

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Београд - Земун

Датум: 26.09.2025. године

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА

Предмет: Извештај Комисије за оцену урађене докторске дисертације кандидата Спасоја Д. Белошевића, мастер инжењера прехранбене технологије

Одлуком Наставно-научног већа Пољопривредног факултета Универзитета у Београду број: 32/10-6.2. од 24.09.2025. године, именовани смо у Комисију за оцену урађене докторске дисертације под насловом: „Добијање и инкапсулација сока од микробиља одабраних биљних врста“, кандидата Спасоје Д. Белошевића, мастер инжењера прехранбене технологије.

Комисија у саставу: др Стева М. Левић, ванредни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, др Миле С. Вељовић, доцент Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, Ђорђе Ж. Моравчевић, редовни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, др Данијел Д. Милинчић, виши научни сарадник Пољопривредног факултета Универзитета у Београду и др Верица Б. Ђорђевић, доцент Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, на основу увида у достављену документацију, тј. прегледа, анализе и оцене докторске дисертације, подноси Наставно-научном већу Пољопривредног факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату и дисертацији

Мастер инжењер прехранбене технологије Спасоје (Дејан) Белошевић, рођен је 17.02.1995. године у Истоку на Косову и Метохији, јужној Српској покрајини. Основно образовање као и Средњу медицинску школу завршио је у Београду. Основне академске студије на Пољопривредном факултету, студијски програм: Прехранбена технологија – Управљање безбедношћу и квалитетом у производњи хране завршио је 2018. године са просечном оценом 9,66 чиме је заслужио награду факултета за једног од најбољих студената четврте године. Дипломски рад под називом „Примена индекса квалитета за оцену паприке сушене у атмосфери суперкритичног угљендиоксида“ одбранио је 27.09.2018. године са оценом 10. Исте године уписује и мастер академске студије, смер Прехранбена технологија. Мастер рад под називом "Утицај UV зрачења на одабрана својства квалитета кикирикија током вишемесечног периода складиштења" одбранио је 27.09.2019. године и то оценом 10, чиме је остварио и укупни просек 10 на мастер академским студијама и стекао право на звање мастер инжењера технологије.

Добитник је стипендије за талентоване студенте коју додељује „Министарство просвете, науке и технолошког развоја“ за постигнут успех на свим годинама на основним академским студијама. Такође је био добитник стипендије "Задужбине Николе Спасића" за

најбољег студента треће године на Пољопривредном факултету у Београду, као и награду коју додељује Пољопривредни факултет за једног од 10 најбољих студената Пољопривредног факултета. Добитник је стипендије „Доситеја“ коју додељује Министарство омладине и спорта Републике Србије за постигнут успех на основним и мастер академским студијама. Добитник је стипендије Министарства просвете, науке и технолошког развоја за студенте на докторским академским студијама.

Као студент демонстратор је учествовао у извођењу наставе и практичних вежби из више предмета на Пољопривредном факултету, укључујући: Сензорна анализа, Управљање квалитетом у производњи хране и Управљање безбедношћу у производњи хране. Школске 2019/2020. године уписао је докторске академске студије, такође на Пољопривредном факултету. Након избора у звање истраживач приправник 2022. године започиње рад на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, а 2024. године изабран је у звање истраживач сарадник. Ангажован је на истраживањима у оквиру Уговора о реализацији и финансирању научноистраживачког рада између Пољопривредног факултета Универзитета у Београду и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (евиденциони број уговора за 2025. годину: 451-03-137/2025-03/200116). Такође, учествује као истраживач на стратешком пројекту билатералне научне сарадње између Републике Србије и Народне Републике Кине за период 2024–2026. године. Јавно је излагао резултате свог научноистраживачког рада на међународном симпозијуму за младе истраживаче под називом „International conference Biochemical Engineering & Biotechnology for Young Scientist“, 2023. године. Такође, био је учесник у више одржаних међународних конференција у земљи и иностранству. Био је ментор студентима на такмичењу за екоиновативни производ под именом „Екотрофелија“, 2023. године. Учествовао је као рецензент у водећим међународним часописима, као што су: *Carbohydrate Polymers*, *Food Bioscience* и *Food Chemistry*. Учествовао је и пружао стручну помоћ у експерименталној реализацији дипломских, мастер и докторских радова.

Са својим колегама објавио је више публикација (27), укључујући 2 научна рада у врхунским међународним часописима (из категорије M21), 23 саопштења на међународним научним скуповима (катеорија M34), 1 предавање по позиву (катеорија M61) и 1 монографија од националног значаја (катеорија M42).

Све испите који су предвиђени планом и програмом докторских академских студија кандидат је успешно положио са просечном оценом 9,86. Веће научних области биотехничких наука је дало сагласност на одлуку Наставно-научног већа Пољопривредног факултета Универзитета у Београду о прихватању теме докторске дисертације кандидата. За ментора ове докторске дисертације је именован др Виктор А. Недовић, редовни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду.

Докторска дисертација кандидата Спасоја Д. Белошевића, мастер инжењера технологије, под насловом „Добијање и инкапсулација сока од микробила одабраних биљних врста“, написана је у складу са „Упутством за обликовање докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду“ на 180 страна (од којих је 165 нумерисано) и садржи 43 слике, 16 табела и 378 литературних навода. Докторска дисертација кандидата садржи уобичајене уводне садржаје (насловна страна на српском и енглеском језику, информације о члановима Комисије, стране са изјавама захвалности, стране са сажетком и кључним речима на српском и енглеском језику и приказ садржаја) и 8 основних поглавља: Увод (стр. 1-3), Преглед литературе (стр. 4-41), Циљеви истраживања (стр. 42), Материјали и методе (стр. 43-60), Резултати и дискусија (стр. 61-124), Закључак (стр. 125-130), Литература (стр.131-159) и Прилози (стр. 160). На крају наведених делова налазе се стране са Биографијом аутора (161), неопходне Изјаве о ауторству, о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и о коришћењу (стр. 162-165).

