

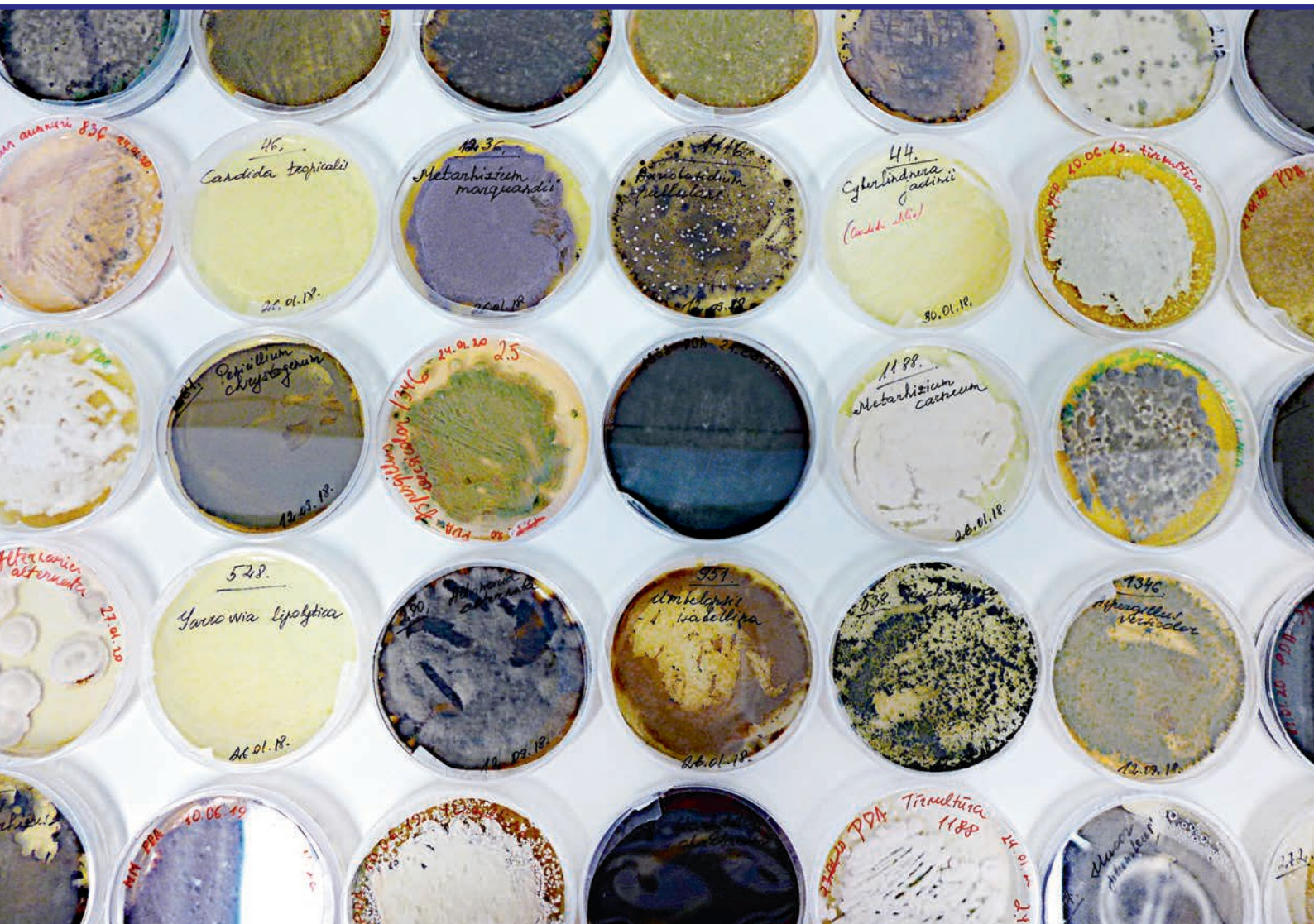


RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Krišs Spalviņš

VIENŠŪNU PROTEĪNU UN VIENŠŪNU EĻĻU RAŽOŠANA NO AGROINDUSTRIĀLAJIEM BLAKUSPRODUKTIEM

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte
Vides aizsardzības un siltumu sistēmu institūts

Krišs Spalviņš

Doktora studiju programmas “Vides zinātne” doktorants

**VIENŠŪNU PROTEĪNU UN VIENŠŪNU EĻĻU
RAŽOŠANA NO AGROINDUSTRIĀLAJIEM
BLAKUSPRODUKTIEM**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
profesore *Dr. habil. sc. ing.*
DAGNIJA BLUMBERGA

RTU izdevniecība
Rīga 2020

Spalviņš K. Vienšūnu proteīnu un vienšūnu eļļu ražošana no agroindustriālajiem blakusproduktiem. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2020. 25 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes "RTU P-19" 2020. gada 12. maija lēmumu, protokols Nr. 117.

ISBN 978-9934-22-485-0 (print)
ISBN 978-9934-22-486-7 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora grāda (*Ph. D.*) iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2020. gada 31. augustā plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12 k-1, 115. telpā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Ritvars Sudārs,
Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvija

Asociētais profesors *Ph.D. Denis Baranenko*,
Sanktpēterburgas Informācijas tehnoloģiju, mehānikas un optikas pētniecības valsts universitāte, Krievija

Profesors *D.sc.(tech.) Timo Laukkanen*,
Ålto Universitāte, Somija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora grāda (*Ph. D.*) iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Krišs Spalviņš (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 12 attēlu, 13 tabulu, viens pielikums, kopā 222 lappuses. Literatūras sarakstā ir 420 nosaukumu.

SATURS

IEVADS	5
Aktualitāte	5
Promocijas darba mērķi un uzdevumi.....	6
Promocijas darba zinātniskās novitātes	7
Izvirzītās hipotēzes.....	7
Promocijas darba praktiskā nozīme	8
Promocijas darba zinātniskā aprobācija.....	8
1. KOPSAVILKUMS PAR SCP UN SCO PRIEKŠROCĪBĀM, SALĪDZINOT AR CITĀM ALTERNATĪVĀM.....	11
1.1. Mikroorganismu izmantošanas priekšrocības SCP vai SCO ražošanā.....	13
1.2. SCP priekšrocības	13
1.3. SCO priekšrocības.....	14
2. SCP UN SCO RAŽOŠANAI PIEMĒROTU BLAKUSPRODUKTU PIEEJAMĪBAS ANALĪZE	15
2.1. Kopsavilkums par SCP ražošanai piemērotiem lauksaimniecības blakusproduktiem.....	15
2.2. Kopsavilkums par SCP ražošanai piemērotiem industriālajiem blakusproduktiem	15
2.3. Kopsavilkums par SCO ražošanai piemērotiem lauksaimniecības blakusproduktiem.....	16
2.4. Kopsavilkums par SCO ražošanai piemērotiem industriālajiem blakusproduktiem	17
2.5. Kopsavilkums par optimizācijas modeli un gadījuma pētījumu	17
3. LABORATORIJAS STĒNDA IZVEIDE	19
3.1. Finansējuma piesaistīšana.....	19
3.2. VASSI Biosistēmu laboratorijas labiekārtošana.....	19
4. KOPSAVILKUMS PAR IZLIETOTO CEPŠANAS EĻĻU IZMANTOŠANU SCP RAŽOŠANĀ.....	21
5. SECINĀJUMI	22
6. IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	23

IEVADS

Zivis, vēžveidīgie un ūdens augi ir labs olbaltumvielu, nepiesātināto taukskābju, minerālu un vitamīnu avots, un šo produktu iekļaušana ikdienas uzturā ir vēlama veselībai. Šo produktu galvenais ieguves avots vienmēr ir bijusi savvaļas nozveja. Tomēr šī nozare nespēj palielināt nozvejas apjomus jau kopš 90. gadu sākuma, savukārt pasaules iedzīvotāju skaits tajā pašā laika posmā ir palielinājies par vairāk nekā diviem miljardiem. Lai kompensētu un apmierinātu arvien pieaugošo pieprasījumu pēc jūras veltēm, akvakultūras nozare strauji palielināja ražošanas apjomus, un kā pasaulē visstraujāk augošā pārtikas rūpniecība tā 2014. gadā pirmo reizi apsteidza savvaļas nozvejas produkcijas apjomus. Pašlaik lielākā daļa patērēto zivju un vēžveidīgo nāk no akvakultūras fermām nevis no pasaules jūrām un okeāniem. Akvakultūra ne tikai nodrošina pasauli ar paredzamiem un regulāriem ražošanas apjomiem, bet arī veicina savvaļas nozvejas intensitātes samazināšanos un ar to saistīto negatīvo ietekmi uz ekspluatētajiem biotopiem. Neskatoties uz to, ka akvakultūra palīdz apmierināt pieprasījumu pēc jūras veltēm, tā joprojām ir daļēji atkarīga no savvaļas nozvejas, jo lielu daļu akvakultūras zivju baro ar izejvielām (zivju miltiem un zivju eļļu), kas nāk tieši no savvaļas nozvejas produktiem. Tādējādi ir izveidojusies situācija, kad savvaļas zivis tiek aktīvi nozvejotas, lai nodrošinātu ar barības izejvielām nebrīvē audzētās zivis. Straujās akvakultūras attīstības dēļ mūsdienās aptuveni 70 % no pasaulē ražotajiem zivju miltiem un zivju eļļām akvakultūrās tiek izmantotas kā barība, bet zivju miltu un zivju eļļas ražošanu nevar palielināt savvaļas nozvejas stagnācijas dēļ, un tas kopumā apdraud turpmāku akvakultūras nozares attīstību.

