



**УНИВЕРЗИТЕТ “СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ”-БИТОЛА
ТЕХНОЛОШКО-ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ ВЕЛЕС**



Назив на студиската програма
Иновативни технологии за храна и нутриционизам

**АКТИВНОСТ НА ВОДА И МИКРОБИОЛОШКИ АНАЛИЗИ НА ХУМУС ОД
НАУТ ЗБОГАТЕН СО ЛАДНО ЦЕДЕНО МАСЛО ОД ЦРНО СЕМЕ
докторски проект**

Кандидат
Елеонора Делиниколова
Број на индекс 30

Ментор
Вонр.проф. д-р. Везирка Јанкулоска

Содржина

1. Вовед.....	4
2. Преглед на литература.....	6
3. Материјали и методи.....	9
3.1. Материјали	9
3.2. Методи	10
3.2.1. Подготовка на хумус	10
3.2.2. Термичка обработка	10
3.2.3. Одредување на активност на вода (a_w)	10
3.2.4. Микробиолошки анализи	10
4. Резултати и дискусија	11
5. Заклучок	13
6. Користена литература.....	13

АКТИВНОСТ НА ВОДА И МИКРОБИОЛОШКИ АНАЛИЗИ НА ХУМУС ОД НАУТ ЗБОГАТЕН СО ЛАДНО ЦЕДЕНО МАСЛО ОД ЦРНО СЕМЕ

Елеонора Делиниколова

Технолошко-технички факултет Велес,
Универзитет „Св. Климент Охридски“ Битола,
Република Северна Македонија
eleonora.delinikolova@uklo.edu.mk

Вонр.проф.д-р Везирка Јанкулоска

Технолошко-технички факултет Велес,
Универзитет „Св. Климент Охридски“ Битола,
Република Северна Македонија
vezirka.jankuloska@uklo.edu.mk

Апстракт

Микробиолошката стабилност и превенцијата од расипување на храната претставуваат клучен предизвик во прехранбената индустрија, со оглед на тоа што директно влијаат врз безбедноста, квалитетот и трајноста на производите. Целта на ова истражување е одредување на активноста на водата и микробиолошка анализа на хумус. Примероците на хумус се подготвени со различни концентрации на ладно цедено масло од црно семе, а се добиени со замена на соодветен удел на ладно цедено маслино масло во рецептурата со масло од црно семе. Беа подготвени пет примерока, од кои еден контролен (без додаток на ладно цедено масло од црно семе) и четири со додаток на 4%, 6%, 8% и 12% ладно цедено масло од црно семе). Хумусот е произведен од варени зрна на наут, таан, ладно цедено масло од црно семе и ладно цедено маслиново масло, со додавање на органски јаболков оцет и хималајска сол.

Активноста на вода (a_w) е измерена на ден 1, 7, 14 и 21 и остана стабилна, движејќи се од 0.971 до 0.9716. Микробиолошките анализи вклучуваа детекција на *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, ентеробактерии, како и броење на квасци и мувли на истите денови. Резултатите покажаа отсуство на *Salmonella spp.* и *E. coli*, додека ентеробактерии, квасци и мувли беа под детекциските граници, што укажува на добра микробиолошка стабилност на производот.

Резултатите од микробиолошката анализа ја потврдуваат безбедноста на хумусот и неговата соодветност за консумација.

Клучни зборови: хумус, микробиолошка стабилност, активност на вода, ладно цедено масло од црно семе

1. Вовед

Консумирањето на наут и хумус е поврзано со зголемен внес на важни хранливи материи, како што се влакна, полинезаситени масни киселини, витамини А, С, Е, К, В₆, тиамин и фолати, како и минерали како магнезиум, фосфор, калиум, бакар и железо. Хумусот е богат со диететски влакна и дневната консумација на четири лажици (околу 140 kcal) традиционален хумус обезбедува околу 25 g диететски влакна, кои често недостасуваат во исхраната на возрасните и децата. Редовното консумирање на хумус се поврзува со намалување на внесот на додадени шеќери, вкупни масти, заситени и мононезаситени масни киселини и холестерол, како и други здравствени придобивки (Франкфелд и Валаце – Frankenfeld & Wallace, 2020).

Хумусот најчесто се подготвува и консумира свеж, со рок на траење од само неколку дена, чуван во ладилник (+4 °C). Во последниве години се пласира и во затворени пластични садови со конзерванси, што овозможува траење до еден месец. Постојат и стерилизирани варијанти во метални конзерви, но долгиот топлински третман ја намалува аромата, бојата и нутритивната вредност (Шахеин и сор. – Shahein et al., 2025).

Антимикробните агенси се користат за спречување на нападот од микроорганизми како што се бактерии, габи, мувли и сл. и на тој начин го продолжуваат рокот на траење на прехранбените производи. Употребата на синтетички антимикробни соединенија сè повеќе се ограничува во храната поради нивните штетни ефекти врз човековото здравје, како и поради тоа што микроорганизмите развиваат резистенција кон нив. Поради тоа, во современи услови побарувачката за природни антимикробни супстанции постојано расте. Зачините и билките, нивните етерични масла или активни соединенија претставуваат одличен извор на антимикробни агенси со дејство против широк спектар на грам-позитивни и грам-негативни бактерии, квасци и мувли, кои може безбедно да се користат во храната за зачувување на нејзиниот квалитет и продолжување на рокот на траење (Мохамед и сор. – Mohammed et al., 2021).

Nigella sativa (црно семе) првпат се појавува во научната литература пред повеќе од еден век, меѓутоа по објавувањето на првото идентификувано соединение (мелантингенин) и првиот фармаколошки извештај за нејзиното антимикробно дејство пред неколку децении, здравствените придобивки и хемискиот состав на *N. sativa* речиси континуирано се документираат. Значаен напредок во истражувањата е постигнат во последните две децении и забележан е пораст на бројот на научни публикации што укажува на сè поголемиот интерес на научната заедница за здравствениот потенцијал на *N. sativa* и нејзина употреба во прехранбената индустрија (Ханан и сор. – Hannan et al. 2021).