2. Предмет и циљ дисертације

Предмет истраживања ове докторске дисертације била је производња потенцијално функционалних сокова од микробила броколија (*Brassica oleracea* var. *italica*), цвекле (*Beta vulgaris*) и амаранта (*Amaranthus* sp.), затим добијање инкапсулата сокова од микробила поменутих врста применом технике спреј сушења унутар различитих угљенохидратних носача и, на крају, њихово инкорпорирање у кисело-млечни производ – јогурт и испитивање њиховог утицаја на физичко-хемијска, фитохемијска, антиоксидативна и сензорна својства производа. Такође, у оквиру предмета истраживања дефинисани су следећи циљеви истраживања: производња хладно цеђених сокова од микробила броколија, цвекле и амаранта и њихова карактеризација у погледу садржаја биоактивних једињења (индивидуални и укупни садржај фенолних једињења, флавоноида и беталаина, укупни садржај хлорофила), антиоксидативног капацитета, као и процене сензорног квалитета; хемијска карактеризација свежег микробила броколија, цвекле и амаранта у погледу биоактивних компоненти; инкапсулација добијених сокова техником спреј сушења унутар малтодекстрина и инулина и њихова хемијска карактеризација применом течне хроматографије, затим спектрофотометријско одређивање укупног садржаја фенолних једињења и флавоноида, укупног садржаја беталаина и антиоксидативне активности, као и физичко-хемијска, морфолошка и структурна карактеризација; такође је испитан ефекат коришћених носача на садржај биоактивних једињења, антиоксидативну активност сокова од микробила, као и на разлику у физичко-хемијским параметрима и боји; имплементација инкапсулата сокова од микробила у јогурту у циљу побољшања његових техно-функционалних и физичко-хемијских својстава, заједно са повећањем количине биоактивних једињења и антиоксидативне активности; и сензорна анализа добијених јогурта обогаћених инкапсулатима сокова од микробила у погледу сензорног квалитета и прихватљивости од стране потрошача.

3. Основне хипотезе од којих се полазило у истраживању

Основна претпоставка овог истраживања је да се добијени сокови од микробила који су потенцијално богати биоактивним компонентама инкапсулирају и да се добијени инкапсулати имплементирају у прехранбене производе, тј., јогурт који ће потенцијално имати позитиван утицај на људско здравље.

Посебне хипотезе у овом истраживању су:

- Претпоставка је да се поступком хладног цеђења могу добити сокови од микробила броколија, цвекле и амаранта са високим концентрацијама биоактивних компонената, снажном антиоксидативном активношћу и повећаном расположивошћу биоактивних компонената;
- Претпоставка је да сокови од микробила садрже високи садржај воде који води ка микробиолошком кварењу и да се применом процеса инкапсулације може продужити рок трајања сока од микробила;
- Претпоставка је да се процесом инкапсулације може постићи боље очување нутритивних и биоактивних компонената, као и очување њихове стабилности;
- Претпоставка је да се реализацијом планираних истраживања може доћи до нових потенцијално функционалних производа од микробила броколија, цвекле и амаранта, а који ће бити сензорно прихватљиви крајњим потрошачима.

4. Кратак опис садржаја дисертације

Увод. На почетку овог поглавља наведен је значај који функционална храна има међу потрошачима, док је са друге стране истакнут развој потенцијално функционалне хране у

оквиру истраживања из области прехранбене технологије. Уведен је појам микробиља, дата је његова дефиниција, предности у односу на зрело биље и истакнут је његов значај у погледу садржаја биоактивних компонената. У том контексту посебно су истакнуте врсте микробиља као што су броколи, цвекла и амарант, које су богате биоактивним компонентама и представљају природан и богат извор антиоксиданаса. Из тог разлога, посебно је наглашена могућност производње и коришћења хладно цеђених сокова од микробиља као висококвалитетних производа богатих различитим биоактивним компонентама, као и њихова недовољна истраженост на основу прегледа литературе. Поред тога истакнут је минималан утицај процеса хладног цеђења на наведене компоненте и квалитет сокова. У циљу продужења рока трајања ових сокова, очувања њихових биоактивних компонената и развоја потенцијално функционалних адитива разматрана је инкапсулација, као процес са значајном улогом у заштити биоактивних једињења. С тим у вези, истакнути су улога и значај технике спреј сушења у процесу инкапсулације, као и примена различитих угљенохидратних носача у заштити биоактивних компонената сокова од микробиља. Такође, наглашена је могућност обогаћења кисело-млечних производа инкапсулатима сокова микробиља, у циљу развоја потенцијално функционалних производа са побољшаним својствима. На крају увода, посебно је истакнут научни допринос ове дисертације, као и њен допринос у развоју потенцијално функционалних сокова, функционалних адитива – инкапсулата од сокова микробиља, као и функционалних кисело-млечних производа са потенцијалном биолошком активношћу.