Lai nodrošinātu akvakultūras nozares turpmāku attīstību, esošie zivju milti un zivju eļļa ir jāaizstāj ar jauniem, olbaltumvielām un eļļu bagātiem avotiem, kas nākotnē varētu apmierināt pieprasījumu pēc kvalitatīvām zivju barībām. Zivju miltus un zivju eļļu var aizstāt ar šādām alternatīvām: 1) savvaļas nozvejas zivju pārstrādes blakusprodukti (galvas, zvīņas, spuras, āda, iekšējie orgāni); 2) dažādi augi (rapsis, saulespuķes, soja utt.); 3) ģenētiski modificēti (ĢM) augi; 4) izmantojot augu izcelsmes cukurus kā sastāvdaļas viensūnu proteīnu (SCP) un viensūnu eļļas (SCO) ražojošo mikroorganismu kultivēšanai; 5) izmantojot bioloģiski noārdāmus blakusproduktus, invazīvās augu sugas vai citas agrorūpniecības atliekas (turpmāk sauktas par "blakusproduktiem") kā sastāvdaļas SCP un SCO ražojošo mikroorganismu kultivēšanai. Visām šīm alternatīvām ir savi plusi un mīnusi, taču tiek uzskatīts, ka no blakusproduktiem ražotajiem SCP un SCO ir vislielākās izredzes kļūt par viskonkurētspējīgākajiem, vienlaikus tie arī vismazāk ietekmē vidi. Pašlaik no blakusproduktiem iegūtie SCP un SCO netiek plaši izmantoti zivju barībā, jo, neraugoties uz līdz šim veikto lielo pētījumu skaitu, tirgū nav ieviesti pietiekami konkurētspējīgi risinājumi. Tāpēc nepieciešami papildu pētījumi par blakusproduktiem, kas piemēroti SCP un SCO ražošanai, par blakusproduktu sagādi, kā arī par dažādām blakusproduktu un mikroorganismu kombinācijām.

Aktualitāte

Akvakultūras nozare ir pasaulē lielākais jūras produktu piegādātājs, kas turpina strauji augt un palielināt ražošanas apjomus. Tomēr akvakultūrā pašlaik izmantotā zivju barība tiek ražota no sastāvdaļām, kas nav pieejamas pietiekamā daudzumā, tieši konkurē ar lauksaimniecības teritorijām, apdraud sugu daudzveidību, veicina klimata izmaiņas, rada veselības

problēmas saimniecībās audzētām zivīm un samazina audzēto zivju produktu uzturvērtību. Līdz ar to, ir nepieciešami risinājumi, kas aizvieto līdz šim izmantotās barības ar daudz ilgtspējīgākiem risinājumiem. Problēma ir aktuāla, jo pētījumā tiek analizēti un tālāk izstrādāti labāki tehnoloģiskie risinājumi, kas ir viensūnu proteīni un viensūnu eļļas, kas ražotas no bioloģiski noārdāmiem blakusproduktiem.

Lai arī *SCP* un *SCO* tehnoloģija ir teorētiski pārāka par esošajiem risinājumiem, tā joprojām netiek plaši izmantota zivju barības ražošanā, jo trūkst pētījumu par to, kuri blakusprodukti ir vispiemērotākie *SCP* un *SCO* ražošanai. Trūkst pētījumu arī par dažādu blakusproduktu pieejamību un optimālas blakusproduktu un *SCP* un *SCO* ražojošo mikroorganismu kombinācijām. Šajā promocijas darbā tiek analizēti dažādi blakusprodukti un ziņojumi par jaunu blakusproduktu un mikroorganismu izmantošanu, kas iepriekš nav izmantoti *SCP* un *SCO* ražošanā, tāpēc šī darba rezultāti turpina attīstīt *SCP* un *SCO* ražošanas tehnoloģijas, kas tieši pamato darba aktualitāti kopējās problēmas kontekstā.

Promocijas darba mērķi un uzdevumi

- 1) veikt literatūras analīzi par visiem *SCP* un *SCO* ražošanai piemērotajiem blakusproduktiem:
 - a) aprakstīt katra blakusprodukta īpašības, pieejamību, ziņotās *SCP* un *SCO* ražas un klasificēt visus blakusproduktus;
 - b) balstoties uz veikto analīzi, identificējiet katras kategorijas potenciāli vispiemērotākos blakusproduktus;
- 2) izstrādāt blakusproduktu sagādes optimizācijas modeli:
 - a) izstrādāt viegli lietojamu modeli, kas neprasa no lietotāja iepriekšējas zināšanas darbā ar speciālu optimizācijas programmatūru vai pieredzi darbā ar līdzīgiem modeļiem;
 - b) izmantojot izstrādāto modeli, veikt viena blakusprodukta gadījumu izpēti;
- 3) izveidot laboratorijas stendu praktiskiem eksperimentiem:
 - a) piesaistīt finansējumu inventāra iegādei;
 - b) organizēt inventāra iepirkumus;
 - c) iekārtot laboratoriju un validēt iegādātā inventāra funkcionalitāti, lai sasniegtu attiecīgos pētījumu mērķus;
- 4) veikt praktiskos eksperimentus laboratorijā, lai iegūtu *SCP* no iepriekš neizpētītā blakusprodukta un mikroorganismu celmu kombinācijas:
 - a) balstoties uz pirmajā uzdevumā veikto analīzi, atlasīt blakusproduktus un veikt praktiskus eksperimentus ar *SCP* ražojošiem mikroorganismiem un noteikt augšanas ātrumu, biomasas daudzumu, olbaltumvielu koncentrāciju biomasā un kaitīgu savienojumu uzkrāšanos.

Promocijas darba zinātniskās novitātes

Promocijas darba izstrādes laikā tika radīti vairāki zinātniskie jauninājumi:

- 1) pirmo reizi zinātniskajā literatūrā visi viensūnu proteīniem un viensūnu eļļām piemērotie agroindustriālie blakusprodukti ir apkopoti, kategorizēti un aprakstīti vienuviet; par šo apskatrakstu nepieciešamību liecina konkrēto publikāciju citējumi:
 - a) publikācija “*Single cell protein production from waste biomass: review of various agricultural by-products. Agronomy Research 2018; 16(S2):1493-1508. Spalvins K., Ivanovs K., Blumberga D.*” ir citēta 15 reižu (“95rd percentile”, izlaižot pašcitējumus), nozares svērtā citēšanas ietekme (*field-weighted citation impact FWCI*) – 3,77;
 - b) publikācija “*Single cell protein production from waste biomass: comparison of various industrial by-products. Energy Procedia 2018; 147:409-418. Spalvins K, Zihare L, Blumberga D.*” ir citēta piecas reizes (“96th percentile”, izlaižot pašcitējumus), *FWCI* – 4,56;
 - c) publikācija “*Single cell oil production from waste biomass: Review of applicable agricultural by-products. Agronomy Research 2019; 17(3):833-849. Spalvins K., Blumberga D.*” ir citēta trīs reizes (“82th percentile”, izlaižot pašcitējumus), *FWCI* – 1,67;
- 2) Latvijas Patentu valde ir apstiprinājusi patenta pieteikumu par inovatīvu viensūnu eļļas ekstrakcijas tehnoloģiju;
- 3) eksperimentāli iegūta augstākā līdz šim ziņotā *Yarrowia lipolytica* biomasas koncentrācija, izmantojot izlietotu cepšanas eļļu kā galveno oglekļa avotu, lai ražotu viensūnu proteīnu; eksperimentos iegūtas ļoti augstas *Yarrowia lipolytica* biomasas koncentrācijas (57,37 g/L);
- 4) iegūtajā *Yarrowia lipolytica* biomasā uzkrājās zemas toksiskā malondialdehīda (MDA) koncentrācijas (2,32 mg MDA/kg), salīdzinot ar koncentrācijām, kas sākotnēji tika noteiktas pašā WCO (30,87 mg MDA/kg); iepriekš nav ziņots par mēģinājumiem samazināt MDA ar mikrobiālo fermentāciju palīdzību.

Izvirzītās hipotēzes

1. Viensūnu proteīni un viensūnu eļļas, kas iegūtas no agroindustriāliem blakusproduktiem, ir labāk piemērotas zivju barības ražošanai nekā pašlaik izmantotās izejvielas.
2. Vislielāko viensūnu olbaltumvielu un viensūnu eļļu ražu var iegūt, ja par galveno oglekļa avotu izmanto ar monosaharīdiem un disaharīdiem bagātīgus avotus.
3. *Yarrowia lipolytica* biomasas, kas kultivēta, kā galveno oglekļa avotu izmantojot izlietotu cepamo eļļu, uzkrās ievērojami mazāk lipīdu peroksidācijas produktu nekā sākotnēji klātesošs pašā izejvielā, lai iegūto biomasu varētu uzskatīt par drošu (<2,00 mg MDA/kg).
4. *Yarrowia lipolytica* ir efektīvs mikroorganisms izlietotas cepamās eļļas izmantošanā, lai iegūtu SCP.

