



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

**Avižų cheminės sudėties ir funkcinių savybių pokyčiai
ekstruzijos ir laikymo metu**

Baigiamasis magistro projektas

Giedrė Žilinskaitė

Projekto autorė

doc. dr. Loreta Bašinskienė

Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

**Avižų cheminės sudėties ir funkcinių savybių pokyčiai
ekstruzijos ir laikymo metu**

Baigiamasis magistro projektas

Maisto mokslas ir sauga (kodas 6211FX011)

Giedrė Žilinskaitė

Projekto autorė

doc. dr. Loreta Bašinskienė

Vadovė

v. m. d. dr. Daiva Žadeikė

Recenzentė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Giedrė Žilinskaitė

Avižų cheminės sudėties ir funkcinių savybių pokyčiai ekstruzijos ir laikymo metu

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Giedrės Žilinskaitės, baigiamasis projektas tema „Avižų cheminės sudėties ir funkcinių savybių pokyčiai ekstruzijos ir laikymo metu“ 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)

Žilinskaitė, Giedrė. Avižų cheminės sudėties ir funkcinių savybių pokyčiai ekstruzijos ir laikymo metu. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Loreta Bašinskienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: *avižos, avižų ekstrudatai, lipidų oksidacija, pokyčiai laikymo metu.*

Kaunas, 2020. 69 p.

SANTRAUKA

Avižos vertinamos dėl didelio baltymų ir skaidulinių medžiagų, ypač β -gliukanų, kiekio, tačiau jų naudojimas maisto produktuose vis dar ribotas dėl juose esančių nemažo riebalų kiekio. Avižose yra lipolitinių ir oksidacinių fermentų, kurie sukelia hidrolizės ir oksidacijos reakcijas, kai grūdo struktūra pažeista, kas turi neigiamą įtaką produktų skoninėms savybėms ir priimtinumui vartotojams. Ekstruzija inaktyvuoja lipolitinius fermentus, tačiau ji gali inicijuoti nefermentinę lipidų oksidaciją. Šio darbo tikslas buvo įvertinti avižų cheminės sudėties ir funkcinių savybių pokyčius ekstruzijos ir laikymo metu.

Darbe tirti skirtingos kokybės visų grūdo dalių avižiniai miltai ir iš jų gamybinėmis sąlygomis pagaminti ekstrudatai, laikant juos aukšto tankio polietileninėje (HDPE) pakuotėje kambario temperatūroje metų laikotarpyje. Cheminės sudėties pokyčių analizei nustatyti tokie rodikliai kaip drėgmės kiekis, bendras ir tirpių baltymų kiekis, krakmolo kleisterizacijos parametrai, riebalų kiekis ir jų riebalų rūgščių sudėtis, riebalų rūgštingumas. Funkcinės savybės vertintos pagal vandens įgėrimo indeksą ir tirpumą vandenyje. Riebalų oksidacinis stabilumas vertintas pagal peroksidų skaičiaus, p-anizidino skaičiaus, ultravioletinės spinduliuotės sugerties faktoriaus (dienų ir trienių kiekius), TBR rodiklio pokyčius laikymo metu ir oksidacijos kinetikos kreives bei indukcinį periodą.

Tyrimai parodė, kad tiek perdirbamų avižų kokybė, tiek ekstruzijos technologiniai parametrai ir laikymo trukmė turėjo įtakos avižų cheminės sudėties ir funkcinių savybių pokyčiams. Ekstruzija turėjo didesnę įtaką ekstrudatų funkcinėms savybėms nei žaliavos savybėms. Tirpių baltymų, riebalų kiekis ir jų oksidacinis stabilumas, krakmolo kleisterizacijos parametrai daugiau priklausė nuo grūdinės žaliavos ypatumų. Ekstruzija nepakeitė riebalų rūgščių sudėties, bet lėtino riebalų oksidacijos produktų susidarymą ekstrudatų laikymo metu ir tokiu būdu turėjo teigiamą įtaką avižų riebalų oksidaciniam stabilumui.

Žilinskaitė, Giedrė. Changes in Chemical Composition and Functional Properties of Oats During Extrusion and Storage. Master's thesis in Food Science and Safety / supervisor assoc. doc. dr. Loreta Bašinskienė. Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area: Technological Sciences, Food Technologies

Keywords: *oats, oats extrudates, lipid oxidation, change in storage.*

Kaunas, 2020. 69 p.

SUMMARY

Oats are valued for their high content of protein and fiber, especially β -glucans, but their use in foods is still limited due to their high fat content. Oats contain lipolytic and oxidative enzymes that cause hydrolysis and oxidation reactions when the grain structure is damaged, which has a negative impact on the taste and acceptability of the products to consumers. Extrusion inactivates lipolytic enzymes, but it can initiate non-enzymatic lipid oxidation.

The purpose of this work was to assess changes in the chemical composition and functional properties of oats during extrusion and storage.

The work examines oatmeal of different quality and extruded extrudates made from all grain parts under production conditions, keeping them in high density polyethylene (HDPE) packaging at room temperature for years. For the analysis of changes in chemical composition, indicators such as moisture content, total and soluble protein content, starch kleisterization parameters, fat content and their fatty acid composition, fatty acidity have been determined. Functional properties have been assessed on the basis of the water absorption index and water solubility. The oxidative stability of fats has been evaluated on the basis of changes in peroxide numbers, p-anisidine numbers, ultraviolet absorption factor (dienes and trienes amount), TBR indicator changes during storage and oxidation kinetic curves and induction period.

The studies showed that both the quality of processed oats and the technological parameters of extrusion and storage influenced changes in the chemical composition and functional properties of oats. Extrusion had a bigger influence on the functional properties of the extrudates than on the properties of the raw material. The parameters of soluble proteins, fat and their oxidation stability, starch kleisterization depended on the characteristics of the cereal. Extrusion did not change the composition of fatty acids, but slowed of formation of fat oxidation products during storage of the extrudates and thus had a positive effect on the oxidative stability of oat fat.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	9
ĮVADAS	11
1.LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1. Avižų klasifikacija ir morfologija	13
1.2. Avižų cheminė sudėtis	14
1.3. Avižų perdirbimas	15
1.3.1. Avižų smulkinimas.....	16
1.3.2. Ekstruzija.....	16
1.4. Ekstruzijos metu vykstantys cheminiai ir fizikiniai pokyčiai	18
1.5. Lipidų oksidacija	20
1.5.1. Lipidų oksidacijos tyrimo metodai.....	22
1.5.2. Pirminių ir antrinių oksidacijos produktų nustatymas.....	22
1.5.2.1. Peroksidų skaičius	22
1.5.2.2. Konjuguoti dienai ir trienai	23
1.5.2.3. Tiobarbitūrinės rūgšties (TBR) rodiklis	24
1.5.2.4. p-anizidino (p-an)skaičius	25
2. MEDŽIAGOS IR TYRIMŲ METODAI	27
2.1. Eksperimentams naudoti reagentai.....	27
2.2. Eksperimentinio plano sudarymas.....	27
2.3. Tyrimo objektai	28
2.4. Tyrimo metodai	29
2.4.1. Vandens įgėrimo indekso ir tirpumo vandenyje nustatymas	29
2.4.2. Bendras ir tirpių baltymų kiekio nustatymas.....	29
2.4.3. Krakmolo kleisterizacijos nustatymas.....	30
2.4.4. Drėgmės kiekio nustatymas	31
2.4.5. Riebalų rūgštingumo nustatymas	31
2.4.6. Riebalų rūgščių sudėties nustatymas dujų chromatografijos metodu	32
2.4.7. Riebalų oksidacinio stabilumo tyrimo metodai.....	32
2.4.7.1. Riebalų ekstrakcija	32
2.4.7.2. Peroksidų skaičiaus (PS) nustatymas jodometriniu metodu	33

2.4.7.3. Bendrojo aldehidų kiekio nustatymas riebaluose (p-anizidino skaičius).....	33
2.4.7.4. Ultravioletinės absorbcijos nustatymas	34
2.4.7.5. Instrumentinis <i>Oksipreso</i> metodas	34
2.4.7.6. TBR rodiklio nustatymas	35
2.5. Matematinė statistinė duomenų analizė	36
3. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS	37
3.1. Avižinių miltų ir jų ekstraktų cheminės sudėties komponentų: drėgmės, baltymų ir krakmolo pokyčiai laikymo metu	37
3.1.1. Drėgmės kiekis	37
3.1.2. Bendras ir tirpių baltymų kiekis	38
3.1.3. Visų grūdo dalių avižinių miltų krakmolo kleisterizacijos rodikliai	39
3.2. Avižų riebalų ypatumai	41
3.2.1. Riebalų kiekis	41
3.2.2. Riebalų rūgščių sudėtis.....	42
3.2.3. Riebalų rūgštingumas laikymo metu.....	42
3.3. Avižinių miltų ir ekstraktų funkcinės savybės	44
3.4. Ekstruzijos ir laikymo įtaka avižų riebalų oksidaciniam stabilumui.....	46
3.4.1. Peroksidų skaičius	46
3.4.2. Bendras aldehidų kiekis (p-anizidino skaičius).....	47
3.4.5. Ultravioletinės spinduliuotės sugerties faktorius	49
3.4.3. TBR rodiklis	52
3.4.6. Miltų ir ekstraktų oksidacinis stabilumas <i>Oksipreso</i> metodu.....	53
IŠVADOS	56
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	58
PADĖKA.....	69

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Vitaminų kiekis 100 g avižų	15
2 lentelė. Mineralinių medžiagų kiekis 100g avižų	15
3 lentelė. Viso grūdo avižinių miltų ir iš jų pagaminti ekstrudatų kodai, partijos numeris ir tinkamumo vartoti terminas	28
4 lentelė. Ekstrudatų maistinė vertė	29
5 lentelė. Visų grūdo dalių avižinių miltų bendras ir tirpių baltymų kiekis	38
6 lentelė. Visų grūdo dalių avižinių miltų krakmolo kleisterizacijos rodikliai.....	39
7 lentelė. Laikymo metu iš avižinių miltų ir jų ekstrudatų išskirti riebalų kiekiai ir jų išeigos.....	41
8 lentelė. Visų grūdo dalių avižinių miltų ir jų ekstrudatų RR sudėtis	42
9 lentelė. Visų grūdo dalių avižinių miltų VII ir TV tyrimo rezultatai.....	44
10 lentelė. Avižinių ekstrudatų VII ir TV tyrimo rezultatai	44
11 lentelė. Mėginių indukcinis periodas	55

Paveikslų sąrašas

1 pav. Avižų grūdų malimo proceso schema	16
2 pav. Ekstruderio perdirbimo zonos	18
3 pav. Autooksidacijos mechanizmas	21
4 pav. Jodometrinio metodo reakcijos lygtis	23
5 pav. Dienų, trienų susidarymo lygtys	24
6 pav. TBR reakcijos lygtis.....	24
7 pav. p-anizidino reakcija su malondialdehidu	26
8 pav. 1 krypties eksperimentinio plano schema	28
9 pav. 2 krypties eksperimentinio plano schema	28
10 pav. Oxipreso prietaisu užrašyta oksidacijos kinetikos kreivė ir indukcinio periodo nustatymo kreivė.....	35
11 pav. TBR rodiklinio nustatymo schema	35
12 pav. Visų grūdo dalių avižinių miltų (A) ir jų ekstrdatų (B) drėgmės kiekio pokyčiai laikymo metu.....	37
13 pav. Visų grūdo dalių avižinių miltų amilogramos.....	40
14 pav. Riebalų rūgštingumo pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstrdatuose.....	43
15 pav. Peroksidų skaičiaus pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstrdatuose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$).....	46
16 pav. Bendro aldehydų kiekio pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstrdatuose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$).....	48
17 pav. Konjuguotų dienų pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstrdatuose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$).....	50

18 pav. Konjuguotų trienų pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstruduose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$).....	51
19 pav. TBR rodiklio pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B - avižiniuose ekstruduose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$).....	52
19 pav. tęsinys	54
20 pav. Miltų oksidacinio stabilumo kinetikos kreivės <i>Oksipreso</i> metodu	54
21 pav. Ekstruotų gaminių oksidacinio stabilumo kinetikos kreivės <i>Oksipreso</i> metodu	54

IVADAS

Visų grūdo dalių grūdų produktai turi daug skaidulinių medžiagų, todėl yra naudingi sveikatai, nes mityba, turinti daug šių biologiškai vertingų medžiagų, sumažina riziką susirgti tokiomis ligomis, kaip diabetas, širdies ir kraujagyslių ligos, kolorektalinis vėžys ir nutukimas. Pastaraisiais metais vartotojų tyrimai parodė, kad vartotojai vis daugiau suvokia maistinių skaidulų naudą sveikatai. Skaidulinių medžiagų turintys grūdų maisto produktai, kuriuose yra didesni riebalų ir polinesočiųjų riebalų rūgščių, linkę greičiau oksiduotis, o tai mažina jų tinkamumo vartoti terminą. Lipidų oksidacija yra pagrindinė cheminė reakcija, dėl kurios genda maisto produktai, kurių sudėtyje yra polinesočiųjų riebalų rūgščių. Oksidacija gali sumažinti maisto kokybę ir sukelti nepageidaujamų skonio pojūčių formavimąsi, taip pat junginių, galinčių turėti neigiamą poveikį sveikatai, tokių kaip aldehidai, alkoholiai ir ketonai, susidarymą.

Avižos (*Avena sativa*) yra šeštoji pagal kiekį pasaulyje auginama javų kultūra, bet tik maža dalis avižų produktų naudojama maisto produktų gamybai. Dėl didelio baltymų kiekio, kuris sudaro 15-20 % sausųjų medžiagų, avižiniai produktai vartojami kaip ingredientai kepiniuose ar košėse. Be to, žmonės kurie kenčia nuo celiakijos, gali toleruoti avižų baltymus, nes juose nėra gliutimo baltymų. Šiuo metu avižų naudojimas maisto produktų gamybai didėja dėl didelio kiekio skaidulinių medžiagų (6-9 %) ir ypač dėl tirpių skaidulinių medžiagų, t. y. β -gliukanų. Avižų β -gliukanai padeda sumažinti cholesterolio kiekį, stabilizuoja gliukozės ir insulino kiekį kraujyje. Jie ne tik sumažina bendrą cholesterolio kiekį kraujyje, bet ir sumažina mažo tankio (blogojo cholesterolio) bei padidina didelio tankio lipoproteinų (gerojo cholesterolio) kiekį.

Nors avižose yra daugiau vertingų medžiagų (baltymų, skaidulų) nei kviečiuose ar kukurūzuose, avižų naudojimas maisto produktuose vis dar ribotas dėl didelio juose esančių riebalų kiekio (3-11 %). Avižose yra lipolitinių ir oksidacinių fermentų, kurie sukelia hidrolizės ir oksidacijos reakcijas, kai grūdo struktūra pažeista. Didelis riebalų kiekis avižose ir jų oksidacija perdirbimo ir laikymo metu gali sumažinti avižų produktų tinkamumo vartoti trukmę. Ekstruzija inaktyvuoja lipolitinius fermentus, tačiau ji inicijuoja nefermentinę lipidų oksidaciją.

Avižos yra sunkiau ekstruduojamos, lyginant su kitais grūdais, pvz., kukurūzais ir kviečiais. Dėl didelio riebalų ir skaidulinių medžiagų kiekio bei santykinai mažo krakmolo kiekio ekstruduojamos avižos prastai išsipučia ir ekstrudatai būna mažiau traškūs. Grūdų produktai, turtingi skaidulinėmis medžiagomis, išsiskiria maža dujų talpa ekstruzijos metu, todėl yra sunku pagaminti išpūstus gaminius, ekstruduotiems gaminiams būdinga mažai akyta tekstūra, todėl yra nepriimtini

virtotojams. Dažnai ekstruduoiant avižų produktai maišomi su kitų rūšių grūdų produktais ir krakmolu, kad gauti pūstus užkandžius su pageidaujamomis struktūrinėmis ir juslinėmis savybėmis.

Darbo tikslas – nustatyti avižų cheminės sudėties ir funkcinių savybių pokyčius ekstruzijos ir laikymo metu.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti visų grūdo dalių avižinių miltų ir jų ekstrudatų cheminės sudėties komponentų: drėgno, baltymų ir krakmolo pokyčius laikymo metu.
2. Nustatyti visų grūdo dalių avižinių miltų ir jų ekstrudatų funkcines savybes bei jų pokyčius laikymo metu.
3. Įvertinti ekstruzijos ir laikymo įtaka avižų riebalų oksidaciniam stabilumui.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Avižų klasifikacija ir morfologija

Avižos yra smulkūs varpinių javų grūdai, naudojami pašarams, maistui ir pramoniniams tikslams [1]. Avižų rūšis *Avena L.* (Poaceae) priklauso Aveneae genčiai, Gramineae šeimai. Pagrindinės auginamos rūšys yra *Avena sativa*, *Avena byzantina* ir *Avena strigosa* [2]. Paprastosios avižos (*Avena sativa L.*) yra senovės javų kultūra, kuri buvo auginama jau nuo Teofrasto laikų ir dabar auginama visame pasaulyje [3]. Dauguma pasaulyje auginamų avižų priklauso heksaploidinėms rūšims: *Avena sativa L.* (baltosios avižos, svarbiausios kultivuojamos avižos), *Avena byzantina C. Koch* (raudonos avižos, auginamos šiltesnio klimato sąlygomis, paprastai žinomos kaip žiemos avižos). Kitos kultūrinės rūšys yra : *Avena abyssinica Hochst* (Etiopijos avižos), *Avena strigosa Schreb.* (žinoma keliais bendrais pavadinimais, tokiais kaip šiurkščiosios, smėlio ar juodosios avižos) ir *Avena nuda L.* (belukštės avižos). Diploidinės belukštės avižos, *Avena nuda L.* daugiausiai auginama kalnuose Kinijoje. Belukščių avižų tipai būdingi kelioms avižų rūšims. Dauguma komerciškai auginamų belukščių veislių priklauso heksaploidinei *Avena sativa* rūšiai [4]. Avižos yra vienmečiai augalai, kurių aukštis priklauso nuo to ar augale yra genas, lemiantis žemaūgiškumą. Kiekvienas augalas išleidžia apie 5 stiebus, priklausomai nuo augimo sezono, o kiekvienas stiebas išleidžia 5-6 lapus, jei yra žemaūgis, arba 8-10 lapų, jei aukštaūgis. Kiekvienas stiebas, pasiekęs galutinį aukštį, išsišakoja ir tame išsišakojime vystosi sėklos/grūdai. Avižos yra dviejų rūšių: lukštagrūdės, kurių grūdai tvirtai apgaubti žiedažvyniais, todėl kuliant pasilieka lukšte, ir belukštės (plikagrūdės), kurių grūdai lengvai apgaubti žiedažvyniais ir lengvai išsikulia [2]. Lukštas pašalinamas nuo grūdo prieš tolesnį apdorojimą [5]. Daugiausia auginamos lukštagrūdės avižos, tačiau belukštės avižos sulaukia vis platesnio susidomėjimo specialiose rinkose, didinant grūdų produktų įvairovę [2].

Grūdą sudaro trys pagrindinės dalys: vaisinė ir sėklinė luobelės, endosperma ir gemalas. Keli sluoksniai grūdvaisio (vaisius, suaugęs su sėklos apvalkalu), aleurono ir subaleurono sluoksniai sudaro luobeles, jos yra grūdo išoriniame sluoksnyje. Aleurono ląstelės yra didžiausia luobelių sudedamoji dalis ir atlieka svarbų vaidmenį sėklų dygime [2]. Subaleurono sluoksnyje yra daug baltymų, lipidų, mineralinių medžiagų, vitaminų ir ląstelių sienelės sudarančių polisacharidų, tokių kaip β -gliukanai [6]. Endosperma sudaro nuo 55% iki 80% grūdo masės. Ji susideda iš krakmolo, baltymų, lipidų, o ląstelių sienelėse vyrauja β -gliukanai. Gemalas yra svarbus baltymų ir lipidų šaltinis. Todėl aleurono, subaleurono ir endospermos ląstelių struktūra ir sudėtis skiriasi viena nuo

kitos. Aleurono ir subaleurono ląstelės yra šiek tiek kvadratinės su stora ląstelių sienele, o endospermą sudaro pailgos ląstelės, turinčios gana ploną ląstelių sienelę [7].

1.2. Avižų cheminė sudėtis

Avižos yra geras baltymų, nesočiųjų riebalų rūgščių, skaidulinių ir mineralinių medžiagų šaltinis. Avižos buvo vertinamos kaip didžiausią baltymų kiekį turintys pašariniai grūdai, iki kol sojos pupelės nebuvo pradėtos naudoti kaip gyvulių pašaras. Vidutiniškai, daugelyje regionų, 25 % sėjamų avižų panaudojama pašarams [8]. Baltymų kiekis avižose svyruoja nuo 9 % iki 15 %. Skirtingai nuo kitų javų grūdų, avižų baltymuose vyrauja gliutelinais (46-60 % viso baltyminio azoto), po to seka globulinai (13-18 %), prolaminais (8-13 %) ir albuminais. Avižos išsiskiria didesniu arginino, lizino ir mažesniu glutamo rūgšties kiekiu, jose nepakeičiamų aminorūgščių kiekiai yra geriau subalansuoti mitybos požiūriu [9].

Avižos turi mažiausią krakmolo kiekį iš visų grūdų rūšių, kurio sukaupiama iki 68 % s.m. [16]. Avižų krakmolai sudaryti iš mažų kampuotų granuliu (2-12 μ m), kurios yra susijungusios į grupes ar stambias granules (20-150 μ m). Avižose amilozės kiekis vidutiniškai sudaro 27%, o amilopektino - 73 %, tuo avižų krakmolai panašūs į tipinį kviečių krakmolą [10].

Riebalų kiekis avižose svyruoja apie 7-9 % ir yra žymiai didesnis nei kitų javų grūduose (1-2 %). Avižų riebalams būdingi dideli mononesočiosios oleino rūgšties ir polinesočiosios linolo rūgščių kiekiai, jie pasižymi gera maistine verte. Tačiau dideli linolo rūgšties kiekiai mažina jų oksidacinį stabilumą [10]. Avižose taip pat gausu riebaluose tirpių fitocheminių medžiagų, turinčių antioksidacinių savybių. Įvairūs avižų grūdų komponentai saugo riebalus nuo oksidacijos. Tokie antioksidaciniai komponentai yra vitaminas E (tokoferoliai ir tokotrienoliai), fenolio junginiai (pvz., avižų specifiniai polifenoliai, avenantramidai), fitino rūgštis, steroliai ir flavonoidai [11]. Kai kurie avižų antioksidantai yra šilumai neatsparūs, tačiau didžioji jų dalis yra atsparūs terminiam apdorojimui [12].

Avižos turi didelį skaidulinių medžiagų kiekį (iki 16 % s. m.). Didžiąją dalį avižų skaidulinių medžiagų sudaro arabinoksilanai, mišrios jungties (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-gliukanai ir celiuliozė [12]. Skirtingai nei kviečiuose, kur vyrauja arabinoksilanai, avižų skaidulinės medžiagos daugiausia sudarytos iš β -gliukanų. Tirpios skaidulinės medžiagos sudaro pusę visų avižų skaidulinių medžiagų. Netirpios skaidulinės medžiagos sudarytos iš celiuliozės [10].

Avižos yra geras kai kurių vitaminų ir mineralinių medžiagų šaltinis [13]. 100 g avižų esantis vitaminų kiekis pateiktas 1 lentelėje, o mineralinių medžiagų kiekis – 2 lentelėje.