Маслото од црно семе има значајни фармаколошки својства, вклучувајќи антиоксидативно, антимикробно, антиканцерогено, аналгетско и антиинфламаторно дејство. Традиционално се користи за третман на главоболки, респираторни заболувања, дијабетес, хипертензија, инфекции и за јакнење на имунитетот. Денес, често се применува како природен имуностимуланс со потенцијален антивирусен ефект (Јуфри и сор. – Jufri et al. 2022). Семките од црно семе (*Nigella sativa* L.) и нивното етерично масло, се користат во функционална храна, нутрацевтици и фармацевтски производи (Хасаниен и сор. – Hassanien et al. 2015). Маслото содржи бројни биоактивни фенолни соединенија, меѓу кои доминираат п-цимен, тимокинон, α -тујен, лонгифолен, β -пинен, α -пинен и карвакрол (Хасаниен и сор. – Hassanien et al. 2015; Алудат и сор. – Alu'datt et al. 2024).

Тимокинонот (2-isopropyl-5-methyl-1,4-benzoquinone) е главната активна состојка на маслото од црно семе, кој е испарливо и чувствително на топлина. Претставува

соединение од класата на терпеноди со содржина од околу 18–24% во маслото (Чаиб и сор. – Chaieb et al., 2011; Алудат и сор. – Alu'datt et al. 2024;). Тимокинонот покажува минимална инхибиторна концентрација (МИК) од 8–16 $\mu\text{g/mL}$ против метицилин-резистентен *Staphylococcus aureus* (MRSA) и МИК од 0,25 $\mu\text{g/mL}$ против резистентни микобактерии. Слично, карвакрол има МИК од 2 mg/mL против орални патогени како *Streptococcus mutans* и *Lactobacillus acidophilus*. Дополнително, ендифитни габи изолирани од *Nigella sativa* исто така демонстрираат антибактериска активност (Аббас и сор. – Abbas et al., 2024).

Карвакрол (5-изопропил-2-метилфенол), е значаен монотерпен присутен во семките на *N. sativa* со антибактериско и антифунгално дејство. Го инхибира размножувањето на Грам-позитивни и Грам-негативни бактерии и спречува формирање на биофилм, што го прави потенцијална замена за конвенционалните антимикробни агенси против бактерии со мултирезистентност (Аббас и сор. – Abbas et al., 2024).

Фенолните соединенија присутни во семките од *Nigella sativa* имаат дејство на природни стабилизатори со антиоксидативни и антимикробни својства, придонесувајќи на тој начин за продолжување на рокот на траење на храната и пијалаците (Мохамед и сор. – Mohammed et al. 2021). Ладно цеденото масло од црно семе покажува висока отпорност кон оксидација на температури од 60 °C и 100 °C, која се должи на присуството на тимокинон, α -долгипинен, карвакрол, 4-терпинеол и изодолгифолен, кои се постабилни во текот на складирањето во споредба со другите испарливи соединенија. Дополнително, тимокинонот заедно со 4-терпинеолот и карвакролот, исто така демонстрираат антирадикална активност во маслото од црно семе (Мазахери и сор. – Mazaheri et al. 2019).

Наутот (*Cicer arietinum* L.), припадник на фамилијата *Leguminosae*, е главна состојка во подготовката на хумус, високо нутритивна храна со приближно 8% протеини, 15% јаглехидрати, 2,5% масти и повеќе од 50% влага со висока активност на водата (Ал-Кадири и сор. – Al-Qadiri et al., 2020). Микробиолошкиот квалитет на хумусот директно зависи од неговите состојки, чекорите при подготовка, условите на складирање, како и од средината во која се изложува и сервира (Ал-Кадири и сор. – Al-Qadiri et al., 2020). Поради високата содржина на јаглехидрати и активноста на водата (0,95–0,98) и умерен рН (4,7–5,1), хумусот создава погодна средина за развој на различни микроорганизми (Ал-Кадири и сор. – Al-Qadiri et al., 2020; Осаили и сор. – Osaili et al., 2025). Единствена состојка што се подложува на термичка обработка е наутот (варење), поради што рокот на траење на производот е ограничен на 24–72 часа чуван во ладилник (+4°C), а можни се вкрстени контаминации по варењето, преку другите состојки, прибор, ракување или средината. Присуството на микроорганизми како млечнокиселински бактерии, *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas*, како и квасци и мувли, доведува до предвремено расипување, поради што хумусот ретко се произведува во големи количини на ресторанско или домашно ниво, а капацитетот за свежо производство наменето за извоз е ограничен (Осаили и сор. – Osaili et al., 2025).

Активноста на водата (a_w) претставува клучен фактор за спречување или ограничување на микробниот раст. Во повеќе случаи, таа е примарен параметар одговорен за стабилноста на храната, со тоа што ја модулира микробната реакција и го одредува типот на микроорганизми кои ќе се појават во производот. Меѓу сите фактори кои влијаат врз растот, угинувањето и преживувањето на микроорганизмите во храната (температура, кислород, достапност на нутриенти, киселост и рН, присуство на природни или додадени инхибитори), активноста на водата (a_w) и нејзиното влијание врз вегетативните клетки и

спорите претставува еден од најкомплексните и најинтересните аспекти. Поради тоа, оваа појава е детално проучувана од микробиолозите кои се занимаваат со безбедност на храната (Тапиа и сор. – Tapia et al., 2020).

Времетраењето на складирањето има значително влијание врз микробиолошката активност. При услови на ладење или чување на собна температура, ограничениот рок на траење на состојките во хумусот, како што се лукот и таан пастата, може да доведе до хемиска разградба, со што се менува микробиолошкиот профил на производот. Долготрајното складирање, особено во херметички затворени услови, може да ја намали вкупната микробна оптовареност, но истовремено може да овозможи развој на специфични микроорганизми на расипување или појава на патогени соеви, доколку не се одржуваат соодветни хигиенски практики за време на подготовката и првичното пакување (Ал-Кадири и сор. – Al-Qadiri et al., 2020).