Promocijas darba praktiskā nozīme

Promocijas darbā sagatavotie pārskati un veiktie eksperimenti ar *SCP* un *SCO* iegādi, kā blakusproduktus izmantojot substrātus, ir tieši saistīti ar pētāmo problēmu – atbilstošu zivju barības izejvielu trūkumu akvakultūras nozarē. Gan blakusproduktu raksturojums, gan eksperimenti, kas veikti ar *SCP* un *SCO* ražojošiem mikroorganismiem, izmantojot blakusproduktus, turpina attīstīt *SCP* un *SCO* ražošanas tehnoloģijas, lai nodrošinātu, ka nākotnē *SCP* un *SCO* izmantošana zivju barībā kļūst par galvenajām izejvielām.

Promocijas darba izstrādes laikā Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta (VASSI) Biosistēmu laboratorija tika aprīkota ar jaunu aprīkojumu, kas šī darba izstrādes laikā ļāva veikt eksperimentus mikrobioloģijā, molekulārajā bioloģijā un ķīmijā, kā arī dos iespēju studentiem un VASSI pētniekiem veikt eksperimentus arī nākotnē.

Blakusproduktu analīze tika pabeigta ar resursu piegādes optimizācijas modeļa izstrādi un gadījuma izpēti vienam blakusproduktam. Modelis tika izstrādāts, lai tas būtu pēc iespējas vienkāršāks lietotājiem, kuriem nav iepriekšēju zināšanu par speciālu programmatūru vai kuriem nav pieredzes ar optimizācijas modeļiem. Tādējādi šim modelim ir tiešs praktisks lietojums dažādu resursu sagādē un vispiemērotāko blakusproduktu meklēšanā.

Promocijas darba zinātniskā aprobācija

Darba pamatā ir vairākas zinātniskās publikācijas.

1. Spalvins, K., Blumberga, D. Production of fish feed and fish oil from waste biomass using microorganisms: overview of methods analyzing resource availability. *Environmental and Climate Technologies* 2018:22:149–154.
2. Spalvins, K., Ivanovs, K., Blumberga, D. Single cell protein production from waste biomass: review of various agricultural by-products. *Agronomy Research* 2018:16(S2):1493-1508.
3. Spalvins, K., Zihare, L., Blumberga, D. Single cell protein production from waste biomass: comparison of various industrial by-products. *Energy Procedia* 2018:147:409-418.
4. Spalvins, K., Blumberga, D. Single cell oil production from waste biomass: review of applicable agricultural by-products. *Agronomy Research* 2019:17(3):833–849.
5. Spalvins, K., Vamza, I., Blumberga, D. Single cell oil production from waste biomass: review of applicable industrial by-products. *Environmental and Climate Technologies* 2019:23(2):325–337.
6. Spalvins, K., Blumberga, D. A simple tool for resource availability optimization: A case study of dairy whey supply for single cell protein and oil production in Latvia. *Agronomy Research* 2020 (accepted).
7. Spalvins, K., Geiba, Z., Blumberga, D. Waste cooking oil as substrate for single cell protein production by yeast *Yarrowia lipolytica*. *Environmental and Climate Technologies* 2020 (accepted).

Citas ar tēmu saistītas zinātniskās publikācijas, kas nav iekļautas promocijas darbā

8. Zihare, L., Spalvins, K., Blumberga, D. Multi criteria analysis for products derived from agro industrial by-products. *Energy Procedia* 2018:147:452–457.
9. Racko, E., Blumberga, D., Spalvins, K., Marciulaitiene, E. Ranking of by-products for single cell oil production. Case of Latvia. 2020 (submitted).

Citas zinātniskās publikācijas

10. Spalvins, K., Blumberga, D. Analysis of *Arabidopsis* defensin-like genes and ovule development. *Agronomy Research* 2017:15(5), 2144–2160.
11. Priedniece, V., Spalviņš, K., Ivanovs, K., Pubule, J., Blumberga, D. Bioproducts from Potatoes. A Review. *Environmental and Climate Technologies* 2017:21:18–27.
12. Romagnoli, F., Balina, K., Spalvins, K. Eutrophication Reduction, Using Latvian Lake Macroalgae For Biogas Production. From: 4th world Lettigallian congress “Latgales Simtgades kongress”, Latvia, Rezekne, 5–6 of May, 2017. Rezekne: Rezekne Academy of Technologies 2017:67-68. ISSN 2500–9591.
13. Ivanovs, K., Spalvins, K., Blumberga, D. Approach for modelling anaerobic digestion processes of fish waste. *Energy Procedia* 2018; 147:390–396.
14. Zihare, L., Muizniece, I., Spalvins, K., Blumberga, D. Analytical framework for commercialization of the innovation: case of thermal packaging material. *Energy Procedia* 2018:147:374–381.
15. Blumberga, A., Fraimanis, R., Muizniece, I., Spalvins, K., Blumberga, D. Trilemma of historic buildings: smart district heating systems, bioeconomy and energy efficiency. *Energy* 2019: 186:115741.
16. Zihare, L., Gusca, J., Spalvins, K., Blumberga, D. Priorities Determination of Using Bio-resources. Case Study of *Heracleum sosnowskyi*. *Environmental and Climate Technologies* 2019:23(1):242–256.

Zinātniskās konferences

1. Spalvins, K., Blumberga, D. Analysis of *Arabidopsis* defensin-like genes and ovule development: The Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2016, October 12–14, 2016, Riga, Latvia.
2. Spalvins, K., Blumberga, D. Production of fish feed and fish oil from waste biomass using microorganisms: overview of methods analyzing resource availability: The Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2017, May 10–12, 2017, Riga, Latvia.
3. Spalvins, K., Ivanovs, K., Blumberga, D. Single cell protein production from waste biomass: review of various agricultural by-products: Conference of Biosystems Engineering, BSE 2018, May 10, 2018, Tartu, Estonia.
4. Spalvins, K., Zihare, L., Blumberga, D. Single cell protein production from waste biomass: comparison of various industrial by-products: The Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2018, May 16–18, 2018, Riga, Latvia.

Zihare, L., Spalvins, K., Blumberga, D. Multi criteria analysis for products derived from agro industrial by-products: The Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2018, May 16–18, 2018, Riga, Latvia.

5. Spalvins, K., Blumberga, D. Single cell oil production from waste biomass: review of applicable agricultural by-products: Conference of Biosystems Engineering, BSE 2019, May 9, 2019, Tartu, Estonia.
6. Spalvins, K., Vamza, I., Blumberga, D. Single cell oil production from waste biomass: review of applicable industrial by-products: The Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2019, May 15–17, 2019, Riga, Latvia.
7. Spalvins, K., Blumberga, D. A simple tool for resource availability optimization: A case study of dairy whey supply for single cell protein and oil production in Latvia. Conference of Biosystems Engineering, BSE 2020, May 6, 2020, Tartu, Estonia.
8. Spalvins, K., Geiba, Z., Blumberga, D. Waste cooking oil as substrate for single cell protein production by yeast *Yarrowia lipolytica*: The Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2020, May 13–15, 2020, Riga, Latvia.

Zinātniskais projekts

1. Project for the commercialization of research results “Supercritical Omega-3 Oil from Production By-Products” co-funded by ERDF and supervised by LIAA. Project implementation period: January 29, 2018–April 28, 2021.

Patents

1. Kriss Spalvins, Dagnija Blumberga. Method for producing single cell oil from biodegradable by-products, P-18-63, 22.04.2020.

Vadītie un līdzvadītie bakalaura un maģistra darbi

1. Elīna Račko. Single cell oil yields in *Yarrowia lipolytica* and *Umbelopsis isabellina* microbiological cultures when using biodegradable by-products. Bachelor thesis. RTU, 2018 (Latviešu val.).
2. Diāna Veršīņina. Effect of various biodegradable by-products on single cell protein yields in microbiological cultures. Bachelor thesis. RTU, 2019 (Latviešu val.).
3. Laura Karīna Pizāne. Single cell oil production from production by-products. Bachelor thesis. RTU, 2019 (Latviešu val.).
4. Zane Kušnere. Single cell protein production from biodegradable waste products in *Cyberlindnera jadinii*, *Rhizopus oryzae*, *Paecilomyces marquandii* and *Paecilomyces carneus* microbiological cultures. Master's thesis. RTU, 2019.
5. Ilze Vamža. Omega-3 fatty-acids production from biodegradable by-products, by using single cell organisms. Master's thesis. RTU, 2019 (Latviešu val.).
6. Elīna Račko. Multicriteria analysis of *Labyrinthulomycetes* class microorganism strains and applicable agro-industrial by-products. Master's thesis. RTU, 2020.
7. Reičela Pētersone. Single cell protein production from fruit pulp and dairy residues by using *Candida utilis*. Bachelor thesis. RTU, 2020 (Latviešu val.).

