

Razvoj funkcionalnih proizvoda obogaćenih likopenom

Petrina, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:299073>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Sveučilišni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija

Ana Petrina
0058215558

RAZVOJ FUNKCIONALNIH PROIZVODA
OBOGAĆENIH LIKOPENOM

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Kemija i tehnologija voća i povrća
Mentor: prof. dr. sc. Branka Levaj

Zagreb, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Prijediplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za kemiju i tehnologiju voća i povrća

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Razvoj funkcionalnih proizvoda obogaćenih likopenom

Ana Petrina, 0058215558

Sažetak: Likopen je prirodni pigment, prepoznatljive crvene boje prisutan u voću i povrću, posebno u rajčicama, koji se istaknuo zbog svojih antioksidacijskih svojstava i mnogobrojnih pozitivnih učinaka na ljudsko zdravlje. U današnje vrijeme postoje mnogobrojne studije koje su istražile kemijska i fizikalna svojstva likopena te njegov potencijal za poboljšanje nutritivnih karakteristika prehrambenih proizvoda. Zbog svoje velike antioksidacijske sposobnosti, sve više dolazi do izražaja njegova uloga u očuvanju nutritivne vrijednosti namirnica koje se njime obogaćuju, poboljšanja nutraceutičkih svojstava namirnica te pri konzerviranju prehrambenih proizvoda u svrhu produženja roka trajanja. Stoga se u prehrambenoj industriji sve više pozornosti posvećuje razvoju i odabiru metoda obogaćivanja likopenom s ciljem osiguranja njegove stabilnosti i učinkovite apsorpcije u organizmu. Ovaj rad ukazuje na potencijalne mogućnosti za razvoj novih funkcionalnih proizvoda obogaćenih likopenom s ciljem ekonomičnije proizvodnje i poboljšanja zdravlja potrošača.

Ključne riječi: likopen, funkcionalna hrana, rajčica, obogaćivanje, antioksidacijski učinak

Rad sadrži: 25 stranica, 5 slika, 2 tablice, 47 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: prof. dr. sc. Branka Levaj

Datum obrane: 22. rujna 2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
University undergraduate study Food Technology

Department of Food Engineering
Laboratory for Chemistry and Technology of Fruits and Vegetables

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

**Development of functional food enriched
with lycopene**

Ana Petrina, 0058215558

Abstract: Lycopene is a natural pigment with a distinctive red color found in fruits and vegetables, especially in tomatoes. It has gained recognition for its antioxidant properties and numerous positive effects on human health. Nowadays, there are numerous studies that have explored the chemical and physical properties of lycopene and its potential to improve the nutritional characteristics of food products. Because of its potent antioxidant capabilities, its significance in maintaining the nutritional quality of enriched foods, augmenting the nutraceutical characteristics of food items, and prolonging the shelf life of food products, lycopene is gaining greater recognition. Therefore, the food industry is paying more attention to the development and selection of methods for enriching products with lycopene to ensure its stability and efficient absorption in the body. This paper highlights potential opportunities for the development of new functional products enriched with lycopene with the aim of cost-effective production and improving consumer health.

Keywords: lycopene, functional food, tomato, enrichment, antioxidative effect

Thesis contains: 25 pages, 5 figures, 2 tables, 47 references

Original in: Croatian

Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: PhD Branka Levaj, Full Professor

Thesis defended: September 22nd, 2023

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	TEORIJSKI DIO	2
2.1.	Svojstva likopena	2
2.2.	Likopen u prehrambenim proizvodima	3
2.3.	Bioraspoloživost likopena u organizmu	4
2.4.	Utjecaj likopena na zdravlje čovjeka	5
2.5.	Metode obogaćivanja prehrambenih proizvoda likopenom	6
2.6.	Funkcionalna hrana obogaćena likopenom	11
2.6.1.	Meso i riba	11
2.6.2.	Ulje	12
2.6.3.	Mlijeko i mliječni proizvodi	14
2.6.4.	Ekstrudirani snack-proizvodi obogaćeni likopenom	15
2.7.	Funkcionalna hrana na bazi voća i povrća obogaćena likopenom	15
2.7.1.	Svježe voće i povrće	15
2.7.2.	Umak od rajčice obogaćen likopenom	18
2.7.3.	Ulje iz sjemenki rajčice obogaćeno likopenom iz kore rajčice	18
3.	ZAKLJUČAK	20
4.	LITERATURA	21

1. UVOD

U današnje vrijeme, svijest o važnosti pravilne prehrane i njezinom utjecaju na zdravlje i prevenciju različitih bolesti postaje sve izraženija. Istovremeno, istraživanje i razvoj funkcionalnih namirnica koje pozitivno utječu na ljudski organizam postaje ključan aspekt znanosti o hrani i prehrambene industrije. U tom kontekstu, voće i povrće predstavljaju bogat izvor hranjivih tvari i fitokemikalija s blagotvornim učincima na zdravlje.

Likopen, crveni karotenoidni pigment prisutan u raznom voću i povrću, istaknut je kao posebno značajan zbog svojih potencijalnih dobrobiti za ljudsko zdravlje. Iako je već dugo poznat kao snažan antioksidans, nedavna istraživanja ukazuju na širi spektar pozitivnih učinaka likopena, uključujući smanjenje rizika od razvitka mnogih bolesti, posebice različitih oblika raka.

Ovaj završni rad usmjerava pozornost na razvoj funkcionalne hrane obogaćene likopenom iz voća i povrća. Proučavanje metoda ekstrakcije i stabilizacije likopena te istraživanje potencijalnog obogaćivanja namirnica likopenom u svrhu dobivanja nove funkcionalne hrane je u sve većem porastu. Znanstvenici se nadaju doprinijeti boljem razumijevanju uloge likopena u prehrani, njegovog mehanizma djelovanja u organizmu, a time i njegovoj vrijednosti u unaprjeđenju ljudskog zdravlja. U povoj su i istraživanja na području konzerviranja prehrambenih proizvoda, u kojima likopen doprinosi svojim antioksidacijskim učinkom.

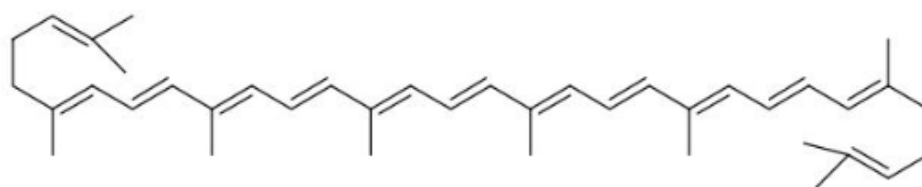
Ovaj rad će detaljno istražiti različite aspekte razvoja funkcionalne hrane obogaćene likopenom, uključujući njegove kemijske karakteristike, biološke učinke, procese proizvodnje i potencijalne primjene u prehrambenoj industriji. Cilj ovog rada je dati prikaz mogućnosti proizvodnje inovativnih proizvoda obogaćenih likopenom i njihovih osobina.

2. TEORIJSKI DIO

Karotenoidi su narančasti i crveni pigmenti prisutni u voću i povrću koji su po kemijskoj strukturi tetraterpeni. Strukturnu formulu sačinjava okosnica koja se sastoji od osam izoprenskih jedinica ($\text{CH}_2=\text{CHC}(\text{CH}_3)\text{CH}_2$) na koju se mogu vezati različite funkcionalne skupine. Pojedini karotenoidi uz postojeće C-H skupine na sebe mogu vezati atome kisika. Polienski lanac, kao središnji dio molekule, karotenoide čini hidrofobnim spojevima. Ovisno o tome sadrže li prstenove na krajevima lanca, dijele se na acikličke, monocikličke i bicikličke spojeve. Struktura karotenoida i broj dvostrukih veza određuje njihovu boju i fotokemijska svojstva molekule, ali utječe i na njihovu reaktivnost (Clinton, 1998). U ovom će radu biti opisan jedan od karotenoida prepoznatljive crvene boje – likopen.

2.1. Svojstva likopena

Likopen je crveni pigment, po kemijskoj strukturi aciklički ugljikovodik ($\text{C}_{40}\text{H}_{56}$) koji sadrži 11 konjugiranih i 2 nekonjugirane dvostruke veze (slika 1). U prirodi se najčešće pojavljuje u *trans*-obliku jer je taj oblik termodinamički najstabilniji. Ipak, dvostruke veze su podložne izomerizaciji pri određenim uvjetima, zbog čega nastaju različiti mono ili poli *cis*-izomeri. Izomerizacija se događa pod utjecajem topline, svjetla ili određenih kemijskih reakcija. Sedam od trinaest dvostrukih veza može izomerizirati iz *trans*- u mono ili poli *cis*-oblik kada su izloženi navedenim uvjetima. Zbog svoje kemijske strukture, likopen je vrlo osjetljiv na djelovanje svjetlosti, kisika i kiselina kao i na prisutnost nekih metalnih iona poput Cu^{2+} i Fe^{3+} iona koji kataliziraju njegovu oksidaciju. Izloženost takvim uvjetima dovodi do smanjenja koncentracije likopena u voću i povrću (Clinton, 1998).