Традиционалната пастеризација се однесува на термичка обработка на храната (обично под 100 °C) со цел уништување на микроорганизми од јавно-здравствено значење. Процесите на пастеризација што се применуваат во индустријата не ги уништуваат сите микроорганизми во храната, тие се насочени кон специфични патогени и ја намалуваат бројноста на микроорганизмите кои предизвикуваат расипување и кои можат да се развиваат за време на складирање и дистрибуција (Пенг и сор. – Peng et al. 2015). Современите асептични техники овозможуваат подолг рок на траење (1–2 години), но квалитетот сепак останува понизок во однос на свежиот хумус. Затоа се бараат нови методи на конзервирање кои ќе ги зачуваат свежината и органолептичките својства, особено поради сè поголемата побарувачка за минимално преработена и безконзерванска храна. Алтернативни решенија се нетермичките техники како висок хидростатски притисок, ултразвук, зрачење и нивни комбинации со ладење или модифицирана атмосфера (Шахеин и сор. – Shahein et al. 2025).

Во целина, микробиолошката стабилност на хумусот зависи од синергискиот ефект на составот на производот, физичките параметри како pH и a_w , условите на чување, времето на складирање, пакувањето и присуството на антимикробни соединенија, како што се оние од масло од црно семе. Разбирањето на овие фактори е клучно за оптимизација на формулацијата и обезбедување на безбедност и квалитет на хумусот во текот на неговиот рок на траење.

2. Преглед на литература

Прегледот на литературата се фокусира на различните фактори кои влијаат на микробиолошката стабилност и трајноста на хумусот, вклучувајќи pH, активност на вода, природни конзерванси и услови на складирање. Посебно внимание се посветува на потенцијалот на ладно цеденото масло од црно семе како природен антибактериски агент што може да ја подобри безбедноста и квалитетот на производот.

Во студијата на Матеус и сор. - Matheus et al. (2021), pH вредностите кај различните формулации варираше од 4,54 кај стандардниот хумус до 4,82 кај хумусот збогатен со автотрофни *C. vulgaris*, при што се предвидува слично однесување во однос на рокот на траење. Активноста на вода (a_w) не покажала статистички значајни промени ($p > 0,05$), со вредности од 0,977 кај контролните примероци и од 0,973 до 0,982 кај збогатените варијанти (Матеус и сор. – Matheus et al. 2024).

Разбирањето на влијанието на активноста на водата (a_w) врз микробиолошката безбедност на хумусот е од суштинско значење за гарантирање на неговиот квалитет и

продолжување на рокот на траење. Активноста на водата претставува примарен фактор за микробниот раст, директно влијаејќи на ризиците од контаминација и на применетите методи на конзервација. Зеленакова и сор. - Zelenakova et al. (2024) и Осаили и сор. - Osaili et al. (2025) истакнале дека намалената a_w може да го инхибира растот на штетни микроорганизми, со што се продолжува рокот на траење на хумусот (Зеленакова и сор. – Zelenakova et al., 2023; Осаили и сор. – Osaili et al., 2025).

Додавањето на ладно цедени растителни масла, како што се маслиново или ленено масло, има влијание врз активноста на водата и врз сензорните карактеристики на хумусот. Мартинез и сор. – Martinez et al. (2021), покажале дека емулгаторските својства на овие масла придонесуваат за стабилизирање на конзистенцијата на производот, преку создавање бариера која го намалува губењето на влажноста и со тоа ги регулира нивоата на активноста на водата. Оваа интеракција е од суштинско значење, бидејќи оптималната активност на водата не само што ја одржува физичката интегритетност на хумусот, туку игра и значајна улога во развојот на вкусот. Ладно цедените растителни масла можат да дадат специфични ноти и подобрувања на аромата, кои одговараат на различни потрошувачки преференци и придонесуваат за поголема прифатливост на производот (Мартинез и сор. – Martinez et al. 2021).

Ефикасноста на оцетот како природен конзерванс во продолжување на трајноста на хумусот била истакната од Карам и сор. – Karam et al. (2023). При тоа различни антимикробни средства биле испитани за зачувување на хумус при чување на 4 °C до 45 дена. Биле користени хемиски конзерванси, како калиум сорбат (0,09%), и природни антимикроби: лук (1,25%), оцет (5%), натамицин (0,002%), како и нивни комбинации. Почетната микробиолошка вредност на сите примероци била 4,7 log CFU/g, што укажува на добар квалитет според максимално прифатливата граница од 7 log CFU/g. По 21 ден, примероците со оцет покажале супериорен антимикробен ефект со редукција од 2,2–3,2 log во однос на контролата. Калиум сорбат и натамицин покажале само умерена редукција од 0,9 log (Карам и сор. – Karam et al. 2023).

Маслото од *Nigella sativa* покажува значајна антифунгална, антибактериска и антиоксидативна активност. Бургу и сор. – Bourgou et al. (2009) забележале дека маслото целосно инхибира повеќе Грам-позитивни и Грам-негативни бактерии, а неговиот антиоксидативен потенцијал е поголем од оној на синтетичките антиоксиданти ВНА и ВНТ. Антибактериската активност се припишува на фенолните соединенија (Бургу и сор. – Bourgou et al., 2009) (Мохамед и сор. – Mohammed et al. 2019).

Маслото од црно семе се одликува со висока активност против *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*, при што активните соединенија на *Nigella sativa* имаат бактерицидно дејство и го инхибираат растот на околу 90% од *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* и *Enterococcus faecalis* (Чаиб и сор. – Chaieb et al. (2011) (Бургу и сор. – Bourgou et al., 2009). Во истражувањето на Сарвар и Латиф – Sarwar & Latif, (2014), маслото се покажало поефикасно против *Salmonella spp.* од антибиотите Ceftriaxone и Ciprofloxacin (Сарвар и Латиф – Sarwar & Latif, 2014).

