

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПОЉОПРИВРЕДНОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Датум: 30.08.2019

Предмет: Извештај Комисије за оцену урађене докторске дисертације Снежане Златановић, дипл.физ.хем.

Одлуком Наставно-научног већа факултета број 32/9-7.1. од 26.06.2019. године, именовани смо у Комисију за оцену урађене докторске дисертације под насловом: „*Термална, хемијска и функционална својства тропа од јабуке и могућности примене у прехрамбеној индустрији*“, кандидаткиње Снежане Златановић, дипл.физ.хем. Комисија на основу детаљно проучене завршене докторске дисертације подноси следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Докторска дисертација дипл.физ.хем, Снежане Златановић, написана је на 141 страни, у оквиру којих се налази 23 табеле и 28 слика. Саставни део дисертације је и: Насловна страна на српском и енглеском језику, Информација о ментору и члановима комисије, испред основног текста написан је Резиме са кључним речима на српском и енглеском језику. Докторска дисертација садржи седам поглавља, и то: Увод (стр. 1 - 5), Теоријски део (стр. 6 - 38), Циљеви истраживања (стр. 39 - 40), Материјали и методе (стр. 41- 55), Резултати и Дискусија (стр. 56 - 105), Закључак (стр. 106 - 109) и Литература (стр. 110 - 130). На крају текста дисертације налази се Биографија кандидата (стр 131), Прилози и обавезне изјаве (стр. 132 – 141). Поглавља Теоријски део, Материјал и методе, Резултати и дискусија садрже више потпоглавља.

2. ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Увод. У уводном делу кандидаткиња наводи значај искоришћења споредног производа из производње сока - тропа од јабуке који се највећим делом баца и представља извор загађења иако је богат извор функционалних састојака. У Србији се влажни троп најчешће користи као сточна храна, док се у свету употребљава: за производњу пектина, као компонента за производњу сточне хране, као енергент у котларницама после сушења и пелетирања. Спомине се још да се троп од јабуке може користити и као биолошко ђубриво, за компостирање, за производњу алкохола, за производњу енергије (биогас) и др. У свету се тежи примени концепта циркуларне економије, тј. потпуном искоришћењу споредних

производа прехранбене индустрије, често у циљу развоја нових производа са повећаном хранљивом вредношћу и позитивним ефектима на здравље, дужим роком трајања и повољним сензорним својствима. Због високог садржаја шећера и воде троп је подложен кварењу и микробиолошкој контаминацији, тако да његова даља употреба захтева претходно сушење. Осушени троп чија су нутритивна и функционална својства очувана може се користити како у дијететици, тако и у прехранбеној индустрији. У складу са наведеним је дефинисан циљ ове дисертације да се на индустријском нивоу применом иновативне, енергетски ефикасне технологије дехидратише троп и добије стабилан и трајан производ, односно брашно од тропа јабуке (eng. Apple pomace flour - APF) које има високу нутритивну вредност, антиоксидативна, антидијабетогена и антилипемична својста и добре сензорне особине. Наведено је да ће добијено брашно бити окарактерисано у смислу хемијског састава, термалних, физичкохемијских и технолошких својстава, као и ефеката на метаболизам глукозе и угљених хидрата (*in vivo* студија). Постављен је и додатни циљ да се у формулацији стандардног производа, конкретно, чајног пецива на индустријском нивоу крупним и финим APF-ом у што већем уделу замени пшенично брашно (до 75 %). Предвиђено је да добијено чајно пециво са 25, 50 и 75 % APF-а буде окарактерисано у смислу садржаја укупних полифенола и флавоноида, као и антиоксидативне активности, као и да се пореде наведени параметри са контролним узорком. Такође је предвиђена сензорна евалуација чајног пецива са различитим уделом APF-а, непосредно после производње и након стајања од 12 месеци, као и анализа прихватљивости производа од стране потрошача (хедонски тест).

Теоријски део. Ово поглавље се састоји из 4 потпоглавља у којима су обрађени литературни подаци везани за предмет проучавања докторске дисертације.

