

## **ETERIČNA ULJA KAO ANTIMIKROBNA SREDSTVA U PREHRAMBENOJ I KOZMETIČKOJ INDUSTRIJI, FARMACIJI I POLJOPRIVREDI**

ESSENTIAL OILS AS ANTIMICROBIAL AGENTS IN THE FOOD  
AND COSMETICS INDUSTRY, PHARMACY AND AGRICULTURE

**Mirna Mrkonjić Fuka, Martina Grdiša, Luna Maslov Bandić,  
Irina Tanuwidjaja**

### SAŽETAK

Zbog širokog spektra aktivnosti, prirodnog podrijetla, utvrđene povijesti sigurnog korištenja i dokazane učinkovitosti, sve se više istražuje primjena eteričnih ulja kao antimikrobnih sredstava. Općenito, antimikrobno djelovanje eteričnih ulja određeno je sastavom i udjelom pojedinačnih spojeva, a ovisi i o vrsti mikroorganizama čiji se rast nastoji inhibirati. Dostupna znanstvena i stručna literatura upućuje na veliki potencijal upotrebe eteričnih ulja. Pokazala su se kao učinkovit konzervans u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji, samostalno ili u kombinaciji sa sintetičkim aditivima. Dodatkom eteričnih ulja, proizvod ostaje duže mikrobiološki ispravan te ima izraženiji antioksidacijski učinak. Eterična ulja koriste se i kao sredstva za kontrolu rasta fitopatogenih plijesni i bakterija u poljoprivrednoj proizvodnji zbog svojih sigurnih, bioaktivnih, biorazgradivih, ekoloških i ekonomskih održivih svojstava. Također je dokumentirana uporaba eteričnih ulja kao antimikrobnih sredstava u farmaciji ili za kontrolu stresa i tjeskobe u aromaterapiji. Cilj je ovog rada istaknuti mogućnosti uporabe eteričnih ulja u inhibiciji rasta patogenih mikroorganizama ili mikroorganizama koji uzrokuju kvarenje te procijeniti njihovu učinkovitost kao konzervansa u kozmetičkoj ili prehrambenoj industriji te kao sredstva za suzbijanje bolesti i štetnika u poljoprivrednoj proizvodnji prije i nakon žetve. Također, u ovom će radu biti prikazane najvažnije metode dobivanja eteričnih ulja te će biti opisane ključne ili najzastupljenije sastavnice eteričnih ulja.

Ključne riječi: antimikrobno djelovanje, eterična ulja, plijesni i bakterije, konzervansi, biokontrola

## ABSTRACT

Due to the wide range of activities, natural origin, proven safe use and efficacy, the use of essential oils as antimicrobial agents is increasingly being researched. In general, the antimicrobial effect of essential oils is determined by the composition and proportion of the individual compounds and also depends on the type of microorganisms whose growth is to be inhibited. The available scientific and professional literature points to the great potential of using essential oils. They have proven to be effective preservatives in the food and cosmetics industry, alone or in combination with synthetic additives. The addition of essential oils keeps the product microbiologically intact for longer and has a more pronounced antioxidant effect. Essential oils are also used as a means of controlling the growth of phytopathogenic molds and bacteria in agricultural production due to their safe, bioactive, biodegradable, ecologically and economically sustainable properties. The use of essential oils as antimicrobial agents in pharmacy or to control stress and anxiety in aromatherapy has also been documented. The aim of this paper is to emphasize the importance of the use of essential oils in inhibiting the growth of pathogenic and/or spoilage-causing microorganisms and to evaluate their effectiveness as preservatives in the cosmetic or food industry and as biocontrol agents in pre- and post-harvest agricultural production. This paper also presents the main methods used to obtain essential oils and describes the main or most common components of essential.

Key words: essential oils, antimicrobial properties, molds and bacteria, preservatives, biocontrol

## 1. UVOD

Eterična ulja su tekućine koje se sastoje od raznih hlapljivih spojeva koje se imenuju po biljnoj vrsti iz koje se izdvajaju. Nastaju kao sekundarni metaboliti biljaka unutar uljnih žlijezda različitih dijelova biljke poput lista, cvijeta, korijena ili stabljike (Falerio, 2011.; Butnariu, 2018.) iz kojih se izdvajaju različitim fizikalnim postupcima. Količina izdvojenog eteričnog ulja ovisi o biljnoj vrsti, vremenu berbe, klimatskim uvjetima rasta biljaka, kao i biljnom dijelu iz kojeg se izdvaja (Butnariu, 2018.). Koji će postupak biti odabran za proizvodnju eteričnih ulja ponajviše ovisi od dijelu biljke iz kojeg se izdvaja te o konačnoj primjeni eteričnog ulja. Primjena neodgovarajućeg postupka može dovesti do promjene kemijskog sastava eteričnog ulja i gubitka bioaktivnih

spojeva. Zbog širokog spektra djelovanja, prirodnog podrijetla i povijesti sigurnog korištenja i dokazane učinkovitosti (engl. *Generally Recognized As Safe, GRAS*), sve se više istražuje primjena eteričnih ulja kao antimikrobnih sredstava. Iako je antimikrobna aktivnost eteričnih ulja dobro dokumentirana, sami mehanizmi djelovanja na stanice još nisu dovoljno razjašnjeni. Općenito, antimikrobno djelovanje eteričnih ulja određeno je njihovim sastavom i udjelom pojedinačnih spojeva kojih može biti od nekoliko do više od 100 (Blitzke, 2009.) što ovisi o kemotipu, starosti biljke, klimatskim i okolišnim uvjetima kao i o vremenu berbe i metodi destilacije (Dreger i Wielgus, 2013.). Eterična ulja pokazala su se kao učinkovit konzervans u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji (Ziosi i sur., 2010.; Shaaban, 2020.). Dodatkom eteričnih ulja, proizvod kroz dulji vremenski period, ostaje mikrobiološki ispravan te ima jači antioksidacijski učinak. Također, eterična ulja koriste se i kao prirodni pesticidi u suzbijanju glodavaca, štetnika i mikroorganizama. Zbog izostanka negativnog učinka na okoliš, kao i manje mogućnosti razvoja otpornosti od strane štetnika zbog vrlo kompleksnog sastava, koriste se u ekološkoj proizvodnji hrane (Mohan i sur., 2011.). Također, istražuje se primjena eteričnih ulja u farmaciji za liječenje infekcija koje uzrokuju mikroorganizmi ili se koriste u tretiranju različitih drugih oboljenja (Russo i sur., 2015.). Cilj je ovoga rada istaknuti važnost uporabe eteričnih ulja u inhibiciji rasta patogenih mikroorganizama s mogućom primjenom u farmaciji ili kao konzervans u prehrambenoj i/ili kozmetičkoj industriji te kao prirodnih pesticida u poljoprivredi. Također, u ovom radu bit će sažete najvažnije metode izdvajanja eteričnih ulja i opisane ključne ili najzastupljenije sastavnice eteričnih ulja.

## 2. ETERIČNA ULJA I HIDROLATI

Eterična ulja i ekstrakti raznovrsnih biljaka imaju široku uporabu već tisućama godina. Sastoje se od raznih hlapljivih spojeva izdvojenih iz različitih dijelova biljke pa se, posljedično, imenuju po biljnoj vrsti. Dobivaju se iz dijelova biljke poput, lista, cvijeta, korijena ili stabljike gdje kao produkti biljnog metabolizma nastaju u specijaliziranim biljnim tkivima unutar uljnih žlijezda. Jedinstveni aromatični spojevi koji variraju ovisno o biljnoj vrsti daju svakom eteričnom ulju karakterističan miris. Većina biljaka sadrži eterična ulja u malim količinama, vrlo su malih molekulskih masa te se otapaju u biljnim uljima i voskovima (Falerio, 2011., Ferenčić i sur., 2016.). Još nije u potpunosti utvrđeno koja je svrha eteričnih ulja u životnom ciklusu biljke. Međutim, poznato je da biljka pomoću eteričnih ulja obavlja brojne funkcije, poput

prilagodbe stresnim uvjetima staništa, privlačenja oprašivača, štiti od infekcija ili grabežljivaca, gubitka vlage ili djelovanja herbicida (Aqeel i sur., 2023.). Eterična ulja različitih biljaka imaju širok spektar mirisa i okusa. No, osim mirisa i okusa, eterična se ulja razlikuju i po boji, a najčešće su u rasponu od bijelih do žutih boja. Eterična ulja važan su izvor bioaktivnih spojeva koji imaju antioksidativna i antimikrobna svojstva (Sell, 2015., Aziz i sur., 2018.). Tijekom procesa destilacije, osim eteričnih ulja, nastaju i hidrolati koji su nusprodukti destilacije. Sastav hidrolata čini kondenzirana voda te polarni, hidrofilni, hlapljivi spojevi eteričnih ulja (D'Amato i sur., 2018.). Hidrolati, kao i eterična ulja, u svom sastavu imaju kiseline, alkohole i aldehide, no za razliku od ulja imaju značajno manje terpena što ih čini pogodnim za korištenje kod beba, alergičara, starijih osoba i drugih osjetljivih skupina. Danas se hidrolati najčešće koriste u kozmetici gdje su najpoznatiji pod nazivom „cvjetna vodica“ koji, doduše, nije najtočniji budući da se hidrolati (kao i eterična ulja) mogu dobiti iz raznih dijelova biljke (Ferenčić i sur., 2016.). Osim što su primjenjivi u kozmetici, hidrolati imaju i potencijal šire uporabe. Naime, budući da se hidrolati mogu piti i dodavati hrani postoji velika mogućnost uporabe u prehrambenoj industriji (D'Amato i sur., 2018.).

