroaļģu augšanai. Arī citi elementi – Na, Mg, K, Ca, Mn, B, Mo, Zn, Co, un Fe – ietekmē mikroaļģu biomasas daudzumu un īpašības (Kiran et al. 2014). Ir zināms, ka mikroaļģu biomasa satur ogļhidrātus, proteīnus, lipīdus un var saturēt mazākos daudzumos tādas vērtīgas vielas kā antioksidantus, vitamīnus, antibiotikas, karotenoīdus un steroīdus (Fung et al. 2010). Savukārt, nelabvēlīgos augšanas apstākļos mikroaļģes var uzkrāt triglicerīdus un citus enerģiju uzglabājošus lipīdus (Singh et al. 2011).

Mikroaļģu biomasas pieaugums un bioloģiski aktīvo vielu akumulācija ir atkarīga no vairākiem faktoriem: augšanas barotnes sastāva, vides temperatūras, vides pH, augšanas fāzes, kultivācijas laika, gaismas pievades veida un tās raksturlieluma, kultivācijas veida. Mērķa vielu iznākumus ietekmē arī biomasas novākšanas un pēcapstrādes īpatnības (Dolganyuk et al. 2020). Optimālā augšanas temperatūra, augšanas un vides apstākļi variē starp mikroaļģu sugām, bet vairumam rūpnieciski kultivējamu mikroaļģu sugu optimālā augšanas temperatūra ir no 15 °C līdz

35 °C (Evens et al. 2008; Aleya et al. 2011; Xin et al. 2011; Deng et al. 2012; Ruangsomboon 2012; Klok et al. 2013).

Mikroaļģu audzēšanu jeb kultivāciju var iedalīt trīs dažādos veidos (skat. 3.1.4. attēlu). Autotrofā kultivācija ietver gaismas un neorganiskā oglekļa izmantošanu par pamatu augšanai un biomasas veidošanai. Šādi audzējot mikroaļģes ir nepieciešams gaismas avots un oglekļa gāze. Fotosintēzes rezultātā, augot autotrofi, mikroaļģes ir spējīgas ražot augstvērtīgus organiskus savienojumus. Heterotrofā kultivācija ietver augšanu, izmantojot organisko oglekli. Šādi, piemēram, var izmantot dažādus piena pārstrādes ražošanas blakusproduktus, vai citu industriju atkritumproduktus, kas satur organisku oglekli. Savukārt, miksotrofā kultivācija ietver autotrofās un heterotrofās kultivācijas apvienojumu – mikroaļģēm ir pieejams gan organiskais, gan neorganiskais oglekļa avots un arī gaismas avots. Tiek uzskatīts, ka miksotrofā kultivācija varētu būt efektīvākais mikroaļģu audzēšanas veids, jo šādi tām ir lielāka izejvielu izvēle un kādas trūkuma gadījumā, tās pārslēdzas uz citas izmantošanu. Dažādie kultivēšanas paņēmieni uzsver



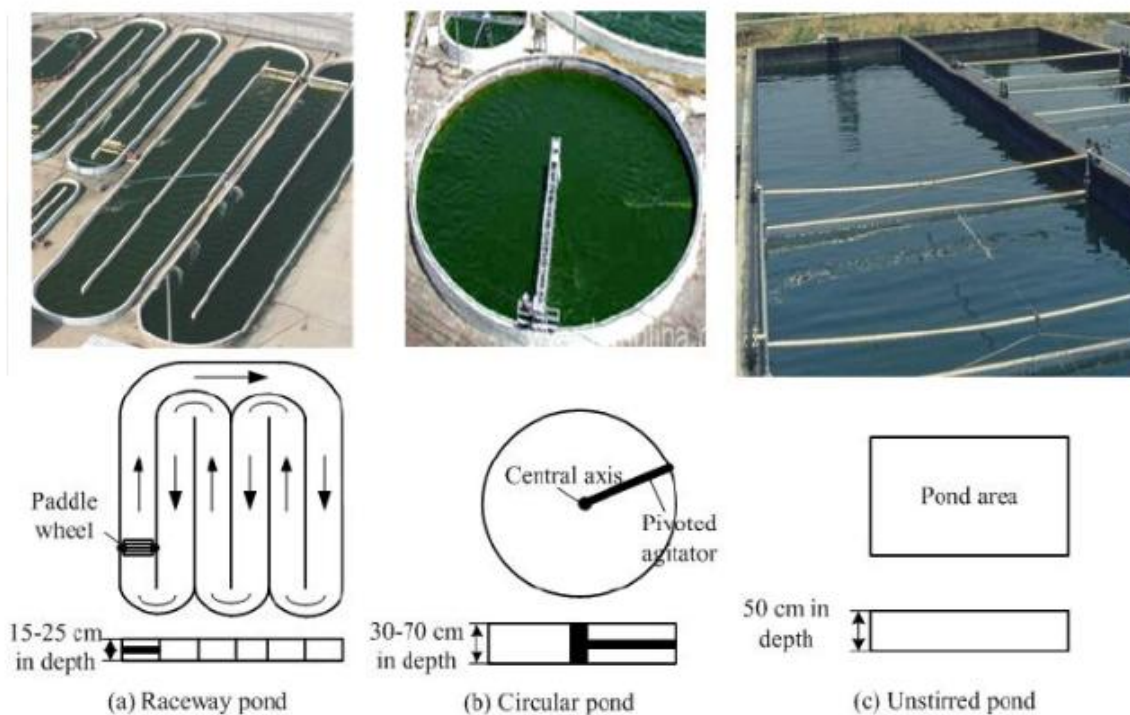
3.1.4. attēls. Trīs veidu mikroaļģu kultivēšanas paņēmieni: autotrofā, heterotrofā un miksotrofā audzēšana (Surumpa et al. 2021).

mikroaļģu metabolsima dažādo dabu un augstās vides pielāgošanas spējas, padarot tos par ievērības cienīgiem organismiem pielietojumam dažādās industrijās (Surumpa et al. 2021).

Salīdzinājumā ar augstākiem augiem, mikroaļģu biomasā ir lielāks fotonu konversijas efektivitātes koeficients (ap 3%, salīdzinājumā ar <1% augstākiem augiem) un mikroaļģes ir iespējams kultivēt visa gada garumā (Blankenship et al. 2011; Perin et al. 2019). Turklāt mikroaļģēm ir arī citas priekšrocības: augsts biomasas iznākums uz laukuma vienību, iespēja izmantot lauksaimniecībai nederīgās zemes platības un piesārņoto ūdeni (Torres-Tiji et al. 2020), to audzēšanai nav jāizmanto pesticīdus (Levasseur et al. 2020). Tomēr, lai padarītu mikroaļģu kultivēšanu masveidīgu, ir jāveic vairāki ražošanas procesa uzlabojumi - ir jāpalielina mikroaļģu biomasas uzturvērtība, jāoptimizē biomasas iznākums, jāuzlabo organoleptiskās īpašības un iespēju robežās jāsamazina kopējas ražošanas izmaksas (Torres- Tiji et al. 2020).

Ir jāatzīst, ka pagaidām liela mēroga mikroaļģu komerciālā audzēšana joprojām ir dārga, ekonomiski neizdevīga, kam par iemeslu ir divas galvenās problēmas: pirmkārt, fotoautotrofās mikroaļģu kultūrās ir zema biomasas koncentrācija (~ 3 g/L), otrkārt, mikroaļģu biomasas izdalīšana no kultūras prasa papildus izmaksas, līdz ar to turpinās plaša mikroaļģu izpēte, lai arvien palielinātu mikroaļģēs esošās mērķa vielas un samazinātu ražošanas un aļģu ievākšanas izmaksas (Levasseur et al. 2020).

Lai apmierinātu pieaugošo pieprasījumu pēc mikroaļģu biomasas, pēdējās desmitgadēs aizvien straujāk attīstās metodes mikroaļģu masveida kultivēšanai. Atvērto dīķu sistēmas ir vienkāršākās un senākās mikroaļģu audzēšanas sistēmas (skat. 3.1.5. attēlu). Atvērtās dīķu sistēmas var sīkāk iedalīt “sacīkšu trases” dizainā, riņķveida maisīšanas un stāvoša dīķa sistēmās (skat. attēlu). Atvērtām dīķu sistēmām ir salīdzinoši zemas būvniecības un uzturēšanas izmaksas. Piemēram, ziņotās sacīkšu trases dīķa būvniecības izmaksas tiek lēstas aptuveni 25 AVS dolāru uz 1 m², tostarp 15 ASV dolāru uz 1 m² zemes darbiem un 10 ASV dolāru uz 1 m² infrastruktūras izmaksas par gaisu, sūkņiem, caurulēm, sensoriem, kontroli, konteineriem, lāpstīņām, barošanu un datoru telpām. Tās ir viegli palielināmas sistēmas. Tā kā katru dīķi var darbināt atsevišķi, apjomu var palielināt, palielinot dīķu skaitu. Papildus ir iespējams integrēt notekūdeņu attīrīšanas procesu, audzējot miksotrofi – pieejama saules gaisma un organiskie notekūdeņu savienojumi (Shen et al. 2009).



3.1.5. attēls. Trīs dažādi atvērto dīķu sistēmu projekti (Shen et al. 2009).

Jaunākās mikroaļģu audzēšanas sistēmas ietver slēgtā tipa kultivēšanu (skat. 3.1.6. attēlu). Tās var būt sistēmas, kas veidotas no stikla materiāliem un novietotas ārtelpās, lai nodrošinātu saules gaismas piekļuvi, tomēr tās var būt novietotas arī iekštelpās, gaismas avotu pievadot mākslīgi – tos sauc par fotobioreaktoriem. Mērenās klimata joslās un tālāk ziemeļos visbiežāk mikroaļģes audzē iekštelpās, lai nodrošinātu atbilstošu temperatūru un gaismas apstākļus visa gada garumā. Ja audzēšana netiek balstīta uz biežu saules gaismas esamību, tas būtiski sadārdzina procesu (Shen et al. 2009).

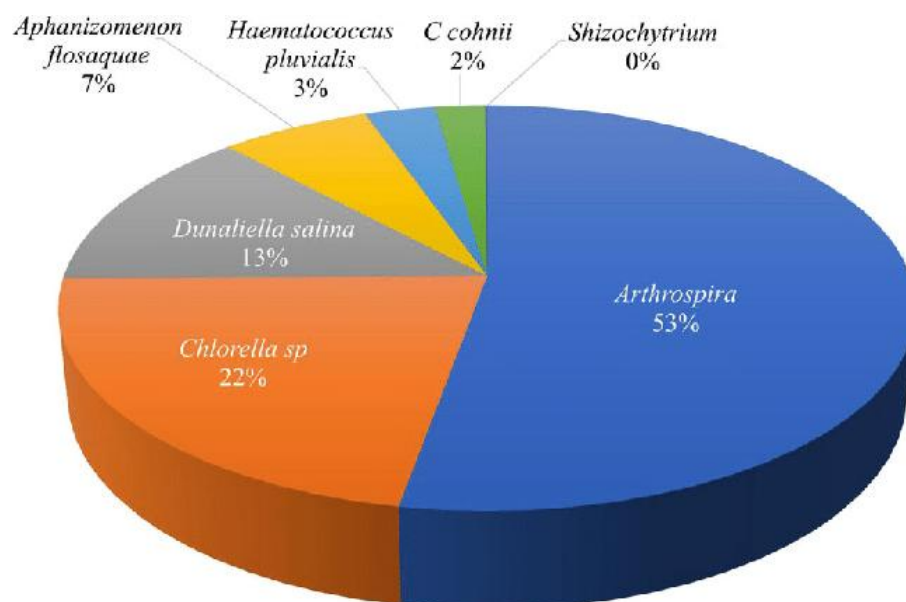
Tomēr slēgtā tipa reaktoriem ir vairākas priekšrocības: augstāka biomasas produktivitāte un šūnu blīvums. Tas, iespējams, ir svarīgākais iemesls šo sistēmu izmantošanai. Pateicoties labākai maisīšanai un maksimālai saules vai mākslīgās gaismas uztveršanai, biomasas produktivitāte uz platības vienību var būt divas reizes lielāka nekā atklātajos dīķos, savukārt šūnu blīvums var būt 30 reizes lielāks. Lielāks šūnu blīvums var ievērojami samazināt aļģu savākšanas (atūdeņošanas) un žāvēšanas izmaksas. Ir samazināts mikrobioloģiskā piesārņojuma risks, jo ir mazāka mijiedarbība ar vidi, kā arī slēgtās sistēmas kultivācija pēc būtības ir videi draudzīgāka. Lai gan vienas sugas kultivēšana ar slēgtā tipa sistēmām ir tehniski iespējama, ekonomiski nav praktiski saglabāt sistēmu sterilu, tāpēc joprojām var būt iespējama mikroskopisko sēņu, baktēriju

vai pat citu aļģu piesārņojums. Ir labāka kultivēšanas apstākļu, piemēram, temperatūras, gaismas, pH un barības vielu kontrole ilgstoši. Slēgto tipu reaktori parasti tiek turēti siltumnīcās vai apsildītās telpās, lai uzturētu optimālu temperatūru dienas un nakts laikā dažādos gadalaikos. Gaismas kontroli var panākt, pielāgojot sistēmas orientāciju, lai varētu samazināt gaismas piesātinājumu vai ēnojumu. Augstākas šūnu koncentrācijas dēļ pH un barības vielu pielāgošana var būt vieglāka nekā atklātos dīķos. Kā arī ir samazināti CO₂ zudumi, kas ir pievilcīgi spēkstaciju dūmgāzu pārstrādei (Shen et al. 2009).

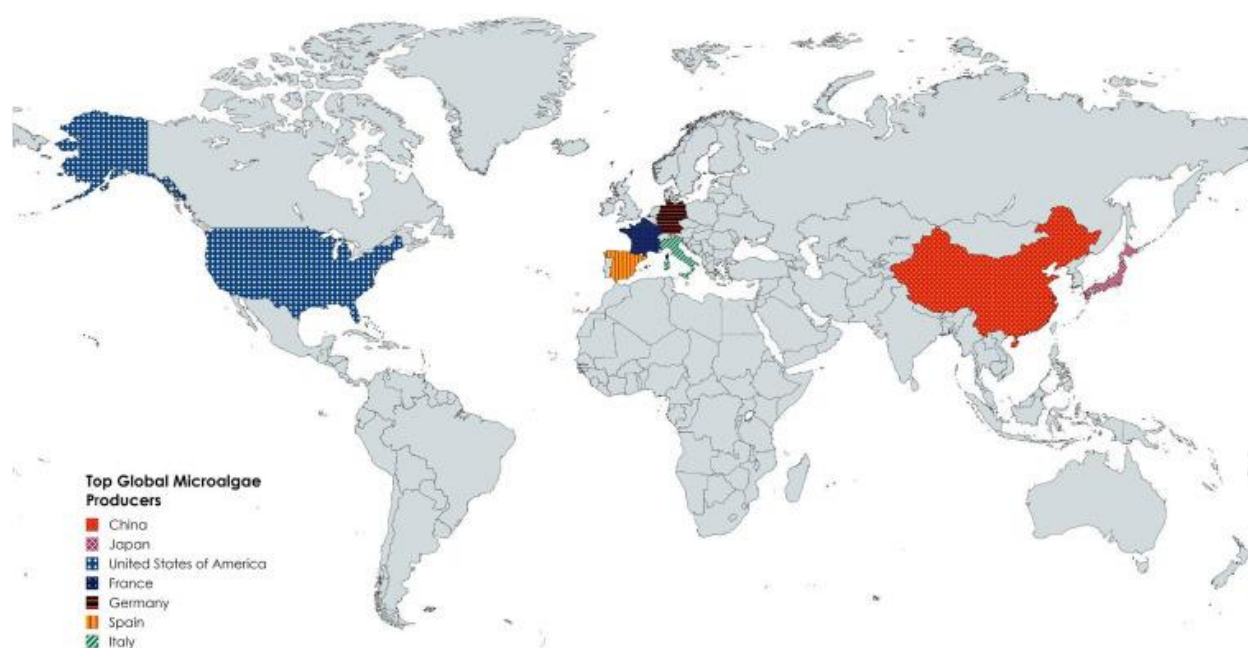


3.1.6. attēls. Dažādu slēgtās mikroaļģu kultivācijas sistēmas (Shen et al. 2009).

Nozīmīga ir ne tikai audzēšanas metodes, bet arī mikroaļģu sugas izvēle. Galvenās pasaulē audzētās mikroaļģu sugas lielos apjomos ir *Spirulina platensis* (*A. Platensis*), *Chlorella vulgaris*, un *Dunaliella salnia* (skat. 3.1.7. attēlu). Tomēr aizvien tiek apzinātas jaunas sugas, pētīti to metabolīti un potenciālais pielietojums un arī to kultivēšanas apstākļi, kas laika gaitā palielina mikroaļģu biomasas piedāvājumu pasaules tirgū. Kā mikroaļģu ražošanas lielvalstis jāmin ASV, Ķīna, Spānija, Japāna, Itālija, Francija, Vācija un Izraēla (skat. 3.1.8. attēlu).



3.1.7 attēls. Nozīmīgākās mikroaļģu sugas lielapjoma audzēšanai pasaulē (Saadaoui et al. 2021).



3.1.8. attēls. Nozīmīgākās mikroaļģu biomasas ražotājvalstis (Deamici et al. 2025).

4. PROJEKTĀ IZMANTOTO MIKROALĢU RAKSTUROJUMS

4.1. *Tetradismus obliquus*

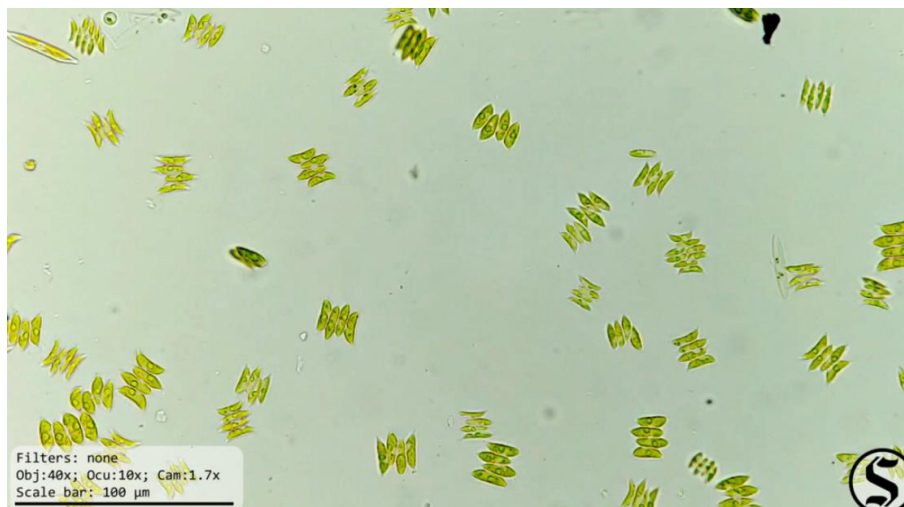
Tips/nodalījums: *Chlorophyta*

Klase: *Chlorophyceae*

Kārta: *Sphaeropleales*

Tetradismus obliquus ir saldūdens zaļāļģu suga (CCAP 2024a). Tās bieži sastopamas gan upēs, gan ezeros. Tās šūnu sienīgas sastāv no cukuriem (glikozes, mannozes, fruktozes, ramnozes) un aminoskābēm. Šūnas vairojas daloties. Tām raksturīga īpašība ir koloniju veidošana – parasti divu vai četru šūnu kolonijas (skat. 4.1.1. attēlu). Stresa apstākļos, piemēram, slāpekļa (N) trūkuma vai termālā stresa ietekmē *Tetradismus obliquus* spēj veidot gļotu apvalku, lai sevi pasargātu. Optimālā augšanas temperatūra ir ar plašu diapazonu – no 15 °C līdz 30 °C. 20-30 °C robežā *Tetradismus obliquus* ir visaktīvākais metabolisma ātrums, kā rezultātā palielinās ķīmiskā enerģija šūnu palielināšanai un vairošanai (dalīšanai). Savukārt, pie 30 °C tai ir lielākā biomasas produktivitāte (Oliveira et al. 2021).

Lai gan pētījumi liecina, ka *Tetradismus obliquus* potenciāls liela mēroga biomasas ražošanā vēl nav izmantots, tās augšanas ātrums ir iespaidīgi ātrs, kā arī tā ir ļoti izturīga nelabvēlīgos augšanas apstākļos (piemēram, augstas temperatūras apstākļos), kas ir vienas no galvenajām īpašībām priekš liela mēroga mikroalģu kultivēšanas. *Tetradismus obliquus* var augt gan heterotrofās, gan miksotrofās kultivēšanas apstākļos, kā arī dažādās barotnes variācijās. Interese par *Tetradismus obliquus* arvien pieaug - publikāciju skaits, īpaši pēc 2010. gada ir vairākās reizes pieaudzis un turpina augt (Oliveira et al. 2021).



4.1.1. attēls. *Tetrademus obliquus* attēls mikroskopā (iNATURALIST 2025).

4.2. *Graesiella emersonii*

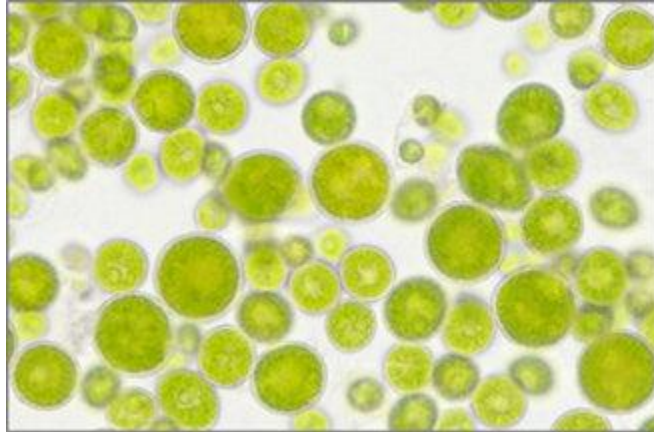
Tips/nodalījums: *Chlorophyta*

Klase: *Trebouxiophyceae*

Kārta: *Chlorellales*

Graesiella emersonii ir viencelņu mikroaļģe, zaļāļģe (CCAP 2024b) (skat. 4.2.1. attēlu), lielākoties tā ir sastopama saldūdenī, bet ir atrodama arī iesāļos ūdeņos, augsnē. Pētījumi liecina, ka tās izturība pret ūdens sāļumu kopumā ir augsta, līdz ar to tā spētu izdzīvot dažādās ūdens ekosistēmās. Mikroaļģei ir spēja attīrīt ūdeni, līdz ar to tai ir liela loma veselīgu ūdens ekosistēmu uzturēšanā (Kang et al. 2022).

Graesiella emersonii ir daudzsoļš resurss pigmentiem, lipīdiem un citiem potenciāliem farmaceitiskajiem līdzekļiem. Jau šobrīd tās pielietojums ir ievērojami plašs - tā tiek patērēta Eiropā un ir apstiprināta Francijā kā uztura bagātinātājs, to var izmantot notekūdeņu attīrīšanai un tā ir arī biodegvielas avots, līdz ar to interese par *Graesiella emersoii* tikai pieaug. Augšanas diapazons ir ļoti plašs - 5-40°C, taču optimālie apstākļi ar lielāko augšanas ātrumu ir novēroti pie 28-32°C. Tā kā *Graesiella emersonii* augšanas apstākļi ir ļoti plaši, tās kultivēšana tiek uzskatīta par vienkāršu, un tā var kalpot kā bioloģiskais resurss dažādos lietojumos (Kang et al.).



4.2.1. attēls. *G. emersonii* šūnu attēls mikroskopā 400 reižu lielā palielinājumā (Alshareef et al. 2021).

4.3. *Spirulina platensis*

Tips/nodalījums: *Cyanophyta*

Klase: *Cyanophyceae*

Kārta: *Oscillatoriales*

Spirulina platensis ir viena no pasaulē zināmākajām cianobaktērijām (zilaļģēm), kas jau izsenis ir lietota uzturā Āfrikā un Dienvidamerikā. Tā dzīvo tropiskajos un subtropiskajos ūdeņos, kas ir bagātīgi ar karbonātiem un bikarbonātiem, līdz ar to ūdenī ir ļoti sārmaina vide, sasniedzot pH 11. *Spirulina platensis* ir spirālveida forma (skat. 4.3.1. attēlu), kuras izskatu un dimensijas var ietekmēt dažādi vides faktori - temperatūra, ķīmiskie un fizikālie apstākļi u.c.. Ir novēroti vairāki gadījumi, kad *Spirulina platensis* ieņem taisnu formu (dabiskos vai stresa apstākļos) - šādā gadījumā tā vairs nevar atgūt spirālveida formu. Zilaļģe vairojas daloties (Vonshak 2002).

Spirulina platensis tiek uzskatīta par vienu no daudzsološākajām mikroaļģēm. Tā ir bagātīga ar polinepiesātināto taukskābi γ -linolēnskābi (GLA), kā arī dažādiem pigmentiem - fikocianīnu, miksoksantofilu un zeaksantīnu. Tā kā *Spirulina platensis* ir gan termofila (ideālie augšanas apstākļi ir pie 35-37°C), gan alkalofila (aug izteikti sārmainā vidē), tā tiek uzskatīta par teicamu kandidātu audzēšanai brīvā dabā subtopu un tropu reģionos. Latvijā *Spirulina platensis* tiek audzēta tikai slēgtos fotobioreaktorus. To plaši izmanto kā uztura bagātinātāju visā pasaulē, kā arī daudzviet izmanto arī kā papildus barības avotu dzīvniekiem, piemēram, mājputniem vai zivīm (Vonshak 2002).



4.3.1. attēls. *S. platensis* attēls mikroskopā (Borowitzka 2018).

4.4. Chlorella vulgaris

Tips/nodalījums: *Chlorophyta*

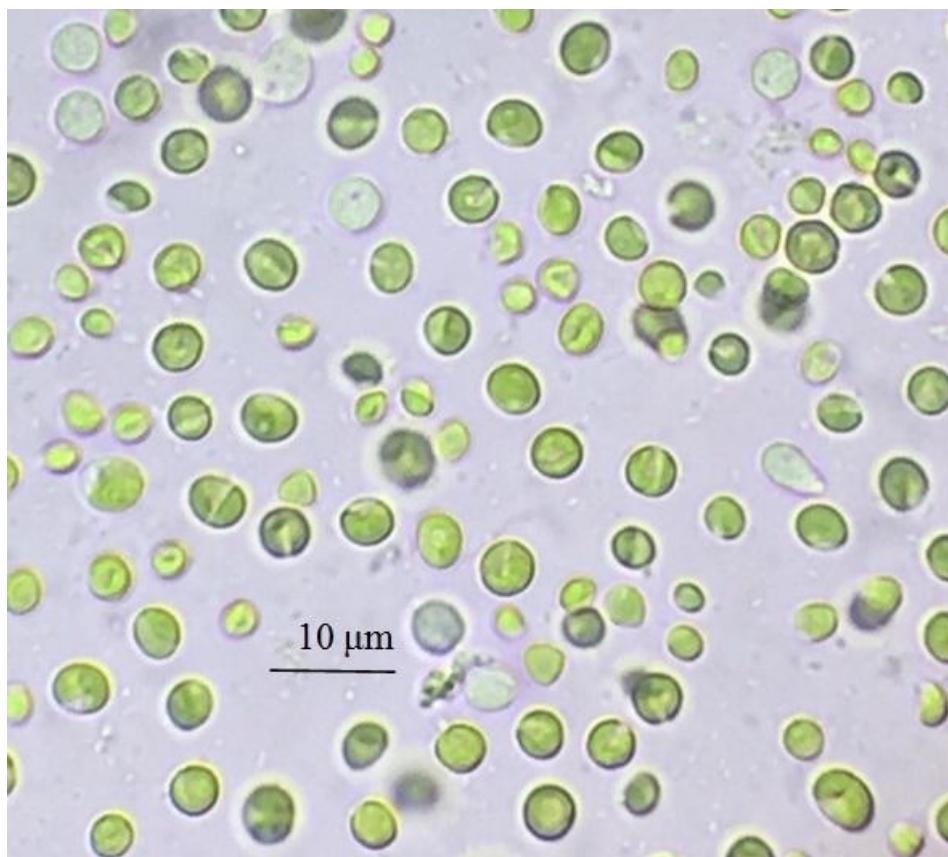
Klase: Trebouxiophyceae

Kārta: Chlorellales

Chlorella vulgaris ir plaši zināma mikroskopiska zaļāļģe ar sfērisku formu (skat. 4.4.1. attēlu), kas tiek izmantota kā uztura bagātinājs; tā ir labs antioksidantu avots. Mikroaļģes ir tikai 2-10 µm lielas, taču to struktūra ir līdzvērtīga augstākajiem augiem. Biezā šūnu sienā ir galvenais aizsarglīdzeklis pret abiotiskajiem un biotiskajiem faktoriem. *Chlorella vulgaris* nav ekstremitāšu, līdz ar to tā nespēj patstāvīgi pārvietoties. Tām ir spēja veidot kolonijas – ir novērotas kolonijas līdz pat 64 mikroaļģu šūniņām, kas konkrētos apstākļos spēj uzlabot to augšanas un attīstības vidi. Tās vairojas daloties. Kā lielākā daļa mikroaļģu, *Chlorella vulgaris* satur proteīnus, lipīdus, karbohidrātus, kā arī vairākus pigmentus u.c. (Coronado-Reyes et al. 2022).

Chlorella vulgaris optimālā augšanas temperatūra ir 28-35 °C. Zemākā temperatūrā tās nespēj augt, jo vielmaiņas sistēma pārstāj darboties, bet pie augstākām temperatūrām sākas aktīva elpošana, līdz ar to samazinās primāro uz sekundāro metabolītu ražošanu. *Chlorella vulgaris* optimālais augšanas pH ir 8. Tā tiek audzēta priekš dažādiem pielietojumiem, tostarp priekš biodīzeļdegvielas, biogāzes, kosmētikas, kā uztura bagātinātājs u.c. Tā kā *Chlorella vulgaris* primāro un sekundāro metabolītu daudzumu un attiecību izteikti ietekmē augšanas apstākļi, tā tiek

plaši pētīta un analizēta, lai iegūtu vēlamos savienojumus pēc iespējas lielākos daudzumos (Coronado-Reyes et al. 2022).



4.4.1. attēls. *C. vulgaris* attēls mikroskopā (Rameshprabu et al. 2016).

5. MIKROAĻĢU PRODUCĒTI VĒRTĪGI SAVIENOJUMI AUGIEM

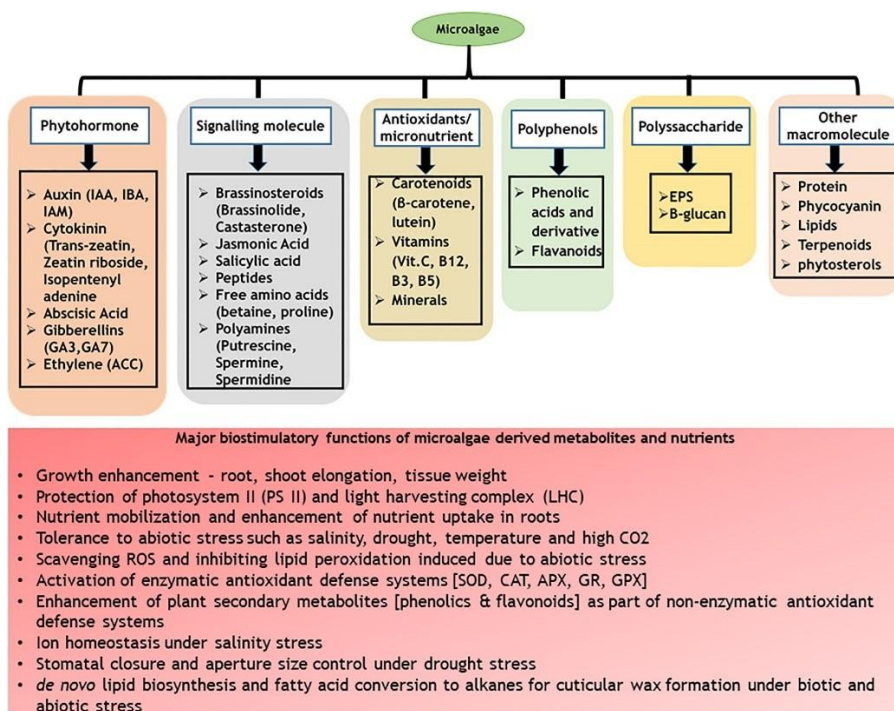
5.1. Biostimulanti

Augu biostimulants ir ļoti plašs jēdziens un dažādās pasaules vietās tā definīcija var atšķirties (Calvo et al. 2014). Tas ietver gan vielas, gan mikroorganismus, kuru pielietojums uz augiem ir ar mērķi uzlabot to augšanu, palielināt izturību pret abiotisko (ārējie vides faktori) stresu, kā arī palielināt augu ražību. Svarīgs aspekts ir tas, ka biostimulanti nedefinējas kā pesticīdi vai augu mēslojums, jo tiem nav noteikts uzturvielu saturs, kā arī to iedarbība nav konkrēti vērsta uz augu kaitēkļiem (Calvo et al. 2014; Jardin 2015). Kā biostimulantu apakš kategorijas (Jardin 2015) tiek uzskatītas biomēslojums (dzīvotspējīgi mikroorganismi vai to kopums, kas tiek pielietoti uz augiem, lai uzlabotu to augšanu uz ražas lielumu) un biopesticīdi (mikroorganismi, kas spēj ierobežot augiem kaitīgu kukaiņu izplatību) (Jardin 2015; Seenivasagan, Babalola 2021).

Eiropas Biostimulantu Rūpniecības Padome (EBIC) ziņo, ka, izmantojot biostimulantus, ražas pieaugums vidēji ir par 5-10% lielāks. Tie ne tikai tiešā veidā stimulē augu augšanu, bet arī uzlabo barības vielu uzņemšanas efektivitāti, kas, savukārt, ļauj efektīvāk izmantot ķīmisko augu mēslojumu. Tas samazina barības vielu zudumu un ar šo procesu saistīto vides piesārņojumu, kā arī palielina lauksaimniecības prakses ilgtspēju. Biostimulanti palīdz augiem paciest stresu, ko rada tādi ārējie vides faktori kā ilgstošs sausums vai plūdi, augsnes sasāļošanās, kas mainīgajos klimatiskajos apstākļos mūsdienās paliek arvien svarīgāks faktors (EBIC 2021).

Galvenie un biežāk izmantotie augu biostimulanti ir iedalīti vairākās daļās. To starpā ir humīnskābes, mikroorganismi, olbaltumvielu hidrolizāti un **aļģu ekstrakti**. Mikroaļģes satur daudzveidīgu biostimulējošu savienojumu kopumu (skat. 5.1.1. attēlu). To starpā ir fitohormoni, signālmolekulas, fenoli, polisaharīdi un citas ne mazāk būtiskas makromolekulas, kas uz augiem iedarbojas jau ļoti mazās koncentrācijās. Šīs bioaktīvās vielas augi spēj metabolizēt un absorbēt gan caur to saknēm, gan lapotnēm. Mikroaļģu biomasa ir vērtīgs biostimulants jeb augu augšanas veicinātājs, jo palielina kultūraugu produktivitāti un piešķir tiem rezistenci pret slimībām. Mikroaļģes ir vērtīgs biostimulantu, biomēslošanas līdzekļu un biopesticīdu resurss to fototrofiskā barošanās, augstās fotosintēzes efektivitātes un plašā vides pielāgošanās spēju dēļ. Starp industriāli nozīmīgām mikroaļģu sugām ir *Arthrospira platensis* (*Spirulina spp.*), *Chlorella spp.*, *Haemotococcus pluvialis*, *Dunaliella salina*, *Nostoc spp.*, *Anabaena spp.*, *Scenedesmus spp.*,

Nannochloropsis spp., *Phaeodactylum tricornutum*, u.c. (Parmar et al. 2023; Prisa, Spagnuolo 2023).



5.1.1. Attēls. Mikroaļģu producēti dažādi biostimulanti un to nozīme (Parmar et al. 2023).

No jūras aļģu ekstraktiem var iegūt polisaharīdus, hormoniem līdzīgus savienojumus, fenolus, taukskābes, vitamīnus, osmolītus un fitohormonus. Visvairāk izmantotās lauksaimniecības nolūkiem ir brūnaļģes. Šiem jūras aļģu ekstraktiem ir tādas labvēlīgas īpašības kā diedzēšanas, ziedēšanas, augļu nogatavošanās uzlabošana un tolerances uzlabošana pret abiotiskiem stresiem. Lielākais to trūkums ir nepieciešamība tās iegūt no jūras, kas apgrūrina materiāla kvalitātes nodrošināšanu (Chiaiese et al. 2018).

Dažādu aļģu sugu ekstraktu iedarbība uz augiem nav vienāda - to ietekmē aļģēs esošo biostimulējošo savienojumu daudzums, kā arī konkrēto augu sugas, uz kuriem biostimulanti tiek lietoti. Svarīgs faktors ir arī augu un augsnes stāvoklis pirms biostimulantu pievienošanas (Prisa, Spagnuolo 2023).

Fitohormoni

Fitohormoni jeb augu hormoni ir klase ar maziem, molekulāriem un organiskiem savienojumiem. Lai gan to koncentrācija ir ļoti neliela, tie plaši piedalās šūnu dzīvības norisē, līdz ar to ietekmē augu augšanu un attīstību. Fitohormoni tiek iedalīti piecās galvenajās klasēs - augsīni,

citokinīni, giberelīni, abscizskābe un etilēns. Šobrīd pie fitohormoniem tiek pieskaitīti klāt arī brassinosteroīdi, jasmonāti, poliamīni un salicilskābe (Han et al. 2018; Miao 2021).

Auksīni ir no triptofāna atvasināti augu hormoni, kuri piedalās tādu svarīgu fizioloģisko procesu regulācijā kā šūnu dalīšanās un pagarināšanās, vaskulāro audu diferenciācijā, apikālajā dominancē un stresa reakcijā. Tie pozitīvi ietekmē biosintēzes procesus, stimulē augu elpošanu un veicina sakņu attīstību. Kopumā tiem ir liela loma augu augšanas veicināšanā, piedaloties neskaitāmos augu augšanas procesos (Han et al. 2018; Parmar et al. 2023).

Auksīni ir pirmā identificētā fitohormonu klase, kas satur tādus savienojumus kā indol-3-acetāts (IAA), 4-hloroindola-3-acetāts (4-Cl-IAA), indola-3-butirāts (IBA), indola-3-acetamīds (IAM) un 2-fenilacetāts. Aļģu sugas *Chlorella spp.*, *Coenochloris spp.*, *Acutodesmus spp.*, *Scenedesmus spp.* un *Chlorococcum spp.* satur auksīnus koncentrācijās no 0.18 līdz 99.83 nmol g⁻¹ no sausas, kur galvenie savienojumi ir IAA un IAM. Kopumā IAA ir galvenais detektētais auksīns mikroaļģēs, kas noteikts vismaz 46 dažādām aļģu sugām (Han et al. 2018; Parmar et al. 2023).

No mikroaļģu ekstraktiem iegūtais IAA piedalās sakņu veidošanā un pagarināšanā *Petunia x hybrida* augos. Turpretim no *Scenedesmus spp.* ekstrakta ražots lapu apsmidzināšanas līdzeklis, kur IAA koncentrācija sasniedza 5965 ng g⁻¹, petūniju augiem palielināja sakņu sausas masu. Novērots arī, ka IAA, ko ražo tādas ciānbaktēriju sugas kā *Nostoc spp.*, *Synechocystis spp.*, *Leptolyngbya spp.*, veicina rīsu un kviešu augšanu un to lielākās koncentrācijas novērotas augu sakņu kolonizācijas laikā. Identificēts, ka auksīni un šķīstošās aminoskābes, ko izdala ciānbaktērijas, uzlabo augsnes mikrobioloģisko saturu un mikrobioma kvalitāti (Parmar et al. 2023).

Citokinīni ir N6-aizstāti adenīna un adezonīna atvasinājumi, kuri satur vai nu aromātisku vai izoprenoīda sānu ķēdes. Citokinīniem ir svarīga loma tādos augu attīstības procesos kā šūnu dalīšanās procesā, dzinumu un vaskulārajā diferenciācijā, barības vielu mobilizācijā, fotomorfoģenēzes attīstībā, hloroplastu biogēnēzē, apikālajā dominancē. Papildus tie aizkavē augu lapu novecošanos, veicina dzinumu veidošanu un sakņu attīstību. Ir novērots, ka citokinīni palielina gan kultūraugu kvantitāti, gan kvalitāti (Han et al. 2018; Parmar et al. 2023; Stirk et al. 2013).

Mikroaļģēs citokinīniem ir būtiska loma fotosintēzes procesā. Svarīgākie citokinīni, kas novēroti mikroaļģēs, ir zeatīns, zeatīna ribozīds, kinetīns un izopenteniladenoīns. Citokinīnu

saturs var variēt no 0.29 līdz 21.40 nmol g⁻¹ no sausnas ar lielāko novēroto koncentrāciju mikroaļģē *Stigeoclonium nanum*. Līdz ar to redzams, ka citokinīnu saturs mikroaļģēs spēj būt pat vairākas reizes mazāks nekā auksīnu saturs. Cis-zeatīns un izopentenila adenīns ir galvenie citokinīni, savukārt trans-zeatīns un dihidrozeatīns sastopami mazās koncentrācijās papildus brīvajām bāzēm un ribozīdiem. Papildus fizioloģiskām un attīstības funkcijām mikroaļģu izcelsmes citokinīniem novēro abiotiskā stresa tolerances palielināšanos apstrādātajiem augiem. Tiek norādīts, ka mikroaļģu *Nannochloropsis spp.* citokinīnu saturošais ekstrakts samazina ūdens un slāpekļa stresu tomātu augiem. Iespējamais mehānisms augu stresa tolerancei, ko inducē mikroaļģu citokinīni, ir citokinīnu spēja attīrīt no brīvajiem radikāļiem (Han et al. 2018; Parmar et al. 2023).

Giberelīnskābes (Gs) ir fithormonu grupa, kuras galvenā funkcija ir abiotiskā stresa tolerances veidošana augos. Giberelīnskābes modulē fotosintētisku efektivitāti augos un veicina fotosintēzes pārdali abiotiskā stresa laikā. Mikroaļģēs noteikti ap 19 dažādu giberelīnskābju tipi, kuru galvenās funkcijas ir stublāja pagarināšana, sēklu diedzēšanas uzsākšana caur alfa-amilāzes enzīma aktivāciju, ziedēšanas uzsākšana, zieda daļu attīstība un ietekme uz proteīnu biosintēzi. Kopējā mikroaļģēs esošā giberelīnskābju koncentrācija variē no 3 pg mg⁻¹ biomasas (Gs7 mikroaļģē *Gyoserryana humicola*) līdz 3452.9 pg mg⁻¹ (Gs15 mikroaļģē *Scotiellopsis terrestris*). Ir novērots, ka Gs3 ekstrakti no mikroaļģēs *Chlorella vulgaris* samazina smago metālu izraisītu stresa kaitīgo ietekmi un piešķir aizsardzību pret svinu un kadmiju (Parmar et al. 2023).

Abscizskābe ir C15 seskviterpenoīdu hormons, kuram ir svarīga loma augu adaptīvās atbildes reakcijās pret biotiskiem un abiotiskiem stresiem. To funkcija ir modulēt atvārsnīšu aizvēršanos, modulēt proteīnu un saderīgu osmolītu/šķīdinātāju biosintēzi un uzturēt ūdeni augos, palielinot noturību stresa apstākļos. Abscizskābe notur pumpuru un sēklu miera stāvokli, kavē augu augšanu. Kopumā abscizskābes ir vispārēji augšanas un metabolisko funkciju inhibitori un darbojas kopā ar citiem fitohormoniem vai signālmolekulām, piemēram, auksīniem, citokinīniem, etilēnu un brassinosteroīdiem (Han et al. 2018; Parmar et al. 2023).

Etilēns ir gāzveida hormons, kas regulē tādas attīstības procesus kā augu novecošanos, augļu nogatavošanos, šūnu dalīšanos un pagarināšanos. Tas palielina toleranci pret biotiskiem un abiotiskiem stresiem, piemēram, sausumu vai aukstumu. Mikroaļģes ģintis *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, kā arī ciānbaktērijas *Synechococcus spp.*, *Anabaena spp.*, *Nostoc spp.*, *Calothrix spp.*, *Scytonema spp.* un *Cylindrospermum spp.* spēj sintezēt etilēnu. Piemēram, etilēna

saturs mikroaļģē *Scenedesmus spp.* ir 341 ng g⁻¹, bet *Spirulina platensis* 546 ng g⁻¹ no sausas (Han et al. 2018; Parmar et al. 2023).

Mikroaļģes un ciānbaktērijas papildus akumulē arī tādas zema molekulārā svara molekulas kā **brassinosteroīdus, poliamīnus, jasmonīnskābes un salicilskābes**, kas šobrīd tiek pieskaitītas pie fitohormoniem (Parmar et al. 2023; Miao 2021). Brassinosteroīdi ir augu steroīdu hormoni, kuri pastāv brīvā veidā, vai ir konjugēti kopā ar cukuriem vai taukskābēm. To primārā funkcija ir sēklu dīdīšana, vaskulārā diferenciācija, lapu liekšana un ziedputekšņu gametu veidošanās pagarināšana. Mikroaļģēs identificēti divi brassinosteroīdu tipi – brassinolīds un katalisterons. Brassinosteroīdu saturs novērots robežās no 117.3 pg g⁻¹ no sausas *Raphidocelis subcapitata* MACC 317 līdz 977.8 pg g⁻¹ no sausas *Klebsormidium flaccidum* MACC 692 (Parmar et al. 2023).

Jasmonīnskābe un salicilskābes ir augu aizsardzības sistēmu signālmolekulas ar nozīmīgu lomu atbildes reakcijā pret biotiskiem stresiem. Šīm signālmolekulām ir kritiska loma sēklu dīdīšanā, glikolīzē, ziedēšanā, antioksidantu gēnu augšupregulācijā, jonu uzņemšanā un transportā, fotosintēzes ātruma noteikšanā, atvērtnīšu vadītspējā, transpirācijā, termotolerancē un novecošanās procesā. Salicilskābes un jasmonīnskābes signalizēšanas ceļi ir savstarpēji saistīti kopā ar citiem fitohormoniem un darbojas antagoniski augsniem, citokīniem un giberelīnskābēm, bet sinerģiski kopā ar etilēnu un abscizīnskābēm. Jasmonīnskābes koncentrācija augos palielinās, atbildot uz dažādiem inducējošiem signāliem, piemēram, mehāniskiem vai augēdāju bojājumiem un abiotiskiem stresiem. Salicilskābes koncentrācija augā palielinās arī patogēnu infekciju gadījumos. Jasmonīnskābes un salicilskābes ir detektētas vairumam mikroaļģu sugu. Nozīmīgākie to daudzumi atrasti mikroaļģē *Scenedesmus spp.* - 75.13 ng g⁻¹ jasmonīnskābes satura un 156714 ng g⁻¹ salicilskābes satura (Parmar et al. 2023).

Poliamīni ir zema molekulārā svara polikātoni, kuriem ir loma augu augšanas un attīstības procesos, kā arī stresa atbildes procesos. Galvenās poliamīnu formas ir putrescīns, spermidīns un spermīns. *Spirulina platensis* satur nozīmīgas poliamīnu kvantitātes – 0.76 μg g⁻¹ putrescīna, 3.31 μg g⁻¹ spermīna un 0.67 μg g⁻¹ spermidīna saussnā. Pētīts, ka *Spirulina platensis* poliamīni spēj pastiprināt salātlapu stādu augšanu, rādot biostimulējošu iedarbību (Parmar et al. 2023).

Lipīdi

Mikroaļģes spēj ražot dažādus lipīdu veidus, tostarp triacilglicerīnus, fosfolipīdus, glikolipīdus un fitosterīnus. Šie lipīdi satur taukskābes no C12 līdz C24, bieži vien satur mono- un

polinepiesātinātās taukskābes (MNTS, PNTS), īpaši C16 un C18. Mikroaļģu lipīdi, kas var veidot pat no 20% līdz 50% no sausnas svara, pilda dažādas funkcijas, piemēram, enerģijas uzkrāšanu, šūnu membrānu strukturālās sastāvdaļas, vielmaiņas procesu veicinātājus un starpsūnu mijiedarbību. Lipīdu veids jeb dubultsaišu skaits un izvietojums oglekļa ķēdē mainās atkarībā no mikroaļģu sugas un audzēšanas apstākļiem. Optimāli apstākļi veicina taukskābju pārvēršanu membrānas lipīdos uz glicerīna bāzes, savukārt nelabvēlīgi apstākļi var uzlabot neitrālu lipīdu, piemēram, triacilglicerīnu sintēzi. Parasti mikroaļģes ir bagātas ar polinepiesātinātajām taukskābēm, piemēram, arahidonskābi, eikozapentaēnskābi (EPA) un dokozaheksaēnskābi (DHA), kā arī palmitīnskābi, kas ir svarīgākā piesātinātā taukskābe. Komerciāli aļģu lipīdi ir nozīmīgi tādēļ, ka no tiem ir iespējams iegūt produktus, kuru pozitīvā ietekme uz veselību ir lielāka par to uzturvērtību. Piemēram, no mikroaļģu ražotām PNTS ir iespējams izgūt EPA, DHA un to prekursoru α -linonēnskābi (Dolganyuk, et. al., 2020).

Dažas mikroaļģu sugas ir atzītas par daudzsoļām trešās paaudzes biodeģvielu, uztura un farmaceitisko produktu ražotājām to straujās augšanas, augstā lipīdu satura un unikālā sastāva dēļ (skat. 5.1.2 attēlu). Plašā aļģu daudzveidība rada plašu lipīdu iznākumu klāstu, kas ir atkarīgs no pielāgošanās videi augot. Dažas komerciāli nozīmīgas mikroaļģes var sintezēt augstu specifisko taukskābju līmeni, reaģējot uz vides izmaiņām, atšķirot tās no augstākiem augiem un dzīvniekiem. Tomēr visaptverošs mikroaļģu lipīdu raksturojums joprojām ir izaicinājums sugu un audzēšanas apstākļu atšķirību dēļ (Yao et al. 2015).

Table 2. Microalgae Lipid Class Composition (Weight Percent)^a

	<i>Chlamy</i>	<i>Chlorella</i>	<i>Nanno</i>	<i>Scened</i>	<i>Schizo</i>
neutral lipids	51.3	57.2	14.5	31.5	78.2
TAG	24.5 (2.2)	26.6 (2.8)	8.6 (1.5)	4.1 (0.8)	77.5 (6.4)
FFA	26.8 (2.3)	30.6 (2.1)	5.9 (0.6)	27.4 (1.3)	0.7 (0.6)
polar lipids ^b	9.7 (0.3)	0.7 (0.0)	24.6 (0.4)	0.7 (0.1)	0.9 (0.2)
USP ^c	13.1 (0.1)	13.2 (0.4)	14.6 (0.4)	18.7 (0.6)	1.9 (0.0)
chlorophyllides ^c	16.8	14.6	5.8	14.3	
others ^d	9.1	14.3	40.5	34.8	19.1

5.1.2. attēls. Dažādu mikroaļģu lipīdu klases savienojumu sadalījums, izteikts % (Yao et al. 2015).

Mikroaļģu producētie savienojumi kā lipīdi, tostarp **taukskābes**, var variēt to iznākumā starp dažādām mikroaļģu sugām un audzēšanas apstākļiem. Ievērojams skaits mikroaļģu ražo polinepiesātinātās taukskābes, kuras tiek izmantotas biodīzeļdegvielas ražošanā, zivju barībā un uztura bagātinātāju ražošanā. Līdzās PNTS mikroaļģes ražo arī poli piesātinātās taukskābes (PPTS)

FAME profile of microalgae ethanol extracts, in percentages of total FAME (2). Values represent mean $\pm$ standard deviation of three independent experiments.

Microalgae Strains	$\sum$ PUFA (%)	$\sum$ SFA (%)	$\sum$ MUFA (%)
<i>Tetraselmis</i> sp.	12.9 $\pm$ 0.03	22.9 $\pm$ 0.01	63.0 $\pm$ 0.03
<i>Dunaliella salina</i>	76.9 $\pm$ 0.10	17.9 $\pm$ 0.10	4.3 $\pm$ 0.00
<i>Dunaliella</i> sp.	38.2 $\pm$ 0.08	22.7 $\pm$ 0.09	25.3 $\pm$ 0.10
<i>Navicula</i> sp.	30.6 $\pm$ 0.09	26.6 $\pm$ 0.04	42.9 $\pm$ 0.05
<i>Chlorella</i> sp.	68.6 $\pm$ 0.10	27.3 $\pm$ 0.10	4.6 $\pm$ 0.01
<i>Nannochloropsis gaditana</i> .	25.5 $\pm$ 0.01	28.8 $\pm$ 0.00	43.4 $\pm$ 0.01
<i>Isochrysis</i> sp.	32.2 $\pm$ 0.02	27.8 $\pm$ 0.00	40.0 $\pm$ 0.01
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	31.1 $\pm$ 0.10	29.7 $\pm$ 0.02	39.1 $\pm$ 0.09
<i>Chaetoceros</i> sp.	35.5 $\pm$ 0.10	25.1 $\pm$ 0.20	38.6 $\pm$ 0.05

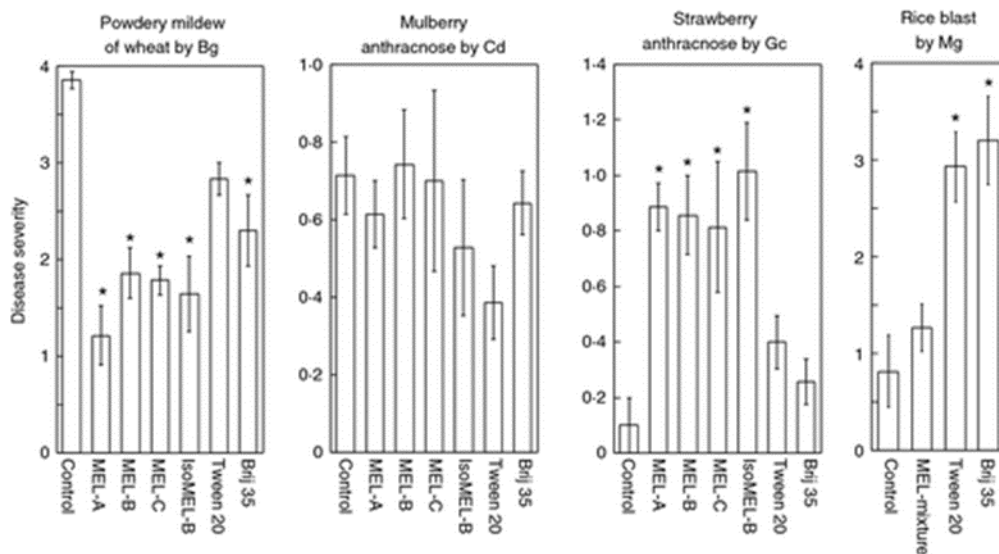
5.1.3. attēls. FAME ((angl. *fatty acid methyl esters*) profils no mikroaļģu etanola ekstraktiem, izteikts% no kopējās FAME vērtības (Maadane et al. 2015).

un mononepiesātinātās taukskābes (MNTS), un to sadalījums atšķiras atkarībā no mikroaļģu sugām (Maadane et al. 2015) (skat. 5.1.3. attēlu).

Glikolipīdi un lipopeptīdi ir biosurfaktanti jeb biovirsmaktīvās vielas ar biostimulējošām īpašībām. Mannosileritritola (MEL) lipīdiem arī novēro antimikrobiālu aktivitāti galvenokārt pret Gram-pozitīvām baktērijām un fitopatogēnām sēnītēm. Fitopatogēni ir patogēni mikroorganismi, kas ietekmē vairumu augu sugu un ir dažādu slimību ierosinātāji, tie nelabvēlīgi ietekmē lielāko daļu agrokultūrā svarīgo augu. Mannosileritritola lipīdi ir potenciāli drošāka un videi draudzīgāka alternatīva vai daļējs aizstājējs sintētiskiem lipīdiem. Mannosileritritola lipīdiem to ķīmiskās struktūras dēļ ir saistība ar tādiem enerģijas metabolisma ceļiem kā glikolīze vai Krebsa cikls, kas liecina par tiešu šūnu līmeņa biostimulanta potenciālu, ja mikroorganismu metabolisma ceļi tiek izjaukti ar kādu ārēju savienojumu klātesamību, tad tie vairs nespēj veikt organisma dzīvotspējai nepieciešamās funkcijas, tādējādi aizejot bojā un nespējot vairoties. Šie lipīdi arī spēj izsaukt mikroorganismu pašaizsardzības mehānismus, kas samazina fitopatogēnu infekciju intensitāti un radīto ietekmi uz agrokultūrām (Matosinhos et al. 2023).

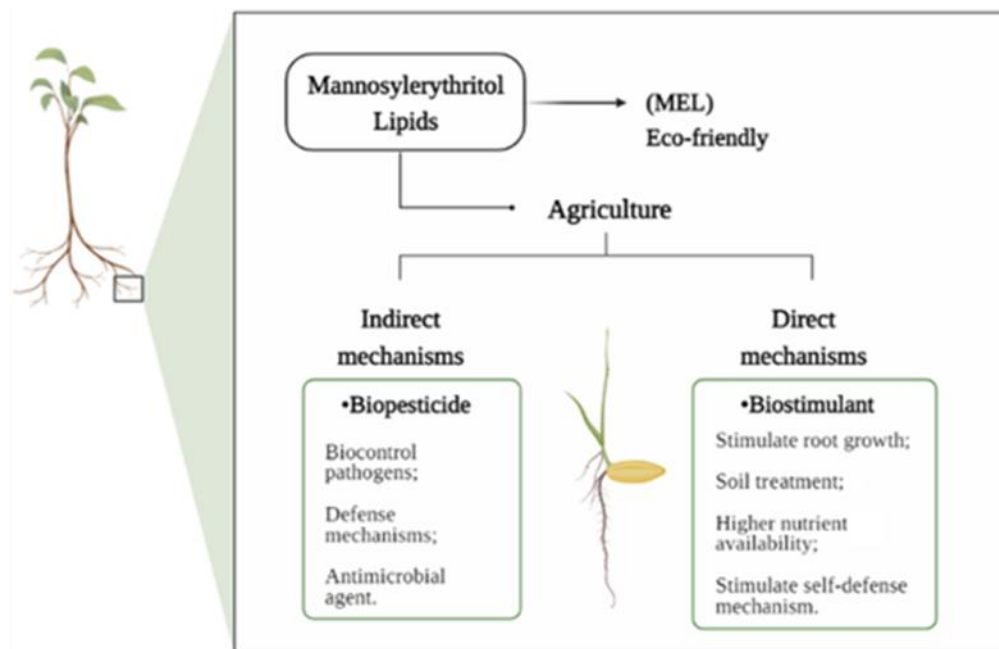
Kā minēts iepriekš, biovirsmaktīvās vielas, piemēram, MEL, ir potenciāli augu biostimulatori, un tām piemīt pretmikrobu īpašības pret fitopatogēniem mikroorganismiem (Yoshida et al. 2015). Tika pārbaudītas dažādas MEL (MEL-A, MEL-B, MEL-C un iso-MEL-B), lai samazinātu plastiskas virsmas hidrofobitāti un nomāktu agrīnu sēnīšu infekciju uz šīm virsmām.

Apstrāde ar virsmaktīviem glikolipīdiem tika veikta uz kviešu, rīsu, zemeņu lapām un zīdkoka augiem. Pēc tam tika salīdzināts bioloģisko un ķīmisko virsmaktīvo vielu efektivitāte sēnīšu vairošanās kavēšanā uz apstrādātām un neapstrādātām augu virsmām. Tika novēroti daudzsološi rezultāti, īpaši ar MEL-A un iso-MEL-B, kas ievērojami nomāc *Blumeria graminis* f vairošanos. (skat. 5.1.4. attēlu) (Yoshida et al. 2015).



5.1.4. attēls. *Blumeria graminis* fizraisīto sēnīšu slimību smagums: *sp. tritici* (Bg), *Colletotrichum dematium* (Cd), *Glomerella cingulata* (Gc) un *Magnaporthe grisea* (Mg) uz lapām, kas apstrādātas ar virsmaktīvām vielām. Slimības smaguma vienības ir bojājuma indeksa vērtības, kuru pamatā ir Bg un Mg bojājuma laukums un Cd un Gc bojājumu diametrs (mm) (Yoshida et al. 2015).

MEL savienojumi tiek pielietoti lauksaimniecībā daudzpusīgā pielietojuma dēļ. Ar tiem var apstrādāt auga virszemes orgānus, piemēram, lapas, bet var apstrādāt arī augsni, saknes un sēklas, tādējādi stiprinot auga spējas cīņā pret dažādiem slimību ierosinātājiem (skat. 5.1.5. attēlu) (Vaishnavi et. al. 2023).



5.1.5. attēls. Mannozileritritola lipīdu (MEL) pielietojums lauksaimniecībā (Vaishnavi et. al. 2023).

Mikroaļģes ir bagātas ar glikolipīdiem, padarot tās par glikolipīdu ražošanas intereses organismiem, pateicoties to vienkāršajai kultivēšanai, straujai augšanai un fotosintēzes spējām. No mikroaļģēm ir izolēti dažādi farmakoloģiski aktīvi glikolipīdi, tostarp tie, kuriem ir pret HIV un pretaudzēju īpašības. Mikroaļģu augšanu un vielmaiņas vielu uzkrāšanos lielā mērā ietekmē vides faktori, piemēram, gaismas intensitāte, sāļums, slāpekļa koncentrācija un dzelzs saturs. Manipulācijas ar šiem faktoriem var efektīvi pielāgot vielmaiņas vielu ražošanu, piemēram, slāpekļa bads izraisa triacilglicerīna satura palielināšanos (Wang et al. 2016).

Ir pierādīts, ka tomātu (*Solanum lycopersicum* L.) apstrāde ar dažādu mikroaļģu sugu hidrolizāta ekstraktiem uzlabo gan augu, gan augļu ražu. Šīs apstrādes rezultātā augos palielinās fitolu koncentrācija. **Fitoli** ir acikliski diterpēna spirti, kas kalpo kā augiem svarīgu vitamīnu, piemēram, E un K1 prekursori. Turklāt fitoli ir hlorofila sastāvdaļa, kas rodas hlorofila sadalīšanās laikā. Tam ir izšķiroša nozīme tokoferolu biosintēzē, kas darbojas kā lipīdu antioksidanti, palīdzot aizsargāt fotosistēmu no fotobojājumiem vides stresa laikā. Apstrāde ar *Tetraselmis* sp., *D. salina*, *N. gaditana*, *Aphanothece* sp. un *A. maxima* hidrolizāta ekstraktiem pētījumos izraisīja fitolu koncentrācijas paaugstināšanos attiecīgi par 8947%, 5329%, 3310%, 2044% un 1973% (Mutalejoan et al. 2022).

Arabidopsis thaliana ievērojama daļa fitolu un taukskābju hloroplastos tiek pārveidoti par taukskābju fitilesteriem, kas ir ļoti svarīgi fotosintēzes uzturēšanai, taču tie ir jutīgi pret abiotiskā stresa un novecošanās radītiem traucējumiem. Augi, kas apstrādāti ar hidrolizāta ekstraktiem no *Aphanothece sp.* un *A. maxima* uzrādīja ievērojami augstu fitiltaukskābju uzkrāšanos, palielinoties attiecīgi par 1088% un 1008%. Fitola uzkrāšanās cieši korelē ar palmitīnskābes (C16:0), linolskābes (C18:3) un stearīnskābes (C18:0) koncentrācijām. Paaugstināts palmitīnskābes C16:0 un stearīnskābes C18:0 augstais līmenis, ko izraisa mikroaļģu ekstrakti, liecina par pastiprinātu lipīdu biosintēzi. Sākotnējā taukskābju *de novo* sintēzes stadija augos ietver C16 un C18 taukskābju veidošanos, kuras pēc tam tiek pagarinātas par ļoti garām taukskābju ķēdēm (VLCFA, ang. – *very long chained fatty acids*), kas galvenokārt tiek iekļautas sfingolipīdos šūnu membrānā un kutikulas vaska slāņos (Mutale-joan et al. 2022).

Mikroaļģes un cianobaktērijas satur **karotinoīdus**, kas ir dzeltenī, oranži un sarkani organiskie pigmenti, ko ražo augi un aļģes, kā arī vairākas baktērijas, arhejas un sēnītes. Karotinoīdiem piemīt antioksidantu īpašības un tiem ir svarīga loma fotosintēzē un fotoaizsardzībā. Karotinoīdi veicina augu sēklu, augļu un ziedu krāsošanos un kalpo par augu signālhormoniem, piemēram, abscisīnskābes un strigolaktona prekursoriem. Galvenās karotinoīdu grupas mikroaļģēs ir alfa un β-karotīni, kas atrodami tādās sugās kā *Dunaliella salina* un *Chlorella vulgaris*, kā arī fukoksantīns no *Phaeodactylum tricornutum* un *Isochrysis galbana* (Parmar et al. 2023).

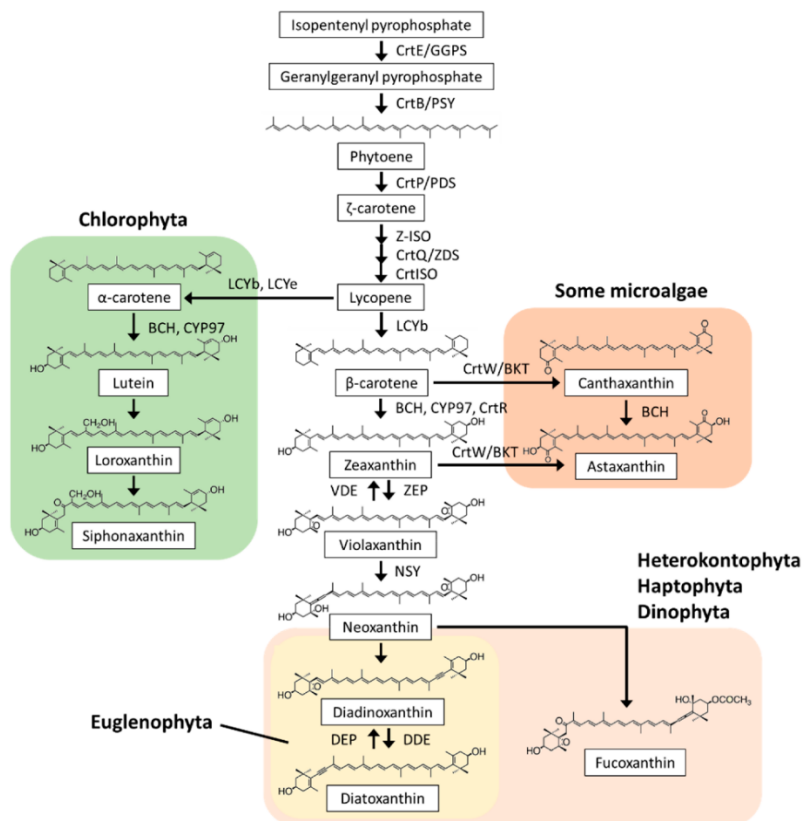
Eikariotiskās mikroaļģes var klasificēt dažādās filoģenētiskās grupās – *Chlorophyta* (piemēram, *Chlamydomonas reinhardtii* un *Chlorella vulgaris*), *Rhodophyta* (piemēram, *Cyanidioschyzon merolae*), *Heterokontophyta* (piemēram, kramaļģe *Phaeodactylum tricornutum*), *Haptophyta* (piemēram, *Emiliania huxleyi*), *Dinophyta* (piemēram, *Symbiodinium minutum*) un *Euglenophyta* (piemēram, *Euglena gracilis*). Atkarībā no mikroaļģu filoģenētiskā iedalījuma atšķiras to sintezētie karotinoīdi (skat. 5.1.6. attēlu) (Tamaki et al. 2021).

Karotinoīdiem, ar C40 struktūru, parasti ir raksturīgas krāsas no dzeltenas līdz sarkanai. Dabā ir identificēti vairāk kā 750 karotinoīdu savienojumu, no kuriem 44 ir atrasti eikariotu mikroaļģēs. Pārsvarā mikroaļģēs satur β-karotīnu un zeaksantīnu, citu karotinoīdu sintēze mikroaļģēs ir atkarīga no to filoģenētiskās piederības. *Chlorophyta* sugas, kas ir līdzīgas sauszemes augiem, ir ar ievērojamu daudzumu β-karotīna, luteīna, neoksantīna un violaksantīna. Šajā grupā atrodami arī unikāli karotinoīdi, piemēram, loroksantīns un sifonaksantīns. *Rhodophyta*

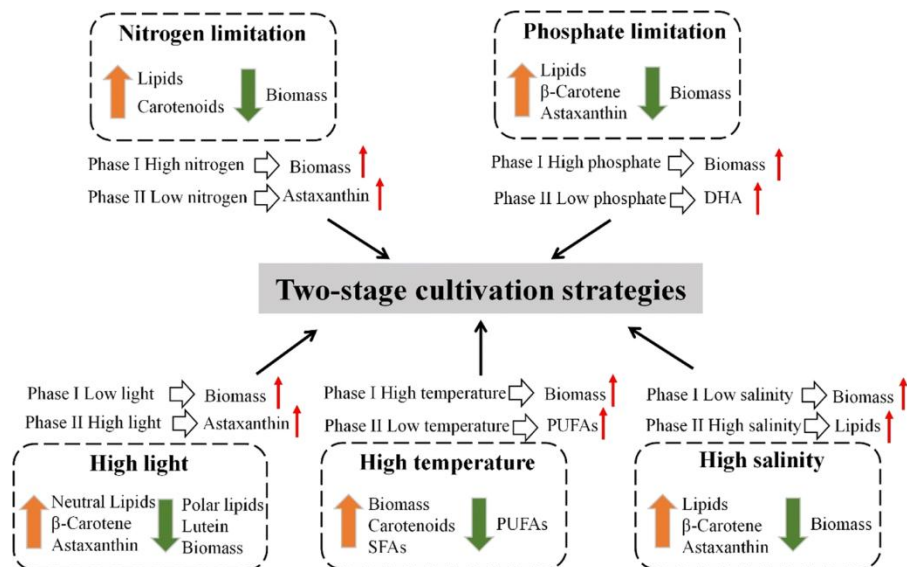
makrofītiskajās aļģēs luteīns ir primārais karotinoīds, atšķirībā no mikrofītiskajām aļģēm, piemēram, *C. merolae*, kurām kā primārie karotinoīdi ir β -karotīns un zeaksantīns. *Heterokontophyta*, *Haptophyta* un *Dinophyta* pārsvarā satur diadinoksantīnu un fukoksantīnu. No tiem *Euglenophyta* satur tikai diadinoksantīnu. Dažas aļģu sugas, piemēram, *Haemotococcus pluvialis* un *Chromochloris zofingiensis* no *Chlorophyta* grupas, sāk ražot astaksantīnu stresa apstākļos, piemēram, intensīvā gaismā vai augsta sāļuma apstākļos. Astaksantīns ir konstatēts arī nefotosintētiskos aļģēs *E. gracilis*, kas liecina par tās potenciālu astaksantīna sintēzē (Tamaki et al. 2021).

Karotinoīdi piesaistās pie gaismas savācošiem kompleksiem kopā ar hlorofilu. Karotinoīdi veicina fotosintēzi, absorbējot zili-zaļo gaismu un pārvada enerģiju uz apkārtesošajām hlorofila molekulām. Kad hlorofila molekulas ir fotoaktivētas, tās pāriet uz tripleta stāvokli, pēc kura tiek ģenerēti skābekļa radikāļi, pārnesot enerģiju no tripleta stāvokļa hlorofila molekulām uz skābekļa molekulām. Skābekļa radikāļi var veikt bojājumus fotosistēmas II D1 subvienībā un inhibēt tās atjaunošanos, kas noved pie fotoinhibīcijas. Karotinoīdi var samazināt skābekļa radikāļu veidošanos, savācot lieko enerģiju no fotoaktivēta hlorofila un izkļiedē to siltumenerģijā. Karotinoīdi spēj arī tiešā veidā uzņemt skābekļa radikāļi. *C. reinhardtii* mutants, kuram nav karotinoīdu (FN68 celms) ir jutīgs pret gaismu un nespēj akumulēt gaismas savācošos kompleksus, kas asociēti ar abām fotosistēmām. Šis mutants demonstrē karotinoīdu fotoprotektīvās īpašības pret tripleta stāvokļa hlorofilu un brīva skābekļa radikāļiem (Tamaki et al. 2021).

Ir veikti pētījumi lipīdu un karotinoīdu saturu palielināšanai mikroaļģēs. Lipīdu un karotinoīdu akumulāciju veicina tādi stresa apstākļi, kā barības vielu limitācija vai mikroaļģu pakļaušana šūnu fiziski bijājošiem faktoriem. Tomēr stresa apstākļi bieži vien nelabvēlīgi ietekmē mikroaļģu augšanu un rada oksidatīvus bojājumus, kas var samazināt mērķa produktu ražību. Lai novērstu šos trūkumus, tradicionāli ir izmantotas divu stadiju kultivācijas stratēģijas un augšanu veicinošu faktoru pievienošana, tomēr augstu adaptētspējīgu celmu izstrādāšana teorētiski ir vienkāršākā stratēģija (skat. 5.1.7. attēlu) (Sun et al. 2018).



5.1.6. attēls. Karotinoīdu struktūras, to biosintēze mikroaļģēs (Tamaki et al. 2021)



5.1.7. attēls. Tipisku barības vielu un vides stresu ietekme uz lipīdu un karotenoīdu ražošanu mikroaļģēs un divu-stadiju kultivēšanas stratēģiju izmantošana, lai novērstu biomasas samazināšanos, ko rada šie stresa apstākļi (Sun et al. 2018).

Viena no pieejām šāda veida kultivēšanai ir mikroaļģu biomasas producēšana pirmajā stadijā pie sarkanās gaismas diodēm (LED, 660 nm). Kad ir sasniegta optimālā biomasas stadija,

mikroaļģes var kultivēt otrajā stadijā pie zaļās gaismas (LED, 520 nm), kas stimulē lipīdu akumulāciju. Pētījums norāda, ka gaismas intensitātes stress ir labākā ierosināšanas metode karotinoīdu ražošanai vairākām mikroaļģu sugām un visbiežāk tiek lietots astaksantīna ražošanai (Sun et al. 2018).

Pastāv arī barošanās režīmu maiņas kultivēšana, kurā mikroaļģes vispirms audzē heterotrofā barotnē, lai iegūtu augstu šūnu blīvumu, pēc tam suspensiju atšķaida līdz vēlamai koncentrācijai un pārnēs uz augsti apgaismotu vidi fotoindukcijai. Šādā veidā var palielināt *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa* un *Chlorella ellipsoidea* lipīdu saturu par attiecīgi 84.57%, 70.65% un 121.59% (Sun et al. 2018).

Proteīnu hidrolizāti, peptīdi un brīvās aminoskābes, kas iegūti no mikroaļģēm, pastiprina kultūraugu produktivitāti. Primārā hidrolizātu un brīvo aminoskābju funkcija ir barības vielu pievadīšana augos caur minerālvielu kompleksāciju un helatāciju. Brīvām aminoskābēm arī ir kritiska loma abiotiskā stresa novēršanā, tādām aminoskābēm kā glicīnam, betaīnam un prolīnam, kalpojot kā osmoprotektantiem un antioksidantiem pret vides stresiem kā smagajiem metāliem un sāļumu. Aminoskābes un proteīnu hidrolizāti pastiprina augu augšanas veicinošu baktēriju darbību, kam ar augiem tiek novērotas simbiotiskas attiecības. Mikroaļģēs un ciānbaktērijās proteīnu saturs var sasniegt līdz pat 63%, no kuriem 40-48% ir brīvās aminoskābes. *Spirulina platensis* ir veiksmīga biostimulanta paraugs, jo šī ciānbaktērija satur augstu aminoskābju arginīna un triptofāna daudzumu, kas ir prekursori attiecīgi poliamīniem un augsniem - savienojumiem, kuru loma augu augšanas procesos ir pierādīta par labvēlīgu. Sarkano biešu lapu apsmidzināšana ar *Spirulina platensis* proteīniem bagātu ekstraktu palielina hipokotila (stumbra daļa zem stāda dīglīpām) augšanu, hlorofila un barības vielu līmeni. Apstrādājot *Petunia x hybrida* ar šādu ekstraktu, palielinās ziedu skaits, svaigā ziedu masa un ziedu sausas masa. Ar aminoskābēm bagātu mikroaļģu ekstraktu pielietošana arī pastiprina cietvielu saturu, kopēju organisko savienojumu un kapsaicinoīdu saturu asās paprikas (*Capsicum spp.*) šķirnēm (Parmar et al. 2023).

Spirulina spp. zilais krāsojums rodas no fikocianīna (**fikobiliproteīna**), kas atrodas fikobilisomā uz tilakoīdas membrānās kā noenkurots proteīns. Fikobilisoma ir veidota no kopā saliktām hromoforilētu proteīnu kopām, kuros ietilpst fikobiliproteīni fikocianīns, fikoeritrīns un allofikocianīns, kā arī ar tiem asociēti savienojšie polipeptīdi. Fikobiliproteīni ir proteīnu grupa, kam ir augsta šķīdība ūdenī (Li et al. 2020).

C-fikocianīns (CPC) ir ūdenī šķīstošs fikobiliproteīns (proteīna-pigmenta komplekss). CPC ir plaši sastopams ciānbaktērijās ar gaismas savācošu funkciju. Zināms, ka tādas ciānbaktērijas kā *Spirulina platensis*, *Phormidium spp.*, *Nostoc spp.*, *Anabaena fertilissima*, *Synechocystis spp.* un *Galdieria sulphuraria* satur nozīmīgu CPC saturu. Komerciāli CPC ražo no *Spirulina platensis* kā zilu pārtikas krāsvielu, kā arī terapeitiskiem nolūkiem kā antioksidantu. CPC arī ir nesen identificētas augu biostimulanta īpašības. Tomātu sēklu apstrāde ar CPC pastiprina dīgšanas spējas, palielina vasas un mietsaknes garumu, kā arī pastiprina tādu sekundāro metabolītu kā fenolsavienojumu un flavonoīdu producēšanu. CPC pielietošana vertikālās hidroponiskās sistēmās veicina agru salātlapu nobriešanu, kā arī pastiprina to biomasas produktivitāti, lapu diametru un kopējo flavonoīdu (kvercetīna un luteolīna) saturu. CPC arī palielina mikrobiālo daudzveidību un bagātību hidroponiskās augšanas šķīdumā, veicinot aktinobaktēriju un *Firmicutes* augšanu. Šī īpašība piešķir iespējamās prebiotiskas CPC īpašības augiem, jo biostimulants stabilizē augu augšanu veicinošu baktēriju kolonijas. Tā kā CPC ir šķīstoša ūdenī, to ir vieglāk pievienot kā biostimulantu lielākos mērogos. Galvenais trūkums CPC izmantošanā āra apstākļos ir tas, ka savienojums ir gaismas jutīgs un augstas intensitātes gaismas apstākļos tas ātri tiek degradēts. Kontrolētos augšanas apstākļos, piemēram, izmantojot hidroponiku vai citas vertikālās audzēšanas sistēmas, CPC var tikt viegli izmantots kā biostimulants augu augšanai (Parmar et al. 2023).

Polisaharīdi ir lielas, sarežģītas molekulas (makromolekulāri polimēri), kas sastāv no neitrāliem cukuriem, ar daudziem dažādiem veidiem un variācijām kā tie tiek apvienoti, ieskaitoties ķīmiskās izmaiņās, un tiem ir dažāda ietekme uz dzīvīem organismiem, tiem var būt gan ķīmiska, gan bioloģiska aktivitāte. Tie palīdz augiem augt un palikt veselīgi, labvēlīgi ietekmējot to organisma darbību. Dažas no stimulējošām polisaharīdu īpašībām ir sakņu augšanas pastiprināšana, barības vielu pieejamības pastiprināšana caur minerālu helatāciju, fotosintēzes pastiprināšana ar palielinātu *RuBisCO* (Ribulozes-1,5-bisfosfāta karboksilāze/oksigenāze (Rubisco) katalizē ātrumu ierobežojošo posmu Kalvina-Bensona ciklā, kas pārveido atmosfēras oglekli par bioloģiski noderīgu oglekļa avotu. *RuBisCO* lēnais katalītiskais ātrums un zemā substrāta specifika rada nepieciešamību ražot šo enzīmu augstākās koncentrācijās) sintēzi un tolerances veicināšana pret biotiskiem un abiotiskiem stresiem kā signālmolekulām (Parmar et al. 2023; Vitlin Gruber et al. 2018).

Tipiskais mikroaļģu polisaharīdu stimulējošo īpašību mehānisms ir caur mikrobiāli asociētu molekulāru (angl. *microbial associated molecular patterns*) signālceļiem. Šis mehānisms ir pētīts jūraszāļu polisaharīdu ekstraktiem, ko var arī pielīdzināt mikroaļģu polisaharīdiem. Šos kompleksos polisaharīdus hidrolizē augsnē esošie enzīmi, piemēram, beta glukanāze vai hitināze, kurus sekretē mikroorganismi. Šos no polisaharīdiem iegūtos neitrālos cukurus augu membrānu receptori var atpazīt kā mikrobiālas izcelsmes savienojumus, kas inducē signālu kopumus – Ca^{2+} pieplūduma aktivēšanu, oktadekanoīdu un fenilpropanoīdu signālceļu stimulēšanu caur enzīmiem lipoksigenāzi (LOX) un fenilalanīna amonija liāzi (PAL), salicilskābes un jasmonīnskābes signālceļu aktivāciju, reaktīvo skābekļa radikāļu (ROS) savācošo enzīmu sintēzi (katalāze, peroksidāze un superoksīdu dismutāze) un fenolsavienojumu un sekundāro metabolītu sintēzi, kas kalpotu par aizsardzības molekulām. No vairākām mikroaļģu sugām tādas ciānbaktērijas kā *Spirulina platensis*, *Nostoc spp.*, *Phormidium spp.*, *Calothrix spp.*, *Plectonema spp.* ir spējīgas producēt polisaharīdus, kas tiek izdalīti ārējā vidē, veidojot eksopolisaharīdus (EPS). Līdzīgi arī tādas eikariotiskas mikroaļģes kā *Chlorella vulgaris*, *Chlorella stigmatophora*, *Porphyridium cruentum*, *Tetraselmis spp.*, *Dunaliella salina* producē polisaharīdus, kuriem ir biostimulējošas īpašības (Parmar et al. 2023).

Ir konstatēts, ka *Spirulina platensis*, *Dunaliella salina*, *Porphyridium spp.* un *Phaeodacylum tricornutum* polisaharīdu ekstrakti uzlabo tomātu augu augšanu. Šie ekstrakti pastiprina tādu enzīmu kā PAL un hitināzes aktivitāti, palielina polifenolu savienojumu daudzumu un veicina ļoti garu taukskābju ķēžu veidošanos, kas atrodamas lapu kutikulas vaskā. Šķidru ekstraktu, kas bagātināti ar dažādu mikroaļģu sugu polisaharīdiem, apsmidzināšana uz tomātu augiem arī izraisa jaunu lipīdu, īpaši palmitīnskābes un stearīnskābes, kas iesaistītas kutikulas vaska veidošanā, kā arī linolskābju sintēzi, kas iesaistītas jasmonāta vielmaiņas ceļā, sintēzi. Metabolisma pētījumi liecina, ka mikroaļģu polisaharīdi paātrina piridīna-3-amīda, aktīvās B3 vitamīna formas, uzkrāšanos, kas vēl vairāk veicina augu augšanu. (Parmar et al. 2023. cit. pēc Rachidi et al. 2020; Parmar et al. 2023. cit. pēc Mutale-Joan et al. 2020).

Lauka izmēģinājumi, kuros izmantoja zilaļģu un mikroaļģu polisaharīdus, ir parādījuši pozitīvu ietekmi uz saimniekaugiem. Tomātu un piparu augu apsmidzināšana ar polisaharīdiem bagātiem *Spirulina platensis* ekstraktiem uzlaboja augšanu. Līdzīgi, injicējot diedzētus tomātu stādus ar polisaharīdu ekstraktiem no zaļajām aļģēm, piemēram, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella sorokiniana*, *Chlamydomonas reinhardtii* un *Dunaliella salina*, tika novērotas biostimulējošas

īpašības. Šie ekstrakti palielināja aizsargājošo enzīmu, piemēram, LOX un PAL, kā arī antioksidantu enzīmu, piemēram, CAT, POD un APX, aktivitāti. Turklāt tie veicināja ļoti garu taukskābju ķēžu veidošanos augu lapās, palielinot kutikulas vaska sastāvu. Šie efekti liecina par augu aizsardzības mehānismu aktivizēšanos pret ārējiem faktoriem. Turklāt *Dunaliella salina* EPS (ekso polisaharīdi) ekstrakts uzlaboja tomātu augu toleranci pret sāluma stresu (Parmar et al. 2023).

Cianobaktēriju ekstracelulārajām polimēru vielām (EPS) ir dažādas labvēlīgas īpašības, kas veicina lauksaimniecības ražu. Īpaši svarīga ir EPS bioadhezīvās īpašības, kas veicina mikroorganismu pārklājumu un bioplēvju veidošanos, tas savukārt veicina spēcīgas bioloģiskās augsnes garozas (BSC) veidošanos. Šīm zilaļģu EPS piemīt augsni uzlabojošas īpašības, jo tās veicina augsnes mikroagregātu vairošanos, tādējādi palīdzot saglabāt augsnes mitrumu, akumulēt barības vielas un vairoties augsnes mikroflorai. EPS sekrēcija ar zilaļģu bioplēvē bagātina augsni ar barības vielām, veicinot tādus procesus kā sarežģītu augsnes savienojumu mineralizācija, oglekļa (C) un slāpekļa (N) fiksācija, pasargājot no vītuma un izžūšanas, kā arī smago metālu sekvestrāciju (Parmar et al. 2023).

Mikroaļģu polisaharīdi uzlabo augu augšanu un barības vielu uzsūkšanos fizioloģiskos un bioķīmiskos procesos. Pētījumi liecina, ka mikroaļģu ekstrakti var veicināt dīgtspēju, stādu augšanu un biomasu augos gan atklātā laukā, gan siltumnīcā (Chanda et al. 2019). El Arroussi et al. 2016 atklāja, ka *S. platensis* producētie polisaharīdi veicināja augu augšanu *Capsicum annum* un *Solanum lycopersicum*, par ko liecina palielināts auga svars, izmērs un lapu skaits. Līdzīgi, jūras aļģu polisaharīdi ir parādījuši dažādu augšanu veicinošu iedarbību uz augiem saskaņā ar vairākiem pētījumiem (Castro et al. 2012; González et al. 2013; Khan et al. 2011; Sarfaraz et al. 2011; Sharma et al. 2012; Vera et al. 2012). Gonzáles et al. 2013 ierosināja, ka oligoalgināts un oligokaragināns var aktivizēt augu augšanu, mijiedarbojoties ar plazmas membrānas receptoriem, uzlabojot signāla pārraidi. Turklāt makroaļģu polisaharīdi darbojas kā efektīvi metālu jonu helātu veidotāji, potenciāli uzlabojot barības vielu uzņemšanu un sakņu virsmu uzsūkšanas spējas, saistoties ar būtiskiem mikroelementiem (Kaplan et al. 1987).

Mikroaļģes ražo augiem nepieciešamus **vitamīnus**, kas darbojas kā augšanas veicinātāji. Starp ūdenī šķīstošiem vitamīniem, C vitamīns izceļas kā visizplatītākais. *C. vulgaris* šo vitamīnu var saturēt 100,2 mg/kg, savukārt, *Tetraselmis suecia* sasniedz līdz 191 mg/kg C vitamīna. Attiecībā uz B vitamīniem ievērojama ir nikotīnskābe, kur *Isochrysis galbana* satur 77,7 mg/kg un

Tetraselmis suecia 89,3 mg/kg. Saldūdens mikroaļģēs, piemēram, *Spirulina platensis* un *Chlorella spp.*, būtiski vitamīni ir riboflavīns, niacīns, folijskābe un cianokobalamīns. Riboflavīna saturs svārstās no 21 līdz 41 µg/g, un optimālā niacīna koncentrācija ir attiecīgi 0,13-0,28 mg/g sausā svara abām iepriekšminētajām mikroaļģēm. *Chlorella spp.* var būt pat ar sešas reizes augstāku folijskābes saturu (19,7 µg/g), salīdzinot ar *Spirulina platensis* (3,5 µg/g). *Chlorella vulgaris* satur aktīvo B12 vitamīna formu, savukārt, *Spirulina platensis* un citas zilaļģes satur zīdītājiem neaktīvu pseidoformu (adeninilkobalamīnu). Šiem savienojumiem ir augu bioaktivitātes potenciāls. Augsnes apstrāde ar mikroaļģu biomasu, kas bagāta ar B vitamīnu kompleksiem, arī palielina B saturu augu audos, jo daži augi (piemēram, sojas pupiņas, spināti un mieži) var absorbēt B12 un B kompleksa barības vielas caur saknēm (Parmar et al. 2023).

Fenola savienojumi ir augu sekundāro metabolītu grupa, kas palīdz tiem sajūst stresu un reaģēt uz tādiem draudiem kā infekcijas vai ievainojumi. Tie arī palīdz augiem tikt galā ar sarežģītiem apstākļiem kā sausu vai sāļu augsni, veicinot barības vielu uzsūkšanos un uzlabojot augsnes struktūru, īpaši tās porainību. Daži fenola savienojumi, piemēram, kaempferols darbojas kā vairogs pret kaitīgo UV starojumu. Tie palīdz augiem neitralizēt molekulas, ko sauc par brīvajiem radikāļiem, kas uzkrājas stresa laikā, mazinot to kaitīgo ietekmi. Fenolskābes var palīdzēt augiem aizsargāties pret kaitēkļiem, zālēdājiem, slimībām un nezālēm (konkurējošiem augiem). Fenolu grupa antociānīni darbojas arī kā pigmenti, kas piesaista augu apputeksnētājus. Kopumā to biostimulējošā iedarbība uz augiem ir ļoti plaša un neaizvietoja. Lai gan mikroaļģes ražo šos labvēlīgos savienojumus, izpratne par konkrētiem darbības mehānismiem ir ierobežota. Dažādas mikroaļģu sugas satur dažādus fenola savienojumu līmeņus, un dažām ir augstāka koncentrācija nekā citām. Parastie fenola savienojumi, kas atrodami mikroaļģēs, ir gallskābe un kvercetin (Kisiriko et al. 2021; Parmar et al. 2023).

Terpēni un terpenoīdi ir organiski savienojumi, kas parasti atrodami augos, īpaši ēteriskajās eļļās, kas ir atbildīgi par to aromātu un garšu. Tie sastāv no izoprēna vienībām (C₅H₈), un tiem bieži ir gaistošs raksturs, tie veidojas no ūdenī nešķīstošiem lipīdiem. Terpēni ir ogļūdeņraži, savukārt, terpenoīdos ir notikusi oksidācija vai citas ķīmiskas modifikācijas. Terpēni veicina augiem un to ekstraktiem raksturīgo smaržu un garšu. Parasti šķīst nepolāros šķīdinātājos, piemēram, eļļās, bet mazāk šķīst ūdenī. Daudziem terpēniem ir zems viršanas punkts, tāpēc tie viegli iztvaiko un izdala smaržvielas. Terpēni ir veidoti no atkārtotām izoprēna (C₅H₈) vienībām, kuras var sakārtot dažādos veidos, veidojot dažāda veida terpenus. Piemēram, monoterpēniem ir

divas izoprēna vienības ($C_{10}H_{16}$), savukārt seskviterpēniem ir trīs ($C_{15}H_{24}$). Terpenoīdi, kas ir terpēnu atvasinājumi, ietver tādus savienojumus kā mentols, kanabinoīdi un steroīdi. Tiem bieži ir sarežģītāka ķīmiskā struktūra papildu funkcionālo grupu vai modifikāciju dēļ. (Mosquera, et.al., 2021, Bocan, et.al., 2020)

Terpēni ir zināmi kā savienojumi, kurus pārsvarā sintezē augi dažādām funkcijām, piemēram, aizsardzībai no kukaiņiem, apputeksnētāju piesaistīšanai (smarža), ūdens regulēšanai un tiem var būt pretbaktēriju un pretsēnīšu īpašības. Galvenokārt tie veicina augu aizsardzības mehānismus, darbojoties kā dabiski pesticīdi, atturot zālēdājus un kukaiņus. Terpēnu galvenā loma ir apputeksnētāju piesaistīšanā, palīdzot augu reprodukcijas procesā. Papildus aizsargfunkcijām terpēniem ir arī ārstnieciskas īpašības, kas kalpo kā spēcīgi antioksidanti un pretmikrobu līdzekļi, aizsargājot augus pret patogēniem un vides stresa faktoriem. Kopumā terpēniem ir būtiska nozīme augu veselībā, izdzīvošanā un ekoloģiskajā mijiedarbībā. Piemēram, d-limonīns (citrusu terpēns) darbojas kā kukaiņu atbaidītājs, bet pinīni (skujkoku) ir ar antifungālām īpašībām (Bocan 2020).

Terpēni tiek sintezēti, izmantojot divus galvenos ceļus - mevalonāta (MVA) ceļu un metileritritola fosfāta (MEP) ceļu. Mikroskopiskās sēnes, galvenokārt, izmanto MVA ceļu, savukārt baktērijas parasti izmanto MEP ceļu. Tomēr mikroaļģēm ir iespēja izmantot abus terpenoīdu biosintēzes ceļus, atšķirot tos no sēnītēm un baktērijām (Huang et al. 2021).

Mikroaļģu biomasa sastāv no primārajiem un sekundārajiem metabolītiem, un primārie metabolīti pilda dzīvībai svarīgas šūnu funkcijas, kamēr sekundārie metabolīti, tostarp terpēni, steroīdi, poliketīdi, peptīdi, alkaloīdi un porfirīni, pilda otršķirīgas funkcijas. Terpenoīdu savienojumi (sekundārie metabolīti) ir īpaši nozīmīgi mikroaļģu fotosintēzes procesos, jo tie palīdz heterotrofas un miksotrofas barošanās gadījumā pārvērst gaismas starus šūnām nepieciešamā enerģijā. Kultivēšanas aspekti, piemēram, slāpekļa un fosfora pieejamība, oglekļa avotu izvēle, mikroelementi, gaismas intensitāte un divpakāpju un kopkultūras metožu izmantošana, var ietekmēt terpēnu biosintēzi un to koncentrāciju mikroaļģu biomasā (Huang et. al. 2021).

Ibrahim et al. (2004) pētīja monoterpēnu, īpaši limonēna, potenciālu kā augu izcelsmes alternatīvas kaitēkļu kontrolei ilgtspējīgā lauksaimniecībā. Tas koncentrējas uz limonēna fitotoksiskās ietekmes uz balto kāpostu un burkānu augu izpēti. Tiek pētīta limonēna koncentrācijas palielināšanās (no 10 līdz 120 ml l⁻¹) ietekme uz dažādiem parametriem, tostarp redzamiem lapu bojājumiem, augšanu, hlorofila fluorescenci, neto fotosintēzi un stomatālo vadītspēju. Pētījumā (skat. 5.1.8. attēlu) piedāvāts kritiskais sliekšņa diapazons no 60 līdz 90 ml l⁻¹.

1 burkānu un kāpostu šķirnēm. Ja var noteikt nefitotoksisku koncentrāciju, limonēns varētu būt labvēlīgs augu aizsardzībai bioloģiskajā lauksaimniecībā. Turklāt nefitotoksiskas limonēna koncentrācijas iedarbība var stimulēt monoterpēnu iekšējo veidošanos kultūraugos, potenciāli izraisot rezistenci pret zālējādājiem (Ibrahim et al. 2004).

Table 2. Effect of various concentrations of limonene, 50 ml l⁻¹ of ethanol and pure water on the (mean ± SE) shoot and root dry mass (g) of the two carrot cultivars (Parano and Splendid)

Treatment, ml l ⁻¹	Parano			Splendid		
	Shoot biomass	Root biomass	Shoot/root ratio	Shoot biomass	Root biomass	Shoot/root ratio
Pure water	0.78 ± 0.04	0.54 ± 0.06	1.46	0.83 ± 0.06	0.44 ± 0.05	1.88
Ethanol	0.80 ± 0.06	0.50 ± 0.04	1.58	0.72 ± 0.04	0.47 ± 0.07	1.53
10	0.82 ± 0.05	0.46 ± 0.04	1.78	0.75 ± 0.05	0.49 ± 0.05	1.53
30	0.70 ± 0.04	0.47 ± 0.03	1.52	0.81 ± 0.05	0.36 ± 0.05	2.25
60	1.01 ± 0.05*	0.57 ± 0.04	1.75	0.70 ± 0.03	0.37 ± 0.05	1.89
90	0.82 ± 0.05	0.44 ± 0.05	1.86	0.58 ± 0.03**	0.31 ± 0.03	1.87
120	0.70 ± 0.04	0.37 ± 0.04	1.86	0.70 ± 0.05	0.40 ± 0.03	1.76

5.1.8. attēls. Dažādu limonēna koncentrāciju efekts, etanola un ūdens maisījuma ietekme uz asnu un sakņu sauso biomasu divām burkānu kultūrām (*Parano* un *Splendid*) (Ibrahim et al. 2004).

Ložienē (2018) pētīja α-pinīna, kas iegūts no *Juniperus communis*, ar dažādām enantiomēru kompozīcijām ietekmi uz baktērijām, raugiem un sēnītēm. Rezultāti (skat. 5.1.9. attēlu) liecina, ka dažādām α-pinēna enantiomēru kompozīcijām ir atšķirīga iedarbība pret mikroorganismiem: ēteriskās eļļas ar specifisku enantiomēru sastāvu dažādus mikroorganismus

Table 2
Minimum inhibitory concentrations (MICs) and minimum bactericidal/fungicidal concentrations (MBCs/MFCs) of *Juniperus communis* essential oil and isolated α-pinene fraction with different enantiomeric compositions against bacteria, yeasts, fungi, and dermatophytes.

Microorganisms	Juniperus communis essential oil with different enantiomeric composition of α-pinene				Isolated pinene fraction with different enantiomeric composition of α-pinene				(1R)-(+)-α-pinene standard	
	(1S)-(-) < (1R)-(+) (essential oil No. 1)		(1S)-(-) ≈ (1R)-(+) (essential oil No. 2)		(1S)-(-) < (1R)-(+)		(1S)-(-) ≈ (1R)-(+)		MIC	MBC/MFC
	MBC	MBC/MFC	MIC	MBC/MFC	MIC	MBC/MFC	MIC	MBC/MFC		
	%									
Escherichia coli ATCC 25922	0.63	2.5	0.63	2.5	0.2	0.2	0.8	3.13	0.2	3.13
Staphylococcus aureus ATCC 29213	0.16	0.63	0.04	0.63	0.01	0.78	0.2	3.13	0.01	3.13
Candida albicans CBS 2730	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.2	0.2	0.2	0.0002	0.0007
Candida parapsilosis CBS 8836	0.04	2.5	0.04	2.5	0.01	0.2	0.05	3.13	0.0002	0.2
Aspergillus flavus CBS 120264	0.16	2.5	0.04	2.5	0.04	0.63	0.01	2.5	0.01	0.63
Aspergillus fumigatus SC 6359	0.16	0.63	0.04	2.5	0.16	0.63	0.002	0.63	0.01	0.01
Trichophyton mentagrophytes SC 91427	0.04	2.5	0.01	0.63	0.16	0.16	0.04	0.04	0.04	0.04
Trichophyton rubrum ATCC 28188	0.04	0.63	0.04	0.16	0.16	0.16	0.01	0.01	0.04	0.04

5.1.8. attēls. Minimālas MICs inhibējošās koncentrācijas un minimālās bakteriju un mikrosēņu inibējošās koncentrācijas (MBCs/MFCs) no *Juniperus communis* ēteriskajām eļļām un izolētā alfa-pinīna ar dažādām etantiomēriskajām koncentrācijām pret baktērijām, mikrosēnēm, raugiem un dematofītēm (Ložienē 2018).

ietekmē atšķirīgi. Turklāt šīm enantiomēru formām var būt arī atšķirīga sinerģiska iedarbība ar citiem savienojumiem, kas atrodas ēteriskajās eļļās.

5.2. Mikroaļģu biostimulantu (aļģu ekstraktu) pielietošana augiem

Ciānbaktēriju un mikroaļģu biomasu vai biomasas sausnu pielieto kā bioloģiskos apmēslošanas līdzekļus (angl. *biofertilizers*). Savukārt, to šūnu ekstraktus un hidrolizātus pielieto kā biostimulantus augu augšanas un ražas kvantitātes un kvalitātes palielināšanai. Biežākās biostimulantu vai bioloģisko mēslošanas līdzekļu pielietošanas metodes ir augsnes papildināšana ar dzīvu vai sausu aļģu biomasu, sēklu mērcēšana mikroaļģu šūnu ekstraktos jeb sēklu gruntēšana (angl. *seed priming*) un sakņu apmēslošana (angl. *root drenching*). Biostimulanta pielietošanas metodes ir atkarīgas no konkrētā kultūrauga specifiskajām vajadzībām - nepieciešamības pēc barības vielu piedevām, bagātināšanas ar mikroelementiem vai slimību novēršanas. Svarīgs faktors ir arī, vai augs tiešā veidā iesēts ar sēklām vai pirms tam izdiedzēts un transplantēts laukā (Parmar et al. 2023).