Каземи – Kazemi (2014), ја потврдил потенцијалната употреба на етеричното масло и неговите главни компоненти за нивните антиинфламаторни и антимикробни својства. Најголема активност е забележана против *Candida albicans* и *Escherichia coli*, со најниски MIC и MBC/MFC вредности (Каземи – Kazemi, 2014).

Етеричното масло од семки на *N.sativa* покажало значителна антимикробна активност против *S. aureus* и *E. coli* во истражувањето на Бургу и сор. – Bourgou et al.

(2009). Главни активни компоненти биле тимокинонот и лонгифоленот, додека други монотерпени, како п-цименот, ја зголемувале активноста преку синергистички ефект. Механизмот на дејство се одвивал преку нарушување на клеточната мембрана на бактериите, предизвикувајќи нивна некроза и апоптоза (Бургу и сор. – Bourgou et al., 2009).

In vitro антибактериската активност на етеричните масла од *Foeniculum vulgare*, *Petroselinum crispum*, *Lavandula officinalis*, *Nigella sativa* и *Thymus vulgaris* е квантитативно оценета во истражувањето на Виуда-Мартос и сор. (Viuda-Martos et al., 2011). Маслото од црно семе покажало зони на инхибиција од 31.00 mm против *Listeria innocua*, но немало дејство против *Serratia marcescens* и *Pseudomonas fluorescens* (Виуда-Мартос и сор. – Viuda-Martos et al. 2011). *Ex vivo* антиоксидативната, антиинфламаторната, антиканцерогената и антибактериската активност на етеричното масло од семките на *Nigella sativa* од Тунис и неговите главни терпени е истакната во студијата на Бургу и сор. – Bourgou et al. (2009). TQ покажал значителна антимикуробна активност, особено против грам-позитивни коки како *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis* (Бургу и сор. – Bourgou et al., 2009).

Во студијата на Војтасик-Калиновска и сор. – Wojtasik-Kalinowska et al. (2017), било испитувано влијанието на масло од *Nigella sativa* L. врз растот на аеробните бактерии во кофтиња од свинско месо за време на складирање. Податоците покажале дека користените концентрации на масло немале статистички значаен резултат во споредба со контролата со додаден ВНА (Војтасик-Калиновска и сор. – Wojtasik-Kalinowska et al. 2017).

Целта на студијата на Махрос и сор. – Mahros et al. 2020, била да се испита антибактериското и антиоксидативното дејство на масло од црно семе (BSO, 1–3%) и прашок од црно семе (BSP, 2–6%) во мелено овчо месо за време на ладно складирање. Најдобар антибактериски ефект бил постигнат со 3% BSO, додека 4% BSP покажал најсилен антиоксидативен ефект (Махрос и сор. – Mahros et al. 2020).

Тестовите со кристално виолетово (CV) во истражувањето на Чаиб и сор. – Chaieb et al. (2011), е утврдено дека минималната концентрација за инхибирање на био-филм (BIC50) изнесувале 22 µg/ml за *S. aureus* и 60 µg/ml за *S. Epidermidis*. Дополнително, TQ ја намалил адхезијата на клетките и влијаел на нивната оксидативна активност, што го потенцира како биофункционална супстанца (Чаиб и сор. – Chaieb et al., 2011).

Во истражувањето на Бахтити – Bahtiti (2015), се испитувале ефектите на *Nigella sativa* масло (100–400 ppm) како природен конзерванс, врз патогените бактерии во паста од урми. Маслото и екстрактите покажале антибактериско дејство врз грам-позитивни и грам-негативни бактерии, со инхибиција на *Staphylococcus aureus*, *Enterobacteriaceae* и *Enterococcus faecalis*. Популацијата на микроорганизми се намалила за 2,6–3,7 log циклуси, при што инхибиторниот ефект бил посилен во покисела средина. Заклучокот е дека *Nigella sativa* е ефикасна во спречување на микробен раст и продолжување на рок на траење, со ниска токсичност, што ја прави погодна како ароматичен додаток во храна (Бахтити – Bahtiti, 2015).

Влијанието од додавање ладно цедено масло од црно семе во концентрации од 0,1 и 0,2% w/w во сирење збогатено со пробиотски култури бело испитано во однос на инхибицијата на раст на патогени микроорганизми (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* и *Salmonella enteritidis*), кои биле внесени во сирењето за време на складирање на 4°C во период од 42 дена. Маслото покажало антимикуробен ефект врз преживувањето на *St. aureus*, *E. coli*, *L. monocytogenes* и *Sa. Enteritidis*, во концентрација

од 0,2% w/w имало најизразена антимикуробна активност во споредба со контролата. *L.monocytogenes* и *Sa. enteritidis* биле поотпорни на дејството на маслото до 28 дена, додека *E. coli* и *St. aureus* покажале отпорност до 14 дена складирање (Махгуб и сор. – Mahgoub et al. 2013).

Микрокапсулирани масла од *Moringa oleifera* и *Nigella sativa* биле додадени во јогурт од страна на Елшик и Омар – Elshiekh & Omar (2024). Додавањето на енкапсулирани масла во јогуртот влијаеел врз неговата вискозност, pH и киселост. Фортифицираниот јогурт покажал добри микробиолошки својства и отсуство на штетни бактерии, додека сензорната евалуација покажала дека оптималната концентрација од 4% на двете масла ги подобрува вкусот и текстурата. Воопшто, додавањето на енкапсулирани масла ја зголемила нутритивната вредност и потенцијалните здравствени придобивки на јогуртот (Елшик и Омар – Elshiekh & Omar 2024).

Испарливите масла од различни примероци на *N. sativa* биле тестирани и испитани за нивната ефикасност против 19 бактериски изолати (Грам-позитивни, Грам-негативни и габи), при што било покажано дека Грам-негативните бактерии *Haemophilus influenzae*, *Klebsiella pneumoniae* и *Proteus vulgaris* се високо сензитивни на антимикуробното средство. Јасна зона на инхибиција на раст била забележана кај *Staphylococcus aureus* и истата е поврзана со биоактивните состојки на *N. Sativa* (Гериге и сор. – Gerige et al. 2008).