1 lentelė. Vitaminų kiekis 100 g avižų [14]

Vitaminų kiekis mg/ 100g avižų	Tiaminas	Riboflavinai	Niacinas	Vitaminas B6	Folio rūgštis	Pantoteno rūgštis
	0,8 mg	0,1 mg	1 mg	0,1 mg	56,0 mcg	1,3 mg

2 lentelė. Mineralinių medžiagų kiekis 100g avižų [14]

Mineralinių medžiagų kiekis mg/100g avižų	Kalcis	Geležis	Magnis	Fosforas	Kalis	Natris	Cinkas	Varis	Manganas
	55,0 mg	4,7 mg	177 mg	523 mg	429 mg	2,0 mg	4,0 mg	0,6 mg	4,9 mg

1.3. Avižų perdirbimas

Maistui naudojami avižiniai dribsniai, avižiniai miltai, avižinės sėlenos. Avižų produktai gali būti naudojami kaip atskiras maitinimo produktas arba kaip ingredientai kitų maisto produktų gamybai [13]. Avižų produktai yra vertinami dėl juose esančių maistinių skaidulinių medžiagų, tokių kaip β -gliukanų, baltymų, turinčių didelę maistinę vertę, ir nesočiųjų riebalų rūgščių, tokių kaip linoleno ir oleino rūgštys (atitinkamai, 45,0 ir 30,4 % viso lipidų kiekio) [15]. Avižų perdirbimas yra sudėtingas dėl didesnio riebalų ir skaidulinių medžiagų kiekio, kas daro įtaką produkto reologinėms savybėms ir stabilumui [16]. Lipidai jautrūs hidrolizinėms ir oksidacinėms reakcijoms, kurias inicijuoja endogeninės lipazės [17]. Lipolitiniai fermentai avižose yra 10-15 kartų aktyvesni nei kviečių, todėl perdirbant avižas būtina inaktyvuoti lipidus hidrolizuojančius fermentus (daugiausiai lipazes), kad būtų išvengta aitraus ir kartaus skonio produkto. Didžioji dalis avižų lipidų yra sėlenose ir krakmolingame endosperme. Pažymėtina, kad avižų grūdų endosperme yra apie 80-90% viso lipidų kiekio, tuo tarpu kitų javų grūdų endosperme yra tik apie 50% visų lipidų [16]. Avižos taip pat randama natūralių endogeninių antioksidantų, tokių kaip tokoferoliai, įvairūs cinamono rūgščių dariniai ir aventramidai [18].

Fermentams inaktyvuoti taikomas avižų terminis apdorojimas. Terminio apdorojimo sąlygos turi būti pakankamai švelnios, kad išvengti intensyvesnio oksidacijos proceso, dėl kurio keičiasi skoninės savybės arba gali sumažėti avižų produktų maistinė vertė [19].

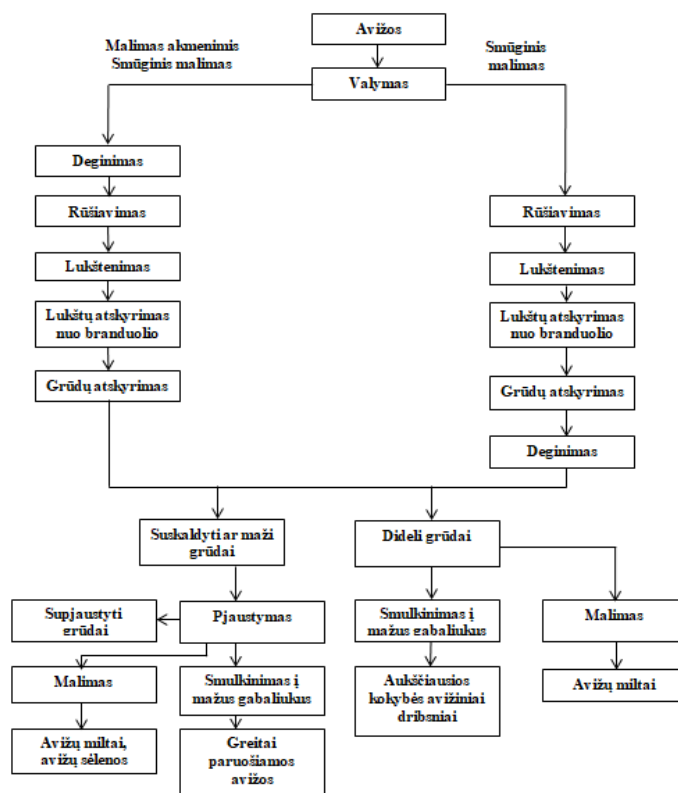
Terminis apdorojimas taip pat turi įtakos fizikiniams ir cheminiams krakmolo granulių ir jų sudedamųjų dalių pokyčiams bei daliai krakmolo kleisterizacijai, dėl kurių keičiasi produkto tekstūra ir reologinės savybės, padidėja krakmolo virškinamumas ir prieinamumas kaip energijos

šaltinio [20]. Priklausomai nuo apdorojimo sąlygų, krakmolo granulės gali išsiplėsti ir plyšti, kintančių tirpumas šaltame vandenyje, sumažėja klampa, atsiskiria amilozė ir amilopektinas [21].

1.3.1. Avižų smulkinimas

Prieš smulkinimą avižos yra specialiai apdorojamos: veikiamos garais, kad būtų inaktyvuoti fermentai (pagrindė lipazė, esanti išoriniame branduolio sluoksnyje), ir toliau džiovinamos drėgnio sumažinimui prieš malimą iki 6-8 %, kad būtų lengviau pašalinami lukštai [10].

Avižų perdirbimo metu lukštas turi būti pašalinamas nuo grūdo. Malti avižų produktai yra rūšiuojami pagal lukšto ir grūdo santykį, spalvą. Avižų perdirbimo procesas susideda iš grūdų valymo, rūšiavimo, lukšto atskyrimo, grūdų smulkinimo. Avižų perdirbimo procesas pateiktas 1 pav [2].



1pav. Avižų grūdų malimo proceso schema

1.3.2. Ekstruzija

Ekstruzija yra universali ir labai efektyvi technologija, plačiai naudojama maisto ir pašarų gamyboje. Maisto produktų gamyboje ekstruzijos procesas taikomas daugiau nei šimtą metų. Šio proceso metu maistinės medžiagos suspaudžiamos cilindre ir veikiant jėga išstumiamos per

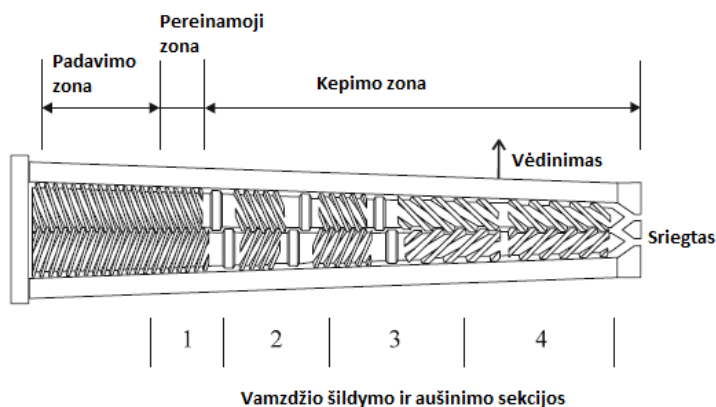
formavimo angas [22]. Ekstruzijos procesas gali būti nuolatinis keičiant stūmoklinį į sraigtinį ekstruderį. Medžiaga yra tiekama į padavimo bunkerį ir transportuojama į priekį ekstruderiu sukantis. Pasiekus sriegtą, slėgis padidėja iki tokio lygio, kuris reikalingas medžiagai pereiti per sriegto angą. Sukamasis sraigtas transportuoja medžiagą nuo įleidimo iki išleidimo angos medžiagai slystant paviršiumi. Medžiagos ir sraigto paviršiaus trintis nugludina ir sušildo medžiagą [23].

Ekstruzija yra santykinai mažo drėgnio procesas, kuriame drėgmės kiekis svyruoja nuo 10 iki 40 %. Šis procesas reikalauja didelių mechaninės energijos ir šilumos sąnaudų labai suspaustuose birių smulkių medžiagų (miltelių) sistemose, kad milteliai virstų skysčiais. Todėl svarbios tokios medžiagų charakteristikos, kaip paviršiaus trintis, kietumas ir dalelių dydis [10]. Ekstruzija yra tęstinis procesas, kurio metu maistiniai biopolimerai ir kiti komponentai yra sumaišomi, plastifikuojami, kepami ir formuojami, derinant drėgmę, temperatūrą, slėgį ir šlyties jėgą [23].

Maisto pramonėje naudojami įvairių tipų ekstruderiai, besiskiriantys veikimo principu ir atliekamomis funkcijomis. Pastaruosius 60 metų plačiai maisto gamyboje naudojami vieno sraigto ekstruderiai. Maisto perdirbimo procesuose vis populiarėja prieš keletą metų sukurti dviejų sraigčių ekstruderiai, leidžiantys efektyviau kontroliuoti tiek produktų, tiek proceso parametrus [24].

Dviejų sraigčių ekstruderiai, kurie labiausiai tinkami maisto pramonėje yra: a) dviejų sraigčių ekstruderis, kurio abu sraigčiai sukasi ta pačia kryptimi yra labiausiai panaudojamas maisto pramonėje; b) dviejų sraigčių ekstruderis, kurio abu sraigčiai sukasi priešinga kryptimi; c) kūginės formos dvigubas ekstruderis, abu sraigčiai sukasi priešingomis kryptimis [25].

Tradiciškai ekstruderiai turi tris pagrindines perdirbimo zonas: tiekimo zona, pereinamoji zona ir galutinė kepimo zona (2 pav.) [23]. Sraigte gali vykti įvairios konfigūracijos, reikalingos skirtingoms funkcijoms atlikti atitinkamose perdirbimo zonose. Pradinis padavimo skyrius yra skirtas tiekti žaliavas į ekstruderį. Tolesnėje pereinamojoje zonoje žaliavos suspaudžiamos, kad susidarytų plastiška tešla. Galutinė kepimo zona turi sraigtinę dalį, kuri užtikrina didelę šlyties jėgą ir apdorojamų medžiagų spaudimą [24]. Priklausomai nuo ekstruzijos sąlygų ir žaliavų, ekstruduoti gaminiai gali būti išsipūtę ekstrudatai ar neišsipūtusios granulės. Ekstruzijai vykstant aukštoje temperatūroje, dėl staigaus drėgmės išgarinimo ties sriegtu (žr., 2 pav) gaunami tiesioginiai išplūsti produktai [23].



2 pav. Ekstruderio perdirbimo zonos

Ekstruzijos aukštoje temperatūroje trumpą laiką procesas turi keletą privalumų maisto produktų gamyboje. Ekstruzijos procesas yra tęstinis, kas leidžia supaprastinti visą gamybos procesą. Ekstrudavimo metu medžiaga trumpai veikiama mechanine ir šilumos energija, kurios pakanka, kad įvyktų struktūros ir sudėties pokyčiai, panašūs į tuos, kuriuos sukelia įprasti maisto perdirbimo procesai: virimas, kepimas, skrudinimas, kleisterizavimas, karamelizavimas ir sterilizavimas [26]. Todėl ekstruzijos procesas gali būti naudojamas, kuriant naujus esamų maisto produktų gamybos procesus ir kuriant naujus produktus su unikalia tekstūra. Ekstruzija plačiai naudojama tokių maisto produktai ir pašarų gamyboje [27]:

- A) Paruošti valgymui pusryčių dribsniai,
- B) Užkandžiai,
- C) Kiti grūdų produktai,
- D) Naminių ir vandens gyvūnų pašarai,
- E) Tekstūruoti augaliniai baltymai,
- F) Konditerijos gaminiai.

1.4. Ekstruzijos metu vykstantys cheminiai ir fizikiniai pokyčiai

Ekstruzijos metu vyksta ekstruduojamos žaliavos biopolimerų pokyčiai. Veikiant temperatūrai ir šlyties jėgai, biopolimerai yra transformuojami ir sukuriama naujas produktas [2]. Natūralūs biopolimerai, tokie kaip krakmolas ir kai kurie baltymai, atlieka svarbų vaidmenį formuojantis ekstrudotam produktui [28].

Ekstruzijos metu biopolimerai patiria daug cheminių ir fizikinių pokyčių, pvz., krakmolo kristališkumo praradimas ir depolimerizacija, baltymų denatūracija ir kompleksų susidarymas,

amilozės ir polinių lipidų kompleksų susidarymas, Majaro reakcija, polimerų ir kitų molekulių skilimas. Be to, fermentai yra inaktyvuojami, kas laikymo metu apsaugo maisto produktą nuo gedimo. Ekstruzija taip pat gali sunaikinti natūralias toksines medžiagas ir padidinti antimikrobų stabilumą [29].

Vykstant fizikiniams pokyčiams ekstruzijos ir išsipūtimo procese, sukurama nauja biopolimero struktūra [2]. Ekstruzijos metu žaliavos trumpą laiką veikiamos mažu drėgniu, didele šlyties jėgos ir aukšta temperatūra, po to slėgis ir temperatūra sumažinama, kad drėgmė išgaruotu ir būtų gautas išpūstas produktas [30]. Moksliniai tyrimai parodė, kad ekstruzija gali paveikti polisacharidų tirpumą ir jų pasiskirstymą grūdinėje žaliavoje. Ekstruduojant 10-30% drėgnio avižų sėlenas dviejų sraigčių ekstruderiu, esant 100-160 °C temperatūrai, sraigto greičiui 150 aps./min, amilopektinas yra paveikiamas daug labiau nei amilozė [31]. Nuo amilopektino depolimerizacijos priklauso ekstrudatų traškumas ir išsipūtimas. Amilopektino depolimerizacijai įtakos turi ekstruzijos sąlygos, parenkant griežtesnes sąlygas (mažesnis drėgnis, aukštesnė temperatūra ir sraigto greitis), vyksta didesnis skilimas [30]. Ekstruzija paprastai atliekama esant nedideliame drėgmės kiekiui (5-40%), manoma, kad tokiomis sąlygomis šakotas amilopektinas yra suskaidomas [32]. Amilozės ir lipidų kompleksų susidarymas yra labai svarbi reakcija, vykstanti ekstruzijos metu, turinti įtakos ekstrudatų struktūros formavimuisi ir tekstūrai [33].

Ekstruzijos sąlygomis (aukšta temperatūra, slėgis ir šlyties jėgos) krakmolo granulės yra suardytos ir ištirpsta ar išbrinksta, esant mažam drėgmės kiekiui, arba kleisterizuojasi, esant dideliame drėgmės kiekiui [28]. Abiem atvejais krakmolas iš kristalinės struktūros pereina į amorfinę. Tai padeda sulaikyti dujas plėtimosi proceso metu ir sudaromos sąlygos putų struktūrai formuotis [24].

Ekstruduoti/išpūsti produktai yra jautrūs oksidacijai ir tai turi neigiamą įtaką produkto skoniu. Ekstruduotiems produktams būdingos savybės, kurios skatina lipidų oksidaciją: mažas drėgnis, padidėjęs paviršiaus plotas, dažnai padidėja geležies kiekis (prooksidanto) kiekis dėl produkto kontakto su sraigčiu ir kitomis metalinėmis ekstruderio dalimis [35]. Su lipidais susijusios reakcijos, tokios kaip lipidų oksidacija, antioksidantų skilimas, nesočiųjų riebalų rūgščių trans izomerų susidarymas ir riebalų fermentinė hidrolizė, trumpina ekstrudatų tinkamumo vartoti trukmę ir mažina produkto maistingumą [33]. Ekstruzijos metu dėl aukštos temperatūros padidėja peroksidų kiekis. Proceso metu padidėja metalų (ypač geležies) jonų perėjimas iš ekstruderio į ekstrudatus, tai katalizuoja oksidaciją [36]. Kitas veiksnys, turintis įtakos ekstrudatų oksidaciniam stabilumui, yra jų poringumas ir burbuliukų ląstelių sienelių storis, dėl kurių padidėja sąlyčio plotas ir deguonis lengviau prasiskverbia į ekstrudatą. Ekstruzinio kepimo metu vyksta antioksidacinių medžiagų

pasikeitimas. Padidėjusi ekstruzijos temperatūra skatina esamų natūralių antioksidantų skilimą, tuo tarpu kiti antioksidantai gali susidaryti ekstruzijos metu vykstant Majaro reakcijai [37].

Siekiant padidinti ekstrudotų produktų oksidacinį stabilumą, galima į ekstruduojamas žaliavas pridėti antioksidacines savybėmis pasižyminčių priedų [35]. Nustatyta, kad alfa-tokoferolio priedas į avižinius dribsnius prieš ekstruziją slopina pentanalio ir heksanalio (lipidų oksidacijos produktų) susidarymą, laikant avižų ekstrudatus 12 mėn. kambario temperatūroje [38].

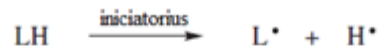
Lipazių inaktyvavimas, avižų makromolekulių reorganizavimas ekstruzijos metu turi įtakos avižų lipidų stabilumui [39]. Amfifiliniai komponentai, baltymai gali veiksmingai emulsuoti lipodus ir taip padidinti jų oksidacinį stabilumą laikymo metu [32]. Lipidų ir krakmolo kleisterizacijos bei baltymų denatūracijos produktų kompleksų formavimasis taip pat gali stabdyti lipidų oksidaciją [40].

1.5. Lipidų oksidacija

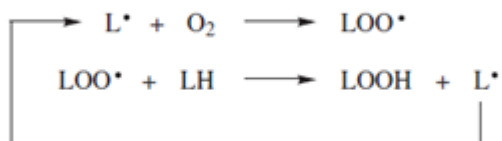
Lipidų oksidacija yra viena iš pagrindinių maisto kokybės blogėjimo priežasčių. Lipidai yra jautrūs oksidaciniam procesui, esant tokių katalizatorių, kaip šviesa, šiluma, fermentai, metalai, metaloproteinai (baltymai, kuriuose yra metalo jonų kofaktorius) ir mikroorganizmai. Vykstant lipidų oksidacijai, atsiranda pašalinis skonis, prarandami riebaluose tirpūs vitaminai ir kitos bioktyvios medžiagos. Priklausomai nuo sąlygų, lipidai gali būti autooksiduojami, fotooksiduojami, termiškai ir fermentiškai oksiduojami [41].

Autooksidacija yra labiausiai paplitęs procesas, spontaniška atmosferos deguonies reakcija su lipidais, dėl kurios vyksta oksidacinis gedimas [42]. Procesas gali pagreiteti dėl aukštesnės temperatūros pvz., ekstruzinio metu [43]. Nesočiosios riebalų rūgštys esant katalizatoriui yra suskaidomos ir taip gaunamos laisvos riebalų rūgštys, trigliceroliai (taip pat digliceroliai arba monogliceroliai) ar fosfolipidai [42]. Nustatyta, kad nesočiųjų riebalų rūgščių autooksidacija ir terminė oksidacija susidaro per laisvųjų radikalų grandininę reakciją, kuri vyksta trimis etapais: pradžia, plitimas ir pabaiga [44]. 3 pav pateiktas supaprastintas autooksidacijos mechanizmas.

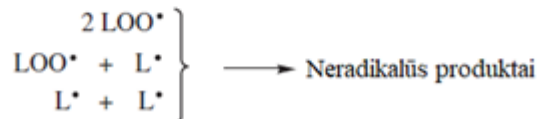
Pradžia :



Plitimas :



Pabaiga :



3 pav. Autooksidacijos mechanizmas

Pradžios etape lipidų alkilo radikalai reaguoja su deguonimi, kad susidarytų peroksilo radikalai, kurie yra aktyvesni už pradinius alkilo radikalus. Laisvieji peroksilo radikalai vėl pašalina vandenilį iš lipidų molekulių, dėl kurių susidaro nauji lipidų alkilo radikalai ir hidroperoksidai [45]. Šiame etape oksidacija vyksta monomolekuliniu greičiu, atsižvelgiant į hidroperoksidus, kur peroksilo radikalų susidarymas palaiko grandinę [46]. Šioje lėtoje ankstyvojoje lipidų oksidacijos stadijoje gali kauptis hidroperoksidai. Jie suskaidomi metalų, šilumos arba ultravioletinės (UV) šviesos poveikyje, ar sąveikos tarp dviejų hidroperoksidų (bimolekuliarinis mechanizmas). Esant didelei hidroperoksidų koncentracijai susidaro peroksilo radikalas (metatų oksidavimas ir bimolekuliarinis mechanizmas), alkoksilo radikalas (metalų, šilumos, UV ir bimolekuliarinis mechanizmas) ir hidroksilo radikalai (šiluma ir UV). Susiformavę alkoksilo ir hidroksilo radikalai yra labiau reaktyvūs ir mažiau jautrūs nei peroksilo radikalai [45]. Šiame etape oksidacija vyksta bimolekuliniu greičiu [46], o alkoksilo radikalai tampa pagrindine grandinės dalis. Tai inicijuoja kitą sklidimo etapą (plitimą). Plitimo etape sukuriama naujos radikalų grandinės, kurios padidina oksidacijos greitį. Naujai susidariusios antrinės grandinės sustiprina ir išplečia oksidacinę reakciją [45].

Pabaigos etape, stabilūs antriniai produktai susidaro, kai laisvi radikalai sureaguoja tarpusavyje. Radikalų rekombinacija vyksta skirtingomis schemomis, kurios gali sukelti dimerų ir polimerų formavimąsi tokiu kaip alkanai, alkoholiai, ketonai ar alkilo peroksidai [45]. Kai alkoksilų radikalai patiria β – skilimą, C – C jungtis abiejose alkoksilų grupės pusėse yra suskaidoma. Taip susidaro okso junginiai ir sotūs arba nesotūs alkilo radikalai, kurie toliau reaguoja ir sudaro sudėtinį antrinių oksidacijos produktų mišinį [47]. Dažniausiai radikalų receptoriai maisto produktuose yra

baltymuose arba fenoliniuose junginiuose (gali būti ir antioksidantuose). Antioksidantai esantis natūraliai riebaluose sulėtina lipidų oksidaciją, nutraukdamos tam tikras radikalų grandines. Tačiau oksidacija tęsiasi, nes visada atsiranda kai kurie radikalai [45].

Hidroperoksidai yra identifikuojami kaip pirminiai lipidų oksidacijos produktai; hidroperoksidų skilimo metu susidaro aldehidai, ketonai, alkoholiai, lakios organinės rūgštys ir epoksidiniai junginiai, kurie yra vadinami antriniais oksidacijos produktais. Pagal šių junginių ir laisvųjų radikalų susidarymą vertinami maisto lipidų oksidaciniai procesai [47].

1.5.1. Lipidų oksidacijos tyrimo metodai

Lipidų oksidacijai maisto produktuose tirti taikomi įvairūs analizės metodai. Nėra unifikuoto standartinio metodo visiems oksidaciniams pokyčiams įvairiose maisto sistemose tirti [48]. Priklausomai nuo tyrimo tikslų ir tiriamosios maisto sistemos, gali būti pasirenkami skirtingi oksidacijos proceso analizės metodai. Metodai, skirti lipidų oksidacijos tyrimui maisto produktuose, gali būti suskirstyti į penkias grupes pagal tai, kokie junginiai yra nustatomi analizės metu: (1) deguonies absorbcija, (2) pradinių substratų skilimas, (3) laisvųjų radikalų susidarymas, (4) pirminių bei (5) antrinių oksidacijos produktų susidarymas [49].

Laboratorijose ir pramonėje naudojama nemažai fizikinių ir cheminių bandymų, įskaitant ir instrumentinę analizę, norint nustatyti lipidų oksidaciją. Metodai nustatyti lipidų oksidacijai: chromatografinė analizė nustatyti pokyčius mėginiuose; peroksidų skaičiui nustatyti naudojamas jodometrinis titravimas, geležies jonų kompleksų ir Furjė transformacijos infraraudonųjų spindulių metodai; konjuguotų dienų ir trienų spektrometrija, 2-tiobarbitūrinės rūgšties (TBA), p-anizidino ir karbonilo vertės; Rancimat ir oksidacinio stabilumo instrumentiniai metodai riebalų stabilumo indeksui nustatyti; elektronų paramagnetinio rezonanso spektroskopijos tyrimas laisvųjų radikalų tipui ir koncentracijai nustatyti. Lipidų oksidacijai matuoti naudojami ir kiti metodai pvz., diferencinė skenuojanti kalorimetrija ir branduolinio magnetinio rezonanso tomografija. Jusliniais testais, taip pat galima nustatyti oksidacinį gedimą [48].