### 3. METODE DOBIVANJA ETERIČNIH ULJA

Iz biljnog materijala, eterična ulja dobivaju se različitim fizikalnim postupcima, a koji postupak će biti odabran ponajviše ovisi o biljnoj vrsti, biljnom dijelu iz kojeg se izdvaja eterično ulje, kemijskom sastavu i primjeni eteričnog ulja. Primjena neodgovarajućeg postupka može rezultirati promjenom kemijskog sastava i načina djelovanja, kao i gubitkom bioaktivnih spojeva. U pojedinim slučajevima može doći do promjene boje, neugodnog mirisa/okusa kao i fizikalnih promjena kao što je npr. povećanje viskoznosti (Tongnuanchan i Benjakul, 2014.).

#### 3.1. Destilacija

Najčešći način na koji se dobiva eterično ulje je destilacija. Destilacija je proces u kojem pomoću topline dolazi do razdvajanja hlapljivih smjesa dvaju ili više sastojaka na pojedinačne komponente željene čistoće na temelju različitih temperatura vrelišta. Uvjeti destilacije, poput tlaka vodene pare, vremena i brzine procesa, karakteristični su za svaku biljnu vrstu (Busatta i sur., 2017.). Postoje različite vrste destilacije, a one najčešće korištene, poput vodene destilacije, destilacije vodenom parom i hidrodifuzije, bit će opisane u nastavku.

**Vodena destilacija** najstariji je način destilacije, poznat još iz drevne Mezopotamije, a kroz povijest bio je najčešće korišteni proces za dobivanje eteričnih ulja. Tijekom procesa vodene destilacije, biljni se materijal direktno uroni i kuha u vodi, a para (zajedno s uljem) izlazi iz te mase. Iako su eterična ulja netopljiva u vodi, direktnim kuhanjem biljnog materijala u vodi dolazi do velikih proizvodnih gubitaka. Temperatura vrelišta eteričnih ulja je visoka i često prelazi 100 °C te je teško prilagoditi temperaturu na razinu koja najviše odgovara određenom biljnom materijalu. Dakle, uvijek je prisutan rizik da vrijedno ulje izađe iz kotla s vodenom parom zbog visokih temperatura ili da pak dođe do hidrolize spojeva. Ovaj rizik najčešće vežemo uz eterična ulja bogata esterima, poput lavandinog (*Lavandula angustifolia* Mill.) eteričnog ulja (Tongnuanchan i Benjakul, 2014.).

**Destilacija vodenom parom** najčešća je i najučinkovitija metoda kojom se izdvaja eterično ulje iz biljaka (Reverchon i Senatore, 1992.). Udio eteričnih ulja izdvojen parnom destilacijom iznosi čak 93 %, a preostalih 7 % može se dalje izdvojiti drugim metodama. Funkcionira na način da se u kotlu kuha voda, a dijelovi biljke ne uranjaju se direktno u vodu nego su položeni na mrežicu poviše vode u destilacijskom kotlu. Visoke temperature djeluju na pucanje staničnih veza i razgradnju biljnog materijala iz kojeg izlaze aromatični spojevi pomiješani s vodenom parom. Mješavina vodene pare i eteričnog ulja potom ulazi u kondenzator u kojem se nalazi hladna voda te dolazi do kondenzacije dobivene smjese, a dobivena tekućina u kapljicama izlazi iz cijevi. Zbog razlike u gustoći, ulje pluta na vodi (Tongnuanchan i Benjakul, 2014.). Nakon procesa destilacije dolazi do ključnog odvajanja vode i ulja. Voda se odvaja centrifugiranjem, raznim filterima i/ili sušenjem na bezvodnom natrijevom sulfatu. Nakon odvajanja vode izrazito je važno pravilno uskladištiti eterična ulja. Naime, iako se pojedina eterična ulja [npr. eterično ulje limuna (*Citrus limon* (L.) Burm)] mogu koristiti odmah nakon proizvodnje, dio njih mora odležati određeni period, čak i do šest mjeseci, kako bi bila što kvalitetnija [npr. eterično ulje paprene metvice (*Mentha x piperita* L.)]. Ako se ulja nepravilno skladište može doći do promjene u sastavu, do gubitka kvalitete te ovisno o njihovoj krajnjoj primjeni i do smanjene učinkovitosti.

**Hidrodifuzija** je proces koji usko vežemo uz proces parne destilacije. Razlika između hidrodifuzije i parne destilacije je u načinu ulaska pare u kotao. U slučaju hidrodifuzije, suhi biljni materijal smješten je unutar kotla, a para ulazi s vrha kotla te se spušta i prolazi kroz sirovinu. Obrada biljnog materijala

odvija se pod niskim tlakom, temperaturom nižom od 100 °C i u kratkom vremenskom roku (Tongnuanchan i Benjakul, 2014.).

### 3.2. Mehaničke metode proizvodnje eteričnih ulja

**Hladno tiještenje** mehanički je način kojim se dobivaju eterična ulja iz kore raznih vrsta agruma (*Citrus* sp.). Eterično se ulje ovom metodom dobiva pri nižim temperaturama (oko 15 °C) nakon čega slijedi pročišćavanje vodom, sedimentacija, filtriranje te centrifugiranje, a završetkom procesa nastaje hladno prešano ulje (Boukhatem, 2020.). U aromaterapiji, kozmetici i prehrambenoj industriji preferiraju se ulja dobivena tiještenjem budući da zadržavaju svoju izvornu hranjivu vrijednost, okus i miris. Ovako dobivena ulja bogata su antioksidansima te imaju protuupalna i ljekovita svojstva (Sawamura, 2010.).

### 3.3. Ostale metode ekstrakcije

**Ekstrakcija otapalom** provodi se kod osjetljivih dijelova biljke, poput cvijeta i latica (jasmin), koji ne podnose visoke temperature i mehaničku obradu. Ekstrahira se različitim otapalima kao što su aceton, heksan, petrol eter, metanol ili etanol. U ovoj se metodi odabrano otapalo pomiješa s biljnim materijalom i zagrijava kako bi se ekstrahiralo eterično ulje. Nakon ekstrakcije slijedi filtracija i isparavanje otapala te miješanje koncentrata s alkoholom. Kada alkohol ispari preostaje čisto eterično ulje. Međutim, nedostatak metode je taj što se dio otapala može zadržati u proizvodu što onda, posljedično, može djelovati toksično i alergijski. Osim toga, metoda je dugotrajna i skupa zbog čega su i eterična ulja dobivena ovom metodom skuplja i uglavnom se upotrebljavaju u proizvodnji parfema (Tongnuanchan i Benjakul, 2014.).

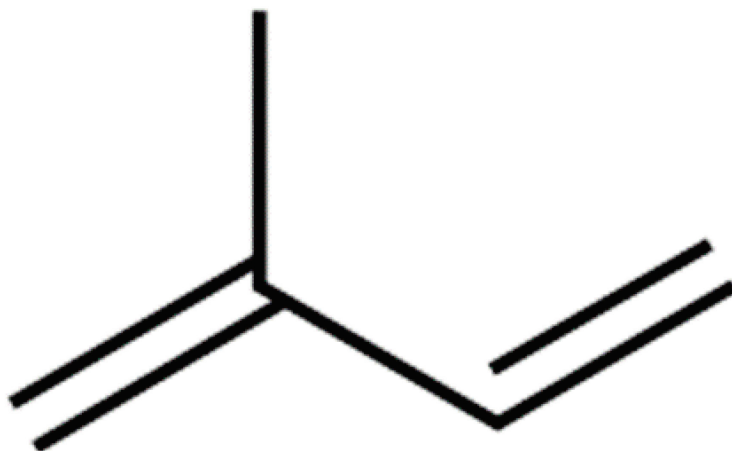
**Ekstrakcija superkričnim ugljičnim dioksidom** (engl. *Supercritical carbon dioxide extraction*) proces je kojim se izbjegava korištenje štetnog otapala. Zbog svoje niske kritične temperature, najčešće se koristi za izdvajanje termolabilnih i izrazito nepolarnih i hlapljivih tvari niske relativne molekulske mase (Stanić i Senjković, 1994.). Kritična točka predstavlja uvjete temperature i tlaka u kojoj ne postoje razlike između dvije faze (npr. plinovite i tekuće). U uvjetima visokog tlaka ugljični dioksid pretvara se u tekućinu koja se potom može koristiti kao vrlo inertan i siguran medij za ekstrakciju aromatičnih molekula iz sirovine. U gotovom proizvodu nema ostataka otapala jer se tekući CO<sub>2</sub> pod normalnim atmosferskim tlakom i temperaturom jednostavno vraća u plin i isparava (Tongnuanchan i Benjakul, 2014.).

