



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Biopriemonių parinkimas ir jų įtaka linų sėmenų skaidulinių medžiagų skaidymo efektyvumui ir funkcinėms savybėms

Baigiamasis magistro projektas

Julija Arūnaitė

Projekto autorė

Prof. Habil. Dr. Gražina Juodeikienė

Vadovė

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Biopriemonių parinkimas ir jų įtaka linų sėmenų skaidulinių medžiagų skaidymo efektyvumui ir funkcinėms savybėms

Baigiamasis magistro projektas

Maisto mokslas ir sauga (6211FX011)

Julija Arūnaitė

Projekto autorė

Prof. Habil. Dr. Gražina Juodeikienė

Vadovė

Dr. Jonas Damašius

Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Julija Arūnaitė

Biopriemonių parinkimas ir jų įtaka linų sėmenų skaidulinių medžiagų skaidymo efektyvumui ir funkcinėms savybėms

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Julijos Arūnaitės, baigiamasis projektas tema „Biopriemonių parinkimas ir jų įtaka linų sėmenų skaidulinių medžiagų skaidymo efektyvumui ir funkcinėms savybėms“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Arūnaitė, Julija. Biopriemonių parinkimas ir jų įtaka linų sėmenų skaidulinių medžiagų skaidymo efektyvumui ir funkcinėms savybėms. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. habil. dr. Gražina Juodeikienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Technologijų mokslai, Maisto technologijos.

Reikšminiai žodžiai: linų sėmenų išspaudos, skaidulinės medžiagos, aukšto dažnio ultragarsinis apdorojimas, pieno rūgšties bakterijos, kietafazė fermentacija.

Kaunas, 2019. 61 p.

Santrauka

Linų sėmenis perdirbant į aliejų, susidaro išspaudos, kurios iki šiol panaudojamos neefektyviai. Ypačiai linų sėmenyse vertinamos skaidulinės medžiagos, pasižyminčios naudingomis savybėmis. Šis darbas skirtas išgauti iš linų sėmenų išspaudų skaidulinėmis medžiagomis praturtintas frakcijas ir parinkti biopriemones jų perdirbimui bei pritaikymui funkcionaliesiems maisto produktams gaminti. Pradiniame eksperimento etape išbandytas sausasis fracionavimas linų sėmenų išspaudoms perdirbti, leidęs išgauti skaidulinėmis medžiagomis praturtintus produktus, padidinant bendrą skaidulinių medžiagų kiekį juose vidutiniškai 26 %. Stambiausių dalelių frakcijoje taip pat nustatytas didžiausias tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis. Didėjant skaidulinių medžiagų kiekiui frakcijose, didėjo ir vandens absorbcija. Ultragarsinis skaidulinėmis medžiagomis praturtintų linų sėmenų frakcijų apdorojimas (850 kHz; 0,9 W/cm², 1,3 W/cm², 2,0 W/cm²) turėjo reikšmingos įtakos linų sėmenų išspaudų skaidulinėms medžiagoms: (i) didžiausias tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekio padidėjimas (vidutiniškai 8,40 %) fiksuotas, naudojant 0,9 W/cm² ir 1,3 W/cm² intensyvumą; (ii) reikšmingi tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų santykio pokyčiai ir didžiausias tirpiųjų skaidulinių medžiagų susidarymas nustatytas esant pH 7; (iii) gleivinių medžiagų ekstrakcijos iš linų sėmenų išspaudų metu sacharozės kiekis mažėjo, kai gliukozės bei fruktozės koncentracijos didėjo. Linų sėmenų frakcijose su didesniu skaidulinių medžiagų kiekiu fiksuota didesnė mikrobinė tarša nei smulkesnėse frakcijose su mažesniu skaidulinių medžiagų kiekiu. Taikant žemo dažnio (37 kHz) ultragarsinį linų sėmenų išspaudų apdorojimą laike 15 min. žemose temperatūrose (30–50 °C), buvo stebimas reikšmingas BMS sumažėjimas. Papildomai tirtos skaidulinėmis medžiagomis praturtintų linų sėmenų frakcijų panaudojimo galimybės fermentacijos procesuose ir hidratuotiems geliams ruošti. Tyrimais įrodyta, kad linų sėmenų išspaudų skaidulinės medžiagos yra tinkamesnė terpė *Lactobacillus plantarum* dauginimuisi nei *Lactobacillus brevis* kietafazės fermentacijos sąlygose. Ultragarsinis linų sėmenų išspaudų apdorojimas (850 kHz; 0,9 W/cm², 1,3 W/cm², 2,0 W/cm²) prieš KF turėjo reikšmingos teigiamos įtakos PRB dauginimuisi bei pieno rūgšties D(-) ir L(+) izomerų susidarymui. Linų sėmenų skaidulinės medžiagos išbandytos gelių gamyboje, taikant ultragarsą (850 kHz; 0,9 W/cm², 1,3 W/cm², 2,0 W/cm²) tiek augalinės žaliavos apdorojimui, tiek ir gelių gamybos procese. Ultragarsinis vandeninių suspensijų apdorojimas padidino gelių klampą vidutiniškai 33,18 % (po 24 val. aušinimo) ir didžiausias poveikis fiksuotas, naudojant jų ruošimui didžiausią intensyvumą (2,0 W/cm²). Geriausia gelių kokybė gauta, naudojant jų ruošimui 40 % linų sėmenų išspaudų ir 60 % juodųjų serbentų išspaudų. Ultragarsinis apdorojimas labiau didino linų sėmenų išspaudų skaidulinių medžiagų klampą nei jų mišinių su juodųjų serbentų išspaudomis. Taigi, ultragarsinis apdorojimas sudaro galimybę intensyvinti gelių susidarymo procesą ir padidinti šios rūšies gamybos proceso efektyvumą.

Arūnaitė, Julija. Selection of biotools and their effect on flaxseed fiber degradation efficiency and functional properties. Master's Final Degree Project / supervisor prof. habil. dr. Gražina Juodeikienė; The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Technological Sciences, Food Technologies.

Keywords: flaxseed press cake, dietary fiber, ultrasonication, lactic acid bacteria, solid-state fermentation.

Kaunas, 2019. 61 p.

Summary

When flaxseed is processed into oil, a press cake is produced which are still being used inefficiently. In flaxseed, particularly fiber materials with beneficial properties are evaluated. This study is dedicated to the extraction of dietary fiber-enriched flaxseed press cake fractions, selection of biotechnological tools for their processing and application to produce functional foods. In the initial stage of the experiment, dry fractionation was used for flaxseeds to produce dietary fiber-enriched products with an average total dietary fiber content of 26 %. The largest particle size fraction also has the highest soluble fiber content. The increased dietary fiber content in fractions also increased water absorption. Ultrasonication of dietary fiber-enriched flaxseed fraction fractions (850 kHz; 0.9 W/cm², 1.3 W/cm², 2.0 W/cm²) had a significant effect on flaxseed dietary fiber: (i) the highest increase in soluble fiber content (on average 8.40 %) was achieved using ultrasound intensities of 0.9 W/cm² and 1.3 W/cm²; (ii) significant changes in the ratio of soluble and insoluble dietary fiber contents to maximum soluble fiber formation at pH 7; (iii) sucrose content has decreased as glucose and fructose concentrations increased during mucilage extraction from flaxseed press cake. In flaxseed fractions with higher dietary fiber content, higher microbial contamination was detected than in smaller particle size fractions with less dietary fiber content. Applying low frequency (37 kHz) ultrasonic flaxseed dietary fiber processing in 15 min. at low temperatures (30–50 °C), a significant reduction in microbial contamination was observed. In addition, the use of dietary fiber-enriched flaxseed fractions in fermentation processes and preparation of hydrated gels was investigated. Studies have shown that flaxseed dietary fiber medium is more suitable for *Lactobacillus plantarum* reproduction than for *Lactobacillus brevis* under solid-state fermentation conditions. Ultrasonication of flaxseed press cake (850 kHz; 0.9 W/cm², 1.3 W/cm², 2.0 W/cm²) before solid-state fermentation had a significant positive effect on the reproduction of lactic acid bacteria and on the formation of lactic acid D(–) and L(+) isomers. Flaxseed dietary fiber has been tested in gel production by ultrasound (850 kHz; 0.9 W/cm², 1.3 W/cm², 2.0 W/cm²) for both vegetative raw material processing and hydrated gel production. Ultrasonication of aqueous suspensions increased gel viscosity by an average of 33.18 % (after 24 hours of cooling) and the maximum effect was achieved using the highest intensity (2.0 W/cm²) for gel preparation. The best quality of the gels was obtained by using 40 % of flaxseed press cake and 60 % of blackcurrant press cake. Ultrasonication increased the viscosity of flaxseed dietary fiber more than their mixtures with blackcurrant press cake. Thus, ultrasonication makes it possible to intensify the process of gel formation and increase the efficiency of this type of production process.

TURINYS

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų sąrašas	10
IVADAS.....	11
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	13
1.1. Linų sėmenų charakteristika.....	13
1.1.1. Linų sėmenų chemija.....	13
1.1.2. Skaidulinių medžiagų chemija ir jų funkcinės savybės.....	15
1.2. Technologinės priemonės augalinės žaliavos mikrobinės taršos mažinimui	18
1.2.1. Pieno rūgšties bakterijų įtaka augalinių produktų saugos didinimui.....	18
1.2.2. Ultragarso panaudojimo galimybės augalinės žaliavos mikrobinei taršai mažinti	19
1.3. Linų sėmenų panaudojimas maisto produktų ruošimui.....	19
1.3.1. Linų sėmenų panaudojimas fermentacijos procesuose.....	20
1.3.2. Linų sėmenų skaidulinių medžiagų panaudojimo galimybės maisto produktų ruošimui	20
2. TYRIMO OBJEKTAI IR METODAI.....	21
2.1. Tyrimų kryptys	21
2.2. Tyrimo objektai	23
2.2.1. LSSM iš linų sėmenų išspaudų išgavimas.....	23
2.2.2. Ultragarso technikos panaudojimas LSSM apdorojimui	23
2.2.3. LSSM PRB bioapdorojimas kietafaze fermentacija.....	24
2.2.4. Hidratuotų gelių gamyba naudojant LSSM mišiniuose su JSI.....	25
2.3. Tyrimo metodai	25
2.3.1. Skaidulinėmis medžiagomis praturtintų linų sėmenų produktų analizė.....	25
2.3.2. Ultragarso poveikio įtakos skaidulinių medžiagų pokyčiams vertinimas	30
2.3.3. PRB kietafazės fermentacijos proceso vertinimas.....	31
2.3.4. Hidratuotų gelių susidarymo proceso vertinimas	33
2.3.5. Matematinė statistinė duomenų analizė.....	34
3. REZULTATAI.....	35
3.1. LSSM iš linų sėmenų išspaudų išgavimas ir jų įvertinimas	35
3.1.1. Sausojo frakcionavimo taikymas LSSM iš linų sėmenų išspaudų išgavimui	35
3.1.2. Linų sėmenų išspaudų frakcijų cheminė sudėtis ir jų ryšys su technologinėmis savybėmis	37
3.2. Ultragarso apdorojimo įtaka linų sėmenų išspaudų skaidulinėms medžiagoms	39
3.2.1. Ultragarso apdorojimo įtaka linų sėmenų išspaudų tirpiosioms ir netirpiosioms skaidulinėms medžiagoms.....	39
3.2.2. Ultragarso apdorojimo įtaka linų sėmenų išspaudų tirpiosioms ir netirpiosioms skaidulinėms medžiagoms, keičiant terpės pH.....	40
3.2.3. Sacharidų sudėties linų sėmenų gleivinėse medžiagose charakteristika	41
3.3. LSSM panaudojimo galimybių fermentacijos procesuose tyrimas	43
3.3.1. Ultragarso poveikio įtaka LSSM mikrobinės taršos mažinimui	43
3.3.2. LSSM ultragarso apdorojimo įtaka KF procesams	44
3.4. LSSM, mišiniuose su JSI, panaudojimas hidratuotiems geliams ruošti	48

3.4.1.	Ultragarsinio apdorojimo įtaka LSSM vandeninių suspensijų klampai, keičiant terpės pH	49
3.4.2.	Fenoliniais junginiais praturtintų frakcijų iš juodųjų serbentų išspaudų išgavimas ir jų sudėties įvertinimas.....	51
3.4.3.	Gelių tekstūros stabilizavimo netradicinių augalinių žaliavų priedais galimybių tyrimas	52
	IŠVADOS	56
	LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	57

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Linų sėmenų cheminė sudėtis (%) atskirose morfologinėse sėklos dalyse [11]	14
2 lentelė. Aminorūgščių kompozicija linų sėmenyse (<i>NorLin</i> ir <i>Omega</i>) ir sojos pupelėse (g/100 g baltymų) [11]	14
3 lentelė. Skaidulinių medžiagų sudedamosios dalys [16]	16
4 lentelė. PRB paruošimo fermentacijai sąlygos	24
5 lentelė. Mėginių paruošimo PRB KF sąlygos	24
6 lentelė. Linų sėmenų išspaudų drėgnio vertės literatūroje	36
7 lentelė. Baltymų, riebalų ir transriebalų kiekiai skaidulinėmis medžiagomis praturtintose linų sėmenų išspaudų frakcijose	38
8 lentelė. LSSM ultragarsinio apdoravimo (850 kHz; 2,0 W/cm ²) įtaka sacharidų kiekio pokyčiams gleivinėse medžiagose (%)	42

Paveikslų sąrašas

1 pav. Linų sėmenų cheminė sudėtis [10].....	13
2 pav. Pagrindinės tyrimų kryptys	22
3 pav. LSI frakcijos, gautos naudojant <i>Haver EML Digital plus</i> (<i>Haver & Boecker</i> , Vokietija) vibrosijotuvą su sietų komplektu, kurį sudaro 0,315 mm, 0,500 mm ir 1,000 mm akučių dydžio sietai	23
4 pav. LSI frakcijų, gautų sausojo frakcionavimo būdu pagal geometrinius požymius, granulimetrinė sudėtis ir išėigos	35
5 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekio pokyčiams. 36	
6 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka krakmolo kiekio pokyčiams.....	37
7 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka kolonijas sudarančių vienetų grame skaičiui skirtingo LSI dalelių dydžio frakcijose.....	38
8 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka vandens absorbcijos pokyčiams.....	39
9 pav. Ultragarsinio apdorojimo įtaka tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekio pokyčiams, esant pH 7.....	40
10 pav. Ultragarsinio poveikio įtaka tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų pokyčiams, keičiant terpės pH.....	41
11 pav. Etanoliu nusodintos gleivinės medžiagos po kiekvieno ekstrakcijos etapo: A – 1 val. 20 °C temperatūroje, B – 1 val. 40 °C temperatūroje, C – 2 val. 40 °C temperatūroje, D – 1 val. 60 °C temperatūroje	42
12 pav. BMS pokyčiai LSSM frakcijose.....	44
13 pav. Ultragarsinio apdorojimo įtaka fermentacijos terpės pH pokyčiams, naudojant A – <i>L. plantarum</i> , B – <i>L. brevis</i>	45
14 pav. Ultragarsinio apdorojimo įtaka PRB dauginimuisi, naudojant A – <i>L. plantarum</i> , B – <i>L. brevis</i>	46
15 pav. Ultragarsinio apdorojimo įtaka pieno rūgšties D(-) ir L(+) izomerų susidarymui, naudojant A – <i>L. plantarum</i> , B – <i>L. brevis</i>	47
16 pav. Ultragarsinio apdorojimo (850 kHz; intensyvumai: A – 0,9 W/cm ² , B – 1,3 W/cm ² , C – 2,0 W/cm ² ; trukmė: 30 min., 50 min.) įtaka linų sėmenų vandeninių suspensijų klampos pokyčiams, keičiant terpės pH (3, 7, 9) ir temperatūrą (25 °C ir 50 °C).....	50
17 pav. JSI frakcijų, gautų sausojo frakcionavimo būdu, granulimetrinė sudėtis	51
18 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka fitochemikalų kiekiui JSI.....	52
19 pav. LSI ir JSI kiekių (LSI:JSI, % – 40:60; 50:50; 60:40) įtaka hidratuotų gelių klampai skirtingais laiko tarpniais (A – po 0 val., B – po 12 val., C – po 24 val.), keičiant ultragarsinio apdorojimo intensyvumą (1,3 W/cm ² ir 2,0 W/cm ²) gelių gamybos metu	53
20 pav. Gelių receptūros papildymo agaro sirupu įtaka hidratuotų gelių klampai skirtingais laiko tarpniais (po 0, 12 ir 24 val.), keičiant ultragarsinio apdorojimo intensyvumą (1,3 W/cm ² ir 2,0 W/cm ²) gelių gamybos metu	54

Santrumpų sąrašas

LSSM – skaidulinėmis medžiagomis praturtinti linų sėmenų produktai;

BMS – bendras mikroorganizmų skaičius;

PCA – mitybos terpė, skirta bendram mikroorganizmų skaičiui nustatyti (angl. *Plate count agar*);

KSV – kolonijas sudarantys vienetai;

PRB – pieno rūgšties bakterijos;

PR – pieno rūgštis;

L. – *Lactobacillus*;

MRS – *De Man, Rogosa ir Sharpe* mitybos terpė;

KF – kietafazė fermentacija;

LSI – linų sėmenų išspaudos;

JSI – juodųjų serbentų išspaudos.

ĮVADAS

Linų sėmenys priklauso aliejingoms sėkloms. Jas perdirbant į aliejų, susidaro dideli išspaudų kiekiai. Mitybiniu požiūriu išspaudos – tai vertingas įvairių komponentų mišinys, turintis didelių pritaikymo galimybių maisto pramonėje, taip pat ir nutraceutikų gamyboje. Be to, antrinės augalinės žaliavos perdirbimas susijęs ir su ekologine taršos mažinimo problema.

Pastaruoju metu ypač didelis dėmesys skiriamas atskirų komponentų iš antrinių biomasių išskyrimui. Vienas iš svarbiausių linų sėmenų išspaudų komponentų yra lignanai, kurių šioje biomasėje yra 75–800 kartų daugiau nei varpinių javų grūduose [1]. Tirpiosios linų sėmenų gleivinės medžiagos dažnai naudojamos daržovių ir vaisių sultims stabilizuoti arba kaip maisto sudedamoji dalis, apsauganti jį nuo sinerezės. Paminėtina ir tai, kad jos naudojamos ir pieno produktų tekstūrai gerinti [2]. Daugiausia tyrimų vykdoma vertinant lignanus ir kitus su skaidulinėmis medžiagomis susijusius biologiškai aktyvius komponentus [3]. Tačiau mažai dėmesio skiriama gleivinių medžiagų linų sėmenyse analizei ir jų platesniam pritaikymui.

Skaidulinių medžiagų iš linų sėmenų išspaudų išskyrimui daugiausiai naudojamas fermentinis skaidulinių medžiagų apdorojimas į jose su ekstrakcija skysčiais. Šiuo metu intensyviai plečiamas sausasis separavimo būdas ir technika baltyminėms medžiagoms išskirti. Tokia technika galėtų būti išbandyta ir skaidulinių medžiagų iš linų sėmenų išspaudoms išgauti.

Kuriant naujus technologinius sprendimus, atkreiptas dėmesys į ultragarsinį biomasių apdorojimo perspektyvumą [4]. Jo pagrindinis privalumas siejamas su galimybe naudoti biomasių apdorojimui žematemperatūrius režimus. Be to, ši technologija draugiška aplinkai ir ekonomiška. Iki šiol daugiausia maisto pramonėje taikomas žemo dažnio ir didelio intensyvumo ultragarsas. Ieškoma naujų jo pritaikymo galimybių, iš kurių viena – debakterizacijos poveikis, kuris pagrįstas ultragarso bangų sukeliama kavitacija. Kita ultragarso taikymo sritis apima baltyminių medžiagų modifikavimą [2], keičiant jų funkcionaliąsias savybes ir atveriant naujas pritaikymo galimybes. Nėra paskelbtų tyrimų rezultatų, skirtų ištirti ultragarso panaudojimo galimybes skaidulinių medžiagų ekstrahavimui ir apdorojimui.

Paminėtina, kad šios krypties tyrimų nėra nei taikant žemo dažnio, nei aukšto dažnio ir žemo intensyvumo ultragarsą. Keičiant ultragarsinio poveikio parametrus, tikslinga įvertinti tirpiųjų skaidulinių medžiagų, įskaitant gleivinių medžiagų, linų sėmenyse pokyčius. Tokie tyrimai būtų perspektyvūs maisto pramonėje, kuriant naujus linų sėmenų ingredientus ir produktus, praturtintus vertingomis skaidulinėmis medžiagomis. Atkreiptas dėmesys į mažesnio kaloringumo konditerinių gelių tobulinimą, naudojant linų sėmenų skaidulines medžiagas jų tekstūrai stabilizuoti. Linų sėmenų gleivinės medžiagos galėtų būti išbandytos maišant su juodųjų serbentų išspaudomis, siekiant suteikti konditeriniams gaminiams patrauklią išvaizdą ir taip padidinti produkto priimtinumą. Juodųjų serbentų išspaudų priedai leistų praturtinti produktus vertingais uogose esančiais mitybiniais komponentais.

Nauji skaidulinių medžiagų apdorojimo būdai galėtų būti pritaikyti biotechnologiniuose procesuose, didinant jų efektyvumą. Linų sėmenų skaidulinės medžiagos, praturtintos tirpiaja frakcija, galėtų būti išbandytos antimikrobinių mikroorganizmų kultivavimui. Pieno rūgšties bakterijos yra reiklios mitybos terpei ir jos praturtinimas fizinėmis priemonėmis, pvz., ultragarsiniu poveikiu, galėtų būti efektyvesnis nei naudojant fermentinius preparatus. Fermentuoti linų sėmenų skaidulinių medžiagų produktai galėtų būti pritaikyti duonos pramonėje.

Darbo tikslas – išgauti iš linų sėmenų (lot. *Linum usitatissimum*) išspaudų skaidulinėmis medžiagomis praturtintas frakcijas (LSSM) ir parinkti biopriemones jiems perdirbti bei pritaikyti funkcionaliųjų maisto produktų gamybai.

Darbo uždaviniai:

1. įvertinti sausojo frakcionavimo panaudojimo galimybes, siekiant išgauti iš linų sėmenų išspaudų skaidulinėmis medžiagomis (LSSM) praturtintus produktus;
2. ištirti linų sėmenų išspaudų frakcijų, gautų sausojo frakcionavimo būdu, granulimetrinę sudėtį, cheminę sudėtį ir funkcionaliąsias savybes;
3. įvertinti ultragarsinio poveikio įtaką LSSM tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų pokyčiams;
4. nustatyti ultragarsinio poveikio įtaką gleivinėse medžiagose esančių sacharidų pokyčiams;
5. ištirti ultragarsinio apdorojimo įtaką linų sėmenų išspaudų mikrobinei taršai sumažinti;
6. įvertinti LSSM pritaikymo galimybes PRB fermentacijos procesuose;
7. ištirti LSSM, maišant su juodųjų serbentų išspaudų priedais, panaudojimo galimybes hidratuotų gelių gamybai.

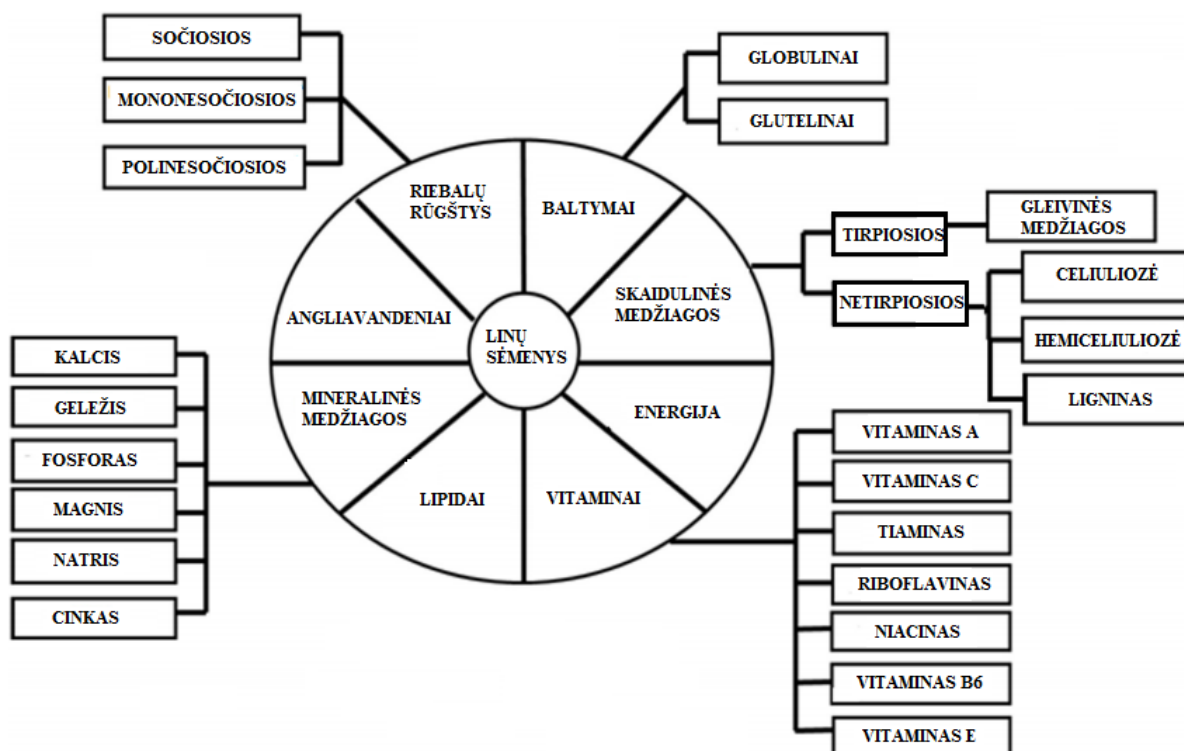
1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Linų sėmenų charakteristika

1.1.1. Linų sėmenų chemija

Linai (*Linum usitatissimum*) – vieni seniausiai sėjamų augalų. Priskaičiuojama daugiau nei 300 linų rūšių, tarpusavyje besiskiriančių aukščių, augalo biologija, stiebų ir galvenų skaičiumi, sėklų kiekiu bei svoriu. Visos linų augalo dalys yra naudojamos komerciniais tikslais, arba tiesiogiai, arba po perdirbimo. Iš stiebų gaminami aukštos kokybės pluoštai, pasižymintys ypatingu tvirtumu bei ilgaamžiškumu [5]. Linų sėmenys – tai linų galvenose esančios plokščios ovalo formos, 4–6 mm ilgio sėklos su smailu galu. Linų sėmenys būna įvairių atspalvių – nuo tamsiai rudos iki šviesiai geltonos. Jie yra traškūs, pasižymi maloniu riešutų aromatu [6]. Kanada yra lyderė pasaulyje pagal išgaunamų linų sėmenų kiekį, per metus šis kiekis siekia apie 0,9 mln. tonų [7]. Linų sėmenys kultivuojami daugelyje pasaulio šalių dėl didelio juose esančių skaidulinių medžiagų ir aliejaus kiekio. Šie komponentai ypač vertinami dėl naudingųjų savybių žmogaus sveikatai. Linų sėmenų paklausa sparčiai didėja dėl vis augančio vartotojų susidomėjimo mitybos ir sveikatos sąsaja. Linų sėmenys dėl teikiamos naudos sveikatai gali būti naudojami kaip funkcionalieji maisto ingredientai, ruošiant padidintos maistinės vertės produktus [8,9].