Sēklu apstrāde

Sēklu apstrāde ar biostimulantiem tiek uzskatīta par izdevīgu, vieglu un ilgtspējīgu veidu, kā palielināt augu produktivitāti. Tie ieņem arvien lielāku lomu sēklu pētniecības jomā, jo spēj pārtraukt sēklu miera stāvokli, uzlabo to dīgļspēju, saglabā augu pielāgošanās spēju abiotiska un biotiska stresa apstākļos un veic citus būtiskus procesus sēklu attīstības posmā (Gupta et al. 2022). Sēklu dīdēšanas procesā plaši tiek pielietoti trīs dažādi procesi – sēklu gruntēšana, sēklu apklāšana un sēklu mērcēšana. Sēklu gruntēšana ir pirms-sēšanas apstrādes metode, kur sēklas tiek hidratētas kontrolētos apstākļos, lai uz āru neizvirzītos mietsakne. Šī metode pastiprina sēklu dīgšanas ātrumu un pastiprina sakņu veidošanos. Sēklu apklāšanā tās tiek apsmidzinātas vai apklātas ar biostimulantiem, lai veidotos uniforma kārtā, kamēr sēklas tiek mērcētas. Sēklas izmērcē noteiktu laiku (18-24h) pirms sēšanas. Galvenā šo metožu priekšrocība ir ātra dīgšanas uzsākšana, kas pastiprina dīgšanas indeksu, palielināta dīgstu dzīvotspēju, palielina vasas un mietsaknes garumu un samazina bojājumus sēklu mikroflorai (Parmar et al. 2023).

Mikroaļģu ekstraktu un šūnu suspensiju lietošana sēklu apstrādē pastiprina tādu augu grupu augšanu kā graudaugi, dārzeņi un garšaugi. Spinātu sēklu gruntēšana ar šūnu ekstraktu un šūnu lizātu no mikroaļģēm *Chlorococcum spp.*, *Micractinium spp.*, *Scenedesmus spp.*, *Chlorella spp.*

pastiprina sēklu dīgšanu, veicina ātrāku dīgļlapas veidošanos un palielina dīgstu masu. Līdzīgi arī sēklu gruntēšana tādiem dārzeniem kā tomātiem, salātlapām un gurķiem ar *Spirulina spp.*, *Chlorella spp.*, *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus spp.*, *Synechocystis spp.* un *Acutodesmus obliquus* šūnu ekstraktiem rada lielāku dīgšanas ātrumu, salīdzinot ar neapstrādātām sēklām. Papildus dīgšanas ātruma un dīgstu dzīvotspējas pastiprināšanai sēklu hidrācija ar *Chlorella vulgaris* un *Scenedesmus quadricauda* ekstraktiem palielina sakņu garumu, diametru, virsmas laukumu un sakņu galu skaitu cukurbietēm. Dzīvu ciānbaktēriju *Anabaena laxa* un *Calothrix elenkinii* suspensiju inokulācija tādu garšaugu kā paprika, koriandra, fenheļa un kumīna sēklām veicina dīgspēju un pastiprina sakņu un vasas veidošanos (Parmar et al. 2023).

Lapu apsmidzināšanas metode

Lapu apsmidzināšana ar biostimulantiem ir bieži izmantota metode kultūraugu produktivitātes pastiprināšanai, kas veicina ātrāku augu atbildi uz barības piedevām, salīdzinot ar citām apstrādēm. Biostimulantu lapu aerosoli pastiprina ūdens izmantošanas efektivitāti augu atvārsnītēm. Lapu aerosoliem no mikroaļģēm parasti tiek pievienoti aļģu kultūru supernatanti (mikroaļģu šūnu ekstrakti bez biomasas, kuru atdala lielākoties centrifugēšanas procesā). Lapu aerosoliem ar mikroaļģēm ir liels potenciāls, jo tos var smidzināt taisni uz kultūraugu lapām un to sastāvā ir plašs klāsts ar fitohormoniem, kam, kā iepriekš tika minēts, ir liela nozīme augu augšanas procesos. Kaut arī metode tiek plaši izmantota, biostimulantu un barības vielu uzņemšanas mehānismi, izmantojot lapu aerosolus, nav līdz galam zināmi. Hipotizēti četri galvenie ieejas ceļi – caur kutikulas plaisām, atvārsnītēm, ūdens un ektodesmatālām porām. Vispārīgi pieņemtais barības vielu ieejas ceļš ir caur kutikulām (Parmar et al. 2023; Renuka et al. 2018).

Barības vielu un biostimulantu uzņemšana augos ir atkarīga no lapu apsmidzināšanas līdzekļa fizikāli ķīmiskajām īpašībām – pH līmeņa, virsmas spraiguma, līdzekļa aiztures uz lapu virsmas. Lapu aerosolus tipiski pievieno augu apūdeņošanas sistēmās. Pierādīts, ka lapu apsmidzināšana ar mikroaļģu ekstraktiem veiksmīgi pastiprina vairāku kultūraugu augšanu. Mikroaļģu *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis*, *Scenedesmus spp.*, *Nostoc spp.*, *Anabaena spp.*, *Dunaliella salina* šūnu ekstrakti pastiprina augšanu, biomasu, augļu ražību, lapu pigmentu saturu, toleranci pret abiotiskiem stresiem (sausums, sāļums un temperatūra) dažādiem kultūraugiem. *Spirulina platensis* un *Scenedesmus spp.* šūnu ekstraktu aerosoli pastiprina *Petunia x hybrid* auga sakņu masu, auga augšanu, ziedu skaitu, veicina agrāku ziedēšanu un palielina ziedu diametru. Dārza salātiem (*Lactuca sativa* L.) *Scenedesmus quadricauda* šūnu ekstrakts uzlabo augšanu un

vairāku enzīmu aktivitāti, kas iesaistīti gan primārajā, gan sekundārajā metabolismā (Bella et al. 2021; Parmar et al. 2023). Citā pētījumā ir noskaidrots, ka lapu aerosoli ar mikroaļģu ekstraktiem, īpaši *Arthrospira platensis* ir lielisks barības vielu un augšanas hormonu avots čia (*Salvia hispanica* L.) augam stresa apstākļos. Visbiežāk lapu aerosolos izmanto *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* un *Scenedesmus spp.* ekstraktus un hidrolizātus (Sun, Zhou 2022). Kopumā redzams, ka efektivitāte un iedarbība krasi variē starp dažādu mikroaļģu sugu šūnu ekstraktiem.

Augsnes un sakņu apmēslošana

Saknes nodrošina auga augšanu, galvenokārt, mobilizējot barības vielas, pārvadot ārējos stimulus un izsaucot auga aizsardzības mehānismu atbildi uz vides stresoriem. Augsne ir ierobežots un praktiski neatjaunojams resurss, kas ir visas lauksaimniecības pamats (Parmar et al. 2023 cit. pēc Ma et al. 2022). Sakņu veselības un augsnes uzturēšana ir būtiska ilgtspējīgas lauksaimniecības nodrošināšanai. Sakņu veselības un augsnes uzturēšanu veic, izmantojot augsnes kondicionētājus un mēslošanas līdzekļus, kas atjauno augsnes resursus un sniedz barības vielas augu saknēm. Pie intensīvas lauksaimniecības ķīmisko mēslošanas līdzekļu un kondicionētāju izmantošana rada augsnes sablīvēšanos, paskābināšanos, samazinātu auglību un balansa zudumu augsnes mikroflorā, kas veicina augsnes slimību attīstību un barības vielu zudumu. Šie trūkumi rada nepieciešamību izmantot bionoārdāmus un mazāk kaitīgus augsnes kondicionētājus un mēslošanas līdzekļus. (Parmar et al. 2023).

Mikroaļģu augsnes apmēslošanas līdzekļus veido no dzīvu mikroaļģu suspensijām vai izžāvētas biomasas, ko pievieno augsnes apmēslošanas līdzeklim kopā ar piemērotu pamatmateriālu. Parasti par pamatmateriālu tiek izmantota augsne, kas ir ekonomiski izdevīgākais variants. Citi efektīvi ciānbaktēriju un mikroaļģu augsnes apmēslošanas līdzekļu pamatmateriāli ir lauksaimniecības un lauksaimniecības industriju atkritumprodukti, piemēram, kūdra, kviešu salmi, dzīvnieku mēsli u.c. (Parmar et al. 2023).

Chlorella vulgaris un *Chlorella pyrenoidosa* izmantošana augnē, kur aug dārza salāti (*Lactuca sativa* L.), parādījusi labākus rezultātus salātu sausas daudzumā un hlorofila saturā. Šādi uzlabojumi novēroti arī citām augu kultūrām - rīsiem, gurķiem, baklažāniem u.c. (Bella et al. 2021). Visbiežāk izmantotās ciānbaktēriju kombinācijas ir *Anabaena spp.* un *Nostoc spp.*, kuras ir pielietotas tādiem kultūraugiem kā kukurūzai, rīsiem, kviešiem u.c. Ciānbaktēriju pielietošana pastiprina augsnes slāpekļa (N) un fosfora (P) pieejamību, palielina vairāku augsnes enzīmu

aktivitāti un veicina augsnes mikrofloras attīstību, kas attiecīgi pastiprina biomasu un kultūraugu produktivitāti (Parmar et al. 2023).

5.3. Mikroaļģes kā biopesticīdi

Biopesticīdi ir dabā atrodamu organismu (piemēram, mikroaļģes) vai bioloģiski iegūti savienojumi, kas nomāc vai ierobežo augu patogēnu (baktērijas, sēnes, kukaiņi un nematodes) augšanu un vairošanos. Interese par tiem arvien vairāk palielinās, jo tas ir labs veids, kā aizstāt sintētiskos augu aizsardzības līdzekļus, kas nav dabai draudzīgi. Atšķirība no sintētiskajiem pesticīdiem, kuru darbība nav specifiska, biopesticīdi parasti iedarbojas tikai uz konkrētu kaitēkli vai to grupu, kas novērš potenciālo kaitējumu cilvēku veselībai, dzīvniekiem un videi kopumā (Costa et al. 2019; Parmar et al. 2023).

Pastāv divu veidu biopesticīdi – mikrobiāli un bioķīmiski. No mikroaļģēm iegūti biopesticīdi ietilpst abās kategorijās. Mikroaļģu biopesticīdi kavē augu patogēnu augšanu, attīstību un reprodukciju. Mikroaļģes spēj ierobežot patogēnu daudzumu arī, konkurējot ar tiem par barības vielām. Biežāk izmantotās ciānbaktērijas ir *Anabaena spp.*, *Nostoc spp.*, *Spirulina platensis*, *Oscillatoria spp.* un *Tolypothrix spp.* Eikariotiskām aļģēm - *Chlorella vulgaris*, *Chlorella fusca*, *Scenedesmus spp.* - piemīt biopesticīdu īpašības (Parmar et al. 2023).

Mikroaļģu *Nostoc muscorum* un *Oscillatoria* šūnu ekstraktiem piemīt fungicīda aktivitāte pret *Alternaria porri*, kas izraisa purpura sīpolu (*Allium atropurpureum* L.) lakstu puvi (Parmar et al. 2023). *Chlorella spp.* šūnu ekstrakti kavē grampozitīvo un gramnegatīvo baktēriju augšanu. Arī iepriekš minētie fenoli, terpēni, kas ir mikroaļģu sastāvā, un ēteriskās eļļas un citi savienojumi tiek pielietoti kā augu aizsardzības līdzekļi. Mikroaļģes kā biopesticīdus īpaši efektīvi var izmantot cīņā pret augiem kaitīgajām nematodēm. Iedarbības veicinoši faktori ir mikroaļģēs esošie peptīdu toksīni un nematicīdu savienojumi. Papildus tām piemīt arī antibiotiskas īpašības, pretmikrobu (cīņā pret patogēnām baktērijām un sēnītēm) un insekticīdu iedarbība (Costa et al. 2019).

Mikroaļģu un ciānbaktēriju ekstrakti ne tikai tiešā veidā var iedarboties uz augu patogēniem, bet arī spēj izsaukt auga aizsardzības mehānismus, pastiprinot hidrolītisku enzīmu, polifenolu oksidāzes un peroksidāzes aktivitātes. Turpretī ciānbaktēriju biomasas un mikroaļģu šūnu ekstraktu pielietošana uz augsnes spēj samazināt augu slimību simptomus - *Anabaena spp.* biopesticīdu līdzeklis spēj samazināt par 10-15% sēnīšu patogēnu izraisītu tomātu dīgstu novīšanu, kā arī spēj palielināt auga augšanu patogēnu sēnīšu klātbūtnē. Līdzīgi arī *Spirulina platensis* šūnu

ekstrakts samazina sakņu puvi, sakņu vīšanu un dīgstu vīšanu sēnīšu patogēnu ietekmē eļļainās moringas (*Moringa oleifera* L.) augos. Lai gan mikroaļģu biopesticīdiem ir lielas priekšrocības, to izmantošanu vēl aizvien ierobežo vairāki faktori – ekstrakcijas metodes, ekstrahētā šķīduma sarežģītība un attīrīšanas iespējas, kā arī aktīvo sastāvdaļu stabilitāte un sastāvs (Costa et al. 2019; Parmar et al. 2023).

6. MIKROAĻĢU ŠŪNU EKSTRAKTU IEGŪŠANAS METODES

Mikroaļģu šūnu ekstraktu sastāvs var ļoti variēt un ir atkarīgs no dažādiem faktoriem, bet primāri to nosaka aļģu šūnu intracelulārais (šūnu iekšējais) sastāvs. Kopumā aļģu ekstraktus var iedalīt dažādās kategorijās, balstoties uz aļģu sugām (mikro- vai makroaļģes), ekstrakcijas metodēm, ekstrahētā bioloģiski aktīvā savienojuma veida, ekstraktu potenciālā pielietojuma veida u.c. Ekstrakcijas process sastāv no trim posmiem - pirmapstrāde, ekstrakcija un formulēšana. Visvairāk ekstrakcijas procesu apgrūtina biežā šūnu sieniņa, ko nepieciešams sagraut, lai tiktu pie intracelulārā jeb šūnas iekšējā materiāla. Šūnu sieniņai izturību piešķir augsts polisaharīdu daudzums tās struktūrā (glikoze un mannoze) vai kompleksu cukuru kompozīcijas (arabinoze, galaktoze, raminoze, mannoze un ksiloze). Vēl ļoti izturīga sastāvdaļa ir nehidrolizējams biopolimērs algaenāns vai sporopolleīns. Šie biopolimēri sastāv no garām ω -hidroksitaukskābju ķēdēm. Algaenāns atrodams tādās sugās kā *Chlorella spp.*, *Nannochloropsis galditana* un *Scenedesmus spp.* Šūnu sieniņas, kas sastāv no peptidoglikāna, piemēram, *Arthorspira spp.* ir mazāk izturīgas un vieglāk degradējamas (Corrêa et al. 2021; Michalak, Chojnacka 2014).

Pirmapstrādes procesā ietilpst aļģu ievākšana, mazgāšana, kaltēšana vai liofilizācija, aļģu mehāniska sadrupināšana homogēnā materiālā un šūnu sieniņu sagraušana. Šis process nepieciešams, lai uzlabotu otrā posma rezultātus. Pirmais posms ir ļoti svarīgs, jo mikroaļģes cieto šūnu sienu dēļ ir problemātiski ekstrahēt, līdz ar to ir jāatrod piemērotākā metode, lai process nebūtu dārgs, taču nodrošinātu augstu efektivitāti. Svarīgi ir sasniegt augstu vēlamu savienojumu iznākumu (Michalak, Chojnacka 2014).

Ir pieejamas dažāda veida šūnu sagraušanas metodes - mehāniskas, fizikālas, ķīmiskas, kā arī enzimatiskas. No mehāniskajām šūnu sagraušanas metodēm plaši zināma ir ultrasonikācijas metode (Michalak, Chojnacka 2014). Ultrasonikācijas šūnu sagraušana balstās uz šķidruma griezes spēkiem, ko izraisa augstas frekvences skaņas viļņu (15-20 kHz) emisija. Šķidrumos šie skaņas viļņi izraisa gāzes burbuļus, kas plīst un atbrīvo lielus enerģijas daudzumus. Parasti tiek izmantoti divu veidu ultrasonikācijas tipi – vannas un zondes, no kuriem par efektīvāku tiek uzskatīts zondes tips. Šo metodi var rūpnieciski mērogot, tomēr tā nav tik efektīva daļai mikroaļģu sugu. Tās efektivitāte spēj samazināties, ja tiek sonicēts lielāks parauga tilpums, kā arī to bieži vien kombinē ar ķīmisku apstrādi, lai veicinātu iznākumu un samazinātu enerģijas patēriņu. Kopumā mehāniskās šūnu sagraušanas metodes ir efektīvas, taču tiek patērēts liels enerģijas

daudzums, kā rezultātā lielāka uzmanība tiek vērsta uz alternatīvām ķīmiskajām un bioloģiskajām metodēm (Corrêa et al. 2021; Michalak, Chojnacka 2014; Sandhya et al. 2021).

Starp mehāniskajām ir arī vienkāršāka veida metodes, kā viena no tām ir šūnu sagraušana malšanas dzirnavās. Process balstās uz mehāniskiem šūnu bojājumiem sadursmju dēļ starp šūnām un lodītēm. Svarīgi parametri ir lodīšu diametrs un daudzums attiecībā pret mikroaļģēm. Parasti lodītes izmantotas no tādiem materiāliem kā cirkonijs (augsta blīvuma lodītes) vai stikls (zema blīvuma lodītes). Cirkonijs ir ieteicams augstas viskozitātes materiālam, savukārt stikls – zemas viskozitātes. Malšana dzirnavās ar lodītēm ir bieži izmantota metode augsta mēroga procesos, jo ir ar augstu iznākumu un viegli mērogojama. Šīs metodes arī izvairās no kontaminācijas ar ķīmiskiem savienojumiem un neizmanto termisku apstrādi (Corrêa et al. 2021).

Ķīmiskās šūnu sagraušanas metodēs ietilpst mikroaļģu šūnu sienīņu deformācija un sagraušanas veicināšana ar tādām vielu grupām kā šķīdinātājiem, skābēm (piemēram, sērskābi, sālskābi), sārmim (piemēram, nātrija hidroksīds), hipohlorītiem, antibiotikām vai virsmaktīvām vielām. Ķīmisku savienojumu izmantošana rada riskus videi un ekonomiskas raizes, jo īpaši industriālai pielietošanai. Tiklīdz ķīmiskais savienojums nav pārtikai drošs, tad arī ķīmiska kontaminācija ir risks gala produktam. Virsmaktīvu vielu izmantošana var palīdzēt ar biomasas savākšanu un šūnu sagraušanas veicināšanu. Surfaktanti mijiedarbojas ar šūnas membrānas fosfolipīdiem, kas izraisa to deformācijas un līdz ar to arī šūnu sagraušanu (Corrêa et al. 2021).

Fizikālās metodes ietver sevī dekompresijas, osmotiskā šoka, termolīzes un citas metodes. Osmotiskā šoka metodē augstas koncentrācijas šķīdumu (sāls, dekstrāns vai polietilēn-glikols (PEG)) pielietošana izraisa bojājumus šūnu sienīnās samazināta osmotiskā spiediena dēļ, kas palielina šūnas permeabilitāti (Corrêa et al. 2021). Dekompresijas metodē tiek pielietotas zema spiediena subkritiskas gāzes, kas tiek ievadītas šūnās. Šūna sašķeļas, kad spiediens atbrīvojas un gāze izplešas. Lai gan fizikālās metodes kopumā ir saudzīgas un netiek pielietotas videi kaitīgas vielas, to efektivitāte lielākoties ir zema, līdz ar to tās bieži netiek pielietotas (Geciova et al. 2002).

Termiskās apstrādes metodes ir fizikālās metodes, kas šūnu sagraušanu rada ar karstumu, piemēram, termolīze, autoklavēšana un tvaiku eksplozija. Šīm apstrādes metodēm gan ir zems iznākums, augsts enerģijas patēriņš, kā arī tās rada lielus daudzumus ar nevēlamiem šūnu atkritumproduktiem vai agregātiem, kā arī to izmantošanu ierobežo mērķa produkta termiskā izturība (Corrêa et al. 2021).

Enzimātiska šūnu lizēšana ir selektīva metode šūnu sagraušanai, kurai nepieciešams zems enerģijas patēriņš un maigi apstākļi. Var pielietot tādus komerciālus enzīmus kā celulāzi, proteāzi, lizosīmu un glukanaāzi. Galvenais enzimātiskas lizēšanas trūkums, salīdzinot ar ķīmiskām vai mehāniskām šūnu sagraušanas metodēm, ir ilga apstrādes laiks, zemā ražošanas kapacitāte un iespējamā produktu inhibīcija. Papildus tam enzīmu pielietošana ir dārga. Var pielietot kombinācijā ar ultraskaņu (Corrêa et al. 2021).

Pēc pirmapstrādes veikšanas, seko otrais - **ekstrakcijas posms** – pati ekstrakcija jeb bioloģiski aktīvo savienojumu izvilksana/atdalīšana no mikroaļģu masas. Arī šajā posmā iespējamās dažādas metodes. Lai izvēlētos metodi, sākotnēji jābūt skaidram, kāds ir bioloģisko savienojumu veids, ko nepieciešams izvilkt/atdalīt. No tā attiecīgi izriet procesa optimālo apstākļu izvēle - šķīdinātājs, temperatūra, pH, spiediens u.c. Galvenokārt, mikroaļģu bioloģiskie savienojumi tiek iegūti šķīdinātāju ekstrakcijas un hidrolīzes procesā (Michalak, Chojnacka 2014). Piemēram, viena no zināmākajām metodēm lipīdu ekstrakcijai no mikroaļģēm ir **Folha metode**. Tajā izmanto hloroformu un metanolu (2:1) kā šķīdinātājus, lai iegūtu aļģu šūnās esošos lipīdus. Izmantojot šo metodi, iespējams iegūt 30-40% lipīdu ekstraktus no biomasas sausas. Līdzīga un plaši zināma ir arī **Bligh and Dyer** metode. Arī tās pamatā ir hloroforma un metanola mikstūras pievienošana homogenizētām mikroaļģu šūnām. Lielākais abu metožu mīnuss ir cilvēkam un videi kaitīgo šķīdinātāju izmantošana (Imbimbo et al. 2020).

Vēl labi zināma ir **Sokseleta ekstrakcija**, kuru veic, lai no mikroaļģēm iegūtu lipīdu, karotenoīdu un citu savienojumu saturošus ekstraktus. Tajā tiek izmantots Sokseleta aparāts. Nepieciešami lieli šķīdinātāju daudzumi (ja tie netiekatkārtoti izmantoti pēc destilācijas) un ilgs ekstrakcijas laiks, kas ir lielākie ekstrakcijas metodes mīnusi. Priekšrocības ir augstais ekstrakcijas iznākums, neskarta ekstrahēto molekulu bioaktivitāte, metodes vienkāršība (nav nepieciešamas specifiskas apmācības), kā arī pati iekārta ir salīdzinoši lēta. Var izmantot dažādas šķīdinātāju mikstūras: hloroforms un metanols 2:1, n-heksāns un ēteris 4:1, tīrs n-heksāns u.c. (Imbimbo et al. 2020).

Mūsdienās viena no populārākajām zaļajām ekstrakcijas metodēm ir **superkritiskā šķidrums ekstrakcija**. Metodes pamatā ir šķidrums pakļaušana temperatūrai un spiedienam (vienlaicīgi), kas pārsniedz tā kritisko punktu, kas, savukārt, izsauc tā fizikālās izmaiņas un ietekmē šķidrums īpašības (šķidrums īpašības ir jauktas starp šķidrums un gāzes īpašībām). Par šķīdinātāju lielākoties tiek izmantota ogļskābā gāze (CO₂), jo tā nav toksiska vai kodīga, tiek

uzskatīta par salīdzinoši "zaļu" šķīdinātāju, kā arī to ir viegli atdalīt no gala ekstrakta. Šī iemesla dēļ ekstraktā izvilktos bioloģiskos savienojumus var droši izmantot uz augiem vai cilvēkiem. Metodei var izmantot gan nopērkamu, gan laboratorijas apstākļos pielāgotu un uztaisītu inventāru. (Michalak, Chojnacka 2014; Sánchez-Camargo et al. 2014).

Par videi draudzīgu, drošu un salīdzinoši ātru metodi tiek uzskatīta arī **mikroviļņu-asistēta ekstrakcija (MAE)**. Mikroviļņi šūnās izraisa ūdens molekulu vibrāciju, kas attiecīgi paaugstina intracelulārā šķidrums temperatūru. Tam seko ūdens iztvaikošana, kas izraisa spiedienu uz šūnu sienām. Procesa gaitā tās sadalās un intracelulārais materiāls izkļūst ārā, kas ļauj ekstrahēt pigmentus, lipīdus, polisaharīdus un citas bioaktīvās molekulas no mikroaļģēm (Michalak, Chojnacka 2014; Patel et al. 2020). MAE trūkums ir augstas temperatūras nepieciešamība, kas var ietekmēt ekstrahēto molekulu bioaktivitāti, kā arī nepieciešamība pirms tam mikroaļģu masu žāvēt, kas, savukārt, ekstrakcijas procesu ievērojami padārdzina. Šī metode ir piemērotāka termo-stabilu savienojumu ekstrakcijai. MAE spēj palielināt *Spirulina platensis* lipīdu ekstrakciju, izmantojot n-heksānu par šķīdinātāju, par gandrīz 10 reizēm, salīdzinot ar Soksleta ekstrakciju, kas tiek uzskatīts par standarta ekstrakcijas metodi (Imbimbo et al. 2020).

Ultraskaņas-asistēta ekstrakcija (UAE), kas tiek izmantota arī ekstrakcijas pirmapstrādes posmā mikroaļģu šūnu sagraušanai, pamatā ir skaņas viļņi, kas migrē barotnē (vai šķīdinātājos), izraisa spiediena izmaiņas, rodas akustiskās kavitācijas, kas aug, sabrūk un pārveido skaņas viļņus mehāniskā enerģijā. Šī enerģija spēj radīt bojājumus šūnu sienās, kas ļauj izkļūt ārā intracelulārajam materiālam, līdz ar to uzlabojas kontakts starp šķīdinātājiem un ekstrahētajiem savienojumiem (Michalak, Chojnacka 2014). Arī šī metode tiek uzskatīta par vienkāršu, videi draudzīgu un laika ziņā efektīvu. To var realizēt zemā temperatūrā un spiedienā, kā arī nav nepieciešami šķīdinātāji, kas ir ievērojams metodes pluss, salīdzinot ar standarta metodēm. Šķīdinātājus var izmantot, lai samazinātu ekstrakcijas laiku un palielinātu izšķīdušo bioloģisko savienojumu daudzumu (Patel et al. 2020).

Zem-spiediena šķidrums ekstrakcija ir pētniecības un attīstības stadijā, taču tai ir liels potenciāls. Metodes lielākās priekšrocības ir augstā selektivitāte, ātrs ekstrakcijas laiks un mazāks organisko šķīdinātāju nepieciešamais daudzums. Tās pamatā ir augsta temperatūra un spiediena izmantošana - šādi apstākļi ļauj noturēt temperatūru, kas ir lielāka par šķidrums viršanas temperatūru. Metode tiek pielīdzināta standarta Soksleta ekstrakcijai, taču zem augstāka spiediena un temperatūras, kas var ievērojami paātrināt ekstrakcijas procesu kopumā. Metode ir atzīta par

efektīvu, lai ekstrahētu mikroaļģu antioksidantus – fenolus, karotenoīdus, taukskābes un fukosterolus (Michalak, Chojnacka 2014).

Kopumā metodes ir ļoti daudz gan ar plusiem, gan mīnusiem, līdz ar to vienmēr nepieciešams izvērtēt, kādas mikroaļģes tiks izmantotas un kādus bioloģiskos savienojumus ir nepieciešams ekstrahēt. Bieži vien lielākā problēma ir atrast piemērotu metodi, ko būtu iespējams pielietot jau bioloģisko savienojumu ekstrahēšanai ražošanas līmenī, līdz ar to pareizās ekstrakcijas izvēle, pielietojums, mikroaļģu izvēle un gala rezultāti ir būtiski parametri tālākai pētniecībai.

Konkrēti mikroaļģu ekstraktiem, kas tiek pielietoti uz kultūraugiem, jāizmanto dabai un videi draudzīgus šķīdinātājus, lai nenodarītu kaitējumu mērķaugiem. Apskatot projektam atbilstošākos pētījumus (skat. 6.1. tabulu), redzams, ka ekstraktu sagatavošana un šūnu sagraušanas metodes variē. Par šķīdinātājiem lielākoties tiek izmantots destilēts ūdens un etanols. Lielākoties tiek kombinētas mehāniskās un ķīmiskās metodes, lai iegūtu mikroaļģu intracelulāro materiālu. Arī sākotnējais materiāls mēdz atšķirties - mikroaļģu biomasa tiek gan žāvēta, gan liofilizēta.

6.1. tabula.

Mikroaļģu ekstraktu piemēri augu apstrādei no publikācijām

Ekstrakts	Avots
Aļģe (5 g) tiek homogenizēta dejonizētā ūdenī (100 ml), kas satur 1% <i>Tween-20</i> , tālāk pievieno dejonizēts ūdens, lai koncentrācija būtu 5 g aļģe L ⁻¹ un 0,1% <i>Tween-20</i> .	(El-Baky et al. 2020)
Dejonizēts ūdens 100 ml, 10 g sausas aļģu masas (100% ekstrakts). Masa tiek sonicēta 20 kHz ar pulsāciju 10 s uz 60 s.	(Supraja et al. 2020)
2x destilēts ūdens (100 ml uz 1 g aļģu sausas). Šķīdums tiek karsēts 70 °C dažādos laika periodos.	(Guleria et al. 2024)
Liofilizēta aļģu masa sajaukta ar tīru etanolu, tiek maisīta visu nakti 4 °C. Pēc tam masa tiek centrifugēta un supernatants savākts.	(Arroussi et al. 2018)
96% etanola:ūdens (9:1 v/v), 10-40 g biomasas (tā lai attiecība ar šķīdinātāju būtu 1:10). Masa tiek atstāta uz nakti un filtrēta caur <i>Whatman</i> filtrpapīru. Darbība tiek atkārtota 2x. Šķīdinātāji beigās tiek iztvaicēti (vakuuma iztvaicētājā 40 °C).	(Susanto et al. 2024)
Tiek izmantots tikai dH ₂ O, kam pielikti 5 vai 10% aļģu biomasas.	(Žunić et al. 2024)

Aļģu biomasu (lai sašķeltu šūnas) sasaldē 11 min - 20 °C un 20 min atkausē 4 °C. Atjauc ar ūdeni.	(Jokel et al. 2023)
Aļģu biomasu atjauc ar ūdeni (koncentrācija 5 g L ⁻¹ ar 0,1% <i>Tween 20</i>)	(El-Baky et al. 2009)
dH ₂ O atjauc ar aļģu biomasu koncentrācijā 150 g L ⁻¹ , masu tiek apstrādāta ar mobilu augstas bīdes šķidrinatoru (<i>Microfluidizer M-110EH-30</i>), lai sašķeltu mikroaļģu šūnas.	(Gonzalez, Sommerfeld 2015)

7. PROJEKTA PRAKTISKĀ DARBĪBA

7.1. Analītiskās metodes

Projekta ietvaros, lai analizētu datus un iegūtās vērtības, tika izmantotas vairākas analītiskās metodes. To gaita tiks aprakstīta turpmāk, iekļaujot, **biomasas sausā svara, proteīnu, ogļhidrātu, fenolu, flavonoīdu, lipīdu, pigmentu** laboratoriskās noteikšanas metodes. Šie ir galvenie parametri, pēc kuriem tika novērtēts mikroaļģu biomasas ekstraktu saturs un tā izmaiņas, kā arī biomasas sastāva izmaiņas, optimizējot mikroaļģu augšanas apstākļus fotobioreaktorā.

Biomasas sausā svara noteikšanas metodoloģija:

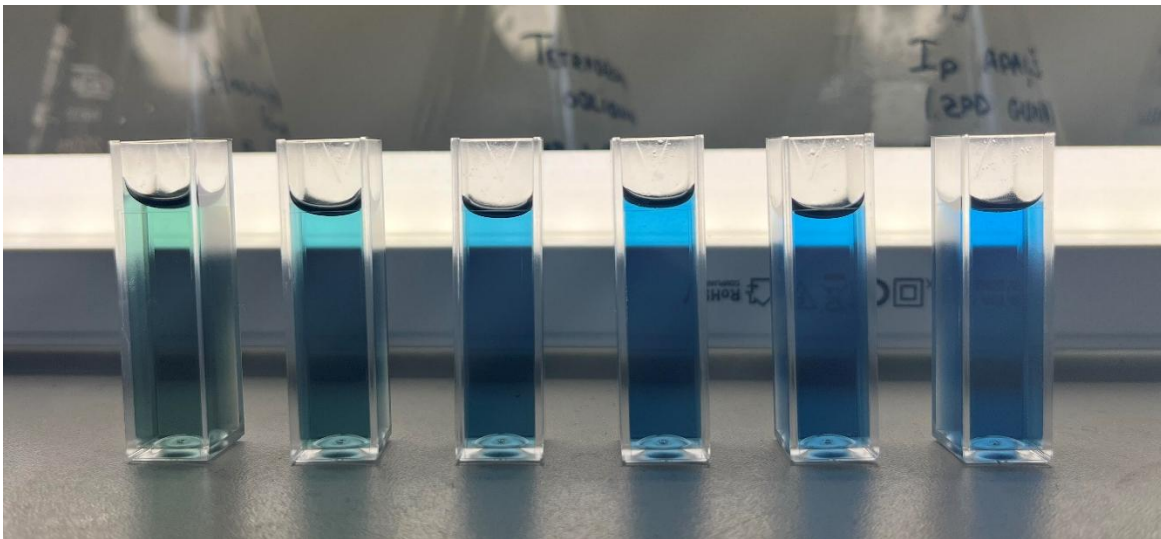
1. Eksperimentu beigās kolbas saturu sakrata, tad noņem 10 ml parauga. To pārnes 15 ml centrifugēšanas stobriņā;
2. Stobriņi ar kultūru tiek centrifugēti 5 minūtes 5000 rpm (apgriezieni minūtē);
3. Supernatants tiek uzmanīgi dekantēts un aizvietots ar 10 ml dH₂O; stobriņi tiek sakratīti;
4. Stobriņus atkārtoti centrifugē 5 minūtes 5000 rpm;
5. Paralēli tiek nosvērtas sverglāzes un rezultāts pierakstīts;
6. Atmazgātā biomasa tiek salieta stikla sverglāzes un žāvētas termostātā 80°C temperatūrā, 24 stundas;
7. Pēc žāvēšanas sverglāzes ar biomasu tiek izņemtas no termostata un nosvērtas;
8. No iegūtā rezultāta atņem tukšās sverglāzes svaru un iegūst mikroaļģu daudzumu g uz 10 ml, lai aprēķinātu g/L, iegūto rezultātu sareizina ar $1000\text{ mL}/10\text{ mL}=100$ (1000 ir ml vienā L, savukārt 10 ml ir svars, kurš tika paņemts).

Kopējo proteīnu noteikšanas metodoloģija:

Kopējo proteīnu daudzuma noteikšanai mikroaļģu ekstraktos izmanto Bredforda metodi (Kruger 1994).

1. Sākotnēji tiek sagatavots Bredforda reaģents – mērkolbā (1 L) ar analītisko svaru palīdzību tiek iesvērta *Coomassie Blue* G250 krāsviela, kas tiek izšķīdināta 50 ml 95% etanolā. Tālāk pievieno 100 ml 85% ortofosforskābes. Pārējais tilpums līdz 1 L atzīmei tiek uzpildīts ar destilētu ūdeni (dH₂O).

2. Iegūtais reaģents tiek samaisīts, viegli apļojot mērkolbu, un tālāk izfiltrēts ar Bunzena kolbas (1 L) (kopā ar Binhera piltuvi un filtrpapīru) palīdzību. Filtrācija nepieciešama, lai atdalītu krāsvielas neizšķīdušās daļiņas. Pēc izfiltrēšanas reaģents ir sagatavots analīzēm.
3. Kalibrācijas līknei izmanto 1 mg/ml liellopu γ -globulīna standartšķīdumu, kuru pipetē stikla mēģenēs (kopā 6 mēģenēs) – 10, 20, 40, 60, 80 un 100 μ L. Tālāk tilpums tiek pacelts ar destilētu ūdeni tā, lai katrā mēģenē būtu 100 μ L šķīduma.
4. Kalibrācijas līknei pievieno 5 ml sagatavotā Bredforda reaģenta. Mēģeņu saturu samaisa, izmantojot vorteksu. Kalibrācijas līknes saturs ir gatavs (skat. 7.1.1. attēlu).



7.1.1. attēls. Kalibrācijas līkne proteīnu noteikšanai pēc Bredforda metodes.

5. Atsevišķās stikla mēģenēs tiek pievienoti 100 μ L ar ekstraktu paraugiem. Katram paraugam tiek pievienoti 5 ml ar Bredforda reaģentu. Mēģeņu saturu samaisa, izmantojot vorteksu.
6. Pēc 15 min kalibrācijas līknes un mikroaļģu ekstraktu paraugi tiek atkārtoti samaisīti ar vorteksa palīdzību un 1,5 ml pārnesti uz kivetēm pirms tiek veikti mērījumi.
7. Paraugu absorbciju mēra ar spektrofotometru pie 595 nm. Negatīvā fona novēršanai tiek izmantots tīrs Bredforda reaģents.
8. Lai konstruētu kalibrācijas līkni *MS Excel* programmatūrā un izrēķinātu regresijas vienādojumu, izmanto gaismas absorbcijas vērtības no γ -globulīna kalibrācijas paraugiem.

Fenolu savienojumu noteikšanas metodoloģija:

Kopējo fenolu savienojumu noteikšanai mikroaļģu ekstraktos tika izmantota metode, kura izskaidrota S.S. Anwer et al. (2022) publikācijā.

1. Sākotnēji tika sagatavota kalibrācijas līkne – stikla vārglāzē tika sagatavots gallskābes šķīdums destilētā ūdenī, kura koncentrācija ir 1 mg/ml (ar analītiskajiem svāriem tika nosvērti 10 mg gallskābes, kam ar pipetes palīdzību tika pievienoti 10 ml destilēta ūdens; šķīdums tiek maisīts uz laboratorijas magnētiskās plīts (nekarsējot)).
2. No sagatavotā gallskābes šķīduma tiek veidots sērijveida atšķaidījums ependorfos (1.5 ml) – pirmajā tika iepildīts 200 µl gallskābes šķīdums, no otrā līdz astotajam ependorfam tika iepildīti 100 µl destilēta ūdens. Tālāk no pirmā tika paņemti 100 µl šķīduma, pārnesti uz otro un kārtīgi samaisīti, veidojot uz pusi mazāku gallskābes koncentrāciju kā pirmajā. Šī darbība tika veikta secīgi līdz sestajam ependorfam, nodrošinot, ka katrā nākamajā gallskābes šķīdums tiek atšķaidīts par 50%. Tādējādi koncentrācijas standartlīknē bija no 1 mg/ml pirmajā stobriņā līdz 0,003906 mgGAE/ml astotajā.
3. Tālāk tika pievienots *Folin-Ciocalteu* reaģents (FCR) 0,5 ml, kuru pipetē katrā ependorfā. Pēc pievienošanas paraugus maisa 5 min istabas temperatūrā.
4. Kā pēdējais tiek pievienots 7.5% Na₂CO₃ 0.4 ml. Pirms mērījumu veikšanas kalibrācijas līkne tiek noturēta 2 h istabas temperatūrā.
5. Paraugu sagatavošanai stikla mēģenēs tika pipetēti 100 µl mikroaļģu sagatavoto ekstraktu, kam tika pievienots *Folin-Ciocalteu* reaģents (FCR) 0,5 ml. Pēc pievienošanas paraugus maisa 5 min istabas temperatūrā.
6. Arī paraugiem kā pēdējais tika pievienots 7.5% Na₂CO₃ 0.4 ml. Pirms mērījumu veikšanas tie tika noturēti 2 h istabas temperatūrā.
7. Gan kalibrācijas līknes, gan mikroaļģu ekstraktu paraugi tika atkārtoti vorteksēti un pārnesti uz 1 ml kivetēm (skat. 7.1.2. attēlu). Absorbcijas mērījumi tika veikti uz fotospektrometra pie 760 nm.

8. Lai konstruētu kalibrācijas līkni *MS Excel* programmatūrā un izrēķinātu regresijas vienādojumu, izmanto gaismas absorbcijas vērtības no gallskābes kalibrācijas paraugiem.



7.1.2. attēls. Kopējo fenolu savienojumu noteikšanas kalibrācijas līkne ar gallskābi.

Kopējo flavonoīdu noteikšanas metodoloģija:

Kopējo flavonoīdu savienojumu noteikšanai mikroaļģu ekstraktos tika izmantota metode, kura izskaidrota Augustini et al. (2015) publikācijā. Par flavonoīdu ekvivalentu (kalibrācijas līknei) tika izmantots kvercetīns – plaši izplatīts flavonoīds.

1. Ar pipetes palīdzību tiek paņemts kvercetīns un izšķīdināts etanolā dažādās koncentrācijās (20, 40, 60, 80 ppm) tā, lai katrs šķīdums būtu vismaz 0,5 ml;
2. Ar mikropipeti no katras koncentrācijas tiek paņemti 0,5 ml šķīduma un tiek sajaukti ar 1,5 ml metanolu un 0,1 ml 10% AlCl_3 (izšķīdināts metanolā nevis ūdenī!);
3. Šķīdumi tiek homogenizēti vorteksējot, 6 min atstājot un atkārtoti vorteksējot. Pēc tam tiek pievienots 0,1 ml kālija acetāts 1M un šķīdums atkārtoti tiek atstāts uz 6 min.
4. Homogenizētais šķīdums tiek pacelts līdz 5 ml ar metanolu un atstāts uz 30 min pirms tiek veikti mērījumi fotospektrometrā.
5. Kamēr kalibrācijas līkne homogenizējas, 2.-4. punktu atkārto, taču sagatavoto koncentrāciju vietā tiek pipetēti 0,5 ml ar mikroaļģu ekstraktu paraugi (kas pirms tam tiek centrifugēti 2 ml ependorfos 10 min uz 8000 rpm, lai mērījumu noteikšanu netraucētu ekstraktos palikusī biomasa);
6. Visi sagatavotie paraugi tiek noteikti fotospektrometriski uz 415 nm, par *blank* vērtību izmantojot tīru metanolu;

7. Kopējais flavonoīdu daudzums tiek izrēķināts ekvivalenti sagatavotajai kalibrācijas līknei ar mērvienīgu mg/ml (kvercetīna ekvivalents).

Kopējo ogļhidrātu noteikšanas metodoloģija:

Ogļhidrātu analīzei izmanto Antrona (angl. *Anthrone*) reakciju (Fagen et al., 1954). Ogļhidrātu daudzums tika noteikts tikai sausajai mikroaļģu biomasai, netika noteikts mikroaļģu ekstraktiem.

1. Pagatavo paraugu 1 mg/ml (biomasa/destilēts ūdens) koncentrācijā. Pēc sagatavošanas paraugu homogenizē, izmantojot sonikatoru (homogenizēšana ar ultraskaņu);
2. Paraugam (0,2 ml, stikla mēģenē) pievieno 0,4 ml atdzesēta 75 % H₂SO₄ šķīduma;
3. Maisījumam pievieno 0,8 ml Antrona reaģenta (svaigi pagatavots 2 g/L Antrona reaģents 75 % H₂SO₄ šķīdumā). Pipetēšanai ar sērskābes šķīdumiem iesākam izmantot reversās pipetēšanas metodi: izspiež pipeti līdz otrajai atdurei, ievielk pilnībā sērskābes šķīdumu. Šķīdumu izspiež no pipetes uzgaļa vien līdz pirmajai pipetes atdurei);
4. Maisījumu vāra 100 °C temperatūrā 15 min;
5. Ļauj paraugam atdzesēties un izmēra absorbciju spektrofotometrā pie 630 nm;
6. Ogļhidrātu koncentrāciju nosaka ar D-glikozes standartlīknes lineārās regresijas vienādojumu;
7. Glikozes atšķaidījumus veido paraugi ar 1, 0,5, 0,25, 0,175 g/L glikozes koncentrāciju šķīdumā. Papildus izmanto negatīvo fonu kontroli (reaģents bez cukuriem), kam parauga vietā pievieno ūdeni;
8. Izmanto gaismas absorbcijas vērtības no glikozes kalibrācijas paraugiem, lai konstruētu regresijas līkni MS Excel programmā un izrēķinātu regresijas vienādojumu;
9. Ogļhidrātu daudzums paraugā tiek rēķināts pēc vienādojuma: $m = (A - X_0)/k$, kur m ir masa μg; A ir parauga gaismas absorbcija; X₀ ir x vērtība, regresijas līknei krustojot Y asi; k ir regresijas līknes k koeficients;
10. Ogļhidrātu koncentrācijas biomasā (%) aprēķinam proteīna masu izdala ar parauga masu un reizina ar 100 %.

Kopējo lipīdu noteikšanas metodoloģija:

Kopējo lipīdu satura noteikšanai mikroaļģu biomasā (%) tika izmantota Folha metode (Folch et al. 1957). Lipīdu daudzums tika noteikts tikai sausajai mikroaļģu biomasai (nevis

ekstraktiem). Folha metodes pamatā ir lipīdu sadalīšana divfāzu hloroforma un metanola maisījumā. Metanols pārrauj ūdeņraža saites starp lipīdiem un olbaltumvielām pēc organiska šķīdinātāja (hloroforma) pievienošanas.

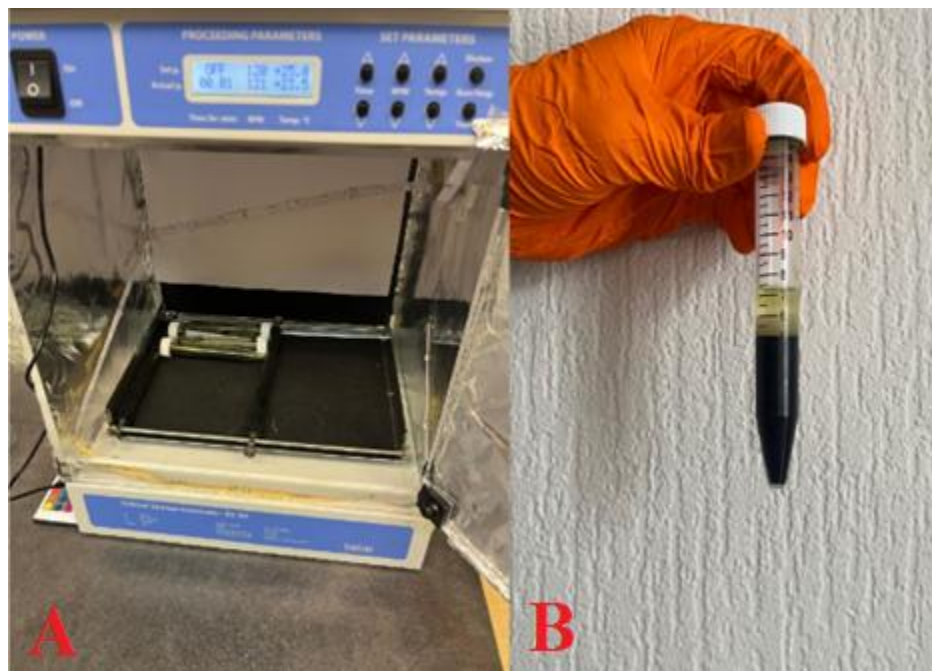
1. Nosver tukšu 15 ml plastmasas stobriņu ar aizskrūvējamu vāciņu, pieraksta tā masu;
2. Stobriņā iesver 100 mg analizējamā parauga;
3. Pievieno 20 daļas ar hloroformu/metanolu (2:1, v/v – 2 ml: 1,33 ml hloroforms, 0,66 ml metanols) stobriņā ar analizējamo paraugu (skat. 7.1.3. attēlu). Masas attiecība šķīdinātājam pret paraugu ir aptuveni 20:1. Stobriņu ar paraugu un šķīdinātāju maisa 10 min orbitālajā kratītājā (120 apgrz./min) (skat. 7.1.4a. attēlu). Ja paraugs ir ciets, labāk maisīšanu veikt ar stikla nūjiņu, vienlaikus sadalot paraugu viendabīgā maisījumā;



7.1.3. attēls. Neapstrādātu ekstrahēto lipīdu masa šķīdināta hloroformā un metanolā (protokola otrais un trešais solis).

4. Pievieno 0,5 ml ar KCl 0,8% sāls šķīdumu ūdenī, sasniedzot gala koncentrāciju hloroformam: metanolam: ūdenim 8:4:3;

5. Atkārtro trešo un ceturto punktu divas līdz četras reizes, līdz analizējamais paraugs kļūst balts (skat. 7.1.4b. attēlu);



7.1.4. attēls. A – neattīrītu lipīdu horizontāla kratīšana orbitālajā kratītājā (protokola trešais solis; B – biomasas iekrāsošanās baltā krāsā (pelēcīgi baltais slānis virs organiskā tumšā slāņa) pēc vairākkārtīga hlороформа, метанола un ūdens pievairošanas.

6. Stobriņu centrifugē 2000 apgriezienos/min 10 minūtes;
7. Pēc centrifugēšanas izveidojas divi slāņi – augšējais ūdens un apakšējais organiskais slānis.
8. Ar pipetes palīdzību uzmanīgi iesūc apakšējo organisko slāni, vienlaikus nepaņemot parauga daļiņas. Organisko slāni iepilda citā trauciņā, kam iepriekš precīzi noteikta masa.
9. Organiskajā slāni ir izšķīduši lipīdi, šķīdinātāju iztvaicē 70°C žāvskapī uz nakti;
10. Nosakot trauciņa masas ar lipīdiem un tukša trauciņa masas starpību, iegūst parauga lipīdu masu;
11. Izdala lipīdu masu ar parauga masu, izsaka vērtību procentos. Šāds rezultāts raksturo, cik liela masas daļa no parauga ir lipīdi.

Pigmentu noteikšanas metodoloģija:

Pigmentu (hlorofila a, hlorofila b un karotinoīdu) noteikšanai mikroaļģu biomasā tika izmantota Lihtentālera metode (Lichtenthaler, 1987), kā šķīdinātāju izmantojot metanolu.

1. Katram paraugam tika veikti vismaz 3 mērījumi;

2. Uz analītiskajiem svāriem tika iesvērti 5 mg mikroaļģu biomasas un ievietoti 15 mL stobriņā. Tad pievieno 8 mL metanolu un kārtīgi sasmalcina ar stikla nūjiņu;
3. Paraugu liek sagraut ar ultraskaņu homogenizatorā 30 min, 20 kHz;
4. Paraugu pēc apstrādes ar ultraskaņu liek centrifugēties 10 min, 8000 rpm;
5. 1 mL no parauga supernatanta tiek ievietots kivetēs;
6. Parauga optiskais blīvums fotospektrometrā tika mērīts pie: 665,2 nm, 652,4nm, 470nm;
7. Pigmentu koncentrāciju $\mu\text{g/L}$ aprēķina pēc sekojošās formulas: **Hlorofils a (Ca)** = $16,72 \times A_{665,2} - 9,16 \times A_{652,4}$, **Hlorofils b (Cb)** = $34,09 \times A_{652,4} - 15,28 \times A_{665,2}$, **Hlorofils a+b (Ca+b)** = $1,44 \times A_{665,2} + 24,93 \times A_{652,4}$; **Karotinoīdi (Cx+c)** = $1000 \times A_{470} - 1,63 \times Ca - 104,96 \times Cb$ 221;
8. Lai uzzinātu pigmentu koncentrāciju mg/g ir iepriekš aprēķinātās $\mu\text{g/L}$ koncentrācijas jāievieto formulā $k = c \times 8\,000,005 \times 1000$, kur c ir koncentrācija $\mu\text{g/L}$ un k ir koncentrācija mg/g.

7.2. PROTOKOLS: Kultivācijas procesu optimizēšana plūsmas bioreaktoros

Lai optimizētu kultivācijas procesa norisi plūsmas fotobioreaktoros (FBR), nepieciešama vairāku procesu ietekmes pirmsizpēte, tostarp **temperatūras, gaismas un barotnes koncentrācijas** ietekme, kas ir svarīgi mikroaļģu biomasas pieauguma un sastāva ietekmējoši faktori fotoautotrofas kultivācijas procesa norisē. Tā kā laboratorijā ir pieejami tikai divi plūsmas FBR, kas savā starpā nav salīdzināmi, eksperimenti tika veikta sākotnēji mazākos apmēros (mērkolbās), lai nodrošinātu vairākus atkārtojumus, konstantu temperatūru un citus mainīgos faktorus visa eksperimenta gaitā. Iegūtie rezultāti tiks analizēti un piemēroti FBR.

7.2.1. Fotoautotrofa kultivācija dažādās temperatūrās

Kā viens no parametriem tika pētīts temperatūras ietekme uz mikroaļģu biomasas daudzumu un intracelulārā materiāla saturu (lipīdu, proteīnu, ogļhidrātu u.c.).

Izmantotās mikroaļģes: *Scenedesmus quadricauda* CCAP 276/16, *Tetradismus obliquus* OM02, *Graeciella emersonii* KM01.

Izmantotās iekārtas:

Iekārta	Modelis	Ražotājs
Trinokulārais bioloģiskais mikroskops	BA410 Trinocular Sextuple	<i>Motic, Ķīna</i>
Analītiskie svāri	PLS 1200-3A	<i>Kern&Sohn, Vācija</i>
Piespiedu konvekcijas termostats	CTC	<i>Varicon aqua, Lielbritānija.</i>
Destilators	PD 2	<i>Lauda, Vācija</i>
Spektrofotometrs	UV5Bio	<i>Mettler toledo, Šveice</i>
Laminārās plūsmas bokss	BAVnp-01-“Laminar S”-1,2	<i>Lorica, Krievija</i>
Ledusskapis	RT 29 DVMS	<i>Samsung, Koreja</i>
Ultraskaņas homogenizators	GM 4200	<i>BANDELIN electronic GmbH & Co. KG, Vācija</i>
Vortekss	V-1	<i>Biosan, Latvija</i>
Dabiskas konvekcijas termostats (žāvēskapis)	ED-S 115	<i>Binder, Vācija</i>
Gaisa kompresors	BA2 8SF Bath	<i>DURR TECHNIK, Lielbritānija.</i>
Kratītājs - inkubators	ES-20	<i>Biosan, Latvija</i>

Eksperimenta uzstādījums:

1. Mikroaļģes tika kultivētas 250 ml koniskajās kolbās, 100 ml barotnē (90 ml 3N-BBM-V barotne un 10 ml iepriekš sagatavotā kultūras sējmateriāla) (Liu et al. 2016);
2. Mikroaļģu kultūrām - *S. quadricauda* CCAP 276/16, *G. emersonii* KM01, *T. obliquus* OM2 - tika izmantota 3N-BBM-V (*Bold Basal Medium with 3-fold Nitrogen and Vitamins; modified*) barotne.
3. Audzējot mikroaļģu kultūras, apgaismojums tika nodrošināts 16:8 h (gaisma:tumsa) režīmā. Apgaismojuma intensitāte ($100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$) tika nodrošināta ar LED gaismām.
4. Mikroaļģes tika kultivētas divfāžu kultivācijas režīmā. Trīs dienas tās tika audzētas pie optimālās temperatūras 25 °C, orbitālajā kratītājā (110 apgriezieni/min), kas ievietots termostatā, lai tās spētu sasniegt maksimālo biomasas daudzumu.
5. Pēc trīs dienu ilgas kultivācijas, temperatūra tika mainīta atkarībā no eksperimentam paredzētās temperatūras (5 – 25 °C) un kultivācija turpinājās vēl septiņas dienas. Kopumā tika veikti pieci eksperimenti dažādās temperatūrās – 5, 10, 15, 20 un 25 °C.

Eksperimenta gaita:

1. Pirms eksperimenta veikšanas, barotnes un kolbas sterilizē. Sterilizējamās kolbas tika aiztaisītas ar vates-marles korķiem. Vates korķi nosedz ar vaska papīru, ko apsien ap kolbas kakliņu;
2. Sterilizācija - autoklāvu piepilda ar destilētu ūdeni (dH₂O) (apmēram 1 l) un ievieto kolbas ar statīvu iekšā. Autoklāvēšana notiek 121°C temperatūrā, 30 min, 0,5 atm spiedienā (Harrigan et al. 1998);
3. Lai pagatavotu 1 L 3N-BBM-V barotnes, jāpaņem 10 ml no 1. iepriekš pagatavota sagataves šķīduma (skat. 7.2.1.1. tabulu), pa 1 ml no 2. - 6. sagataves šķīduma, 6 ml no 7. sagataves šķīduma, atlikušo tilpumu līdz 1 l atzīmei aizpilda ar destilētu ūdeni un pārnes borisilikāta stikla pudelē (neaizskrūvējot korķi līdz galam), tad sterilizē autoklāvā;
4. Pēc sterilizācijas (kad viss ir atdzesēts līdz istabas temperatūrai) barotnei pievieno vitamīnus (8. un 9. sagataves šķīdumus) laminārās plūsmas boksā caur sterilo šļirci ar 0.22 µm poru filtru, jo vitamīnus nedrīkst karsēt - tie var denaturēties. Pirms vitamīna pievienošanas ir jāpārbauda, vai nav notikusi reaģentu polimerizācija. Tādā gadījumā jāpagatavo reaģenti no jauna. Vitamīnu B pievieno 1 ml/l koncentrācijā.

7.2.1.1. tabula.

3N-BBM-V barotnes sastāvs

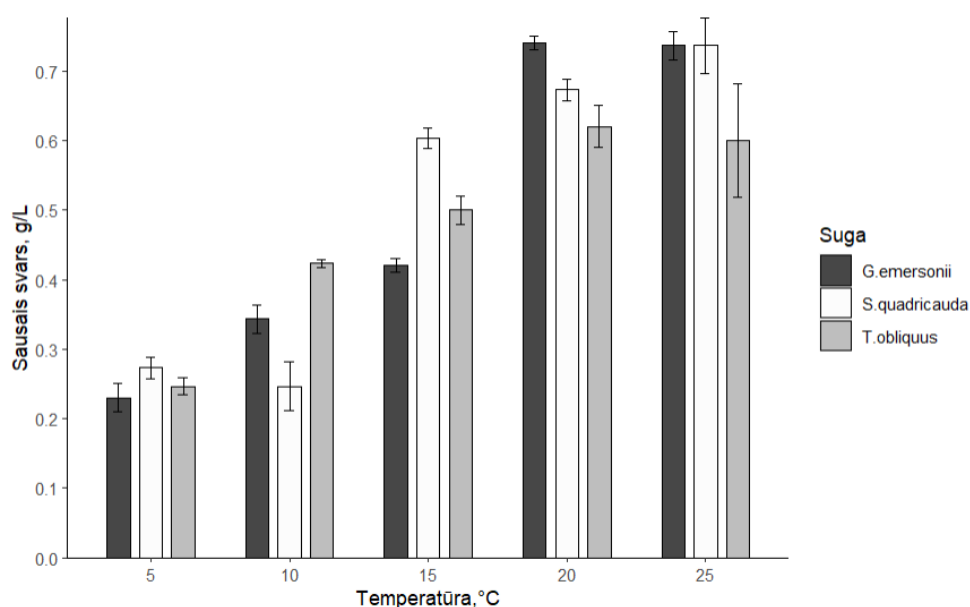
Komponenti, Sagataves Nr:	Koncentrācija, g/L	Deva, ml	Gala koncentrācija 3N- BBM-V barotnē, g/L
1) CaCl ₂ × 2H ₂ O	2,5	1	0,0025
2) MgSO ₄ × 7H ₂ O	7,5	1	0,0075
3) K ₂ HPO ₄ × 3H ₂ O	7,5	1	0,0075
4) NaNO ₃	75	10	0,75
5) KH ₂ PO ₄	17,5	1	0,0175
6) NaCl	2,5	1	0,0025
7. sagatave: mikroelementu maisījums		6	
Na ₂ EDTA	0,75		0,0045
FeCl ₃ × 6H ₂ O	0,097		0,000582
MnCl ₂ × 4H ₂ O	0,041		0,000246
ZnCl ₂	0,005		0,00003
CoCl ₂ × 6H ₂ O	0,002		0,000012
Na ₂ MoO ₄ × 2H ₂ O	0,004		0,000024
8. un 9. sagatave: vitamīni			

8) Vitamīns B ₁	0,12	1	0,0012
9) Vitamīns B ₁₂	0,1	1	0,001

5. Tālāk notiek sējmateriāla sagatavošana - lamināras plūsmas boksā 50 ml sterilā koniskajā kolbā, ievērojot sterilitāti (ar pipetes galu nekam nepieskarties, to mainīt ik pēc 5 pipetēšanas reizēm; rokas dezinficēt pēc katras darbības maiņas utt.) ar seroloģisko pipeti pievieno 5 ml *G. emersonii*, *T. obliquus*, *S. quadricauda* kultūras (jau iepriekš samaisītas);
6. Atlikušo tilpumu līdz 50 ml uzpilda ar iepriekš sagatavoto 3N-BBM-V barotni;
7. Kolbas pēc piepildīšanas aiztaisa ar vates-marles korķi (uzreiz pēc barotnes un kultūras pievienošanas) un liek kultivēties izvēlētajām temperatūrām.

Eksperimenta beigās biomasai tiek noteikti vairāki parametri – biomasas sausais svars, kopējie ogļhidrāti, lipīdu daudzums, pigmenti, proteīnu saturs. Pēc šo parametru analīzes, tika noteikts optimālais temperatūras režīms mikroaļģu kultivācijai FBR.

Rezultāti:



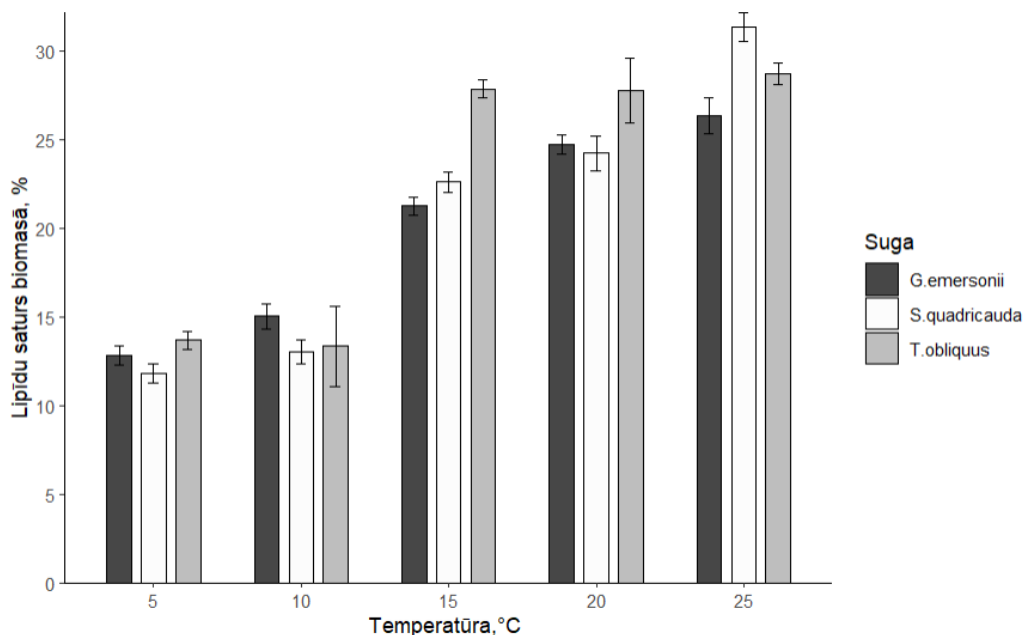
7.2.1.1. attēls. *T. obliquus*, *S. quadricauda*, *G. emersonii* biomasas sausais svars (g/l), audzējot mikroaļģes autotrofi 3N-BBM-V barotnē, pie dažādām temperatūrām (5, 10, 15, 20, 25°C) pēc 10 dienu kultivācijas.

Biomassas sausais svars: autotrofās kultivācijas eksperimenta ietvaros, pēc 10 dienām tika pārbaudīts biomasas sausais svars (g/l) trīs mikroaļģu sugām – *T. obliquus*, *S. quadricauda*, *G. Emersonii* - lai noskaidrotu, kāda ir šīm kultūrām optimālā augšanas temperatūra (°C) 3N-BBM-

V barotnē. Pēc datu apstrādes var konstatēt, ka optimālā augšanas temperatūra ir no 20 – 25°C (skat. 7.2.1.1. attēlu).

Autotrofās kultivācijas gadījumā vislielākais sausais biomasas svars ($0,74 \pm 0,04$ g/l) tika iegūts *S. Quadricauda* 25 °C. Savukārt, *G. emersonii* un *T. obliquus* lielākais biomasas svars tika iegūts 20 °C, sasniedzot $0,74 \pm 0,01$ g/l *G. emersonii* kultūrai un $0,62 \pm 0,03$ g/l *T. Obliquus*. Zemākais sausais biomasas svars ($0,23 \pm 0,02$ g/l) tika iegūts *G.emersonii*, *T. obliquus* ($0,24 \pm 0,01$ g/l) 5 °C un *S. quadricauda* zemākais biomasas svars bija 10 °C temperatūrā, sasniedzot $0,24 \pm 0,03$ g/l. Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka optimāla augšanas temperatūra *S. quadricauda* kultūrai ir 25 °C, savukārt, *G. emersonii* un *T. obliquus* kultūrām, optimālā augšanas temperatūra ir no 20 °C līdz 25 °C.

Lipīdu saturs: analizējot iegūto lipīdu saturu biomasā (%) pēc 10 dienu kultivācijas, augstākā lipīdu koncentrācija tika sasniegta *S. quadricauda* ($31,35 \pm 0,84\%$), *G.emersonii* ($26,35 \pm 1\%$), *T. obliquus* ($28,72 \pm 0,63\%$) kultūru biomasā 25°C temperatūrā, kā tas arī ir redzams 7.2.1.2. attēlā. Lipīdu zemākais procentuālais saturs biomasā tika konstatēts *S. quadricauda* ($11,80$

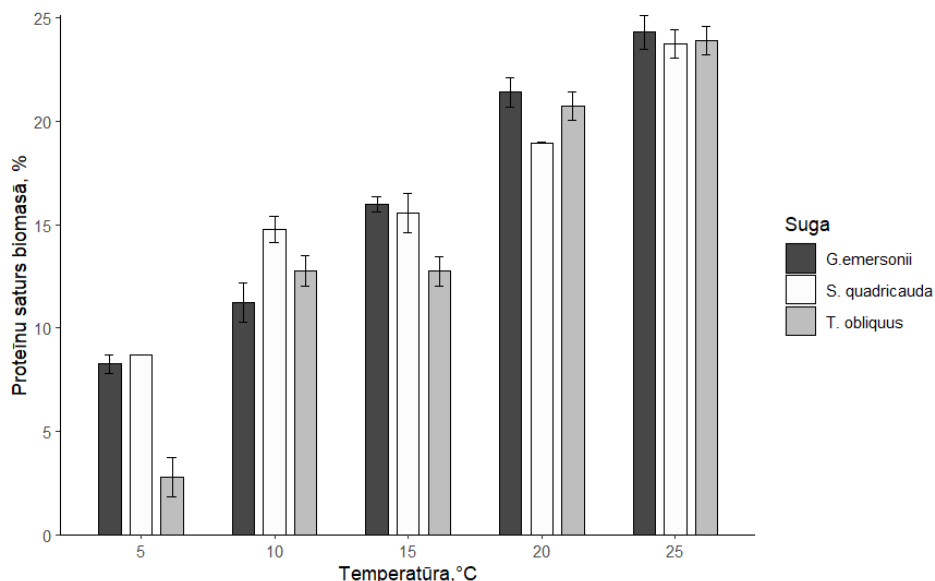


7.2.1.2. attēls. *T. obliquus*, *S. quadricauda*, *G. emersonii* lipīdu saturs biomasā (%), audzējot mikroaļģes autotrofi 3N-BBM-V barotnē, dažādās temperatūrās (5, 10, 15, 20, 25°C) pēc 10 dienu kultivācijas

$\pm 0,05\%$), *G. emersonii* ($12,81 \pm 0,05\%$) 5 °C temperatūrā, bet *T. obliquus* zemākais lipīdu saturs tika konstatēts 10 °C temperatūrā - $13,33 \pm 2,26\%$. Tāču, salīdzinot visas sugas 5 un 10 °C temperatūrā, netika konstatēta statistiski būtiska atšķirība ($p > 0,05$).

Starp dažādām temperatūrām, tika konstatēta statistiski būtiska atšķirība ($p < 0,001$) *G. emersonii*, *T. obliquus*, *S. quadricauda* sugām no 5 un 10 °C kultivācijas temperatūrām, salīdzinot ar 15, 20 un 25 °C veiktajām kultivācijām, kur ir iegūti būtiski labāki rezultāti. Savukārt, salīdzinot 15–20 °C *T. obliquus* iegūtos rezultātus ar 25 °C, netika konstatēta statistiski būtiska ($p > 0,001$) atšķirība, kas norāda uz to, ka *T. obliquus* optimālā temperatūra lipīdu sintēzei ir no 15 līdz 25 °C. Taču *G. emersonii*, *S. quadricauda* sugas, salīdzinot ar kontroles grupu 25 °C, temperatūrās no 15 līdz 20 °C, tika konstatēta statistiski būtiska ($p < 0,001$) atšķirība, kas norāda uz to, ka *G. emersonii* un *S. quadricauda* sugām optimālā temperatūra lipīdu sintēzei ir 25 °C.

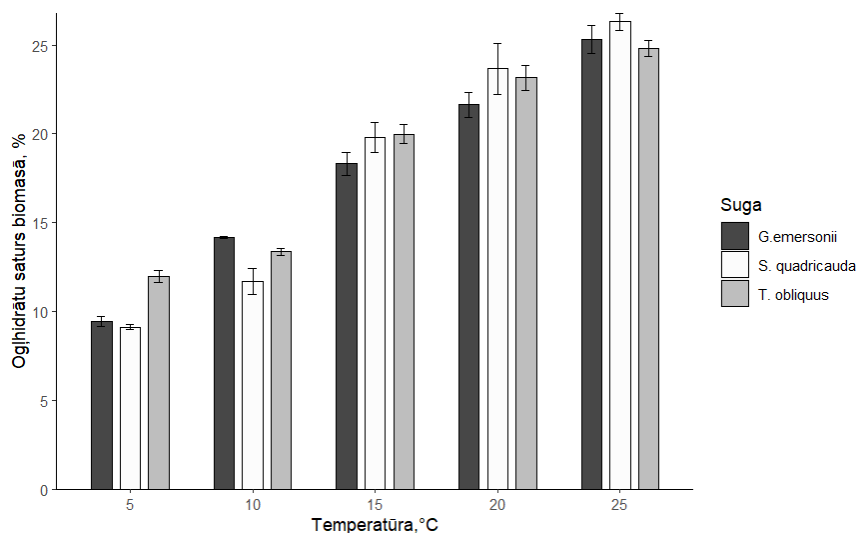
Proteīnu un ogļhidrātu daudzums biomasā: salīdzinājumā ar kontroles grupu (25°C) visām mikroaļģu sugām dažādās temperatūrās tika konstatēta būtiska ($p < 0,001$) atšķirība. Zemākais kopējo proteīnu saturs, kas redzams 7.2.1.3. attēlā, tika sintezēts *T. obliquus* ($2,78 \pm 0,9\%$), *S. quadricauda* ($8,68 \pm 0,002\%$) un *G. emersonii* ($8,26 \pm 0,4\%$) 5 °C temperatūrā. Savukārt, lielākā proteīnu sintēze tika novērota 25 °C temperatūrā visām mikroaļģu sugām – *T. obliquus* $23,92 \pm 0,7\%$, *S. quadricauda* $23,74 \pm 0,7\%$ un *G. emersonii* $24,31 \pm 0,8\%$.



7.2.1.3. attēls. Mikroaļģu *T. obliquus*, *S. quadricauda*, un *G. emersonii* proteīnu saturs biomasā (%) pēc 10 dienu autotrofās kultivācijas 3N-BBM-V barotnē, dažādās temperatūrās (5, 10, 15, 20, 25°C).

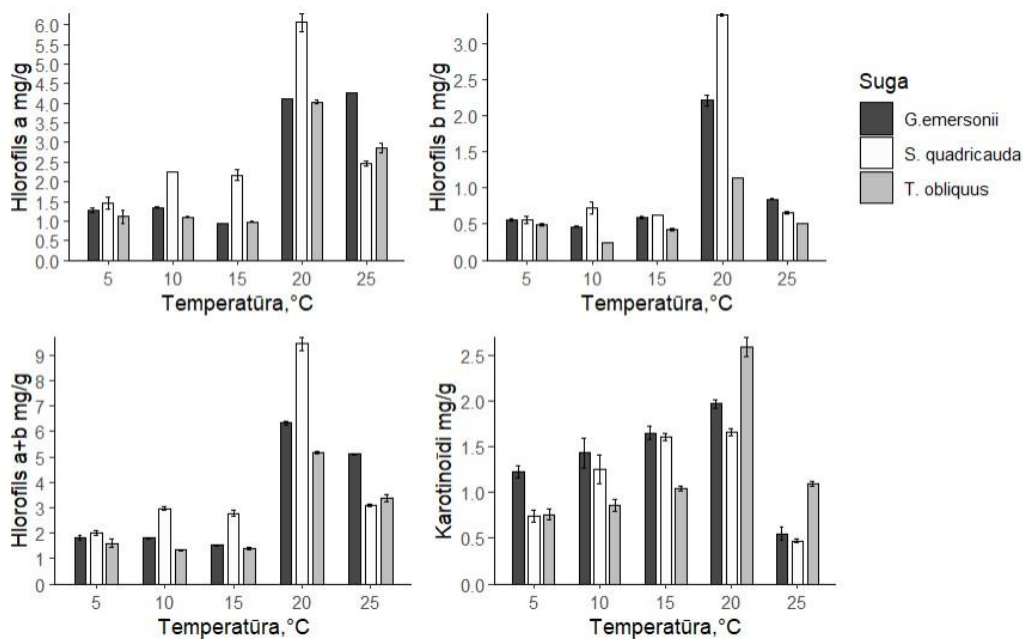
Salīdzinot iegūto kopējo ogļhidrātu saturu (%) ar kontroles grupu (25 °C), tika novērota statistiski būtiska atšķirība ($p < 0,001$) ar visām temperatūrām. Augstākā sasniegtā ogļhidrātu sintēze un attiecīgi arī saturs biomasā, kas attēlots 7.2.1.4. attēlā, bija 25 °C temperatūrā: *S.*

quadricauda $26,32 \pm 0,5\%$, *T. obliquus* $24,81 \pm 0,4\%$ un *G. emersonii* $25,31 \pm 0,8\%$. Zemākā ogļhidrātu sintēze tika novērota: *S. quadricauda* ($9,12 \pm 0,1\%$), *T. obliquus* ($11,9 \pm 0,3\%$) un *G. emersonii* ($9,42 \pm 0,3\%$) 5 °C temperatūrā, kas norāda uz to, ka 5 °C nav optimāla temperatūra ogļhidrātu sintēzei.



7.2.1.4. attēls. Mikroaļģu *T. obliquus*, *S. quadricauda*, *G. emersonii* kopējo ogļhidrātu saturs biomasā (%) pēc 10 dienu autotrofās kultivācijas 3N-BBM-V barotnē, dažādās temperatūrās (5, 10, 15, 20, 25°C).

Hlorofila (a, b) un karotinoīdu saturs biomasā: pēc iegūtajiem rezultātiem (skat. 7.2.1.5. attēlu) var secināt, ka intensīvāka hlorofila a un b sintēze ir novērojama 20 °C temperatūrā visām sugām. Mikroaļģes *S. quadricauda* hlorofila saturs (mg/g) biomasā pie temperatūras 20 °C sasniedza $9,46 \pm 0,26$ mg/g, kultūrai *T. obliquus* tie bija $5,18 \pm 0,05$ mg/g un *G. emersonii* - $6,33 \pm 0,08$ mg/g. Salīdzinot iegūtos hlorofila a un b datus ar kontroles grupu (25 °C), tika konstatēta statistiski būtiska atšķirība ($p < 0,001$) visām sugām 20 °C, kas norāda uz to, ka optimālā temperatūra hlorofila a un b sintēzei ir 20 °C. Tāpat arī salīdzinot iegūto karotinoīdu saturu biomasā (mg/g) ar kontroles grupu (25 °C), tika konstatēta statistiski būtiska atšķirība ($p < 0,001$) visām sugām 20 °C, starp kurām vislielāko saturu sasniedza *T. obliquus* $2,59 \pm 0,1$ mg/g.



7.2.1.5. attēls. Mikroaļģu *T. obliquus*, *S. quadricauda*, un *G. emersonii* hlorofila a, hlorofila b, hlorofila a+b kopējais un karotinoīdu saturs biomasā (mg/g) pēc 10 dienu autotrofās kultivācijas 3N-BBM-V barotnē, dažādās temperatūrās (5, 10, 15, 20, 25 °C).

Secinājums: Kopumā var secināt, ka optimālā augšanas temperatūra visām izvēlētajām mikroaļģēm, lai sasniegtu pēc iespējas lielāku biomasas daudzumu, ir 25 °C. Tomēr, ja apskata mikroaļģu parametrus atsevišķi, tad rezultāti nav viennozīmīgi un starp augšanas temperatūrām variē. Labākos rezultātus (lielāko biomasu) līdzvērtīgi sasniedza mikroaļģe *S. quadricauda* un *G. emersonii*, taču kopumā, apskatot arī pārējos parametrus, lielākās vērtības sasniedza *S. quadricauda*. Šie parametri ir būtiski, lai ražotu ne tikai augstāko biomasas saturu, bet arī mērķvielas koncentrāciju tajā atkarībā no nepieciešamības.

7.2.2. Fotoautotrofa kultivācija ar dažādām barotnes koncentrācijām

Kā otrs parametrs tika pārbaudīts barotnes koncentrācijas ietekme uz mikroaļģu biomasas augšanu un svarīgāko metabolītu sastāvu. Pamatā tika izmantota iepriekš aprakstītā 3N-BBM-V barotne (skat. 7.2.1.1. tabulu) dažādās koncentrācijās – 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 5.0 g/L.

Izmantotās mikroaļģes: *Tetradismus obliquus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Graesiella emersonii*.

Eksperimenta gaita:

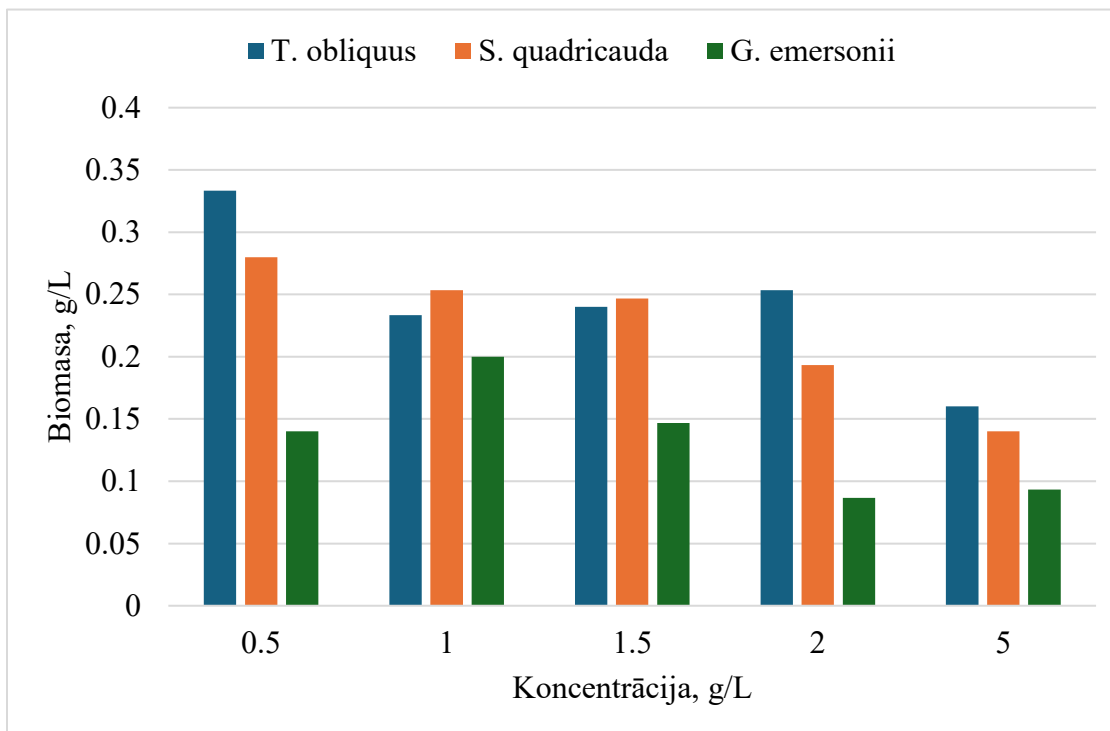
Pētnieciskais darbs tika veikts termostatā 25°C temperatūrā, dienas/nakts režīmā 12:12 h, ar gaismas intensitāti 80mmol/cm². Eksperimenta ilgums 14 dienas. Pētījumā tika izmantotas piecpadsmit 250 ml kolbas ar barotnes kopējo tilpumu 200 ml katrā kolbā.

1. Sagatavo HP barotnes piecās dažādās koncentrācijās. Koncentrācijas - 0,5; 1; 1,5; 2; 5 g/L.
2. Sagatavotās barotnes, kā arī kolbas eksperimenta vajadzībām ievieto autoklāvā ar 0.5 atmosfērām, 120°C – sasniedzot nepieciešamo temperatūru, kolbas un barotnes tur 30 minūtes, lai sterilizācija būtu veiksmīga;
3. Pēc stelizēšanas ļauj kolbām un barotnēm atdzist. Tās ievieto laminārās plūsmas skapī.
4. Izmantojot pipeti, kolbās ielej sagatavotās barotnes līdz 200 ml atzīmei. Katrai koncentrācijai tiek nodrošināti 3 atkārtojumi, lai dati būtu ticami;
5. Pēc mikroaļģu barotnes pievienošanas kolbās pipetē mikroaļģu inokulātu;
6. Pēc divām nedēļām 50 ml no katra parauga ievieto 50 ml stobriņā (pirms tam to nosverot uz analītiskajiem svariem) un centrifugē tā saturu 10 min 8000 apgriezienos, lai atbrīvotos no barotnes un noteiktu saaugušo mikroaļģu biomasu.
7. Pēc barotnes atdalīšanas iegūtā mikroaļģu biomasa tiek divas reizes centrifugēta ar destilēto ūdeni, lai atmazgātu to no palikušajām barotnes sastāvdaļām.
8. Centrifūgas procesa darbā mikroaļģes atdalīsies no ūdens un tās varēs nosvērt.
9. Pēc centrifugēšanas paraugus liek žāvēskapī uz 80°C, lai iegūtu sausu mikroaļģu biomasas svaru.
10. Pēc to pilnīgas izžūšanas paraugus atkārtoti nosver uz analītiskajiem svariem un atņem 50 ml stobriņa svaru, lai iegūtu mikroaļģu biomasas rezultātus.

Rezultāti un secinājumi:

Iegūtie rezultāti apkopoti 7.2.2.1. attēlā. Tajos iezīmējas vairāki būtiski secinājumi. Redzams, ka tendence biomasas daudzumam samazināties līdz ar koncentrācijas pieaugumu. Tas novērojams gan mikroaļģei *T. obliquus*, gan *S. quadricauda*. Nedaudz citādāka tendence ir mikroaļģei *G. emersonii*, kur labākie biomasas rādītāji ir pie barotnes koncentrācijas 1 g/L, bet no 1.5 g/L novērojams biomasas samazinājums. Redzams, ka labākie biomasas rādītāji ir pie barotnes koncentrācijas 0.5 g/L, taču universālākā koncentrācija tomēr ir 1.0 g/L, jo pie šī

daudzuma visām eksperimentā iesaistītajām mikroaļģēm biomasa ir ar salīdzinoši augstiem rādītājiem.



7.2.2.1. Attēls. Mikroaļģu *T. obliquus*, *S. quadricauda*, *G. emersonii* biomasa (g/L) dažādās barotnes koncentrācijās (0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 5.0 g/L) pēc 14 dienu kultivācijas.

7.2.3. Fotoautotrofa kultivācija, izmantojot dažādu krāsu gaismas

Kā viens no parametriem tika pētīts dažādu krāsu gaismas ietekme uz mikroaļģu biomasas daudzumu un intracelulārā materiāla saturu (lipīdu, proteīnu, ogļhidrātu u.c.).

Izmantotās mikroaļģes: *Scenedesmus quadricauda* CCAP 276/16, *Tetradesmus obliquus* OM02, *Graeciella emersonii* KM01, *Chlorella vulgaris* CCAP 211/111.

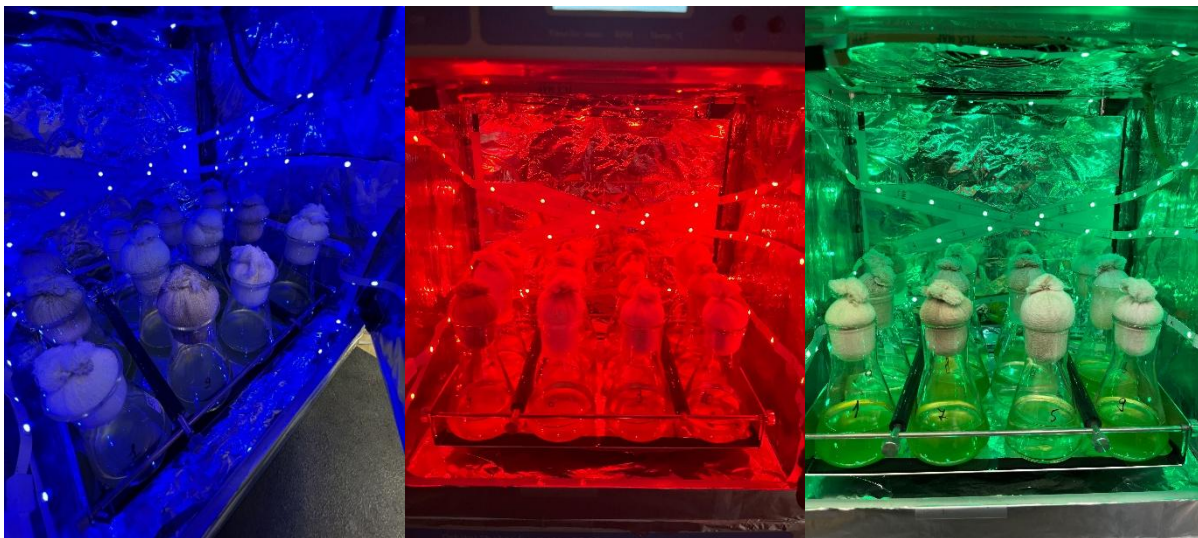
Izmantotās iekārtas:

Izmantotās iekārtas ir redzamas 7.2.1 sadaļā.

Eksperimenta uzstādījums:

1. Mikroaļģes tika kultivētas 100 ml koniskajās kolbās, 50 ml barotnē (45 ml 3N-BBM-V barotne un 5 ml iepriekš sagatavotā kultūras sējmateriāla) (Liu et al. 2016);

2. Mikroaļģu kultūrām - *S. quadricauda* CCAP 276/16, *G. emersonii* KM01, *T. obliquus* OM2, *Chlorella vulgaris* CCAP 211/111 - tika izmantota 3N-BBM-V (*Bold Basal Medium with 3-fold Nitrogen and Vitamins; modified*) barotne.
3. Audzējot mikroaļģu kultūras, apgaismojums tika nodrošināts 16:8 h (gaisma:tumsa) režīmā. Apgaismojuma intensitāte ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$) tika nodrošināta ar LED gaismām. Tika izmantotas LED gaismas ar monohromām diodēm - sarkana (625 – 630 nm), zaļa (520 – 530 nm) un zila (460 – 470 nm) (skat. 7.2.3.1. attēlu).
4. Mikroaļģes tika kultivētas pie optimālās temperatūras 25 °C, orbitālajā kratītājā (110 apgriezieni/min).



7.2.3.1. attēls. Mikroaļģu kultivācija dažādu krāsu gaismās.

Eksperimenta gaita:

Eksperimenta gaita ir redzama 7.2.1 sadaļā, tā tika izpildīta veicot šo eksperimentu bez modifikācijām.

Eksperimenta beigās biomasai tiek noteikti vairāki parametri – biomasas sausais svars, kopējie ogļhidrāti, lipīdu daudzums, pigmenti, proteīnu saturs. Pēc šo parametru analīzes, tika noteikts optimālais gaismas režīms mikroaļģu kultivācijai FBR.

Eksperimentu rezultāti:

7.2.3.1. tabula.

Mikroaļģes *Graesiella emerosnii* metabolītu izmaiņas dažādās krāsu gaismās.

Graesiella emersonii	Kontroles grupa	Sarkana gaisma	Zaļa gaisma	Zila gaisma	RGB gaisma
Lipīdi	83.48 ± 4.33	422.91 ± 8.80	337.62 ± 8.28	223.11 ± 15.59	321.74 ± 20.13
Proteīni	135.09 ± 7.22	145.57 ± 8.40	147.52 ± 5.37	185.28 ± 4.64	180.95 ± 10.60
Ogļhidrāti	197.03 ± 8.80	356.23 ± 0.63	316.43 ± 0.63	374.71 ± 1.10	306.11 ± 0.69
Hlorofils a	4.29 ± 0.04	3.76 ± 0.09	11.49 ± 0.03	10.11 ± 0.30	8.31 ± 0.14
Hlorofils b	0.85 ± 0.01	2.25 ± 0.19	4.28 ± 0.01	1.77 ± 1.16	3.13 ± 0.26
Karotinoīdi	0.51 ± 0.01	0	2.49 ± 0.01	1.87 ± 0.48	1.77 ± 0.11
Biomasa	0.29 ± 0.01	0.20 ± 0.04	0.27 ± 0.16	0.39 ± 0.01	0.21 ± 0.02

Kā redzams 7.2.3.1. tabulā, *Graesiella emersonii* metabolītu sastāvs tiek salīdzināts dažādos apgaismojuma apstākļos ar kontroles grupas rezultātiem. Sarkanās gaismas iedarbība veicināja ievērojamu lipīdu uzkrāšanos mikroaļģu šūnās, kas salīdzinājumā ar kontroles grupu palielinājās par 506,6%. Attiecībā uz proteīnu uzkrāšanos šūnās tika novērots, ka zilās gaismas avots veicināja proteīnu koncentrācijas pieaugumu par 137,15% salīdzinājumā ar kontroles grupu. Tomēr tika konstatēts, ka starp dažādiem apgaismojuma apstākļiem nav būtisku atšķirību proteīnu uzkrāšanās koncentrācijās. Savukārt ogļhidrātu koncentrācija palielinājās par 190,18% salīdzinājumā ar kontroles grupu, zilās gaismas apstākļos. Starp citiem apgaismojuma apstākļiem nav novērotas būtiskas atšķirības. Šajā pētījumā tika novērots, ka hlorofila a koncentrācija zaļās un zilās gaismas apstākļos palielinājās attiecīgi par 267,83% un 235,66% salīdzinājumā ar kontroles grupu. Tomēr starp kontroles grupu un sarkanās gaismas apstākļiem netika novērotas būtiskas atšķirības. Kā parādīts 7.2.3.1. tabulā, augstākā hlorofila b un karotinoīdu koncentrācija tika novērota zaļās gaismas apstākļos, kas ir attiecīgi par 503,53% un 488,24% vairāk nekā kontroles grupā. Sarkanās gaismas apstākļos *G. emersonii* netika novērota karotinoīdu uzkrāšanās.

7.2.3.2. tabula.

Mikroaļģes *Tetradismus obliquus* metabolītu izmaiņas dažādās krāsu gaismās.

Tetradismus obliquus	Kontroles grupa	Sarkana gaisma	Zaļa gaisma	Zila gaisma	RGB gaisma
Lipīdi	116.82 ± 0.91	331.30 ± 9.88	269.81 ± 21.41	255.67 ± 15.38	431.18 ± 24.07
Proteīni	183.73 ± 15.09	125.59 ± 16.26	110.12 ± 8.02	79.53 ± 3.73	94.92 ± 1.44
Ogļhidrāti	181.92 ± 5.05	210.36 ± 0.31	223.62 ± 0.18	167.46 ± 1.05	203.91 ± 1.01
Hlorofils a	2.86 ± 0.08	4.77 ± 0.02	9.38 ± 0.04	16.73 ± 0.18	9.71 ± 0.14
Hlorofils b	0.52 ± 0.02	3.48 ± 0.05	2.09 ± 0.02	6.24 ± 0.10	3.50 ± 0.04
Karotinoīdi	1.11 ± 0.03	0	2.33 ± 0.02	4.97 ± 0.10	2.15 ± 0.04
Biomasa	0.36 ± 0.05	0.23 ± 0.03	0.22 ± 0.06	0.31 ± 0.03	0.22 ± 0.02

Tetradismus obliquus metabolītu sastāvs ir parādīts 7.2.3.2. tabulā. Līdzīgi kā *G. emersonii* gadījumā, sarkana gaisma veicināja lielāku lipīdu uzkrāšanos mikroaļģu biomasā nekā citi apgaismojuma apstākļi, izņemot gadījumus, kad vienlaikus tika izmantoti visi trīs primārie gaismas avoti. Šajos apstākļos lipīdu uzkrāšanās bija vislielākā – 369,1% salīdzinājumā ar kontroles grupu. Attiecībā uz proteīnu uzkrāšanos, augstākā koncentrācija tika novērota kontroles grupā, bet zemākā koncentrācija tika novērota zilās gaismas apstākļos. Augstākā ogļhidrātu koncentrācija tika novērota zaļās gaismas apstākļos, kas sasniedza par 122,92% vairāk nekā kontroles grupā. Augstākā pigmentu koncentrācija tika novērota mikroaļģu šūnās zilās gaismas apstākļos. Hlorofila a, hlorofila b un karotinoīdu līmenis bija ievērojami paaugstināts salīdzinājumā ar kontroles grupu, attiecīgi palielinoties par 584,97%, 1200% un 447,75%.

7.2.3.3. tabula.

Mikroaļģes *Scenedesmus quadricauda* metabolītu izmaiņas dažādās krāsu gaismās.

Scenedesmus quadricauda	Kontroles grupa	Sarkana gaisma	Zaļa gaisma	Zila gaisma	RGB gaisma
Lipīdi	54.01 ± 0.96	404.34 ± 5.77	286.55 ± 10.21	217.46 ± 11.96	371.91 ± 12.66

Proteīni	144.92 ± 2.96	137.99 ± 7.25	138.14 ± 7.79	138.28 ± 11.87	125.01 ± 4.89
Ogļhidrāti	164.10 ± 3.15	282.65 ± 2.97	331.36 ± 0.58	139.19 ± 0.55	180.54 ± 0.28
Hlorofils a	1.07 ± 0.07	9.93 ± 0.09	22.67 ± 0.08	21.19 ± 0.45	15.34 ± 0.09
Hlorofils b	0.69 ± 0.05	7.48 ± 0.09	16.78 ± 0.08	38.04 ± 0.78	11.08 ± 0.16
Karotinoīdi	0.49 ± 0.03	0	2.53 ± 0.03	1.88 ± 0.34	0.88 ± 0.03
Biomasa	0.37 ± 0.02	0.56 ± 0.26	0.53 ± 0.10	0.25 ± 0.05	0.57 ± 0.06

Scenedesmus quadricauda metabolītu sastāvs ir redzams 7.2.3.3. tabulā. Lielākā lipīdu akumulācija tika novērota sarkanās gaismas apstākļos, kas ir salīdzināma ar *T. obliquus* un *G. emersonii* novēroto. Dati liecina, ka lipīdu uzkrājums mikroaļģu šūnās bija par 748,64% lielāks nekā kontroles grupā. Tika konstatēts, ka *S. quadricauda* proteīnu koncentrācija bija vislielākā kontroles grupā, tomēr rezultāti, kas iegūti visos gaismas apstākļos, neliecināja par būtiskām atšķirībām. Zaļās gaismas apstākļos novērota lielāka ogļhidrātu uzkrāšanās, sasniedzot 201,93% airāk nekā kontroles grupā. Augstākā hlorofila a koncentrācija novērota zaļās gaismas apstākļos, sasniedzot 2118,69% vairāk nekā kontroles grupā. Ir svarīgi atzīmēt, ka nav statistiski nozīmīgas atšķirības hlorofila a koncentrācijā starp zaļās gaismas un zilās gaismas apstākļiem. Savukārt zilās gaismas apstākļos tika novērota lielākā hlorofila b koncentrācija, sasniedzot 5513,04% vairāk nekā kontroles grupā. Attiecībā uz karotinoīdu analīzi augstākā novērotā koncentrācija bija zaļās gaismas apstākļos, sasniedzot par 516,33% vairāk nekā kontroles grupā.

7.2.3.4. tabula.

Mikroaļģes *Chlorella vulgaris* metabolītu izmaiņas dažādās krāsu gaismās.

Chlorella vulgaris	Kontroles grupa	Sarkana gaisma	Zaļa gaisma	Zila gaisma	RGB gaisma
Lipīdi	28.26 ± 0.36	333.80 ± 7.34	192.10 ± 5.14	101.66 ± 3.24	331.19 ± 6.74
Proteīni	150.53 ± 9.46	86.42 ± 7.76	105.63 ± 7.03	116.60 ± 2.50	130.18 ± 7.47
Ogļhidrāti	326.89 ± 4.03	239.32 ± 0.67	452.63 ± 1.04	272.19 ± 0.53	427.63 ± 0.95
Hlorofils a	3.26 ± 0.11	5.51 ± 0.03	11.00 ± 0.07	14.02 ± 0.16	20.78 ± 0.16
Hlorofils b	0.63 ± 0.27	2.57 ± 0.13	4.35 ± 0.10	5.57 ± 0.10	11.69 ± 0.15
Karotinoīdi	1.12 ± 0.08	1.47 ± 0.05	2.48 ± 0.05	4.02 ± 0.09	4.16 ± 0.08
Biomasa	0.28 ± 0.02	0.12 ± 0.03	0.11 ± 0.01	0.43 ± 0.08	0.13 ± 0.03

Chlorella vulgaris metabolītu sastāvs ir redzams 7.2.3.4. tabulā. Lielākais lipīdu uzkrājums tika novērots sarkanās gaismas apstākļos, un netika novērotas nozīmīgas atšķirības starp šiem apstākļiem un apstākļiem, kad visi trīs primārie gaismas avoti bija ieslēgti vienlaikus. Tika novērots, ka lipīdu akumulācija eksperimentālajā grupā bija ievērojami lielāka nekā kontroles grupā, palielinoties par 1181,17%. Tāpat kā pārējām mikroaļģēm, kas tika novērotas eksperimenta gaitā, proteīnu koncentrācija bija visaugstākā kontroles grupā. Ogļhidrātu koncentrācija palielinājās par 138.47% zaļās gaismas apstākļos. Tika konstatēts, ka pigmenti sasniedza maksimālo koncentrāciju visos trīs primārajos gaismas apstākļos. Tika konstatēts, ka hlorofila a, hlorofila b un karotinoīdu koncentrācija palielinājās attiecīgi par 637,42%, 1855,55% un 371,43% salīdzinājumā ar kontroles grupu.

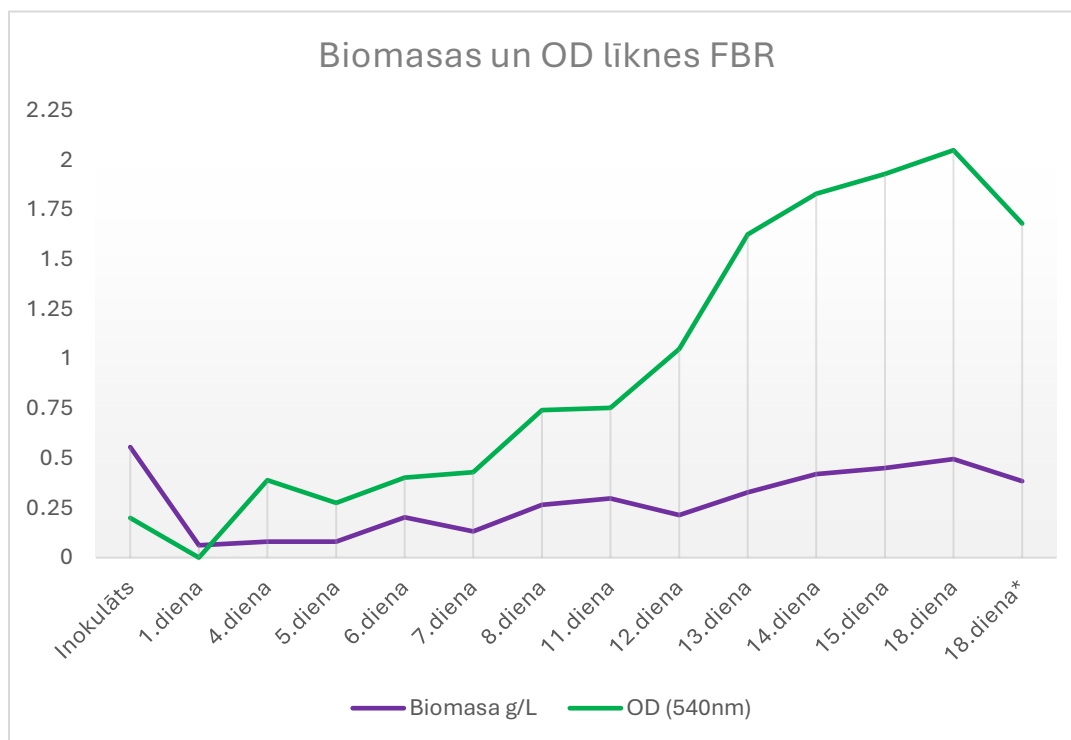
Secinājumi:

No iegūtajiem datiem var secināt, ka *G. emersonii*, *T. obliquus* un *C. vulgaris* augstākais biomasas iznākums ir zilā gaismā, bet citās krāsās – zemākais, savukārt *S. quadricauda* gadījumā ir pretēji – zemākā biomasas ir zilā gaismā. Attiecībā uz lipīdiem visām apskatītajām mikroaļģu kultūrām bija līdzīga tendence, augstākais lipīdu saturs tika sasniegts sarkanā gaismā, bet līdzīgs lipīdu saturs tika sasniegts arī visu trīs krāsu apgaismojumā. Attiecībā uz proteīnu uzkrāšanos novērota līdzīga tendence, izņemot *G. emersonii* un *T. obliquus*, kas uzrāda pretēju reakciju. Neviena kopīga tendence netika novērota attiecībā uz ogļhidrātu uzkrāšanos visos mikroaļģu celmos, norādot, ka gaismas ietekme ir individuāla katrai kultūrai. No apskatītajām kultūrām *G. emersonii* un *S. quadricauda* uzrādīja hlorofila a uzkrāšanās maksimumu zaļā gaismā, kas liecina par potenciālu specifiskumu reakcijā uz dažādiem gaismas viļņu garumiem. Hlorofila b gadījumā mikroaļģu kultūrām netika novērota izteikta tendence; tomēr *S. quadricauda* uzrādīja desmitkārtīgu hlorofila b uzkrāšanās pieaugumu zilā gaismā salīdzinājumā ar citām kultūrām. Karotinoīdu gadījumā netika novērota izteikta tendence. Tādējādi var secināt, ka katrs mikroaļģu celms reaģē atšķirīgi uz dažādu gaismas avotu krāsām un ka nav vienotas ietekmes uz mikroaļģu kultūrām, izņemot lipīdu uzkrāšanās gadījumu, kurā visefektīvākā ir sarkanā gaisma.