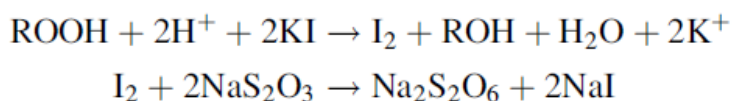
1.5.2. Pirminių ir antrinių oksidacijos produktų nustatymas

1.5.2.1. Peroksidų skaičius

Lipidų oksidacijos metu vyksta nuolatinis hidroperoksidų, kaip pirminių oksidacijos produktų susidarymas, kurie vėliau gali būti suskaidyti į nelakiusius ir lakiusius antrinius oksidacijos produktus [49]. Hidroperoksidų susidarymo greitis pirminio oksidacijos etapo metu yra didesnis už

jų suskaidymo greitį, todėl peroksidų skaičius (PS) yra pirminių oksidacinių pokyčių rodiklis [50]. PS parodo bendrą hidroperoksidų kiekį ir yra vienas iš labiausiai paplitusių riebalų ir aliejaus kokybės rodiklių, nustatomų gamybos ir laikymo metu [51]. Sukurta keletas metodų PS nustatymui, tarp kurių dažniausiai naudojamas jodometrinis titravimas, geležies jonų komplekso matavimas spektrofotometriiniu būdu, infraraudonoji spektroskopija [52]. Tyrimo metu buvo naudojamas jodometrinis titravimas, todėl jis aptariamas plačiau.

Jodometrinio titravimo metodas pagrįstas jodido jono (I⁻) oksidacija veikiant hidroperoksidams (ROOH) [51]. Taikant šį metodą, prisotintas kalio jodido tirpalas pridedamas į riebalų mėginį. Reaguojant su hidroperoksida, išlaisvinamas jodas (I₂), kuris titruojamas su standartiniu natrio tiosulfato tirpalu, kai krakmolai nurodo reakcijos pabaigą. PS išreiškiamas miliekvivalentai/1 kg mėginio (mekv/kg). Tyrimo metu vykstanti reakcija pateikta 4 pav.

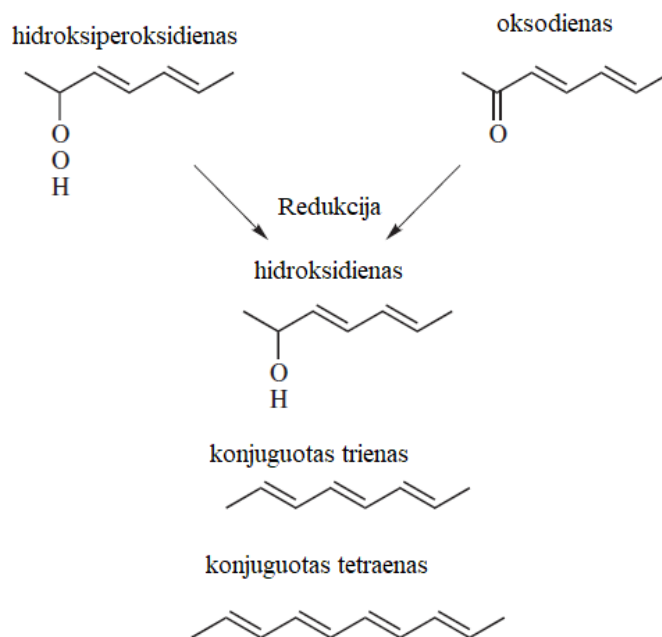


4 Pav. Jodometrinio metodo reakcijos lygtis

Nors jodometrinis titravimas labiausiai paplitęs PS nustatymo metodas, jis turi keletą trūkumų. Ilga proceso trukmė, reikalaujanti daug darbo jėgos [50], mažas metodo jautrumas, sunkiai nustatoma titravimo pabaiga yra pagrindiniai šio metodo trūkumai [53].

1.5.2.2. Konjuguoti dienai ir trienai

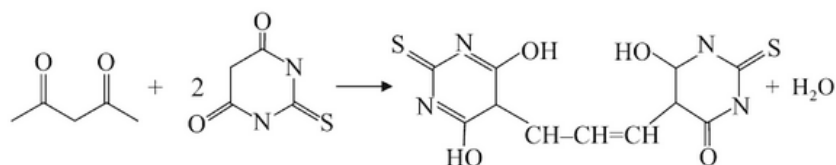
Hidroperoksidų formavimosi metu, iš nesočiųjų riebalų rūgščių, dėl dvigubų jungčių pertvarkymo susidaro konjuguoti dienai. Susidariusių konjuguotų dienų kiekis gali būti nustatomas spektrofotometriškai, esant 234 nm bangos ilgiui, konjuguotų trienų – esant 268 nm [48]. Konjuguotų dienų ir trienų susidarymo schema pateikta 5 paveiksle. UV absorbcijos padidėjimas atspindi pirminių oksidacijos produktų susidarymą riebaluose ir aliejuose. Nustatyta stipri koreliacija tarp konjuguotų dienų ir peroksidų [54]. Konjuguotų dienų UV absorbcijos nustatymas – paprastas ir greitas metodas, kuriam nereikalingi cheminiai reagentai ir užtenka mažo mėginio kiekio. Tačiau šis metodas mažiau specifiškesnis ir jautresnis nei PS nustatymas [55]. Taip pat matavimų rezultatams įtakos gali turėti ir kiti cheminiai komponentai, kurie absorbuojasi toje pačioje srityje, pvz., karotenoidai [7].



5 pav. Dienų, trienų susidarymo lygtys

1.5.2.3. Tiobarbitūrinės rūgšties (TBR) rodiklis

TBR rodiklis parodo antrinių oksidacijos produktų, t.y. malonaldehido (MA) kiekį. Kaitinant MA reaguoja su TBR, susidarant rožinės spalvos Schiffo aduktui (spalvos intensyvumas išmatuojamas, esant 532 – 535 nm bangos ilgiui) [56]. TBR analizės rezultatai paprastai išreiškiami mg malonaldehido/kg. Tiobarbitūrinės rūgšties reaktyviosios medžiagos (TBRRM) terminas dabar vartojamas vietoje MA. Reakcija pateikta 6 pav.



6 pav. TBR reakcijos lygtis

Reakcijai malonaldehidai ir kiti produktai gali būti išskiriami keturiais būdais:

1. Distiliuojant vandens garais [57];
2. Vykiant MA ir TBR reakciją tiesiogiai mėginyje [58];
3. Ekstrahuojant lipidus iš mėginio prieš TBR reakciją [59];
4. Ekstrahuojant MA vandenilio peroksidu prieš TBR reakciją [60].

Garų distiliato metodas (distiliavimo metodas) yra dažniausiai naudojamas TBR vertės nustatymui. Nustatyta, kad parūgštinto mėginio distiliacija buvo būtina, norint išgauti MA iš prekursoriaus arba sujungtų formų, siekiant gauti maksimalų spalvų išvystymą ir ypač atskirti TBRRM nuo mėginio [61]. Nors distiliavimas garais yra populiariausias TBR metodas, jis paprastai laikomas ne tokiu tikslu kaip maisto ekstrakto metodas [62]. TBR testas dažnai naudojamas įvairių maisto sistemų oksidacinės būklės įvertinimui, nepaisant jo apribojimų pvz., specifiškumo ir jautrumo trūkumo [63].

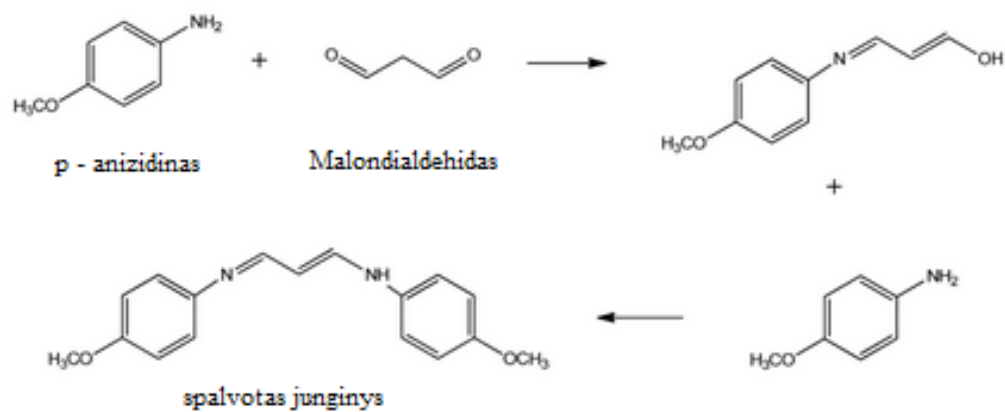
Daugelis medžiagų gali reaguoti su TBR reagentu ir prisideda prie absorbcijos, todėl spalvų komplekso intensyvumas nėra tikslus [63]. Priežastis gali atsirasti dėl papildomų kitų alkanų, 2 – alkenalių, 2,4 – alkadialių, ketonų, ketosteroidų, rūgščių, esterių, baltymų, sacharozės, karbamido, piridinų ir pirimidinų absorbcijos, taip pat vadinamos TBRRM [64].

TBR reakcija su įvairiais aldehidais sukelia geltonojo chromogeno (aldehido – TBR adukto) atsiradimą, kurio absorbcijos didžiausia riba yra 450 nm, o tam tikrais atvejais pasireiškia rožinė smailė esant 532 nm, todėl tam tikrais atvejais susidaro klaidingai didelis TBR kiekis [65]. Be to prie TBR reagento esančių barbitūrinės rūgšties priemaišų gali susidaryti TBR – MA – barbitūrinės rūgšties ir MA – barbitūrinės rūgšties adukatai, kurie absorbuoja atitinkamai 513 nm ir 490 nm, o tai rodo, kad tiobarbitūrinę rūgštį prieš naudojimą reikia išgryninti [64]. Siekiant pagerinti TBR tyrimo specifiškumą ir jautrumą, buvo pasiūlyta keletas pirminių TBR proceso pakeitimų įskaitant šildymo temperatūros sumažinimą, kad stabilizuotų geltonos spalvos aldehido - TBR kompleksą [66], antioksidantų įtraukimas į mėginį norint išvengti oksidacijos bandyme [67].

1.5.2.4. p-anizidino (p-an) skaičius

p-an skaičius yra patikimas riebalų, aliejų ir daug riebalų turinčių maisto produktų oksidacijos tyrimo metodas [68]. p-an metodu nustatomas aldehidų (daugiausiai 2-alkenalių ir 2,4-alkadienų), susidarančių skylant hidroperoksidams, kiekis. Šis metodas pagrįstas spalvoto junginio susidarymu, reaguojant p-metoksanilinui (anizidinui) ir aldehidiniams junginiams [69]. Rūgštinje terpėje p-anizidinas su aldehidais sudaro gelsvos spalvos produktus, kurių spalvos intensyvumas išmatuojamas esant 350 nm bangos ilgiui [48]. Spalva yra išmatuojama ir konvertuojama į p – an skaičių. p-An skaičius apibrėžiamas absorbcija, kai izooktane (100 ml) ištirpinamas 1 g riebalų sureagoja su p-anizidinu (0,25 % ledinėje acto rūgštyje) [55]. Šis metodas yra jautresnis tiriant nesočiuosius aldehidus nei sočiuosius, nes nesočiųjų aldehidų reakcijos spalvotieji produktai intensyviau sugeria šį bangos ilgį [55]. Metodas gerai koreliuoja su visų lakiųjų medžiagų kiekiu [69]. Pagal p-an skaičių gali lyginti tik tos pačios rūšies riebalus, nes pradinės p-an skaičiaus vertės

priklauso nuo riebalų rūšies [70]. Net neoksidavusių aliejų, turinčių daug polinesočiųjų riebalų rūgščių, p-an skaičius bus daug didesnis nei kitų rūšių riebalų [71]. p-an reakcija su malondialdehidu pateikta 7 paveiksle.



7 pav. p-anizidino reakcija su malondialdehidu

2. MEDŽIAGOS IR TYRIMŲ METODAI

2.1. Eksperimentams naudoti reagentai

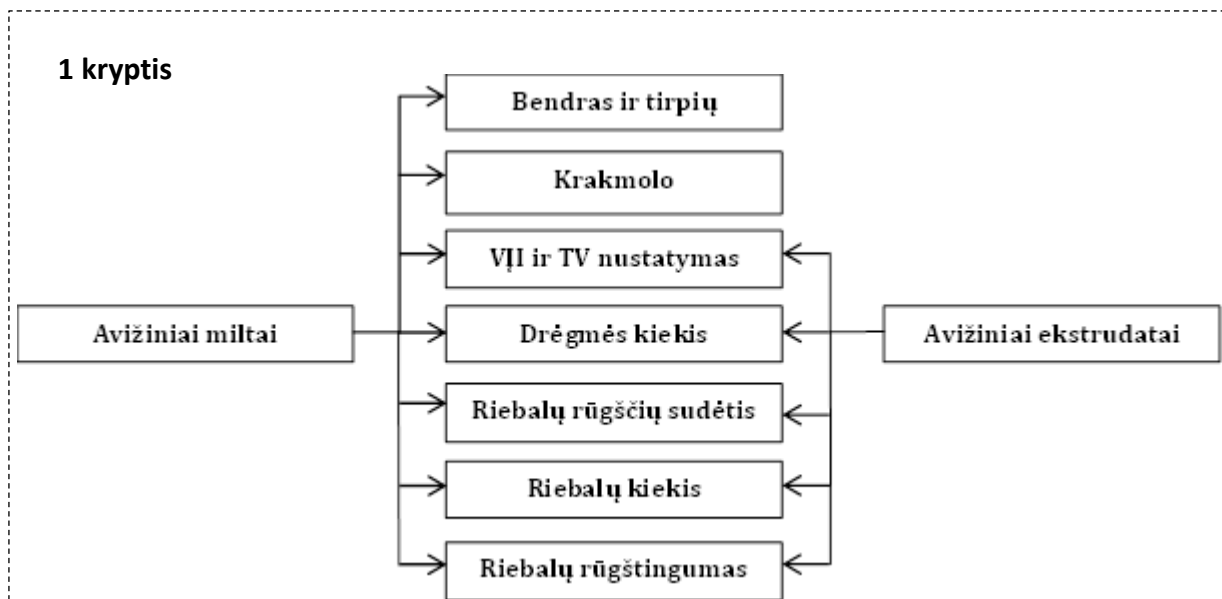
H₂SO₄, NaOH (Sigma – Aldrich), natrio chloridas (NaCl) (Lach – Ner, Brno, Čekija), etilo alkoholis (C₂H₅OH) (Stumbras, Kaunas, Lietuva), druskos rūgštis (HCl) (35 – 38 %, Chempur, Piekary Slaskie, Lenkija), tiobarbitūro rūgštis (TBR) (Sigma – Aldrich chemie GmbH, Steinheim, Vokietija), natrio metoksidas, heksanas (PENTA Chemikalien, Mainaschaff, Vokietija), chloroformas, ledinio acto rūgštis, KJ, Na₂S₂O₃, p – anizidino reagentas, K₂SO₄, CuSO₄, Na₂SO₄.

2.2. Eksperimentinio plano sudarymas

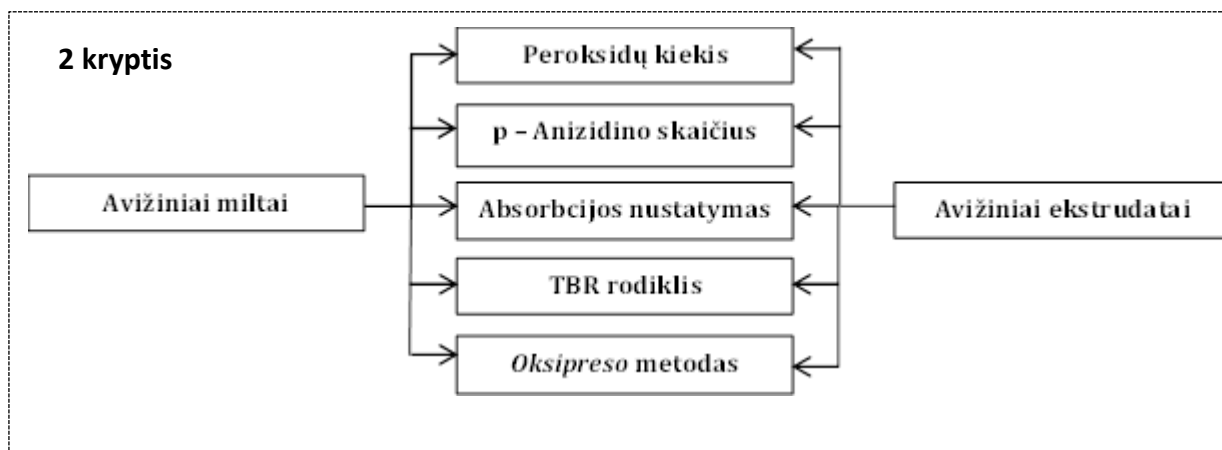
Eksperimentinio plano schemas pateiktos 8 ir 9 pav. Eksperimentas vykdomas dviem kryptimis:

1 krypties tyrimai buvo skirti visų grūdo dalių avižinių miltų ir jų ekstrdatų cheminės sudėties ir funkcinių savybių bei jų pokyčių laikymo metu tyrimams. Funkcinės savybės vertintos pagal vandens įgėrimo indeksą (VII) ir tirpumą vandenyje (TV). Cheminės sudėties pokyčių analizei nustatyti tokie rodikliai kaip drėgmės kiekis, bendras ir tirpių baltymų kiekis, krakmolo kleisterizacijos parametrai, riebalų kiekis ir jų riebalų rūgščių sudėtis, riebalų rūgštingumas. Tyrimai atlikti 2016 – 2017 m., stebint šių rodiklių pokyčius miltų ir ekstrdatų laikymo 5 mėn. metu. Eksperimento metu miltai ir ekstrdatai buvo laikomi supakuoti į aukšto tankio polietileninius (HDPE) maišelius, sudėtus į kartonines dėžes, kambario temperatūroje

2 krypties tyrimai atlikti, norint išsiaiškinti ekstruzijos ir laikymo įtaką avižų riebalų oksidacijai. Riebalų oksidacinis stabilumas vertintas pagal peroksidų skaičiaus, p-anizidino skaičiaus, ultravioletinės absorbcijos sugerties faktoriaus (dienų ir trienų kiekius), TBR rodiklio pokyčius laikymo metu ir oksidacijos kinetikos kreivės bei indukcinį periodą. Tyrimai atlikti 2016-2017 m., stebint šių rodiklių pokyčius miltų ir ekstrdatų laikymo 5 mėn. metu.



8 pav. 1 krypties eksperimentinio plano schema



9 pav. 2 krypties eksperimentinio plano schema

2.3. Tyrimo objektai

Tyrimo objektu buvo skirtingų gamintojų ir skirtingų gamybos partijų visų grūdo dalių avižiniai miltai M4, M5, M6 ir iš jų UAB „XXX“ gamybinėmis sąlygomis pagaminti ekstrudatai E4, E5, E6. 3 lentelėje pateikti tyrimo objektų kodai, partijų numeriai ir tinkamumo vartoti terminai. Ekstrudatai E4, E5 ir E6 pagaminti 2016 metų lapkričio mėnesį.

3 lentelė. Viso grūdo avižinių miltų ir iš jų pagaminti ekstrudatų kodai, partijos numeris ir tinkamumo vartoti terminas

Kodas	Gaminimo data	Miltų tinkamumo vartoti terminas
M4/E4	2016 – 08	2017 – 07 – 24
M5/E5	2016 – 09	2017 – 09 – 20
M6/E6	2016 – 10	2017 – 10 – 03

Ekstrudatų gamybai naudotos žaliavos: viso grūdo dalių avižiniai miltai 76 %, avižinių sėlenų miltai, cukrus, miežinio salyklo milteliai, valgomoji druska, natrio bikarbonatas. Gamintojo deklaruojamas šių ekstrudatų maistingumas pateiktas 4 lentelėje.

4 lentelė. Ekstrudatų maistinė vertė

Maistingumas	100 g
Energinė vertė	1674 kJ/397 kcal
Riebalai:	7,8 g
<i>iš kurių sočiųjų riebiųjų rūgščių</i>	1,4 g
Angliavandeniai:	64,0 g
<i>iš kurių cukrų</i>	9,8 g
Skaidulinės medžiagos:	11,0 g
<i>iš kurių beta gliukanų</i>	3,6 g
Baltymai	13,0 g
Druska	0,84 g

2.4. Tyrimo metodai

2.4.1. Vandens įgėrimo indekso ir tirpumo vandenyje nustatymas

Vandens įgėrimo indeksas ir tirpumas vandenyje nustatomas pagal Andersono metodą [72]. Tiriami du lygiagretūs mėginiai. Centrifūginiai mėgintuvėliai pasveriami 0,001 g tikslumu, į juos palaipsniui pilama 6 ml H₂O ir 1 g pasverto mėginio, maišant stikline lazdele. Paruošti mėginiai laikomi 30°C temperatūros vandens vonioje 30 min. Po išlaikymo, mėginiai centrifuguojami 20 min 4000 aps./min greičiu. Gautas centrifugatas nupilamas į pasvertus stiklinius mėgintuvėlius, prieš tai juos iškaitinus 20 min 105 °C temperatūroje ir atvėsinus eksikatoriuje. Centrifūginiai mėgintuvėliai su likusiomis nuosėdomis pasveriami. Stikliniai mėgintuvėliai su skysčiu kaitinami 105 °C temperatūroje iki pastovios masės.

Vandens įgėrimo indeksas (V_{II}) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_{II} = m_{\text{nuosėdos}}/m_{\text{mėginio}} \quad (1)$$

$$m_{\text{nuosėdos}} = m_{\text{prieš centrif.}} - m_{\text{po centrif.}} \quad (2)$$

Tirpumo vandenyje (TV) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$TV = (m_{\text{sausas centrif.}} - m_{\text{mėginio}}) \times 10 \quad (3)$$

$$m_{\text{sausas centrif.}} = m_{\text{po džiov.}} - m_{\text{stikl. mėgint.}} \quad (4)$$

2.4.2. Bendras ir tirpių baltymų kiekio nustatymas

Bendras ir tirpių baltymų kiekis avižų miltuose nustatomas Kjeldalio metodu pagal LST EN ISO 20483:2014 [73].

Bendram baltymų kiekiui pasveriami 0,8-1,2 g tiriamų avižinių miltų ir dedama į specialią Kjeldalio kolbą, į kurią įpilama 20ml koncentruotos H₂SO₄, katalizatoriaus tabletė (3,5 g K₂SO₄; 0,4 g

CuSO₄) ir antiputokšlio tabletės (0,97 g Na₂SO₄; 0,03 g silikono). Mėginys mineralizuojamas, kol tirpalas kolboje tampa skaidrus. Gautas mineralizato tirpalas atvėsinaamas ir po to distiliuojamas vandens garais automatine distiliavimo įranga 5 min. Išsiskyre amoniako garai kondensuojami grįžtamajame šaldytuve ir surenkami distiliato surinkimo kolbutėje. 2-3 lašai Taširo indikatoriaus įlašinama į distiliatą ir titruojama 0,1 N HCl, kol žalia distiliato spalva pakinta į pilkai violetinę spalvą.

Azoto kiekis (x), išreikštas %, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$x = \frac{0,0014 \times A}{m} \times 100; \% \quad (5)$$

Čia: A – 0,1 N HCl kiekis, sunaudotas titruojant bandinio distiliatą, ml; m – bandinio svoris, g; 0,0014 – azoto kiekis, ekvivalentiškas 1 ml 0,1 N HCl.