1. KOPSAVILKUMS PAR SCP UN SCO PRIEKŠROCĪBĀM, SALĪDZINOT AR CITĀM ALTERNATĪVĀM

Kā minēts iepriekš, proteīnus un eļļas, kas izmantojamas akvakultūrās audzētu zivju barībai, ir iespējams ražot no šādiem avotiem:

- 1) savvaļas nozvejas zivīm (mazvērtīgās zivis – zivju miltu ražošanai, eļļainās zivis – zivju eļļas un zivju miltu ražošanai);
- 2) savvaļas nozvejas zivju pārstrādes blakusproduktiem (galvas, zvīņas, spuras, āda, iekšējie orgāni);
- 3) dažādiem ar proteīniem bagātiem un eļļainajiem augiem (soja, rapsis, saulespuķes utt.);
- 4) ģenētiski modificētiem (ĢM) augiem, kas radīti vai nu paaugstinātai proteīnu vai eļļas koncentrācijai, vai arī uzlabotiem aminoskābju vai taukskābju profiliem;
- 5) izmantojot augu izcelsmes cukurus, lai kultivētu SCP un SCO ražojošos mikroorganismus.

Tomēr, salīdzinot ar SCP un SCO ražošanu no blakusproduktiem, šīm alternatīvām ir vairākas nepilnības, kas ierobežo šo izejvielu avotu izmantošanu.

1. Olbaltumvielas un eļļas, kas iegūtas no savvaļas nozvejas resursiem, nevar apmierināt augošo akvakultūras pieprasījumu pēc zivju miltiem un zivju eļļas. Savvaļas nozvejas ražošanas apjomi pēdējos 20 gados ir nemainīgi. Saražotos apjomus ietekmē arī zvejas kvotas un neregulāra zemas vērtības zivju un eļļas zivju nozveja.
2. Savvaļas nozvejas zivju pārstrādes blakusproduktu izmantošana ir apgrūtināta, līdzīgi, kā mazvērtīgu un eļļas zivju izmantošana, jo abi šie avoti ir atkarīgi no savvaļas nozvejas. Blakusproduktu izmantošanu zivju miltu un zivju eļļas ražošanā papildus ierobežo izmantoto atkritumu produktu kvalitāte un nelielais eļļas daudzums, ko var iegūt no šiem blakusproduktiem [1].
3. Augu izcelsmes olbaltumvielu izmantošana nebrīvē turētu zivju uzturā tiek uzskatīta par piemērotu attiecībā uz barības izmantošanas koeficientu. Tomēr augu barība nav piemērota plēsīgo zivju (lašu dzimtas zivju utt.) zarnu traktam, kas ir viens no galvenajiem akvakultūras zivju sliktas veselības cēloņiem, zivīm ir lielāka iespēja nomirt, un dažādu slimību ārstēšanai nepieciešams liels daudzums antibiotiku [2]. Aizstājot no lauksaimniecības atvasinātās barības ar SCP, ievērojami uzlabojas zivju veselība, jo šie proteīni ir vieglāk sagremojami un to sastāvā esošais SCP ir daudz līdzīgāks barībai, ko šīs zivju sugas var iegūt savvaļā (planktons: mikroaļģes, baktērijas, sēnītes utt.) [3]. Zivīm, kas ražotas, izmantojot SCP, ir augstāka uzturvērtība, tāpēc tās ir veselīgākas lietošanai pārtikā.
4. Arī augu eļļu izmantošana nebrīvē turētu zivju uzturā tiek uzskatīta par piemērotu barības konversijas koeficientam. Tomēr, šādi rīkojoties, tiek samazināta garo ķēžu omega-3 taukskābju, piemēram, dokozaheksaēnskābes (DHA) un eikozapentaēnskābes (EPA), koncentrācija zivju audos. Izmantojot zivis, kas barotas ar augu eļļām, cilvēks uzturā vairs nesaņem pietiekami daudz DHA un EPA. Šīs taukskābes ir vitāli svarīgas cilvēka organismam, un regulāra šo taukskābju uzņemšana uzlabo šūnu membrānas, smadzeņu darbību, nervu impulsus, skābekļa pārnesanu asins plazmā, hemoglobīna sintēzi,

šūnu dalīšanas procesus un jaundzimušo smadzeņu attīstību. Kopumā šīs taukskābes tiek uzskatītas par ļoti svarīgām, jo cilvēka organisms pats nespēj tās sintezēt [4]–[6]. Vēl viena negatīva ietekme uz barības avota maiņu ir omega-3 uz omega-6 attiecības maiņa, kad palielināta omega-6 taukskābju koncentrācija ir paralēla omega-3 samazināšanai [4]. Šādas attiecības izmaiņas var būt bīstamas, ja ņem vērā, ka augsta omega-6 un omega-3 attiecība uzturā sakrīt ar vairākām sirds un asinsvadu un neirodeģeneratīvām slimībām, iekaisumu un vēzi [7], [8]. Tāpēc augu eļļu izmantošana audzētu zivju barībai var negatīvi ietekmēt cilvēku veselību, ja zivis, kuras baro ar šādām barībām, tiek ilgstoši patērētas, tāpēc jāatrod alternatīvi zivju barības avoti, ko varētu izmantot akvakultūra, neradot riskus cilvēku veselībai.

5. Ir iespējams ievērojami palielināt olbaltumvielu koncentrāciju un pielāgot augu barību aminoskābju profilus, ģenētiski modificējot (ĢM) augus. Omega-3 taukskābes ir iespējams iegūt no dažādiem avotiem, to vidū – sojas pupām, kviešiem, linsēklām un rapšiem, kuriem ir pozitīva ietekme uz zivju augšanu, ja tos izmanto barībai akvakultūrā. Neskatoties uz to, ģenētiski nemodificētiem (bez ģenētiski modificētiem) augiem nav iespējas sintezēt tādas taukskābes kā *DHA* un *EPA*, tāpēc šim nolūkam izmanto ģenētiski modificētus augus. Lai arī ir ģenētiski modificēti augi, kas spēj ražot omega-3 taukskābes, to *DHA* un *EPA* koncentrācija ir zemāka nekā eļļā, ko ražo mikroorganismi [4]. ĢM kultūrām ir liels potenciāls pārtikas ražošanas nozarē kopumā, bet sabiedrība joprojām uzskata ĢM kultūras par nedrošām, un Eiropas Savienībā un citās pasaules daļās ĢM kultūru audzēšana, pārdošana un importēšana ir pilnībā vai daļēji ierobežota [9]–[15].
6. Mikroorganismus var izmantot, lai apmierinātu augsto olbaltumvielu un omega-3 taukskābju pieprasījumu. Izgatavotais *SCO* nepazemina augstvērtīgo taukskābju līmeni zivju audos un neizjauc omega-3 un omega-6 attiecību, kā tas notiek gadījumā, ja zivju uzturā izmanto augu izcelsmes eļļas. Izgatavotos *SCP* aminoskābju profilus var pielāgot, atlasot dažādus *SCP* producējošus mikroorganismus, tādējādi palielinot barības pārveidošanas koeficientus un samazinot radītā detrita daudzumu, kas savukārt samazina filtrēšanas sistēmu slodzi. Tomēr audzēšana ir ļoti dārga, ja galvenās izejvielas, ko izmanto kā barību mikroorganismiem, tiek audzētas aramzēmēs (augu izcelsmes cukuri). Tā kā pieejamās aramzemju platības ir ierobežotas [16], [17], ar cukuriem bagātu augu audzēšana izmantošanai mikroorganismu kultivēšanā tieši konkurē pār aramzemju platībām, ko varētu izmantot tādu augu audzēšanai, ko izmanto kā pārtiku cilvēku vai dzīvnieku uzturā. Audzēšana, izmantojot cukurus, kas iegūti no augiem, var būt rentabla tikai tad, ja saražotos proteīnus vai eļļas pārdod ar ļoti augstu pievienoto vērtību (farmācijā, zīdaiņu pārtikā utt.). Šo olbaltumvielu un eļļu izmantošana par barību akvakultūrai nav finansiāli izdevīga, tāpēc ir nepieciešams audzēt mikroorganismus, izmantojot lētākus materiālus (citu nozaru blakusproduktus).