7.2.4. Fotoautotrofas kultivācijas novērtējums reāllaikā fotobioreaktorā pēc vides apstākļu optimizēšanas.

Iepriekšējos eksperimentos iegūtie rezultāti un veiktie secinājumi tika izmantoti tālākā mikroaļģu kultivācijā mērogojot uz fotobioreaktoru. Kā optimālā kultivācijas temperatūra tika izvēlēta 25°C un augšanas barotnes koncentrācija 1g/L. Fotobioreaktora apgaismojuma krāsa tika veidota no vienas sarkanas un vienas baltas diodes secīgi katrā apgaismojuma panelī. Šī apgaismojuma formācija ir nodrošināta no ražotāja.

Novērojumi fotobioreaktorā notika divas nedēļas, kas ir viens kultivācijas cikls nepārtrauktas kultivācijas formātā. Tika veikta optiskā blīvuma un mikroaļģu sausās biomasas kontrole.



7.2.4.1. attēls. Mikroaļģu biomasas un optiskā blīvuma izmaiņas fotobioreaktorā 18 dienu laikā. Kultivācija 10:10h diennakts režīmā. Inokulāts – gatava inokulāta optiskais blīvums un biomasas sausais svars. 18.diena* - nākamā kultivācijas cikla uzsākšanas optiskais blīvums un biomasas sausais svars.

Attēlā (skat. 7.2.4.1. attēlu) ir redzams, ka optiskais blīvums 18.dienā palielinās 7,5 reizes un biomasas sausais svars 18.dienā palielinās 8 reizes salīdzinājumā ar pirmo kultivācijas dienu. Nākamā kultivācijas cikla beigās (pieņemot, ka tas ir septiņas dienas garš) šiem parametriem,

matemātiski aprēķinot, vajadzētu būt 4 reizes lielākiem nekā 18.dienā, kad tika uzsākts nākamais kultivācijas cikls. Ar kultivāciju saistītie procesi secīgi apkopoti 7.2.4.2. – 7.2.4.9. attēlā.



7.2.4.2. attēls. Mikroaļģu kultivācijas materiāla sagatavošana kultivēšanai fotobioreaktorā (250 ml tilpums).



7.2.4.3. attēls. Mikroaļģu kultivācijas materiāla sagatavošana kultivēšanai fotobioreaktorā (10 l tilpums).



7.2.4.4. attēls. Mikroaļģu kultivēšana fotobioreaktorā.



7.2.4.5. attēls. Mikroaļģu kultivēšana fotobioreaktorā ar iepriekš optimizētiem augšanas apstākļiem.



7.2.4.6. Ievākts paraugs tālākām biomasas analīzēm pēc audzēšanas fotobioreaktorā.



7.2.4.7. attēls. Koncentrēta mikroaļģu biomas pirms žāvēšanas paaugstinātā temperetūrā.



7.2.4.8. attēls. Kaltēta mikroaļģu biomasa, kas ievākta pēc mikroaļģu kultivēšanas fotobioreaktorā.



7.2.4.9. attēls. Samalts mikroaļģu pulveris pēc biomasas žāvēšanas – gala produkts.

7.3. Mikroaļģu biomasas atdalīšanas metodes

Mikroaļģu biomasas atdalīšana ir svarīgs process, jo tas lielā mērā nosaka kultivācijas produktivitāti un laika patēriņu, kas, savukārt, ir svarīgs faktors, ja tas tiek attīstīts līdz ražošanas līmenim. Nepiemērotas biomasas atdalīšanas no barotnes metodes izmantošana var novest pie biomasas zudumiem (tās nepilnīga atdalīšana no biomasas) un kontaminācijas, ja atdalīšanas metode ir pārāk ilga. Līdz šim ir apzināti vairāki veidi, kā to izdarīt pēc iespējas efektīvāk, taču ne visi ir pietiekami vienkārši un pieejami plašai sabiedrībai.

Mikroaļģu kultivācija (materiāla sagatavošana metožu pārbaudei):

Pirms eksperimenta veikšanas, barotni un mērkolbas sterilizē autoklāvā. Sterilizējamās kolbas tiek aiztaisītas ar vates-marles korķiem. Vates korķi nosedz ar vaska papīru, ko apsien ap kolbas kakliņu. Autoklāvu piepilda ar destilētu ūdeni (dH_2O), apmēram 1 L un ievieto kolbas ar statīvu iekšā. Autoklāvēšana notiek 121°C temperatūrā, 30 min, 0,5 atm spiedienā (Harrigan et al., 1998).

Barotnes sagatavošana – barotnes 1 L 3N-BBM-V koncentrācija uz vienu litru - 10 ml no 1. iepriekš pagatavota sagataves šķīduma (skat. 7.3.1. tabulu), 1 ml (no katra) no 2. - 6. sagataves šķīduma, 6 ml no 7. sagataves šķīduma, atlikušo tilpumu līdz 1 L atzīmei aizpilda ar destilētu ūdeni un pārnes borisilikāta stikla pudelē (neaizskrūvējot korķi līdz galam), tad sterilizē autoklāvā. Pēc sterilizācijas traukus un barotni atdzesē un pievieno (8 un 9. sagataves šķīdumus) vitamīnus barotnei lamināras plūsmas boksā ar sterilo šļirci un 0.22 μm poru filtru, jo vitamīnus nedrīkst karsēt - tie var denaturēties. Priekš 100 L fotobioreaktora (FBR) jātaisa barotnes koncentrāts, lai saglabātu tādu pašu pievienoto vielu koncentrāciju.

Sējmateriāla sagatavošana:

1. Lamināras plūsmas boksā 500 ml sterilā koniskajā kolbā, ievērojot sterilitāti, ar seroloģisko pipeti pievieno 25 ml *Tetrademus obliquus* kultūru, iepriekš to samaisot ar rotējošām kustībām;
2. Tilpumu līdz 250 ml uzpilda ar jau iepriekš pagatavotu un sterilizētu 3N-BBM-V barotni;
3. Kolbu aiztaisa ar vates-marles korķi un liek kultivēties pie LED gaismas avota 5000 lx, istabas temperatūrā (20-23°C), kur tā tiek kultivēta divas nedēļas, lai fotoautotrofās augšanas rezultātā palielinātos mikroaļģu biomasas koncentrācija. Lai tas notiktu

vienmērīgi (šūnas nenosēstos un gaisma visām šūnām būtu vienmērīga), kolbu ievieto kratītājā-inkubatorā uz 130 apgriezieniem.

4. Inokulāta tilpumu ik pēc 7-10 dienām papildina ar svaigu un sterilizētu barotni (500 ml – 1500 ml), lai biomasas koncentrācija turpinātu pieaugt.

Lai to pārsētu uz 14 L kolonnas FBR, nepieciešami aptuveni 2 L koncentrēta (1-1,5 g/L) inokulāta. Kad nepieciešamais biomasas piesātinājums ir sasniegts, tas tiek pārsēts uz lielo (100L) FBR. SVARĪGI! – pirms mikroaļģes pārsēšanas FBR nepieciešams veikt tā sterilizāciju, kas tiks aprakstīta nākošajos punktos.

7.3.1. tabula.

3N-BBM-V barotnes sastāvs

Komponenti, Sagataves Nr:	Koncentrācija, g/L	Deva, ml	Gala koncentrācija
			3N-BBM-V barotnē, g/L
1) $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	2,5	1	0,0025
2) $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	7,5	1	0,0075
3) $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$	7,5	1	0,0075
4) NaNO_3	75	10	0,75
5) KH_2PO_4	17,5	1	0,0175
6) NaCl	2,5	1	0,0025
7. sagatave: mikroelementu maisījums		6	
Na_2EDTA	0,75		0,0045
$\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$	0,097		0,000582
$\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	0,041		0,000246
ZnCl_2	0,005		0,00003
$\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	0,002		0,000012
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	0,004		0,000024
8. un 9. sagatave: vitamīni			
8) Vitamīns B ₁	0,12	1	0,0012
9) Vitamīns B ₁₂	0,1	1	0,001

Inokulāta pārsēšana fotobioreaktorā (gan 14 L, gan 100 L):

Pirms inokulācijas sterilizē iekārtu ar nātrija hipohlorītu (0,08 ml uz 1 L 15% NaClO);

1. Uzpilda ūdeni ar peristaltiskā sūkņa palīdzību, izlaižot cauri UV lampai, lai to sterilizētu. *Gaisa padevei jābūt ieslēgtai pirms uzpildīšanas, lai ūdens neietekmētu cirkulācijas veidošanos.*
2. Pagatavo koncentrētu barotni (priekš 100 vai 14 L – atkarībā no FBR, kurā tiek iesēts inokulāts), pārsūknē uz reaktoru, izlaižot cauri UV lampai.
3. Pārsūknē iepriekš sagatavotu inokulātu ar peristaltisko sūkni tieši reaktorā (bez UV lampas).
4. Ieslēdz apgaismojumu.
5. Izslēdz gaisa padevi katrai pāra kolonnai, lai izveidojas ūdens cirkulācija (100 L FBR gadījumā).
6. CO₂ balonam jābūt pieslēgtam pie reaktora, lai nodrošinātu pH kontroli. Uztādot vēlamo pH (7–8) CO₂ padeve automātiski ieslēgsies, kad pH līmenis reaktorā pārsniegs norādīto.
7. Katru dienu ieslēdz/izslēdz atbilstošus gaisa padeves filtrus (ieslēdz pāra filtrus, izslēdz nepāra vai otrādi). Tas neļauj kolonnām apaugt ar mikroaļģēm, jo plūsmas izmaiņas nodrošina stikla pašattīrīšanos.
8. Ik pēc 10 dienām, kad izveidosies pietiekami daudz biomasas, nolej 50–100 L no reaktora un uzpilda FBR svaigi pagatavoto barotni, izlaižot to caur UV lampu.
9. Nolieto biomasas un barotnes šķīdumu izmanto tālāk eksperimentos barotnes atdalīšanai.

Tika izmēģinātas vairākas mikroaļģu biomasas atdalīšanas metodes:

1. Iekoncentrēšana, izmantojot universālo centrifūgu.
2. Biomasas nostādināšana paaugstinātā pH līmenī;
3. Iekoncentrēšana, izmantojot dažādus flokulācijas reaģentus;
4. Iekoncentrēšana, izmantojot membrānas filtru;

Biomasas iekoncentrēšana, izmantojot universālo centrifūgu:

Kā pirmā metode mikroaļģu atdalīšanai no barotnes tika pielietota universālā centrifūga. Tās darbība ir ļoti vienkārša un pamatā ir iekārtas rotācija lielā ātrumā, centrālās rezultātā atdalot biomasu no šķidrās (barotnes) daļas.

Eksperimentam tika izmantota *Tetrademus obliquus* neatdalīta biomasa, kas tika izaudzēta laboratorijā esošajā fotobioreaktorā. Ar sūkņa palīdzību tā tika nosūknēta uz 200 L

tvertni un tālāk pārnesta uz universālajai centrifūgai paredzētām plastmasa pudelītēm. Pēc aptuveni 3-5 centrifūgas reizēm nepieciešams iegūto biomasu divas reizes pārskalot ar destilētu ūdeni un no pudelītēm izņemt ar plastmasas stobriņa palīdzību un tālāk to novietot uz silikona pannas. Šis process tiek atkārtots līdz visa biomasas ir atdalīta, attīrīta un pārlieta uz silikona pannas. Lai to pilnībā izžāvētu, iekonzentrēto biomasu liek žāvēskapī (60°C) ar piespiedu konvekciju (aptuveni 12 h).

Tā kā kopējā centrifūgas ietilpība ir 1,5 L un pudelītes katru reizi ir jānosver, lai pārlicinātos, ka ielietais svars nepārsniedz 1 g starpību, process ir ļoti laikietilpīgs. Taču kopējais gala rezultāts ir efektīvs, praktiski bez biomasas zudumiem. Šī iemesla dēļ tika secināts, ka centrifūga ir efektīva metode, ja to apvieno ar citu metodi, kas biomasas un barotnes šķīdumu padara koncentrētāku, lai atkārtoto ciklu daudzums centrifūgā ir mazāks un process notiek ātrāk.

Biomassas nostādināšana paaugstinātā pH:

Metode ir salīdzinoši ērta un vienkārša. Pozitīvs aspekts – tās pamatā nav cilvēkam un videi kaitīgas ķīmiskās vielas, pareizāk sakot – metodes ietvaros nekas papildus netiek pievienots.

Standartā, mūsu laboratorijas apstākļos, fotobioreaktorā, kurā notiek mikroaļģu kultivācija, pH ir 7-8. Konstanto pH vērtību nodrošina CO₂ plūsma, kuras intensitāte pieaug, ja pH vērtība pārsniedz šo robežu. Šī funkcija ir automātiski iestrādāta konkrētajā plūsmas fotobioreaktorā. Šādas pH vērtības nodrošināšana sekmē labāku biomasas pieaugumu ilgāku laiku. Metodes pamatā ir CO₂ plūsmas pārtraukšana un pH vērtības monitorēšana – pH vērtībai jāpieaug līdz aptuveni 11 (vai vairāk), kam nepieciešamas vairākas dienas (2-3). Lai gan procesam kopumā nepieciešams ilgs laiks, tās laikā mikroaļģes turpina atrasties fotobioreaktorā un biomasas pieaugums netiek apturēts.

Kad nepieciešamā pH vērtība ir sasniegta, reaktoru iztukšo ar sūkņa palīdzību uz 200 L tvertni (reaktora kopējais tilpums – 100 L). Masai ļauj nosēsties tvertnes apakšā – nav ieteicams mikroaļģu biomasu atstāt tajā ilgāk par 24 stundām, jo tas var veicināt baktēriju vai cita veida kontamināciju. Jāņem vērā arī papildus faktors - mikroaļģu biomasas nosēšanas ātrums ir atkarīgs arī no to lieluma – lielākās nosēdīsies ātrāk, bet mazākas - lēnāk.

Pēc mikroaļģu biomasas nosēdināšanas, lieko barotni virspusē (bez mikroaļģēm) nosūknē, bet koncentrēto masu pārlej tīros un tam paredzētos plastmasa spaiņos. Ar centrifūgas palīdzību (6000 apgriezieni, 10 min) tiek atdalīta pārējā biomasa no barotnes. Pēdējos divus ciklus centrifūgā veic ar biomasu un destilētu ūdeni, lai pilnībā attīrītu mikroaļģu biomasu no barotnes



7.3.1. attēls. Izžāvēta mikroaļģu biomasa.

pārpalikumiem. Pēc skalošanas attīrīto biomasu pārliet uz silikona pannas un ievieto žāvskapī ar piespiedu konvekciju uz 60°C, lai iegūtu sausu biomasu (skat. 7.3.1. attēlu). Metode kopumā ir ērta un efektīva, taču nepieciešams laicīgi ieplānot biomasas atdalīšanu no barotnes, lai pārtrauktu CO₂ plūsmu vismaz 2 dienas pirms tās atdalīšanas.

Biomasas iekonzentrēšana, izmantojot dažādus flokulācijas reaģentus:

Kā vēl viena metode tika izmēģināta iekonzentrēšana, izmantojot dažādus flokulācijas reaģentus. Tie palīdz biomasai nogulsneties ievērojami ātrākā laika posmā. Tika izvēlēti trīs dažādi flokulenti – Al₂O₂S₃, Fe₂O₃ un hitozīns. Tika pārbaudītas arī dažādas to koncentrācijas – 1 g/l, 2,5 g/l un 5 g/l. Lai pārbaudītu flokulantu iedarbības ātrumu, stikla mēģenēs tika ieliets vienāds daudzums barotnes un mikroaļģes *Tetrademus obliquus* biomasas šķīdums. Iedarbība tika mērīta laikā – ik pēc 5 minūtēm uz stikla mēģenes tika veikta atzīme, līdz kurai atrodas biomasa koncentrētā daudzumā (skat. 7.3.2. attēlu). Eksperimentā labākos rezultātus uzrādīja Al₂O₂S₃

Lai gan metode ir iedarbīga, jāņem vērā, ka ķīmisku vielu pievienošana pat mazās koncentrācijās palielina risku to nonākšanai vidē vai cilvēku organismā, kas var radīt kairinājumu vai kaitējumu, turklāt lieko barotni jānovada kanalizācijā, kas ražošanas līmenī var ietekmēt arī ūdens ekosistēmu. Potenciālo risku dēļ tika izmēģinātas arī citas biomasas atdalīšanas metodes no barotnes. Tomēr kopumā arī šo metodi var kombinēt ar citām, lai paātrinātu barotnes atdalīšanas metodes. Svarīgs faktors ir rūpīga biomasas atmazgāšana ar ūdeni, lai pilnībā atbrīvotos no barotnes un pievienotā flokulenta pārpalikumiem.

Kā vēl viena metode biomasas atdalīšanai no barotnes tika pielietota keramiskās membrānas filtrācijas iekārta. Tās pamatā ir šķīduma iekonzentrēšana, balstoties uz poru izmēru. Molekulas tiek atdalītas, balstoties uz virzošā spēka (koncentrācijas, spiediena, temperatūras) starpībām. Tātad šķīdums spiediena ietekmē iet cauri membrānas filtram, kur cauri tiek tikai daļiņas, kas ir mazākas par poru izmēru, tāpēc tas ir labs filtrēšanas paņēmiens (Muñoz, Depraect 2021). Tomēr šī iemesla dēļ nepieciešamas specifiskas zināšanas, lietojot membrānas filtrācijas iekārtu, lai operatoram un apkārtējiem tas būtu droši.

108



7.3.3. attēls. Keramiskās membrānas filtrācijas iekārta darbībā.

Iekonzentrētā masa tiek papildus centrifugēta uz 6000 apgriezieniem 10 minūtes, lai atdalītu pāri palikušo barotni un beigās to atmazgātu ar destilētu ūdeni (vismaz divas reizes). Pēc skalošanas attīrīto biomasu pārliet uz silikona pannas un ievieto žāvskapī ar piespiedu konvekciju uz 60°C, 12 h, lai iegūtu sausu biomasu.

Jāmin, ka process nav drošs (ja nav pilnvērtīgas zināšanas tās pielietošanā) un vizuāli redzams, ka izfiltrētajā barotnē ir palikusi daļa biomasas, kas tikusi cauri filtram tās mazā izmēra dēļ. Tas ļauj secināt, ka metodes laikā ir biomasas zudumi. Iekārtas darbība ir lēna un skaļa, kas apgrūtina operatora darbu, turklāt beigās tiek iegūts koncentrāts, kurš papildus jāatdala no barotnes ar centrifūgas palīdzību, līdz ar to nepieciešamas papildus darbības, kas pie lielākiem apjomiem procesu vēl vairāk sarežģītu. Membrānas filtri laika gaitā var aizaugt un nestrādāt pilnvērtīgi, nepieciešama to regulāra nomaiņa, kas metodi arī padārdzina.

Secinājumi:

Ņemot vērā izmēģināto metožu plusus un mīnus, tika novērtēts, ka operatoram un videi drošākā metode, ņemot vērā arī metodes efektivitāti, ir **biomasas nostādināšana paaugstinātā pH, apvienojot ar centrifūgu**. Tās izpildei nepieciešamas vairākas dienas, taču to laikā ir iespējams veikt citas darbības un mikroaļģu biomasas pieaugums turpinās. Metodes pamatā nav nepieciešams pievienot papildus vielas, kā arī tās izpilde ir vienkārša un viegli saprotama. Metodi apvienojot ar biomasas atdalīšanu centrifūgā, efektivitāte palielinās. Visātrākā metode ir, izmantojot flokulentus, taču tā rada risku biomasai saturēt nevēlama ķīmiskās vielas.

7.4. PROTOKOLS: aļģu biomasas pārstrāde un ekstraktu ieguve

Mikroaļģu ekstraktu fizikālās un ķīmiskās īpašības ir atkarīgas no vairākiem faktoriem, tostarp ekstrakcijas veida, šķīdinātāju satura un attiecības, ekstrakcijas ilguma, izmantotās mikroaļģes, tās koncentrācijas u.c. Lai iegūtu mikroaļģu biomasas ekstraktu ar optimāliem parametriem un piemērotību kultūraugiem, nepieciešams analizēt datus gan par dažādu ķīmisku savienojumu un fizikālo parametru absolūtām vērtībām un atbilstību, gan pievērst uzmanību laika patēriņam un energoefektivitātei. Šī iemesla dēļ tika pētīti vairāki ekstraktu satura ietekmējošie faktori:

- Šķīdinātāju (etanola un ūdens) attiecība ekstraktā;
- Ekstrakcijas ilgums (0-24 h);
- Mikroaļģu (*Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis*) biomasas koncentrācija ekstraktā (25 – 200 g/L);
- Ekstrakcijas metodes, tās vienkāršība.

7.4.1. Ekstraktā esošo šķīdinātāju attiecība un ekstrakcijas laika izvēle, analīze

Izmantotās mikroaļģes: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*

Izmantotās iekārtas:

Iekārta	Modelis	Ražotājs
Spektrofotometrs	UV5Bio	Mettler toledo, Šveice
Vortekss	V-1	Biosan, Latvija
Analītiskie svāri	PLS 1200-3A	Kern&Sohn, Vācija
Dabiskas konvekcijas termostats (žāvkapis)	ED-S 115	Binder, Vācija

Eksperimenta gaita:

Paraugu sagatavošana eksperimentam:

1. 100 ml mērkolbās ar analītiskajiem svāriem tiek nosvērti 2,5 g mikroaļģu, ar pipetes palīdzību tiek pielieti klāt 50 ml šķīdinātāja;
2. Šķīdinātāji tiek pievienoti deviņās dažādās attiecībās (etanol:ūdens) – 0:1, 1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 3:1, 2:1, 1:9, 9:1. Tātad kopā tiek sagatavoti 18 dažādi paraugi. Pirms ekstrakcijas

eksperimenta uzsākšanas tie tiek samaisīti līdz sasniedz viendabīgu konsistenci, lai visa mikroaļģu biomasu ir izmirkusi šķīdinātājā.

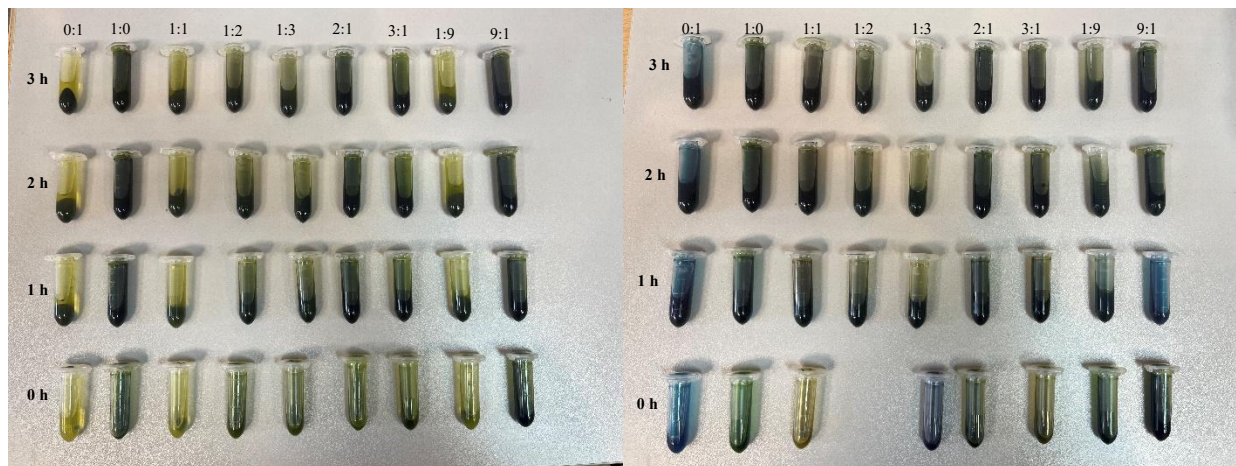
Eksperimenta uzstādījumi:

1. Pirms karsēšanas no katra sagatavotā mikroaļģu ekstrakta ar pipetes palīdzību tiek paņemti pirmie paraugi (2 ml), kas tiek ievietoti ependorfos (2 ml) un centrifugēti 5 minūtes 8000 rpm, lai iegūtu tīru paraugu (ekstraktu), bez biomasas vai citiem piemaisījumiem.
2. Mikroaļģu ekstrakti tiek ievietoti jau uzsildītā termostatā 70 °C. Temperatūra tika izvēlēta, balstoties uz etanola viršanas temperatūru, kas ir 78 °C - tā, lai eksperimenta temperatūra būtu tuvu etalona viršanas temperatūrai, bet to nepārsniegtu (skat. 7.4.1.1. attēlu).



7.4.1.1. attēls. Paraugu ievietošana termostatā.

3. Pirms laika uzskaites paraugi tiek 20 min karsēti, lai sasniegtu 70 °C. Pēc uzkarsēšanas tiek sākta laika uzskaitē un no katra ekstrakta pēc **1 h, 2 h, 3 h** un **24 h** tiek paņemti paraugi atbilstoši pirmajā eksperimenta punktā aprakstītajam. Jau vizuāli redzams, ka šķīdinātāju ietekme ir dažāda – būtiski atšķiras ekstraktu krāsa, kas variē dažādos dzeltenos, zaļos un zilos toņos (skat. 7.4.1.2. attēlu).



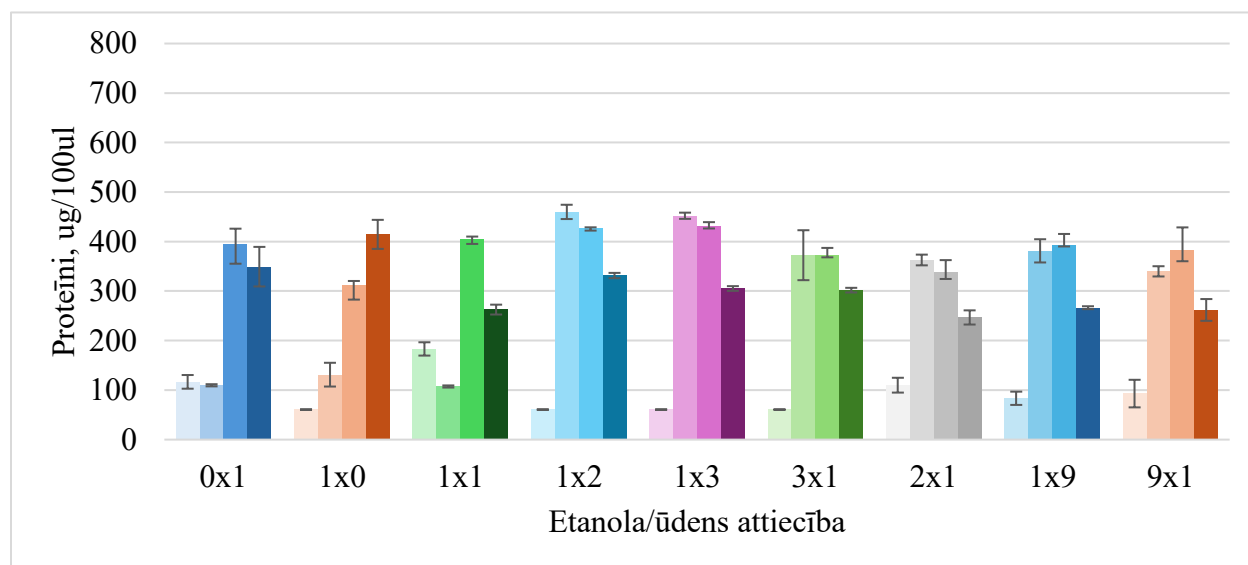
7.4.1.2. attēls. Iegūtie mikroaļģu ekstraktu paraugi pie dažādām šķīdinātāju attiecībām un karsēšanas laika .

Ievāktajiem ekstraktu paraugiem tiek noteikti vairāki parametri – **kopējais proteīnu daudzums, fenolu un flavonoīdu savienojumu daudzums – parametri, kurus iespējams noteikt laboratorijas apstākļos un kuri ir būtiski augu augšanas stimulēšanai, attīstībai.** Apkopotās vērtības ļauj secināt, kura šķīdinātāju attiecība un kurš laika intervāls sniedz labākos rezultātus.

Lai novērtētu dažādu šķīdinātāju ietekmi uz mikroaļģu ekstraktu sastāvu, viens no skatītajiem parametriem bija **proteīnu koncentrācija ekstrakta šķīdumā**. Tā tika noteikta, izmantojot iepriekš aprakstīto proteīnu koncentrācijas noteikšanas metodi. Rezultāti kopumā liecināja, ka pastāv būtiskas atšķirības proteīnu koncentrācijā atkarībā no vairākiem parametriem – etanola un ūdens attiecības šķīdumā, ekstrakcijas laika paaugstinātā temperatūrā un mikroaļģu sugas.

Skatoties uz eksperimenta datiem mikroaļģu sugai *Chlorella Vulgaris* (skat. 7.4.1.3. attēlu) pie dažādiem šķīdinātājiem, tika novērots, ka lielākā proteīnu koncentrācija tika sasniegta pēc 1-2 h karsēšanas uzsākšanas. Tomēr tika novēroti izņēmuma gadījumi - tīrā ūdenī augstākā proteīnu koncentrācija (aptuveni 400 µg/100µl) tika sasniegta vēlāk – pēc 2 un 3 h . Arī tīrā etanolā tika novērota tendence uz proteīnu koncentrācijas pieaugumu pie ilgāka karsēšanas laika. Visos

gadījumos sākuma vērtības jeb nulles paraugi iekrita robežās no 40 līdz 100 ug/100 ug proteīnu, kas ļauj izdarīt secinājumus par šķīdinātāja kā ietekmējošā parametra nozīmi attiecībā uz mikroaļģu ekstraktu sastāvu. Neskatoties uz karsēšanas ietekmi laikā, jebkura etanola/ūdens koncentrācija pie atbilstošiem otršķirīgiem parametriem sasniedz savstarpēji salīdzināmu rezultātu



7.4.1.3. attēls. Proteīnu koncentrācija (ug/100 ul) atkarībā no šķīdinātāja attiecībām laikā (0, 1, 2, 3h) *Chrorella vulgaris* (vidējā vērtība ± SD, n=2). Pie dažādiem šķīdinātājiem katrs stabīņš secīgi norāda uz rezultātu vidējo vērtību laikā.

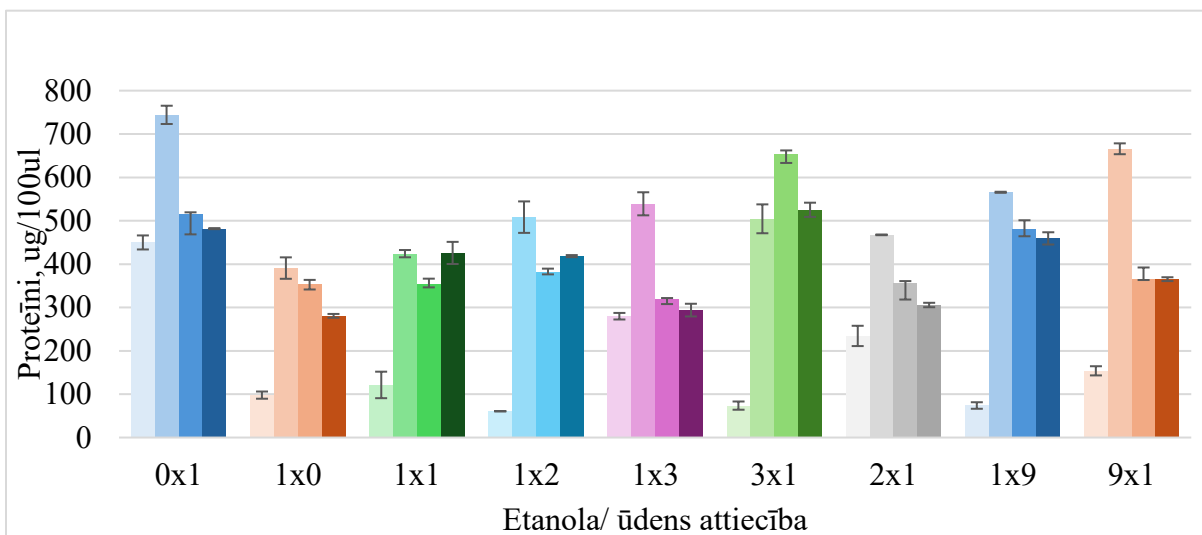
(aptuveni 400 ug/ 100 ul proteīnu).

Šī iemesla dēļ ir nepieciešams izvērtēt ekonomisko un laika patēriņa aspektu. Piemēram, augstākas proteīnu koncentrācijas iegūšanai izdevīgāk ir izmantot šķīduma attiecību 1:2 (etanols:ūdens), salīdzinot ar tīru etanolu (1:0) kā šķīdinātāju, jo 1:2 gadījumā pēc stundas ir sasniegta līdzvērtīgi augsta proteīnu koncentrācija, kamēr 1:0 gadījumā nepieciešama par 2 stundām ilgāka karsēšana, kas ir energoneefektīvāk. 1:2 gadījumā nepieciešams par 2/3 mazāk etanola kā šķīdinātāja, to aizvietojo ar ūdeni, kas, no ražošanas viedokļa, ir krietni lētāk.

No iepriekš aprakstītajiem rezultātiem un atziņām, var secināt, ka efektīvākās šķīdinātāju (etanols:ūdens) attiecības ir 0:1, 1:1, 1:2 un 1:3.

Skatoties uz eksperimenta rezultātiem mikroaļģei *Spirulina platensis* (skat. 7.4.1.4. attēlu), var secināt, ka augstāka proteīnu koncentrācija tiek sasniegta ūdens šķīdumā, salīdzinājumā ar mikroaļģu ekstraktu, kur pievienots spirts. Ja tiek apskatīts proteīnu daudzums, mikroaļģes *Spirulina platensis* gadījumā ūdens būs efektīvākais šķīdinātājs. Eksperimentā jau pie nulles

parauga tika sasniegta aptuveni 450 ug/100 ul proteīnu koncentrācija un pēc 1 h karsēšanas tā pieauga līdz ~750 ug/100 ul. Interesanti, ka, turpinot ekstrakta karsēšanu, proteīnu koncentrācija samazinājās, kas tika novērots daļā citu gadījumu gan *Spirulina platensis*, gan *Chlorella vulgaris* mikroaļģu ekstraktos. Tas var būt saistīts ar proteīnu degradēšanos pie ilgāka karsēšanas laika augstā temperatūrā, iespējams to oksidēšanos. Tomēr jāņem vērā, ka, sasniedzot maksimālo proteīnu koncentrāciju ekstraktā, tas nenozīmē, ka visi proteīni no mikroaļģu šūnām ir ekstrahēti un nonākuši šķīdumā. Gan papildus proteīnu ekstrahēšanās šķīdumā, gan to iespējamā degradācija



7.4.1.4. attēls. Proteīnu koncentrācija (ug/100 ul) atkarībā no šķīdinātāja attiecībām laikā (0, 1, 2, 3h) *Spirulina platensis* (vidējā vērtība $\pm$ SD, n=2). Pie dažādiem šķīdinātājiem katras stabiņš secīgi norāda uz rezultātu vidējo vērtību laikā.

noris vienlaikus, tāpēc nepieciešams atrast optimālo ekstrakcijas laiku.

Spirulina platensis gadījumā ekstraktu ar augstāko proteīnu koncentrāciju un vienlaikus efektīvāku resursu izmantošanu, iespējams sasniegt pēc 1 stundas karsēšanas tīrā ūdenī, un šķīduma attiecībā 1:2, 1:1 un 1:3. Tomēr tīrā ūdenī ekstraktus nebūtu ieteicams uzglabāt ilgāku laiku, jo iespējama to ātrāka kontaminācija atšķirībā no ekstraktiem ar etanola klātbūtni, tātad ilgstošai uzglabāšanai būtu nepieciešama arī etanola klātbūtne.

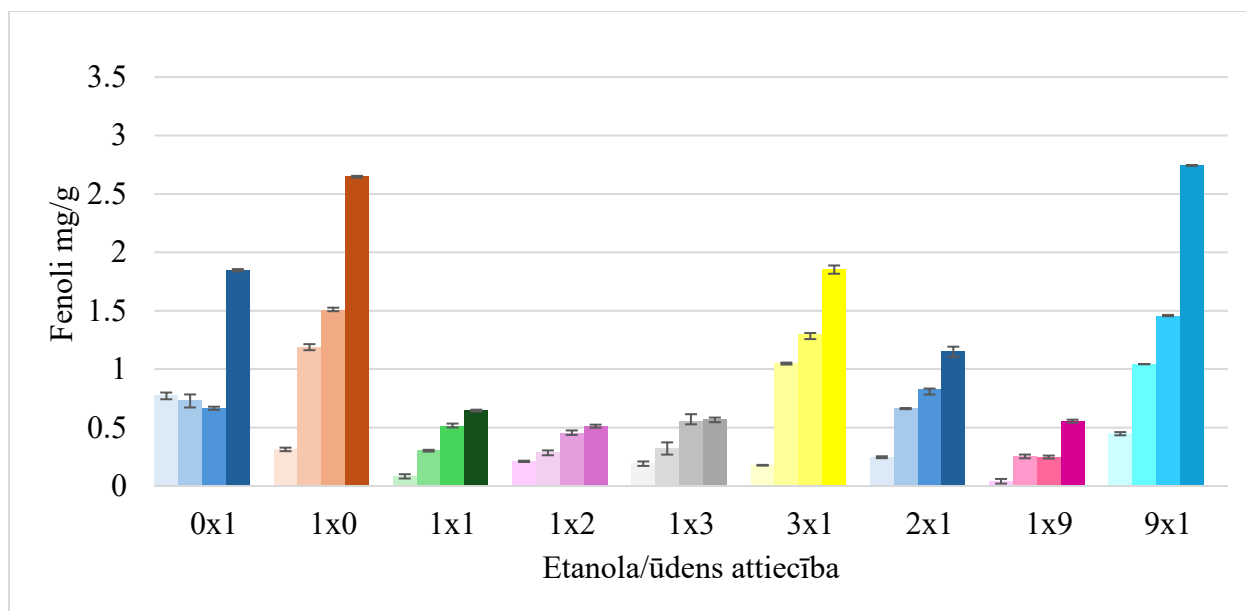
Kā nozīmīgs mikroaļģu ekstraktu raksturojošais parametrs ir **kopējo fenolu koncentrācija šķīdumā**. Tiem ir pozitīva ietekme uz augiem. Augu fenoli parasti ir iesaistīti aizsardzībā pret ultravioleto starojumu vai patogēnu, parazītu un plēsēju agresiju, kā arī veicina augu krāsas veidošanos (skat. literatūras apskata 4.1. sadaļu).

Līdzīgi kā ar proteīniem, arī kopējo fenolu koncentrāciju eksperimentā ietekmēja mikroaļģu suga, šķīdinātāju attiecība un karsēšanas laiks. Atšķirībā no proteīnu koncentrācijas, kas laikā variēja, fenolu koncentrācija gandrīz visos gadījumos turpināja pieaugt pie ilgākas karsēšanas, neatkarīgi no mikroaļģu sugas un šķīdinātāja attiecības. Tā ir būtiska atziņa, jo dažādu raksturojošu parametru novērtējuma (piemēram, kāda ķīmiska savienojuma koncentrācijas noteikšana ekstrakta šķīdumā) mērķis ir izpētīt, pie kādiem apstākļiem maksimāli liels intracelulārais (iekššūnu) savienojumu daudzums ir nokļuvis šķīdumā. Ja tiek pētīti kopējo fenolu daudzums, var secināt, ka pēc 24h karsēšanas būtiski lielāks to daudzums ir nonācis ārpus šūnas un ekstrakts ir kvalitatīvāks un piemērotāks augu apsmidzināšanai, ja tā ir konkrētā mērķviela. Tomēr ir jāņem vērā dažādu raksturojošu savienojumu kopskats - pēc ekstraktu ilgas pakļaušanas karsēšanai proteīni sāks neatgriezeniski degradēties un šo savienojumu efekts uz augiem būs samazināts. Līdzīgi var notikt arī ar citiem augiem nepieciešamiem savienojumiem mikroaļģu ekstraktā, kas ir karstuma neizturīgi vai jutīgi.

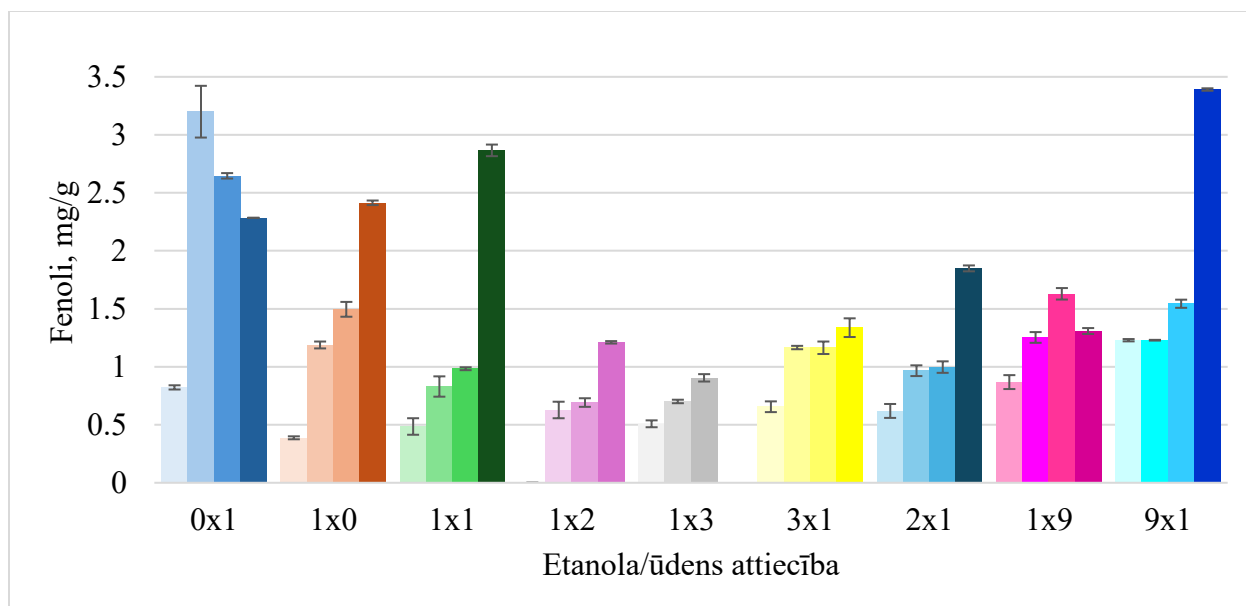
Atšķirībā no proteīnu koncentrācijas ekstraktos, kur tika novērotas būtiskas atšķirības atkarībā no mikroaļģu sugas, fenolu rezultāti liecina, ka gan *Chlorella vulgaris*, gan *Spirulina platensis* augstākās fenolu koncentrācijas ekstraktos ir savstarpēji salīdzināmas un ir robežās no 2 līdz 3 mg/g. Galvenā atšķirība ir *Spirulina platensis* nulles parauga kopējo fenolu rādītājs (2-4 reizes augstāks). Tas nozīmē, ka bez papildus apstrādes ar karsēšanu, šīs mikroaļģes biomasas ekstrakts būs ar lielāku kopējo fenolu daudzumu, salīdzinot ar *Chlorella vulgaris*.

Novērtējot šķīdinātāja ietekmi uz kopējo fenolsavienojumu koncentrāciju ekstraktā, var secināt, ka *Chlorella vulgaris* gadījumā (skat. 7.4.1.5. attēlu) optimālā etanola: ūdens attiecība ir 0:1, 1:0, 3:1 un 9:1; *Spirulina platensis* – 0:1, 1:0, 1:1 un 1:9 (skat. 7.4.1.6. attēlu).

Salīdzinot proteīnu un fenolu koncentrācijas rezultātus, var secināt, ka no šiem parametriem efektīvākos un koncentrētākos mikroaļģu ekstraktus ir iespējams ražot, ja *Chlorella vulgaris* izmanto 0:1, 1:0 un 1:1 (2 līdz 3 h karsēšana), un *Spirulina platensis* 0:1, 1:0 un 1:1 (1 h karsēšana). Šāds secinājums tika ņemts vērā ne tikai pēc absolūtā konkrētā ķīmiskā savienojuma augstākā rezultāta, bet arī šķīdinātāja izmaksām, laika un enerģijas patēriņa un savstarpējā proteīnu un kopējo fenolu salīdzinājuma pie konkrētajiem apstākļiem.



7.4.1.5. attēls. Fenolu koncentrācija (mg/ 1g mikroaļģes biomasas ekstraktā) ekstraktos atkarībā no šķīdinātāja attiecībām laikā (0, 1, 2, 24 h) *Chlorella vulgaris* (vidējā vērtība $\pm$ SD, n=2). Pie dažādiem šķīdinātājiem katrs stabiņš secīgi norāda uz rezultātu vidējo vērtību laikā.



7.4.1.6. attēls. Fenolu koncentrācija (mg/ 1g mikroaļģes biomasas ekstraktā) ekstraktos atkarībā no šķīdinātāja attiecībām laikā (0, 1, 2, 24 h) *Spirulina platensis* (vidējā vērtība $\pm$ SD, n=2). Pie dažādiem šķīdinātājiem katrs stabiņš secīgi norāda uz rezultātu vidējo vērtību laikā.

7.4.2. Ekstraktā esošo mikroaļģu koncentrācijas izvēle, analīze

Otrajā eksperimenta daļā tiek pārbaudīta mikroaļģu biomasas koncentrācijas (g/L) ietekme uz ekstraktu savienojumu parametriem. Šī parametra noskaidrošana ir būtiska, lai saprastu optimālo mikroaļģu biomasas koncentrāciju, lai rezultātā proporcionāli pēc iespējas vairāk šūnas tiktu sagrautas un intracelulārais materiāls nonāktu šķīdinātājā.

Izmantotās mikroaļģes: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*

Izmantotās iekārtas:

Iekārta	Modelis	Ražotājs
Spektrofotometrs	UV5Bio	Mettler toledo, Šveice
Vortekss	V-1	Biosan, Latvija
Analītiskie svāri	PLS 1200-3A	Kern&Sohn, Vācija
Dabiskas konvekcijas termostats (žāvkapis)	ED-S 115	Binder, Vācija

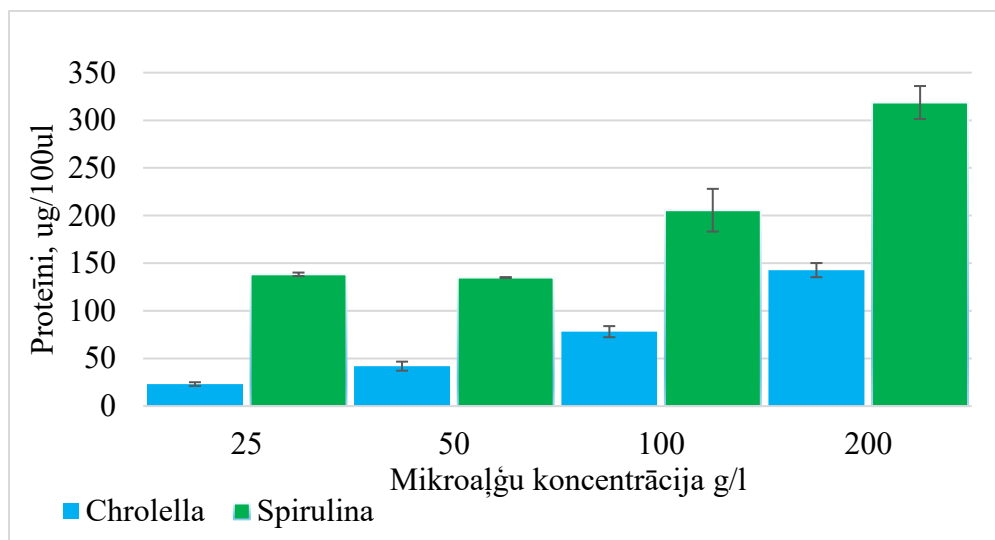
Eksperimenta gaita:

Paraugu sagatavošana eksperimentam:

1. 100 ml mērkolbās ar analītisko svaru palīdzību tiek iesvērts mikroaļģu paraugs (gan *Spirulina platensis*, gan *Chlorella vulgaris*) – 1,25 g, 2,5 g, 5 g, un 10 g. Katram paraugam divi atkārtojumi. Visiem paraugiem pievieno 25 ml destilēta ūdens un 25 ml 99% spirta – tā, lai šķīdinātāju attiecība būtu 1:1. Tātad tiek iegūti 8 paraugi ar četrām dažādām mikroaļģu koncentrācijām – 25 g/L, 50 g/L, 100 g/L un 200 g/L. Pirms ievietošanas termostatā tie tiek kārtīgi samaisīti.
2. Mikroaļģu ekstrakti tiek ievietoti jau uzsildītā termostatā 70 °C. Pirms laika uzskaites paraugi tiek 20 min karsēti. Tos karsē vienu stundu.
3. Pēc karsēšanas paraugi tiek atkārtoti samaisīti un tiek pipetēti ependorfos (2 ml).
4. Iegūtie mikroaļģu ekstrakti tiek centrifugēti (5 min 8000 rpm) un ielikti saldētavā (-18 °C) pirms tālākas analīžu veikšanas.

Ievāktajiem ekstraktu paraugiem atkārtoti tiek noteikti vairāki parametri – **kopējais proteīnu daudzums, fenolu un flavonoīdu savienojumu daudzums**. Apkopotās vērtības ļauj secināt, kura mikroaļģu koncentrācija sniedz labākos rezultātus.

Rezultāti: **proteīnu koncentrācijas** šķīdumā rezultāti abām mikroaļģu sugām norādīja uz to pieaugumu, pieaugot biomasas koncentrācijai (skat. 7.4.2.1. attēlu). Pie 25 g/L *Chlorella*



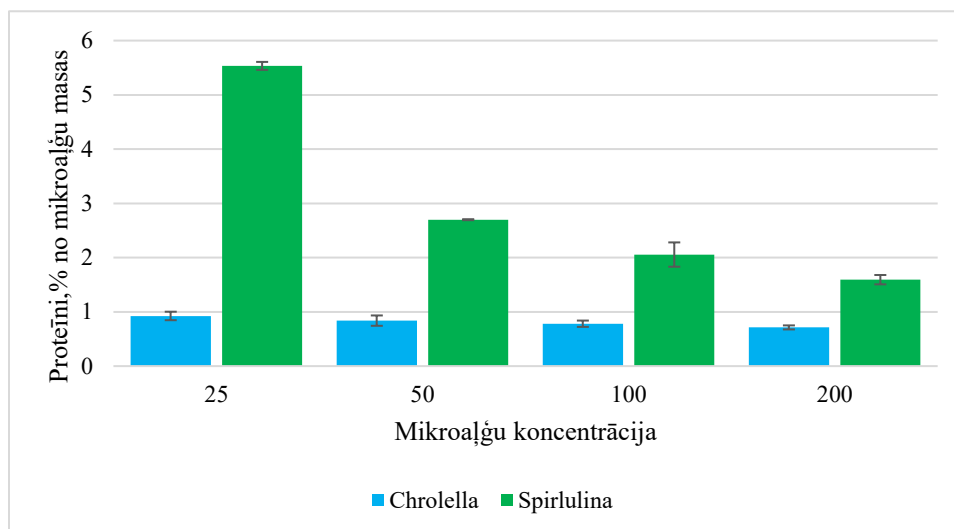
7.4.2.1. attēls. Proteīnu koncentrācija ekstraktā atkarībā no mikroaļģu sugas un koncentrācijas 1:1 et/H₂O šķīdumā (vidējā vērtība ± SD, n=4).

vulgaris proteīnu koncentrācija ir aptuveni 20 µg/100µl, savukārt pie 200 g/L tā ir gandrīz 150 µg/100µl, kas ir aptuveni astoņas reizes vairāk. Arī *Spirulina platensis* uzrādīja paaugstinātus rezultātus pie augstākas biomasas koncentrācijas - pieaugums 2 reizes lielāks (salīdzinot ar zemāko koncentrāciju).

Visos gadījumos *Spirulina platensis* uzrādīja vismaz divas reizes augstākus rezultātus par *Chlorella vulgaris*, īpaši augstāki (pat septiņas reizes) tie ir koncentrācijā 25 g/L. Tomēr tas nenozīmē, ka pie konkrētajiem apstākļiem *Spirulina platensis* ir efektīvākie ekstrakcijas apstākļi. Tas var būt saistīts ar mikroaļģu dažādo šūnu struktūru un atšķirības proteīnu koncentrācijā uz 1 g sausas biomasas. Tas nozīmē, ja nepieciešams iegūt proteīniem bagātāku ekstraktu, izmantojot pēc iespējas mazāk resursu (mikroaļģu biomasas), vieglāk to būs panākt ar *Spirulina platensis*.

Lai novērtētu proteīnu ekstrakcijas efektivitāti attiecībā pret izmantoto biomasu, absolūtie rezultāti tika pārrēķināti uz ekstrahēto proteīnu procentuālo daudzumu attiecībā pret vienu gramu biomasas (skat. 7.4.2.2. attēlu). Interesanti, ka *Chlorella vulgaris* pie visām eksperimentā iekļautajām biomasas koncentrācijām uzrādīja, ka aptuveni 1% no mikroaļģu masas nonāca šķīdumā kā proteīni. Šīs nemainīgās vērtības pie dažādām biomasas koncentrācijām liecina par lineāru sakarību starp proteīnu koncentrāciju un sākotnēji izmantoto biomasu pie iekļautajām biomasas koncentrācijas vērtību robežām. Īsāk sakot, biomasas koncentrācijā no 25 līdz 200 g/L *Chlorella vulgaris* proteīnu koncentrācija ekstraktā pieaug tieši proporcionāli biomasai, līdz ar to

efektīvāk ir izmantot koncentrētu *Chlorella vulgaris* biomasas ekstraktu, ko pēc tam iespējams atšķaidīt līdz nepieciešamajai koncentrācijai, nezaudējot ekstrahēto proteīnu daudzumu.

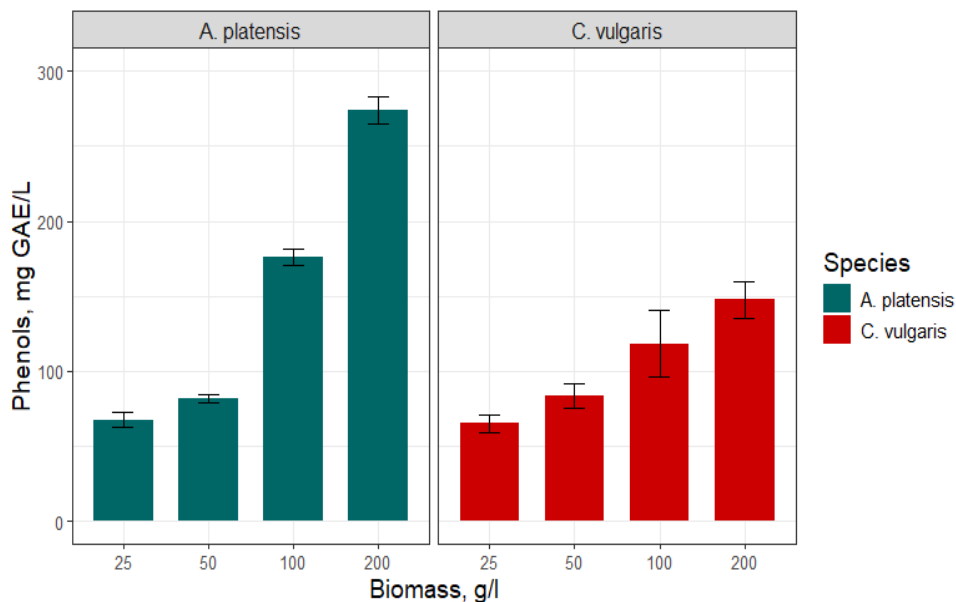


7.4.2.2. attēls. Ekstrahētie proteīni no 1 g mikroaļģu biomasas mg/g atkarībā no mikroaļģu koncentrācijas 1:1 et:H₂O šķīdumā (vidējā vērtība ± SD, n=4).

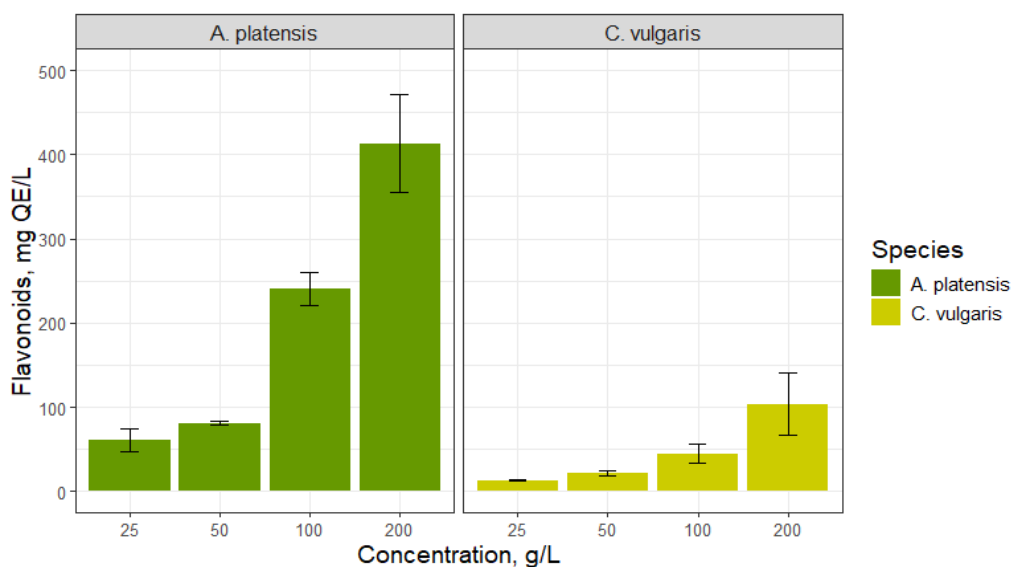
Šāda efektivitātes sakarība netika novērota *Spirulina platensis*. Pie biomasas koncentrācijas 25 g/L aptuveni 5,5% no biomasas masas tika ekstrahēti šķīdumā proteīnu veidā, bet pie 200 g/L – vien 1,5%. Tas nozīmē, ka no efektivitātes viedokļa, koncentrācijā 25 g/L tiks sasniegti par gandrīz 4 reizēm augstāki rādītāji uz vienu biomasas vienību. Tas saskan ar iepriekš aprakstītajiem rezultātiem, kur pie eksperimentā lielākās biomasas koncentrācijas salīdzinājumā ar mazāko *Chlorella vulgaris* bija novērojams gandrīz astoņas reizes liels pieaugums, kamēr *Spirulina* – divas.

Tomēr jāņem vērā ne tikai efektivitāte, bet arī kopējais ekstrakta ķīmiskais sastāvs. Nenoliedzami pie 200 g/l *S. platensis* uzrāda ievērojami augstākas proteīnu koncentrācijas vērtības nekā pie 25 g/l, neskatoties uz samazināto efektivitāti. Pat pie zemākās efektivitātes *Spirulina platensis* pie 200 g/l, šis rādītājs ir aptuveni divas reizes lielāks nekā *Chlorella vulgaris*, kas liecina par mikroaļģu sugas priekšrocībām. No iepriekš izteiktajām atziņām, var secināt, ka abām sugām proteīniem bagātākus ekstraktus iespējams iegūt pie biomasas 200 g/L. Efektivitātes rādītāji nozīmē, ka *Spirulina platensis* biomasu ir iespējams izmantot atkārtoti ekstraktu pagatavošanai pie lielākām biomasas koncentrācijām.

Apskatot kopējo fenolu un flavonoīdu savienojumus ekstraktos, redzams, ka tendence ir līdzīga (skat. 7.4.2.3.; 7.4.2.4. attēlu) – jo lielāka mikroaļģu biomasas koncentrācija, jo lielāks



7.4.2.3. attēls. Kopējo fenolu daudzums (mgGAE/l) mikroaļģu ekstraktos pēc 1 h karsēšanas 70°C sugām *A. Platensis* (jeb *S. Platensis*) un *C. vulgaris*; n=6 ±SD.



7.4.2.4. attēls. Kopējo flavonoīdu daudzums (mgQE/l) mikroaļģu ekstraktos pēc 1 h karsēšanas 70°C sugām *A. Platensis* (jeb *S. Platensis*) un *C. vulgaris*; n=6 ±SD.

savienojumu daudzums ekstraktā. Taču ir vairāki aspekti un secinājumi, uz kuriem jāvērs uzmanība. Pirmkārt, izteikti iezīmējas mikroaļģes *S. Platensis* priekšrocības, jo gan fenolu, gan flavonoīdu savienojumu gadījumā rezultāti ir divas vai pat četras reizes lielāki, salīdzinot ar *C. vulgaris*. Vērtējot tikai relatīvos skaitļus, lai iegūtu mikroaļģu biomasas ekstraktus, kas ir bagāti ar fenoliem un flavonoīdiem, nepieciešams ekstrahēt *S. platensis* koncentrācijā 200 g/l. Apskatot

produktīvāko koncentrāciju, kas izriet no ekstrahēto vielu daudzuma ņemot vērā mikroaļģu biomasas koncentrāciju, tad labākie rezultāti ir redzami pie biomasas daudzuma 25 g/l, īpaši *C. vulgaris*, *S. platensis* produktivitāte starp koncentrācijām atšķiras mazāk, taču arī tendence vienāda – jo lielāka koncentrācija, jo mazāka produktivitāte, ja vērtē ekstrahēto fenolu un flavonoīdu daudzumu uz 1 g mikroaļģes. Tas nozīmē, ka efektīvāks resursu patēriņš ir pie mazākām biomasas koncentrācijām ekstraktā, taču jāņem vērā arī laika faktors, jo mazāku mikroaļģu biomasas koncentrāciju izmantošana palielinātu šķīdinātāju patēriņu, kā arī ekstraktu apstrādes laiku, **līdz ar to 50-100 g/l būtu optimālākā koncentrācija.**

7.4.3. Mikroaļģu ekstrahēšanas metodes un to ietekme uz ekstraktu fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām

Trešajā eksperimenta daļā tiek pārbaudīta mikroaļģu ekstrahēšanas metodes un to ietekme uz ekstraktu fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām. Kopumā tika apskatītas - dažādu temperatūru ietekme, ultraskaņas homogenizatora ietekme, sonicējot dažādos laika intervālos un šķīdinātāju attiecībā, kā arī mikroaļģu apstrāde, izmantojot mikroviļņus.

Izmantotās mikroaļģes: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*

Izmantotās iekārtas:

Iekārta	Modelis	Ražotājs
Spektrofotometrs	UV5Bio	Mettler toledo, Šveice
Vortekss	V-1	Biosan, Latvija
Analītiskie svāri	PLS 1200-3A	Kern&Sohn, Vācija
Dabiskas konvekcijas termostats (žāvkapis)	ED-S 115	Binder, Vācija
Ultraskaņas homogenizators	GM 4200	BANDELIN electronic GmbH & Co. KG, Vācija

Eksperimenta gaita:

Paraugu sagatavošana ekstrakcijai verdošā ūdens peldē.

1. Mērkolbās (100 ml) ar analītisko svaru palīdzību tiek iesvērti 2,5 g mikroaļģu, klāt tiek pipetēts 100 ml destilēts ūdens. Katram paraugam divi atkārtojumi. Paralēli 2 L katliņā tiek karsēts ūdens līdz vārīšanās temperatūrai.
2. Mērkolbās esošais šķīdums ar stikla nūjiņas palīdzību tiek kārtīgi izmaisīts, lai tas būtu viendabīgs. Pēc homogenizēšanas un pirms karsēšanas no katra parauga tiek paņemti 1 ml

un pipetēti ependorfos (2 ml), lai analizētu ekstraktu parametrus pirms karsēšanas.



7.4.3.1. Attēls. Mikroaļģu biomasas ekstrahēšana verdošā ūdenī.

3. Tālāk paraugi mērkolbās tiek likti mērcēties katlīnā esošajā verdošajā ūdenī (skat. 7.4.3.1. attēlu). Pēc 15 min, 30 min, 45 min, 1 h un 1 h 15 min ar pipetes palīdzību paraugi tiek atkārtoti samaisīti, paņemti paraugi (1 ml) un ievietoti ependorfos. Pēc paraugu atdzišanas tiem klāt tiek pipetēts 1 ml etanola, lai iegūtu šķīdinātāju attiecību 1:1, kā arī nodrošinātu, ka nenotiek paraugu kontaminācija.
4. Sagatavotie paraugi tiek uzglabāti saldētavā (-18 °C) līdz tālākām analīzēm. Pirms paraugu analizēšanas tie tiek centrifugēti 5 min 8000 rpm, lai atdalītu šķidro daļu no mikroaļģu biomasas.

Tā kā netika iegūti statistiski būtiski dati par karsēšanas laika un mērķsavienojumu (proteīni, fenoli, flavonoīdi) daudzuma atšķirību ekstraktos, kā arī rezultāti bija 2-4 reizes mazāki nekā sonicēšanas (ekstrakcija ar ultraskaņas homogenizatoru) gadījumā, šī ekstrahēšanas metode tālāk netika apskatīta.

Paraugu sagatavošana ultraskaņas homogenizatora ietekmes analīzei.

1. Mērkolbās (100 ml) ar analītisko svaru palīdzību tiek iesvērti 2,5 g mikroaļģu biomasas, pirmajā kārtā klāt tiek pipetēts 50 ml destilēts ūdens un 50 ml etanols, lai šķīdinātāju attiecība ir 1:1, bet mikroaļģu koncentrācija 25 g/L, bet otrajā eksperimenta kārtā tiek

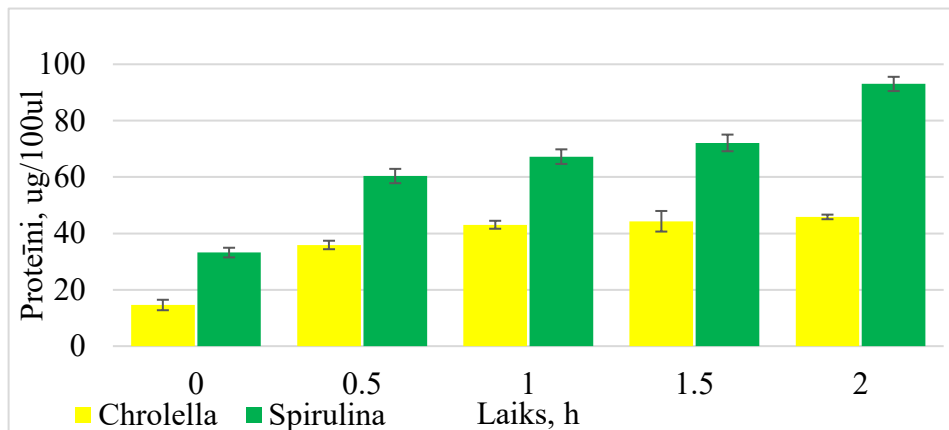
pipetēts klāt tikai tīrs ūdens 100 ml, saglabājot mikroaļģu koncentrāciju 25 g/L. Katram paraugam četri atkārtojumi.

2. Mikroaļģu biomasas ekstraktu paraugu sagrauj ar ultraskaņas homogenizatoru dažādos laika intervālos (30 min, 1 h, 1,5 h un 2 h), 20 kHz 100% amplitūdā.
3. Pēc katra norādītā laika tiek paņemti paraugi un pipetēti ependorfos (2 ml). Paraugi tiek centrifugēti 5 min 8000 rpm, lai atdalītu šķidro daļu no mikroaļģu biomasas.
4. Tie tiek uzglabāti saldētavā (-18 °C) līdz tālākām analīzēm.

Sonicēšanas rezultāti šķīdinātāju (etanols:ūdens) attiecībā 1:1 un 0:1

Lai noskaidrotu sonicēšanas laika ietekmi uz mikroaļģu ekstraktu kvalitāti, tika analizēti proteīni, kopējo fenolu un flavonoīdu savienojumi ekstraktos. No iepriekšējiem rezultātiem kā labākie šķīdinātāji (etanols:ūdeni) tika izvirzīti 1:1 un 0:1 (tīrs ūdens).

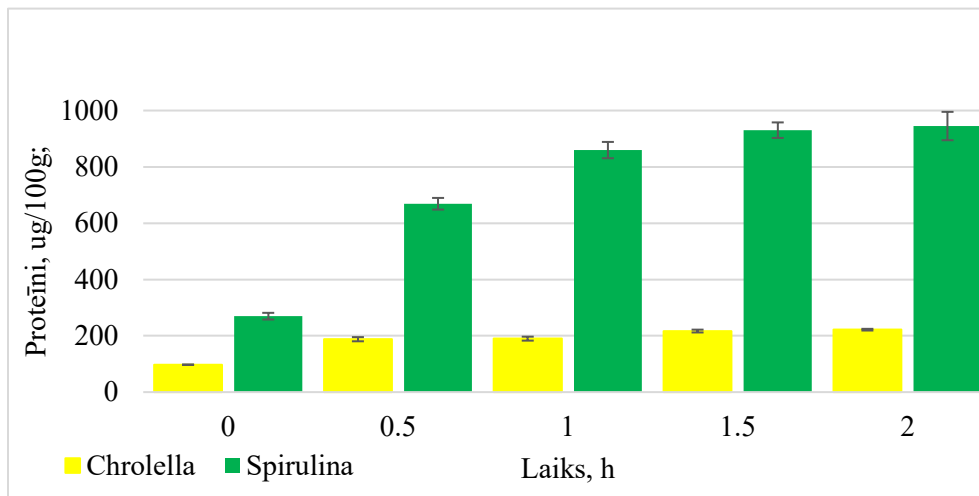
Apskatot **proteīnu koncentrāciju** ekstraktos dažādos šķīdumos (skat. 7.4.3.2., 7.4.3.3. attēlu), var secināt, ka to daudzums tīrā ūdenī ir būtiski lielāks nekā spirta:ūdens šķīdumos. Ūdenī abām mikroaļģēm proteīnu koncentrācija ekstraktos ir aptuveni desmit reizes lielāka nekā spirta:ūdens (1:1) šķīdumā. Pie tik lielām atšķirībām, svarīgi ir novērtēt arī citu savienojumu koncentrāciju ekstraktos, jo šajā gadījumā šķīdinātājam ir liela ietekme uz to ķīmisko sastāvu, neskatoties uz mehāniskās ekstrahēšanas metodes (sonicēšanas) pielietojumu.



7.4.3.2. attēls. Proteīnu koncentrācija (ug/100ul) mikroaļģu ekstraktos atkarībā no sonicēšanas laika (0, 0.5, 1, 1.5, 2 h) un mikroaļģu sugas 50% **ūdens/etanola šķīdumā** (vidējā vērtība ± SD, n=4).

Pie abiem šķīdinātājiem tika novērotas vienādas sakarības attiecībā uz sonicēšanas laika ietekmi. *Chlorella vulgaris* proteīnu koncentrācija būtiski pieauga pie 30 min ekstrahēšanas un

tālāka apstrāde ar šo metodi nedeva ievērojami lielāku proteīnu koncentrācijas pieaugu. Savukārt, *Spirulina platensis* pie abiem šķīdinātājiem tika novērots ievērojams proteīnu koncentrācijas pieaugums laikā – procentuāli lielākais pieaugums pēc 30 min (līdzīgi kā *Chlorella vulgaris*).

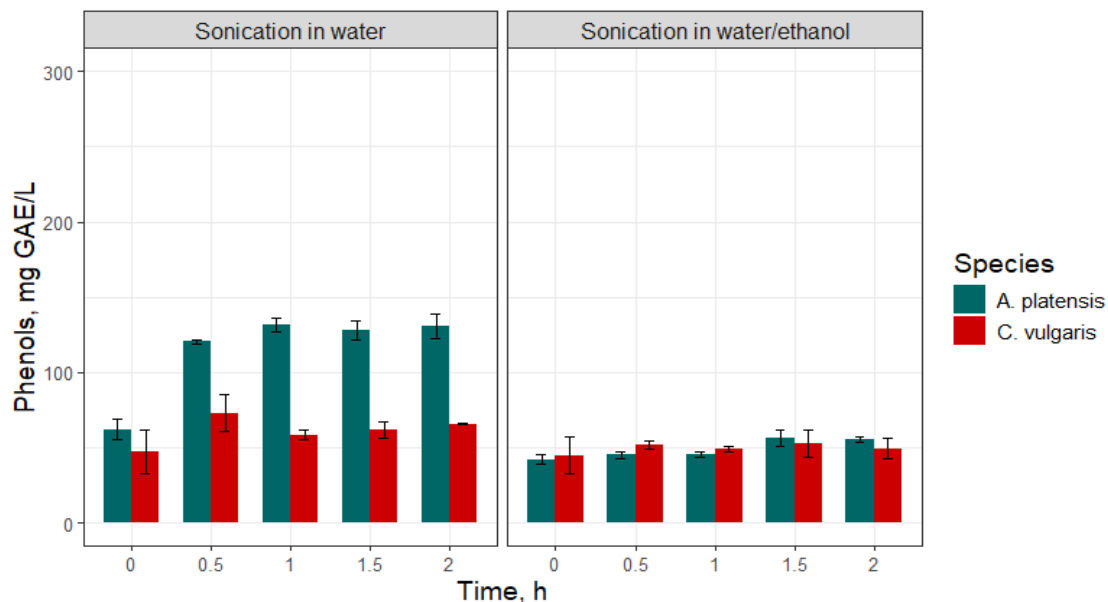


7.4.3.3. attēls. Proteīnu koncentrācija (ug/100ul) mikroaļģu ekstraktā **ūdenī** atkarībā no sonicēšanas laika (h) un mikroaļģu sugas (vidējā vērtība $\pm$ SD, n=4).

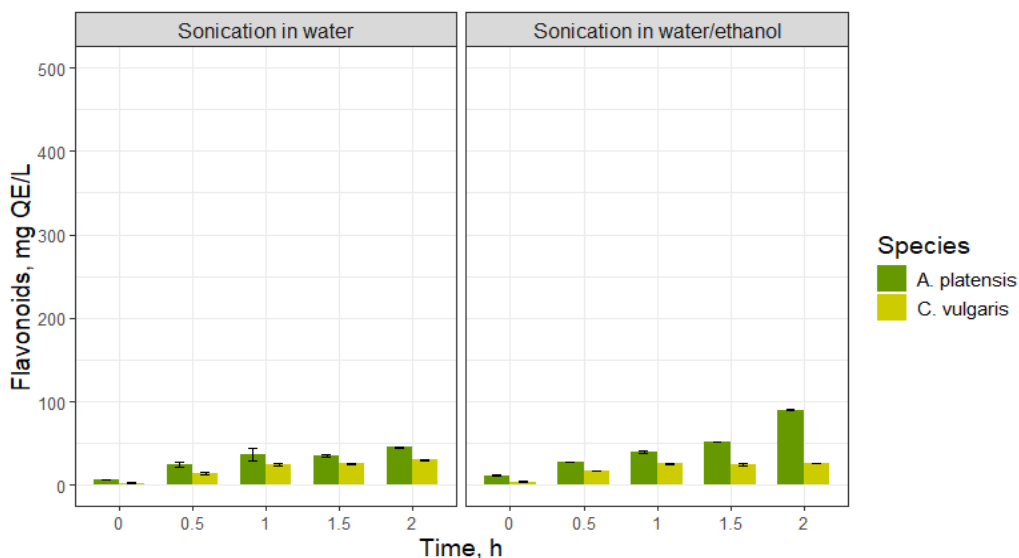
No tā var secināt, ka abus mikroaļģu ekstraktus ir vērts pakļaut vismaz 30 min ultraskaņas homozigonēšanai, pēc šī laika ekstrakcijas efektivitāte ievērojami samazinās, taču turpina pieaugt.

Salīdzinoši līdzīga tendence vērojama arī kopējo fenolu savienojumu analīzē. Augstākie rādītāji ir, sonicējot mikroaļģu biomasu tīrā ūdenī (skat. 7.4.3.4. attēlu). Mikroaļģu ekstraktā ūdenī vēl aizvien iezīmējas tendence, kur mikroaļģei *S. platensis* ir praktiski divas reizes augstāki rezultāti, salīdzinot ar *C. vulgaris*, kā arī lielākais parametra kāpums novērojams pēc 30 min apstrādes. Apstrādājot ilgāk, novērojams tikai nebūtisks savienojuma pieaugums ekstraktā, līdz ar to, ņemot vērā laika patēriņu, ilgāk par 30 min ekstrakciju nav nepieciešams veikt. Nedaudz citādāka tendence ir kopējo fenolu savienojumu gadījumā šķīdinātājos etanols:ūdens (1:1) – to daudzums pieaug ļoti minimāli un abām mikroaļģu sugām līdzvērtīgi, rezultāti, īpaši *S. platensis* gadījumā, ir ievērojami zemāki, nekā mikroaļģu biomasu ekstrahējot tīrā ūdenī.

Kopējo flavonoīdu savienojumu gadījumā vērtības ir ievērojami mazākas (skat. 7.4.3.5. attēlu). Mikroaļģu biomasas ekstrakti ūdenī saglabā to pašu tendenci – labākie rezultāti ir mikroaļģei *S. platensis*, kā arī lielākais pieaugums vērojams pēc 30 min apstrādes. Ekstrahējot ūdens:etanolā šķīdumā flavonoīdu daudzums *S. platensis* gadījumā pieaug proporcionāli ekstrakcijas laikam, līdz ar to šajā gadījumā ilgāka apstrāde ir svarīga. Šī tendence nav *C. vulgaris*.



7.4.3.4. attēls. Kopējo fenolu koncentrācija (mgGAE/l) mikroaļģu ekstraktos atkarībā no sonicēšanas laika (0, 0.5, 1, 1.5, 2 h), mikroaļģu sugas un izmantotajiem šķīdinātājiem (tīrs ūdens vai ūdens:etanolis (1:1)) (vidējā vērtība $\pm$ SD, n=6).



7.4.3.5. attēls. Kopējo flavonoīdu koncentrācija (mgQE/l) mikroaļģu ekstraktos atkarībā no sonicēšanas laika (0, 0.5, 1, 1.5, 2 h), mikroaļģu sugas un izmantotajiem šķīdinātājiem (tīrs ūdens vai ūdens:etanolis (1:1)) (vidējā vērtība $\pm$ SD, n=6).

Ņemot vērā visus apskatītos parametrus konkrētajā ekstrakcijas metodē, labākie rezultāti novērojami mikroaļģei *S. platensis* praktiski visu savienojumu analīzē. Ņemot vērā ekstrakcijas metodes efektivitāti, tiek secināts, ka nepieciešamais sonicēšanas laiks ir aptuveni 30 min, ja nav nepieciešams ievērojami palielināt tieši kopējo flavonoīdu savienojumu daudzumu, kur ilgākam

ekstrakcijas laikam ir būtiskāka nozīme. Analizējot izmantotos šķīdinātājus, praktiski visos gadījumos labākus rezultātus sasniedza ekstrakcija tīrā ūdenī.

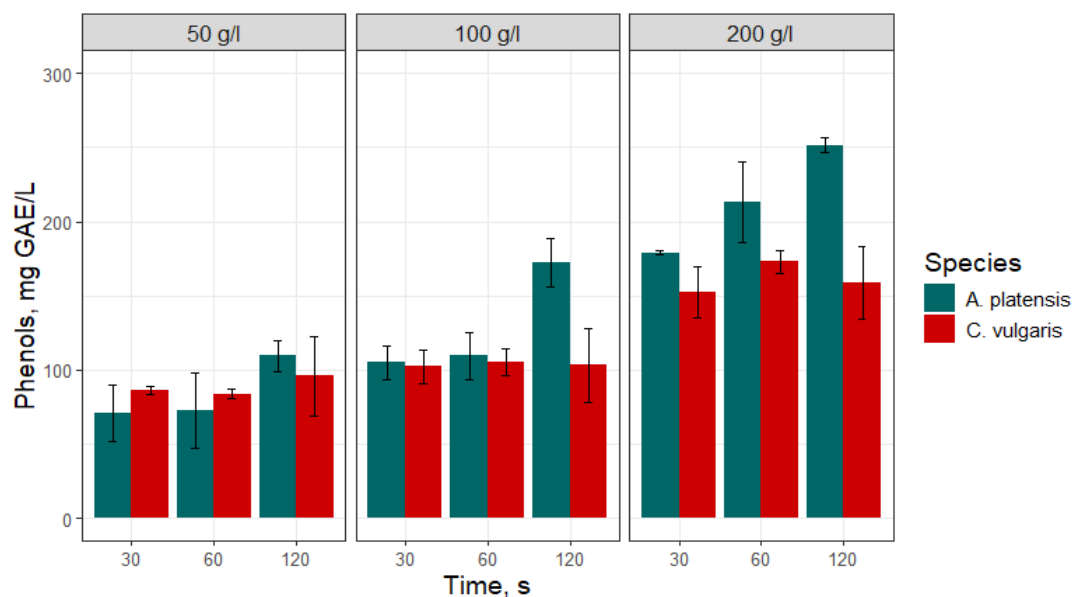
Paraugu sagatavošana mikroviļņu asistētās ekstrakcijas ietekmes analīzei.

1. Mērkolbās (100 ml) ar analītisko svaru palīdzību tiek iesvērti 2,5 g mikroaļģu biomasas. Klāt tiek pielieti klāt ūdens un etanols, lai šķīdinātāju attiecība ir 1:1, bet mikroaļģu koncentrācija 50, 100 un 200 g/L;
2. Mikroaļģu biomasas ekstraktu paraugu sagrauj ar mikroviļņiem mikroviļņu krāsnī dažādos laika intervālos (30, 60, 120 s) pie maksimālās jaudas.
3. Pēc katra norādītā laika tiek paņemti paraugi un pipetēti ependorfos (2 ml). Paraugi tiek centrifugēti 5 min 8000 rpm, lai atdalītu šķidro daļu no mikroaļģu biomasas.
4. Tie tiek uzglabāti saldētavā (-18 °C) līdz tālākām analīzēm.

Mikroviļņu asistētās ekstrakcijas rezultāti

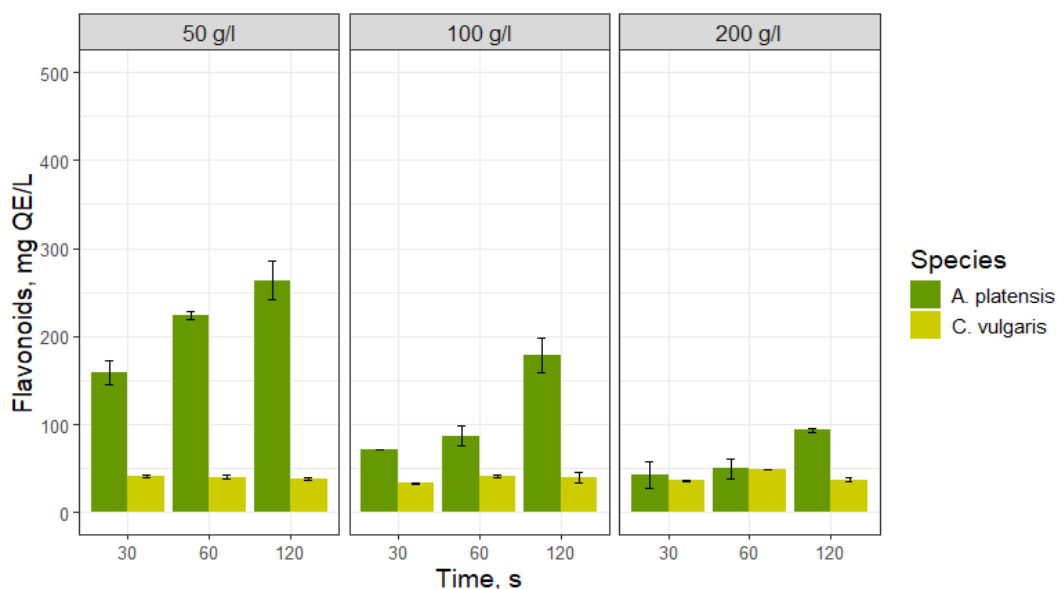
Mikroviļņu asistētajai ekstrakcijas metodei galvenās priekšrocības ir vienkāršība, pieejamība arī bez laboratorijas specifiskajām iekārtām, kā arī niecīgais laika patēriņš, kas nepārsniedz divas minūtes (pēc ilgākas apstrādes var ievērojam vairāk sākt iztvaikot šķīdinātāji), neskaitot parauga sagatavošanu. Tā kā eksperiments tika pakļauts lielākam karstumam, kur proteīni var degradēties, tika noteikti tikai fenolu un flavonoīdu savienojumi, kuriem ir viena no būtiskākajām pozitīvajām ietekmēm uz augiem.

Mikroviļņu asistētās ekstrakcijas gadījumā lielākā ietekme ir mikroaļģu biomasas koncentrācijai starp sugām un ekstrakcijas ilgumu (skat. 7.4.3.6. attēlu). Atšķirība starp sugām ir neliela, taču lielākās vērtības arī šajā gadījumā sasniedza mikroaļģe *S. platensis*. Konkrētajai mikroaļģei ir arī lielāka ietekme, analizējot ekstrakcijas laiku, taču, apskatot efektivitāti, labākie rezultāti ir pēc 30 sekundēm. Tā kā laika patēriņš ir ļoti mazs, šajā gadījumā ekstraktu var atdalīt no biomasas un atkārtoti pakļaut mikroviļņu starojumam, lai maksimāli iegūtu intracelulāro materiālu un pilnvērtīgi izmantotu resursus. Tas neattiecas uz mikroaļģi *C. vulgaris*, kurai ekstrakcijas laiks praktiski necik neietekmē vērtību iznākumu.



7.4.3.6. attēls. Kopējo fenolu koncentrācija (mgGAE/l) mikroaļģu ekstraktos atkarībā no mikroviļņu asistētās metodes laika (30, 60, 120 s), mikroaļģu sugas un koncentrācijas (šķīdinātājs ūdens:etanolis 1:1) (vidējā vērtība $\pm$ SD, n=6).

Kopējo flavonoīdu savienojumu gadījumā parādījās pretēja tendence – augstākās vērtības vērojamas mikroaļģei *S. platensis*, taču nevis pie lielākās biomasas koncentrācijas, bet gan mazākās (skat. 7.4.3.7. attēlu). Turklāt rezultāti ir par vairāk nekā divām reizēm lielāki, kas ir



7.4.3.7. attēls. Kopējo flavonoīdu koncentrācija (mgQE/l) mikroaļģu ekstraktos atkarībā no mikroviļņu asistētās ekstrakcijas laika (30, 60, 120 s), mikroaļģu sugas un koncentrācijas (šķīdinātājs ūdens:etanolis 1:1) (vidējā vērtība $\pm$ SD, n=6).

negaidīts rādītājs. Tas varētu būt saistīts ar šķīdinātāja daudzumu – iespējams pie lielākām koncentrācijām šķīdinātāja daudzums ir pārāk mazs, lai pilnvērtīgi ekstrahētu flavonoīdus. Pie mazākām koncentrācijām šī attiecība varētu būt labāka, līdz ar to arī vērtības augstākas. Šāda tendence neparādās *C. vulgaris*. Tāpat kā kopējo fenolu savienojumu gadījumā, gan biomasas koncentrācija, gan ekstrakcijas laiks ļoti minimāli ietekmē flavonoīdu daudzumu ekstraktā. Tas varētu būt skaidrojams ar cietāku šūnapvalku, līdz ar to nepieciešams ilgāks laiks vai citādāka metode, lai augstākas vērtības arī *C. vulgaris* gadījumā.

Apkopojot pielietotās ekstrakcijas metodes un noteiktos parametrus, kā arī efektivitātes, laika patēriņa un metodes vienkāršību, ir izdarīti vairāki būtiski secinājumi. Viennozīmīgi efektīvākai savienojumu iegūšanai jāizvēlas mikroaļģe *S. platensis*, jo praktiski visos gadījumos vērtības bija divas vai pat vairāk reizes augstākas. Tātad būtisku lomu ekstrakcijas efektivitātē spēlē šūnapvalka biezums, kas *S. platensis* gadījumā ir plānāks. Par efektīvākajām un vienkāršākajām metodēm varētu uzskatīt karsēšanu 70°C, kā arī mikroviļņu asistēto ekstrakciju. Karsēšanas galvenais ieguvums ir vienkāršība, kā arī augstākie savienojumu rādītāji. Mikroviļņu asistētajai ekstrakcijai galvenā priekšrocība ir laika patēriņš, kas ir ievērojami mazāks nekā karsēšanas gadījumā, taču iegūto savienojumu vērtības ir tikai nedaudz mazākas. Tā kā laika patēriņš ir ļoti niecīgs, biomasu var ekstrahēt vairākas reizes, lai maksimāli iegūtu visu intracelulāro materiālu un mikroaļģu biomasas resurss tiktu pilnvērtīgi izmantots.

8. MIKROAĻĢU EFEKTIVITĀTES SKRĪNINGS UN LAUKA IZMĒGINĀJUMI

Mikroaļģu ekstraktu efektivitātes novērtēšana un izpēte tika veikta sadarbībā ar Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāti. Skrīninga ietvaros tika pētīta dažādu mikroaļģu ekstraktu ietekme uz tomātu stādu, aveņu, rapšu un burkānu augšanu un attīstību.

8.1. Tomāti

Tomāti (*Solanum lycopersicum* L.) ir viengadīgs vai daudzgadīgs nakteņu dzimtas augs. Botāniski augļiem piemīt visas īpašības, kas piemīt ogām: auglis ir gaļīgs, ārējā miza – plāna. Augļu garšas īpašības galvenokārt nosaka cukuru un skābju daudzums, kā arī mīkstuma uzbūve un šķirnei raksturīgā piegarša. Lielākoties pasaulē tiek audzēti tomāti ar sarkaniem augļiem, taču ir arī daudz fenotipu ar dzelteniem, oranžiem, rozā, violetiem, zaļiem, melniem vai baltiem augļiem, kā arī strīpaini augļi.

Latvijā tomāti ir nozīmīgi dārzeņi, jo to pielietojums ir plašs – tie tiek patērēti gan svaigā veidā, gan pārstrādei (Kalniņa, Ābele, Puriņa, 2010). Latvijas agroklimatiskajos apstākļos tomātu audzēšana atklātā laukā ir salīdzinoši vienkārša, taču arī riskanta. Kaut gan atklātā laukā dabiskā apgaismojumā audzētu tomātu augļi ir ar izteiktāku garšu un krāsu, tomēr ražu un tās kvalitāti būtiski ietekmē laikapstākļi. Tāpēc tomātus mūsu valstī pārsvarā audzē segtajās platībās, kas prasa lielākus finansiālus ieguldījumus.

Tomātus iespējams iedalīt pēc dažādiem faktoriem – auguma veidiem, augļu krāsas un formas utml. Pamatojoties uz to *augšanas īpatnībām*, svarīgākās grupas ir:

- determinantie tomāti – kompaktas formas krūmveida augi, nav obligāti jāizlauž pazares. Šīs grupas tomātiem ir ģenētiski noteikts augstums, sasniedzot kuru tie vairs neturpina augt;
- indeterminantie tomāti – gara auguma augi, nepieciešams izmantot balsta sistēmu. Augšana ir neierobežota, tāpēc nepieciešama veidošana un pazaru izlaušana;
- pusdeterminanti tomāti – augi, kuriem piemīt gan determinanto, gan indeterminanto tomātu īpašības, grupā ietilpst salīdzinoši mazāk tomātu šķirņu. Vislabāk tie audzējami, atstājot 3 – 4 stublājus (Vanderlinden, 2020).

Tomātus iedala arī pēc *augļu izskata*:

- ķiršu tomāti – mazi, pārsvarā apaļi, saldi, piemēroti uzkodām un salātiem, kā arī cepšanai;
- standarta tomātu augļi – vidēja izmēra, ar izteiktu tomātu aromātu, skābeni salda garša, piemēroti sviestmaizēm, salātiem un mērcēm;
- bifšteka tomāti – ļoti liela izmēra augļi, ar gaļīgu un miltainu mīkstums, piemēroti ēdienu, burgeru un sviestmaižu pagatavošanai;
- plūmju tomāti – dažāda lieluma iegarenās formas augļi, visvairāk tiek izmantoti dažādos itāļu tradicionālajos ēdienos;
- ķekaru tomāti – jaunākais tomātu veids, augļi ir ļoti saldi, nedaudz mazāki un vairāk iegareni (kā ķiršu tomāti).

Auglī atrodas 50 – 200 sēklas, kas atrodas sēklu cirkņos un ir ieslēgtas želantīnveida membrānās, kurās ir vielas, kas neļauj sēklām sadīgt augļa iekšienē un daļēji pasargā tās no dažādām slimībām. Gatavs tomātu auglis sastāv no mizas (2 – 6%), mīkstuma (90.5 – 96.5%) un sēklām (1.5–3.5%). Auglī ir 2–25 sēklu cirkņi. Parasti to šķirņu augļiem, kam nedaudz cirkņu, ir daudz sēklu, bet daudzcirkņu šķirņu augļiem – maz sēklu. Cirkņi auglī var būt novietoti simetriski vai arī bez jebkādas simetrijas.

Tomātu šķirņu klāsts ir ļoti plašs. Lai izvēlētos šķirnes, jāņem vērā gan augļu vēlamā forma un krāsa, auguma izmēri (lai noteiktu audzēšanas tehnoloģijas), izturība pret slimībām. Šķirnes vēlams izvēlēties pēc agrīnuma, lai veģetācijas periods būtu pēc iespējas īsāks, lai tomātu augļi spētu nogatavoties pirms rudens iestāšanās. Tāpat arī jāizvēlas starp šķirnes tomātiem un hibrīdiem.

Šķirnes tomātiem ir izteiktāka garša, taču pieejami arī ļoti daudz hibrīdšķirņu tomātu ar labām garšas īpašībām. Hibrīdiem ir arī ļoti noderīgas īpašības – tie ir izturīgāki pret dažādām slimībām, tie labāk apputeksnējas, kā arī ir vieglāk kopjami, jo daudziem tomātu hibrīdiem neveidojas pazares, ka arī tie ir augstražīgāki.

Audzēšanas prasības. Tomāti ir siltumprasīgi. Līdz sadīgšanai jānodrošina temperatūra +24 – +30 °C naktī un dienā, vēlāk jācenšas ievērot šādu temperatūras režīmu: no sadīgšanas līdz piķēšanai +20 °C dienā un +18 °C naktī, pēc piķēšanas +18 – +19 °C dienā un +15 – +17 °C naktī. Arī turpmāk tomātu optimālā attīstības temperatūra ir +20 – +25 °C. Par +15 °C zemākā

temperatūrā tomātiem neapaugļojas ziedi un neveidojas augļi, bet par +10 °C zemākā temperatūrā apstājas arī augšana.

8.1.1. tabula

Ieteicamās temperatūras dažādās tomātu attīstības stadijās, °C

(Rutledge, Wills, Bost, 2015)

Attīstības stadija	Minimālā	Optimālā	Maksimālā
Sēklu dīgšana	11	16 – 29	34
Stādu augšana	18	21 – 24	32
Augļu nobriešana	18	20 – 24	30
Sarkanās augļu krāsas attīstība	10	20 – 24	30

Tomāti ir samērā sausumizturīgi, necieš lieku augsnes mitrumu. Tie labi aug un ražo, ja augsnes mitrums ir 70 – 80% no pilnas mitrumietilpības. Augsnei vai substrātam visu laiku ir jābūt valgai, bet ne slapjai. Pārļaisītā vidē tiek kavēta normāla augu augšana un attīstība, rodas labvēlīgi apstākļi sēņu ierosināto slimību attīstībai (Dzērve, Taranovs, 1986). Sausumu tomāti pacieš labāk nekā mitrumu, bet, ja ūdens daudzums augsnē ir mazāk par 40%, tad tomāti ir sīki un stipri samazinās raža. Ja trūkst mitruma, tomātiem sāk ritināties lapas, palēninās asimilācija.

Tomāti ir gaismas prasīgi augi, jo intensīvāks ir apgaismojums, jo intensīvāk noris asimilācijas procesi, līdz ar to augu augšana un attīstība (Latvijā..., 2015). Tomātiem gaismas intensitāte pirmajās dienās pēc uzdīgšanas nosaka nākamo ziedpumpuru veidošanos. Ja gaisma trūkst, bet temperatūra ir augsta, veidojas mazi, augstu izvietoti ķekari ar nelielu ziedu skaitu. Šķirnes, kas ir izaudzētas zonās ar garo dienu, ir gaismas prasīgākas nekā tās šķirnes, kas izaudzētas īsās dienas apstākļos. Apgaismojums nedrīkst būt mazāks par 4500 lux, jo tad tomāti aug, bet nedod ražu.

Tomāti labi aug augsnēs ar vāji skābu reakciju pH KCl 5.5-6.5 (Latvijā..., 2015). Paaugstināta sāļu koncentrācija var būtiski traucēt augiem atsevišķo barības elementu uzņemšanu. Tomātu augi veģetācijas laikā minerālvielas patērē nevienmērīgi. Augšanas sākumā tie intensīvi patērē fosforu un kāliju, aktīvās augšanas fāzē – slāpekli, bet ziedēšanas fāzē – atkal intensīvi

uzņem fosforu. Visvairāk minerālvielas tomāti uzņem augļu nogatavošanās periodā, kura laikā tomāti aktīvi uzņem arī kalciju. Fosforam galvenā nozīme ir augļu veidošanā, tomēr tas nepieciešams visā veģetācijas laikā, jo, ja fosfora trūkst, augi nespēj uzņemt slāpekli, tāpēc tomāti pārstāj augt, stublāji veidojas īsi un tievi, aizkavējas augļu aizmešanās un veidošanās. Slāpekļis ir otrs svarīgākais barības elements, kurš nepieciešams visu auga veģetatīvo orgānu veidošanai, tomēr tam ir jābūt iestrādātam augsnē pareizās attiecībās. Slāpekļa pārpalikums vai trūkums var būtiski samazināt tomātu ražu. Kālijs veicina ogļhidrātu uzkrāšanos augā. Tas nepieciešams stublāju un augļaižmetņu veidošanai.

8.1.2. tabula

Optimālais barības elementu daudzums tomātiem (Wysocka-Owczarek, 2008)

Elementi	Optimālais daudzums, mg kg⁻¹
Makroelementi	
N (slāpekļis)	48000.0
P (fosfors)	5000.0
K (kālijs)	55000.0
Ca (kalcijijs)	25000.0
Mg (magnijijs)	5000.0
S (sērs)	16000.0
Mikroelementi	
Mn (mangāns)	350.0
Zn (cinks)	80.0
Cu (varš)	15.0
Mo (molibdēns)	0.5
B (bors)	35.0
Fe (dzelzs)	90.0

Kālijs ir nozīmīgs barības elements šūnu sienīņu veidošanā, augļu augšanā un attīstībā, kā arī tas uzlabo augu izturību pret baktēriju un vīrusu slimībām. No augsnes uzņemtais kālijs pārvietojas uz augu lapām, bet no lapām uz augļiem tas nonāk ļoti maz, tādēļ tomātu augļiem nepieciešama pastāvīga kālija piegāde. Arī magnijs ir nozīmīgs barības elements tomātu attīstībā.

Tas sekmē augu barības vielu, galvenokārt, fosfora pārvietošanos no vecajiem dzinumiem un lapām uz jauniem auga orgāniem, kā arī veicina sakņu sistēmas augšanu.

Nepiemērotā mikroklimatā, sausuma stresa vai mēslojuma trūkuma rezultātā tomātiem parādās arī dažādi fizioloģiski bojājumi. Ignorēti, tie var radīt lielus zaudējumus tomātu audzētājam, turklāt augi stresa apstākļos kļūst ieņēmīgāki pret slimībām (Dučkēna, Bimšteine, 2021). Sausās un karstās vasarās izplatīta ir sausā galotņu puve tomātu augļiem, kas veidojas kalcija nepietiekamības, karstuma, sausuma un augstas gaismas intensitātes rezultātā. Bieži novēro arī tomātu nepilnīgu nogatavošanos jeb “zaļos plecus”, kad tomāts nogatavojas tikai no pamatnes puses, bet augšpuse neiekrāsojas, bet mīkstums paliek ciets. Sākumā pleci paliek zaļi, bet, augļiem turpinot attīstīties, pleci kļūst intensīvi dzelteni, bet aizvien paliek stingri. To izraisa vairāki faktori, tostarp kālija deficīts veģetācijas laikā, šķirnes jutība un augsta (>32 °C) vides temperatūra, jo augstā temperatūrā tiek kavēta likopēna veidošanās.