Linų sėmenų cheminė sudėtis pateikta **1 pav.**



1 pav. Linų sėmenų cheminė sudėtis [10]

Linų sėmenyse aptinkami reikšmingi riebalų, baltymų ir skaidulinių medžiagų kiekiai (**1 lentelė**).

1 lentelė. Linų sėmenų cheminė sudėtis (%) atskirose morfologinėse sėklos dalyse [11]

Sudedamoji dalis	Nesmulkintos sėklos	Kotiledonai ir gemalas		Sėklos luobelė	
		su riebalais	be riebalų	su riebalais	be riebalų
Drėgmė	7,13	4,31	nepaskelbta	7,89	nepaskelbta
Azoto junginiai	4,01	4,64	10,92	3,18	3,52
Riebalai	38,71	53,20	nepaskelbta	1,84	nepaskelbta
Skaidulinės medžiagos (tirpiosios)	10,22	nepaskelbta	nepaskelbta	nepaskelbta	nepaskelbta
Skaidulinės medžiagos (netirpiosios)	30,41	nepaskelbta	nepaskelbta	nepaskelbta	nepaskelbta
Pelenai	nepaskelbta	3,38	7,95	2,99	3,31
Masės dalis (%) nuo bendro riebalų kiekio	nepaskelbta	58,60	40,40	41,40	59,96
			96,70		3,30

Linų sėmenyse aptinkamas didžiausias iš visų aliejingų sėklų polinesočiųjų riebalų rūgščių kiekis (28,73 %). Šios sėklos yra svarbus α -linoleno rūgšties šaltinis vegetarų mityboje. Linų sėmenyse gausu ω -3 riebalų rūgščių, tad šios sėklos gali papildyti vertingais komponentais žmonių, vartojančių per mažai jūros gėrybių, mitybą [12]. Bendras baltymų kiekis linų sėmenyse svyruoja nuo 20 % iki 30 %. Šiose sėklose vyrauja globulinai, kurie sudaro 80 % nuo bendro baltymų kiekio, o likusius 20 % baltymų sudaro gliutelinais [13]. Aminorūgščių kompozicija linų sėmenų baltymuose yra panaši į esančią sojos pupelių baltymuose, kurie laikomi vienais vertingiausių iš visų augalų baltymų [14]. **2 lentelėje** pateikiama dviejų rūšių linų sėmenų (rudųjų *NorLin* ir geltonųjų *Omega*) sudėtyje esančių aminorūgščių sudėtis, lyginant ją su sojos pupelėse aptinkamomis aminorūgštimis [11].

2 lentelė. Aminorūgščių kompozicija linų sėmenyse (*NorLin* ir *Omega*) ir sojos pupelėse (g/100 g baltymų) [11]

Aminorūgštis	Rudieji linų sėmenys <i>NorLin</i>	Geltonieji linų sėmenys <i>Omega</i>	Sojos pupelės
Alaninas (Ala)	4,4	4,5	4,1
Argininas (Arg)	9,2	9,4	7,3
Asparto rūgštis (Asp)	9,3	9,7	11,7
Cistinas (Cys)	1,1	1,1	1,1
Glutamo rūgštis (Glu)	19,6	19,7	18,6
Glicinas (Gly)	5,8	5,8	4,0
Histidinas (His)*	2,2	2,3	2,5
Izoleucinas (Ile)*	4,0	4,0	4,7
Leucinas (Leu)*	5,8	5,9	7,7
Lizinas (Lys)*	4,0	3,9	5,8
Metioninas (Met)*	1,5	1,4	1,2
Fenilalaninas (Phe)*	4,6	4,7	5,1
Prolinas (Pro)	3,5	3,5	5,2

2 lentelės tęsinys.

Aminorūgštis	Rudieji linų sėmenys <i>NorLin</i>	Geltonieji linų sėmenys <i>Omega</i>	Sojos pupelės
Serinas (Ser)	4,5	4,6	4,9
Treoninas (Thr)*	3,6	3,7	3,6
Triptofanas (Trp)*	1,8	nepaskelbta	nepaskelbta
Tirozinas (Tyr)	2,3	2,3	3,4
Valinas (Val)*	4,6	4,7	5,2

Be to, linų sėmenyse gausu ir nepakeičiamųjų aminorūgščių (**2 lentelėje** jos pažymėtos *), kurių žmogaus organizmas nesintetina, tad jas būtina gauti su maistu.

Pagal Kanados grūdų komisijos atliktus cheminės sudėties analizės rezultatus, linų sėmenyse vidutiniškai nustatyta 41 % riebalų, 20 % baltymų, 28 % skaidulinių medžiagų, 7,7 % drėgmės ir 3,4 % mineralinių medžiagų [14]. Celiuliozė, hemiceliuliozė ir ligninas sudaro netirpiąją skaidulinių medžiagų frakciją, o gleivinės medžiagos – tirpiąją skaidulinių medžiagų frakciją [14]. Pagrindinis linų sėmenyse aptinkamas lignanas yra sekoizolaricirezinolio diglikozidas (SDG). Linų sėmenys taip pat yra ir naudingų mineralinių medžiagų (Ca, Fe, P, Mg, Zn ir Na) šaltinis.

Paminėtina, kad linų sėmenyse aptinkama ir antimonybinėmis savybėmis pasižyminčių komponentų, kurie gali sukelti neigiamą poveikį sveikatai. Vieni iš jų – cianogeniniai glikozidai, kurių aptinkama 250–550 mg/100 g sėmenų [5]. Kita antimonybinė sudedamoji dalis – fito rūgštis, kuri sumažina mitybinių komponentų absorbciją, jos linų sėmenyse randama 2,3–3,3 %. Vandenilio cianido linų sėmenyse aptinkama nedidelis kiekis: 1–2 šaukštuose linų sėmenų (rekomenduojama paros dozė) nustatyta apie 5–10 mg vandenilio cianido. Žmogaus organizmas gali detoksikuoti 30–100 mg vandenilio cianido per parą [15]. Linų sėmenų cheminės sudėties analizės rezultatai, taip pat ir antimonybinių komponentų kiekiai, gali skirtis priklausomai nuo tiriamųjų linų genotipo [1].

1.1.2. Skaidulinių medžiagų chemija ir jų funkcinės savybės

Skaidulinės medžiagos yra svarbus augalinių žaliavų komponentas, apimantis įvairios cheminės sudėties ir morfologinės struktūros medžiagas. Šios medžiagos yra atsparios žmogaus virškinimo fermentų poveikiui, tačiau gali būti skaidomos žarnyno mikrofloros [16]. Skaidulinių medžiagų šaltiniai – daržovės, kviečiai ir kiti grūdai. Tirpiųjų skaidulinių medžiagų gausu vaisiuose, avižose, miežiuose, pupelėse ir linų sėmenyse.

Virškinimo trakte skaidulinės medžiagos formuoja matricą, pasižyminčią tiek pluoštinėmis, tiek amorfinėmis savybėmis. Šios matricos fizikocheminės savybės apsprendžia skaidulinių medžiagų homeostatinį ir terapeutinį pritaikymą žmonių mityboje. Skaidulinės medžiagos sudarytos iš daugybės skirtingų komponentų, iš kurių visi, išskyrus ligniną, yra priskiriami angliavandeniams (**3 lentelė**).

3 lentelė. Skaidulinių medžiagų sudedamosios dalys [16]

Skaidulų sudedamoji dalis	Principinis skirstymas	Skaidulų šaltiniai
Nekrakingi polisacharidai ir oligosacharidai	Celiuliozė	Celiulioziniai augalai (daržovės, cukriniai runkeliai, įvairios sėlenos)
	Hemiceliuliozė	Arabinogalaktanai, β-gliukanai, arabinoksilanai, gliukuronoksilanai, ksilogliukanai, galaktomananai, pektino medžiagos
	Polifruktozės	Inulinas, oligofruktanai
	Dervos ir gleivinės medžiagos	Sėklų ekstraktai (galaktomananai – guaro ir saldžiosios ceratonijos derva), medžių eksudatai (akacijos derva, karaja derva, tragakanto derva), dumblių polisacharidai (alginatai, agaras, karageninas), baltšvasis gyslotis
Angliavandenių analogai	Pektinai	Vaisiai, daržovės, ankštiniai augalai, bulvės, cukriniai runkeliai
	Atsparus virškinimui krakmolai ir maltodekstrinai	Įvairūs augalai, tokie kaip kukurūzai, žirniai ar bulvės; polidekstrozė, laktulozė, celiuliozės junginiai
	Cheminė ir fermentinė sintezė	Fruktooligosacharidai ir kiti trumpos grandinės oligosacharidai, transgalaktooligosacharidai, levanas, ksantano derva, oligofruktozė, ksilooligosacharidai, guaro hidrolizatas, kurdlanas
Ligninas	Ligninas	Sumedėję augalai
Asocijuoti su nekrakingais polisacharidais junginiai	Vaškai, kutinas, suberinas	Augalų skaidulos
Gyvūninės kilmės skaidulinės medžiagos	Chitinas, chitozanas, kolagenas, chondroitinas	Grybai, mielės, bestuburiai

Chemiškai skaidulinės medžiagos apibrėžiamos kaip nekrakingi polisacharidai [17]. Nekrakingiems polisacharidams priskiriama celiuliozė ir neceliulioziniai polisacharidai, kurie sudaryti iš pektino ir hemiceliuliozių (struktūrinių polisacharidų), fruktanų, gliukofruktanų, mananų ir galaktomananų (atsarginių polisacharidų), dervų ir gleivinių medžiagų (ekstrahuojamų polisacharidų), susidarančių pentozų, heksozių ir urono rūgščių mišinių [18,19].

Skaidulinės medžiagos pagal tirpumą vandenyje dar klasifikuojamos į tirpiąsias ir netirpiąsias. Tiek tirpiosios, tiek ir netirpiosios skaidulinės medžiagos aptinkamos linų sėmenų luobelėje. Tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis linų sėmenyse gali kisti priklausomai nuo linų genotipo arba skaidulinių medžiagų ekstrakcijos būdo. Tirpiųjų skaidulinių medžiagų linų sėmenyse aptinkama 9–10 %, tuo tarpu netirpiųjų – 20–30 % [11,20].

Tirpiosios skaidulinės medžiagos tirpsta vandenyje ir virškinamojo trakto skysčiuose, kai jos patenka į skrandį arba į žarnyną. Ten jos paverčiamos gelio pavidalo dariniais, kuriuos storioje žarnoje skaido bakterijos, išskiriant dujas.

Tirpiųjų skaidulinių medžiagų frakciją sudaro rūgštiniai (L-ramnozė – 25,3 %, L-galaktozė – 11,7 %, L-fruktozė – 8,4 % ir D-ksilozė – 29,1 %) ir neutralūs (L-arabinozė – 20 % ir D-ksilozė/D-galaktozė – 76 %) polisacharidai [11].

Tirpiųjų skaidulinių medžiagų šaltiniai – vaisiai, daržovės, ankštiniai augalai, sojos pupelės, balkšvojo gysločio sėklos ir avižų sėlenos [21]. Šiems vertingiems komponentams išekstrahuoti dažniausiai taikoma ekstrakcija karštu vandeniu [22] arba rečiau – šaltu vandeniu [23].

Tirpiosios skaidulinės medžiagos vis plačiau naudojamos kaip maisto priedai, daržovių ir vaisių sulčių stabilizatoriai arba kaip maisto ingredientai, mažinantys sinerezės procesą ir pagerinantys pieno produktų tekstūrą [24].

Netirpiosios skaidulinės medžiagos netirpsta vandenyje ir virškinamojo trakto skysčiuose ir išlieka beveik nepakitusios, kai jos patenka į virškinamąjį traktą. Kadangi šio tipo skaidulinės medžiagos yra neskaidomos, tad jos nėra ir kalorijų šaltinis [25].

Netirpiųjų skaidulinių medžiagų frakcija sudaryta iš celiuliozės – 7–11 %, lignino – 2–7 % ir rūgštinio ląstelienos detergento – 10–14 % [22].

Pagrindinis netirpiųjų skaidulinių medžiagų šaltinis – įvairūs varpinių javų grūdai [21]. Šie komponentai išskiriami, vykdant žaliavos fermentinį apdorojimą.

Norint pagerinti ir praplėsti linų sėmenų skaidulinių medžiagų pritaikymo maistui galimybes, svarbu atsižvelgti į jų funkcines savybes, bei prireikus jas modifikuoti. Taip atsiranda galimybė keisti maisto produktų savybes, turinčias reikšmingos įtakos jų priimtinumui vartotojams. Funkcinės savybės turi įtakos linų sėmenų skaidulinių medžiagų, kaip vertingo funkcionaliojo ingrediento, konkurencingumui ir paplitimui rinkoje. Pagrindinės skaidulinių medžiagų funkcinės savybės – tai vandens absorbcija, organinių junginių surišimas ir katijonų mainų savybės [16].

Vandens absorbcija – tai parametras, nusakantis vandens kiekį, kurį gali sugerti tam tikra žaliava. Vandens absorbcijai įtakos turi tokie sudėtiniai komponentai [26]:

- krakmolai – absorbuoja apie 46 % vandens;
- baltymai – absorbuoja apie 31 % vandens;
- pentozanai – absorbuoja apie 23 % vandens;
- kviečių glitimas – jo pridedama, siekiant padidinti vandens sugertį bei pagerinti tešlos tekstūros stabilumą [27];
- kiti vandenį absorbuojantys komponentai, pvz., skaidulinės medžiagos.

Skaidulinių medžiagų vandens absorbcija kinta priklausomai nuo makromolekulių chemijos ir morfologijos, terpės pH ir elektrolitų joje koncentracijos. Sacharidų likučiai su laisvomis polinėmis grupėmis suteikia polisacharidams stiprų hidrofilumą. Tuo tarpu tarpmolekulinės jungtys, pvz., eteriniai ryšiai celiuliozės molekulėje, teikia priešingą poveikį [28]. Dalelių dydis taip pat turi įtakos skaidulinių medžiagų vandens sugerčiai. Skaidulinių medžiagų paruošimo būdas keičia vandens absorbcijos vertę, nors cheminė sudėtis išlieka nepakitusi [29]. Taigi, skaidulinių medžiagų struktūra yra pagrindinis veiksnys, kurį keičiant galima modifikuoti ir vandens absorbciją.

Vandens absorbcija turi įtakos duonos technologinio proceso ir kepinų kokybės kriterijams: kildinimo procesui, kepinio savitajam tūriui, minkštimo tekstūrai, duonos išeigai, realizacijos trukmei [30].

Taigi, norint maisto produktui suteikti norimą tekstūrą ir kt. savybes, galima keisti vandens absorbciją. Ji kinta priklausomai nuo žaliavos cheminės sudėties, kurią galima modifikuoti skirtingomis technologinėmis žaliavos apdorojimo priemonėmis.

Organinių junginių surišimas. Dauguma organinių junginių virškinamajame trakte, tokie kaip tulžies rūgštys, kt. steroidai, įvairūs toksiški junginiai ir bakterijos virškinamajam trakte, gali būti negrįžtamai asocijuoti su skaidulinėmis medžiagomis. Tulžies rūgščių adsorbcija priklauso nuo skaidulinių medžiagų kompozicijos, sterolių chemijos, terpės pH ir osmoliariškumo [31,32].

Ligninas labiausiai adsorbuoja tulžies rūgštį, o šių organinių junginių sąveikai įtakos turi šio komponento molekulinė masė, terpės pH ir polimere esančios metoksilo bei α -karbonilo grupės [33]. Mažiau žinoma, kaip kiti organiniai junginiai sąveikauja su skaidulinėmis medžiagomis. Skaidulinės medžiagos gali sąveikauti su daugeliu organinių junginių, tačiau dar nėra pakankamai ištirta šių sąveikų fiziologinis poveikis [16].

Katijonų mainų savybės. Skaidulinių medžiagų funkcinė katijonų mainų geba yra gerai žinoma ir ištirta. Šis poveikis yra susijęs su sacharidų sudėtyje esančiomis karboksilo grupėmis [34,35]. Kalcio surišimas galimas dėl urono rūgšties buvimo skaidulinėse medžiagose [36]. Apie katijonų kompleksų su rūgštiniais polisacharidais susidarymą sprendžiama pagal mineralinių medžiagų pusiausvyros pokyčius, elektrolitų absorbciją ir sunkiųjų metalų toksiškumą [16].

1.2. Technologinės priemonės augalinės žaliavos mikrobinės taršos mažinimui

1.2.1. Pieno rūgšties bakterijų įtaka augalinių produktų saugos didinimui

Augalinių produktų saugą galima padidinti, naudojant jų gamyboje fermentaciją pieno rūgšties bakterijomis (PRB). PRB yra bene dažniausiai maisto pramonėje naudojami mikroorganizmai, gebantys prailginti produkto galiojimo terminą, pagerinti maisto produkto funkcines bei juslines savybes [37]. Pagal sudaromus metabolitus PRB skirstomos į:

- homofermentines (gamina tik pieno rūgštį);
- heterofermentines (gamina CO₂, pieno rūgštį ir kt.).

Be to, PRB fermentacijos metu susidaro ir kiti komponentai, turintys įtakos produktų funkcinėms bei juslinėms savybėms. PRB fermentacijos metu vyksta sacharidų, baltymų, organinių rūgščių ir riebalų konversija į aromatinius junginius arba antimikrobinėmis savybėmis pasižyminčius komponentus [37]. Dažniausiai maisto pramonėje naudojama PRB padermė – *Lactobacillus* (*L.*).

Augaliniai PRB fermentuoti produktai užima itin svarbią rinkos dalį maisto pramonėje, jie būtini žmonių mitybai dėl pridėtinės maistinės vertės, ypač dėl didelio kiekio juose esančių baltymų, skaidulinių medžiagų, angliavandenių ir mineralinių medžiagų [38]. Pastaruoju metu dėl pasikeitusių žmonių mitybos įpročių, tokių kaip vegatarizmas, veganizmas, noras vartoti mažiau riebalų ir druskos turinčius produktus vis didesnio susidomėjimo sulaukia funkcionalieji fermentuoti ne pieno produktai ar gėrimai, bet būtent fermentuoti augaliniai produktai [39]. Tačiau augalinių produktų tarša kenksmingais mikroskopiniais grybais išlieka pagrindine problema, keliančia riziką žmogaus sveikatai. Maisto nuostolių dėl grybinės taršos lygmenį įvertinti sudėtinga [40]. Be to, augalinių produktų tarša mikroskopiniais grybais kelia didelę grėsmę dėl jų gebėjimo gaminti mikotoksinus [41]. Mikroskopinių grybų kiekis augaliniuose produktuose šiuo metu daugiausiai reguliuojamas taikant fizikinį arba cheminį žaliavos ir/ar produktų apdorojimą. Šiam tikslui vis dažniau naudojamos

antigrybinėmis savybėmis pasižyminčios pieno rūgšties bakterijos (PRB). Jau nuo seno PRB žinomos kaip saugūs sveikatai mikroorganizmai, kuriais fermentuojami maisto produktai, tad juos galima naudoti maisto produktų gamybai, kaip natūralius maisto konservantus [41,42].

PRB antigrybinį poveikį sukelia gausybė antagonistinių metabolitų, įskaitant organines rūgštis, anglies dioksidą, etanolį, vandenilio peroksidą, riebalų rūgštis, acetoiną, diacetilą, ciklinius dipeptidus, bakteriocinus ir bakteriocinų tipo inhibitorius [43]. Pieno ir acto rūgštys yra pagrindiniai angliavandenių PRB fermentacijos produktai ir jos pasižymi antigrybinio poveikiu [44]. Iš organinių rūgščių, fenilpieno rūgštis pasireiškia efektyviausiu antigrybinio poveikiu [45,46,47].

Atliekant didelės apimties *in vitro* tyrimus, keliais eksperimentais buvo siekiama nustatyti PRB padermes, pasižyminčias didžiausiu antigrybinio poveikiu [48,49,50]. Atrinktos PRB padermės buvo išbandytos skirtingų maisto produktų modelinėse sistemose: duonos ir raugų [51,52], salyklo [53], pieno produktų gamyboje [48,54], vaisių ir daržovių perdirbime [49]. Visais atvejais buvo nustatytas teigiamas antigrybinis PRB poveikis.

Antagonistinės PRB maisto produktų gamyboje prailgina produktų galiojimo trukmę ir pagerina kokybę bei padidina jų saugą. Šios vertingos PRB savybės gali būti pritaikytos biotechnologiniais tikslais, naujų funkcionaliųjų arba probiotinių maisto produktų kūrimui.

1.2.2. Ultragarso panaudojimo galimybės augalinės žaliavos mikrobinei taršai mažinti

Pastaruju metu vis didesnio dėmesio sulaukia ultragarsinis augalinės žaliavos apdorojimas kaip efektyvi technologinė priemonė mikrobinei taršai mažinti. Šiam tikslui ne visada pakanka tik ultragarsinio poveikio, tad tikslinga jį derinti kartu su temperatūriniu poveikiu (termosonikacija) [55]. Termosonikacija yra energetiškai efektyvus ir tinkamiausias būdas, siekiant sunaikinti augalinėje žaliavoje esančius mikroorganizmus [56]. Ultragarso bangomis vadinamos ilgesnės nei 20 kHz bei trumpesnės nei 10 MHz dažnio bangos [57]. Ultragarsinis maisto produktų apdorojimas pasižymi tokiais privalumais: efektyvus maišymas, homogeniškumas, greita energijos ir masės pernaša, maži šilumos ir koncentracijos gradientai, žema temperatūra, selektyvi ekstrakcija, kompaktiška įranga, sparti proceso eiga ir didelės gamybos apimtys [55,58]. Ultragarso poveikis skystoje terpėje pagrįstas sukeliama kavitacija, kurios metu ultragarso bangai sklindant per skystąją terpę susidaro burbuliukai [57,59]. Dėl didėjančio įtempimo ir jėgų poveikio, burbuliukų tūris didėja ir galiausiai jie sprogs. Burbuliukų sproginiai sukelia momentinius temperatūros ir slėgio šuolius iki daugiau nei 5000 K (4726,85 °C) ir 500 MPa, kas ypač sustiprina ultragarso poveikį terpei ir ultragarsu apdorojamai medžiagai [57]. Tokiu būdu efektyviai naikinami mikroorganizmai, suardant jų sienelės [56,60,61]. Mikroorganizmų inaktyvavimui reikšmingos įtakos turi ultragarso dažnis [62], intensyvumas [63], [62], bangų amplitudė [64,65], ultragarso pobūdis (pastovus arba pulsuojantis) [66], temperatūra [64,65,67], terpės pH [65,67] ir mikroorganizmų rūšis [62,68].

1.3. Linų sėmenų panaudojimas maisto produktų ruošimui

Linų sėmenys pasižymi unikalia vertingųjų maistinių komponentų sudėtimi, tad pastaruju metu vis dažniau kuriami nauji maisto produktai, papildyti linų sėmenų priedu. Linų sėmenų produktai rinkoje pateikiami įvairiomis formomis: nesmulkinti linų sėmenys, linų sėmenų miltai (be glitimo), malti nenuriebinėti linų sėmenys, malti nuriebinėti linų sėmenys ir linų sėmenų aliejus [10].

1.3.1. Linų sėmenų panaudojimas fermentacijos procesuose

Linų sėmenų fermentacija gali būti atliekama, gaminant įvairiausių maisto produktus: kepinius, miltinius patiekalus, ekstruduotus produktus, konditerijos ir pieno produktus, užkandžius, gėrimus (sultis) [5,10]. Pavyzdžiui, fermentuoti gėrimai gali būti ruošiami įvairių vaisių ar daržovių sulčių mišinius papildant PRB fermentuotomis linų sėmenų suspensijomis [69]. Be to, tokių fermentuotų gėrimų aromatas ir skonis gali būti pagerinti, naudojant įvairius natūralius ar dirbtinius ekstraktus, o tekstūra ir reologinės savybės – pridėdant į fermentuotus linų sėmenų produktus įvairių priedų [10]. Fermentacija, dažnai dar vadinama rūgštinimu, yra tradicinis maisto produktų konservavimo metodas, kuris gali būti naudojamas, siekiant prailginti produkto galiojimo trukmę ir pagerinti jo virškinamumą [70]. Jau yra plačiai paplitę fermentuoti grūdų produktai su atrinktomis pieno rūgšties bakterijomis (PRB). PRB fermentacijai vis dažniau substratu pasirenkami linų sėmenys dėl didelio kiekio juose esančių maistingųjų komponentų. Tirpumas, hidratacijos greitis ir tekstūruojančios linų sėmenų savybės yra svarbūs veiksniai, pritaikant juos maisto produktų fermentacijos procesuose [10].