**Mikrovalna ekstrakcija** (engl. *Microwave-Assisted Extraction*; MAE) proces je u kojem se koristi mikrovalna tehnologija nakon čega slijedi suha destilacija koja se odvija pri atmosferskom tlaku. Ova metoda ekstrakcije pruža nekoliko prednosti, kao što je upotreba smanjene količine otapala i smanjena izloženost ljudi korištenom otapalu, značajno smanjenje vremena ekstrakcije (do 30 minuta), veća selektivnost ekstrahiranih spojeva, ali i mogućnost ekstrakcije bez otapala. Prilikom implementacije ili razvoja ove metode mora se uzeti u obzir nekoliko parametara, kao što su primijenjena snaga, vrijeme ekstrakcije, omjer matrice otapala i sastav matrice. Ako se koristi otapalo, važan je pravilan odabir. Iako se mogu koristiti i polarna i nepolarna otapala, pri odabiru moraju se uzeti u obzir dielektrična svojstva otapala: nizak faktor rasipanja je toplina koja se manje rasipa uslijed apsorpcije mikrovalne energije. Na primjer, voda ima vrlo nizak faktor disipacije, što može dovesti do pregrijavanja i ne preporučuje se za izdvajanje određenih termoosjetljivih spojeva (Andrade i sur., 2023.).

#### 4. KEMIJSKI SASTAV ETERIČNIH ULJA

Eterična ulja složene su tvari koje se sastoje od višekomponentnih smjesa i sadrže stotine spojeva. Razlikujemo dominantne spojeve koji čine od 20 % do 95 % sastava, sporedne spojeve (1 - 20 %) i spojeve koji su prisutni samo u tragovima (manje od 1 %) (Bunse i sur., 2022.). Sastav se razlikuje ovisno o biljnoj vrsti, metodi izdvajanja eteričnog ulja, dijelu biljke iz kojeg se izdvaja, podrijetlu, načinu i vremenu berbe itd. Najčešće korištena metoda za identifikaciju sastava eteričnih ulja je vezani sustav plinska kromatografija – spektrometar masa (engl. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry*; GC-MS) (Virgiliou i sur., 2021.). Iako se u sastavu eteričnog ulja u malim količinama mogu pronaći razni spojevi, primjerice tvari poput metoksifenola, sterola, dugolančanih alkohola, voskova itd. (Marković, 2005.), u nastavku će biti opisani oni ključni ili najzastupljeniji. Terpeni i terpenoidi dominantna su skupina spojeva koja se nalazi u eteričnim uljima. Terpeni i terpenoidi organski su kemijski spojevi koji se sastoje od atoma ugljika na koji se vežu atomi vodika (ali i drugih elemenata). Terpeni su polimeri nastali kondenzacijom izoprenskih jedinica (Slika 1). Klasifikacija terpena vrši se prema broju izoprenskih jedinica u njihovom sastavu (Tablica 1). Dijelimo ih na jednostavne ili monoterpene, oni su rezultat spajanja dviju izoprenskih jedinica ( $C_{10}H_{16}$ ) te na složenije, npr. seskviterpene koji su nastali od tri izoprenske jedinice ( $C_{15}H_{24}$ ) i diterpene nastale od četiri ( $C_{20}H_{32}$ ) itd. (Sell, 2015.). Terpenoidi su

terpeni koji sadrže kisik, a njima pripadaju spojevi s funkcijskom skupinom alkohola, estera, aldehida, ketona, etera i fenola. Terpeni i terpenoidi svakom eteričnom ulju daju miris, boju i okus. Zbog djelovanja na miris, okus i boju služe biljkama u obrani od biljojeda, bolesti te pomažu u privlačenju oprašivača (Aziz i sur., 2018.). Monoterpeni i seskviterpeni općenito pokazuju slabije antimikrobno djelovanje od alkohola i fenola, ali jače od ostalih skupina terpena. Monoterpeni, posebno pineni, djeluju protuupalno, dok seskviterpen kamazulen daje plavu boju eteričnim uljima [npr. eteričnom ulju prave kamilice (*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert)] i djeluje protuupalno u dermokokozmetičkim proizvodima (Loza-Tavera, 1999.). Alkoholi i fenoli omogućuju eteričnim uljima antiseptičko, antivirusno, antibakterijsko i germicidno djelovanje. U eteričnim uljima, mogu se pojaviti kao pojedinačna komponenta te u kombinaciji s terpenom ili esterom. Oba spoja sadrže hidroksilnu skupinu (-OH) koja je kod fenola izravno vezana na ugljikov atom aromatskog prstena. Hidroksilna skupina alkohola veže se pak na zasićeni ugljikov atom.



Slika 1. Struktura izoprenske jedinice  
Figure 1 Structure of isoprene unit



**Tablica 1. Podjela terpena prema broju ugljikovih atoma i izoprenskih jedinica**

**Table 1 Classification of terpenes according to the number of carbon atoms and isoprene units**

Broj ugljikovih atoma Number of carbon atoms	Broj izoprenskih jedinica Number of isoprene units	Naziv Name
10	2	Monoterpeni
15	3	Seskviterpeni
20	4	Diterpeni
25	5	Sesterpeni
30	6	Triterpeni
40	8	Tetraterpeni

Spojevi terpena s hidroksilnom skupinom nazivaju se monoterpenoli. Ovi spojevi u eteričnim uljima smatraju se sigurnima za korištenje u tijelu i na koži jer su njihove količine premale da izazovu toksično djelovanje. Monoterpeni alkoholi i fenoli imaju jača antimikrobna svojstva od seskviterpenskkih i diterpenskkih alkohola i fenola. Alkoholi i fenoli povezani u spoj sa seskviterpenima i diterpenima unutar eteričnih ulja zastupljeni su u manjim koncentracijama (Aziz i sur., 2018.). U eteričnim uljima nalazimo monoterpenske, seskviterpenske i diterpenske alkohole. Od najčešćih monoterpenskkih alkohola vrijedi istaknuti linalol koji daje slatkast/cvjetni miris, R-linalol koji sadrže lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill.) i bergamot (*Citrus bergamia* Risso), a daje drvenast miris, (-)-mentol koji se nalazi u paprenoj metvici (*M. x piperita* L.), terpinen-4-ol koji nalazimo u čajevcu (*Melaleuca alternifolia* (Maiden & Betche) Cheel) te borneol u timijanu (*Thymus vulgaris* L.). Seskviterpenski i diterpenski primjeri alkohola su farnezol koji nalazimo u naranči (*Citrus x sinensis* L.), elemol u elemiju (*Canarium luzonicum* A. Gray), karotol u mrkvi (*Daucus carota* L.) i sklareol u grčkoj kadulji (*Salvia fruticosa* Mill.). Osim alkohola, razlikujemo monoterpenske, seskviterpenske i diterpenske fenole. Najčešći monoterpenski fenoli su timol, timokinon, eugenol, karvakrol, a seskviterpenski i diterpenski ksantorizol u kurkumi (*Curcuma longa* L.), feruginol u borovici (*Juniperus communis* L.) i  $\alpha$ -bisabolol u pravoj kamilici (*C. recutita*) (Sharmeen i sur., 2021.). Alkoholi eugenol i (-)-mentol imaju višegodišnju primjenu u stomatologiji i medicini kao analgetici koji djeluju na proteinske kanale u membrani te tako smanjuju upalu (Park i sur., 2009.). Seskviterpenski alkohol fernezol djeluje na razvoj biofilmova mikroorganizama te tako sprečava njihovo preživljavanje u nepovoljnim

uvjetima (Jabra-Rizk i sur., 2006.). U odnosu na alkohole, fenoli imaju snažnije djelovanje na mikroorganizme. Međutim, fenoli isto tako mogu izazvati reakcije na sluznici i koži ako se ne upotrebljavaju u odgovarajućim koncentracijama. Osim alkohola i fenola, u sastavu eteričnih ulja u većoj su koncentraciji zastupljeni i esteri. Nastaju zbog interakcije alkohola i karboksilnih kiselina, a smatra se da kao komponenta eteričnih ulja imaju sedativna i antifungalna svojstva te djeluju prvenstveno na živčani sustav. Često se nalaze u eteričnim uljima koja sadrže alkohol (iz kojeg onda nastaje i ester). Nemaju jaka antimikrobna svojstva, ali budući da ulja bogata esterima sadržavaju i alkohole oni djeluju antimikrobno. Nadalje, esteri se mogu metabolizirati i hidrolizirati na alkohole i kiseline unutar mikroorganizama kao jedan od mehanizama antimikrobnog djelovanja (Soković i sur., 2010.). Posjeduju i spazmolitičko djelovanje, regeneriraju kožu te imaju insekticidno djelovanje. Primjerice, ester benzil-benzoat ima jako insekticidno djelovanje, djeluje na parazite poput *Sarcoptes scabiei* var. *hominis* koji uzrokuju svrab ili pak kroničnu progresivnu kožnu bolest rozaceu (Graham i sur., 2003.). Ulja s većom koncentracijom estera imaju slatkast i cvjetni miris. Od poznatijih estera u eteričnim uljima su linalol-acetat [bergamot (*C. bergamia*), lavanda (*L. angustifolia*), kadulja (*S. officinalis*)], metil-salicilat [zimzelen (*Gaultheria* sp.)] i neril-acetat [smilje (*Helichrysum italicum* (Roth) G. Don)] (Marković, 2005.). Ketonu u svojoj strukturi sadrže karbonilnu (-C=O) skupinu. Eterična ulja koja sadrže ketone mogu biti vrlo toksična, što ovisi o količini ketona u njihovom sastavu i načinu primjene eteričnih ulja bogatih ketonima. Primjeri toksičnih ketona su  $\alpha$ -tujon i  $\beta$ -tujon u ljekovitoj kadulji (*S. officinalis*) te pulegon koji se nalazi u ulju mirisne metvice (*Mentha pulegium* L.) (European Commission, 2002.). Kod ulja koja imaju veći sadržaj ketona u svom sastavu evidentirani su povoljni učinci na zacjeljivanje rana i ožiljaka kao i u liječenju gornjih dišnih puteva (Aziz i sur., 2018.). Jedan od najstarijih i najpoznatijih ketona je kamfor koji ima antiseptičko djelovanje tj. hladi ozljede (Selescu i sur., 2013.). Keton verbenon koji je prisutan u eteričnom ulju ružmarina (*Salvia rosmarinus* Spenn.) djeluje na probleme s dišnim sustavom, a S-karvon iz eteričnog ulja kima (*Carum carvi* L.) odličan je lijek protiv nadutosti te je pokazao antifungalno djelovanje na gljivice roda *Candida* jer sprečava stvaranje filamentoznih oblika koji djeluju patogeno (McGeady i sur., 2002.). Najpoznatiji aldehid je formaldehid koji se pokazao vrlo toksičan za žive organizme budući da djeluje na proteine i onemogućuje im normalno funkcioniranje i sintezu. Za razliku od formaldehida, većina ostalih aldehida u eteričnim uljima nisu niti približno toksični, zbog čega se koriste u kozmetičkoj i prehrambenoj industriji. Primjeri aldehida