Agrotehnika. Latvijā audzēt tomātus ir iespējams tikai no dēsta (Dzērve, Taranovs, 1986). Dēstu audzēšana prasa 50–60 dienas, sējot februārī vai marta sākumā, un 35–40, sējot aprīlī vidū. Sēklas iesēj ar bagātinātu kūdru pildītās kastītēs un apber ar līdz 5 mm biezu augsnes vai cita substrāta kārtiņu. Sēklas sadīgst pēc 5–6 dienām, ja gaisa temperatūra ir ap +25 °C, bet substrāta mitrums ap 80%. Pēc sadīgšanas dīgstus izpiķē kasetēs ar ligzdas diametru 2.5 cm vai nedaudz lielāku. Dēstus var izpiķēt arī lielākās kastītēs vai podos tādā attālumā, lai paaugoties tomāti viens otru pēc iespējas mazāk noēnotu. Pēc sadīgšanas dīgstus novieto pēc iespējas gaišākā vietā.

Audzējot tomātu dēstus, laistīšanu maksimāli ierobežo, nepieļaujot ne tikai dēstu novīšanu, bet arī podiņu pārlietu izžūšanu (Latvijā..., 2015). Lai dēsti augtu vertikāli, pie podiņa malas iesprauž 40–45 cm garu bambusa kociņu. Balsti var palikt podiņos līdz augu izstiepšanai pēc izstādīšanas pastāvīgā vietā.

Visizplatītākais substrāts dārzeņu audzēšanai ir neitralizēta, bagātināta kūdra. Rūpnieciski gataviem kūdras substrātiem mēdz pievienot sīkas māla granulas, kas paātrina kūdras samitrināšanu un uzlabo tās fizikālās īpašības. Lielsaimniecībās tomātu audzēšanai plaši izmanto kokosu, bet laistīšanas un mēslošanas režīms kokosam un kūdrai ir pilnīgi atšķirīgs (Rutledge, Wills, Bost, 2015). Kokosšķiedru substrātu komerciālajai dārzeņu audzēšanai iesaka izmantot divus gadus pēc kārtas, pēc tam tas mineralizējas un tā fizikālās īpašības pasliktinās. Minerālvate tiek plaši izmantota visā pasaulē siltumnīcu gurķu un tomātu audzēšanai. Audzējot minerālvatē, ir iespējams vadīt auga augšanu un attīstību un strauji reaģēt uz mikroklimata apstākļu izmaiņām.

Minerālvates trūkums ir augstā cena un utilizācijas problēmas. Salmi (rudzu un kviešu) ir ļoti labs substrāts tomātu audzēšanai siltumnīcā, bet jārēķinās ar biežāku laistīšanu un augstākām slāpekļa devām salīdzinājumā ar citiem substrātiem.

Uz izstādīšanas brīdi tomātu dēstiem jābūt ar 8–11 lapām un labi attīstītu pirmo ziedu ķekaru. Lielaugļu indeterminanto šķirņu tomātus stāda no 2.2 līdz 2.5 augi m^{-2} , šķirnes ar 140–160 g smagiem augļiem no 2.4 līdz 2.8 augi m^{-2} , sīkaugļu šķirnes no 2.5 līdz 3.5 augi m^{-2} , bet determinantās šķirnes līdz 4 augi m^{-2} . Tomātu izvietojums siltumnīcā ir atkarīgs no vietējiem apstākļiem, tos var stādīt vienā vai divās rindās. Attālums starp rindām 40–50 cm, starp augiem atkarībā no šķirnes 35–50 cm. Izstāda tikai veselus, labi attīstītus dēstus.

Vertikālā augu izvietošana siltumnīcās nodrošina labāku gaismas izmantošanu visās augu attīstības fāzēs, labāku individuālo kopšanu un maksimālu produkcijas iegūšanu. Pēc augļu attīstības pakāpes zemākajos ķekaros lapas novāc līdz ķekaram, kurā sākuši nogatavoties augļi. Augu apakšējās daļas atkailināšana nodrošina labus vēdināšanas apstākļus piezemes daļā. Tas samazina slimību izplatīšanos, nodrošina labu laistāmās sistēmas darbu un veicina ražības celšanos. Ja tomātu galotne nokarājas, no lapu žāklēm intensīvāk nekā parasti sāk augt pazares. Tās regulāri jāizkniebj pie 2 – 3 cm garuma, tad brūces vieta ir neliela un ātri aizrētojas. Lielāku pazaru audzēšana samazina ražu un var veicināt ziedu un aizmetņu nobiršanu, to izlaušana mēdz traumēt auga stublāju un veicināt pelēkās puves izplatīšanos. Pazares nedrīkst atstāt arī tad, ja uz tām jau sākuši veidoties ziedi. Ražas pieaugumu tie nedod, bet augu sabiezināšanās veicinās pelēkās puves izplatīšanos. Izņēmums – ķiršu tomāti, jo tiem augļu ķekari izveidojās tieši pazarēs. Tomātus galotņo, atstājot 2 – 3 lapas virs pēdējā ķekara, parasti 7-8 nedēļas pirms audzēšanas beigām.

Tomātu siltumnīcā vienmēr jābūt svaigam, labi vēdināmam sausam gaisam (Farneti, Schouten, Qian et al., 2013). Sezonas sākumā durvis vai vēdlogus ver vaļā saulainā laikā, lai nepieļautu pārmērīgu siltumnīcas pārkaršanu. Karstā laikā un vasaras beigās vēdlogus un durvis jāatver iespējams agri no rīta, lai rasa ātrāk nožūtu. Siltumnīcu var vēdināt arī lietainā laikā, ja vien lietus lāses caur vēdlogiem nepil uz augiem.

Tomātu audzēšanai ieteicamā ūdens devas pa mēnešiem izmantojot pilienlaistīšanu: aprīlī 1–1.6 L dienā, maijā, jūnijā, jūlijā un augustā 1.3–1.8 L dienā, septembrī un oktobrī 1–1.3 L dienā uz vienu augu. Veģetācijas periodā tomātiem ar 15–20 dienu starplaiku dod papildmēslojumu. Līdz ziedēšanai papildmēslojumu dod retāk, bet augļu briešanas un nogatavošanās laikā biežāk.

Audzējot kūdrā vai augsnē veic papildmēslojumu ar magnija sulfātu vai magnija nitrātu. Papildmēslošanu pārtrauc 10–12 dienas pirms ražas novākšanas.

Ja gaisa temperatūra siltumnīcā ir zem 15 °C vai virs 30 °C, apputeksnēšanās nenotiek. Arī ja gaisa mitrums ir zem 50%, ziedputekšņi nedīgst, ja virs 70%, ziedputekšņi salīp un nebirst. Pārāk augsta slāpekļa koncentrācija augsnē arī samazina nobriedušo ziedputekšņu skaitu. Ja apputeksnēšana tiek traucēta, mēdz veidoties partenokarpie augļi. Tie ir sīki, neaug un paliek uz auga līdz sezonas beigām. Traucēta apputeksnēšanās izraisa kropļu augļu veidošanos. Tomāti ir pašapputes augi, bet, lai panāktu lielāku ražu, jāveic papildus apputeksnēšana. Vienkāršākais tomātu ziedu apputeksnēšanas veids ir augu sapurināšana (Krustkalne, 1974). Sapurināšanas rezultātā putekšņi nokļūst uz auglenīcām. Var arī izmantot elektriskās zobu suku, kā arī var izmantot kameņus.

Atkarībā no šķirnes, augļi būs gatavi pirmajai ražas novākšanai 70 – 80 dienas pēc sadīgšanas. Ražas novākšanas stadija ir atkarīga no realizācijas mērķa, kādam augļi tiks izmantoti. Tomāti nogatavojas trīs pakāpēs. Pirmā ir *zaļgatavība*, kad augļi zaļi, pieauguši, bet tiem nav raksturīgās garšas. Otrā ir *noņemšanas gatavība*, kad augļi vēl nav nokrāsojušies, bet jau maina krāsu un noņemt pilnīgi nogatavojas. Trešā ir *pilngatavība*, kad augļi nokrāsojušies un tiem ir raksturīga garša (Hilmi, Naika, Jeude et al., 2005; Singh, Tiwari, Karkute et al., 2016). Augļus parasti novāc agri no rīta vai vakarā. To dara ar roku pārgriežot, lai atdalītu no augļkātiņa. Tā kā visi augļi nenobriest vienlaicīgi, tie jāvēc ar četru dienu intervālu, augu veģetācijas periodā ir 7 – 11 augļu novākšanas reizes. Pēc ražas novākšanas tiek veikta augļu šķirošana no bojātiem augļiem. Tālāk šķirošana var tikt veikta pamatojoties uz augļu lielumu, šķirojot tos trīs kategorijās: maza izmēra (<100 g), vidēja (100–255 g) un liela (>255 g).

Brieduma posms, kurā tomātus novāc atkarīgs no mērķa, kādam nolūkam tie ir audzēti un kādu attālumu tie tiks transportēti. Komerciāli, lielāko daļu no svaigiem tirgus tomātiem novāc ar rokām (Koržuka, 2000). Vispiemērotākais augļu novākšanas laiks ir no rīta sausā laikā. Ražu novieto kastēs sausā, vēsā vietā. Biezā kārtā sakrautus tomātus nevar transportēt, jo apakšējie augļi saspiedīsies. Kastes var sakraut citu aiz citas. Visātrāk tomāti nogatavojas 20-22 °C temperatūrā labi vēdināmās telpās. Augstākā temperatūrā augļi krāsojas nevienmērīgi un kļūst raibi. Lai tomātus saglabātu ilgāku laiku, uztur temperatūru ap 10 °C. Telpai jābūt labi vēdināmai. Vislabākie tomāti nogatavojas pie kāta, taču nedrīkst atstāt tos tur pārāk ilgi. Raža jānoņem, kad ar pirkstu var viegli iespiest auglī. Tomātu virspuse nogatavojas un maina krāsu pēdējā. Bieži, bet

ne vienmēr gatavos tomātus var noņemt no auga, viegli paspiežot uz augšu. Ja tie nekrīt nost viegli, nogrieziet to ar šķērēm, lai netraumētu augu.

Ķīmiskais sastāvs. Tomātiem ir vērtīgs bioķīmiskais sastāvs (Viskelis, Viškelis, Karklelienē, 2016). Tie satur 93-94% ūdens, 6-7% sausnes, ap 4% ogļhidrātu, līdz 1% olbaltumvielu, 0.2% tauku un 0.6% minerālvielu, galvenokārt tie ir kālija, nātrija, kalcija, magnija, dzelzs, fosfora un sēra sāļi. Tomāti satur C vitamīnu, B grupas vitamīnus, likopēnu, β-karotīnu, kā arī ābolskābi, citronskābi, dzintarskābi, pienskābi, skābeņskābi un vīnskābi. Principā tomātu bioķīmisko sastāvu ietekmē:

- izvēlētā šķirne;
- audzēšanas ģeogrāfiskā vieta (dienvidu valstīs auguši tomātu augļi satur vairāk sausnes un cukuru, nekā ziemeļu platuma grādos augušie);
- meteoroloģiskie apstākļi veģetācijas periodā (vēsās un lietainās vasarās augļos uzkrājas mazāk cukura un tiem nav izteikta garša);
- tomātu audzēšanas paņēmieni (audzēšana laukā vai siltumnīcā, substrātu izvēle, laistīšana un kopšana);
- augšanas un attīstības faktori.

Karotīna daudzums augļos palielinās līdz ar to nogatavošanos, tā saturs atkarīgs ne tikai no augļu gatavības, bet arī no šķirnei raksturīgās augļu krāsas – visvairāk tā ir to šķirņu tomātos, kuriem augļi intensīvi sarkani, bet mazāk šķirnēm, kurām augļi sārti, oranži sarkani.

Asorbīnskābe auglī nav vienādā daudzumā, tas pakāpeniski samazinās no augļa pamatnes uz galotni, kur C vitamīna ir divas reizes mazāk. Visvairāk C vitamīna ir augļos, kas sasnieguši pilngatavību. Segtajās platībās audzējamajos tomātos var būt pat divās reizēs mazāk C vitamīna nekā laukā audzējamajos tomātos.

Likopēns ir spēcīgs antioksidants, palīdz cīnīties ar sirds–asinsvadu slimībām, kā arī ar vēzi. Likopēna daudzums strauji pieaug termiski apstrādātajos tomātos.

Izmantotā literatūra:

1. Dučkēna L., Bimšteine G. (2021). Novērotās tomātu slimības Latvijas centrālajā daļā 2021. gadā. *No: Ražas svētki “Vecauce – 2021”: Raža ekstremālos apstākļos*, zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava, LLU, 2021. 23.–26. lpp.
2. Dzērve K., Taranovs V. (1986). *Tomātu audzēšana*. Rīga: Avots. 109 lpp.

3. Farneti B., Schouten R., Qian T., Dieleman J. A., Tijskens L. M. M., Woltering J. (2013). Greenhouse climate control affects postharvest tomato quality. *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 86, p. 354 – 361.
4. Hilmi M., Naika S., Jeude J., Goffau M., Dam B. (2005). *Cultivation of tomato production, processing and marketing*. Wageningen: Agromisa Foundation and CTA. 92 p.
5. Kalniņa I., Ābele S., Puriņa M. (2010). *Sakņu dārzs. Rokasgrāmata dārzkopim iesācējam*. Rīga: Avots. 208 lpp.
6. Koržuka S. (2000). *Dārzeņu uzglabāšana un konservēšana*. Rīga: Avots. 316 lpp.
7. Krustkalne A. (1974). *Tomāti segtajās platībās*. Rīga: Liesma. 144 lpp.
8. *Latvijā audzējamu kultūraugu audzēšanas vadlīnijas - tomāti (atklātā laukā un segtajās platībās) un paprika (segtajās platībās)* (2015). Rīga: Latvijas Republikas Zemkopības ministrija. (2015). [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 2. janv.] Pieejams: https://www.zm.gov.lv/public/files/CMS_Static_Page_Doc/00/00/00/66/77/ZM_rikojuma_14pielikums_tom.pdf
9. Rutledge A. D., Wills J. B., Bost S. (2015). *Commercial Tomato Production*. Knoxville: Agricultural Extension Service of the University of Tennessee. 32 p.
11. Singh M., Tiwari S., Karkute S. G., Prasanna H. C., Gujar R. S. (2016). *Biology of Solanum lycopersicum (Tomato)*. **In:** Phase II Capacity Building Project on Biosafety. India: Ministry of Environment, Forest and Climate Change, p. 1–35.
12. Vanderlinden C. (2020). What Are Determinate and Indeterminate Tomatoes? **No: The Spruce**. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 4. apr.] Pieejams: <https://www.thespruce.com/determinate-and-indeterminate-tomatoes-2540020>
13. Viskelis P., Viškelis J., Karklelienė R., Radzevičius A., Juškevičienė D., Duchovskis P. (2016). Tomato biochemical composition and quality attributes in different maturity fruits. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, Vol. 15 (6), p. 221–231.
14. Wysocka-Owczarek (2008). Pomidor – *Lycopersicon esculentum*. Mill. **In:** *Uprawa warzyw w pomieszczeniach*. Ed. by M. Knaflewski. 2nd ed. PWRiL Sp. Z o.o., p. 322–333.

TOMĀTU PĒTĪJUMA METODIKA:

Pētījumi LBTU tika ierīkoti 2023. un 2024. gadu veģetācijas periodā LPTF AAZI Dārzkopības un biškopības laboratorijā: abos gados atika ierīkots pētījums ar tomātiem, polikarbonāta siltumnīcā, savukārt 2024. gadā – arī pētījums ar burkāniem.

Tomāti. 2023. gadā pavasarī izmēģinājumi aizkavējās sakarā ar siltumnīcas platības izmantošanu citu zinātnieku pētījuma realizēšanai, tāpēc projekta vadošie pētnieki pieņēma lēmumu audzēt tomātus rudens audzēšanas aprītē, līdz ar to sēju veica 1. jūlijā, kasetēs. Lai objektīvāk salīdzinātu datus, 2024. gadā pētījumu arī ierīkoja otrajā audzēšanas aprītē, bet iesējot ātrāk, 1. jūnijā. Abos izmēģinājuma gados izmantotā viena un tā pati hibrīdā šķirne ‘Belle’ F1 (Enza Zaden). Kā substrātu dēstu audzēšanai izmantoja SIA “Laflora” ražoto kūdru ar pH KCL 5.5. Divas nedēļas pēc sadīgšanas sējeņus pārpodoja 1 L veģetācijas traukos ar to pašu substrātu. No sadīgšanas brīža līdz augļu aizmešanai dēstus, vēlāk palikušajā vietā pārstādītus augus smidzināja ar mikroaļģu ekstraktiem.

2023. gadā dēstiem smidzināšanu veica ar *Spirulina* sp., *Dunaliella tertiolecta*, *Chlorella vulgaris*, *Tetrademus obliquus* un *Graesiella emersonii*. Divas ekstraktu koncentrācijas salīdzināja ar attiecīgajām spirta koncentrācijām un kontroli.

8.1.3. tabula

Pētījuma varianti tomātu dēstu audzēšanas laikā 2023. gadā

Varianti	C - koncentrācija, %	
	C1	C2
A1 – <i>Spirulina platensis</i>	10	20
A2 – <i>Dunaliella tertiolecta</i>	10	20
A3 – <i>Chlorella vulgaris</i>	10	20
A4 – <i>Graesiella emersonii</i>	4	8
A5 – <i>Tetrademus obliquus</i>	4	8
K1 – etanols	2	
K2 – etanols	4	
K0 – dzeramais ūdens	0	

Veicot smidzinājumus, tajos pašos datumos pierakstīja datus par dēstu garumu, lapu mezglu skaitu, lapu skaitu, savukārt pie vidējā lapu mezgla – stublāja diametru, lapu garumu, kā arī veica pH KCl un šķīstošās sauses saturu (°Brix) izpēti augos, šim nolūkam izmantojot rezerves stādus no katra pētāmā variantā. 35 dienu vecumā dēstus pārstādīja 25 L konteineros turpmākai audzēšanai tajā pašā siltumnīcā. Turpmākajā pētījuma periodā smidzinājumus ar mikroaļģu *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp., *Chlorella* sp. spirta ekstraktiem veica 4 reizes, vienu reizi nedēļā..

Pētījuma varianti ražojošajā tomātu stādījumā 2023. gadā

Varianti	C - koncentrācija, %	
	C1	C2
A1 – <i>Spirulina platensis</i>	10	20
A2 – <i>Dunaliella tertiolecta</i>	10	20
A3 – <i>Chlorella vulgaris</i>	10	20
K1 – etanols	2	
K2 – etanols	4	
K0 – dzeramais ūdens	0	

2024. gadā dēstiem smidzināšanu veica ar *Spirulina* sp., *Chlorella vulgaris*, *Tetradescmus obliquus* un *Graesiella emersonii*. Divas ekstraktu koncentrācijas salīdzināja ar attiecīgajām spirta koncentrācijām un kontroli. *Dunaliella tertiolecta* ekstrakts tika izslēgts no izmēģinājuma pēc 2023. gada rezultātiem nepietiekamās noturības dēļ uz tomātu lapām.

Pētījuma varianti tomātu dēstu audzēšanas laikā 2024. gadā

Varianti	C - koncentrācija, %	
	C1	C2
A1 – <i>Spirulina platensis</i>	10	20
A2 – <i>Chlorella vulgaris</i>	10	20
A3 – <i>Graesiella emersonii</i>	4	8
A4 – <i>Tetradescmus obliquus</i>	4	8
K1 – etanols	2	
K2 – etanols	4	
K0 – dzeramais ūdens	0	

Veicot smidzinājumus, arī 2024. gadā pierakstīja datus par dēstu attīstību, kā arī veica pH KCl un šķīstošās sauses saturu (°Brix) izpēti augos. Augusta sākumā dēstus pārstādīja 25 L konteineros turpmākai audzēšanai tajā pašā siltumnīcā. Turpmākajā pētījuma periodā smidzinājumus ar mikroaļģu *Spirulina*, *Chlorella*, *Graesiella* un *Tetradescmus* ekstraktiem veica 4 reizes, vienu reizi nedēļā.

Pētījuma varianti ražojošajā tomātu stādījumā 2024. gadā

Varianti	C - koncentrācija, %	
	C1	C2
A1 – <i>Spirulina platensis</i>	10	20
A3 – <i>Chlorella vulgaris</i>	10	20
A3 – <i>Graesiella emersonii</i>	4	8
A4 – <i>Tetrademus obliquus</i>	4	8
K1 – etanols	2	
K2 – etanols	4	
K0 – dzeramais ūdens	0	

8.1.1 attēlā atspoguļoti tomātu dēsti abos pētījuma gados.



8.1.1. attēls. Attēls pa kreisi: tomātu dēsti, 31.07.2023., attēls pa labi: tomātu dēsti, 07.07.2024. (I. Sivickas foto).

Ražojošā stādījumā abos pētījuma gados katram variantam bija 3 atkārtojumi, augu skaits vienā atkārtojumā – 3 (kopā katram variantam 9 augi) (8.1.2. attēls). Augiem pētīja augšanas un attīstības, kā arī fenoloģiskos rādītājus, veica augļu skaita un ražības izpēti (g no auga katrā lasīšanas reizē), lapām veica hlorofila indeksa izpēti ar atLeaf mērītāju (kas apraksta augu veselību, pamatojoties uz hlorofila saturu lapās) (atLeaf, 2022), veica ražas kvalitātes analīzi (t.sk.

organoleptisko īpašību izpēti). Pētījuma laikā tomātu lapām un augļiem veica ķīmiskās analīzes – gan lapām, gan augļiem (pilngatavošanās fāzē).



8.1.2. attēls. Tomātu dēsti vienu nedēļu pēc pārstādīšanas: attēls pa kreisi – 21.08.2023.; attēls pa labi – 03.08.2024. (I. Sivickas foto).

Abos audzēšanas gados pētījuma laikā siltumnīcā vēdināšana tika veikta automatizēti, gaisa temperatūrai siltumnīcā pārsniedzot +23 – +24 °C robežu. Regulāri veica augu laistīšanu, ražas laikā arī fitosanitāros un augu aizsardzības pasākumus. Augus papildus apgaismoja pēc režīma 4 stundas no rīta (6:00-10:00) un 4 stundas vakarā (16:00-20:00), izmantojot nātrija lampas. Augus veidoja pēc tradicionālās shēmas, audzējot uz galvenā stublāja, regulāri izlaužot pazares. Augus atbalstīja pie striķiem, izmantojot tomātu klipšus.

Tā kā izmēģinājuma mērķis bija izpētīt aļģu ekstraktu efektivitāti uz tomātu augu attīstību, ražas kvantitāti un kvalitāti, visos variantos augus mēsloja vienādi, pēc Latvijas mazo un vidēji lielu audzētāju pielietotās tradicionālās mēslošanas shēmas, izmantojot markas Kristalons¹ mēslošanas līdzekļus:

- Kristalons zaļš 18-18-18 veģetācijas fāzē;
- Kristalons dzeltens 13-40-13 ziedēšanas fāzē;

¹ Mēslošanas līdzekļi Kristalons. *No: Agrimatco interneta katalogs.* [Tiešsaiste] [skatīts 27.01.2024.]. Pieejams: https://agrimatco.lv/index.php?lang=lv&dir=produkti&search_text=Kristalons

- Kristalons sarkans 12-12-36+MICRO augļu fāzē;
- Kristalons oranžs 6-12-36 veģetācijas beigās.

Augļu organoleptiskais novērtējums (izskats, forma, krāsa, smarža, garša, pēcgarša, miltainums, skābuma/salduma attiecība) veikts pēc 10 ballu līniskalas, tomātiem sasniedzot pilngatavības pakāpi. Vērtēšanā piedalījās 7 dalībnieki. Veica arī ražas ķīmiskās analīzes.

8.1.7. tabula

Pētījuma varianti ražojošajā tomātu stādījumā 2024. gadā

Varianti	C - koncentrācija, %	
	C1	C2
A1 – <i>Spirulina platensis</i>	10	20
A3 – <i>Chlorella vulgaris</i>	10	20
A3 – <i>Graesiella emersonii</i>	4	8
A4 – <i>Tetrademus obliquus</i>	4	8
K1 – etanols	2	
K2 – etanols	4	
K0 – dzeramais ūdens	0	

Veģetācijas periodā novērtēja sadīgšanas ātrumu, ražu, veica arī ražas ķīmiskās analīzes.

Pētījumi dārzenkopībā sadarbības partneru saimniecībās:

Tika pārbaudīta 2 mikroaļģu – *Spirulina platensis* un *Chlorella vulgaris* preparātu 5% (v/v) koncentrācijā ietekme uz kultūraugu audzēšanu ražošanas apstākļos. Veica arī kontroles smidzinājumus ar dzeramo ūdeni.

Pētījumus ar tomātiem veica Jelgavas novada Baltiņa zemnieku saimniecībā “AKMENTIŅI” un saimnieciskās darbības veicēja E. Gūtmaņa saimniecībā (abās vietās – plēves siltumnīcā, tomātus audzējot augsnē, kopā aptuveni 100 m²) (8.1.3. attēls). Kopā veikti 6 smidzinājumi. Audzējamās tomātu šķirnes bija: ZS “AKMENTIŅI” – ‘Aurea’ F1, bet E. Gūtmaņa saimniecībā - ‘Cristal’ F1 un ‘Baribine’ F1. Veģetācijas periodā tomātiem regulāri tika noteikta

ražība, ražas dinamika, pārbaudīts hlorofila indekss un augļu kvalitāte, ieskaitot bioķīmisko sastāvu (šķīstošā sausna, C vitamīna, antociānu un fenolu saturs, karotīnu, titrējamās skābes u.c. rādītāji).

SIA “VA AGRO” platībās bija ierīkots arī izmēģinājums burkānu sējumos 4 atkārtumos apm. 300 m² platībā. No šī izmēģinājuma ievākti paraugi bioķīmiskā sastāva analīzēm, kur noteikta šķīstošā sausna, karotīni, C vitamīns, titrējamā skābe u.c. parametri.



8.1.3. attēls. Sadarbības partneru saimniecībās veiktie smidzinājumi: Augšā pa kreisi - E. Gūtmaņa saimniecība, augšā pa labi - Baltiņa zemnieku saimniecībā “AKMENTIŅI”, lejā – SIA “VA AGRO”.

Iegūtās dārzeņu produkcijas ķīmisko analīžu noteikšanas metodika:

Dārzeņu ķīmiskās analīzes veiktas LBTU LPTF laboratorijā vadošās pētnieces, Dr. sc. ing. Ingrīdas Augšpoles vadībā. LBTU audzētajiem tomātiem analīzes veiktas gan 2023., gan 2024. gados, burkāniem – 2024. gadā, savukārt sadarbības partneru saimniecībās izaudzētajai produkcijai – 2024. gadā.



8.1.4. attēls. Analīzēm sagatavoti LBTU izaudzētie tomāti, 30.09.2023. un burkāni, 5.10.2024. (I. Sivickas foto).

pH satura noteikšanu veica atbilstoši standartam LVS ISO 1132:2001, izmantojot pH metru *Jenway 3510 pH Meter*. Analīzes ir veiktas desmit atkārtojumos.

Sausnas saturs tomātos noteikts atbilstoši standartam ISO 6496:1999 ar gravimetrijas metodi. Analīzes ir veiktas piecos atkārtojumos.

Šķīstošās sausas satura noteikšana, °Brix noteikta atbilstoši standartam ISO 2173:2003 ar refraktometru (*KRUSS HR18 Manual Refraktometer*, Vācija). Analīzes ir veiktas desmit atkārtojumos.

Hlorofilu un karotinoīdu saturu augļos noteica izmantojot spektrometrisko metodi, to modificējot (Lichtenthaler, Buschmann, 2001). Blenderī sasmalcināja augļu masu un 1 ± 0.001 g pārnesa graduētā mēģenē un uzpildīja ar etilspirtu līdz 10 mL atzīmei. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Savukārt, noteikšanai **lapās**, no tām izspiestus 10 lapu diskus (0.6 cm diametrā) ievietoja piestiņā un saberza, līdz masa kļuva homogēna. Iegūto masu pārnesa graduētā mēģenē un uzpildīja ar etilspirtu līdz 10 mL atzīmei. Visiem paraugiem spektrofotometriski (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”) noteica absorbciju pie 665 nm

(A665), 649 nm (A649) un 440 nm (karotinoīdiem) viļņu garumiem un aprēķināja hlorofilu daudzumu (C) mg L⁻¹. Hlorofilu saturs auga materiālā izteikts mg 100 g⁻¹ svaigas masas:

- hlorofils a (mg mL⁻¹) $c_{Chla} = 13.36A_{664} - 5.19A_{649}$
- hlorofils b (mg mL⁻¹) $c_{Chlb} = 27.43A_{649} - 8.12A_{664}$
- kopējais hlorofilu saturs (mg mL⁻¹) $c_{a+b} = c_{Chla} + c_{Chlb}$

- attiecība starp hlorofilu a un hlorofilu b = $\frac{c_{Chla}}{c_{Chlb}}$

- kopējie karotenoīdi (mg mL⁻¹) $c_{c+x} = \frac{1000A_{470} - 2.13c_{Chla} - 97.63c_{Chlb}}{209}$

Askorbīnskābes noteikšana veikta (mg 100 g⁻¹) noteikts, izmantojot titrimetrisko metodi ar 2,6-dihlorfenolindolfenolu (AOAC, 1990). Blenderī sasmalcināja masu, 50 ml centrifūgas stobriņā iesver 2 ± 0.001 g sasmalcinātā parauga. Katram pievieno 50 ml 1% HCl un 5% H₃PO₄ maisījuma (v : v = 1 : 1) un rūpīgi samaisa. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). C vitamīna satura noteikšanai ar Mora pipeti atmēra 5 mL filtrāta, ko titrē ar 0.0005 molāru 2,6-dihlorfenolindolfenolu līdz vāji sārtai krāsai. C vitamīna satura (mg 100 g⁻¹) aprēķināšanai izmantots vienādojums:

$$m = \frac{V_{titr} \times 0.044 \times V_{kop} \times 100}{V_{anal} \times m_{iesvars}}$$

kur:

V_{titr} – titrēšanai izlietotais 2, 6 dihlorfenolindolfenola tilpums, mL;

0.044 – askorbīnskābes daudzums, ko reducē 1 mL 0.0005 M 2, 6 dihlorfenolindolfenola šķīdums, mg;

V_{kop} – kopējais filtrāta tilpums, mL;

V_{anal} – titrēšanai ņemtais analizējamā šķīduma tilpums, mL;

$m_{iesvars}$ – parauga iesvars, g.

Antociānu satura noteikšanai izmantoja spektrofotometrisko metodi saskaņā ar (Kerch et al., 2011, (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”) pie viļņa garuma 540 nm. 20 g parauga tika aplieti ar 40 g etanola un 1,5 M HCl šķīdumu (85:15 pēc tilpuma). Sagatavotos paraugus ievietoja

uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Ar spektrofotometru tika noteikta gaismas absorbcija pie 535 nm. Paraugu atšķaidīja, līdz absorbcijas koeficients bija no 0.6 līdz 0.8 (Ozola et al., 2017, Moor et al., 2005).

Fenolu saturu noteica izmantojot spektrofotometrisko metodi (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”) to modificējot. Noteikšanai 1 ± 0.01 g parauga ievietoja graduētā mēģenē, pievienoja 10 mL metanola-ūdens-sālsskābes šķīduma (79:20:1 v/v/v), kratīja 30 minūtes, tad separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Šķīduma gaismas absorbcija tika nolasīta pie viļņa garuma 320 nm (A_{320}). Fenolu saturu augu materiālā (mg GAE g^{-1}) aprēķināja, izmantojot vienādojumu.

$$m = \frac{A_{320} - 0.09}{0.009 \times m_{\text{iesvars}}}$$

kur:

A_{320} – absorbcija, kas eksperimentāli noteikta pie 320 viļņu garuma;

iesvars – parauga iesvars, g

m – fenolu saturs augu materiālā (Singleton et al., 1999).

Likopēna un β -karotīna saturu noteica, izmantojot spektrofotometrisko metodi (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”). Blenderī sasmalcināja masu un 1.0 ± 0.001 g pārnesa graduētā mēģenē un uzpildīja ar tetrahidrofurānu līdz 10 mL atzīmei. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Šķīduma gaismas absorbcija tika nolasīta pie viļņa garuma 663, 645, 505 un 453 nm. Lycopēns un β -karotīns tika aprēķināts pēc šādām formulām:

$$\text{Lyc} = (0.0458 * A_{663}) + (0.2044 * A_{645}) + (0.372 * A_{505}) - (0.0806 * A_{453})$$

$$\text{B car} = (0.216 * A_{663}) - (1.22 * A_{645}) - (0.304 * A_{505}) + (0.452 * A_{453})$$

Titrējamās skābes ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) noteica, izmantojot titrimetrisko metodi. Tika nosvērts paraugs 2 ± 0.01 g no biezeņa graduētā mēģenē un pievieno destilētu ūdeni līdz 20 ml. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Ar Mora pipeti atmēra 5 mL filtrāta, ko titrē ar 0, 1 M NaOH fenolftaleīna klātbūtnē.

$$TA = \frac{V_{NaOH} \times V_t}{V_s \times m}$$

kur:

TA – titrējamā skābe (Titratable Acidity)

V_{NaOH} – izlietotā 0,1 M NaOH tilpums,

V_t – kopējais tilpums (20 ml)

V_s — parauga tilpums (5 ml).

Rezultātus izsaka kā citronskābes mg uz 100 g svaigu tomātu svars.

1 ml 0.1 M NaOH atbilst 6,4 mg citronskābe.

Brieduma indekss (BI) avenēs un tomātos tika aprēķināts pēc formulas: ŠSS / TSS, bet **garšas indekss (GI)** avenēs un tomātos tika aprēķināts pēc formulas:

$$GI = \frac{\text{ŠSS}}{20 \times TSS} + TSS$$

kur:

TSS = titrējamais skābes saturs,

ŠSS = Šķīstošā sausna, °Brix (DOBRIN et al., 2019).

Rezultātu matemātiskā apstrāde: Iegūto datu apstrāde veikta ar matemātiskās statistikas metodēm, iegūtajiem rezultātiem aprēķināti vidējie aritmētiskie lielumi ar *Microsoft Excel* 16 programmas paketi. Būtiskuma noteikšanai rezultāti tika analizēti ar programmpaketi *SPSS* 20, izmantojot šādas testēšanas metodes: vienfaktora un divfaktoru dispersijas analīzi (*ANOVA*). Dispersijas analīzē atšķirību skaidrošanai starp pētītajiem paraugiem izmantots *Scheffe* kritērijs. Faktoru būtiskuma novērtēšanā, lai noteiktu ietekmi un mijiedarbību starp tiem, izmantota p–vērtība. T–tests izmantots divu ģenerālkopu parametriem. Pazīmju sakarību ciešums starp analizētajiem rādītājiem noteikts pēc Pīrsona (*Pearson*) metodes (Arhipova, Bāliņa, 2006).

Izvērtējot dažādu pazīmju savstarpējo kopsakarību, lietota korelācijas un regresijas analīze un mazāko kvadrātu metode. Ja sakarība starp pazīmēm ir lineāra, determinācijas koeficients sakrīt ar korelācijas koeficientu: R^2 vienāds ar r . Ja korelācijas koeficienta vērtība ir $0,5 \leq |r| \leq 0,8$, starp pētāmajām pazīmēm ir vidēji cieša lineārā sakarība. Ja $|r| > 0,8$, tad starp pētāmajām pazīmēm ir cieša lineārā sakarība (Arhipova, Bāliņa, 2006).

Izmantotā literatūra.

1. Arhipova I., Bāliņa S. (2003) *Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SSPS un Microsoft Excel*. Rīga: Datorzinību centrs, 352 lpp.
2. Dobrin A., Nedelus A., Bujor O., Mot A., Zugravu M., Badulescu A. (2019). Tomato nutritional quality parameters of the fresh red tomato varieties cultivated in organic system. *Horticulture. Scientific Papers. Series B*, Vol. LXIII, No. 1., pp. 439-443.
3. Dūma M., Alsīņa I., Dubova L., Zeipiņa S. (2014). Titrimetrisko metožu salīdzinājums askorbīnskābes noteikšanai dārzeņos. No: Līdzsvarota lauksaimniecība, Zinātniski praktiskās konferences Raksti (2014. gada 20.–21. februāris), Jelgava: LLU, 131.–135. lpp.
4. Kerch, G., Sabovics, M., Kruma, Z., Kampuse, S., & Straumite, E. (2011). Effect of chitosan and chitooligosaccharide on vitamin C and polyphenols contents in cherries and strawberries during refrigerated storage. *European Food Research and Technology*, 233(2), 351 – 358. DOI: 10.1007/s00217-011-1525-6.
5. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, Vol. 1, No. 1, p. 1–8.
6. MacDougall, D.B. (2002) Colour measurement of food: principles and practice. *In: Colour in Food: Improving Quality*. Ed.: D.B. MacDougall. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, pp. 33–63.
7. Moor U., Karp K., Pöldma P., Pae A. (2005). Cultural systems affect content of anthocyanins and vitamin C in strawberry fruits. *European Journal of Horticultural Science*, Vol. 70, Issue 4, p. 195–201.
8. Moor, U., Karp, K., Pöldma, P. & Pae, A. 2005. Cultural systems affect content of anthocyanins and vitamin C in strawberry fruits. *Eur. J. Hortic. Sci.* 70(4), 195-201.
9. Ozola, L., Kampuse, S., & Galoburda, R. (2017). The effect of high-pressure processing on enteral food made from fresh or semi-finished ingredients. In 11th Baltic Conference on Food Science and Technology, pp. 80 – 85.
10. Singleton V.L., Orthofer R.M., Lamuela-Raventos R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin – Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, Vol. 299, p. 152–178.

Pētījumi dārzenkopībā LBTU - eksperimenta ar tomātiem rezultāti:

Abos pētījuma gados tomātiem sadīgšanu novēroja 10-12 dienas pēc sēšanas, dīgtspēju novērtējot kā 100%. Sējeņus izpiķēja no kasetēm 1 L podos 18. jūlijā, pirmo īsto lapu stadijā. Nebija konstatēta būtiska ekstrakta vai tā koncentrācijas ietekme uz tomātu dēstu augstumu ($p>0.05$), uz izstādīšanu paliekošajā vietā to augstums bija 50-60 cm. Pēc lapu mezglu skaita (vidēji 5-6 mezgli), ekstrakta vai tā koncentrācijas ietekme nepierādījās ($p>0.05$). Abos pētījuma gados saknes bija labi pietīklojušas substrātu 1 L podos.



8.1.5. attēls. Sakņu sistēmas izvērtējums tomātu dēstiem, 2023. gads (I. Sivickas foto).

Arī ekstrakta ietekme uz skābuma pH KCl saturu tomātu dēstu vasās abos gados būtiski neatšķīrās. pH KCl rādītājam svārstības bija 5.5-6.5 diapazonā. Šķīstošās sausnes saturs ($^{\circ}\text{Brix}$) no 4.5 (variants ar dzeramo ūdeni) līdz pa 7.76 (*Dunaliella*, 20%), abos gados pētāmie ekstrakta ietekme nebija būtiska ($p>0.05$), bet koncentrācija bija būtiski ietekmējusi rezultātus ($p>0.05$).

Uz izstādīšanas brīdi paliekošajā vietā visos variantos visiem augiem stublāja diametrs nebija lielāks par 1 cm.

Jāsecina, ka neviens no pētāmajiem mikroaļģu ekstraktiem nebija atstājis kādu negatīvu ietekmi uz dēstu augšanas un attīstības rādītājiem. dēsti nebija izstīdzējušies, kas norāda uz optimālajiem apgaismojuma apstākļiem siltumnīcā. Bet visticamāk, labus rādītājus var pamatot ar šķirnes īpatnībām (šķirne ‘Belle’ F1 paredzēta profesionālajai komercaudzēšanai). Jāpiebilst, ka uz pārstādīšanas brīdi augiem nebija novērotas slimību un kaitēkļu pazīmes. Kas attiecās uz ķīmiskajiem rādītājiem, pH KCl rādītājs un šķīstošās sausnes saturs ($^{\circ}\text{Brix}$) augiem ir bijis atbilstošs dažāda augu brieduma pakāpei.

Rezultāti par ekstraktu ietekmi uz dēstu augšanu un attīstību 2023. gadā publicēti:

Sivicka, I., Kampuss, K., Semjonovs, P. (2025) Effect of treatment with microalgae extracts on growth and development of tomato seedlings. *Acta Horticulturae*, 1416, 51-58, DOI: 10.17660/ActaHortic.2025.1416.7, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2025.1416.7>

Pēc pārstādīšanas 25 L podos paliekošajā vietā polikarbonāta siltumnīcā tomātiem augšanas dinamika bijusi pozitīva, neviens augs nebija izkritis, bet otrādi, augi spēcīgi auga un attīstījās. Pēc mērījumu veikšanas ar *atLeaf* hlorofila mērītāju, lai izprastu fotosintēzes intensitāti augos, iegūtie rezultāti bija normas robežās, bet tendence, ka apakšējās lapās novērojamas nedaudz zemākas vērtības, izskaidrojamas ar vājāku gaismas intensitāti tuvāk siltumnīcas grīdas līmenim, līdz ar to arī nedaudz vājāku fotosintēzes procesu, kas arī ir objektīvi.

8.1.8. tabula

Vidējais hlorofila indekss tomātu lapās atkarībā no to izvietojuma, atLeaf vienībās, 2023.

gads

Variants	Apakšējās lapas	Lapās pie vidējā mezgla	Augšējās lapas
A1C1	46.46	51.92	54.69
A1C2	45.16	57.99	49.84 _{min}
A2C1	46.86	58.24	56.70
A2C2	45.50	48.97 _{min}	51.22
A3C1	46.53	54.62	50.38
A3C2	46.07	52.59	53.89
K1	44.64	53.99	52.47
K2	47.20	52.80	53.87
K0	43.79 _{min}	52.64	56.79

Apzīmējumi: A1C1 – 10% *Spirulina* ekstrakts, A1C2 – 20% *Spirulina* ekstrakts,

A2C1 – 10% *Dunaliella* ekstrakts, A2C2 – 20% *Dunaliella* ekstrakts;

A3C1 – 10% *Chlorella* ekstrakts, A3C12 – 20% *Chlorella* ekstrakts,

K1 – kontrole, etanols, 2% K2 – kontrole, etanols, 4%, K0 – dzeramais ūdens.

Vidējais hlorofila indekss tomātu lapās atkarībā no to izvietojuma, atLeaf vienībās, 2024.

gads

Variants	Apakšējās lapas	Lapās pie vidējā mezgla	Augšējās lapas
A1C1	55.97	56.37	61.60
A1C2	57.23	58.87	61.23
A2C1	55.27	56.40	58.60
A2C2	55.27	56.63	58.77
A3C1	54.03	57.10	58.27
A3C2	54.50	56.13	57.73
A4C1	58.23	60.10	61.33
A4C2	56.30	57.43	60.37
K1	54.70	55.50 _{min}	61.55
K2	50.05 _{min}	56.75	60.87
K0	55.67	56.00	56.93 _{min}

Apzīmējumi: A1C1 – 10% *Spirulina* ekstrakts, A1C2 – 20% *Spirulina* ekstrakts,

A2C1 – 10% *Chlorella* ekstrakts, A2C2 – 20% *Chlorella* ekstrakts,

A3C1 – 10% *Graesiella* ekstrakts, A3C2 – 20% *Graesiella* ekstrakts,

A4C1 – 10% *Tetradismus* ekstrakts, A4C2 – 20% *Tetradismus* ekstrakts,

K1 – kontrole, etanols, 2% K2 – kontrole, etanols, 4%, K0 – dzeramais ūdens.

2023. gadā pirmie ziedi ražojošajā stādījumā bija novēroti 21.08. sekojošajiem variantiem: 10% *Spirulina* ekstrakts, 20% *Spirulina* ekstrakts, 10% *Chlorella* ekstrakts, kontrole, etanols, 2%, kontrole, etanols, 4%. Pēc nedēļas, 29.08. ziedķekarus novēroja arī visiem pārējiem variantiem. Savukārt, pirmo augļu aizmešanas novēroja 29.08. šādiem variantiem: kontrole, etanols, 4%, 10% *Chlorella* un 20% *Chlorella* ekstraktam, kas nesakrita ar pirmo ziedu parādīšanos.

2024. gadā, tā kā tomāti paliekošajā vietā tika izstādīti ātrāk, pirmie ziedi bija masveidā parādījušies jau 13.07., šādiem variantiem: 10% un 20% *Spirulina*, 10% un 20% *Chlorella*, 4%

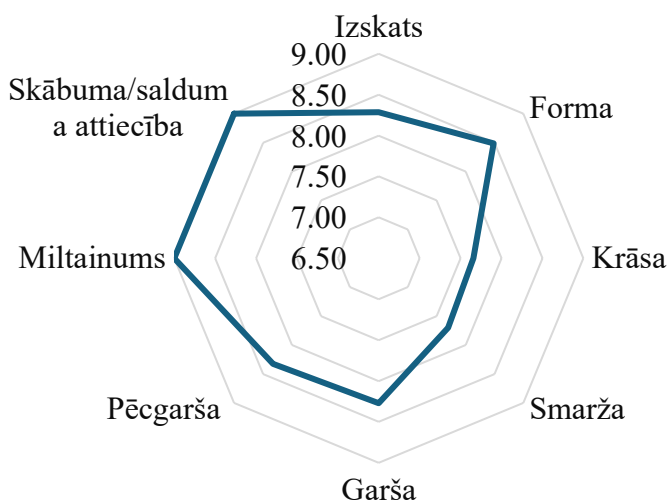
Graesiella, 4% un 8% *Tetrademus*, kontrole, etanols, 4%. bet līdzīgi kā 2023., pirmie augļi bija aizmetušies nedēļu pēc ziedēšanas uzsākšanas, tikai tiem pašiem variantiem.

Tendence bija, ka visos variantos augļi bija noplicinātās formas, tātad variants neietekmēja augu formu (Descriptors..., 2008). Augļu izskats šķērsriezumā pa variantiem neatšķīrās būtiski, lielākoties bija raksturīgi pieci simetriski cirkņi (8.1.6. att.)



8.1.6. attēls. Tomātu augļi un auglis šķērsgriezumā (I. Sivickas foto).

Veicot organoleptisko vērtējumu, abos gados degustētāji nebija konstatējuši atšķirības starp variantiem. Tas ir labi, jo, ekstrakta veidam ietekmējot ražas kvantitāti, ražas kvalitāte paliek nemainīga. Rezultāti atspoguļoti 8.1.7. att.



8.1.7. attēls. Organoleptiskais vērtējums tomātu augļiem, vidēji visiem variantiem abos pētījuma gados.

Rezultāti variēja no 7.66 (krāsa) līdz 9 ballēm (miltainums un skābuma/salduma attiecība garšā). Rezultāti novērtējumi kā optimāli, jo tie atspoguļo 10 vērtētāju dažādus viedokļus.

Analizējot tomātu ražu, uzskaitīja augļu skaitu un svaru no viena auga katrā vākšanas reizē, kā arī izpētīja augļu diametru.

8.1.10. tabula

Tomātu ražas rādītāji, 2023. gads

Variants	Kopējais augļu skaits izmēģinājumā, gab.	Kopējā raža, g
A1C1	107	12624.74
A1C2	129	12319.49
A2C1	106	10707.35
A2C2	106	9445.08
A3C1	80	7952.62
A3C2	154	12278.3
K1	76 _{min}	6205.25 _{min}
K2	121	14848.84
K0	129	12668.48

Apzīmējumi: A1C1 – 10% *Spirulina* ekstrakts, A1C2 – 20% *Spirulina* ekstrakts,

A2C1 – 10% *Dunaliella* ekstrakts, A2C2 – 20% *Dunaliella* ekstrakts;

A3C1 – 10% *Chlorella* ekstrakts, A3C12 – 20% *Chlorella* ekstrakts,

K1 – kontrole, etanols, 2%, K2 – kontrole, etanols, 4%, K0 – dzeramais ūdens

Pēc ražas datiem 2023. gadā, lielāks augļu skaits (154) tika iegūts no augiem variantā 20% *Chlorella* ekstrakts, toties lielāka kopējā raža – ar dzeramo ūdeni, nedaudz atpalika variants 10% *Spirulina* ekstrakts (šiem variantiem veidojās smagāki augļi). Variantā ar *Chlorella* ekstraktu, tikai 10% koncentrāciju, tika iegūts otrais mazākais augļu skaits. Vismazāk augļu, kā arī vismazākā kopējā raža bija kontroles variantam ar etanolu, 2%.

Tomātu ražas rādītāji, 2024. gads

Variants	Kopējais augļu skaits izmēģinājumā, gab.	Kopējā raža, g
A1C1	153	18325.79
A1C2	115	14219.21
A2C1	107	14291.0
A2C2	180	21397.64
A3C1	119	14038
A3C2	112	13957.29
A4C1	127	15870
A4C2	119	15169
K1	72min	10600
K2	88	10707
K0	258	23179.1

Apzīmējumi: A1C1 – 10% *Spirulina* ekstrakts, A1C2 – 20% *Spirulina* ekstrakts,

A2C1 – 10% *Chlorella* ekstrakts, A2C12 – 20% *Chlorella* ekstrakts,

A3C1 – 10% *Graesiella* ekstrakts, A3C12 – 20% *Graesiella* ekstrakts,

A4C1 – 10% *Tetradismus* ekstrakts, A4C12 – 20% *Tetradismus* ekstrakts,

K1 – kontrole, etanols, 2% K2 – kontrole, etanols, 4%, K0 – dzeramais ūdens.

Pēc ražas datiem 2024. gadā, lielāks augļu skaits (258) tika iegūts no augiem variantā ar dzeramo ūdeni, šim variantam konstatēta arī lielāka kopējā raža. Nedaudz atpalika variants 20% *Chlorella* ekstrakts (180 augļi un otrā lielākā raža).

Pēc augļu diametra, maksimālā vidējā vērtība (9 cm) novērota variantos: K0 – dzeramais ūdens (gan pēc diametra lielāki, gan smagāki augļi), K1 – kontrole, etanols, 2% (augi veidoja mazāk augļu, bet lielākā diametra), A1C2 – 20% *Spirulina* ekstrakts. Vidējais augļa diametrs 2023. gadā svārstījās no 7.0 cm (abiem *Chlorella* variantiem) līdz 9.0 cm (20% *Spirulina*, kontrole ar

dzeramo ūdeni un kontrole, etanols, 4%). 2024. gadā augļu diametrs visos variantos bija nedaudz lielāks (ap 8 cm), maksimālie izmēri konstatēti variantā ar dzeramo ūdeni (9.5 cm).

Noslēdzot pētījumu (abos gadījumos – janvārī), gadam konstatēja būtisku ietekmi uz mezglu skaitu (kas ir loģiski, jo 2025. gadā stādījumu iekārtoja mēnesi ātrāk): 2023. gadā mezglu skaits svārstījās 21-22 robežās, bet augu augstums – līdz 140 tad otrajā eksperimentālajā gada 23-25 robežās, savukārt augstums (neskatoties uz galotņošanu) – aptuveni 180-185 cm.

Par 2023. gadu dati par LBTU audzēto tomātu bioķīmisko sastāvu sniegti divās publikācijās:

1. Augšpole I., Sivicka I., Kampuss I., Semjonovs P. (2024). Effect of treatment with microalgae extracts to some morphological and biochemical parameters of tomato leaves. *AGROFOR, International Journal*, Vol. 9, Issue No. 3, p. 30-38.
2. Augšpole I., Sivicka I., Kampuss I., Semjonovs P., Missa I. (2024). Biologically Active Compounds in Tomato Fruits Under the Application of Water–Ethanol *Spirulina*, *Dunaliella* and *Chlorella* Microalgae Extracts on Plants' Leaves. *International Journal of Plant Biology*, Vol. 15(4), 1338-1352; <https://doi.org/10.3390/ijpb15040092>

Pēc publicētajiem datiem, rezultāti pa komponentiem atšķīrās, bet bija normas robežās, bet variantu ietekme lielākai daļai rezultātu nebija būtiska. Dati par bioķīmisko sastāvu 2024. gadā **sniegti Ingrīdas Augšpoles pārskatā** (*Dārzeņu bioķīmiskie rādītāji 2024. gadā*), atšķirības skaidrojamas ar siltākiem un saulainākiem laikapstākļiem otrajā audzēšanas gadā, bet tendence bijusi līdzīga.

Diskusija un secinājumi. Pētījuma laikā mikroaļģu ekstraktiem nebija konstatēta negatīva ietekme uz tomātu augšanu un ražas veidošanos. Iegūtos rezultātus ražas kvantitātes aspektā var izmantot turpmākajos pētījumos atkarībā no ražas realizācijas viedokļa – piemēram, vai ir nepieciešams izaudzēt mazāka vai lielāka izmēra tomātus. Pēc iegūtās kopražas labākie rezultāti novēroti variantos ar dzeramo ūdeni. Variantu ietekme uz augļu organoleptiskajiem rādītājiem netika konstatēta, kas vērtējams pozitīvi, turklāt šis moments vairāk norāda uz šķirnes stabilitāti.

Kā iepriekš tika minēts, gadījuma ar *Dunaliella* sp. variantu 2023. gadā, ekstrakta izsmidzināšanas momentā tika konstatēts, ka pilieni nevarēja noturēties uz lapas virsmas un,

salīdzinot ar citiem preparātiem, pastiprināti bija notecējuši. Tas nozīmē, ka šī ekstrakta potenciāls ražojošajā stādījumā varēja neparādīt savu maksimumu, tāpēc 2024. gadā variants tika izslēgts. Pozitīvi jāuzsver, ka izsmidzinot šo ekstraktu, kas ir oranžā krāsā, uz augļiem nebija palikuši kādi pleķi, līdz ar to arī ražas kvalitāte nebija samazinājusies.

Ieteikums būtu turpināt pētījumu pirmās aprites apstākļos, jo Latvijas agroklimatiskajos apstākļos pavasarī laikapstākļi mēdz būt ļoti dažādi, t.sk. neoptimāli, kas ir būtiski preparātu izpētei.

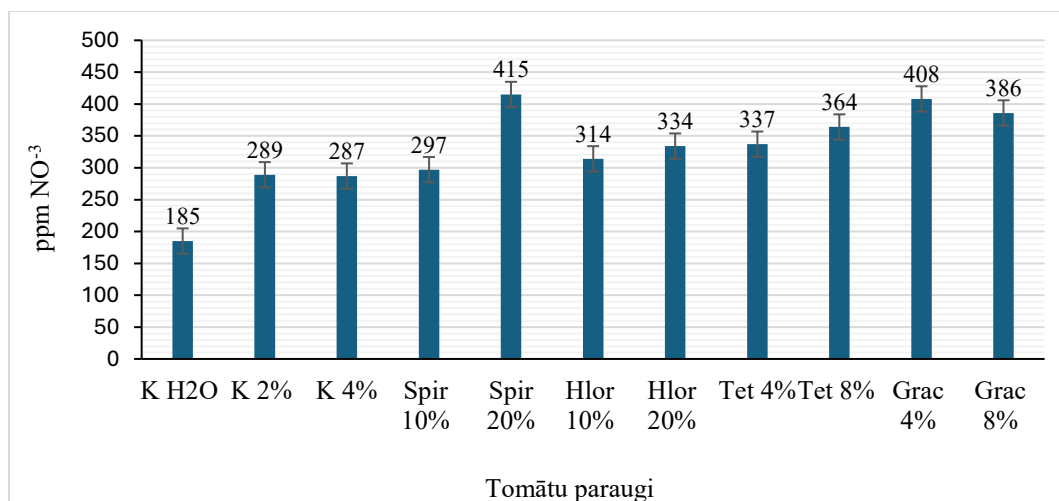
Izmantotā literatūra:

1. Brown L. A., Williams O., Dash J. (2022). Calibration and characterisation of four chlorophyll meters and transmittance spectroscopy for non-destructive estimation of forest leaf chlorophyll concentration. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 323, p. 1-17.
2. *Descriptors for Tomato (Lycopersicon spp.)*. Rome: IPGRI International Plant Genetic Resources Institute. 47 p.
3. Dzērve K., Taranovs V. (1986). *Tomātu audzēšana*. Rīga: Avots. 109 lpp.
4. Krustkalne A. (1974). *Tomāti segtajās platībās*. Rīga: Liesma. 144 lpp.

8.1.1. Bioķīmiskie rādītāji tomātos

Nitrāti ar Horbia LAQUA twin compact water quality meter ppm NO^{-3} ($\text{mg kg}^{-1} = 1 \text{ ppm}$)

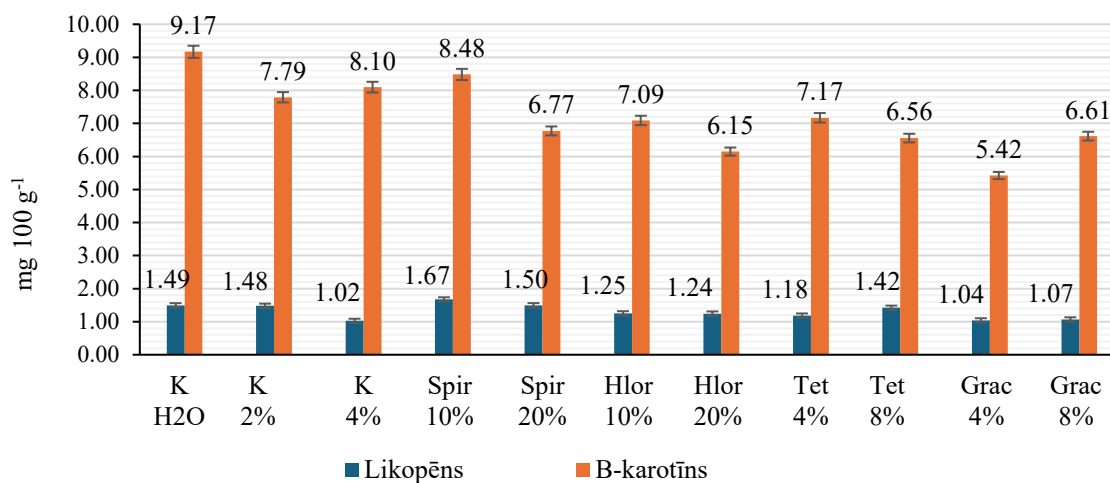
Nitrātu saturs tomātos bija noteikts no 185 - 415 mg kg^{-1} (skat. 8.1.1.1. attēlu). Palielinoties mikroaļģu koncentrācijai, attiecīgi ir palielinājies nitrātu saturs tomātos.



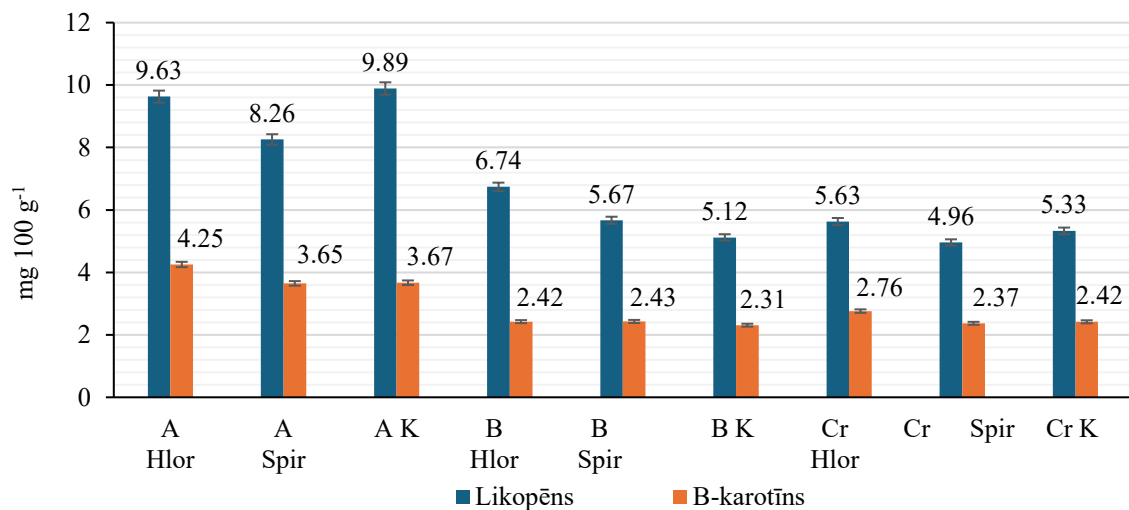
8.1.1.1.attēls. Nitrātu analīze_LBTU.

Likopēna un β-karotīna saturs tomātos

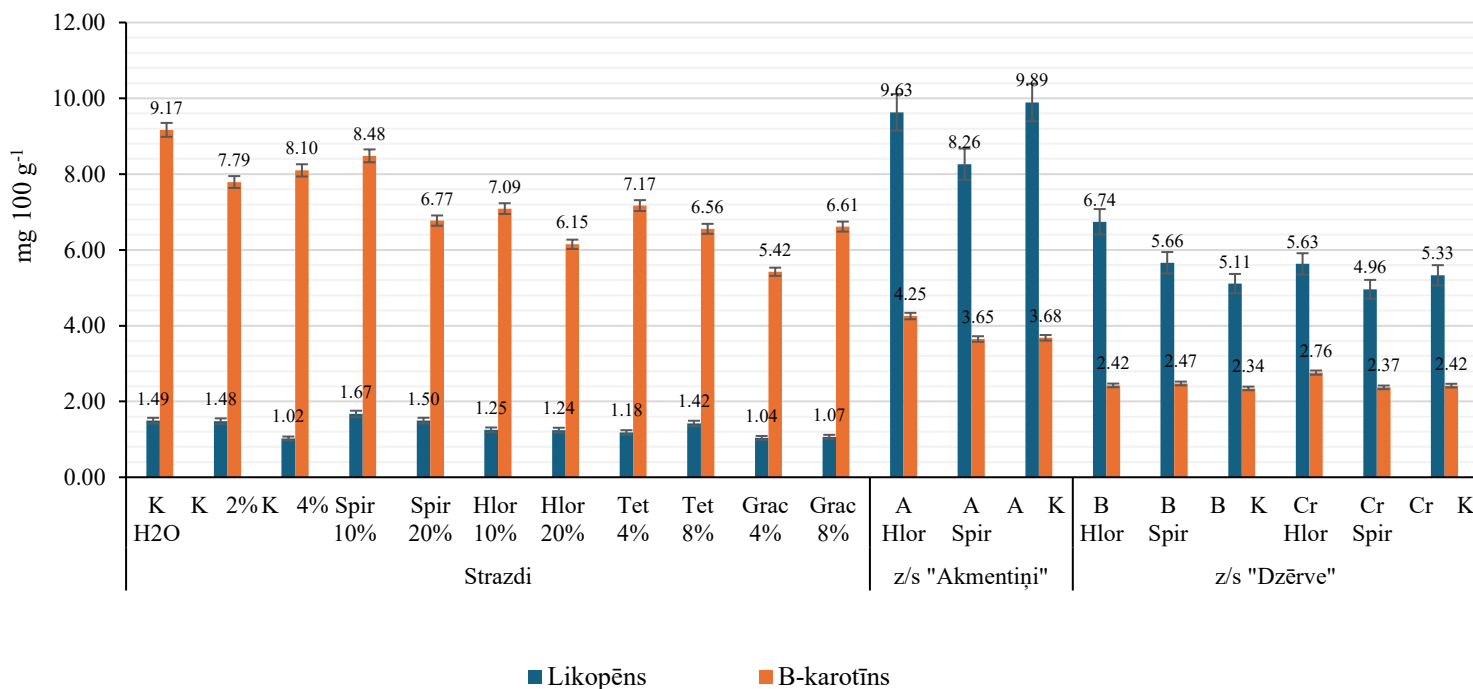
Projektā likopēna saturs tomātos bija noteikts no 1,07 - 9,89 mg 100 g⁻¹. Savukārt β-karotīna saturs tomātos bija no 2,31 – 9,17 mg 100 g⁻¹ (skat. 8.1.1.2; 8.1.1.3. attēlu).



8.1.1.2. attēls. Likopēns un β-karotīns_LBTU.



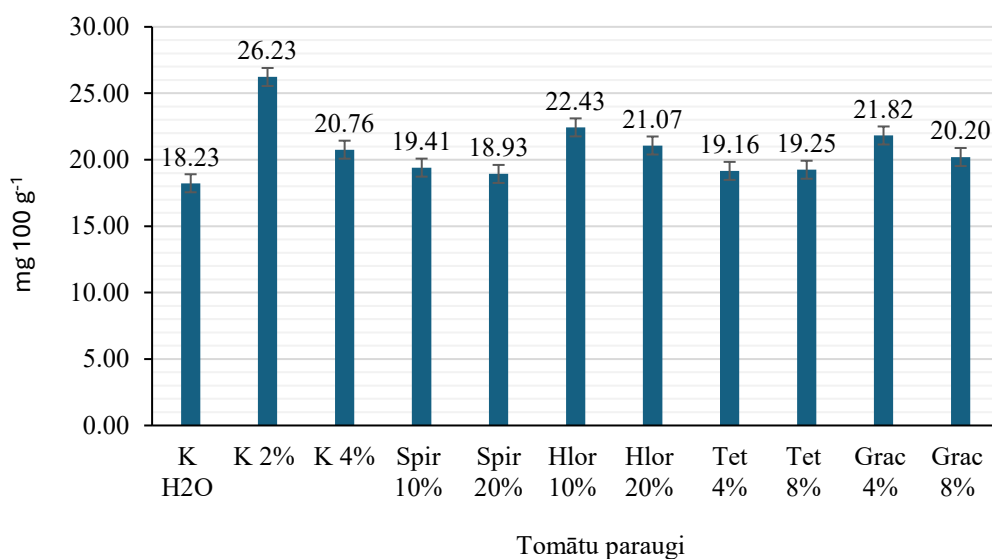
8.1.1.3.attēls. Tomātu likopēns_z/s "Akmentiņi" un z/s "Dzērve" (z/s "Akmentiņi" - 'Aurea', z/s "Dzērve" - 'Barabine', 'Kristals') A Hlor - 'Aurea' Hlorella; A Spir - 'Aurea' Spirulina; A K - 'Aurea' kontrole; B Hlor - 'Barabine' Hlorella; B Spir - 'Barabine' Spirulina; B K - 'Barabine' kontrole; Cr Hlor - 'Kristals' Hlorella; Cr Spir - 'Kristals' Spirulina; Cr K - 'Kristals' kontrole



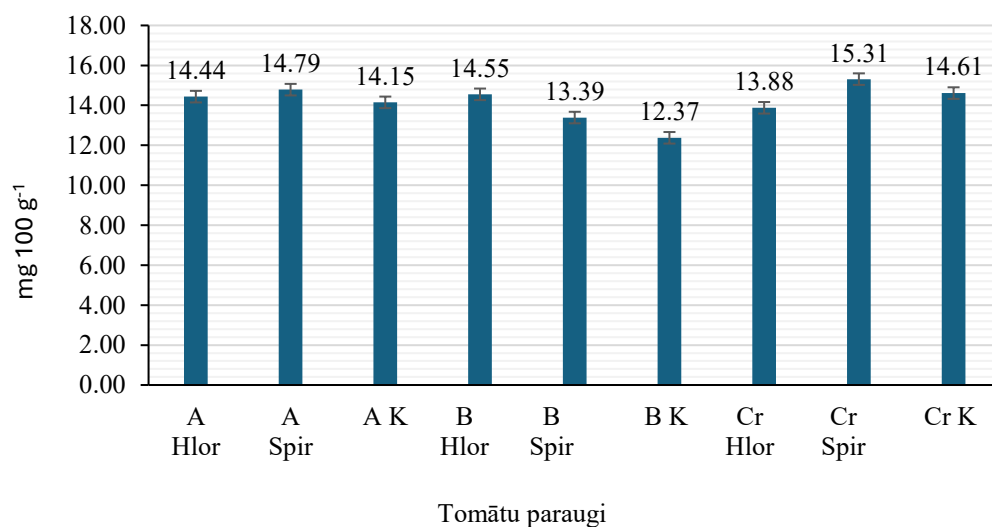
8.1.1.4. attēls. Likopēns un β -karotīns Strazdu, z/s "Akmentiņi" un z/s "Dzērve" tomāti.

Vitamīna C saturs tomātos

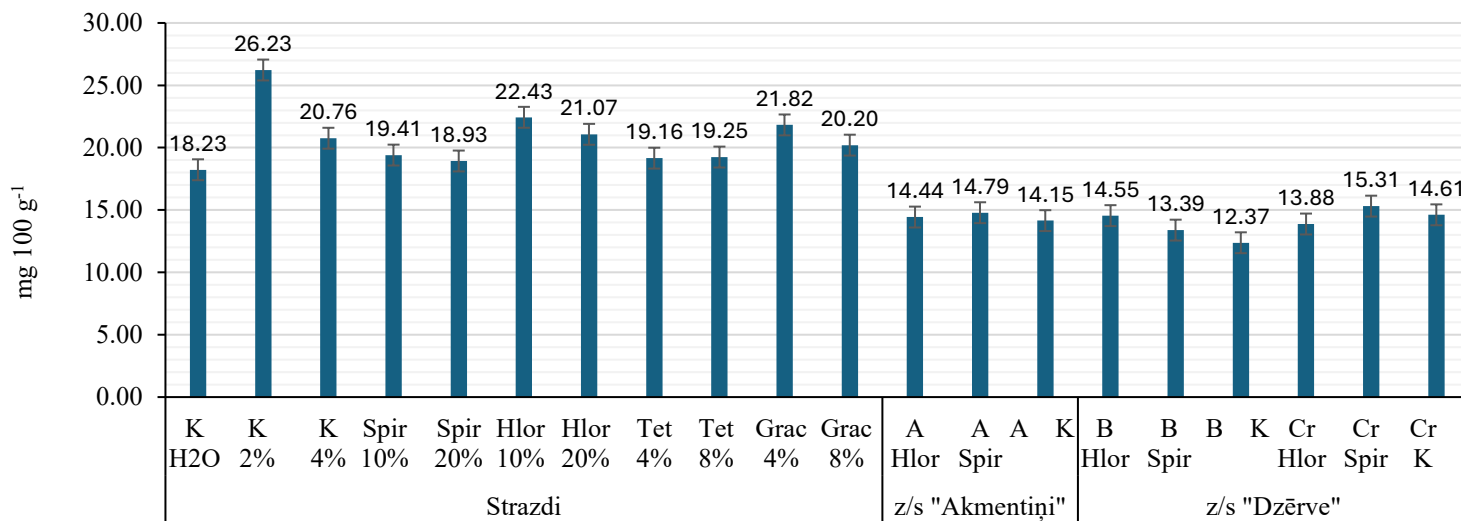
C vitamīna saturs tomātos bija noteikts robežās no 12,37 – 26,23 mg 100 g⁻¹ (skat. 8.1.1.5.; 8.1.1.6.; 8.1.1.7. attēlu).



8.1.1.5.attēls. Vitamīns C LBTU.



8.1.1.6. attēls. Tomātu vitamīns C _z/s "Akmentiņi" un z/s "Dzērve" (z/s "Akmentiņi" - 'Aurea', z/s "Dzērve" - 'Barabine', 'Kristals'), A Hlor - 'Aurea' Hlorella; A Spir - 'Aurea' Spirulina; A K - 'Aurea' kontrole; B Hlor - 'Barabine' Hlorella; B Spir - 'Barabine' Spirulina; B K - 'Barabine' kontrole; Cr Hlor - 'Kristals' Hlorella; Cr Spir - 'Kristals' Spirulina; Cr K - 'Kristals' kontrole.

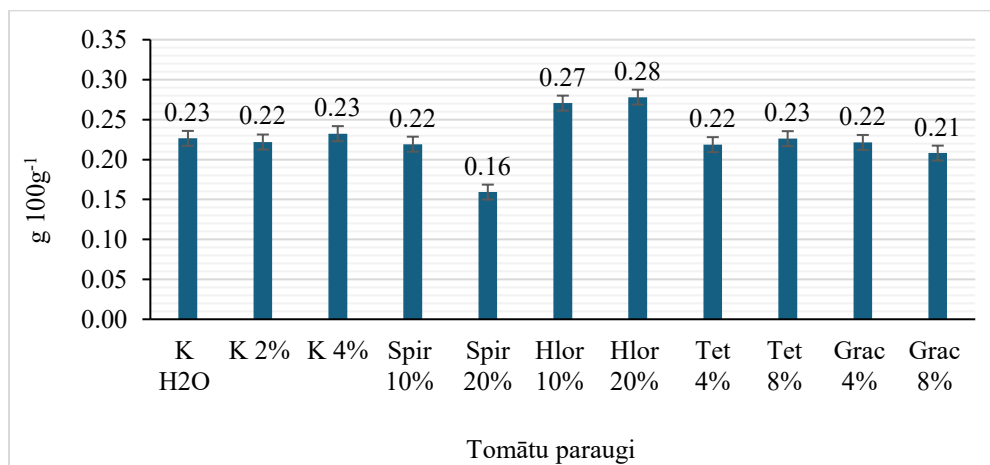


Tomātu paraugi

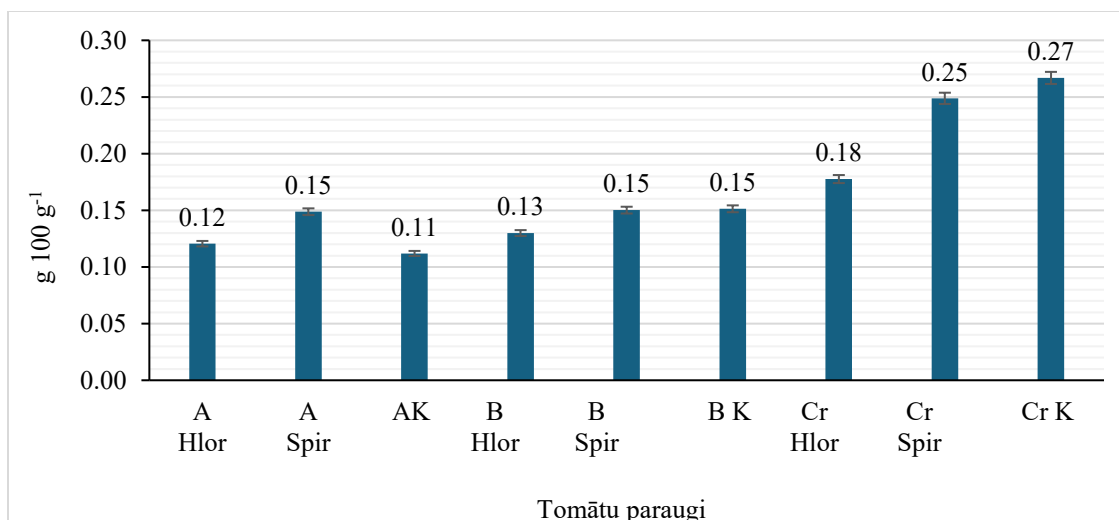
8.1.1.7.attēls. Vitamīns C LBTU, z/s "Akmentiņi" un z/s "Dzērve" tomāti.

Titrējamās skābes saturs tomātos

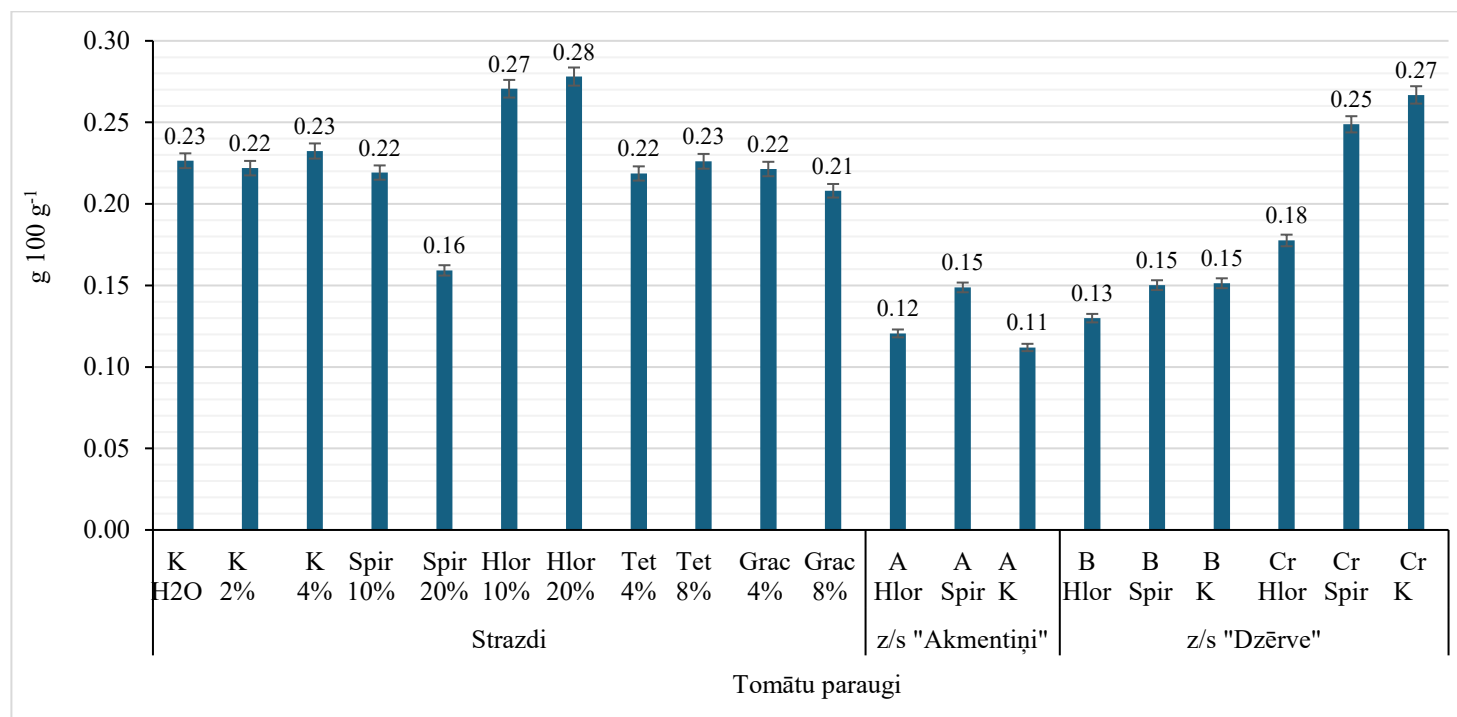
Titrējamā skābe tomātos bija noteikta robežās no 0,11 – 0,28 g 100 g⁻¹ (skat. 8.1.1.8.; 8.1.1.9.; 8.1.1.10 attēlus).



8.1.1.8. attēls. Titrējamā skābe LBTU tomāti.



8.1.1.9. attēls. Tomātu titrējamā skābe z/s "Akmentiņi" un z/s "Dzērve" (z/s "Akmentiņi" - 'Aurea', z/s "Dzērve" - 'Barabine', 'Kristals'), A Hlor - 'Aurea' Hlorella; A Spir - 'Aurea' Spirulina; A K - 'Aurea' kontrole; B Hlor - 'Barabine' Hlorella; B Spir - 'Barabine' Spirulina; B K - 'Barabine' kontrole; Cr Hlor - 'Kristals' Hlorella; Cr Spir - 'Kristals' Spirulina; Cr K - 'Kristals' kontrole.



8.1.1.10. attēls. Titrējamā skābe LBTU, z/s "Akmentiņi" un z/s "Dzērve" tomāti.

Garšas indekss (GI) un brieduma indekss (BI), pH un šķīstošās sausas saturs (°Brix) Strazdu, z/s "Akmentiņi" un z/s "Dzērve" tomātos

Projektā analizētajiem tomātiem šķīstošās sausnas saturs (ŠSS) bija robežās no 3,17 līdz 7,89 °Brix; garšas indekss (GI) no 0,13 līdz 0,37, brieduma indekss (BI) no 14,27 līdz 35,67, pH no 4,20 līdz 4,56 (skat. 8.1.1.1. tabulu).

8.1.1.1. Tabula.

Tomātu parametri

Burkānu paraugi	Garšas indekss (GI)	Brieduma indekss (BI)	pH	°Brix
LBTU				
K H ₂ O	0,27	15,45	4.31	3.50
K 2%	0,26	14,27	4.29	3.17
K 4%	0,27	15,63	4.26	3.63
Spir 10%	0,25	14,60	4.27	3.20
Spir 20%	0,19	25,54	4.28	4.07
Hlor 10%	0,33	15,77	4.25	4.27
Hlor 20%	0,34	14,98	4.33	4.17
Tet 4%	0,25	14,48	4.32	3.17
Tet 8%	0,28	19,31	4.34	4.37
Grac 4%	0,28	22,43	4.33	4.97
Grac 8%	0,25	21,63	4.38	4.50
z/s "Akmentiņi" - 'Aurea'				
A Hlor	0,15	35,67	4,56	4,30
A Spir	0,18	29,94	4,44	4,45
A K	0,13	34,88	4,52	3,90
z/s "Dzērve" - 'Barabine', 'Kristals'				
B Hlor	0,16	37,20	4,44	4,83
B Spir	0,18	26,31	4,41	3,95
B K	0,18	28,25	4,38	4,28
Cr Hlor	0,23	32,19	4,30	5,72
Cr Spir	0,34	30,63	4,20	7,62
Cr K	0,37	29,56	4,25	7,89

Fenolu un antociānu saturs tomātos

Kopējo fenolu saturs tomātos bija noteikts robežās no 27,64 līdz 110,62 mg 100 g⁻¹. Savukārt antociānu saturs tomātos bija no 0,21 līdz 0,41 mg 100 g⁻¹ (skat. 8.1.1.2 tabulu).

8.1.1.2. tabula

Tomātu paraugi	Fenoli	Antociāni

	mg 100 g ⁻¹	mg 100 g ⁻¹
LBTU		
K H ₂ O	41.76	0.28
K 2%	27.64	0.28
K 4%	40.59	0.28
Spir 10%	60.86	0.37
Spir 20%	53.93	0.35
Hlor 10%	31.32	0.24
Hlor 20%	33.05	0.28
Tet 4%	34.45	0.32
Tet 8%	31.70	0.25
Grac 4%	32.77	0.30
Grac 8%	30.13	0.27
z/s "Akmentiņi" - 'Aurea'		
A Hlor	78,89	0,32
A Spir	65,88	0,27
A K	61,20	0,21
z/s "Dzērve" - 'Barabine', 'Kristals'		
B Hlor	66,05	0,21
B Spir	70,74	0,26
B K	68,11	0,21
Cr Hlor	73,97	0,28
Cr Spir	110,62	0,41
Cr K	101,78	0,37

Hlorofila indekss tomātu lapās, sadarbības partneru saimniecībās

8.1.1.3. tabula

31.07.

ZS "Akmentiņi", šķirne 'Aurea' F1, plēves siltumnīca

		AtLeaf vienības	SPAD units	Total chl, mg cm ⁻²
Hlorella, 5% v/v	1. atk.	64.2	53.5	0.0584
		59.2	48.5	0.0504
		56.9	46.2	0.0469
		57.8	47.1	0.0483
		62.1	51.4	0.055
	2. atk.	64.8	54.1	0.0594
		66.3	55.5	0.0618
		65.3	54.5	0.0602

		58.5	47.8	0.0494
		54.7	44.1	0.0437
	3. atk.	65.8	55.0	0.0610
		61.5	50.8	0.0540
		65.5	54.7	0.0605
		66.7	55.9	0.0625
		59.7	49.0	0.0512
	4. atk.	64.3	53.6	0.05850
		63.8	53.1	0.05770
		58.9	48.2	0.05000
57.6		46.9	0.04800	
51.4		40.8	0.03890	
Spirulīna, 5% v/v	1. atk.	54.2	43.6	0.04290
		59.2	48.5	0.05040
		59.7	49.0	0.05120
		54.1	43.5	0.04280
		64.3	53.6	0.05850
	2. atk.	57.8	47.1	0.04830
		50.4	39.8	0.03750
		52.4	41.8	0.04030
		58.7	48.0	0.04970
		64.7	54.0	0.05920
	3. atk.	60.8	50.1	0.05290
		60.6	49.9	0.05260
		61.6	50.9	0.05420
		60.8	50.1	0.05290
		64.0	53.3	0.05800
	4. atk.	60.6	49.9	0.05260
		55.9	45.2	0.04540
		61.3	50.6	0.05370
82.7		71.8	0.09150	
77.7		66.8	0.08200	
Kontrole, dzeramais ūdens	1. atk.	60.9	50.2	0.05310
		56.5	45.8	0.04630
		55.3	44.6	0.04460
		62.2	51.5	0.05510
		62.0	51.3	0.05480
	2. atk.	53.0	42.4	0.04120
		56.3	45.6	0.04600
		54.8	44.2	0.04380
		48.3	37.7	0.03460
		51.8	41.2	0.03950
	3. atk.	63.1	52.4	0.05660

		69.5	58.7	0.06730
		69.3	58.5	0.06690
		69.0	58.2	0.06640
		69.6	58.8	0.06740
	4. atk.	60.4	49.7	0.05230
		68.8	58.0	0.06610
		73.3	62.5	0.07390
		68.4	57.6	0.06540
		59.8	49.1	0.05140

17.07.

E. Gūtmaņa saimniecība

Stādīti ar attālumu līdz 30 cm

			AtLeaf vienības	SPAD units	Total chl, mg cm ⁻²
Hlorella, 5% v/v		1. atk.	62.8	52.1	0.0561
			61.4	50.7	0.0539
			66.1	55.3	0.0615
			60.5	49.8	0.0525
			61.6	50.9	0.0542
		2. atk.	61.0	50.3	0.0532
			61.2	50.5	0.0536
			59.3	48.6	0.0506
			66.2	66.2	0.0617
			59.6	48.9	0.0511
Spirulīna, 5% v/v	šķirne 'CRISTAL' F1	1. atk.	62.1	48.9	0.0511
			55.1	44.4	0.0443
			58.4	47.7	0.0338
			61.3	50.6	0.0537
			62.4	51.7	0.0555
		2. atk.	53.2	42.6	0.0415
			59.1	48.4	0.0503
			57.1	46.4	0.0472
			54.5	43.9	0.0434
			61.5	50.8	0.0540
Kontrole, dzeramais ūdens		1. atk.	61.6	50.9	0.0542
			54.2	43.6	0.0429
			58.7	48.0	0.0497
			58.3	47.6	0.0491
			49.1	38.5	0.0357
		2. atk.	56.1	45.4	0.0457
			58.9	48.2	0.0500

		57.9	47.2	0.0484
		58.9	48.2	0.0500
		56.7	46.0	0.0466

Hlorella, 5% v/v	šķirne 'BARIBINE' F1	3. atk.	56.5	45.8	0.0463
			60.9	50.2	0.0531
			50.3	39.7	0.0374
			54.4	43.8	0.0432
			68.5	57.7	0.0655
		4. atk.	59.3	48.6	0.0506
			58.6	47.9	0.0495
			59.7	49.0	0.0512
			60.8	50.1	0.0529
			58.1	47.4	0.0488
		5. atk.	54.1	43.5	0.0428
			55.5	44.8	0.0448
			65.0	54.3	0.0597
			54.5	43.9	0.0434
			55.3	44.6	0.0446
Spirulīna, 5% v/v	šķirne 'BARIBINE' F1	3. atk.	59.8	49.1	0.0514
			61.7	51.0	0.0544
			60.5	49.8	0.0525
			56.3	45.6	0.046
			59.6	48.9	0.0511
		4. atk.	58.0	47.3	0.0486
			54.1	43.5	0.0428
			60.4	49.7	0.0523
			52.4	41.8	0.0403
			53.7	43.1	0.0422
		5. atk.	58.5	47.8	0.0494
			48.1	37.5	0.0344
			60.5	49.8	0.0525
			57.5	46.8	0.0478
			58.6	47.9	0.0495
Kontrole	šķirne 'BARIBINE' F1	3. atk.	60.2	49.5	0.052
			57.9	47.2	0.0484
			44.9	34.4	0.0301
			62.3	51.6	0.0553
			57.6	46.9	0.048
		4. atk.	54.1	43.5	0.0428
			55.6	44.9	0.045
			65	54.3	0.0597
			54.5	43.9	0.0434

			55.3	44.6	0.0446
		5. atk.	53.7	43.1	0.0422
			54.2	43.6	0.0429
			51.3	40.7	0.0388
			51.4	40.8	0.0389
			62.4	51.7	0.0555

8.2. Rudens avenes

Remontantās jeb rudens avenes pasaulē tiek audzētas jau vairāk kā 200 gadu, tomēr Latvijas teritorijā šo kultūraugu izmantošana ir parādījusies salīdzinoši nesen – pagājušā gadsimta astoņdesmitajos gados. Tomēr Latvijā šo aveņu veida audzēšana vēl joprojām tiek piekopta nelielās platībās, tam par pamatu ir nepietiekams šķirņu klāsts un klimatiskie apstākļi. Lai rudens avenes sasniegtu augstāko ražas potenciālu ir nepieciešams salīdzinoši ilgs augšanas periods ar siltiem rudens sākumiem un vēlām salnām. Plašāk audzētās rudens aveņu šķirnes Latvijā ir “Babje Ļeto” un Polijā selekcionētā šķirne “Polana”. Šī suga ir īpaša ar ātrāku ogu ienākšanas laiku – jau augusta pēdējā dekādē, vienlaikus nodrošinot augstu kopējo augļu ražību (Strautiņa, Kalniņa 2012).

Aveņu izmēģinājumi (efektivitātes skrīnings) tika veikti LBTU Lauksaimniecības un pārtikas tehnoloģijas fakultātes Augsnes un augu zinātņu institūta Dārzkopības un biškopības laboratorijā. Iegādātie rudens aveņu šķirnes “Polana” stādi ar slēgtu sakņu sistēmu 26. jūnijā iepodoti jeb iestādīti 25 L podos ar kūdru (pH KCl 5,5, SIA “Laflora”) (skat. 8.2.1., 8.2.2. un 8.2.3. attēls). Katram apstrādes variantam izmantoti 6 augi, katrs savā podā.



8.2.1. attēls. Aveņu stādi “Polana” pirms iepodošanas.



8.2.2. attēls. Avenu stādīšana podos jeb podošana.



8.2.3. attēls. Iepodoti avenu stādi.

Augus nolemts izvietot lauka apstākļos, jo šajā laikā laukā bija optimāli apstākļi aveņu audzēšanai, kamēr plēves siltumnīcā (kur sākotnēji bija rezervēta vieta aveņu audzēšanai) temperatūra saulainās dienās nereti pakāpās virs optimālas. Turklāt jau iepriekš bija izmērīts, ka siltumnīcā ir sliktāki gaismas apstākļi, kas varētu samazināt ogu kvalitāti. Plānā bija avenes audzēt lauka apstākļos pa vasaru, bet vasaras beigās/rudenī pirms salnām augus pārvietot uz siltumnīcu, lai ievāktu maksimāli iespējamo ražu. Tomēr 2023. gada rudens bija silts un salnas nesākās līdz oktobrim, tāpēc visu iespējamo ražu izdevās iegūt lauka apstākļos. Augi pārnesti uz siltumnīcu iezīmošanai tikai pēc ražas ievākšanas, visu mērījumu veikšanas un dzinumu nogriešanas.

2024. gada 30. aprīlī augi atkal izvietoti atklāta lauka apstākļos, līdzīgi kā 2023. gadā. Pamatmēslojumā dots 5 g NovaTec Classic 12-8-16(+3+TE) lēnas iedarbības mēslojums uz augu. 3. maijā dots papildmēslojums 2 g Kristalons Zaļš 18-18-18+micro (ātri šķīstošs). 24. jūnijā kopā ar laistīšanu dots 1 L kalcija nitrāta šķīdums (2 g mēslojuma uz 1 L) uz podu. 19. jūlijā dots papildmēslojums 2 g Kristalons Zaļš 12-12-36+micro (ātri šķīstošs), bet 23. jūlijā atkārtoti pielietots NovaTec Classic 10 g uz auga. Tā kā augiem bija tendence veidot lielu skaitu dzinumu, bet poda izmēri bija ierobežoti, tad dzinumi retināti, atstājot 3 spēcīgākos dzinumus uz katra auga. Šajā gadā novēroti arī nelabvēlīgu laika apstākļu ietekme – 13. maijā daļai augu salnās bija apsalušas galotnes un daļa dzinumu lūza no vēja – tāpēc daļai augu pielikti balsti. Dzinumi, kuru



8.2.4. attēls. Augi izmēģinājumā.

galotnes bija apsalušas, vēlāk veidoja vairāk un spēcīgākus sāndzinumus. Savukārt, 29. jūlijā ekstremāla lietus rezultātā izmēģinājumu vieta applūda un podi atradās daļēji vai pilnīgi applūduši. Nākošajā lasījumā ogas bija nedaudz bojātas, tomēr augi turpināja ražot.

Podi ar augiem izvietoti izmēģinājumu laukā ar nosegtu augsni, izvietojot randomizēti (4. attēls). Katram augam veikta atsevišķa ražas un citu parametru uzskaitē, tātad katrs augs izmantots kā atkārtojums.

Smidzinājumi veikti ar muguras smidzinātāju. 2023. gadā tie uzsākti 26. jūnijā un turpmāk veikti ik pēc 7 dienām, kopā 9 smidzinājumi. Smidzinājumiem izmantoti iepriekš izgatavoti *Spirulina platensis*, *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris* spirta ekstrakti (etanola koncentrācija 20% v/v) (8.2.5. attēls), kā arī projekta gaitā iegūti *Tetrademus obliquus* un *Grasiella emersonii* ekstrakti (etanola koncentrācija 50% v/v). Izmantotas divas ekstraktu koncentrācijas. Kontrolei tās salīdzinātas ar atbilstošas koncentrācijas etanola šķīdumiem, lai novērtētu potenciālo šķīdinātāja ietekmi uz augiem. Izmantota arī “nulles” kontrole, kur augi netika apstrādāti. Tātad ierīkots 2 faktoru izmēģinājums ar 6 atkārtojumiem. 2023. gada izmēģinājumu shēma parādīta 8.2.1. tabulā.



8.2.5. attēls. Mikroaļģu *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp., *Chlorella* sp. ekstrakti.

8.2.1. tabula

Aveņu izmēģinājuma ekstraktu raksturojošie parametri.

Varianti	C - koncentrācija, %	
	C1	C2
A1 – <i>Spirulina</i> sp.	10	20
A2 – <i>Dunaliella</i> sp.	10	20
A3 – <i>Chlorella</i> sp.	10	20
A4 – A ekstrakts	4	8
A5 – B ekstrakts	4	8
K1 – etanols	2	
K2 – etanols	4	
K0 – bez apstrādes	0	

2024. gadā izmēģinājumu shēma tika modificēta, jo projekta gaitā tika iegūti arī LU izaudzēti *Spirulina platensis* un *Chlorella vulgaris* spirta ekstrakti (etanola koncentrācija 50% v/v) (2. tabula). 2024. gadā smidzinājumi uzsākti 21. maijā un turpmāk veikti ik pēc 7 dienām, kopā 8 smidzinājumi.

8.2.2. tabula

Aveņu izmēģinājumu shēma 2024. gadā

Variants	C - koncentrācija, %	
	C1	C2
A1 – <i>Spirulina platensis</i>	4	8
A2 – <i>Dunaliella salina</i>	4	8
A3 – <i>Chlorella vulgaris</i>	4	8
A4 – <i>Tetrademus obliquus</i>	4	8
A5 – <i>Grasiella emersonii</i>	4	8
K1 – etanols	2	
K2 – etanols	4	
K0 – bez apstrādes	0	

Veicot smidzinājumus, tajos pašos datumos mērīja arī galveno (produktīvo) dzinumu garumu, lai noteiktu augšanas dinamiku. 2024. gadā mērīti jau sākotnēji atstātie 3 dzinumi uz auga.

Augšanas laikā tika noteikta arī auga fenoloģiskā attīstība, pierakstot ziedēšanas un ražas ienākšanās laikus. Pēc pēdējās apstrādes (4. septembrī 2023. gadā un 23. jūlijā 2024. gadā) lapām noteikts hlorofila indekss ar atLeaf mērītāju (kas apraksta augu veselību, pamatojoties uz hlorofila saturu lapās). Noteikti katram augam 3 mērījumi un to aritmētiskais vidējais izmantots tālākā datu analīzē. Noteikšanai izmantotas jaunas, bet pilnībā nobriedušas lapas no dzinumu augšdaļas (parasti 4. līdz 5. lapa no augšas), mērījumiem izmantoti galvenie produktīvie dzinumi. 2023. gada sezonas beigās tika noteikti visu dzinumu garumi – gan produktīvo, gan neproduktīvo un sānzaru. Produktīvajiem dzinumiem noteikta dzinuma produktīvās daļas (uz kuras ir izvietoti ķekari ar augļiem) proporcija % no visa dzinuma garuma. 2024. gadā tika mērīti atstātie 3 dzinumi.

2023. gadā avenes sāka ražot 29. augustā un turpmāk raža vākta ik pēc 3 – 4 dienām. Katrā vākšanas reizē raža uzskaitīta atsevišķi pa augiem, un noteikta kopējā raža no auga, ievāktu ogu skaits un bojāto ogu skaits. Vēlāk aprēķināta vidējā ogas masa (g) katram augam, rēķinot visā sezonā ievāktu ražu. Tajās ražas vākšanas reizēs, kad bija iespējams ievākt pietiekamu parauga lielumu no katra varianta, noteikts arī cukuru (šķīstošās sausas) saturs ogās refraktometriski (°Brix), kā arī ievākti paraugi padziļinātām ogu bioķīmiskajām analīzēm (to metodika un rezultāti analizēti 4. pielikumā). Analīzēm ievākti kopējie paraugi no varianta, jo no viena auga reti izdevās iegūt pietiekamu parauga lielumu atsevišķā vākšanas reizē (6. attēls).

2024. gadā raža sāka vākt 27. jūlijā un turpmāk vākta ik pēc 3 – 7 dienām (pēc ogu gatavības), un raža turpināta vākt līdz 12. septembrim.

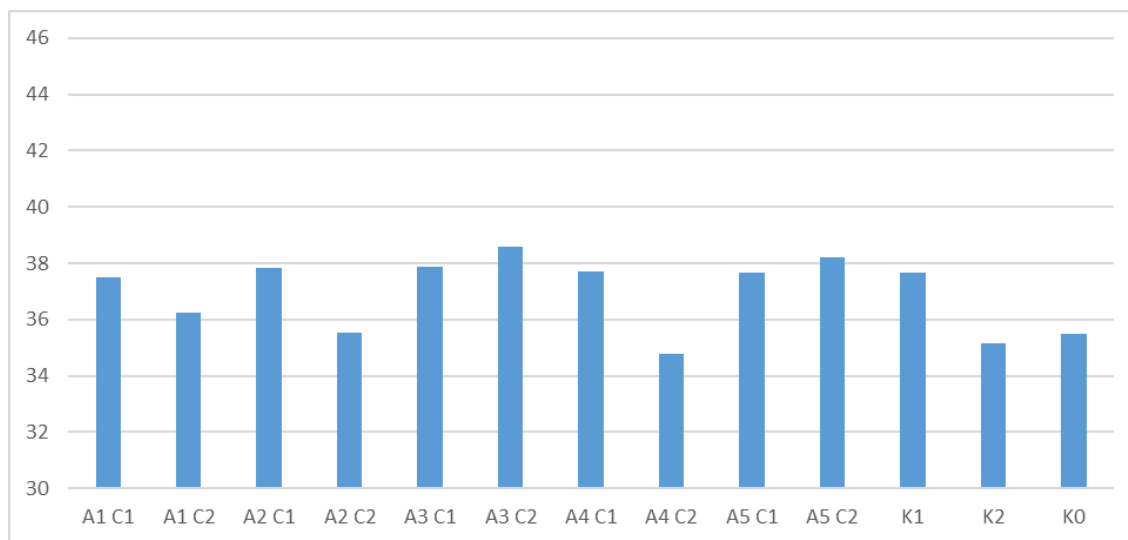


8.2.6. attēls. Avenu ogu raža.

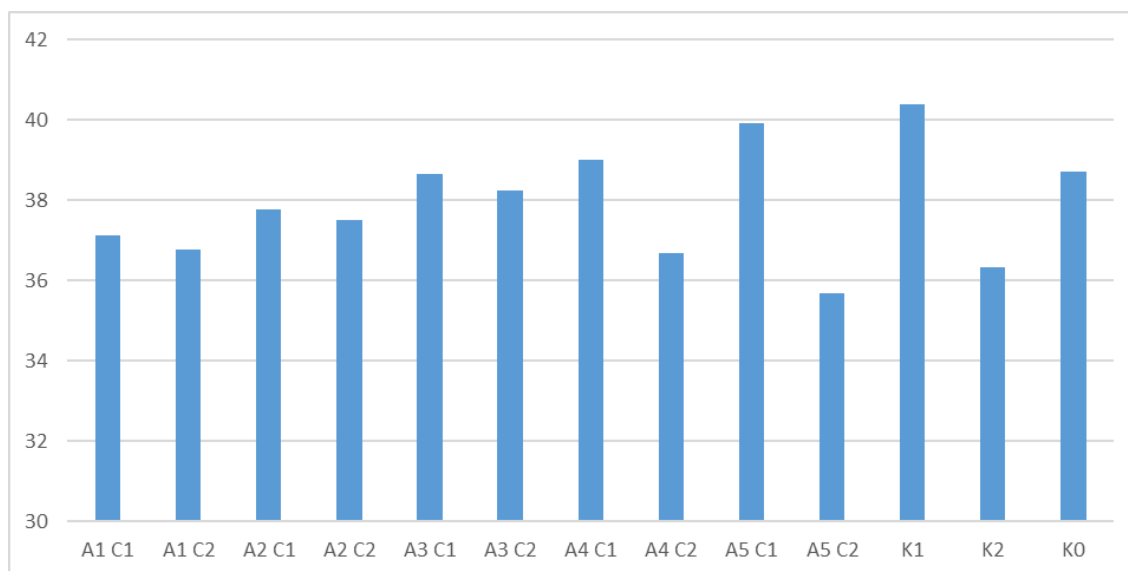
8.2.1. Rudens aveņu efektivitātes skrīninga rezultāti

Hlorofila indeksa vērtības starp augiem 2023. gadā bija svārstīgas un nav atrastas būtiska izmantoto apstrāžu ar mikroaļģu ekstraktiem ietekme uz šo rādītāju ($p>0.05$). Tomēr novērota tendence ($p=0.08$), ka augiem, kas apstrādāti ar zemāko ekstrakta koncentrāciju, ir augstāks hlorofila indekss – tāpat to kopējais veselības stāvoklis vērtējams kā labāks (8.2.1.1.. attēls).