Slika 1. Kemijska struktura likopena (Clinton, 1998)

Neki karotenoidi (primjerice β -karoten) predstavljaju važan izvor vitamina A u prehrani koji, zbog posjedovanja β -iononskog prstena, imaju provitaminsku aktivnost. Međutim, većina karotenoida nema provitaminsku aktivnost, a među njima je i aciklički likopen. Zbog posjedovanja konjugiranih dvostrukih veza, likopen ima sposobnost delokalizacije elektrona u molekuli koja mu omogućava lako stupanje u kemijske reakcije s drugim spojevima što ga čini dobrim antioksidansom. Za njega je karakteristično da inaktivira slobodne radikale u krvi donirajući radikalima svoj elektron i na taj način inhibirajući inicijaciju lančane reakcije oksidacije. Poznato je da likopen inhibira oksidaciju pojedinih makromolekula kao što su proteini, DNA i lipidi. Nadalje, zbog sposobnosti obnavljanja radikalima oštećenih tkiva u organizmu, likopen se smatra bioantioksidansom. Dokazano je da je likopen najjači antioksidans iz skupine karotenoida čemu pridonosi „otvoreni“ β -iononski prsten koji mu omogućava povećanu sposobnost stabilizacije u odnosu na druge karotenoide (Rao i sur., 2006).

Također, važno je spomenuti da se likopen smatra centralnom molekulom u biosintetičkom putu karotenoida jer reakcijama ciklizacije i hidroksilacije likopena nastaju monociklički i biciklički karotenoidi. U zrelih plodovima rajčice te ostalog crvenog voća i povrća, likopen je igličastog oblika, odnosno izgleda poput crvenih izduženih kristala, a u praškastoj formi je tamnocrveno-smeđe boje. Lipofilan je, bolje je topljiv u uljima i organskim otapalima, a tali se pri temperaturi 172-175 °C (Shi i Le Maguer, 2000).

2.2. Likopen u prehrambenim proizvodima

Likopen je fitonutrijent, spoj koji biljci služi u obrani od raznih vanjskih utjecaja, a ljudi ga u organizam unose putem hrane. Crveno voće i povrće najveći su izvori likopena, no više od 85% likopena iz hrane podrijetlom je iz rajčice ili proizvoda od rajčice. Po udjelu likopena, rajčicu redom slijede lubenica, ružičasta guava, crveni grejp i papaja (tablica 1).

Tablica 1. Udjeli likopena u voću i povrću (Rao i sur., 2006)

Voće i povrće	Udio likopena $\mu\text{g/g}$ sirove mase
Gac dinja	2000-3000
Rajčica	8,8-42,0
Lubenica	23,0-72,0
Ružičasta guava	54,0
Crveni grejp	33,6
Papaja	20,0-53,0

Udio likopena u rajčici ovisi o nekoliko faktora – o sorti rajčice, stadiju zrelosti ploda te okolišnim uvjetima pri kojima plod dozrijeva. Ustanovljeno je da udio likopena u rajčici obično iznosi od 3 do 5 mg/100 g te da je njegova koncentracija u kori rajčice oko tri puta veća u odnosu na tkivo rajčice (Bramley, 2000). Također, dokazano je da se udio likopena povećava zrenjem ploda te da je koncentracija likopena viša ljeti, a niža zimi. Razlog tome je što niske temperature inhibiraju sintezu likopena i dozrijevanje plodova. Ipak, previsoke temperature (38°C) će također inhibirati sintezu likopena. Nadalje, plodovi koji su dozrijevali u staklenicima, neovisno o godišnjem dobu, imali su niži udio likopena od onih koji su dozrijevali ljeti na otvorenom (Rao i sur., 2006).

2.3. Bioraspoloživost likopena u organizmu

Bioraspoloživost je definirana kao količina unesenog nutrijenta koja je u organizmu dostupna za apsorpciju i iskoristiva za normalne biološke funkcije i metaboličke procese (Shi i Le Maguer, 2000). Na apsorpciju likopena u organizmu utječe mnoštvo čimbenika, od kojih je najznačajnija izomerizacija. Postoji nekoliko izomera likopena – *mono-cis*, *poli-cis* i *trans* oblik likopena. Kao što je već rečeno, *trans*-oblik likopena je termodinamički najstabilniji te najzastupljeniji oblik u svježim rajčicama. Nasuprot tome, 50 % likopena, koji je apsorbiran u krvnoj plazmi i tkivima ljudi, izomerizira u *cis*-oblik (Rao i Agarwal, 1999). Smatra se da su *cis*-izomeri likopena (*5-cis*, *9-cis*, *13-cis*, *15-cis*) više bioraspoloživi od *trans*-oblika. Razlog tome je njihova veća topljivost u miješanim micelama, manja sklonost prema međusobnom povezivanju te lakša ugradnja u hilomikrone. Ustanovljeno je da su *cis*-izomeri topljiviji u lipofilnim otopinama, manje podložni kristalizaciji te da se lakše prenose unutar stanica ili u matriks tkiva (Shi i Le Maguer, 2000).

Nadalje, smatra se da toplinska obrada prilikom proizvodnje proizvoda od rajčice potiče *trans-cis* izomerizaciju. Tako će se likopen iz soka od rajčice, dobivenog nakon toplinske obrade, lakše i bolje apsorbirati u organizam od onog koji nije bio izložen toplinskoj obradi. Iz tog će se razloga likopen i iz drugih proizvoda od rajčice kao što su koncentrat rajčice, juha, kečap ili dehidratirana rajčica, lakše apsorbirati u organizam u usporedbi sa sirovom rajčicom, zbog većeg sadržaja *cis*-izomera. Ustanovljeno je da najviše likopena među proizvodima od rajčice sadrži koncentrat od rajčice. Međutim, tijekom prerade proizvoda od rajčice primjenom toplinske obrade osim izomerizacije dolazi i do degradacije likopena, odnosno smanjenja njegove koncentracije. Stoga se u proizvodnom procesu za potpuno uklanjanje

mikroorganizama u proizvodima od rajčice koristi HTST princip („High Temperature Short Time“) kako bi se zagrijavanje pri visokim temperaturama provelo u što kraćem vremenu i time sačuvala što veća koncentracija likopena (Rao i sur., 2006). U tablici 2. prikazani su udjeli likopena u pojedinim prehrambenim proizvodima od rajčice.

Tablica 2. Udio likopena u često konzumiranim proizvodima od rajčice (Rao i sur., 2006)

Proizvod od rajčice	Udio likopena (mg/100 g) $\bar{x} \pm \sigma$
Koncentrat rajčice	36,50 ± 0,36
Pire od rajčice	19,56 ± 0,28
Zgnječena rajčica	22,38 ± 0,09
Umak od rajčice	13,06 ± 0,12
Kečap od rajčice	12,39 ± 0,21
Sok od rajčice	10,16 ± 0,06
Pripremljena juha od rajčice	4,41 ± 0,06

Fiziološki farmakokinetički model, ispitivao je apsorpciju likopena iz napitka od rajčice u koncentracijama od 10, 30, 60, 90 i 120 mg kod zdravih muškaraca (pet po dozi). Količina apsorbiranog likopena nije bila statistički različita između doza, a srednja vrijednost iznosila je $4,69 \pm 0,55$ mg. Neovisno o dozi, 80% ispitanika apsorbiralo je manje od 6 mg likopena. Ovo upućuje da je biorasploživost likopena zasićena pri dozama iznad 10 mg/osobi (EFSA, 2005).