u eteričnim uljima su: citral [limunska trava (*Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Steud.) W.Watson)], citronelal [eukaliptus (*Eucalyptus globulus* L.)], kuminal [kumin (*Cuminum cyminum* L.)], mirtenal [mirta (*Myrtus communis* L.)], cinamaldehyd [cimetovac (*Cinnamomum verum* J.Presl)] itd. (Marković, 2005.). Većina aldehida ima jak, prodoran, citrusan miris. Eterična ulja u kojima dominira neka vrsta aldehida imaju dobar insekticidan, antivirusan i aromaterapijski učinak (Leite i sur., 1986.). Uz poželjna svojstva, aldehidi mogu imati i negativan učinak poput izazivanja alergija i iritacija, zbog čega se neki od njih, primjerice cinamaldehyd, ne koriste u kozmetici (Cheung i sur., 2003.). Ciklički eteri najbolje funkcioniraju u kombinaciji s alkoholima. Točnije, alkoholi najprije djeluju direktno na stanice mikroorganizama, a potom ciklički eteri smanjuju upale u organizmu domaćina izazvane djelovanjem mikroorganizama. Kao i monoterpeni alkoholi i fenoli, oksidi imaju sposobnost antivirusnog djelovanja što je važno kod dišnih tegoba i ozljeda na koži/sluznicama. Najpoznatiji primjeri oksida prema Yang i sur. (2010.) su eukaliptol odnosno 1,8 – cineol kojeg nalazimo u eteričnom ulju timijana (*T. vulgaris*) i eukaliptusa (*E. globulus*), potom linalol kojeg npr. sadrži ružino drvo (*Aniba rosodora* Ducke) te  $\alpha$ -bisabolol oksid kojeg sadrži eterično ulje prave kamilice. Eterično ulje eukaliptusa koje sadrži eukaliptol dokazano djeluje protuupalno kod dišnih tegoba te je priznat kao lijek od strane Svjetske zdravstvene organizacije.

## 5. ANTIMIKROBNO DJELOVANJE ETERIČNIH ULJA

Budući da je kemijski sastav eteričnih ulja varijabilan, ne postoji jedan specifičan mehanizam djelovanja eteričnih ulja na mikroorganizme. Oni uglavnom ovise o kemijskom sastavu, funkcionalnim skupinama i vrsti interakcija među sastavnicama eteričnog ulja. Način na koji će eterično ulje djelovati na patogene mikroorganizme određen je nizom biokemijskih procesa u stanici i raznolikosti kemijskih spojeva eteričnog ulja (Basavegowda i Baek, 2021.). Također, djelovanje eteričnih ulja različito je na Gram-pozitivne u odnosu na Gram-negativne bakterije. Tako je povećana osjetljivost Gram-pozitivnih bakterija u odnosu na Gram-negativne bakterije dokazana u više različitih istraživanja u kojima su obje vrste stanica tretirane eteričnim uljem limuna (*C. limoni*) (Li i sur., 2019.), bosiljka (*O. basilicum*) (Al Abbasy i sur., 2014.), mente (*M. x piperita*) (Shahbazi i sur., 2015.) te eteričnim uljima dobivenih iz vrsta *Nepeta ucrainica* L. (Shakeri i sur., 2014.), *Zanthoxylum schinifolium* Siebold & Zucc. (Diao i sur., 2013.) i đumbira (*Zingiber officinale*

Roscoe) (Mesomo i sur., 2013.). Gram-negativne za razliku od Gram-pozitivnih bakterija imaju hidrofilne lipopolisaharide u vanjskoj membrani koji stvaraju barijeru ili ograničavaju difuziju makromolekula i hidrofobnih spojeva. Zbog svoje hidrofobnosti, molekule eteričnih ulja teže ulaze u periplazmatski prostor i inhibiraju stanicu (Hyldgaard i sur., 2012.). Općenito, eterična ulja djeluju na mikrobnu stanicu na način da se vežu za površinu stanice te oštećuju staničnu stijenkku i membranu što rezultira letalnim djelovanjem na stanice (Basavegowda i Baek, 2021.). Antifungalno djelovanje eteričnih ulja povezuje se i s dezintegracijom gljivičnih hifa zbog mono- i seskviterpenskih spojeva prisutnih u eteričnim uljima (Pandey i sur., 2017.). Nakon što eterično ulje dođe u kontakt sa staničnom stijenkkom ona postaje propusna za protone te dolazi do ometanja sinteze ATP-a. Eterična ulja na stanicu patogena mogu djelovati kao blage kiseline jer snižavaju pH stanice propuštanjem protona kroz staničnu membranu. Fenol karvakrol, prisutan u eteričnom ulju origana (*Origanum vulgare* L.), pokazao se izrazito učinkovit kod poremećaja pH stanice. Naravno, varijacije u djelovanju eteričnih ulja na stanične stijenke mogu se objasniti pomoću raznolikosti sastava eteričnih ulja (Faleiro i Miguel, 2013.). Međutim, najbitniji mehanizmi djelovanja eteričnih ulja vezani su uz inhibiciju staničnih ciklusa, sinteze proteina, lipida, replikacije DNA i koagulacije staničnog sadržaja (Basavegowda i Baek, 2021.). Također, pojedina eterična ulja, npr. ona izdvojena iz klinčićevca (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry), smrdljive iglice (*Geranium robertianum* L.), lavande (*Lavandula angustifolia* Mill.), ruže (*Rosa damascena* L.) i ružmarina (*Salvia rosmarinus* Spenn.) imaju dokazan učinak na sustav međusobne komunikacije među stanicama, poznat kao *Quorum sensing* kojim su regulirani različiti stanični procesi poput odgovora na stres, stvaranja biofilma, smrtnost stanica i virulencije (Faleiro i Miguel, 2013.). Također, novija istraživanja ukazuju da eterična ulja utječu na smanjenu proizvodnju virulentnih čimbenika kao što su enterotoksini, hemolizin, koagulaza i šok toksini, kao i smanjene razine transkripcije povezanih gena (Qiu i sur., 2010.; Di Pasqua i sur., 2010.; Azizkhania i sur., 2013.). Uvažavajući sastav eteričnih ulja i načine antimikrobnog djelovanja, ključan čimbenik u antimikrobnom djelovanju omjer je aktivnih kemijskih spojeva eteričnog ulja. Spojevi koji sadrže hidroksilnu skupinu (-OH) izrazito su antimikrobnog djelovanja i učinkovitiji od spojeva s karbonilnom skupinom (C=O). Hidroksilna skupina ima sposobnost vezanja za aktivno mjesto na enzimima te uzrokuje promjene u njihovoj aktivnosti. Položaj hidroksilne skupine također utječe na inhibitorna svojstva eteričnih ulja. Alkilna supstitucija u fenolnom spoju povećava antimikrobno djelovanje (Macwan i sur., 2016.).

Fenoli poput karvakrola, eugenola, linalola i timola imaju najjače antimikrobno djelovanje (Burt, 2007.). Pri nižim koncentracijama djeluju na enzime koji sudjeluju u proizvodnji energije za stanicu, a pri višim koncentracijama denaturiraju stanične proteine (Tiwari i sur., 2009.). Spojevi poput cimetnog aldehida, citrala, timola, triciklena, flavesona, mircena, karvakrola, p-cimena, eugenola, c-terpinena, fenilpropanoide,  $\beta$ -selinena i kalamenina inhibiraju rast i uništavaju biofilmove patogena (Gadisa i sur., 2021.). Česti spojevi raznih eteričnih ulja koja su pokazala baktericidno djelovanje su eugenol, cinamaldehyd i karvakrol, dok inhibicijski djeluju timol i (+)-karvon (Ebani i Mancianti, 2020.).