Arī 2024. gadā vērtības starp augiem bija svārstīgas un nav atrasta būtiska izmantoto apstrāžu ar mikroaļģu ekstraktiem ietekme uz šo rādītāju ($p=0.71$). Tomēr apstiprinās jau 2023. gadā novērotā tendence, ka augiem, kas apstrādāti ar zemāko ekstrakta koncentrāciju, ir augstāks hlorofila indekss, turklāt šī atšķirība ir statistiski būtiska ($p<0.05$). Tas varētu liecināt par augstākās koncentrācijas negatīvu ietekmi (fitotoksicitāti), ko iespējams izraisījusi relatīvi augstā (4% v/v).



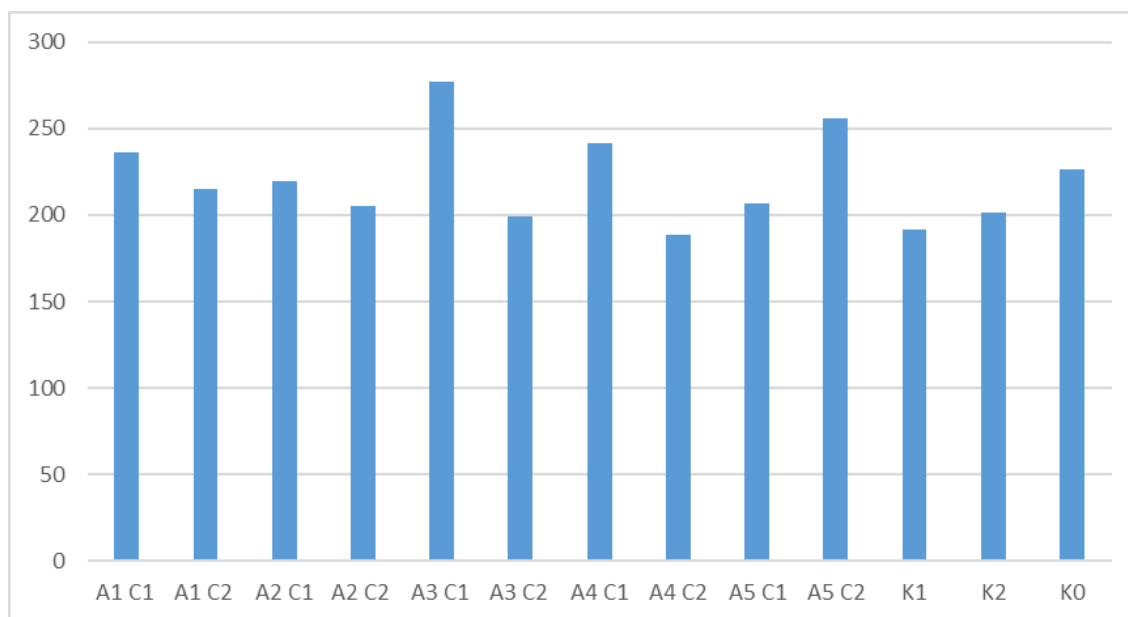
8.2.1.1. attēls. Hlorofila indekss avenēs pēc apstrādēm ar mikroaļģu ekstraktiem (2023. gada 4. septembrī). Variantu kodi izmantoti atbilstoši 1.tabulā aprakstītajiem.



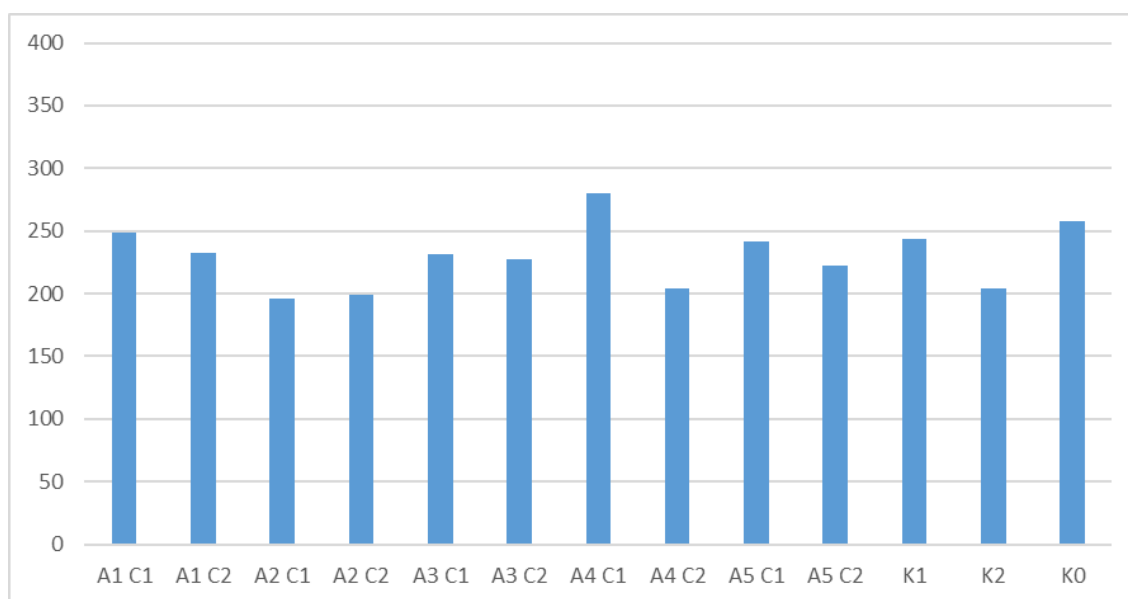
8.2.1.2. attēls. Hlorofila indekss avenēs pēc apstrādēm ar mikroaļģu ekstraktiem (2024. gada 23. jūlijā). Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.2.tabulā aprakstītajiem.

Aveņu **kopējā raža** 2023. gadā pa variantiem svārstījās no 189 līdz 277 g no auga. Aveņu ražu apstrādes nebija ietekmējušas statistiski būtiski ($p > 0.05$), tomēr novērots, ka neviens apstrādes variants nebija ar zemāku ražu kā kontroles variantos. Turklāt varianti A3C1 (*Chlorella* 10%), A4C1 (*Tetrademus* 4%) un A5C2 (*Graesiella* 8%) bija ievērojami ražīgāki par kontroles variantiem (8.2.1.2. attēls).

2024. gadā kopējā raža svārstījās no 84 līdz 411 g no auga ar lielu izkliedi starp augiem, tāpēc netika novērotas statistiski būtiskas atšķirības ($p > 0.05$) ne starp izmantoto mikroaļģu sugu, ne pielietoto koncentrāciju (8.2.1.3.. attēls). Tomēr arī šeit redzama tendence ($p = 0.11$), ka augstākajai koncentrācijai ir drīzāk negatīva ietekme. Taču variants A4C1 (*Tetrademus* 4%) bija labāks par kontroli (kaut arī to šoreiz nevar pārliecinoši pierādīt).



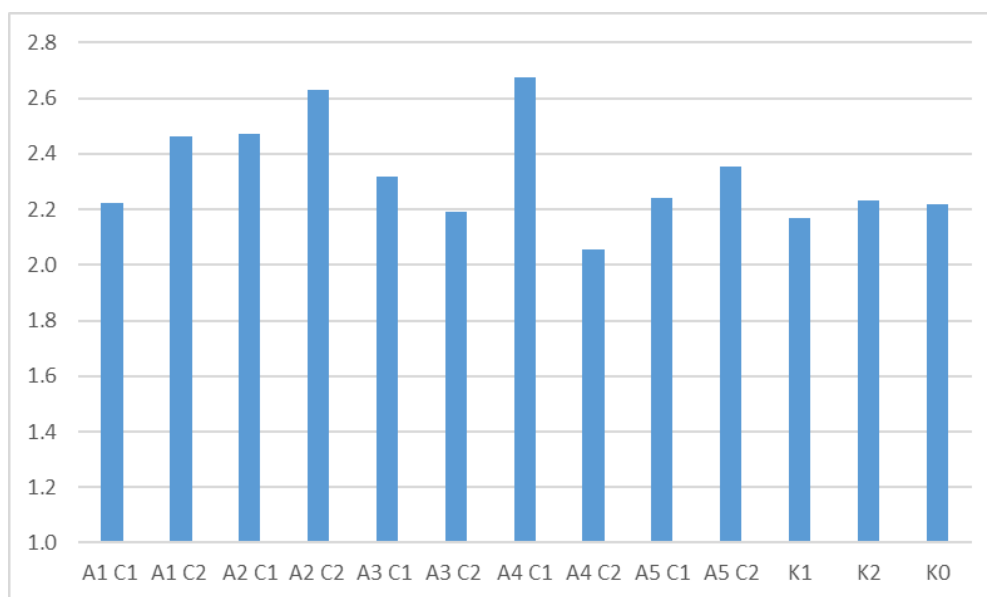
8.2.1.3. attēls. Aveņu kopējā raža izmēģinājumā 2023. gadā, g no auga. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1.tabulā aprakstītajiem.



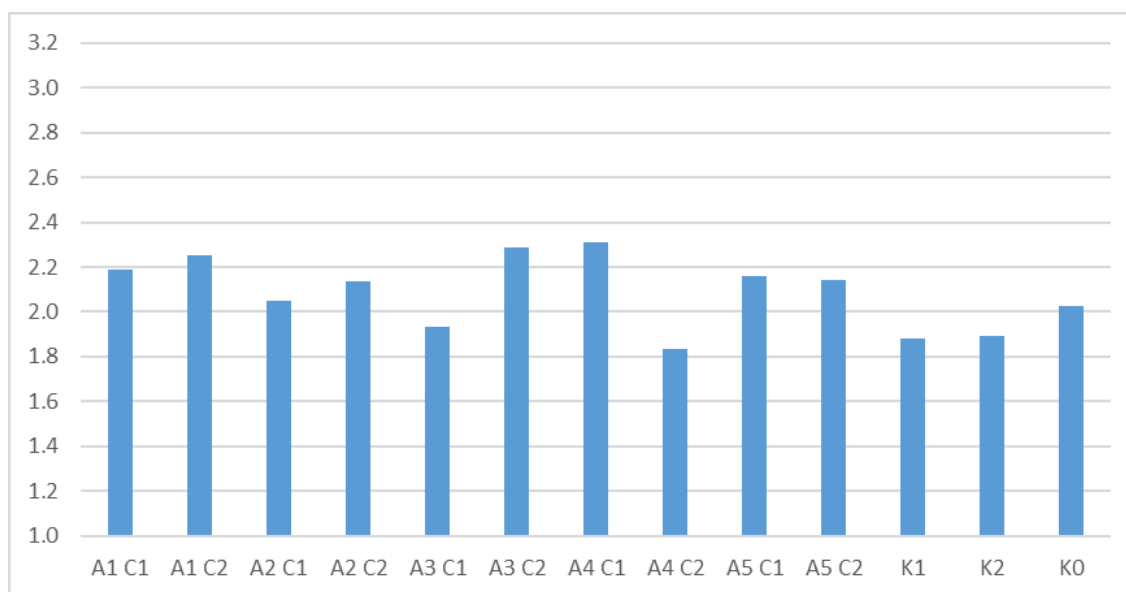
8.2.1.4. attēls. Aveņu kopējā raža izmēģinājumā 2024. gadā, g no auga. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.2.tabulā aprakstītajiem.

Ogas vidējā masa 2023. gadā svārstījās no 2.06 līdz 2.68 g vidēji no auga. Daļai no apstrādēm novērota pozitīva ietekme uz ogu vidējo masu – A1C2 (*Spirulina* 20%), A2C1 (*Dunaliella* 10%), A2C2 (*Dunaliella* 20%), A4C1 (*Tetrademus* 4%), kaut gan datu statistiskajā apstrādē būtiskas atšķirības nepierādījās ($p > 0.05$) (8.2.1.5. attēls).

2024. gadā ogas vidējā masa (visas sezonas vidējais) svārstījās no 1.34 līdz 3.10 g vidēji no auga. Netika atrastas statistiski būtiskas atšķirības starp pētītajiem variantiem ($p>0.05$), tomēr vairums variantu bija ar augstāku ogas vidējo masu, nekā kontroles varianti.

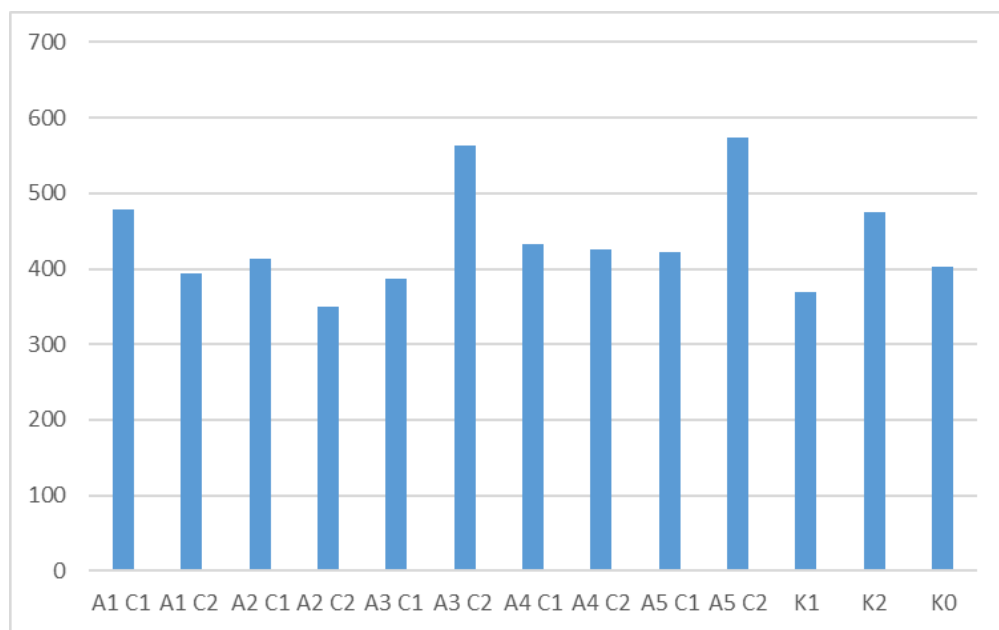


8.2.1.5. attēls. Ogas vidējā masa (g) 2023. gadā, visas sezonas vidējais. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1.tabulā aprakstītajiem.



8.2.1.6. attēls. Ogas vidējā masa (g) 2024. gadā, visas sezonas vidējais. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.2.tabulā aprakstītajiem.

Visu dzinumu kopgarums 2023. gada sezonas beigās svārstījās no 350 līdz 573 cm vidēji uz augu. Lielākais dzinumu kopgarums, kas ievērojami pārsniedz kontroles variantus, novērots variantiem A3C2 (*Chlorella* 20%) un A5C2 (*Graesiella* 8%), tomēr šīs atšķirības nepierādījās kā statistiski būtiskas (8.2.1.7. attēls). Jāpiezīmē arī, ka, kaut arī augsts, šis rādītājs raksturo kopējo auga veģetatīvas augšanas intensitāti, tomēr ražojošā stādījumā nozīmīgāks ir augstāks produktīvo dzinumu skaits un garums, savukārt daudz neproduktīvu dzinumu ir drīzāk trūkums. Tāpēc tālāk analizēts produktīvo dzinumu garums.

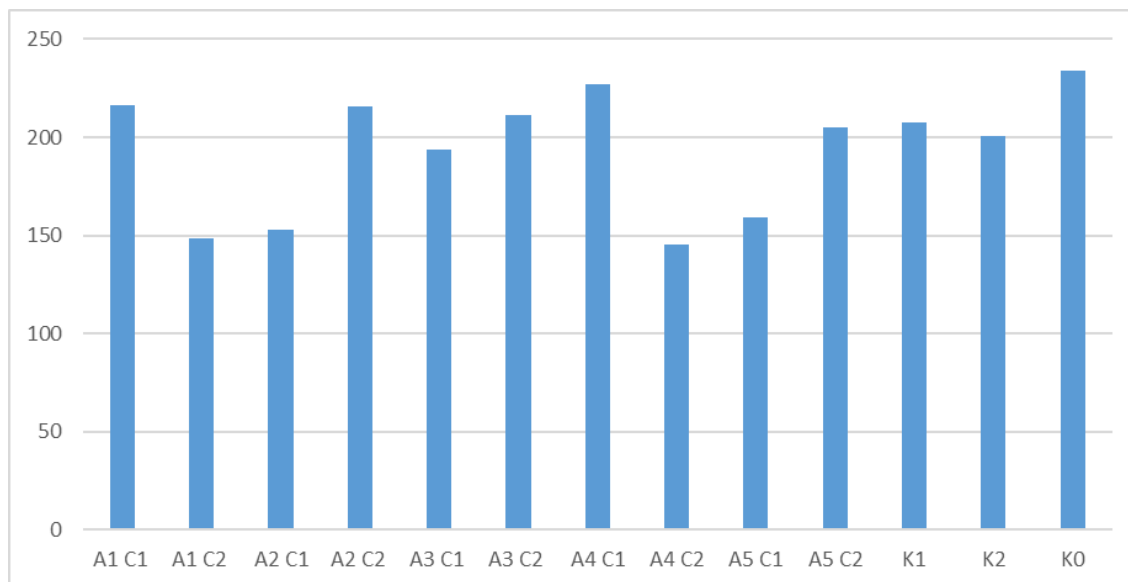


8.2.1.7. attēls. Visu dzinumu kopgarums 2023. gadā, cm vidēji augam. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem.

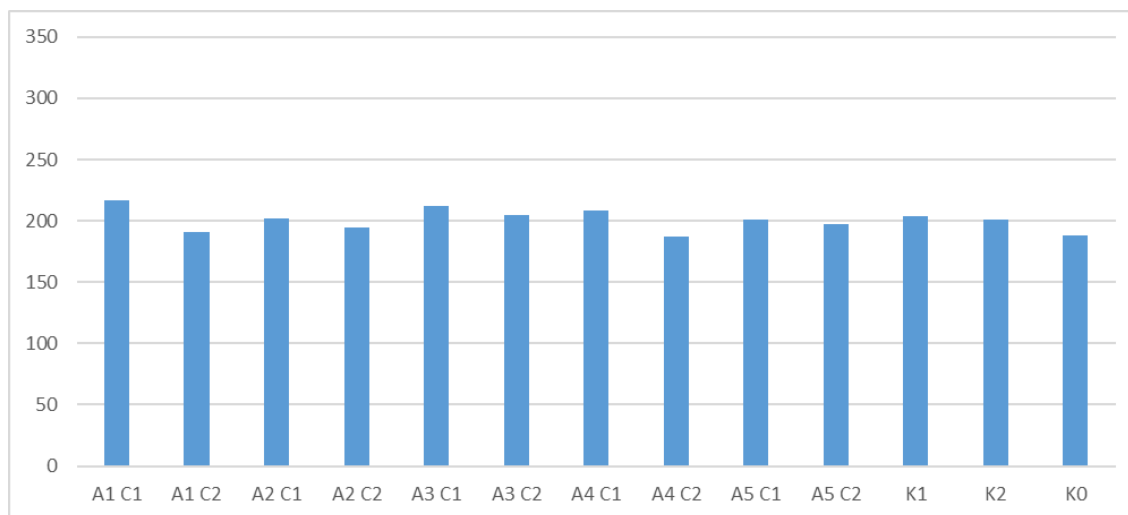
Pētījumā 2023. gadā **produktīvo dzinumu kopgarums** svārstījās no 76 līdz 356 cm no auga, tomēr neparādījās apstrāžu pozitīva ietekme uz produktīvo dzinumu kopgarumu no auga, tomēr arī šķietami negatīvā ietekme nav statistiski būtiska ($p > 0.05$) (8.2.1.8. attēls). Redzams arī, ka atšķirības starp augiem bija lielas, ko parāda liela standartnovirze.

2024. gadā, lai arī vidējais rādītājs daudz neatšķīrās, rezultāti bija daudz izlīdzinātāki gan starp variantiem (3 produktīvo dzinumu kopgarums svārstījās no 146 līdz 255), gan starp augiem variantu iekšienē (to parāda salīdzinoši mazāka standartnovirze). Tas, iespējams, saistīts gan ar labāku un izlīdzinātāku augu izaugšanos, gan sākotnējo dzinumu retināšanu. Arī šajā gadījumā nepierādījās mikroaļģu preparātu ietekme ($p = 0.46$), tomēr pierādījās būtiska (kaut skaitļos visai neliela) ($p < 0.05$) izmantotās koncentrācijas ietekme. Atkal – zemākajai koncentrācijai (4%) ir

augstāki rādītāji, tā liecinot par zināmu augstākās koncentrācijas etanola ekstrakta negatīvu ietekmi (8.2.1.9. attēls).



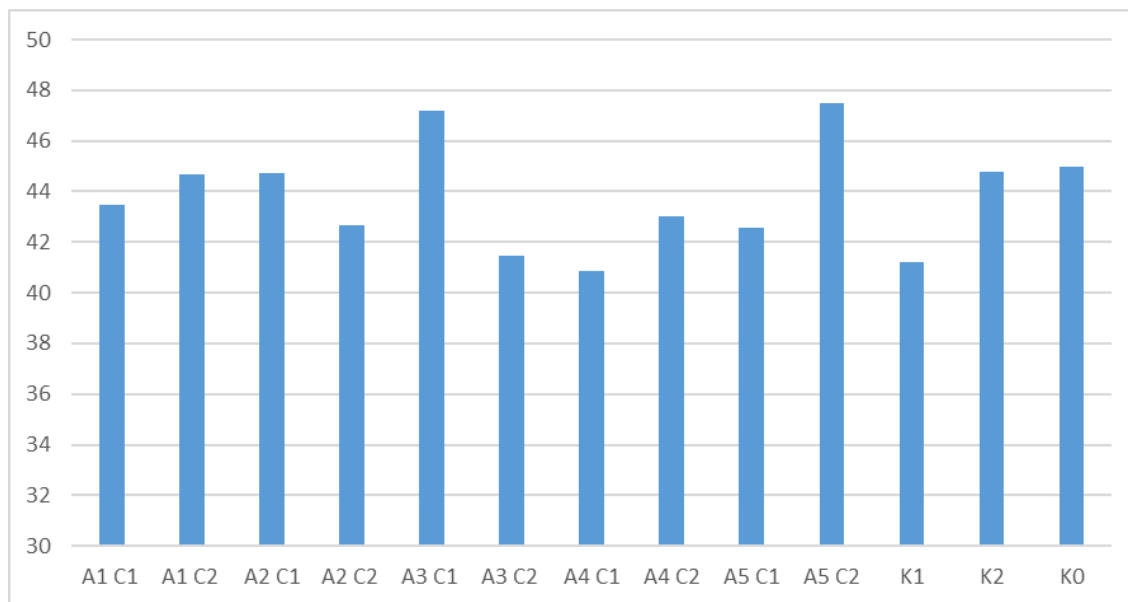
8.2.1.9. attēls. Produktīvo dzinumu kopgarums 2023. gadā, cm vidēji augam. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem.



8.2.1.10. attēls. Trīs produktīvo dzinumu kopgarums 2024. gadā, cm vidēji augam. Variantu kodi izmantoti atbilstoši [8.2.2.](#) tabulā aprakstītajiem.

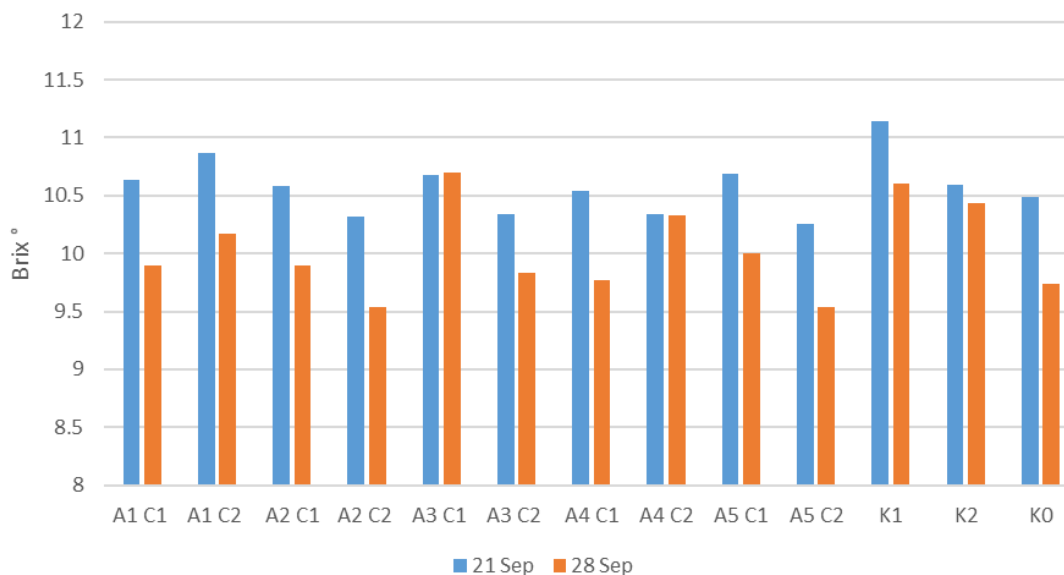
Dzinuma produktīvās daļas garums. Tomēr, arī produktīvā dzinuma garums pats par sevi vēl nedod lielāku ražas potenciālu, jo rudens avenēm raksturīgs, ka raža veidojas tikai dzinumu galos – un šis produktīvās dzinumu daļas garums var būt ļoti atšķirīgs. Visumā šķirnei ‘Polana’ raksturīga augsta proporcija starp produktīvo dzinuma daļu un visu dzinuma garumu.

Pētījumā 2023. gadā dzinuma produktīvās daļas proporcija svārstījās vidēji no 40.9% līdz 47.5 %, tomēr bija izteiktas atšķirības starp augiem, ko ilustrē salīdzinoši liela standartnovirze. Īpaši izcēlās varianti A3C1 (*Chlorella* 10%) un A5C2 (*Graesiella* 8%), tomēr atšķirības nebija statistiski būtiskas ($p>0.05$) (8.2.1.11. attēls).

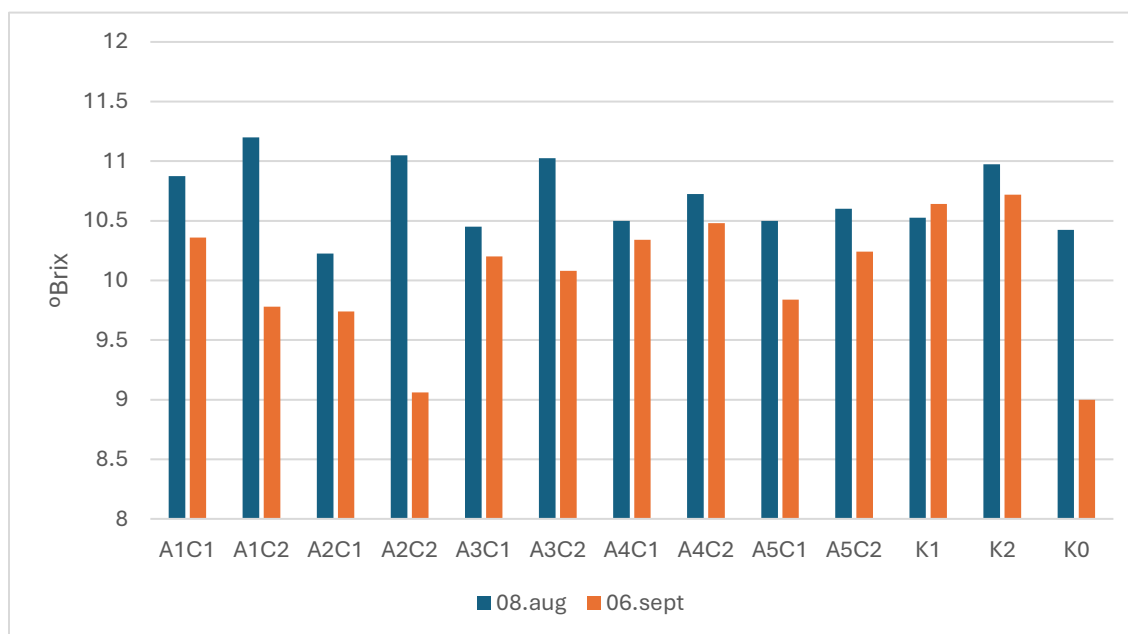


8.2.1.11. attēls. Produktīvā dzinuma produktīvās daļas proporcija (%) avenēm 2023. gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem. Ar kļūdas zīmi parādīta standartnovirze.

Ražas laikā 2 reizes tika noteikta arī **šķīstošā sausna (cukuri) svaigās ogās**, papildus laboratorijā noteiktajiem šķīstošās sausnas mērījumiem un citiem parametriem, kas aprakstīti 4. pielikumā. 2023. gadā šajā rādītājā novērotas būtiskas atšķirības gan starp variantiem ($p=0.02$), gan novākšanas laiku ($p<0.05$). 28 septembra ražai bija būtiski zemāks cukuru saturs (10.03%), nekā 21. septembra ražai (10.57%), kas, visdrīzāk, skaidrojams ar zemāku gaismas intensitāti un temperatūru, rudenim tuvojoties. No apstrāžu variantiem, visaugstākais rādījums bija K1 (kontrolē ar tīru etanolu 2% koncentrācijā), tomēr arī variants A3C1 (*Chlorella* 10%) uzrādīja augstu un stabilu vērtību abās reizēs (vidēji 10.68%) (8.2.1.12. attēls).



8.2.1.12. attēls. Šķīstošās sausas saturs svaigās aveņu ogās 2023. gada 21. un 28. septembrī, °Brix. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem.



8.2.1.13. attēls. Šķīstošās sausas saturs svaigās aveņu ogās 2024. gada 8. augustā un 6. septembrī, °Brix. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.2. tabulā aprakstītajiem.

2024. gadā, tāpat kā 2023. gadā, vēlākajā novākšanas laikā bija būtiski ($p=0.002$) zemāks cukura (šķīstošās sausas) saturs aveņu ogās, tomēr atšķirības starp apstrādēm nebija statistiski būtiskas ($p>0.05$). Interesanti, ka tieši kontrole ar apstrādi ar tīru etanola šķīdumu gan 2%, gan 4%

koncentrācijā, turklāt abos pētījuma gados, deva labus rezultātus, it īpaši otrajā vākšanas reizē. Tas ļauj izdarīt minējumu, ka tieši etanols, nevis aļģes, potenciāli varētu veicināt cukura uzkrāšanos augļos sezonas beigās.

8.2.2. Secinājumi

Pagaidām rezultāti ir neskaidri, kam par pamatu ir lielā rezultātu izkliede starp augiem. Avenu augu attīstība izrādījās negaidīti nevienmērīga, neatkarīgi no apstrādēm.

No pielietotajām apstrādēm *Chlorella* ir visdaudzsološākā pēc šajā pielikumā aprakstītajiem rādītājiem, turklāt atsevišķi pozitīvi efekti novērojami arī citiem variantiem, ieskaitot *Tetrademus* un *Graesiella* ekstraktus.

Izmantojot etanola ekstraktus ar gala etanola koncentrāciju augstāku par 2% (šajā gadījumā – 4%), pastāv iespēja iegūt negatīvus rezultātus atsevišķos rādītājos dēļ iespējamās fitotoksicitātes, tomēr tas var veicināt cukuru uzkrāšanos.

Pārskatu sagatavoja vadošais pētnieks Kaspars Kampuss

8.2.3. Rudens avenēs- Ogu Bioķīskās analīzes LBTU laboratorijā

Ražas laikā ievāktos avenēņu ogu paraugus uzglabāja sasaldētus $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ un pēc tam ziemas periodā LBTU LPTF laboratorijās tiem tika noteiktas nozīmīgās garšu un bioloģisko vērtību nosakošās ķīmiskās sastāvdaļas ar mērķi noteikt, vai apstrādes ar mikrobioloģiskajiem preparātiem ietekmēja to saturu.

Askorbīnskābe jeb C vitamīns ir ūdenī šķīstošs vitamīns. Tas ir viens no askorbīnskābes optiskajiem izomēriem (L–askorbīnskābe), bet bieži C vitamīnu sauc vienkārši par askorbīnskābi. Augi sintezē C vitamīnu, lai pasargātu sevi no oksidējošā stresa, kas rodas fotosintēzes rezultātā, metaboliskiem procesiem un ārējā piesārņojuma (Wolska et al. 2016). Tas ir universāls komponents, ko satur visi zaļie augi, un tā daudzumu ietekmē gan meteoroloģiskie, gan audzēšanas apstākļi un, protams, ir vērojamas atšķirības starp sugām (Staugaitis, Viškelis 2001).

Askorbīnskābes saturs noteikts ar titrimetrisko analīzes metodi, to modificējot (Moor et al., 2005). Augu masu sasmalcina porcelāna pietā. 100 mL koniskajā kolbā iesvērta $2 \pm 0,001$ g sasmalcinātā parauga, pievienoja 50 mL 1% HCl un 5% HPO₃ šķīdumu (v : v = 1 : 1), rūpīgi sajauc. Pēc 30 minūtēm šķīdumus filtrē caur papīra filtru Nr. 89. Vitamīna satura noteikšanai ar

Mora pipeti atmēra 10 mL filtrāta, ko titrēja ar 0.001 M jodu līdz krāsas maiņai, pirms titrēšanas paraugā iepilināja 1% cieti. C vitamīna saturu augu materiālā mg 100 g⁻¹ aprēķināja, izmantojot vienādojumu:

$$m = \frac{C_{I_2} \times M_{askorb.} \times V_{I_2} \times 500}{m_{iesvars}}$$

kur C_{I_2} – joda molārā koncentrācija šķīdumā, mmol mL⁻¹

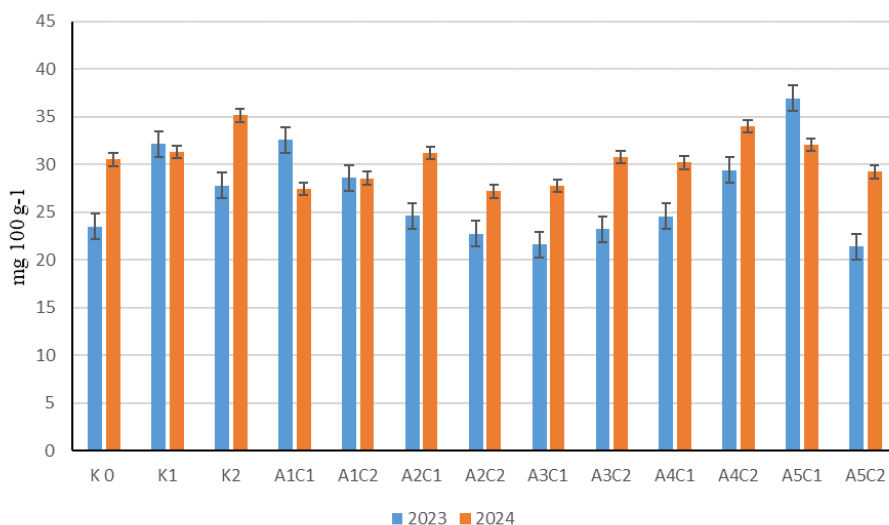
V_{I_2} – titrēšanai patērētais joda šķīdums, mL

Maskorb. – askorbīnskābes molmasa, mg mmol⁻¹

miesvars – parauga iesvars, g

500 – lielums pārrēķināšanai uz 100 g (Moor et al., 2005; Duma et al., 2014).

Avenēs C vitamīna saturs 2023. gadā bija no 21.41-36.93 mg 100 g⁻¹, bet 2024. gadā 27.22 – 35.17 mg 100 g⁻¹ ogu (8.2.3.1. attēls). Statistiski būtiskas ($p=0.017$) atšķirības noteiktas starp gadiem - 2024. gadā avenēs saturēja vairāk C vitamīna (vidēji 30.43 mg 100 g⁻¹), nekā 2023. gadā (vidēji 26.87 mg 100 g⁻¹). Tomēr, atšķirības nebija īpaši izteiktas, jo skaitļi atšķīrās nedaudz un apstrādes ietekmēja saturu atšķirīgi. Arī starp pārbaudītajiem variantiem netika atrastas būtiskas atšķirības ($p=0.18$) un neviens no tiem nebija nozīmīgi labāks par kontroles variantiem abus pētījuma gadus.



8.2.3.1. attēls. C vitamīna saturs avenēs 2023 un 2024. gadā, mg 100 g⁻¹. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. un 8.2.2. tabulā aprakstītajiem.

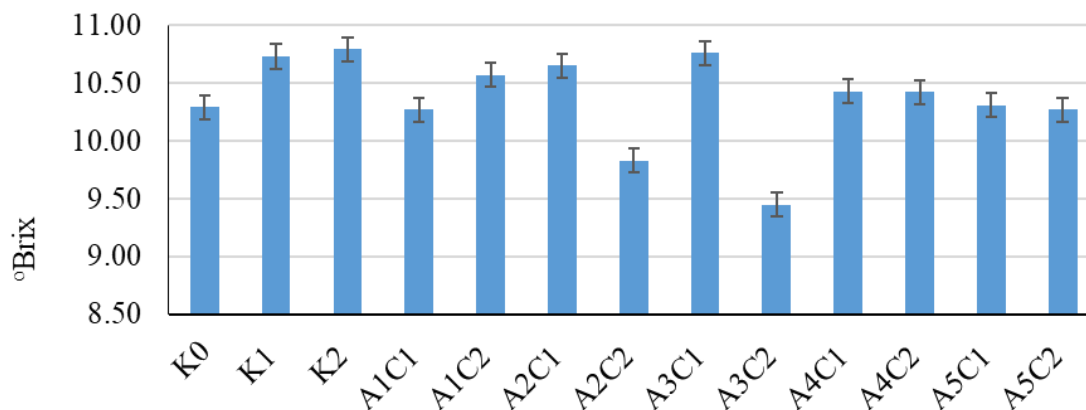
Līdzīgi dati bija zinātniskā literatūrā Latvijā analizētām avenēm, kur C vitamīns bija robežās no 31 – 55 mg 100 g⁻¹ (Strautiņa et al., 2021). Arī citu valstu zinātniskie pētījumi norāda, ka avenēs C vitamīna saturs tika noteikts no 19.4 mg 100 g⁻¹ līdz 73.8 mg 100 g⁻¹ (Dobрила et al., 2023; Orzeł et al., 2016; Lewandowski et al., 2015). Savukārt par ļoti augstu C vitamīna saturu avenēs no 125 – 174 mg 100 g⁻¹ ziņo Čivavas autonomās universitātes zinātnieki Meksikā (Frías-Moreno et al., 2021).

Nogatavošanās stadija un ražas novākšanas laiks var ietekmēt vitamīna koncentrāciju, jo C vitamīna saturs ogās mainās atkarībā no nogatavināšanas intensitātes, bioloģiskās aktivitātes un audzēšanas sezonas dinamikas. Mazāk nogatavojušās vai pārgatavojušās ogās C vitamīna līmenis var būt zemāks. Šajā pētījumā klimatiskie apstākļi bija galvenais ietekmējošais faktors, jo starp gadiem tika novērotas statistiski būtiskas atšķirības ($p=0.017$). 2024. gadā labvēlīgāki apstākļi (vairāk saules, optimālāka temperatūra), kas veicināja lielāku C vitamīna sintēzi avenēs. Apstrādes ar mikroaļģu ekstraktiem vai etanolu neietekmēja C vitamīna saturu statistiski nozīmīgi ($p=0.18$), kas liecina, ka izmantoto mikroaļģu ekstraktu koncentrācijas, lietošanas režīmi nemainīja tieši C vitamīna saturu ogās konkrētajos apstākļos. Kā arī ir iespējams avenju ģenētiskais potenciāls un šķirnes īpašības, kas varētu ietekmēt C vitamīna saturu, jo arī literatūrā minētie rādītāji dažādos reģionos un pētījumos ir ļoti atšķirīgi – tas norāda, ka šķirnes, augšanas vide un vietējie apstākļi būtiski nosaka vitamīnu uzkrāšanos. Nogatavošanās stadija un ražas novākšanas laiks var ietekmēt vitamīna koncentrāciju, jo C vitamīna saturs ogās mainās atkarībā no nogatavināšanas intensitātes, bioloģiskās aktivitātes un audzēšanas sezonas dinamikas. Mazāk nogatavojušās vai pārgatavojušās ogās C vitamīna līmenis var būt zemāks.

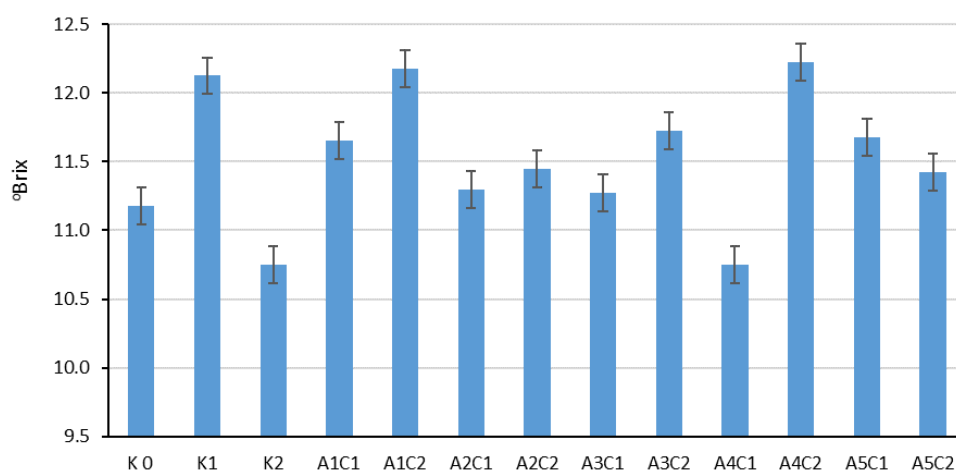
Avenēs **šķīstošā sausna** ir kopējo šķīstošo cukuru saturs, ko nosaka refraktometriski °Brix vienībās. Šķīstošā sausna ietekmē avenju saldumu. Šķīstošās sausnas saturs dārzenos ļoti ietekmē uzglabāšanas perioda garumu un kvalitātes īpašības.

Šķīstošā sausna, °Brix avenēs, tomātos, burkānos noteikta atbilstoši standartam ISO 2173:2003 ar refraktometru (KRUSS HR18 Manual Refractometer, Vācija). Analīzes ir veiktas desmit atkārtojumos.

2023. gadā avenēs šķīstošās sausas satur bija noteikts no 9.45-10.76 °Brix (8.2.3.2. attēls) , bet 2024. gadā 10.75 – 12.23 °Brix (8.2.3.3. attēls), taču netika novēroti statistiski būtiski labāki rezultāti apstrādātajiem paraugiem, salīdzinot ar kontroles variantiem.



8.2.3.2. attēls. Šķīstošās sausas satur avenēs 2023. gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem.



8.2.3.3. attēls. Šķīstošās sausas satur avenēs 2024. gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.2. tabulā aprakstītajiem.

Līdzīgi dati bija zinātniskā literatūrā Latvijā analizētām avenēm, kur šķīstošās sausas satur bija 9.6 – 11.5 °Brix (Strautiņa et al., 2021) Apkopojot vairāku autoru zinātnisko pētījumu rezultātus izriet, ka avenēs šķīstošās sausas satur noteikts dažādās vērtībās: no 8.83 – 9.47 °Brix (Titirică et al., 202), 9.26 – 10.00 °Brix (Ancos et al., 2000), 10.5 – 11.0 °Brix (Frías-Moreno et al., 2021).

Gada klimatiskie apstākļi būtiski ietekmēja šķīstošās sausas saturu, jo 2024. gadā tika novērots augstāks šķīstošās sausas saturs (10.75–12.23 oBrix) nekā 2023. gadā (9.45–10.76 oBrix), kas, iespējams, saistīts ar labvēlīgāku saules starojumu, temperatūru un sausumu, kas veicināja cukuru sintēzi avenu ogās. Ražas novākšanas laiks un nogatavošanās pakāpe ietekmēja šķīstošās sausas saturu, jo cukura koncentrācija ogās mainās atkarībā no nogatavināšanas intensitātes – vēlāk novāktās ogas var saturēt vairāk cukuru vai arī cukura līmenis var samazināties atkarībā no sezonas apstākļiem. Apstrādes ar mikroaļģu ekstraktiem un etanolu būtiski neietekmēja cukura saturu, jo statistiski nozīmīgas atšķirības starp apstrādātajiem un kontrolvariantiem netika novērotas. Arī šķirņu īpatnības un citi ģenētiskie faktori ietekmē cukura uzkrāšanos, jo dažādu autoru pētījumos atšķirības šķīstošās sausas saturā ir plašas, un tās var būt atkarīgas no avenu ģenētiskā materiāla un tā spējas ražot un saglabāt cukurus.

Kopējo fenolu un antociānu saturs avenēs. Polifenoli ir augu sekundārie metabolīti, ko augs producē aizsardzībai pret abiotisko un biotisko stresu ietekmi, kā arī ir iesaistīti augu augšanas un vairošanās procesos (Perez-Esteve et al., 2018). Antociāni ir zili, sarkani vai violeti pigmenti, kas atrodami augos, jo īpaši ziedos, augļos un bumbuļos. Šie savienojumi ir dabiski, ūdenī šķīstoši pigmenti. Skābā vidē antociāni parādās kā sarkanas krāsas pigments, bet sārmainos apstākļos – kā zilās krāsas pigments. Augiem ir izdalīti vairāk nekā 500 antociāni (Biesiada, Tomczak, 2012).

Antociānu satura noteikšanai avenēs izmantoja spektrofotometrisko metodi saskaņā ar (Kerch et al., 2011, (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”) pie viļņa garuma 540 nm. 20 g parauga tika aplieti ar 40 g etanola un 1,5 M HCl šķīdumu (85 : 15 pēc tilpuma). Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Ar spektrofotometru tika noteikta gaismas absorbcija pie 535 nm. Paraugu atšķaidīja, līdz absorbcijas koeficients bija no 0,6 līdz 0,8 (Ozola et al., 2017, Moor et al., 2005), aprēķināja, izmantojot vienādojumu:

$$C = \frac{A \times v \times d \times 1000}{980 \times m}$$

C – antociānu saturs;

A – absorbcijas koeficients;

v – ekstrakcijas tilpums;

d – atšķaidīts šķīdums;

m – parauga masa.

Fenolu saturu noteica izmantojot spektrofotometrisko metodi (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”) to modificējot. Noteikšanai 1 ± 0.01 g augu parauga ievietoja graduētā mēģenē, pievienoja 10 mL metanola-ūdens-sālsskābes šķīduma (79 : 20 : 1 v/v/v), kratīja 30 minūtes, tad separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Šķīduma gaismas absorbcija tika nolasīta pie viļņa garuma 320 nm (A_{320}). Fenolu saturu augu materiālā (mg GAE g⁻¹) aprēķināja, izmantojot vienādojumu:

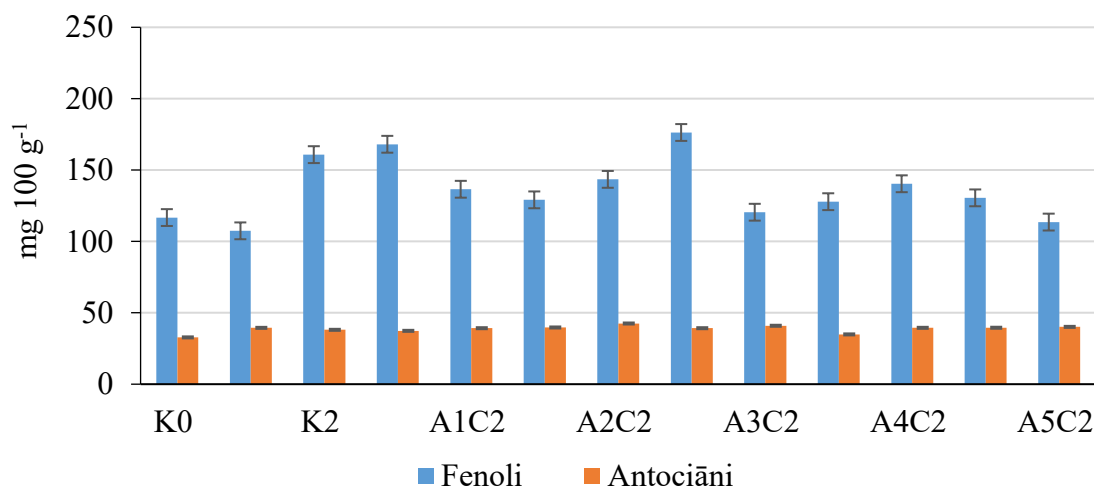
$$m = \frac{A_{320} - 0.09}{0.009 \times m_{iesvars}}$$

kur A_{320} – absorbcija, kas eksperimentāli noteikta pie 320 viļņu garuma;

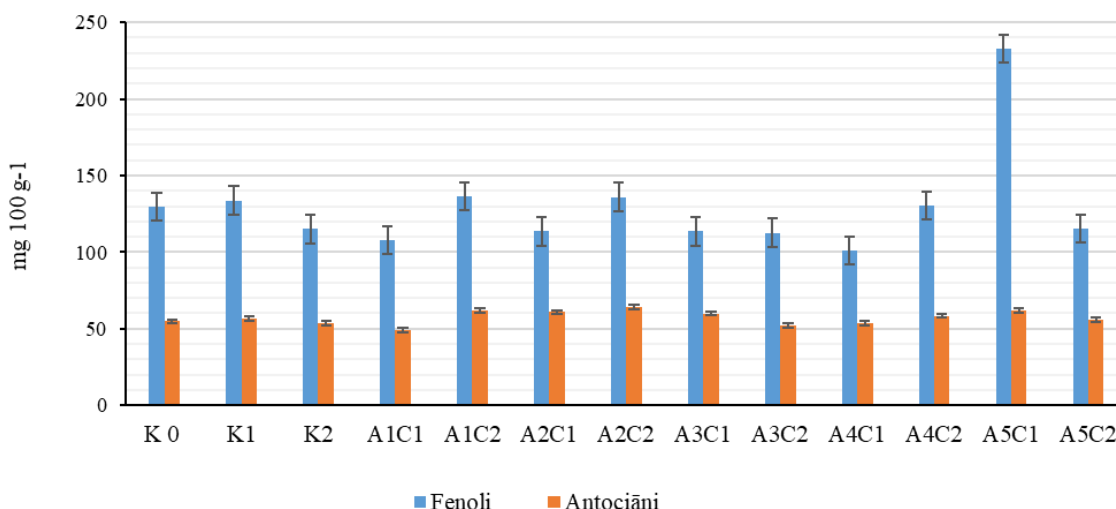
iesvars – parauga iesvars, g

m – fenolu saturs augu materiālā (Singleton et al., 1999).

Kopējo fenolu saturs avenēs 2023. gadā bija robežās no 113.55 – 176.31 mg 100 g⁻¹. Savukārt antociānu saturs bija no 32.78 – 42.50 mg 100 g⁻¹ (8.2.3.4. attēls). 2024. gadā fenolu saturs bija robežās no 100.86 līdz 232.81 mg 100 g⁻¹. Savukārt antociānu saturs bija no 49.07 – 64.21 mg 100 g⁻¹ (8.2.3.5. attēls). 2024. gadā fenolu satura ziņā izcēlās variants A5C1, kas apstrādāts ar *Graesiella* 4% preparātu, bet antociānu satura ziņā – A1C2 (*Spirulina* 8%), A2C2 (*Dunaliella* 8%) un arī A5C1 (*Graesiella* 4%).



8.2.3.4. attēls. Kopējo fenolu un antociānu saturs avenēs 2023. gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem.



8.2.3.5. attēls. Kopējo fenolu un antociānu saturs avenēs 2024. gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem.

Līdzīgi dati bija zinātniskā literatūrā Latvijā analizētām avenēm, kur kopējo fenolu saturs bija 162,5 – 265,5 mg 100 g⁻¹, savukārt antociānu saturs bija no 29,0 – 52,1 mg 100 g⁻¹ (Strautiņa et al., 2021). Lietuvas zinātnieku pētījumā (Petruskeviciu et al., 2023) avenēm antociānu saturs bija 22 – 130 mg 100 g⁻¹.

Par augstākiem antociānu satura rādītājiem 65,21 mg 100 g⁻¹ ziņo (Brodowska, 2017), 33,95 – 65,45 mg 100 g⁻¹ (KARAKLAJIĆ-STAJIĆ, et al., 2023), 51,29 – 54,28 mg 100 g⁻¹ (Kostecka-Gugała et al., 2015). Par augstākiem kopējo fenolu saturu 248 – 428 mg 100 g⁻¹ saturu ziņo (Kostecka-Gugała et al., 2015).

Klimatiskie apstākļi un vides stress būtiski ietekmēja fenolu un antociānu uzkrāšanos. 2024. gadā novērots augstāks gan fenolu, gan antociānu saturs, kas varētu būt saistīts ar lielāku saules intensitāti, UV starojumu vai sausākiem laikapstākļiem – tie visi stimulē polifenolu sintēzi kā augu aizsardzības reakciju pret stresu. Augstāki rādītāji tika novēroti noteiktos variantos, piemēram, A5C1 (Graesiella 4%) un A2C2 (Dunaliella 8%), kas norāda, ka atsevišķas aļģes var aktivizēt fenolu un antociānu biosintēzi. Augļu nogatavošanās pakāpe un novākšanas laiks var ietekmēt antociānu un fenolu saturu. Ogas, kas tiek novāktas pilnā nogatavošanās stadijā, satur vairāk pigmentu (antociānu) un fenolu, kas ir dabiskas augļa nobriešanas sastāvdaļas.

Titrējamās skābes saturs avenēs (mg 100 g⁻¹) noteikts, izmantojot titrimetrisko metodi (Duma et al., 2022). Tika nosvērts 2 ± 0,01 g paraugs no tomātu biezeņa graduētā mēģenē un pievieno destilētu ūdeni līdz 20 ml. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150

apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Ar Mora pipeti atmēra 5 mL filtrāta, ko titrē ar 0,1 M NaOH fenolftaleīna klātbūtnē.

$$TA = \frac{V_{NaOH} \times V_t}{V_s \times m}$$

TA – titrējamā skābe (Titratable Acidity)

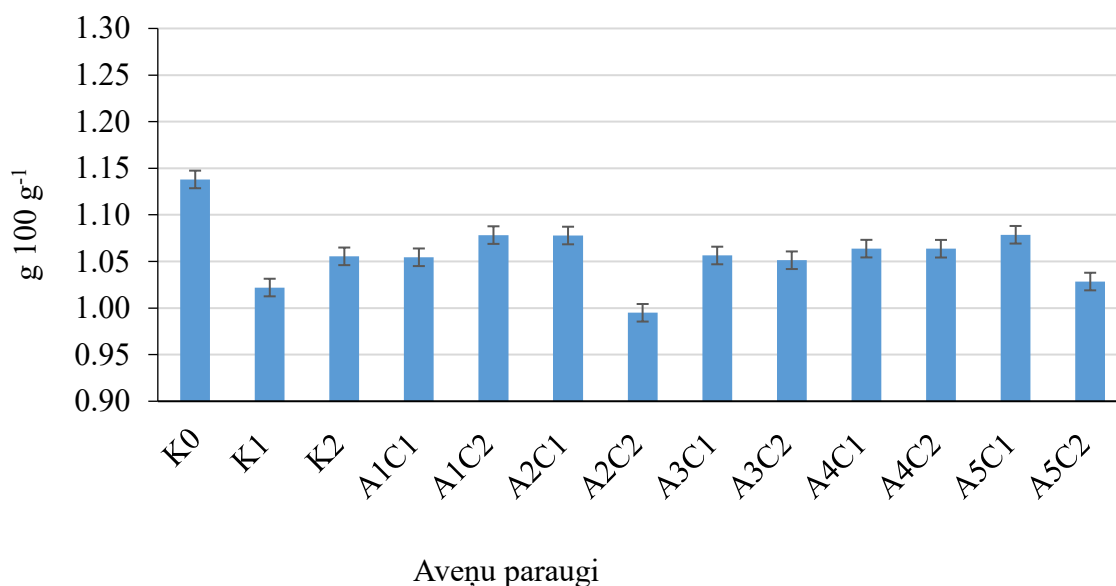
VNaOH – izlietotā 0,1 M NaOH tilpums,

Vt – kopējais tilpums (20 ml)

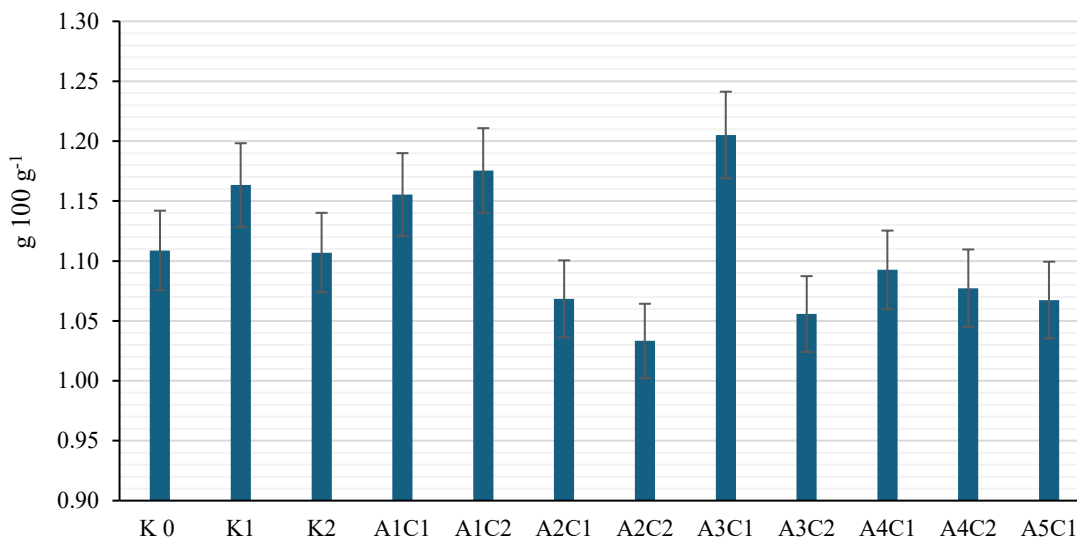
Vs — parauga tilpums (5 ml).

Rezultātus izsaka kā citronskābes mg uz 100 g svaigu tomātu svars. 1 ml 0,1 M NaOH atbilst 6,4 mg citronskābe.

(TSS) avenēs 2023. gadā bija noteikts no 0.99 – 1.14% (8.2.3.6. attēls) bez būtiskām atšķirībām starp apstrādātajiem variantiem. 2024. gadā tas svārstījās no 1.03 – 1.21% (8.2.3.7. attēls), un ar zemāku skābes saturu izcēlās A2 varianti (*Dunaliella* 10 un 20%) un A3C2 (*Chlorella* 8%).



8.2.3.6. attēls. Titrējamās skābes avenēs 2023. gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem.



8.2.3.7. attēls. Titrējamās skābes avenēs 2024. gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.2. tabulā aprakstītajiem.

Titrējamās skābes saturs atbilst zinātniskās literatūras datiem, kur tas bija robežās no 0.93 – 2.28% (Titirică et al, 202), 1.17 -1.80% (Dobрила et al., 2023), 1.91 – 2.0% (Frías-Moreno et al., 2021), 1.67 – 2.32% (Ancos et al., 2000).

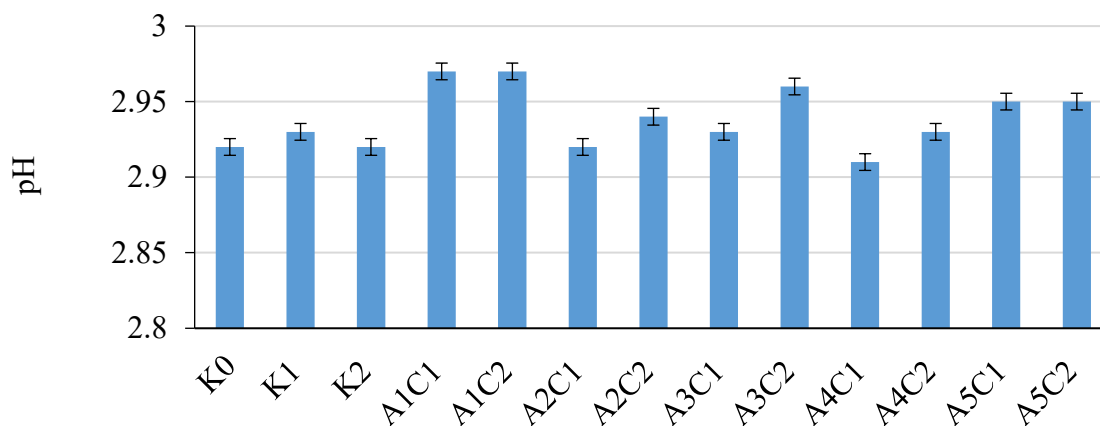
2024. gadā novērotais paaugstinātais titrējamās skābes saturs avenēs, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, varētu būt tieši saistīts ar vides apstākļiem – īpaši lielāku saules starojuma intensitāti, augstāku UV starojumu un sausākiem laikapstākļiem. Šādi klimatiskie apstākļi izraisa augā fizioloģisku stresu, kura rezultātā tiek aktivizēti aizsargmehānismi un pastiprinās metabolītu sintēze, tostarp arī organisko skābju – galveno TSS komponentu – uzkrāšanās. Saules gaismas un UV starojuma ietekmē aktivizējas enzīmi, kas piedalās citronskābes ciklā un citu skābju biosintēzē, savukārt ūdens deficīts un sausums ierobežo augļa augšanu un atšķaidīšanos, tādējādi palielinot skābes koncentrāciju uz augļu masas vienību. Tas liecina, ka ogu skābuma līmenis var būt jutīgs indikators vides apstākļu izmaiņām, un šāda dinamika jāņem vērā, plānojot audzēšanas tehnoloģijas un novērtējot produkta kvalitāti dažādos gados.

Mikroaļģu ekstraktu izmantošana var būtiski ietekmēt ogu vielmaiņas procesus, mainot līdzsvaru starp cukuru un organisko skābju akumulāciju. 2024. gada rezultāti rāda, ka noteiktos apstrādes variantos – īpaši ar *Dunaliella* 10% un 20% un *Chlorella* 8% koncentrācijām – titrējamās skābes (TSS) saturs avenēs bija zemāks nekā citos variantos, vienlaikus uzrādot tendenci uz paaugstinātu šķīstošo sausu (cukuru) saturu. Tas liecina, ka mikroaļģu bioloģiski aktīvās vielas

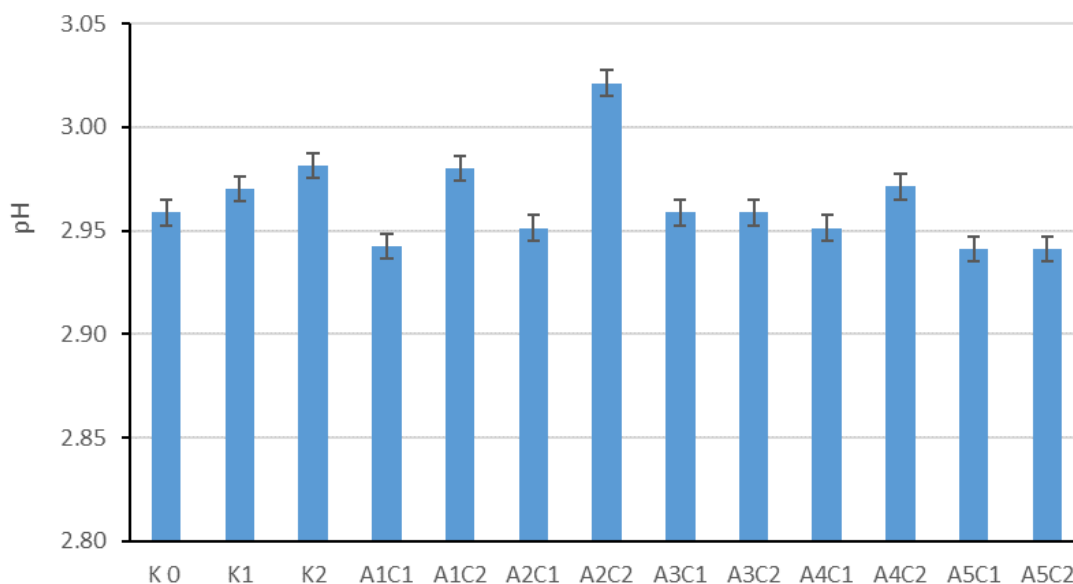
varētu būt aktivizējušas fotosintētiskos un vielmaiņas ceļus, kas veicina cukuru sintēzi un uzkrāšanos, vienlaikus nomācot vai pārorientējot ogļhidrātu metabolismu tā, lai mazāk oglekļa būtu pieejams organisko skābju sintēzei. Šāds mehānisms var uzlabot ogu garšas kvalitāti, padarot tās saldākas un patīkamākas patēriņam, kā arī norāda uz mikroaļģu ekstraktu potenciālu augļu kvalitatīvo īpašību uzlabošanā, pielāgojoties konkrētiem audzēšanas apstākļiem vai tirgus prasībām. Apstrādes neviendabīga ietekme liecina, ka skābes saturs nebija viennozīmīgi atkarīgs no izmantotā mikroaļģu ekstraktu veida vai koncentrācijas. Tas nozīmē, ka titrējamās skābes ir mazāk jutīgs rādītājs pret ārējām apstrādēm, salīdzinot ar citiem kvalitātes parametriem, piemēram, cukura saturu vai antociāniem.

pH vērtība avenēs noteikta atbilstoši standartam LVS ISO 1132:2001, izmantojot pH metru Jenway 3510 pH Meter. Analīzes ir veiktas desmit atkārtojumos.

pH vērtības avenēs 2023. gadā bija robežās no 2.91 – 2.97 (8.2.3.8. attēls), bet 2024. gadā no 2.94 – 3.02. (8.2.3.9. attēls). Būtisku atšķirību starp dažādu apstrāžu pH rādītājiem nebija nevienā no gadiem.



8.2.3.8. attēls. pH saturs avenēs 2023.gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.1. tabulā aprakstītajiem.



8.2.3.9. attēls. pH saturs avenēs 2024.gadā. Variantu kodi izmantoti atbilstoši 8.2.2. tabulā aprakstītajiem.

pH vērtība atbilst zinātniskās literatūras datiem, kur tas bija robežās no 2.65 – 3.87 (Ancos et al., 2000), savukārt augstāks pH saturs 3.03-3.13 (Frías-Moreno et al, 2021); 2.51- 4.47 (Titirică et al., 2023).

Skābju un cukuru attiecība augļos mainās atkarībā no nobriešanas pakāpes. Agrākā novākšana vai īsāks nobriešanas periods var saglabāt augstāku skābju saturu, savukārt ilgāks nobriešanas laiks samazina skābju koncentrāciju, bet palielina cukuru daudzumu, kas ietekmē arī pH vērtību. Pētījumā pH izmaiņas bija nelielas, kas liecina par stabilu nobriešanas procesu starp gadiem.

Mikroaļģu ekstrakti dažos variantos, piemēram, *Dunaliella* un *Chlorella* ekstrakti, varēja ietekmēt skābju sintēzi, samazinot to ražošanu un vienlaikus veicinot cukuru uzkrāšanos. Tas veicināja skābju un cukuru līdzsvara maiņu, kas ietekmēja gan titrējamo skābi, gan pH, taču pētījumā šīs izmaiņas pH līmenī nebija nozīmīgas.

Garšas indekss (GI) un brieduma indekss (BI) avenēs. 2023. gadā avenēm aprēķināts arī garšas un brieduma indeksi. Pārtikas tehnologi uzskata, ka definīcija brieduma indekss (BI) ir skaidrojama ar augļu un dārzeņu nogatavošanās stadiju, kad pēc kultūraugu ražas novākšanas tas ir sasniedzis pietiekamu attīstības stadiju, kuru patērētājs uzskata par pieņemamu lietošanai uzturā. Dažiem kultūraugiem brieduma indekss tiek sasniegts vairākās auga attīstības stadijās, tas ir

atkarīgs arī no produkta lietošanas veida. Brieduma indeksa mērījumi var būt izmantoti, lai noteiktu, vai konkrēts kultūraugs pēc ražas novākšanas ir nobriedis. Brieduma indekss ir svarīgs svaigu augļu un dārzeņu preču tirdzniecībai, ko bieži nosaka Tirdzniecības noteikumi (Reid, MS. 2002).

Brieduma indekss (BI) avenēs tika aprēķināts pēc formulas: $\text{ŠSS} / \text{TSS}$

Garšas indekss (GI) avenēs un tomātos tika aprēķināts pēc formulas:

$$\text{GI} = \frac{\text{ŠSS}}{20 \times \text{TSS}} + \text{TSS}$$

kur TSS = titrējamais skābes saturs,

ŠSS = Šķīstošā sausna, oBrix (Dobrin et al., 2019).

Brieduma indekss (TSS/TA) ar augstāku vērtību nodrošina vienmērīgāku augļu un dārzeņu garšu, savukārt zemākas vērtības ir saistītas ar skābi, tāpēc garša ir mazāk izteikta (Araujo et al., 2014).

Garšas indekss (GI) avenēs 2023. gadā bija robežās no 1.48 – 1.72, brieduma indekss (BI) avenēs bija no 8.99 – 10.22 (skat 8.2.3.1. tabulu). Savukārt 2024. gadā analizētajās avenēs garšas indekss (GI) bija no 1.62 – 1.88, brieduma indekss (BI) avenēs bija no 9.32 – 11.09.

8.2.3.1. tabula

Garšas indekss (GI) un brieduma indekss (BI) avenēs 2023-2024. gadā

Aveņu paraugi	Garšas indekss (GI)		Brieduma indekss (BI)	
	2023.gads	2024.gads	2023.gads	2024.gads
K0	1.72	1.73	9.04	10.09
K1	1.57	1.87	10.50	10.45
K2	1.62	1.71	10.22	9.78
A1C1	1.60	1.83	9.74	10.06
A1C2	1.65	1.89	9.80	10.28
A2C1	1.65	1.67	9.88	10.58
A2C2	1.48	1.62	9.88	11.06
A3C1	1.62	1.88	10.19	9.32
A3C2	1.55	1.67	8.99	11.09
A4C1	1.62	1.68	9.80	9.82
A4C2	1.62	1.74	9.80	11.34
A5C1	1.63	1.69	9.56	10.90
A5C2	1.56	1.73	9.99	10.45

Pētījuma dati liecina, ka 2023. gadā analizētajās avenēs ar izteiktāku garšu bija K0 (neapstrādāta kontrole) aveņu paraugs, kurā garšas indekss bija ar visaugstāko (1.72) rādītāju. Tomēr 2024.gada analizētajās avenēs izteiktāku garšu uzrādīja aveņu paraugi, kas apstrādāti ar A1C2 (Spirulina 20%) (1.89) rādītāju, A3C1(Chlorella 10%) (1.88) un K1 (kontrole, etanols 2%) ar (1.87) rādītāju. (Savukārt ar izteikti skābāku garšu 2023. gadā analizētajās avenēs bija A2C2 (Dunaliella 20%) ar 1.48 garšas indeksa rādītāju un A5C2 (Graesiella 8%) ar 1.56 garšas indeksa rādītāju, bet 2024.gada analizētajās avenēs līdzīgi A2C2 (Dunaliella 20%) 1.62.

Garšas indekss ir svarīgs parametrs garšas kvalitātes noteikšanai, kas korelē ar brieduma indeksu (BI) (DOBRIN et al., 2019).

Pārskatu sagatavoja vadošā pētniece Ingrīda Augšpole un vadošais pētnieks Kaspars Kampuss.

1. Ancos B., Ibanez E., Reglero G., and Cano M. P. (2000) Frozen Storage Effects on Anthocyanins and Volatile Compounds of Raspberry Fruit. 4 J. Agric. Food Chem., Vol. 48, No. 3, 873–879.
2. Biesiada A., Tomczak A. (2012). Biotic and abiotic factors affecting the content of the chosen antioxidant compounds in vegetables. Vegetable Crops Research Bulletin, Vol. 76, Issue 1, p. 55–78.
3. Brodowska A.J. (2017) Raspberry pomace - composition, properties and application. European Journal of Biological Research 2017; 7 (2): 86-96.
4. Dobrila G. RANDJELOVIĆ*, Svetlana Z. BOGDANOVIĆ, Ivana D. ZLATKOVIĆ, Saša D. PETROVIĆ (2023) ANALYSIS OF ANTHOCYANINS CONTENT AND MICROBIOLOGICAL QUALITY CONTROL IN FRESH AND FROZEN RASPBERRY FRUIT. APTEFF, Vol. 54, 1-335.
5. DOBRIN, Alina NEDELUȘ, Oana BUJOR, Andrei MOȚ, Mihela ZUGRAVU, Liliana BĂDULESCU, TOMATO Aurora (2019) NUTRITIONAL QUALITY PARAMETERS OF THE FRESH RED. Scientific Papers. Series B, Horticulture. Vol. LXIII, No. 1.
6. Frías-Moreno, M.N.; Parra-Quezada, R.A.; González-Aguilar, G.; Ruíz-Canizales, J.; Molina-Corral, F.J.; Sepulveda, D.R.; Salas-Salazar, N.; Olivas, G.I. Quality, Bioactive Compounds, Antioxidant Capacity, and Enzymes of Raspberries at Different Maturity Stages, Effects of Organic vs. Conventional Fertilization. Foods 2021, 10, 953, 2-15.

7. Kostecka-Gugała Anna, Ledwożyw-Smoleń Iwona, Augustynowicz Joanna, Wyżgolik Gabriela, Kruczek Michał, Kaszycki Paweł (2015) Antioxidant properties of fruits of raspberry and blackberry grown in central Europe. *Chem.*, 2015; 13: 1313–1325.
8. Lewandowski, M.; Żurawicz, E., Pruski, K. Effects of the growing season extension on Polish primocane fruiting raspberry cultivars. *Hort Sci.* 2015, 42, 203-208.
9. Orzeł, A.; Król-Dyrek, K.; Kostecka-Gugała, A., Wyżgolik, G. Evaluation of vegetative growth and fruit chemistry of some raspberry and blackberry cultivars grown in southern Poland. *Acta Hort.* 2016, 1133, 371-378.
10. Perez-Esteve E., Salata A., Barat J.M., Stepniowska A., Lopez-Galarza S., Nurzynska Wierdak R. (2018). Polyphenolic composition of spanish cultivars of globe artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *Scolymus* (L.) Fiori. *Hortorum Cultus: Acta Scientiarum Polonorum*, Vol. 17, Issue 2, p. 177–184.
11. Petruskevicius Aistis, Viskelis Jonas, Urbonaviciene Dalia and Viskeli Pranas (2023) *Horticulturae*, 9, 288, 1-18.
12. Rashidi M. (2011) Modeling of carrot firmness based on water content and total soluble solids of carrot. *Agricultural and Biological Science*. Vol. 6, (8), pp. 62–65.
13. Reid, MS. (2002). Maturation and maturity indices. Chapter 6. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. UC Publication 3311.
14. Sarmīte Strautiņa, Valda Laugale, Inta Krasnova (2021) ADAPTABILITY OF RASPBERRY CULTIVARS FOR INTEGRATED PRODUCTION IN OPEN FIELDS. Zinātniski praktiskā konference “LĪDZSVAROTA LAUKSAIMNIECĪBA”, LLU, Jelgava, Latvija, 116-120.
15. Staugaitis G., Viškelis P. (2001). Quality assessment of leafy vegetables, vitamin C and nitrates. *Sodininkyste ir Darzininkyste*, Vol. 20, No. 4, p. 61–69.
16. Titirica, I.; Roman, I.A.; Nicola, C.; Sturzeanu, M.; Iurea, E.; Botu, M.; Sestras, R.E.; Pop, R.; Militaru, M.; Ercisli, S., Sestras A. F. (2023) The Main Morphological Characteristics and Chemical Components of Fruits and the Possibilities of Their Improvement in Raspberry Breeding. *Horticulturae*, 9, 50, 1-27.
17. Wolska J., Czop M., Jakubczyk K., Janda K. (2016). Influence of temperature and brewing time of nettle (*Urtica dioica* L.) infusions on vitamin C content. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, Vol. 67, Issue 4, p. 367–371.

18. Žaklina KARAKLAJIĆ-STAJIĆ, Aleksandar LEPOSAVIĆ, Mira MILINKOVIĆ , Svetlana M. PAUNOVIĆ, Jelena TOMIĆ (2023) Mineral composition and bioactive potential of red raspberry fruits, juice, and jam. Zemdirbyste-Agriculture, vol. 110, No. 3 (2023), p. 263–270.

8.2.3. Avenes – izmēģinājumi sadarbības partneru saimniecībās

Izmēģinājuma gaita un metodes:

ZS “Klīves”

Izmēģinājumi iekārtoti ZS Klīves ražošajos aveņu stādījumos 2024. gada 8. maijā, kad augi bija atsākuši veģetāciju un varēja provizoriski novērtēt stādījumu stāvokli (8.2.3.1. attēls). Vasaras aveņu ziemojošie dzinumi šajā saimniecībā bija stipri cietušas ziemas salā, tāpēc izmēģinājumam izvēlēta rinda, kur dzinumu pumpuri šķietami apmierinoši plauka (8.2.3.2. attēls). Rudens aveņu dzinumi šajā laikā bija sasnieguši pietiekamu augumu (10-20 cm), lai novērtētu stādījumu stāvokli (8.2.3.3. attēls). Šajā dienā iekārtoti arī divi vienfaktora izmēģinājumi (atsevišķi vasaras un rudens avenēs) četros atkārtojumos, kur apstrāžu varianti bija sekojoši:

- A1 – *Spirulina platensis* ekstrakts 5%
- A2 – *Chlorella vulgaris* ekstrakts 5%
- K – kontrole bez apstrādes

Izmantoti projekta laikā iegūtie mikroaļģu preparāti. Lauciņa izmērs bija 4.5 rindas metri, bet rindas platums aptuveni 1 m – tāvad lauciņa izmērs bija 4.5 m. Starp lauciņiem ievērota izolācija 1.5 m garumā. Rindstarpu attālums 3 m. Pavisam pagatavoti un izsmidzināti 4 L darba šķīduma uz visiem 4 atkārtojumiem (1 L uz lauciņu) katrā no izmēģinājumiem no katra preparāta. Lauka agrotehnika atbilstoši saimniecībā pielietotajai praksei.



8.2.3.1. attēls. Aveņu stādījums ZS Klīves 2024. gada 8. maijā. Pa kreisi – vasaras avenēs, pa labi – rudens avenēs.



8.2.3.2. attēls. Vasaras avenas ZS Klīves 2024. gada 8. maijā.



8.2.3.3 attēls. Avenu jaunie dzinumi

Šajā reizē arī veikts pirmais smidzinājums, uzskaitot katra lauciņa smidzināšanas laiku (1:40 min)

(tas iepriekš tika noteikts eksperimentāli) , lai nodrošinātu vienādu šķīduma daudzumu katram lauciņam (8.2.3.4. attēls). Pavisam saimniecībā veikti 4 smidzinājumi vasaras aveņu stādījumā un 5 smidzinājumi rudens aveņu stādījumā, vidēji ik pa 2 nedēļām (8.2.3.5. attēls) – ņemot vērā laika apstākļu piemērotību smidzinājumiem (nesmidzinājām lietus laikā un izvairījāmies smidzināt arī pirms lietus un izteikti karstā laikā).



8.2.3.4.attēls. Aveņu smidzināšana ZS Klīves 8.05.2024.



8.2.3.5.attēls. Avenu smidzināšana ZS Klīves 8.05.2024. (pa kreisi) un 17.07.2024. (pa labi).

ZS “Akmentiņi”

Izmēģinājumi iekārtoti ražojošā rudens avenu ‘Polonez’ un ‘Polka’ stādījumā 2024. gada 11.jūnijā. Iekārtots 2 faktoru izmēģinājums 4 atkārtojumos pēc sekojošas shēmas:

- S1 – šķirne ‘Polonez’
- S2 – šķirne ‘Polka’
- A1 – *Spirulina platensis* ekstrakts 5%
- A2 - *Chlorella vulgaris* ekstrakts 5%
- K – kontrole bez apstrādes

Lauciņu un izolāciju izmēri līdzīgi, kā saimniecībā Klīves, vienīgi izsmidzināti tikai 6 L darba šķīduma uz visu izmēģinājumu (8 lauciņi) katram preparātam, jo saimniecībā dzinumu skaits uz metru bija mazāks. Izmantota saimniecībā praktizētā agrotehnika. Pavisam veikti 5 smidzinājumi.

Pēc smidzinājumu pabeigšanas avenēm noteikti viengadīgo dzinumu garumi, rudens avenēm noteikta produktīvo dzinumu produktīvās daļas īpatsvars (8.2.3.6. attēls), raža vienā konkrētā lasījumā (pavisam avenēs, atbilstoši parastajai praksei, lasītas pakāpeniski, ik pa 3-4 dienām, taču, sakarā ar darbu organizāciju saimniecībās, nebija iespējams nodrošināt pilnu ražas

uzskaiti visos šajos termiņos), 50 ogu masa, pārrēķinot to uz vidējo vienas ogas masa šajā lasījumā, šķīstošās sausas satur svaigās ogās šajā lasījumā (8.2.3.7. attēls). Šajā laikā ievākti arī ogu paraugi tālākām ķīmiskā sastāva analīzēm. ZS Klīves katram variantam ievākts vidējais paraugs no visiem 4 atkārtojumiem nepietiekoša ražas daudzuma dēļ konkrētajā lasījumā. ZS Akmentiņi ievākti un analizēti atsevišķi paraugi no katra atkārtojuma, kas ļāva noteikt pilnu datu matemātisko apstrādi (difaktoru dispersiju analīze ar atkārtojumiem).



} Dzinuma produktīvā daļa

8.2.3.6. attēls. Produktīvā dzinuma produktīvā daļa.



8.2.3.7. attēls. Mērījumu veikšana rudens aveņu stādījumā ZS Akmentiņi.

Rezultāti

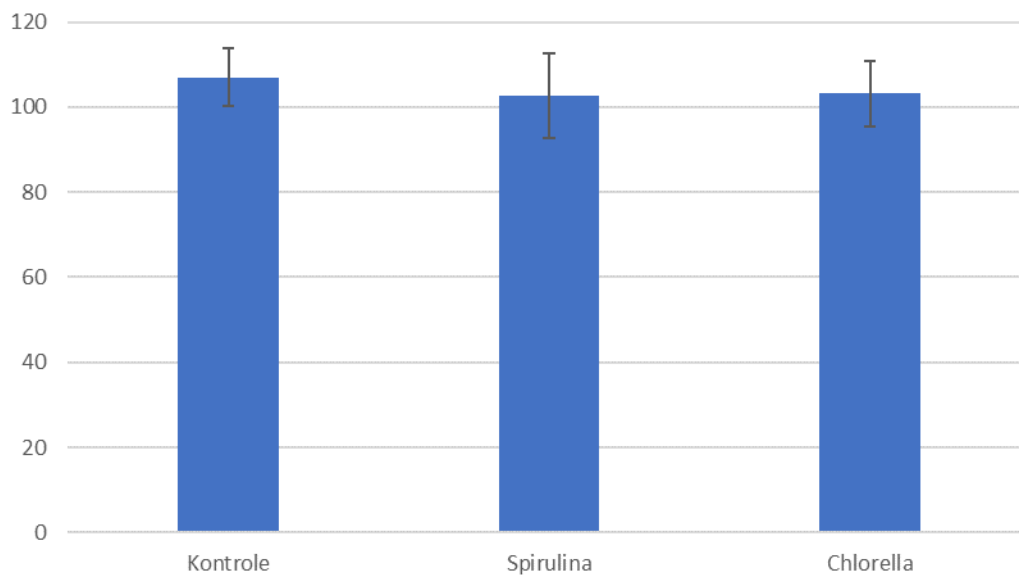
Vasaras aveņu ražojošie divgadīgie dzinumi ZS Klīves, lai arī sākotnēja attīstījās apmierinoši, vēlāk tomēr aizgāja bojā īsi pirms ražas ienākšanās (8.2.3.8. attēls). Tāpēc šajā izmēģinājumā bija iespējams veikt tikai **viengadīgo (neražojošo) dzinumu garuma** mērījumus. Dzinumi bija vidēji 104 cm gari bez būtiskām atšķirībām starp apstrādēm ($p>0.05$) (8.2.3.9. attēls). Rudens avenēm **produktīvo dzinumu garums** ZS Klīves svārstījās no 98.0 līdz 114.9 cm, no kura produktīvā daļa sastādīja 9.5 līdz 14.5% (8.2.3.10. attēls). Atšķirības starp variantiem nebija statistiski būtiskas abos šajos parametros ($p>0.05$).

ZS Akmentiņi produktīvo dzinumu garums rudens avenēm svārstījās no 59.9 līdz 123.7 cm, kas vērtējams kā zems – visdrīzāk tāpēc, ka augi cieta no sausuma. Izmēģinājumā nav novērota statistiski būtiska atšķirība ne starp šķirnēm, ne apstrādēm, tomēr novērota tendence ($p=0.07$), ka apstrāde ar *Chlorella* veicina dzinumu garumu pieaugumu (8.2.3.11. attēls). Produktīvās daļas proporcija svārstījās no 9.4 līdz 35.7%. Atšķirības starp šķirnēm nebija būtiskas ($p>0.05$), tomēr apstrāde ar preparātu šo rādītāju statistiski būtiski ($p=0.0068$) pazemināja, it īpaši šķirnei ‘Polonez’

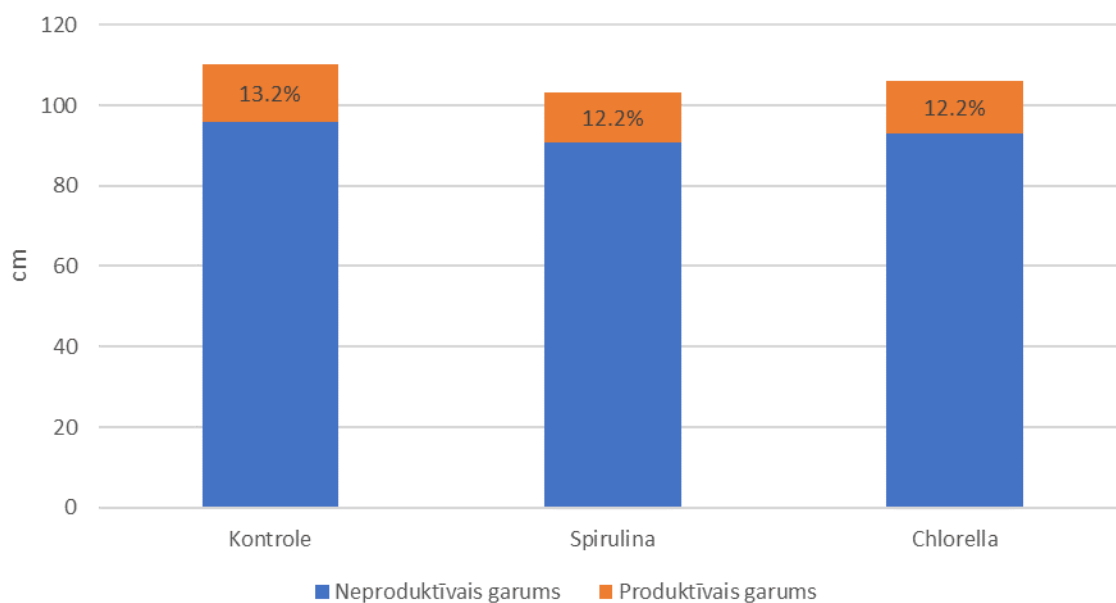
(8.2.3.12. attēls). Tiesa, izkliede starp atkārtojumiem bija ievērojama, tāpēc šis šķietami negatīvais efekts nav īpaši pārliecinošs.



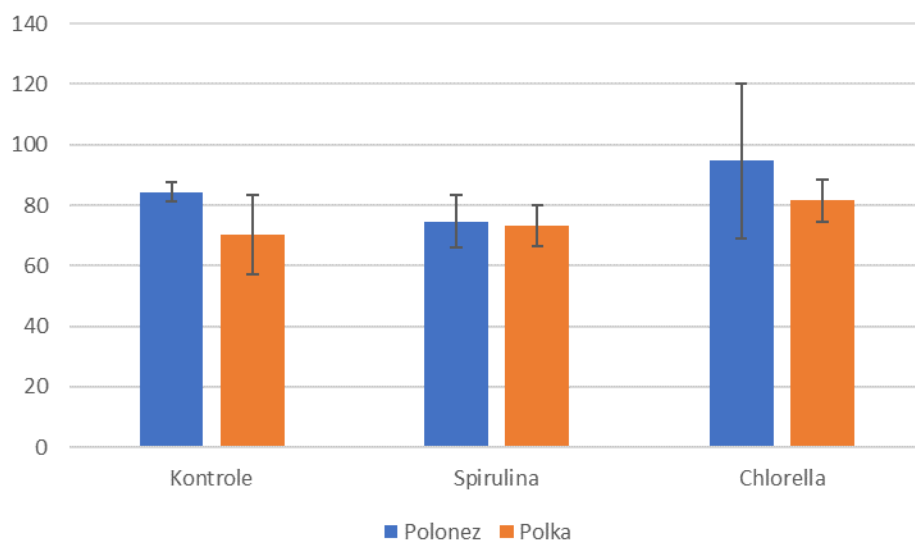
8.2.3.8.attēls. Vasaras avenu dzinumi ZS Klīves izmēģinājumā 4.06. (pa kreisi) un 17.07. (pa labi).



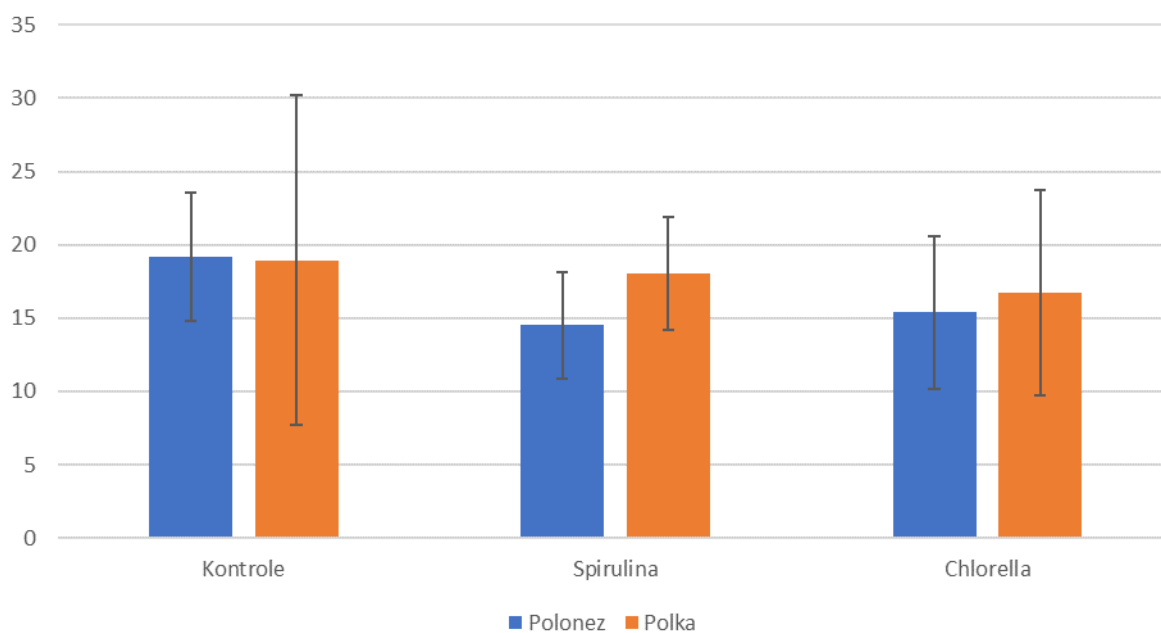
8.2.3.9.attēls. Vasaras avenu dzinumu vidējie garumi 17.07. ZS Klīves atkarībā no apstrādes ar mikroaļģu preparātu, cm. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.



8.2.3.10.attēls. Rudens avenu produktīvo dzinumu garums (cm) un produktīvās daļas proporcija (%) ZS Klīves 17.07.2024.



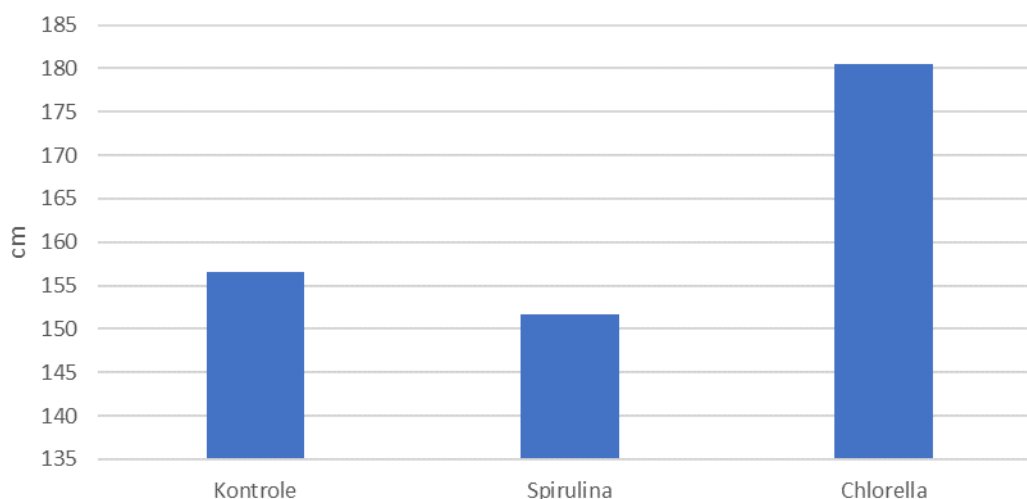
8.2.3.11. attēls. Rudens aveņu šķirņu produktīvo dzinumu garums (cm) ZS Akmentiņi 03.09.2024. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.



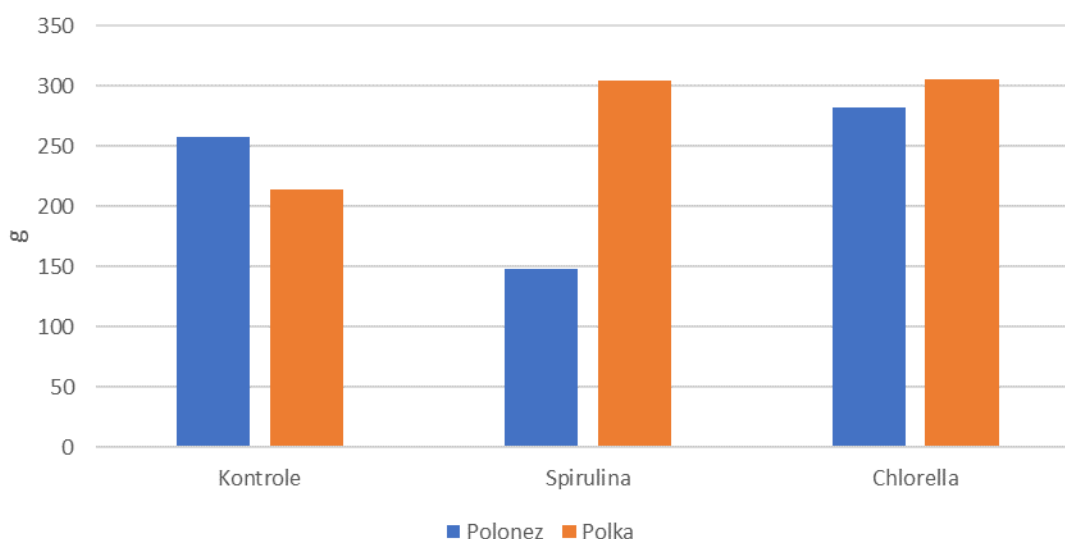
8.2.3.12. attēls. Rudens aveņu produktīvo dzinumu produktīvās daļas proporcija (%) ZS Akmentiņi 03.09.2024. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.

Aveņu raža vienā lasījumā 16.09.2024. ZS Klīves svārstījās no 51.2 līdz 270.2 g no lauciņa (4.5 m²) (8.2.3.13. attēls). Apstrāde ar *Chlorella* 5% izcēlās ar augstāku rādītāju, tomēr atšķirības nebija statistiski būtiskas ($p=0.86$) lielo atšķirību starp laucieniem dēļ.

ZS Akmentiņi vērtēta raža vienā lasījumā 3.09.2024. un tā svārstījās no 102 līdz 550 g no lauciņa (8.2.3.14. attēls). Atšķirības nebija statistiski būtiskas ($p>0.05$) ne starp šķirnēm, ne apstrādēm – galvenokārt ievērojamo atšķirību starp dažādās vietās esošajiem laucieniem (atkārtojumiem). Tomēr ir vērojama pozitīva abu lietoto preparātu ietekme uz šķirnes ‘Polka’ ražu un pozitīva apstrādes ar *Chlorella* ietekme uz šķirnes ‘Polonez’ ražu šajā lasījumā.



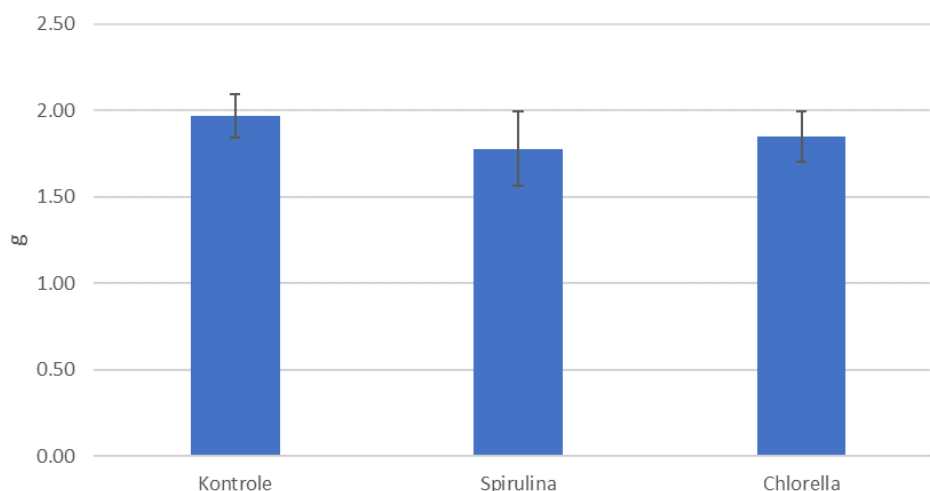
8.2.3.13. attēls. Aveņu raža vienā lasījumā ZS Klīves 16.09.2024., g no auga



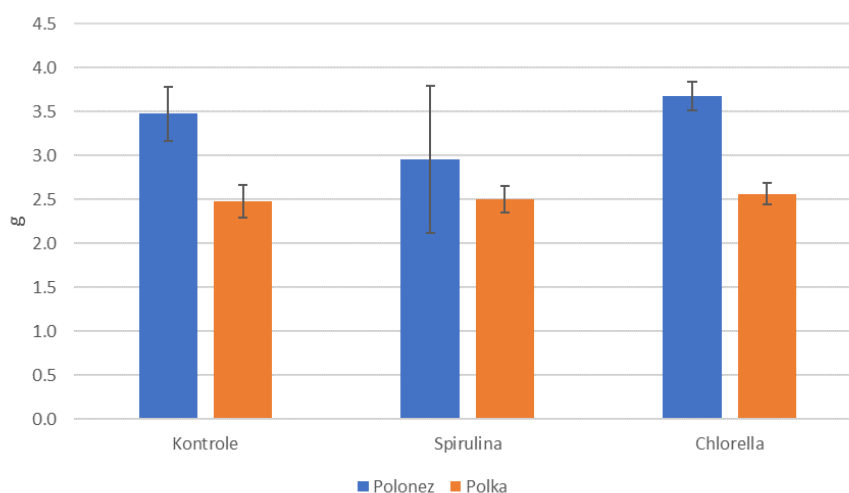
8.2.3.14. attēls. Aveņu raža vienā lasījumā ZS Akmentiņi 3.09.2024., g no auga

Ogas vidējā masa ZS Klīves 16.09.2024. svārstījās no 1.54 līdz 2.15 g vidēji no auga (8.2.3.15. attēls). Atšķirības starp apstrādēm nebija statistiski būtiskas ($p=0.32$).

ZS Akmentiņi 3.09.2024. ogas vidējā masa svārstījās no 1.71 līdz 3.81 (8.2.3.16. attēls). Šķirnes ‘Polonez’ (18. attēls) ogas bija būtiski ($p=0.004$) lielākas (vidēji 3.37 g), nekā šķirnes ‘Polka’ (8.2.3.19. attēls) ogas (vidēji 2.51 g), kas skaidrojams ar šķirņu īpašībām. Tomēr atšķirības starp apstrādēm ar mikroaļģu preparātiem nebija statistiski būtiskas ($p=0.099$).