Baltyminių baltynų kiekis (B) apskaičiuojamas naudojant perskaičiavimo koeficientą:

$$B = x \times k, \% \quad (6)$$

Čia: x – bendras azoto kiekis, %; k – perskaičiavimo koeficientas (avižoms – 6,25)

Tirpių baltymų kiekiui nustatyti pasveriami 5 g avižinių miltų ir užpilama 30 ml distiliuoto H₂O. Įpilama 2 ml 10% NaCl, tuomet mišinys gerai išmaišomas ir paliekamas stovėti 10 min, nuolat jį vis suplakant. Filtruojamas per vatą į 50 ml matuojamąją kolbą, po to filtratas praskiedžiamas iki žymės. 20 ml filtrato supilama į Kjeldalio kolbą ir toliau viskas atliekama analogiškai kaip bendram baltymų kiekiui nustatyti.

Tirpių baltymų (B_t) kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$B_t = \frac{B \times 50}{G}, \% \quad (7)$$

Čia: B – baltyminių medžiagų kiekis, %; G – analizei paimtas miltų kiekis, g.

2.4.3. Krakmolo kleisterizacijos nustatymas

Tyrimo metu naudojamas mikroviskoamilografas (Micro Visco-Amylo-Graph Brabender, Vokietija). Miltų kiekis, turintis 11% sausųjų medžiagų, sumaišomas su distiliuotu vandeniu ir praskiedžiamas iki 100 g. Mėginys dedamas į amilografą ir nustatomas temperatūrinis režimas: mėginio temperatūra per 15 min pakeliama nuo 20 °C iki 95 °C, šioje temperatūroje išlaikomas 10 min, toliau per 9 min atvėsinaamas iki 50 °C ir 50 °C temperatūroje išlaikomas 10 min. Vandeninės miltų suspensijos klampa fiksuojama kreivėse. Iš gautų amilogramų nustatomi šie parametrai: 1) klampa kleisterizacijos pradžioje, 2) didžiausia klampa pasiekta kaitinant, 3) klampa kaitinimo pabaigoje, 4) klampa šaldymo pabaigoje, 5) galutinė klampa.

2.4.4. Drėgmės kiekio nustatymas

Drėgmės kiekis avižiniuose miltuose ir ekstrudatuose nustatytas džiovavimo metodu pagal LST EN ISO 712:2010 [74].

Į iš anksto iškaintintą ir atvėsintą biuską 0,0002 g tikslumu pasveriami 3-5 g tiriamosios medžiagos ir džiovinama 100-105 °C temperatūroje.

Bandinio drėgmės kiekis (x), išreikštas procentais, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$x = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{(m_1 - m)}; \% \quad (8)$$

Čia: m – biukso svoris, g; m_1 – biukso svoris su bandiniu iki džiovavimo, g; m_2 – biukso svoris su bandiniu po džiovavimo, g.

2.4.5. Riebalų rūgštingumo nustatymas

Grūdų ir jų produktų riebalų rūgštingumas nustatomas pagal LST ISO 7305:2019 [75]. 0,01 g tikslumu pasveriami apie 2,5 g mėginio ir suberiama į centrifugos mėgintuvėlį. Į centrifugos mėgintuvėlį įpilama 15 ml etilo alkoholio. Mėgintuvėlis sandariai uždaromas ir 1 valandą purtomas purtyklėje kambario temperatūroje. Po to, atkimšus kamštį, 5 min centrifuguojama, esant 2000 g sunkio jėgos pagreičiui. 10 ml centrifugato įpilama į Erlenmejerio kolbą. Įlašinama 5 lašai fanolftaleino ir tirpalas titruojamas natrio hidroksido tirpalu tol, kol atsiranda apie 3 s neišnykstanti šviesiai rožinė spalva. Tuščias tyrimas atliekamas tokiu pačiu principu, tik vietoje 10 ml centrifugato imama 10 ml etilo alkoholio.

Riebalų rūgštingumas (A_{Na}), išreikštas natrio hidroksido miligramais 100 g sausojo produkto, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A_{Na} = \frac{6000 \times (V_1 - V_0) \times c}{m} \times \frac{100}{100 - w} \quad (9)$$

Čia: c – naudoto etanolinio natrio hidroksido tirpalo tiksli tūrinė koncentracija, išreikšta moliais litre; m – analizės mėginys, masė gramais; V_1 – analizės mėginio tyrimui sunaudota natrio hidroksido tirpalo kiekis mililitrais; V_0 – tuščiajam tyrimui sunaudoto natrio hidroksido tirpalo kiekis miligramais; w – mėginio drėgmės kiekis, išreikštas masės procentais; 6000 – konstanta perskaičiuota į natrio hidroksido miligramus, t.y. (40 x 1,5 x 100).

2.4.6. Riebalų rūgščių sudėties nustatymas dujų chromatografijos metodu

Riebalų rūgštys nustatomos dujų chromatografijos metodu pagal LST EN ISO 12966-1:2015 [76]. Šiuo metodu nustatomi riebalų rūgščių metilo esteriai turintys nuo 8 iki 24 anglies atomų grandinę.

Į 15 ml mėgintuvėlį įlašinami 3-4 lašai (Vienas lašas ~ 50 µl) aliejaus ir įpilama 0,5 ml natrio metoksido (gaunamas maišant metalinį natrių metanolyje (2 g/l)), mišinys intensyviai maišomas, vibruojančioje maišyklėje 15 sekundžių. Esterifikacija atliekama termostate 60 °C temperatūroje, trukmė 30 min.

Atvėsinus mėginį kambario temperatūroje, įpilama 4 ml NaCl prisotinto vandeninio tirpalo, viskas supurtoma ir įpilama 1 ml heksano ir sumaišoma vibruojančia maišyklė 15 s. Atsiskyres viršutinis metilo esterio heksane sluoksnis atidžiai atskiriamas ir centrifuguojamas 15 min 14000 aps/min greičiu. Po centrifugavimo 100 µl mėginio praskiedžiamas su 900 µl heksano ir toliau naudojamas chromatografinėi analizei.

Analizė atlikta dujiniu chromatografu HRGC 5300 (Mega Series, Carlo Erba, Milan, Italy) naudojant liepsnos jonizacinį detektorių su polinę kolonėlę SPTM-2560 (100 m ilgio, 0,25 mm vidinio skersmens, adsorbento sluoksnis 0,20 µm (Supelco, Bellefonte, PA, USA)).

Analizės parametrai: įpurškimo temperatūra 220 °C; detektoriaus temperatūra 240 °C, sklaidos santykis 100:1. Krosnies temperatūra užprogramuota trimis etapais: 1 etapas – nuo 80 °C iki 135 °C, 4 °C/min, 2 etapas – nuo 135 °C iki 185 °C, 4 °C/min ir 3 etapas – nuo 185 °C iki 240 °C, 4 °C/min. 240 °C temperatūra išlaikoma izotermiškai 5 min. Nešančiosios dujos – helis, srauto greitis 20 cm³/s. Mėginio kiekis – 1 µl. Rūgščių metilo esteriai identifikuojami pagal išlaikymo trukmes, o procentinė riebalų rūgščių sudėtis apskaičiuojama, jų smailių plotus lyginant su etaloninių riebalų rūgščių smailių plotais. Junginiams identifikuoti naudotas etaloninis 37 riebalų rūgščių mišinys (SupelcoTM).

2.4.7. Riebalų oksidacinio stabilumo tyrimo metodai

2.4.7.1. Riebalų ekstrakcija

Riebalų ekstrakcijai ekstrudatai sumalti laboratoriniu malūnų iki 212 µm dydžio dalelių. Pasveriami apie 80 g avižinių miltų ir apie 100 g maltų avižinių ekstrudatų. Tiriamieji mėginiai suberiami į kolbas ir užpilami 200 ml heksano, kolbos sudedamos į purtyklę ir išlaikomos 30 min. Po 30 min skystis nupilamas ir filtruojamas, ant mėginių pakartotinai užpilama 200 ml heksano ir vėl purtoma

30 min. Skystis vėl nupilamas ir filtruojamas, mėginiai užpilami dar 100 ml heksano ir purtoma 30 min. Po to tirpalas su visu mėginiu filtruojamas. Esant drumstam tirpalui, jis centrifuguojamas 5 min 2000 aps/min greičiu. Heksanas iš ekstrakto pašalinamas vakuuminiu rotaciniu garintuvu Büchi R-210 Flawil. Jei po garinimo dar jaučiamas heksano kvapas, mėginys nupučiamas azoto dujų srautu. Išskirti riebalai naudoti oksidacinio stabilumo tyrimams 5 mėn. laikotarpyje.

2.4.7.2. Peroksidų skaičiaus (PS) nustatymas jodometriniu metodu

Peroksidų kiekis avižinių miltų ir ekstrdatų riebaluose nustatytas pagal LST EN ISO 3960:2017 [77].

0,05 g tikslumu į kūginę kolbutę su šlifuoju kamščiu pasveriami 5 g riebalų, įpilama 30 ml chloroformo ir ledinės acto rūgšties (2:3) mišinio ir 0,5 ml šviežiai paruošto sotaus KJ tirpalo. Viskas sumaišoma ir plakama 1 min. Po to įpilama 30 ml distiliuoto vandens ir įlašinami 5 lašai 1% krakmolo kleisterio. Išsiskyręs jodas nutitruojamas 0,01 N Na₂S₂O₃ tirpalu, kol išnyksta mėlyna tirpalo spalva. Lygiagrečiai atlikta kontrolinė analizė (be riebalų).

Peroksidų skaičius (PS) mekv/kg apskaičiuojamas pagal formulę:

$$PS = \frac{(V-V_1) \times N \times 1000}{m} \quad (10)$$

Čia: V ir V₁ – Na₂S₂O₃ tirpalo, sunaudoto atitinkamai tiriamajam ir kontroliniam mėginiams nutitruoti, kiekis, ml; N – Na₂S₂O₃ tirpalo koncentracija; m – mėginio masė, g.

2.4.7.3. Bendrojo aldehidų kiekio nustatymas riebaluose (p – anizidino skaičius)

p-anizidino skaičius nustatomas pagal LST EN ISO 6885:2016 [78].

0,0001 g tikslumu į 25 ml talpos matavimo kolbutę pasveriami 0,5 g riebalų ir ištirpinamas 10 ml heksane, vėliau praskiedžiama heksanu iki žymės. Išmatuojama paruošto tirpalo absorbcija kontrolinio tirpiklio atžvilgiu (kontrolinis tirpiklis – heksanas), kai bangos ilgis λ yra 350 nm, matavimams naudojama 1 cm storio kiuvetė.

Į 10 ml talpos mėgintuvėlį tiksliai atmatuojama 5 ml tiriamojo tirpalo, o į kitą mėgintuvėlį - tokį patį tirpiklio kiekį. Automatine pipete į kiekvieną mėgintuvėlį pridedama po 1 ml p-anizidino reagento (ledinėje acto rūgštyje). Abiejų mėgintuvėlių turinys gerai sumaišomas. Po 10 min matuojama tirpalo, esančio pirmame mėgintuvėlyje, šviesos absorbcija kontrolinio tirpalo atžvilgiu (5 ml heksano su 1 ml p-abizidino reagento), kai bangos ilgis λ yra 350 nm, naudojama 1 cm storio kiuvetė.

p-anizidino skaičius (p-an) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$p - an = \frac{25 \times (1,2 \times A_s - A_b)}{m} \quad (11)$$

Čia: A_s – tiriamo tirpalo šviesos absorbcija (optinis tankis) po reakcijos su p–anizidino reagentu; A_b – tiriamo tirpalo absorbcija; m – riebalų masė, g.

2.4.7.4. Ultravioletinės absorbcijos nustatymas

Ultravioletinė spinduliuotės sugerties faktorius nustatytas pagal LST EN ISO 3656:2011 [79].

Spektroskopinis tiriamo tirpalo absorbcijos matavimas atliekamas ultravioletinių bangų ilgyje. Absorbcija paskaičiuojama riebalų koncentracijai 1g / 100 ml. Nesočių riebalų rūgščių oksidacijos produktai, jeigu jie turi dienų struktūrą (pvz., linoleno r. hidroperoksida) rodo absorbuoja ultravioletinių bangų ilgyje 234 nm. Trienų jungtis rodo absorbciją ultravioletinių bangų 268 nm.

Į 25 ml talpos matavimo kalbutę 0,1 mg tikslumu pasveriamas 0,05 g riebalų. Mėginys ištirpinamas keliuose tirpiklio (heksano) mililitruose aplinkos temperatūroje ir praskiedžiamas iki žymės su tuo pačiu tirpikliu. Viskas kruopščiai sumaišoma. Į iš anksto tirpikliu praplautą 1cm storio kvarcinę kiuvetę įpilamas tiriamas tirpalas ir matuojama absorbcija tirpiklio atžvilgiu. Matavimai atlikti spektrofotometru SPECTRONIC GENESYSTM8. Išmatuojama 1g/100ml koncentracijos riebalų tirpalų absorbcija, esant atitinkamam bangos ilgiui, o sugerties faktorius apskaičiuojamas pagal formulę:

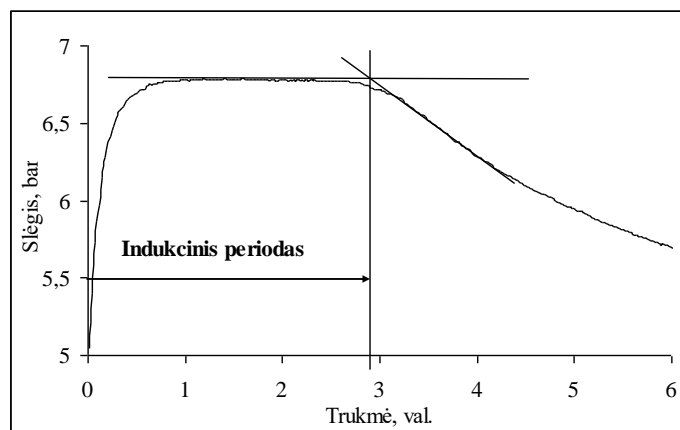
$$E_{1cm(\lambda)}^{1\%} = \frac{A_\lambda}{c \times l} \quad (12)$$

Čia: A_λ – absorbcija prie atitinkamo bangos ilgio; C – tiriamojo tirpalo koncentracija, g/100ml; l – kiuvetės plotis, cm.

2.4.7.5. Instrumentinis Oksipreso metodas

Avižinių miltų ir ekstraktų riebalų stabilumas oksidacijai taip pat įvertintas instrumentiniu Oksipreso metodu (prietaisas ML Oxipres, „Mikrolab Aarhus A/S“, Danija), automatiškai nustatant indukcijos periodą (IP) (10 pav.). Reikalingas mėginio kiekis (50 g) pasveriamas 0,001 g tikslumu ir patalpinamas į reakcijos celę.

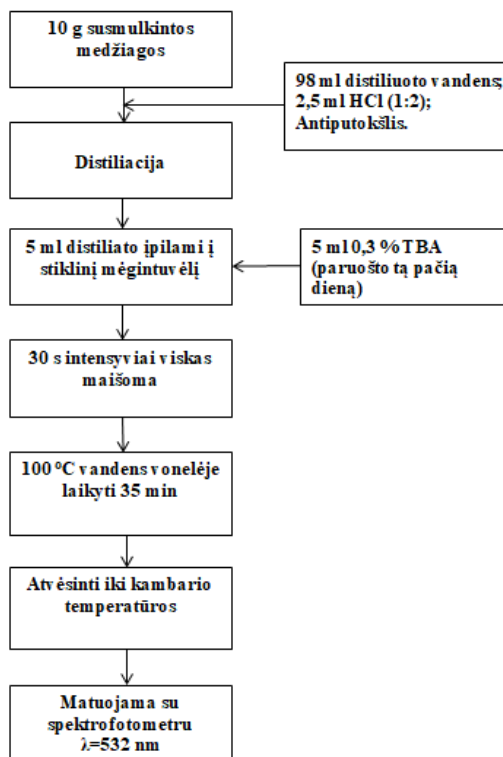
Oksidacijos kinetika tirta 100 °C temperatūroje, deguonies slėgis 0,5 MPa (5 bar).



10 pav. Oxipreso prietaisu užrašyta oksidacijos kinetikos kreivė ir indukcinio periodo nustatymo kreivės

2.4.7.6. TBR rodiklio nustatymas

Riebalų oksidacijos antrinių produktų kiekis vertintas pagal spalvoto junginio, susidarancio reaguojant riebalų oksidacijos produktams ir tiobarbitūro rūgščiai (TBR), intensyvumą. Gautoji vertė vadinama TBR rodikliu. TBR rodiklis nustatytas pagal Hoyland ir Taylor metodiką [80], tyrimo schema pateiktas 11 pav. Malonaldehido kiekiui apskaičiuoti išmatuota absorbcijos reikšmė padauginama iš koeficiento 7,8.



11 pav. TBR rodiklinio nustatymo schema

2.5. Matematinė statistinė duomenų analizė

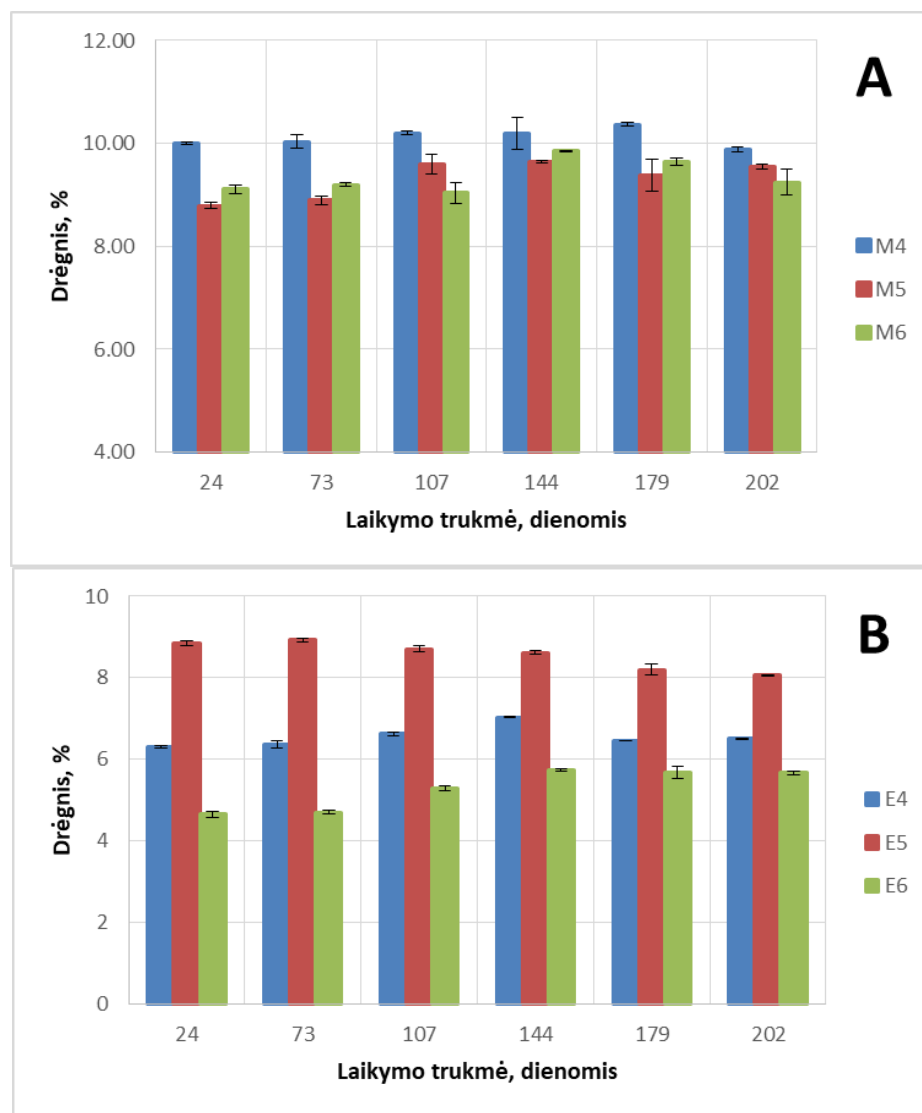
Matematinė statistinė oksidacinio stabilumo tyrimo duomenų analizė atlikta, naudojant IBM SPSS Statistics programą, ANOVA programinį paketą bei grafinį vaizdavimą. Rezultatų patikimumas vertintas pagal Fišerio kriterijų ir reikšmingumo lygmenį 95 %. Tirtų rodiklių vidutinės vertės ir standartinio nuokrypio vertės apskaičiuotos naudojant MS Excel programinį paketą.

3. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

3.1. Avižinių miltų ir jų ekstrudatų cheminės sudėties komponentų: drėgnio, baltymų ir krakmolo pokyčiai laikymo metu.

3.1.1. Drėgmės kiekis

Visų grūdo dalių avižinių miltų ir iš jų pagamintų ekstrudatų drėgnis buvo tiriama 202 dienų laikymo metu. Tiriamieji mėginiai buvo laikomi kambario temperatūroje sufasuoti į aukšto tankio polietileningus (HDPE) maišelius. Prieš kiekvieną tyrimą ekstrudatai sumalami iki 212 μm dydžio dalelių. Tyrimo rezultatų grafikai pateikti 12 pav.



12 pav. Visų grūdo dalių avižinių miltų (A) ir jų ekstrudatų (B) drėgmės kiekio pokyčiai laikymo metu

Didžiausiu drėgniu išsiskyrė miltų M4 mėginys, o M5 ir M6 mėginių drėgmės kiekis buvo panašus. Muller nuomone, didžiausias avižinių miltų drėgnis gali būti 14 % [81]. Vasquez tyrimuose avižų miltų drėgnis buvo 10,34 % [82], o Wani ir Kumar – 8,59 % [83]. Drėgmės kiekis avižų miltuose gali skirtis dėl jų veislės, auginimo regiono. Laikymo metu avižų miltų drėgmė svyravo, tačiau pokyčiai nebuvo labai dideli, neviršijo 1 % ribų.

Skirtingas miltų drėgnis neturėjo įtakos ekstrudatų drėgniui. Didžiausia drėgnis nustatyta ekstrudatuose E5, o mažiausias – E6 mėginyje. Galima teigti, kad šiam rodikliui gamybos technologiniai parametrai turėjo didesnę įtaką nei miltų drėgnis. Džiovinimo sąlygos turi didžiaią įtaką norimam galutinio produkto drėgniui gauti [84]. Ekstrudatų kaip ir miltų mėginių drėgnis laikymo metu svyravo nežymiai.

3.1.2. Bendras ir tirpių baltymų kiekis

Visų grūdo dalių avižų miltų bendras baltymų ir tirpių baltymų kiekis buvo vertinamas eksperimento pradžioje (po 10 dienų laikymo) ir po 375 dienų. Tyrimų rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Visų grūdo dalių avižinių miltų bendras ir tirpių baltymų kiekis

Mėginio kodas	Bendras baltymų kiekis, % s.m.		Tirpių baltymų kiekis, % s.m.	
	Po 10 dienų	Po 375 dienų	Po 10 dienų	Po 375 dienų
M4	15,44±0,13	15,27±0,12	6,5±0,07	6,8±0,86
M5	14,80±0,36	14,58±0,04	3,11±0,03	3,83±0,24
M6	15,20±0,36	15,74±0,07	2,71±0,09	3,3±0,59

Bendras baltymų kiekis tirtuose avižiniuose miltuose statistiškai reikšmingai nesiskyrė ir svyravo nuo 14,80 % iki 15,44 % s.m. Laikymo metu bendras baltymų kiekis nepakito. Miltų M4 mėginys išsiskyrė didžiausiu tirpių baltymų kiekiu, kuris buvo apie 2 kartus didesnis nei miltų M5 ir M6 mėginiuose. Pakartojus šį tyrimą po 375 dienų, rezultatai parodė, kad visų miltų mėginiuose tirpių baltymų kiekis laikymo metu nepakito. Laikymo metu bendras baltymų ir tirpių baltymų kiekis skyrėsi paklaidų ribose tai rodo, kad tirtuose mėginiuose proteolitiniai fermentai buvo inaktyvuoti.

Skirtingų rūšių avižinių miltų baltymų kiekis gali kisti plačiose ribose. Choi ir kt. nustatė, kad baltymų kiekis avižų grūduose svyruoja nuo 11,13 % iki 14,37 % [85]. Londono ir kt. tyrimų rezultatai parodė, kad baltymų kiekis juose svyruoja nuo 12% iki 20 %, priklausomai nuo avižų auginimo sąlygų ir genotipo [86], Sterna ir kt. duomenimis – nuo 9,70 % iki 17,30 % [87].