## 6. PRIMJENA ETERIČNIH ULJA

### 6.1. Primjena eteričnih ulja kao konzervansa

Konzervansi su tvari kojima je glavni cilj inhibicija mikrobnog rasta te produljenje trajanja i očuvanje kvalitete proizvoda. Konzervansi trebaju biti netoksični, učinkoviti i kompatibilni s ostalim sastojcima proizvoda kojeg konzerviraju. Najvažniji čimbenik kod odabira konzervansa je širok spektar djelovanja, tj. da djeluje inhibirajuće na više vrsta mikroorganizama odjednom. U prehrambenoj i kozmetičkoj industriji koriste se sintetički i prirodni konzervansi. Budući da su dokazani negativni učinci nekih sintetičkih konzervansa na zdravlje ljudi (Cui i sur., 2020.), potražnja za prirodnim konzervansima u stalnom je porastu. Uporaba prirodnih konzervansa, poput eteričnih ulja i ekstrakata biljaka, kao alternativa sintetičkim konzervansima, vezana je prvenstveno uz njihova antimikrobna svojstva i izostanak negativnih utjecaja na zdravlje ljudi u preporučenoj koncentraciji. Međutim, svi kemijski spojevi unutar eteričnih ulja ne posjeduju jednako antimikrobno djelovanje. Najjače djelovanje pokazuju fenoli, zatim aldehidi, ketoni, alkoholi, eteri i ugljikovodici (Bassolé i Juliani, 2012.). Način na koji će eterično ulje djelovati na mikroorganizme ponajprije ovisi o interakciji spojeva od kojih je sastavljeno. Interakcija između spojeva eteričnih ulja može proizvesti četiri vrste učinka: a) indiferentni – spojevi ne utječu jedan na drugi; b) aditivni – kada je zbroj pojedinačnih učinaka jednak zajedničkom učinku; c) antagonistički – primjećuje se kada je učinak jednog ili oba spoja manji nego kada se primjenjuju pojedinačno; d) sinergijski – učinak kombiniranih tvari je bolji nego zbroj učinaka svake tvari pojedinačno (Chouhan i sur., 2017.). Na djelovanje eteričnih ulja kao konzervansa može djelovati cijeli spektar čimbenika, primjerice sadržaj

masti, interakcija terpenoidnih fenola s enzimima te varijabilnosti u sastavu samog proizvoda. Učinkovitost eteričnih ulja kao konzervansa ovisi o vrsti, rodu, soju i broju ciljanih mikroorganizama te uvjetima okoliša (Macwan i sur., 2016.). Od svih načina interakcije spojeva eteričnih ulja, najpoželjnija je sinergija poput one između karvakrola i p-cimena, koji ima slaba antimikrobna svojstva te olakšava ulaz karvakrola u stanicu bubrenjem stjenke vrste *Bacillus cereus* (Ultee i sur., 2000.). Timol i karvakrol mogu djelovati sinergički i antagonistički, ovisno o tome u kojim eteričnim uljima se nalaze te inhibiraju rast *Staphylococcus* spp., *Micrococcus* spp., *Bacillus* spp. i *Enterobacter* spp. Također kombinacija karvakrola i eugenola djeluje sinergički i antagonistički prema *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* i *B. cereus* (Bassolé i Juliani, 2012.). Karvakrol i/ili timol također djeluju sinergijski s cinamaldehydima stvarajući pore na membranama stanice čime se olakša ulaz eteričnog ulja u stanice (Shaaban, 2020.). Sinergija eteričnog ulja timijana (*T. vulgaris*), origana (*O. vulgare*) i ružmarina (*S. rosmarinus*) učinkovito je inhibirala rast vrsta *B. cereus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli* i *Listeria monocytogenes* (Macwan i sur., 2016.). Kombinacija eteričnih ulja klinčića i ružmarina djelovala je inhibitorno na *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *E. coli*, *Pseudomonas vulgaris* i *P. aeruginosa* (Faleiro, 2011.).

## 6.2. Primjena eteričnih ulja u kozmetici

Budući da mikrobnom kvarenje može dovesti do degradacije kozmetičkih proizvoda i imati negativan utjecaj na zdravlje potrošača, u kozmetici je nužna uporaba konzervansa. S druge strane, velik broj potrošača dovodi u pitanje sigurnost kemijskih konzervansa koji se tradicionalno primjenjuju u kozmetičkim proizvodima, budući da često uzrokuju iritaciju kože i dovode do alergijskih reakcija. Iz tog razloga raste i potražnja za prirodnijom kozmetikom u kojoj su sintetički konzervansi zamijenjeni prirodnim spojevima poput eteričnih ulja. Eterična ulja sastavni su dio velikog broja različitih kozmetičkih proizvoda poput sapuna, krema, šampona, proizvoda za oblikovanje kose, parfema itd. (Mendoza-Yepes i sur., 2007.) u koje se dodaju kao konzervansi ili kako bi poboljšali karakteristike samog proizvoda. Procjenjuje se da je više od 3000 eteričnih ulja od komercijalne važnosti i da se koriste u kozmetičkoj industriji (Dreger i Wielgus, 2013.). Dodatkom eteričnih ulja, kozmetički proizvod bi trebao ostati nepromijenjen te imati antioksidacijski učinak uz produljen vijek trajanja (Ziosi i sur., 2010.). Prije uporabe, u proizvodnji kozmetike, važno je razrijediti eterična ulja na razine prikladne svrsi za koju će se proizvod koristiti. Razrjeđenjem eteričnih ulja do koncentracije koja je

prikladna za korištenje smanjuje se mogućnost oštećenja kože do kojih može doći zbog nanošenja čistog eteričnog ulja. Na taj je način onemogućen brzi ulazak eteričnog ulja u organizam što daje više vremena za polaganu apsorpciju terapijskih tvari. Međutim, u tom slučaju, antimikrobno djelovanje eteričnog ulja može biti smanjeno budući da antimikrobni učinak bilo koje tvari, pa i eteričnih ulja, ovisi o koncentraciji. Tako su u istraživanju antimikrobnog djelovanja eteričnih ulja lavande (*L. angustifolia*), čajevca (*M. alternifolia*) i cimetoanca (*C. verum*) te metilparabena, eterična ulja pokazala veće inhibitorno djelovanje od sintetičkih konzervansa u kozmetičkoj emulziji, što ukazuje na mogućnost zamjene sintetičkih konzervansa eteričnim uljem, ali u relativno visokim koncentracijama (Herman i sur., 2013.). Ulje cimeta (2,5 %) najjače je inhibiralo rast *S. aureus*, *E. coli* i *C. albicans*. Ovisno o testiranim sojevima mikroorganizama, antimikrobna aktivnost eteričnih ulja (2,5 %) bila je u nekim slučajevima 3,5 puta intenzivnija od one metilparabena (0,4 %). Kombinacija eteričnih ulja eukaliptusa (*E. globulus*) i paprene metvice (*M. x piperita*) povećava djelovanje metilparabena i propilparabena prema *P. aeruginosa*, a u istom istraživanju dokazano je da kombinacija eteričnog ulja ružmarina, paprene metvice i origana povećava aktivnost diazolidinil uree koja se koristi kao česti konzervans u kozmetici (Patrone i sur., 2010.). Kod proizvodnje prirodne kozmetike, osobito one s velikom koncentracijom vode, preporučljivo je koristiti što efikasnije konzervanse jer veća količina vode znači i pogodnu sredinu za razvoj bakterija i plijesni. Kada se eterično ulje primjenjuje samostalno, njegovo antimikrobno djelovanje obično nije dovoljno te su za bolji učinak potrebne veće koncentracije koje mogu dovesti do odvajanja faza, nepovoljne viskoznosti formulacije i nepoželjnog mirisa. Zbog toga je istovremena aplikacija sintetičkih i prirodnih konzervansa jedno od mogućih rješenja. Tako je dokumentirano da je antimikrobno djelovanje eteričnog ulja limuna (*C. limon*) i čajevca (*M. alternifolia*) na *P. aeruginosa* pojačano u kombinaciji s eteričnim uljem ružmarina (*S. rosmarinus*) i/ili sintetičkim konzervansima (Kunicka-Styczyńska i sur., 2011.). Dodavanje eteričnih ulja u relativno niskoj koncentraciji ili eteričnih ulja sa solubilizatorima omogućuje smanjenje koncentracije sintetičkih konzervansa te adekvatnu zaštitu kozmetičkog proizvoda od mikrobnog kvarenja (Dreger i Wielgus, 2013).

### 6.3. Primjena eteričnih ulja u prehrambenoj industriji

Značajni gubici voća i povrća nakon žetve vezani su uz rast mikroskopskih gljivica koje uzrokuju truljenje plodova. Voće, zbog niskog pH, većeg sadržaja vlage i hranjivih tvari vrlo je osjetljivo na invaziju patogenih mikroskopskih

gljivica, koje osim što uzrokuju truljenje, mogu plodove učiniti neprikladnima za konzumaciju stvaranjem mikotoksina (Pandey i sur., 2017.). Određeni ekstrakti biljaka i eterična ulja kao npr. češnjaka (*A. sativa*), kurkume (*C. longa*) i luka (*A. cepa* L.) učinkovito usporavaju rast mikotoksikovornih plijesni i proizvodnju aflatoksina (Macwan i sur., 2016.).