Преглед литературе. Ово поглавље засновано је на литературним изворима који су уско повезани са предметом истраживања ове докторске дисертације, а његов садржај сачињавају два потпоглавља, од којих свако обухвата више подналова. У првом потпоглављу, у оквиру уводног подналова, дат је кратак историјски осврт на развој микробиља кроз историју и истакнут је значај проклијалих зрна. У наставку, остали поднаслови овог потпоглавља обрађују кључне информације о самом појму микробиља, могућностима његове производње, разликама између клица и микробиља, као и фазама развоја – од клијања семена до појаве првих правих листова. Посебан фокус је стављен на микробиље као извор биоактивних компонената, нарочито фитохемикалија које показују антиоксидативну активност, међу којима се издвајају фенолна једињења, глукозинолати, минерали, витамини и беталаини. Из тог разлога, микробиље се препознаје као сировина погодна за апликацију у прехранбеној индустрији, посебно у развоју потенцијално функционалних производа са израженим здравственим бенефитима, чему је посвећен читав један поднаслов. Поред тога, у оквиру првог потпоглавља разматрана је предност примене процеса хладног цеђења у производњи сокова од микробиља у односу на друге технологије, са посебним акцентом на очување биоактивних компоненти које се тим процесом издвајају. Посебна пажња је посвећена јогурту као производу погодном за обогаћивање природним функционалним састојцима, уз посебан осврт на примену инкапсулата сокова микробиља у циљу развоја функционалних производа са побољшаним својствима. У другом потпоглављу дат је кратак историјски осврт на процес инкапсулације, као и њена примена у различитим индустријским гранама. Посебно је истакнут значај инкапсулације као технике која може имати улогу у заштити и стабилизацији активних компонената, маскирању непријатних укуса и мириса, олакшањем руковању, као и продужетку рока трајања активних компоненти из сокова микробиља и њихове трансформације у облик погодан за даљу примену, као и у њихову имплементацију у прехранбене производе. У наставку потпоглавља приказане су многобројне технике инкапсулације, при чему је посебан акценат стављен на технику спреј сушења, као најзначајнију технику инкапсулације, која је и коришћена у експерименталном делу ове дисертације. Детаљно су представљени носачи коришћени у овој докторској дисертацији, малтодекстин и инулин. На крају овог потпоглавља, дат је сажети преглед литературе на тему инкапсулације активних компонената из клица и микробиља и њихове примене у прехранбеним производима.

Материјал и методе. Ово поглавље састављено је из два потпоглавља. Прво потпоглавље сачињавају материјали коришћени за потребе истраживања, као што су: микробиље, носачи за инкапсулацију, сировине за производњу јогурта и хемикалије. Друго потпоглавље је подељено у три поднаслова који обрађују методе коришћене у истраживању. У другом потпоглављу у првом поднаслову дат је свеобухватан опис процеса производње хладно цеђених сокова од микробиља који ће служити као сировина за процес инкапсулације. Други поднаслов се односи на детаљну карактеризацију добијених сокова од микробиља. На соковима од микробиља одређени су принос, садржај влаге, рН вредности и растворљиве суве материје. Фитохемијски профили екстракта микробиља и сокова микробиља броколија, цвекле и амаранта анализирани су помоћу ултра-ефикасне течне хроматографије у комбинацији са квадруполном временском масеном спектрометријом (UHPLC Q-ToF MS). Поред тога, на соковима су урађене и комплетне спектрофотометријске анализе укупног садржаја фенолних једињења (TPC; метода са Folin-Ciocalteu реагенсом), укупног садржаја флавоноида (TFC; метода са алуминијум-хлоридом), одређивање садржаја бетацијанина, бетаксантина и одређивање садржаја хлорофила а и хлорофила б. Осим тога, спектрофотометријски је извршено одређивање антиоксидативне активности применом метода чији се механизми базирају на активности антиоксиданаса да уклањају слободне радикале (DPPH и ABTS метода), као и да редукују Fe^{3+} јоне (FRAP метода). На крају, сензорно испитивање сокова од микробиља извршено је применом две методе: метода за испитивање укупног сензорног квалитета производа и метода за испитивање сензорне прихватљивости производа од стране потрошача применом хедонске скале. У трећем поднаслову детаљно је описан процес микроинкапсулације сокова од микробиља техником спреј сушења коришћењем угљенохидратних носача (малтодекстрин или инулин), укључујући начин припреме напојне смеше и процесне параметре спреј сушења. Четврти поднаслов се односио на детаљан опис метода за комплетну физичко-хемијску карактеризацију инкапсулата, укључујући: принос и ефикасност инкапсулације, одређивање суве материје и садржаја влаге, насипну и тапкану густину, као и проточност и кохезивност инкапсулата. Такође, боја инкапсулата је одређена помоћу ручног хроматра (Chroma Meter CR-400). У наставку потпоглавља дат је детаљан опис метода коришћених за одређивање морфолошке (SEM – скенирајућа електронска микроскопија) и структурне (ATR-FTIR – инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом са модулом пригушене укупне рефлексије) карактеризације инкапсулата. Даље, спектрофотометријски је извршено одређивање укупног садржаја фенолних једињења, флавоноида и беталаина, описано у претходном поднаслову. Поред тога, такође је спектрофотометријски извршено одређивање антиоксидативне активности применом метода које су такође описане у претходном поднаслову. Пети поднаслов односио се на производњу јогурта обогаћеног инкапсулатима сокова од микробиља. Детаљно су описане све фазе производње, уз прецизно наведене производне параметре и опис одговарајућих процеса. Шести поднаслов односио се на карактеризацију обогаћених јогурта укључујући опис свих метода коришћених за њихову карактеризацију. Текстурална својства јогурта анализирана су коришћењем TA.XT Plus texture analyzer-а. Такође, извршена је и физичко-хемијска карактеризација у погледу рН вредности и индикованог синерезиса, док је боја одређена помоћу ручног хроматра. Осим тога, одређивање укупног садржаја фенолних једињења и антиоксидативне активности извршено је применом спектрофотометријских метода (ABTS и FRP). Сензорна анализа јогурта обогаћених инкапсулатима је извршена према методама описаним у претходном поднаслову у циљу испитивања укупног квалитета јогурта и прихватљивости истих од стране потрошача. У седмом поднаслову описана је статистичка обрада резултата применом одговарајућих модела, тестова и критеријума статистичке анализе.