Baltymų kiekis avižose gali svyruoti dėl klimato veiksnių tokių kaip drėgmė, temperatūra, fotoperiodas ir radiacija. Veiksniai nebuvo sistemingai įvertinti, bet yra nustatyta, kad avižų baltymų kiekis gali skirtis 3-4 kartus skirtingose geografinėse vietose ar skirtingu sezonu [88]. Baltymų

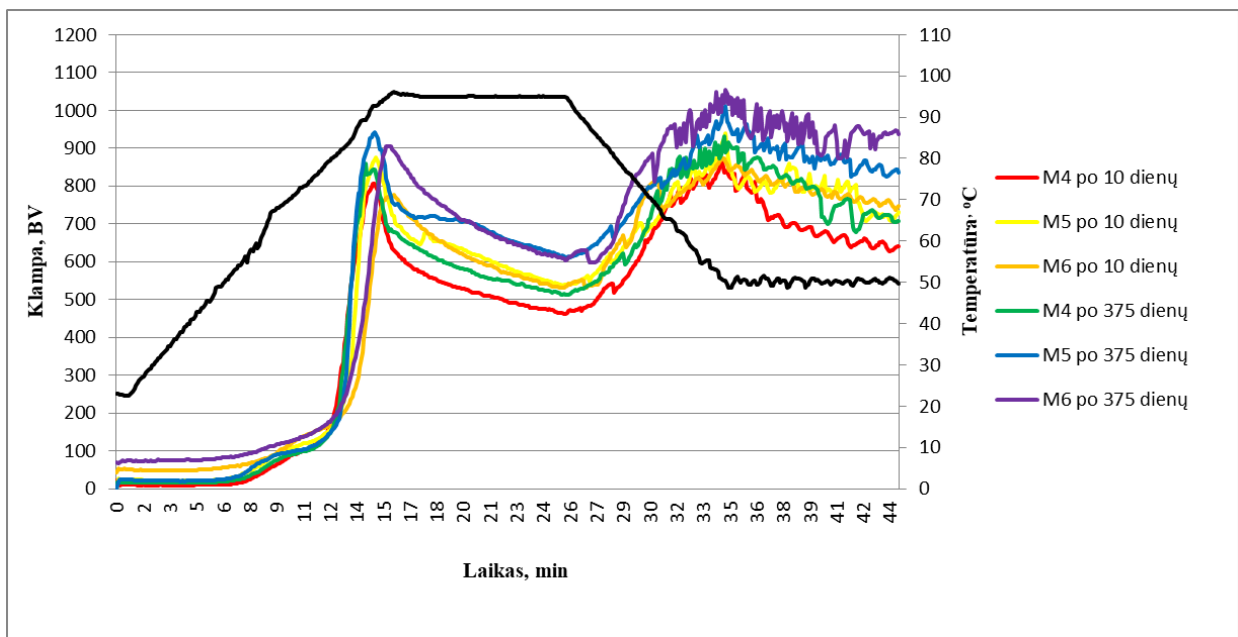
kiekis 33 avių genotipose labiau priklauso nuo auginimo metų nei nuo vietos [89]. Petkov teigia, kad belukščių avių veislių grūdai turi didesnę baltymų kiekį, nei kitų javų grūdai [90].

3.1.3. Avių krakmolo kleisterizacijos ypatumai

Visų grūdo dalių avižinių miltų krakmolo kleisterizacijos savybės buvo tiriamos mikroviskoamilografu laikymo pradžioje (po 10 d.) ir pabaigoje (po 375 d.). Nustatyti tokie parametrai, kaip kleisterizacijos pradžia, didžiausia klampa, pasiekta kaitinant, kaitinimo pabaigoje, šaldymo pabaigoje ir galutinė klampa. Gauti tyrimų rezultatai pateikti 6 lentelėje, o amilogramos – 13 pav.

6 lentelė. Visų grūdo dalių avižinių miltų krakmolo kleisterizacijos rodikliai

Mėginio kodas	Kleisterizacijos pradžia			Didžiausia klampa, pasiekta kaitinant			Klampa kaitinimo pabaigoje, BV	Klampa šaldymo pabaigoje, BV	Galutinė klampa, BV
	Laikas, min	Temp., °C	Klampa, BV	Laikas, min	Temp., °C	Klampa, BV			
M4 po 10 d.	12,16	79,6	189	14,41	91,6	854	462	841	626
M4 po 375 d	12,33	81,3	189	14	89,1	860	519	907	708
M5 po 10 d	12,50	82,0	196	14,58	90,3	876	539	888	730
M5 po 375 d	12,50	81,5	189	14,5	92,8	942	612	970	835
M6 po 10 d	13,00	84,3	216	15,58	95,9	776	537	874	746
M6 po 375 d	12,58	82,3	215	15,25	95,6	906	607	996	938



13 pav. Visų grūdo dalių avižinių miltų amilogramos

Visų tirtų avižinių miltų krakmolo kleisterizacija prasidėjo panašiu laiku – 12-13 min nuo kaitinimo pradžios, pasiekus 79,6 – 84,3 °C temperatūrą. Miltų M4 klampa kleisterizacijos pradžioje siekė 189 BV, M5 – 196 BV ir M6 – 216 BV. Didžiausia klampa kaitinant – 876 BV buvo pasiekta miltų M5 mėginyje. Didžiausia klampa kaitinimo pabaigoje ir klampa šaldymo pabaigoje taip pat nustatyta miltų M5 mėginyje. Didžiausia galutinė klampa išsiskyrė miltų M6 mėginyje – 746 BV. Atlikus krakmolo kleisterizacijos tyrimą po 375 d. miltų laikymo pastebėta, kad kleisterizacijos pradžios rodikliai labai panašūs kaip ir eksperimento pradžioje. Nustatant didžiausią klampą kaitinimo metu, kaitinimo parametrus (temperatūrai ir laikui) miltų laikymo trukmė neturėjo reikšmingos įtakos, tačiau klamos vertės žymiai išaugo. Po 375 d. laikymo M4 mėginio klampa padidėjo nuo 854 iki 860 BV (0,7 %), M5 mėginio – nuo 876 iki 942 BV (7,5 %), M6 mėginio – nuo 776 iki 906 BV (16,8 %). Analogiškos tendencijos nustatytos ir vertinant klamos kaitinimo pabaigoje, šaldymo pabaigoje ir galutinės klamos pokyčius.

Zhou ir kt. nustatė, kad didžiausia avižų krakmolo klampa kaitinant siekia 760-855 BV, galutinė klampa 870-1130 BV [91]. Kiti mokslininkai pateikė, kad didžiausia avižų krakmolo klampa kaitinant svyruoja nuo 787 iki 910 BV [92]. Tyrimo metu gauti rezultatai atitinka moksliniuose straipsniuose pateiktas avižų krakmolo keisterizacijos parametrų vertes.

Du procesai yra susiję su krakmolo kaitinimu – tai kleisterizacija ir gelio susidarymas. Kleisterizacija vyksta, kai krakmolo granulės suyra ir negrįžtamai keičiasi klampa. Granulės pradeda brinkti ir tampa daug kartų didesnės, nei jų įprastas dydis. Avižų krakmolo kleisterizacija prasideda,

esant 56-69 °C temperatūrai. Gelio formavimosi etapas vyksta po kleisterizacijos. Jei krakmolo šildymas tęsiasi, krakmolo granulės toliau absorbuoja kiek įmanomą daugiau skysčių ir klampa toliau didėja [93]. Klampa didėja tol, kol krakmolas granulės suskaldomas [94]. Tyrimai parodė, kad padidėjus temperatūrai nuo 85 iki 95 °C, padidėja avižų krakmolo brinkimo galia ir tirpumas. To priežastimi laikomas avižų krakmolo sudėtyje esantis didelis lipidų kiekis [95].

Krakmolo skilimui laikymo metu įtakos gali turėti įvairūs veiksniai: vandens kiekis, laikymo temperatūra, laikymo trukmė [96]. Sayar ir kiti nustatė, kad lipidai gali padidinti kleisterio klampą dėl lipidų ir krakmolo komplekso susidarymo, taip pat lipidų sąveikos su kitais ingredientais [97]. Todėl, didžiausią miltų M5 mėginio klampą kaitinimo metu ir kaitinimo pabaigoje galima būtų paaiškinti didžiausiu šiuose miltuose esančiu riebalų kiekiu (žr. 3.2.1. sk.).

3.2. Avižų riebalų ypatumai

3.2.1. Riebalų kiekis

Iš visų grūdo dalių avižinių miltų ir jų ekstrdatų riebalai išskirti ekstrakcijos būdu. Išskirtas riebalų kiekis ir jų išeiga pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Laikymo metu iš avižinių miltų ir jų ekstrdatų išskirti riebalų kiekiai ir jų išeigos

Mėginių kodai	Riebalų išskyrimas									
	Po 6 mėn.		Po 7 mėn.		Po 8 mėn.		Po 9 mėn.		Po 10 mėn.	
	Riebalų kiekis, g	Išeiga, %	Riebalų kiekis, g	Išeiga, %	Riebalų kiekis, g	Išeiga, %	Riebalų kiekis, g	Išeiga, %	Riebalų kiekis, g	Išeiga, %
M4	3,87	5,36	4,27	5,45	4,43	5,20	4,19	4,92	3,93	5,03
M5	5,21	6,81	5,47	7,07	6,32	7,11	5,07	6,15	5,00	6,46
M6	3,54	4,67	4,09	5,21	3,08	3,56	3,21	3,78	3,65	4,70
E4	1,70	2,31	1,23	1,51	1,27	1,25	1,24	1,24	1,18	1,21
E5	1,61	2,15	1,90	2,39	2,07	2,05	1,73	1,731	1,69	1,69
E6	1,84	2,49	1,85	2,33	2,38	2,22	1,87	1,87	1,97	1,98

Tirtuose avižiniuose miltuose riebalų kiekis svyravo ribose nuo 3,6 iki 7,1 %. Miltai M5 išsiskyrė didesniu riebalų kiekiu (6,2-7,1 %) lyginans su miltais M4 (4,9-5,5 %) ir M6 (3,6-5,2 %). Laikymo metu riebalų kiekis miltuose ir išeigos svyravo paklaidų ribose. Nors ekstrdatų receptūroje avižiniai miltai sudarė 76 % žaliavų kiekio, iš ekstrdatų išskirtas riebalų kiekis buvo apie 2-3 kartus mažesnis nei iš avižinių miltų, taip pat skirtingas riebalų kiekis miltuose neturėjo įtakos jų kiekiui ekstrdatuose. Camire teigia, kad išekstrahuojamų lipidų kiekio sumažėjimas ekstruzijos metu galimas dėl to, kad lipidai sudaro kompleksus su amiloze ar baltymais [98].

3.2.2. Riebalų rūgščių sudėtis

Nustatyta visų grūdo dalių avižinių miltų ir jų ekstrdatų riebalų rūgščių (RR) kokybinė ir kiekybinė sudėtis pateikta 8 lentelėje. Tyrimų rezultatai parodė, kad avižų riebaluose didžiausią dalį sudaro nesočiosios riebalų rūgštys, vyrauja palmitino, oleino ir linolo rūgštys. Šių riebalų rūgščių kiekis miltų M4 mėginyje sudaro 96,6 %, M5 mėginyje 97,15 % ir M6 mėginyje 97,0 %. Ekstrdatuose šių rūgščių kiekis svyravo 96,73-97,4 % rbose. Kan nustatė, kad avižų riebaluose palmitino, oleino ir linolo rūgščių kiekis sudaro apie 96 % [99]. Zhou duomenimis, avižų riebaluose bendras palmitino, oleino ir linolo rūgščių kiekis sudaro 96,2 % [100]. Tyrimo metu nustatyti avižų riebalų rūgščių kiekiai, atitinka literatūroje pateiktus duomenis. Zadernowski tyrė avižinių miltų ir avižinių ekstrdatų riebalų rūgščių sudėtį nustatė, kad ekstruzijos temperatūra reikšmingai nepakeitė ekstrdatų riebalų rūgščių sudėties [101]. Šio eksperimento metu taip pat nenustatyta reikšmingo skirtumo tarp avižinių miltų ir ekstrdatų riebalų rūgščių sudėties.

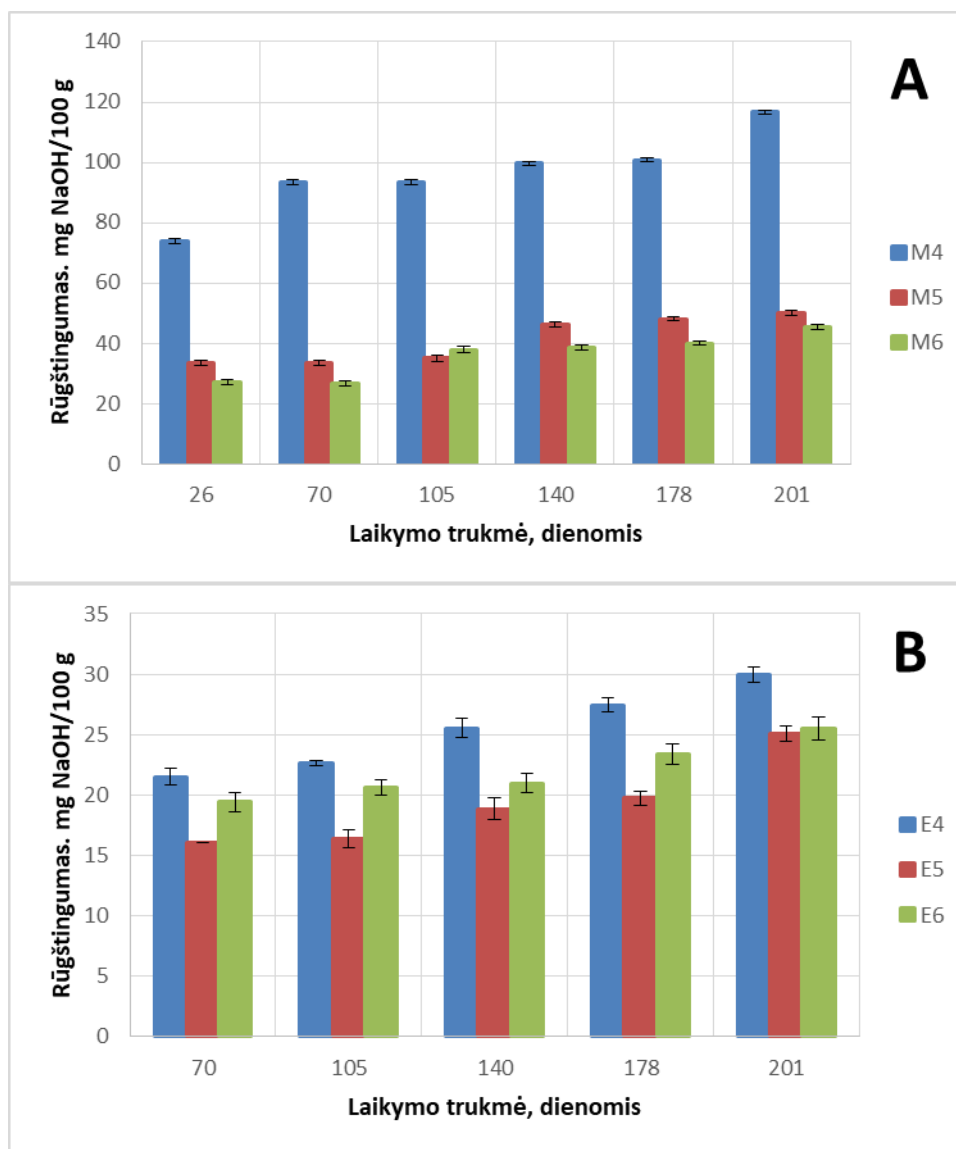
8 lentelė. Visų grūdo dalių avižinių miltų ir jų ekstrdatų RR sudėtis

Nr.	Riebalų rūgštys		Riebalų rūgščių kiekis, %						Riebalų rūgščių kiekis*, %
			M4	M5	M6	E4	E5	E6	
1.	Miristo rūgštis	C14:0	0,35±0,04	0,26±0,12	0,22±0,09	0,31±0,03	0,23±0,03	0,21±0,11	0,3
2.	Palmitino rūgštis	C16:0	16,90±0,10	16,45±0,28	16,44±0,43	17,31±0,38	16,24±0,21	16,30±0,17	16,76
3.	Palmitoleino rūgštis	C16:1	0,12±0,05	0,18±0,02	0,25±0,02	0,18±0,04	0,20±0,03	0,21±0,05	0,16
4.	Stearino rūgštis	C18:0	1,39±0,41	1,41±0,37	1,67±0,12	1,27±0,36	1,32±0,33	1,54±0,15	1,79
5.	Oleino rūgštis	C18:1n9c	38,91±0,11	39,35±0,08	38,81±0,12	38,63±0,24	40,39±0,07	39,06±0,10	40,55
6.	Linolo rūgštis	C18:2n6c	37,98±0,04	38,58±0,10	38,63±0,02	38,21±0,05	38,14±0,12	38,49±0,01	38,54
7.	α – linoleno rūgštis	C18:3n3	0,81±0,05	0,74±0,04	0,78±0,05	0,74±0,02	0,69±0,06	0,70±0,09	0,87
8.	Arahidino rūgštis	C20:0	0,19±0,01	0,18±0,04	0,20±0,02	0,20±0,01	0,19±0,05	0,22±0,02	0,21

*-kiekis nurodytas literatūroje

3.2.3. Riebalų rūgštingumas laikymo metu

Avižinių miltų ir ekstrdatų riebalų rūgštingumo pokyčiai buvo stebimi laikymo 201 d. metu ir pateikti 14 pav.



14 pav. Riebalų rūgštingumo pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstrdatuose

Didžiausiu riebalų rūgštingumu išsiskyrė miltų M4 mėginys, M5 ir M6 mėginių rūgštingumas panašus. To priežastimi galėtų būti tai, kad šie miltai buvo pagaminti anksčiausiai, galėjo skirtis grūdų ir miltų laikymo sąlygos. Laikymo metu riebalų rūgštingumas nuosekliai didėjo: M4 mėginio rūgštingumas nuo laikymo pradžios iki laikymo pabaigos padidėjo 58,1 %, M5 – 49,9 %, M6 – 68,8 %.

Ekstrdatų riebalų rūgštingumas buvo daug mažesnis, nei miltų, tačiau tendencijos išliko tos pačios. Didžiausias rūgštingumas nustatytas E4 mėginyje. Kaip ir miltų, visų ekstrduotų mėginių

rūgštingumas laikymo metu nuosekliai didėjo ir sudarė E4 mėginyje – 39,5 %, E5 – 56,6 %, M6 – 31,4 %. Šiuo atveju galima teigti, kad miltų kokybė turėjo įtakos šiam ekstrudatų kokybės rodikliui Szafranska tyrė grūdų produktus 10 mėn. laikymo 20-25 °C kambario temperatūroje metu ir nustatė, kad avižų dribsnių riebalų rūgštingumas laikymo metu kito nuo 36 iki 114 mg NaOH/ 100g produkto [102]. Mehta nustatė, kad avižinių miltų rūgštingumas 90 d. laikymo metu padidėjo nuo 16 mg NaOH/100g iki 36 mg NaOH/100g [103].

Laikymo metu riebalų rūgštingumas didėja dėl lipidų hidrolizės, veikiant lipazei ir susidarant daugiau laisvų riebalų rūgščių [104, 105]. Eksperimentas parodė, kad ekstruzijos metu avižose lipazė nebuvo visiškai inaktyvuota, todėl tirtuose ekstrudatų mėginiuose riebalų rūgštingumas taip pat didėjo.

3.3. Avižinių miltų ir ekstrudatų funkcinės savybės

Avižinių miltų VII ir TV rezultatai pateikti 9 lentelėje, o jų ekstrudatų 10 lentelėje. Vertinant laikymo įtaką funkcinėms savybėms, tyrimai buvo atliekami du kartus: eksperimento pradžioje po 10 d. ir pabaigoje po 375 d.

9 lentelė. Visų grūdo dalių avižinių miltų VII ir TV tyrimo rezultatai

Kodas	Vandens įgėrimo indeksas (po 10 dienų)	Vandens įgėrimo indeksas (po 375 dienų)	Tirpumas vandenyje, % (po 10 dienų)	Tirpumas vandenyje, % (po 375 dienų)
M4	2,62±0,02	2,71±0,16	4,47±0,05	2,22±0,5
M5	2,64±0,02	2,84±0,04	2,77±0,15	2,19±0,01
M6	4,26±0,003	4,32±0,08	2,27±0,03	0,96±0,08

10 lentelė. Avižinių ekstrudatų VII ir TV tyrimo rezultatai

Kodas	Vandens įgėrimo indeksas (po 10 dienų)	Vandens įgėrimo indeksas (po 375 dienų)	Tirpumas vandenyje, % (po 10 dienų)	Tirpumas vandenyje, % (po 375 dienų)
E4	5,53±0,02	5,86±0,02	6,84±0,61	4,75±0,90
E5	4,91±0,14	5,76±0,20	8,39±0,91	3,82±0,04
E6	4,73±0,04	5,58±0,15	12,14±0,16	5,63±0,08

Tyrimai parodė, kad miltų M4 ir M5 mėginių VII skyresis labai nedaug ir svyravo ribose 2,62-2,64. Miltų M6 mėginio VII buvo beveik du kartus didesnis – 4,26. Miltų laikymo trukmė neturėjo įtakos šiam rodikliui. Atlikus VII tyrimą po 375 dienų, jo vertės padidėjo labai nežymiai, stebima ta pati tendencija: miltų M6 VII (4,32) gerokai didesnis nei M4 ir M5 mėginių (2,71-2,84).

Tiriant TV nustatyta, kad miltų M4 mėginys išsiskyrė didžiausia šio rodiklio verte – 4,47 %. Miltų M5 ir M6 mėginių TV rodiklio vertės buvo 1,7-1,97 karto mažesnės ir svyravo ribose 2,27-2,77 %. Pažymėtina, kad miltų M4 mėginys išsiskyrė apie 2 kartus didesniu tirpių baltymų kiekiu nei miltų

M5 ir M6 mėginiai. Po 375 d. laikymo visų miltų TV rodiklis sumažėjo: M4 ir M6 mėginių TV vertės sumažėjo 2,0-2,4 karto, o M5 mėginio – 21 %. Mokslinėje literatūroje nurodoma, kad avižinių miltų VĮ gali svyruoti 2,83-3,35 ribose, o TV – 2,4-6,27 % ribose [85].

Analizuojant avižinių ekstrudatų funkcinių savybių pokyčius laikymo metu, stebimos tokios pat tendencijos kaip ir miltų tyrimo metu: po 375 d. VĮ šiek tiek padidėjo, o TV ženkliai sumažėjo. Ekstrudatų E4 mėginio TV sumažėjo 1,44 karto, E5 ir E6 mėginių – 2,16-2,2 karto. Tiek VĮ, tiek ir TV vertės ekstrudatuose didesnės, nei miltų mėginiuose, tačiau tiesioginio ryšio tarp šių miltų ir ekstrudatų savybių nepastebėta. Matomai šioms ekstrudatų savybėms ekstruzijos sąlygos turėjo didesnę įtaką nei žaliavos savybės.

Literatūroje pateiktų tyrimų rezultatai taip pat rodo, kad VĮ ir TV priklauso nuo ekstruzijos sąlygų: drėgmės, sraigto sukimosi greičio. Oikonomou ir Krokida, tirdamas ekstrudotų avižų VĮ ir TV priklausomybę nuo ekstruzijos sąlygų, t. y. sraigto greičio, žaliavos padavimo greičio ir žaliavos dėgmės [106]. Wani duomenimis, avižinių ekstrudatų VĮ gali būti 1,01-2,31, o TV – 1,5-2,6 % [107], pagal Cardoso ir Carvalho – atitinkamai, 2,99-4,07 ir 3,0-3,5 % [108]. Oikonomou ir Krokida pateikė dar platesnius ekstrudatų tyrimų rezultatus, čia vandens įgėrimo vertės svyruoja plačiose ribose 1,8-6,4 ir tirpumo vandenyje indeksas 3,3-9,0 [109].