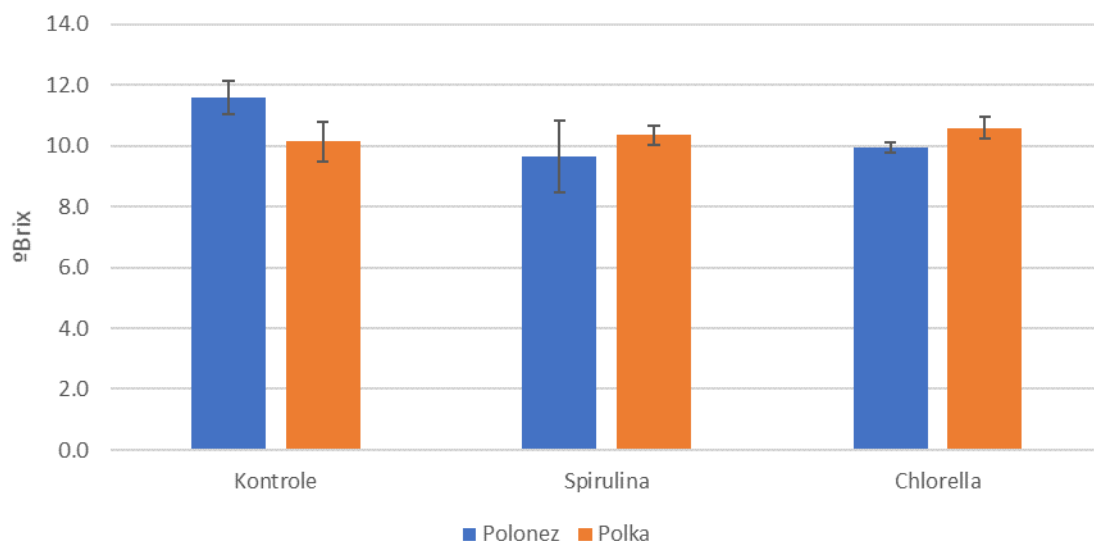


8.2.3.15. attēls. Ogas vidējā masa (g) ZS Klīves 16.09.2024. gadā. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.



8.2.3.16. attēls. Ogas vidējā masa (g) ZS Akmentiņi 3.09.2024. gadā. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.

Ražas laikā ZS Akmentiņi tika noteikta arī **šķīstošā sausna (cukuri) svaigās ogās**, papildus laboratorijā noteiktajiem šķīstošās sausnas mērījumiem un citiem parametriem, kas aprakstīti zemāk. Sausnas saturs ogās svārstījās no 8.0 līdz 12.1 °Brix, vidēji 10.4 °Brix. Atšķirības nebija statistiski būtiskas ($p>0.05$) ne sa °Brix starp šķirnēm, ne apstrāžu variantiem (8.2.3.17. attēls).



8.2.3.17.attēls. Šķīstošās sausnas saturs svaigās aveņu ogās ZS Akmentiņi 3.09.2024., °Brix. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.



8.2.3.18. attēls. Šķirnes ‘Polonez’ ogas ZS Akmentiņi.



8.2.3.19. attēls. Šķirnes ‘Polka’ ogas ZS Akmentiņi.

Secinājumi:

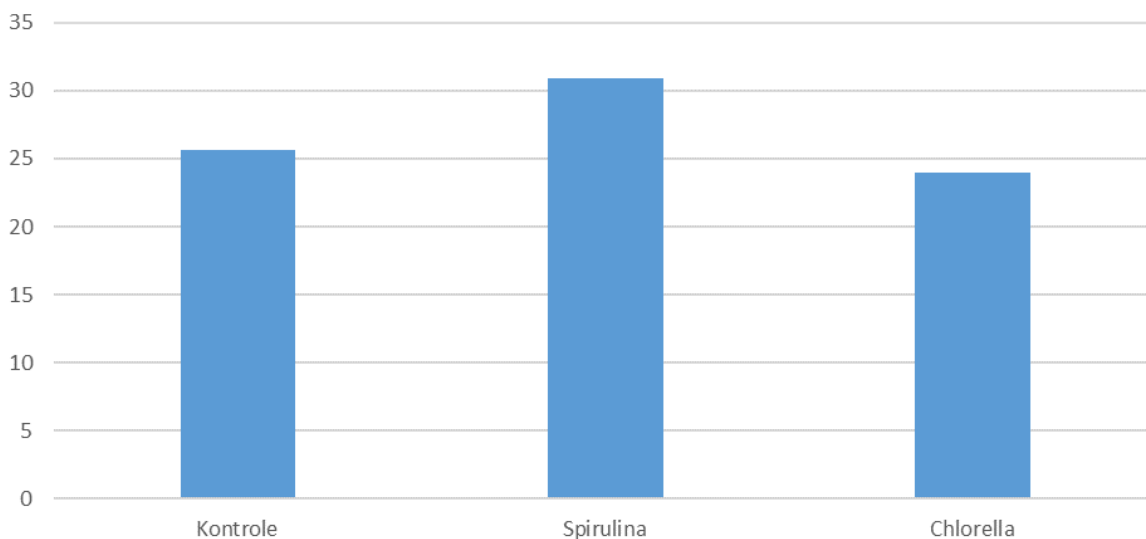
Lai gan rezultāti nebija statistiski pārliecinoši, jo avenes ražojošā stādījumā ietekmē daudz dažādu ekoloģisko faktoru, kuru uzskaitē un, vēl jo vairāk, kontrole ir komplicēta, tomēr apstrāde ar *Chlorella* preparāta 5% šķīdumu uzrādīja daudzsološus rezultātus, jo tai bija tendence palielināt rudens aveņu dzinumumu garumu un ražu.

Pārskata daļu sagatavoja vadošais pētnieks Kaspars Kampuss

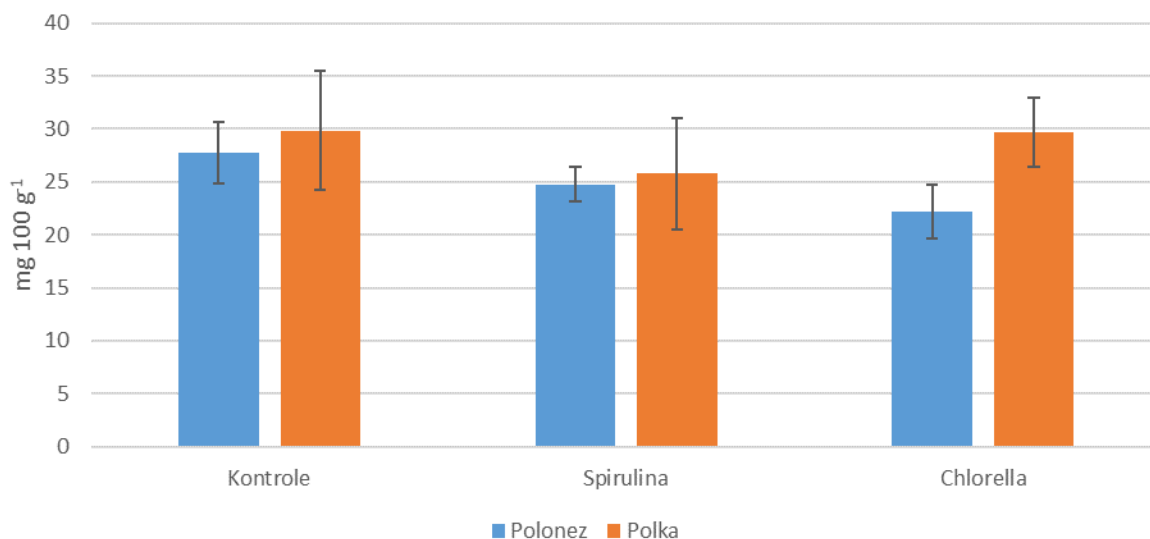
8.2.4. avenes Sadarbības partneru saimniecībās- Ogu Bioķīmiskās analīzes (Rezultāti)

Ražas laikā ievāktos aveņu ogu paraugus uzglabāja sasaldētus $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ un pēc tam ziemas periodā LBTU LPTF laboratorijās tiem tika noteiktas nozīmīgās garšu un bioloģisko vērtību nosakošās ķīmiskās sastāvdaļas ar mērķi noteikt, vai apstrādes ar mikrobioloģiskajiem preparātiem ietekmēja to saturu. Pielietotas iepriekš (LBTU laboratorijā veiktā pētījumā) aprakstītās metodes.

Askorbīnskābe jeb C vitamīna saturs avenēs ZS Klīves 2024. gadā bija no 24.0-30.9 mg 100 g⁻¹ (8.2.4.1. attēls), bet ZS Akmentiņi no 19.9 līdz 34.1 mg 100 g⁻¹ ogu (8.2.4.2. attēls). ZS Akmentiņi atrastas būtiskas atšķirības ($p=0.029$) starp šķirnēm – šķirne ‘Polonez’ saturēja vidēji 24.9 mg 100 g⁻¹, bet ‘Polka’ – 28.4 mg 100 g⁻¹ askorbīnskābes. Statistiski būtiskas atšķirības starp apstrādēm netika atrastas ($p=0.72$).

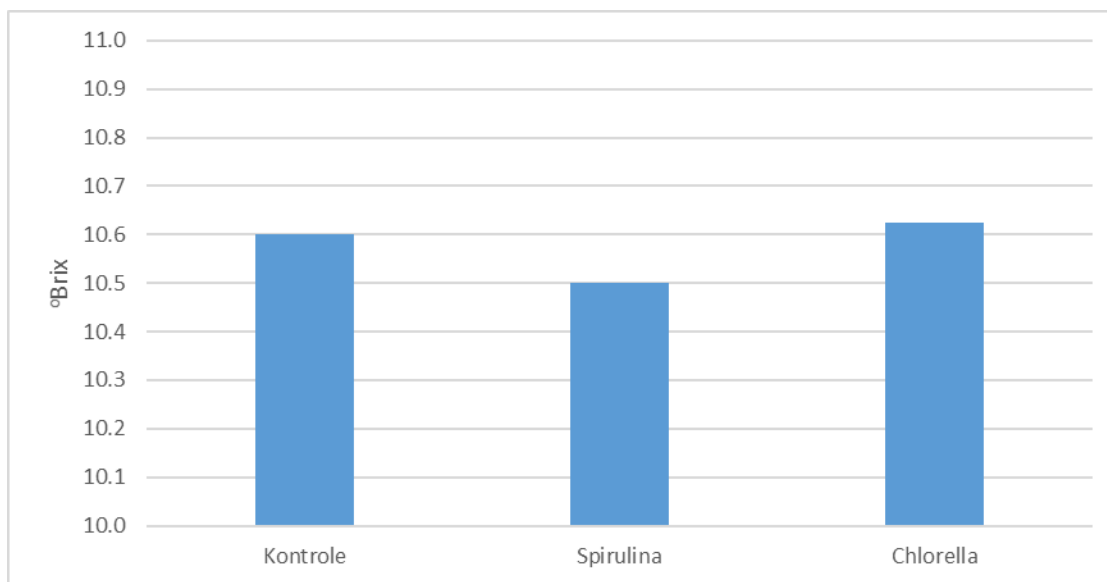


8.2.4.1.attēls. C vitamīna saturs avenēs ZS Klīves atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, mg 100 g⁻¹.

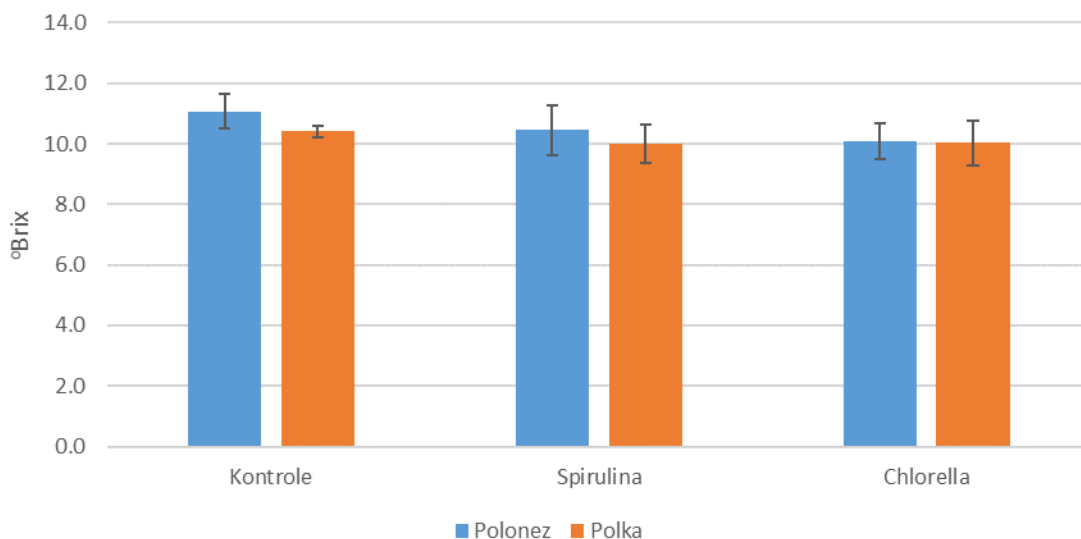


8.2.4.2. attēls. C vitamīna saturs avenu šķirņu ogās ZS Akmentiņi atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, mg 100 g⁻¹. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.

Avenēs **šķīstošā sausna** noteikta refraktometriski °Brix vienībās. ZS Klīves tās saturs bija no 10.50-10.63 °Brix (8.2.4.3. attēls), bet ZS Akmentiņi no 9.28 līdz 11.58 °Brix (8.2.4.3.* attēls). ZS Akmentiņi netika atrastas būtiskas atšķirības ($p > 0.05$) ne starp šķirnēm, ne apstrādēm.



8.2.4.3. attēls. Šķīstošās sausnas saturs avenēs ZS Klīves atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, °Brix



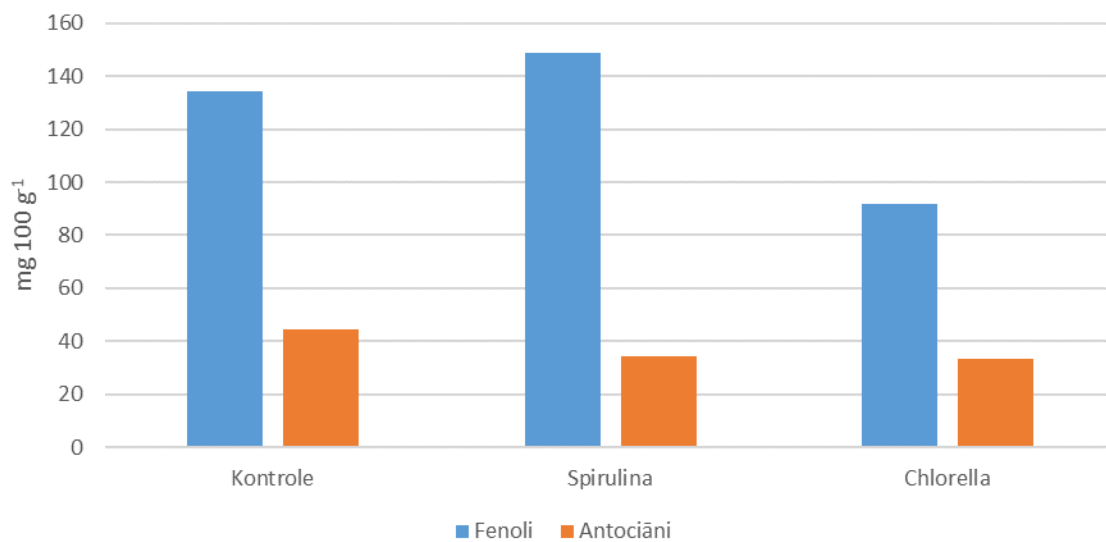
8.2.4.3. attēls. Šķīstošās sausas saturu āveņu šķirņu ogās ZS Akmentiņi atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, °Brix. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.

Kopējo fenolu un antociānu saturs āvenēs:

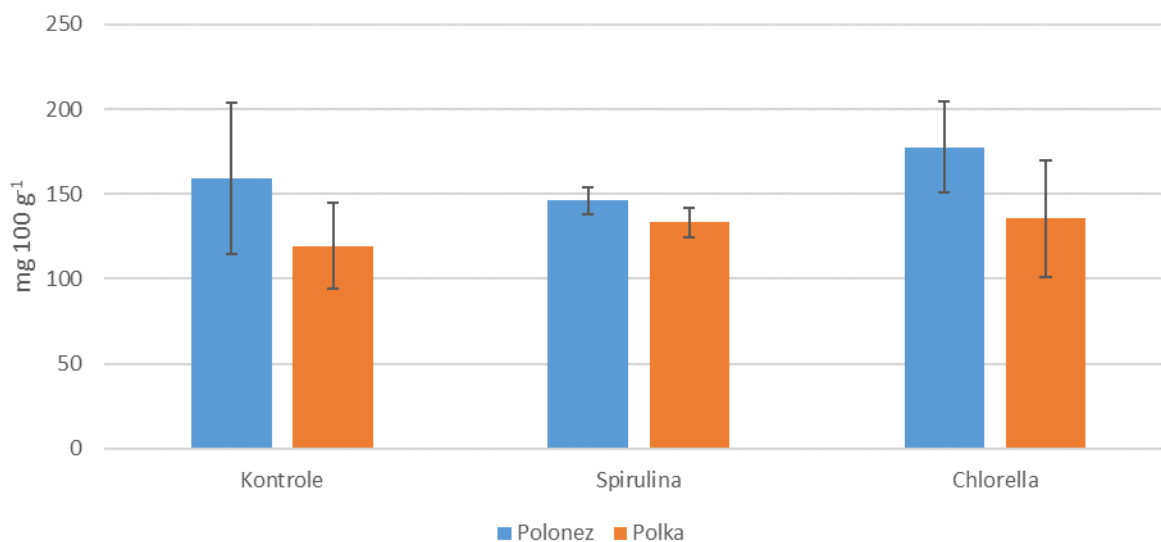
Kopējo fenolu saturs āvenēs ZS Klīves bija robežās no 91.6 – 148.9 mg 100 g⁻¹, savukārt antociānu saturs no 33.3 – 44.6 mg 100 g⁻¹ (8.2.4.4. attēls).

ZS Akmentiņi fenolu saturs āvenēs bija robežās no 83.2 līdz 211.3 mg 100 g⁻¹ (25. attēls). Šķirnes ‘Polonez’ ogas saturēja būtiski ($p=0.03$) vairāk fenolu (vidēji 160.9 mg 100 g⁻¹), nekā šķirnes ‘Polka’ ogas (vidēji 129.4 mg 100 g⁻¹). Taču starp apstrādēm nav atrastas būtiskas atšķirības ($p>0.05$).

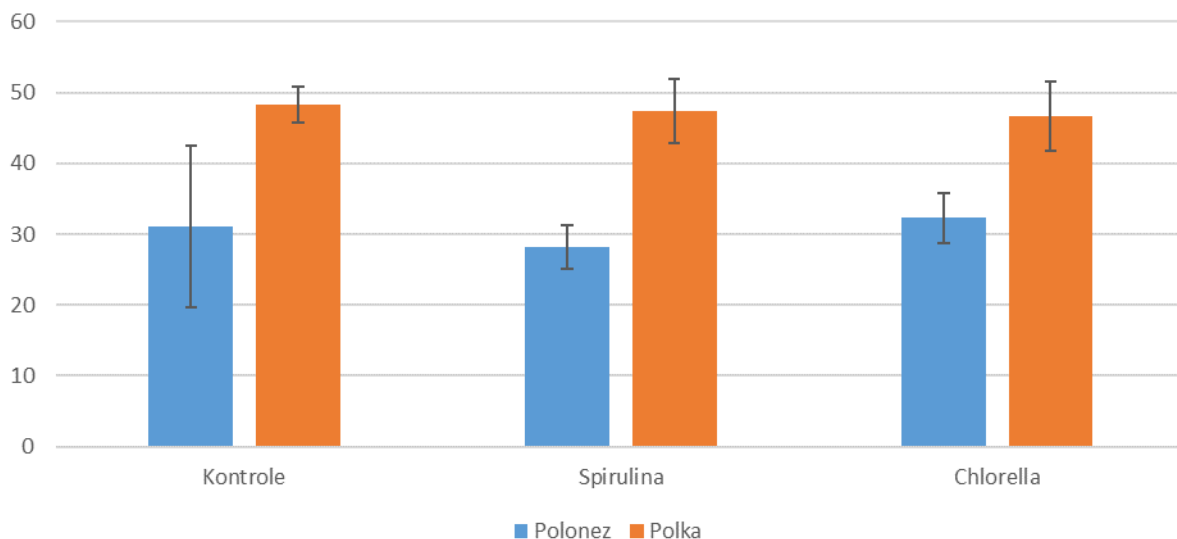
Antociānu saturs bija no 24.8 – 52.8 mg 100 g⁻¹ (8.2.4.5. attēls). Arī antociānu saturs būtiski ($p<0.05$) atšķīrās starp šķirnēm, šoreiz vairāk antociānu bija šķirnes ‘Polka’ ogās (vidēji 47.4 mg 100 g⁻¹), nekā ‘Polonez’ ogās (vidēji 30.5 mg 100 g⁻¹). Arī antociānu saturā atšķirības starp apstrādēm nebija statistiski būtiskas ($p=0.42$).



8.2.4.4. attēls. Fenolu un antociānu saturs avenēs ZS Klīves atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, mg 100 g⁻¹.



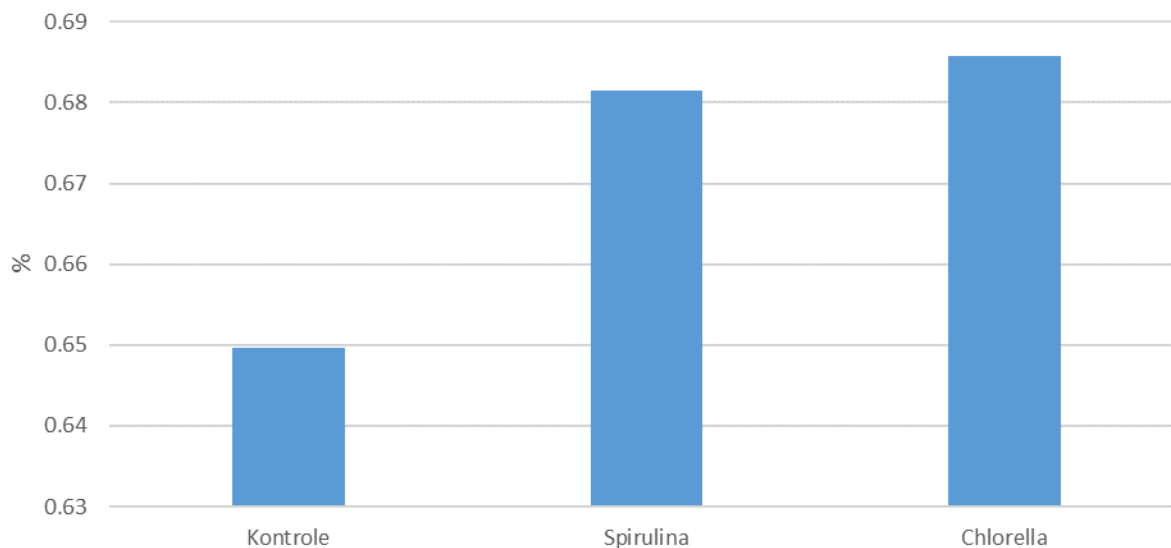
8.2.4.5. attēls. Fenolu saturs aveņu šķirņu ogās ZS Akmentiņi atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, mg 100 g⁻¹. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.



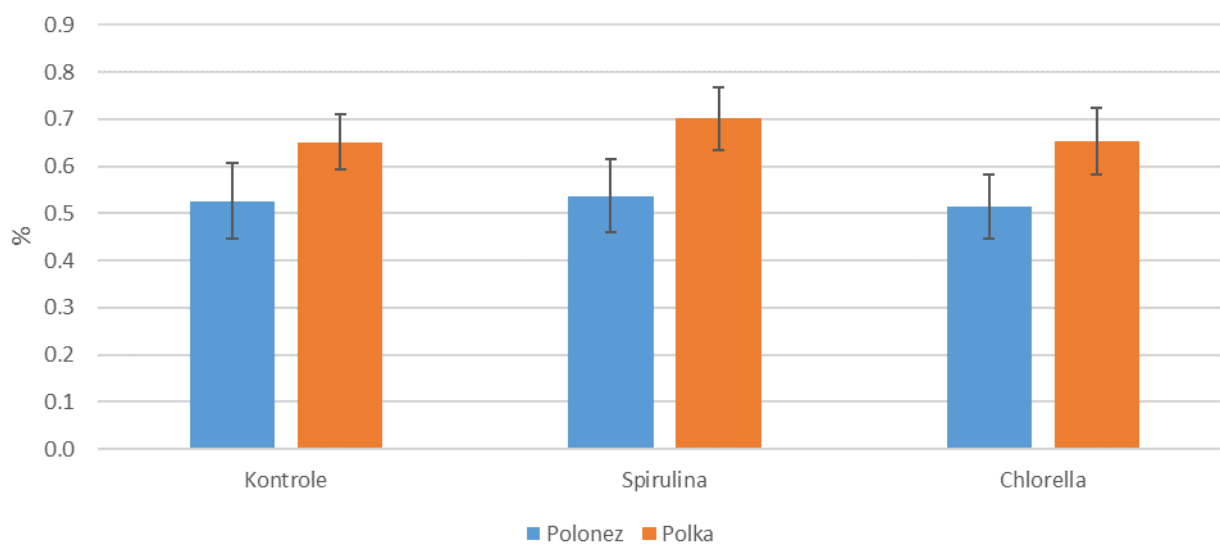
8.2.4.6. attēls. Antociānu saturs aveņu šķirņu ogās ZS Akmentiņi atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, mg 100 g⁻¹. Kļūdas zīme attēlo standartnovirzi.

Titrējamās skābes saturs (TSS) avenēs ZS Klīves bija no 0.65 – 0.69% (8.2.4.7. attēls). Apstrādes ar mikroaļģu preparātiem nedaudz palielināja titrējamās skābes saturu avenēs.

ZS Akmentiņi titrējamās skābes saturs aveņu ogās svārstījās no 0.42 līdz 0.76% (8.2.4.8. attēls). Statistiski būtiskas ($p=0.001$) atšķirības atrastas starp šķirnēm – šķirnes ‘Polonez’ ogas saturēja būtiski mazāk (vidēji 0.53%) titrējamās skābes, nekā šķirnes ‘Polka’ ogas (0.76%). Atšķirības starp apstrādēm nebija statistiski būtiskas ($p=0.36$).



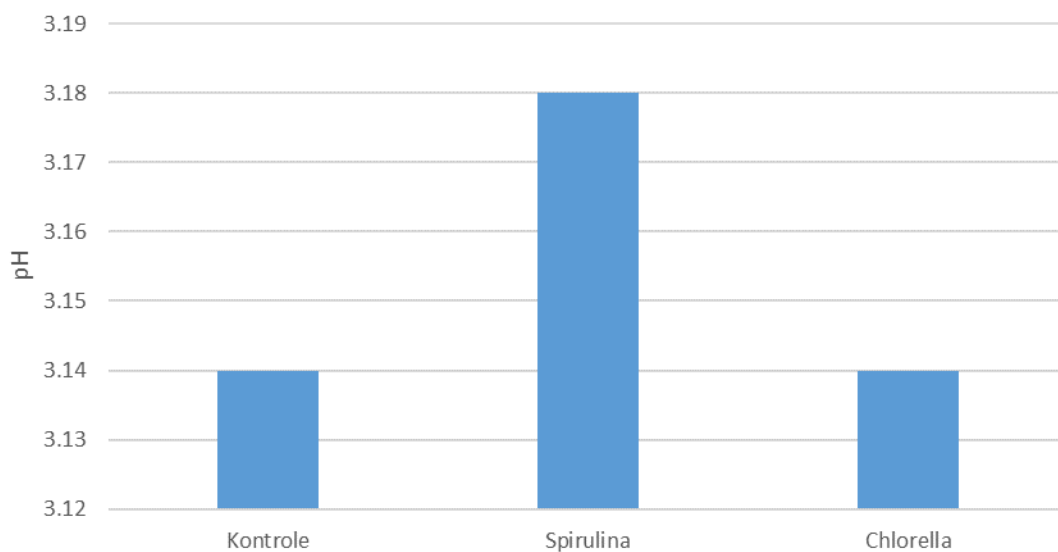
8.2.4.7. attēls. Titrējamās skābes avenēs ZS Klīves atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, %.



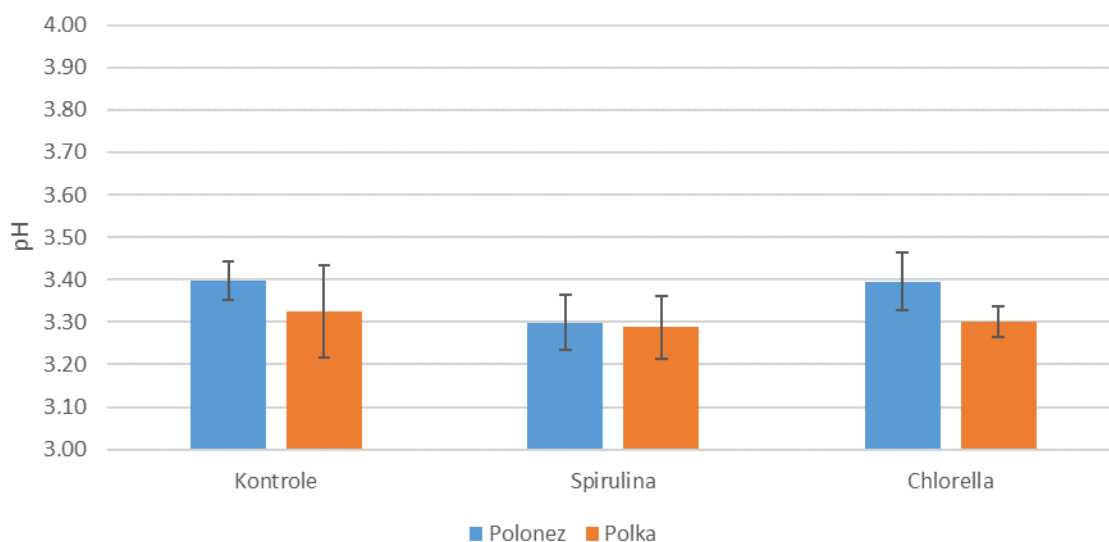
8.2.4.8. attēls. Titrējamās skābes avenē šķirņu ogās ZS Akmentiņi atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta, %.

pH vērtības avenēs ZS Klīves atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta bija ļoti līdzīgas - no 3.14 – 3.18 (8.2.4.9. attēls).

ZS Akmentiņi pH avenē ogās svārstījās no 3.20 līdz 3.48 (8.2.4.10. attēls). Atšķirības nebija statistiski būtiskas ($p > 0.05$) ne starp šķirnēm, ne starp apstrādēm.



8.2.4.9. attēls. pH vērtība avenēs ZS Klīves atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta.



8.2.4.10. attēls. pH vērtība avenju šķirņu ogās ZS Akmentiņi atkarībā no izmantotā mikrobioloģiskā preparāta.

Secinājumi:

Izmēģinājumu rezultātā novērotas sagaidāmas atšķirības starp dažādām šķirnēm un dažādās vietām audzētu avenju ogu bioķīmisko sastāvu, taču apstrādes ar mikrobioloģiskajiem preparātiem būtiski neizmainīja ogu sastāvu.

Pārskata daļu sagatavoja vadošais pētnieks Kaspars Kampuss un vadošā pētniece Ingrīda

Augšpole

8.3. VASARAS UN ZIEMAS RAPSIS

Rapša (*Brassica napus* spp. *oleifera* L.) audzēšana pasaulē ir ļoti strauji augusi, jau 2000. gada sākumā kļūstot par vienu no nozīmīgākajiem eļļas augiem pasaulē. Rapsis ir zināms kā lielu enerģijas daudzumu uzkrājošs kultūraugs, jo tā sēklas satur daudz eļļas (aptuveni 40% un vairāk). Rapša sēklu sausna satur arī 17–23% proteīna (Kowalska et al., 2020). Rapša sēklu eļļu izmanto pārtikā, bet sēklas pēc eļļas izspiešanas ir vērtīgs lopbarības produkts ar augstu proteīna un tauku saturu (Atsbehaa et al., 2020). Rapša eļļa satur vērtīgas taukskābes, to ieteicams lietot uzturā (Nath et al., 2016). No rapša sēklām izspiesto eļļu izmanto arī biodegvielas ražošanai (Sollis et al., 2017).

Pastāv divas formas – ziemas un vasaras rapsis. Ziemas rapši sēj rudenī, tam nepieciešams jarovizācijas periods, lai pārietu ģeneratīvajā fāzē un nākamajā vasarā dotu sēklu ražu, bet vasaras rapši sēj pavasarī un raža novācama tā paša gada vasarā. Ziemas rapšim dēļ garāka veģetācijas perioda ir lielāks ražas potenciāls, salīdzinot ar vasaras rapši.

Nozīmīgākie rapša augšanas attīstības etapi pēc BBCH skalas ir (00–09) dīgšana, (10–19) lapu attīstība, (30–39) stublāja pagarināšanās, (50–59) ziedkopas veidošanās, (60–69) ziedēšana, (70–79) augļa veidošanās un sēklu nobriešana. Augšanu, attīstību un ražas veidošanos ietekmē kompleksa agrotehnisko pasākumu un vides mijiedarbība, piemēram, sējas laiks, barības elementu nodrošinājums, augu aizsardzības plāns un augšanas vide: meteoroloģiskie apstākļi, augsne, mitruma režīms (Böttcher et al, 2020).

Kritiskais periods ziemas rapša audzēšanā ir ziemošana. Šķirņu salīdzinājumos Baltijas apstākļos, kur izmantotas hibrīdās un līnijšķirnes, augstāku ziemcietību uzrāda hibrīdās šķirnes (Velička et al, 2012a; Balodis, Gaile, 2015). Ziemas rapša sasniegtās ražas potenciāls ir ļoti atkarīgs no auga attīstības rudenī, kas ir cieši ietekmē augu pārziemošanas spējas (Saldukaitē et al, 2022). Auga attīstība rudenī atkarīga no sējas laika un auga iespējas izveidot spēcīgu sakni un uzkrāt rezerves barības vielas. Ziemas rapšim nepieciešamas vismaz 416 augšanas grādu dienas, lai sasniegtu atbilstošos fitometriskos rādītājus: augšanas punkta augstums, saknes kakla diametrs, auga un sakņu masa, kā arī galvenās saknes garums. Ja augšanas grādu dienu skaits pārsniedz 478 dienu sliekšni, rapšim ir risks pāraugt augšanas punktam (pārsniedzot 3 centimetru augstumu, palielinās sala bojājumu risks ziemā (Sieling et al, 2017). Augšanas punkta augstums palielinās sākot agrākos termiņos (Balodis, 2017). Augšanas konusā ziemošanai uzkrāto ogļhidrātu saturs

hibrīdajām šķirnēm samazinās lēnāk nekā līnijšķirnēm, bet tie ir galvenais enerģijas avots ziemošanas un veģetācijas atjaunošanās laikā. Ogļhidrātu uzkrāšanās un to daudzums ir atkarīgs no sējas laika un augu attīstības pēc sējas, ko būtiski ietekmē mitruma nodrošinājums augsnē (Velička et al, 2012a). Novērotas ciešas pozitīvas sakarības aktīvo temperatūru summai ar saknes kakla diametru, augšanas punkta augstumu, auga lapu skaitu (Velička et al, 2012b). Augu augšanas regulatora lietojums rudenī nodrošina augstāku ziemciecietību, bet tas var neietekmēt ražas lielumu (Bružus et al, 2013; Balodis, 2017).

Rapša ražas mainīgums 40% gadījumu skaidrojams ar laikapstākļiem konkrētās augšanas un attīstības fāzēs. Svarīgākās attīstības fāzes ir no ziedkopu veidošanās līdz ziedēšanas vidum (50.–65. AE) un sēklu attīstības fāze (71.–79. AE). Asimilācijas ātrumu pāksteņu pildīšanās laikā ietekmē temperatūra, sausums un saules radiācija, kas ietekmē sēklu skaitu un izmēru. Laikā pēc ziedēšanas rapša ražu visvairāk ietekmē temperatūra, jo tā nosaka veģetācijas perioda garumu. Zemākā gaisa temperatūrā asimilācijas periods, kurā veidojas sēklu masa, pagarinās. Tomēr sēklu izmērs rapša ražu izteikti neietekmē, jo pastāv ražas komponentu kompensācijas mehānisms sēklu skaitam un 1000 sēklu masai (Aksouh-Harradj et al, 2006; Weymann et al., 2015). Pie mazāka augu skaita, palielinās zaru un pāksteņu skaits augam, bet pie lielāka augu skaita, šie radītāji samazinās, un samazinās arī sēklu skaits pākstenī (Velička et al, 2012b).

Ziemas rapša (*Brassica napus* spp. *oleifera*) raža un sēklu kvalitāte ir atkarīga no visas attīstības fāžu fizioloģiskajiem procesiem, kur īpaši svarīga ir augsnes barības vielu pieejamība un auga stresa tolerances spējas, kuras var tikt uzlabotas izmantojot mikroaļģes saturošus preparātus (Dmytryk et al., 2022). Rapša ražas līmenis lielā mērā ir atkarīgs no kultūrauga nodrošinājuma ar slāpekli (Rathke et al, 2005; Litke et al, 2019). Lielas slāpekļa normas pazemina eļļas daudzumu rapša sēklās. Slāpekļa mēslojums pozitīvi ietekmē sēklu ražu un proteīna saturu (Rathke et al, 2005).

Augiem pārvarēt dažādus stresus var palīdzēt augšanas veicinātāji, piemēram mikroaļģes, it īpaši *Spirulina* sp., *Chlorella* sp., tās satur aminoskābes, fitohormonus (auksīni, citokinīni), vitamīnus un polisaharīdus, kas veicina fotosintēzi, sakņu attīstību un augsnes mikrofloras aktivitāti (Abreu et al., 2023). Podu eksperimentā ar lapu smidzināšanu ar *Spirulina* ekstraktu (0, 2, 4, 6 %) un vermikompostu, novēroja lielāku saknes garumu, lapu laukumu, 1000 sēklu masu un ražu, olbaltumvielu un eļļas saturu sēklās, kurš būtiski palielinājās pie 6% ekstrakta (Hosseini Jafari, Zarea, 2022).

8.3.1. Metodika

Vasaras rapša izmēģinājums veģetācijas traukos 2023. gada vasarā:

Izmēģinājuma iekārtošana:

Vasaras rapša (*Brassica napus* spp. *oleifera*) izmēģinājums 2023. gadā tika iekārtots veģetācijas traukos, pa trīs vasaras rapša augiem vienā 25 L podā, kurā ievietota mālsmilts augsne. Katram variantram seši atkārtojumi. Izmantota šķirne 'Heroe'.

Salīdzināti pieci mikroaļģess saturoši preparāti, un trīs kontroles varianti – nesmidzināts, un smidzināts ar spirtu etanola šķīdumu. Smidzinājumiem izmantotie mikroaļģu. spirta ekstrakti apkopoti 8.3.1.1. tabulā. Smidzinājums sezonā veikts X reizes, sākot no lapu attīstības fāzes, līdz ziedēšanas beigām. Smidzinājumi ar muguras smidzinātāju uzsākti 3. jūlijā un turpmāk veikti ik pēc 7 dienām, kopā 8 smidzinājumi. Izmantotas divas ekstraktu koncentrācijas (10 un 20%). Kontrolei tās salīdzinātas ar 2 un 4% etanola šķīdumiem, lai novērtētu potenciālo šķīdinātāja ietekmi uz augiem. Izmantota arī "nulles" kontrole, kur augi netika apstrādāti.

8.3.1.1. tabula

Vasaras rapša izmēģinājumā iekļautie varianti

Mikroaļģu variants	Koncentrācija
Kontrole	C0) Nesmidzināts, C1) etanola koncentrācija 2%, C2) etanola koncentrācija 4%
<i>Spirulina</i> sp. (etanola koncentrācija 20% v/v)	C1) 10%
<i>Dunaliella</i> sp. (etanola koncentrācija 20% v/v)	C2) 20%
<i>Chlorella</i> sp. (etanola koncentrācija 20% v/v)	
<i>Tetrademus</i> sp. (etanola koncentrācija 50% v/v)	C1) 4%
<i>Graesiella</i> sp. (etanola koncentrācija 50% v/v)	C2) 8%

Sēja – 2023. gada 13. jūnijā. Podos augiem nodrošināta slāpekļa deva, aks līdzvērtīga uz ha 160 kg, un S – 25 kg ha⁻¹, papildus augšanas sākumā laistīts ar zaļo kristalonu (NPK 18-18-18). Veģetācijas laikā kaitēkļu ierobežošanai izmantots insekticīda smidzinājums.

3. jūlijā pirmais smidzinājums ar aļģēm, 20. jūlijā – stublāja pagarināšanās laikā – mēslošana ar N + S, vienam podam 0.5 L šķiduma, kur 15 g NPK 18:18:18 + 3 g sēra.

Veiktās uzskaites un analīzes:

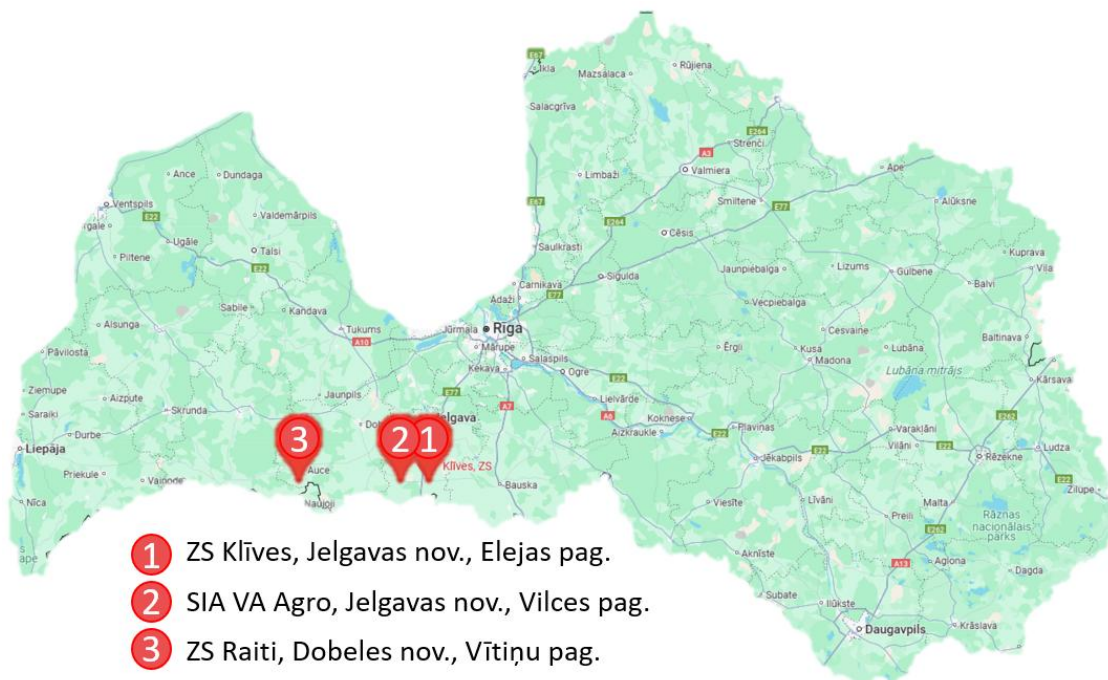
Augi no poda novākti un likti žāvēties līdz paraugkūļu apstrādei. No paraugkūļas noteikta sēkļu un salmu masa (g), **viena auga sēkļu masa** (g), izteikts **ražas indekss** (sēkļu masas īpatsvars kopējā biomasā), skaitīts **sānzaru skaits** (zaru skaits bez galvenā dzinuma) (gab.), **pāksteņu skaits augam** (gab.), **sēkļu skaits pākstenī** (gab.). No iegūtās sēkļu masas veiktas kvalitātes sēkļu kvalitātes analīzes nosakot LBTU LPTF Graudu un sēkļu mācību zinātniskajā laboratorijā: **proteīna saturu** (%) un **eļļas saturu** (%) ar ekspresmetodi, lietojot iekārtu Infratec Nova, un ar standartmetodi aprēķināta **1000 sēkļu masa** (g).

Datu matemātiskā apstrāde veikta izmantojot programmu Rstudio, lietojot vienfaktora dispersijas analīzi, lai novērtētu atšķirību būtiskumu starp visiem iekļautajiem variantiem, un atsevišķos gadījumos veikta divfaktoru dispersijas analīze, lai novērtētu mikroaļģu vai preparāta koncentrācijas ietekmi.

Ziemas rapša izmēģinājums 2024. gada vasarā:

Izmēģinājuma vietu raksturojums:

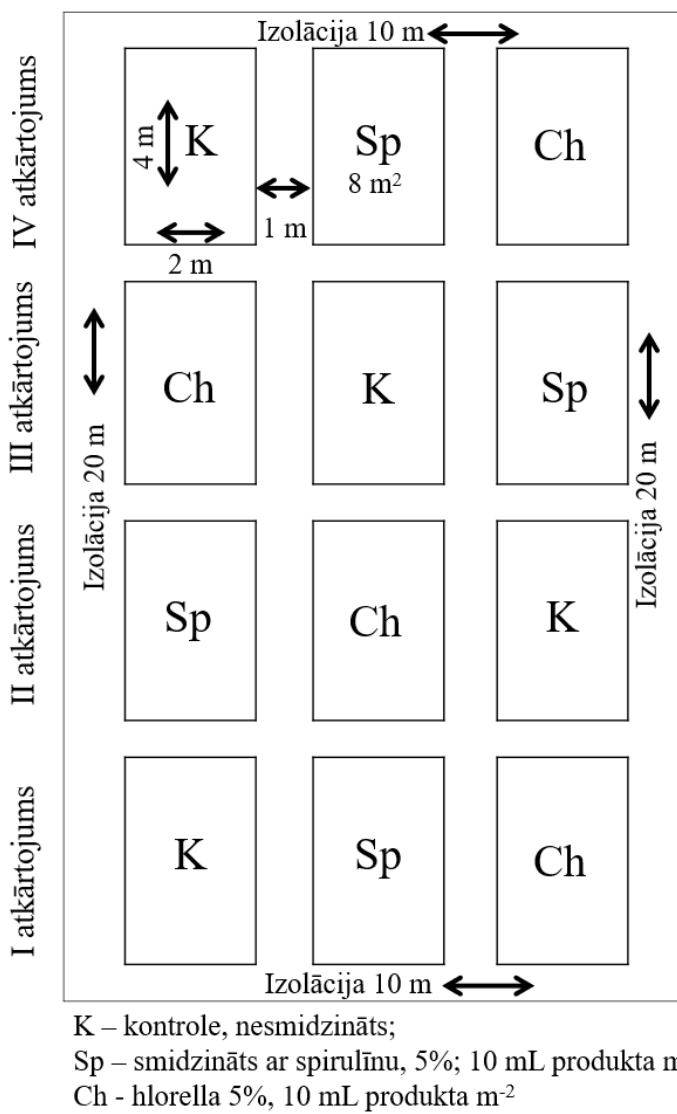
2024. gadā – izmēģinājums iekārtots ražojošā laukā pavasarī SIA VA Agro (turpmāk - VA Agro) un zemnieku saimniecībā “Klīves” (turpmāk – Klīves). Abas saimniecības atrodas Zemgalē, Jelgavas novadā. ZS “Klīves” Elejas pagastā un VA Agro – Vilces pagastā (skat. 8.3.1.1. att.).



- 1 ZS Klīves, Jelgavas nov., Elejas pag.
- 2 SIA VA Agro, Jelgavas nov., Vilces pag.
- 3 ZS Raiti, Dobeles nov., Vītiņu pag.

8.3.1.1. attēls. Lauka izmēģinājumu atrašanās vietas 2024. gada pavasarī un rudenī.

Katrā ierīkoti divi aļģu varianti (*Spirulina* un *Chlorella*) un kontrole (kopā trīs varianti). Katrs variants iekārtots četros atkārtojumos, kur viena lauciņa izmērs bija 8 m^2 . Varianti iekārtoti sistēmātiski, lai viens un tas pats variants neatrastos divos blakus esošos lauciņos. Kopējā viena izmēģinājuma platība 200 m^2 ($10 \times 20 \text{ m}$). Izmēģinājuma iekārtojums attēlots 8.3.1.2. att. Smidzinājums ar mikroaļģēm abās izmēģinājuma vietās veikts ziedēšanas sākumā (62. AE), ZS “Klīves” 8. maijā, un SIA “VA Agro” 11. maijā. Lietotās mikroaļģes bija *Spirulina* un *Chlorella*, pievienojot 5% preparāta smidzinājumam uz vienu platības vienību (5% aļģu šķīdums, 10 mL m^{-2} , kopā nodrošinot 200 mL darba šķīduma uz 1 m^2).



8.3.1.2. attēls. Lauka izmēģinājumu iekārtojuma plāns.

Izmēģinājums **ZS “Klīves” 2023./2024. gadā** iekārtots laukā ar smilšmāla granulometrisku sastāvu, optimālu pH 7.2, K₂O vidējs (160 mg kg⁻¹) ; P₂O₅ – augsts, (147 mg kg⁻¹), ph. 7.2 Organiskās vielas saturs optimāls - 3.0%. Izmantotā augsnes apstrāde – minimālā. Lauka izmantotie agrotehniskie pasākumi apkopoti 8.3.1.2. tabulā.

8.3.1.2. tabula

ZS “Klīves” ražojošajā laukā izmantotā agrotehnika 2023./2024. gadā

Darbība	Materiāli	Lietošanas laiks
Sēja	‘Mercedes’, 4.5 kg ha ⁻¹	22.08.2023.
Pamatmēslojums	NPK 10:13:25 125 kg ha ⁻¹ kopā ar sēju	22.08.2023.
Nezāļu ierobežošana	Belkar (metil-halauksifēns 10 g L ⁻¹ , piklorams 48 g L ⁻¹) 0.25 L ha ⁻¹ + Metazamix (metazahlor 500 g L ⁻¹ ; aminopirālīds 5.3 g L ⁻¹ , piklorams 13.3 g L ⁻¹) 0.5 L ha ⁻¹	15.09.2023.
	Jenot plus 050 EC (Etil-kvizalofops-P, 50 g L ⁻¹) 0.9 L ha ⁻¹ (pret sārņaugiem)	28.09.2023.
Papildmēslojums	NH ₄ NO ₃ 150 kg ha ⁻¹	27.03.2024.
	NH ₄ NO ₃ +7 S 120 kg ha ⁻¹	12.04.2024.
	Zoom 1 L ha ⁻¹ +Augu bors 0.5 L ha ⁻¹	15.05.2024.
Kaitēkļu ierobežošana	Nexide CS (gamma-cihalotrans - 60 g L ⁻¹) 0.05 L ha ⁻¹ + Carnadine Extra (acetamiprīds, 200 g L ⁻¹) 0.25 L ha ⁻¹	19.04.2024.
Slimību ierobežošana	Erasmus (Tebukonazols 250 g L ⁻¹) 1 L ha ⁻¹	

Pamatmēslojumā sējas laikā augiem dots mēslojums, kas nodrošināja 12.5 kg ha⁻¹ slāpekļa, 16.3 kg ha⁻¹ fosforā, 31.3 kg ha⁻¹. Rudenī veikta nezāļu ierobežošana. Pavasarī papildmēslojumā divas reizes lietots amonija nitrāts, kopā nodrošinot 90.2 kg ha⁻¹ un otrajā papildmēslojumā nodrošinot arī sēru 8.4 kg ha⁻¹. Pavasara sezonā veikta arī kaitēkļu un slimību ierobežošana.

Izmēģinājuma laukā **SIA VA Agro 2023./2024. gadā** lietotā agrotehnika apkopota 8.3.1.3. tabulā.

8.3.1.3. tabula

SIA “VA Agro” ražojošajā laukā izmantotā agrotehnika 2023./2024. gadā

Darbība	Materiāli	Lietošanas laiks
Sēja	‘Lisander’, 5 kg ha ⁻¹	20.08.2023.

Nezāļu ierobežošana	Jenot Plus 050 EC (Etil-kvizalofops-P, 50 g L ⁻¹) 1.25 L ha ⁻¹)	09.08.2023.
Papildmēslojums	NPK 15-15-15 150 kg ha ⁻¹ ; NS 27-4 300 kg ha ⁻¹ ; AS 21-24 110 kg ha ⁻¹	26.03.2024. 08.04.2024. 02.05.2024.
Nezāļu ierobežošana	Cliochar (klopiralīds, 600 g L ⁻¹) 0.2 L ha ⁻¹ ; Jenot Plus 050 EC (Etil-kvizalofops-P, 50 g L ⁻¹) 1 L ha ⁻¹	12.04.2024.
Kaitēkļu ierobežošana	Ciperkil (cipermetrīns - 500 g L ⁻¹) 0.05 L ha ⁻¹ , Acetami 20 SG (Acetamiprīds 200 g kg ⁻¹) 0.2 kg ha ⁻¹ , Bors 1 L ha ⁻¹ + Ciperkil (cipermetrīns - 500 g L ⁻¹) 0.05 L ha ⁻¹ ,	12.04.2024., 04.05.2024.

Izmēģinājuma laukā bija smilšmāla granulometriskais sastāvs, citi augsni raksturojošie rādītāji nav zināmi, saimniecības rīcībā augsnes analīžu nav. Izmantotā augsnes apstrāde – minimālā, kurai seko tradicionālās sēja ar sējmašīnu. Lauka izmantotie agrotehniskie pasākumi apkopoti Mēslojums sējas laikā augiem netika nodrošināts. Barības elementus augi saņēma pavasarī papildmēslojumā, atsākoties veģetācijai lietots kompleksais mēslojums nodrošinot slāpekli, fosforu un kāliju katru mēslojums 23 kg ha⁻¹. stublāja pagarināšanās laikā lietots slāpekli un sēru saturošs mēslošanas līdzeklis, nodrošinot 81 kg ha⁻¹ slāpekļa un 12 kg ha⁻¹ sēra. Ziedkopu veidošanās laikā papildus nodrošināti 23 kg ha⁻¹ slāpekļa un 26 kg ha⁻¹ sēra. Kopējā slāpekļa norma bija 127 kg ha⁻¹ slāpekļa un 38 kg ha⁻¹ sēra. Sezonā veikta nezāļu un kaitēkļu ierobežošana.

Veiktās uzskaites un analīzes:

Raža iegūta ar netiešo uzskaites metodi, no paraugkūļiem un pārrēķinot tonnās uz 1 ha. Paraugkūļu ievākšanas laiks: ZS “Klīves” – 8. jūlijā, SIA “VA Agro” – 9. jūlijā (skat. 8.3.1.3. att.). Katrā izmēģinājumu lauciņā ņemti divi paraugkūļi 0.5 m² platībā. Paraugkūļi pēc to ievākšanas atstāti žāvēties un tad izkulti. Novērtā paraugkūļa masa (g) un izkulto sēklu masa (g), kas izteikta kā **vidējā raža** (t ha⁻¹) un **viena auga sēklu masa** (g) (skaitīti augi ievāktajā paraugkūlī). Sēklu masa paraugkūļa kopējā biomasā izteikta kā **ražas indekss**. Sēklām, kuras ievāktas paraugkūļos, veiktas kvalitātes analīzes LBTU LPTF Graudu un sēklu mācību zinātniskajā laboratorijā– **eļļas saturs** (%), **proteīna saturs** saunā (%) un **tīlpummasa** (kg hL⁻¹) ar Infratec Nova lietojot ekspresmetodes,. Ar standartmetodi aprēķināta **1000 sēklu masa** (g).



8.3.1.3. attēls. Paraugkūļi ZS “Klīves” (pa kreisi) un SIA “VA Agro” (pa labi).

Datu matemātiskā apstrāde veikta izmantojot programmu Rstudio, lietojot vienfaktora dispersijas analīzi, lai novērtētu atšķirību būtiskumu starp salīdzināmajiem variantiem katrā no izmēģinājuma vietām.

Ziemas rapša izmēģinājums 2024. gada rudenī un 2025. gada pavasarī:

Izmēģinājuma lauku raksturojums:

Lauka izmēģinājumi 2024. gada rudenī iekārtoti četros ražojošos laukos Jelgavas un Dobeles novados – viens SIA “VA Agro”, viens zemnieku saimniecībā “Klīves” un divos dažādos laukos zemnieku saimniecībā “Raiti” (skat. 8.3.1.1. att.) atbilstoši lauka izmēģinājuma shēmai (8.3.1.2. att.), lai pārbaudītu mikroaļģu (*Spirulina* 5% un *Chlorella* 5%) ekstraktu iedarbību uz augiem gatavojoties ziemošanai un uz augu pārziemošanu. Mikroaļģu lietotā deva izmēģinājumā - 5% gatavā preparāta kopā ar ūdeni.

Smidzinājumi ar eksperimentā iekļautajiem preparātiem rudenī veikti divas reizes lapu rozetes viedošanās fāzē (8.3.1.4. att.), smidzinājumu veikšanas laiks un augu attīstība apkopota 8.3.1.4. tabulā.

8.3.1.4. tabula

Smidzinājumu veikšanas laiks izmēģinājuma vietās un ziemas rapša attīstības etapi

Lauks	23.09.2024.	04.10.2024.
ZS Klīves	24. AE	26. AE
SIA VA Agro	24. AE	26. AE
ZS Raiti Nr. 1 (‘Epure’)	25. AE	26. AE
ZS Raiti Nr. 2 (‘Lauros’)	25. AE	26. AE



8.3.1.4. attēls. Smidzinājumu veikšana ZS “Klīves” 23.09.2024. un ZS “Raiti” 04.10.2024.

Izmēģinājums zemnieku saimniecībā “Klīves” 2024./2025. gadā iekārtots laukā ar smilšmāla granulometrisku sastāvu, optimālu pH 7.2, K₂O vidējs (173 mg kg⁻¹); P₂O₅ – vidējs (130 mg kg⁻¹). Organiskās vielas saturs optimāls - 3.0%. Izmantotā augsnes apstrāde – minimālā. Lauka izmantotie agrotehniskie pasākumi apkopoti 8.3.1.5. tabulā.

8.3.1.5. tabula

Ražojošā lauka izmēģinājumā izmantotā agrotehnika ZS “Klīves” 2024. gada rudenī

Darbība	Materiāli	Lietošanas laiks
Sēja	‘Sequel’, 4.5 kg ha ⁻¹	15.08.2024.
Pamatmēslojums	NPK 14:14:21 80 kg ha ⁻¹ (kopā ar sēju)	15.08.2024.
Nezāļu ierobežošana	Belkar (metil-halauksifēns 10 g L ⁻¹ , piklorams 48 g L ⁻¹) 0.25 L ha ⁻¹ + Metazamix (metazahlors - 500 g L ⁻¹ ; aminopiralīds – 5.3 g L ⁻¹ , piklorams – 13.3 g L ⁻¹) 0.6 L ha ⁻¹	12.09.2024.
	Jenot plus 050 EC (Etil-kvizalofops-P, 50 g L ⁻¹) 1.9 L ha ⁻¹	26.09.2024.

Ziemas rapsim pamatmēslojumā nodrošināti 11.2 kg ha⁻¹ slāpekļa, 11.2 kg ha⁻¹ fosfora, 16.8 kg ha⁻¹ kālija. Rudenī veikta nezāļu ierobežošana divas reizes.

SIA “VA Agro” 2024./2025. gadā izmēģinājums iekārtots laukā ar mālsmilts granulometrisku sastāvu, augsnes agroķīmiskās analīzes šim laukam nav veiktas. Izmantotā augsnes apstrāde – minimālā. Lauka izmantotie agrotehniskie pasākumi apkopoti 8.3.1.6. tabulā

8.3.1.6. tabula

Ražojošā lauka izmēģinājumā izmantotā agrotehnika SIA “VA Agro” 2024. gada rudenī

Darbība	Materiāli	Lietošanas laiks
Sēja	‘PT302’, 3 kg ha ⁻¹	16.08.2024.
Gliemežu ierobežošana	Iron Max Pro, 5 kg ha ⁻¹	23.08.2024.
Nezāļu ierobežošaja	Jenot plus 050 EC (Etil-kvizalofops-P, 50 g L ⁻¹) deva 1 L ha ⁻¹	23.08.2024.
Nezāļu ierobežošana	Belkar (metil-halauksifēns 10 g L ⁻¹ , piklorams 48 g L ⁻¹) 0.25 L ha ⁻¹ + Metazamix (metazahlors - 500 g L ⁻¹ ; aminopiralīds – 5.3 g L ⁻¹ , piklorams – 13.3 g L ⁻¹) 0.7 L ha ⁻¹	16.09.2024.
Papildmēslojums	NPK 10-13-25 250 kg ha ⁻¹	25.03.2024.
Kaitēkļu ierobežošana un ārpussakņumēslojums	Delmetros 100 SC (deltametrīns - 100 g L ⁻¹) deva 0.05 L ha ⁻¹ + Combitop 5 kg ha ⁻¹	31.03.2024.

Rudenī ar sēju mēslojums rapsim netika nodrošināts. Rudenī veikta nezāļu ierobežošana. Augu augšanas regulatora lietojums nav norādīts.

Zemnieku saimniecībā “**Raiti**” 2024./2025. gadā izmēģinājums Nr. 1 iekārtots laukā ar mālsmilts granulometriskos sastāvu, normālu augsnes reakciju pH 7.0, K₂O daudzums zems (124 mg kg⁻¹) ; P₂O₅ – augsts, (226 mg kg⁻¹). Organiskās vielas saturs optimāls – paaugstināts 11.7%. Izmantotā augsnes apstrāde – tradicionālā, aršana izmantotie agrotehniskie pasākumi apkopoti 8.3.1.7. tabulā.

8.3.1.7. tabula

ZS “Raiti” 2024. gada rudenī izmēģinājuma vietā Nr. 1 lietotā agrotehnika

Darbība	Materiāli	Lietošanas laiks
Sēja	‘Epure’, 4 kg ha ⁻¹	21.08.2024
Pamatmēslojums	200 kg NPK 10-26-26+1.5S	22.08.2024
Nezāļu ierobežošana	Belkar (metil-halauksifēns 10 g L ⁻¹ , piklorams 48 g L ⁻¹) 0.25 L ha ⁻¹ + Metazamix (metazahlors - 500 g L ⁻¹ ; aminopiralīds – 5.3 g L ⁻¹ , piklorams – 13.3 g L ⁻¹) 0.7 L ha ⁻¹	11.09.2024
Augu augšanas regulators	Caryx (metkonazols 30 g L ⁻¹ , mepikvāta hlorīds 210 g L ⁻¹) 0.6 L ha ⁻¹ + Leopards (etil-kvizalofops-P - 50 g L ⁻¹) 1.0 L ha ⁻¹	17.09.2024

ZS Raiti 2024./2025. gadā izmēģinājums Nr. 2 iekārtots laukā ar mālsmilts granulometrisku sastāvu, normālu augsnes reakciju pH 6.9, K₂O daudzums zems (117 mg kg⁻¹); P₂O₅ – augsts, (236 mg kg⁻¹). Organiskās vielas saturs optimāls – paaugstināts 8.9%. Izmantotā augsnes apstrāde – tradicionālā, aršana. Lauka izmantotie agrotehniskie pasākumi apkopoti 8.3.1.8. tabulā.

8.3.1.8. tabula

ZS “Raiti” 2024. gada rudenī izmēģinājuma vietā Nr. 2 lietotā agrotehnika

Darbība	Materiāli	Lietošanas laiks
Sēja	‘LAUROS’ KWS , 1.9 kg ha ⁻¹	21.08.2024
Pamatmēslojums	200 kg ha ⁻¹ NPK 10-26-26+1.5S	22.08.2024
Nezāļu ierobežošana	Belkar (metil-halauksifēns 10 g L ⁻¹ , piklorams 48 g L ⁻¹) 0.25 L ha ⁻¹ + Metazamix (metazahlors - 500 g L ⁻¹ ; aminopiralīds – 5.3 g L ⁻¹ , piklorams – 13.3 g L ⁻¹) 0.7 L ha ⁻¹	11.09.2024
Augu augšanas regulators	Caryx (metkonazols 30 g L ⁻¹ , mepikvāta hlorīds 210 g L ⁻¹) 0.6 L ha ⁻¹ +Leopards (etil-kvizalofops-P - 50 g L ⁻¹) 1.0 L ha ⁻¹	17.09.2024

Augiem abos izmēģinājuma laukos ZS “Raiti” pamatmēslojumā nodrošināti 20 kg ha⁻¹ slāpekļa, 52 kg K₂O un P₂O₅, arī 3 kg ha⁻¹ S.. Ražojošajā laukā veikta nezāļu ierobežošana un auga garuma regulēšana.

Veiktās uzskaites un analīzes:

Rudenī pirms ziemošanas ievākti augu paraugi no katra izmēģinājuma lauciņa 0.5 m² platībā (8.3.1.5. att.), nosakot augu zaļo masu un **sausnas masu** (g m⁻²), no tiem 10 augiem analizēta **augu attīstība un fitometriskie rādītāji** uz novembra sākumu.



8.3.1.5. attēls. Augu paraugu ievākšana ZS “Raiti” 09.11.2024.(pa kreisi) un augšanas punkta augstuma mērījumu veikšana (pa labi).

ZS “Klīves”, SIA “VA Agro” (8.11.24.) un. ZS “Raiti” (09.11.24.) pirms ziemošanas mērīts **lapu skaits** (gab.), **saknes kakla diametrs** (mm), **augšanas punkta augstums** (mm) (8.3.1.5. att.). No ievāktajiem augiem paraugos noteikts **šķīstošās sausas** un **kopējo fenolu saturs** augos pirms ziemošanas (8.3.1.6. att.). Cukuru (šķīstošās sausas) saturs ogās noteikts refraktometriski (°Brix), bet fenolu saturs noteikts ar Folin–Ciocalteu metodi. Stacionāri atzīmētās vietās katrā izmēģinājuma laukā 0.5 m² platībā skaitīts augu skaits rudenī un pavasarī (8.3.1.7. att.), lai procentuāli izteiktu pārziemojušos augus.



8.3.1.6. attēls. Šķīstošās sausas un kopējo fenolu satura noteikšana augu paraugos LBTU LPTF Augu fizioloģijas laboratorijā Strazdu ielā 1, Jelgavā 2024. gada novembrī.



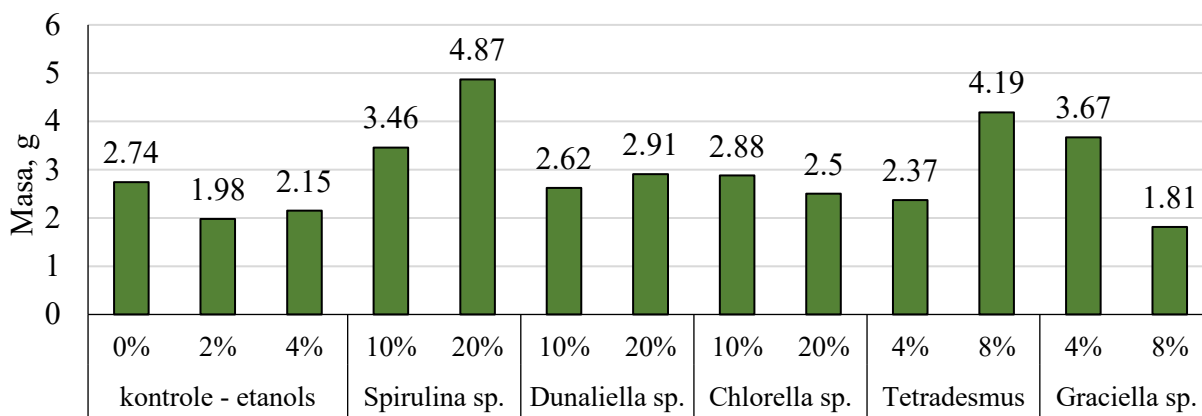
8.3.1.7. attēls. Pārziemojušo augu uzskaitē ZS “Raiti” un SIA “VA Agro” 03.04.2025.

Datu matemātiskā apstrāde veikta izmantojot programmu Rstudio, lietojot vienfaktora dispersijas analīzi, lai novērtētu atšķirību būtiskumu starp salīdzināmajiem variantiem katrā no izmēģinājuma vietām.

REZULTĀTI

Mikroaļģu lietojuma salīdzinājums vasaras rapsim 2023. gadā:

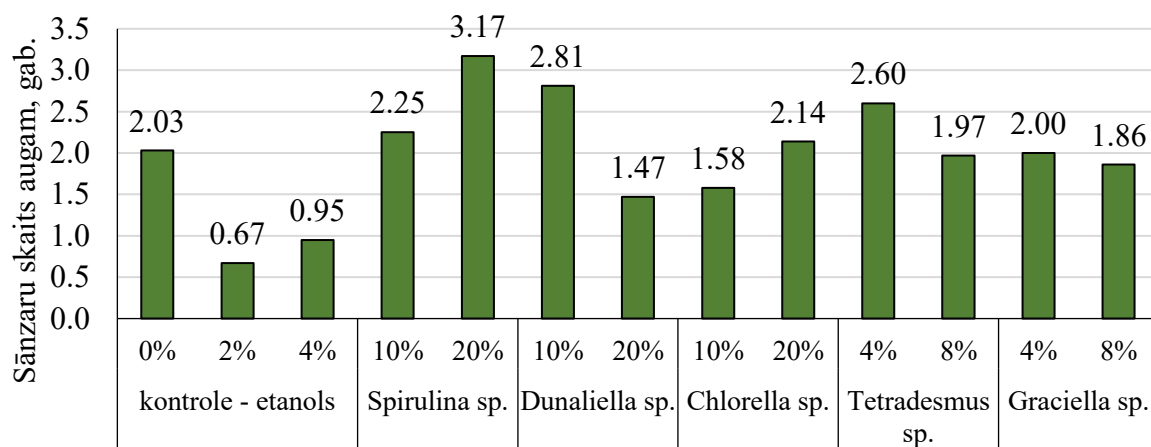
Vasaras rapša vidējā viena auga sēklu masa starp mikroaļģu lietojuma variantiem (skat. 8.3.1.8. att.) svārstījās no 1.81 g līdz pat 4.87 g, tomēr matemātiski būtiskas atšķirības nepierādījās ($p=0.158$). Augstākā sēklu masa no viena augs iegūta variantā kur lietotas *Spirulina* (4.17 g) un *Tetrademus* (3.36 g), pārējos variantos no viena auga iegūtā vidējā sēklu masa no mikroaļģu varianta bija no 2.35 – 2.75 g.



8.3.1.8. attēls. Vasaras rapša viena auga vidējā masa (g) atkarībā no mikroaļģu veida un koncentrācijas variantā ($p=0.158$).

Trīs no pieciem mikroaļģu variantiem, augstāka sēkļu masa no viena auga iegūta pie augstākas mikroaļģu koncentrācijas. Augstu sēkļu masu uzrādīja arī varianti *Tetradismus* 8% un *Graesiella* 4%.

Sānzu skaits augiem (8.3.1.9. att.) starp variantiem bija ļoti svārstīgs, tas būtiski atšķīrās gan starp salīdzinātajiem variantiem ($p>0.001$). Atsevišķi analizējot variantu iedarbību uz sānzu veidošanos, augstākais sānzu skaits bija variantā, kur lietota *Spirulina* (2.7 gab.) un virs diviem sānzariem bija izveidot variantos ar *Tetradismus* (2.26) un *Dunaliella*.

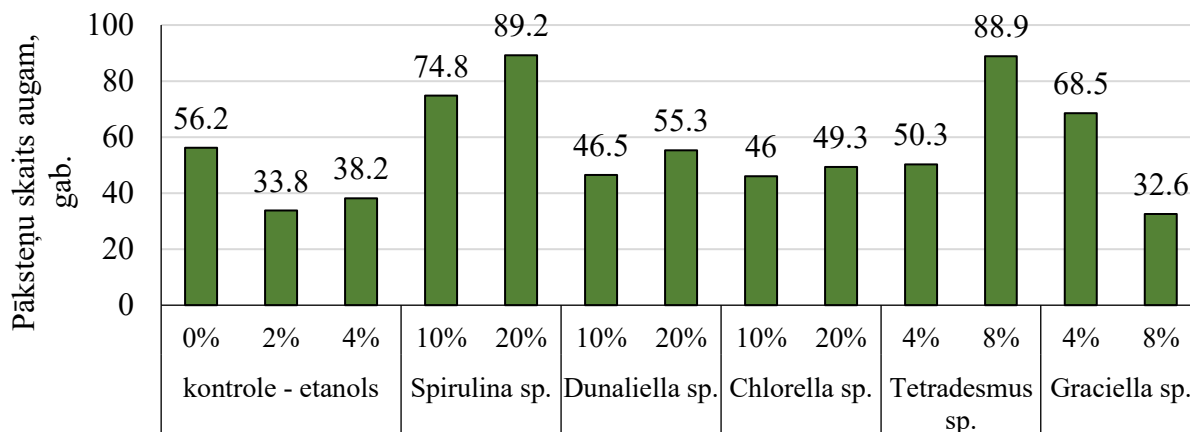


8.3.1.9. attēls. Vasaras rapša augu sānzu skaits (gab.) atkarībā no mikroaļģu veida un koncentrācijas variantā ($p<0.001$).

Zemākais sānzu skaits bija izveidojies kontroles variantā (vidēji 1.33), kas norāda uz augšanas veicinātāju pozitīvo iedarbību uz augu. Vairāk sānzu rapša augam nodrošina vairāk

ziedu un līdz ar to arī būtu iespējams iegūt vairāk sēklu – šāda cieša pozitīva sakarība pierādījies arī šajā izmēģinājumā ($r=0.605 > r_{0.05}=234$, $n=70$).

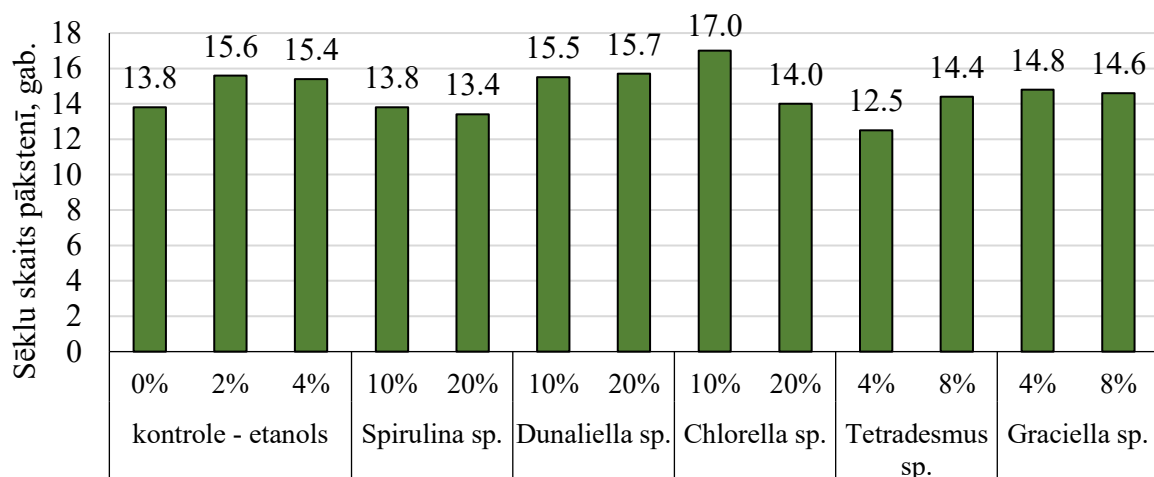
Pāksteņu skaits augam būtiski atšķīrās starp pētījuma variantiem (8.3.1.10. att.). Būtiski augstāks vidējais pāksteņu skaits uz augu starp mikroaļģu variantiem bija lietojot *Spirulina* (82.0 gab.) un *Tetrademus* (71.4 gab.), bet zemākais – kontroles variantā (44.6 gab.).



8.3.1.10. attēls. Vasaras rapša viena auga vidējais pāksteņu skaits (gab.) atkarībā no mikroaļģu veida un koncentrācijas variantā ($p=0.04$).

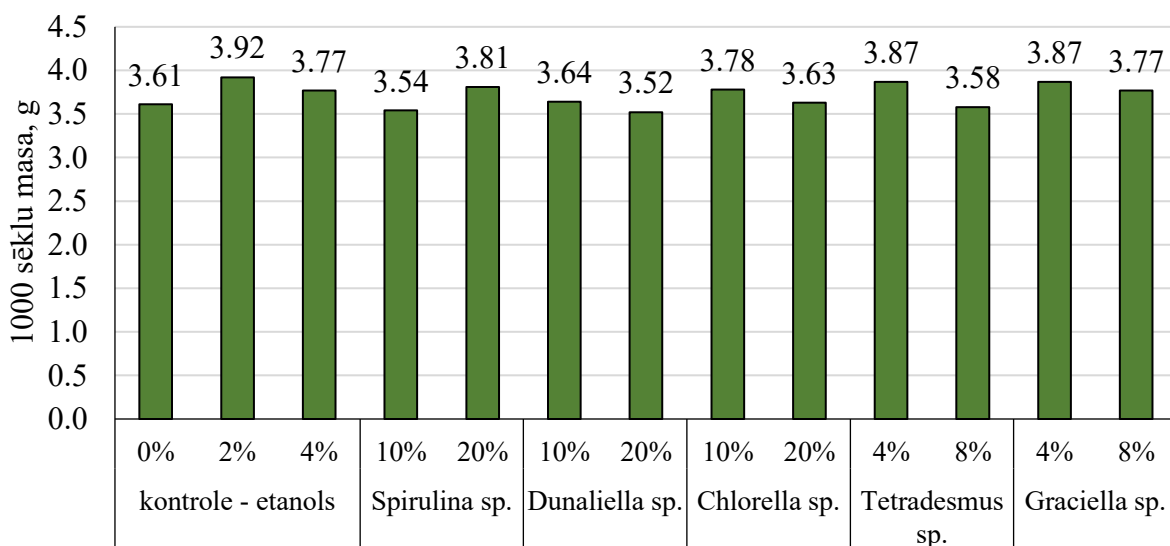
Lai arī veidot divfaktora dispersijas analīzi starp mikroaļģu variantiem un to koncentrācijām, būtiskas atšķirības nepierādījās ($p=0.46$), tomēr kontroles un zemākās koncentrācijas variantā pāksteņu skaits uz vienu augu vidēji par 4-5 pāksteņiem zemāks. Pāksteņu skaitam pastāvēja cieša pozitīva sakarība ar sēklu skaitu ($r=0.61 > r_{0.05}=234$, $n=70$), no kā var secināt, ka pielietojot mikroaļģu preparātus tika stimulēta sēklu veidošanās, kas nodrošināja iespēju veidoties vairāk pāksteņiem.

Vasaras rapša vidējais sēklu skaits pākstenī (8.3.1.11. att.) starp variantiem matemātiski būtiski neatšķīrās ($p=0.184$), un starp mikroaļģu un kontroles variantiem tas bija no 13.6 – 15.6 gab.



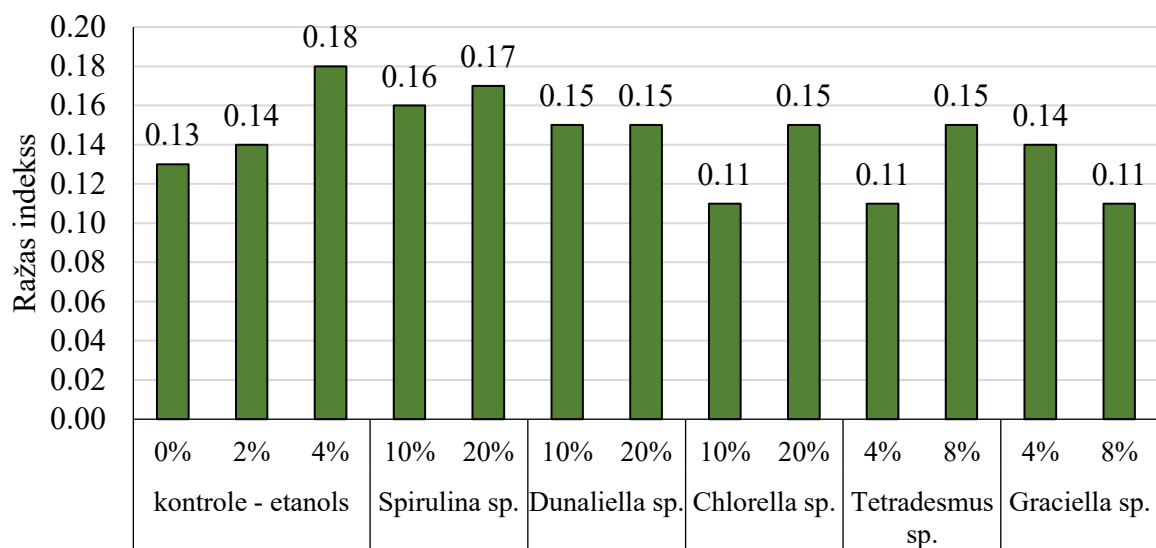
8.3.1.11. attēls. Vasaras rapša vidējais sēklu skaits pākstenī (gab.) atkarībā no mikroaļģu veida un koncentrācijas varianta ($p=0.184$).

Vidējā 1000 sēklu masa būtiski neatšķiras (8.3.1.12. att.) ne starp mikroaļģu veidiem, ne koncentrācijām ($p=0.93$). Visos variantos iegūtā 1000 sēklu masa bija zem 4 g.



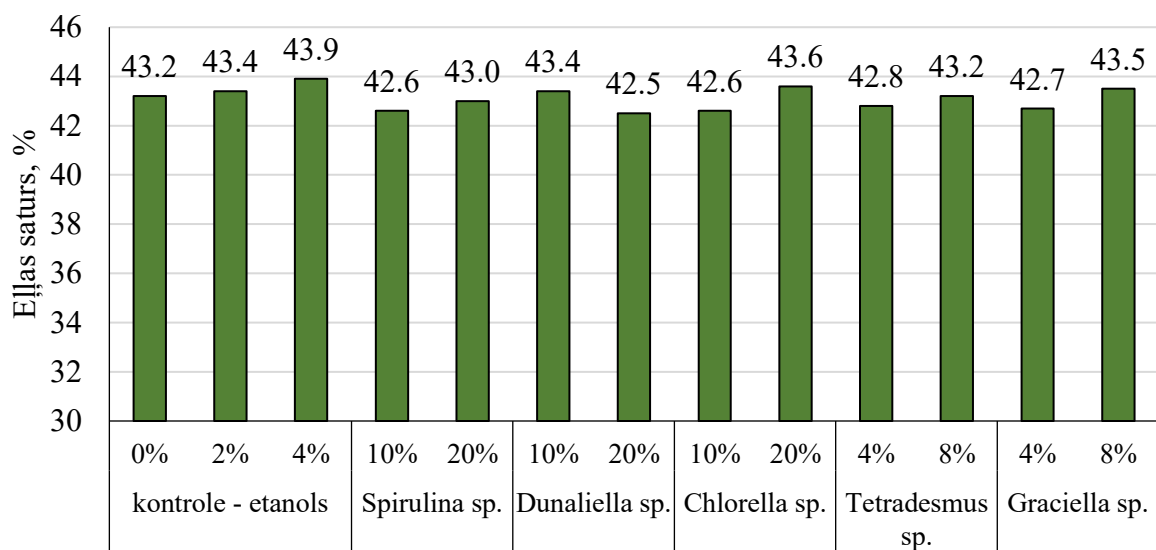
8.3.1.12. attēls. Vasaras rapša vidējā 1000 sēklu masa (g) atkarībā no mikroaļģu veida un koncentrācijas varianta ($p=0.93$).

Ražas indekss, kas izsaka sēklu masas proporciju kopējā biomasā, būtiski atšķiras starp variantiem ($p=0.0498$) (8.3.1.13. att.), kur augstākais sēklu īpastavs bija *Spirulina* variantā (vidēji – 0.163), bet zemākais Graesiella vaiantā (vidēji – 0.123). Vērtējot ražas indeksa lielumu, jāsecina, ka tas ir zems. Rapša biomasā sēklas visbiežāk veido apmēram 1/3 no kopējās masas.



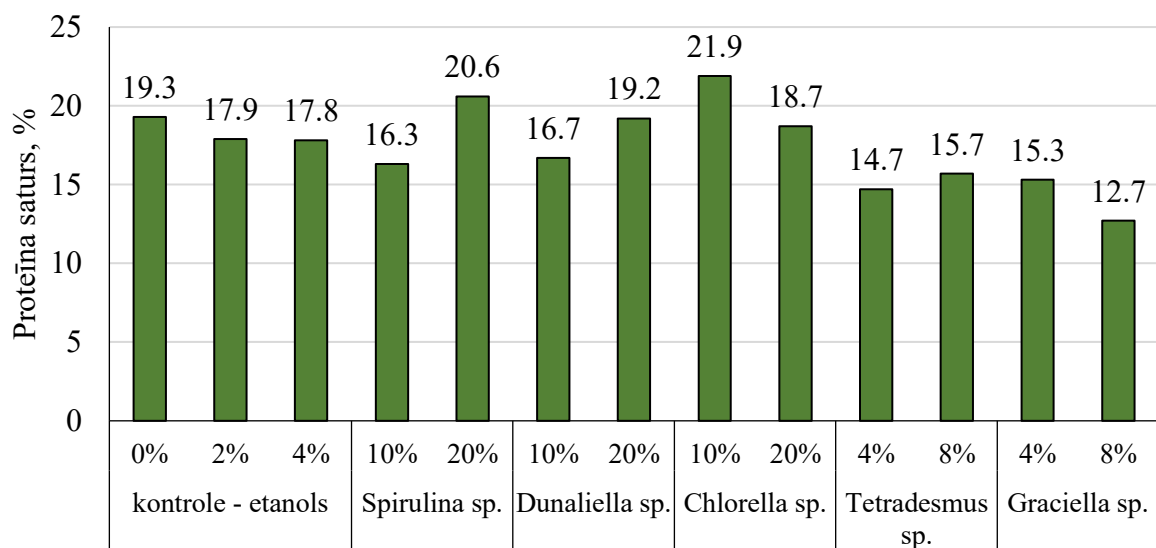
8.3.1.13. attēls. Vasaras rapša ražas indekss atkarībā no mikroaļģu veida un koncentrācijas variantā ($p=0.0498$).

Eļļas saturs vasaras rapša sēklās (8.3.1.14. att.) būtiski neatšķiras starp pētītajiem variantiem ($p=0.368$), visos variantos pārsniedzot 42%. Zemākais eļļas saturs bija variantā ar *Spirulina*, kurš ir izcēlies visos pārējos pētītajos rādītājos uz auga produktivitāti (sēklu masu, sānzaru skaitu, pāksteņu skaitu).



8.3.1.14. attēls. Vasaras rapša sēklu eļļas saturs (%) no mikroaļģu veida un koncentrācijas variantā ($p=0.368$).

Proteīna saturs vasaras rapša sēklu sausnā (8.3.1.15. att.) matemātiski būtiski neatšķiras starp variantiem, tomēr ievērojami zemāks tas bija variantā ar *Tetradismus* un *Graesiella*.



8.3.1.15. attēls. Vasaras rapša sēklu proteīna saturs (%) no mikroaļģu veida un koncentrācijas varianta (p=0.31).

Graesiella variantā vidējais proteīna saturs bija vien 14.0% un *Tetradismus* – 15.3%, bet augstākais bija ar *Chlorella* (20.3%) un *Spirulina* (18.4%) un kontrolē (18.5%).

Mikroaļģu ietekme uz ziemas rapša ražu un sēklu kvalitāti 2024. gadā:

Zemnieku saimniecība “Klīves”.

Ziemas rapša raža (skat. 8.3.1.9. tabula) 2024. gadā nebija būtiski atšķirīga starp salīdzinātajiem mikroaļģu variantiem ar vienreizēju smidzinājumu lauka apstākļos, lietojot to ziedēšanas sākumā. Zemākā raža aprēķināta variantā ar *Spirulina* (2.42 t ha^{-1}), bet augstākā, lietojot *Chlorella* (2.53 t ha^{-1}).

8.3.1.9. tabula

Ziemas rapša raža (t ha^{-1}), ražība uz vienu augu (g) un ražas indekss 2024. gadā izmēģinājuma vietā “Klīves”

Variants	Raža, t ha^{-1}	Viena auga sēklu masa, g	Ražas indekss
Kontrolē	2.47	6.04	0.259
<i>Spirulina</i> sp.	2.42	4.93	0.261
<i>Chlorella</i> sp	2.53	5.62	0.261
p-vērtība	0.667	0.157	0.965

Viena auga sēklu masa būtiski neatšķīrās starp variantiem (8.3.1.9. tab.), tomēr augstākā tā tika iegūta kontroles variantā, kur lietota tikai saimniecības ziemas rapša audzēšanas tehnoloģijā (8.3.1.2. tab.). Ražas indekss (9. tab.) ziemas rapsim bija vidēji 0.26, kas nav augsts, bet vienlīdzīgs starp visiem variantiem.

Vērtētie ražas kvalitātes rādītāji (skat. 8.3.1.10. tab.) (eļļas saturs, proteīna saturs un 1000 sēklu masa) būtiski neatšķīrās starp variantiem, tomēr tilpummasai aprēķinātas matemātiski būtiskas atšķirības ar zemāko tilpummasu kontroles variantā. Tomēr tā sastāda vien 0.4 g hL⁻¹ atšķirības ar augstāko tilpummasu, kas nav agronomiski nozīmīgas.

8.3.1.10. tabula

Ziemas rapša raža sēklu kvalitātes rādītāji 2024. gadā izmēģinājuma vietā “Klīves”

Varianti	Eļļas saturs, %	Proteīna saturs, %	Tilpummasa, kg hL ⁻¹	1000 sēklu masa, g
Kontrole	48.3	16.7	66.5	3.56
<i>Spirulina</i> sp.	48.4	16.6	66.7	3.51
<i>Chlorella</i> sp	48.2	16.9	66.9	3.47
p-vērtība	0.105	0.357	0.016	0.571

Izmēģinājumā ZS “Klīves” iegūts augsts eļļas saturs sēklās, kas bija virs 48%, bet pašas rapša sēklas bija salīdzinoši mazas, nesasniedzot 4 g.

SIA “VA Agro”

Ziemas rapša raža (skat. 8.3.1.11. tabula) 2024. gadā nebija būtiski atšķirīga starp salīdzinātajiem mikroaļģu variantiem (p=0.181) ar vienreizēju smidzinājumu lauka apstākļos, lietojot to ziedēšanas sākumā. Zemākā raža aprēķināta variantā ar *Spirulina* (2.43 t ha⁻¹), bet augstākā, lietojot *Chlorella* (3.05 t ha⁻¹). Rezultātu tendence līdzīga kā ZS “Klīves”. Lai novērtētu mikroaļģu efektu ražojošā laukā, šādu izmēģinājumu būtu jāturpina ar dažādiem lietojuma laikiem un devām.

8.3.1.11. tabula

**Ziemas rapša raža (t ha⁻¹), ražība uz vienu augu (g) un ražas indekss
2024. gadā saimniecībā SIA “VA Agro”**

Variants	Raža, t ha ⁻¹	Viena auga sēklu masa, g	Ražas indekss
Kontrole	2.86	6.21	0.235

<i>Spirulina</i> sp.	2.43	5.12	0.237
<i>Chlorella</i> sp	3.05	7.25	0.238
p-vērtība	0.181	0.273	0.956

Viena auga sēklu masa būtiski neatšķīrās ($p=0.273$) starp variantiem (8.3.1.11. tab.), tomēr augstākā tā tika iegūta *Chlorella* varianta (7.25 g), kam sekoja kontroles variants, kur lietota tikai saimniecības ziemas rapša audzēšanas tehnoloģijā (8.3.1.3. tab.). Ražas indekss (8.3.1.11. tab.) ziemas rapšim bija vidēji 0.24, kas nav augsts, bet bija vienlīdzīgs starp visiem variantiem.

Vērtētie ražas kvalitātes rādītāji (skat. 8.3.1.12. tab.) (eļļas saturs, proteīna saturs, tilpummasa, 1000 sēklu masa) neatšķīrās starp pētītajiem variantiem.

8.3.1.12. tabula

Ziemas rapša raža sēklu kvalitātes rādītāji 2024. gadā izmēģinājuma vietā “VA Agro”

Varianti	Eļļas saturs, %	Proteīna saturs, %	Tilpummasa, g hL ⁻¹	1000 sēklu masa, g
Kontrole	45.7	18.9	67.1	4.55
<i>Spirulina</i> sp.	45.7	19.2	67	4.57
<i>Chlorella</i> sp	46.8	18.2	67.2.	4.32
p-vērtība	0.154	0.22	0.59	0.393

Eļļas saturs un proteīna saturs starp variantiem atšķīrās viena procenta robežās. Augstākais eļļas saturs bija *Chlorella* variantā, kur iegūts zemākais proteīna saturs, bet pretēji – *Spirulina* sariantā.

Mikroaļģu lietojuma rudenī ietekme uz ziemas rapša augu stāvokli pirms ziemošanas un pārziemošanu:

Rudens periodā svarīgi novērtēt rapša augu sagatavošanos ziemai. Augi nedrīkst būt pārauguši, kā arī nedrīkst būt sasnieguši parāk zemu attīstības etapu, kas var būt par šķērsli veiksmīgai pārziemošanai. Ja augi aug un attīstās strauji, tad augu augšanu augumā parasti bremsē ar augšanas regulatoriem, savukārt, ja augšana ir aizkavēta, tad to var stimulēt ar augšanas veicinātājiem.

Izmēģinājuma vietā **ZS “Klīves”** ziemas rapša sēja veikta optimālā termiņā (15.08.2024.), rudenī augšanas regulators netika lietots. Pēc diviem mikroaļģu smidzinājumiem (rozetē

attīstījušās 3-5 un 5-7 lapas) rapša vērtēto rādītāju (lapu skaits, saknes kakla diametrs, augšanas punkta augstums) vērtības pirms ziemošanas nebija būtiski atšķirīgas (8.3.1.13. tab.).

8.3.1.13. tabula

Ziemas rapša augu attīstības rādītāji un augu skaits izmēģinājumā 2024. gada rudenī izmēģinājuma vietā ZS “Klīves”

Variants	Lapu skaits augam, gab.	Saknes kakla diametrs, mm	Augšanas punkta augstums, mm	Augu skaits, gab. m ⁻²
Kontrole	4.3	7.2	17.1	51.0
<i>Spirulina</i> sp.	4.5	7.6	15.1	54.5
<i>Chlorella</i> sp	4.6	7.4	15.6	59.5
p-vērtība	0.315	0.854	0.483	0.568
Vidēji	4.5	7.4	15.9	55.0

Novērots, ka augstākais augšanas punkta augstums bija kontroles variantā (17.1 mm), salīdzinot ar *Spirulina* un *Chlorella* variantiem (atbilstoši 15.1 un 15.6 mm). Augstāks lapu skaits augu vērtēšanas brīdī bija *Spirulina* un *Chlorella* variantos, tāpat kā saknes kakla diametrs un augu skaits (8.3.1.13. tab.).

Augstāka sausnas masa uz kvadrātmetru bija *Spirulina* un *Chlorella* variantos (8.3.1.14. tab.), atšķirības starpp kontroles variantu un *Spirulina* sasniedza 32.3 g, matemātiski būtiskas atšķirības neapstiprinājās. Augstāk šķīstošās sausnas daudzums (Brix) bija kontroles variantā, kur augos bija arī augstākais kopējo fenolu daudzums, salīdzinot ar mikroaļģu smidzinātajiem variantiem.

8.3.1.14. tabula

Ziemas rapša augu sausnas masa (g m⁻²), Brix indekss un fenolu daudzums (mg GAE uz g sausnas) 2024. gada rudenī izmēģinājuma vietā ZS “Klīves”

Variants	Sausnas masa, g m ⁻²	Šķīstošā sausna, Brix	Fenolu daudzums, mg GAE uz g sausnas
Kontrole	89.9	12.5	55.7
<i>Spirulina</i> sp.	122.8	12.2	49.3
<i>Chlorella</i> sp	97.6	11.6	52.0
p-vērtība	0.5405	0.156	0.0553
Vidēji	103.4	12.1	52.4

Starp pārziemojušo augu īpatsvaru būtiskas atšķirības starp variantiem nebija (0.615), kur augstākais pārziemojušo augu īpatsvars bija *Chlorella* variantā (99.2%), bet zemākais *Spirulina* (92.7%).

Izmēģinājuma vietā SIA “VA Agro” ziemas rapša sēja veikta optimālā termiņā (16.08.2024.), rudenī tika lietots viens augšanas regulators. Pēc diviem mikroaļģu smidzinājumiem (rozetē attīstījušās 3-5 un 5-7 lapas) rapša vērtēto rādītāju (lapu skaits, saknes kakla diametrs, augšanas punkta augstums) vērtības pirms ziemošanas nebija būtiski atšķirīgas (8.3.1.15. tab.).

8.3.1.15. tabula

Ziemas rapša augu attīstības rādītāji un augu skaits izmēģinājumā 2024. gada rudenī SIA “VA Agro”

Variants	Lapu skaits, gab.	Saknes kakla diametrs, mm	Augšanas punkta augstums, mm	Augu skaits, gab. m ⁻²
Kontrole	5.5	7.3	24.0	35.5
<i>Spirulina</i> sp.	6.0	7.7	29.4	39.0
<i>Chlorella</i> sp	6.0	8.4	34.6	42.5
p-vērtība	0.476	0.305	0.0634	0.418
Vidēji	5.8	7.8	29.3	39.0

Novērots, ka augstāks augšanas punkta augstums bija variantos ar mikroaļģu smidzinājumu (*Spirulina* 29.4 mm un *Chlorella* 34.6 mm) variantiem salīdzinot ar kontroli (24.0 mm), kas liecina, ka rezultāti par augšanas punkta augstumu lietojot mikroaļģes ir pretēji ZS “Klīves” izmēģinājumu laukā iegūtajiem. Augstāks lapu skaits augu vērtēšanas brīdī bija *Spirulina* un *Chlorella* variantos, tāpat kā saknes kakla diametrs un augu skaits (8.3.1.15. tab.). Šie rezultāti sakrīt ar pirmā izmēģinājuma vietā iegūtajiem rezultātiem.

Augstāka sausnas masa uz kvadrātmetru bija mikroaļģu smidzinātajos variantos (*Spirulina* 126.2 g m⁻² un *Chlorella* 188.1 g m⁻²), salīdzinot ar kontroli (91.7 g m⁻²) (8.3.1.16. tab.), lai arī atšķirības starp kontroles variantu un *Spirulina* sasniedza 34.4 g, matemātiski būtiskas atšķirības neapstiprinājās (p=0.292). Zemākais šķīstošās sausnas daudzums (Brix) bija kontroles variantā (10.0), salīdzinot ar mikroaļģu smidzinātajiem variantiem (*Spirulina* 10.4 un *Chlorella* 10.7).

8.3.1.16. tabula

Ziemas rapša augu sausnas masa (g m^{-2}), Brix indekss un fenolu daudzums (mg GAE uz g sausnas) 2024. gada rudenī SIA “VA Agro”

Variants	Sausnas masa, g m^{-2}	Šķīstošā sausna, Brix	Fenolu daudzums, mg GAE uz g sausnas
Kontrole	91.7	10.0	28.1
<i>Spirulina</i> sp.	126.2	10.4	36.3
<i>Chlorella</i> sp	118.1	10.7	38.1
p-vērtība	0.292	0.06	0.741
Vidēji	112.0	10.4	34.2

Pārziemojušo augu īpatsvaram nepastāvēja būtiskas atšķirības starp variantiem (0.718), kur augstākais pārziemojušo augu īpatsvars bija kontroles variantā (91.7%), bet zemākais ar mikroaļģēm smidzinātajos (vid. 86.4%).

Izmēģinājuma vietā **zemnieku saimniecībā “Raiti”** laukā Nr. 1 ziemas rapša sēja veikta optimālā termiņā (21.08.2024.), rudenī tika lietots viens augšanas regulators. Pēc diviem mikroaļģu smidzinājumiem (rozetē attīstījušās 4-6 un 6-8 lapas) rapša vērtēto rādītāju (lapu skaits, saknes kakla diametrs, augšanas punkta augstums) vērtības pirms ziemošanas nebija būtiski atšķirīgas (8.3.1.17. tab.).

8.3.1.17. tabula

Ziemas rapša augu attīstības rādītāji un augu skaits izmēģinājumā 2024. gada rudenī izmēģinājuma vietā ZS “Raiti” laukā Nr. 1

Variants	Lapu skaits, gab.	Saknes kakla diametrs, mm	Augšanas punkta augstums, mm	Augu skaits, gab. m^{-2}
Kontrole	6.7	10.9	23.8	37.0
<i>Spirulina</i> sp.	6.9	10.6	24.5	34.5
<i>Chlorella</i> sp	6.8	11.8	26.2	38.5
p-vērtība	0.824	0.0527	0.586	0.826
Vidēji	6.8	11.1	24.8	36.7

Novērots, ka augstāks augšanas punkta augstums bija variantos ar mikroaļģu smidzinājumu (*Spirulina* 24.5 mm un *Chlorella* 26.2 mm) variantiem salīdzinot ar kontroli (23.8 mm), tendence sakrīt ar Va Agro tendenci. Lapu skaits visos pētītajos variantos bija līdzvērtīgs, vidēji 6.8 gab. Augstāks sakne kakla diametrs bija *Chlorella* variantā. Augu skaitam nozīmīgu atšķirību starp variantiem nebija.

Augstāka sausnas masa uz kvadrātmtru bija ar *Chlorella* smidzinātajos variantos (328.4 g m⁻²), salīdzinot ar abiem pārējiem (8.3.1.18. tab.), atšķirības starp *Spirulina* un *Chlorella* bija kontroles variantu un *Spirulina* sasniedza 44.8 g, matemātiski būtiskas atšķirības neapstiprinājās (p=0.508). Zemākais šķīstošās sausnas daudzums (Brix) bija kontroles variantā (7.5), ka bija būtiski zemāks kā ar mikroaļģēm smidznātajos variantos. Augi bija labi attīstījušies ZS “Raiti” izmēģinājumu laukā Nr. 1, fenolu daudzums starp pētītajiem variantiem būtiski neatšķīrās (p=0.72).

8.3.1.18. tabula

Ziemas rapša augu sausnas masa (g m⁻²), Brix indekss un fenolu daudzums (mg GAE uz g sausnas) 2024. gada rudenī izmēģinājuma vietā ZS “Raiti” laukā Nr.1

Variants	Sausnas masa, g m ⁻²	Šķīstošā sausna, Brix	Fenolu daudzums, mg GAE uz g sausnas
Kontrole	286.5	7.5	35.2
<i>Spirulina</i> sp.	283.6	8.6	35.6
<i>Chlorella</i> sp	328.4	8.3	34.2
p-vērtība	0.508	0.0485	0.72
Vidēji	299.5	8.1	35.0

Pārziemojušo augu īpatsvars visos variantos bija līdzvērtīgs, no 96.7% *Chlorella* variantā līdz 98.5% *Spirulina* variantā.