Резултати и дискусија. Резултати истраживања су приказани у оквиру три потпоглавља, са бројним поднасловима и на прегледан начин преко табела, слика и графичких приказа, праћених текстуалним освртом на најзначајније налазе. Поред тога, у

овом поглављу резултати су детаљно интерпретирани, анализирани и упоређени са налазима релевантних истраживања, при чему су смештени у шири оквир научне проблематике. У првом потпоглављу су изложена биоактивна својства микробиља и одговарајућих сокова. Хроматографском анализом биоактивних компонената у различитим екстрактима микробиља броколија идентификовано је седам глукозинолата, и то: глюкобрасицин, 4-хидрокси глюкобрасицин, 5-хидрокси-глюкобрасицин, нео-глюкобрасицин и 4-метокси-глюкобрасицин, док су глюконапин и глюконастуртин идентификовани у појединим екстрактима у зависности од врсте коришћеног растварача и услова екстракције. Такође, хроматографском анализом фенолног профила микробиља амаранта, цвекле и броколија утврђено је присуство и садржај фенолних киселина и њених деривата, апигенин С-гликозида и осталих флавоноида. Највећи садржај укупних детектованих фенолних једињења пронађен је у екстрактима микробиља броколија (1588,71 mg/100 g СММ) и цвекле (1331,01 mg/100 g СММ), док је најмањи садржај био у микробиљу амаранта (646,38 mg/100 g СММ). Највиши садржај фенолних киселина у екстракту микробиља броколија се огледао у високом садржају синапинске киселине (526,06 mg/100 g СММ) и њених различитих деривата, док је екстракт микробиља амаранта обиловао различитим дериватима хидроксibenзоеве, дихидроксibenзоеве и ванилинске киселине. Са друге стране, неколико апигенин С-гликозида (деривати витексина и цитозиозида) идентификовани су у микробиљу цвекле, међу којима су доминирали деривати цитозиозида. У свим екстрактима идентификован је кверцетин гликозид, док су кемпферол и његови деривати пронађени само у микробиљу броколија. Беталаини су идентификовани само у микробиљу амаранта и цвекле, међу којима су доминантно били присутни изо(амарантин) (73,56%) и (изо)бетанин (49,20%). У циљу добијања функционалног напитка са потенцијалним здравственим бенефитима приступљено је цеђењу микробиља. Првобитно су одређени принос и општи физичко-хемијски параметри сокова. Принос сокова од микробиља је био висок и кретао се од 53,4% (сок од микробиља амаранта) до 70,2% (сок од микробиља броколија). Сви произведени сокови су имали низак садржај суве материје и растворљиве суве материје (1,8-2,0 °Вх). За разлику од микробиља броколија, у његовом соку глукозинолати нису били детектовани, што је резултат њихове хидролизе у различите изотиоцијанате под утицајем ензима мирозиназе. Хроматографском анализом биоактивних компонената у соковима од микробиља утврђено је присуство високог садржаја фенолних једињења, чији се садржај кретао од 49,82 mg/100 mL (сок од микробиља амаранта), затим 342,02 mg/100 mL (сок од микробиља цвекле) до 362,35 mg/100 mL (сок од микробиља броколија). Фенолне киселине и њени деривати су доминантно били присутни у соку од микробиља амаранта и броколија, док су различити флавоноиди углавном пронађени у соку од микробиља цвекле. Такође, уочена је разлика у детектованим дериватима фенолних киселина између микробиља и сокова од микробиља, што је резултат различитог миграња појединих фенолних једињења из микробиља у сок, као и њихове трансформације под дејством различитих ензима током производње сокова. У соковима од микробиља идентификовано је више фенолних киселина и њихових деривата са органским киселинама (хининска и јабучна киселина). У соку од микробиља амаранта детектовани су различити гликозиди ванилинске и хидроксibenзоеве киселине, док је у соку од микробиља броколија био детектован велики број деривата фенолних киселина (деривати синапинске киселине). Једини детектовани флавоноид у соку од микробиља броколија био је кемпферол. У соку од микробиља цвекле уочен је низак садржај фенолних киселина, али висок садржај апигенин С-гликозида (13 деривата витексина и цитозиозида), који чине 94,4% укупне количине фенолних једињења у овом соку. Осим фенолних једињења, у соку од микробиља амаранта и свекле су идентификовани беталаини. Амарантин и изоамарантин доминантно су детектовани у соку од микробиља амаранта, док су бетанин и изобетанин најзаступљенији беталаини у соку од микробиља цвекле. Заједничко за оба поменута сока било је присуство беталаминске киселине, као трећег доминантно детектованог једињења. Такође, у соку од микробиља цвекле је био детектован и бетаксантин, али његов садржај је био низак (<4% од укупног садржаја беталаина). Спектрофотометријском анализом утврђено је да сокови од