1.3.2. Linų sėmenų skaidulinių medžiagų panaudojimo galimybės maisto produktų ruošimui

Funkcionalieji maisto produktai (dar vadinami nutraceutikais) – tai tokie produktai, kurie savo sudėtyje turi veiklių komponentų, naudingų žmogaus sveikatai, didinančių atsparumą susirgimams, gerinančių daugelį žmogaus organizmo fiziologinių procesų. Kuriant tokius produktus, svarbu žinoti apie atskirų, įeinančių į maisto sudėtį, veiklių dalių poveikį žmogaus sveikatai bei atskiromis organizmo funkcijomis. Pastaruoju metu vis didesnio susidomėjimo sulaukia linų sėmenų skaidulinių medžiagų, kaip funkcionaliųjų maisto priedų, pritaikymas naujų maisto produktų kūrimui [71,72].

Nekrakingi polisacharidai mažina maistinių medžiagų absorbciją plonojoje žarnoje ir taip gali padėti išvengti su nutukimu susijusių ligų [5].

Tirpiosios skaidulinės medžiagos (gleivinės medžiagos) yra veiksmingos, siekiant sumažinti cholesterolio kiekį kraujyje, taip sumažinant riziką susirgti hipercholesterolemija. Toks efektas gali būti pasiektas, įtraukiant jas į keksiukų ar duonos receptūras bei papildant sulčių sudėtį vertingomis skaidulinėmis medžiagomis [71]. Gleivinės medžiagos gali būti naudojamos kaip emulsiklis ir stabilizatorius padažuose, dešrelėse, mėsos gaminiuose, salotų užpiluose [73]. Be to, jos lėtina duonos žiedėjimo procesą [74]. Šios tirpiosios medžiagos pagerina makaronų virimo kokybę [75]. Gleivinių medžiagų ir baltymų sąveika geba reguliuoti gliukozės kiekį kraujyje, tad gleivinės medžiagos gali būti naudojamos kaip funkcionaliojo maisto ingredientai, sumažinantys riziką susirgti hiperglikemija [76]. Tyrimais įrodyta ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų nauda sveikatai, pasireiškianti teigiamu poveikiu žarnyno veiklai ir peristaltikai [71].

Linų sėmenų vandeninės suspensijos gali pakeisti kiaušinius (15 g LS + 45 ml H₂O → 1 kiaušinis) veganų mityboje, ypač kepinuose, blyneliuose, keksiukuose ar sausainiuose, tačiau šie kepiniai tampa šiek tiek lipnesni ir sunkiau kramtomi, sumažėja gaminio tūris [72].

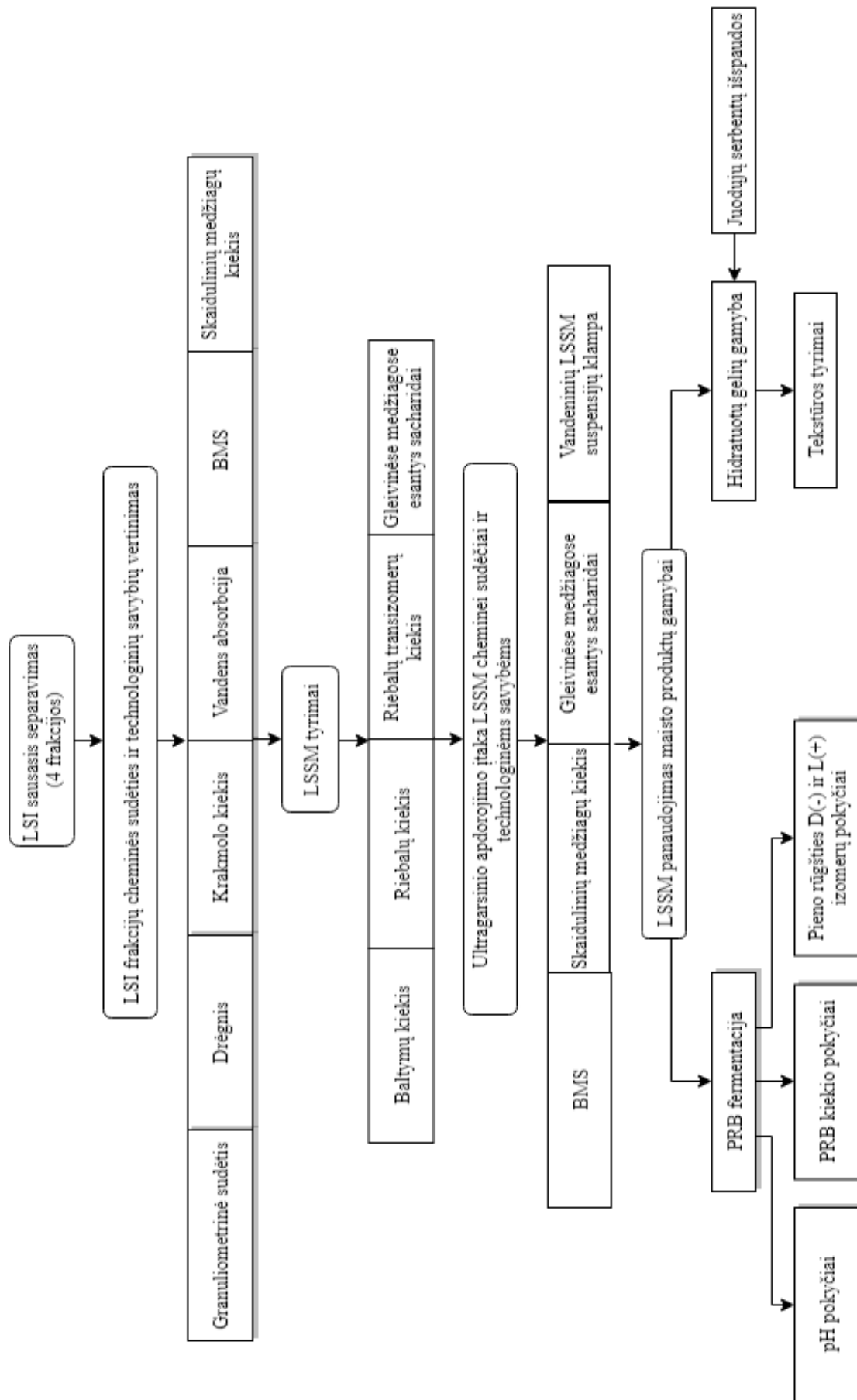
2. TYRIMO OBJEKTAI IR METODAI

2.1. Tyrimų kryptys

Tiriamasis darbas skirtas išgauti iš linų sėmenų išspaudų skaidulinėmis medžiagomis praturtintas frakcijas ir parinkti biopriemones jų perdirbimui bei pritaikymui funkcionaliųjų maisto produktų gamybai. Pagrindinės tyrimų kryptys pateiktos **2 pav.**

Eksperimentas vykdytas 4 etapais, kurių metu atlikti tokie tyrimai:

1. Taikant sausąjį frakcionavimo būdą, išgautos keturios linų sėmenų išspaudų (LSI) frakcijos. Skaidulinėmis medžiagomis praturtintų frakcijų atrinkimui analizuota granulimetrinė frakcijų sudėtis, drėgnis, tirpiosios ir netirpiosios skaidulinės medžiagos, krakmolo kiekis, bendras mikroorganizmų skaičius (BMS). Visose frakcijose atlikta vandens absorbcijos, vienos iš svarbių funkcinių savybių, analizė. Papildomai skaidulinėmis medžiagomis praturtintose frakcijose (LSSM) nustatytas bendras baltymų ir riebalų kiekis bei juose esantys transizomerai.
2. LSSM perdirbimui išbandytas įvairių dažnių ir intensyvumų ultragarsinis apdorojimas, įvertinant debakterizacijos poveikį pagal BMS, įtaką tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekiams ir sacharidų gleivinėse medžiagose pokyčiams.
3. Tirtas ultragarsiniu būdu apdorotų linų sėmenų skaidulinių medžiagų, kaip fermentacijos terpės, pritaikymas įvairių PRB (*Lactobacillus plantarum* LUHS135 ir *Lactobacillus brevis* LUHS140) kultivavimui. Eksperimento metu vertinta: pH pokyčiai, PRB dauginimasis ir susidarę pieno rūgšties D(-) ir L(+) izomerai.
4. LSSM panaudojimo galimybių hidratuotų gelių gamyboje tyrimas atliktas, įvertinus aukšto dažnio ultragarsinio apdorojimo įtaką vandeninių LSI suspensijų ir hidratuotų gelių, ruoštų su juodųjų serbentų išspaudų (JSI) ir agaro sirupo priedais, klampai. Papildomai šio tyrimo etapo metu vertinta JSI frakcijų granulimetrinė sudėtis ir jose esančių fitochemikalų kokybinė bei kiekybinė sudėtis.



2 pav. Pagrindinės tyrimų kryptys

2.2. Tyrimo objektai

2.2.1. LSSM iš linų sėmenų išspaudų išgavimas

- Eksperimento metu tirtos linų sėmenų išspaudos, gautos iš UAB „Ustukių malūnas“. Siekiant išgauti iš linų sėmenų išspaudų LSSM, atliktas jų frakcionavimas *Haver EML Digital plus* (*Haver & Boecker*, Vokietija) vibrosijotuvu su sietų komplektu, kurį sudaro 0,315 mm, 0,500 mm ir 1,000 mm akučių dydžio sietai (KTU, Cheminės technologijos fakultetas, Silikatų technologijos katedra). Gautos keturios LSI frakcijos, besiskiriančios granulometrine sudėtimi (**3 pav.**).



2 pav. LSI frakcijos, gautos naudojant *Haver EML Digital plus* (*Haver & Boecker*, Vokietija) vibrosijotuvą su sietų komplektu, kurį sudaro 0,315 mm, 0,500 mm ir 1,000 mm akučių dydžio sietai

Tolimesniems eksperimentams atrinktos ir naudotos didžiausių skaidulinių medžiagų kiekį turinčios LSI frakcijos.

Papildomai rūšiuotos liofilizuotos JSI, gautos iš Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro (LAMMC), naudojant aukščiau aprašytą vibrosijotuvą su sietų komplektu, kurį sudaro 0,315 mm ir 0,500 mm akučių dydžio sietai.

2.2.2. Ultragarstinės technikos panaudojimas LSSM apdorojimui

Eksperimento metu naudotos dvi ultragarstinio apdorojimo sistemos:

- Ultragarstinė vonelė *Proclean 3.0DSP* (*Ulsnix*, Lenkija): garso dažnis – 37 kHz; apdorojimo intensyvumas – 160 W. Ši ultragarstinė vonelė naudota mėginių apdorojimui žemose temperatūrose (30 °C, 40 °C, 50 °C) trumpą laiką (15 min.).
- Ultragarstinė sistema (*Meinhardt Ultraschalltechnik*, Vokietija), kurią sudaro ultragarstinė vonelė 5/1575, sujungta su 120 W-HF-Generator K 8 generatoriumi, skleidžiančiu 850 kHz dažnio ultragarso bangas; dažnio keitikliu E/805/T galima parinkti skirtingas apdorojimo

įtampas: 35 W, 50 W ir 80 W. Apdorojimui parinktas impulsinis ultragarso bangų skleidimo režimas. Atitinkamai nustatomas ultragarsinio apdorojimo intensyvumas, įvertinus vonelės dugno plotą (38 cm²): 0,9 W/cm², 1,3 W/cm² ir 2,0 W/cm². Ši ultragarsinė sistema naudota mėginių apdorojimui aukšto dažnio ultragarso bangomis.

Apie žemo dažnio (37 kHz) ultragarsinio apdorojimo poveikį mikrobinei taršai buvo sprendžiama pagal BMS. Tuo tarpu aukšto dažnio (850 kHz) ultragarsinis apdorojimas skirtingu intensyvumu (0,9 W/cm², 1,3 W/cm², 2,0 W/cm²) taikytas, vertinant jo įtaką tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekiams bei sacharidų gleivinėse medžiagose pokyčiams. Be to, tyrimo metu vertinta aukšto dažnio ultragarso įtaka LSSM, kaip PRB kultivavimo terpės, savybėms. Aukšto dažnio ultragarsinio apdorojimo poveikis vandeninių LSI suspensijų (koncentracija 13 %) ir hidratuotų gelių, ruošų su JSI ir agarų sirupo priedais, tekstūrai vertintas pagal klampą.

2.2.3. LSSM PRB bioapdorojimas kietafaze fermentacija

Šiame etape ultragarsu paveikti mėginiai fermentuoti kietafazės fermentacijos sąlygose. Kietafazėje fermentacijoje (KF) naudotas linų sėmenų mėginys, turintis didžiausią kiekį skaidulinių medžiagų. Pieno rūgšties bakterijų (PRB) padermės, naudotos eksperimentui atlikti, buvo gautos iš Lietuvos sveikatos mokslų universiteto:

- *Lactobacillus plantarum* (*L. plantarum*) – LUHS135;
- *Lactobacillus brevis* (*L. brevis*) – LUHS140.

PRB prieš naudojimą saugotos KTU Maisto mokslo ir technologijos katedros laboratorijoje -70 °C temperatūroje apsauginėje terpėje (*Microbank* sistemoje) ir atgaivinus jos padaugintos modifikuotame MRS sultinyje (*Oxoid*, Jungtinė Karalystė), išlaikius 35 °C temperatūros termostate 24 valandas. PRB paruošimo fermentacijai sąlygos pateiktos **4 lentelėje**.

4 lentelė. PRB paruošimo fermentacijai sąlygos

PRB	Kultivavimo temperatūra, °C	Kultivavimo trukmė, val.	Terpė
<i>Lactobacillus plantarum</i> LUHS-135	35±2	24	MRS (de Man, Rogosa, Sharpe) (<i>Biolife</i> , Italija)
<i>Lactobacillus brevis</i> LUHS-140	35±2	24	MRS (de Man, Rogosa, Sharpe) (<i>Biolife</i> , Italija)

Prieš eksperimentą LSSM mėginiai apdoroti skirtingomis sąlygomis, pateiktomis **5 lentelėje**.

5 lentelė. Mėginių paruošimo PRB KF sąlygos

Mėginio pavadinimas	Pradinis apdorojimas ultragarsu (15 min. 50 °C)	Ultragarsinis apdorojimas	Fermentacija
Kontrolė	+	-	+
0,9 W/cm ²	+	0,9 W/cm ²	+
1,3 W/cm ²	+	1,3 W/cm ²	+
2,0 W/cm ²	+	2,0 W/cm ²	+

Pradinio apdoravimo ultragarsu trukmė ir temperatūra parinktos, atsižvelgus į BMS mažėjimą (žr. 3.3.1. skyrelį).

KF metu naudojamas pieno rūgšties bakterijų *L. plantarum* ir *L. brevis* kiekis – 2 % nuo linų sėmenų mėginio masės. Kietafazei fermentacijai naudota linų sėmenų mėginių drėgmė – 49 %. Mėginys fermentuojamas *Renggli A.G.* (Šveicarija) termostate 35 °C temperatūroje laike 30 valandų. Mėginiai tolimesnėms analizėms imti po 0, 6, 12, 24 ir 30 valandų trukusios fermentacijos.

2.2.4. Hidratuotų gelių gamyba naudojant LSSM mišiniuose su JSI

Prieš eksperimentą linų sėmenų išspaudos sumalamos naudojant laboratorinį malūnėlį *WŻ-1 (Zakład Badawczy Przemysłu Piekarskiego Sp. z o.o., Lenkija)*. Tuomet žaliava paveikiama nustatytais ultragarsinio apdoravimo sąlygomis, iki linų sėmenų išspaudose susidaro didžiausias kiekis tirpiųjų skaidulinių medžiagų (dažnis – 850 kHz, galia – 2,0 W/cm², temperatūra – 25 °C, trukmė – 30 min.). Hidratuoti geliai ruošiami pagal tokią receptūrą: 7,5 g (LSI + JSI) + 50 ml H₂O.

Eksperimento metu gelių gamybai išbandyti įvairūs LSI ir JSI kiekiai:

- 40 % apdorotų LSI : 60 % JSI;
- 50 % apdorotų LSI : 50 % JSI;
- 60 % apdorotų LSI : 40 % JSI.

Lygiagrečiai atliekamas kontrolinis eksperimentas tokiais pat LSI ir JSI santykiais, tačiau be pradinio ultragarsinio LSI apdoravimo. Taip paruošti mėginiai naudojami hidratuotų gelių gamybai. Tada mėginiai dedami į ultragarsinę 850 kHz dažnio vonelę, parinkus apdoravimo galią 1,3 W/cm² ir 2,0 W/cm², ir apdorojami joje 60 °C temperatūroje laike 30 min. Po ultragarsinio apdoravimo mėginiai aušinami Petri lėkštelėse iki kambario temperatūros ir tuomet matuojama hidratuotų gelių klampa akustiniu klamos matuokliu (*Matmuo, Lietuva*).

Po šio eksperimento, siekiant padidinti hidratuotų gelių klampą, į kiekvieną mėginį papildomai įpilama po 20 % paruošto agarų sirupo. Agarų sirupas ruošiamas, 1 valandą brinkinant 2,47 g agarų 190 ml distiliuoto vandens maišant magnetine maišykle *MSH-300 (Biosan, Latvija)*, tuomet užvirinamas tirpalas ir verdamas 3 minutes. Po šio etapo mėginiai ataušinami ir matuojama hidratuotų gelių klampa akustiniu klamos matuokliu (*Matmuo, Lietuva*).

2.3. Tyrimo metodai

2.3.1. Skaidulinėmis medžiagomis praturtintų linų sėmenų produktų analizė

Atrenkant skaidulinėmis medžiagomis praturtintą frakciją, vertinta: granulimetrinė frakcijų sudėtis, drėgnis, tirpiosios ir netirpiosios skaidulinės medžiagos, krakmolo kiekis. Papildomai skaidulinėmis medžiagomis praturtintame produkte nustatyta bendras baltymų ir riebalų kiekis bei juose esantys transizomerai. Visose frakcijose atlikta bendro mikroorganizmų skaičiaus ir vandens absorbcijos analizė.

Granulimetrinė frakcijų sudėtis. Linų sėmenų išspaudų granulimetrinė sudėtis analizuota naudojant sietų komplektą (KTU, Cheminės technologijos fakultetas, Silikatų technologijos katedra). Vibrosijotuvu *Haver EML Digital plus* (Vokietija) sijojamos linų sėmenų išspaudos, parinkus 0,315 mm, 0,500 mm ir 1,000 mm akučių dydžio sietus. Sietų komplektas kratomas pusapskritimiu

horizontalioje pozicijoje 5 minutes, nustačius 2,0 amplitudę. Sausojo frakcionavimo metu linų sėmenų išspaudos suskirstomos į 4 skirtingo dalelių dydžio frakcijas: *I* frakcija – $d \leq 0,315$ mm, *II* frakcija – $0,315 \text{ mm} < d \leq 0,500$ mm, *III* frakcija – $0,500 \text{ mm} < d \leq 1,000$ mm, *IV* frakcija – $d \geq 1,000$ mm (**3 pav.**). Po sausojo frakcionavimo pasveriamos gautos frakcijos atskirai ir apskaičiuojama kiekvienos frakcijos procentinė dalis bendrame mišinyje.

Drėgnio nustatymas. Linų sėmenų išspaudų frakcijų drėgnis nustatomas džiovinant jas iki pastovios masės. Analitinėmis svarstyklėmis 0,001 g tikslumu pasveriamas po 5 g kiekvienos frakcijos linų sėmenų išspaudų. Mėginiai statomi į 120 °C temperatūros džiovinimo spintą ir laikomi ten tol, kol jų masė nebekinta. Prieš sveriant mėginius, jie atvėsunami eksikatoriuje. Išdžiovinti mėginiai pasveriami ir apskaičiuojamas mėginių procentinis drėgnis w pagal šią formulę:

$$w = \left(1 - \frac{m_{10}}{m_{00}}\right) \cdot 100 \%,$$

čia: m_{10} – išdžiovinto ėminio masė (g);

m_{00} – ėminio masė prieš džiovinimą (g).

Tirpiųjų, netirpiųjų ir bendro skaidulinių medžiagų kiekio nustatymas. Tirpiųjų, netirpiųjų ir bendrų skaidulinių medžiagų kiekiai nustatyti taikant fermentinį *Megazyme* analizės testą K-TDFR-100A (*Megazyme International*, Airija), kuris paremtas AOAC oficialiu metodu 991.43 „Bendros, tirpiosios ir netirpiosios skaidulinės medžiagos maisto produktuose“ ir AACC metodu 32-07.01 „Tirpiosios, netirpiosios ir bendros skaidulinės medžiagos maisto produktuose“. Šiame eksperimente analitinėmis svarstyklėmis pasveriamas po 1 g kiekvienos frakcijos išdžiovintų linų sėmenų. Linų sėmenys užpilami MES/TRIS buferiniu tirpalu (0,05 M, pH 8,2) ir maišoma ant magnetinės maišyklės *MSH-300* (*Biosan*, Latvija), iki kol linų sėmenų bandinys tolygiai pasiskirsto buferiniame tirpale. Analizės mėginys nuosekliai skaidomas termostabilia α -amilaze, proteaze ir amilogliukozidaze.

Netirpiosios skaidulinės medžiagos filtruojamos, tuomet nuosėdos praplaunamos su šiltu distiliuotu vandeniu. Filtrato ir vandens nuoplovų mišinys yra nusodinamas su 4 tūriais 95 % etanolio tirpių skaidulinių medžiagų analizei. Nuosėdos tada filtruojamos, išdžiovinamos 100 °C temperatūros džiovinimo spintoje per naktį ir pasveriamos analitinėmis svarstyklėmis. Suskaičiuojamas netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis.

Tirpiosios skaidulinės medžiagos yra nusodinamos su etanoliumi, tada nuosėdos filtruojamos, išdžiovinamos 100 °C temperatūros džiovinimo spintoje per naktį ir pasveriamos analitinėmis svarstyklėmis. filtruojamos, išdžiovinamos per naktį ir pasveriamos. Suskaičiuojamas tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis.

Bendras skaidulinių medžiagų kiekis apskaičiuojamas sudėjus netirpių skaidulinių medžiagų ir tirpių skaidulinių medžiagų kiekius.

Krakmolo kiekio nustatymas. Krakmolo kiekis linų sėmenų išspaudų frakcijose nustatytas taikant fermentinį *Megazyme* analizės testą KR-STAR (*Megazyme International*, Airija), kuris paremtas AOAC oficialiu metodu 2002.02 ir AACC metodu 32-40.01.

Analitinėmis svarstyklėmis pasveriamas po 100 ± 5 mg kiekvienos frakcijos sausų linų sėmenų išspaudų. Ant linų sėmenų išspaudų mėginių užpilama po 4 ml kasos α -amilazės (10 mg/ml), turinčios

AMG (3 U/ml). Mėginiai inkubuojami purtančioje vandens vonelėje su kasos α -amilaze ir amilogliukozidaze (AMG) tiksliai 16 val. 37 °C temperatūroje. Tuo metu virškinimui neatsparus krakmolai hidrolizuojasi iki D-gliukozės dėl dviejų fermentų bendro poveikio. Reakcija užbaigiama pridėdant tokį pat kiekį etanolio. Atsparus virškinimui krakmolai (RS) yra išgaunamas nuosėdų pavidalu po centrifugavimo centrifugoje *Microcen 23 (Ortoalresa, Ispanija)*. Nuosėdos toliau du kartus praplaunamos etanolio, po kiekvieno praplovimo atliekant centrifugavimą. Likęs skystis pašalinamas dekantavimu. RS, esantis nuosėdose, ištirpinamas 2 M KOH tirpale, intensyviai maišant ledinio vandens vonelėje ant magnetinės maišyklės *MSH-300 (Biosan, Latvija)*. Šis tirpalas neutralizuojamas su acetatiniu buferiu, o krakmolai kiekybiškai hidrolizuojamas iki gliukozės su AMG. D-gliukozė yra išmatuojama su gliukozės oksidazės/peroksidazės (GOPOD) reagentu spektrofotometriškai, esant 510 nm bangos ilgiui, naudojant UV spindulių spektrofotometrą *Genesys 10 UV (Thermo Electron Corporation, JAV)*, ir tai atspindi atsparaus krakmolo kiekį mėginyje. Neatsparus virškinimui krakmolai (ištirpęs krakmolai) yra apskaičiuojamas, sudėjus pradinius supernatantus su praplovimais ir suregulius skystį iki 100 ml, ir tada nustatant D-gliukozės kiekį su GOPOD reagentu spektrofotometriškai, esant 510 nm bangos ilgiui, naudojant UV spindulių spektrofotometrą *Genesys 10 UV (Thermo Electron Corporation, JAV)*.

Bendras krakmolo kiekis apskaičiuojamas sudėjus atsparaus virškinimui ir neatsparaus virškinimui krakmolo kiekius.

Bendro mikroorganizmų skaičiaus (BMS) nustatymas. Bendras mezofilinių aerobinių ir fakultatyvinių anaerobinių mikroorganizmų (bakterijų, mielių ir pelėsinių grybų) kolonijų, išaugintų standžioje terpėje aerobinėmis sąlygomis 30 °C temperatūroje, skaičius nustatytas pagal standartą LST EN ISO 4833:2003 „Maisto ir pašarų mikrobiologija. Bendrasis metodas. Kolonijų skaičiavimo 30 °C temperatūroje metodas“.

Pagaminamas reikiamas kiekis bendro mikroorganizmų skaičiaus analizei reikalingo fiziologinio tirpalo (0,85 % NaCl) ir PCA (*Plate count agar*) terpės. Paruošti reagentai prieš analizę autoklavuojami.