1.1. Mikroorganismu izmantošanas priekšrocības SCP vai SCO ražošanā

1. Mikroorganismu augšana ir ievērojami ātrāka nekā augu, dzīvnieku vai zivju augšana. Mikroskopisko aļģu populācijas divkāršojas 2–6 stundu laikā, rauga un mikroskopisko sēņu populācijas – 1–3 stundās, baktēriju populācijas dubultošanas 0,5–2 stundu laikā. Tāpēc reaktoriem ir nepieciešami 12–72 h olbaltumvielu vai eļļas ražošanas cikli baktērijām un 5–10 dienas raugam, sēnītēm un aļģēm, savukārt lauksaimniecības produkciju var novākt tikai vienu reizi sezonā (1–2 reizes gadā).
2. Pateicoties straujajai mikroorganismu augšanai, dažu nedēļu vai mēnešu laikā var izvēlēties un mākslīgi atlasīt piemērotus mikroorganismu celmus, savukārt selekcija prasa gadus ar augiem un dzīvniekiem.
3. Mikroorganismi kā barības vielas var izmantot dažādus oglekļa avotus. Līdz ar to olbaltumvielas un eļļas var iegūt, izmantojot dažādas bioloģiski noārdāmās atliekas un blakusproduktus, tādējādi ievērojami samazinot ražošanas izmaksas.
4. Autotrofie mikroorganismi (mikroskopiskās aļģes, fotosintezējošās baktērijas) ir spējīgi augt, izmantojot CO₂ kā oglekļa avotu. Pateicoties *Wood-Ljungdahl* biokīmiskajam ciklam vai apgrieztajam Krebsa ciklam, mikroorganismi ir 3–10 reizes efektīvāki CO₂ absorbētāji nekā augi [18], kas parasti nodrošina ātrāku biomasas augšanu un mazāku negatīvo ietekmi uz vidi.
5. Mikroorganismu audzēšana olbaltumvielu un eļļas ražošanai nav atkarīga no sezonas laika apstākļiem un klimatiskajām izmaiņām. Audzēšanas process reaktoros ir aizsargāts no ekstremāliem laika apstākļiem, kas parasti iznīcina barības ražošanai audzētās augu kultūras. Atšķirībā no augiem, mikroorganismus, kuriem augšanai nav nepieciešama gaisma, var kultivēt visu diennakti.
6. Mikroorganismu audzēšana patērē ievērojami mazāk ūdens nekā kultūraugu audzēšana lauksaimniecības platībās. Ūdens iztvaikošanas, transpirācijas un noplūdes dēļ vidējais ūdens patēriņš uz 1 kg graudaugu ir vidēji 1800 litri [19]. Audzējot mikroorganismus bioreaktoros, neviens no šiem faktoriem neietekmē ūdens patēriņu.
7. Mikroorganismu audzēšanai nav nepieciešama auglīga zeme, tāpēc tā nekonkurē ar lauksaimniecību. Zema ūdens patēriņa dēļ SCP un SCO var ražot arī sausā klimata reģionos, kur auglīgās zemes pieejamība ir ierobežota.

1.2. SCP priekšrocības

Kopumā esošo barības avotu (lauksaimniecība, savvaļas nozveja) aizstāšana ar viensūnu olbaltumvielām nodrošina vairākas priekšrocības.

1. SCP ražošanai var izmantot plašu mikroorganismu klāstu. Līdz šim simtiem mikroorganismu no 48 ģintīm ir atzīti par piemērotiem SCP ražošanai, kas spēj uzkrāt vismaz 20 % olbaltumvielu attiecībā pret tās biomasas sauso svaru [20], [21]. Plašās izvēles dēļ ir iespējams atlasīt mikroorganismus, kuriem ir atbilstošie aminoskābju profili konkrētajam mērķim (dzīvnieks, kas jābaro ar SCP) un kas spēj efektīvi izmantot noteiktus blakusproduktus [20], [21].

2. Mikroorganismiem ir līdzīgs olbaltumvielu saturs zivīm un vairākas reizes lielāks nekā augiem (mikroorganismiem 20–80 %, augiem 6–40 %, zivīm 30–63 %) [22]–[24]. Līdz ar to mikroorganismu audzēšana olbaltumvielu ražošanai ir daudz efektīvāka nekā no tradicionālajiem barības avotiem.
3. *SCP* sastāvs ir ievērojami augstāks nekā proteīniem, kas iegūti no augiem. Augu barībā ir zems četru neaizvietojuamo aminoskābju – lizīna, metionīna, treonīna un triptofāna – līmenis, savukārt visas deviņas neaizstājamās aminoskābes *SCP* atbilst *FAO* ieteikumiem [22], [25].

1.3. *SCO* priekšrocības

Vienšūnu eļļas pēc sastāva ir līdzīgas tām, ko var iegūt no augiem un dzīvniekiem, taču *SCO* ir vairākas priekšrocības, salīdzinot ar tradicionālajiem eļļas avotiem.

1. *SCO* ražošanai var izmantot plašu mikroorganismu klāstu. Līdz šim simtiem mikroorganismu no vairāk nekā 60 ģintīm, kas piemēroti *SCO* ražošanai, ir atzīti par spējīgiem uzkrāt vismaz 20 % eļļas attiecībā pret tās biomasas sauso svaru [4], [26]–[28];
2. Mikroorganismiem ir vairākas reizes lielāks eļļas saturs sausnā nekā augiem un dzīvniekiem (20–80 % mikroorganismiem, 5–35 % augiem, 2–30 % zivīm) [4], [29].
3. *SCO* sastāvs ir augstāks nekā eļļām, kas iegūtas no augiem vai zivīm. Piemēram, augstas kvalitātes omega-3 taukskābju (*EPA* un *DHA*) koncentrācija kopējā *SCO* eļļā var sasniegt līdz 40 %, savukārt augiem un zivīm tā ir attiecīgi 4,9 % un 3 % [4].

2. SCP UN SCO RAŽOŠANAI PIEMĒROTU BLAKUSPRODUKTU PIEEJAMĪBAS ANALĪZE

2.1. Kopsavilkums par SCP ražošanai piemērotiem lauksaimniecības blakusproduktiem

Pirmajā apskatrakstā lielākā daļa lauksaimniecības atkritumu, ko var izmantot *SCP* ražošanā, ir klasificēti un apspriesti sīkāk. Katrai lauksaimniecības atkritumu grupai ir savas priekšrocības un trūkumi, ja to izmanto kā substrātu *SCP* ražošanā.

Avotiem, kas satur monosaharīdus un disaharīdus, nepieciešama minimāla pirmapstrāde, kas šiem atkritumiem dod atšķirīgas tehnoloģiskas un ekonomiskas priekšrocības, salīdzinot ar citiem atkritumu veidiem, jo var izmantot vienkāršākus bioreaktoru dizainus un nav nepieciešami sarežģīti priekšapstrādes procesi.

Polisaharīdu, olbaltumvielu vai lipīdiem bagātu avotu fermentācija uzlabo šo blakusproduktu vispārējo sagremojamību, padarot tos labāk izmantojamus dzīvnieku barībā. Plašāka šo atkritumu pirmapstrāde var nodrošināt lielākus *SCP* iznākumus, taču, lai attaisnotu izdevumus, ir jāapsver veiktās pirmapstrādes rentabilitāte.

Ar strukturāliem polisaharīdiem bagāti atkritumi milzīgos daudzumos ir pieejami visā pasaulē; tāpēc, šo atkritumu izmantošana nerada konkurenci ar citām nozarēm, kas šos atkritumus izmanto kā resursus citu pievienotās vērtības produktu ražošanai. Salīdzinājumam, konkurence par monosaharīdiem, disaharīdiem un cietes avotiem ir lielāka, jo šie atkritumi nav tik bagātīgi un ir vieglāk izmantojami. Ja citiem atkritumu veidiem ir ierobežota vietējā pieejamība un hidrolīzei var izmantot efektīvu un ekonomiski pamatotu pirmapstrādes procesu, *SCP* ražošanā plaši var izmantot ar strukturālajiem polisaharīdiem bagātos atkritumus.

Kopumā galvenie apsvērumi, izvēloties *SCP* ražošanai vispiemērotāko atkritumu produktu, ir: 1) konkrētā atkritumu produkta pieejamība uz vietas; 2) atkritumu pārstrādes izmaksas pirms to izmantošanas fermentācijā; 3) atkritumu pārvadāšanas izmaksas; 4) *SCP* koncentrācijas mikrobu gala biomasā pēc fermentācijas.

2.2. Kopsavilkums par SCP ražošanai piemērotiem industriālajiem blakusproduktiem

Otrajā apskatrakstā lielākā daļa rūpniecības atkritumu, ko var izmantot *SCP* ražošanā, ir klasificēti un apspriesti sīkāk. Katrai rūpniecisko atkritumu grupai ir savas priekšrocības un trūkumi, ja to izmanto kā substrātu *SCP* ražošanā. Polimēriem bagātu avotu izmantošana ir problemātiska galvenokārt lielās pirmsapstrādes dēļ, kas šiem atkritumiem nepieciešama pirms efektīvas *SCP* fermentācijas. Oglekļa savienojumiem, īpaši izplūdes gāzēm un glicerīnam, ir vislielākais potenciāls kļūt par plaši izmantojamiem oglekļa avotiem dažāda veida mikrobu fermentācijai, ieskaitot *SCP* ražošanu, taču, lai šos avotus varētu plaši izmantot, ir nepieciešami turpmāki pilnveidojumi šajās tehnoloģijās. Pamatinfrastruktūra dažādu notekūdeņu izmantošanai *SCP* ražošanā jau pastāv, tomēr pamatotas bažas par smago metālu un citiem piemaisījumiem biomasā un neefektīviem atkritumu un biomasas atdalīšanas risinā-

jumiem kavē tādu atkritumu izmantošanu, kas piemērojami fotosintezējošajiem mikroorganismiem.

Galvenie apsvērumi, izvēloties vispiemērotāko atkritumu produktu *SCP* ražošanai, paliek tie paši, kas publicēti pirmajā pārskatā (2.1.) [20] ar dažiem papildinājumiem. Galvenie apsvērumi ir: 1) konkrētā atkritumu produkta pieejamība uz vietas; 2) atkritumu priekšapstrādes izmaksas pirms to izmantošanas fermentācijā; 3) atkritumu pārvadāšanas izmaksas; 4) maksimālais iegūstamais šūnu blīvums substrātā; 5) *SCP* koncentrācijas galīgajā biomasā pēc fermentācijas; 6) novērtējums par to, vai audzēšanas apstākļus var efektīvi uzturēt (enerģijas un siltuma patēriņš); 7) biomasas un atkritumu atdalīšanas efektivitāte un *SCP* ieguves (olbaltumvielu ieguve no biomasas un piemaisījumu noņemšana) metodes.