Vandens įgėrimas priklauso nuo hidrofilinių grupių, kurios jungia vandens molekules, ir nuo makromolekulių pajėgumo formuoti gelį [110]. Dauguma tyrimų parodė, kad VĮ didėja, didėjant žaliavos drėgniui. TV suteikia daugiau informacijos apie makromolekulių skilimą, o VĮ labiau susijęs su krakmolo granulių brinkimu [111]. Ding ir kt. teigia, kad padidinus temperatūrą padidėja kleisterizacijos laipsnis, dėl kurio gali padidėti tirpaus krakmolo kiekis ir tai gali padidinti TV rodiklį [112], tai paaiškina, kodėl ekstrudatų mėginių TV vertės didesnės nei miltų. Lee, Ryu ir Lim teigė, kad TV padidėja, kai krakmolo grandinės suskyla į mažesnes dalis [113]. Taip pat VĮ padidėjimas gali būti siejamas su didesniu skaidulinių medžiagų vandens absorbavimo pajėgumu [114]. Avižose yra didesnis skaidulinių medžiagų kiekis (apie 10,6 %) lyginant su jų kiekiu kviečiuose (tik apie 1,5 %) [115].

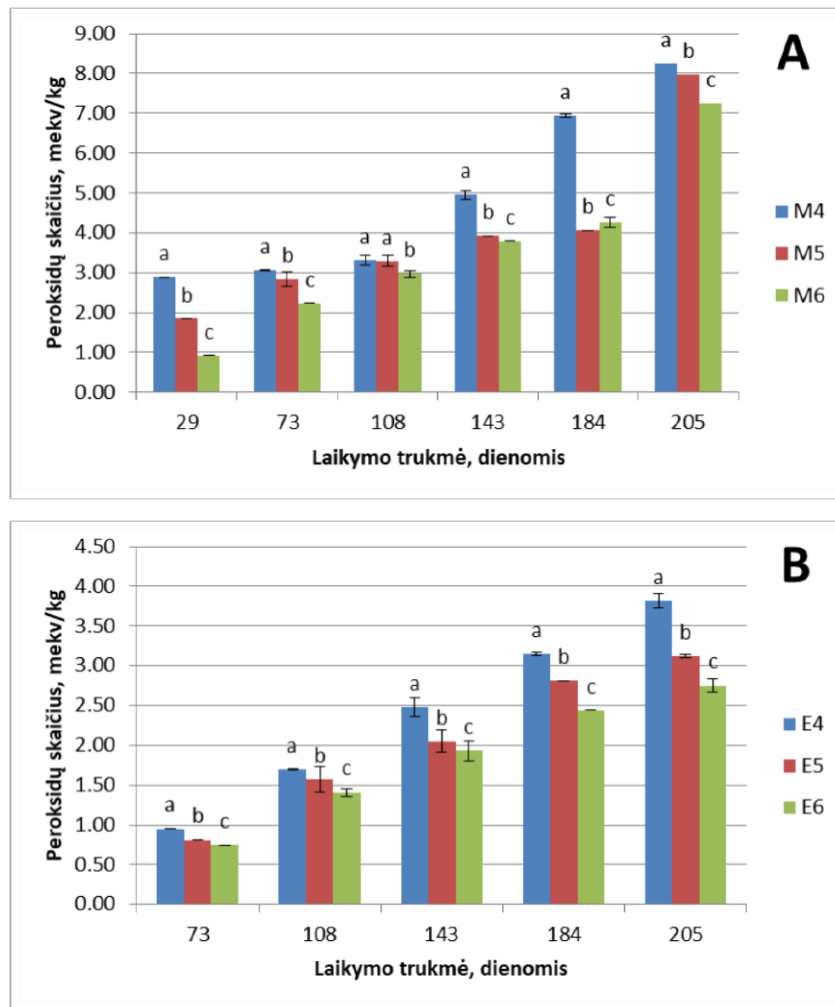
Laikymo metu VĮ galėjo didėti dėl baltymų skilimo, kuris gali įvykti dėl drėgmės ir temperatūros pokyčių laikymo metu [116]. Badrie ir Mellowes nustatė, kad laikymo metu TV rodiklis mažėja, didėjant produktų drėgniui [117]. Vandenyje tirpių angliavandenių kiekio sumažėjimas gali būti siejamas su sumažėjusiu amilopektino skilimu ir netirpių amilozės ir lipidų kompleksų susidarymu, tai nutinka ekstruzijos metu, todėl TV rodiklis ekstrudatuose yra didesnis, nei avižų miltuose [118].

3.4. Ekstruzijos ir laikymo įtaka avižų riebalų oksidaciniam stabilumui

Avižų riebalų rūgščių tyrimai parodė, didžiausią jų dalį sudaro nesočiosios riebalų rūgštys. Dėl dvigubų jungčių šios riebalų rūgštys mažiau atsparios deguonies, temperatūros, šviesos poveikiui, o avižų riebalų oksidacinis stabilumas yra mažas. Šiame darbo etape buvo siekiama išsiaiškinti ekstruzijos ir laikymo trukmės įtaką avižų riebalų oksidaciniam stabilumui.

3.4.1. Peroksidų skaičius

Peroksidų skaičiaus tyrimo avižinių miltų ir jų ekstrdatų laikymo metu rezultatai pateikti 15 pav.



15 pav. Peroksidų skaičiaus pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstrdatuose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$)

Nustatyta, kad laikymo metu peroksidų skaičius avižinių miltų mėginiuose didėjo, tačiau peroksidų skaičius nebuvo labai didelis, nes tyrimo metu miltų tinkamumo vartoti terminas dar nebuvo pasibaigęs. Viso laikymo metu didžiausias peroksidų skaičius nustatytas M4 mėginyje, o mažiausias M6. Laikymo metu M4 mėginyje peroksidų kiekis padidėjo 2,9 karto, M5 – 4,3 karto, M6 – 7,9 karto. Peroksidų skaičius reikšmingai priklausė nuo miltų partijos (pagaminimo datos) ir laikymo trukmės ($p < 0,05$), peroksidų skaičiaus skirtumams eksperimento pradžioje įtakos galėjo turėti skirtingų partijų grūdų laikymo iki perdirbimo sąlygos, avižų genotipo ypatumai.

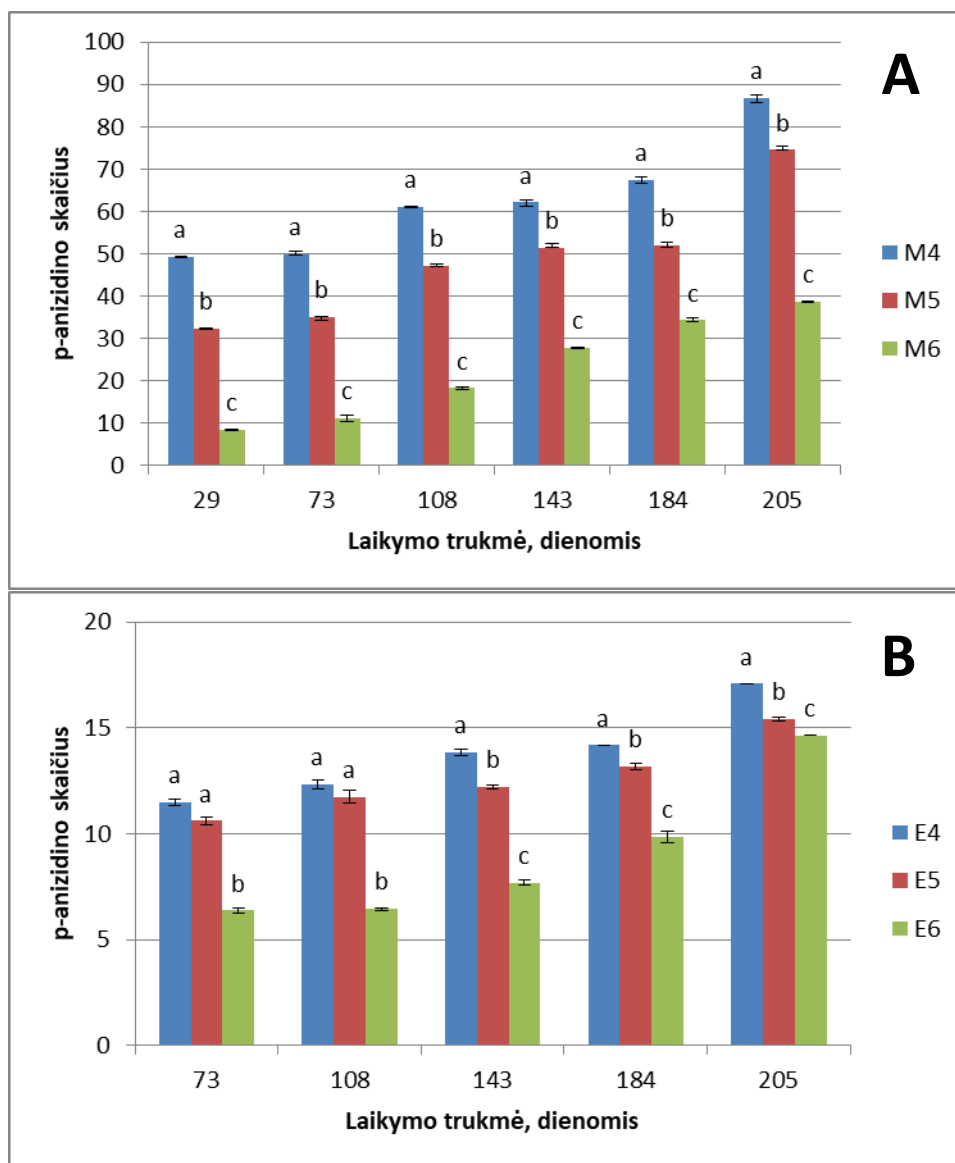
Ekstruzija didino riebalų stabilumą oksidacijai. Ekstrudatuose peroksidų skaičiaus vertės buvo mažesnės nei miltuose, laikymo metu jos nuosekliai didėjo. Statistinė rezultatų analizė parodė, kad peroksidų skaičius ekstrudatuose priklausė nuo ekstrdatų gamybai naudotų avižinių miltų partijos ir jų laikymo trukmės ($p < 0,05$). Kaip ir miltų tyrimo atveju, didžiausias pirminių oksidacijos produktų (peroksidų) kiekis nustatytas E4 mėginyje, o mažiausias – E6. Laikymo metu peroksidų kiekis ekstrudatuose padidėjo E4 – 4 kartus, E5 – 3,9 karto, E6 – 3,7 karto.

Zadernowski ir kt. taip pat tyrė peroksidų skaičių avižiniuose miltuose ir jų ekstrudatus. Buvo nustatyta, kad avižiniuose miltuose peroksidų skaičius buvo 6 mekv/kg, pagamintuose ekstrudatuose peroksidų skaičius svyravo nuo 2,2 iki 3,8 mekv/kg. Ekstrdatų peroksidų skaičius beveik du kartus mažesnis, nes juose mažesnis lipidų kiekis, kuris sumažėja dėl ekstrudavimo [119]. Eksperimento metu nustatyti peroksidų skaičiaus vertės atitinka literatūroje pateiktus duomenis.

Lipidų oksidacija apima nuolatinį hidropersidų, kaip pirminį oksidacijos produktą, susidarymą, kurie gali suskilti į pastovius ir nepastovius antrinius produktus [120]. Hidropersidų susidarymo greitis yra didesnis, nei pirminių oksidacijos produktų skilimo greitis, todėl peroksidų skaičiaus rodiklis yra skirtas nustatyti pirminių oksidacijos produktų kiekį [121]. Peroksidų kiekis priklauso nuo temperatūros, laikymo trukmės, šviesos, deguonies kiekio [122]. Peroksidai yra nestabilūs ir gali skilti į kitus junginius tokius kaip aldehidai, ketonai, bet tuo pačiu metu toliau susidaro nauji peroksidai [123].

3.4.2. Bendras aldehidų kiekis (p-anizidino skaičius)

p-anizidino skaičiaus tyrimo avižinių miltų ir jų ekstrdatų laikymo metu rezultatai pateikti 16 pav.



16 pav. Bendras aldehidų kiekio pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstruduose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$)

p-anizidino skaičiaus kitimo tendencijos avižinių miltų ir jų ekstrudatų laikymo metu buvo tokios pačios, kaip ir peroksidų skaičiaus. Tiek avižinių miltų, tiek jų ekstrudatų laikymo metu p-anizidino skaičius pastoviai didėjo. Viso laikymo metu didžiausios p-anizidino skaičiaus vertės nustatytos miltų M4 ir jų ekstrudatų E4 mėginyje, mažiausios – M6 ir E6. M4 mėginyje aldehidų kiekis padidėjo 1,8 karto, M5 – 2,3 karto, M6 – 4,6 karto, o ekstruduose, atitinkamai – 1,5 karto, 1,5 karto, 2,3 karto. p-anizidino skaičiaus pokyčiams reikšmingą įtaką turėjo pradinė avižų riebalų kokybė ir produktų laikymo trukmė ($p < 0,05$). Mažesni p-anizidino skaičiaus pokyčiai ekstrudatų laikymo metu rodo, kad ekstruzija turėjo teigiamą poveikį riebalų oksidaciniam stabilumui.

Literatūros duomenų apie p-anizidino skaičiaus tyrimus avižų riebaluose nerasta, todėl gauti rezultatai buvo lyginami su sojų aliejaus p-anizidino skaičiaus pokyčiais laikymo metu. Anwar atliko sojų aliejaus tyrimus 6 mėn. laikotarpiu kas 15 dienų. Laikymo sąlygos buvo skirtingos: vieni mėginiai buvo laikomi saulės šviesoje, kiti – tamsoje, uždaroje spintelėje. Tyrimo metu p-anizidino skaičius laikant tamsoje didėjo nuo 1,10 iki 36,13, o saulės šviesoje – nuo 1,10 iki 50,40 [124].

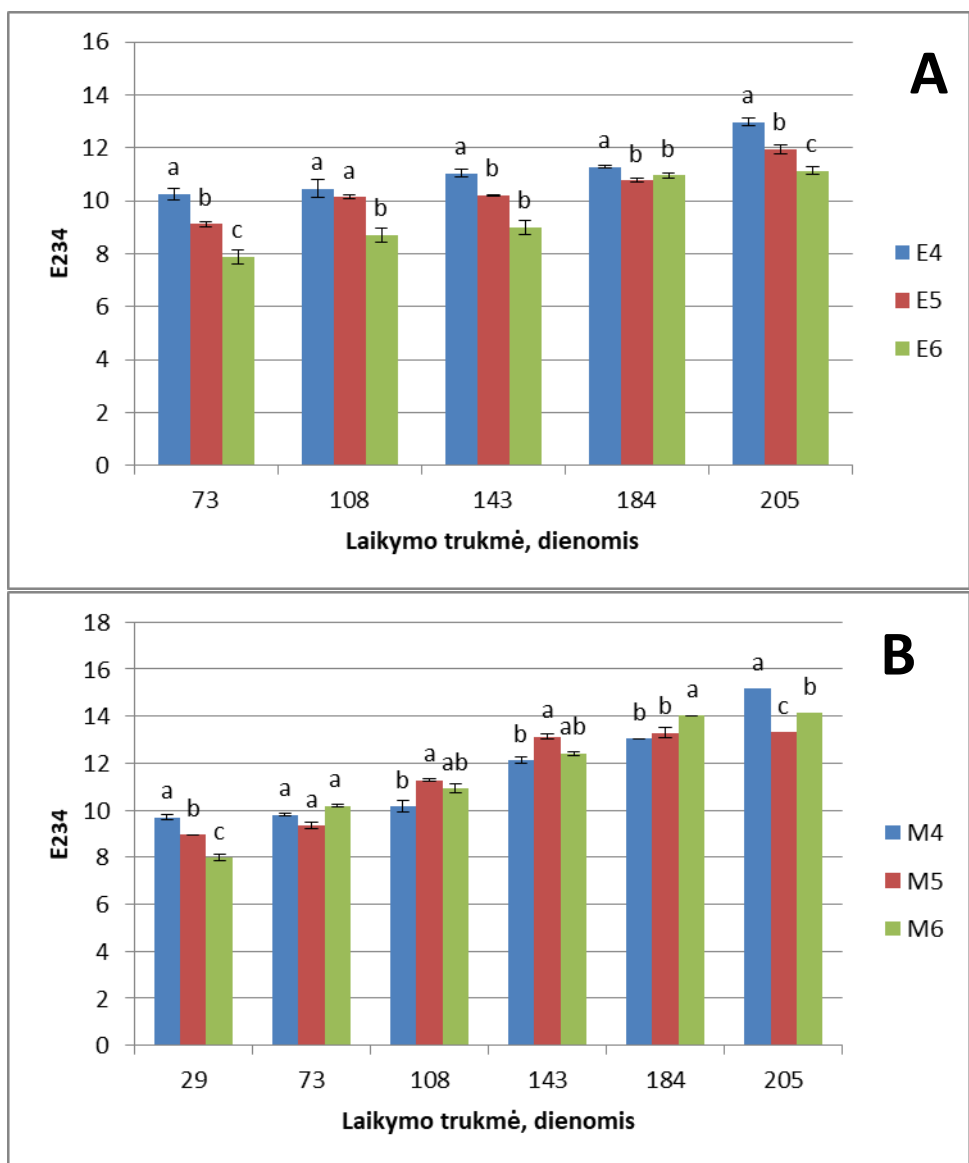
p-anizidino skaičiaus metodu nustatomi antriniai oksidacijos junginiai: 2 alkenaliai ir 2,4-alkadienaliai, susidarantys skylant hidroperoksidams [125]. Literatūroje rašoma, kad p-anizidino skaičiaus nustatymo metodo trūkumas – mažas specifiskumas nustatomiems junginiams, jo vertėms įtakos turi tokie veiksniai, kaip riebalų rūgščių išsidėstymas riebaluose, jų laikymo sąlygos, o tai riboja jo kaip tikslaus ir patikimo tyrimo metodo taikymą vertinant maisto kokybę [126].

p-anizidino reakcija nėra specifinė. Visi aldehydai reaguoja su p-anizidinu, bet nesotieji aldehydai turi didesnę spalvinę atsaką nei sotieji, todėl matavimo rezultatai parodo tik santykinę, o ne absoliučią aldehydų koncentraciją. p-anizidinas taip pat lėtai reaguoja su hidroperoksidais, todėl tai irgi trukdo tiksliai antrinių oksidacijos produktų nustatymui [127].

Schnepf teigia, kad p-anizidino skaičius laikymo metu didėja, nes susidaro aldehydai, o po to ima mažėti, kai aldehydai pasiekia tam tikrą koncentraciją, o po to oksiduojasi arba dalyvauja kondensavimosi reakcijose [128].

3.4.3. Ultravioletinės spinduliuotės sugerties faktorius

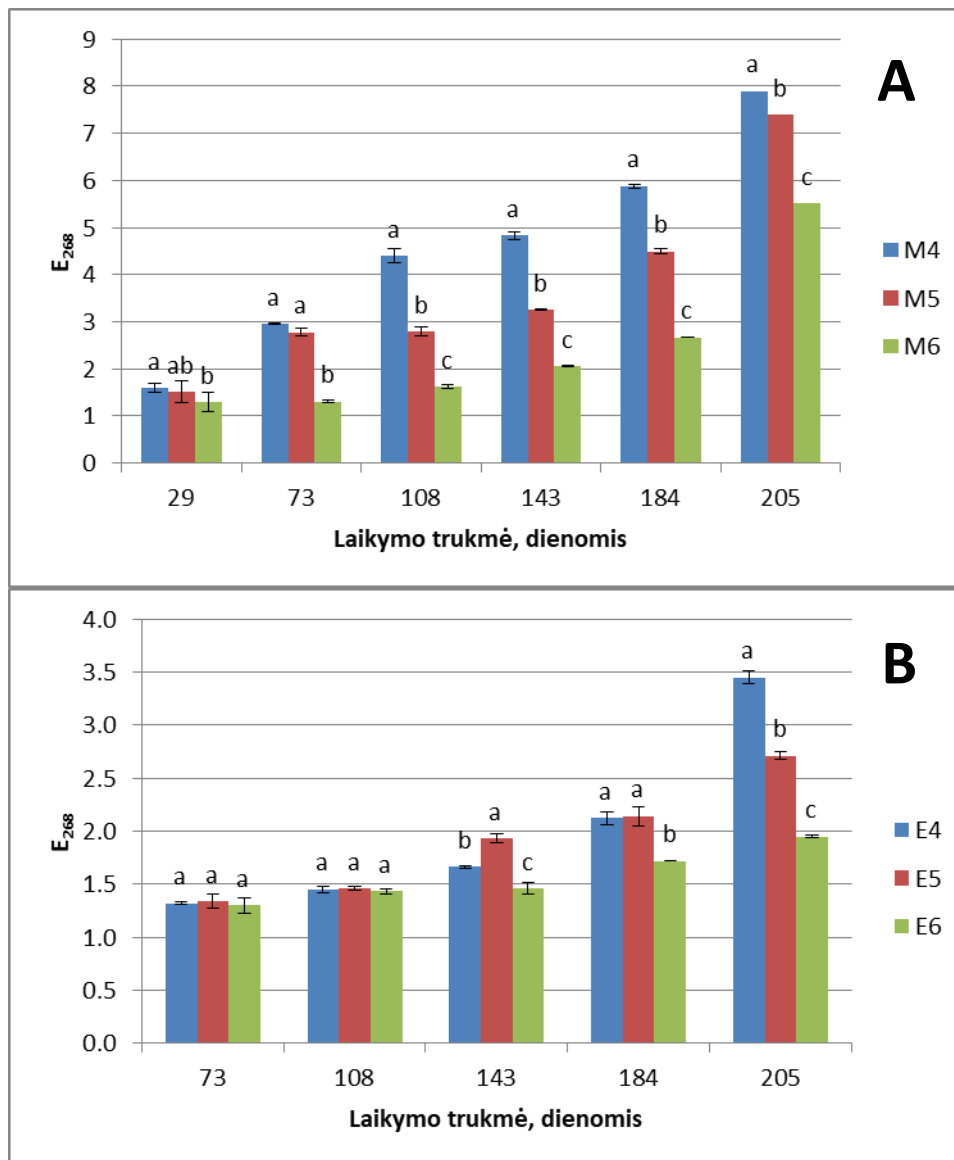
Nesočiųjų riebalų rūgščių oksidacijos produktai – konjuguoti dienai sugeria 234 nm ilgio ultravioletinę spinduliuotę, o konjuguoti trienai – 268 nm ilgio. Konjuguotų dienų ir trienų tyrimo avižinių miltų ir jų ekstraktų laikymo metu rezultatai pateikti, atitinkamai, 17 pav. ir 18 pav.



17 pav. Konjuguotų dienų pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstraktuose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$)

Pradiniame tyrimų etape (laikymo pradžioje) tiriant konjuguotų dienų kiekį, pastebėtos tos pačios tendencijos, kaip ir kitų oksidacijos produktų atveju. Daugiausiai dienų nustatyta, atitinkamai, mėginiuose M4 ir E4, mažiausiai – M6 ir E6. Laikymo metu dienų kiekis didėjo, bet netolygiai, tačiau laikymo trukmės įtaka šių junginių kiekiui buvo statistiškai reikšminga ($p < 0,05$). Po 205 d. laikymo daugiausia dienų susidarė miltuose M4, mažiausias – M5 mėginyje. M4 mėginio riebalų sugerties faktorius padidėjo nuo laikymo pradžios iki laikymo pabaigos 1,6 karto, M5 – 1,5 karto, M6 – 1,8 karto.