Zemnieku saimniecība “Raiti”, izmēģinājums Nr. 2

Izmēģinājuma vietā **zemnieku saimniecībā “Raiti”**, laukā Nr. 2 ziemas rapša sēja veikta optimālā termiņā (21.08.2024.), rudenī tika lietots viens augšanas regulators. Pēc diviem mikroaļģu smidzinājumiem (rozetē attīstījušās 4-6 un 6-8 lapas) rapša vērtēto rādītāju (lapu skaits un saknes kakla diametrs) vērtības pirms ziemošanas nebija būtiski atšķirīgas (8.3.1.19. tab.), bet augšanas punkta augstums būtiski atšķīrās starp pētītajiem variantiem (p=0.007). Augu skaits bija vienmērīgs visos variantos.

8.3.1.19. tabula

Ziemas rapša augu attīstības rādītāji un augu skaits izmēģinājumā 2024. gada rudenī izmēģinājuma vietā ZS “Raiti” laukā Nr. 2

Variants	Lapu skaits, gab.	Saknes kakla diametrs, mm	Augšanas punkta augstums, mm	Augu skaits, gab. m ⁻²

Kontrole	6.0	9.3	20.0	39.5
<i>Spirulina</i> sp.	6.5	9.8	24.7	40.5
<i>Chlorella</i> sp	6.4	9.1	20.6	40.0
p-vērtība	0.35	0.424	0.007	0.985
Vidēji	6.3	9.4	21.8	40.0

Augstāka sausas masa uz kvadrātmētru bija *Spirulina* variantā 225.0 g m⁻², bet zemākā - *Chlorella* 187.3 g m⁻²) (8.3.1.20. tab.), lai arī atšķirības starp kontroles variantu un *Spirulina* sasniedza 37.7 g, matemātiski būtiskas atšķirības neapstiprinājās (p=0.194). Augstākais šķīstošās sausas daudzums (Brix) un fenolu daudzums bija kontroles variantā (9.2), zemākais - *Chlorella* variantā (8.2). Tāpat arī augstākais fenolu daudzums bija kontroles variantā (40.7),

8.3.1.20. tabula

Ziema rapša augu sausas masa (g m⁻²), Brix indekss un fenolu daudzums (mg GAE uz g sausas) 2024. gada rudenī izmēģinājuma vietā ZS “Raiti” laukā Nr. 2

Variants	Sausas masa, g m⁻²	Šķīstošā sausa, Brix	Fenolu daudzums, mg GAE uz g sausas
Kontrole	199.3	9.2	40.7
Spirulīns	225.0	9.1	36.8
Hlorella	187.3	8.2	38.3
p-vērtība	0.194	0.0634	0.391
Vidēji	203.9	8.8	38.6

Pārziemojušo augu īpatsvaram nepastāvēja būtiskas atšķirības starp variantiem (0.377), kur augstākais pārziemojušo augu īpatsvars bija kontroles variantā (95.4%), bet zemākais ar *Spirulina* smidzinātajā (71.2%).

SECINĀJUMI:

1. Mikroaļģu pielietošanai vasaras rapsim podu izmēģinājumā būtiska ietekme novērota uz sānzaru skaitu un pāksteņu skaitu augam, kur augstākie rādītāji iegūti lietojot mikroaļģes *Spirulina* sp. Vasaras rapša viena auga vidējā sēklu masa, sēklu skaits pākstenī, 1000 sēklu masa, eļļas saturs sēklās un proteīna saturs sēklās būtiski neatšķīrās starp pētītajiem mikroaļģu variantiem, tomēr tendences, ka mikroaļģu lietojums palielina vidējo vērtību, salīdzinot ar kontroles variantiem, parādījās.
2. Ražojoša lauka apstākļos vienreizējs mikroaļģu smidzinājums ziedēšanas sākumā neatstāja būtisku ietekmi uz ziemas rapša ražību un sēklu kvalitātes rādītājiem. Ražojošos apstākļos būtu ieteicams veikt izmēģinājumu ar smidzinājumiem dažādos lietošanas laikos un palielināt preparāta koncentrāciju.
3. Viennozīmīga mikroaļģu ietekme uz rapša fitometriskajiem rādītājiem pirms ziemošanas un pārziemojušo augu īpatsvaru netika konstatēta, bet atsevišķās izmēģinājumu vietās novērotas tendences, kad trīs no četrām izmēģinājuma vietām lielāks augšanas punkta augstums bija lietojot mikroaļģu preparātus. Augstāks rapša augu sausnas saturs m^{-2} bija visās saimniecībās bija variantos, kur smidzināti mikroaļģu preparāti, salīdzinot ar kontroli. Kopējo fenolu daudzums tikai vienā no četrām pētītajām saimniecībām bija ievērojami zemāks kontroles variantā, pārējās - līdzvērtīgs.

Izmantotā literatūra:

1. Abreu, A.P., Martins, R. Nunes, J. (2023). Emerging Applications of Chlorella sp. and Spirulina (Arthrospira) sp. *Bioengineering*, 10(8), 955.
2. Aksouh-Harradj N.M., Campbell L.C., Mailer R.J. (2006) Canola response to high and moderately high temperature stresses during seed maturation. *Canadian Journal of Plant Science*, Vol. 86, p. 967–980
3. Atsbehaa M.D., Flaten O., Fjerdingsby Olsen H., Kjos N.P., Kidane A., Skugor A., Prestløkken E., Øverland M. (2020). Technical and economic performance of alternative feeds in dairy and pig production. *Livestock Science*, Vol. 240, p.104123.
4. Balodis O. (2017). *Agroekoloģisko faktoru ietekme uz ziemas rapša (Brassica napus L.) augšanu un attīstību*: promocijas darba kopsavilkums Dr. agr. zinātniskā grāda ieguvei. Jelgava: LLU. 50 lpp.
5. Balodis O., Gaile Z. (2015). Changes of Winter Oilseed Rape Plant Survival During Vegetation. *Rural Sustainability Research*, Vol. 33, Iss. 328, p. 35–45.
6. Böttcher U., Weymann W., Pullens W.M. J., Olesen E. J., Kage H. (2020). Development and evaluation of HUME-OSR: A dynamic crop growth model for winter oilseed rape. *Field Crops Research*. Febr. 2020, 107679.
7. Bružus R., Gaile Z., Balodis O. (2013). Ziemas rapša raža atkarībā no augu augšanas regulatoru lietošanas. *No: Ražas svētki „Vecauce – 2013: Lauksaimniecības augstākajai izglītībai Latvijā – 150. Zinātniska semināra rakstu krājums*. Jelgava: LLU. 12–15. lpp
8. Dmytryk A, Samoraj M., Moustakas K., Witek-Krowiak A., Chojnacka K. (2022). Bioactive fatty acids and compounds from Spirulina (Arthrospira) platensis: Potential as biostimulants for plant growth. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, Volume 30, Art. No. 100899.
9. Hosseini Jafari S.H., Zarea M.J. (2022). Effect of Sugarcane Vermicompost and Foliar Application of Spirulina Microalgae Extract on Growth and Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Soil and Plant Interactions*, 13(2), 35–51.
10. Kowalska G., Kowalski R., Hawlena J., Rowiński R. (2020). Seeds of oilseed rape as an alternative source of protein and minerals. *Journal of Elementology*. Vol. 25 iss. 2, p. 513–522.

11. Litke L., Gaile Z., Ruža A. (2019b). Effect of nitrogen rate use efficiency in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *In: Research for Rural Development*, Annual 25th International Scientific Conference Proceedings, Vol. 2. p. 43–49.
12. Nath U.K., Kim H.T., Khatum K., Park J.-I., Kang K.K., Nou I.-S. (2016). Modification of Fatty Acid Profiles of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Oil for Using as Food, Industrial Feed-Stock and Biodiesel. *Plant Breed. Biotech.*, Vol., 4, No. 2, p. 123–124.
13. Rathke G.W., Christen O., Diepenbrock W. (2005). Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*, Vol. 94, p. 103–113.
14. Saldukaitė L., Šarauskis E., Zabrodskiy A., Adamavičiene A., Buragienė S., Kriaučiūnienė Z., Savickas D. (2022). Assessment of energy saving and GHG reduction of winter oilseed rape production using sustainable strip tillage and direct sowing in three tillage technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Art. No. 101911.
15. Sieling K., Böttcher U., Kage H. (2017). Sowing date and N application effects on tap root and above-ground dry matter of winter oilseed rape in autumn. *European Journal of Agronomy*. Febr. 2017, p. 40-46.
16. Sollis J.L., Berkemar A.L., Alejo L., Kiros Y. (2017). Biodiesel from rapeseed oil (*Brassica napus*) by supported Li₂O and MgO. *International Journal Energy Environment*, Vol., 8 p. 9–23.
17. Velička R., Marcinkevičienė A., Kosteckas R., Pupalienė R., Duchovskis P., Brazaitytė, A. (2012b). The influence of crop density on the photosynthetic characteristics and productivity of the spring oilseed rape under non-fertilized and fertilized conditions. *J Food Agric Environ*, Vol. 10, p. 850–856.
18. Velička R., Pupalienė R., Butkevičienė L.M., Kriaučiūnienė Z. (2012a). Peculiarities of overwintering of hybrid and conventional cultivars of winter rapeseed depending on the sowing date. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, Vol. 11(1), p. 53–66.
19. Weymann W., Böttcher U., Sieling K., Kage H. (2015). Effects of weather conditions during different growth phases on yield formation of winter oilseed rape. *Field Crops Research*, Vol. 173, p. 41–48.

8.4. Burkāni

Burkāns (*Daucus carota* L. subsp. *sativus* (Hoffm.) Arc.) ir visplašāk kultivētais dārzenis pasaulē un Latvijā, taču līdz šim mūsu valstī pētījumi par burkāniem ir veikti maz. Pasaulē pazīst vairāk nekā 10 dažādus burkānu tipus, tie ir cēlušies no senākām un plašāk audzētām šķirnēm un lielākoties to nosaukumi ir saistīti ar audzēšanas vietu ģeogrāfiskiem nosaukumiem, piemēram, Nantes, Parīzes, Amsterdamas tipa burkāni. Latvijas tirgū pieprasīti ir Nantes tipa burkāni, jo saknes ir vienmērīgas pēc formas. Mūsdienās, šķiet, pašsaprotami, ka burkānu saknes ir oranžas, taču pirmās kultivētās saknes 10. gs. Afganistānā un tās apkārtnē bija dzeltenā un violetā krāsā (Quiros, Rubatzky, Simon, 2007).

Burkāni (*Daucus*) parasti ir divgadīgi čemurziežu dzimtas augi. Dārza burkāns domesticēts no savvaļas burkāna (*Daucus carota* L.), kura sakne ir bālā krāsā. Tā saucamā burkāna sakne, kuru lieto uzturā, ir paplašināts dīglstumbrs ar dīglšakni (Luo, Suslow, Cantwell, 2008). Atšķirīgo pigmentu dēļ burkāna sakne var būt dažādās krāsās (Barański, Kamińska, Maksylewicz–Kaul et al., 2010). Tā kā burkāns ir divgadīgs augs, tad pirmajā gadā izaug lapojums, kurš izkārtots rozetē, un sakne (Bratacu, Florea, Martin, 2013). Drīz pēc sēklas uzdīgšanas var novērot atšķirību starp hipokotilu un augšanas zonu, veidojas sulīgā sakne, kurai ir daudz piesakņu jeb barojošo sakņu, jeb laterālo sakņu. Otrajā gadā, izmantojot sulīgajā saknē uzkrātās barības vielas, burkāns veido ziedstublāju, ziedu un sēklas. Anatomiski burkāna šķērsgrīzumā var redzēt floēmu (lūksni) un ksilēmu (koksni), šos vadaudus atdala vaskulārais kambijs. Augstas kvalitātes burkāniem pēc rādiusa ir neliela koksnes daļa, tas ir, serde. Tās burkānu šķirnes, kurām abi audu slāņi ir gandrīz vienā krāsu intensitātē, mēdz dēvēt par bez serdeņa burkāniem (Quiros, Rubatzky, Simon, 2007).

Audzēšanas apstākļu ietekme uz burkānu augšanu un attīstību: Kaut gan šķirnes izvēle ir būtiskākais faktors, lai iegūtu iecerētās burkāna vizuālās, garšas un izturības īpašības, lai iegūtu kvalitatīvu ražu ir jāievēro burkānu audzēšanai nepieciešamās prasības, tas ir, bioloģiskās īpatnības, augsnes apstrādes īpatnības, augu maiņa, mēslošana un pareiza kaitīgo organismu ierobežošana (Drudze, Gailīte, Lepse u.c., 2007). Gada ietekme atkarībā no vietas izvēles var mainīt burkānu kvalitāti un ražību atkarībā no temperatūras, nokrišņu režīma, kaitīgo organismu izplatības. Šie 3 faktori minimāli ir audzētāja kontrolē (Lauridsen, Kretzschmar, Seljasen et al., 2013), it īpaši Latvijā, kur burkānu sējumu lietēšana vai laistīšana pašlaik aktīvi netiek pielietota. Burkānu sastāvs izmainās atkarībā no laikapstākļiem un gada. Tā kādā pētījumā ASV bija

novērojamas krāsas izmaiņas terpēnu koncentrācijā (Simon, Peterson, 1979), bet kādā citā pētījumā, atkarībā no gada, krasi izmainījās cukuru koncentrācija burkānu saknēs (Paoletti, Raffo, Kristensen et al., 2012), kā arī pētījumā, kurš tika veikts Dānijā, sakņu lielums un organoleptiskais vērtējums. Būtiski, ka šajos izmēģinājumos tika salīdzinātas arī audzēšanas metodes – bioloģiskā un konvencionālā. Interesanti, ka audzēšanas metode būtiski neietekmēja rezultātus (Bach, Kidmose, Kristensen et al., 2015). Pētījumā Igaunijā, kurā tika salīdzinātas audzēšanas metodes, tika noteikts, ka izmaiņas burkānu sastāvā starp bioloģiski un konvencionāli audzētiem burkāniem nav, kaut gan bioloģiski audzēto burkānu komerciāli vērtīgā raža bija par 8% zemāka, bet bioloģiskajiem burkāniem tika noteikti labāki rezultāti, tos uzglabājot (Bender, Moor, Luik, 2015).

Ūdens pieejamība ir ļoti svarīga augšanai un burkānu sakņu vienmērīgumam. Nokrišņu un pieejamā ūdens daudzums ietekmē barības vielu uzņemšanos no augsnes, kā arī, ja burkāniem tiek nodrošināts pietiekams ūdens režīms, ražas ir augstākas (Quezada, Fischer, Campos et al., 2010). Stress no augsta vai zema ūdens satura augsnē var samazināt augšanas intensitāti un ražību, un veicina nevēlamu savienojumu rašanos (Kimmer, Kozlowski, 1982). Zināms, ka, palielināta sausuma stresa apstākļos, palielinās etilēna veidošanās burkānos. Turklāt tie vairāk lūst, bet ekstremālos ūdens trūkuma apstākļos zaudē tvirtumu. Nevienmērīgs mitruma režīms saknes piebriešanas periodā izraisa sakņu plīšanu, bet, ja burkāni regulāri netiek lietēti, ir jāizvairās no to laistīšanas, kad parādās pirmās īstās lapas, jo citādi burkānu sakne nestiepsies dziļāk augsnē – mitrums tiks nodrošināts augsnes virsējā slānī.

Ļoti svarīga ir augu maiņas ievērošana. Nevajadzētu burkānus atkārtoti sēt ne ātrāk, kā pēc 4 sezonām. Burkāniem ir vidēja vajadzība pēc barības vielām, tāpēc tos mēdz sēt pēc kultūraugiem, kuriem ir augsta nepieciešamība pēc barības vielām, piemēram, kartupeļiem, puraviem vai kāpostiem, kaut gan jāmin, ka jāizvērtē burkānu sēšana pēc kartupeļiem, jo tad pastāv augstāks nematožu klātbūtnes risks. Svarīgi, lai priekšaugi atstātu irdenu augsni, kā arī blakus laukos, kā priekšaugi, nav vēlami citi čemurziežu dzimtas augi, kā, piemēram, selerijas, dilles, pētersīļi, pastinaki. Būtiski uzsvērt, ka burkānus nevar sēt pēc tauriņziežu dzimtas augiem un rapša, jo šiem kultūraugiem var novērot līdzīgas slimības, piemēram, balto puvi. Literatūrā, kā labi priekšaugi, tiek minētas bietes, gurķi un graudaugi (Vahejoe, Luik, Karp et al., 2011). Diemžēl komercsaimniecībās ir ļoti grūti nodrošināt perfektu augu maiņu zemes trūkuma dēļ, taču pamatprincipi jāievēro, jo citādk tiek savairoti kaitīgie organismi un noplicināta augsne. Labākās augsnes uzglabājamiem burkāniem ir smilšmāls, taču agrīnajiem burkāniem piemērotākas būtu

vieglas augsnes. Tomēr interesanti, ka, audzējot kūdrainās augsnēs, burkāni var būt sulīgāki un saldāki. Iespējams, augstāks cukuru saturs saistāms ar to, ka kūdrā mēdz būt zemāka temperatūra nekā smilšmāla augsnē (Seljasen, Lea, Torp et al, 2012). Nevajadzētu pieļaut, ka augsnē ir augsts organiskās vielas (OV) saturs, piemēram, 4% (Bankina, Bimšteine, Lepse, 2014), jo tad burkāni zarojas, taču nevajadzētu pieļaut, ka OV saturs ir zemāks par 1.5%, jo citādi pasliktināsies burkānu attīstības kvalitāte (Carrots by Vilmorin). Optimālā augsnes reakcija ir pHKCl 6–7.

Sēklas dīgst plašā temperatūras diapazonā (+4–+32 °C), bet optimālā dīgšanas temperatūra ir +22–+23 °C, kaut gan citviet tiek norādīta +17–+20 °C. Interesanti, ka dīgli spēj izturēt pat -4 °C salu (Bratacu, Florea, Martin, 2013). Mēslojuma optimālās devas: slāpeklis (N) 60–130 kg ha⁻¹, fosfors (P₂O₅) 80–150 kg ha⁻¹, kālijs (K₂O) 350–400 kg ha⁻¹. Burkānu gadījumā jāņem vērā ne tikai izneses ar pašu sakni (burkānu), bet arī iznesi ar lakstiem. Pēc literatūras avotiem (Quiros, Rubatzky, Simon, 2007) makroelementu NPK izneses ar saknēm attiecīgi sastāda 53.3, 51.1, un 51.8% no kopējām iznesēm pēc masas. Svarīgi sekot Ca, Mg un B nodrošinājumam (Bankina, Bimšteine, Lepse, 2014). Pirms mēslošanas plāna izveides svarīgi ir izvērtēt esošos datus, tas ir, apskatīt agroķīmisko analīžu rezultātus, kur svarīgi saprast 3 lietas: cik daudz elementu ir augsnē, cik augam ir nepieciešami šie elementi, kāda ir attiecība starp šiem elementiem vai kāds ir konkrēto elementu balanss augsnē. Burkāniem Ca un Mg ir vajadzīgs visvairāk, kad veidojās stingra burkāna sakne, proti, tā strauji aug un paresninas, tā kļūst oranža, jo augam jāspēj izveidot spēcīga struktūra. Fosfora (P) mēslojums ir ļoti būtisks auga attīstības sākumā, īpaši pie dīgšanas, jo burkāna sēkliņa ir ļoti maziņa un tajā nav daudz barības vielu. Turpretī kālijs (K) ir ļoti būtisks visa auga augšanas perioda laikā, īpaši auga saknes veidošanas laikā, turklāt ļoti būtiski sekot līdzi K un N attiecībai. Slāpeklis (N) nevar būt iedots vairāk par kāliju, jo tas mudina augu neveidot sulīgu sakni – uzkrāt barības vielas. Pieņemami, ja kālijs un slāpeklis ir aptuveni 1:1, taču tas nav optimāli.

Augsnes apstrādi pirms sējas parasti veic pavasarī, jo ražas novākšana norisinās līdz pat novembra beigām. Pirmkārt, jāveic aršana 28 cm dziļumā – pilnā aramkārtas dziļumā, aptuveni marta beigās, aprīļa sākumā. Svarīgi, lai augsne būtu vienmērīgi sastrādāta un bez liekām augu atliekām, piemēram, no priekšauga, lai netraucētu saknes attīstībai ik pa laikam vēlama arī dziļirdināšana (Bankina, Bimšteine, Lepse, 2014; Quiros, Rubatzky, Simon, 2007). Tad jāveic pamatmēslojuma izkaisīšana. Pēc tam augsne tiek sastrādāta ar dobju veidotāju – veidotas profilētas vagas vai dobes, tas ir atkarīgs no augsnes granulometriskā sastāva. Audzējot dobēs vai

vagu skaustos, augsne labāk iesilst – būtiski agrīnajām šķirnēm – un burkānu sakne veidojas vienmērīga un taisna (Carrots by Vilmorin), turklāt pētījumos pierādīts, ka dārzeņiem šādi var iegūt augstākas ražas (Miernicki, Lovell, Wortman, 2018), to pierāda fakts, ka šādi audzē praktiski visās komerciālajās burkānu saimniecībās. Sējas laiku burkāniem izvēlas pēc attiecīgā mērķa – agrīnās šķirnes ar īsāku veģetācijas periodu sēj agrāk, piemēram, aprīļa beigās vai maija sākumā, bet burkānus glabāšanai optimāli ir sēt maija beigās vai jūnija sākumā, lai burkānu novākšanas laikā būtu zema temperatūra, šādi nodrošinot to ilgāku glabāšanu noliktavā, taču svarīgi uzsvērt, ka šajos laikos var būt novirzes, jo svarīgi, lai augsne būtu mitra, bet ne pārmitra. Parasti burkānu sējai izmanto pneimatisko precīzās sējas sējmašīnu. Sēklas sadīgst aptuveni 3 nedēļu laikā – būtiski, lai neveidojas augsnes garoza, kas īpaši raksturīgi smaga granulometriskā sastāva augsnēm (Bankina, Bimšteine, Lepse, 2014).

Svarīgi minēt faktoros, kuri ietekmē burkānu krāsu:

- temperatūra virs un zem optimālās (virs +21 °C un zem +15 °C) samazina burkānu krāsu intensitāti;
- vasaras šķirņu burkāniem ir intensīvāka krāsa nekā rudens un ziemas burkānu šķirnēm, burkāniem, kuri audzēti smilšainās augsnēs un augsnē ar augstu organiskās vielas saturu, ir spilgtāks krāsojums nekā putekļainā smilšmālā audzētajiem;
- pārmērīgs mitrums samazina krāsas intensitāti.

Burkānu selekcionārs Džons Navazio izceļ svarīgākās burkānu garšas īpašības, pēc kurām tos var vērtēt: saldums (jāuztver salduma pakāpe); saknes stingrība (tas ir atkarīgs no terpenoīdiem, ja to ir par daudz vai maz, garša var būt nepatīkama).

Burkānu pazinēju vidū pat ir teiciens, ka šādas saknes “garšo kā čiekuri”, burkānu aromāts – atkarīgs no augsta satura terpenoīdiem. Visbiežāk cilvēki burkānus, kuru sastāvā ir daudz terpēnu, sauc par labiem, bet atsevišķas terpenoīdu smaržas cilvēku uztverei ir nepatīkamas – līdzīgas spēcīgu ziedu smaržai. Lai gan burkānu šķirnes pasaulē tiek, plaši pētītas, tomēr Latvijā šo pētījumu praktiski nav, un būtu vēlams tos veikt, lai ražotājiem atvieglotu šķirņu izvēli, jo dārzeņi ir piemēroti audzēšanai Latvijas teritorijā.

Burkānu agrotehnika un ražas novākšana: Agrotehniskās darbības sastāv no vairākiem posmiem. Šo posmu izpildes kvalitāte ir atkarīga no darbu veicēja, tehniskā nodrošinājuma un tā precizitātes, kā arī no laika, kad katrs agrotehniskais pasākums ir veikts.

Augsnes sagatavošana. Svarīgi burkānus audzēt vienā vietā ik pēc 5 gadiem, kā minimāli – ik pēc 3 gadiem. Parasti ražojošās saimniecībās augsnes sagatavošanu veic pavasarī, taču, ja ir tāda iespēja, dziļirdināšanu un aršanu var veikt rudenī. Pirmkārt, labi veikt augsnes dziļirdināšanu vairāk nekā 30 cm dziļumā ar dziļirdinātāju. Pēc 2 nedēļām jāveic aršana pilnā aramkārtas dziļumā ar maiņversējarklu, tas ir, 28 – 30 cm dziļumā. Šādi arī tiek ierobežotas nezāles. Nākamais solis ir kultivēšana ar kultivatoru vai kompaktoru – tas nodrošina cilu samazināšanu un vienmērīgāku augsni. Pēc augsnes izlīdzināšanas ir jāveic pamatmēslojuma izkliede, piemēram, ar disku klievētāju. Ja augsnes sagatavošanas darbi netiek veikti kvalitatīvi, tas rezultējas ar sazarotām, saliekušām burkānu saknēm, turklāt tām var būt “zaļās pieres”. Šiem darbiem ir jānodrošina 3 būtiski punkti augsnes sagatavošanā: sēklai ir jānodrošina cieta pamatne 2 – 4 cm dziļumā, no 3 līdz 25 cm augsnei ir jābūt irdenai, porainai, jo tā nodrošina ūdens drenētību, sakņu elpošanu un saknes vienmērīgu attīstību bez šķēršļiem, bet dziļāk par 25 cm ir jānodrošina laba drenētība, lai neveidotos sablīvēts augsnes slānis un norisinātos ūdens un barības vielu plūsma (Carrot by Vilmorin).

Burkānu sēja. Sējot burkānus, ir jānodrošina ātra to dīdžība (sēšanas dziļums), kā arī konkurences samazināšana (attālums starp augiem). Izvēloties audzēšanas tehnoloģiju, jāsaprot, kādam mērķim burkāni tiek audzēti. Rindās sēj, ja augus paredzēts kopt un novākt ar rokām. Komercsaimniecībās izvēlas audzēt vagu skaustos (smagas augsnes) vai dobēs (vieglas augsnes). Šādas profilētas vagas veido pēc kultivēšanas ar speciālu uzkarināmu profilētu vagu veidotāju – šādi audzējot, augsne ātri iesilst un sakne veidojas vienmērīgi, kā arī lielākā daļa sējmašīnu un kombainu ir pielāgoti šādai audzēšanas tehnoloģijai. Precīzai burkānu sējai, kur tiek regulēts sējas dziļums un attālums starp sēklām un rindām, tiek lietotas pneimatiskās precīzās izsējas sējmašīnas, piemēram, no firmām Monosem vai Agricola Italiana. Sēšanas dziļums var variēt atkarībā no augsnes, burkānu audzēšanas mērķa. Ja platības tiek lietētas vai / un tiek sēts vieglā augsnē, jāsej dziļāk, lai saglabātu virsējo augsnes slāni. Vidēji sēšanas dziļums ir 1.5 – 2.5 cm, attālums starp rindām nevar būt lielāks par 14 cm, bieži vien tie ir 7 cm. Sējmašīnām ir dažādi darba platumi, piemēram, 1.5 m, 1.82 m. Eiropā bieži vien sēj divrindu sējā, lai augiem nodrošinātu pietiekami daudz gaismas, tiek sēts arī trīsrindu sējā, bet šādi parasti ir lielāks attālums starp sēklām, kā arī vidējā rindā tas ir lielāks attiecībā pret malējām rindām, piemēram, 3.25 cm un 3.55 cm. Sējot divrindu sējā, attālums starp sēklām ir aptuveni 2.8 cm. Protams, šis attālums ir atkarīgs no izsējas normas, kura vidēji ir 1 – 1.2 milj. sēklu ha⁻¹. Burkānu selekcijas kompānija Vilmorin rekomendē

precīzo sēju, īpaši Nantes tipa burkāniem. Ne tikai literatūras dati pierāda precīzās sējas nozīmi, bet arī darba autores pieredze, kur komerciālās burkānu saimniecībās gan Latvijā, gan Nīderlandē, gan Zviedrijā, gan Francijā un Dienvidāfrikā izmanto precīzo sēju.

Optimālā izsējas norma uzglabājamiem burkāniem ir 0.9 – 1.5 milj. gab. ha⁻¹ atkarībā no audzēšanas tehnoloģijas un burkāna sakņu tipa, piemēram, Nantes burkāniem izsējas norma būs lielāka nekā Imperatora burkāniem, kuru saknes aizņem lielāku tilpumu (Quiros, Rubatzky, Simon, 2007). Neparasti, ka izsējas norma var ietekmēt karotīna saturu burkānu saknēs, piemēram, kādā pētījumā tika noskaidrots, ka par 13% augstāks α – karotīna saturs bija burkānu saknēs ar mazāku izsējas normu, tas ir, salīdzinot izsējas normas 400 tūkst. augi ha⁻¹ un 700 tūkst. augi ha⁻¹ (Evers, Tuuri, Hagg et al, 1997). Tas tiek skaidrots ar paaugstinātu UV ietekmi, jo karotinoīdi piedalās fotosintēzes procesā, proti, ja burkāni retāk iesēti, tie saņem vairāk gaismas. Šis pieņēmums liek spriest, ka sezonās, kad tiek saņemts vairāk UV starojuma, burkānos ir augstāks karotīna saturs (Lauridsen, Kretzschmar, Seljasen et al, 2013).

Laistīšana. Ja netiek ierīkotas laistīšanas sistēmas, tad sējas laiks ir jāizvēlas atbilstoši augsnes mitrumam, jo nevar sēt, ja augsne nav mitra – sēklas var nepiebriest un nesadīgt. Kopējā ūdens vajadzība no sējas laika līdz novākšanai ir 350 – 400 mm (Carrot by Vilmorin). Diemžēl Latvijā nav izplatīta burkānu apūdeņošana, taču laistīšanas iespējas ir šādas: smidzinātāji, ūdens pistoles, pilienlaistīšana, lietēšana (Quezada, Fischer, Campos, Ardiles, 2010).

Mēslošana. Veidojot mēslošanas plānu, jāapzinās burkānu vajadzība pēc barības vielām un augsnes nodrošinājums ar tām. Svarīgi, ka, audzējot burkānus, nevajadzētu pieļaut organiskā mēslojuma pielietošanu, ja tas tiek lietots, tam jābūt komposta materiālam, kurš tiek iestrādāts augsnē vismaz 3 mēnešus pirms burkānu sējas, jo citādi burkānu saknes nebūs vienmērīgas un organiskā mēslojumā, piemēram, kūtsmēslos var būt slimību ierosinātāji un parazīti, kuri var ietekmēt cilvēku veselību. Pamatmēslošanu veic ar disku kļiedētāju pirms vagu profilēšanas un sējas. Mēslojumu iestrādā arī sējas laikā – pie burkāna sēklas. Viss fosfors un kālijs tiek iestrādāts pirms sējas. Kopā ar sēju iestrādā mikrogranulu slāpekļa un fosfora mēslojumu, lai veicinātu sakņu sistēmas attīstību un fosfora mēslojums būtu tuvu dīgstošajai sēklai un jaunajām saknēm būtu viegli pieejami barības elementi. Mēslojuma sastāva var būt baktērija *Bacillus subtilis*, kura palielina izturību pret slimībām. Slāpekļa mēslojumu divas reizes dod papildus kopā ar sēru, lai novērstu slāpekļa izskalošanos, kā arī neveicinātu pārāk lielu un strauju lapojuma attīstību. Nelieto amonija nitrātu, jo tas paskābina augsni, kā arī šādi nevar iestrādāt citus barības elementus.

Sezonas laikā, vadoties pēc augu vizuālā izskata un pieredzes, veic mēslošanu caur lapām ar mikroelementiem un / vai makroelementiem. Mēslojuma plāns var būt mainīgs, un tas ir atkarīgs no augu attīstības un ražotāja iespējām.

Nezāļu, slimību un kaitēkļu ierobežošana. Nezāles var ierobežot ķīmiski, gan mehāniski, kaut gan mehāniska nezāļu ierobežošana ir ļoti minimāla, tas ir, pirms sējas arot un pēc tam 2 reizes kultivējot ar pāris nedēļu intervālu. Nezāles var ierobežot mehāniski arī vagojot ar speciāli pielāgotu vagotāju, tomēr šim ir jābūt rūpīgam darbam, kur netiek traumēti burkāni un dobju profils, neiesaka vagošanu veikt vēlāk, kā 70 dienas pēc sējas, lai novērstu burkānu lapu traumēšanu. Nezāles, slimības un kaitēkļus ķīmiski ierobežo attiecīgi ar herbicīdiem, fungicīdiem un insekticīdiem, smidzinot ar smidzinātāju, piemēram, uzkarināmu vai pašgājēju. Pēdējo smidzinājumu neveic vēlāk, kā 2 nedēļas pirms burkānu novākšanas, parasti tas ir fungicīda smidzinājums. Kaitīgo organismu ierobežošanas pasākumus un AAL apriti regulē Augu aizsardzības likums, kura mērķis ir reglamentēt fizisko un juridisko personu darbību augu aizsardzības jomā, kā arī panākt, lai augu aizsardzības pasākumi un augu aizsardzības līdzekļi neatstātu nelabvēlīgu ietekmi uz cilvēku veselību, dzīvniekiem, kurus cilvēks audzē vai izmanto uzturā, un vidi. Augu aizsardzības likumā noteiktie standarti paredzēti, lai novērstu augu aizsardzības līdzekļu atlieku uzkrāšanos saražotajā produkcijā, augsnē un ūdenī virs atļautajām normām.

Novākšana. Pastāv 3 veidu novākšanas veidi, proti, vākšana ar rokām, ar kombainu, kurš augus paceļ aiz lakstiem, kā arī kombainu, kur saknes izrok, līdzīgi kā kartupeļu kombains. Ar rokām tiek vākts, ja jāgatavo buntītes vai burkānu platība nav liela. Plaši tiek pielietota burkānu izcelšana aiz lakstiem (top – lift), kur burkāns tiek izcelts, tad tiek nogriezti tā laksti, un sakne tiek transportēta uz konteineru. Svarīgi uzsvērt, ka, šādi vācot, minimālais burkānu lakstu garums ir 25 cm. Kombains – racējs, piemēram, no kompānijas Grimme, paredzēts ziemas ražas novākšanai, kas gan pašlaik nav raksturīgi Latvijai, jo šinī reģionā ir pārāk zemas temperatūras, lai burkānus glabātu uz lauka augsnē zem salmiem, plēves vai augsnes. Piemēram, Zviedrijas Dienvidos ir prakse burkānus neglabāt glabātuvēs, bet novākt no laukā, bet šinī laikā burkānam vairs nav lakstu, tāpēc izmanto racēju, kas arī noderīgs, ja burkānu lapas lūst vai tās ir lapu plankumainību spēcīgi skartas. Dienvidāfrikas Republikā racēju izmanto, ja burkānu laksti ir krusas vētras skarti. Ja burkāni tiek vākti glabāšanai, tie jāvēc, kad augsnes temperatūra ir +10 °C līdz +12 °C, it īpaši, ja

nav speciālas uzglabāšanas kameras, kur var regulēt temperatūru. Burkāni ir jānovāc līdz brīdim, kad augšnes temperatūra kļūst zemāka par 0 °C (Bankina, Bimšteine, Lepse, 2014).

Glabāšana. Vislabāk burkānus ir glabāt konteineros, lai būtu gaisa apmaiņa. Šādi burkānus var glabāt līdz pat 7 mēnešiem. Nav ieteicams tos glabāt stirpās vai bērumos, kaut gan tā mēdz darīt, ja resursi nav pietiekami. Pēc ražotāju un ekspertu ieteikumiem vislabāk ir glabāt koka konteineros ar spraugām, jo svarīgi nodrošināt ventilāciju, šādus konteinerus ir viegli pārvietot gan ar traktora frontālo iekrāvēju, gan ar palešu iekrāvēju, turklāt šādus konteinerus var pārvietot ar palešu ratiņiem, ja ir tāda vajadzība. Noliklavā gaisa temperatūrai ir jābūt no 0 līdz +2 °C, bet gaisa mitrumam ir jābūt 95 – 98% (Carrot by Vilmorin; Bankina, Bimšteine, Lepse, 2014). Jāglabā ir nemazgāti burkāni, jāizvairās no bojātu burkānu glabāšanas, taču jāuzsver, ka, mehanizēti novācot, ir sarežģīti izvairīties no bojātu burkānu sakņu klātbūtnes konteineros, tāpēc ir jāveic regulārs konteineru monitorings, kad tiek veiktas piezīmes par burkānu glabāšanos. Turklāt pirms burkānu ievēšanas noliklavā, tā ir jāiztīra un jādezinficē, to var veikt arī pēc noliklavas iztukšošanas pavasarī.

Burkānu kvalitātes rādītāji, ķīmiskais sastāvs: Vairākos pētījumos ir pierādīts, ka garšai un krāsai ir liela nozīme, lai piesaistītu potenciālo burkānu pircēju (Barrett, Beaulieu, Shewfelt, 2010). Garšu nosaka cukuru saturs, organiskās skābes, polifenoli un citas vielas. Katrai šķirnei ir specifiska garša, kura to raksturo (Kjellenberg, 2007). Paši svarīgākie nosacījumi, lai burkānu saknes varētu tirgot svaigā veidā, ir: saknes izmērs, forma (šie parametri pārsvarā atkarīgi no tipa), vienmērība, krāsa, tekstūra, uzturvērtība, bioloģiskā vērtība (Mazza, 1989).

Vidēji 100 g burkānu enerģiskā uzturvērtība ir 41 kcal. Svaigos burkānos ir augsts A vitamīna saturs, tas ir, 835 µg RAE, tajos aptuveni ir 88% ūdens, kamēr proteīni ir 1.0 g 100g⁻¹, tauki 0.2 g 100g⁻¹, šķiedrvielas 2.8 g 100g⁻¹. Parasti dažādu šķirņu un krāsu burkāniem vitamīnu, izņemot A vitamīnu, kurš ir atkarīgs no karotīna, minerālvielu, šķiedrvielu, ogļhidrātu, proteīna, tauku sastāvs ir līdzīgs, kamēr antioksidantu saturs var atšķirties. Tā oranžie burkāni ir bagāti ar karotīnu, violette ar antociānīniem, sarkanie ar likopēnu, dzeltenie ar luteīnu. Dzeltenā, oranžā un sarkanā krāsa burkānu saknēs rezultējās noteiktu karotinoīdu dēļ. Šos karotinoīdus var iedalīt karotīnos un ksantofilos. Ksantofili piešķir dzelteno krāsu, tos saista ar acu veselību un tie samazina plaušu vēža risku. Likopēns ir karotīns, kurš arī atrodas sarkanajos tomātos, un tas samazina sirds slimību risku. Antociānīni daudz atrodas violetajās burkānu saknēs. Antociānīni ir ūdenī šķīstoši pigmenti, kas darbojas kā spēcīgi antioksidanti, imobilizējot brīvos

radikāļus. Turklāt antocianīni var palīdzēt samazināt sirds slimību risku, palēninot asins recēšanu (Arscott, Tanumihardjo, 2010).

Ģenētiskais fons šķiet ir vissvarīgākais faktors cilvēka kontrolē, lai mainītu burkānu uzturvērtību un vizuālo izskatu. Liels kvalitatīvo īpašību skaits, kuras nosaka dažādas vielas: terpēni, cukuri, barības vielas, karotīni, ir nosakāmas un selekcijas darba rezultātā izmaināms to īpatsvars. Ģenētiskais faktors jeb šķirnes izvēle nepašaubāmi visvairāk ietekmē kvalitātes un sastāva radītājus.

Tika noteikts, ka krāsainie burkāni veido atšķirīgas grupas attiecībā pret cilvēku maņām. Oranžajiem burkānu genotipiem bija raksturīga ievērojami lielāka burkānu garšas un aromāta intensitāte, savukārt, dzeltenajām burkānu šķirnēm šie rezultāti bija pretēji, proti, zemi. Violetajām burkānu saknēm bija raksturīga ievērojami lielāka intensitāte saldajai garšas izjūtai, kā arī šīm saknēm bija raksturīgs specifisks aromāts, sarkanajiem burkāniem bija raksturīga ievērojami lielāka garšas intensitāte, kas asociējas ar rūgtumu un spēcīgu pēcgaršu. Pētījuma laikā tika noteikta pozitīva korelācija starp terpēnu saturu un rūgto garšu (Kreutzmann, Thybo, Christensen, 2008). Barības vielu daudzums starp dažādu krāsu burkānu šķirnēm arī var būt ļoti mainīgs.

Burkānos esošie pigmenti ir pētīti saistībā ar šo savienojumu ietekmi uz veselību, tostarp aizsardzību pret dažiem vēža veidiem un sirds un asinsvadu slimībām (Brown, Hasler, 2009), arī atsevišķas burkānu sēklu audzētāju kompānijas uzsver krāsaino burkānu šķirņu pozitīvo ietekmi uz cilvēka veselību, piemēram to, ka paaugstinātā luteīna satura dēļ, dzeltenie burkāni profilaktiski ir lietojami, lai uzlabotu redzi, izvairītos no kardiovaskulārām slimībām. Var šķist, ka šī informācija ir maldinoša, kaut gan šajos bukletos tiek minēts, ka informācija tiek balstīta uz zinātniskiem pētījumiem. Patiesi, pēc iegūtās informācijas no dažādiem pētījumiem var apgalvot, ka dažādi pigmenti burkānu sastāvā ir ļoti precīzi noteikti un nosaka burkānu krāsojumu un to darbībai var būt pozitīva ietekme uz cilvēka veselību, kā iepriekš tika minēts (Arscott, Tanumihardjo, 2010; Barański, Kamińska, Maksylewicz-Kaul et al., 2010). Karotinoīdi un to īpatsvars nosaka dzelteni, oranži un sarkano burkānu krāsu. Biežāk tieši beta – karotīns reprezentē lielāko daļu karotīna, tas ir, 50% un vairāk. Ksantofili ir karotinoīdi ir atbildīgi par dzelteni sakņu krāsu, bet likopēns nosaka sarkano krāsu. Parasti floēmā ir vairāk karotinoīdi (Baranska, Baranska, Schulz et al., 2006). Antocianīni, polifenolu savienojumi, ir atbildīgi par violetu burkānu krāsu. Turpretī baltajiem burkāniem ir pigmentu trūkums, taču tajos ir daudz aromātsavienojumu, kuri ir atbildīgi par burkānu aromātu, piemēram, šķirnei ‘White Satin’ bija augstāks šo vielu saturs nekā

dzeltenajām, sarkanajām, violetajām un oranžajām burkānu sakņu šķirnēm (Habegger, Schnitzler, 2005). Aromāts un tā īpašības ir būtisks, lai piesaistītu patērētāju. Pēc burkāna genoma sekvenēšanas 2016. gadā tika noskaidrots, ka pigmentus burkānu saknēs nosaka 2 recesīvi gēni, tāpēc tika pieņemts, lai saknēs veidotos karotinoīdi burkānam ir jābūt abiem gēniem, kas arī izskaidro neparasti pēkšņo krāsaino sakņu parādīšanos vēstures gaitā. Šie gēni strādā ar gēniem, kuri ir iesaistīti, lai fiksētu gaismu, kas ir pārsteidzoši, jo saknes atrodas augsnē un nav fotosintezējošas (Iorizzo, Ellison, Senalik, 2016). Interesantu šo atklājumu padara tas, ka augi nodrošina sevi ar barošanu, izmantojot fotosintēzi. Tā kā burkānu saknes atrodas augsnē, tām nav nepieciešami tādi fotosintēzes procesā iesaistīti pigmenti kā karotinoīdi, kuri tur gan atrodas, kas ir visnotaļ ietvarā arvien vairāk pierādīja, ka pigmenti būtiski neietekmē burkānu garšu. Patērētāju interese par veselīgu pārtiku, kas ir bagāta ar šīm vielām, pieaug. Daudzi dārzeņu audzētāji un selekcijas kompānijas veic un stimulē krāsaino burkānu šķirņu attīstību un selekciju, lai uzlabotu to uzturvērtību, vizuālo izskatu un veiksmīgu to nodrošinājumu patērētājiem (Haq, Prasad, 2018).

Izmantotā literatūra:

1. Arscott S. A., Tanumihardjo S. A. (2010). Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, Vol. 9, p. 223 – 239.
2. Bach V., Kidmose U., Kristensen H. L. et al (2015). Eating Quality of Carrots (*Daucus carota* L.) Grown in One Conventional and Three Organic Cropping Systems Over Three Years. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 63, p. 9803 – 9811.
3. Bankina B., Bimšteine G., Lepse L. (2014). *Kāpostu, burkānu, sīpolu slimības un to ierobežošanas iespējas*. Jelgava: LLU. 104 lpp.
4. Baranska M., Baranska R., Schulz H. et al (2006). Tissue – specific accumulation of carotenoids in carrot roots. *Planta*, Vol. 224, p. 1028 – 1037.
5. Barański R., Kamińska I., Maksylewicz – Kaul A. et al (2010). Characterisation of carrots of various root colour. *Ecological chemistry and engineering*, Vol. 17, No. 9.
6. Barrett D. M., Beaulieu J. C., Shewfelt R. (2010). Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh – Cut Fruits and Vegetables Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 50, p. 369 – 389.

7. Bender I., Moor U., Luik A. (2015). The effect of growing systems on the quality of carrots. *In: Annual 21st ISC Research for Rural Development 2015*, Volume 1. Jelgava: Latvia University of Agriculture, p. 118 – 123.
8. Bratacu Gh., Florea C. C., Martin A. L. (2013). Research on carrot drying by means of solar energy. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, Vol. 6, p. 91 – 98.
9. *Carrot by Vilmorin*. Vilmorin. 63 p
10. Evers A. M., Tuuri H., Hagg M., Plaami S., Häkkinen U., Talvitie H. (1997). Soil forming and plant density effects on carrot yield and internal quality. *Plant Foods for Human Nutrition*, Vol. 51, p. 283 – 294.
11. Habegger R., Schnitzler W. H. (2005). Aroma compounds of coloured carrots (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* Hoffm.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, Vol. 79, p. 130 – 135.
12. Drudze, A. Dembrovskis, M. Gailīte, L. Lepse u.c. (2007). *Dārzenkopība*: A. Vērđiņa red. 284 lpp.
13. Iorizzo M., Ellison S., Senalik D. (2016). A high – quality carrot genome assembly provides new insights into carotenoid accumulation and asterid genome evolution. *Nature Genetics*, Vol. 48, p. 657 – 666.
14. Kimmer T. W., Kozlowski T. T. (1982). Ethylene, ethane, acetaldehyde, and ethanol production by plants under stress. *Plant physiology*, Vol. 69, p. 840 – 847.
15. Kjellenberg L. (2007). *Sweet and bitter taste in organic carrot*. Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences. 46 p.
16. Kreutzmann S., Thybo A. K., Christensen L. P. (2008). The role of volatile compounds on aroma and flavour perception in coloured raw carrot genotypes. *International Journal of Food Science & Technology*. Vol. 43, p.1619 – 1627.
17. Lauridsen C., Kretschmar U., Seljasen R. et al (2013). Quality of carrots as affected by pre – and postharvest factors and processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 93, p. 2611 – 2626.
18. Lauridsen C., Kretschmar U., Seljasen R. et al (2013). Quality of carrots as affected by pre – and postharvest factors and processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 93, p. 2611 – 2626.
19. Luo Y., Suslow T., Cantwell M. (2008). Carrot. *In: Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*. New York: Springer Nature, p. 327 – 357.
20. Mazza G. (1989). Carrots. *In: Quality and Preservation of Vegetables*, Boca Raton: CRC Press, p. 75 – 119

21. Miernicki E. A., Lovell S. T., Wortman S. E. (2018). Raised beds for vegetable production in urban agriculture. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, Vol. 3, p. 1 – 10.
22. Paoletti F., Raffo A., Kristensen H. L. et al (2012). Multi – method comparison of carrot quality from a conventional and three organic cropping systems with increasing levels of nutrient recycling. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 92, p. 2855 – 2869.
23. Quezada C., Fischer S., Campos J., Ardiles D. (2010). Water requirements and water use efficiency of carrot under drip irrigation in a haploxerand soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 11, p. 16 – 28.
24. Quiros C. F., Rubatzky V. E., Simon P. W. (2007). *Carrots and related vegetable Umbelliferae*. Cambridge: CABI Publishing. 294 p.
25. Seljasen R., Lea P., Torp T. et al (2012). Effects of genotype, soil type, year and fertilisation on sensory and morphological attributes of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 92, p. 1786 – 1799.
26. Simon P. W., Tanumihardjo S. A., Clevidence B. A. et al (2008). Role of color and pigments in breeding, genetics, and nutritional improvement of carrots. *In: Color quality of fresh and processed foods*. ACS Symposium Series. Washington D.C.: ACS Books, p. 151 – 166. Habegger, Schnitzler, 2005
27. K. Vahejoe, H. Luik, K. Karp, P. Poldma (2011). *Dārzkopības rokasgrāmata (burkāni, ķiploki, dobju gurķi, zemenes, dārza mellenes, upenes)*. 75 lpp.

8.4.1. Pētījuma metodika

2024. gada maija beigās veica burkānu sēju, audzētā šķirne ‘Nantes 2’ F1, (Vilmorin), veģetācijas periods 110 dienas pēc sadīgšanas. Augsnes apstākļi pētījuma vietā: apraktā augsne, pH KCl 6.82-7.10, OV saturs robežās 5.25 - 5.39%, K₂O saturs 137 – 144 mg kg⁻¹, P₂O₅ saturs 330 – 374 mg kg⁻¹.

Ar aļģu ekstraktiem burkāni smidzināti 5 reizes, sākot ar pirmo lapu fāzi (no jūnija sākuma), pielietoja šādus mikroaļģu ekstraktu veidus un koncentrācijas, kā arī kontroles variantus:

8.4.1. 1. tabula

Pētījuma varianti ražojošajā burkānu stādījumā 2024. gadā

Varianti	C - koncentrācija, %	
	C1	C2

A1 – <i>Spirulina platensis</i>	10	20
A3 – <i>Chlorella vulgaris</i>	10	20
A3 – <i>Graesiella emersonii</i>	4	8
A4 – <i>Tetradesmus obliquus</i>	4	8
K1 – etanols	2	
K2 – etanols	4	
K0 – dzeramais ūdens	0	

Veģetācijas periodā novērtēja sadīgšanas ātrumu, ražu, veica arī ražas ķīmiskās analīzes.

Pētījumi sadarbības partneru saimniecībās.

SIA “VA AGRO” platībās bija ierīkots arī izmēģinājums burkānu sējumos 4 atkārtojumos apm. 300 m² platībā. No šī izmēģinājuma ievākti paraugi bioķīmiskā sastāva analīzēm, kur noteikta šķīstošā sausna, karotīni, C vitamīns, titrējamā skābe u.c. parametri.



8.4.1. 1. attēls. Sadarbības partnera SIA “VA AGRO” veiktie smidzinājumi

8.4.2. Iegūtās dārzeņu produkcijas ķīmisko analīžu noteikšanas metodika.

Dārzeņu ķīmiskās analīzes veiktas LBTU LPTF laboratorijā vadošās pētnieces, Dr. sc. ing. Ingrīdas Augšpoles vadībā. LBTU audzētajiem tomātiem analīzes veiktas gan 2023., gan 2024. gados, burkāniem – 2024. gadā, savukārt sadarbības partneru saimniecībās izaudzētajai produkcijai – 2024. gadā.



8.4.2. 1. attēls. Analīzēm sagatavoti LBTU izaudzētie burkāni, 5.10.2024. (I. Sivickas foto).

pH satura noteikšanu veica atbilstoši standartam LVS ISO 1132:2001, izmantojot pH metru *Jenway 3510 pH Meter*. Analīzes ir veiktas desmit atkārtojumos.

Sausnas saturs tomātos noteikts atbilstoši standartam ISO 6496:1999 ar gravimetrijas metodi. Analīzes ir veiktas piecos atkārtojumos.

Šķīstošās sausnas satura noteikšana, °Brix noteikta atbilstoši standartam ISO 2173:2003 ar refraktometru (*KRUSS HR18 Manual Refraktometer*, Vācija). Analīzes ir veiktas desmit atkārtojumos.

Hlorofilu un karotinoīdu saturu augļos noteica izmantojot spektrometrisko metodi, to modificējot (Lichtenthaler, Buschmann, 2001). Blenderī sasmalcināja augļu masu un 1 ± 0.001 g pārnesa graduētā mēģenē un uzpildīja ar etilspirtu līdz 10 mL atzīmei. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Savukārt, noteikšanai **lapās**, no tām izspiestus 10 lapu diskus (0.6 cm diametrā) ievietoja piestiņā un saberza, līdz masa kļuva homogēna. Iegūto

masu pārnesa graduētā mēģenē un uzpildīja ar etilspirtu līdz 10 mL atzīmei. Visiem paraugiem spektrofotometriski (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”) noteica absorbciju pie 665 nm (A₆₆₅), 649 nm (A₆₄₉) un 440 nm (karotinoīdiem) viļņu garumiem un aprēķināja hlorofilu daudzumu (C) mg L⁻¹. Hlorofilu saturs auga materiālā izteikts mg 100 g⁻¹ svaigas masas:

- hlorofils a (mg mL⁻¹) $c_{Chla} = 13.36A_{664} - 5.19A_{649}$
- hlorofils b (mg mL⁻¹) $c_{Chlb} = 27.43A_{649} - 8.12A_{664}$
- kopējais hlorofilu saturs (mg mL⁻¹) $c_{a+b} = c_{Chla} + c_{Chlb}$
- attiecība starp hlorofilu a un hlorofilu b = $\frac{c_{Chla}}{c_{Chlb}}$
- kopējie karotenoīdi (mg mL⁻¹) $c_{c+x} = \frac{1000A_{470} - 2.13c_{Chla} - 97.63c_{Chlb}}{209}$

Askorbīnskābes noteikšana veikta (mg 100 g⁻¹) noteikts, izmantojot titrimetrisko metodi ar 2,6-dihlorfenolindolfenolu (AOAC, 1990). Blenderī sasmalcināja masu, 50 ml centrifūgas stobriņā iesver 2 ± 0.001 g sasmalcinātā parauga. Katram pievieno 50 ml 1% HCl un 5% H₃PO₄ maisījuma (v : v = 1 : 1) un rūpīgi samaisa. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). C vitamīna satura noteikšanai ar Mora pipeti atmēra 5 mL filtrāta, ko titrē ar 0.0005 molāru 2,6-dihlorfenolindolfenolu līdz vāji sārtai krāsai. C vitamīna satura (mg 100 g⁻¹) aprēķināšanai izmantots vienādojums:

$$m = \frac{V_{titr} \times 0.044 \times V_{kop} \times 100}{V_{anal} \times m_{iesvars}}$$

kur:

V_{titr} – titrēšanai izlietotais 2, 6 dihlorfenolindolfenola tilpums, mL;

0.044 – askorbīnskābes daudzums, ko reducē 1 mL 0.0005 M 2, 6 dihlorfenolindolfenola šķīdums, mg;

V_{kop} – kopējais filtrāta tilpums, mL;

V_{anal} – titrēšanai ņemtais analizējamā šķīduma tilpums, mL;

$m_{iesvars}$ – parauga iesvars, g.

Antociānu satura noteikšanai izmantoja spektrofotometrisko metodi saskaņā ar (Kerch et al., 2011, (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”) pie viļņa garuma 540 nm. 20 g parauga tika

aplieti ar 40 g etanola un 1,5 M HCl šķīdumu (85:15 pēc tilpuma). Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Ar spektrofotometru tika noteikta gaismas absorbcija pie 535 nm. Paraugu atšķaidīja, līdz absorbcijas koeficients bija no 0.6 līdz 0.8 (Ozola et al., 2017, Moor et al., 2005).

Fenolu saturu noteica izmantojot spektrofotometrisko metodi (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”) to modificējot. Noteikšanai 1 ± 0.01 g parauga ievietoja graduētā mēģenē, pievienoja 10 mL metanola-ūdens-sālsskābes šķīduma (79:20:1 v/v/v), kratīja 30 minūtes, tad separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Šķīduma gaismas absorbcija tika nolasīta pie viļņa garuma 320 nm (A_{320}). Fenolu saturu augu materiālā (mg GAE g^{-1}) aprēķināja, izmantojot vienādojumu.

$$m = \frac{A_{320} - 0.09}{0.009 \times m_{iesvars}}$$

kur:

A_{320} – absorbcija, kas eksperimentāli noteikta pie 320 viļņu garuma;

iesvars – parauga iesvars, g

m – fenolu saturs augu materiālā (Singleton et al., 1999).

Likopēna un β -karotīna saturu noteica, izmantojot spektrofotometrisko metodi (spektrofotometrs “SHIMAZU UV-1800”). Blenderī sasmalcināja masu un 1.0 ± 0.001 g pārnesa graduētā mēģenē un uzpildīja ar tetrahidrofurānu līdz 10 mL atzīmei. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Šķīduma gaismas absorbcija tika nolasīta pie viļņa garuma 663, 645, 505 un 453 nm. Lycopēns un β -karotīns tika aprēķināts pēc šādām formulām:

$$Lyc = (0.0458 * A_{663}) + (0.2044 * A_{645}) + (0.372 * A_{505}) - (0.0806 * A_{453})$$

$$B_{car} = (0.216 * A_{663}) - (1.22 * A_{645}) - (0.304 * A_{505}) + (0.452 * A_{453})$$

Titrējamās skābes (mg 100 g^{-1}) noteica, izmantojot titrimetrisko metodi. Tika nosvērts paraugs 2 ± 0.01 g no biezeņa graduētā mēģenē un pievieno destilētu ūdeni līdz 20 ml. Sagatavotos paraugus ievietoja uz 30 minūtēm kratītājā ar 150 apgriezieniem minūtē, pēc tam 3 minūtes separēja centrifūgā (6000 apgriezieni minūtē). Ar Mora pipeti atmēra 5 mL filtrāta, ko titrē ar 0, 1 M NaOH fenolftaleīna klātbūtnē.

$$TA = \frac{V_{NaOH} \times V_t}{V_s \times m}$$

kur:

TA – titrējamā skābe (Titratable Acidity)

V_{NaOH} – izlietotā 0,1 M NaOH tilpums,

V_t – kopējais tilpums (20 ml)

V_s — parauga tilpums (5 ml).

Rezultātus izsaka kā citronskābes mg uz 100 g svaigu tomātu svārs.

1 ml 0.1 M NaOH atbilst 6,4 mg citronskābe.

Brieduma indekss (BI) avenēs un tomātos tika aprēķināts pēc formulas: ŠSS / TSS, bet **garšas indekss** (GI) avenēs un tomātos tika aprēķināts pēc formulas:

$$GI = \frac{\text{ŠSS}}{20 \times TSS} + TSS$$

kur:

TSS = titrējamais skābes saturs,

ŠSS = Šķīstošā sausna, °Brix (DOBRIN et al., 2019).

Rezultātu matemātiskā apstrāde. Iegūto datu apstrāde veikta ar matemātiskās statistikas metodēm, iegūtajiem rezultātiem aprēķināti vidējie aritmētiskie lielumi ar *Microsoft Excel* 16 programmas paketi. Būtiskuma noteikšanai rezultāti tika analizēti ar programmpaketi *SPSS* 20, izmantojot šādas testēšanas metodes: vienfaktora un divfaktoru dispersijas analīzi (*ANOVA*). Dispersijas analīzē atšķirību skaidrošanai starp pētītajiem paraugiem izmantots *Scheffe* kritērijs. Faktoru būtiskuma novērtēšanā, lai noteiktu ietekmi un mijiedarbību starp tiem, izmantota p–vērtība. T–tests izmantots divu ģenerālkopu parametriem. Pazīmju sakarību ciešums starp analizētajiem rādītājiem noteikts pēc Pīrsona (*Pearson*) metodes (Arhipova, Bāliņa, 2006).

Izvērtējot dažādu pazīmju savstarpējo kopsakarību, lietota korelācijas un regresijas analīze un mazāko kvadrātu metode. Ja sakarība starp pazīmēm ir lineāra, determinācijas koeficients sakrīt ar korelācijas koeficientu: R^2 vienāds ar r . Ja korelācijas koeficienta vērtība ir $0,5 \leq |r| \leq 0,8$, starp pētāmajām pazīmēm ir vidēji cieša lineārā sakarība. Ja $|r| \geq 0,8$, tad starp pētāmajām pazīmēm ir cieša lineārā sakarība (Arhipova, Bāliņa, 2006).

Izmantotā literatūra.

1. MacDougall, D.B. (2002) Colour measurement of food: principles and practice. *In: Colour in Food: Improving Quality*. Ed.: D.B. MacDougall. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, pp. 33–63.
2. Arhipova I., Bāliņa S. (2003) *Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SSPS un Microsoft Excel*. Rīga: Datorzinību centrs, 352 lpp.
3. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, Vol. 1, No. 1, p. 1–8.
4. Moor, U., Karp, K., Pöldma, P. & Pae, A. 2005. Cultural systems affect content of anthocyanins and vitamin C in strawberry fruits. *Eur. J. Hortic. Sci.* 70(4), 195-201.
5. Dūma M., Alsīņa I., Dubova L., Zeipiņa S. (2014). Titrimetrisko metožu salīdzinājums askorbīnskābes noteikšanai dārzeņos. No: Līdzsvarota lauksaimniecība, Zinātniski praktiskās konferences Raksti (2014. gada 20.–21. februāris), Jelgava: LLU, 131.–135. lpp.
6. Moor U., Karp K., Pöldma P., Pae A. (2005). Cultural systems affect content of anthocyanins and vitamin C in strawberry fruits. *European Journal of Horticultural Science*, Vol. 70, Issue 4, p. 195–201.
7. Singleton V.L., Orthofer R.M., Lamuela-Raventos R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioksidants by means of Folin – Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, Vol. 299, p. 152–178.
8. Dobrin A., Nedelus A., Bujor O., Mot A., Zugravu M., Badulescu A. (2019). Tomato nutritional quality parameters of the fresh red tomato varieties cultivated in organic system. *Horticulture. Scientific Papers. Series B*, Vol. LXIII, No. 1., pp. 439-443.
9. Kerch, G., Sabovics, M., Kruma, Z., Kampuse, S., & Straumite, E. (2011). Effect of chitosan and chitooligosaccharide on vitamin C and polyphenols contents in cherries and strawberries during refrigerated storage. *European Food Research and Technology*, 233(2), 351 – 358. DOI: 10.1007/s00217-011-1525-6.
10. Ozola, L., Kampuse, S., & Galoburda, R. (2017). The effect of high-pressure processing on enteral food made from fresh or semi-finished ingredients. In 11th Baltic Conference on Food Science and Technology, pp. 80 – 85.

8.4.3. Rezultāti

Pētījuma laikā visos variantos nebija novērota ekstrakta veida un tā koncentrācijas negatīva ietekme uz burkānu augšanu un attīstību. Burkāni sadīga līdz 10 dienu laikā, to attīstība notika labi.



8.4.3. 1. attēls. Burkāni veģetācijas sākumā (I. Sivickas foto).

Ražība, kg m^{-2} , svārstījās no **3.23** (kontroles variants ar dzeramo ūdeni) līdz **12.03** (*Chlorella*, 10%). Būtiska koncentrācijas ietekme ($p < 0.05$) uz ražu bija novērota, bet ekstrakta veidam tā nebija būtiska ($p > 0.05$). Dati par bioķīmisko sastāvu LBTU audzētajiem burkāniem **sniegti Ingrīdas Augšpoles pārskatā** (*Dārzeņu bioķīmiskie rādītāji 2024. gadā*). Svarīgākie dati būtu, ka sausnas saturs svārstījās no **7.26%** (kontrolē, 4%) līdz **13.18%** (*Chlorella*, 10%), bet BRIX° saturs – no **9.28** (kontrolē, dzeramais ūdens) līdz **11.88** (*Chlorella*, 10%).



8.4.3. 2. attēls. Burkānu raža novākšanas laikā (I. Sivickas foto).

2024. gadā, veicot pētījumu sadarbības partnera saimniecībā, burkānu raža netika uzskaitīta, bet vizuāli lauka apstākļos preparātu atšķirības netika novērotas.



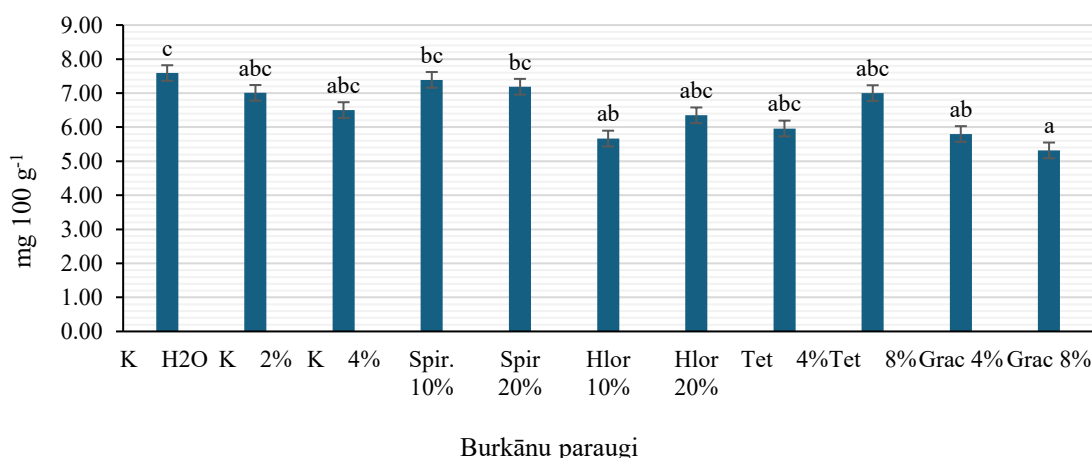
8.4.3. 3. attēls. Burkānu attīstība veģetācijas laikā SIA “VA AGRO” (I. Sivickas foto)

Parauglaukumos novāktajiem burkāniem veikta ražas bioķīmiskā sastāva noteikšana, bet interesanti, ka sausnas saturs ir bijis daudz augstāks 18.37-19.70%, salīdzinot ar LBTU audzētajiem burkāniem. Arī BRIX° saturs LBTU audzētajiem burkāniem bija daudz zemāks, jo SIA “VA AGRO” tas svārstījās no 14.55 (kontroles variants ar dzeramo ūdeni) līdz 17.40 (*Chlorella*, 5%). **Atšķirības skaidrojamas**, ka abās vietās tika audzētas dažādas šķirnes.

Bioķīmiskie rādītāji burkānos

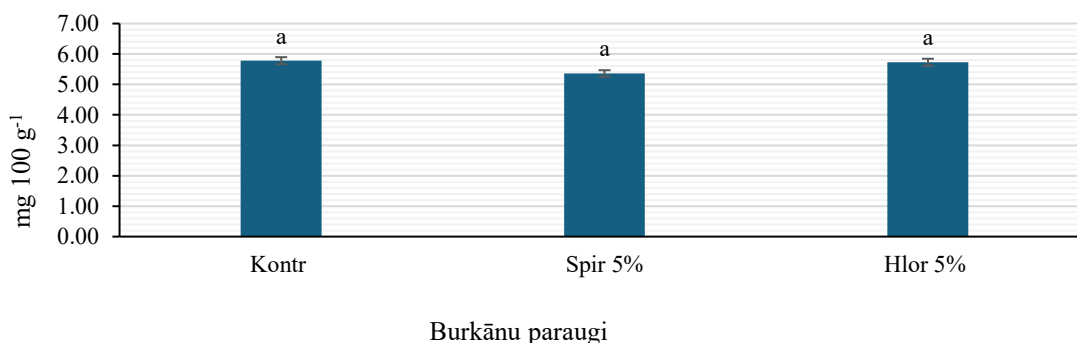
Karotinoīdu saturs burkānos

Burkānos β -karotīna saturs LBTU bija noteikts no 5,32 līdz 7,59 mg 100 g⁻¹. Būtiski augstāks β -karotīna saturs burkānos bija kontroles paraugā (K H₂O) un apstrādātos ar mikroaļģu ekstraktu Spir 10% un Spir 20%, attiecīgi, 7,59 līdz 7,19 mg 100 g⁻¹. Pētījumā noteikts, ka β -karotīna saturs burkānu paraugos būtiski samazinājās – par 29,92% ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$) apstrādātos ar mikroaļģu ekstraktu Grac 8% un vidēji par 23,59% apstrādātos ar mikroaļģu ekstraktiem Hlor 10% un Grac 4%, salīdzinot ar kontroles burkānu paraugu K H₂O (skat. attēls).



8.4.3. 4. attēls. β-karotīna saturs burkānos LBTU

Matemātiskā datu apstrāde veikta atsevišķi SIA “VA AGRO” saimniecībā audzētiem burkāniem. Pētījuma rezultāti liecina, ka burkānos β-karotīna saturs bija noteikts no 5,36 līdz 7,78 mg 100 g⁻¹, Atšķirīgu mikroaļģu ekstraktu Spir 5% un Hlor 5% iedarbība uz burkānu β-karotīna saturu būtiski neatšķīrās ($p>0,05$; $\alpha=0,05$).

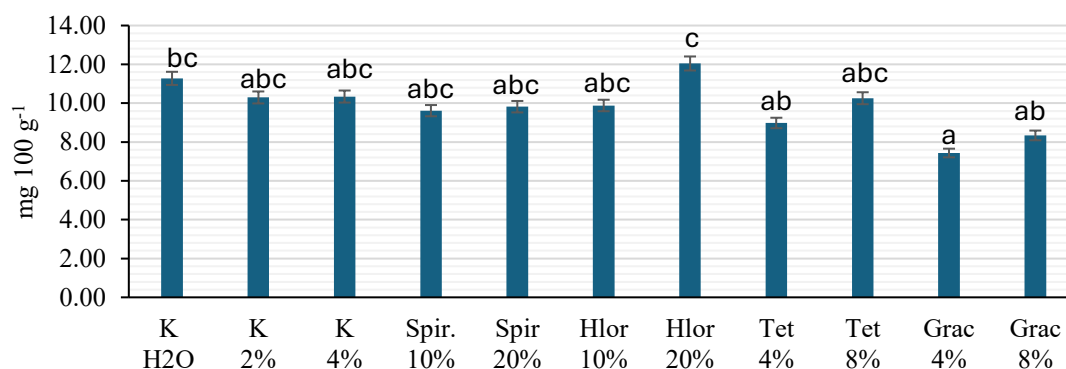


8.4.3. 5. attēls. β-karotīna saturs burkānos SIA “VA AGRO”

C vitamīna saturs burkānos

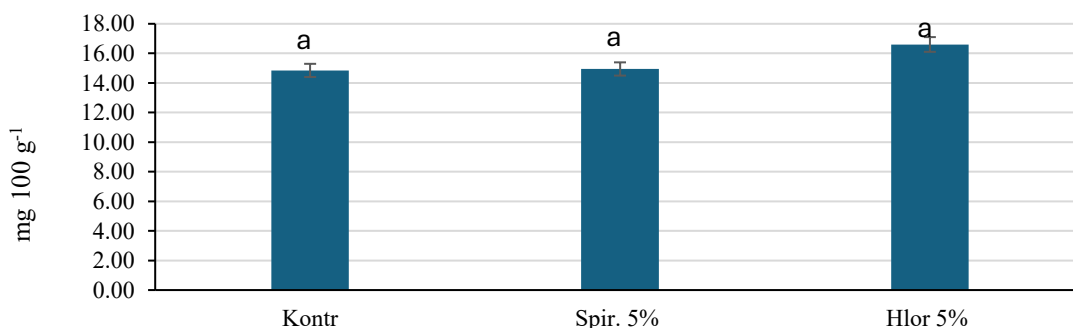
LBTU audzētajos burkānos C vitamīna saturs bija noteikts no 7,43 līdz 12,04 mg 100 g⁻¹. C vitamīna saturs burkānos atkarībā no pētījumā izmantotā mikroaļģu ekstrakta vienādos audzēšanas apstākļos uzrāda būtiski atšķirīgus rezultātus. Būtiski mazāks C vitamīna saturs bija burkānos apstrādātos ar mikroaļģu ekstraktiem: Grac 4% ($7,41 \pm 0,27$ mg 100 g⁻¹) ($p=0,026$; $\alpha=0,05$), Tet 4% ($8,98 \pm 0,07$ mg 100 g⁻¹) un Grac 8% ($8,34 \pm 0,11$ mg 100 g⁻¹). Savukārt C vitamīna saturs burkānos būtiski palielinājās (par 6,37%) apstrādātos ar mikroaļģu ekstraktu

Hlor 20% ($12,04 \pm 0,12$ mg 100 g⁻¹), salīdzinājumā ar kontroles burkānu paraugu K H₂O ($11,28 \pm 0,09$ mg 100 g⁻¹).



Burkānu paraugi
8.4.3. 6. attēls. C vitamīna saturs burkānos LBTU

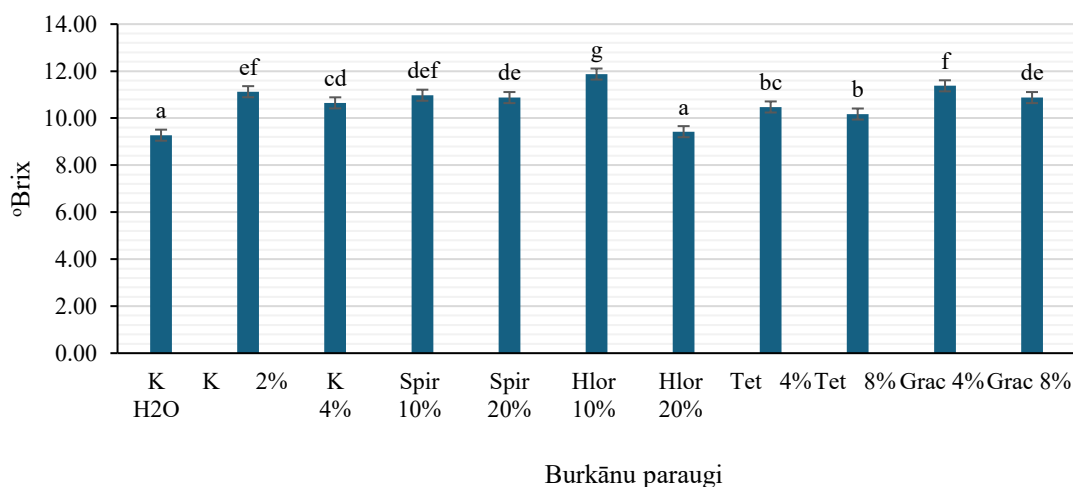
SIA “VA AGRO” burkānos C vitamīna saturs bija noteikts no 14,85 līdz 16,60 mg 100 g⁻¹ ($p=0,373$; $\alpha=0,05$).



Burkānu paraugi
8.4.3. 7. attēls. C vitamīna saturs burkānos SIA “VA AGRO”

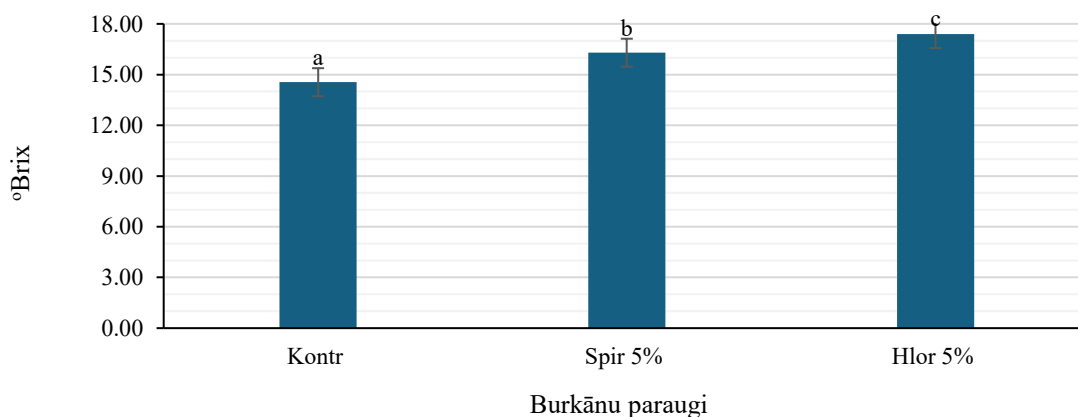
Šķīstošās sausas satur burkānos

LBTU burkānos šķīstošās sausas saturs bija noteikts no 9,28 līdz 11,88 °Brix. Veicot iegūto eksperimentālo datu matemātisko apstrādi noteikts, ka kontroles burkānu paraugs (K H₂O) savstarpēji būtiski neatšķīrās ar Hlor 20% ($p=0,974$; $\alpha=0,05$) (skat. attēlu), uzrādot būtiski zemākus °Brix rādītājus, salīdzinot ar burkānu paraugiem apstrādātiem ar Hlor 10% un Grac 4%. Pētījumā noteikts, ka °Brix saturs burkānu paraugos būtiski palielinājās – par 21,89% un 18,46% ($p<0,05$; $\alpha=0,05$) apstrādātos ar mikroaļģu ekstraktiem, attiecīgi, Hlor 10% un Grac 4%, salīdzinot ar kontroles burkānu paraugu K H₂O (skat. attēlu).



8.4.3. 8. attēls. Šķīstošās sausas satur burkānos LBTU

SIA “VA AGRO” burkānos šķīstošās sausas satur bija noteikts no 14,55 līdz 17,40 °Brix ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$). Salīdzinot ar kontroles paraugu K H₂O, būtiski augstāks °Brix saturs ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$) bija burkānos apstrādātos ar mikroaļģu ekstraktu Hlor 5%, kur °Brix saturs palielinājās par 16,38% un Spir 5%, kur °Brix saturs burkānos palielinājās par 10,69% (skat. attēlu).

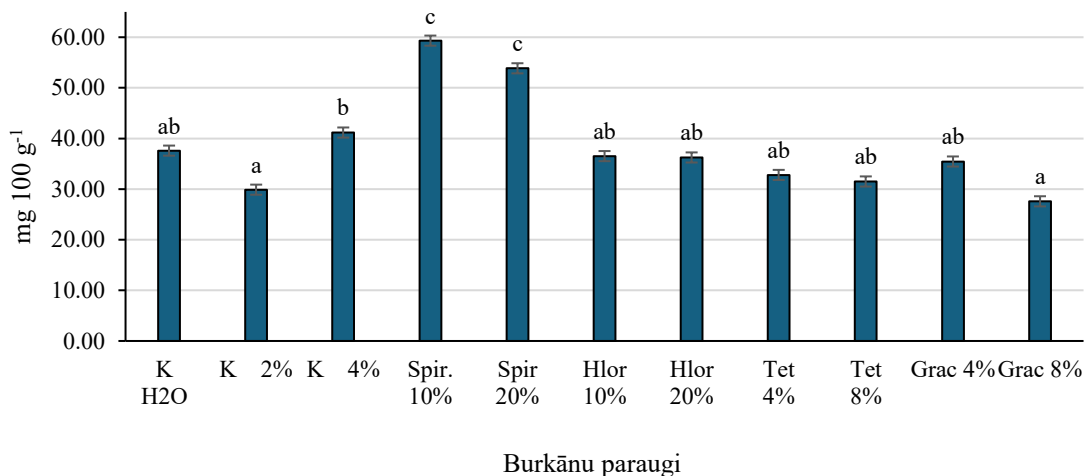


8.4.3. 9. attēls. Šķīstošās sausas satur burkānos SIA “VA AGRO”

Kopējo fenolu saturs burkānos

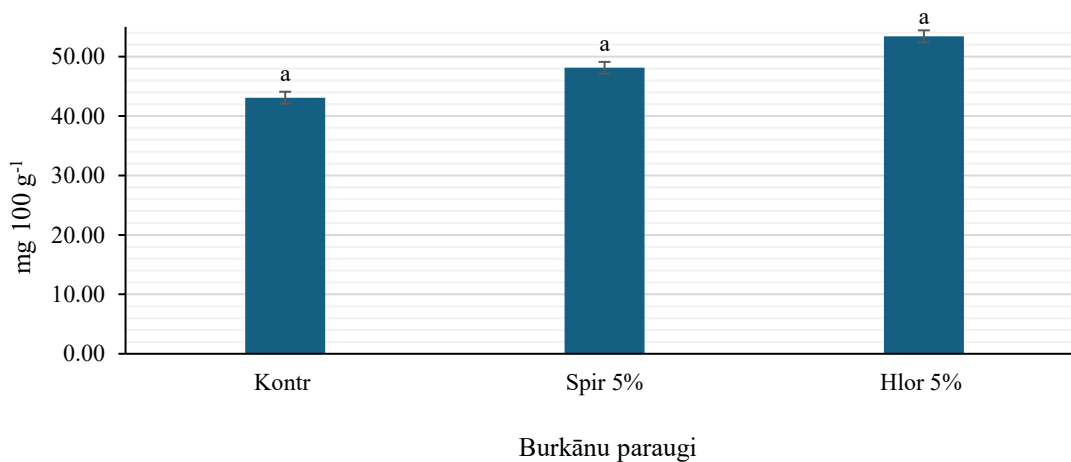
LBTU burkānos kopējo fenolu saturs bija noteikts robežās no 27,59 līdz 59,32 mg 100 g⁻¹. Pēc matemātiskās datu apstrādes iegūtie pētījuma rezultāti liecina par būtisku ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$) mikroaļģu ekstraktu ietekmi uz kopējo fenolu satur burkānos. Burkāniem, kas bija apstrādāti ar mikroaļģu ekstraktu Spir 10% un 20% kopējo fenolu saturs burkānos bija būtiski augstāks ($p < 0,05$;

$\alpha=0,05$), attiecīgi 59,32 mg 100 g⁻¹ un 53,86 mg 100 g⁻¹, salīdzinot ar kontroles paraugu K H₂O. Būtiski mazāki kopējo fenolu satura zudumi burkānos – 20,52% un 26,62%, salīdzinot ar kontroles paraugu K H₂O, bija pēc apstrādes ar K 2% un Grac 8% mikroaļģu ekstraktiem.



8.4.3. 10. attēls. Kopējo fenolu saturs burkānos LBTU

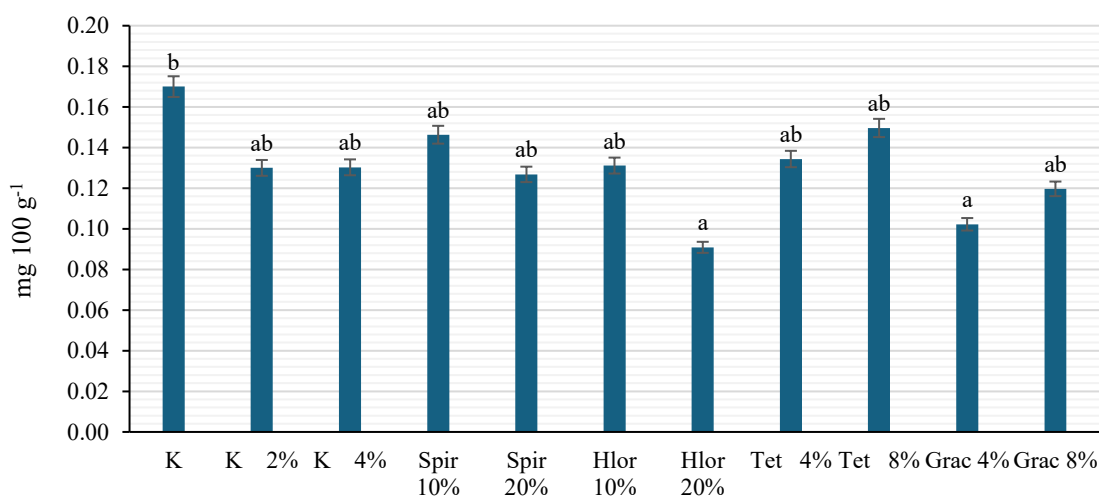
Burkānos SIA “VA AGRO” kopējo fenolu saturs bija noteikts no 43,09 līdz 53,42 mg 100 g⁻¹ ($p<0,05$; $\alpha=0,05$). Ja datus salīdzina pa saimniecībām, tad varam novērot, ka kopējo fenolu saturs pēc apstrādes ar mikroaļģu ekstraktu Hlor 5% (53,42 mg 100 g⁻¹) bija līdzīgs pēc apstrādes ar mikroaļģu ekstraktu Spir 20% (53,86 mg 100 g⁻¹), kas uzrādīja būtiski augstāku rezultātu, salīdzinot ar kontroles parauga burkāniem.



8.4.3. 11. attēls. Kopējo fenolu saturs burkānos SIA “VA AGRO”

Titrējamās skābes saturs (TSS) burkānos

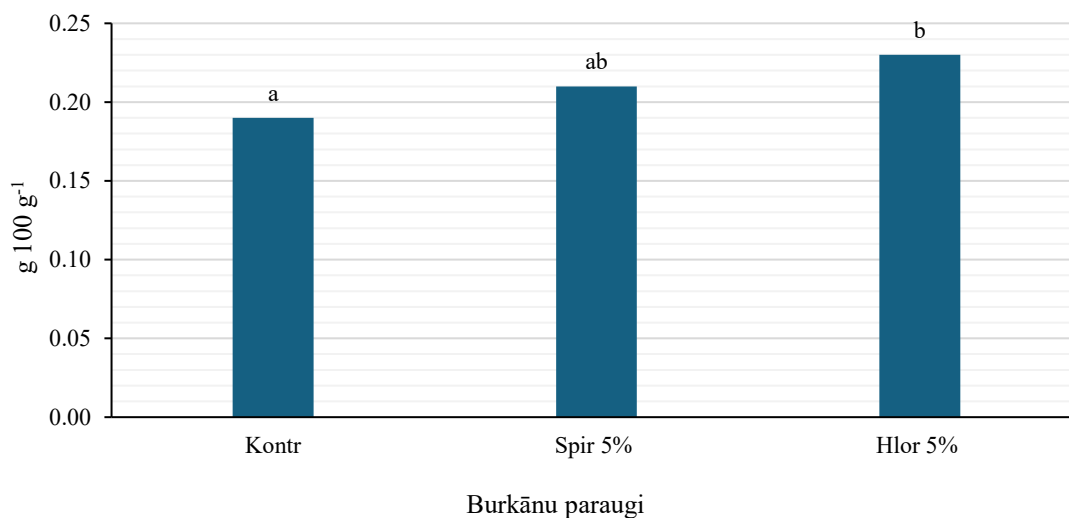
Titrējamās skābes saturs (TSS) burkānos no LBTU bija robežās no 0,10 līdz 0,17 g 100 g⁻¹. Būtiski augstāks titrējamās skābes saturs burkānos bija kontroles paraugā K H₂O (0,17 g 100 g⁻¹). Titrējamās skābes saturs burkānos būtiski samazinājās par 46,54% un 39,86% pēc apstrādes ar mikroaļģu ekstraktu Hlor 20% un Grac 4% ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$), salīdzinot ar K H₂O kontroles parauga burkāniem. Pēc iegūto datu matemātiskās apstrādes noteikts, ka pārējie mikroaļģu ekstrakti un to koncentrācijas neatstāja būtisku ietekmi uz burkānu titrējamo skābi ($p > 0,05$; $\alpha = 0,05$).



Burkānu paraugi

8.4.3. 12. attēls. Titrējamās skābes saturs burkānos LBTU

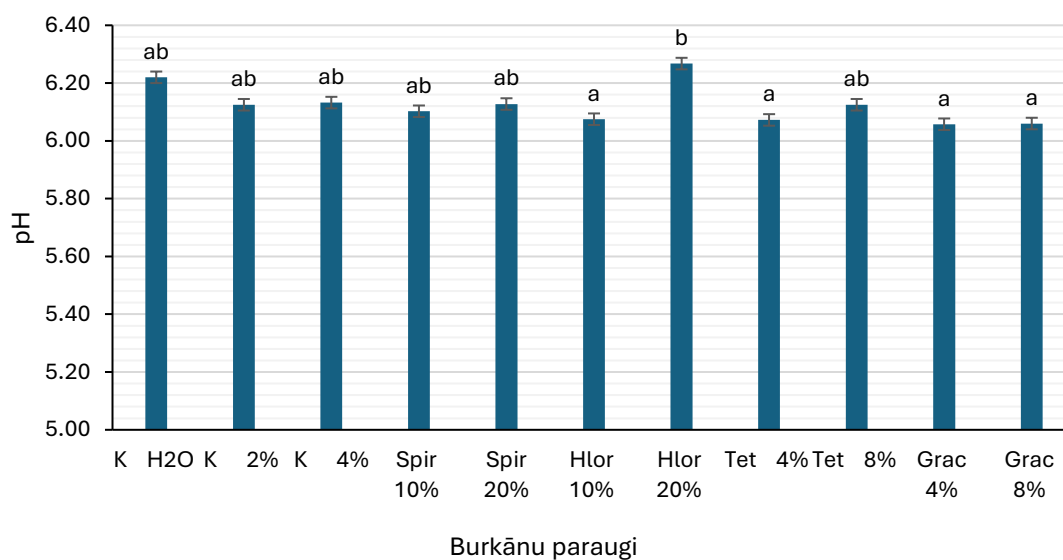
Burkānos SIA “VA AGRO” eksperimentāli ir atrasta būtiska ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$) mikroaļģu ekstraktu ietekme uz titrējamās skābes saturu (TSS) burkānos, kas bija robežās no 0,19 līdz 0,23 g 100 g⁻¹. Eksperimentāli ir noteikts, burkānos pēc apstrādes ar mikroaļģu ekstraktu Hlor 5% titrējamās skābes saturs palielinājās par 17,39% ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$). Ja salīdzina abas vietas, tad varam novērot, ka SIA “VA AGRO” burkāniem titrējamās skābes saturs bija būtiski augstāks visos burkānu paraugos, ko, iespējams, varam skaidrot ar burkānu šķirnes atšķirībām.



8.4.3. 13. attēls. Titrējamās skābes saturs burkānos _ SIA “VA AGRO”

pH vērtība burkānos

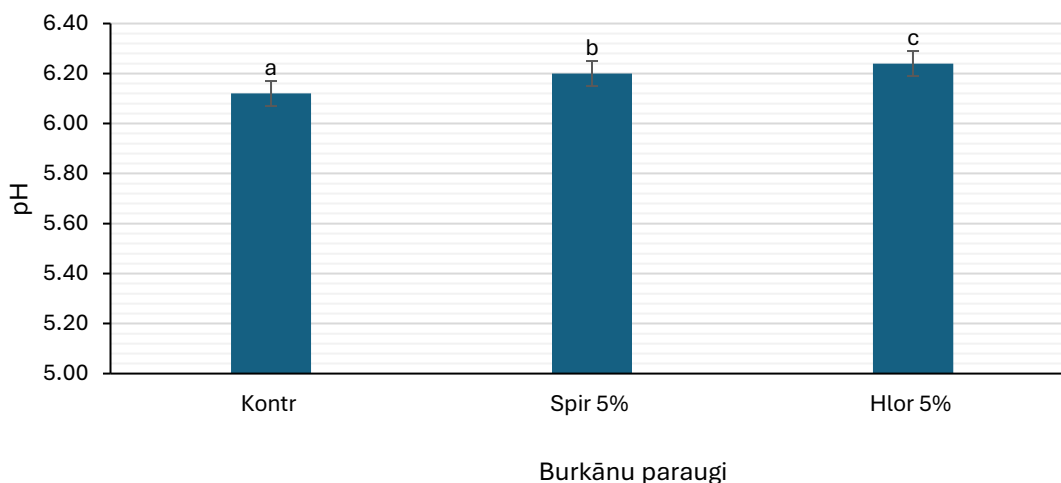
LBTU analizētajos burkānos pH vērtības bija noteiktas robežās no 6,06 līdz 6,27 ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$). Burkānos pH vērtības būtiski samazinājās pēc apstrādes ar mikroaļģu ekstraktiem Hlor 10%, Tet 4%, Grac 4% un Grac 8% - vidēji par 0,21 vienību, salīdzinot ar Hlor 20%, kurš parādīja visaugstāko pH vērtību - 6,27.



8.4.3. 14. attēls. pH saturs burkānos _ LBTU

Burkānos SIA “VA AGRO” pH saturs bija noteikts no 6,12 līdz 6,24 ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$). Salīdzinot ar kontroles paraugu K H₂O, būtiski augstāks pH saturs ($p < 0,05$;

$\alpha=0,05$) bija burkānos apstrādātos ar mikroaļģu ekstraktu Hlor 5%, kur pH saturs palielinājās par 0,12 vienībām un Spir 5%, kur pH saturs burkānos palielinājās par 0,08 vienībām (skat. attēlu).



8.4.3. 15. attēls. pH saturs burkānos_ SIA “VA AGRO”

Garšas indekss (GI) un brieduma indekss (BI) burkānos

Pārtikas tehnologi uzskata, ka definīcija brieduma indeksu (BI) ir skaidrojama ar dārzeņu nogatavošanās stadiju, kad pēc kultūraugu ražas novākšanas tas ir sasniedzis pietiekamu attīstības stadiju, kuru patērētājs uzskata par pieņemamu lietošanai uzturā. Dažiem kultūraugiem brieduma indekss tiek sasniegts vairākās auga attīstības stadijās, tas ir atkarīgs arī no produkta lietošanas veida. Brieduma indeksa mērījumi var būt izmantoti, lai noteiktu, vai konkrēts kultūraugs pēc ražas novākšanas ir nobriedis. Brieduma indekss ir svarīgs svaigu dārzeņu preču tirdzniecībai, ko bieži nosaka Tirdzniecības noteikumi. Brieduma indekss (TSS/TA) ar augstāku vērtību nodrošina vienmērīgāku dārzeņu garšu, savukārt zemākas vērtības ir saistītas ar skābi, tāpēc garša ir mazāk izteikta.

Analizētajos burkānos no LBTU garšas indekss (GI) bija noteikts robežās no 0,13 – 0,25. Savukārt brieduma indekss (BI) burkānos bija no 54,56 – 111,27 (skat. tabulu).

Pētījuma dati liecina, ka ar izteiktāku garšu bija kontroles (K H₂O), Spir 10% un Tet 8% burkānu paraugi. Šajos burkānu paraugos garšas indekss bija ar visaugstākajiem rādītājiem, attiecīgi no 0,23 līdz 0,25. Savukārt viszemāko garšas rādītāja indeksu (0.13) uzrādīja burkānos apstrādātos ar Hlor 20% mikroaļģu ekstraktu, kas norāda uz nedaudz izteiktāku skābuma garšu (burkāni nav tik izteikti saldi).

SIA “VA AGRO” analizētajos burkānos garšas indekss (GI) bija noteikts robežās no 0,33 – 0,45. Savukārt brieduma indekss (BI) burkānos bija no 75,65 – 77,58 (skat. tabulu).

Iegūtie dati parāda, ka izteiktāka garša burkānos bija apstrādātos ar Hlor 5% mikroaļģu ekstraktu, kurā garšas indekss bija ar visaugstāko rādītāju, attiecīgi no 0,43. Savukārt viszemāko garšas rādītāja indeksu (0.33) uzrādīja burkānos apstrādātos ar kontroles paraugu K H₂O, kas norāda uz nedaudz izteiktāku skābuma garšu (burkāni nav tik izteikti saldi).

8.4.3. 1. Tabula

Garšas indekss (GI) un brieduma indekss (BI), mitrums (%) burkānos

Burkānu paraugi	Garšas indekss (GI)	Brieduma indekss (BI)	Mitrums, %
LBTU			
K H ₂ O	0.25	54.56	89.82
K 2%	0.18	97.27	89.24
K 4%	0.20	81.75	92.74
Spir 10%	0.23	75.00	92.73
Spir 20%	0.20	85.76	87.69
Hlor 10%	0.21	90.56	86.82
Hlor 20%	0.13	103.70	88.94
Tet 4%	0.20	77.96	90.71
Tet 8%	0.23	67.99	89.63
Grac 4%	0.16	111.27	91.83
Grac 8%	0.18	90.86	91.94
SIA “VA AGRO”			
K H ₂ O	0.33	76.58	81.44
Spir. 5%	0.38	77.58	81.40
Hlor 5%	0.43	75.65	80.30

Ja salīdzina abas vietas, tad varam novērot, ka SIA “VA AGRO” audzētajos burkānos garšas indekss bija augstāks visos burkānu paraugos, ko, iespējams, varam skaidrot ar burkānu šķirnes atšķirībām. Savukārt mitruma saturs SIA “VA AGRO” bija zemāks: no 80,30% līdz 81,44%, salīdzinot ar LBTU burkāniem: no 86,82% līdz 92,74%.

8.5. Mikrozaļumi

Mikrozaļumu vēsture aizsākās jau senās lauksaimniecības praksēs. Lai gan senos laikos nelietoja īpašu terminu “mikrozaļumi”, līdzīgi augi, piemēram, kāposti, bija daļa no daudzu agrīno iedzīvotāju uztura. Ķīniešu medicīnā un senajās praksēs bieži tika uzsvērts jauno augu patēriņš, jo

tie esot labvēlīgi veselībai, līdzīgi kā mūsdienās mikrozaļumus patērē, ņemot vērā to uzturvielu saturu (Ebert, 2013).

Pats termins “mikrozaļumi” tika popularizēts Amerikas Savienotajās Valstīs 20. gadsimta 80. gados, jo īpaši Kalifornijā, kur pavāri un veselīgi domājošas kopienas sāka atzīt un atbalstīt jauno, maigo zaļumu priekšrocības. Šefpavāri sāka izmantot mikrozaļumus, lai ēdieniem piešķirtu krāsu, garšu un tekstūru. To izmantošana kļuva saistīta ar augstākās klases kulinārajiem ēdieniem, bieži rotājot salātus, zupas un pamatēdienus (Singh et al., 2024). Pārdošanā piedāvātais mikrozaļumu sortiments ir ļoti plašs un piedāvātais sēklas materiāls atšķiras ar dīgtspēju, ķīmisko sastāvu un garšu. Garša, atkarībā no auga, variē no neitrālas līdz asai, nedaudz skābai, dažkārt rūgtai, kopumā tā ir ļoti spēcīga un koncentrēta (Allefretta et al., 2018).

Mikrozaļumus arvien vairāk pārdod Latvijas zemnieku tirdziņos un vietējos pārtikas veikalos, kur patērētāji meklē svaigu, vietēji ražotu un uzturvielām bagātu pārtiku. Daudzi no populārākajiem mikrozaļumu audzētājiem atrodas Rīgā vai tās apkārtnē.

Substrāta izvēle. Tā kā mikrozaļumu audzēšanas cikls ir ļoti īss, liela uzmanība ir jāpievērš substrāta izvēlei. Augstas un kvalitatīvas ražas iegūšanai piemērotākajiem audzēšanas materiālam ir jāsaglabā sabalansētība starp gaisa un ūdens caurlaidību gan apūdeņošanās, gan augu audzēšanas laikā (Minh, Thuong, 2022). Mikrozaļumus parasti audzē seklos podiņos vai kastītēs un tos var audzēt, izmantojot dažādus substrātus. Substrāta izvēle var ietekmēt augšanas ātrumu, ūdens aizturi, aerāciju un augu vispārējo veselību. Mikrozaļumiem nepieciešams substrāts, kas labi satur mitrumu, bet nepaliek pārmitrs. Augšanas substrātam jā satur pietiekami daudz ūdens, bet lai nebūtu sakņu puves. Tādi substrāti kā kokosriekstu šķiedra un sūnu kūdra labi aiztur ūdeni, kas ir svarīgi, jo īsā augšanas ciklā mikrozaļumiem parasti nepieciešams daudz mitruma.

Līdztekus ūdens aizturēšanai mikrozaļumiem ļoti svarīga ir arī drenāža. Ūdens pārpalikums var izraisīt sakņu puvi un pelējuma veidošanos, tāpēc, lai novērstu šīs problēmas, substrātos jānodrošina pareiza drenāža. Augšanas substrātiem bieži pievieno perlītu un vermikulītu, jo drenāža novērš ūdens stāvēšanu substrātā ap saknēm, vienlaikus saglabājot augu mitrināšanu.

Labā aerācija nodrošina saknēm pietiekamu piekļuvi skābeklim, veicinot veselīgu sakņu augšanu. Tas ir īpaši svarīgi seklā dobē, kur augsnes sablīvēšanās var ierobežot gaisa apmaiņu. Tādi substrāti kā kūdra, kokosšķiedra, vermikulīts un perlīts nodrošina labu aerāciju, ļaujot saknēm brīvi izplesties un efektīvi uzņemt barības vielas. Daži substrāti, piemēram, minerālvates paklāji,

ir veidoti tā, lai veicinātu lielisku gaisa cirkulāciju ap saknēm, kas palīdz novērst tādas problēmas kā sakņu aizdusinašānu.

Lai gan mikrozaļumus parasti audzē īsu laiku, tiem joprojām ir nepieciešams substrāts, kas nodrošina dažas pamata barības vielas veselīgai augšanai. Substrātam jāatbalsta stādu augšana, bet tam nevajadzētu būt pārāk bagātīgam ar barības vielām, jo mikrozaļumiem parasti nav nepieciešams, daudz papildu barības vielu. Bieži izmanto kokosriekstu šķiedru un sūnu kūdru, jo tajās ir maz barības vielu, bet tās lieliski saglabā mitrumu. Dažos substrātos, piemēram, podiņu maisījumos vai augsnes substrātos, dažkārt pievieno organiskos mēslošanas līdzekļus, lai papildus palielinātu barības vielu daudzumu, lai gan mikrozaļumiem tas ir retāk sastopams, jo tie var būt jutīgi pret pārmērīgu mēslošanu.

Augšanas vides pH līmenis ietekmē barības vielu pieejamību augiem. Lielākā daļa mikrozaļumu dod priekšroku viegli skābam vai neitrālam pH diapazonam (aptuveni 6.0-7.0). Sūnu kūdras substrāts parasti ir ar dabiski skābu pH, savukārt perlīts un vermikulīts ir neitrālāki. Kokosriekstu šķiedras substrātam pH līmenis arī ir tuvu neitrālam. Lai nodrošinātu optimālu augšanu, ir svarīgi uzraudzīt un regulēt pH.