Analitinėmis svarstyklėmis pasveriami po 1 g kiekvienos frakcijos linų sėmenų išspaudų ir praskiedžiama fiziologiniu tirpalu (0,85 % NaCl) santykiu 1:9, ir taip skiedžiama iki 10^{-3} . Sterilia pipete iš 10^{-1} , 10^{-2} ir 10^{-3} koncentracijos bandinių į dvi lėkšteles pilama po 1 ml skiedinio ir sumaišoma su 12–15 ml ištirpintos ir atvėsintos iki 45 °C temperatūros PCA terpės, skirtos bendram mikroorganizmų skaičiui nustatyti. Maišant lėkštelę pastumdama penkis kartus vertikaliai, penkis kartus pasukama laikrodžio rodyklės kryptimi, pastumdama penkis kartus horizontaliai, penkis kartus pasukama prieš laikrodžio rodyklę ir paliekama sustingti ant horizontalaus paviršiaus. Sustingus terpei, lėkštelės apverčiamos ir laikomos 72 ± 3 val. 30 ± 1 °C temperatūros termostate. Pasibaigus inkubavimo laikui, skaičiavimui atrenkamos lėkštelės, kuriose išaugo mažiausiai 15 ir ne daugiau kaip 300 bakterijų kolonijų. Suskaičiuojamos išaugusios kolonijos ir apskaičiuojamas jų kiekis 1 g tiriamojo mėginio pagal šią formulę:

$$N = \sum C \cdot V \cdot (n_1 + (0,1 \cdot n_2)) \cdot d,$$

čia: $\sum C$ – suma kolonijų, suskaičiuotų visose neatmestose lėkštelėse iš dviejų vienas po kito einančių skiedinių, kai bent vienoje lėkštelėje yra 15-300 kolonijų;

V – užsėtos medžiagos ar skiedinio tūris lėkštelėje (ml);

n_1 – pirmojo skiedinio vertinamų lėkštelių skaičius;

n_2 – antrojo skiedinio vertinamų lėkštelių skaičius;

d – pirmojo vertinamo skiedinio skiedimo koeficientas.

Baltymų kiekio nustatymas Kjeldalio metodu. Bendras baltymų kiekis linų sėmenų išspaudų frakcijose nustatytas Kjeldalio metodu pagal ISO 20483:2013 standartą. Metodas pagrįstas azoto kiekio nustatymu mėginiuose. Tyrimui analitinėmis svarstyklėmis pasveriami po 1 g kiekvienos frakcijos linų sėmenų išspaudų.

Pirmiausia vykdoma mineralizacija. Tam į Kjeldalio kolbą *Behr Labor Technik* (Vokietija) ant linų sėmenų išspaudų pilama 20 ml konc. H_2SO_4 ir įdedama katalizatoriaus tabletė. Įjungiamas Kjeldalio aparatas ir mineralizacija vykdoma 2 valandas, iki kol tirpalų spalva Kjeldalio kolbose tampa žalia, t.y. kol produkto mineralinės medžiagos suskyla ir lieka tik mineraliniai junginiai. Mėginiai atvėsunami.

Baigus mineralizaciją, vykdomas distiliavimas distiliatoriuje *Behr, Labor – Technik GmbH* (Vokietija). Prieš distiliavimą paruošiamos Erlenmejerio kolbos, į kurias įpilama po 45 ml 3 % H_3BO_3 . Į distiliavimo aparatą įdedama Kjeldalio kolba su mėginiu ir Erlenmejerio kolba su H_3BO_3 . Distiliavimas vykdomas naudojant NaOH.

Prieš titravimą paruošiamas kontrolinis mėginys. Į Kjeldalio kolbą įpilama 45 ml 3 % H_3BO_3 , į Erlenmejerio kolbą įpilama 20 ml konc. H_2SO_4 ir abi kolbos statomos į distiliavimo aparatą. Distiliuojama su NaOH. Į gautą distiliatą įlašinama Taširo indikatorius tirpalo. Distiliatas nusidažo violetine spalva.

Toliau vykdomas mėginių distiliatų titravimas su 0,1 M HCl. Į mėginius įlašinama Taširo indikatorius tirpalo ir titruojama su HCl tol, kol distiliatas iš žalsvo nusidažo violetine spalva. Nustatomas titravimui sunaudotos HCl kiekis kiekviename mėginyje atskirai.

Nustatant bendrą baltymų kiekį, pirmiausia įvertinamas procentinis azoto kiekis N mėginiuose pagal formulę:

$$N = \frac{1,401 \cdot V_{HCl} \cdot 100}{m},$$

čia: 1,401 – azoto kiekis, kurį sujungia 1 ml 0,1 M HCl (mg);

V_{HCl} – druskos rūgšties, surištos su amoniaku titravimo metu, tūris (ml);

100 – daugiklis perskaičiavimui į procentinį azoto kiekį;

m – analizei pasverto mėginio kiekis (mg).

Azoto kiekis mėginiuose yra pagrindas baltymų kiekiui skaičiuoti. Žinant procentinį azoto kiekį tiriamajame mėginyje, galima apskaičiuoti bendrąjį baltymų kiekį. Baltymų perskaičiavimo koeficientai apskaičiuoti pagal azoto kiekį atskiruose baltymuose ir baltymų grupėse, esančiose tiriamajame produkte. Augaliniuose baltymuose azoto kiekis kinta nuo 16,33 iki 18,73 %, o linų sėmenų perskaičiavimo koeficientas – 5,5. Taigi, bendras procentinis baltymų kiekis mėginiuose apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$B = N \cdot 5,5,$$

čia: N – procentinis azoto kiekis mėginiuose (%);

5,5 – linų sėmenų perskaičiavimo koeficientas.

Nustatytas baltymų kiekis perskaičiuojamas į procentinį baltymų kiekį sausose medžiagose.

Riebalų kiekio nustatymas. Riebalų kiekis nustatomas Soksleto ekstrakcijos metodu. Analizei analitinėmis svarstyklėmis paveriama po 2 g kiekvienos frakcijos išdžiovintų linų sėmenų išspaudų mėginių. Mėginiai supakuojami į popierinius paketėlius. Naudojant Soksleto aparatą, heksanu išekstrahuojami riebalai. Išekstrahavus mėginiai pasveriami. Apskaičiuojama riebalų masė bei procentinė riebalų dalis sausose medžiagose pagal šias formules:

$$m_{(\text{riebalų})} = m_{(\text{prieš ekstrakciją})} - m_{(\text{po ekstrakcijos})},$$

$$\% = \frac{m_{(\text{riebalų})} \cdot 100}{m_{(\text{prieš ekstrakciją})}}.$$

Riebalų transizomerų kiekio nustatymas. Riebalų transizomerų kiekis nustatomas dujų chromatografijos metodu. Pirmiausia paruošiami mėginiai analizei. Tam į mėgintuvėlius įpilama po 5 ml visų frakcijų linų sėmenų išspaudų. Tuomet užpilama 5 ml heksano ant mėginio ir paliekama dviems valandoms nusistovėti. Paskui heksanas nuo mėginio nupilamas į atskirą mėgintuvėlį. Mėginiuose riebalų rūgštys metilinamos 250 μ l KOH metanolio tirpalo, sumaišoma ir paliekama 2 valandoms, kad išsisluoksniuotų. Po 2 valandų mėginys supilamas į specialius chromatografinius buteliukus ir atliekama chromatografinė analizė. Mėginių chromatografinė analizė atlikta dujų chromatografu *Shimadzu GC-17A*, naudojant užpildą BPX – 70 ir 120 m kolonėlę.

Analizės sąlygos:

- kolonėlės temperatūra: 60 °C 2 min., 20 °C/min. iki 220 °C, išlaikant 45 min.;
- garintuvo temperatūra – 250 °C;
- liepsnos jonizacijos detektoriaus temperatūra – 270 °C;
- dujos nešėjos – azotas.

Riebalų rūgščių identifikavimui naudotas pieno riebalų rūgščių rinkinys *Supelco 37 Component FAME Mix*.

Išanalizavus dujų chromatografijos metu gautas chromatogramas, nustatyti riebalų transizomerų procentiniai kiekiai linų sėmenų išspaudų frakcijose.

Vandens absorbcijos įvertinimas. Vandens absorbcijos įvertinimui analitinėmis svarstyklėmis pasveriami po 5 g kiekvienos frakcijos linų sėmenų išspaudų. Bandinys užpilamas 30 ml vandens. Gautas mišinys išmaišomas ir paliekamas nusistovėti 30 min. Vėliau mėginys centrifuguojamas centrifuga *Microcen 23 (Ortoalresa, Ispanija)* 30 min., 5000 rpm greičiu. Supernatantas nupilamas. Vandens absorbcija VA apskaičiuojama pagal formulę:

$$VA = \frac{(m_{b+m} - m_b) - m_m}{m_m},$$

čia: m_{b+m} – mėgintuvėlio svoris po dekantavimo (g);

m_b – tuščio mėgintuvėlio svoris (g);

m_m – analizei naudotas bandinio kiekis (g).

2.3.2. Ultragarsinio poveikio įtakos skaidulinių medžiagų pokyčiams vertinimas

Tiriant ultragarsinio poveikio įtaką skaidulinių medžiagų pokyčiams analizuota: debakterizacijos poveikis pagal BMS, įtaka tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų ir sacharidų gleivinėse medžiagose pokyčiams. LSSM, paveikti skirtingo intensyvumo ultragarso bangomis, mišiniuose su JSI, išbandyti funkcinių konditerinių gaminių (hidratuotų gelių) gamyboje.

Debakterizacijos poveikis pagal BMS. Apdorojus mėginius ultragarsu 37 kHz dažnio ultragarso vonelėje *Proclean 3.0DSP (Ulsonix, Lenkija)*, bendras mezofilinių aerobinių ir fakultatyvinių anaerobinių mikroorganizmų (bakterijų, mielių ir pelėsinų grybų) kolonijų, išaugintų PCA terpėje aerobinėmis sąlygomis 30 °C temperatūroje, skaičius nustatytas taikant bendrąjį skaičiavimo metodą. Bendro mikroorganizmų skaičiaus analizės eiga detalai aprašyta 2.3.1 skyrelyje.

Gleivinėse medžiagose esančių sacharidų nustatymas. Gleivinės medžiagos iš skaidulinėmis medžiagomis praturtintos linų sėmenų išspaudų frakcijos išgaunamos ekstrakcijos vandeniu būdu. Ekstrakcijai atlikti, analizės bandiniai paruošiami sumaišius 45 g linų sėmenų išspaudų su 200 ml vandens. Analizės bandinys prieš ekstrakciją apdorojamas 850 kHz dažnio, 2,0 W/cm² intensyvumo ultragarsu, o kontrolinio bandinio ekstrakcija vykdoma be ultragarsinio linų sėmenų išspaudų apdorojimo. Gleivinių medžiagų ekstrakcija vandeniu vykdoma nuosekliai 4 etapais, po kiekvieno etapo paimant mėginius sacharidų analizei:

1. 1 val. 20 °C temperatūroje nuolat maišant (E₂₀);
2. 1 val. 40 °C temperatūroje nuolat maišant (E' ₄₀);
3. 1 val. 40 °C temperatūroje nuolat maišant (E'' ₄₀);
4. 1 val. 60 °C temperatūroje nuolat maišant (E₆₀).

Po ekstrakcijos vandeniu, visi bandiniai filtruojami per kaprono filtrą. Išskirtos gleivinės medžiagos išdžiovinamos 37 °C temperatūros termostate ir susmulkinamos į miltelius, naudojant keraminę grūstuvėlę.

Sacharidų kiekio nustatymui 0,5 g gleivinių medžiagų miltelių užpilta 60 ml 60 °C distiliuotu vandeniu ir laikyta vandens vonelėje 60 °C temperatūroje 15 min. Bandiniuose esantys baltymai nusodinti reagentais *Carrez I* (natrio heksacianoferatas (II) (ferocianidas), 85 mM = 3,60 g K₄[Fe(CN)₆]×3H₂O/100 ml) ir *Carrez II* (cinko sulfatas, 250 mM = 7,20 g ZnSO₄×7H₂O/100 ml), abiejų reagentų įpilant po 2,5 ml. Iškritusios nuosėdos atskiriamos, bandinius nufiltravus pirmiausia per popierinį filtrą, o antrą kartą filtruojant per membraninį 0,22 μm porų filtrą. Etaloninis sacharidų standartų 2 mg/ml tirpalas paruoštas distiliuotame vandenyje 100 ml matavimo kolboje ištirpinus 0,2 g fruktozės (*SigmaAldrich, Vokietija*), gliukozės (*Sigma-Aldrich, Vokietija*) ir sacharozės (*Sigma-Aldrich, Vokietija*). Iš jo, atitinkamai praskiedus vandeniu, paruošti etaloniniai 2 mg/ml ir 0,1 mg/ml sacharidų mišinio tirpalai. Visi mėginiai prieš analizę filtruoti per membraninį 0,22 μm porų filtrą.

Sacharidų kiekybinis tyrimas atliktas efektyvios skysčių chromatografijos (UFLC) metodu, naudojant *Shimadzu LC-20AD* chromatografinę sistemą (*Shimadzu Corp., Japonija*) su šviesos sklaidos detektoriumi (ELSDLTII). Tiksliniams junginiams atskirti naudota *YMC-Pack Polyamine II* 250 × 4,6 mm, 5 μm (*YMC Co., Ltd., Japonija*) analizinė kolonėlė. Optimizuotos chromatografinės

metodikos judrioji fazė sudaryta iš eliuentų A – 75 % acetonitrilo ir B – 25 % distiliuoto vandens, nustatytas izokratinis režimas. Eliuento tekėjimo greitis – 1,2 ml/min. Kolonėlės temperatūra – 28 °C. Injekcijos tūris – 20 µl.

2.3.3. PRB kietafazės fermentacijos proceso vertinimas

PRB KF procesas vertintas tiriant: pH pokyčius, PRB dauginimąsi ir susidariusius pieno rūgšties D(–) ir L(+) izomerus.

pH įvertinimas. Analizuojamo mėginio pH matuojamas pH – metru *PB – 11* (*Sartorius*, Vokietija). Analitinėmis svarstyklėmis pasveriami 1 g linų sėmenų išspaudų ir sumaišoma su 10 ml distiliuoto vandens. Iki matavimų ir tarp matavimų elektrodas laikomas 3 mol/l KCl tirpale.

Pieno rūgšties bakterijų kiekio įvertinimas. PRB KF metu imami mėginiai PRB kiekio įvertinimui. PRB kolonijų, išaugintų standžioje terpėje aerobinėmis sąlygomis 37 °C temperatūroje, skaičius nustatytas taikant bendrą skaičiavimo metodą. Mėginys analizuojamas giluminio sėjimo MRS agare būdu.

Pagaminamas PRB skaičiaus analizei reikiamas kiekis fiziologinio tirpalo (0,85 % NaCl) ir MRS agaro terpės. Abu paruošti reagentai prieš analizę autoklavuojami.

Analitinėmis svarstyklėmis pasveriami po 1 g kietafazės fermentacijos sąlygomis apdorotų linų sėmenų išspaudų ir praskiedžiama fiziologiniu tirpalu (0,85 % NaCl) santykiu 1:9, ir taip skiedžiama iki reikiamos koncentracijos. Sterilia pipete į dvi lėkšteles pilama po 1 ml analizuojamo atskiesto bandinio ir sumaišoma su 12–15 ml atvėsintos iki 45 °C temperatūros MRS agaro terpės, skirtos PRB skaičiui nustatyti. Maišant lėkštelę pastumdoma penkis kartus vertikaliai, penkis kartus pasukama laikrodžio rodyklės kryptimi, pastumdoma penkis kartus horizontaliai, penkis kartus pasukama prieš laikrodžio rodyklę ir paliekama sustingti ant horizontalaus paviršiaus. Sustingus terpei, lėkštelės apverčiamos ir laikomos 48 ± 3 val. 37 ± 1 °C temperatūros termostate. Pasibaigus inkubavimo laikui, skaičiavimui atrenkamos lėkštelės, kuriose išaugo mažiausiai 15 ir ne daugiau kaip 300 bakterijų kolonijų. Suskaičiuojamos išaugusios kolonijos ir apskaičiuojamas jų kiekis 1 g tiriamojo mėginio pagal šią formulę:

$$N = \sum C \cdot V \cdot (n_1 + (0,1 \cdot n_2)) \cdot d,$$

čia: $\sum C$ – suma kolonijų, suskaičiuotų visose neatmestose lėkštelėse iš dviejų vienas po kito einančių skiedinių, kai bent vienoje lėkštelėje yra 15-300 kolonijų;

V – užsėtos medžiagos ar skiedinio tūris lėkštelėje (ml);

n_1 – pirmojo skiedinio vertinamų lėkštelių skaičius;

n_2 – antrojo skiedinio vertinamų lėkštelių skaičius;

d – pirmojo vertinamo skiedinio skiedimo koeficientas.

Pieno rūgšties D(-) ir L(+) izomerų kiekio įvertinimas. Pieno rūgšties D(–) ir L(+) izomerų kiekiai įvertinti taikant fermentinį *Megazyme* analizės testą K-DLATE 08/18 (*Megazyme International*, Airija). Analitinėmis svarstyklėmis pasveriami 2 g linų sėmenų mėginio ir įpilama 10 ml distiliuoto vandens. Gerai išmaišoma ir paliekama nusistovėti 10 min. kambario temperatūroje. Mėginys

centrifuguojamas 10 min., 8000 rpm centrifugoje *Microcen 23* (*Ortoalresa*, Ispanija). Supernatantas nupilamas į 100 ml talpos matavimo kolbą, įpilama 5 ml *Carrez I* reagento (natrio heksacianoferatas (II) (ferocianidas), 85 mM = 3,60 g $K_4[Fe(CN)_6] \times 3H_2O/100$ ml), 5 ml *Carrez II* reagento (cinko sulfatas, 250 mM = 7,20 g $ZnSO_4 \times 7H_2O/100$ ml) ir 10 ml 100mM NaOH tirpalo. Reakcijos mišinys praskiedžiamas su distiliuotu vandeniu iki 100 ml, filtruojamas per filtrinį popierių ir naudojamas pieno rūgšties D(-) ir L(+) izomerų kiekio įvertinimui.

D(-) pieno rūgšties izomerai nustatyti spektrofotometriškai. Šiame etape vykdomos dvi fermentinės reakcijos. Pirmosios fermentinės reakcijos, katalizuojamos D-laktato dehidrogenazės (D-LDH), metu D(-) pieno rūgšties izomeras oksiduojasi iki piruvato, reakcijos mišinyje esant nikotinamido – adenino dinukleotido (NAD^+). Antrosios fermentinės reakcijos metu, veikiant fermentui D-glutamato-piruvato transaminazei (D-GPT) ir esant D-glutamato pertekliui, piruvatas virsta D-alaninu ir 2-oksoglutaratu. Šių reakcijų metu susidaręs NADH kiekis koreliuoja su D(-) pieno rūgšties izomerų kiekiu ir yra išmatuojamas spektrofotometriniu būdu, esant 340 nm bangos ilgiui.

L(+) pieno rūgšties izomerų kiekio nustatymui atliekama L(+) pieno rūgšties oksidacija iki piruvato, veikiant L-laktato dehidrogenazei (L-LDH), reakcijos mišinyje esant nikotinamido – adenino dinukleotido (NAD^+). Antrosios fermentinės reakcijos metu, veikiant fermentui D-glutamato-piruvato transaminazei (D-GPT) ir esant D-glutamato pertekliui, piruvatas virsta D-alaninu ir 2-oksoglutaratu. Šių reakcijų metu susidaręs NADH kiekis koreliuoja su L(+) pieno rūgšties izomerų kiekiu ir yra išmatuojamas spektrofotometriniu būdu, esant 340 nm bangos ilgiui.

Eksperimento reakcijos mišinys sudarytas iš:

- 1,5 ml distiliuoto vandens;
- 0,1 ml mėginio;
- 0,5 ml buferinio tirpalo, kuriame yra D-glutamato ir natrio azido;
- 0,1 ml NAD^+ tirpalo;
- 0,02 ml D-GPT tirpalo.

Reakcijos mišinys laikomas 5 min. ir matuojama mėginio absorbcija (A_1). Išmatavus absorbciją A_1 , į tą patį mišinį įpilama 0,02 ml D-LDH. Mėginys išmaišomas ir laikomas 10 min., vėl matuojama mėginio absorbcija (A_2). Išmatavus absorbciją A_2 , į tą patį mišinį įpilama 0,02 ml L-LDH. Mėginys išmaišomas ir laikomas 15 min., matuojama absorbcija (A_3).

Ruošiant tuščią mėginį, į jį vietoje mėginio įpilama toks pat kiekis distiliuoto vandens.

Pieno rūgšties D(-) ir L(+) izomerų kiekis apskaičiuojamas pagal šias formules:

$$\Delta A_{D-pieno\ r\ddot{u}g\ddot{s}tis} = A_2 - A_1,$$

$$\Delta A_{L-pieno\ r\ddot{u}g\ddot{s}tis} = A_3 - A_2,$$

$$c = \frac{V \times MW}{\varepsilon \times d \times v} \times \Delta A_{(g/l)},$$

čia: V – reakcijos mišinio tūris (ml);

MW – pieno rūgšties molekulinė masė (g/mol);

ε – NADH ekstinkcijos koeficientas (esant 340 nm bangos ilgiui lygus $6300 \text{ l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$);

d – kiuvetės ilgis (cm);

v – mėginio tūris (ml).

2.3.4. Hidratuotų gelių susidarymo proceso vertinimas

Hidratuotų gelių susidarymo proceso vertinimui naudoti metodai: juodųjų serbentų išspaudų sudėtyje esančių fitochemikalų kokybinė ir kiekybinė sudėtis efektyviosios skysčių chromatografijos metodu; konditerinių gaminių kokybės nustatymas, vertinant tekstūros parametrus.

Fitochemikalų juodųjų serbentų išspaudose nustatymas. Fitochemikalų juodųjų serbentų išspaudose analizė atlikta efektyviosios skysčių chromatografijos metodu, naudojant *ACE C18* kolonėlę ($250 \text{ mm} \times 4,6 \text{ mm}, 5,0 \mu\text{m}$) (Pensilvanija, JAV). Optimizuotos chromatografinės metodikos judrioji fazė sudaryta iš eliuentų – tirpiklio A (0,1 % acto rūgštis vandenyje) ir tirpiklio B (acetonitrilas). Eliuento tekėjimo greitis – 1 ml/min. Kolonėlės temperatūra – 28 °C. Injekcijos tūris – 20 μl . Visi tirpikliai po ultragarsinio degazavimo filtruoti per membraninį 0,23 μm porų filtrą. Taikyta tokia linijinė – gradientinė eliucija:

5. 0–8 min., 5–15 % B;
6. 8–30 min., 15–20 % B;
7. 30–48 min., 20–40 % B;
8. 48–58 min., 40–50 % B;
9. 58–65 min., 50 % B;
10. 65–66 min., 50–95 % B.

Kolonėlės temperatūra analizės metu buvo pastovi (25 °C). Mėginio tirpalo injekcijos tūris – 20 μl .

Išanalizavus efektyviosios skysčių chromatografijos metu gautas chromatogramas, nustatyti fitochemikalų procentiniai kiekiai analizuojamuose bandiniuose.

LSSM vandeninių suspensijų ir hidratuotų gelių tekstūros analizė. LSSM vandeninių suspensijų ir hidratuotų gelių klampos analizė atlikta akustiniu klampos matuokliu (*Matmuo*, Lietuva). Akustinis prietaisas matuoja ultragarso bangos sklidimo atstumą, pagal akustinio aidolokacinio signalo sklidimo trukmę nuo ultragarso bangų siuntiklio – ėmiklio iki mėginio viršutinės plokštumos ir atgal. Akustinio prietaiso plunžerio smigimo gylis nustatomas atliekant bekontaktį matavimą sklindant ultragarso bangai. Įvertinus plunžerio smigimo gylį, nustatoma analizuojamos medžiagos klampa. Kuo mažesnė plunžerio smigimo gylio vertė, tuo analizuojamojo mėginio klampa yra didesnė.

Akustinio klampos matuoklio techninės charakteristikos:

- matavimo paklaida $\pm 5 \mu\text{m}$;
- laisvas kritimo atstumas tarp analizuojamo mėginio – 20 mm;
- ultragarso veikimo dažnis 800 kHz;
- matavimo impulsų dažnis 1 kHz.

Tiriamieji mėginiai supilti į klampos matavimui skirtas kiuvetes (skersmuo 90 mm, aukštis 15 mm). Analizės metu kiekvieno gelio klampa matuota tris kartus, atliekant matavimą 300 s. Klampos matavimai atlikti, naudojant cilindro formos plieninį plunžerį (masė 18,822 g, skersmuo 20 mm,

aukštis 1 mm). Mėginių klampa vertinta 24 val. laikotarpyje, aušinant bandinius 4 °C šaldytuve, kas 12 val., pirmąjį matavimą atliekant po 0 val.

2.3.5. Matematinė statistinė duomenų analizė

Eksperimentai kartoti tris kartus, išskyrus bendrą mikroorganizmų kiekio nustatymą, kurio kartojamumas – 2 kartai. Rezultatų vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai apskaičiuoti naudojant *Microsoft Excel* programinį paketą.