2.3. Kopsavilkums par *SCO* ražošanai piemērotiem lauksaimniecības blakusproduktiem

Šajā pārskatā lielākā daļa lauksaimniecības atkritumu, ko var izmantot *SCO* ražošanā, ir klasificēti un apspriesti sīkāk. Lauksaimniecības atkritumu grupas tika klasificētas tādā pašā veidā, kā tas tika darīts iepriekš *SCP* ražošanā [20], tādēļ šiem atkritumiem, tāpat kā ar dažiem papildinājumiem, var minēt tās pašas priekšrocības un trūkumus. Tāpēc katrs atkritumu materiāls ir jānovērtē, ņemot vērā tā ekonomisko pamatojumu, un jāsalīdzina ar jau esošām vai potenciāli jaunām konkurējošām nozarēm.

Bagātīgiem avotiem, kas satur monosaharīdus un disaharīdus, nepieciešama minimāla pirmapstrāde, kas šiem atkritumiem dod tehnoloģiskas un ekonomiskas priekšrocības, salīdzinot ar citiem atkritumu veidiem. Tomēr šos atkritumus jau plaši izmanto citos fermentācijas procesos un kā izejvielas dzīvnieku barībā.

Ja *SCO* ražošanā tiek izmantoti cietei, olbaltumvielām vai lipīdiem bagāti avoti un to hidrolizāti, *SCO* raža ir salīdzinoši zemāka nekā tad, ja fermentācijā tiek izmantoti monosaharīdi un disaharīdi vai šķiedrām bagāti materiāli. Neatkarīgi no tā, atkritumu produkti, piemēram, pārtikas atkritumi, kartupeļu un kukurūzas cietes pārstrādes notekūdeņi un ēdiena gatavošanas eļļas atkritumi, katru gadu visā pasaulē tiek radīti milzīgos daudzumos. Lai samazinātu negatīvo ietekmi uz vidi un uzlabotu *SCO* ražošanas efektivitāti, nepieciešami papildu pētījumi, lai izstrādātu efektīvākas atkritumu hidrolīzes un barotnes detoksikācijas metodes.

Ar strukturāliem polisaharīdiem bagāti atkritumi milzīgos daudzumos ir pieejami visā pasaulē; tāpēc, šo atkritumu izmantošana nerada konkurenci ar citām nozarēm, kas šos atkritumus izmanto kā resursus citu pievienotās vērtības produktu ražošanai. Šiem atkritumiem nepieciešama plaša pirmsapstrāde, un hidrolīzes laikā var izdalīties mikrobu augšanu kavējoši savienojumi, kuriem savukārt ir nepieciešama papildu detoksifikācija, pirms šos atkritumus var izmantot mikrobu fermentācijā.

Galvenie apsvērumi, lai izvēlētos *SCO* ražošanai vispiemērotāko atkritumu produktu, ir līdzīgi tiem, kas tika definēti iepriekšējos pārskatos [24], [25], ar nelielām izmaiņām detaļās, kas raksturīgas *SCO* ražošanai. Galvenais apsvērumis ir: gala eļļas mērķa tirgus (biodīzeļdegvielas ražošana; dzīvnieku barība); kurš mikroorganismu celms rada mērķa tirgum nepieciešamo taukskābju profilu; konkrētā atkritumu produkta vietējā pieejamība; atkritumu priekšapstrādes izmaksas pirms to izmantošanas fermentācijā; atkritumu pārvadāšanas izmaksas; maksimālais iegūstamais šūnu blīvums substrātā; *SCO* koncentrācijas galīgajā biomasā pēc

fermentācijas; novērtējums par to, vai audzēšanas apstākļus var efektīvi uzturēt (enerģijas un siltuma patēriņš); biomasas un atkritumu atdalīšanas efektivitāte un *SCO* ieguves (eļļas ieguve no biomasas un piemaisījumu noņemšana) metodes.

2.4. Kopsavilkums par *SCO* ražošanai piemērotiem industriālajiem blakusproduktiem

Šajā pārskatā *SCO* ražošanā tika ņemti vērā tikai daži rūpniecības blakusprodukti. Kā parādīts šajā pārskatā, visus atkritumus vai blakusproduktus var izmantot produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanai, kā arī rūpniecības radītā sloga uz vidi samazināšanai, piemēram, kā tas ir gadījumā, kad tiek izmantoti municipālie notekūdeņu un butanola ražošanas notekūdeņi.

2.5. Kopsavilkums par optimizācijas modeli un gadījuma pētījumu

Pētījuma gaitā aptaujājot divus uzņēmumus, kļuva skaidrs, ka uzņēmumiem trūkst iespēju sniegt pētniekiem pieprasītos datus, jo datu iegūšana prasa ilgu laiku un parasti darbinieki nevēlas tērēt papildu stundas datu vākšanai. Arī sniegtā informācija par piena pārstrādes rūpniecībā pašreiz izmantoto sieru un biezpiena sūkalām ir jāuztver skeptiski, jo maz ticams, ka uzņēmuma pārstāvji atklās, vai daļa sūkalu bez iepriekšējas apstrādes nonāk vietējā notekūdeņu sistēmā vai dabiskās ūdenstilpēs. Abi uzņēmumi paziņoja, ka pārstrādā vai apstrādā 100 % saražoto sūkalu, lai gan aplēses [30] norāda, ka vismaz 25 % no saražotajām sūkalām ES netiek atbilstoši apstrādātas vai netiek pārstrādātas jaunos produktos. Protams, tas var nebūt Latvijā, un, iespējams, visas iegūtās sūkalas tiek pienācīgi apstrādātas vai pārstrādātas, taču ar pašreiz pieejamo pretrunīgo informāciju to ir grūti apgalvot. Pilnīgus datus par saražotā cietā un svaigā siera daudzumu sniedza *CSP*, tādējādi katrā no 22 piena pārstrādes uzņēmumiem bija iespējams veikt analīzi ar precīziem datiem par saražoto sūkalu daudzumu.

Pašreizējā modelī tiek pieņemts, ka visas iegūtās sūkalas tiek izmantotas *SCP* / *SCO* ražošanā, kas nav precīzi, jo patiesībā daži piena pārstrādes uzņēmumi izmanto sūkalas citu produktu ar pievienotu vērtību ražošanai. Šādi produkti – sūkalu pulveris, sūkalu olbaltumvielu pulveris, laktozes pulveris, sūkalu dzērieni utt. – arī ir produkti ar augstāku pievienoto vērtību nekā *SCP* vai *SCO*. Tāpēc nākotnē ir nepieciešama papildu datu iegūšana, lai aprēķinātu pieejamos sūkalu apjomus katrā piena pārstrādes uzņēmumā. To varētu paveikt, veicot papildu intervijas par alternatīvu produktu ražošanas apjomiem, kuru galvenā sastāvdaļa ir sūkalas, vai iegūstot datus no citiem avotiem – *CSP*, plašsaziņas līdzekļiem utt. Lielākā daļa saražoto sūkalu Latvijā ir nogatavinātas siera sūkalas (95,88 %), tāpēc *SCP* un *SCO* ražošanā galvenā uzmanība jāpievērš tikai šāda veida sūkalu izmantošanai. Balstoties uz publicētajiem *SCP* un *SCO* iznākumiem un izmantojot sūkalas kā substrātu [31]–[33], Latvijā būtu iespējams saražot līdz 800 tonnām tīra *SCP* [32] vai līdz 2250 tonnām tīra *SCO* [33]. *SCO* ir arī plašāki iespējamie lietojumi (barība, biodegviela, celtniecības ķīmikālijas utt.) [27], [34] un augstāka tirgus cena [22], tāpēc var secināt, ka *SCO* ir vēlamais galaprodukts, ja sūkalas izmanto kā substrātu.

Pēc validācijas izstrādātais modelis apstiprina, ka ir iespējams aprēķināt optimālo *SCP* / *SCO* rūpniecības atrašanās vietu. Pati modeļa izmantošana ir vienkārša, ātra un neprasa iepriek-

šējas zināšanas, izmantojot speciālu optimizācijas vai dinamiskas modelēšanas programmatūru. Šo modeļi var izmantot, lai optimizētu izejvielu iegūvi jebkurā nozarē, kurā situācija prasa izejvielu savākšanu no vairākiem avotiem un transportēšanu uz vienu pārstrādes rūpnīcu. Tāpēc piedāvāto modeļi var izmantot, lai modelētu blakusproduktu iegūvi ne tikai SCP vai SCO ražošanā, bet arī citiem mērķiem, piemēram, ar cieti bagātu blakusproduktu iegūšanai etanola fermentācijai, blakusproduktu un atkritumu sagādei, kas bagāti ar augu eļļām un izmantojami degvielas ražošanai (biodīzeļdegviela), lignocelulozei bagātu blakusproduktu iegūšanai, lai tos hidrolizētu un izmantotu etanola ražošanā utt.