2.4. Utjecaj likopena na zdravlje čovjeka

Oksidacijski stres predstavlja poremećenu oksidacijsku ravnotežu, odnosno ravnotežu između oksidansa poput slobodnih radikala i antioksidansa poput likopena. Smatra se jednim od čimbenika koji mogu uzrokovati razvitak mnogih bolesti kao što su pojedine upalne bolesti (reumatoidni artritis, bakterijske ili virusne infekcije), karcinomi i AIDS, neke neurološke bolesti (Parkinsonova bolest, Alzheimerova bolest) te bolesti kardiovaskularnog sustava (srčani udar). Također, oštećenja DNA pripisuju se poremećenoj oksidacijskoj ravnoteži. Antioksidansima, unesenim putem hrane, može se zaustaviti ili spriječiti oksidacijsko oštećenje DNA, prekinuti lanac lipidne peroksidacije, inhibirati maligne transformacije te smanjiti pojavu

određenih tipova karcinoma i degenerativnih bolesti. Likopen djeluje tako da u lipidnim fazama „hvata“ slobodne radikale ili stabilizira atome reaktivnog kisika (Haila i sur., 1996). Među svim karotenoidima, likopen predstavlja najbolju zaštitu stanice od oštećenja izazvanih reaktivnim kisikom (Mortensen i Skibsted, 1997). Konzumacijom hrane bogate likopenom tijekom tjedan dana dolazi do značajnog povećanja njegovog udjela u krvnoj plazmi i do smanjenja oksidacije staničnih makromolekula. Konzumacija likopena povezana je s brojnim zdravstvenim dobrobitima, kao što su regulacija funkcije gena, regulacija komunikacije između stanica, hormonska i imunološka modulacija te regulacija metabolizma (Arab i Steck, 2000; Rissanen, 2002).

Istraživanja su pokazala da unos od minimalno 40 mg likopena dnevno može smanjiti oksidaciju LDL kolesterola čime se umanjuje rizik od kardiovaskularnih oboljenja. Isto tako, istraživanje, koje su proveli Fuhrman i sur. (1997), pokazalo je da je suplementacija likopenom dobivenim iz rajčice u dozi od 60 mg/dan kod skupine muškaraca tijekom tri mjeseca rezultirala 14%-tnim smanjenjem koncentracija LDL kolesterola u plazmi. Zaključeno je da dodatak karotenoida u prehrani može prevenirati sintezu kolesterola (Fuhrman i sur., 1997). Nadalje, povećan unos likopena u prehrani povezan je sa smanjenjem rizika od pojave karcinoma želuca, pluća, mjehura, prostate i dojke. Provedena znanstvena istraživanja su pokazala da osobe oboljele od ovih oblika karcinoma imaju niži udio likopena u plazmi u odnosu na zdrave ispitanike. Utvrđeno je da likopen ima ulogu i u smanjenju posljedica djelovanja UV zračenja u koži i prevenciji karcinoma kože (Khan i sur., 2021).

2.5. Metode obogaćivanja prehrambenih proizvoda likopenom

Dodavanje izoliranog likopena direktno u hranu ili tijekom pripreme i proizvodnog procesa obrade hrane najčešća je metoda koja se koristi u proizvodnji prehrambenih proizvoda obogaćenih likopenom. Riječ je o najjednostavnijoj i najekonomičnijoj metodi za masovnu proizvodnju proizvoda obogaćenih likopenom. Starija metoda koja se koristi je dodavanje praha koji nastaje od sušenog i samljevenog biootpada rajčice (kora i sjemenke rajčice) izravno u prehrambene proizvode (Li i Yu, 2023). Međutim, nedostatak starije metode obogaćivanja namirnica likopenom sastoji se u tome što su potrebne velike količine praha kako bi se osigurao snažan antioksidacijski učinak, što nije prihvatljivo u slučajevima kada su masa i volumen prehrambenih proizvoda striktno definirani propisima o zadovoljavanju kriterija kvalitete proizvoda za plasman na tržište (Nour i sur., 2015). Osim svog utjecaja na masu i volumen proizvoda, prah likopena može značajno utjecati i na boju namirnice što je još jedan od

potencijalnih nedostataka ove metode. Iz tog razloga, sve je veća upotreba rafiniranih i ekstrahiranih ulja likopena i njegovih kristala (slika 2) koji imaju veću čistoću te se trebaju dodavati u malim količinama kako bi ostvarili snažan antioksidacijski učinak u proizvodu. Ipak, negativna strana ove metode jest u tome što je izoliran i pročišćen likopen u obliku kristala znatno skuplji od praha, dok je sama metoda ekstrakcije koja se provodi putem organskih otapala, a potrebna je za dobivanje likopena u takvom obliku, prilično složeniji postupak (Kehili i sur., 2018).

Za ekstrakciju karotenoida često se koristi metoda ekstrakcije po Soxhletu (Adadi i sur., 2018). Neka od organskih otapala koja se koriste za ekstrakciju likopena su etanol, aceton, petrolej, kloroform i benzen (Li i Yu, 2023). Potrebno je i da se u rotacionom isparivaču ukloni otapalo koje se koristi za ekstrakciju kako bi se dobio suh ekstrakt likopena. Još neke od metoda ekstrakcije likopena su ekstrakcija enzimskom hidrolizom, ekstrakcija superkritičnim fluidom, ekstrakcija potpomognuta mikrovalovima te ultrazvučna ekstrakcija. Dokazano je da je kombinacija navedenih metoda ekstrakcije poboljšala iskoristivost likopena iz namirnice podvrgnute ekstrakciji. Primjerice, tretman enzimima olakšava difuziju organskog otapala u tkivo tretiranog voća i povrća te time olakšava eluciju željenih molekula i povećava im koncentraciju u dobivenom ekstraktu (Pathak i Sagar, 2023). Dobiveni ekstrakt likopena ili rafinirani kristali rajčice koriste se za konzerviranje ulja, poput suncokretovog i maslinovog ulja (Kehili i sur., 2018). Također, proizvodi s visokim udjelom masti, poput maslaca, sladoleda i majoneze, mogu se obogatiti ekstraktom likopena kako bi im se produžio rok trajanja (Kaur i sur., 2011).



Slika 2. Likopen u uljnom, kristalnom i praškastom obliku (Anonymous)

Međutim, zbog svoje visoke topljivosti u ulju, likopen se metodom ekstrakcije i direktne implementacije ne može implementirati u proizvode s visokim udjelom vode, kao što su svježi morski proizvodi, svježe meso te neki prethodno neprocesirani proizvodi. Iz tog razloga, uvedene su i druge metode za konzerviranje namirnica, poput jestivih i kompozitnih filmova.

Jestivi filmovi izgrađuju se od biorazgradivih materijala, izgrađuju ih makromolekule poput polisaharida, proteina i lipida te su iz tog razloga netoksični za ljude. Konzerviranje jestivim filmovima obogaćenim likopenom postiže se otapanjem likopena u organskom otapalu i uvođenjem u izvornu premaznu otopinu koja se sprej-raspršivanjem nanosi na površinu hrane ili se namirnica uranja izravno u pripremljenu otopinu premaza obogaćenu likopenom. Kompozitni filmovi sastoje se od više slojeva različitih materijala, a za stvaranje otopine kompozitnog premaza odabiru se spojevi koji zajedno postižu što efikasniju barijeru između tretirane namirnice i nepovoljnih okolišnih čimbenika – kisika, svjetlosti, vlage te mikroorganizama. Jestivi filmovi i kompozitni filmovi koriste se za očuvanje svježeg voća, povrća i mesa (Suhag i sur., 2020).

Također, sve češću primjenu u pakiranju prehrambenih proizvoda imaju aktivna pakiranja u kojima se koriste biorazgradive folije obogaćene likopenom. Biorazgradive folije se mogu koristiti kao nosači molekula s antimikrobnim i antioksidacijskim svojstvima, kako bi se postigao učinak kontroliranja ili sprečavanja reakcija koje se odvijaju unutar pakiranja (Huang i sur., 2023). Glavni antioksidacijski mehanizam pakiranja je postupna migracija antioksidacijskih tvari iz folije u prehrambeni proizvod, što dovodi do poboljšane kvalitete, dužeg roka trajanja, inhibicije razvoja patogenih mikroorganizama i poboljšanih senzornih svojstava prehrambenih proizvoda (Stoll i sur., 2018). Likopen u folijama smanjuje reakcije oksidacije u prehrambenim proizvodima, poboljšava svojstva proizvoda te poboljšava mehaničku barijeru (Noronha i sur., 2014). Osim toga, likopen u biorazgradivim folijama pomaže smanjiti prolazak ultraljubičastih (UV) zraka, što ih čini djelotvornim zaštitnim slojem protiv oksidacije uzrokovane UV zračenjem. Zbog topljivosti likopena u ulju, većina proučavanih bioaktivnih pakiranja koja sadrže likopen trenutno je ograničena na upotrebu u masnim namirnicama, poput margarina (Noronha i sur., 2014).