Џакмакчи и сор. – Çakmakçi et al. (2014), го истражувале ефектот на есенцијалното масло од црно семе (*Nigella sativa* L.) врз стабилноста на путерот. За таа цел, во путерот биле додадени 0,05%, 0,1% и 0,2% есенцијално масло. Сите примероци биле складирани на 4±1°C во период од 90 дена. Забележано е дека со додавањето на есенцијално масло се намалил бројот на вкупни аеробни мезофилни бактерии, млечно-киселински бактерии и колиформни бактерии за време на складирањето, но не покажало значајна антифунгална активност (Џакмакчи и сор. – Çakmakçi et al., 2014).

Студијата на Тендерис и сор. – Tenderis et al. (2025), ја оценува употребата на микробранова термална стерилизација (MATS) и микробранов систем за пастеризација (MAPS) за производство на микробиолошки безбеден хумус од леќа, збогатен со витамин Ц. Притоа MAPS ја задржале бојата и 76% од витамин Ц додека MATS покажале помало задржување и намалување на L^* вредностите. Двете методи првично го зголемиле pH, кој потоа постепено се намалил во тек на складирањето, овозможувајќи безбедно производство без хемиски конзерванси (Тендерис и сор. – Tenderis et al., 2025).

3. Материјали и методи

3.1. Материјали

За подготовка на хумусот се користени комерицијално достапни суровини. Главната суровина се зрната на наут (*Cicer arietinum* L.), набавени како сурови зрна и подложени на понатамошна термичка обработка. Се употребени две различни масла: ладно цедено маслиново масло (бренд Аенаон, Грција) и ладно цедено масло од црно семе (*Nigella sativa*, Агрофила ДООЕЛ, Р.С. Македонија). Како дополнителни состојки се користени паста од сусам (таан), органски јаболков оцет и јодирана хималајска сол. Суровините се набавени од компанијата за здрава храна (ДТПУ „Аронија“, Биокосмос – Велес).

3.2. Методи

3.2.1. Подготовка на хумус

Процесот на подготовка се реализираше во производствениот погон на ДТПУ „Аронија“, Здрава храна ДООЕЛ – Биокосмос, Велес. Изработката на примероците беше спроведена по претходно стандардизирана постапка, со модификации во застапеноста на маслата.

Наутот најпрво беше подложен на предтретман на потопување во вода во времетраење од околу 8 часа, со цел омекнување и подобрување на квалитетот на варење. Потоа, зрната беа варени во котел при континуирано загревање во траење од приближно 2,5 часа, сè додека не се постигна потребната мекост. По завршувањето на варењето, дел од водата во која се вареа зрната се зачува за натамошно користење во рецептурата, поради нејзината збогатеност со растворливи нутриенти.

Рецептурата опфаќа мешавина од варени зрна наут, паста од сусам, сол и органски јаболков оцет, во која беа вклучени и маслата во различни соодноси. Маслото од црно семе беше додавано во различни концентрации, со што беа подготвени различни примероци на хумус: Контролен примерок (ХК0) – содржеше само ладно цедено маслиново масло, ХЦ4 – 4% масло од црно семе, ХЦ6 – 6% масло од црно семе, ХЦ8 – 8% масло од црно семе и ХЦ12 – 12% масло од црно семе.

Подготвените состојки беа хомогенизирани со индустриски миксер со инка, за да се постигне кремаста и мазна структура карактеристична за овој тип производ. Добиениот хумус беше пакуван во стаклени тегли од 200 g со навојни капаци, кои овозможуваат херметичко затворање и заштита од контаминација. За да се минимизира ризикот од секундарна контаминација, теглите пред употреба беа подложени на стерилизација преку измивање со топла вода и детергент, испирање со дестилирана вода и дополнително беа изложени на УВ лампа. Веднаш по полнењето, теглите беа херметички затворени и складирани во ладилник на температура од +4 °C, за време на целиот период на следење.

3.2.2. Термичка обработка

Со цел обезбедување на микробиолошка стабилност, пакуваните тегли беа подложени на пастеризација. Пастеризацијата траеше 30 минути, при што температурата се одржуваше во интервал од 63 °C до 65 °C. Овој пристап беше избран за да се задржат хранливите и органолептичките својства на хумусот, истовремено обезбедувајќи безбедност на производот.

3.2.3. Одредување на активност на вода (a_w)

Активноста на вода (a_w) беше измерена со апарат за мерење на активност на вода (модел LubTouch a_w , производител Novastina). Примероците беа претходно хомогенизирани и поставени во специјални комори на апаратот. Секое мерење беше извршено во две повторувања, при температура од 25 ± 1 °C.

3.2.4. Микробиолошки анализи

За анализа на микробиолошката безбедност и стабилност на хумусот, примероците беа испитани за присуство на *Salmonella spp.*, *Enterobacteriaceae*, квасци и мувли, како и *Escherichia coli* (β -глюкоронидаза позитивна).

- *Salmonella spp.* – Анализата беше извршена според ISO 6579-1:2017 – Микробиологија на синцирот на храна — Хоризонтален метод за откривање, броење и серотипизација на *Salmonella* — Дел 1: Откривање на *Salmonella spp.*
- *Enterobacteriaceae* – Определувањето на бројноста на ентеробактерии беше направена според ISO 21528-2:2017 – Микробиологија на синцирот на храна — Хоризонтален метод за откривање и броење на *Enterobacteriaceae* — Дел 2: Техника на броење колонии.
- Квасци и мувли – Испитувањето беше спроведено во согласност со ISO 21527-1:2011 – Микробиологија на храна и добиточна храна — Хоризонтален метод за броење на квасци и мувли — Дел 1: Техника на броење колонии во производи со водна активност поголема од 0.95.
- *Escherichia coli* (β -глукоронидаза позитивна) – Анализата беше извршена според ISO 16649-2:2008 – Микробиологија на синцирот на храна — Хоризонтален метод за определување на *E. coli* — Дел 2: Определување на β -глукоронидаза позитивни колонии.