У првом потпоглављу кандидаткиња је дала кратак опис настанка споредног производа из производње сока од јабука, са посебним освртом на технолошки процес добијања сока и истовремено тропа, у фабрици „Фрувита“, Смедерево, која је била највећи снабдевач тропа за ову студију. Дат је шематски приказ процеса добијања тропа у фабрици, као и упоредни преглед макро- и микронутријената у свежој јабуци и у тропу од јабуке (литературни подаци). Приказан је литературни преглед могућих начина искоришћења овог споредног производа. Троп јабуке се углавном користи за добијање пектина, а неки од специфичних производа који се већ могу наћи на тржишту су дијетна влакна изолована из тропа и прах на бази тропа и пектина који се препоручује као замена за јаја (Apple egg). На тржишту је присутно брашно целе јабуке, као и прах покожице јабуке, док брашно од тропа јабуке још увек није доступно као посебан производ. Недавно је патентиран поступак за добијање високо протеинског брашна ферментацијом тропа различитог воћа и поврћа, између осталог и јабуке (WO 2018/101844), које се у нутритивном и сензорном смислу драстично разликује од полазне сировине.

У другом потпоглављу дат је преглед биоактивних компоненти тропа од јабуке - полифенолна једињења, дијетна влакна и минерали. У оквиру прегледа литературних података који се односе на полифенолна једињења детаљно су обрађени извори, идентификација и квантификација, као и антиоксидативна активност полифенолних једињења. Посебан осврт је дат на присуство полифенолних једињења у јабуци и тропу од јабуке. На основу података из литературе кандидаткиња је указала на потенцијалне здравствене ефекте полифенолних једињења и значај присуства дијетних влакана за која су везана, односно на њихову биорасположивост. Физиолошки ефекти дијетних влакана су

познати, док се у новијој литератури све чешће обрађује механизам транспорта биоктивних једињења везаних за дијетна влакна. Утврђено је да антиоксидативна активност дијетних влакана представља део подразумевајуће карактеризације влакана и омогућава процену њиховог потенцијалног дејства на здравље и могућности примене такозваних антиоксидативних дијетних влакана као функционалног састојка. Дат је упоредни преглед садржаја минерала у воћу које се уобичајено конзумира и у тропу од јабуке и указано на троп јабуке као богат извор минерала.

Треће потпоглавље се односи на примену тропа од јабуке у прехранбеној индустрији. У оквиру овог дела кандидаткиња је посебно обрадила део везан за безбедност тропа од јабуке. Закључено је да се према доступним литературним подацима троп може користити у прехранбеној индустрији водећи рачуна о пореклу сировине и неопходности континуиране контроле финалног производа. Приказан је литературни преглед могућих начина сушења у циљу примене у прехранбеној индустрији. Посебно потпоглавље је посвећено доступним литературном подацима о замени дела брашна осушеним тропом од јабуке у кондиторским и пекарским производима и резултатима у смислу добијања функционалних производа са повећаним садржајем дијетних влакана и полифенолних једињења који истовремено имају прихватљиве сензорне особине.

Четврто потпоглавље се односи на примену термалне анализе (диференцијално скенирајуће калориметрије - DSC и термогравиметријске анализе – TGA) у испитивању хране. Дат је литературни приказ термалних прелаза који се могу детектовати у храни DSC-ом. Термалне методе анализе могу обезбедити податке корисне за избор температуре и услова дехидратације ради постизања очувања ароме, стабилности током складиштења, избегавања слепљивања прашкастих производа и контролу проточности прахова. Указано је на значај температуре стакластог прелаза (T_g) изнад које долази до промене молекуларне покретљивости што узрокује значајне промене у физичким својствима материјала. У посебном потпоглављу је обрађена стабилност дехидратисаних материјала који су углавном аморфни и код којих се DSC-ом уочава стакласти прелаз.