Kao još jedno od rješenja povećanja topljivosti i stabilnosti likopena i njegovom potencijalnom korištenju kao konzervansa u proizvodima s višim udjelom vode, poput napitaka, sokova i mliječnih proizvoda, jesu emulzije koje sadrže likopen u uljnoj fazi (Araiza-Calahorra i sur., 2018). U masnim namirnicama razina oksidacije obično je visoka, što može ubrzati

narušavanje kvalitete proizvoda, kao i kvarenje prehrambenih proizvoda. Emulzije s likopenom u prehrambenim proizvodima mogu usporiti oksidaciju prehrambenih proizvoda čime im se produžuje rok trajanja. Najčešća emulzija se dobiva otapanjem likopena izravno u ulju kako bi se formirala uljna faza, zatim se uljna faza dodaje vodenoj fazi kako bi se dobila sirova emulzija te se zajedno sve homogenizira u visokotlačnom homogenizatoru (Chen i sur., 2021). Nadalje, s pojavom novih tehnologija, tehnologija nanoemulzija omogućila je bolju dispergiranoost uljne u vodenoj fazi. Nanoemulzije se pripremaju na sličan način kao i tradicionalne emulzije, ali se homogeniziraju pomoću ultrazvučnog homogenizatora kako bi se postigla veličina čestica emulzije koja je 10–100 puta manja od veličine čestica običnih emulzija (Baghabrishami i sur., 2023). U studiji Himanath i sur. (2021), nanoemulzije s kokosovim uljem i sojinim lecitinom ugrađene su u jogurt kao stabilan nosač za likopen s ciljem poboljšanja antioksidacijskih svojstava i kako bi se očuvala kvaliteta proizvoda.

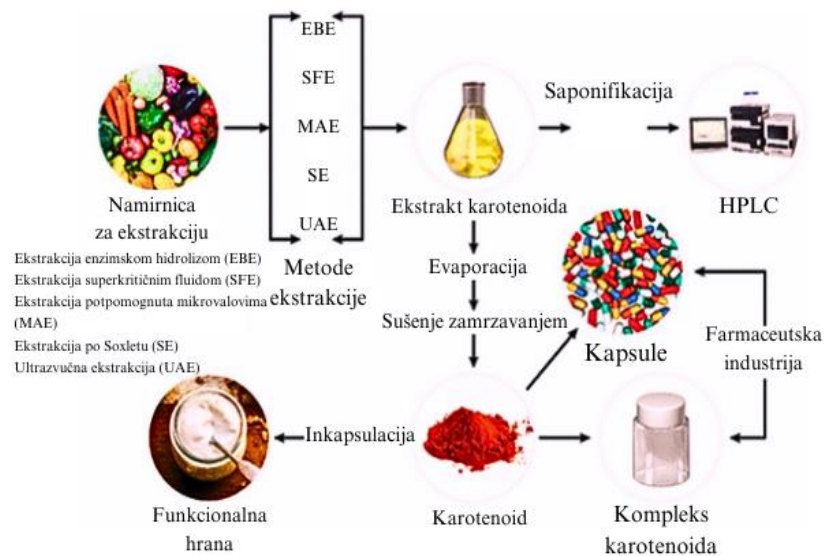
Tehnologija mikroinkapsulacije uključuje inkapsulaciju tekućina, čvrstih tvari pa čak i plinova odabirom odgovarajućeg materijala koji formira stijenku kapsule i štiti jezgru materijala. Tehnologija mikroinkapsulacije sve više se koristi u prehrambenoj industriji kako bi se inkapsulirali nestabilni aktivni sastojci, uključujući likopen, kako bi ih se zaštitilo i spriječilo oksidaciju, izomerizaciju i degradaciju likopena tijekom skladištenja. Likopen se razgrađuje u prisutnosti kisika i pri visokim temperaturama. Inkapsulacija može smanjiti ove gubitke, istovremeno omogućujući kontrolirano oslobađanje likopena tijekom vremena (Wu i sur., 2023).

Sličan mehanizam implementacije likopena u prehrambene proizvode je i u obliku mikročestica. Mikročestice su čestice s promjerom od nekoliko mikrometara do nekoliko milimetara i često se koriste kako bi se poboljšala tekstura, okus, aroma, boja, stabilnost emulzija, nutritivni profil ili funkcionalnost hrane. Mikročestice se mogu izrađivati iz različitih materijala, uključujući škrob, proteine, lipide, gumu, alginat i slične sastojke, a od trenutka njihove implementacije u proizvod postepeno se otpušta željena tvar, sadržana u jezgri mikrosfere (Li i Yu, 2023).

Mikrokapsule i mikročestice likopena uspješno se koriste u svježe rezanom voću kako bi se spriječilo posmeđivanje voća te mu se time produžio rok trajanja (Martínez-Hernández i sur., 2019). Trenutačno je mnogo mikrokapsula likopena uspješno inkapsulirano različitim materijalima, koji aktivno sudjeluju u poboljšanju stabilnosti likopena. Primjerice, Souza i sur. (2018) istraživali su učinak maltodekstrina, proteina izolata sirutke i škroba modificiranog

anhidridom oktenilsukcinske kiseline na stabilnost likopena u mikrokapsulama. Rezultati su pokazali da su maltodekstrin i modificirani škrob pružili jaču zaštitu likopena i veću antioksidacijsku sposobnost. U usporedbi s neinkapsuliranim likopenom, koji je predstavljao kontrolu u istraživanju, mikrokapsule likopena imale su 2,0 do 2,4 puta veću sposobnost hvatanja slobodnih radikala.

Inkapsulirani likopen pronašao je svoju primjenu i u farmaceutskoj industriji. Iako ne postoji formalno preporučena doza za suplementaciju, doze suplemenata likopena koje su ustanovljene kao sigurne u dosadašnjim istraživanjima iznose 2-75 mg/dan u periodu suplementacije od jednog do šest mjeseci. Preporučuje se konzumacija masnije hrane uz unos kapsule likopena uslijed veće apsorpcije likopena u mastima. Svakako, ovisno o oboljenju pacijenta preporučena doza se smanjuje i povećava te se prilagođava period preporučene suplementacije (Tierney i sur., 2020). Proizvodni proces inkapsulacije likopena zajednički je procesu inkapsulacije karotenoida (slika 3).



Slika 3. Proizvodni proces ekstrakcije karotenoida i njihove primjene u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji (prema Adadi i sur., 2018)

2.6. Funkcionalna hrana obogaćena likopenom

U današnje je vrijeme sve učestalija primjena dodatka likopena u proizvodnji funkcionalne hrane zbog njegovog snažnog antioksidacijskog djelovanja. Zahvaljujući antioksidacijskom djelovanju pomaže i u produljenju roka trajanja namirnica obogaćenih likopenom i očuvanju njihove svježine. Neke od namirnica u kojima se dodatak likopena upotrebljava su meso, riba i morski plodovi, masti i ulja, mliječni proizvodi, voće i povrće te proizvodi dobiveni preradom voća i povrća, kao i ekstrudirani snack-proizvodi (slika 4). U ovom podnaslovu rada ukratko će se iznijeti zaključci znanstvenih istraživanja o značajnosti obogaćivanja prehrambenih proizvoda likopenom.



Slika 4. Primjeri funkcionalnih namirnica obogaćenih likopenom (Levin i sur., 2006)

2.6.1. Meso i riba

Kim i sur. (2011) ispitivali su razinu oksidacije lipida u niskomasnim svinjskim kobasicama s dodatkom praha rajčice. Najviše koncentracije dodatka praha od rajčice (1,2 % i 1,5 %) u kobasicama dovele su do značajnog smanjenja razine oksidacije lipida. Ovakav učinak pripisuje se utjecaju likopena iz rajčice i njegovim antioksidacijskim svojstvima. Osim toga, provedeno je senzorsko ocjenjivanje mesa koje je pokazalo jednake i/ili bolje rezultate za kobasice s dodatkom praha od rajčice u usporedbi s kontrolom po pitanju boje, arome, mekoće i sočnosti (Kim i sur., 2011).

Također, likopen ima snažan učinak pri očuvanju svježine i hranjive vrijednosti ribe. One se najčešće ocjenjuju mjerenjem oksidacijskih pokazatelja, kao što su količina slobodnih masnih kiselina, peroksidni broj, ukupni hlapljivi bazni dušik i tiobarbiturna kiselina. Ehsani i sur. (2017) istraživali su učinak alginatne prevlake bez ili s likopenom na kvalitetu kalifornijske pastrve koja je bila pohranjena u rashlađenim uvjetima 16 dana. Uzorci pastrvi obloženi alginatom pokazali su značajno niže vrijednosti slobodnih masnih kiselina i ukupnog hlapljivog baznog dušika od kontrolne skupine, dok su uzorci s dodatkom likopena pokazali najbolje rezultate pri kraju skladištenja. Preporučuje se nanošenje alginatne prevlake s udjelom likopena od 3 % za konzerviranje kalifornijske pastrve jer su uzorci ove kombinacije pokazali najbolje rezultate u studiji (Ehsani i sur., 2017).