3. REZULTATAI

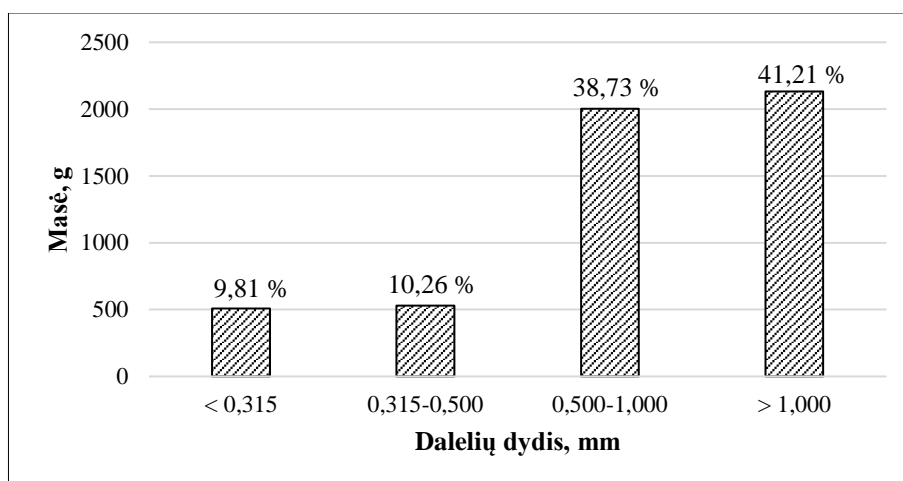
3.1. LSSM iš linų sėmenų išspaudų išgavimas ir jų įvertinimas

Linų sėmenys išsiskiria unikalia skaidulinių medžiagų sudėtimi. Skaidulinių medžiagų išskyrimui naudojama ekstrakcija, kombinuojant su fermentiniu apdorojimu, ir toks procesas sunkiai realizuojamas praktikoje norint pagaminti linų sėmenų skaidulinių medžiagų ingredientus maisto pramonei.

Šiame darbe vystomas linų sėmenų išspaudų perdirbimo būdas, siekiant išgauti skaidulinėmis medžiagomis praturtintas frakcijas sausojo separavimo būdu, kuris yra saugesnis ir lengviau pritaikomas maisto pramonei.

3.1.1. Sausojo frakcionavimo taikymas LSSM iš linų sėmenų išspaudų išgavimui

Skaidulinių medžiagų išgavimui iš linų sėmenų išspaudų laboratorinėse sąlygose išbandytas sausasis frakcionavimas pagal geometrinius požymius, naudojant 3 skirtingo akučių dydžio sietų sistemą: 0,315 mm, 0,500 mm ir 1,000 mm. Po sausojo frakcionavimo gautos 4 frakcijos, kurių atlikta kompleksinė analizė, vertinant granulimetrinę sudėtį ir frakcijų išeigas (**4 pav.**).



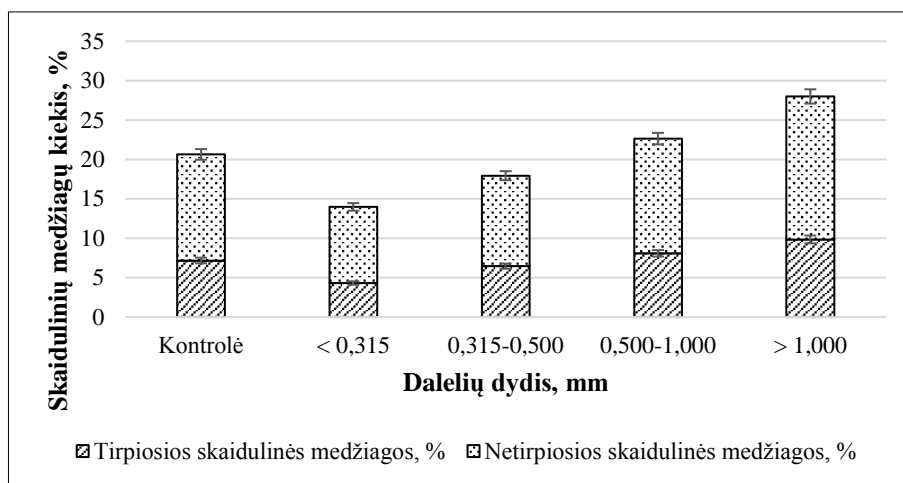
3 pav. LSI frakcijų, gautų sausojo frakcionavimo būdu pagal geometrinius požymius, granulimetrinė sudėtis ir išeigos

Smulčiausią linų sėmenų išspaudų frakciją, gautą kaip prasijas per 0,315 mm akučių dydžio sietą, sudarė vyraujančių dalelių dydis, mažesnis nei 0,315 mm (*I frakcija*). Stambesnę linų sėmenų išspaudų nuosijų frakciją, gautą ant 0,315 mm akučių dydžio sieto, sudarė dalelės, kurių dydis > 0,315 mm ir < 0,500 mm (*II frakcija*). Kita stambesnė nuosijų frakcija gauta ant 0,500 mm akučių dydžio sieto (dalelės > 0,500 mm ir < 1,000 mm (*III frakcija*)). Stambiausią frakciją sudarė nuosijos, kuriose dalelės > 1,000 mm (*IV frakcija*). Pasvertos gautos 4 frakcijos atskirai – nuo smulčiausios iki stambiausios frakcijos (gauta atitinkamai 507,38 g, 530,61 g, 2003,56 g ir 2131,82 g) ir apskaičiuotos jų išeigos. Frakcionavimo metu daugiausiai buvo gauta stambesnių frakcijų: *III* – 38,73 % ir *IV* – 41,21 %. Smulkesnių frakcijų (*I* ir *II*) gauta maždaug 30 % mažiau nei stambesnių, atitinkamai 9,81 % ir 10,26 %. Linų sėmenų išspaudų frakcionavimo metu gauti nuostoliai, kurie sudarė vidutiniškai 0,51 %.

Tolimesnio eksperimento metu analizuotas gautų linų sėmenų išspaudų frakcijų drėgnis ir skaidulinės medžiagos (tirpiosios ir netirpiosios), siekiant atrinkti LSSM.

Drėgnis tirtose linų sėmenų išspaudų frakcijose sudarė vidutiniškai 8,45 % ir nebuvo nustatyta reikšmingo skirtumo tarp atskirų frakcijų.

Tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekio linų sėmenų išspaudų frakcijose tyrimų rezultatai pateikti **5 pav.**



4 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekio pokyčiams

Linų sėmenų skaidulinėse medžiagose visose frakcijose vyrauja netirpiosios skaidulinės medžiagos, kurios vidutiniškai sudaro 65,48 % nuo bendro skaidulinių medžiagų kiekio. Tirpiųjų skaidulinių medžiagų linų sėmenų frakcijose nustatyta vidutiniškai 30,96 % mažiau nei netirpiųjų skaidulinių medžiagų. Pastebėta tendencija, kad, didėjant frakcijų stambumui, jose didėja netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis. Stambiausioje (*IV*) frakcijoje nustatytas netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis 46,78 % didesnis nei smulkiausioje (*I*) frakcijoje. Be to, tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis didėja, didėjant vyraujančiam dalelių dydžiui frakcijose. Didžiausias tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekio pokytis nustatytas tarp smulkiausios ir stambiausios frakcijos, jis siekia 56,14 %.

Taigi, fiksuojamas ryšys tarp granulimetrinės linų sėmenų išspaudų frakcijų sudėties ir tirpiųjų bei netirpiųjų skaidulinių medžiagų santykio. Stambiausioje frakcijoje (*IV*) nustatytas didžiausias tiek netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis (18,15 %), tiek ir tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis (9,85 %). Tuo tarpu smulkiausioje linų sėmenų išspaudų frakcijoje nustatytas mažiausias bendras skaidulinių medžiagų kiekis (13,98 %), įskaitant ir tirpiąsias skaidulines medžiagas (4,32 %).

Drėgnio tyrimo metu gauti šio parametro tyrimų rezultatai sutampa su pateiktais literatūroje (žr. **6 lentelė**).

6 lentelė. Linų sėmenų išspaudų drėgnio vertės literatūroje

Drėgnis	Šaltinis
10,65 %	[13]
9,70 %	[26]
8,65 ± 0,05 %	[77]

Gauti tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų santykio linų sėmenų išspaudose tyrimų rezultatai sutampa su pateiktais literatūroje. Pagal Singh K. K. ir kt. (2011) tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių

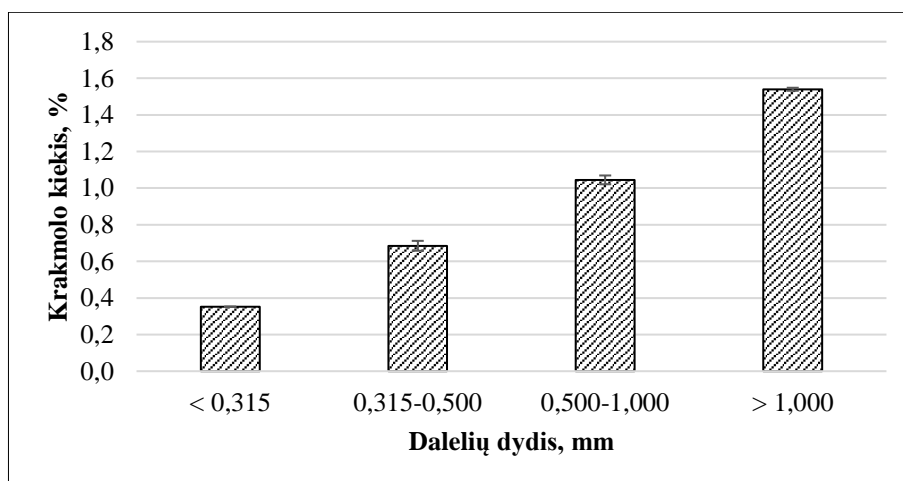
medžiagų kiekio santykis gali kisti nuo 20:80 iki 40:60 [5]. Kristensen M. ir kt. (2012) nustatė, kad linų sėmenyse yra apie 30 % skaidulinių medžiagų, iš kurių apie 10 % sudaro tirpiosios skaidulinės medžiagos, o apie 20 % – netirpiosios skaidulinės medžiagos [78]. Ganorkar P. M. ir kt. (2013) ištyrė tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekį linų sėmenyse ir nustatė, kad juose bendras skaidulinių medžiagų kiekis siekia 28 % [79].

Šio darbo metu ne tik įvertinta linų sėmenų išspaudų sudėtis, tačiau įrodytas galimas reikšmingas skaidulinių medžiagų kiekio padidėjimas, taikant sausąjį frakcionavimą. Toks technologinis sprendimas leidžia išgauti skaidulinėmis medžiagomis praturtintas frakcijas. Nustatyta, kad šiuo būdu išgaunamuose linų sėmenų produktuose galima keisti ir skaidulinių medžiagų sudėtį, priklausomai nuo jų panaudojimo paskirties.

3.1.2. Linų sėmenų išspaudų frakcijų cheminė sudėtis ir jų ryšys su technologinėmis savybėmis

Šiame tyrimo etape visose linų sėmenų išspaudų frakcijose atlikta krakmolo kiekio, bendro mikroorganizmų skaičiaus bei vandens absorbcijos, vienos iš svarbių funkcinių savybių, analizė. Papildomai skaidulinėmis medžiagomis praturtintose linų sėmenų išspaudų frakcijose atlikta bendro baltymų, riebalų bei juose esančių transriebalų kiekio analizė.

Sausojo frakcionavimo įtakos krakmolo kiekio pokyčiams analizės rezultatai pateikti **6 pav.**



5 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka krakmolo kiekio pokyčiams

Bendras krakmolo kiekis linų sėmenų išspaudose yra ganėtinai mažas. Didžiausias nustatytas krakmolo kiekis yra *IV* frakcijoje – $1,54 \pm 0,01$ %. Tuo tarpu smulkiausioje – *I* frakcijoje, nustatytas mažiausias krakmolo kiekis – $0,35 \pm 0,01$ %. Šiame paveiksle akivaizdžiai matoma tendencija, jog didėjant linų sėmenų išspaudų dalelių dydžiui, didėja ir krakmolo kiekis.

Tolimesni cheminės sudėties analizės tyrimai atlikti su daugiausiai skaidulinių medžiagų turinčiomis linų sėmenų išspaudų frakcijomis. Baltymų, riebalų ir transriebalų kiekio skaidulinėmis medžiagomis praturtintose linų sėmenų išspaudų frakcijose analizės metu gauti rezultatai pateikti **7 lentelėje**.

7 lentelė. Baltymų, riebalų ir transriebalų kiekiai skaidulinėmis medžiagomis praturtintose linų sėmenų išspaudų frakcijose

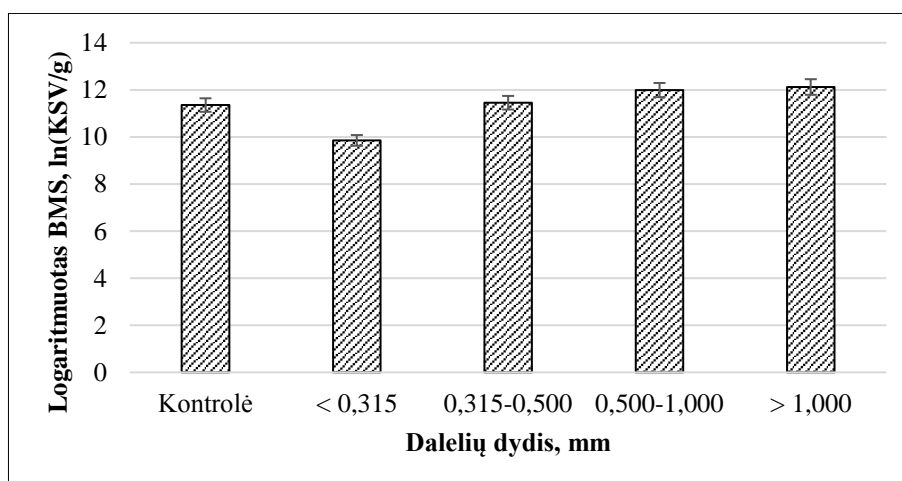
Dalelių dydis, mm	Baltymai, % SM	Riebalai, % SM	Transriebalai, % SM
0,500–1,000	29,79 ± 0,83	5,00 ± 0,31	0,06
> 1,000	23,46 ± 0,57	1,28 ± 0,04	0,01

Smulkesnėje linų sėmenų išspaudų frakcijoje nustatytas didesnis baltymų kiekis ($29,79 \pm 0,83$ %) nei stambesnėje frakcijoje ($23,46 \pm 0,57$ %). Stebima tendencija, kad didėjant linų sėmenų išspaudų dalelių dydžiui, baltymų kiekis mažėja. Literatūroje galima rasti kitų tyrėjų eksperimentų metu nustatytas baltymų kiekio linų sėmenų išspaudose vertes. Mueller K. ir kt. (2010) ištyrė linų sėmenų išspaudas ir nustatė, jog jose yra $43,30 \pm 1,13$ % baltymų [26]. Rabetafika H. N. ir kt. (2011) pateikia, jog baltymų kiekis linų sėmenų išspaudose siekia 35–45 % [2]. Ganorkar P. M. ir kt. (2013) teigia, jog baltymų kiekio įvairovei įtakos turi linų sėmenų genetika ir auginimo sąlygos [79].

Smulkesnėje linų sėmenų išspaudų frakcijoje nustatytas didesnis riebalų kiekis ($5,00 \pm 0,31$ %) nei stambesnėje frakcijoje ($1,28 \pm 0,04$ %). Šie rezultatai atskleidžia tendenciją, kad didėjant linų sėmenų išspaudų dalelių dydžiui, riebalų kiekis mažėja. Pagal Mueller K. ir kt. (2010), linų sėmenų išspaudose yra $1,67 \pm 0,04$ % riebalų [26].

Transriebalų kiekis skaidulinėmis medžiagomis praturtintose linų sėmenų išspaudų frakcijose svyruoja nuo 0,01 % iki 0,06 %.

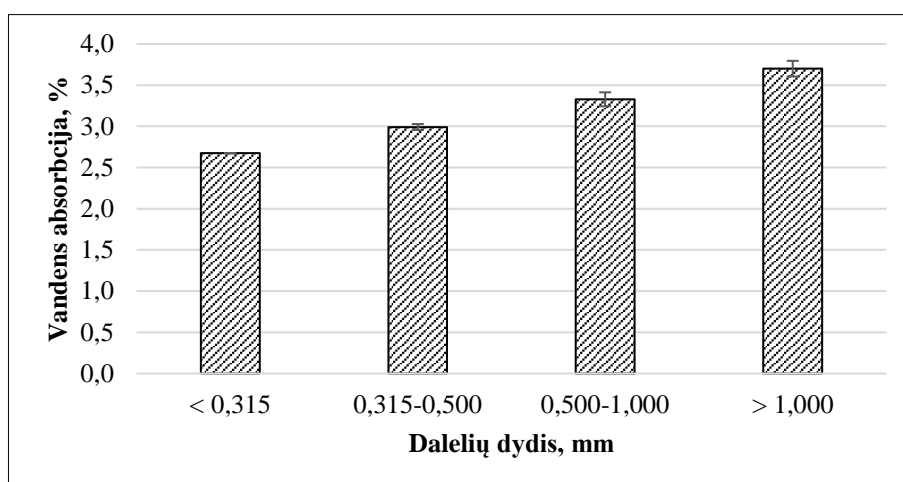
Bendras mikroorganizmų skaičius tirtas skirtingo stambumo išspaudų frakcijose (7 pav.), išgautose sausojo frakcionavimo būdu.



6 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka kolonijas sudarančių vienetų grame skaičiui skirtingo LSI dalelių dydžio frakcijose

Reikšmingesnis mikrobinės taršos padidėjimas fiksuotas stambesnėse frakcijose (> 0,315 mm – vidutiniškai 11,86) nei BMS smulkiausioje frakcijoje (< 0,315 mm – 9,85). Tarp didesnio stambumo frakcijų (> 0,315 mm) reikšmingo skirtumo pagal šį parametą nenustatyta. Gauti BMS skirtumai tarp skirtingo stambumo frakcijų gali būti siejami su tuo, kad į stambesnes frakcijas gali patekti paviršiniai linų sėmenų sėklų sluoksniai, pasižymintys didesniu mikrobiniu užterštumu.

Vandens absorbcija yra viena iš svarbiausių technologinių savybių, siekiant pritaikyti linų sėmenų išspaudų skaidulines medžiagas naujiems produktams kurti. Tyrimų rezultatai pateikti **8 pav.**



7 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka vandens absorbcijos pokyčiams

Didėjant linų sėmenų išspaudų frakcijų stambumui (< 0,315 mm → 0,315-0,500 mm → 0,500-1,000 mm → > 1,000 mm), stebima vandens absorbcijos reikšmių didėjimo tendencija: 2,67 % → 2,99 % → 3,33 % → 3,70 %. Didžiausias šio parametro verčių skirtumas nustatytas tarp smulkiausios ir stambiausios linų sėmenų išspaudų frakcijos, jis sudaro 27,73 %. Vidutinio stambumo frakcijų (0,315-0,500 mm ir 0,500-1,000 mm) vandens absorbcija, nustatyta atitinkamai 2,99 % ir 3,33 %, pagal šio parametro vertes užėmė tarpinę padėtį tarp smulkiausios ir stambiausios frakcijų.

Pagal Khan A. ir kt. (2016) linų sėmenų išspaudų vandens absorbcija sudaro $1,47 \pm 0,17$ % [80]. Lyginant su šio eksperimento metu gautais tyrimų rezultatais, literatūroje pateikti tyrimų rezultatai yra artimiausi smulkiausiai frakcijai (< 0,315 mm – 2,67 %), kurioje nustatytas mažiausias skaidulinių medžiagų kiekis. Be to, rezultatų skirtumams galėjo turėti įtakos ir išspaudų apdorojimo būdo savitumai, pvz., smulkinimas.

3.2. Ultragarso apdorojimo įtaka linų sėmenų išspaudų skaidulinėms medžiagoms

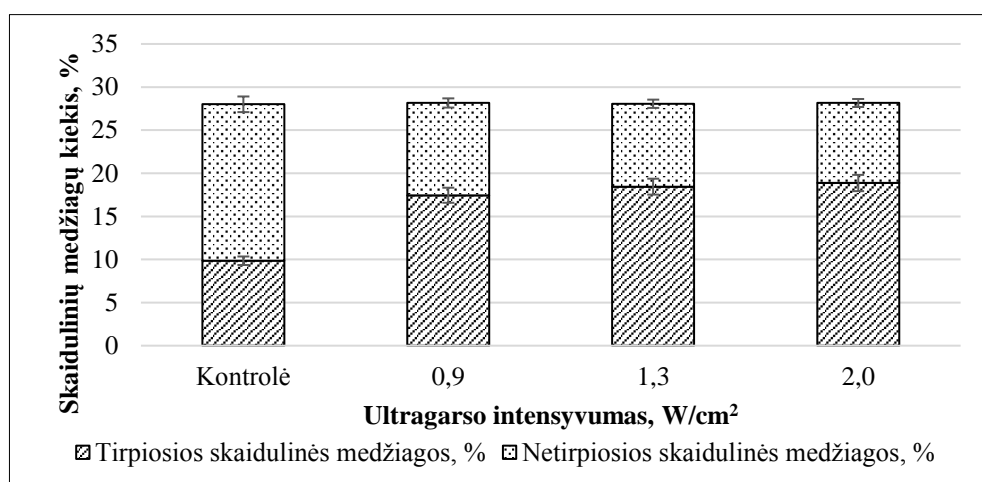
Ultragarso apdorojimas plačiai taikomas baltyminių medžiagų, įskaitant esančias linų sėmenų produktuose, funkcinių savybių modifikavimui, nes ši technologija gali būti taikoma ir pasiekiamas efektas žemose temperatūrose, kas labai svarbu maisto pramonėje. Iki šiol trūksta tyrimų apie ultragarso poveikį linų sėmenų skaidulinėms medžiagoms ir jų pokyčiams tirpioje ir netirpioje frakcijose.

Šiame skyriuje pateikti linų sėmenų skaidulinių medžiagų tyrimų rezultatai, gauti veikiant produktus aukšto dažnio ultragarsu. Eksperimentų metu buvo analizuojamas bendras skaidulinių medžiagų kiekis ir tirpiųjų bei netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekiai, keičiant ultragarso apdorojimo intensyvumą ($0,9 \text{ W/cm}^2$, $1,3 \text{ W/cm}^2$, $2,0 \text{ W/cm}^2$) ir terpės pH (3, 7, 9).

3.2.1. Ultragarso apdorojimo įtaka linų sėmenų išspaudų tirpiosioms ir netirpiosioms skaidulinėms medžiagoms

Pradiniame tyrimų etape vertinta 850 kHz dažnio ultragarso apdorojimo, naudojant įvairius intensyvumus ($0,9 \text{ W/cm}^2$, $1,3 \text{ W/cm}^2$ ir $2,0 \text{ W/cm}^2$), įtaka tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų

kiekio pokyčiams vandeninėse linų sėmenų išspaudų suspensijose (13 %), esant pastoviam terpės (pH 7).



8 pav. Ultragarsinio apdorojimo įtaka tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekiui, esant pH 7

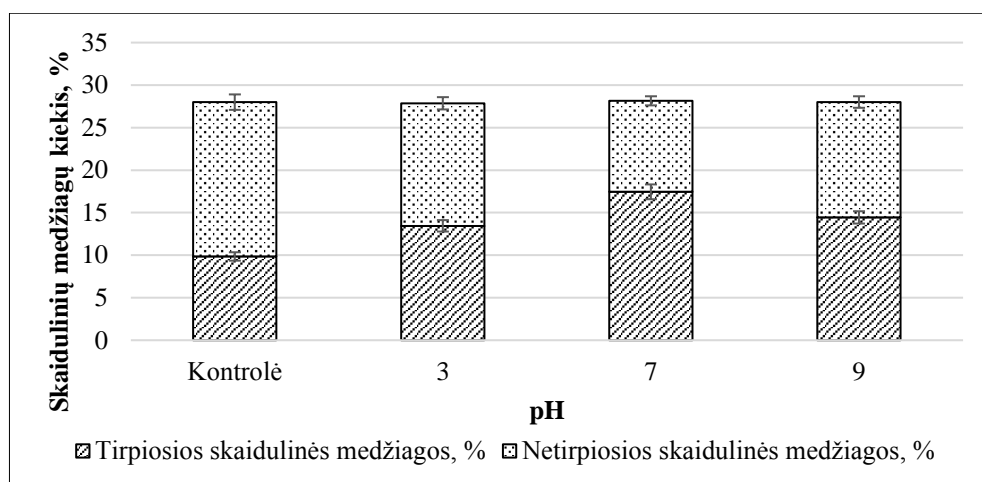
Linų sėmenų išspaudose kontroliniuose mėginiuose (be ultragarsinio apdorojimo) daugiausiai vyrauja netirpiosios skaidulinės medžiagos, kurios vidutiniškai sudaro 64,81 % (nuo bendro skaidulinių medžiagų kiekio). Tirpiųjų skaidulinių medžiagų kontroliniuose mėginiuose nustatyta 29,63 % mažiau nei netirpiųjų. Ultragarsinis apdorojimas, lyginant su kontrole, padidino tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekį tiriamuosiuose mėginiuose vidutiniškai 8,40 %. Dėl šio poveikio pakito tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų santykis nuo 7:13 (kontrolėje) iki 13:7 (vidutiniškai, tiriamuosiuose mėginiuose).

Keičiant ultragarsinio apdorojimo intensyvumą, reikšminga šio faktoriaus įtaka tirpiosioms skaidulinėms medžiagoms fiksuota prie 0,9 W/cm² ir 1,3 W/cm² intensyvumo. Tuo tarpu, esant didžiausiam ultragarsinio apdorojimo intensyvumui (2,0 W/cm²), reikšmingo tirpiųjų skaidulinių medžiagų padidėjimo nenustatyta.

Taigi, ultragarsinis linų sėmenų produktų apdorojimas keičia skaidulinių medžiagų sudėtį ir pokyčiai priklauso nuo pasirinkto ultragarso intensyvumo.