микробиља амаранта, цвекле и броколија имају висок садржај укупних фенолних једињења (50,86 mg GAE/100 mL, 71,26 mg GAE/100 mL и 92,92 mg GAE/100 mL сока) и укупних флавоноида (45,94 mg QE/100 mL, 46,35 mg QE/100 mL и 61,56 mg QE/100 mL сока), као носилаца антиоксидативне активности. Са друге стране утврђен је висок садржај пигмената беталаина у соковима од микробиља амаранта и цвекле, као и хлорофила у свим испитиваним соковима, а који такође доприносе вредностима за антиоксидативну активност. Висока антиоксидативна активност ових сокова потврђена је применом три методе (ABTS, DPPH и FRAP). Добијени сокови од микробиља имају добру способност да неутралишу ABTS[•] радикал, као и високу тенденцију да редукују [Fe³⁺-(TPTZ)₂]³⁺ комплекс. Просечне оцене за укупан квалитет сокова од микробиља кретале су се од 3,5 до 4,5, што сугерише врло добар сензорни квалитет ових сокова. Такође, резултати за укупну прихватљивост сокова од микробиља кретали су се од 5,0 (нити ми се свиђа, нити ми се не свиђа) (сок од микробиља броколија) до 6,4 (умерено ми се свиђа) (сок од микробиља амаранта). Изглед сока од микробиља амаранта (светлољубичаста боја) позитивно је утицао на високу укупну прихватљивост код потрошача, док је, с друге стране, опор укус сока од микробиља броколија допринео његовој ниској прихватљивости. Међутим, осетљивост биоактивних компонената сокова од микробиља, као и њихов губитак током процеса прераде и складиштења, утичу на квалитет и микробиолошку стабилност добијених сокова. Стога је извршена инкапсулација хладно цеђених сокова од микробиља одабраних биљних врста техником спреј сушења и унутар различитих угљенохидратних носача у циљу очувања биоактивних компонената и њиховог продужења рока трајања, а добијени резултати су приказани у другом потпоглављу. Произведени су следећи инкапсулати сокова од микробиља: спреј осушени инкапсулирани сок од микробиља амаранта, броколија и цвекле унутар малтодекстрина (АМД, БМД и ЦМД) и спреј осушени инкапсулирани сок од микробиља амаранта, броколија и цвекле унутар инулина (АИН, БИН и ЦИН). Као контролни узорци су такође били произведени спреј осушени сокови од микробиља амаранта, броколија и цвекле (АК, БК и ЦК). Сви инкапсулати показали су висок принос инкапсулације, при чему су се вредности кретале од 75,96–82,79% за спреј осушене инкапсулиране сокове од микробиља унутар малтодекстрина и 60,54–72,38% за оне инкапсулиране унутар инулина. Контролни узорци показали су ниже вредности приноса у поређењу са инкапсулатима, као и негативне особине као што су лепљивост и повећан садржај влаге, што се све може приписати одсуству носача. Резултати за ефикасност инкапсулације су се кретали од 82,19% до 85,71% за инкапсулате на бази малтодекстрина, као и од 70,42% до 79,49% за инкапсулате са инулином. Разлика у вредностима ефикасности инкапсулације између добијених инкапсулата може бити и последица коришћених носача и њихове способности да задрже фенолна једињења унутар полимерних матрикса, као и очигледна разлика у саставу сокова микробиља. Инкапсулација сокова од микробиља амаранта, цвекле и броколија унутар различитих угљенохидратних носача довела је до смањења садржаја влаге у поређењу са контролним узорцима, што инкапсулате класификује као микробиолошки безбедне производе са потенцијално дугим роком трајања. Резултати за тапкану и насипну густину инкапсулата показали су више вредности у поређењу са контролом, што указује на боља складишна својства и потенцијално спречавање реакција оксидације. На основу категоризације проточности и кохезивности инкапсулата утврђено је да инкапсулати имају задовољавајућу (БМД, АМД и АИН) или лошу (ЦМД, ЦИН и БИН) проточност, док сви инкапсулати имају високу кохезивност. Узимајући у обзир добијене резултате, може се закључити да су малтодекстрин и инулин погодни носачи за сокове од микробиља применом спреј сушења у циљу смањења згрушавања и лепљивости инкапсулата и побољшања проточности и стабилности при складиштењу. Сви инкапсулати сокова од микробиља имали су боју типичну за врсте микробиља коришћене за инкапсулацију, а такође су показали значајно веће L* вредности и ниже C* вредности у поређењу са одговарајућим контролним узорцима, указујући на светлију и мање интензивну боју инкапсулата. SEM анализа је показала да су сви контролни узорци, у поређењу са инкапсулатима, имали