Nākotnē modelis ir jāpilnveido, veicot šādus uzlabojumus:

- jāņem vērā kravas automašīnu pārvadājumu skaitu un ietilpību un maršruta optimizāciju no viena izejvielu piegādātāja pie cita, ja kravas automašīnu nav iespējams pilnībā pielādēt vienā avotā;
- jāievieš SCP vai SCO ražošanas procesa dinamiskais modelis, lai atrastu optimālo ražošanas jaudu (bioreaktoru apjomus), vienlaikus ņemot vērā arī piegādāto izejvielu daudzumu dienā un izejvielu ļoti īso glabāšanas laiku (sūkalām tas ir 24 stundas);
- jāuzlabo transporta un ražošanas procesa dinamiskais modelis, ieviešot izmaksu aprēķinu, kas varētu arī parādīt sūkalu dzīvotspēju izmantošanai SCP un SCO ražošanā, ņemot vērā galaprodukta tirgus cenu;
- jānodrošina, ka izstrādātais modelis ir viegli pielāgojams dažāda veida izejvielām, ko var izmantot SCP un SCO ražošanā.

3. LABORATORIJAS STENDA IZVEIDE

3.1. Finansējuma piesaistīšana

2017. gadā RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta Biosistēmu laboratorijas labiekārtošanai tika izmantota daļa no institūtam piešķirtā snieguma finansējuma (zinātniskās darbības attīstības finansējums augstskolās: augstskolu snieguma finansējums, Izglītības un zinātnes ministrijas finansējums).

2017. gada novembrī tika iesniegts projekta pieteikums projektu konkursam “Atbalsts pētniecības rezultātu komercializācijai”, kas ir Latvijas Investīciju un attīstības aģentūras pārvaldīts un Eiropas Reģionālās attīstības fonda līdzfinansēts projekts. 2018. gada janvārī projekta pieteikums “Superkritiskā Omega-3 eļļas no ražošanas blakusproduktiem” tika apstiprināts pirmajai projekta kārtai. Pirmajā projekta kārtā tika izstrādāta tehniski ekonomiskā priekšizpēte un komercializācijas stratēģija. Pēc veiksmīgas tehnoloģijas prezentēšanas 2018. gada novembrī projekts tika apstiprināts otrajai kārtai, kur tika saņemts galvenais finansējums 274 500 EUR apmērā, kas paredzēts tehnoloģijas izstrādei. Projekts joprojām tiek realizēts (tas noslēgsies 2021. gada 28. aprīlī) un, pateicoties saņemtajam finansējumam, bija iespējams labiekārtot VASSI Biosistēmu laboratoriju ar ekipējumu, kas nepieciešams eksperimentu veikšanai mikrobioloģijā, molekulārajā bioloģijā un ķīmijā utt.

3.2. VASSI Biosistēmu laboratorijas labiekārtošana

Sākotnēji Biosistēmu laboratorijā trūka nepieciešamo iekārtu, lai nodrošinātu sterilu vidi darbā ar mikroorganismiem, sagatavotu sterilas mikrobioloģiskās barotnes, kultivētu mikroorganismus kontrolējamos apstākļos, kā arī trūka mikrobioloģijai, molekulārajai bioloģijai un ķīmijai specializētais mazvērtīgais inventārs un reaģenti. Pateicoties piesaistītajam finansējumam, tika organizēti vairāki iepirkumi un Biosistēmu laboratorija tika aprīkota ar šādu inventāru:

- ķīmiski izturīga darba virsma;
- laminārās gaisa plūsmas skapis;
- velkmes skapis;
- inkubators/maisītājs ar dzesēšanu;
- liela tilpuma (400 L) inkubators ar dzesēšanu;
- vidēja tilpuma (256 L) inkubators;
- autoklāvs;
- dzesējošā centrifūga;
- UV redzamās gaismas spektrofotometrs;
- ekstrakcijas sistēma;
- rotācijas ietvaicētājs;
- elektroporēzes aparāts;

- lodišu dzirnaviņas;
- preses filtra sistēma;
- magnētiskie maisītāji;
- -40 °C saldētava;
- pipešu komplekti;
- smalcinātāji;
- ledusskapji;
- vorteksi;
- mazvērtīgais inventārs;
- materiāli;
- reaģenti;
- analītiskie testi.

Šāds inventārs tika uzlabots vai modificēts:

- 5 L bioreaktors:
 - aprīkots ar DO zondi;
 - aprīkots ar pH metru;
- gāzes hromatogrāfs:
 - jaunas kolonnas taukskābju metilesteru detektēšanai;
 - jaunas septas, ferulas un injekcijas laineri.

Iegūtais un uzlabotais inventārs un aprobētās metodes ļauj laboratorijā veikt:

- manipulācijas ar mikroorganismiem sterilos apstākļos;
- faktoriālos mikroorganismu kultivēšanas eksperimentus dažādos tilpumos un temperatūras režīmos;
- pagatavot mikrobioloģiskās barotnes;
- veikt polimēru hidrolīzi;
- ekstrahēt eļļas, biomasu, gaistošus savienojumus u.c.;
- šķidrums filtrāciju un atdalīšanu;
- biomasas koncentrācijas analīzes;
- proteīnu koncentrācijas analīzes;
- eļļas koncentrācijas analīzes;
- aminoskābju analīzes;
- taukskābju analīzes;
- biomasas mehānisko un ķīmisko apstrādi;
- jutīgu paraugu uzglabāšanu.

4. KOPSAVILKUMS PAR IZLIETOTO CEPŠANAS EĻĻU IZMANTOŠANU SCP RAŽOŠANĀ

Izlietotas cepšanas eļļas (WCO) ir lēts un energoietilpīgs blakusprodukts, ko var izmantot mikrobioloģiskās fermentācijas procesā, lai ražotu virkni produktu ar pievienoto vērtību, ieskaitot viēšņu proteīnus. *Yarrowia lipolytica* spēj efektīvi izmantot WCO bez nepieciešamības emulsificēt WCO, pirms fermentācijas izmantojot emulgatorus vai ultraskaņu. Tādējādi *Yarrowia lipolytica* izmantošana var ievērojami samazināt WCO lietošanas izmaksas. Viēšņu olbaltumvielas ir mikrobu biomasa, ko var izmantot kā olbaltumvielām bagātu izejvielu dzīvnieku un cilvēku uzturā. WCO sildīšanas laikā veidojas vairāki toksiski savienojumi, tāpēc, kad WCO izmanto kā substrātu SCP ražošanā, šajā pētījumā tika apskatītas iegūtie SCP iznākumi un toksisko savienojumu uzkrāšanās iegūtajā mikrobu biomasā.

Runājot par proteīnu ražu, netika novērotas būtiskas atšķirības starp oglekļa avotiem (glikozi un rūpniecisko saulespuķu eļļu), no tā var secināt, ka WCO no kartupeļu čipsu ražošanas ir ļoti daudzsološs un lēts oglekļa avots *Yarrowia lipolytica* kultivēšanai ar gandrīz divreiz lielāku enerģijas ietilpību nekā glikoze (1,89 reizes).

Barotne, kas satur 27,5 g/L WCO ar C/N attiecību no 5 līdz 10, partiju fermentācijā bija optimāla SCP ražošanai. Šajā pētījumā tika sasniegtas augstākās līdz šim ziņotās *Yarrowia lipolytica* biomasas koncentrācijas (57,37 g/L), kad WCO tiek izmantota kā galvenais oglekļa avots. Proteīnu koncentrācija bija salīdzinoši zema (12,6 %), kas ietekmēja arī proteīnu gala iznākumu (7,23 g/L). Iegūtā biomasa uzkrāja zemu toksiskā malondialdehīda (MDA) koncentrāciju (2,32 mg MDA/kg), salīdzinot ar koncentrācijām, kas sākotnēji tika noteiktas pašā WCO (30,87 mg MDA/kg). Ja WCO izmantošanu fermentācijā turpina attīstīt, sasniedzot MDA koncentrāciju zem 2,0 mg/kg, iegūtais SCP būtu drošs izmantošanai dzīvnieku barībā, kas sniegtu ievērojamus ekonomiskus ieguvumus, tajā pašā laikā ievērojami samazinot negatīvo ietekmi uz vidi.

5. SECINĀJUMI

1. No literatūras apskata var secināt, ka viensūnu proteīniem un viensūnu eļļām, kas iegūtas no agroindustriālajiem blakusproduktiem, ir vairākas priekšrocības, salīdzinot ar citām alternatīvām barības izejvielām, ko var izmantot akvakultūru barībās:
 - a) pieejamas lielos daudzumos;
 - b) pateicoties blakusproduktu izmantošanai, tiek samazinātas ražošanas izmaksas;
 - c) piemērotas plēsīgo zivju zarnu traktam;
 - d) zivju produktu uzturvērtība netiek pazemināta, un pastāv potenciāls to pat uzlabot;
 - e) nekonkurē pār lauksaimniecībā izmantojamajām zemes platībām;
 - f) ātrāka ražošana un augstāka proteīnu un eļļas koncentrācija biomasā;
 - g) ātrāka un vienkāršāka proteīnu un eļļu īpašību uzlabošana, pateicoties mikroorganismu selekcijai;
 - h) videi draudzīga tehnoloģija;
 - i) samazina ietekmi uz vidi.

Līdz ar to var secināt, ka pirmā hipotēze ir apstiprināta.

2. Augstāku viensūnu proteīnu iznākumu var sasniegt, izmantojot ar proteīniem bagātus avotus, augstāku viensūnu eļļu iznākumu var sasniegt, izmantojot oglekļa savienojumus (glicerīns).