3.2.2. Ultragarsinio apdorojimo įtaka linų sėmenų išspaudų tirpiosioms ir netirpiosioms skaidulinėms medžiagoms, keičiant terpės pH

Kuriant naujus maisto produktus ir išgaunant norimas funkcines savybes (pvz., vandens absorbcija, emulsijos sudarymo pajėgumas ir stabilumas, putų sudarymo pajėgumas ir stabilumas), svarbią reikšmę turi terpės pH. Linų sėmenų produktai turi plačias pritaikymo galimybes įvairių maisto produktų gamybai. Įvertinant tai, šiame darbo etape vertintas ultragarsinio apdorojimo (850 kHz; 0,9 W/cm²) poveikis linų sėmenų skaidulinių medžiagų pokyčiams, keičiant terpės pH. Tyrimų rezultatai pateikti **10 pav.**



9 pav. Ultragarinio poveikio įtaka tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų pokyčiams, keičiant terpės pH

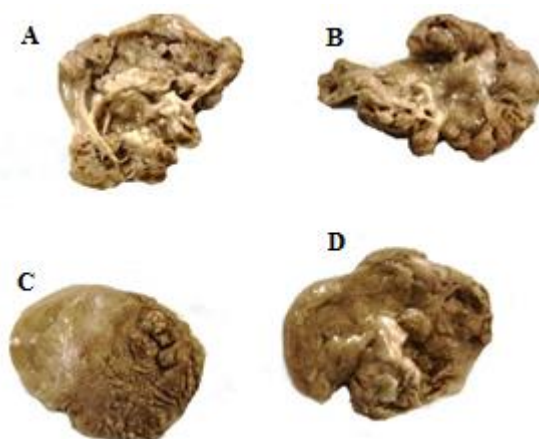
Gauti rezultatai rodo, kad keičiant terpės pH, galimi reikšmingi skaidulinių medžiagų linų sėmenyse pokyčiai. Didžiausias tirpiųjų skaidulinių medžiagų padidėjimas (7,65 %), lyginant su kontrole, nustatytas tiriamuosiuose mėginiuose, esant neutraliam terpės pH (pH 7). Tuo tarpu, esant rūgštinei terpei (pH 3) arba šarminei terpei (pH 9), neišryškėjo reikšmingi skirtumai tarp tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekio tirtuose linų sėmenų mėginiuose (atitinkamai $13,45 \pm 0,67$ % ir $14,45 \pm 0,72$ %). Analogiškai reikšmingo skirtumo tarp šių tirtų mėginių nenustatyta ir vertinant netirpiąsias skaidulines medžiagas (pH 3 – $14,41 \pm 0,72$ %; pH 9 – $13,57 \pm 0,68$ %).

Taigi, keičiant terpės pH linų sėmenų ultragarinio apdorojimo metu, galima keisti tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų santykį, padidinant tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekį esant terpės pH 7.

3.2.3. Sacharidų sudėties linų sėmenų gleivinėse medžiagose charakteristika

Linų sėmenyse esančias tirpiąsias skaidulines medžiagas formuoja gleivinės medžiagos, kurios sudarytos iš 3 skirtingų tipų arabinoksilanų. Šie polisacharidai vandeniniuose tirpaluose formuoja stambiamolekulinius agregatus, didina tirpalų klampą ir skatina gelio susidarymą. Tai yra svarbu, išgaunant naujas ir/ar pagerinant esamas maisto produktų tekstūros savybes.

11 pav. pateiktos etanoliu nusodintos linų sėmenų išspaudų gleivinės medžiagos, gautos atskiruose (skirtingą laiką trunkančiuose ir įvairiose temperatūrose vykdytuose) ekstrakcijos etapuose, kai linų sėmenų išspaudos prieš ekstrakciją buvo apdorotos aukšto dažnio ir didelio intensyvumo ultragarsu (850 kHz; $2,0 \text{ W/cm}^2$).



10 pav. Etanoliu nusodintos gleivinės medžiagos po kiekvieno ekstrakcijos etapo: A – 1 val. 20 °C temperatūroje, B – 1 val. 40 °C temperatūroje, C – 2 val. 40 °C temperatūroje, D – 1 val. 60 °C temperatūroje

Vertinant ultragarsinio poveikio įtaką skaidulinėms medžiagoms, analizuota gleivinėse medžiagose esančių sacharidų kokybinė ir kiekybinė sudėtis (**8 lentelė**). Be to, šio tyrimo metu vertinta ekstrakcijos trukmės ir temperatūros įtaka sacharidų gleivinėse medžiagose sudėčiai, nuosekliai vykdant gleivinių medžiagų ekstrakciją keturiais etapais:

- I – 20 °C 1 val.;
- II – 40 °C 1 val.;
- III – 40 °C 2 val.;
- IV – 60 °C 1 val.

8 lentelė. LSSM ultragarsinio apdorojimo (850 kHz; 2,0 W/cm²) įtaka sacharidų kiekio pokyčiams gleivinėse medžiagose (%)

Mėginys	E ₂₀	E ₄₀	E ₄₀	E ₆₀
Sacharidas	<i>Be ultragarsinio apdorojimo</i>			
Fruktozė	< 0,20	2,69	2,52	2,01
Gliukozė	< 0,20	2,86	2,93	2,45
Sacharozė	2,90	3,66	3,56	2,79
	<i>Su ultragarsiniu apdorojimu</i>			
Fruktozė	0,81	0,90	1,08	1,48
Gliukozė	1,17	1,30	1,58	2,05
Sacharozė	1,00	0,97	0,90	0,80

Linų sėmenų išspaudų gleivinėse medžiagose aptikta fruktozė, gliukozė ir sacharozė, kurių koncentracijos tirtuosiuose mėginiuose atitinkamai vidutiniškai sudarė 1,43 %, 1,79 % ir 2,07 %.

Paminėtina, kad šiems tyrimams reikšmingos įtakos turėjo gleivinių medžiagų ekstrakcijos iš linų sėmenų išspaudų parametrai, tokie kaip temperatūra ir ekstrakcijos trukmė. Sacharidų sudėties pokyčiai ekstrakcijos metu buvo akivaizdūs, didinant ekstrakcijos temperatūrą. Tuo tarpu, didinant ekstrakcijos trukmę nuo 1 val. iki 2 val., esant tai pačiai temperatūrai (40 °C), sacharidų kiekis mėginiuose (be ultragarsinio apdorojimo) iš esmės nepakito. Šios tendencijos buvo stebimos analizuojant tiek bendrą sacharidų kiekį, tiek ir atskirus komponentus, kurie išsiskyrė iš gleivinių medžiagų skirtingu ekstrakcijos etapu. Daugiausiai sacharozės (3,66 %) išgauta po II ekstrakcijos etapo (40 °C 1 val.), kai kituose ekstrakcijos etapuose (III ir IV) šio komponento išgavimas mažėjo,

jų metu nustatytas sacharozės kiekis atitinkamai siekė III – 3,56 % ir IV – 2,79 %. Analogiška tendencija buvo stebima išgaunant iš gleivinių medžiagų fruktozę. Daugiausiai šio komponento (2,69 %) fiksuota po II ekstrakcijos (40 °C 1 val.), kai tolimesnių etapų metu jos išskirta mažiau (III – 2,52 %; IV – 2,01 %). Gliukozė, skirtingai nei sacharozė ir fruktozė, daugiausiai išskirta po III ekstrakcijos etapo (2,93 %), kai pradinių etapų metu nepavyko pilnai išgauti šio komponento.

Ultragarsinis apdorojimas turėjo įtakos kokybiniam sacharidų pokyčiams ekstrakcijos metu: sacharozės kiekis ekstrakcijos metu mažėjo, kai gliukozės bei fruktozės koncentracijos didėjo. Lyginant tiriamus mėginius (apdorotus ultragarsu) su kontrole, reikšmingos ultragarsinio poveikio įtakos ekstrakcijos efektyvumui nenustatyta.

Gleivinių medžiagų iš linų sėmenų ekstrakcijos sąlygų parinkimas buvo ir kitų tyrėjų, vertinusių ekstrakcijos temperatūros ir trukmės įtaką sacharidų išgavimui, tyrimo objektas [81]. Gauti tyrimų rezultatai patvirtina nuoseklios daugiapakopės ekstrakcijos taikymo būtinumą gleivinių medžiagų ir jų sudėtinių komponentų išskyrimui. Šis procesas labai svarbus linų sėmenų perdirbimo metu, nes gleivinės medžiagos trukdo baltymų nusodinimui ir turi neigiamą įtaką jų funkcinėms savybėms. Ultragarsinis linų sėmenų apdorojimas keitė sacharidų gleivinėse medžiagose sudėtį, inicijuojant sacharozės inversijos procesą. Šis procesas patvirtintas gliukozės ir fruktozės analize chromatografijos metodu. Skirtingai nei kitų autorių publikacijose, šiame tyrime nebuvo įrodyta ultragarsinio poveikio įtaka sacharidų ekstrakcijos efektyvumui didinimui. Manoma, kad šiai hipotezei patvirtinti reikalingi papildomi tyrimai.

3.3. LSSM panaudojimo galimybių fermentacijos procesuose tyrimas

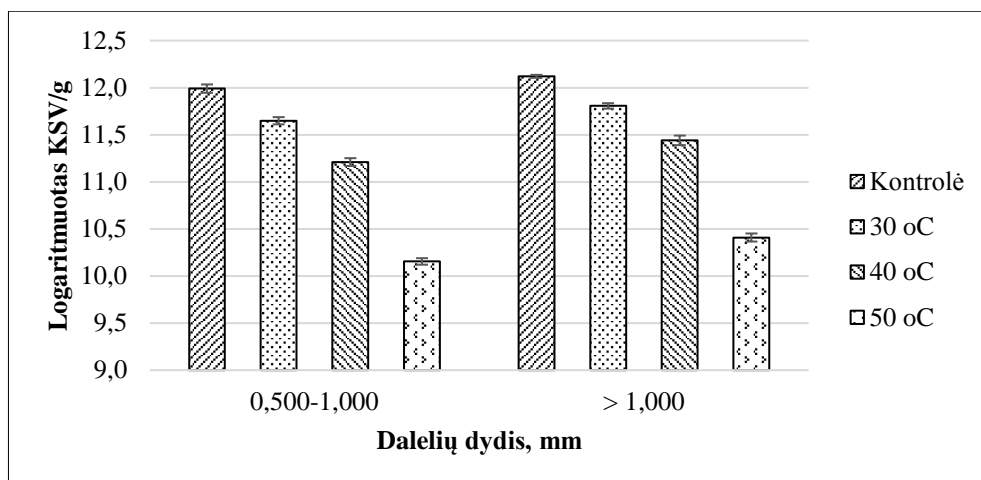
Vieni labiausiai paplitusių mikroorganizmų fermentuotų maisto produktų gamyboje yra pieno rūgšties bakterijos, kurios yra reiklios mitybos terpei (anglies ir azoto šaltiniams, aminorūgštims, angliavandeniams, vitaminams ir mineralinėms medžiagoms) ir pašalinės mikrofloros buvimui. Todėl bioprocesų efektyvumui svarbu parinkti tiek pigią maistinėmis medžiagomis turtingą žaliavą, tiek ir išbandyti naujus technologinius sprendimus, leidžiančius sumažinti mikrobiologinę taršą ir praturtinti fermentacijos substratą mikroorganizmų veiklą stimuliuojančiomis medžiagomis. Iki šiol plačiausiai mikrobiologinei taršai mažinti taikomi terminiai žaliavos apdorojimo procesai. Fermentai ir jų kombinacijos taikomos žaliavos sudėtinių komponentų skaidymui ir PRB aprūpinimui maistinėmis medžiagomis. Išvardytos priemonės yra ganėtinai brangios PRB fermentacijos procesuose, ypač vykdytuose kietafazės fermentacijos sąlygose, kurių trukmė ilgesnė nei tradicinių, esant didesnei terpės drėgmei.

Šiame darbe skaidulinėmis medžiagomis praturtinta linų sėmenų išspaudų frakcija išbandyta kaip substratas PRB kultivavimui kietafazės fermentacijos sąlygose. Be to, išbandyta ultragarsinė įranga augalinės žaliavos mikrobines taršos mažinimui. Papildomai tirta skaidulinėmis medžiagomis praturtintos linų sėmenų išspaudų frakcijos ultragarsinio apdorojimo įtaka PRB kultivavimui ir metabolizmo produktų susidarymui. Kietafazės fermentacijos procesas vertintas fiksuojant pH pokyčius, PRB dauginimosi eigą bei pieno rūgšties D(–) ir L(+) izomerų susidarymą.

3.3.1. Ultragarsinio poveikio įtaka LSSM mikrobines taršos mažinimui

Mikrobinei augalinių produktų saugai didinti skiriama vis daugiau dėmesio ir nuolat ieškoma alternatyvių terminiam apdorojimui metodų. Viena iš galimybių galėtų būti ultragarsinis augalinių produktų apdorojimas.

Šiame darbe ultragarsinė technika (37 kHz) naudota praturtintų skaidulinėmis medžiagomis linų sėmenų išspaudų frakcijų apdorojimui (trukmė – 15 min.), esant žematemperatūriam režimui (nuo 30 °C iki 50 °C, kas 10 °C). Tirta ultragarsinio poveikio įtaka BMS; gauti rezultatai lyginti su kontrole – be ultragarsinio apdorojimo, temperatūra – 30 °C.



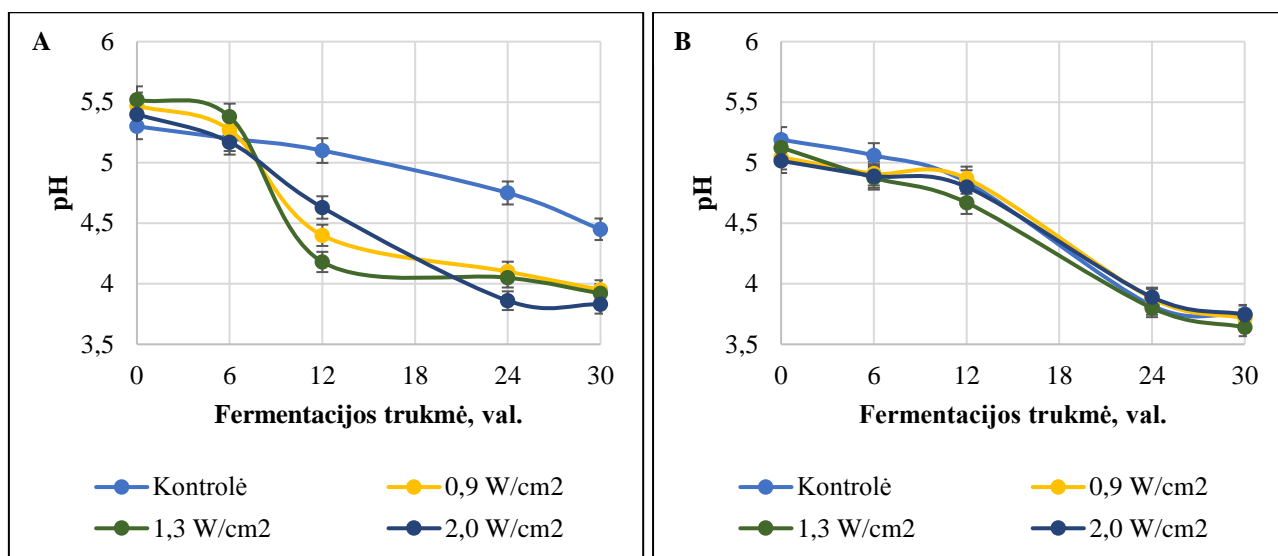
11 pav. BMS pokyčiai LSSM frakcijose

Kaip matoma iš 12 pav. pateiktų BMS tyrimo rezultatų, abiejose skaidulinėmis medžiagomis praturtintų linų sėmenų frakcijose (0,500–1,000 mm ir > 1,000 mm) po ultragarsinio apdorojimo 30 °C temperatūroje nustatytas BMS sumažėjimas (atitinkamai 2,84 % ir 2,56 %). Didinant temperatūrą ultragarsinio apdorojimo metu, visais atvejais buvo stebimas reikšmingas BMS mažėjimas (esant 40 °C temperatūrai – vidutiniškai 6,06 % ir esant 50 °C – vidutiniškai 14,72 %). Taigi, ultragarsinį apdorojimą tikslinga vykdyti naudojant aukštesnes temperatūras (~ 50 °C).

3.3.2. LSSM ultragarsinio apdorojimo įtaka KF procesams

Linų sėmenų produktai išbandyti kaip PRB fermentacijos terpė, naudojant dvi PRB padermes – *Lactobacillus plantarum* (*L. plantarum*) ir *Lactobacillus brevis* (*L. brevis*). Apie linų sėmenų apdorojimo ultragarsu (850 kHz; 0,9 W/cm², 1,3 W/cm², 2,0 W/cm²) įtaką fermentacijos procesams buvo sprendžiama pagal pH pokyčius, PRB dauginimosi eigą ir pieno rūgšties D(–) ir L(+) izomerų susidarymą.

pH pokyčiai. Tyrimo metu gauti rezultatai pateikti 13 pav.



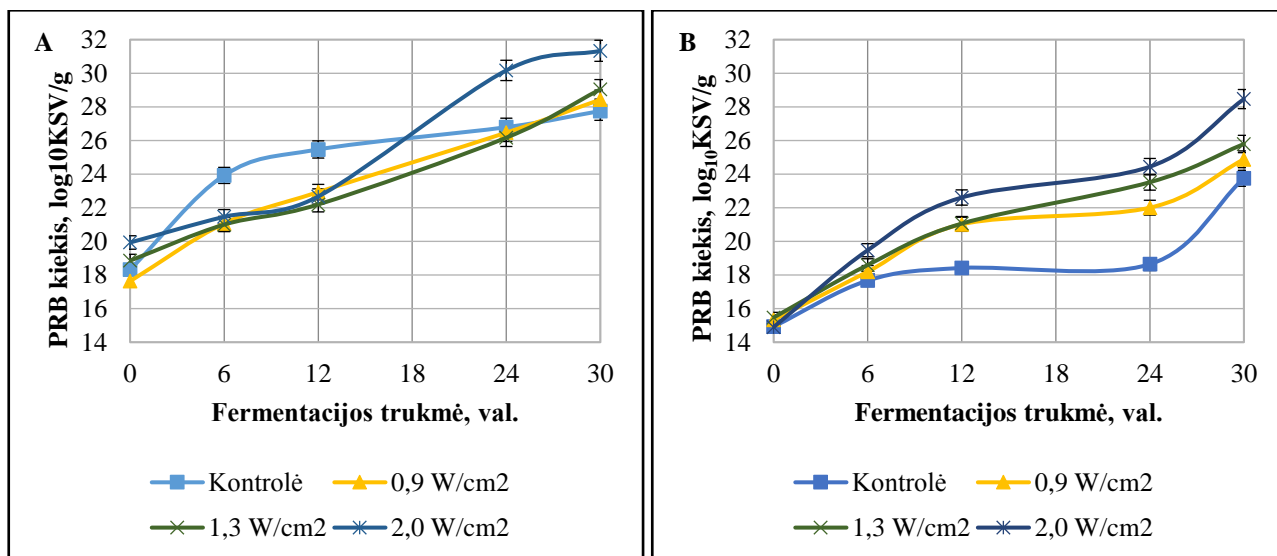
12 pav. Ultragarso apdorojimo įtaka fermentacijos terpės pH pokyčiams, naudojant A – *L. plantarum*, B – *L. brevis*

Linų sėmenų išspaudų KF metu pH vertės tendencingai mažėjo, tačiau skirtingu greičiu.

Kietafazę fermentaciją atlikus su apdorotomis ultragarsu linų sėmenų išspaudomis, naudojant *L. plantarum*, pH vertė po 30 val. trukusios fermentacijos sumažėjo 1,56 (vidutiniškai, tiriamuosiuose mėginiuose), o naudojant *L. brevis* – pH vertė sumažėjo 1,36 (vidutiniškai, tiriamuosiuose mėginiuose).

Reikšmingi pH pokyčiai išryškėjo, lyginant tarpusavyje įvairiai apdorotus ultragarsu tiriamuosius mėginius su kontrole. Kontrolinio mėginio pH vertė per 30 val. trukusią fermentaciją pakito nuo 5,30 iki 4,45, naudojant *L. plantarum*. Tuo tarpu naudojant *L. brevis*, kontrolinio mėginio pH vertė mažėjo panašia tendencija kaip ir tiriamuosiuose – apdorotuose ultragarsu – mėginiuose, kontrolės pH vertė pakito nuo 5,19 iki 3,75. Greičiau pH mažėjo mėginiuose, kurie apdoroti ultragarsu ir ši tendencija išryškėjo tik su *L. plantarum*. Didžiausi pH pokyčiai nustatyti tiriamuosius mėginius apdorojus aukšto dažnio ultragarsu, 1,3 W/cm² ir 2,0 W/cm² intensyvumu, atitinkamai nuo 5,52 iki 3,92 ir nuo 5,40 iki 3,83.

PRB dauginimasis. Eksperimento metu gauti rezultatai pateikti 14 pav.

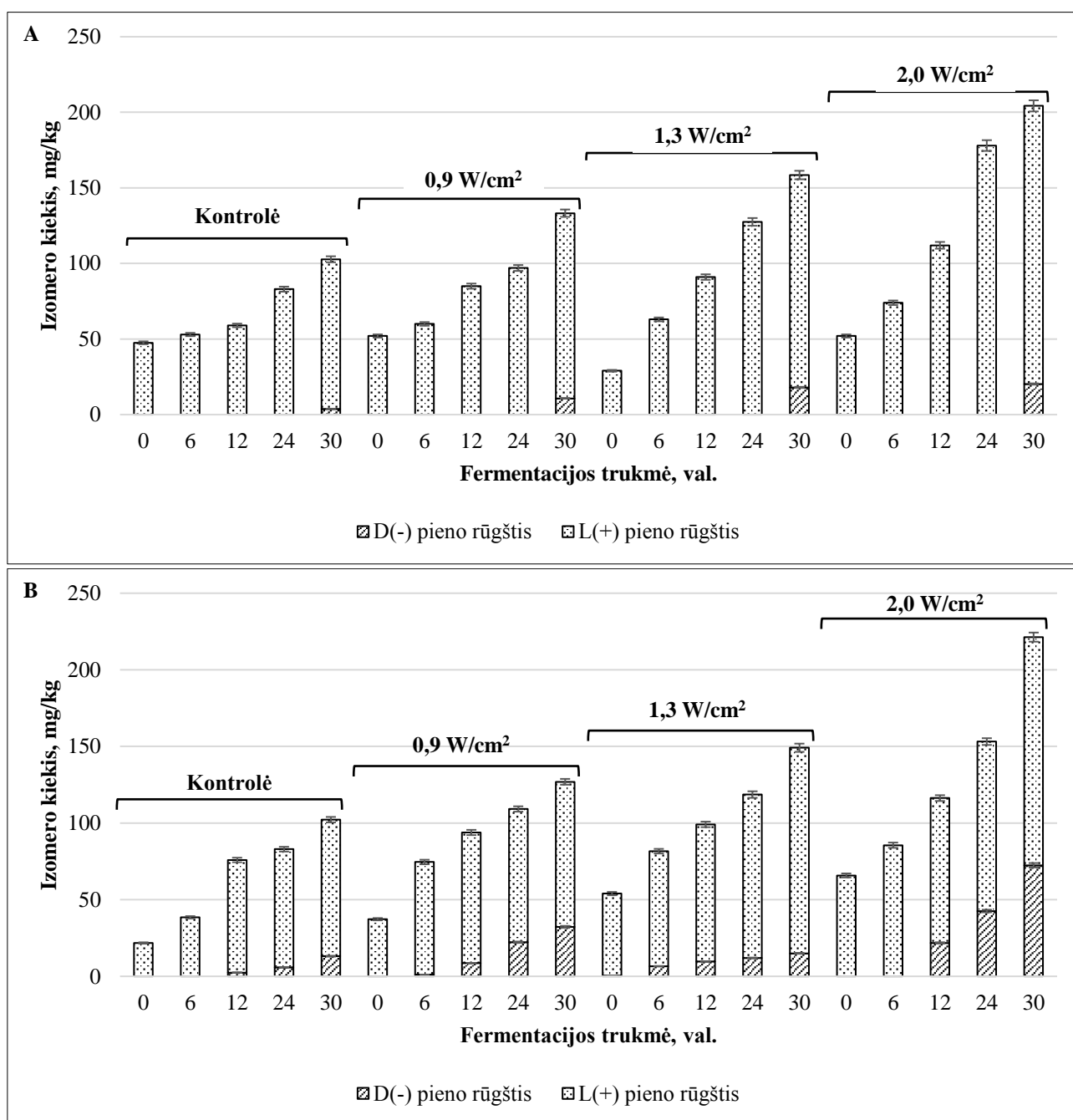


13 pav. Ultragarsinio apdorojimo įtaka PRB dauginimuisi, naudojant A – *L. plantarum*, B – *L. brevis*

Vykdam linų sėmenų išspaudų PRB fermentaciją su skirtingomis PRB (*L. plantarum* ir *L. brevis*), išryškėjo skirtumai tarp skirtingų PRB padermių. Linų sėmenys buvo tinkamesnė terpė *L. plantarum* dauginimuisi nei *L. brevis*. Ši tendencija išryškėjo jau pradiniuose *L. plantarum* fermentacijos etapuose (po 12 val.). Po 30 val. *L. plantarum* fermentacijos PRB kiekis mėginiuose (be ultragarsinio apdorojimo) nustatytas $27,75 \log_{10} \text{KSV g}^{-1}$. *L. brevis* sunkiau dauginosi linų sėmenų kontroliniuose mėginiuose be akivaizdžių pokyčių pradiniuose fermentacijos etapuose ir per 30 val. fermentacijos jų kiekis pasiekė $23,75 \log_{10} \text{KSV g}^{-1}$. *L. plantarum* fermentacijos atveju toks mikroorganizmų kiekis tirtoje terpėje susikaupė po 24 val.