Сите анализи беа спроведени во контролирани лабораториски услови со почитување на добрите лабораториски практики и стандарди за хигиена, со цел обезбедување на репродуктивни и точни резултати.

4. Резултати и дискусија

Активноста на вода беше следена на ден 1, 7, 14 и 21 и беше мерена со две повторувања на секој примерок. Најниската измерена вредност за активност на водата е $0,971 \pm 0$, а највисока $0,9716 \pm 0.00$, што укажува на релативно стабилна водена активност низ целиот период на складирање (табела 1).

Примерок	Ден 1	Ден 7	Ден 14	Ден 21
	a_w	a_w	a_w	a_w
ХК0	$0,975 \pm 0$	$0,976 \pm 0.001$	$0,9715 \pm 0.0005$	$0,971 \pm 0$
ХЦ4	$0,973 \pm 0$	$0,974 \pm 0$	$0,9735 \pm 0.0005$	$0,9715 \pm 0.0005$
ХЦ6	$0,974 \pm 0$	$0,972 \pm 0$	$0,9735 \pm 0.0005$	$0,973 \pm 0.001$
ХЦ8	$0,974 \pm 0.001$	$0,973 \pm 0.001$	$0,973 \pm 0$	$0,9735 \pm 0.0005$
ХЦ12	$0,975 \pm 0$	$0,974 \pm 0.001$	$0,9735 \pm 0.0005$	$0,9745 \pm 0.0005$

Табела 1. Резултати од мерење на активност на вода кај различни примероци хумус

Активноста на вода (a_w) е еден од најважните параметри за предвидување на преживувањето на микроорганизмите во храната, бидејќи директно влијае на квалитетот и стабилноста на производот (Тапиа и сор.- Tapia et al., 2020). Минималните нивоа на a_w за раст на *E. coli*, *Salmonella* и *L. monocytogenes* се 0,95, 0,94 и 0,92, соодветно. Мувлите можат да растат во медиуми со a_w од 0,8, додека многу видови на квасци можат да толерираат нивоа на a_w од 0,6 (Шахеин и сор. – Shahein et al. 2025).

Во истражувањето на Осаили и сор. – Osaili et al. (20025), хумусот е класифициран како високо расиплива готова храна за јадење (RTE) поради високите нивоа на активност на вода ($a_w = 0,96 \pm 0,001$), умерено кисела рН заедно со достапноста на нутриенти,

подржува раст на микроорганизми кои може да влијае на стабилноста и рокот на траење на производот (Осаили и сор. - Osaili et al., 2025).

Во Табела 2. се прикажани резултатите од микробиолошките испитувања на примероците направени на ден 1, 7, 14 и 21.

Примерок	Ден 1	Ден 7	Ден 14	Ден 21
	<i>Salmonella spp.</i>	<i>Enterobacteriaceae</i> на 37°C	<i>Escherichia coli</i> β -glucuronidase позитивна	Квасци и мувли
Ед. мерка	Отсуство/25g	CFU/g	CFU/g	CFU/g
ХК0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
ХЦ4	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
ХЦ6	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
ХЦ8	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
ХЦ12	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

Табела 2. Резултати од микробиолошки анализи кај примероците хумус

Резултатите од анализата покажаа дека кај сите испитувани примероци на хумус не беа детектирани *Salmonella spp.* (отсуство/25 g), што е во согласност со препораките за безбедна храна според USDA (Министерство за земјоделство на САД – U.S. Department of Agriculture, USDA). Исто така, *Enterobacteriaceae* не беа присутни при минималната граница на чувствителност, изразена како CFU/g. Отсуството на *Enterobacteriaceae* во истражувањето на Младеновиќ и сор. - Mladenović et al. (2021), укажува на соодветна хигиена при подготовката и складирањето на производот (Младеновиќ и сор. – Mladenović et al., 2021). Отсуството на *E. coli* е индикатор за низок ризик од микробно расипување за време на складирање, како што истакнува WHO (Светска здравствена организација – Word Health Organization, WHO). Во анализираните примероци на хумус *E.coli*, не беше присутна при минималната граница на чувствителност. Квасците и мувлите се главни причинители на расипување на храна, особено во производи со висока активност на вода. Нивниот раст може да доведе до промени во текстурата, вкусот и мирисот на хумусот и се најчести причинители на расипување на храната и пијалациите (Ковач и сор. – Kovács et al. 2025). Во сите анализирани примероци хумус не е детектирано присуство на квасци и мувли.

Мерењата на рН на петте примероци хумус со различни концентрации на ладно цедено масло од црно семе покажаа вредност од рН 5,1 (Делиниколова & Јанкулоска, 2025). Оваа вредност го класифицира хумусот во групата на храна со ниска киселост (Администрација за храна и лекови - Food and Drug Administration, FDA), што претставува значаен фактор за неговата микробиолошка стабилност.

Сумирано, добиените резултати укажуваат дека испитуваните примероци на хумус, збогатени со ладно цедено масло од црно семе, се микробиолошки безбедни, стабилни и во согласност со препораките за квалитет и безбедност на храна.

5. Заклучок

Хумусот, како производ со голема содржина на вода и богата нутритивна вредност, е подложен на микробиолошка деградација и можност за развој на потенцијално штетни микроорганизми. Особено е значајно утврдувањето на потенцијалната развојна активност на микроорганизмите кои можат да предизвикаат деградација на органолептичките својства, а нивното отсуство во анализираните примероци покажува дека производот ја задржува својата квалитетна состојба во текот на анализираниот период.