Циљ истраживања. Основни циљ дисертације је добијање брашна од целокупног тропа јабуке (APF) добијеног применом прилагођеног индустријског поступка који омогућава очување нутритивних и функционалних особина брашна, његова физичко- хемијска карактеризација и испитивање могућности примене APF-а у прехранбеној индустрији. Посебни циљеви су: 1) Дефинисање сировине у погледу безбедности и квалитета, односно избор снабдевача тропом насталим при индустријској производњи сока од јабуке, 2) Одређивање времена сушења тј. дехидратације, 3) Добијање дехидратисаног тропа у индустријским условима и млевање истог до жељене гранулације, тј. добијање APF-а, 4) Хемијска и физичкохемијска карактеризација APF-а - одређивање хемијског састава, садржаја дијетних влакана, укупних и појединачних полифенола, као и антиоксидативног капацитета и идентификација функционалних група у добијеном материјалу FTIR (Фоуријеова трансформација инфрацрвеног зрачења) анализом, 5) Термална карактеризација полазне сировине и добијеног APF-а применом термалне анализе (DSC и TGA) и процена његове структурне стабилности на основу температуре стакластог прелаза, 6) Одређивање кинетичких параметара деградације APF-а термогравиметријском анализом на температурама које се уобичајено примењују у кондиторској и пекарској индустрији, 7) Утврђивање утицаја додатка брашна (APF) у исхрани са повећаним садржајем масти на

метаболизам угљених хидрата и липида *in vivo*, 8) Одређивање техно-функционалних особина АРФ-а и процена могућности његове примене у прехранбеној индустрији, 9) Примена АРФ-а у кондиторској индустрији, односно добијање обогаћеног кондиторског производа, побољшаних функционалних карактеристика заменом до 75 % пшеничног брашна АРФ-ом, 10) Одређивање нутритивних и сензорних својстава обогаћеног и стандардног производа (контролни узорак), њихово поређење и дефинисање оптималног удела АРФ-а у конкретном производу, 11) Испитивање прихватљивости производа са оптималним уделом АРФ-а од стране потрошача хедонским тестом.

Материјал и методе. У овом поглављу које садржи десет потпоглавља наведени су сви коришћени реагенси, објашњен је индустријски поступак за добијања брашна од тропа јабуке као и аналитичке методе које су спроведене у циљу физичко-хемијске, сензорне и функционалне карактеризације добијеног брашна.

Потпоглавље које се односи на одређивање хемијског састава и активности воде обухвата гравиметријску методу за одређивање влаге на 105 ± 5 °C до постизања константне тежине и одређивање активности воде помоћу *aw*-метра Тесто 650. Примењене су референтне АОАС, 2000 методе за одређивање укупних протеина, масти и пепела. Укупан садржај угљених хидрата, као и садржај глукозе, фруктозе и сахарозе, одређени су течном хроматографијом високих перформанси на уређају HPLC Alliance Waters 1515 са детектором RI (Waters 2414, sens = 64) и колоном за анализу угљених хидрата 3,9 k 300 mm (Waters Corporation Milford, MA 01757 SAD). Укупна дијетна влакна су одређена стандардном ензимско-гравиметријском методом АОАС 985.29. Садржај целулозе одређен је према SRPS EN ISO 6865, 2008. Количина укупног пектина одређена је спектрофотометријски, модификованом карбазолном методом. Одређен је садржај макро- и микроелемената, који су након дигестије анализирани техником индуковано спрегнуте плазме (ICP-OES спектрофотометар, Agilent 5100). Садржај укупних полифенолних једињења је одређен методом по Folin-Ciocolteu а укупних флавоноида спектрофотометријском методом. Антиоксидативна активност је одређена уобичајено коришћеним спектрофотометријским методама DPPH (1,1-дифенил-2-пикрилхидразил), АВТС(2,2'-азино-бис(3-етил-бензотиазолин-6-сулфонска киселина) и електрохемијском методом (поларографска НРМС метода). У потпоглављу - Одређивање садржаја полифенолних једињења HPLC методом детаљно је описан поступак идентификације и квантификације полифенолних једињења употребом течне хроматографије високе резолуције. FTIR спектри узорака брашна снимљени су на уређају Thermo Scientific Nicolet 6700 Fourier-transform.

Термална карактеризација методама диференцијално скенирајуће калориметрије и термогравиметријске анализе је урађена на апаратима DSC, Q1000, TA Instruments, New Castle, DE, USA и TGA Q500, Thermogravimetric Analyzer, Delavare, SAD. Кинетика деградације узорака је одређена термогравиметријском анализом загревањем узорака од 25 -700 °C на пет различитих брзина 5, 10, 15, 20 и 30 °C min⁻¹. Приликом извођења кинетичких студија, праћене су препоруке Комитета ICTAC кинетике за сакупљање кинетичких података и за кинетичке прорачуне, при чему су добијени кинетички параметри (ефективна енергија активације и преекспоненцијални фактор) процеса топлотне деградације анализираних узорака.