Tā kā mikrozaļumi aug ātri un tuvu viens otram, tie ir pakļauti sēņu un baktēriju ierosinātajām slimībām. Tīrs un sterils substrāts palīdz samazināt inficēšanās risku. Daudzi komerciālie substrāti, piemēram, minerālvates paklāji vai kokosriekstu šķiedra, pirms pārdošanas tiek sterilizēti, tādējādi samazinot patogēnu risku. Tādi substrāti kā minerālvates paklāji vai akmens vate ir piemēroti mikrozaļumu audzēšanai, jo tie ir gatavi lietošanai un pēc augšanas cikla tos var izmest vai kompostēt. Bieži vien priekšroka tiek dota bezaugsnes substrātiem, jo tajos ir mazāka kaitēkļu vai slimību pārnēsāšanas iespēja salīdzinājumā ar augsnes substrātiem.

Mikrozaļumus parasti audzē seklās paplātēs, un substrātam jābūt viegli apstrādājamam. Tam nevajadzētu kļūt pārāk kompakam, tam vajadzētu būt vieglam un gaisīgam, un lai ar to būtu viegli strādāt. Kokosriekstu šķiedra ir populāra, jo tā ir viegla, viegli lietojama un pēc mikrozaļumu novākšanas to var izmantot atkārtoti vai kompostēt (Dubey et al., 2024).

Sēklas materiāla sagatavošana mikrozaļumiem ir būtisks solis, lai nodrošinātu optimālu augšanu, veselīgus augus un veiksmīgu ražu. Tā kā mikrozaļumus audzē ātri, pareiza sēklu sagatavošana var būtiski ietekmēt dīgtspēju, augu vitalitāti un kopējo ražas kvalitāti.

Sēklu mērcēšana un skalošana, apstrāde un inokulēšana. Sēklu mērcēšana palīdz paātrināt dīgšanu, jo mīkstina sēklu apvalku, ļaujot ūdenim iekļūt un stimulēt iekšējos fermentus,

kas iedarbina augšanas procesu. Tas var arī palīdzēt likvidēt neaktīvās sēklas, kas var neizdīgt. Mērcēšanas ilgums ir atkarīgs no sēklu veida, piemēram, sīkas sēklas (piemēram, bazilika, sinepju, rukolas un kreses) – 4-6 stundas vai uz nakti, lielākas sēklas (piemēram, saulespuķu, zirņu, pupiņu) – 8-12 stundas vai līdz pat diennaktij. Izmantotajam ūdenim jābūt istabas temperatūrā (aptuveni 20 °C).

Pēc mērcēšanas sēklas ir svarīgi izskalot, lai no tām atbrīvotos no jebkādiem gružiem vai piemaisījumiem, kā arī iespējamām ķīmiskām vielām (piemēram, fungicīdiem), kas var būt uz sēklām.

Dažām mikrozaļajām sēklām, jo īpaši sēklām ar cietu čaumalu (piemēram, saulespuķu vai zirņu), var būt lietderīga skarifikācija. Skarifikācija ietver vieglu skrāpēšanu vai sēklu apvalka ieskrāpēšanu, lai palīdzētu ūdenim iekļūt un paātrinātu dīgšanu. To var izdarīt, izmantojot smilšpapīra vīli vai berzējot sēklas starp divām cietām virsmām.

Daži audzētāji izvēlas inokulēt sēklas ar labvēlīgiem mikroorganismiem, piemēram, mikorizas sēnēm vai labvēlīgām baktērijām, lai veicinātu veselīgu sakņu attīstību un novērstu slimības. Tas ir īpaši izdevīgi lielākos apjomos.

Atšķirībā no tradicionālajiem kultūraugiem mikrozaļumus audzē blīvi ievietojot sēklā paplātē, lai maksimāli palielinātu platību un ražību. Kad sēklas ir sagatavotas, tās jāstāda blīvi, nodrošinot, ka katrai sēklai ir pietiekami daudz vietas augšanai, bet tās nav pārblīvētas (Nolan, 2018).

Pirms mērcēšanas un stādīšanas jāpārbauda sēklu dzīvotspēja, lai pārliecinātos par sēklu dīgtspēju. Dažas sēklas var pārnēsāt slimību ierosinātājus, jo īpaši, ja tās nav pareizi apstrādātas vai uzglabātas. Pirms sēklu mērcēšanas vienmēr ir labi pārbaudīt, vai sēklas nav bojājumu, krāsas maiņas vai pelējuma pazīmju. Pareizi sagatavojot sēklu materiālu, tiek nodrošināts, ka mikrozaļumiem būs vislabākās iespējas dīgt un augt ātri, lai iegūtu pēc iespējas labāku ražu.

Mikrozaļumu audzēšanai galvenokārt tiek izmantota hidroponika vai vertikālā audzēšanā. Gan pasaulē, gan Latvijā pieaug pieprasījums pēc ilgtspējīgākas, pieejamākas un uzturvielām bagātākas pārtikas, jo īpaši pilsētvidē, reģionos, kur ir ierobežoti zemes resursi lauksaimniecības augu audzēšanai un ir liela patērētāju koncentrācija (Zeipiņa, Lepse, 2023)

Optimāla mikroklimata nodrošināšana un audzēšanas tehnoloģijas. Nozīmīga loma augstas kvalitātes ražas iegūšanai ir kvalitatīva, sertificēta sēklas materiāla izvēle. Sēklas kvalitāti nosaka šādas īpašības:

1. sēklu dīgtspēja, kas ir attiecība starp iesēto sēklu skaitu un izdīgušo sēklu skaitu;
2. dīgšanas enerģija – norāda uz to, cik ilgā laika posmā izdīgst konkrētais sēklas materiāls;
3. dzīvotspēja;
4. izlīdzinātība – tiek izvērtēts, vai sēklas ir vienāda izmēra, kas vēlāk nodrošina vienmērīgu sējuma attīstību;
5. rupjums – 1000 sēklu svars gramos;
6. mitrums;
7. tīrība no nezāļu un citu sēklu piejaukumiem (Nečajeva, 2015).

Latvijā atbildīgā iestāde, kas uzrauga sēklu sertifikāciju un apriti, ir Valsts augu aizsardzības dienests (VAAD).

Mikrozaļumus bieži audzē audzēšanas tarās ar barības vielām bagātu augsni. Šī metode ir vienkārša un pieejama iesācējiem, un tā ļauj augiem attīstīt savu dabisko sakņu sistēmu. Hhidroponikas sistēmās mikrozaļumus audzē barības šķīdumā ar vai bez substrāta. Augu saknēm tiek piegādāts minerālvielu šķīdums, kuru tie izmanto augšanai. Tiek nodrošināts mākslīgais apgaismojums un temperatūras režīms. Šo metodi bieži izmanto komerciāla mēroga ražošanā, jo tā ir efektīva un ļauj audzēt kultūraugus ar minimālu platību (Singh et al., 2024).

Audzēšana telpās un vertikālā audzēšana: tā kā telpa ir ierobežota un pilsētvidē kļūst arvien izplatītāka, arvien populārākas kļūst vertikālās audzēšanas un iekštelpu audzēšanas sistēmas mikrozaļumu audzēšanai. Šīs metodes optimizē telpu un nodrošina audzēšanu visa gada garumā, bieži vien izmantojot mākslīgo apgaismojumu, piemēram, LED audzēšanas gaismu

Optimāla mikroklimata radīšana mikrozaļumiem ir būtiska, lai nodrošinātu veselīgu, ātru un kvalitatīvu augšanu. Mikroklimats nozīmē īpašus vides apstākļus audzēšanas telpā, kas ietver temperatūru, mitrumu, gaismu un gaisa plūsmu. Piemēram, pētījumā izmantoto sugu mikroklimata prasības redzamas 8.5. 1. tabulā.

8.5. 1. tabula

**Mikrozaļumu dīgšanas un audzēšanas temperatūra atkarībā no sugas
(Ebert, 2015)**

Kultūraugs	Dīgšanas temperatūra, °C	Audzēšanas temperatūra, °C
Baltās sinepes	10-12	18-25
Elļas rutks	10-15	16-22

Tā kā mikrozaļumiem ir īpašas augšanas prasības, pareiza mikroklimata uzturēšana var ievērojami uzlabot ražas un kultūraugu uzturvērtību. Ieteicamie parametri:

- temperatūra: uzturēt temperatūru no 18 °C līdz 24 °C;
- mitrums: augšanas laikā uzturēt mitrumu 50-70%, dīgšanas laikā - līdz 80-90%;
- apgaismojums: nodrošināt mērenu apgaismojumu (12-16 stundas dienā), izmantojot dabisko saules gaismu vai pilna spektra LED apgaismojumu;
- gaisa plūsma: nodrošiniet pareizu ventilāciju, lai novērstu mitruma uzkrāšanos un nodrošinātu CO₂ apmaiņu;
- laistīšana: regulāri laistīt, lai substrāts būtu mitrs, bet izvairīties no pārlaistīšanas;
- substrāts: optimālai augšanai izvēlēties labi drenējošu, mitrumu saglabājošu un sterilu substrātu;
- audzēšanas substrāta pH: uzturēt neitrālu vai viegli skābu pH (6.0-7.0);
- paplātes dziļums: sekli paliktņi, lai nodrošinātu labāku aerāciju un sakņu veselību.

Lai saglabātu mikrozaļumus neskartus, jāizmanto sekla plastmasas paplātes, vairākkārtēji attaisāmus/aizveramus traukus vai kompostējamu iepakojumu. Šiem traukiem jābūt ar nelieliem ventilācijas caurumiem, lai nodrošinātu gaisa plūsmu, novēršot kondensāta veidošanos un pelējuma veidošanos. Daudzi audzētāji izvēlas bioloģiski noārdāmus vai kompostējamus iepakojumus, piemēram, bioplastmasas paplātes vai kartona kastes, jo patērētājiem arvien svarīgāka kļūst ilgtspēja. Dažos gadījumos mikrozaļumus iesaiņo pārtikas produktiem drošā plastmasas plēvē vai perforētā plastmasā, lai saglabātu mitruma līmeni, vienlaikus nodrošinot gaisa plūsmu. Zemāk redzamajā 8.5. 2. tabulā redzamas audzēšanas īpatnības pētījumā izmantotajām sugām.

8.5. 2. tabula

Mikrozaļumu audzēšanas īpatnības atkarībā no sugas (Enssle, 2020)

Kultūraugs	Sēklas pirmapstrāde	Dīgšana, dienās	Augšana, dienās	Ražas novākšana, dienās
Baltās sinepes	6-12 h mērcēšana	2-3	7-10	9-13
Elļas rutks	6-12 h mērcēšana	3-5	7-10	7-10

Iegūstot mikrozaļumu ražu, augi tiek nogriezti zem dīgļlapām, kopā ar pirmajām īstajām lapām, atkarībā no sugas, ražu ir iespējams iegūt 7 līdz 21 dienu laikā pēc sējas. To dzīves cikls ir

ļoti īss – pēc nogriešanas augi ir derīgi vien tikai 1 līdz 2 dienas, ja netiek uzglabāti atbilstoši, noslēgtā iepakojumā (Enssle, 2020).

Ja mikrozaļumi tiek realizēti grieztā veidā, tad tos pēc nogriešanas nepieciešams nomazgāt, lai atbrīvotos no liekajām augsnes daļiņām, baktērijām un patērētājam garantētu tīru produktu, taču tajā pašā laikā paaugstinātais mitrums var radīt papildus kaitējumus produkcijai attīstot dažādas citas augu slimības, tādēļ nomazgātie augi, iespēju robežās ir jānožāvē. Ja produkcija nav tikusi piesārņota ar augsnes daļiņām, mazgāšanu var neveikt, tas arī pasargā augus no mehāniskajiem bojājumiem (Buchanan et al., 2020).

Lai gan mitrums no ārējās vides novērš iztvaikošanu, tajā pašā laikā tas stimulē dažādu mikroorganismu attīstību, tādēļ dažkārt mikrozaļumi tiek iepakoti slēgtos iepakojumos ar vāciņiem (Zagory, Kader, 1988).

Optimāli uzglabāšanas apstākļi. Lai palēninātu noārdīšanās procesu un saglabātu barības vielas un garšu, mikrozaļumi jāuzglabā vēsā vidē (no +2 °C līdz +4 °C). Lai saglabātu mikrozaļumus svaigus, ir svarīgi tos uzglabāt ledusskapī. Lai novērstu lapu izžūšanu vai nokalšanu, ir svarīgi uzturēt atbilstošu mitruma līmeni (aptuveni 85-95%). Iepakojums ar ventilācijas caurumiem palīdz regulēt mitruma līmeni, un dažkārt mitrinātājus izmanto saldētavās, lai uzturētu ideālu mitruma līmeni (Sharma et al., 2023).

Mikrozaļumu uzglabāšanas laiks atšķiras atkarībā no šķirnes, bet lielākā daļa mikrozaļumu, pareizi uzglabājot ledusskapī, kalpo 5-10 dienas. Tādas šķirnes kā saulespuķu un zirņu dzinumi parasti kalpo ilgāk nekā maigākas šķirnes, piemēram, redīsi vai sinepes.

Mitruma pārpalikums uzglabāšanas traukos var izraisīt pelējuma veidošanos, tāpēc ir svarīgi uzglabāt mikrozaļumus sausā, labi vēdināmā telpā. Izmantojiet iepakojumu, kas nodrošina gaisa cirkulāciju, piemēram, perforētus plastmasas maisiņus.

Pareizi iepakojot, uzglabājot un tirgojot mikrozaļumus, var pagarināt to uzglabāšanas laiku, saglabāt kvalitāti un sasniegt plašāku klientu loku, nodrošinot veiksmīgu un ilgtspējīgu uzņēmējdarbību.

Uzturvērtība. Mikrozaļumi ir jauni, ēdami augi, ko novāc agrīnā augšanas stadijā, kad parasti ir izaugušas pirmās īstās lapas. Neraugoties uz to mazo izmēru, mikrozaļumos ir koncentrēts liels daudzums uzturvielu, un tie ir veselībai labvēlīgi. Tie tiek uzskatīti par uzturvielām bagātiem pārtikas produktiem, jo tajos ir daudz vitamīnu, minerālvielu, antioksidantu un citu labvēlīgu savienojumu, ņemot vērā to lielumu. Dažādi mikrozaļumi nodrošina ļoti atšķirīgu

četrus vitamīnu daudzumu, bet neatkarīgi no tā tajos kopumā ir ievērojami augstāka šo elementu koncentrācija, salīdzinot ar nobriedušām to pašu augu sugu lapām (Chaudhari, 2023).

Vitamīni. Mikrozaļumos ir daudz svarīgu vitamīnu, jo īpaši to, kas veicina imūnsistēmas darbību, ādas veselību un enerģijas vielmaiņu.

C vitamīns: daudzus mikrozaļumus, īpaši krustziežu dārzeņos (piemēram, brokoļos un sinepēs), ir daudz C vitamīna - antioksidanta, kas palīdz stiprināt imūnsistēmu, veicina ādas veselību un novērš oksidatīvo stresu.

A vitamīns: mikrozaļumos, piemēram, burkānu, biešu un redīsu zaļumos, ir daudz beta-karotīna, ko organisms pārvērš A vitamīnā, kas ir svarīgs acu veselībai, ādai un imūnsistēmas darbībai.

K vitamīns: koriandrs, redīsi un saulespuķu mikrozaļumi ir lielisks K vitamīna avots, kas ir svarīgs pareizai asins recēšanai un kaulu veselībai.

E vitamīns: saulespuķu un zirņu dzinumi satur daudz E vitamīna, kas ir svarīgs taukos šķīstošs antioksidants, kurš palīdz aizsargāt šūnas no oksidatīviem bojājumiem.

Minerālvielas. Mikrozaļumi ir labs vairāku svarīgu minerālvielu avots, kas ir svarīgas dažādām organisma funkcijām, piemēram, kaulu veselībai, nervu darbībai un šķidruma līdzsvaram.

Dzelzs: tādi mikrozaļumi kā spināti un rukola ir labs dzelzs avots, kas ir svarīgs hemoglobīna ražošanai un palīdz novērst dzelzs deficīta anēmiju.

Kalcijs: daudzus mikrozaļumus, piemēram, sinepju zaļumus, redīsu zaļumus un brokoļos, ir kalcijs, kas nepieciešams stipriem kauliem un zobiem, kā arī muskuļu un nervu darbībai.

Magnijs: baziliks un koriandrs ir labs magnija avots, kas palīdz muskuļu darbībai, nervu pārvadīšanai un asinsspiediena regulēšanai.

Kālijs: mikrozaļumi, piemēram, zirņu dzinumi un saulespuķes, ir bagāti ar kāliju - minerālu, kas veicina sirds darbību, muskuļu darbību un šķidruma līdzsvaru.

Cinks: zirņu dzinumi un redīsu zaļumi nodrošina cinku, kas ir svarīga minerālviela imūnsistēmas darbībai, brūču dzīšanai un šūnu dalīšanai.

Antioksidanti. Mikrozaļumi ir īpaši pazīstami ar augstu antioksidantu saturu. Antioksidanti palīdz neitralizēt brīvos radikāļus organismā, aizsargājot šūnas no oksidatīvā stresa un samazinot hronisku slimību risku.

Flavonoīdi: mikrozaļumos, piemēram, sarkanajos kāpostos un brokoļos, ir augsts flavonoīdu saturs, kam piemīt pretiekaisuma, antioksidanta un pretvēža īpašības.

Fenolu savienojumi: mikrozaļumos ir fenola savienojumi (piemēram, sinepēs un redīsos), kas veicina to antioksidatīvo darbību un palīdz aizsargāt šūnas no bojājumiem.

Karotinoīdi: mikrozaļumi, piemēram, burkāni, bietes un baziliks, satur tādus karotinoīdus kā luteīns un zeaksantīns, kas ir svarīgi acu veselībai un darbojas kā spēcīgi antioksidanti.

Šķiedrvielas. Labs šķiedrvielu avots ir arī mikrozaļumi, īpaši tie, kuru lapas ir nedaudz lielākas, piemēram, zirņi un saulespuķes. Šķiedrvielas veicina gremošanu, palīdz regulēt cukura līmeni asinīs un nodrošina sāta sajūtu.

Šķīstošās šķiedrvielas: atrodamas mikrozaļumos, piemēram, zirņos un redīsos, palīdz samazināt holesterīna līmeni un regulēt cukura līmeni asinīs.

Nešķīstošās šķiedrvielas: atrodamas tādos mikrozaļumos kā rukola, veicina zarnu regularitāti un gremošanas sistēmas veselību.

Mikrozaļumos ir maz kaloriju, tāpēc tie ir ideāli piemēroti tiem, kas vēlas bagātināt uzturvielām bagātu uzturu, nepievienojot ievērojamu daudzumu kaloriju. Piemēram, tasītē mikrozaļumu parasti ir mazāk nekā 10-15 kaloriju (Sharma et al., 2022).

Kopumā mikrozaļumi ir efektīvs, kompakta veidā koncentrēts superprodukts, kas piedāvā plašu veselības ieguvumu klāstu, vienlaikus neprasot lielu kaloriju uzņemšanu. Tie ir īpaši vērtīgi mūsdienu uzturā, kur tiek meklēti uzdevērtīgi un funkcionāli pārtikas produkti nelielos daudzumos.

Izmantotā literatūra:

1. Allefretta I., Calasso M., Caponio F., Casellino M., Gatullo C., Leoni B., Paradiso V., Renna M., Santamaria P., Terzano R. (2018). Nutritional characterization and shelf-life of microgreen vegetables. *The Royal Society of Chemistry*, Vol. 9, p. 5629-5640.
2. Buchanan R., Turner E., Luo Y. (2020). Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: a review. *Journal of Food Science*, Vol. 85, Issue 4, p. 870 – 882.
3. Chaudhari V. M., Champaklal B. D., Nadoda N. A. (2023). Vegetable micro-greens: A nutritional powerhouse. *The Science World*, Vol. 3, p. 1932-1936.
4. Dubey S., Harbourne N., Harty M., Hurley D., Elliott-Kingston C. (2024) Microgreens Production: Exploiting Environmental and Cultural Factors for Enhanced Agronomical Benefits. *Plants*, Vol. 13, Issue 2631, p. 10 – 29.

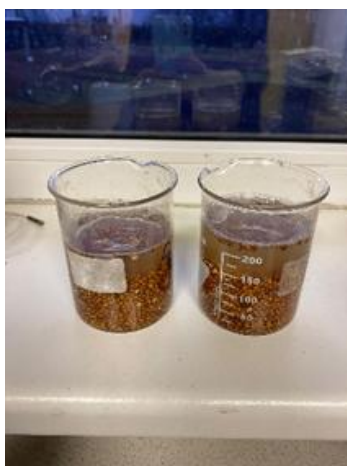
5. Ebert A. W. (2013). *Sprouts, microgreens, and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia*. AVRDC – The World Vegetable Center.
6. Ebert A., Wu D., Yang R. (2015). Amaranth sprouts and microgreens a homestead vegetable production option to enhance food and nutrition security in the rural – urban continuum. **In:** Conference: Regional Symposium on Sustaining Small-Scale Vegetable Production and Marketing Systems for Food and Nutrition Security (SEAVEG2014), Thailand, Feb 2015. P. 233-244.
7. Enssle N. (2020). *Microgreens: Market Analysis, Growing Methods and Models*: master dissertation. California State University. San Marcos. 27 p.
8. Minh H. G., Thuong V. T. (2022). *Selection of suitable growing substrates and quality assessment of Brassica microgreens cultivated in greenhouse*. Hanoi Pedagogical University 2. Vietnam. 10 p.
9. Nečajeva J. (2015). Sēklu dīgšanu raksturojošie rādītāji. **No:** *Ražas svētki “Vecauce - 2015”*: Lauksaimniecības zinātne reorganizācijas laikā. Zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava: LLU, 58. – 61. lpp.
10. Nolan D. (2018). *Effects of Seed Density and Other Factors on the Yield of Microgreens Grown Hydroponically on Burlap*: master dissertation. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University. 44 p.
11. Sharma A., Hazarika M., Heisnam P., Pandey H., Devadas V. S., Singh D., Wangsu M., Kartha B. D. (2023). Influence of storage conditions, packaging, post-harvest technology, nanotechnology and molecular approaches on shelf life in microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*. Vol. 14, p.Z
12. Sharma S., Shree B., Sharma D., Kumar S., Kumar V., Sharma R., Saini R. (2022). Vegetable microgreens: The gleam of next generation super foods, their genetic enhancement, health benefits and processing approaches. *Food Research International*, Vol. 155, p.
13. Singh A., Singh J., Kaur S., Gunjal M., Kaur J., Nanda V., Ullah R., Ercisli S., Rasane P. (2024). Emergence of microgreens as a valuable food, current understanding of their
14. Zagory D. Kader A. A. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *Food Science and Technology*, Vol. 43, Issue 3, p. 381 – 392.

15. Zeipiņa S., Lepse L. (2023). Mikrozaļumi – viens no urbānās dārzkopības produktiem. *No: Līdzsvarota lauksaimniecība 2023*, Zinātniski praktiskās konferences raksti (2023. g. 23-24.febr.). Jelgava: LLU, 39. lpp.

8.5.1. Pētījuma metodika

Mikrozaļumi. Papildus izmēģinājums ar *Graesiella emersonii* un *Tetrademus obliquus* mikroaļģu ekstraktu izmantošanas efektivitāti balto sinepju (*Sinapis alba* L.) un eļļas rutku (*Raphanus sativus* L. var. *oleifera* Metzg.) mikrozaļumu audzēšanas procesā veikts 2025. gada martā.

Pētāmie faktori bija: A – ekstrakta veids (mikroaļģu suga): A₁ – *Graesiella emersonii*, A₂ – *Tetrademus obliquus*; B: ekstrakta koncentrācija: B₁ – 4% un B₂ – 8%. Pētījums iekārtots randomizēti klimata kamerā, divos atkārtojumos (divi sēšanas laiki). 12 stundas pirms sēšanas veica sēklu pirmapstrādi – mērcēšanu konkrētās koncentrācijas barības šķīdumā, kontroles variantā sēklas mērcētas dzeramajā ūdenī bez piedevām.



8.5.1. 1. attēls. Sēklas mērcēšana ekstrakta šķīdumā un dzeramā ūdenī. (I. Sivickas foto).

Katrā trauciņā tika ievietots Laflora KKS-1 neitralizētās kūdras substrāts, kas tika samitrināts. Datu precizitātei, katrā audzēšanas trauciņā tika iesēts noteikts skaits sēklu – 200 balto sinepju sēklas un 250 eļļas rutku sēklas.



8.5.1. 2. attēls. Sēklas sēja: baltās sinepes (attēls pa kreisi), eļļas rutks (attēls pa labi).
(I. Sivickas foto).

Audzēšanas laikā pirmās 24-36 stundas nodrošināja tumsas periodu, tad turpmākajā audzēšanas dienās sējeņus apgaismoja. Tā kā abu sugu mikrozaļumus audzēja kopā vienā klimata kamērā, nodrošināja 20-22 °C, kā arī optimālo gaisa mitrumu robežās no 40 līdz 60%. Mikrozaļumiem izvērtēja dīgšanas rādītājus, ražību (g no trauciņa, nogriežot mikrozaļumus aptuveni 1 cm augstu virs substrāta līnijas), veica organoleptisko īpašību izvērtējumu.

8.5.2. Rezultāti

Mikrozaļumu attīstības gaita novērtēta vizuāli, abu augu dīgtspēja visos variantos un atkārtojumos bija 90 - 100% robežās. Otrajā dienā pēc sēšanas sēklām bija parādījušies mazi asni. Gan baltajām sinepēm, gan eļļas rutkiem nevarēja novērot būtiskas atšķirības asnu attīstībā. Apskatītajā literatūrā minēts, ka abu augu mikrozaļumu sēklu dīgšanas ilgums ir 2-3 un 3-5 dienas. Var secināt, ka augu attīstība atkārtojumos atbilst literatūras datos minētajai informācijai.

Balto sinepju un eļļas rutku mikrozaļumu raža tika novākta 8. dienā pēc sējas (1. atkārtojums) un 9. dienā pēc sējas (2. atkārtojums). Ražu novāca, kad abām sugām bija izveidojušās dīgļlapas kopā ar pirmajām īstajām lapām. Apskatītajā literatūrā minēts, ka balto sinepju mikrozaļumu ražu ir iespējams sagaidīt 9.-13. dienā pēc sējas, taču eļļas rutkiem 7.-10.

dienā pēc sējas. Var secināt, ka augu attīstība atkārtojumos atbilst izmantotās literatūras datos minētajai informācijai.

Kvalitatīvas mikrozaļumu ražas ieguvei, viens no svarīgākajiem nosacījumiem ir augu garums – tie nevar būt pārāk gari vai pārāk īsi. 8.5.2. 1. tabulā ir attēloti balto sinepju un eļļas rutku vidējie garumi atkarībā no sēklu pirmapstrādē izmantotā šķīduma koncentrācijas.

8.5.2. 1. tabula

Mikrozaļumu vidējais garums, cm

	Baltās sinepes	Eļļas rutks
Kontrole	8.18	9.71
<i>G. emersonii</i> 4%	8.54	9.87
<i>T. obliquus</i> 4%	8.47	10.02
<i>G. emersonii</i> 8%	8.14	8.90
<i>T. obliquus</i> 8%	8.13	10.08

Mikroaļģu ekstraktu ietekme uz augu garumu ir pozitīva – gan baltajām sinepēm, gan eļļas rutkiem vairumā gadījumu novērojams garuma pieaugums salīdzinājumā ar kontroli.

Baltajām sinepēm garākais vidējais garums (8.54 cm) tika novērots, izmantojot *G. emersonii* 4% šķīdumu, kas norāda uz šīs koncentrācijas stimulējošu ietekmi uz augšanu. Augstāka koncentrācija (8%) šajā gadījumā nesniedza papildus ieguvumu – garums bija pat nedaudz mazāks nekā kontrolei, kas var liecināt par iespējamu nelabvēlīgu ietekmi pie augstākām koncentrācijām. **Eļļas rutkam** vislielākais vidējais garums (10.08 cm) tika novērots ar *T. obliquus* 8% šķīdumu, kas nozīmē, ka šī mikroaļģe rutkam iedarbojusies visefektīvāk arī pie augstās koncentrācijas. Vienlaikus *G. emersonii* 8% šķīdums samazināja eļļas rutku garumu salīdzinājumā ar 4% koncentrāciju, līdzīgi kā tas bija novērots baltajām sinepēm.

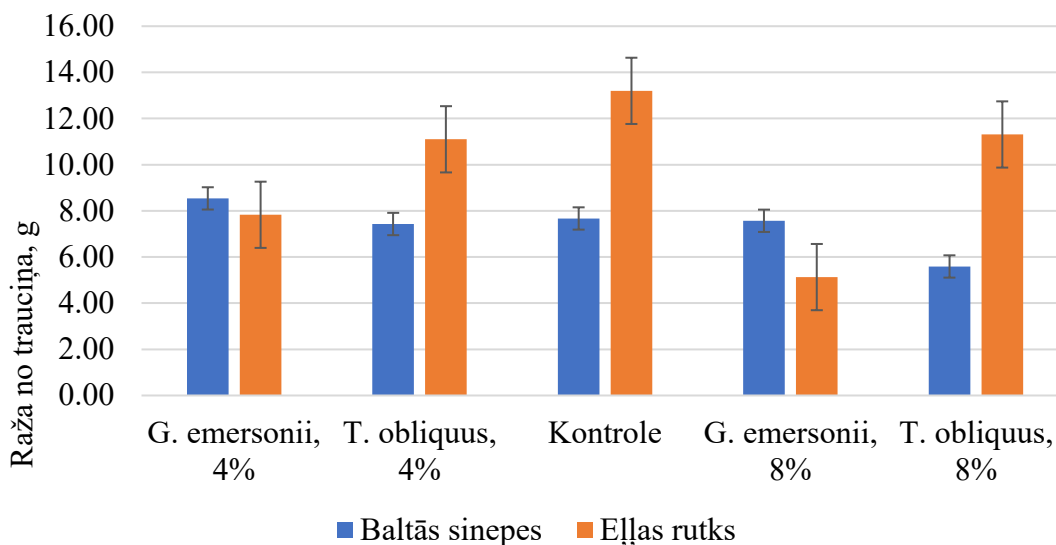
3.6. attēlā redzama vidējā balto sinepju un eļļas rutku mikrozaļumu vidējā tīrā masa gramos, atkarībā no izmantotā šķīduma sēklu mērcēšanai.

Aprēķinot iespējamo kastīšu skaitu uz 1 m² un aprēķinot to ar vidējo iegūto ražu no vienas kastītes, iespējams prognozēt aptuveni ražu no 1 m² (skat. 3.7. att.).

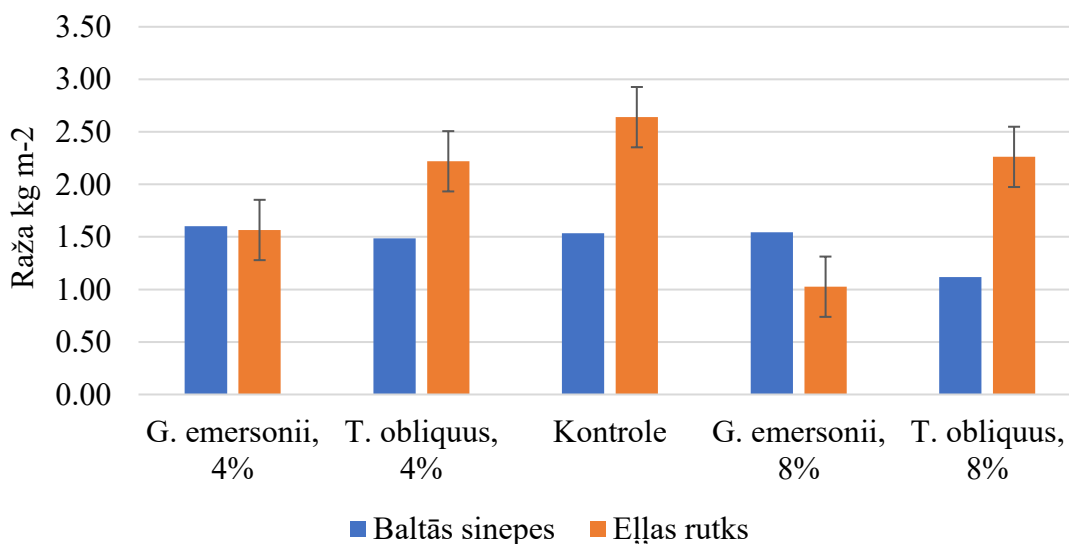
Eļļas rutks uzrādīja lielāko vidējo ražu nekā baltās sinepes neatkarīgi no izmantotā ekstrakta veida un koncentrācijas. Tas apstiprina literatūrā minēto, ka eļļas rutkiem ir augstāks augšanas potenciāls mikrozaļumu stadijā.

T. obliquus mikroaļģu ekstrakta 4% koncentrācijā uzrādīja pozitīvu ietekmi uz abu sugu mikrozaļumu ražu, salīdzinot ar kontroli (ūdeni bez ekstrakta). Šajā variantā iegūtā raža bija

augstāka, kas liecina par labvēlīgu biostimulējošu iedarbību uz augu attīstību. *G. emersonii* ekstrakta lietošana 8% koncentrācijā vairumā gadījumu nepalielināja ražu, un dažos gadījumos to pat nedaudz samazināja, īpaši baltajām sinepēm. Tas norāda, ka pārāk augsta koncentrācija var kavēt augu attīstību vai izraisīt stresu. Kontroles variants uzrādīja zemāko ražu, salīdzinot ar mikroaļģu ekstraktiem, kas apliecina šo bioloģiski aktīvo vielu potenciālu ražas uzlabošanā mikrozaļumu audzēšanā.



8.5.2. 1. attēls. Mikrozaļumu vidējās raža, g no trauciņa.

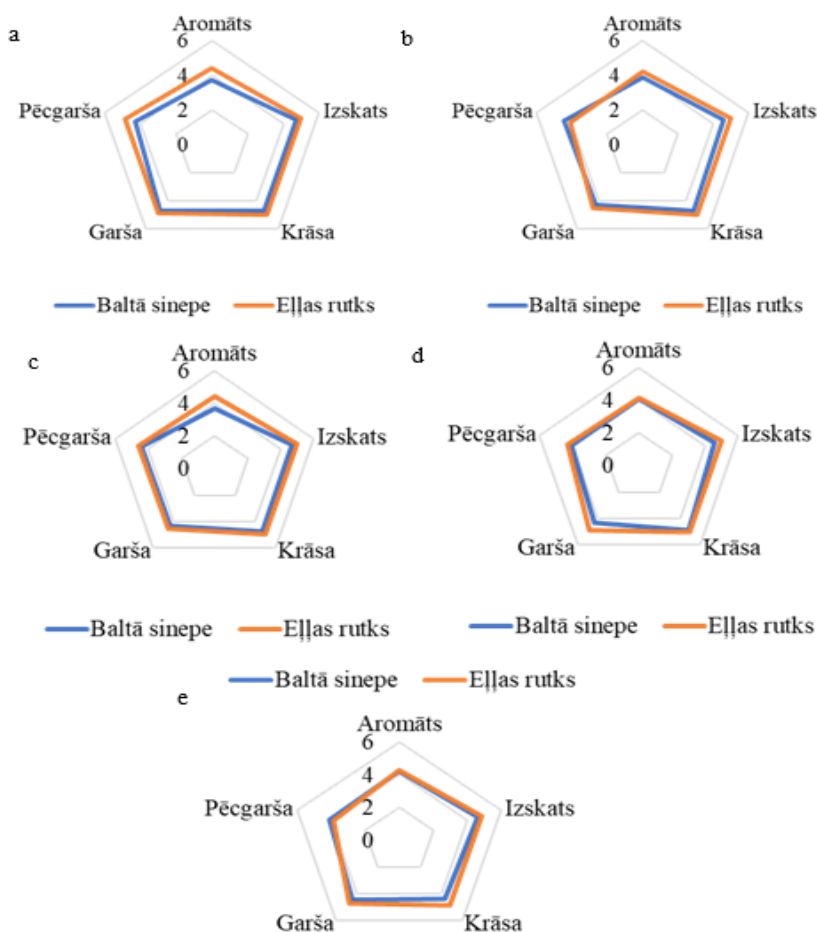


8.5.2. 2. attēls. Mikrozaļumu vidējā raža, kg m⁻².

Pēc mikrozaļumu ražas novākšanas tika veikts organoleptiskais novērtējums, kurā tika noteikta gan balto sinepju, gan eļļas rutku krāsa, garša, pēcgarša, aromāta un vizuālā izskata

atšķirības. Lai iegūtie dati būtu precīzāki, testā piedalījās 8 cilvēki. 3.5. attēlā attēloti balto sinepju un eļļas rutku organoleptiskā novērtējuma dati.

Pēc 3.8. attēlā redzamajiem datiem var secināt, ka sēklas, kas mērcētas *T. obliquus* un *G. emersonii* šķīdumos, var uzrādīt uzlabotu mikrozaļumu izskatu, krāsu un tekstūru, atkarībā no izmantotās koncentrācijas. Ja novērtējums norāda, ka nav negatīvas ietekmes uz garšu vai tekstūru, mikroaļģu šķīdumu lietošana potenciāli uzlabo uzturvērtību vai augšanas dinamiku, kas var būt vērtīgs papildinājums mikrozaļumu ražošanā.



8.5.2. 3. attēls. Organoleptisko īpašību novērtējums balto sinepju un eļļas rutku mikrozaļumiem (a – kontrole, b – *T. obliquus* 4%, c – *T. obliquus* 8%, d – *G. emersonii* 4%, e – *G. emersonii* 8%)

Salīdzinot dažādos šķīdumos mērcētās sēklas, vislabākās organoleptiskās īpašības novērotas *T. obliquus* 4 % šķīdumā mērcētajām sēklām. Savukārt gan *T. obliquus*, gan *G. emersonii* 8% šķīdumi uzrādīja pazeminātu garšas un izskata novērtējumu, liecinot par iespējamu

mikrozaļumu kvalitātes pasliktināšanos augstākās koncentrācijās. Eļļas rutks visos gadījumos novērtēts augstāk. *T. obliquus* 4% šķīdums saglabā vai nedaudz uzlabo īpašības. *G. emersonii* 4% šķīdums – līdzīgs vai nedaudz vājāks nekā *T. obliquus* 4%, bet vēl aizvien ļoti labs. 8% koncentrācijas neuzlabo kvalitāti – dažos gadījumos tās to pat pasliktina, piemēram, eļļas rutkam *G. emersonii* 8% koncentrācijā ir viszemākais pēcgaršas vērtējums visā datu kopumā.

Secinot, *T. obliquus* 4% šķīdums ir **ieteicamākais** risinājums, jo tas sniedza labākos rezultātus. *G. emersonii* 4% šķīdums pēc sensoro īpašību novērtējuma nedaudz atpaliek no *T. obliquus* 8% koncentrācijas šķīdumi neatmaksājas – tie neuzlabo kvalitāti, palielina izmaksas un dažos gadījumos pat pazemina garšu vai pēcgaršu, īpaši eļļas rutkiem. Ieteicams testēt *T. obliquus* 4% šķīduma izmantošanu plašākos apjomos, sekojot līdzī izmaksu un kvalitātes attiecībai. Kā arī atkārtot mikrozaļumu audzēšanu siltumnīcā.

Izmantojot datus, tika izstrādāts bakalaura darbs: Ozoliņa Ž. (2025). *Mikroaļģu ekstraktu izmantošanas efektivitāte un ekonomiskais pamatojums mikrozaļumu audzēšanā*: bakalaura darbs. Jelgava: LBTU. 29 lpp.

GALVENIE SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS

1. Mikroaļģu biomasas ekstraktu izmantošanai uz augiem ir liels potenciāls, jo to pagatavošana nav sarežģīta, to saturs ir bioloģisks, līdz ar to nav kaitīgs cilvēka un vides veselībai;
2. Optimālā augšanas temperatūra visām izvēlētajām mikroaļģēm, lai sasniegtu pēc iespējas lielāku biomasas daudzumu, ir 25 °C. Labākos rezultātus (lielāko biomasu) līdzvērtīgi sasniedza mikroaļģe *S. quadricauda* un *G. emersonii*, taču kopumā, apskatot arī pārējos parametrus, lielākās vērtības sasniedza *S. quadricauda*. Šie parametri ir būtiski, lai ražotu ne tikai augstāko biomasas saturu, bet arī mērķvielas koncentrāciju tajā atkarībā no nepieciešamības.
3. Mikroaļģu biomasas ekstrakcijas process (laiks, metode, šķīdinātāji, mikroaļģu suga u.c.) būtiski ietekmē ekstraktā esošo savienojumu daudzumu, līdz ar to svarīgi sākotnēji noskaidrot, kas konkrētajam kultūraugam ir nepieciešams atkarībā no konkrētā stresa faktora un kultūrauga veida;
4. Optimālie apstākļi mikroaļģu audzēšanai (fotoautotrofi) ir, izmantojot standarta 3N-BBM-V barotni koncentrācijā 0,5-1,0 g/L, kultivējot 20-25°C, 16:8 dienas/nakts režīmā un pielāgojot gaismas krāsu izvēlētajai mikroaļģu sugai un nepieciešamo savienojumu iegūšanai.
5. Mūsu laboratorijā izolētās mikroaļģu kultūras, *Graesiella emersonii* un *Tetradismus obliquus*, rāda augstu potenciālu biomasas ražošanā un spēj pielāgoties plašam audzēšanas apstākļu diapazonam (īpaši temperatūras), kas ir būtiski Latvijas klimatiskajos apstākļos;
6. Ikviens lauksaimnieks, kam ir interese vai nepieciešamība, var pats mājas apstākļos pagatavot mikroaļģu ekstraktu biostimulanta veidā, jo eksperimentos secināts, ka visbagātīgākais iekššūnu savienojumu saturs tiek iegūts, karsējot mikroaļģu masu 70 °C temperatūrā vismaz stundu vai izmantojot mikroviļņu asistēto ekstrakciju — ievietojot ekstraktu mikroviļņu krāsnī uz aptuveni 2 minūtēm. Abos gadījumos jāizmanto ūdeni/etanolu 50:50. Risinājumi ir viegli īstenojami arī z/s.
7. Veiktajos eksperimentos, apsmidzinot kultūraugus ar mikroaļģu ekstraktiem, netika novērota negatīva ietekme uz to augšanas vai ražošanas spējām.

PUBLICITĀTES PASĀKUMI

Zinātniskās publikācijas:

- Sivicka, I., Kampuss, K., Semjonovs, P. 2025 Effect of treatment with microalgae extracts on growth and development of tomato seedlings. *Acta Hortic.* 1416, 51-58, DOI: 10.17660/ActaHortic.2025.1416.7, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2025.1416.7>
- Sivicka, I., Kampuss, K., Semjonovs, P. 2025. Growth and yield performance of carrot (*Daucus carota* L.) influenced by treatments with microalgae extracts: Abstracts of the section 'Innovative and Applied Research in Biology' at the 83rd International Scientific Conference of the University of Latvia. *Biologija*. 1(71), 66-67.
- Tumpelis, T., Sukaruka, S., Semjonovs, P. 2025. Phenolic compounds and flavonoids in microalgal extracts for agricultural biostimulants: a comparative study of extraction methods: Abstracts of the section 'Innovative and Applied Research in Biology' at the 83rd International Scientific Conference of the University of Latvia. *Biologija*. 1(71), 85-86.
- Augšpole, I., Sivicka, I., Kampuss K., Semjonovs, P., Missa, I. 2024. Biologically Active Compounds of Tomato Fruits Affected by Application of Spirulina, Dunaliella and Chlorella Microalgae Extracts. *Preprints*.
<https://doi.org/10.20944/preprints202408.0180.v1>

Dalības starptautiskajās konferencēs

- Konferences ziņojums starptautiskajā Latvijas Universitātes 83. starptautiskajā zinātniskās konferences sekcijā "Inovatīvā un lietišķā pētniecība bioloģijā", "Phenolic compounds and flavonoids in microalgal extracts for agricultural biostimulants: a comparative study of extraction methods", Tomass Tumpelis, Santa Sukaruka, Pāvels Semjonovs (2025), Laboratory of Industrial Microbiology and Food Biotechnology, Institute of Biology, University of Latvia.
- Konferences ziņojums starptautiskajā Latvijas Universitātes 83. starptautiskajā zinātniskās konferences sekcijā "Inovatīvā un lietišķā pētniecība bioloģijā", "Growth and yield performance of carrot (*Daucus carota* L.) influenced by treatments with microalgae extracts", Irina Sivicka, Kaspars Kampuss, Pāvels Semjonovs (2025), Institute of Soil and Plants Sciences, Latvia, University of Life Sciences and Technologies, Laboratory of

Industrial Microbiology and Food Biotechnology, Institute of Biology, University of Latvia;

Ziņojums starptautiskā zinātniskā konferencē “5th European Horticulture Congress” Bukarestē 12.-16.05.2024. – Ingrīda Augšpole, Irina Sivicka, Kaspars Kampuss, Pāvels Semjonovs (2024), “Effect of treatment with microalgae extracts on growth and development of raspberry”;

Dalība 15. Starptautiskajā Agrokultūras simpozijā “AGROSYM 2024” 10-13. oktobrī (2024) Bosnijā un Hercegovinā - Ingrīda Augšpole, Irina Sivicka, Kaspars Kampuss, Pāvels Semjonovs (2024), “Effect of treatment with microalgae extracts on growth and development of raspberry”;

Dalība 15. Starptautiskajā Agrokultūras simpozijā “AGROSYM 2024” 10-13. oktobrī (2024) Bosnijā un Hercegovinā – Irina Sivicka, Ingrīda Augšpole, Kaspars Kampuss, Pāvels Semjonovs “Organoleptic and quality properties of tomato fruits under treatment with microalgae extracts”;

Dalība 15. Starptautiskajā Agrokultūras simpozijā “AGROSYM 2024” 10-13. oktobrī (2024) Bosnijā un Hercegovinā – Kaspars Kampuss, Ingrīda Augšpole, Pāvels Semjonovs, Irina Sivicka, Kristīne Afoņina “Treatment with microalgae extracts as potential stimulator of raspberry growth, development, and plant health status”;

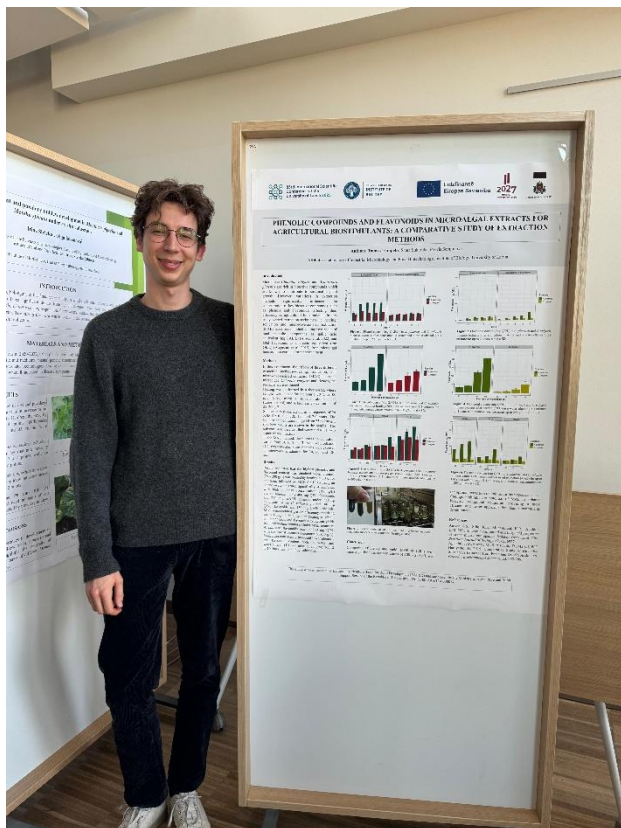
Konferences ziņojums konferencē *AlgaEurope 2024* Atēnās – Neiberts, K., Apse, J.O., Kampuss, K., Sivicka, I., Semjonovs, P. “Effects of tomato sprouts treatment with microalgae *Tetrademus obliquus* and *Graesiella emersonii* biomass extracts obtained by microalgae cultivation under suboptimal growth temperatures”, University of Latvia, Faculty of Medicine and Life Sciences, Institute of Biology, Laboratory of Industrial Microbiology and Food Biotechnology, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Laboratory of Horticulture and Beekeeping.

Publicitāte TV, radio u.c., sadarbība ar sabiedrību u.c.

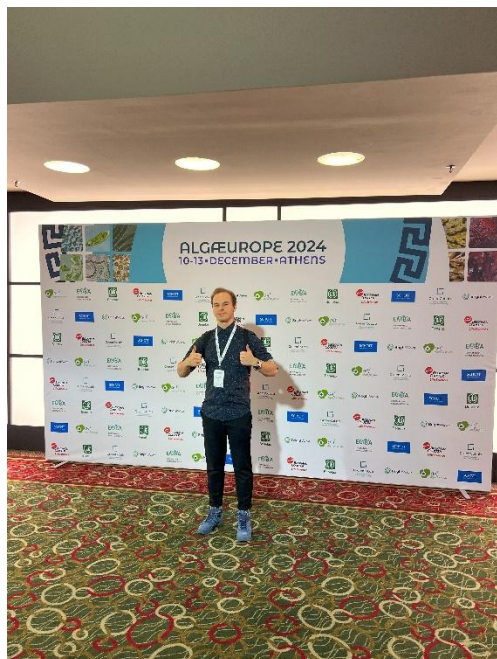
Dalība 2024. gada Zinātnieku naktī, kur Kristaps Neiberts, Oto Jēkabs Apse un Tomass Tumpelis viesus iepazīstināja ar mikroaļģu kultivāciju, dažādiem plūsmas fotobioreaktoriem, mikroaļģu ekstrakcijas metodēm un citām ar botehnoloģiju saistītām darbībām un iekārtām.

LAA mājaslapā un augļkopības datu krātuvē Agrilink, informācija par projektu. Ziņojums par to ir arī soc. platformās. Tiešā saite <https://www.laas.lv/agrilink/projekti/projekts-jaunu-mikrobiologisko-preparatu-izstrade-kulturaugu-razibas-paaugstinasanai>.

PUBLICITĀTES VIZUĀLAIS MATERIĀLS



Projekta tēmas popularizēšana Latvijas Universitātes 83. starptautiskajā zinātniskās konferences sekcijā “Inovatīvā un lietišķā pētniecība bioloģijā”



Projekta tēmas popularizēšana starptautiskajā konferencē *AlgaEurope 2024* Atēnās.



Interesenti laipni gaidīti Ojāra Vācieša ielā 4 un LU Bioloģijas institūta Papes Ornitoloģisko pētījumu centrā

Ojāra vācieša ielā 4, Rīgā

Mikroaļģu pasaule. Bioloģijas Institūts

Pasākuma laikā būs iespēja apskatīt laboratorijas telpas, kas ir aprīkotas ar visām nepieciešamajām iekārtām, lai varētu īstenot pētījumus mikroaļģu biotehnoloģijā un nodrošināt to biomasas ievākšanu. Kā arī būs iespējams redzēt 140 L ietilpīgu plūsmas fotobioreaktoru un trīs mazākus 10 L ietilpības fotobioreaktorus darbībā. Papildus būs iespējams apskatīt mikroaļģu biomasas bioloģiski aktīvo vielu ekstrakciju ar soksleta iekārtas palīdzību un pašas mikroaļģes gaismas mikroskopā. Kā arī pie vairākām iekārtām tiks izvietotas informatīvās par to pielietojumu. Pastāstīsim arī par mikroaļģu biomasas un to bioloģiski aktīvo vielu praktiskas izmantošanas iespējām un īstenojamiem praktiskās ievirzes pētnieciskajiem projektiem.

Aicinājums ierasties uz Zinātnieku nakti Bioloģijas institūtā (<https://lubi.lu.lv/parmums/zinas/zina/t/93289/>).

PHENOLIC COMPOUNDS AND FLAVONOIDS IN MICROALGAL EXTRACTS FOR AGRICULTURAL BIOSTIMULANTS: A COMPARATIVE STUDY OF EXTRACTION METHODS

Authors: Tomass Tumpelis, Santa Sukaruka, Pāvels Semjonovs

Affiliates: Laboratory of Industrial Microbiology and Food Biotechnology, Institute of Biology, University of Latvia

Introduction

Microalgae *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis* are rich in bioactive compounds which are known to contribute to sustainable plant growth. However, variations in extraction methods significantly influence the concentration of key bioactive compounds, such as phenols and flavonoids, affecting their efficiency as agricultural biostimulants. In this study, varied extraction techniques i.e. heating, sonication and microwave-assisted extraction (MAE) have been studied to improve yield of total phenolic compounds as gallic acid equivalent (mg GAE/L) (Anwer et al. 2022) and total flavonoids as quercetin equivalent (mg QE/L) (Augustini et al. 2015) from microalgal biomass into extracts for plant treatment.

Methods

In this experiment, the effects of three different extraction methods—heating, sonication, and microwave-assisted extraction (MAE)—on the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis* were evaluated.

Heating was performed in a thermostat, where samples were heated for one hour at 70 °C in 100 mL flasks, using a solvent ratio of 1:1 (water:ethanol) and a biomass concentration of 25–200 g/L.

Sonication was carried out at a frequency of 20 KHz for 0, 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 hours. The biomass concentration ranged from 25 to 200 g/L (the best results are shown in the graphs). The solvents used were distilled water and a 1:1 (v/v) water:ethanol mixture.

In the MAE method, the biomass concentration varied from 50 to 200 g/L, with water:ethanol (1:1, v/v) solvent mixture. Samples were exposed to microwave irradiation for 30, 60, and 120 seconds.

Results

Results indicated that the highest phenolic and flavonoid content was obtained when biomass (25–200 g/L) was treated by heating at 70 °C for one hour, followed by MAE for 120 s using an ethanol-water mixture. Specifically, *A. platensis* with high biomass concentration (200 g/L) yielded approximately 400 mg QE/L flavonoids and 240 mg GAE/L phenols under heating conditions, while *C. vulgaris* yielded 100 mg QE/L flavonoids and 150 mg GAE/L phenols. MAE demonstrated greater efficiency, requiring up to 1/60th of the time than heating to obtain similar phenols and flavonoids extraction yields from microalgal biomass. Under MAE treatment *A. platensis* flavonoids reached 260 mg QE/L with the lowest biomass concentration (50 g/L). Sonication consistently produced lower phenolic and flavonoid content both in water and water:ethanol (1:1 v/v) mixture, ranging from 2 to 10 times less than under other methods.

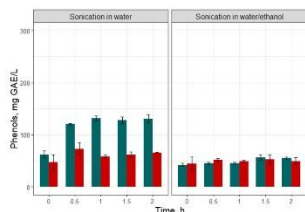


Figure 1. Phenol content (mg GAE/L) in *A. platensis* and *C. vulgaris* biomass extracts after sonication in water and a water:ethanol (1:1) mixture for up to 2 hours. n = 6 ± SD.

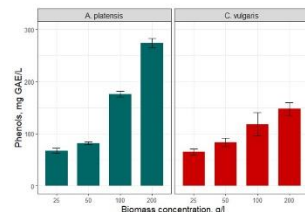


Figure 3. Phenol content (mg GAE/L) in *A. platensis* and *C. vulgaris* biomass extracts after heating (70 °C) in a water:ethanol (1:1) mixture for 1 hour, with biomass concentrations up to 200 g/L. n = 6 ± SD.

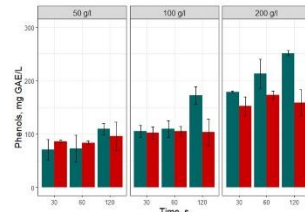


Figure 5. Phenol content (mg GAE/L) in *A. platensis* and *C. vulgaris* biomass extracts after microwave-assisted extraction (MAE) for up to 120 s in a water:ethanol (1:1) mixture, with biomass concentrations up to 200 g/L. n = 6 ± SD.



Figure 7. Color variation of extracts under different extraction conditions and experiment setup with heating at 70 °C.

Conclusion

Comparing efficiency and yield, MAE at 120 s with microalgal biomass concentrations of 100–200 g/L was

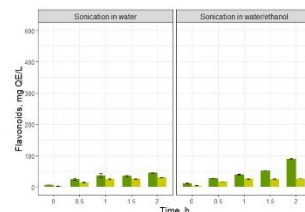


Figure 2. Flavonoid content (mg QE/L) in *A. platensis* and *C. vulgaris* biomass extracts after sonication in water and a water:ethanol (1:1) mixture for up to 2 hours. n = 6 ± SD.

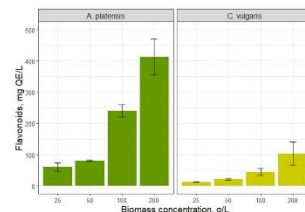


Figure 4. Flavonoid content (mg QE/L) in *A. platensis* and *C. vulgaris* biomass extracts after heating (70 °C) in a water:ethanol (1:1) mixture for 1 hour, with biomass concentrations up to 200 g/L. n = 6 ± SD.

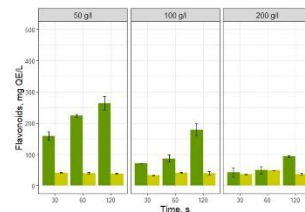


Figure 6. Flavonoid content (mg QE/L) in *A. platensis* and *C. vulgaris* biomass extracts after microwave-assisted extraction (MAE) for up to 120 s in a water:ethanol (1:1) mixture, with biomass concentrations up to 200 g/L. n = 6 ± SD.

the optimal extraction technique for both species. These findings highlight the potential of MAE to enhance bioactive compound extraction, providing a more efficient and faster approach for plant biostimulants development.

References

- Anwer, S.S., Sdiq, K.H., Muhammad, K.R., Aladdin, L.M. 2022. Phenolic compound and fatty acid properties of some microalgae species isolated from Erbil City. *Brazilian Journal of Biology*. 82, e256927.
- Augustini, T.W., Suzery, M., Sutrisnanto, D., Ma'ruf, W.F., Hadiyanto, H. 2015. Comparative Study of Bioactive Substances Extracted from Fresh and Dried *Spirulina* sp. *Procedia Environmental Sciences*. 23, 282-289.

O8: GROWTH AND YIELD PERFORMANCE OF CARROT (*DAUCUS CAROTA* L.) INFLUENCED BY TREATMENTS WITH MICROALGAE EXTRACTS

Irina Sivicka^{1*}, Kaspars Kampuss¹, Pāvels Semjonovs²

¹ Institute of Soil and Plant Sciences, Latvia University of Life Sciences and Technologies

² Laboratory of Industrial Microbiology and Food Biotechnology, Institute of Biology, FMLS, University of Latvia

* Corresponding author. Email: Irina.Sivicka@lbtu.lv

The research aimed to the evaluation of growth and yield performance of carrot (*Daucus carota* L.) influenced by treatments with microalgae extracts. At the end of May 2024, carrots (cultivar 'Nantes 2' F1, Vilmorin, vegetation period 110 days after germination) were sown in field conditions of the laboratory of Horticulture and Beekeeping of the Latvia University of

Life Sciences and Technologies. From the stage of first leaves (start of June), once per week, total five times plants were sprayed weekly with the solution of ethanol extractions of different microalgae species: *Spirulina*, *Chlorella*, *Tetrademus*, and *Graesiella*. Two concentrations of the extracts were compared with sprays with corresponding ethanol solution as a control. During experiment, no negative effect to carrots' growth and development was noticed for any microalgae extracts. The influence both the type and concentration of microalgae extracts on the growth of carrots was not significant ($p > 0.05$). For yield, kg m⁻², average result from 3.23 (control variant with drinking water) to 12.03 (*Chlorella*, 10%) was observed. In the case of yield, the significant influence ($p < 0.05$) of concentration was observed, but the influence of the type of microalgae extract was not significant.

Keywords: carrot, microalgae, extracts, yield

Acknowledgements: this study was performed within the framework of the project No. 22-00-A01612-000014 co-financed by European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and supported by the Ministry of Agriculture and Rural Support Service of the Republic of Latvia.

Effects of treatment with autotrophically grown microalgae *Tetrademus obliquus* and *Graesiella emersonii* biomass extracts on tomatoes

Neiberts K.¹

Apse J.O.¹, Sivicka I.², Kampuss K.², Semjonovs P.¹

¹University of Latvia, Faculty of Medicine and Life Sciences, Institute of Biology, Laboratory of Industrial Microbiology and Food Biotechnology

²Latvia University of Life Sciences and Technologies, Laboratory of Horticulture and Beekeeping

Introduction

Agriculture provides a general part of the nutrients needed for humans to survive. Besides, as human population enlarges extensively, and most of agricultural crops are treated with chemical fertilizers and pesticides which can be harmful to humans and environment also abroad of the cultivated fields, therefore research efforts for balanced farming are required.

Microalgal biomass can offer more human- and nature-friendly alternative solutions to replace chemical fertilizers and plant growth stimulants, and pesticides. Microalgae contain numerous compounds like phenols, growth hormones, proteins, pigments and lipids, which are essential for agricultural plants as growth stimulants and can be defined as control substances for diseases or harmful insects.

Methods

Microalgae cultures

Microalgae strains *Graesiella emersonii* KM01, *Tetrademus obliquus* OM02 are freshwater microalgae isolated from different water bodies in Riga, Latvia.

Media and microalgae cultivation conditions

In this study microalgae were cultivated in Erlenmeyer flasks. Media used in experiment was three times nitrogen Bold Basal Media with vitamins. Cultivation was carried out in orbital shaker in presence of LED light source with day : night cycle 16:8 h and light intensity of 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in temperatures ranging from 5°C till 25°C.

Extract preparation

To obtain microalgal extracts for further tomato plant treatment, microalgal biomass grown at the optimal growth temperature of 25°C in closed photobioreactors was used to prepare extracts (equal parts of water and ethanol 96.3%).

Greenhouse experimental design

The experiment was carried out in polycarbonate greenhouse. Seeds of tomato hybrid cultivar 'Belle' F1 (Enza Zaden) were sown in plastic cassettes filled with peat (producer Laflora Ltd., pH_{KCl} 5.5). At the stage of early growth (18th day), seedlings were replanted in vegetation pots (1 L) filled with the same substrate. During experiment, plant care was provided for tomato seedlings. Since germination seedlings had been sprayed once a week for four weeks with the solution of ethanol extractions of different microalgae species *T. obliquus* OM02 and *G. emersonii* KM01. Two concentrations of the extracts were used – 10% and 20% (v/v) as well compared with control sprays with corresponding ethanol solution: 2% and 4% (v/v) and drinking water. At the age of 35 days, seedlings were replanted in 25 L containers for a further investigation. As well there have been separate plants, that have been grown at the same conditions and started to spray after replanting in 25 L containers at 35th day. The treatment was the same as for seedlings, i.e. they were sprayed once a week for four weeks till fruit ripening stage.

Results

Microalgae growth experiments at suboptimal temperatures showed that polyunsaturated fatty acids (PUFA) and pigments production is promoted at a lower temperatures - 15°C and 20°C degrees, respectively, compared to the optimal growth temperature. Increase of PUFA (figure 3) at 15°C was by 56,74% and 30,08% and microalgal chlorophyll (figure 1) at 20°C was by 36,42% and 18,72%, respectively *T. obliquus* OM02 and *G. emersonii* KM01. Although the increase of biomass (figure 2) was lower at suboptimal temperatures compared to the optimal by 60,32% *T. obliquus* OM02 and 68,92% *G. emersonii* KM01 at 5°C temperature.

It has been shown that chlorophyll content changes in leaves (figure 4) compared with all three-control groups, have increased in leaves that were treated with microalgal extract. Tomato leaves sprayed with *T. obliquus* OM02 4% extract showed 13,46% higher chlorophyll content compared to the control, and *G. emersonii* KM01 4% extract 6,25% higher, respectively. Furthermore, tomato leaves, the count on each tomato stem increased where they were sprayed with microalgae extract compared to the control group (figure 5). *G. emersonii* KM01 4% extract increased leaf count by 10,69% and 8,93% and *T. obliquus* OM02 8% extract by 16,35% and 14,70%, respectively compared to ethanol control and water control, respectively.

After soluble soil content measurements in BRIX (figure 6), it can be seen that soil with tomatoes sprayed with both microalgae extracts showed higher BRIX values compared to control groups, respectively by 23% with *T. obliquus* OM02 and 30% with *G. emersonii* KM01.

Conclusion

Lower temperatures can enhance PUFA and pigment production in microalgae, although overall biomass is lower compared to optimal growth temperatures. Despite this, higher concentrations of PUFA or pigments can benefit tomato plants as biostimulants and protectors against diseases.

Spraying tomato plants with microalgae extracts increases leaf count and chlorophyll content. As chlorophyll is green it absorbs red and blue parts of the electromagnetic spectrum and reflects the green part of the spectrum. Which leads to that, that leaves with more chlorophyll are better able to absorb the light required for photosynthesis. Energy that has been manufactured in the photosynthesis process is stored and later used to convert carbon dioxide (which is accumulated from air) and water to glucose. Later plants can use converted glucose together with nutrients up taken from soil to grow new leaves and stems as well as increase overall plant yield.

As for BRIX levels in soil. Tomato plants sprayed with both microalgae extracts showed higher levels. This means that tomato plants have more of the cell needed nutrients which leads to better overall plant health and growth as well as more tasty and flavorful fruits.

Acknowledgement

This study was co-financed by European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and supported by the Ministry of Agriculture and Rural Support Service of the Republic of Latvia, grant Nr. 22-00-A01612-0000014.



Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

Posteris starptautiskajai konferencei *AlgaEurope 2024* Atēnās.

Biologically Active Compounds of Tomato Fruits Affected by Application of *Spirulina*, *Dunaliella* and *Chlorella* Microalgae Extracts

Ingrīda Augšpole ¹, Irina Sivicka ^{1,*}, Kaspars Kampuss ¹, Pāvels Semjonovs ²
and Imants Missa ¹

¹ Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Agriculture and Food technology, LV-3001, Jelgava, Latvia; ingrida.augspole@lbtu.lv

² Laboratory of Industrial Microbiology and Food Biotechnology, Institute of Biology, University of Latvia, LV-1004, Riga, Latvia; psem@latnet.lv

* Correspondence: irina.sivicka@lbtu.lv; Tel.: +37129725068

Abstract: The present study aimed to investigate the effect of solution of ethanol extractions of different microalgae species: *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp. and *Chlorella* sp. on the accumulation of biologically active compounds in tomato fruits. Ethanol solution as well as treatment with drinking water were used as a control. Tomato cultivar 'Belle' F1 (Enza Zaden) was grown in 25 L pots, in peat substrate (pH_{KCl} 5.5, producer Laflora LTd), polycarbonate greenhouse. Chemical composition – total carotenoids, lycopene and β-carotene content, total phenolics and anthocyanins, organic acids, vitamin C as well as dry matter, pH and soluble solids content – was determined in tomato fruits at the stage of full ripen. The influence of tested extracts on biologically active compounds on quality parameters of tomatoes was different, but no negative effect was observed. As only pH values as well as total phenol content and total soluble solids had statistically significant differences, results can be described with genetical stability of the cultivar.

Keywords: microalgae; *Solanum lycopersicum* L; chemical composition; lycopene



▼ Projektā plānotās aktivitātes :

1. Palielināt dabiskas izcelsmes Latvijā ražotu augu stimulējošu un aizsargājošu preparātu klāstu, un izpētīt pasaulē salīdzinoši jaunas tehnoloģijas – bioreaktoros audzētu mikroaļģu ekstraktu – izmantojamību integrētajā un bioloģiskajā lauksaimniecībā atklāta lauka un segtajās (siltumnīcu) platībās.
2. Aprobēt Latvijā vēl nebijušu metožu kopumu un tehnoloģiskos risinājumus dažādu aļģu sugu audzēšanai kontrolētos apstākļos un pārstrādei bioaktīvu ekstraktu ieguvei, kā arī pētīt iegūto aļģu ekstraktu augu augšanu, ražību un stresa toleranci stimulējošās īpašības, kas var kalpot par pamatu plaša spektra aļģu izcelsmes augu augšanu stimulējošu preparātu tālākai izstrādei un ražošanai.
3. Aptvert zinātniski pētniecisko institūciju un vairāku lauku saimniecību sadarbību jaunu metožu un augkopības produktu izstrādē un paredz arī tālāku potenciālu jaunu produktu komercializāciju, aļģu ekstraktu īpašību, bioaktīvo vielu un to darbības molekulāro mehānismu tālāku izpēti ilgtspējīgai zinašanās balstītai bioekonomikas attīstībai nākotnē

Projekta īstenošanas vadošā pamatstrukturvienība Latvijas Universitātē ir Latvijas Universitātes Bioloģijas institūts.

▼ Projekta rezultāti

Līdz šim paveikts:

Sagatavoti un prezentēti ziņojumi vairākās starptautiskās konferencēs, kā arī publicētas zinātniskas publikācijas.

Izstrādāta mikroaļģu audzēšanas metodoloģija dažādās kultivēšanas sistēmās – no laboratorijas kolbām līdz plūsmas fotobioreaktoriem.

Izmēģinātas un optimizētas mikroaļģu ekstraktu iegūšanas metodes, tostarp ultraskaņas homogenizācija, kas ļauj iegūt preparātus ar augstu aktīvo vielu koncentrāciju.

Veikti lauka izmēģinājumi uz dažādiem kultūraugiem – tomātiem, avenēm, burkāniem un rapsi.

Informācija par projektu un tās norisēm Latvijas Augļkopju Asociācijas mājaslapā (<https://www.laas.lv/agrilink/projekti/projekts-jaunu-mikrobiologisko-preparatu-izstrade-kulturaugu-razibas-paaugstinasanai/>).

LITERATŪRAS SARAKSTS

- Agustini, T.W., Suzery, M., Sutrisnanto, D., Ma'ruf, W.F. 2015. Hadiyanto, Comparative Study of Bioactive Substances Extracted from Fresh and Dried Spirulina sp. *Procedia Environmental Sciences*. 23, 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.042>.
- Akimov, M., Y., Koltsov, V., A., Zhbanova, E., V., Akimova, O., M. 2021. Nutritional value of promising raspberry varieties. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 640(2), 022078.
- Aleya, L., Dauta, A., Reynolds, C.S. 2011. Endogenous regulation of the growth-rate responses of a spring-dwelling strain of the freshwater alga, *Chlorella minutissima*, to light and temperature. *Eur. J. Protistol.* 47, 239–244.
- Al-Lami, H., F., D., You, M., P., Banga, S., S., Barbetti, M., J. 2023. Novel Resistances Provide New Avenues to Manage Alternaria Leaf Spot (*Alternaria brassicae*) in Canola (*Brassica napus*), Mustard (*B. juncea*), and Other Brassicaceae Crops. *Plant Dis.* 107(2):372-381.
- Alsina, A., Dubova, L., Duma, M., Erdberga, I., Avotiņš, A., Rakutko, S. 2019. Comparison of lycopene and β -carotene content in tomatoes determined with chemical and non-destructive methods. *Agronomy Research*. 17(2), 343–348.
- Anwer, S.S., Sdiq, K.H., Muhammad, K.R., Aladdin, L.M. 2022 Phenolic compound and fatty acid properties of some microalgae species isolated from Erbil City. *Braz J Biol.* 21(82), e256927.
- Arroussi, H.E., Benhima, R., Elbaouchi, A., Sijilmassi, B., Mernissi, N.E., Aafsar, A., Meftah-Kadmiri, I., Bendaou, N., Smouni, A. 2018. *Dunaliella salina* exopolysaccharides: a promising biostimulant for salt stress tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Applied Phycology*. 30, 2929-2941.
- Ashfaq, A., Shadi, H., Fawzi, B. 2022. An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: food security and circular economy. *Bioengineered*. 13, 9521-9547. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148>.
- Aziz, T., Maqsood, M. A., Kanwal, S., Hussain, S., Ahmad, H. R., Sabir, M. 2015. Fertilizers and Environment: Issues and Challenges. *Crop Production and Global Environmental Issues*. 575–598.

- Barzee, T.J., El- Mashad, H.M., Zhang, R., Pan, Z. 2019. Carrots. Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products, *Academic Press*. 297–330.
- Beassler, L. 2021. Raspberry Fertilizing Needs – When To Feed Raspberries. [https://www.gardeningknowhow.com/edible/fruits/raspberry/when-to-feed-raspberries.htm#:~:text=Raspberry%20plant%20fertilizer%20should%20be,100%20feet%20\(30.4%20m.\).](https://www.gardeningknowhow.com/edible/fruits/raspberry/when-to-feed-raspberries.htm#:~:text=Raspberry%20plant%20fertilizer%20should%20be,100%20feet%20(30.4%20m.).) Skatits 13.05.2024.
- Beecher, G., R. 1998. Nutrient Content of Tomatoes and Tomato Products. *Experimental Biology and Medicine*. 218(2), 98–100.
- Bella, E., Baglieri, A. Rovetto, E.I., Stevanato, P. 2021. Foliar Spray Application of *Chlorella vulgaris* Extract: Effect on the Growth of Lettuce Seedlings. *Agronomy*. 11(2), 308.
- Bianco, M., I., Ponso, M., A., Garita-Cambronero, J., Conforte, V., P., Galván, T., E., Dunger, G., Morales, G., M., Vojnov, A., A., Romero, A., M., Cubero, J., Yaryura, P., M. 2023. Genomic and phenotypic insight into *Xanthomonas vesicatoria* strains with different aggressiveness on tomato. *Front Microbiol*. 27;14:1185368.
- Blankenship, R.E., Tiede, D.M., Barber, J., Brudvig, G.W., Fleming, G., Ghirardi, M., Sayre, R. T. 2011. Comparing photosynthetic and photovoltaic efficiencies and recognizing the potential for improvement. *Science*. 332(6031), 805-809.
- Boncan, D.A.T., Tsang, S.S.K., Li, C., Lee, I.H.T., Lam, H.M., Chan, T.-F, Hui, J.H.L. 2020. Terpenes and Terpenoids in Plants: Interactions with Environment and Insects. *Int. J. Mol. Sci*. 21, 7382.
- Bonner, J., Bonner, H. 1948. The B Vitamins as Plant Hormones. *Vitamins & Hormones*. 6, 225-275.
- Borowitzka, M.A. 2018. Chapter 3 - Biology of Microalgae. *Microalgae in Health and Disease Prevention*. 23-72. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00003-7>.
- Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J.W. 2014 Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 383, 3–41.
- Carew, J., G., Gillespie, T., White, J., Wainwright, H., Brennan, R., Battey, N. H. 2000. The control of the annual growth cycle in raspberry. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 75(5), 495–503.
- CCAP. 2024a. CCAP 276/46. *Tetrademus obliquus*. <https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-276-46>. Skatits 02.05.2024

- CCAP. 2024b. CCAP 211/55 *Graesiella emersonii*. <https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-211-55>. Skatīts 17.05.2024.
- Chanda, Mj., Merghoub, N. & EL Arroussi, H. 2019. Microalgae polysaccharides: the new sustainable bioactive products for the development of plant bio-stimulants? *World J Microbiol Biotechnol* 35, 177.
- Chen, Y., Vaidyanathan, S. 2013. Simultaneous assay of pigments, carbohydrates, proteins and lipids in microalgae. *Analytica Chimica Acta*. 776, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.03.005>.
- Chiaiese, P., Corrado, G., Colla, G., Kyriacou, M.C., Rouphael, Y. 2018. Renewable Sources of Plant Biostimulation: Microalgae as a Sustainable Means to Improve Crop Performance. *Front. Plant Sci.* 9, 1782.
- Chmielewska, A., Kozłowska, M., Rachwał, D., Wnukowski, P., Amarowicz, R., Nebesny, E., Rosicka-Kaczmarek, J. 2020. Canola/rapeseed protein – nutritional value, functionality and food application: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1-21.
- Coppens, J., Grunert, O., Van Den Hende, S., Vanhoutte, I., Boon, N., Haesaer, G., De Gelder, L. 2016. The use of microalgae as a highvalue organic slow-release fertilizer results in tomatoes with increased carotenoid and sugar levels. *Journal of Applied Phycology*. 28(4), 2367-2377.
- Coronado-Reyes, J.A., Salazar-Torres, J.A., Juarez-Campos, B., Gonzalez-Hernandez, J.C. 2022. *Chlorella vulgaris*, a microalgae important to be used in Biotechnology: a review. *Food Sci. Technol, Campinas*. 42, 37320.
- Corrêa, P.S., Morais Júnior, W.G., Martins, A.A., Caetano, N.S., Mata, T.M. 2021. Microalgae Biomolecules: Extraction, Separation and Purification Methods. *Processes*. 9(1), 10.
- Costa, J. A. V., Freitas, B. C. B., Cruz, C. G., Silveira, J., Morais, M. G. 2019. Potential of microalgae as biopesticides to contribute to sustainable agriculture and environmental development. *Journal of Environmental Science and Health*. 54(5), 366–375.
- Crop Science 2024. Canola Disease Guide. <https://www.cropscience.bayer.us/articles/dad/canola-disease-guide>. Skatīts 28.04.2025.
- Deamici, K.M., Figueiredo, D., Guerra, I., Letras, P., Pereira, H. 2025. Chapter 2 - Global market and future trends of microalgae-based products, Editor(s): Yves Gagnon, Eduardo Jacob-

- Lopes, Leila Queiroz Zepka, Mariany Costa Deprá. Woodhead Series in Bioenergy, Algal Bioreactors, Elsevier Science Ltd. Pp 11-25.
- Dejoye Tanzi C, Abert Vian M, Ginies C, Elmaataoui M, Chemat F. 2012 Terpenes as green solvents for extraction of oil from microalgae. *Molecules*. 2012 Jul 9;17(7):8196-205.
- Deng, Y., Tang, X., Huang, B., Ding, L. 2012. Effect of temperature and irradiance on the growth and reproduction of the green macroalga, *Chaetomorpha valida* (Cladophoraceae, Chlorophyta). *J Appl Phycol*. 24, 927–933.
- Dimkpa, C. O., Fugice, J., Singh, U., Lewis, T. D. 2020. Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency – Trends and perspectives. *Science of The Total Environment*. 139113.
- Dmytryk, A., Samoraj, M., Moustakas, K., Witek-Krowiak, A., Chojnacka, K. 2022. Bioactive fatty acids and compounds from *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis*: Potential as biostimulants for plant growth. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 30, 2352-5541.
- Dolganyuk, V., Belova, D., Babich, O., Prosekov, A., Ivanova, S., Katserov, D., Patyukov, N., Sukhikh, S. 2020. Microalgae: A Promising Source of Valuable Bioproducts. *Biomolecules*. 10, 1153.
- El-Baky, H.H., Hussein, M.M. El-Baroty, G.S. 2020. Algal extracts improve antioxidant defense abilities and salt tolerance of wheat plant irrigated with sea water. *International Journal of Irrigation and Water Management*. 7(11), 1-14.
- El-Baky, H.H.A., El-Baz, F.K., El-Baroty, G.S. 2009. Enhancing antioxidant availability in wheat grains from plants grown under seawater stress in response to microalgae extract treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90(2), 299-303.
- Evelyn, E., Villanueva, Gutierrez 2018. An overview of recent studies of tomato (*Solanum lycopersicum* spp) from a social, biochemical and genetic perspective on quality parameters. *Horticulture and Crop Production Science*.
- Evens, T.J., Niedz. R.P., Kirkpatrick, G.J. 2008 Temperature and irradiance impacts on the growth, pigmentation and photosystem II quantum yields of *Haematococcus pluvialis* (Chlorophyceae). *J Appl Phycol*. 20, 411–422.
- Ferreira de Oliveira, A.P., Pavesi, A., Bragotto, A. 2022. Microalgae-based products: Food and public health. *Future Foods*. 6, 100157. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100157>.

- Fiola, Joseph, A., Swartz, Harry, J. 1989. SCREENING RASPBERRY (IDAEOBATUS) HYBRIDS FOR RESISTANCE TO VERTICILLIUM ALBO-ATRUM. *Acta Hortic.* 262, 181-188.
- Folch, J., Lees, M.B., Stanley, G.H.S. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry.* 226(1), 497–509. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5).
- Gao, F., Li, H., Mu, X., Gao, H., Zhang, Y., Li, R., Cao, K., Ye, L. 2023. Effects of Organic Fertilizer Application on Tomato Yield and Quality: A Meta-Analysis. *Applied Sciences*,13(4):2184.
- Geciova, J., Bury, D., Jelen, P. Methods for disruption of microbial cells for potential use in the dairy industry—a review. *International Dairy Journal.* 12(6), 541-553.
- Golubkina, N., Sekara, A., Tallarita, A., Sellitto, V. M., Torino, V., Stoleru, V., Brîndușa, S. H., Caruso G. 2022. Microalgae in agricultural crop production. *Italus Hortus.* 29(1), 94-114.
- González A, Castro J, Vera J, Moenne A 2013. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *J Plant Growth Regul* 32:443–448.
- Gonzalez, J.G., Sommerfeld, M., 2015. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. *J Appl Phycol.* 29(28), 1051-1061.
- Guleria, S., Chawla, P., Relhan, A., Kumar, A., Bhasin, A., Zhou, J.L. 2024. Antibacterial and photocatalytic potential of bioactive compounds extracted from freshwater microalgae species (*Spirogyra* and *Ocillatoria*): A comparative analysis. *Science of The Total Environment.* 912, 169224.
- Gupta, S., Doležal, K., Kulkarni, M.G., Balázs, E., Staden, J. 2022. Role of non-microbial biostimulants in regulation of seed germination and seedling establishment. *Plant Growth Regulation.* 97, 271-313.
- Han, X., Zeng, H., Bartocci, P., Fantozzi, F., Yan, Y. Phytohormones and Effects on Growth and Metabolites of Microalgae: A Review. *Fermentation.* 4(2), 25.
- Harrigan, W.F. 1998. Laboratory methods in food microbiology. *San Diego Academic Press.* 532
- Higgins, D., S., Hausbeck, M., K. 2023. Diseases of Carrot. *Handbook of Vegetable and Herb Diseases.*

- Huang, P.W., Wang, L.R., Geng, S.S. et al. 2021. Strategies for enhancing terpenoids accumulation in microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol* 105, 4919–4930.
- Hwang, S., F., Strelkov, S., E., Feng, J., Gossen, B., D., Howard, R., J. 2012. Plasmodiophora brassicae: a review of an emerging pathogen of the Canadian canola (Brassica napus) crop. *Mol Plant Pathol.* 13(2):105-13.
- ICL. S.a. Advice for growing Carrot (*Daucus carota*). <https://iclgrowingsolutions.com/agriculture/crops/carrots/>. Skatīts 10.05.2024.
- Imbimbo, P., D'Elia, L., Liberti, D., Olivieri, G., Monti, D.M. 2020. Towards green extraction methods from microalgae learning from the classics. *Appl Microbiol Biotechnol.* 104, 9067–9077.
- iNATURALIST. 2025. Photos of Tetrademus obliquus. https://www.inaturalist.org/taxa/861485-Tetrademus-obliquus/browse_photos. Skatīts 08.04.2025.
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). 1996. *Descriptors for tomato (Lycopersicon spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute.
- Irina, Pilvere 2013. PROBLEMS OF SMALL FARMS IN LATVIA. *Economics and Rural Development.* 9(2), 1822-3346.
- Yao, L., Gerde, J. A., Lee, S.-L., Wang, T., & Harrata, K. A. 2015. Microalgae Lipid Characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 63(6), 1773–1787.
- YARA. 2024. Canola Nutrient Requirements. <https://www.yaracanada.ca/crop-nutrition/canola/canola-nutrient-requirements/>. Skatīts 13.05.2024.
- Yoshida, S., Koitabashi, M., Nakamura, J., Fukuoka, T., Sakai, H., Abe, M., Kitamoto, D., Kitamoto, H. 2015. Effects of biosurfactants, mannosylerythritol lipids, on the hydrophobicity of solid surfaces and infection behaviours of plant pathogenic fungi. *J Appl Microbiol.* 119, 215–224.
- Youssef, S.M., El-Serafy, R.S., Ghanem, K.Z., Elhakem, A., Aal, A.A.A. 2023. Foliar Spray or Soil Drench: Microalgae Application Impacts on Soil Microbiology, Morpho-Physiological and Biochemical Responses, Oil and Fatty Acid Profiles of Chia Plants under Alkaline Stress. *Biology (Basel).* 11(12), 1844.
- James, J., Barry, M., R., Michael, Davis 2004. Alternia diseases of carrot. *Plant Disease.* Vol. 88 No. 8.

- Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 196, 3-14.
- Jawale C.A, Rajput K. H. Ugale B. J. 2017. Assessing the impact of pesticides: An overview. *Int. J. of Life Sciences*. 5 (3): 474-479.
- Jokel, M., Salazar, J., Chovancek, E., Sirin, S., Allahverdiyeva, Y. 2023. Screening of several microalgae revealed biopesticide properties of *Chlorella sorokiniana* against the strawberry pathogen *Phytophthora cactorum*. *Journal of Applied Phycology*. 35, 2675-2687.
- Kang, N.S., Cho, K., An, S.M., Kim, E.S., Ki, H., Lee, C.H., Choi, G., Hong, J.W. 2022. Taxonomic and Biochemical Characterization of Microalga *Graesiella emersonii* GEGS21 for Its Potential to Become Feedstock for Biofuels and Bioproducts. *Energies*. 15(22), 8725.
- Khan W, Hiltz D, Critchley AT, Prithiviraj B 2011. Bioassay to detect *Ascophyllum nodosum* extract-induced cytokinin-like activity in *Arabidopsis thaliana*. *J Appl Phycol* 23:409–414.
- Khan, M.I., Shin, J.H., Kim, J.D. 2018. The promising future of microalgae: Current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microb. Cell Fact*. 17(36).
- Kil, E., J., Kim, S., Lee, Y., J. et al. 2016. Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV-IL): a seed-transmissible geminivirus in tomatoes. *Sci Rep*. 6, 19013.
- Kiran, B., Kumar, R., Deshmukh, D. 2014. Perspectives of microalgal biofuels as a renewable source of energy. *Energy conversion and management*. 88, 1228-1244.
- Kisiriko, M., Terry, L.A., Anastasiadi, M., Yasri, A. 2021. Phenolics from Medicinal and Aromatic Plants: Characterisation and Potential as Biostimulants and Bioprotectants. *Molecules*. 26(21), 6343.
- Klok, A.J., Martens, D.E., Wijffels, R.H., Lamers, P.P. 2013. Simultaneous growth and neutral lipid accumulation in microalgae. *Bioresour. Technol*. 134, 233–243.
- Kruger, N.J. 1994. The Bradford method for protein quantitation. *Methods Mol Biol*. 32, 9-15.
- Levasseur, W., Perré, P., Pozzobon, V. 2020. A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification. *Biotechnology advances*. 41, 107545.
- Li, Y., Zhang, Z., Paciulli, M., Abbaspourrad, A. 2020. Extraction of phycocyanin-A natural blue colorant from dried spirulina biomass: Influence of processing parameters and extraction techniques. *J Food Sci*. 85(3), 727-735.

- Lichtenthaler, H.K. 1987. [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 148, 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
- Liu, J., Qiao, W., Song, Y. 2016. Stimulatory effect of auxins on the growth and lipid productivity of *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus quadricauda*. *Algal Research*. 18, 273–280.
- Ložienė, Kristina, Švedienė, Jurgita, Paškevičius, Algimantas, Raudonienė, Vita, Sytar, Oksana, Kosyan, Anatoliy. 2018. Influence of plant origin natural α -pinene with different enantiomeric composition on bacteria, yeasts and fungi. *Fitoterapia*. 127, 20–24.
- LR Centrālā statistikas pārvalde (LR CSP) 2017a. Lauksaimniecības kultūragu sējumu platība, ha – Teritoriālā vienība. Sk. 24.04.2024. Pieejams https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START__NOZ__LA__LAG/LAG020/table/tableViewLayout1/
- MA Ibrahim, EJ Oksanen, JK Holopainen. 2004. Effects of limonene on the growth and physiology of cabbage and carrot plants. 84(11), 1319–1326.
- Maadane, A., Merghoub, N., Ainane, T., El Arroussi, H., Benhima, R., Amzazi, S., Bakri, Y., Wahby, I. 2015. Antioxidant activity of some Moroccan marine microalgae: PUFA profiles, carotenoids and phenolic content. *Journal of Biotechnology*. 215, 13-19.
- Markovic, V., Djurovka, M., Ilin, Z. 1996. The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruit characteristics. *Acta Horticulturae*. 462, 163-170.
- Mashael, A., Esam, E., Wafa, A. 2021. Identification and Growth Characterization of Native Microalgae Isolated from Different Environments of Saudi Arabia. *Bioscience Biotechnology Research Communications*. 14, 1065.
- Matosinhos, R.D., Cesca, K., Carciofi, B.A.M., de Oliveira, D., de Andrade, C.J. 2023. Mannosylerythritol lipids as green pesticides and plant biostimulants. *J Sci Food Agric*. 103, 37-47.
- Michalak, I., Chojnacka, K. 2014. Algal extracts: Technology and advances. *Engineering in Life Sciences*. 14(6), 547-691.
- Mohamed, Youssef, Banora 2023. Impacting of Root-Knot Nematodes on Tomato: Current Status and Potential Horizons for Its Managing. 10.5772/intechopen.112868.

- Morshedi, A. 2011. An investigation into the effects of sowing time, N and P fertilizers on seed yield, oil and protein production in Canola. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(5), 533–547.
- Mosquera, M.E.G., Jiménez, G., Tabernero, V., Vinueza-Vaca, J., García-Estrada, C., Kosalková, K., Sola-Landa, A., Monje, B., Acosta, C., Alonso, R., et al. 2021. Terpenes and Terpenoids: Building Blocks to Produce Biopolymers. *Sustain. Chem.* 2, 467-492.
- Muñoz, R.C., Depraect, O.G. 2021. Membrane-Based Harvesting Processes for Microalgae and Their Valuable-Related Molecules: A Review. *Memranes (Basel)*. 11(8), 585.
- Munro, J.M., Dolan, A., Williamson, B. 1988. Cane spot (Elsinoë veneta) in red raspberry: infection periods and fungicidal control. *Plant Pathology*. 37(3), 390–396.
- Mutale-joan, C., Redouane, B., Najib, E., Yassine, K., Lyamlouli, K., Laila, S., Zeroual, Y., Hicham, E.A. 2020. Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of Solanum lycopersicum L. *Sci. Rep.* 10, 2820.
- Nagtode, V.S., Cardoza, C., Yasin, H.K.A., Mali, S.N., Tambe, S.M., Roy, P., Singh, K., Goel, A., Amin, P.D., Thorat, B.R., Cruz, J.N., Pratap, A.P. 2023. Green Surfactants (Biosurfactants): A Petroleum-Free Substitute for Sustainability—Comparison, Applications, Market, and Future Prospects. *ACS Omega*. 8(13), 11674-11699.
- Naznin, M.T., Lefsrud, M., Azad, M.O.K., Park, C.H. 2019. Effect of different combinations of red and blue LED light on growth characteristics and pigment content of in vitro tomato plantlets. *Agriculture*. 9, 196.
- Nkurunziza, E., Nyalala, S., Umuhoza, K.N.J. 2022. Effect of seedling quality on growth, yield and quality of tomato (Solanum lycopersicum L.). *International Journal of Horticultural Science*. 28, 64-72.
- Oliveira, C.Y.B., Oliveira, C.D., Prasad, R., Ong, H.C. 2021. A multidisciplinary review of Tetrademus obliquus: a microalga suitable for large-scale biomass production and emerging environmental applications. *Reviews in Aquaculture*. 13(1), 25.
- Ong, S., N., Taheri, S., Othman, R., Y. et al. 2020. Viral disease of tomato crops (Solanum lycopersicum L.): an overview. *J Plant Dis Prot.* 127, 725–739.
- Orfei, Benedetta, Pothier, Joël, F., Fenske, Linda, Blom, Jochen, Moretti, Chiaraluce, Buonauro, Roberto, Smits, Theo, H., M. 2023. Race-specific genotypes of Pseudomonas syringae pv.

- tomato are defined by the presence of mobile DNA elements within the genome. *Frontiers in Plant Science*. Volume 14.
- Ottesen, A.R., González Peña, A., White, J.R., Pettengill, J.B., Li, C., Allard, S., Rideout, S., Allard, M., Hill, T., Evans, P., Strain, E., Musser, S., Knight, R., Brown, E. 2013. Baseline survey of the anatomical microbial ecology of an important food plant: *Solanum lycopersicum* (tomato). *BMC Microbiol.* 13, 114. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-13-114>.
- Padmathilake, K., R., E., Fernando, W., G., D. 2022. Leptosphaeria maculans-Brassica napus Battle: A Comparison of Incompatible vs. Compatible Interactions Using Dual RNASeq. *Int J Mol Sci.* 23(7):3964.
- Pandey, A.K., Dinesh, K., Nirmala, N.S., Kumar, A., Chakraborti, D. Bhattacharyya, A. 2023. Insight into tomato plant immunity to necrotrophic fungi. *Current Research in Biotechnology.* 6, 100144. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2023.100144>.
- Parmar, P., Kumar, R., Neha, Y., Srivatsan, V. 2023. Microalgae as next generation plant growth additives: Functions, applications, challenges and circular bioeconomy based solutions. *Front. Plant Sci.* 14, 1073546.
- Patel, A., Matsakas, L., Sartaj, K., Chandra, R. 2020. Extraction of lipids from algae using supercritical carbon dioxide. *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science.* 17-39.
- Paul, L., Raymer 2002. Canola: An Emerging Oilseed Crop. *Trends in New Crops and New Uses.*
- Perin, G., Bellan, A., Bernardi, A., Bezzo, F., Morosinotto, T. 2019. The potential of quantitative models to improve microalgae photosynthetic efficiency. *Physiologia plantarum.* 166(1), 380-391.
- Prisa, D., Spangnuolo, D. 2023. Plant Production with Microalgal Biostimulants. *Horticulturae.* 9(7), 829.
- Quito-Avila, D., F., Lightle, D., Martin, R., R. 2014. Effect of Raspberry bushy dwarf virus, Raspberry leaf mottle virus, and Raspberry latent virus on Plant Growth and Fruit Crumbliness in “Meeker” Red Raspberry. *Plant Disease.* 98(2), 176–183.
- Rameshprabu, R., Unpaprom, Y., Dussadee, N. 2016. Cultivation of Green Microalga, *Chlorella vulgaris* for Biogas Purification. *International Journal of Scientific & Technology Research.* 2(3), 117-122.

- Ruangsomboon, S. 2012. Effect of light, nutrient, cultivation time and salinity on lipid production of newly isolated strain of the green microalga, *Botryococcus braunii* KMITL 2. *Bioresour. Technol.* 109, 261–265.
- Saadaoui, I., Rasheed, R., Aguilar, A., Cherif, M., Aljabri, H., Sayadi, S., Manning, S. 2021. Microalgal-based feed: promising alternative feedstocks for livestock and poultry production. *Journal of Animal Science and Biotechnology.* 12, 76. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00593-z>.
- Sánchez-Camargo, A.P., Mendiola, J.A., Ibáñez, E., Herrero, M. 2014. Supercritical Fluid Extraction. *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering.*
- Sandhya, M., Ramasamy, D., Sudhakar, K., Kadirgama, K., Harun, W.S.W. 2021. Ultrasonication an intensifying tool for preparation of stable nanofluids and study the time influence on distinct properties of graphene nanofluids – A systematic overview. *Ultrason Sonochem.* 73, 105479.
- Sarfaraz A, Naeem M, Shafia N et al 2011. An evaluation of the effects of irradiated sodium alginate on the growth, physiological activities and essential oil production of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *J Med Plants Res* 5(1):15–21
- Sartori, R.B., Siqueira, S.F., Maroneze, M.M. et al. 2021. Microalgal secondary metabolites: effect of climatic variables, seasons, and photocycles on the biogenesis of volatile organic compounds (VOCs). *J Appl Phycol.* 33, 1457–1472.
- Seenivasagan, R., Babalola, O.O. 2021. Utilization of Microbial Consortia as Biofertilizers and Biopesticides for the Production of Feasible Agricultural Product. *Biology (Basel).* 10(11), 1111.
- Shahoveisi, F., Riahi, Manesh, M., del Río, Mendoza, L., E. 2022. Modeling risk of *Sclerotinia sclerotiorum*-induced disease development on canola and dry bean using machine learning algorithms. *Sci Rep.* 12, 864.
- Sharma SHS, Lyons G, McRoberts C et al 2012. Biostimulant activity of brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of polysaccharides and bioassay of extracts using mung bean (*Vigna mungo* L.) and pak choi (*Brassica rapa chinensis* L.). *J Appl Phycol* 24:1081–1091.

- Shen, Y., Yuan, W., Pei, Z.J., Wu, Q., Mao, E. 2009. Microalgae Mass Production. *Methods. Transactions of the ASABE*. 52, 1275-1287. DOI:[10.13031/2013.27771](https://doi.org/10.13031/2013.27771).
- Shen, J., Liu, Y., Wang, X., Bai, J., Lin, L., Luo, F., Zhong, H. 2023. A Comprehensive Review of Health-Benefiting Components in Rapeseed Oil. *Nutrients*. 15, 999. <https://doi.org/10.3390/nu15040999>.
- Sierra, M.E., Serrano, M., Manares, A., Guerra, A., Aranguren Diaz, Y. 2021. Microalgae: Potential for Bioeconomy in Food Systems. *Applied Sciences*. 11(23), 11316. <https://doi.org/10.3390/app112311316>.
- Singh, B., Sharma, R.A. 2015. Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis regulation and clinical applications. *Biotech*. 5, 129–151.
- Singh, J., Saxena, R. 2015. An Introduction to Microalgae: Diversity and Significance. Diversity and Significance. *Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances*. 11-24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800776-1.00002-9>
- Singh, N.K., Dhar, D.W. 2011. Microalgae as second generation biofuel. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 31, 605-629.
- Skowrońska, M., Filipek, T. 2014. Life cycle assessment of fertilizers: a review. *International Agrophysics*. 28(1), 101–110.
- Stirk, W.A., Ördög, V., Novák, O., Rolčík, J., Strnad, M., Bálint, P., Staden, J. Auxin and cytokinin relationships in 24 microalgal strains. *Journal of Phycology*. 49(3), 459-467.
- Suchithra, M.R. Muniswami, D.M., Sri, M.S., Usha, R., Rasheeq, A.A, Preethi, A., Dineshkumar, R. 2022. Effectiveness of green microalgae as biostimulants and biofertilizer through foliar spray and soil drench method for tomato cultivation. *South African Journal of Botany*. 146, 740-750.
- Sun, X.M., Ren, L.J., Zhao, Q.Y., Ji, X.J., Huang, H. 2018. Microalgae for the production of lipid and carotenoids: a review with focus on stress regulation and adaptation. *Biotechnol Biofuels*. 11, 272.
- Supraja, K.V., Behera, B., Balasubramanian, P. 2020. Efficacy of microalgal extracts as biostimulants through seed treatment and foliar spray for tomato cultivation. *Industrial Crops and Products*. 151, 112453.

- Surumpa, J., Pumas, C. 2021. Advantages of Heterotrophic Microalgae as a Host for Phytochemicals Production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.628597>.
- Susanto, E., Mustajab, R.M. Kamil, M., Atho'illah, M.F., Riyadi, P.H., Kurniasih, R.A., Pangestuti, R., Prasetyo, D.Y.B. 2024. Unlocking Nature's Potential: A Comparative Study of Bioactive Compounds Extracted from Tropical Microalgae. *Molecular Biotechnology*.
- SWAIT, A., A. J. 1982. Fungicide programmes for the control of spur blight, powdery mildew and grey mould on raspberry. *Annals of Applied Biology*. 100(2), 289–295.
- Tamaki, S., Mochida. K., Suzuki, K. 2021. Diverse Biosynthetic Pathways and Protective Functions against Environmental Stress of Antioxidants in Microalgae. *Plants*. 10(6), 1250.
- Torres-Tiji, Y., Fields, F.J., Mayfield, S.P. 2020. Microalgae as a future food source. *Biotechnol*. 41, 107536.
- Valerie, Le Clerck, Mathilde, B. 2021. *Carrots and related APICAE crops 2nd edition*. CABI international. Pages 114.-120.
- Vera J, Castro J, Contreras RA et al 201.) Oligo-carrageenans induce a long-term and broad-range protection against pathogens in tobacco plants (var. Xanthi). *Physiol Mol Plant Pathol* 79:31–39.
- Vitlin Gruber, A., Feiz, L. 2018. Rubisco Assembly in the Chloroplast. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 5.
- Wang, C., Qi, M., Guo, J., Zhou, C., Yan, X., Ruan, R., Cheng, P. 2022. The Active Phytohormone in Microalgae: The Characteristics, Efficient Detection, and Their Adversity Resistance Applications. *Molecules*. 27(1), 46.
- Wang, X., Shen, Z. & Miao, X. 2016. Nitrogen and hydrophosphate affects glycolipids composition in microalgae. *Sci Rep*. 6, 30145.
- Xin, L., Hong-ying, H., Yu-ping, Z. 2011. Growth and lipid accumulation properties of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. under different cultivation temperature. *Bioresour Technol*. 102, 3098–3102.
- Zhang, G., Li, Z., Cheng, J., Cai, X., Cheng, F., Yang, Y., Yan, Z. 2022. Morphological and physiological traits of greenhouse-grown tomato seedlings as influenced by supplemental white plus red versus red plus blue LEDs. *Agronomy*. 12, 2450.

- Zullaikah, S., Jessinia, M.C.P., Yasmin, M., Rachimoellah, M., Wu, D.W. 2019. Lipids extraction from wet and unbroken microalgae *Chlorella vulgaris* using subcritical water. *Materials science forum*. 964, 103-108.
- Žunić, V., Hajnal-Jafari, T., Stamenov, D., Djurić, S., Tomić, J., Pešaković, M., Grohar, M.C., Stampar, F., Veberic, R. Hudina, M., Jakopic, J. 2024. Application of microalgae-based biostimulants in sustainable strawberry production. *Journal of Applied Phycology*. 36, 1219-1231.