неправилну микроструктуру, честице у форми агломерата и изражену лепљивост, што се може приписати високом садржају воде и одсуству носача, при чему присуство органских киселина и шећера из сокова микробиља додатно подстиче лепљивост прахова. Инкапсулати са малтодекстрином су показали присуство псеудосферичних честица са неправилним површинама, што је последица брзог испаравања напојне смеше при високим температурама у спреј сушачу. Са друге стране, инкапсулати са инулином су показали присуство честица са неправилним, глатким и благо набораним површинама, као и склоношћу ка формирању агломерата честица. Просечни пречник честица инкапсулата сокова од микробиља био је мањи од 5 μm , што се налази у опсегу типичних величина честица прахова добијених техником спреј сушења. На основу снимљених FT-IR спектара инкапсулата и носача (малтодекстрин и инулин) постоји веома велика сличност, без јасних разлика и потенцијалних померања трака у спектрима која би указала на јаке хемијске интеракције између сокова микробиља и носача. Спектрофотометријском анализом је утврђено да инкапсулати сокова од микробиља имају висок садржај укупних фенолних једињења (312,33–764,02 mg GAE/100 g CM) и укупних флавоноида (285,09–330,40 mg QE/100 g CM). Сви спреј осушени инкапсулирани сокови од микробиља цвекле и амаранта показали су висок садржај укупних беталаина, као и већи садржај бетацијанина у поређењу са бетаксантинима. Поред тога, носачи који су коришћени за инкапсулацију сока од микробиља цвекле и амаранта имали су главни ефекат на одржавање укупног садржаја биоактивних компоненти, при чему је инулин показао боља заштитна својства у поређењу са малтодекстрином. Хроматографском анализом у контролним праховима и инкапсулатима сокова од микробиља идентификовано је укупно 47 фенолних једињења и 11 беталаина, док глюкозинолати нису детектовани. Главне класе детектованих једињења биле су фенолне киселине са својим дериватима и флавоноиди, који су типични за микробиље амаранта, цвекле и броколија као и њихове сокове, што је у складу са раније објављеним резултатима анализе фенолног профила. Фенолне киселине и њихови деривати били су доминантна класа фенолних једињења у спреј осушеним и инкапсулираним соковима од микробиља амаранта и броколија, док су различити апигенин С-гликозиди доминантно били присутни у спреј осушеним и инкапсулираним соковима од микробиља цвекле. Флавоноиди нису детектовани у анализираним спреј осушеним и инкапсулираним соковима од микробиља амаранта и броколија. Са друге стране, беталаини били су доминантно присутни у инкапсулатима сокова од микробиља амаранта и цвекле. Висока антиоксидативна активност ових инкапсулата потврђена је применом три методе (ABTS, DPPH и FRAP). Добијени инкапсулати сокова од микробиља имају добру способност да неутралишу ABTS^{•+} радикал, као и високу тенденцију да редукују $[\text{Fe}^{3+}-(\text{TPTZ})_2]^{3+}$ комплекс. Сви инкапсулати имали су високу антиоксидативну активност захваљујући присуству биоактивних једињења, нарочито фенолних једињења, која најјаче доприносе антиоксидативној активности инкапсулата. Са друге стране, инкапсулати са инулином имали су јачу антиоксидативну активност од оних са малтодекстрином, што сугерише да носач има значајан утицај на антиоксидативну активност инкапсулата. У трећем потпоглављу приказани су резултати производње јогурта са додатком инкапсулата од сокова микробиља и њихове карактеризације у погледу текстуралних и физичко-хемијских својстава, укупног садржаја фенолних једињења, антиоксидативне активности и сензорног испитивања. Произведени су следећи обogaћени јогурти: јогурт обogaћен инкапсулатима сока од микробиља амаранта, броколија и цвекле унутар малтодекстрина (ЈО-АМД, ЈО-БМД и ЈО-ЦМД), јогурт обogaћен инкапсулатима сока од микробиља амаранта, броколија и цвекле унутар инулина (ЈО-АИН, ЈО-БИН и ЈО-ЦИН) и јогурт без додатка инкапсулата – контролни јогурт (К). Анализом текстуралних својства јогурта обogaћених инкапсулатима од сокова микробиља доказан је њихов позитиван ефекат на повећање чврстоће у односу на контролни јогурт, што се може објаснити својствима инулина и малтодекстрина да делују као стабилизатори тако што заробљавају молекуле воде, чиме спречавају њихово кретање између других молекула у матриксу јогурта. Такође, обogaћени јогурти су имали бољу кохезивност, конзистенцију и индекс вискозности у

поређењу са контролним јогуртом. Резултати физичко-хемијских параметара показују да је обогаћивање јогурта инкапсулатима од сокова микробиља утицало на повећање pH вредности и смањење синерезиса у поређењу са контролним јогуртом. Поред тога, додавање инкапсулата у јогурт утицало је на промену боје јогурта, као и на смањење L* вредности, односно осветљености. Спектрофотометријском анализом утврђено је да јогурти обогаћени инкапсулатима имају виши садржај укупних фенолних једињења у поређењу са контролним јогуртом, као и повећану антиоксидативну активност, мерену FRP и ABTS методама. Јогурти обогаћени инкапсулатима сока од микробиља су се одликовали врло добрим (3,7) до одличним (4,8) квалитетом. Са друге стране, резултати за укупну прихватљивост јогурта обогаћених инкапсулатима од стране потрошача били су у опсегу од 6,0 ("умерено ми се свиђа") до 8,3 ("екстремно ми се свиђа"), што указује на њихову добру сензорну прихватљивост упоређиву са комерцијалним јогуртом.