У потпоглављу које се односи на *in vivo* испитивање дат је детаљан опис концепта самог експеримента, односно раличитих дијететских режима којима су подвргнуте експерименталне животиње тј. мишеви C57BL/6J подељени у 5 група у циљу добијања увида у утицај –APF-а на метаболичке параметре, као и опис поступка узимања и припреме узорака за биохемијске анализе серума ради утврђивања липидног и гликемијског статуса. Пре експеримента је урађен стандардни тест за испитивање акутне оралне токсичности. Холестерол и триацилглицероли у серуму одређени су одговарајућим ензиматским колориметријским поступцима употребом комерцијалног комплета према упутствима произвођача на уређају Random access automatic analyzer A15 Bio Systems S.A, а гликемијски статус је одређен помоћу "Призма" сета за одређивање нивоа глукозе у крви.

Наведене су методе за одређивање технофункционалних карактеристика брашна. Величина честица узорака брашна одређена је просејавањем кроз одговарајућа сита. Капацитет везивања воде и уља, капацитет бубрења, насипна и тапкана густина, као и капацитет хидрирања одређени су према методама датим у литератури.

У оквиру посебног потпоглавља је описана производња чајног пецива, као и анализа истог. Брашно које је коришћено за производњу је претходно анализирано у погледу хемијске, микробиолошке и здравствене исправности према важећој регулативи. Чајно пециво са различитим уделима APF-а (25, 50 и 75 %) у две гранулације произведено је у индустријским условима. У свим узорцима чајног пецива одмах након производње и после годину дана је одређен укупан садржај полифенолних једињења као и флавоноида и антиоксидативна активност на исти начин као и у APF узорцима. Добијено чајно пециво је оцењено сензорно методом бодовања (оцене од 1-5) на основу чега је одређен оптималан удео и изабрана погоднија гранулација APF-а у производу. Чајно пециво са оптималним уделом APF погодне гранулације је оцењено применом хедонске скале са оценама од 1 до 9 и скале „управо онако како треба“ (енг. Just About Right - JAR).

Статистичка анализа изведена је помоћу XLSTAT (верзија 2014.5.03, Addinsoft, New York, SAD) додатка за анализу и статистику у MS Excel-у. Сва мерења су спроведена у трипликату (три независна узорка), а резултати су изражени као резултат \pm стандардна девијација (СД). Анализа варијансе (ANOVA) праћена *post-hoc* Tuckey's HSD тестом је коришћена за поређење средњих вредности и утврђивање разлика између APF-а припремљених од мешаних и појединачних сорти јабука. За испитивање односа између различитих мерених параметара и могућег груписања испитаних узорака, примењена је анализа методом главних компоненти (енг. Principal Component Analysis - PCA). Подаци добијени тестирањем потрошача JAP скалом су искомбиновани са подацима добијеним применом хедонске скале у циљу добијања вредних информација у погледу одступања анализираних производа у односу на идеални. Потом је урађена и анализа пада средње вредности укупне прихватљивости са граничном вредношћу пропорције потрошача чије се мишљење узима као релевантно на 20%.

Резултати и дискусија. Резултати су написани концизно и јасно и документовани прегледним табелама и сликама. Продискутовани су довољно детаљно и на адекватан начин уз графичку и статистичку обраду добијених података и упоређени са резултатима сличних истраживања код нас и у свету. Подељени су у 7 јасно раздвојених целина. Анализирано је 5 узорака индустријски добијеног брашна од јабуке и најсличнији комерцијално доступан производ који је на тржишту Сједињених Америчких Држава познат као Apple egg (AE).

На почетку је објашњен шематски приказан поступак добијања APF од тропа појединачних и мешаних сорти органски и конвенционално гајених јабука. Примењени поступак дехидратације који омогућава очување нутритивне и функционалне вредности тропа је упоредив са вишеструко скупљим поступком лиофилизације. Ниска активност воде (0,2 – 0,4) као и низак садржај влаге (4 - 6 %) потврђују стабилност добијеног брашна.