Līdz ar to var secināt, ka otrā hipotēze ir noraidīta.

3. *Yarrowia lipolytica* akumulēja par 92,48 % mazāk lipīdu peroksidācijas produktus (MDA) nekā bija sākotnēji klātesoši izlietotas cepamās eļļas barotnē.

To var uzskatīt par ievērojamu MDA samazinājumu, tomēr, izmantojot optimālo barotni, MDA koncentrācija *Yarrowia lipolytica* biomasā joprojām pārsniedza noteikto robežu – 2,00 mg MDA/kg, lai arī tā bija ļoti tuvu šim limitam (2,32 mg MDA/kg).

Trešā hipotēze ir noraidīta.

4. *Yarrowia lipolytica*, kas kultivēta uz izlietotas cepšanas eļļas, sasniedza proteīnu koncentrāciju 7,23 g/L.

Līdz ar to ceturtnā hipotēze ir apstiprināta.

6. IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] Jayasinghe, P., Hawboldt, K. Biofuels From Fish Processing Plant Effluents – Waste Characterization and Oil Extraction and Quality. *Sustain. Energy Technol. Assessments*, 2013, doi: 10.1016/j.seta.2013.09.001.
- [2] Food and Agricultural Organization of United Nations (FAO), *Fish Feed Technology. Chapter 12. Unconventional Feed Ingredients for Fish Feed* by Spinelli J, National Marine Fisheries Services, Seattle, Washington, 1980.
- [3] Tacon, A. G. J., Metian, M. Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. *Rev. Fish. Sci. Aquac.*, 2015, doi: 10.1080/23308249.2014.987209.
- [4] Finco, A. M. de O., Mamani, L. D. G., de Carvalho, J. C., de Melo Pereira, G. V., Thomaz-Soccol, V., Soccol, C. R. Technological Trends and Market Perspectives for Production of Microbial Oils Rich in Omega-3. *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 37, no. 5, pp. 656–671, 2017, doi: 10.1080/07388551.2016.1213221.
- [5] Innis, S. M. Dietary Omega 3 Fatty Acids and the Developing Brain. *Brain Research*. 2008, doi: 10.1016/j.brainres.2008.08.078.
- [6] Gogus, U., Smith, C. N-3 Omega Fatty Acids: A Review of Current Knowledge. *International Journal of Food Science and Technology*. 2010, doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02151.x.
- [7] Dunbar, B. S., Bosire, R. V., Deckelbaum, R. J. Omega 3 and Omega 6 Fatty Acids in Human and Animal Health: An African Perspective. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2014, doi: 10.1016/j.mce.2014.10.009.
- [8] Patterson, E., Wall, R., Fitzgerald, G. F., Ross, R. P., Stanton, C. Health Implications of High Dietary Omega-6 Polyunsaturated Fatty Acids. *Journal of Nutrition and Metabolism*. 2012, doi: 10.1155/2012/539426.
- [9] Adarme-Vega, T. C., Thomas-Hall, S. R., Schenk, P. M. Towards Sustainable Sources for Omega-3 Fatty Acids Production. *Current Opinion in Biotechnology*. 2014, doi: 10.1016/j.copbio.2013.08.003.
- [10] Napier, J. A., Usher, S., Haslam, R. P., Ruiz-Lopez, N., Sayanova, O. Transgenic Plants as a Sustainable, Terrestrial Source of Fish Oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2015, doi: 10.1002/ejlt.201400452.
- [11] Funk, C., Rainie, L., *Public and Scientists' Views on Science and Society*. Pew Research Center. 2015. <http://www.pewinternet.org/2015/01/29/public-and-scientists-views-on-science-and-society/>.
- [12] Marris, C. Public Views on GMOS: Deconstructing the Myths. *EMBO Rep.*, 2001, doi: 10.1093/embo-reports/kve142.
- [13] Commission of European Communities, *Public Perceptions of Agricultural Biotechnologies in Europe. Final Report of the PABE research project*, 2001. www.lancaster.ac.uk/fss/projects/ieppp/pabe/docs/pabe_finalreport.doc.
- [14] Scott, S. E., Inbar, Y., Rozin, P. Evidence for Absolute Moral Opposition to Genetically Modified Food in the United States. *Perspect. Psychol. Sci.*, 2016, doi: 10.1177/1745691615621275.
- [15] Usher, S., Haslam, R. P., Ruiz-Lopez, N., Sayanova, O., Napier, J. A. Field Trial Evaluation of the Accumulation of Omega-3 Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids in

- Transgenic *Camelina Sativa*: Making Fish Oil Substitutes In Plants. *Metab. Eng. Commun.*, 2015, doi: 10.1016/j.meteno.2015.04.002.
- [16] Food and Agricultural Organization of United Nations (FAO). *FAOSTAT Land Use module*. 2016. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL/visualize>.
- [17] The Helgi Library, *Arable Land Area*. 2014. <http://www.helgilibrary.com/indicators/arable-land-area>.
- [18] Boyle, N. R., Morgan, J. A. Computation of Metabolic Fluxes and Efficiencies for Biological Carbon Dioxide Fixation. *Metab. Eng.*, 2011, doi: 10.1016/j.ymben.2011.01.005.
- [19] Shepon, A., Eshel, G., Noor, E., Milo, R. Energy and Protein Feed-To-Food Conversion Efficiencies in the Us and Potential Food Security Gains From Dietary Changes. *Environ. Res. Lett.*, 2016, doi: 10.1088/1748-9326/11/10/105002.
- [20] Spalvins, K., Ivanovs, K., Blumberga, D. Single Cell Protein Production From Waste Biomass: Review of Various Agricultural By-Products. *Agron. Res.*, vol. 16, no. S2, pp. 1493–1508, 2018, doi: 10.15159/AR.18.129.
- [21] Spalvins, K., Zihare, L., Blumberga, D. Single Cell Protein Production From Waste Biomass: Comparison of Various Industrial By-Products. 2018. www.sciencedirect.com/locate/procedia1876-6102.
- [22] Spalvins, K., Blumberga, D. Production of Fish Feed and Fish Oil from Waste Biomass Using Microorganisms: Overview of Methods Analyzing Resource Availability. *Environ. Clim. Technol.*, vol. 22, no. 1, pp. 149–164, Dec. 2018, doi: 10.2478/rtulect-2018-0010.
- [23] *A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. <https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050>.
- [24] Cassidy, E. S., West, P. C., Gerber, J. S., Foley, J. A. Redefining Agricultural Yields: From Tonnes to People Nourished Per Hectare. *Environ. Res. Lett.*, 2013, doi: 10.1088/1748-9326/8/3/034015.
- [25] Mateles, R. I., Mannenbaum, S. R. Single-Cell Protein. In *At 8th Annual Meeting of The Society for Economic Botany "Integrated Research in Economic Botany VII. Protein for Food"*, 1967.
- [26] Huang, C., Chen, X. F., Xiong, L., Chen, X., Ma, L. L., Chen, Y. Single Cell Oil Production From Low-Cost Substrates: The Possibility and Potential of its Industrialization. *Biotechnol. Adv.*, vol. 31, no. 2, pp. 129–139, 2013, doi: 10.1016/j.biotechadv.2012.08.010.
- [27] Spalvins, K., Blumberga, D. Single Cell Oil Production From Waste Biomass: Review of Applicable Agricultural By-Products. *Agron. Res.*, vol. 17, 2019, doi: 10.15159/AR.19.039.
- [28] Spalvins, K., Vamza, I., Blumberga, D. Single Cell Oil Production from Waste Biomass: Review of Applicable Industrial By-Products. *Environ. Clim. Technol.*, 2019, doi: 10.2478/rtulect-2019-0071.
- [29] Zuta, C. P., Simpson, B. K., Chan, H. M., Phillips, L. Concentrating PUFA from Mackerel Processing Waste. *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2003, doi: 10.1007/s11746-003-0799-5.
- [30] Valorlact, *VALORLACT – Full use of the whey produced by the dairy industry LIFE11 ENV/ES/000639*. 2012. http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=4256&docType=pdf.
- [31] Yadav, J. S. S., Bezawada, J., Ajila, C. M., Yan, S., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y. Mixed

Culture of *Kluyveromyces Marxianus* and *Candida Krusei* for Single-Cell Protein Production and Organic Load Removal From Whey. *Bioresour. Technol.*, vol. 164, pp. 119–127, 2014, doi: 10.1016/j.biortech.2014.04.069.

- [32] Paraskevopoulou, A., Athanasiadis, I., Kanellaki, M., Bekatorou, A., Blekas, G., Kioseoglou, V. Functional Properties of Single Cell Protein Produced by Kefir Microflora. *Food Res. Int.*, 2003, doi: 10.1016/S0963-9969(02)00176-X.
- [33] Vamvakaki, A. N., Kandarakis, I., Kaminarides, S., Komaitis, M., Papanikolaou, S. Cheese Whey as a Renewable Substrate for Microbial Lipid and Biomass Production by Zygomycetes. *Eng. Life Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 348–360, 2010, doi: 10.1002/elsc.201000063.
- [34] Ratledge, C. Microbial Oils: An Introductory Overview of Current Status and Future Prospects. *OCL – Oilseeds fats, Crop. lipids*, vol. 20, no. 6, p. D602, 2013, doi: 10.1051/ocl/2013029.