Резултатите од микробиолошките испитувања на примероците ја потврдуваат важноста на внимателниот избор на сировини, контролираната термичка обработка и зачувување на физичките параметри на производот, како и влијанието на природните антимикробни компоненти (масло од црно семе, оцет) во ограничувањето на растот на потенцијално штетни микроорганизми и продолжувањето на рокот на траење на хумусот. За време на складирањето на температура од +4 °C, во примероците хумус кои се карактеризираат со високата активност на вода и ниско кисела pH вредноста, не беа детектирани квасци, мувли, *Salmonella spp.*, *Enterobacteriaceae* ниту *Escherichia coli*, што ја потврдува микробиолошка стабилност на производот. Дополнително, фенолните соединенија присутни во ладно цеденото масло од црно семе, како тимокинон, лонгифоленот, п-цименот, карвакрол и ендифитните габи, најверојатно придонесуваат за оваа стабилност, обезбедувајќи антимикробни и антиоксидативни својства.

Идните истражувања би можеле да се фокусираат на дополнителна оценка на антиоксидативниот потенцијал на хумусот, за да се оцени стабилноста, безбедноста и квалитетот на производот при долготрајно складирање.

6. Користена литература

- Abbas, M., Gururani, M. A., Ali, A., Bajwa, S., Hassan, R., Batool, S. W., Imam, M., & Wei, D. (2024). Antimicrobial Properties and Therapeutic Potential of Bioactive Compounds in *Nigella sativa*: A Review. *Molecules*, 29(20), 4914. <https://doi.org/10.3390/molecules29204914>
- Al-Qadiri, H., Amr, A., Al-Holy, M. A., & Shahein, M. (2020). Effect of gamma irradiation against microbial spoilage of hummus preserved under refrigerated storage. *Food Science and Technology International*, 27(7), 598–607. <https://doi.org/10.1177/1082013220975891>
- Alu'datt, M. H., Rababah, T., Al-u'datt, D. G. F., Gammoh, S., Alkandari, S., Allafi, A., Alrosan, M., Kubow, S., & Al-Rashdan, H. K. (2024). Designing novel industrial and functional foods using the bioactive compounds from *Nigella sativa* L. (black cumin): Biochemical and biological prospects toward health implications. *Journal of Food Science*, 89(4), 1865–1893. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16981>
- Bahtiti, N. (2015). Chemical Investigation and Preservative Effect of Jordanian *Nigella Sativa* L. Seed Oil on Date Paste. *International Journal of Research Studies in Biosciences (IJRSB)*, 3, 1-5.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2007). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Bourgou, S., Pichette, A., Marzouk, B., & Legault, J. (2009). Bioactivities of black cumin essential oil and its main terpenes from Tunisia. *South African Journal of Botany*, 76(2), 210–216. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.009>
- Çakmakçı, S., Gündoğdu, E., Dağdemir, E., & Erdoğan, Ü. (2014). Tereyağı Stabilitesi Üzerine

- Çörekotu (*Nigella sativa* L.) Uçucu Yağı Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2013.10550>
- Chaieb, K., Kouidhi, B., Jrah, H., Mahdouani, K., & Bakhrouf, A. (2011). Antibacterial activity of Thymoquinone, an active principle of *Nigella sativa* and its potency to prevent bacterial biofilm formation. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/1472-6882-11-29>
- Delinikolova, E. & Jankuloska, V. (2025). Sensory analysis of chickpea hummus enriched with cold-pressed black seed oil. Annual conference (winter session) for third-cycle students for the presentation of doctoral projects. “St. Kliment Ohridski” University, Bitola. Available at: https://eprints.uklo.edu.mk/cgi/search/simple?q=eleonora+delinikolova& action_search=Search& action_search=Search& order=bytitle&basic_srctype=ALL& satisfyall=ALL
- Elshiekh, A., & Omar, M. (2024). Physicochemical properties of functional yoghurt fortified with microencapsulated moringa and black cumin oils. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 48(3), 564-574 <https://doi.org/10.21608/ajar.2024.237090.1265>
- Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services (FDA) <https://www.ecfr.gov/current/title-21/part-114/section-114.3>
- Frankenfeld, C. L. & Wallace, T. C. (2020). Dietary patterns and nutritional status in relation to consumption of chickpeas and hummus in the U.S. population. *Applied Sciences*, 10(20), 7341. <https://doi.org/10.3390/app10207341>
- Gerige, S. J., Kumar, M., Gerige, Y., Muralidhara Rao, M. & Ramanjaneyulu (2008). GC-MS Analysis of *Nigella sativa* Seeds and Antimicrobial Activity of its Volatile oil. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 52(5), 1189–1192.
- Hannan, M. A., Rahman, M. A., Sohag, A. a. M., Uddin, M. J., Dash, R., Sikder, M. H., Rahman, M. S., Timalisina, B., Munni, Y. A., Sarker, P. P., Alam, M., Mohibbullah, M., Haque, M. N., Jahan, I., Hossain, M. T., Afrin, T., Rahman, M. M., Tahjib-Ul-Arif, M., Mitra, S., . . . Kim, B. (2021). Black Cumin (*Nigella sativa* L.): A Comprehensive Review on Phytochemistry, Health Benefits, Molecular Pharmacology, and Safety. *Nutrients*, 13(6), 1784. <https://doi.org/10.3390/nu13061784>
- Hassanien, M. F. R., Assiri, A. M. A., Alzohairy, A. M., & Oraby, H. F. (2015). Health promoting value and food applications of black cumin essential oil: an overview. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6136–6142. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1785-4>
- Jufri, M., Namirah, J., & Suryadi, H. (2022). FORMULATION AND STABILITY STUDY OF BLACK CUMIN (*NIGELLA SATIVA* L.) SEED OIL EMULSION USING SUCROSE PALMITATE AS EMULSIFIER. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 113–118. <https://doi.org/10.22159/ijap.2022v14i5.44945>
- Karam, L., Ghonim, F., Dahdah, P., Attieh, G., Al-Ahmad, S., Ghonim, S., & Osaili, T. (2023). Beyond Chemical Preservatives: Enhancing the Shelf-Life and Sensory Quality of Ready-to-Eat (RTE) Hummus with Vinegar and Other Natural Antimicrobials. *Foods*, 12(15), 2947. <https://doi.org/10.3390/foods12152947>
- Kazemi, M. (2014). Phytochemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activity of *Nigella Sativa* L. Essential oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(5), 1002–1011. <https://doi.org/10.1080/0972060x.2014.914857>
- Kovács, M., Pomázi, A., Taczman-Brückner, A., Kiskó, G., Dobó, V., Kocsis, T., Mohácsi