Закључак. У овом поглављу изведени су релевантни закључци на основу добијених резултата експерименталних истраживања и њихове дискусије. Микробиље амаранта, броколија и цвекле је богато различитим биоактивним једињењима, првенствено фенолним једињењима (фенолне киселине, деривати фенолних киселина и флавоноиди), а затим беталаинима и глукозинолатима. На основу тога, истакнут је потенцијал микробиља амаранта, броколија и цвекле за примену у прехранбеним производима у циљу развоја функционалних производа са високим садржајем биоактивних компоненти. Након процеса хладног цеђења добијени су хладно цеђени сокови од микробиља амаранта, броколија и цвекле који су имали висок садржај биоактивних компоненти, као што су фенолна једињења, фенолне киселине, флавоноиди и беталаини, који се одликују израженом антиоксидативном активношћу. Истакнуто је да су у соковима од микробиља амаранта и броколија доминантно присутне фенолне киселине и њени деривати (гликозиди ванилинске и хидроксibenзојеве киселине и деривати синапинске киселине), док су различити флавоноиди (апигенин С-гликозиди) углавном пронађени у соку од микробиља цвекле. Беталаини, који се огледају у присуству амарантина и изоамарантина, доминантно су детектовани у соку од микробиља амаранта, док су бетанин и изобетанин најзаступљенији беталаини у соку од микробиља цвекле. Сви сокови испитиваног микробиља имали су благу киселост и низак садржај шећера. Доказана је добра антиоксидативна активност свих сокова од микробиља, а којој је допринео садржај фенолних једињења, беталаина и изотиоцијаната. Сензорном анализом је доказано да су сви сокови показали добар сензорни квалитет и добру сензорну прихватљивост, са укусима карактеристичним за врсте од којих су добијени. Процесом инкапсулације сокова од микробиља амаранта, броколија и цвекле унутар различитих угљенохидратних носача техником спреј сушења постигнуто је повећање приноса, ефикасности инкапсулације, тапкане и насипне густине, као и смањење садржаја влаге у поређењу са контролним праховима, чиме је потенцијално обезбеђена микробиолошка стабилност инкапсулата. Сви инкапсулати сокова од микробиља имали су боју типичну за врсте микробиља коришћене за инкапсулацију, чиме се потенцијално могу користити као колоранти у прехранбеној индустрији. SEM анализа је показала да су сви инкапсулати сокова од микробиља имали правилнији облик, одсуство лепљивости и смањену агрегацију између честица у поређењу са контролним узорцима. FT-IR анализа је показала одсуство јаким хемијским интеракција између компоненти сокова од микробиља и носача, док је са друге стране могуће постојање потенцијалних међумолекулских интеракција. Сви инкапсулати су имали високе вредности укупних фенолних једињења, флавоноида и беталаина. Инкапсулати са инулином су показали више вредности укупних фенолних једињења, флавоноида и беталаина, што је допринело израженијој антиоксидативној активности у поређењу са инкапсулатима са малтодекстрином. Хроматографска анализа је идентификовала 47 фенолних једињења и 11 беталаина, при чему су деривати фенолних киселина били најзаступљенији у инкапсулатима сока од микробиља амаранта (деривати хидроксициметне киселине) и броколија (синапинска киселина и њени деривати), док су у

инкапсулатима сока од микробиља цвекле најзаступљенији били апигенин С-гликозиди (деривати цитозиозиди и витексина). Беталаини су доминантно били присутни у инкапсулатима сока од микробиља цвекле и амаранта. Сви инкапсулати имали су високу антиоксидативну активност захваљујући присуству биоактивних једињења, нарочито фенолних једињења који најјаче доприносе антиоксидативној активности инкапсулата. Стога се може закључити да су инкапсулати сокова микробиља показали повољна својства и изражену антиоксидативну активност, што указује на њихов потенцијал за примену у прехранбеној индустрији као потенцијално функционалних адитива. На основу тога, инкапсулати сокова микробиља амаранта, броколија и цвекле додати су у јогурт, у циљу развоја потенцијално функционалног кисело-млечног производа. Добијени јогурти обогаћени инкапсулатима имали су добре вредности текстуалних параметара, редукован синерезис и атрактивну боју. Сви јогурти обогаћени инкапсулатима имали су виши садржај фенолних једињења и антиоксидативну активност од контролног узорка. Поред тога, обогаћени јогурти имали су прихватљив квалитет и високу укупну прихватљивост од стране потрошача. На основу добијених резултата у оквиру ове докторске дисертације, може се закључити да сокови од микробиља, њихови инкапсулати, и производи са додатком инкапсулата имају разноврстан и висок садржај биоактивних једињења са израженом антиоксидативном активношћу што их сврстава у потенцијалну функционалну храну и проширује могућности њихове примене у прехранбеној индустрији.

Литература. У овом докторској дисертацији је на правилан начин наведено 378 релевантних литературних извора, који пружају преглед најзначајнијих научних радова и истраживања непосредно повезаних са облашћу истраживања ове докторске дисертације.

Прилози. У овом поглављу дати су табеларни прикази класификације проточности и кохезивности инкапсулата на основу вредности CI и HR индекса, као и подаци о квантификацији фенолних једињења добијени применом UHPLC-QToF-MS анализе.

5. Остварени резултати и научни допринос дисертације

Приликом разматрања досадашњих истраживања у области прехранбене технологије, резултати ове докторске дисертације имају научни допринос у области развоја иновативне и потенцијално функционалне хране. Конкретно, допринос се огледа у развоју хладно цеђених сокова од микробиља броколија, цвекле и амаранта који показују потенцијал за примену у прехранбеној индустрији. Додатно, резултати ове докторске дисертације имају научни допринос и у области развоја функционалних адитива. Доказано је да хладно цеђени сокови од микробиља амаранта, броколија и цвекле садрже биоактивне компоненте, испољавају антиоксидативну активност, као и да су сензорно прихватљиви потрошачима. Осим тога, ова дисертација обухвата детаљну карактеризацију хладно цеђених сокова од микробиља амаранта, броколија и цвекле, као и инкапсулата добијених од сокова ових биљних врста. Такође, доказан је ефекат процеса инкапсулације на очување биоактивних компонената, њихову стабилност и продужење њиховог рока трајања. Додатно, доказан је позитиван ефекат процеса инкапсулације поступком спреј сушења и применом различитих носача на очување карактеристичних боја микробиља амаранта, броколија и цвекле, као и на смањење опорог укуса и мириса микробиља. Стога су добијени инкапсулати од сокова микробиља примењени у производњи јогурта, што је довело до побољшања физичко-хемијских, техно-функционалних и антиоксидативних својстава финалног производа. Поред тога, обогаћени јогурти показали су прихватљив квалитет и високу укупну прихватљивост од стране потрошача, што је веома важно са становишта индустријске примене. Ово истраживање доприноси развоју потенцијално функционалних производа од микробиља, пружајући компанијама из прехранбене индустрије основу за даљи развој и производњу иновативних