Термална, хемијска и функционална својства пет узорака брашна од тропа јабуке и најсличнијег комерцијално доступног производа су анализирана упоредно. Садржај укупних угљених хидрата, дијетних влакана (ДВ), пектина и целулозе, моно- и дисахарида (фруктоза, глукоза и сахароза), липида, протеина и минерала је одређен у свим узорцима APF и АЕ. FT-IR спектри потврдили су претежно присуство лигноцелулозних влакана у APF узорцима. Показано је да је садржај калијума, ДВ, укупних полифенолних једињења и флавоноида многоструко виши него у пшеничном брашну и брашну најчешће коришћених жита без глутена као што су кукурузно, овсено, принчано и хељдино. Антиоксидативна активност узорака APF одређена стандардним спектрофотометријским методама (DPPH, ABTS) и електрохемијском методом (HPLC) је значајно виша од АЕ. Идентификована су и квантификована појединачна полифенолна једињења (укупно 31 једињење) од којих су најзаступљенији хлорогена киселина и дихидрокалкон флоризин чији је кардиопротективни ефекат познат. Висок садржај ДВ и полифенолних једињења као носилаца АО активности омогућава да се конзумирањем APF, било као посебног дијететског препарата, било садржаног у неком прехранбеном производу, може надокнадити њихов недостатак у модерној исхрани, а пре свега у безглутенској дијети.

Термалне особине и кинетички параметри деградације брашна од тропа јабука и комерцијално доступног узорка одређене су методама диференцијалне скенирајуће калориметрије (DSC) и термогравиметријске анализе (TGA). Утврђено је да је температура стакластог прелаза (T_g) (28 - 38 °C) APF узорака значајно изнад уобичајене температуре складиштења што указује на њихову стабилност, док је T_g комерцијално доступног узорка свега 21 °C. Кинетички параметри процеса термалне разградње, енергија активације (E) (82 до 115 KJ mol⁻¹), преекспоненцијални фактор (lnA) (24 до 19) и константа брзине термалне разградње при температури 200 °C (k200) (0,14 до 0,27) дају додатни увид у термално понашање на повишеним температурама. Стабилност свих узорака APF на температури печења омогућава примену произведеног брашна у кондиторској и пекарској индустрији. Узорци APF су груписани према константи брзине (k200) при чему је примећено да је брашно од тропа органски гајених јабука термално стабилније.

In vivo студија на лабораторијским животињама (CL57/6J) је недвосмислено потврдила антидијабетогени и антилипемични ефекат брашна и указала на оправданост његове примене као дијететског препарата и компоненте функционалне хране. Додатак APF у масну храну спречио је повећање нивоа триацилглицерола и глукозе, тј. поремећај метаболизма, до ког долази услед њеног конзумирања. На основу резултата *in vivo* студије одређена је оптимална дневна доза APF-а (10 - 30 g / дневно) чијим би се редовним конзумирањем регулисао метаболизам угљених хидрата и масти, тј. спречила појава метаболичких поремећаја, пре свега дијабетеса и артериосклерозе а последично и кардиоваскуларних болести.

Техно - функционалне карактеристике, битне како са аспекта физиолошке функције, тако и са аспекта примене у прехранбеној индустрији, су такође анализирани. Брашно од тропа