Eterična ulja, bilo u čistom obliku ili u obliku formulacije, uspješno su korištena u velikom broju istraživanja kako bi se značajno produžio rok trajanja plodova i sjemenki poput čilija, mandarina, kikirikija, stolnog grožđa, banana itd., a koji su skladišteni u različitim ambalažama izrađenim od kartona, kositra, stakla, polietilena ili prirodnih tkanina (Pandey i sur., 2017.). Međutim, glavna prepreka za korištenje eteričnih ulja kao konzervansa u hrani je ta što najčešće nisu dovoljno efikasni kao njihovi pojedinačni kemijski spojevi ili ostali aditivi, a kada se dodaju u dovoljnim količinama za postizanje antimikrobnog učinka uzrokuju i negativne organoleptičke učinke (Hyldgaard i sur., 2012.). Također, eterična ulja teško se kombiniraju sa sastojcima hrane poput škroba, masti i proteina, te je u tom slučaju potencijal eteričnih ulja kao konzervansa veći ako se koriste u ambalaži hrane, a ne u samim proizvodima.

Više vrsta ulja može se inkapsulirati u pakiranja te polako otpuštati unutar ambalaže i na površinu hrane bez mijenjanja organoleptičkih svojstava (Hyldgaard i sur., 2012.). Takvo se pakiranje naziva aktivno pakiranje, u kojem se antimikrobna sredstva dodaju u foliju pakiranja ili kao jastučić te se tako s vremenom otpuštaju (Macwan i sur., 2016.). Nekoliko eteričnih ulja i njihovih sastavnica (npr. karvon, karvakrol, cinamaldehyd, timol, linalol, citral, limonen, eugenol, limonen i mentol) odobreni su od strane Uprava za hranu i lijekove SAD-a kao arome ili prehrambeni aditivi te im je dodijeljena oznaka GRAS (*eng.* Generally Recognized As Safe) (Pandey i sur., 2017.).

#### 6.4. Primjena eteričnih ulja u farmaciji i aromaterapiji

Neka od eteričnih ulja koja se obično koriste u farmaciji imaju baktericidno ili bakteriostatično djelovanje. Najčešće su to eterična ulja koja su ekstrahirana iz češnjaka (*A. sativum* L.), đumbira (*Z. officinale*), klinčićevca (*S. aromaticum*), crnog papra (*Piper nigrum* L.), zelenog čilija (*Capsicum annum* L.), cimeta (*C. verum*), pimenta (*Pimenta racemosa* Mill.), timijana (*T. vulgaris*), origana (*O. vulgare* L.) i ružmarina (*S. rosmarinus*) Osim upotrebe zbog antibakterijskih svojstava, pojedina se eterična ulja koriste i za suzbijanje raznih vrsta patogenih gljivica tj. djeluju fungistatično i fungicidno (Souza i sur., 2005.). Potencijalna primjena ulja na virusnim stanicama također je dokazana te je snažno



antivirusno djelovanje dokumentirano prema nekoliko DNA i RNA virusa poput virusa gripe, žute groznice adenovirusa, herpes simplex virusa i koronavirusa (Wani i sur., 2021.). Russo i sur. (2015.) provedli su *in vivo* i *in vitro* istraživanja potencijala citotoksičnog djelovanja eteričnih ulja na stanice raka. Zbog njihovog složenog kemijskog sastava, koji se razlikuje ovisno o vrsti eteričnog ulja, još uvijek nisu poznati točni mehanizmi djelovanja. Budući da se ulja toliko razlikuju od vrste do vrste vrlo je teško osmisлити univerzalnu dozu koja bi se primjenjivala za liječenje bolesti (Russo i sur., 2015.). U otorinolaringologiji biljke poput limunskog eukaliptusa (*E. citriodora* Hook), eukaliptusa (*E. globulus*), paprene metvice (*M. x piperita*), sirijskog origana (*O. syriacum* L.), grčke kadulje (*S. fruticosa*) i ružmarina (*S. rosmarinus*) koriste se za liječenje respiratornog trakta za smanjenje refleksa kašlja i olakšavanja prolaska zraka kroz nos i sinuse (inhalacije) (Rakover i sur., 2008.). Kao posebna vrsta alternativne medicine koja koristi eterična ulja i hidrolate za poboljšanje cjelokupnog zdravlja organizma je aromaterapija. Dosadašnja istraživanja dokazuju brojne pozitivne učinke aromaterapije u tretiranju kronične boli, depresije, anksioznosti, umora, infekcije, migrene, poremećaja koncentracije i spavanja. U aromaterapiji, eterična se ulja primjenjuju oralno, putem kože ili inhalacijom, no najčešći način primjene upravo je inhalacijom. Molekule eteričnih ulja ulaze kroz nos te prolaze njušnim živcem do temporalnog režnja u mozgu koji je povezan s osjetom mirisa te dolazi do otpuštanja kemikalija koje djeluju opuštajuće i ugodno. Još jedan široko rašireni način primjene eteričnih ulja u aromaterapiji je putem kože masažama. Ulja se ne nanose direktno na kožu (osim ulja lavande i čajevca), nego u obliku otopina ili krema (Martinec, 2013.). Ako su eterična ulja dobivena ekstrakcijom različitim otapalima često dolazi do problema nemogućnosti potpunog uklanjanja otapala iz ulja te se takva ulja smatraju neprikladnima za uporabu u aromaterapiji već se cijene kao sirovina za industriju parfema. Posebno se to odnosi na ulje jasmína (*Jasminum sambac* L.) (Akram i sur., 2017.). Za regeneraciju kože, u aromaterapiji se koriste eterična ulja sjemena mrkve (*D. carota*) i prave kamilice (*C. recutita*) koja su bogata seskviterpenskim alkoholima (Marković, 2005.).

#### 6.5. Primjena eteričnih ulja u poljoprivredi

Sve veća potreba za kontrolom i suzbijanjem biljnih patogena bez negativnih utjecaja na okoliš i kvalitetu konačnog proizvoda, dovela je do potražnje za sigurnim i učinkovitim spojevima, posebice spojevima biljnog podrijetla (Martins i sur., 2018.; Chang i sur., 2022.). Eterična se ulja koriste

kao prirodni pesticidi u poljoprivredi u obliku fumiganata, granulata ili sprejeva za suzbijanje fitopatogenih mikroorganizama, glodavaca i štetnika. Nalaze primjenu u ekološkoj proizvodnji hrane budući da imaju značajno niži negativan utjecaj na okoliš od kemijskih pesticida. Zbog složenog i varijabilnog kemijskog sastava, manja je vjerojatnost pojave rezistentnosti kod tretiranih organizama (Koul i sur., 2008.). Nedostatak njihove primjene je potreba za ponovljenim tretiranjem ili većim dozama zbog hlapljivosti eteričnih ulja. Neka od eteričnih ulja koja se koriste u suzbijanju štetočinja su eterično ulje ružmarina (*S. rosmarinus*), klinčića (*S. aromaticum*) i timijana (*T. vulgaris*) i dr. Razne vrste iz rodova *Mentha* sp. i *Citrus* sp. koriste se za suzbijanje muha, moljaca, krpelja, uši itd. (Mohan i sur., 2011.).

Učinkovitost eteričnih ulja dokazana je i prema fitopatogenim gljivama koje uzrokuju značajnu štetu u poljoprivrednoj proizvodnji. Na listovima rajčica inokuliranih s *Alternaria alternata* eterična ulja cimeta (*C. verum*) i origana (*O. vulgare*) smanjila su nekrotične lezije i odgodila klijanje konidija, dok eterična ulja komorača (*Foeniculum vulgare* Mill.) i majčine dušice (*Thymus serpyllum* L.) nisu pokazala učinkovitost inhibicije rasta ove fitopatogene gljive. Međutim, sva četiri eterična ulja pokazala su sličnu antifungalnu aktivnost na *A. alternata* u *in vitro* uvjetima, ovisno o primijenjenoj dozi (Hong i sur., 2018). Ulje paprene metvice (*M. x piperita*) pokazalo je najveću učinkovitost u tretiranju infekcije izazvanom mikroskopskom gljivom *Macrophomina phaseolina* na geraniju (*P. graveolens*) u odnosu na ulje bosiljka (*O. basilicum*), dok ulje mažurana (*Origanum majorana* L.) nije utjecalo na rast patogena (Ghazi i sur., 2018). U istraživanju u *in vivo* uvjetima (Samithri i sur., 2020.) dokazano je da eterična ulja kardamona (*Elettaria cardamomum* (L.) Maton) i citronele (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) značajno inhibiraju rast plijesni *Colletotrichum* spp. i *Lasioidiplodia* spp. koje uzrokuju trulež stabljika papaje.