- Farkas, C., & Belák, Á. (2025). Detection and Identification of Food-Borne Yeasts: An Overview of the relevant methods and their evolution. *Microorganisms*, 13(5), 981. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13050981>
- Mahgoub, S. A., Ramadan, M. F., & El-Zahar, K. M. (2013). Cold Pressed *Nigella sativa* Oil Inhibits the Growth of Foodborne Pathogens and Improves the Quality of Domiati Cheese. *Journal of Food Safety*, 33(4), 470–480. <https://doi.org/10.1111/jfs.12078>
- Mahros, M. M., Abd-Elghany, S. M., Sayed-Ahmed, M. Z., Alqahtani, S. S., & Sallam, K. I. (2020). Improving the microbiological quality, health benefits, and storage time of cold-stored ground mutton supplemented with black seed. *LWT*, 138, 110673. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110673>
- Martinez, K. a. A., Yang, M. M., & De Mejia, E. G. (2021). Technological properties of chickpea (*Cicer arietinum*): Production of snacks and health benefits related to type-2 diabetes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3762–3787. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12762>
- Matheus, J., Alegria, M. J., Nunes, M. C., & Raymundo, A. (2024). Algae-Boosted Chickpea Hummus: Improving Nutrition and Texture with Seaweeds and Microalgae. *Foods*, 13(14), 2178. <https://doi.org/10.3390/foods13142178>
- Mazaheri, Y., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2019). A comprehensive review of the physicochemical, quality and nutritional properties of *Nigella sativa* oil. *Food Reviews International*, 35(4), 342–362. <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1563793>
- Mladenović, K. G., Grujović, M. Ž., Kiš, M., Furneg, S., Tkalec, V. J., Stefanović, O. D., & Kocić Tanackov, S. D. (2021). Enterobacteriaceae in food safety with an emphasis on raw milk and meat. *Applied microbiology and biotechnology*, 105(23), 8615–8627. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11655-7>
- Mohammed, N. K., Tan, C. P., Manap, M. Y. A., Muhiaddin, B. J., & Hussin, A. S. M. (2019). Production of Functional Non-dairy Creamer using *Nigella sativa* oil Via Fluidized Bed Coating Technology. *Food and Bioprocess Technology*, 12(8), 1352–1365. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02294-y>
- Mohammed, T., Krishnan, R., Sh, A., & Kumar, G. S. (2021). *Nigella sativa*: Properties, processing and food applications. *The Pharma Innovation*, 10(5S), 173–184. <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i5sc.6204>
- Osaili, T. M., Dhanasekaran, D. K., Hasan, F., Obaid, R. S., Al-Nabulsi, A. A., Olaimat, A. N., Ismail, L. C., Hasan, H., Ayyash, M., Bamigbade, G. B., Ortiz, J., & Holley, R. (2025). High pressure processing of hummus: enhancing microbial safety and stability, and reducing lipid oxidation. *Heliyon*, 11(4), e42590. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42590>
- Peng, J., Tang, J., Barrett, D. M., Sablani, S. S., Anderson, N., & Powers, J. R. (2015). Thermal pasteurization of ready-to-eat foods and vegetables: Critical factors for process design and effects on quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), 2970–2995. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1082126>
- Sarwar, A., & Latif, Z. (2014). GC–MS characterisation and antibacterial activity evaluation of *Nigella sativa* oil against diverse strains of *Salmonella*. *Natural Product Research*, 29(5), 447–451. <https://doi.org/10.1080/14786419.2014.947493>
- Shahein, M., Albawarshi, Y., Al-Khamaiseh, A., El-Eswed, B., Kanaan, O., & Majdalawi, M. (2025). Non-thermal shelf-life extension of fresh hummus by high hydrostatic pressure and refrigerated storage. *Discover Food*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00363-0>

- Tapia, M. S., Alzamora, S. M., & Chirife, J. (2020). Effects of Water Activity (a_w) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation. In *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications* (pp. 323–355). <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch14>
- Tenderis, B., Tang, Z., Lin, H., Bohnet, S., Tang, J., & Sablani, S. S. (2025). Development of vitamin C-Enriched lentil hummus with innovative microwave technologies. *Journal of Food Process Engineering*, 48(4). <https://doi.org/10.1111/jfpe.70104>
- USDA Food Safety and Inspection Service (FSIS). Salmonella. Available at: <https://www.fsis.usda.gov/inspection/compliance-guidance/microbial-risk/salmonella>
- Viuda-Martos, M., Mohamady, M., Fernández-López, J., ElRazik, K. A., Omer, E., Pérez Alvarez, J., & Sendra, E. (2011). In vitro antioxidant and antibacterial activities of essentials oils obtained from Egyptian aromatic plants. *Food Control*, 22(11), 1715–1722. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.04.003>
- Wojtasik-Kalinowska, I., Guzek, D., Brodowska, M., Godziszewska, J., Górka-Horczyzak, E., Pogorzelska, E., Sakowska, A., Gantner, M., & Wierzbicka, A. (2017). The effect of addition of *Nigella sativa* L. oil on the quality and shelf life of pork patties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13294. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13294>
- World Health Organization (WHO). *E. coli*. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- Zelenakova, L., Kolesarova, A., Mendelova, A., Fikselova, M., & Ziarovska, J. (2023). HYGIENIC QUALITY OF CHICKPEA SPREADS IN RELATION TO THE USED INGREDIENTS AND STORAGE CONDITIONS. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, e10556. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.10556>