јабуке поседује већи капацитет везивања уља и значајно већи капацитет везивања воде у односу на пшенично и наведено брашно безглутенских жита. Увид у технолошке карактеристике указује на широку применљивост APF-а у прехранбеној индустрији. У овом раду је испитана могућност примене APF-а у кондиторској индустрији. У индустријским условима је произведено чајно пециво са APF-ом fine (< 300 μm) и крупне (< 1 mm) гранулације у уделу од 25, 50 и 75 % у односу на укупну количину брашна. Сензорном анализом је утврђено да је прихватљиво заменити до 50 % пшеничног брашна APF-ом. Крупнија гранулација брашна се показала бољом од fine како у смислу сензорних својстава, тако и у смислу функционалних карактеристика и стабилности. Током складиштења од 12 месеци укупни садржај полифенолних супстанци и флавоноида се није значајно променио а АО активност је остала на приближно истом нивоу. Чајно пециво са до 50 % APF-а крупне гранулације је имало значајно побољшана сензорна својства (укус и мирис на јабуку, прхкост) и продужену стабилност. Чајно пециво са 50 % брашна од тропа јабуке има висок садржај ДВ (~20 г ДВ у 100 грама), што га сврстава у категорију функционалних производа, као и двоструко виши садржај укупних полифенолних једињења, готово седам пута виши садржај флавоноида и четири, односно седам пута вишу АО активност одређену ABTS и DPPH тестом у односу на стандардно чајно пециво произведено без додатка APF-а. Поред тога, најмања промена садржаја полифенола и флавоноида, као и АО активности након складиштења је запажена код пецива са 50 % APF-а крупне гранулације. На основу Анализе главних компоненти, која је праћена Varimax ротацијом, управо је овај удео крупног брашна изабран као оптималан. Пециво са оптималним уделом је подвргнуто хедонском тесту у коме је учествовало 115 испитаника. Параметри попут „Укупна прихватљивост производа“, „прихватљивост текстуре“ и „прихватљивост укуса“ су бодовани просечним оценама изнад 6 (6.2 ± 1.8) на хедонској скали (од 1 – 9), што указује да се производ допао испитиваним потрошачима.

Резултати ове дисертације су били основа за реализацију пројекта Фонда за иновациону делатност бр. 1076 под називом „Технолошки поступак за индустријско добијање вишенаменског безглутенског брашна од тропа јабуке са високим садржајем дијетних влакна, антиоксидативним и антидијабетогеним дејством“ чији је циљ комерцијализација брашна од тропа јабуке као самосталног производа и сировине за производњу функционалних и дијететских производа. У оквиру овог пројекта поднета је и међународна патентна пријава (PCT/RS2019/000019) чији се захтеви односе на поступак добијања и примену брашна од тропа јабуке у фармацеутској и прехранбеној индустрији.

Закључак. У овом поглављу кандидаткиња је у кратким тезама изнела најрелевантније закључке до којих је дошла на основу експерименталних истраживања. Општи закључак наведених истраживања и добијених резултата указује на оправданост искоришћења споредног производа из производње сока – тропа од јабуке као и на нерационалност уобичајеног поступања са тропом у Србији тј. третмана истог као отпада. Побројани су следећи закључци:

Добијено је стабилно и трајно безглутенско брашно (APF) интензивног укуса и мириса на јабуку, које није хигроскопно и не згрудвава се током стајања. Здравствена, хемијска и микробиолошка исправност APF-а као и тест акутне оралне токсичности (*in vivo*) су потврдили безбедност његове употребе како у прехранбеној индустрији тако и као дијететског препарата. Садржај ДВ је многоструко виши него у пшеничном и брашну

најчешће коришћених жита без глутена као што су кукурузно, овсено, принчано и хељдино. У минералном профилу од макроелемената доминира калијум, а од микроелемената бакар. Садржај калијума ($4228 - 6395 \text{ mg kg}^{-1}$) је многоструко виши него у пшеничном и најчешће коришћеном брашну жита без глутена. Садржај протеина у APF-у је у распону од $3,2 - 5,8 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ с.м., а садржај масти $1,0 - 2,7 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ с.м.

Садржај укупних полифенола у узорцима APF-а је у опсегу од $4,6 \pm 0,2$ до $8,1 \pm 0,3 \text{ mg GAE g}^{-1}$. Садржај флавоноида је у свим узорцима APF значајно виши од АЕ. Садржај укупних полифенолних једињења и флавоноида је многоструко виши него у пшеничном и брашну најчешће коришћених жита без глутена. HPLC-DAD-MS/MS техником је у APF-у идентификовано и квантификовано триседетједно полифенолно једињење од којих су најзаступљенији хлорогена киселина и дихидрокалкон флоризин, а следе флавоноли и флавонолни гликозиди (кверцетин, кверцетин-3-О-рамнозид, кверцетин-3-О-галактозид, рутин, изорамнетин, изорамнетин-3-О-рутинозид, каемферол и каемферол-7-глукозид), циметне (кафеинска, паракумаринска, ферулинска, синапинска и хлорогена) и хидроксibenзоеве киселине (гална, протокатехинска, елагинска и парахидроксибензоева). Удео поменутих група једињења у укупном садржају полифенола износи приближно 98 % код свих узорака. Садржају дихидрокалкона највише доприноси флоризин, а садржају хидроксициметних киселина хлорогена киселина. HPLC-DAD-MS/MS техником нађено је да највиши садржај укупних полифенола има брашно од тропа органски гајених јабука, што би се могло повезати са његовом термалном стабилношћу. Антиоксидативна активност одређена стандардним спектрофотометријским методама (DPPH, ABTS) и електрохемијском методом (HPMC) је висока. У погледу АО активности брашно тропа јабуке далеко превазилази уобичајено коришћено брашно од cereалија и псеудоцереалија. Запажена је висока корелација између АО активности и садржаја флоризина и хлорогене киселине што указује да ова два најзаступљенија полифенолна једињења највише и доприносе укупној АО активности.