U narednoj studiji koju su provodili Ehsani i sur. (2020), kalifornijske pastrve su hranjene suhim peletima s različitim koncentracijama likopena. Nakon toga, nasumično je odabrano 30 riba iz svake tretirane skupine te su uronjene u otopine s različitim koncentracijama likopena. Rezultati su pokazali da je likopen, primijenjen endogeno (isključivo potječe apsorpcijom likopena iz peleta) i egzogeno (tretman uranjanjem u otopine likopena), učinkovito stabilizirao svježinu fileta pastrve tijekom procesa hlađenja. Učinak egzogenog likopena na parametre peroksidnog broja, tiobarbiturne kiseline, slobodnih masnih kiselina i senzorske ocjene bio je znatno izraženiji u usporedbi s isključivo primijenjenim endogenim likopenom i kontrolnom skupinom (bez prisutnog likopena u peletama). Što se tiče senzorskih ocjena, uzorci fileta koji su primali prehrambeni likopen pokazali su promjene u mirisu i teksturi te su ti parametri prekoračili prihvatljive granice nakon 12 dana, dok uzorci izloženi egzogenom likopenu nisu nikada prešli te granice tijekom cijelog perioda skladištenja. Na temelju tih rezultata, zaključilo se da je dodatak likopena u otopinu za oblaganje, posebice pri višim koncentracijama, veoma učinkovito sredstvo za produženje trajnosti fileta pastrve tijekom skladištenja (Ehsani i sur., 2020).

2.6.2. Ulje

Oksidacija lipida je nepoželjan proces do kojeg može doći u uljima u različitim fazama njihove proizvodnje, skladištenja i tijekom njihove konzumacije, a uzrokuje skraćivanje roka trajanja uljnim proizvodima. Oksidacijom se povećava stvaranje toksičnih aldehida uslijed razgradnje višestruko nezasićenih masnih kiselina, što može dovesti do velikih zdravstvenih poteškoća, u konačnici i do bolesti srca te karcinogeneze. Osim toga, oksidacija lipida negativno utječe i na promjene u senzorskim svojstvima hrane. U tom kontekstu, dodatak likopena u uljne

proizvode može pomoći u prevenciji oksidacije lipida i povoljno utjecati na očuvanje njihove kvalitete. Zbog topljivosti likopena u ulju, glavni način na koji se likopen koristi u konzerviranju ulja je izravno dodavanje ekstrakta likopena ili nusproizvoda prerade rajčice (Li i Yu, 2023).

Studija provedena u Kini 2018. godine proučavala je utjecaj jeftinijih sintetskih antioksidansa, kao što su tert-butilhidrokinon, beta-hidroksi kiselina, butilirani hidroksianisol i butilirani hidroksitoluen u usporedbi s likopenom na produljenje roka trajanja orahovog ulja. Istraživanje je pokazalo da je razina likopena od 0,005% uspješnije inhibirala oksidaciju orahovog ulja u odnosu na istu koncentraciju butiliranog hidroksianisola (BHA) i butiliranog hidroksitoluena (BHT) (Xie i sur., 2018).

Međutim, preporučene razine dodatka likopena razlikuju se u različitim vrstama ulja. Primjerice, Kehili i sur. (2018) ekstrahirali su uljni ekstrakt bogat likopenom procesiranjem industrijskih nusproizvoda rajčice te su zaključili da likopen može poslužiti kao prirodna alternativa sintetskim antioksidansima, odnosno BHA i BHT, u rafiniranom maslinovom ulju i rafiniranom suncokretovom ulju. Navedeno je značajno iz razloga što se ovi sintetski antioksidansi vežu uz povećanu incidenciju razvitka karcinoma te su iz tog razloga, u nekim zemljama, zabranjeni. Nadalje, Kehili i sur. (2018) su u studiji preporučili upotrebu 250 $\mu\text{g/g}$ uljnog ekstrakta koji sadrži 5 $\mu\text{g/g}$ (0,0005 %) likopena u svrhu konzerviranja rafiniranog maslinovog ulja te 2000 $\mu\text{g/g}$ uljnog ekstrakta i u njemu sadržanog 40 $\mu\text{g/g}$ (0,004 %) likopena za konzerviranje rafiniranog suncokretovog ulja. Ipak, visoke koncentracije likopena u rafiniranom maslinovom ulju tijekom dugotrajnog skladištenja dovele su do pojačanja oksidacijskih reakcija. Ovaj rezultat prepisuje se oksidaciji karotenoida u uljima i to pri višim dodanim koncentracijama. Njihovo antioksidacijsko djelovanje (koje se većinom sastoji od "hvatanja" peroksidnih radikala u uljima) potrajat će do razine kada karotenoidi sami počnu sve više podlijevati oksidaciji, stvarajući epoksi-spojeve, spojeve s hidroksilnim i karbonilnim skupinama, koji mogu svojim povećanim koncentracijama ubrzati fazu propagacije u oksidacijskim reakcijama i time pridonijeti daljnjem negativnom učinku oksidacijskih reakcija u uljima (Sy i sur, 2013).

2.6.3. Mlijeko i mliječni proizvodi

Među mliječnim proizvodima, najosjetljiviji su oni s visokim udjelom masti, poput vrhnja, maslaca, sira i sladoleda. Oksidacija masti i posljedičan razvoj užeglosti velik je problem koji se javlja tijekom prerade i skladištenja mliječnih proizvoda s visokim udjelom masti, a pokazatelj je smanjenja kvalitete namirnica i njihove nutritivne vrijednosti. Dodavanje likopena u mliječne proizvode može usporiti oksidaciju lipida i pomoći u očuvanju senzorskih svojstava namirnica bogatih mastima (Li i Yu, 2023).

Kaur i sur. (2011) ugradili su kristale likopena u maslac (20 ppm) i sladoled (70 ppm) te su analizirali indekse stabilnosti skladištenja i senzorske karakteristike tijekom skladištenja u trajanju od 4 mjeseca. Rezultati su pokazali da su kontrolni uzorci maslaca pokazali značajno povećanje peroksidacijskog broja nakon 2 mjeseca skladištenja, dok je maslac koji je sadržavao likopen pokazao značajan porast peroksidacijskog broja tek nakon 3 i 4 mjeseca. Za sladoled su i kontrolni uzorci i uzorci s likopenom pokazali značajno povećanje peroksidacijskog broja s povećanjem vremena skladištenja, ali je povećanje peroksidacijskog broja za sladoled bilo znatno sporije u uzorcima koji sadrže likopen. Također, uzorci maslaca i sladoleda koji su sadržavali likopen imali su značajno niži sadržaj slobodnih masnih kiselina od kontrolnih uzoraka na kraju skladištenja. Rezultati se pripisuju povećanjem antioksidacijskog učinka likopena s povećanjem njegove koncentracije, koji se očituje povećanjem inhibicije stvaranja peroksida (Kaur i sur., 2011).

Nadalje, Siwach i sur. (2016) promatrali su senzorske ocjene bezvodne mliječne masti obogaćene likopenom u usporedbi s kontrolom. Mliječna mast obogaćena likopenom postigla je značajno veću ocjenu od kontrole za okus na kraju 8 i 12 mjeseci skladištenja. Ovakav utjecaj likopena pripisuje se njegovom sprječavanju oksidacijske užeglosti te se pokazao kao dobar antioksidans za produljenje roka trajanja mliječnih proizvoda. Međutim, dodatak od 150 ppm (najviša koncentracija) likopena dobio je najnižu ocjenu u području boje, ona je bila tamnocrvena i kao takva, neprihvatljiva za ciljani proizvod. Navedeno je dokaz da je potrebno dozirati koncentraciju likopena u skladu s propisima senzorske kvalitete za pojedine proizvode (Siwach i sur., 2016).

Za mliječne proizvode s nešto nižim udjelom masti, kao što su mlijeko i jogurt, izravno dodavanje likopena može dovesti do odvajanja slojeva i iz tog razloga je prethodno potrebno pripremiti emulziju koja sadrži likopen te ju dodati tim mliječnim proizvodima. Prema rezultatima eksperimenta Himanath i sur. (2021) provedenog na stabilnosti jogurta obogaćenog

likopenom pri skladištenju, ugradnja nanoemulzija likopena poboljšala je antioksidacijsku aktivnost u jogurtu, održala kvalitetu jogurta 28 dana te je poboljšala senzorska svojstva jogurta. Dodatak emulzije likopena poboljšao je i preživljavanje *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* u jogurtu, što je omogućilo zadržavanje kvalitete proizvoda. Nadalje, kapacitet zadržavanja vode se povećao s vremenom skladištenja u uzorcima jogurta koji sadrže likopen u formi emulzije (Himanath i sur., 2021).