Ekstruzija turėjo teigiamą įtaką lėtindama riebalų oksidacijos procesus laikymo metu. Nuo laikymo pradžios iki pabaigos E4 mėginyje dienų kiekis padidėjo 1,3 karto, E5 – 1,3 karto, E6 – 1,4 karto. Blokhina ir kt. tyrė avižų riebalų sugerties faktorių 5 dienų laikotarpyje. Konjuguotų dienų kiekis didėjo nuo 0,1 iki 0,7 [129].



18 pav. Konjuguotų trienų pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstrudatuose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$)

Tiriant konjuguotų trienų kiekį, pradiniam etape skirtinga žaliava neturėjo reikšmingos įtakos šių oksidacijos produktų kiekiui žaliavoje ir ekstrudatuose. Laikymo metu avižinių miltų riebaluose jų kiekis pastoviai didėjo, o pokyčiai buvo didesni nei dienų. M4 mėginyje trienų kiekis padidėjo 5 karto, M5 – 4,9 karto, M6 – 4,2 karto.

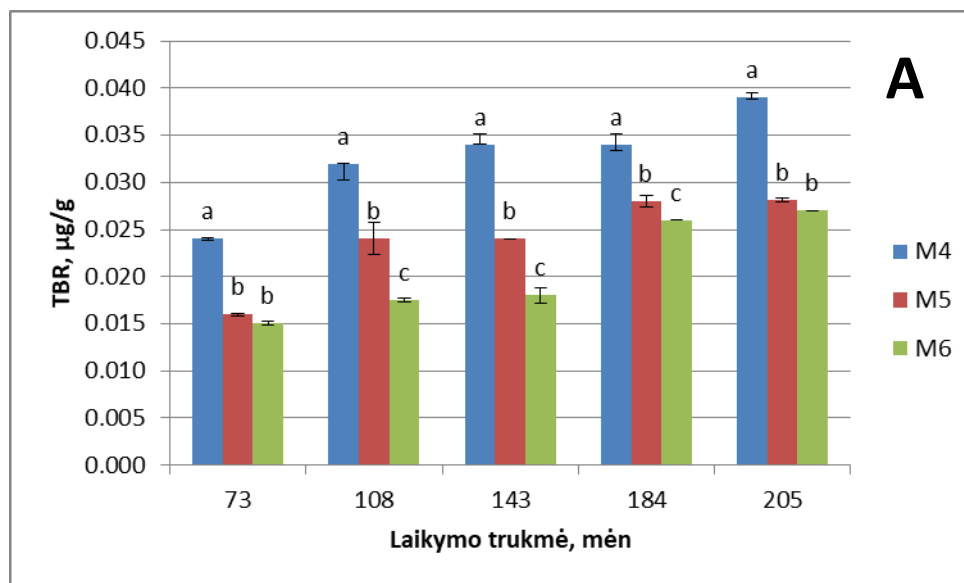
Trienų pokyčiai ekstrudatuose nustatyti mažesni avižiniuose miltuose. Iki 108 laikymo dienos jų kiekis kito labai nežymiai. Tyrimo pabaigoje didžiausias E_{268} sugerties faktorius buvo E4 ir E5 mėginiuose, o mažiausias E6. Laikymo metu E4 mėginyje trienų kiekis padidėjo 2,6 karto, E5 – 2 karo, E6 – 1,5 karto. E5 mėginio trienų pokyčiai nuo 73 iki 108 d., bei nuo 143 iki 184 d. reikšmingai nesiskyrė ($p>0,05$). E6 mėginyje skirtumas nuo 108 iki 143 d. taip pat nebuvo reikšmingas ($p>0,05$).

Blokhina ir kt. taip pat tyrė ir trienų kiekį avižose 5 d. laikotarpyje. Tyrimo pradžioje jų kiekis buvo 0,002, trečią dieną 0,22 ir penktą 0,2 [129].

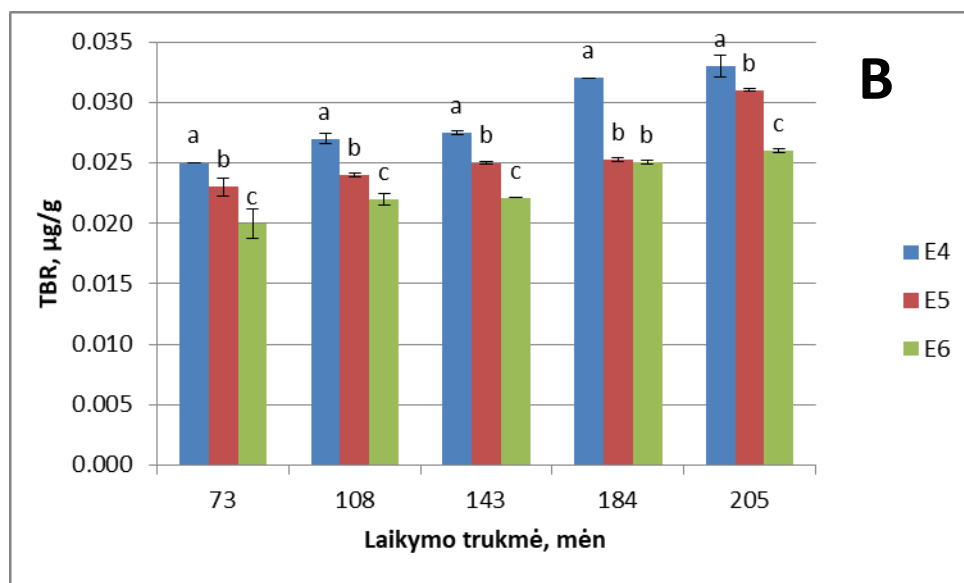
Hidroperoksidai, susidarantys iš nesočiųjų riebalų rūgščių, tokių kaip linolo ir linoleno, turi įtakos konjuguotų dienų susidarymui dėl dvigubų jungčių persitvarkymo. Taip pat palaipsniui susidaro ir konjuguoti trienai [130]. Konjuguotų dienų ir trienų matavimas yra paprastas ir greitas metodas, tačiau yra mažai specifiškas ir jautrus [131], o rezultatams įtakos gali turėti kartu išekstrahuojami kiti junginiai [132].

3.4.4. TBR rodiklis

TBR rodiklis tirtas visų grūdo dalių avižiniuose miltuose ir jų ekstrudatuose. Tyrimo rezultatai pateikti 19 pav.



19 pav. TBR rodiklio pokyčiai laikymo metu: A – visų grūdo dalių avižiniuose miltuose, B – avižiniuose ekstrudatuose. Skirtingų mėginių vidutinės vertės, pažymėtos ta pačia raide, neturi reikšmingo skirtumo ($p > 0,05$)



19 pav. tęsinys

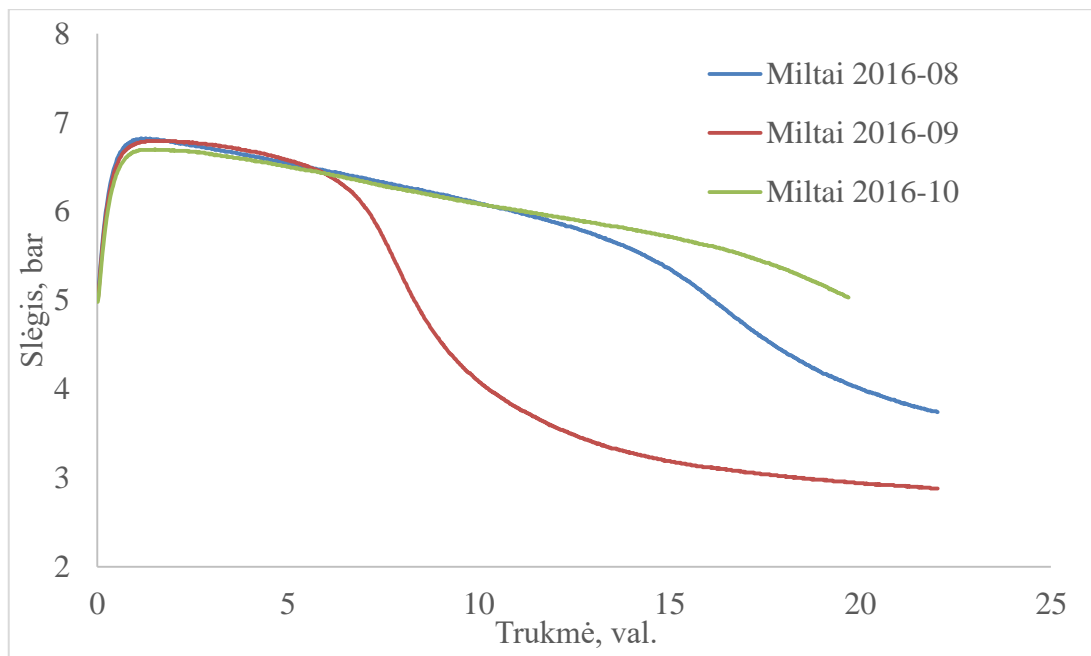
Tiek miltų, tiek jų ekstraktų mėginių tyrimo metu TBR rodiklis kiekis visuose didėjo mėginiuose. Didžiausiomis TBR rodiklio vertėmis išsiskyrė mėginiai M4 ir E4. TBR rodiklio pokyčiai laikymo metu reikšmingai priklausė nuo miltų partijos ir laikymo trukmės ($p < 0,05$).

Literatūroje nerasta duomenų apie TBR rodiklio tyrimus avižų ar jų produktų laikymo metu, todėl palyginamui analizuotas TBR rodiklis ekstruduotuose kukurūzuose. Capriles tyrė TBR rodiklio pokyčius kukurūzų ekstraktų 20 savaičių laikymo metu. Nustatytos TBR rodiklio vertės buvo nuo 0,028 iki 0,079 $\mu\text{g/g}$ [133].

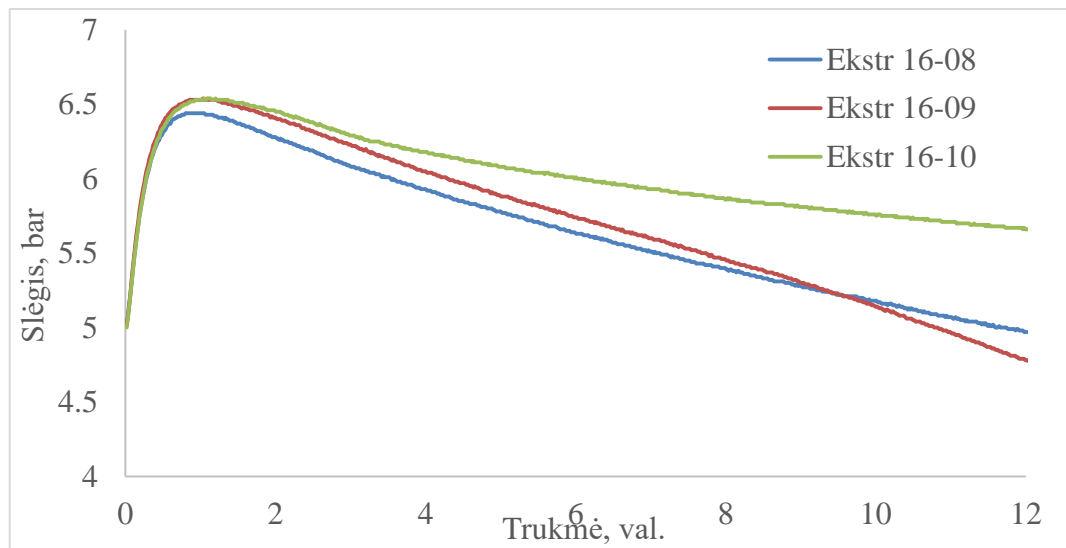
Lipidų oksidacijos metu dėl polinesočiųjų riebalų rūgščių skilimo susidaro riebalų rūgščių junginys su 3 ar daugiau jungtimis – tai malonaldehidas (MA) [134]. MA reaguoja su tiobarbiturine rūgštimi (TBR), sudarant rožinis spalvos kompleksui, kurio spalvos intensyvumas išmatuojamas spektrofotometru, esant bangos ilgiui 530-535 nm [135]. MA reaguoja ne tik su TBR, bet ir su kitomis medžiagomis, todėl šis metodas nėra labai tikslus [136]. Ross ir Smith pastebėjo, kad TBR rodiklio nustatymo metodas geriau tinka vertinant bendrą lipidų oksidaciją, o ne kiekybinei MA analizei [134].

3.4.5. Miltų ir ekstruduotų oksidacinis stabilumas Oksipreso metodu

Avižinių miltų ir jų ekstraktų oksidacijos kinetikos kreivės pateiktos, atitinkamai, 20 ir 21 pav., o indukcinis periodas – 11 lentelėje.



20 pav. Visų grūdo dalių avižinių miltų oksidacinio stabilumo 100 °C temperatūroje kinetikos kreivės Oksipreso metodu



21 pav. Avižinių ekstrudatų oksidacinio stabilumo 100 °C temperatūroje kinetikos kreivės Oksipreso metodu

11 lentelė. Mėginių indukcinis periodas

Mėginys	Indukcinis periodas, val
Miltai 2016-08 (M4)	13,84
Miltai 2016-09 (M5)	6,59
Miltai 2016-10 (M6)	16,49
Ekstr 16-08 (E4)	1,1
Ekstr 16-09 (E5)	1,43
Ekstr 16-10 (E6)	1,81

Didžiausiu oksidaciniu stabilumu pasižymėjo miltų mėginys M6 (IP=16,49 val.), mažiausiai stabilus – M5 (IP=6.59 val.).

Ekstruduoti gaminiai pagal oksidacinį stabilumą išsidėsto tokia seka: E4 < E5 < E6.

Oksipreso metodu tiriant mėginių stabilumą buvo nustatyta, kad mažiausiai stabilūs avižinių miltų mėginiai buvo M5 ir M4, o mažiausiai stabilūs avižų ekstrudatai E4, o labiausiai stabilūs E6.

Tiriant mėginių oksidacinio stabilumo rodiklius laikymo metu: peroksidų skaičių, p-anizidino skaičių, konjuguotų dienų ir trienų pokyčius, TBR rodiklį. Tyrimų rezultatai parodė, kad pirminių ir antrinių oksidacijos produktų daugiausia susidarė avižinių miltų M4 ir M5 mėginiuose, o avižinių ekstrudatų E4 ir E5 mėginiuose. Tokie patys rezultatai buvo nustatyti ir *Oksipreso* metodu.

IŠVADOS

1. Tiriant ekstruzijos ir laikymo trukmės įtaką visų grūdo dalių avižinių miltų cheminės sudėties pokyčiams nustatyta:
 - 1.1. Ekstrudatų drėgnis nepriklausė nuo miltų drėgnio, reikšminę įtaką šiam rodikliui turėjo ekstruzijos technologiniai parametrai.
 - 1.2. Bendras baltymų kiekis miltuose svyravo 14,58-15,74 % s. m. ribose, tirpių baltymų – 2,71-6,8 % s. m. ribose. Didesniu tirpių medžiagų kiekiu išsiskyrė miltai M4, tam įtakos galėjo turėti veislės ir agroklimatinių auginimo sąlygų ypatumai. Bendras ir tirpių baltymų kiekis miltuose laikymo metu kito paklaidų ribose.
 - 1.3. Didžiausia klampa kaitinant (876 BV) išsiskyrė miltai M5, tam įtakos galėjo turėti didžiausias šiuose miltuose nustatytas riebalų kiekis (6,2-7,1 %), kurie gali padidinti kleisterio klampą dėl riebalų ir krakmolo komplekso susidarymo, taip pat riebalų sąveikos su kitais ingredientais. Laikymo metu klamos kaitinant vertės didėjo.
 - 1.4. Avižų riebaluose vyrauja palmitino, oleino ir linolo rūgštys. Jų kiekis miltuose sudarė 96 %, o ekstrudatuose 97 % viso riebalų rūgščių kiekio, ekstruzijos procesas neturėjo reikšmingos įtakos avižų riebalų rūgščių sudėčiai.
 - 1.5. Perdirbamų avižų kokybė turėjo įtakos tiek miltų, tiek ekstrudatų riebalų rūgštingumui. Didžiausias riebalų rūgštingumu išsiskyrė miltai M4 ir iš jų pagaminti ekstrudatai E4. Laikymo metu riebalų rūgštingumas miltuose padidėjo 32,9-40,7 %, o ekstrudatuose – 28,3-36 %.
2. Avižinių miltų ir ekstrudatų funkcinių savybių tyrimas parodė, kad didžiausiu VII išsiskyrė miltai M6 (4,26), o TV – M4 (4,47 %). Miltų laikymo trukmė neturėjo įtakos VII rodikliui, o TV sumažėjo iki 2,4 (M6). Ekstrudatų funkcinių savybių pokyčių laikymo metu tendencijos tokios pat kaip ir miltų, tačiau nepastebėta tiesioginio ryšio tarp miltų ir ekstrudatų savybių, ekstruzijos sąlygos turėjo didesnę įtaką nei žaliavos kokybė.
3. Tiriant ekstruzijos ir laikymo įtaką avižų riebalų oksidaciniam stabilumui nustatyta:
 - 3.1. Perdirbamų avižų kokybė turėjo įtakos riebalų stabilumui: didžiausiu peroksidų skaičiumi ir p-anizidino skaičiumi išsiskyrė produktai M4 ir E4, mažiausiu – M6 ir E6. Laikymo metu mėginyje šių rodiklių vertės padidėjo, atitinkamai, 2,9 (M4) – 7,9 (M6) karto ir 1,8 (M4) – 4,6 (M6) karto. Ekstruzija didino riebalų stabilumą oksidacijai: ekstrudatų laikymo metu šių rodiklių vertės padidėjo, atitinkamai, 3,7 (E6) – 4 (E4) kartus ir 1,5 (E4) – 2,3 (M6) karto.

- 3.2. Konjuguotų dienu ir trienu kiekis miltų laikymo metu didėjo netolygiai, tačiau laikymo trukmės įtaka šių junginių kiekiui buvo statistiškai reikšminga ($p < 0,05$). Skirtinga žaliava neturėjo reikšmingos įtakos trienu kiekiui žaliavoje ir ekstrudatuose. Ekstruzija lėtino šių riebalų oksidacijos produktų susidarymą laikymo metu
- 3.3. TBR rodiklio pokyčiai laikymo metu reikšmingai priklausė nuo miltų partijos ir laikymo trukmės ($p < 0,05$). Didžiausiomis TBR rodiklio vertėmis viso laikymo metu išsiskyrė mėginiai M4 ir E4.
- 3.4. *Oksipreso* metodu gautos oksidacijos 100 °C temperatūroje kinetikos kreivės patvirtino pirminių ir antrinių oksidacijos produktų tyrimo rezultatus, kad perdirbamų avižų kokybė turi svarbią įtaką riebalų oksidaciniam stabilumui tiek miltuose tiek jų ekstrudatuose. Didžiausiu oksidaciniu stabilumu pagal indukcinį periodą išsiskyrė miltai M6 ir jų ekstrudatai E6.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. SINGH M. and UPADHYAYA H.D., *Genetic and genomic resources for grain cereals improvement. USA*, 2016. ISBN:978-12-802000-5 [žiūrėta 2020-06-01]. Prieiga per: <https://books.google.lt/books?id=auXIBAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Genetic+and+Genomic+Resources+for+Grain+Cereals+Improvement&hl=lt&sa=X&ved=0ahUKEwiK1uG6o5HZAhUB1ywKHaZzDDUQ6AEIJzAA#v=onepage&q=oat%20is%20one%20of%20the%20minor%20cereals&f=false>
2. WRIGLEY C., CORKE H. and WALKER C., *Encyclopedia of grain science*
3. PRATAP A. and Kumar J., Alien gene transfer in crop plants, Volume 2. Londonas, 2014. ISBN 978-1-4614-9572-7. pp.51-52 [žiūrėta 2020-06-01]. Prieiga per: <https://books.google.lt/books?id=pVC9BAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Alien+Gene+Transfer+in+Crop+Plants,+Volume+2&hl=lt&sa=X&ved=0ahUKEwjE-OjppHZAhUH6CwKHYbtAHAQ6AEIJzAA#v=onepage&q=ancient%20cereal%20crop&f=false>
4. GORASH, A., et al. Aspects in Oat Breeding: Nutrition Quality, Nakedness and Disease Resistance, Challenges and Perspectives. *Annals of Applied Biology*, 2017.
5. DECKER, E.A., ROSE, D.J. and STEWART, D. Processing of Oats and the Impact of Processing Operations on Nutrition and Health Benefits. *British Journal of Nutrition*, 2014, vol. 112, no. S2. pp. S58-S64.
6. MILLER, S. and FULCHER, R. Oats (Second Edition) Elsevier, 2011 *Microstructure and Chemistry of the Oat Kernel*, pp. 77-94.
7. GRUNDY, M.M., et al. The Impact of Oat Structure and β -Glucan on in Vitro Lipid Digestion. *Journal of Functional Foods*, 2017, vol. 38. pp. 378-388.
8. Arendt Elke K. ir Zannini Emanuele. Cereal grains for the food and beverage [interaktyvus]. Sawston: Cambridge, 2013 [žiūrėta 2020-06-01]. Prieiga per internetą: https://books.google.de/books?id=j_9DAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Cereal+Grains+for+the+Food+and+Beverage+Industries&hl=lt&sa=X&ved=0ahUKEwjChPGskNbpAhXRjqQKHcBxBpEQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Cereal%20Grains%20for%20the%20Food%20and%20Beverage%20Industries&f=false
9. Prieiga per: <http://www.fao.org/3/x2184E/x2184e04.htm> [žiūrėta 2020-06-01].
10. FRAME, N. and HARPER, J.M. *The Technology of Extrusion Cooking*. Springer, 1994.
11. PETERSON, D.M. Oat Antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 2001, vol. 33, no. 2. pp. 115-129.

12. DRZIKOVA, B., DONGOWSKI, G., GEBHARDT, E. and HABEL, A. The Composition of Dietary Fibre-Rich Extrudates from Oat Affects Bile Acid Binding and Fermentation in Vitro. *Food Chemistry*, 2005, vol. 90, no. 1-2. pp. 181-192.
13. WEBSTER F.H. and WOOD P.J, Oats chemistry and technology second edition. Minesota, 2011. ISBN 978-1-891127-64-9. pp. 1-3 [žiūrēta 2020-06-01]. Prieiga per: <https://books.google.lt/books?id=HhIvDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=oats&hl=lt&sa=X&ved=0ahUKEwjsxJfwyPbaAhVLkSwKHXAADAnQQ6AEIJzAA#v=onepage&q=important%20source%20of%20&f=false>
14. Prieiga per: <http://nutritiondata.self.com/facts/cereal-grains-and-pasta/5708/2> [žiūrēta 2020-06-01].
15. LASZTITY, R. *The Chemistry of Cereal Proteins*. Routledge, 2017.
16. WICKLUND, T. and MAGNUS, E. Effect of Extrusion Cooking on Extractable Lipids and Fatty Acid Composition in Sifted Oat Flour. *Cereal Chemistry*, 1997, vol. 74, no. 3. pp. 326-329.
17. LEHTINEN, P. and KAUKOVIRTA-NORJA, A. Oats (Second Edition) Elsevier, 2011 *Oat Lipids, Enzymes, and Quality*, pp. 143-156.
18. BRATT, K., et al. Avenanthramides in Oats (*Avena Sativa* L.) and Structure– Antioxidant Activity Relationships. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, vol. 51, no. 3. pp. 594-600.
19. GUTKOSKI, L.C. and EL DASH, A.A. Efeito do Cozimento Por Extrusão Na Estabilidade Oxidativa De Produtos De Moagem De Aveia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1999, vol. 34, no. 1. pp. 119-127.
20. CHEFTEL, J.C. Nutritional Effects of Extrusion-Cooking. *Food Chemistry*, 1986, vol. 20, no. 4. pp. 263-283.
21. LINKO, P., COLONNA, P. and MERCIER, C. High-Temperature, Short-Time Extrusion Cooking [Cereal Products]. *Advances in Cereal Science and Technology*, 1981.
22. LUSAS, E. and RIAZ, M. An Introduction to Extruders and Extrusion Principles. *Extrusion Communique*, 1994, vol. 7, no. 4. pp. 9-34.
23. HAUCK, B. and HUBER, G. Single Screw Vs Twin Screw Extrusion. *Cereal Foods World (USA)*, 1989.
24. HARPER, J. and TRIBELHORN, R. Expansion of Native Cereal Starch Extrudates. *Food Extrusion Science and Technology*, 1992. pp. 653-667.