Температура стакластог прелаза (T_g) ($28 - 38 \text{ }^\circ\text{C}$) свих узорака APF указује на њихову продужену стабилност. Кинетички параметри процеса термалне разградње, енергија активације (E) (82 до 115 KJ mol^{-1}), преекспоненцијални фактор ($\ln A$) (24 до 19) и константа брзине термалне разградње при температури $200 \text{ }^\circ\text{C}$ (k_{200}) ($0,14$ до $0,27$) дају увид у понашање APF-а на повишеним температурама и потврђују стабилност на температури печења која омогућава примену у кондиторској и пекарској индустрији. Груписање узорака према k_{200} показује да је брашно од тропа органски гајене јабуке термално најстабилније.

Спроведена *in vivo* студија недвосмислено је потврдила антидијабетогени и антилипемични ефекат APF и указала на оправданост његове примене као дијететског препарата и компоненте функционалне хране. На основу резултата *in vivo* студије одређена је оптимална дневна доза APF-а чијим би се редовним конзумирањем регулисао метаболизам угљених хидрата и масти.

Капацитет везивања воде и уља је значајно виши и у односу на пшенично и уобичајено коришћено брашно од жита без глутена, попут пиринчаног. Техно-функционалне карактеристике брашна од тропа јабуке указују на његову широку применљивост у прехранбеној индустрији, док одсуство глутена омогућава специфичну примену у производњи безглутенске хране. Састав, АО активност и *in vivo* ефекат APF, као и техно-функционална својства доказују да током примењеног процеса дехидратације није дошло

до денатурације биолошки активних молекула присутних у свежем тропу јабуке, тј. да су биоактивни молекули јабуке задржали своју структуру и функцију. Брашно тропа јабуке, fine (< 300 μm) и крупне (< 1 mm) гранулације је у индустријским условима успешно употребљено као замена за велики удео пшеничног брашна (до 75 %) чиме је стандардни кондиторски производ (чајно пециво), иначе сиромашан ДВ и АОс, значајно обогаћен.

Сензорном анализом је утврђено да је прихватљиво заменити до 50 % пшеничног брашна АРФ-ом крупније гранулације. Чајно пециво са до 50 % АРФ-а је имало значајно побољшана сензорна својства (укус и мирис на јабуку, прхкост) и продужену стабилност у односу на контролни узорак тј. комерцијално чајно пециво. Показано је да се током складиштења од 12 месеци укупни садржај полифенолних супстанци и флавоноида није значајно променио а АО активност је остала на приближно истом нивоу. Чајно пециво са 50 % брашна од тропа јабуке има висок садржај ДВ (~20 g ДВ у 100 грама), што га сврстава у категорију функционалних производа, као и двоструко виши садржај укупних полифенолних једињења, скоро седам пута виши садржај флавоноида и четири, односно седам пута вишу АО активност одређену АВТS и DPPH тестом у односу на стандардно чајно пециво произведено без додатка АРФ-а. Поред тога, најмање промене садржаја полифенола и флавоноида као и АО активности су запажене код чајног пецива са 50 % АРФ-а крупне гранулације. Удео од 50 % крупног брашна је на основу свега поменутог изабран као оптималан.