Bakterije koje uzrokuju bolesti na biljkama imaju također značajan ekonomski učinak. Fitopatogene bakterije preživljavaju u različitim okruženjima, kako u biljkama tako i izvan svojih domaćina. Za oko 350 bakterija koje pripadaju različitim rodovima skupina *Proteobacteria*, *Actinobacteria* i *Firmicutes*, poznato je da su fitopatogene (Leonard i sur., 2020.). Antibakterijsko djelovanje eteričnog ulja bosiljka (*O. ciliatum*) dokazano je prema deset važnih fitopatogenih bakterija. Najosjetljivija bakterija bila je *Brenneria nigrifluens*, dok je najotpornija bila bakterija *Pseudomonas tolaasii* (Moghaddam i sur., 2014.). U istraživanju Akhlaghi i sur. (2019.)

ispitana je učinkovitost jedanaest vrsta eteričnih ulja u inhibiciji rasta i utišavanju virulencije fitopatogene bakterije *Erwinia amylovora*. Eterična ulja komorača (*F. vulgare*) i anisa (*Pimpinella anisum* L.) pokazala su snažno antibakterijsko djelovanje, a eterična ulja vrsta *Artemisia aucheri* Boiss. i *Heracleum persicum* Desf. ex Fisch. umjereno antibakterijsko djelovanje. Ostalih sedam eteričnih ulja utjecalo je na smanjenje virulencije kod *E. amylovora*, ali nisu pokazala značajnu ulogu u inhibiciji rasta ove fitopatogene bakterije.

## 7. ZAKLJUČAK

Eterična ulja mogu učinkovito inhibirati rast patogenih mikroorganizma i mikroorganizma koji uzrokuju kvarenje, stoga mogu biti dobra alternativa ili nadopuna sintetičkim antimikrobnim kemikalijama i lijekovima. Zbog prisutnosti različitih bioaktivnih sastojaka eterična ulja imaju antibakterijska, antifungalna i antivirusna svojstva te se mogu koristiti za poboljšanje kvalitete i produljenje roka trajanja prehrambenih i kozmetičkih proizvoda, kao lijekovi u farmaciji ili kao zaštitna sredstva u poljoprivredi. Međutim, ovo vrijedi za ograničen broj eteričnih ulja koja imaju dokazani potencijal kao antimikrobna sredstva. Također, njihov stvarni učinak često je znatno slabiji u usporedbi sa sintetičkim spojevima (uključujući antibiotike), a pojedini mikroorganizmi poput npr. Gram-pozitivnih bakterija puno su osjetljiviji na eterično ulje od npr. Gram-negativnih bakterija. S druge strane, niska toksičnost, kao i njihovo prirodno podrijetlo, čini ih atraktivnom alternativom za primjenu u različitim industrijama. Iako se antimikrobni učinak eteričnog ulja najčešće pripisuje sinergijskom djelovanju njegovih spojeva i to naročito onih s fenolnim, aromatskim ili alkoholnim skupinama, potrebno je analizirati sve spojeve koje možemo naći u eteričnom ulju kako bi se procijenila sigurnost njihove uporabe. U budućnosti bi naglasak svakako trebao biti na potvrdi velike količine informacija dobivena u *in vitro* testovima i u *in vivo* analizama te kontroliranim kliničkim ispitivanjima, a kako bi se evaluirao stvarni učinak eteričnih ulja.

## LITERATURA

1. Akram A., Younis A., Akhtar G., Ameer K., Farooq A., Hanif M. A., Saeed M., Lim K. B. (2017.): Comparative Efficacy of Various Essential Oil Extraction Techniques on Oil Yield and Quality of *Jasminum sambac* L. Science International, 5: 84 – 95.

2. Al Abbasy D. W., Pathare N., Al-Sabahi J.N., Khan S. A. (2015.): Chemical composition and antibacterial activity of essential oil isolated from Omani basil (*Ocimum basilicum* Linn.). *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5: 645 – 9.
3. Akhlaghi M., Saeed T., Parissa T. (2019.): Effects of plant essential oils on growth and virulence factors of *Erwinia amylovora*. *Journal of Plant Pathology*, 102: 409 – 419.
4. Andrade M. A., Barbosa C. H., Shah M. A., Ahmad N., Vilarinho F., Khwaldia K., Silva A. S., Ramos F. (2023.): Citrus By-Products: Valuable Source of Bioactive Compounds for Food Applications. *Antioxidants*, 12(1): 38.
5. Aqeel U., Aftab K., Khan M. M. A., Naeem M. (2023.): Regulation of essential oil in aromatic plants under changing environment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 32: 100441.
6. Aziz Z. A. A., Ahmad A., Setapar S. H. M., Karakucuk A., Azim M. M., Lokhat D., Rafatullah M., Ganash M., Kamal M. A., Ashraf G. M. (2018.): Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical and Therapeutic Potential – A Review. *Current Drug Metabolism*, 19(13): 1100 – 1110.
7. Azizkhanian M., Misaghib A., Bastib A. A., Nasrabadib H. G., Hosseinic H. (2013.): Effects of *Zataria multiflora* Boiss. Essential Oil on Growth and Gene Expression of Enterotoxins A, C and E in *Staphylococcus aureus* ATCC 29213. *International Journal of Food Microbiology*, 167: 159 – 165.
8. Basavegowda N., Baek K. H. (2021.). Synergistic Antioxidant and Antibacterial Advantages of Essential Oils for Food Packaging Applications. *Biomolecules*, 11(9): 1267.
9. Bassolé I. H., Juliani H. R. (2012.). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 17(4): 3989 – 4006.
10. Blitzke T. (2009.): Ätherische Öle und Aromaextrakte in der Kosmetik, der Aromatherapie und im Lebensmittelbereich. U: *Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus*. Band 1 Grundlagen des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus I. (Hoppe B., Hoppe K., Junghanns W., Kabelitz L, Pank F, Schliephake E, ur.): Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen SALUPLANTA, Bernburg, Germany, str. 383 – 394.
11. Boukhatem M. (2020.): Scientific Findings: The Amazing use of Essential Oils and their Related Terpenes as Natural Preservatives to Improve the Shelf- Life of Food. *Food Science and Nutrition Technology*, 5: 1 – 13.

12. Bunse M., Daniels R., Gründemann C., Heilmann J., Kammerer D. R., Keusgen M., Lindequist U., Melzig M. F., Morlock G. E., Schulz H., Schweiggert R., Simon M., Stintzing F. C., Wink M. (2022.): Essential Oils as Multicomponent Mixtures and Their Potential for Human Health and WellBeing. *Frontiers in Pharmacology*, 13: 956541.
13. Butnariu M., Sarac I. (2018.). Essential Oils from Plants. *Journal of Biotechnology and Biomedicine* (4): 35 – 43.
14. Burt S. A., van der Zee R., Koets A. P., de Graaff A. M., van Knapen F., Gaastra W., Haagsman H. P., Veldhuizen E. J. (2007.): Carvacrol induces heat shock protein 60 and inhibits synthesis of flagellin in *Escherichia coli* O157:H7. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(14): 4484 – 4490.
15. Busatta C., Barbosa J., Cardoso R. I., Paroul N., Rodrigues M., de Oliveira D., de Oliveira J. V., Cansian R. L. (2017.): Chemical profiles of essential oils of marjoram (*Origanum majorana*) and oregano (*Origanum vulgare*) obtained by hydrodistillation and supercritical CO<sub>2</sub>. *Journal of Essential Oil Research*, 29(5): 367 – 374.
16. Chang Y., Harmon P. F., Treadwell D. D., Carrillo D., Sarkhosh A., Brecht J. K. (2022.): Biocontrol Potential of Essential Oils in Organic Horticulture Systems: From Farm to Fork. *Frontiers in Nutrition*, 8: 805138.
17. Cheung C., Hotchkiss S. A., Pease C. K. (2003.): Cinnamic compound metabolism in human skin and the role metabolism may play in determining relative sensitisation potency. *Journal of Dermatological Science*, 31(1): 9 – 19.
18. Chouhan S., Sharma K., Guleria S. (2017.): Antimicrobial Activity of Some Essential Oils-Present Status and Future Perspectives. *Medicines (Basel)*, 8/4(3): 58.
19. Cui S. M., Li T., Wang Q., Ke He K., Mei Zheng Y., Yun Liang H., Ya Song L. (2020.): Antibacterial Effects of Schisandra chinensis Extract on *Escherichia coli* and its Applications in Cosmetic. *Current Microbiology*, 77: 865-874.
20. D'Amato S., Serio A., Lopez C. C., Paparella A. (2018.). Hydrosols: Biological activity and potential as antimicrobials for food applications. *Food Control*, 86: 126 – 137.
21. Dreger M., Wielgus K. (2013.): Application of essential oils as natural cosmetic preservatives. *Herba Polonica*, 59(4): 142 – 156.
22. Diao W. R., Hu Q. P., Feng S. S., WQ L., Xu J. G. (2013.): Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from green huajiao (*Zanthoxylum schinifolium*) against selected foodborne pathogens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 6044 – 6049.