Ultragarsinis linų sėmenų apdorojimas turėjo reikšmingos įtakos PRB dauginimuisi ir teigiama tendencija pasireiškė abiem PRB fermentacijos atvejais. Ypač ši tendencija matoma *L. brevis* fermentacijos metu, sąlygojant intensyvų šios padermės dauginimosi procesą. Didžiausias PRB kiekio padidėjimas ($4,71 \log_{10} \text{KSV g}^{-1}$), lyginant su kontrole, nustatytas *L. brevis* fermentuojamuose mėginiuose (po 30 val.), apdorotuose didžiausio intensyvumo ($2,0 \text{ W/cm}^2$) ultragarsu, kai prie mažesnių intensyvumų ($0,9 \text{ W/cm}^2$ ir $1,3 \text{ W/cm}^2$) šie skirtumai sudaro atitinkamai $1,13 \log_{10} \text{KSV g}^{-1}$ ir $2,04 \log_{10} \text{KSV g}^{-1}$. *L. plantarum* fermentacijos atveju taip pat buvo stebima teigiama ultragarsinio poveikio įtaka mikroorganizmų dauginimosi procesui ir, analogiškai kaip *L. brevis* atveju, šio poveikio įtaka išryškėjo, esant didžiausiam ultragarso intensyvumui ($2,0 \text{ W/cm}^2 - 3,58 \log_{10} \text{KSV g}^{-1}$).

Pieno rūgštis D(-) ir L(+) izomerų susidarymas. Tyrimo metu gauti rezultatai pateikti **15 pav.** (A – naudojant *L. plantarum* ir B – naudojant *L. brevis*).



14 pav. Ultragarinio apdorojimo įtaka pieno rūgštis D(-) ir L(+) izomerų susidarymui, naudojant A – *L. plantarum*, B – *L. brevis*

Gauti rezultatai (**15 pav.**) rodo, kad PRB padermė (*L. plantarum* ir *L. brevis*) neturėjo reikšmingos įtakos pieno rūgštis susidarymui (atitinkamai, 149,69 mg/kg ir 149,91 mg/kg) ir pagrindiniai skirtumai tarp padermių išryškėjo analizuojant PR izomerus. *L. plantarum* KF metu tiriamuosiuose mėginiuose per 30 val. susidaro daugiausiai L(+) izomero (vidutiniškai – 149,00 mg/kg), kai D(-) izomero nustatyta – 16,33 mg/kg. *L. brevis* fermentacijos metu tiriamuosiuose mėginiuose, lyginant su *L. plantarum*, susidaro didesnis kiekis D(-) izomero kiekis (39,91 mg/kg) ir mažiau L(+) izomero (123,90 mg/kg).

Ultragarsinis apdorojimas padidino PR susidarymą *L. plantarum* ir *L. brevis* fermentuotuose mėginiuose vidutiniškai 62,58 mg/kg ir 63,58 mg/kg, įskaitant D(-) ir L(+) izomerų kieki (atitinkamai, D(-) – 12,58 mg/kg; L(+)- 50,00 mg/kg ir D(-) – 26,80 mg/kg; L(+)- 36,79 mg/kg). Šis poveikis buvo efektyviausias, naudojant didžiausią intensyvumą (2,0 W/cm²): PR pokytis *L. plantarum* fermentuotuose mėginiuose sudarė – 101,50 mg/kg, *L. brevis* – 119,12 mg/kg. Ultragarso poveikio ir intensyvumo įtaka fiksuota ir tiriant PR izomerus:

- Apdorojus mėginį 0,9 W/cm² intensyvumo ultragarsu, *L. plantarum* fermentuotuose mėginiuose D(-) izomero kiekis kito nuo 3,75 mg/kg iki 10,75 mg/kg, L(+) izomero – nuo 99,00 mg/kg iki 122,50 mg/kg, o naudojant *L. brevis*, D(-) izomero kiekis padidėjo nuo 13,11 mg/kg iki 32,25 mg/kg, L(+) izomero kiekis – nuo 89,11 mg/kg iki 94,68 mg/kg;
- Po apdorojimo 1,3 W/cm² intensyvumo ultragarsu, *L. plantarum* fermentuotuose mėginiuose D(-) izomero kiekis kito nuo 3,75 mg/kg iki 18,00 mg/kg ir L(+) izomero – nuo 99,00 mg/kg iki 140,50 mg/kg, tuo tarpu naudojant *L. brevis*, D(-) izomero kiekis padidėjo nuo 13,11 mg/kg iki 15,01 mg/kg, L(+) izomero kiekis – nuo 89,11 mg/kg iki 134,14 mg/kg.

LSSM fermentacijai pasirinktos heterofermentinės PRB, iš kurių *L. plantarum* yra fakultatyvinė, o *L. brevis* griežta (obligatinė). Abi PRB padermės geba metabolizuoti pentozes iki pieno ir acto rūgščių. Skirtumas tarp naudotų PRB yra toks, kad fakultatyvinė heterofermentinė PRB padermė geba fermentuoti heksozes tik iki pieno rūgšties, kai griežta heterofermentinė PRB padermė heksozes skaido iki pieno ir acto rūgšties, etanolio ir CO₂.

Literatūroje pagal Sawitzki M. C. ir kt. (2009), *L. plantarum* fermentacijos MRS terpėje metu formuoja raceminį D(-) ir L(+) izomerų mišinį, tačiau skirtingu santykiu – L(+):D(-), %: 67,23:32,76 [82]. Be to, *L. plantarum* formuojamo L(+) izomero kiekis gali kisti nuo 65,28 % iki 98,84 %, priklausomai nuo šaltinio, iš kurio išskirta PRB. Šio tyrimo metu nustatyta, jog *L. plantarum* linų sėmenų išspaudų fermentacijos metu (po 30 val.) susidarė daugiausiai L(+) izomero (L(+):D(-), % – 90,09:9,91), kai *L. brevis* fermentacijos metu šis parametras fiksuotas 67,26:32,74.

Taigi, ultragarso teigiamą poveikį PRB dauginimuisi galima būtų susieti su šio poveikio inicijuojamu tirpiųjų skaidulinių medžiagų susidarymu, kurios gali būti asimiliuojamos pasirinktų PRB padermių. Tuo gali būti intensyvinamas PRB dauginimosi procesas ir metabolizmo produktų susidarymas.

3.4. LSSM, mišiniuose su JSI, panaudojimas hidratuotiems geliams ruošti

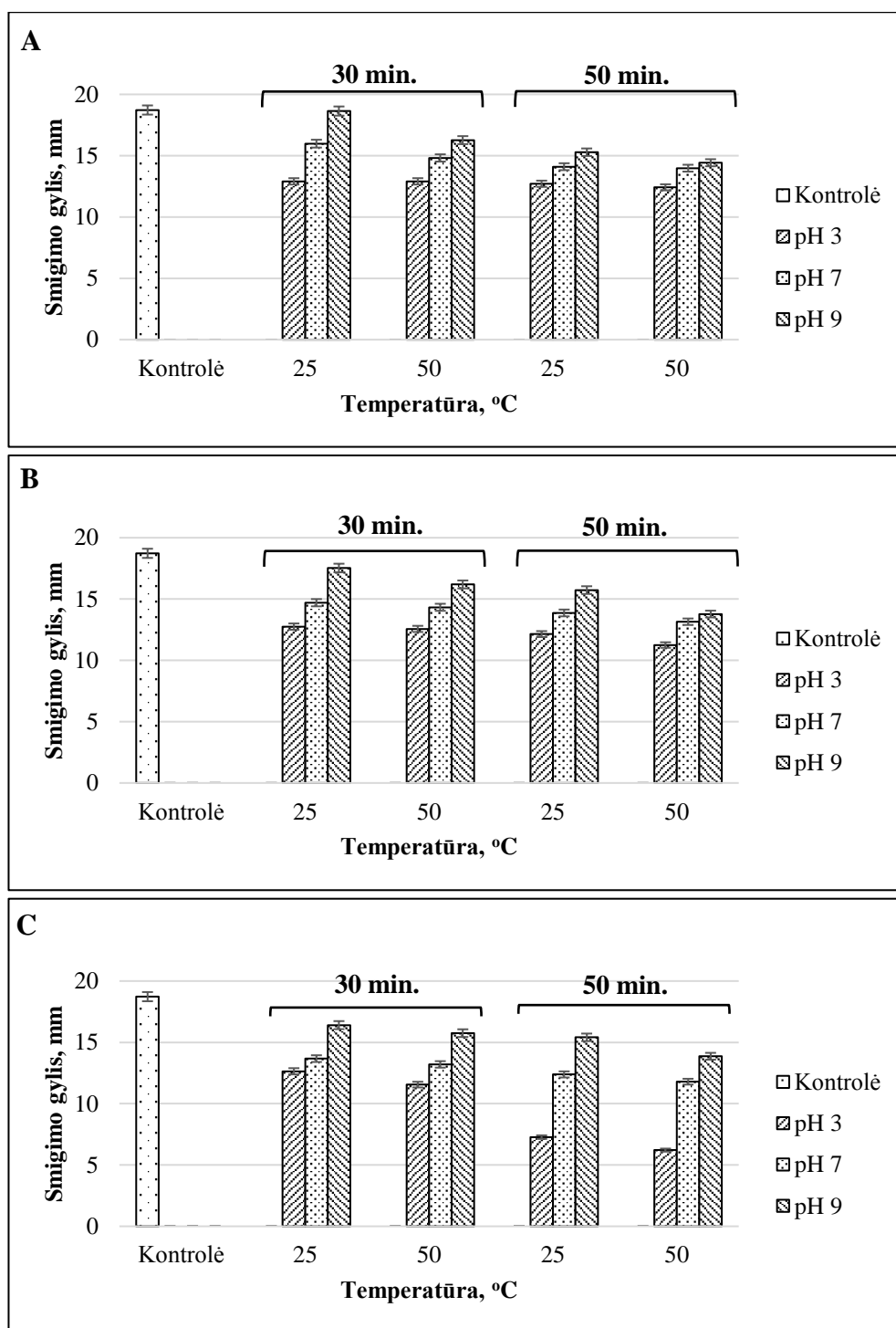
Plečiant linų sėmenų skaidulinių medžiagų panaudojimą maisto produktų gamybai, tyrimo objektais pasirinkti hidratuoti geliai, kurie galėtų būti pritaikyti vaikų mityboje. Manoma, kad į juos galima imobilizuoti biologiškai aktyvius komponentus ir tuo suteikti produktui išskirtinių funkcinių savybių. Gauti linų sėmenų skaidulinių medžiagų sudėties pokyčiai ultragarso apdorojimo metu leidžia manyti, kad ši technika galėtų būti perspektyvi ir šios rūšies produktų funkcinių savybių modeliavimui.

Vykdyto eksperimento metu ultragarsas išbandytas linų sėmenų vandeninių suspensijų, taip pat ir jų mišinių su juodųjų serbentų išspaudomis, apdorojimui. Apie linų sėmenų išspaudų vandeninių suspensijų (koncentracija – 13 %) funkcinių savybių pokyčius, keičiant ultragarso intensyvumą (0,9 W/cm², 1,3 W/cm² ir 2,0 W/cm²) ir apdorojimo trukmę (30 min. ir 50 min.), esant skirtingiems pH (3, 7 ir 9) ir temperatūroms (25 °C ir 50 °C), spręsta pagal tekstūros parametras – klampą, kuri analizuota akustiniu tekstūros analizatoriumi. Kito etapo metu ruošti linų sėmenų išspaudų, tiek

apdorotų ultragarsu (intensyvumai $1,3 \text{ W/cm}^2$ ir $2,0 \text{ W/cm}^2$), tiek ir neapdorotų, mišiniai su juodųjų serbentų išspaudomis (LSI:JSI, % – 40:60, 50:50, 60:40) ir vertintas gelių susidarymas (pagal klampą) skirtingais jų laikymo tarpsniais (po 0, 12 ir 24 val.). Papildomai vertinta gelių, stabilizuotų agaro sirupu, klampa tais pačiais laiko tarpsniais.

3.4.1. Ultragarsinio apdorojimo įtaka LSSM vandeninių suspensijų klampai, keičiant terpės pH

Ultragarsinio apdorojimo (850 kHz; intensyvumai: A – $0,9 \text{ W/cm}^2$, B – $1,3 \text{ W/cm}^2$, C – $2,0 \text{ W/cm}^2$; trukmė: 30 min., 50 min.) įtakos linų sėmenų išspaudų vandeninių suspensijų (koncentracija – 13 %) klampos pokyčiams, keičiant terpės pH (3, 7, 9) ir temperatūrą ($25 \text{ }^\circ\text{C}$ ir $50 \text{ }^\circ\text{C}$), tyrimo rezultatai pateikti **16 pav.** Rezultatai lyginti su kontrole (mėginiu be ultragarsinio apdorojimo, kurio pH 7).



15 pav. Ultragarinio apdorojimo (850 kHz; intensyvumai: A – 0,9 W/cm², B – 1,3 W/cm², C – 2,0 W/cm²; trukmė: 30 min., 50 min.) įtaka linų sėmenų vandeninių suspensijų klampos pokyčiams, keičiant terpės pH (3, 7, 9) ir temperatūrą (25 °C ir 50 °C)

Ultragarinis apdorojimas padidino vandeninių suspensijų klampą. Esant pH 7, palyginus su kontrole (pH 7), tiriamųjų mėginių klampa padidėjo vidutiniškai 26,13 %. Ultragarinio apdorojimo poveikis buvo efektyviausias, naudojant didžiausio intensyvumo ultragarsą (2,0 W/cm² – 33,18 %). Tuo tarpu, naudojant suspensijų apdorojimui mažesnių intensyvumų ultragarsą, neišryškėjo tokių reikšmingų tiriamųjų mėginių, palyginus su kontrole, klampos skirtumų (0,9 W/cm² – 22,36 %, 1,3 W/cm² – 25,25 %).

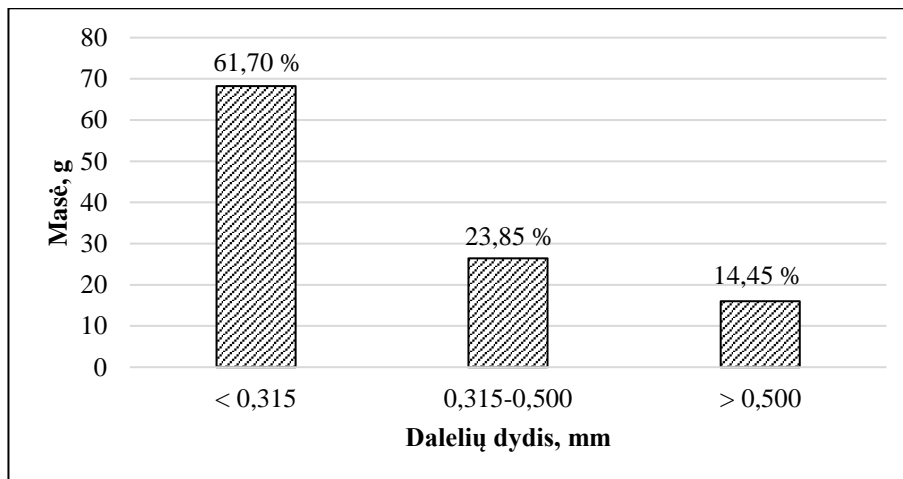
Paminėtina, kad LSI vandeninių suspensijų klampai įtakos turėjo ultragarsinio apdorojimo trukmė ir temperatūra, naudota šio apdorojimo metu. Ilginant ultragarsinio apdorojimo trukmę nuo 30 min. iki 50 min., tiriamųjų mėginių klampa padidėjo 12,57 %. Didinant temperatūrą ultragarsinio apdorojimo metu nuo 25 °C iki 50 °C, šio faktoriaus įtaka tiriamųjų mėginių klampai buvo mažesnė nei apdorojimo trukmės, fiksuojant klamos padidėjimą vidutiniškai 6,17 %. Šio parametro įtaka ypač išryškėjo 50 min. apdorotuose 2,0 W/cm² intensyvumo ultragarsu mėginiuose, esant terpės pH 3, juose klampa, palyginus su kontrole, padidėjo: 25 °C – 61,17 %, 50 °C – 66,83 %.

Gauti rezultatai rodo, jog linų sėmenų išspaudų vandeninių suspensijų klampa priklauso nuo terpės pH. Tyrimo metu nustatytas tiriamųjų mėginių klamos mažėjimas, didėjant terpės pH vertei. Didžiausia tiriamųjų mėginių klampa nustatyta, esant rūgštiniam terpės pH (pH 3), o mažiausia – esant šarminiam terpės pH (pH 9).

Taigi, keičiant LSI vandeninių suspensijų pH, ultragarsinio apdorojimo intensyvumą, apdorojimo trukmę bei temperatūrą, galima efektyviai padidinti LSI vandeninių suspensijų klampą (terpės pH 3, ultragarso intensyvumas 2,0 W/cm², apdorojimo trukmė 50 min. ir temperatūra 50 °C).

3.4.2. Fenoliniais junginiais praturtintų frakcijų iš juodųjų serbentų išspaudų išgavimas ir jų sudėties įvertinimas

Juodųjų serbentų išspaudos frakcionuotos pagal geometrines savybes (0,315 mm ir 0,500 mm akučių sietais) ir gautose frakcijose tirti fenoliniai junginiai. Fenolinių junginių analizė atlikta LSMU Farmacijos fakultete. Frakcijų išėigos po sausojo frakcionavimo sietais pateiktos **17 pav.**, o fenolinių junginių tyrimo rezultatai – **18 pav.**

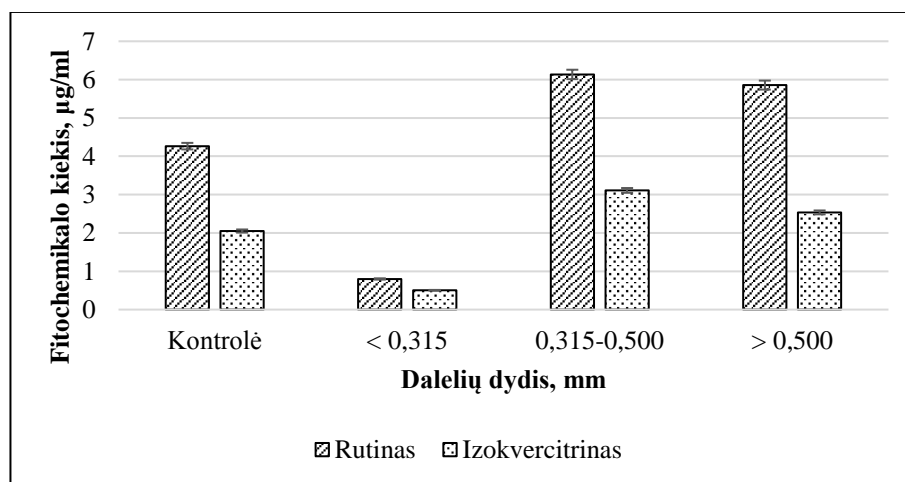


16 pav. JSI frakcijų, gautų sausojo frakcionavimo būdu, granulimetrinė sudėtis

Smulkiąsias JSI frakciją, gautą kaip prasijas per 0,315 mm akučių dydžio sietą, sudarė vyraujančių dalelių dydis, mažesnis nei 0,315 mm. Stambesnę JSI nuosijų frakciją, gautą ant 0,315 mm akučių dydžio sieto, sudarė dalelės, kurių dydis > 0,315 mm ir < 0,500 mm. Stambiausią frakciją sudarė nuosijos, kuriose dalelės > 0,500 mm.

Frakcionavimo metu daugiausiai buvo gauta smulkiąsias išspaudų – 61,70 %. Tuo tarpu stambiausios frakcijos gauta 14,45 %, kai tarpinio stambumo frakcija sudaro 23,85 %. JSI frakcionavimo metu gauti nuostoliai, kurie sudarė vidutiniškai 2,08 %.

Tolimesnio eksperimento metu gautose JSI frakcijose atlikta fenolinių junginių kiekybinė ir kokybinė analizė, siekiant įvertinti šių veiksmų įtaką fenolinių junginių pasiskirstymui frakcijose. Papildomai ši analizė atlikta ir nefrakcionuotoje JSI frakcijoje (kontrolė).



17 pav. Sausojo frakcionavimo įtaka fitochemikalų kiekiui JSI

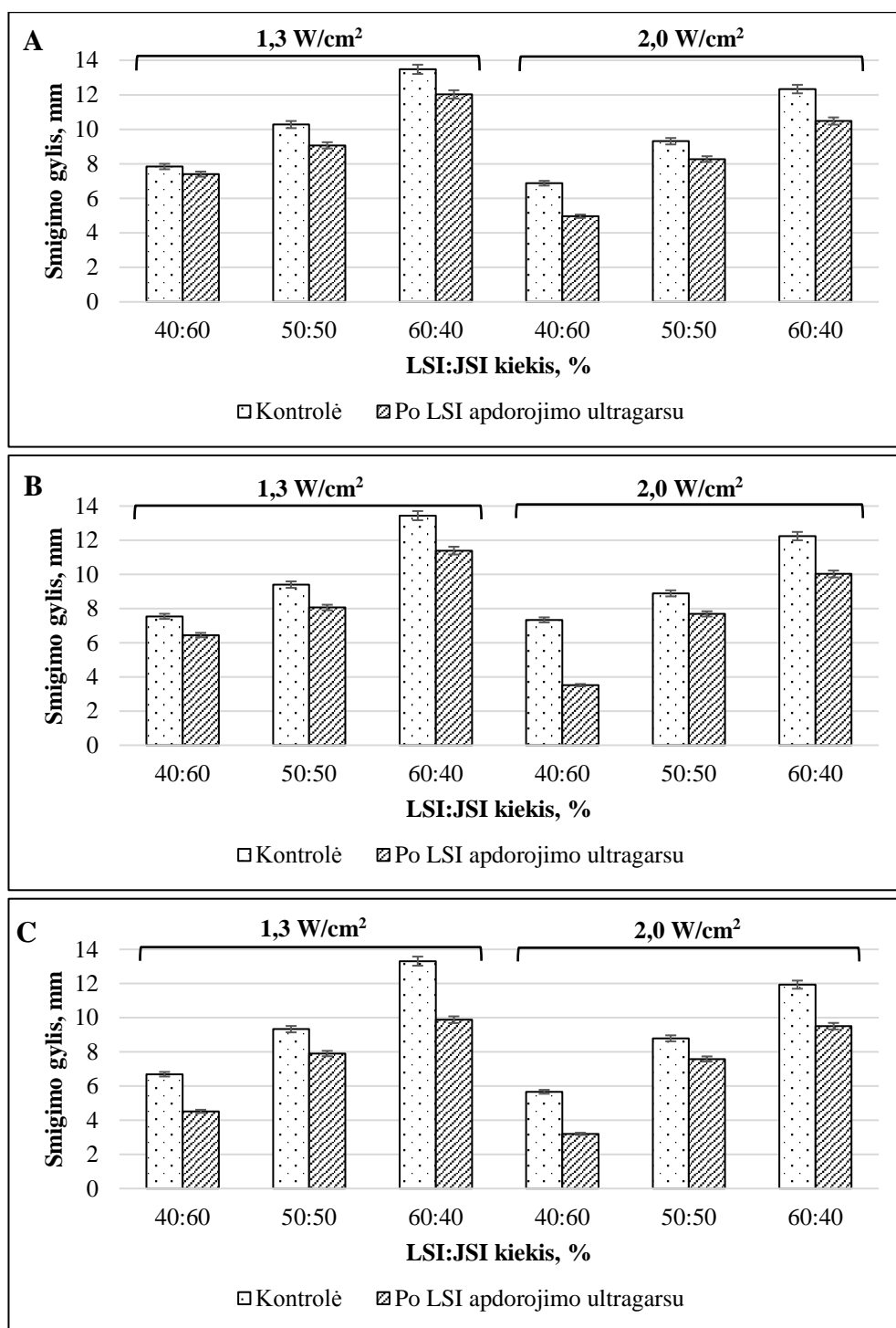
Tyrimo metu gauti rezultatai rodo, jog JSI granuliometrinė sudėtis turi įtakos fitochemikalų sudėčiai ir jų kiekiui. JSI aptikti du fitochemikalai – rutinas ir izokvercitrinas. Visose JSI frakcijose vyravo rutinas, jo kiekis vidutiniškai sudaro 67,54 % (nuo bendro tirtų fenolinių junginių kiekio). Tuo tarpu izokvercitrino kiekis tiriamuosiuose mėginiuose buvo vidutiniškai 48,76 % mažesnis nei rutino.

Didžiausias fenolinių junginių kiekis ($9,24 \pm 0,09 \mu\text{g/ml}$) nustatytas vidutinio stambumo (0,315–0,500 mm) JSI frakcijoje. Panašus fitochemikalų kiekis aptiktas ir stambiausioje (> 0,500 mm) frakcijoje – $8,39 \pm 0,08 \mu\text{g/ml}$. Itin mažas fenolinių junginių kiekis nustatytas smulkiausiosje (< 0,315 mm) JSI frakcijoje (rutino – $0,80 \pm 0,02 \mu\text{g/ml}$ ir izokvercitrino – $0,50 \pm 0,01 \mu\text{g/ml}$).

Tai rodo, kad sausuoju frakcionavimu galima išgauti frakcijas su įvairiais fenolinių junginių kiekiais.