2.6.4. Ekstrudirani snack-proizvodi obogaćeni likopenom

Dodavanje derivata rajčice ekstrudiranim snack-proizvodima od škroba može poboljšati njihova nutritivna svojstva uslijed dodatka likopena i vlakana. Ipak, potrebno je pripaziti i na fizikalno-kemijska svojstva ekstrudiranih proizvoda, pošto na neke od željenih parametara ekstrudiranih proizvoda dodatak vlakana može utjecati (povećana tvrdoća, povećani postotak gubitka vlage) (Altan i sur., 2008).

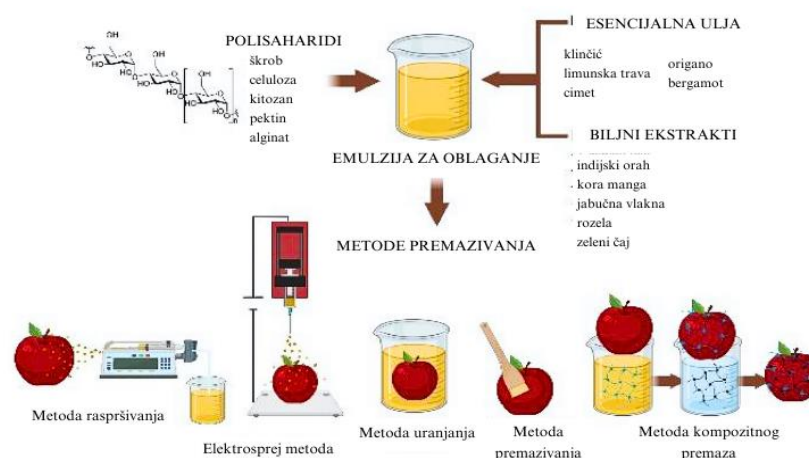
U istraživanju Dehghan-Shoar i sur. (2010) ekstrudirane grickalice niske gustoće proizvedene su od kukuruza, pšenice i riže, s dodatkom ili bez dodatka sušene kore rajčice ili praha od rajčice, a ekstrudirane su na temperaturama od 140, 160 ili 180°C. Mjeren je sadržaj likopena te su promatrana fizikalno-kemijska svojstva snack-proizvoda nakon njegovog dodatka (ekspanzija, gustoća, tvrdoća, parametri boje i postotak gubitka vlage). Zadržavanje likopena nakon toplinskog tretmana bilo je veće u proizvodima koji sadrže koru od rajčice od onih kojima je dodan prah od rajčice. Povećanje temperature prilikom proizvodnje poboljšalo je fizikalno-kemijska svojstva grickalica, ali nepovoljno je utjecalo na zadržavanje likopena u proizvodu, pošto je likopen termolabilan pri temperaturama višim od 100 °C. Također, u snack-proizvodima je bila povećana tvrdoća uslijed dodatka vlakana i to više kada je u njih dodana kora od rajčice. Obzirom da su navedene temperature za proizvodnju ekstrudiranih snack-proizvoda nužne, istraživanje Dehghan-Shoar i sur. (2010) pokazalo je da očuvanje likopena u ekstrudiranim proizvodima može biti i veće ako se dodaje u zaštićenom obliku (kora od rajčice).

2.7. Funkcionalna hrana na bazi voća i povrća obogaćena likopenom

2.7.1. Svježe voće i povrće

Neželjene pojave koje se mogu javiti prilikom skladištenja svježeg voća i povrća su omekšavanje tkiva, enzimsko posmeđivanje, smanjenje nutritivne vrijednosti, pojava neželjenih aroma, kao i povećan razvoj mikroorganizama (Shiekh i sur, 2021; Finnegan i O'Beirne, 2015). Iz tog razloga, u upotrebi su sve češće metode konzerviranja svježeg voća i

povrća premazivanjem njihove površine kompozitnim i jestivim filmovima, koji stvaraju mehaničku barijeru između tkiva ploda i okoliša (slika 5). Također, svježe narezano voće i povrće sve je popularnije među potrošačima uslijed svoje praktičnosti za konzumaciju. Ipak, uslijed oštećenja tkiva koja nastaju tijekom procesa guljenja i rezanja, kraći im je rok trajanja u odnosu na neprocesirano voće i povrće. Svježe narezano voće je naročito sklono posmeđivanju pošto se membrane stanica oštećuju prilikom rezanja voća i izloženosti kisiku nakon rezanja. Pošto diskoloracija upućuje na kraći rok trajanja proizvoda, voće zahvaćeno takvom promjenom manje prihvaćaju i potrošači. Potapanje svježe narezanog voća u premazne otopine, kao i dodavanje molekula s antioksidacijskim učinkom i antimikrobnih supstanci u ambalažu u svrhu izrade aktivnih ambalažnih materijala, pokazali su se kao dobro rješenje negativnim promjenama koje se javljaju u svježe narezanom voću (Li i Yu, 2023).



Slika 5. Metode konzerviranja voća oblaganjem njihove površine (prema Shiekh i sur., 2021)

U nastavku su izloženi rezultati najnovijih istraživanja o utjecaju oblaganja voća kompozitnim i jestivim filmovima obogaćenim likopenom, kao i uranjanja voća u premaznu otopinu obogaćenu likopenom, na produžetak trajanja tretiranog voća. Zato što nedostaje istraživanja u kojima se likopen kao potencijalni konzervans primjenjuje na svježem povrću, bit će više riječi o istraživanjima provedenim na voću. Ipak, obzirom da su negativne promjene prilikom skladištenja kojemu povrće podliježe slične promjenama kojima podliježe voće, postoji prostor za istraživanja konzervirajućeg učinka likopena na povrće, u obliku kompozitnih i aktivnih filmova te premaza, kao i dodatkom likopena u aktivni ambalažni materijal (Li i Yu, 2023).

Zeng i sur. (2022) razvili su kompozitne filmove od natrijeva alginata i glukomanana te su u njihovu smjesu ubačene mikrokapsule likopena (jezgru kapsule sačinjava likopen sadržan u uljnoj fazi). Pripremljenim kompozitnim filmovima obložene su trešnje te je promatran učinak kompozitnog filma na produljenje roka trajanja trešanja skladištenih na 0 °C tijekom 15 dana. Rezultati su pokazali da su kompozitni filmovi efikasno produžili rok trajanja trešanja i usporili brzinu kvarenja te smanjili pH vrijednosti tijekom skladištenja. Također, likopen je smanjio oksidaciju vitamina C u trešnjama i svojom sposobnošću „hvatanja“ radikala uklonio slobodne radikale iz trešanja, čime se trešnjama produžio rok trajanja te im se održala nutritivna vrijednost tijekom skladištenja (Zeng i sur., 2022).

Khalida i sur. (2019) ispitivali su utjecaj jestivih filmova koji sadrže likopen na sposobnost konzerviranja grožđa. Likopen izoliran iz lubenice u praškastom je obliku dodan u prethodno pripremljenu premaznu otopinu. Rezultati su pokazali da je koncentracija od 1,5% jestivog filma (omjer likopena prema kitozanu – 75:25) imala najveću sposobnost konzerviranja tretiranog grožđa. Također, pri primijenjenom postotku jestivog filma dvostruko je usporen gubitak na masi te je uočeno dvostruko sporije smanjenje sadržaja vode u odnosu na kontrolnu grupu. Očuvanje sadržaja vode, koje je povezano s očuvanjem mase grožđa, pripisuje se premazu od kitozana i likopena koji su obložili pore na pokožici grožđa (Khalida i sur., 2019).

U industriji se, za sprječavanje posmeđivanja svježe narezanih jabuka, najčešće koristi otopina askorbinske kiseline. Međutim, njezino je antioksidacijsko djelovanje ograničeno te se ispituju i premazi obogaćeni likopenom, karotenooidom s najvećim antioksidacijskim djelovanjem. Također, kora rajčice sadrži likopen u visokoj koncentraciji (7.23 g kg⁻¹) te nastaje kao nusproizvod u proizvodnji proizvoda od rajčice, kao takva predstavlja jeftin i dostupan izvor ovog antioksidansa u prehrambenoj industriji (Moco i sur., 2007).