производа који могу задовољити потражњу потрошача за природним и здравим намирницама.

6. Објављени и саопштени резултати

Кандидат је као први аутор написао један научни рад који је садржински повезан са дисертацијом и објављен у водећем међународном часопису са SCI листе:

1. **Belošević, S.D., Milinčić, D.D., Gašić, U.M., Kostić, A.Ž., Salević-Jelić, A.S., Marković, J.M., Đorđević, V.B., Lević, S.M., Pešić, M.B., Nedović, V.A. Broccoli, Amaranth, and Red Beet Microgreen Juices: The Influence of Cold-Pressing on the Phytochemical Composition and the Antioxidant and Sensory Properties.** Foods 2024, 13 (5), 757. <https://doi.org/10.3390/foods13050757>. IF(2024)=5,1 (M21)

7. Закључак

Докторска дисертација Спасоје Д. Белошевића, мастер инжењера технологије, под насловом „Добијање и инкапсулација сока од микробиља одабраних биљних врста“, представља оригиналан и самосталан научни рад из области прехранбене технологије. Комисија сматра да је дисертација урађена у складу са одобреном пријавом теме докторске дисертације. Кандидат је у складу са савременом научном методологијом, актуелним трендовима у области прехранбене технологије и осмишљеним програмом истраживања извео експериментални део дисертације и на правиан начин прикупио релевантне податке. У циљу квалитетног представљања резултата, анализе и дискусије, кандидат је на адекватан начин дефинисао предмет истраживања, правилно поставио циљеве и хипотезе, користио одговарајућу литературу и извео логичне закључке.

Резултати истраживања ове докторске дисертације имају значајан допринос како науци, тако и пракси, јер обезбеђују вредна сазнања о садржају биоактивних компоненти у хладно цеђеним соковима од микробиља амаранта, броколија и цвекле — производа који су још увек недовољно истражени и искоришћени у прехранбеној индустрији. Кандидат је извршио инкапсулацију хладно цеђених сокова од микробиља амаранта, цвекле и броколија унутар различитих угљенохидратних носача техником спреј сушења, у циљу заштите биоактивних компоненти, продужења њиховог рока трајања и добијања стабилних инкапсулата у форми праха. Добијени инкапсулати од сокова микробиља показали су повољна својства и јаку антиоксидативну активност, што указује на њихов потенцијал за примену у прехранбеној индустрији као функционалних адитива. Инкапсулати од сокова микробиља примењени су у производњи јогурта, а испитан је њихов утицај на карактеристике овог производа. Потврђено је да додатак инкапсулата сокова микробиља амаранта, броколија и цвекле доприноси побољшању физичко-хемијских, техно-функционалних и антиоксидативних својстава финалног производа, као и сензорну прихватљивост од стране потрошача. Произведени и детаљно окарактерисани инкапсулати сокова микробиља амаранта, броколија и цвекле се могу успешно користити као потенцијално функционални адитиви у прехранбеној индустрији, доприносећи побољшању квалитета и функционалних својстава прехранбених производа. Добијени резултати представљају релевантну научну основу за даља истраживања у области развоја потенцијално функционалних производа од микробиља, као и њихове примене у савременој прехранбеној индустрији.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија даје позитивну оцену докторској дисертацији кандидата Спасоја Д. Белошевића, мастер инжењера технологије, под насловом „Добијање и инкапсулација сока од микробиља одабраних биљних врста“ и предлаже Наставно-научном већу

Пољопривредног факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену и омогући кандидату јавну одбрану.

Београд – Земун

Датум: 26.09.2025. године

Чланови комисије

др Стева М. Левић, ванредни професор,
Универзитет у Београду–Пољопривредни факултет
ужа научна област: Биохемија

др Миле С. Вељовић, доцент
Универзитет у Београду–Пољопривредни факултет
ужа научна област: Наука о конзервисању и врењу

др Ђорђе Ж. Моравчевић, редовни професор
Универзитет у Београду–Пољопривредни факултет
ужа научна област: Ратарство, повртарство, цвећарство, крмно и лековито биље

др Данијел Д. Милинчић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду–Пољопривредни факултет
област: Природно-математичке науке-Хемијске науке

др Верица Б. Ђорђевић, доцент
Универзитет у Београду–Технолошко-металуршки факултет
ужа научна област: Хемијско инжењерство

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Београд - Земун

Датум: 26.09.2025. године

ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ
ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације под насловом: „**Добијање и инкапсулација сока од микробиља одабраних биљних врста**“, аутора **Спасоја Д. Белошевић**, констатујем да је утврђено подударање текста мање од 1% последица цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујем да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ментор

др Виктор А. Недовић, редовни професор
Универзитет у Београду-Пољопривредни факултет
ужа научна област: Наука о конзервасању и врењу