Статистичка обрада података методом главних компонената је додатно потврдила оправданост оваквог избора. Тестом прихватљивости од стране потрошача у коме је учествовало 115 испитаника, „укупна прихватљивост“, „прихватљивост текстуре“ и „прихватљивост укуса“ су бодовани просечним оценама изнад 6 (6.2 ± 1.8), што указује да се чајно пециво са оптималним уделом АРФ допада испитиваним потрошачима.

Литература. У дисертацији је наведено 245 референци, које представљају актуелан избор и одговарају предмету проучавања.

3. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација дипл.физ.хем.Снежане Златановић, под насловом: „Термална, хемијска и функционална својства тропа од јабуке и могућности примене у прехранбеној индустрији“, представља самостални научни рад који је у потпуној сагласности са планом предвиђеним пријавом дисертације. Кандидаткиња је детаљно проучила и систематски представила резултате истраживања других аутора из области проучавања, дефинисала предмет испитивања и поставила научне циљеве, обавила експериментални део, применила адекватне методе за тумачење добијених резултата и коректно извела закључке.

Показано је да присуство биолошки активних компонената, пре свега ДВ и полифенолних једињења као носилаца АО активности, као и термална, техно-функционална и сензорна својства брашна тропа јабуке, добијеног иновативним технолошким поступком, омогућавају његову примену у обогаћивању постојећих и креирању стандардних и безглутенских функционалних производа, чијим би се конзумирањем надокнадио недостатак ДВ и АОс у модерној исхрани, а пре свега у безглутенској дијети, док ефекат брашна на метаболизам омогућава његову употребу као дијететског препарата намењеног превенцији појаве метаболичких поремећаја.

На основу свега изнетог, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидаткиње Снежане Златановић, дипл.физ.хем. под насловом: „Термална, хемијска и функционална својства тропа од јабуке и могућности примене у прехранбеној индустрији“, и свесрдно предлаже Наставно-научном већу Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду, да усвоји позитивну оцену и омогући кандидаткињи јавну одбрану докторске дисертације.

У Београду, 30.08.2019.

Чланови комисије:

Др Предраг Вукосављевић, редовни професор
Универзитет у Београду Пољопривредни факултет
(Ужа научна област: Наука о конзервисању)

Др Малиша Антић, редовни професор
Универзитет у Београду Пољопривредни факултет
(Ужа научна област: Хемија)

Др Јованка Лаличић-Петронијевић, ванредни професор
Универзитет у Београду Пољопривредни факултет
(Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина)

Др Станислава Горјановић, научни саветник
Институт за општу и физичку хемију, Београд
(Ужа научна област: Хемија)

Др Сања Остојић, научни сарадник
Институт за општу и физичку хемију, Београд
(Ужа научна област: Прехрамбено инжењерство)

Др Томислав Тости, научни сарадник
Универзитет у Београду Хемијски факултет
(Ужа научна област: Хемија)

Прилог Сепарат објављеног рада дипл.физ.хем.Снежане Златановић објављен у научном часопису на SCI листи

Zlatanović, S., Ostojić, S., Micić D., Rankov, S., Dodevska, M., Vukosavljević, P., Gorjanović, S., (2019): Thermal behaviour and degradation kinetics of apple pomace flours. *Thermochimica Acta* 673: 17–25. doi: 10.1016/j.tca.2019.01.009.

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПОЉОПРИВРЕДНОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Датум: 28.08.2019.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, а који се примењује од 01.10.2018. године, ментор подноси оцену извештаја о провери докторске дисертације.

После прегледа извештаја о провери оригиналности докторске дисертације кандидаткиње Снежане Златановић, дипл.физ.хем. под насловом: „Термална, хемијска и функционална својства тропа од јабуке и могућности примене у прехранбеној индустрији“, реализован од стране Универзитетске библиотеке 28.08.2019. године, ментор доноси следећу

ОЦЕНУ

Извештај Универзитетске библиотеке о провери оригиналности докторске дисертације „Термална, хемијска и функционална својства тропа од јабуке и могућности примене у прехранбеној индустрији“, кандидаткиње Снежане Златановић, дипл.физ.хем., а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ментор

Др Предраг Вукосављевић, редовни професор
Универзитет у Београду Пољопривредни факултет
(Ужа научна област: Наука о конзервисању)