3.4.3. Gelių tekstūros stabilizavimo netradicinių augalinių žaliavų priedais galimybių tyrimas

Hidratuotų gelių tekstūrai stabilizuoti išbandytos JSI frakcijos. Gelių receptūroje naudoti įvairūs LSI ir JSI kiekiai (LSI:JSI, % – 40:60; 50:50; 60:40). Šio tyrimo etapo metu vertinta ultragarsinio apdorojimo (850 kHz, esant $1,3 \text{ W/cm}^2$ ir $2,0 \text{ W/cm}^2$ intensyvumams) įtaka hidratuotų gelių klampos pokyčiams skirtingais jų laikymo tarpsniais (po 0, 12 ir 24 val.). Klamos rezultatai lyginti su kontrole (neapdorotu ultragarsu mėginiu). Eksperimento metu gauti rezultatai pateikti **19 pav.**



18 pav. LSI ir JSI kiekių (LSI:JSI, % – 40:60; 50:50; 60:40) įtaka hidratuotų gelių klampai skirtingais laiko tarpniais (A – po 0 val., B – po 12 val., C – po 24 val.), keičiant ultragarsinio apdorojimo intensyvumą (1,3 W/cm² ir 2,0 W/cm²) gelių gamybos metu

Gauti rezultatai rodo, jog hidratuotų gelių klampai įtakos turi jų ruošimui naudoti žaliavų (LSI ir JSI) kiekiai. Didėjant LSI kiekiui mėginiuose, klampa mažėjo. Priešingai, didėjant JSI kiekiui geliuose – jų klampa didėjo. Didžiausia tiriamųjų mėginių klampa nustatyta, juose esant mažiausiam kiekiui LSI (40 %) ir didžiausiam kiekiui JSI (60 %). Mėginių, kurių gamybai naudota 40 % LSI ir 60 % JSI, klampa nustatyta vidutiniškai 44,11 % didesnė nei mėginių, ruoštų su 60 % LSI ir 40 % JSI. Mėginių, kurių ruošimui naudoti vienodi LSI ir JSI kiekiai, klamos vertės užėmė tarpinę padėtį.

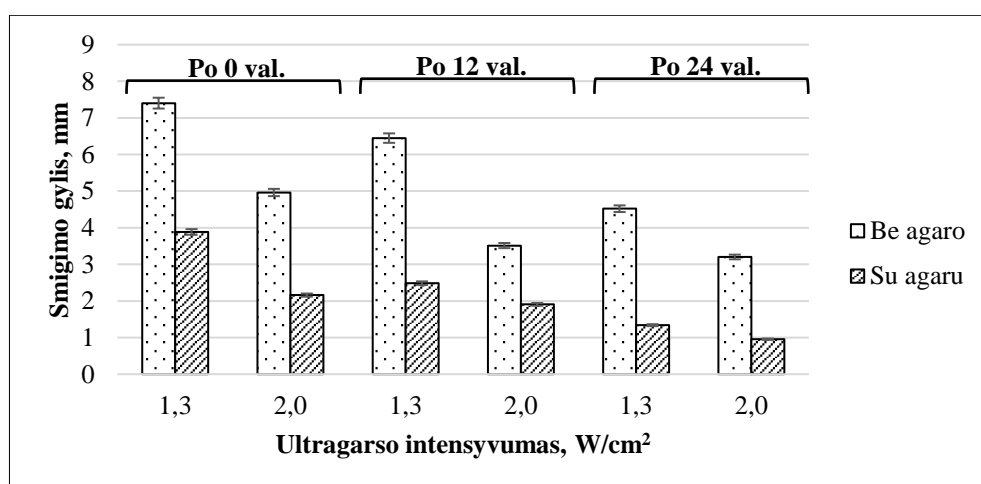
Pradinis žaliavos (LSI) apdorojimas ultragarsu padidino hidratuotų gelių klampą. Apdorotų ultragarsu (850 kHz, 2,0 W/cm², 25 °C, 30 min.) LSI mėginių klampa, palyginus su neapdorotomis LSI (kontrolė), padidėjo vidutiniškai 17,78 %.

Eksperimento metu nustatyti reikšmingi klamos pokyčiai tarp tiriamųjų mėginių, veiktų skirtingo intensyvumo ultragarsu (1,3 W/cm² ir 2,0 W/cm²). Klampa tiriamuosiuose mėginiuose, padidinus ultragarsinio apdorojimo intensyvumą nuo 1,3 W/cm² iki 2,0 W/cm², padidėjo vidutiniškai 11,01 %.

Šios tendencijos buvo stebėtos viso gelių aušinimo proceso metu (24 val. laikotarpyje). Optimali gelių aušinimo trukmė, apdorojus juos 2,0 W/cm² ultragarsu, nustatyta po 12 val., kadangi praėjus 24 val. reikšmingų klamos pokyčių nenustatyta. Tai leidžia sutrumpinti visą technologinį procesą 2 kartus.

Taigi, keičiant LSI:JSI kiekius ir pradiniam etape apdorojant žaliavą (LSI) ultragarsu (priklausomai nuo intensyvumo) galima efektyviai padidinti hidratuotų gelių klampą. Nustatytos optimalios hidratuotų gelių ruošimo sąlygos: pradinis ultragarsinis žaliavos (LSI) apdorojimas – 850 kHz, 2,0 W/cm², 25 °C, 30 min.; LSI:JSI (%) kiekis – 40:60; ultragarsinis apdorojimas gelių gamybos metu – 850 kHz, 2,0 W/cm², 25 °C, 30 min.; gelių aušinimo trukmė – 12 val.

Tolimesniame tyrimo etape nustatytomis optimaliomis sąlygomis ruošų gelių receptūra stabilizuota 20 % agaru sirupu, siekiant pagerinti hidratuotų gelių tekstūrą ir padidinti jų klampą. Gelių, papildytų agaru sirupu, klamos rezultatai (tais pačiais laiko tarpniais) pateikti **20 pav.**



19 pav. Gelių receptūros papildymo agaru sirupu įtaka hidratuotų gelių klampai skirtingais laiko tarpniais (po 0, 12 ir 24 val.), keičiant ultragarsinio apdorojimo intensyvumą (1,3 W/cm² ir 2,0 W/cm²) gelių gamybos metu

Hidratuotų gelių papildymas agaru sirupu padidino gelių klampą, lyginant su tiriamaisiais mėginiais be agaru priedo, vidutiniškai 57,63 %.

Reikšmingos įtakos gelių klampai turėjo jų gamybos metu taikyto apdorojimo ultragarsu intensyvumas. Klampa tiriamuosiuose mėginiuose, padidinus ultragarsinio apdorojimo intensyvumą nuo 1,3 W/cm² iki 2,0 W/cm², padidėjo vidutiniškai 35,96 %.

Tokios tendencijos buvo stebėtos viso gelių aušinimo 4 °C temperatūroje proceso metu 24 val. laikotarpyje. Gelių be agaru klampa per 24 val. vidutiniškai padidėjo 37,56 %, tuo tarpu gelių, stabilizuotų agaru sirupu – vidutiniškai padidėjo 62,02 %. Nustatyta optimali gelių aušinimo trukmė, priklausomai nuo ultragarso intensyvumo. Apdorojus mėginius 1,3 W/cm² ultragarsu, optimali

aušinimo trukmė siekia 24 val., tuo tarpu mėginių apdorojimas $2,0 \text{ W/cm}^2$ ultragarsu leidžia sutrumpinti visą technologinį gelių gamybos procesą ~ 2 kartus.

Tyrimo metu nustatytos optimalios sąlygos hidratuotiems geliams ruošti:

- pradinis žaliavos (LSI) ultragarsinis apdorojimas – 850 kHz , $2,0 \text{ W/cm}^2$, $25 \text{ }^\circ\text{C}$, 30 min., siekiant padidinti tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekį hidratuotuose geliuose;
- LSI:JSI (%) kiekis – 40:60;
- ultragarsinis apdorojimas gelių gamybos metu – 850 kHz , $2,0 \text{ W/cm}^2$, $25 \text{ }^\circ\text{C}$, 30 min.;
- gelių aušinimo trukmė – 12 val.;
- gelių papildymas agaru sirupu.

IŠVADOS

1. Linų sėmenų išspaudų sausasis frakcionavimo būdas pagal geometrinius požymius leidžia išgauti skaidulinėmis medžiagomis praturtintus produktus: bendras skaidulinių medžiagų kiekis frakcijoje, kurioje vyrauja dalelių dydis $> 1,000$ mm, nustatytas vidutiniškai 26,29 % didesnis nei smulkiausioje frakcijoje su mažiausiu skaidulinių medžiagų kiekiu. Stambiausių dalelių frakcijoje taip pat nustatytas didžiausias tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis – 9,85 %.
2. Linų sėmenų išspaudų skaidulinių medžiagų kiekis turėjo įtakos vandens absorbcijai. Didėjant skaidulinių medžiagų kiekiui frakcijose, didėjo ir vandens absorbcija, pasiekiant didžiausią šio parametro vertę 3,70 %.
3. Ultragarsinis apdorojimas (850 kHz; 0,9 W/cm², 1,3 W/cm², 2,0 W/cm²) turėjo reikšmingos įtakos linų sėmenų išspaudų skaidulinėms medžiagoms:
 - 3.1. Tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų santykis kito nuo 7:13 (kontrolėje) iki 13:7 (vidutiniškai, tiriamuosiuose mėginiuose), sąlygojant tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekio, lyginant su kontrole, padidėjimą vidutiniškai 8,40 %.
 - 3.2. Didinant ultragarsinio apdorojimo intensyvumą, tirpiųjų skaidulinių medžiagų kiekis didėjo ir maksimalios šio parametro vertės fiksuotos, naudojant 0,9 W/cm² ir 1,3 W/cm² intensyvumą.
 - 3.3. Keičiant terpės pH linų sėmenų išspaudų ultragarsinio apdorojimo metu, buvo stebimi reikšmingi tirpiųjų ir netirpiųjų skaidulinių medžiagų santykio pokyčiai ir didžiausias tirpiųjų skaidulinių medžiagų susidarymas esant pH 7.
4. Gleivinių medžiagų ekstrakcijos iš linų sėmenų išspaudų metu fiksuoti kokybiniai sacharidų pokyčiai: sacharozės kiekis ekstrakcijos metu mažėjo, kai gliukozės bei fruktozės koncentracijos didėjo. Skirtingai, reikšmingos ultragarsinio poveikio (850 kHz, 2,0 W/cm²) įtakos gleivinių medžiagų ekstrakcijos efektyvumui, vertintam pagal susidariusių sacharidų kiekį, nenustatyta.
5. Linų sėmenų frakcijose su didesniu skaidulinių medžiagų kiekiu fiksuota 11,66 % didesnė mikrobinė tarša nei smulkesnėse frakcijose su mažesniu skaidulinių medžiagų kiekiu. Taikant ultragarsinį linų sėmenų išspaudų apdorojimą (37 kHz, 160 W) laike 15 min. žemose temperatūrose (30–50 °C), bendras mikroorganizmų skaičius sumažėjo 14,73 %.
6. PRB KF metu nustatyta, kad linų sėmenų išspaudų skaidulinės medžiagos yra tinkamesnė terpė *L. plantarum* dauginimuisi nei *L. brevis*. Ultragarsinis linų sėmenų išspaudų apdorojimas (850 kHz; 0,9 W/cm², 1,3 W/cm², 2,0 W/cm²) prieš KF turėjo reikšmingos įtakos PRB dauginimuisi bei pieno rūgšties D(–) ir L(+) izomerų susidarymui.
7. Linų sėmenų skaidulinės medžiagos išbandytos gelių gamyboje, taikant ultragarsą (850 kHz; 0,9 W/cm², 1,3 W/cm², 2,0 W/cm²) tiek augalinės žaliavos apdorojimui, tiek ir gelių gamybos procese:
 - 7.1. Ultragarsinis vandeninių suspensijų apdorojimas padidino gelių klampą vidutiniškai 33,18 % (po 24 val. aušinimo) ir didžiausias poveikis fiksuotas, naudojant jų ruošimui didžiausią intensyvumą (2,0 W/cm²).
 - 7.2. Geriausia gelių kokybė gauta, naudojant jų ruošimui 40 % linų sėmenų išspaudų ir 60 % juodųjų serbentų išspaudų. Ultragarsinis apdorojimas labiau didino linų sėmenų išspaudų skaidulinių medžiagų klampą nei jų mišinių su juodųjų serbentų išspaudomis. Papildžius gelių sudėtį 20 % agaro sirupu, gelių klampa padidėjo vidutiniškai 62,78 %.
 - 7.3. Ultragarsinis apdorojimas sudaro galimybę intensyvinti gelių susidarymo procesą ir padidinti šios rūšies gamybos proceso efektyvumą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. KAJLA, Priyanka; SHARMA, Alka; SOOD, Dev Raj. Effect of germination on proximate principles, minerals and anti nutrients of flaxseeds. *Asian Journal of Dairy & Food Research*, 2017, 36.1.
2. RABETAFIKA, Holy Nadia, et al. Flaxseed proteins: food uses and health benefits. *International journal of food science & technology*, 2011, 46.2: 221-228.
3. ADOLPHE, Jennifer L., et al. Health effects with consumption of the flax lignan secoisolariciresinol diglucoside. *British Journal of Nutrition*, 2010, 103.7: 929-938.
4. CÁRCEL, J. A., et al. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *Journal of Food Engineering*, 2012, 110.2: 200-207.
5. SINGH, K. K., et al. Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2011, 51.3: 210-222.
6. RUBILAR, M., et al. Flaxseed as a source of functional ingredients. *Journal of soil science and plant nutrition*, 2010, 10.3: 373-377.
7. Morris D. H. 2007. Flax: A health and nutrition primer. 4th edn [interaktyvus]. Flax Council of Canada, 2007 [žiūrėta 2019-03-04]. Prieiga per: www.flaxcouncil.ca.
8. EYRES, Laurence, et al. Flaxseed fiber-a functional superfood?. *Food New Zealand*, 2015, 15.5: 24.
9. GOYAL, Ankit, et al. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of food science and technology*, 2014, 51.9: 1633-1653.
10. KAUR, Parvinder, et al. Recent advances in utilization of flaxseed as potential source for value addition. *OCL*, 2018.
11. SHIM, Youn Young, et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2014, 38.1: 5-20.
12. POPA, Viorica-Mirela, et al. Fatty acids composition and oil characteristics of linseed (*Linum Usitatissimum* L.) from Romania. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2012, 18.2: 136-140.
13. GUTIÉRREZ, C., et al. Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry. *Journal of soil science and plant nutrition*, 2010, 10.4: 454-463.
14. MORRIS, Diane H. *Flax: A health and nutrition primer*. Flax Council of Canada, 2007.
15. CARLSSON, Lena; RONQUIST, Gunnar; ROSLING, Hans. Analysis of the cyanogenic glycoside linamarin in urine by isotachopheresis. *Journal of analytical toxicology*, 1994, 18.2: 91-94.
16. CĂPRIȚĂ, Adrian, et al. Dietary fiber: chemical and functional properties. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2010, 16.4: 406-410.
17. CUMMINGS, John H.; ENGLYST, Hans N. Fermentation in the human large intestine and the available substrates. *The American journal of clinical nutrition*, 1987, 45.5: 1243-1255.
18. KAY, R. M. Dietary fiber. *Journal of lipid research*, 1982, 23.2: 221-242.
19. PROSKY, Leon. When is dietary fiber considered a functional food?. *Biofactors*, 2000, 12.1-4: 289-297.
20. CUI, Steve W. Polysaccharide gums from agricultural products: Processing, structures and functionality. CRC Press, 2000.

21. MCKEE, L. H.; LATNER, T. A. Underutilized sources of dietary fiber: A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2000, 55.4: 285-304.
22. CUI, W., et al. Optimization of an aqueous extraction process for flaxseed gum by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 1994, 27.4: 363-369.
23. PAYNEL, Florence, et al. Polysaccharide hydrolases are released with mucilages after water hydration of flax seeds. *Plant physiology and biochemistry*, 2013, 62: 54-62.
24. DZUVOR, Christian, et al. Bioprocessing of Functional Ingredients from Flaxseed. *Molecules*, 2018, 23.10: 2444.
25. EASTWOOD, Martin A.; MORRIS, Edwin R. Physical properties of dietary fiber that influence physiological function: a model for polymers along the gastrointestinal tract. *The American journal of clinical nutrition*, 1992, 55.2: 436-442.
26. MUELLER, Klaus, et al. Functional properties and chemical composition of fractionated brown and yellow linseed meal (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*, 2010, 98.4: 453-460.
27. TURABI, Elif; SUMNU, Gulum; SAHIN, Serpil. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food hydrocolloids*, 2008, 22.2: 305-312.
28. ASPINALL, Gerald O. Carbohydrate polymers of plant cell walls. In: *Biogenesis of plant cell wall polysaccharides*. Academic Press New York, 1973. p. 95-115.
29. ROBERTSON, J. A.; EASTWOOD, M. A. An examination of factors which may affect the water holding capacity of dietary fiber. *British Journal of Nutrition*, 1981, 45.1: 83-88.
30. SCANLON, M. G.; ZGHAL, M. C. Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 2001, 34.10: 841-864.
31. STORY, Jon A.; KRITCHEVSKY, David. Comparison of the binding of various bile acids and bile salts in vitro by several types of fiber. *The Journal of nutrition*, 1976, 106.9: 1292-1294.
32. EASTWOOD, M.; MOWBRAY, L. The binding of the components of mixed micelle to dietary fiber. *The American journal of clinical nutrition*, 1976, 29.12: 1461-1467.
33. KAY, Ruth M., et al. *Differential adsorption of bile acids by lignins*. Academic Press: New York, 1979.
34. GRANT, Gregor T., et al. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. *FEBS letters*, 1973, 32.1: 195-198.
35. MCCONNELL, A. A.; EASTWOOD, M. A.; MITCHELL, W. D. Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1974, 25.12: 1457-1464.
36. JAMES, W. P. T.; BRANCH, W. J.; SOUTHGATE, D. A. T. Calcium binding by dietary fiber. *The Lancet*, 1978, 311.8065: 638-639.
37. RATTANACHAIKUNSOPON, P., et al. Lactic acid bacteria: their antimicrobial compounds and their uses in food production. *Ann Biol Res*, 2010, 1.4: 218-228.
38. HAYDERSAH, Julien, et al. Fermentation by amylolytic lactic acid bacteria and consequences for starch digestibility of plantain, breadfruit, and sweet potato flours. *Journal of food science*, 2012, 77.8: M466-M472.

39. JANSSENS, M., et al. The use of nucleosides and arginine as alternative energy sources by coagulase-negative staphylococci in view of meat fermentation. *Food microbiology*, 2014, 39: 53-60.
40. PITT, John I., et al. *Fungi and food spoilage*. New York: Springer, 2009.
41. OLIVEIRA, Pedro M.; ZANNINI, Emanuele; ARENDT, Elke K. Cereal fungal infection, mycotoxins, and lactic acid bacteria mediated bioprotection: from crop farming to cereal products. *Food microbiology*, 2014, 37: 78-95.
42. PAWLOWSKA, Agata M., et al. "Green preservatives": combating fungi in the food and feed industry by applying antifungal lactic acid bacteria. In: *Advances in food and nutrition research*. Academic Press, 2012. p. 217-238.
43. CROWLEY, Sarah; MAHONY, Jennifer; VAN SINDEREN, Douwe. Current perspectives on antifungal lactic acid bacteria as natural bio-preservatives. *Trends in food science & technology*, 2013, 33.2: 93-109.
44. DALIÉ, D. K. D.; DESCHAMPS, A. M.; RICHARD-FORGET, F. Lactic acid bacteria–Potential for control of mould growth and mycotoxins: A review. *Food control*, 2010, 21.4: 370-380.
45. LAVERMICOCCA, Paola, et al. Purification and characterization of novel antifungal compounds from the sourdough *Lactobacillus plantarum* strain 21B. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2000, 66.9: 4084-4090.
46. RIZZELLO, Valeria, et al. Role of natural killer and dendritic cell crosstalk in immunomodulation by commensal bacteria probiotics. *BioMed Research International*, 2011.
47. STRÖM, Katrin, et al. *Lactobacillus plantarum* MiLAB 393 produces the antifungal cyclic dipeptides cyclo (L-Phe-L-Pro) and cyclo (L-Phe-trans-4-OH-L-Pro) and 3-phenyllactic acid. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2002, 68.9: 4322-4327.
48. CHEONG, Elsie YL, et al. Isolation of lactic acid bacteria with antifungal activity against the common cheese spoilage mould *Penicillium commune* and their potential as biopreservatives in cheese. *Food Control*, 2014, 46: 91-97.
49. CROWLEY, S.; MAHONY, J.; VAN SINDEREN, D. Comparative analysis of two antifungal *Lactobacillus plantarum* isolates and their application as bioprotectants in refrigerated foods. *Journal of Applied Microbiology*, 2012, 113.6: 1417-1427.
50. MAGNUSSON, Jesper. Antifungal activity of lactic acid bacteria. 2003.
51. AXEL, Claudia, et al. Application of *Lactobacillus amylovorus* DSM19280 in gluten-free sourdough bread to improve the microbial shelf life. *Food Microbiology*, 2015, 47: 36-44.
52. DAL BELLO, F., et al. Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7. *Journal of Cereal Science*, 2007, 45.3: 309-318.
53. OLIVEIRA, Pedro, et al. Lactic acid bacteria bioprotection applied to the malting process. Part II: Substrate impact and mycotoxin reduction. *Food Control*, 2015, 51: 444-452.
54. VOULGARI, K., et al. Antifungal activity of non-starter lactic acid bacteria isolates from dairy products. *Food Control*, 2010, 21.2: 136-142.
55. MASON, Timothy J., et al. Ultrasonic food processing. In: *Alternatives to Conventional Food Processing*. Royal Society of Chemistry, 2010. p. 387-414.
56. HUANG, Guoping, et al. Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. *Ultrasonics sonochemistry*, 2017, 37: 144-149.

57. PINGRET, Daniella; FABIANO-TIXIER, Anne-Sylvie; CHEMAT, Farid. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food control*, 2013, 31.2: 593-606.
58. CHEMAT, Farid, et al. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics sonochemistry*, 2011, 18.4: 813-835.
59. TIWARI, B. K.; MASON, T. J. Ultrasound processing of fluid foods. In: *Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods*. Academic Press, 2012. p. 135-165.
60. MASON, Timothy J., et al. Application of ultrasound. In: *Emerging technologies for food processing*. Academic Press, 2005. p. 323-351.
61. PIYASENA, P.; MOHAREB, Eugene; MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International journal of food microbiology*, 2003, 87.3: 207-216.
62. YAMAMOTO, Ken, et al. Effect of ultrasonic frequency and power on the disruption of algal cells. *Ultrasonics sonochemistry*, 2015, 24: 165-171.
63. WU, Tao, et al. Ultrasonic disruption of yeast cells: underlying mechanism and effects of processing parameters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2015, 28: 59-65.
64. CICCOLINI, L., et al. Low frequency thermo-ultrasonication of *Saccharomyces cerevisiae* suspensions: effect of temperature and of ultrasonic power. *Chemical Engineering Journal*, 1997, 65.2: 145-149.
65. GUERRERO, S.; LÓPEZ-MALO, A.; ALZAMORA, S. M. Effect of ultrasound on the survival of *Saccharomyces cerevisiae*: influence of temperature, pH and amplitude. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2001, 2.1: 31-39.
66. MARX, Gretchen; MOODY, Abigail; BERMÚDEZ-AGUIRRE, Daniela. A comparative study on the structure of *Saccharomyces cerevisiae* under nonthermal technologies: high hydrostatic pressure, pulsed electric fields and thermo-sonication. *International Journal of Food Microbiology*, 2011, 151.3: 327-337.
67. SALLEH-MACK, S. Z.; ROBERTS, J. S. Ultrasound pasteurization: the effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922. *Ultrasonics sonochemistry*, 2007, 14.3: 323-329.
68. GAO, Shengpu, et al. Inactivation of microorganisms by low-frequency high-power ultrasound: 1. Effect of growth phase and capsule properties of the bacteria. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2014, 21.1: 446-453.
69. SHAKEEL, Azam, et al. Optimization of colour and cloud stability of carrot juice by using hydrocolloids and antioxidant. *J Glob Innov Agric Soc Sci*, 2015, 3: 84-89.
70. CHAVAN, Rupesh, et al. Applications of nonthermal processing in the dairy industry. In: *Technological Interventions in Dairy Science*. Apple Academic Press, 2018. p. 3-29.
71. JHALA, Amit J., et al. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. *Aust. J. Basic Appl. Sci*, 2010, 4.9: 4304-4312.
72. KAJLA, Priyanka; SHARMA, Alka; SOOD, Dev Raj. Flaxseed—a potential functional food source. *Journal of food science and technology*, 2015, 52.4: 1857-1871.
73. STEWART, S.; Mazza, G. Effect of flaxseed gum on quality and stability of a model salad dressing. *Journal of food quality*, 2000, 23.4: 373-390.
74. LIPILINA, Elina; GANJI, Vijay. Incorporation of ground flaxseed into bakery products and its effect on sensory and nutritional characteristics—a pilot study. *Journal of Foodservice*, 2009, 20.1: 52-59.

75. KISHK, Yasser FM; ELSHESHETAWY, Hemat E.; MAHMOUD, Eman AM. Influence of isolated flaxseed mucilage as a non-starch polysaccharide on noodle quality. *International journal of food science & technology*, 2011, 46.3: 661-668.
76. SINGER, F. A. W., et al. Preparation of mucilage/protein products from flaxseed. *Am J Food Technol*, 2011, 6.4: 260-278.
77. PERRETTI, Giuseppe, et al. Supercritical antisolvent fractionation of lignans from the ethanol extract of flaxseed. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2013, 75: 94-100.
78. KRISTENSEN, Mette, et al. Flaxseed dietary fibers lower cholesterol and increase fecal fat excretion, but magnitude of effect depend on food type. *Nutrition & metabolism*, 2012, 9.1: 8.
79. GANORKAR, P. M.; JAIN, R. K. Flaxseed--a nutritional punch. *International Food Research Journal*, 2013, 20.2.
80. KHAN, Azhar; SAINI, C. S. Effect of roasting on physicochemical and functional properties of flaxseed flour. *Cogent Engineering*, 2016, 3.1: 1145566.
81. ALIX, S., et al. Biocomposite materials from flax plants: preparation and properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2008, 39.12: 1793-1801.
82. SAWITZKI, Maristela Cortez, et al. Lactobacillus plantarum strains isolated from naturally fermented sausages and their technological properties for application as starter cultures. *Food Science and Technology*, 2009, 29.2: 340-345.