25. FRAME, N. The technology of extrusion cooking Springer, 1994 *Operational Characteristics of the Co-Rotating Twin-Screw Extruder*, pp. 1-51.
26. MEUSER, F. and WIEDMANN, W. Extrusion Plant Design. *Extrusion Cooking*, 1989. pp. 91-155.
27. HARPER, J. Food Extruders and their Applications. *Extrusion Cooking*, 1989.
28. ALEXANDER, R. Carbohydrates used as Fat Replacers. *Developments in Carbohydrate Chemistry*, 1992. pp. 343-370.
29. COLONNA, P. Extrusion Cooking of Starch and Starchy Products. *Extrusion Cooking*, 1989. pp. 247-319.
30. GUY, R. *Extrusion Cooking: Technologies and Applications*. Woodhead publishing, 2001.
31. ZHANG, M., BAI, X. and ZHANG, Z. Extrusion Process Improves the Functionality of Soluble Dietary Fiber in Oat Bran. *Journal of Cereal Science*, 2011, vol. 54, no. 1. pp. 98-103.
32. AGUILERA, J.M. and LILLFORD, P.J. *Food Materials Science: Principles and Practice*. Springer Science & Business Media, 2007.
33. GUTKOSKI, L.C. and EL-DASH, A.A. Extrusion Cooking Effects on Oxidative Stability of Oat Coarse Milling Product. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1999, vol. 34, no. 1. pp. 119-127.
34. FRAME, N. and HARPER, J.M. *The Technology of Extrusion Cooking*. Springer, 1994.
35. CAMIRE, M.E. and DOUGHERTY, M.P. Added Phenolic Compounds Enhance Lipid Stability in Extruded Corn. *Journal of Food Science*, 1998, vol. 63, no. 3. pp. 516-518
36. RAO, S. and ARTZ, W. Effect of Extrusion on Lipid Oxidation. *Journal of Food Science*, 1989, vol. 54, no. 6. pp. 1580-1583.
37. ZADERNOWSKL, R., NOWAK-POLAKOWSKA, H. and RASHED, A.A. THE INFLUENCE of HEAT TREATMENT ON the ACTIVITY of LIPO-AND HYDROPHILIC COMPONENTS of OAT GRAIN. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1999, vol. 23, no. 3. pp. 177-191.
38. GUTH, H. and GROSCH, W. Flavour Changes of Oat Meal Extrusion Products during Storage. *Developments in Food Science*, 1994.
39. LAI, L. and KOKINI, J. Physicochemical Changes and Rheological Properties of Starch during Extrusion.(a Review). *Biotechnology Progress*, 1991, vol. 7, no. 3. pp. 251-266.
40. THACHIL, M.T., CHOUKSEY, M.K. and GUDIPATI, V. Amylose-lipid Complex Formation during Extrusion Cooking: Effect of Added Lipid Type and Amylose Level on corn-based Puffed Snacks. *International Journal of Food Science & Technology*, 2014, vol. 49, no. 2. pp. 309-316.

41. SHAHIDI, F. Antioxidants in Food and Food Antioxidants. *Food/nahrung*, 2000, vol. 44, no. 3. pp. 158-163.
42. YANISHLIEVA, N.V. and MARINOVA, E.M. Stabilisation of Edible Oils with Natural Antioxidants. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2001, vol. 103, no. 11. pp. 752-767.
43. VERCELLOTTI, J., ST. ANGELO, A.J. and SPANIER, A.M. ACS Publications, 1992 *Lipid Oxidation in Foods: An Overview*.
44. KAMAL-ELDIN, A. *Lipid Oxidation Pathways*. AOCS Publishing, 2003.
45. ZHU, X., SCHAICH, K., CHEN, X. and YAM, K. Antioxidant Effects of Sesamol Released from Polymeric Films on Lipid Oxidation in Linoleic Acid and Oat Cereal. *Packaging Technology and Science*, 2013, vol. 26, no. 1. pp. 31-38.
46. LABUZA, T.P. and DUGAN JR, L. Kinetics of Lipid Oxidation in Foods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 1971, vol. 2, no. 3. pp. 355-405.
47. CHOE, E. and MIN, D.B. Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2006, vol. 5, no. 4. pp. 169-186.
48. SHAHIDI, F. and WANASUNDARA, U.N. Methods for Measuring Oxidative Rancidity in Fats and Oils. *Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology*, 2002. pp. 387-403.
49. DOBARGANES, M.C. and VELASCO, J. Analysis of Lipid Hydroperoxides. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2002, vol. 104, no. 7. pp. 420-428.
50. RUÍZ, A. and LENDL, B. A Rapid Method for Peroxide Value Determination in Edible Oils Based on Flow Analysis with Fourier Transform Infrared Spectroscopic Detection. *Analyst*, 2001, vol. 126, no. 2. pp. 242-246.
51. ANTOLOVICH, M., et al. Methods for Testing Antioxidant Activity. *Analyst*, 2002, vol. 127, no. 1. pp. 183-198.
52. YILDIZ, G., WEHLING, R.L. and CUPPETT, S.L. Comparison of Four Analytical Methods for the Determination of Peroxide Value in Oxidized Soybean Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2003, vol. 80, no. 2. pp. 103-107.
53. EYMARD, S. and GENOT, C. A Modified Xylenol Orange Method to Evaluate Formation of Lipid Hydroperoxides during Storage and Processing of Small Pelagic Fish. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2003, vol. 105, no. 9. pp. 497-501.

54. WANASUNDARA, U.N., SHAHIDI, F. and JABLONSKI, C.R. Comparison of Standard and NMR Methodologies for Assessment of Oxidative Stability of Canola and Soybean Oils. *Food Chemistry*, 1995, vol. 52, no. 3. pp. 249-253.
55. YANISHLIEVA, N.V. and MARINOVA, E.M. Stabilisation of Edible Oils with Natural Antioxidants. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2001, vol. 103, no. 11. pp. 752-767.
56. FERNÁNDEZ, J., PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. and FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.A. Thiobarbituric Acid Test for Monitoring Lipid Oxidation in Meat. *Food Chemistry*, 1997, vol. 59, no. 3. pp. 345-353.
57. HERNÁNDEZ-GÓMEZ, L.F., ÚBEDA, J. and BRIONES, A. Melon Fruit Distillates: Comparison of Different Distillation Methods. *Food Chemistry*, 2003, vol. 82, no. 4. pp. 539-543.
58. SALIH, A., SMITH, D., PRICE, J. and DAWSON, L. Modified Extraction 2-Thiobarbituric Acid Method for Measuring Lipid Oxidation in Poultry. *Poultry Science*, 1987, vol. 66, no. 9. pp. 1483-1488.
59. PIKUL, J., LESZCZYNSKI, D.E. and KUMMEROW, F.A. Evaluation of Three Modified TBA Methods for Measuring Lipid Oxidation in Chicken Meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1989, vol. 37, no. 5. pp. 1309-1313.
60. RAHARJO, S., SOFOS, J.N. and SCHMIDT, G.R. Improved Speed, Specificity, and Limit of Determination of an Aqueous Acid Extraction Thiobarbituric Acid-C18 Method for Measuring Lipid Peroxidation in Beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, vol. 40, no. 11. pp. 2182-2185.
61. TARLADGIS, B.G., WATTS, B.M., YOUNATHAN, M.T. and DUGAN, L. A Distillation Method for the Quantitative Determination of Malonaldehyde in Rancid Foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1960, vol. 37, no. 1. pp. 44-48.
62. TARLADGIS, B.G., WATTS, B.M., YOUNATHAN, M.T. and DUGAN, L. A Distillation Method for the Quantitative Determination of Malonaldehyde in Rancid Foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1960, vol. 37, no. 1. pp. 44-48.
63. DE LAS HERAS, A., SCHOCH, A., GIBIS, M. and FISCHER, A. Comparison of Methods for Determining Malondialdehyde in Dry Sausage by HPLC and the Classic TBA Test. *European Food Research and Technology*, 2003, vol. 217, no. 2. pp. 180-184.
64. ARDINE, D., ANTOLOVICH, M., PRENZLER, P.D. and ROBARDS, K. Liquid Chromatography– Mass Spectrometry (LC-MS) Investigation of the Thiobarbituric Acid Reactive

Substances (TBARS) Reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, no. 6. pp. 1720-1724.

65. SUN, Q., et al. Aldehyde Reactivity with 2-Thiobarbituric Acid and TBARS in Freeze-Dried Beef during Accelerated Storage. *Meat Science*, 2001, vol. 57, no. 1. pp. 55-60.

66. MARCUSE, R. and POKORNÝ, J. Higher Correlation with Sensory Evaluation of Oxidative Rancidity by Modified TBA Test. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 1994, vol. 96, no. 5. pp. 185-187.

67. DE AZEVEDO GOMES, H., DA SILVA, E.N., do Nascimento, Marcos Roberto Lopes and FUKUMA, H.T. Evaluation of the 2-Thiobarbituric Acid Method for the Measurement of Lipid Oxidation in Mechanically Deboned Gamma Irradiated Chicken Meat. *Food Chemistry*, 2003, vol. 80, no. 3. pp. 433-437.

68. van der Merwe, Gretel H, DU PLESSIS, L.M. and TAYLOR, J. Changes in Chemical Quality Indices during long-term Storage of palm-olein Oil Under Heated Storage and transport-type Conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004, vol. 84, no. 1. pp. 52-58.

69. DOLESCHALL, F., KEMÉNY, Z., RECSEG, K. and KÖVÁRI, K. A New Analytical Method to Monitor Lipid Peroxidation during Bleaching. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2002, vol. 104, no. 1. pp. 14-18.

70. GUILLÉN, M.D. and CABO, N. Fourier Transform Infrared Spectra Data Versus Peroxide and Anisidine Values to Determine Oxidative Stability of Edible Oils. *Food Chemistry*, 2002, vol. 77, no. 4. pp. 503-510.

71. WARNER, K. and ESKIN, M. *Methods to Access Quality and Stability of Oils and Fat-Containing Foods*. AOCS Publishing, 1995.

72. Anderson, R.A.; Conway, H.F.; Pfeifer, V.F.; Griffin, E.L. gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 1969, 14(1), 4-12.

73. LST EN ISO 20483:2014. *Varpinių ir ankštinių javų grūdai. Azoto kiekio nustatymas ir žaliųjų baltymų kiekio skaičiavimas. Kjeldalio metodas.*

74. LST EN ISO 712:2010. *Grūdai ir jų produktai. Drėgmės kiekio nustatymas.*

75. LST ISO 7305:2019. *Maltų grūdų produktai. Riebalų rūgštingumo nustatymas.*

76. LST EN ISO 12966-1:2015. *Gyvūniniai ir augaliniai riebalai ir aliejus. Riebalų rūgščių metilesterių dujų chromatografija. 1 dalis. Riebalų rūgščių metilesterių modernios dujų chromatografijos gairės (ISO 12966-1:2014)*

77. LST EN ISO 3960:2017. *Gyvūniniai ir augaliniai riebalai ir aliejus. Peroksidų skaičiaus nustatymas. Jodometrinis (vizualus) nustatymas pagal ekvivalentinį tašką.*
78. LST EN ISO 6885:2016. *Gyvūniniai ir augaliniai riebalai ir aliejus. Anizidino skaičiaus nustatymas.*
79. LST EN ISO 3656:2011. *Gyvūniniai ir augaliniai riebalai ir aliejus. Ultravioletinės spinduliuotės sugerties faktoriaus, išreikšto savitąja UV ekstinkcija.*
80. Hoyland, D. V. & Taylor, A. J. (1989). A modified distillation method for the detection of fat oxidation in foods. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 24, 153-61.
81. Prieiga per:
<https://www.norganic.no/wpcontent/uploads/2017/06/Whole20oat20flour2014062.pdf> [žiūrėta 2020-06-01].
82. VÁSQUEZ, F., et al. Effect of Low Degrees of Substitution in Wheat Flour with Sorghum, Oat Or Corn Flours on Physicochemical Properties of Composite Flours. *Cogent Food & Agriculture*, 2016, vol. 2, no. 1. pp. 1269979.
83. WANI, S. and KUMAR, P. Effect of Incorporation Levels of Oat and Green Pea Flour on the Properties of an Extruded Product and their Optimization. *Acta Alimentaria*, 2016, vol. 45, no. 1. pp. 28-35.
84. GUY, R. *Extrusion Cooking: Technologies and Applications*. Woodhead publishing, 2001.
85. CHOI, I., et al. Hydration and Pasting Properties of Oat (*Avena Sativa*) Flour. *Preventive Nutrition and Food Science*, Mar, 2012, vol. 17, no. 1. pp. 87-91 ISSN 2287-1098; 2287-1098. DOI 10.3746/pnf.2012.17.1.087 [doi].
86. Londono, D. M., van't Westende, W. P. C., Goryunova, S., Salentjin, E. M. J., van den Broeck, H. C., van der Meer, I. M., Visser, R. G. F., Gilissen, L. J. W. J., Smulders, M. J. M. (2013). Avenin diversity analysis of the genus *Avena* (oat). Relevance for people with celiac disease. *J. Cereal Sci.*, 58, 170–177
87. STERNA, V., ZUTE, S. and BRUNAVA, L. Oat Grain Composition and its Nutrition Benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2016, vol. 8. pp. 252-256.
88. FORSBERG, R.A. and REEVES, D.L. The Oat Crop Springer, 1995 *Agronomy of Oats*, pp. 223-251.
89. NIE, L., WISE, M.L., PETERSON, D.M. and MEYDANI, M. Avenanthramide, a Polyphenol from Oats, Inhibits Vascular Smooth Muscle Cell Proliferation and Enhances Nitric Oxide

Production. *Atherosclerosis*, 20050901, Jun, 2006, vol. 186, no. 2. pp. 260-266 ISSN 0021-9150; 0021-9150. DOI S0021-9150(05)00478-8 [pii].

90. BIEL, W., BOBKO, K. and MACIOROWSKI, R. Chemical Composition and Nutritive Value of Husked and Naked Oats Grain. *Journal of Cereal Science*, 2009, vol. 49, no. 3. pp. 413-418.

91. ZHOU, M., ROBARDS, K., GLENNIE-HOLMES, M. and HELLIWELL, S. Structure and Pasting Properties of Oat Starch. *Cereal Chemistry*, 1998, vol. 75, no. 3. pp. 273-281.

92. ŠUBARIĆ, D., et al. Isolation and Characterisation of Starch from Different Barley and Oat Varieties. *Czech Journal of Food Sciences*, 2011, vol. 29, no. 4. pp. 354-360.

93. Crosbie G, Ross A. The RVA handbook. 1. Minnesota: AACCI international;2007

94. Damodaran S., Parkin K.L., & Fennema O.R. Fennema's food chemistry. 4. New York: Taylor & Francis Group;2008.

95. Hartunian - Sowa M, White P.J. Characterization of starch isolated from oat groats with different amounts of lipid. *Cereal Chemistry*. 1992;69:521-527

96. WANG, S., et al. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2015, vol. 14, no. 5. pp. 568-585.

97. SAYAR, S., KOKSEL, H. and TURHAN, M. The Effects of Protein-Rich Fraction and Defatting on Pasting Behavior of Chickpea Starch. *Starch-stärke*, 2005, vol. 57, no. 12. pp. 599-604

98. SINGH, S., GAMLATH, S. and WAKELING, L. Nutritional Aspects of Food Extrusion: A Review. *International Journal of Food Science & Technology*, 2007, vol. 42, no. 8. pp. 916-929.

99. KAN, A. Characterization of the Fatty Acid and Mineral Compositions of Selected Cereal Cultivars from Turkey. *Records of Natural Products*, 2015, vol. 9, no. 1. pp. 124.

100. ZHOU, M., ROBARDS, K., GLENNIE-HOLMES, M. and HELLIWELL, S. Oat Lipids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1999, vol. 76, no. 2. pp. 159-169.

101. ZADERNOWSKI, R., NOWAK-POLAKOWSKA, H., WICKLUND, T. and FORNAL, Ł. Changes in Oat Lipids Affected by Extrusion. *Molecular Nutrition & Food Research*, 1997, vol. 41, no. 4. pp. 224-227.

102. SZAFRAŃSKA, A. Fat Acidity as a Factor of Deterioration Changes during Cereal Products Storage.

103. MEHTA, B. and JOOD, S. Organoleptic Acceptability, Nutritional Properties and Shelf Life of Oat Based Gluten Free Instant Idli. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 2018, vol. 7, no. 3. pp. 1777-1787.

104. Karaoğlu, M. M., Aydeniz, M., Kotancılar, H. G., & Gerçelaslan, K. E. (2010). A comparison of the functional characteristics of wheat stored as grain with wheat stored in spike form. *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 38–477
105. BARGALE, P., et al. Mechanical Oil Expression from Extruded Soybean Samples. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1999, vol. 76, no. 2. pp. 223-229.
106. Prieiga per: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942910903160422> [žiūrėta 2020-06-01].
107. A WANI, S., SOLANKE, N. and KUMAR, P. Extruded Product Based on Oat and Fenugreek and their Storage Stability. *Current Nutrition & Food Science*, 2015, vol. 11, no. 1. pp. 78-84.
108. CARDOSO, M.A.P., et al. Oat Fibers Modification by Reactive Extrusion with Alkaline Hydrogen Peroxide. *Polímeros*, 2016, vol. 26, no. 4. pp. 320-326.
109. OIKONOMOU, N. and KROKIDA, M. Literature Data Compilation of WAI and WSI of Extrudate Food Products. *International Journal of Food Properties*, 2011, vol. 14, no. 1. pp. 199-240.
110. GOMEZ, M. and AGUILERA, J. Changes in the Starch Fraction during extrusion-cooking of Corn. *Journal of Food Science*, 1983, vol. 48, no. 2. pp. 378-381.
111. YAĞCI, S. and GÖĞÜŞ, F. Response Surface Methodology for Evaluation of Physical and Functional Properties of Extruded Snack Foods Developed from Food-by-Products. *Journal of Food Engineering*, 2008, vol. 86, no. 1. pp. 122-132.
112. DING, Q., AINSWORTH, P., TUCKER, G. and MARSON, H. The Effect of Extrusion Conditions on the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Rice-Based Expanded Snacks. *Journal of Food Engineering*, 2005, vol. 66, no. 3. pp. 283-289.
113. LEE, E.Y., RYU, G. and LIM, S. Effects of Processing Parameters on Physical Properties of Corn Starch Extrudates Expanded using Supercritical CO₂ Injection. *Cereal Chemistry*, 1999, vol. 76, no. 1. pp. 63-69.
114. CHAPLIN, M.F. Fibre and Water Binding. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2003, vol. 62, no. 1. pp. 223-227.
115. ANDERSON, R. A. 2127301. Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products. *Cereal Chemistry*, 1982, 59.4: 265-0
116. SEFA-DEDEH, S. and SAALIA, F. Extrusion of maize–cowpea Blends in a Modified Oil Expeller. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1997, vol. 73, no. 2. pp. 160-168.

117. BADRIE, N. and MELLOWES, W. Effect of Extrusion Variables on Cassava Extrudates. *Journal of Food Science*, 1991, vol. 56, no. 5. pp. 1334-1337.
118. HASHIMOTO, J.M., et al. Effect of Processing Conditions on some Functional Characteristics of extrusion-cooked Cassava starch/wheat Gluten Blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, vol. 82, no. 8. pp. 924-930.
119. ZADERNOWSKI, R., NOWAK-POLAKOWSKA, H., WICKLUND, T. and FORNAL, Ł. Changes in Oat Lipids Affected by Extrusion. *Molecular Nutrition & Food Research*, 1997, vol. 41, no. 4. pp. 224-227.
120. DOBARGANES, M.C. and VELASCO, J. Analysis of Lipid Hydroperoxides. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2002, vol. 104, no. 7. pp. 420-428.
121. RUÍZ, A. and LENDL, B. A Rapid Method for Peroxide Value Determination in Edible Oils Based on Flow Analysis with Fourier Transform Infrared Spectroscopic Detection. *Analyst*, 2001, vol. 126, no. 2. pp. 242-246.
122. POPA, M., et al. Study on Peroxide Values for Different Oils and Factors Affecting the Quality of Sunflower Oil. *Scientific Papers-Series e-Land Reclamation Earth Observation & Surveying Environmental Engineering*, 2017, vol. 6. pp. 137-140.
123. LIN, X., et al. California Almond Shelf Life: Lipid Deterioration during Storage. *Journal of Food Science*, 2012, vol. 77, no. 6.
124. ANWAR, F., CHATHA, S.A.S. and HUSSAIN, A.I. Assessment of Oxidative Deterioration of Soybean Oil at Ambient and Sunlight Storage. *Grasas y Aceites*, 2007, vol. 58, no. 4. pp. 390-395.
125. GORDON, M.H., PAIVA-MARTINS, F. and ALMEIDA, M. Antioxidant Activity of Hydroxytyrosol Acetate Compared with that of Other Olive Oil Polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, vol. 49, no. 5. pp. 2480-2485.
126. HU, M. and JACOBSEN, C. *Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats*. Elsevier, 2016.
127. WILLIAMS, D.S., MEYER, T.J. and WHITE, P.S. Preparation of Osmium (II) Nitrosyls by Direct Oxidation of Osmium (VI) Nitrides. *Journal of the American Chemical Society*, 1995, vol. 117, no. 2. pp. 823-824.
128. SCHNEPF, M., SPENCER, G. and CARLORT, J. Chemical and Sensory Characteristics of Stored Menhaden oil/soybean Oil Blends. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1991, vol. 68, no. 5. pp. 281-284.

129. BLOKHINA, O.B., FAGERSTEDT, K.V. and CHIRKOVA, T.V. Relationships between Lipid Peroxidation and Anoxia Tolerance in a Range of Species during post-anoxic Reaeration. *Physiologia Plantarum*, 1999, vol. 105, no. 4. pp. 625-632.
130. SHAHIDI, F. and ZHONG, Y. Lipid Oxidation: Measurement Methods. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 2005.
131. ANTOLOVICH, M., et al. Methods for Testing Antioxidant Activity. *Analyst*, 2002, vol. 127, no. 1. pp. 183-198.
132. SHAHIDI, F. and WANASUNDARA, U.N. Methods for Measuring Oxidative Rancidity in Fats and Oils. *Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology*, 2002. pp. 387-403.
133. CAPRILES, V.D., SOARES, R.A.M. and ARÊAS, J.A.G. Storage Stability of Snacks with Reduced Saturated and Trans Fatty Acids Contents. *Food Science and Technology*, 2009, vol. 29, no. 3. pp. 690-695.
134. CESA, S. Malondialdehyde Contents in Infant Milk Formulas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, vol. 52, no. 7. pp. 2119-2122.
135. DE LAS HERAS, A., SCHOCH, A., GIBIS, M. and FISCHER, A. Comparison of Methods for Determining Malondialdehyde in Dry Sausage by HPLC and the Classic TBA Test. *European Food Research and Technology*, 2003, vol. 217, no. 2. pp. 180-184.
136. JUNG, S., NAM, K.C. and JO, C. Detection of Malondialdehyde in Processed Meat Products without Interference from the Ingredients. *Food Chemistry*, 2016, vol. 209. pp. 90-94.

PADĖKA

Nuoširdžiai dėkoju mokslinio darbo vadovei doc. dr. Loretai Bašinskienei už darbo temos idėją, pastabas, supratingumą, bei nuolatinį skatinimą tobulėti. Dėkoju jaunesniosioms mokslo darbuotojoms Ritai Kazernavičiūtei ir Ramutei Maždžierienei už pagalbą bei konsultacijas atliekant tyrimus.