Martínez-Hernández i sur. (2019) svježe narezane jabuke potapali su u otopinu koja sadrži mikročestice likopena, koje su dodali u svrhu poboljšanja svježine i nutritivne vrijednosti. Za pripremanje mikročestica likopena, 5 mL ulja *cis*-likopena dodano je u 50 mL otopine želatine. Niti nakon 9 dana skladištenja pri 5 °C kod svježe narezanih jabuka prethodno uronjenih u otopinu s mikročesticama likopena nije došlo do enzimskog posmeđivanja. Pri tome se povećao sadržaj fenolnih spojeva za do 56 %, uslijed povećanja koncentracije klorogenske kiseline (Martínez-Hernández i sur., 2019).

Također, ispitivao se i utjecaj likopena na fizikalna i kemijska svojstva narezanih jabuka, kao i na razvoj mikroorganizama. Udio organskih kiselina i šećera, kao i svih drugih spojeva,

ostao je nepromijenjen ovakvim tretmanom, pri primijenjenoj koncentraciji likopena te je likopen imao znatan inhibitorni učinak na razvoj mikroorganizama, uslijed svoje antioksidacijske aktivnosti (Martínez-Hernández i sur., 2019).

2.7.2. Umak od rajčice obogaćen likopenom

Studija koju su 2013. godine proveli Abete i sur. istraživala je učinke konzumacije umaka od rajčice obogaćenog likopenom na markere oksidacijskog stresa u usporedbi s komercijalnim umakom od rajčice. Različiti udjeli likopena u umacima od rajčice postignuti su različitim sortama rajčica iz različitih vremena berbe. Rajčice korištene u proizvodnji umaka od rajčice s visokim udjelom likopena bile su zrelije od onih korištenih u proizvodnji komercijalnog umaka od rajčice. Trideset zdravih ispitanika (9 muškaraca i 21 žena u dobi 39 ± 6 godina s vrijednostima BMI (eng. body mass index) $24,5 \pm 3,3$ kg/m³) sudjelovali su u dvostruko slijepoj unakrsnoj studiji. Ispitanici su konzumirali 160 g/dan umaka od rajčice tijekom 4 tjedna zadržavajući svoje uobičajene prehrambene navike i tjelesne aktivnosti. Rajčice, proizvodi od rajčice i namirnice ili pripravci bogati likopenom izbjegavani su tijekom perioda ispitivanja.

Redovita konzumacija umaka od rajčice s visokim udjelom likopena izazvala je značajno smanjenje razine oksidiranog LDL kolesterola (-9.27 ± 16.8 %; $p < 0.05$), za kojeg je poznato da ima značajnu ulogu u razvitku ateroskleroze i srčanih bolesti. Prilikom konzumacije umaka od rajčice s visokim udjelom likopena povećao se ukupni antioksidacijski kapacitet plazme dok se blago smanjio konzumacijom komercijalnog umaka od rajčice (2.69 ± 13.4 naspram -0.05 ± 0.4 ; $p = 0.058$). Stoga, umak od rajčice obogaćen likopenom pokazao se kao značajna funkcionalna hrana u prevenciji ateroskleroze i srčanih bolesti (Abete i sur., 2013).

2.7.3. Ulje iz sjemenki rajčice obogaćeno likopenom iz kore rajčice

U studiji Zuorro i sur. (2013) istraživala se mogućnost korištenja nusproizvoda prerade rajčice, točnije sjemenki i kore rajčice, u svrhu proizvodnje ulja bogatog likopenom. Ulje je dobiveno hladnim prešanjem sjemenki te je kasnije obogaćeno likopenom u uljnoj fazi dobivenog iz kore rajčice (do 500 ppm). Kako bi se povećala koncentracija likopena, kora je prethodno tretirana enzimima koji razgrađuju stranične stijenke te je ekstrahirana otapalom. U konačnici, dobiveno je 25 litara ulja s prosječnim udjelom likopena od 6,8 %.

Istraživanje Zuorro i sur. (2013) jedna je od mnogih studija u ovom radu koja za problem odlaganja nusproizvoda prerade rajčice nudi ekonomično rješenje - dodatak nusproizvoda prerade rajčice u funkcionalne proizvode. Ulje iz sjemenki rajčice obogaćeno likopenom iz

nusproizvoda prerade rajčice, ekonomski je prihvatljiv proizvod jer je udio ulja u sjemenkama rajčice dovoljno visok kako bi se izdvajanje ulja prešanjem moglo izvršiti bez upotrebe dodatnih otapala. Bez upotrebe dodatnih otapala, zadržao se i veći udio polarnih spojeva poput flavonoida i fenolnih kiselina. Ovaj proizvod bogat likopenom, prirodnim antioksidansom, s očuvanim antioksidansima poput flavanoida, smatra se prikladnim za širok raspon primjena u prehrambenoj, nutraceutičkoj i kozmetičkoj industriji (Zuorro i sur., 2013).

3. ZAKLJUČAK

1. Dodatak likopena kao antioksidansa u prehrambene proizvode od mesa, ribe, voća i povrća, mlijeka i mliječnih proizvoda te ulja, pokazao se kao efikasan način za konzerviranje namirnica te poboljšanje njihovih nutraceutičkih svojstava.
2. Uslijed svoje antioksidacijske aktivnosti, likopen sudjeluje u očuvanju postojećeg nutritivnog sastava namirnice, ali joj i produžuje rok trajanja. Smanjuje oksidacijske reakcije u namirnici „hvatanjem“ slobodnih radikala te posljedično odgađa negativne senzorske promjene tijekom skladištenja namirnica.
3. Najznačajnije funkcionalno svojstvo likopena je njegova uloga u prevenciji različitih bolesti. Stoga, dodatno obogaćivanje namirnica antioksidansima može imati pozitivan utjecaj na ljudsko zdravlje.
4. Novije metode implementacije likopena, kao što su mikroinkapsulacija te proizvodnja mikročestica s likopenom u njihovoj jezgri, sve se češće koriste u prehrambenoj industriji. Postupno otpuštanje likopena u prehrambeni proizvod, putem mikročestica i mikrokapsula, omogućuje produženo antioksidacijsko djelovanje likopena u namirnici.
5. Važna je metoda kojom se dodaje likopen u prehrambene proizvode kako bi se osigurala njegova stabilnost i učinkovita apsorpcija u organizmu, obzirom da je likopen termolabilan pri temperaturama iznad 100 °C.
6. Bogat izvor likopena u prehrambenoj industriji, u svrhu stvaranja novog funkcionalnog proizvoda, je nusproizvod prerade rajčice.

4. LITERATURA

Abete I, Perez-Cornago A, Navas-Carretero S, Bondia-Pons I, Zulet M, Alfredo M (2013) A regular lycopene enriched tomato sauce consumption influences antioxidant status of healthy young-subjects: A crossover study. *J Funct Foods* **5**, 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.07.007>

Adadi P, Barakova NV, Krivoshapkina E F (2018) Selected Methods of Extracting Carotenoids, Characterization, and Health Concerns: A Review. *J Agric Food Chem* **66**, 5925–5947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01407>

Altan A, McCarthy KL, Maskan M (2008) Evaluation of snack foods from barley–tomato pomace blends by extrusion processing. *J Food Eng* **84**, 231–242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.014>

Anonymous. <https://www.echemi.com/produce/pr2205191854-lycopene-powder-2-5-10-cws-powder-crystals-oil.html>. Pristupljeno 8. rujna 2023.

Arab L, Steck S (2000) Lycopene and cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr* **71**, 1691-1695. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1691s>

Araiza-Calahorra A, Akhtar M, Sarkar A (2018) Recent advances in emulsion-based delivery approaches for curcumin: From encapsulation to bioaccessibility. *Food Sci and Tech* **71**: 155–169. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.009>

Baghabrishami RG, Goli SAH (2023) Tomato seed oil-enriched tomato juice: Effect of oil addition type and heat treatment on lycopene bioaccessibility and oxidative stability. *Food Chem* **402**, 134217. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134217>

Bramley PM (2000) Is lycopene beneficial to human health? *Phytochemistry* **54**, 233-236. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(00\)00103-5](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(00)00103-5)

Chen Y, Lu P, Yuan F (2021) Preparation and Stability Evaluation of Novel Lycopene Microcapsules. *Food Sci* **42**, 134–140. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20200907-098>

Clinton SK (1998) Lycopene: chemistry, biology and implications for human health and disease. *Nutr Rev* **56**, 35-51. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01691.x>

- Dehghan-Shoar Z, Hardacre AK, Brennan CS (2010) The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chem* **123**, 1117–1122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.071>
- EFSA (2005) Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to an application on the use of α -tocopherol-containing oil suspension of lycopene from *Blakeslea trispora* as a novel food ingredient. EFSA–The European Food Safety Authority, <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/212>. Pristupljeno 5. rujna 2023.
- Ehsani A, Paktarmani M, Yousefi M (2017) Efficiency of dietary sodium alginate coating incorporated with lycopene in preserving rainbow trout. *Food Sci and Biotechnol* **26**, 557–562. <https://doi.org/10.1007%2Fs10068-017-0095-1>
- Ehsani A, Hashemi M, Raeisi M, Naghibi SS, Afshari A (2020) Rainbow trout fillet biopreservation by edible chitosan-based coating containing egg yolk antibody (IgY) and lycopene. *J Food Sci Technol* **57**, 282–292.
- Finnegan E, O’Beirne D (2015) Characterising deterioration patterns in fresh-cut fruit using principal component analysis. II: Effects of ripeness stage, seasonality, processing and packaging. *Postharvest Biol Technol* **100**, 91–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.009>
- Fuhrman B, Elis A, Aviram M (1997) Hypocholesterolemic effect of lycopene and beta-carotene is related to suppression of cholesterol synthesis and augmentation of LDL receptor activity in macrophages. *Biochem Biophys Res Commun* **233**, 658-662. <https://doi.org/10.1006/bbrc.1997.6520>
- Haila KM, Lievonen SM, Heinonen M (1996) Effects of lutein, lycopene, annatto, and gamma-tocopherol on autooxidation of triglycerides. *J Agric Food Chem* **44**, 2096-2100. <https://doi.org/10.1021/JF9504935>
- Himanath G, Shruthy R, Preetha R, Sreejit V (2021) Nanoemulsion with Coconut Oil and Soy Lecithin as a Stable Delivery System for Lycopene and Its Incorporation into Yogurt to Enhance Antioxidant Properties and Maintain Quality. *ACS Food Sci Technol* **1**, 1538–1549. <http://dx.doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00117>
- Huang WT, Wang XP, Zhang JC, Xia J, Zhang XS (2023) Improvement of blueberry freshness prediction based on machine learning and multi-source sensing in the cold chain logistics. *Food Control* **145**, 109-196. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109496>
- Kaur D, Wani AA, Singh DP, Sogi DS (2011) Shelf Life Enhancement of Butter, Ice-Cream, and Mayonnaise by Addition of Lycopene. *Int J Food Prop* **14**, 1217–1231. <http://dx.doi.org/10.1080/10942911003637335>

- Khan UM, Sevindik M, Zarrabi A, Nami M, Ozdemir B, Kaplan DN, i sur. (2021) Lycopene: Food Sources, Biological Activities, and Human Health Benefits. *Oxid Med Cell Longev* **2021**, 271-292. <https://doi.org/10.1155/2021/2713511>
- Kehili M, Choura S, Zammel A, Allouche N, Sayadi S (2018) Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage. *Food Chem* **246**, 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.034>
- Khalida P, Afifa EN, Novita TH, Purnawan C (2019) Edible coating chitosan and lycopene isolated from watermelon as a solution to extend fruit and vegetables storage time from after harvest damage. *AIP Conf Proc* **2085** <http://dx.doi.org/10.1063/1.5095011>
- Kim IS, Jin SK, Mandal PK, Kang SN (2011) Quality of low-fat pork sausages with tomato powder as colour and functional additive during refrigerated storage. *J Food Sci Technol* **48**, 591–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0182-2>
- Levin I, de Vos C, Tadmor Y, Bovy A, Lieberman M, Oren-Shamir M, i sur. (2006) High pigment tomato mutants — more than just lycopene (a review). *J Plant Sci* **54**, 179–190. http://dx.doi.org/10.1560/IJPS_54_3_179
- Li Z. i Yu F. (2023) Recent Advances in Lycopene for Food Preservation and Shelf-Life Extension. *Foods* **12**, 3121. <https://doi.org/10.3390/foods12163121>
- Martínez-Hernández GB, Castillejo N, Artés-Hernández F (2019) Effect of fresh-cut apples fortification with lycopene microspheres, revalorized from tomato by-products, during shelf life. *Postharvest Biol Technol* **156**, 110925. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.05.026>
- Moco S, Capanoglu E, Tikunov Y, Bino RJ, Boyacioglu D, Hall RD, i sur. (2007) Tissue specialization at the metabolite level is perceived during the development of tomato fruit. *J Exp Bot* **58**, 4131–4146. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm271>
- Mortensen A, Skibsted LH (1997) Importance of carotenoid structure in radical-scavenging reactions. *J Agric Food Chem* **45**, 2970-2977. <https://doi.org/10.1021/jf970010s>
- Noronha CM, de Carvalho SM, Lino RC, Barreto PL (2014) Characterization of antioxidant methylcellulose film incorporated with α -tocopherol nanocapsules. *Food Chem* **159**, 529–535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.159>

- Nour V, Ionica ME, Trandafir I (2015) Bread enriched in lycopene and other bioactive compounds by addition of dry tomato waste. *J Food Sci Technol* **52**, 8260–8267. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1934-9>
- Pathak M, Sagar NA (2023) Influence of Thermal Treatments, Extraction Methods, and Storage Conditions on Lycopene Content of Foods. *J Food Qual* **2023**, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2023/6632637>
- Rao AV, Agarwal S (1999) Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. *Nutr Res* **19**, 305–323.
- Rao AV, Ray MR, Rao LG (2006) Lycopene. *Adv Food Nutr Res* **51**, 99–164. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(06\)51002-2](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(06)51002-2)
- Rissanen T, Voutilainen S, Nyssönen K, Salonen JT (2002) Lycopene, atherosclerosis, and coronary heart disease. *Exp Biol Med (Maywood)* **22**, 900–907. <https://doi.org/10.1177/153537020222701010>
- Shi J, Le Maguer M (2000) Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Crit Rev Food Sci Nutr* **40**, 1–42. <https://doi.org/10.1080/10408690091189275>
- Shiekh, KA, Ngiwngam K, Tongdeesontorn W (2021) Polysaccharide-Based Active Coatings Incorporated with Bioactive Compounds for Reducing Postharvest Losses of Fresh Fruits. *Coatings* **12**, 8. <https://doi.org/10.3390/coatings12010008>
- Siwach R, Tokas J, Seth R (2016) Use of lycopene as a natural antioxidant in extending the shelf-life of anhydrous cow milk fat. *Food Chem* **199**, 541–546. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.009>
- Souza ALR, Hidalgo-Chavez DW, Pontes SM, Gomes FS, Cabral LMC, Tonon RV (2018) Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. *LWT - Food Sci and Technol* **91**, 286–292.
- Stoll L, Rech R, Flôres SH, Nachtigall SMB, de Oliveira Rios A (2019) Poly(acid lactic) films with carotenoids extracts: Release study and effect on sunflower oil preservation. *Food Chem* **281**, 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.100>
- Suhag R, Kumar N, Petkoska AT, Upadhyay A (2020) Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Res Int* **136**, 109582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>
- Sy C, Caris-Veyrat C, Dufour C, Boutaleb M, Borel P, Dangles O (2013) Inhibition of iron-induced lipid peroxidation by newly identified bacterial carotenoids in model gastric conditions: Comparison with common carotenoids. *Food Funct* **4**, 698–712. <https://doi.org/10.1039/C3FO30334A>

Tierney AC, Rumble CE, Billings LM, George ES (2020) Effect of Dietary and Supplemental Lycopene on Cardiovascular Risk Factors: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutr* **11**, 1453–1488. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa069>.

Wu H, Wu Y, Cui Z, Hu L (2023) Nutraceutical delivery systems to improve the bioaccessibility and bioavailability of lycopene: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2168249>

Xie C, Ma ZF, Li F, Zhang H, Kong, L, Yang Z, i sur. (2018) Storage quality of walnut oil containing lycopene during accelerated oxidation. *J Food Sci Technol* **55**, 1387–1395. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3053-x>

Zeng Y, Wang Y, Tang J, Zhang H, Dai J, Li S, i sur. (2022) Preparation of sodium alginate/konjac glucomannan active films containing lycopene microcapsules and the effects of these films on sweet cherry preservation. *Int J Biol Macromol* **215**, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.085>

Zuorro A, Lavecchia R, Medici F, Piga L (2013) Enzyme-Assisted Production of Tomato Seed Oil Enriched with Lycopene from Tomato Pomace. *Food Bioprocess Technol* **6**, 3499–3509. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1003-6>

Izjava o izvornosti

Ja Ama Petrima izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristila drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Ama Petrima
Vlastoručni potpis