23. Di Pasqua R., Mamone G., Ferranti P., Ercolini D., Mauriello G. (2010.). Changes in the proteome of *Salmonella enterica* Serovar Thompson as stress adaptation to sublethal concentrations of thymol. *Proteomics*, 10(5): 1040 – 1049.
24. Ebani V. V., Mancianti F. (2020.). Use of Essential Oils in Veterinary Medicine to Combat Bacterial and Fungal Infections. *Veterinary Sciences*, 7(4): 1 – 35.
25. European Commission (2002.): Opinion of the Scientific Committee on Food on pulegone and menthofuran. Scientific Committee on Food. European Commission health & consumer protection directorate. Bruxelles, Belgium.
26. Faleiro M. L. (2011.). The Mode of Antibacterial Action of Essential Oils. U: Science against Microbial Pathogens: Communicating Current Research and Technological Advances (Mendez-Vilas A., ur.), World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore 1143 – 1156.
27. Faleiro M. L., Miguel M. G (2013.): Use of Essential Oils and Their Components against Multidrug-Resistant Bacteria. U: Fighting Multidrug Resistance with Herbal Extracts, Essential Oils and Their Components (Rai M., Kon K., ur.), Elsevier Science, SAD, str. 65 – 94.
28. Ferenčić D., Gluhic D., Dudaš S. (2016.): Eterična ulja i nusproizvodi kore mandarine (*Citrus reticulata* Blanco). *Glasnik zaštite bilja*, 39(5): 44 – 49.
29. Gadisa E., Usman H. (2021.). Evaluation of Antibacterial Activity of Essential Oils and Their Combination against Multidrug-Resistant Bacteria. *International Journal of Microbiology*, 26: 6680668.
30. Ghazi A. A., Attia E. A., Rashed N. M. (2018.): Management of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) infection in geranium (*Pelargonium graveolens* L.) using biocontrol agents and essential oils. *Environment, Biodiversity & Soil Security*, 2: 131 – 42.
31. Graham P. H., Browne L., Cox H., Graham J. (2003.): Inhalation Aromatherapy During Radiotherapy: Results of a Placebo-Controlled Double-Blind Randomized Trial. *Journal of Clinical Oncology*, 21(12): 2372 – 2376.
32. Herman A., Herman A. P., Domagalska B. W., Młynarczyk A. (2013.): Essential oils and herbal extracts as antimicrobial agents in cosmetic emulsion. *Indian Journal of Microbiology*, 53(2): 232 – 237.
33. Hong J. K., Jo Y. S., Ryoo D. H., Jung J. H., Kwon H. J., Lee Y. H. et al. (2018): Alternaria spots in tomato leaves differently delayed by four plant essential oil vapours. *Research in Plant Disease*, 24: 292 – 301.
34. Jabra-Rizk M. A., Meiller T. F., James C. E., Shirliff M. E. (2006.): Effect of Farnesol on Staphylococcus aureus Biofilm Formation and Antimicrobial Susceptibility. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 50(4): 1463 – 1469.

35. Kunicka-Styczyńska A., Sikora M., Kalembe D. (2011.): Lavender, tea tree and lemon oils as antimicrobials in washing liquids and soft body balms. *International Journal of Cosmetic Science*, 33(1): 53 – 61.
36. Koul O., Walia S., Dhaliwal G. S. (2008.): Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*, 4: 63 – 84.
37. Li Z-H, Cai M., Liu Y-S, Sun P-L, Luo S-L. (2019.): Antibacterial activity and mechanisms of essential oil from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis*. *Molecules*, 24: 1577.
38. Leite J. R., Seabra Mde L., Maluf E., Assolant K., Suchecki D., Tufik S., Klepacz S., Calil H. M., Carlini E. A. (1986.): Pharmacology of lemongrass (*Cymbopogon citratus* Stapf). III. Assessment of eventual toxic, hypnotic and anxiolytic effects on humans. *Journal of Ethnopharmacology*, 17(1): 75 – 83.
39. Leonard S., Hommais F., Nasser W., Reverchon S. (2017.): Plant–phytopathogen interactions: bacterial responses to environmental and plant stimuli. *Environmental Microbiology*, 19: 1689 – 1716.
40. Loza-Tavera H. (1999.): Monoterpenes in essential oils – Biosynthesis and properties. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 464: 49 – 62.
41. Hyldgaard M., Mygind T., Meyer R. L. (2012.): Essential oils in food preservation: Mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3: 12.
42. Macwan S. R., Dabhi B. K., Aparnathi K. D., Prajapati J. B. (2016.): Essential Oils of Herbs and Spices: Their Antimicrobial Activity and Application in Preservation of Food. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(5): 885 –901.
43. Marković S. (2005.): Fitoaromaterapija. Centar Cedrus, Zagreb, Hrvatska.
44. Martinec R. (2013.): Aromaterapija kao komplementarna metoda u terapiji i rehabilitaciji. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*, 49(1): 181 – 193.
45. Martins P. M. M.; Merfá M. V., Takita M. A., De Souza A. A. (2018.): Persistence in Phytopathogenic Bacteria: Do We Know Enough? *Frontiers in Microbiology*, 9: 1099.
46. McGeady P., Wansley D. L., Logan D. A. (2002.): Carvone and perillaldehyde interfere with the serum-induced formation of filamentous structures in *Candida albicans* at substantially lower concentrations than those causing significant inhibition of growth. *Journal of Natural Products*, 65(7): 953 – 955.

47. Mendoza-Yepes M. J., Sanchez-Hidalgo L. E., Maertens G., Marin-Iniesta F. (2007.): Inhibition of *Listeria Monocytogenes* and Other Bacteria by a Plant Essential Oil (Dmc) in Spanish Soft Cheese. *Journal of Food Safety*, 17(1): 47 – 55.
48. Mesomo M. C., Corazza M. L., Ndiaye P. M., Dalla Santa O. R., Cardozo L., de Paula Scheer A. (2013.): Supercritical CO<sub>2</sub> extracts and essential oil of ginger (*Zingiber officinale* R.): chemical composition and antibacterial activity. *The Journal of Supercritical Fluids*, 80: 44 – 49.
49. Moghaddam M., Alymanesh M. R., Mehdizadeh L., Mirzaei H., Pirbalouti A. G. (2014.): Chemical composition and antibacterial activity of essential oil of *Ocimum ciliatum*, as a new source of methyl chavicol, against ten phytopathogens. *Industrial Crops and Products*, 59: 144 – 148.
50. Mohan M., Haider S. Z., Andola H. C., Purohit V. K. (2011.): Essential Oils as Green Pesticides: For Sustainable Agriculture. *Research Journal of Pharmaceuticals, Biological and Chemical Sciences*, 2(4): 100 – 106.
51. Pandey A. K., Kumar P., Singh P., Tripathi N. N., Bajpai V. K. (2017.): Essential Oils: Sources of Antimicrobials and Food Preservatives. *Frontiers in Microbiology*, 7: 2161.
52. Park C. K., Kim K., Jung S. J., Kim M. J., Ahn D. K., Hong S. D., Kim J. S., Oh S. B. (2009.): Molecular mechanism for local anesthetic action of eugenol in the rat trigeminal system. *Pain*, 144(1-2): 84 – 94.
53. Patrone V., Campana R., Vittoria E., Baffone W. (2010.): *In Vitro* Synergistic Activities of Essential Oils and Surfactants in Combination with Cosmetic Preservatives Against *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Current Microbiology*, 60(4): 237 – 241.
54. Qiu J., Feng H., Lu J., Xiang H., Wang D., Dong J., Wang J., Wang X., Liu J., Deng X. (2010.): Eugenol Reduces the Expression of Virulence-Related Exoproteins in *Staphylococcus aureus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(17): 5846 – 5851.
55. Rakover Y., Ben-Arye E., Goldstein L. H. (2008.): The treatment of respiratory ailments with essential oils of some aromatic medicinal plants. *Harefuah*, 147(10): 783 – 788, 838.
56. Reverchon E., Senatore F. (1992.): Isolation of Rosemary Oil: Comparison between Hydrodistillation and Supercritical CO<sub>2</sub> Extraction. *Flavour and Fragrance Journal*, 7(4): 227 – 230.
57. Russo R., Corasaniti M. T., Bagetta G., Morrone L. A. (2015.): Exploitation of Cytotoxicity of Some Essential Oils for Translation in Cancer Therapy. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015: 397821.



58. Samithri Y. A. S., Karunanayake K. O. L. C., Kulasinghe A. A. (2020.): *In vitro* study of selected essential oils against *Colletotrichum* sp. and *Lasiodiplodia* sp. causing postharvest diseases in papaya. *Ceylon Journal of Science*, 49: 389 – 396.
59. Sawamura M. (2010.): *Citrus Essential Oils: Flavor and Fragrance*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, SAD.
60. Selescu T., Ciobanu A. C., Dobre C., Reid G., Babes A. (2013.): Camphor Activates and Sensitizes Transient Receptor Potential Melastatin 8 (TRPM8) to Cooling and Icilin. *Chemical Senses*, 38(7): 563 – 575.
61. Sell C. (2015.): *Chemistry of Essential Oils*. U: *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*, Second Edition (Can Baser K. H., Buchbauer G., ur.), CRC Press, Taylor & Francis, New York, SAD, str. 165 – 195.
62. Shaaban H. A. (2020.): *Essential Oil as Antimicrobial Agents: Efficacy, Stability, and Safety Issues for Food Application*. U: *Essential Oils – Bioactive Compounds, New Perspectives and Applications* (De Oliveira M. S., Da Costa W. A., Silva S. G., ur.), IntechOpen, London, UK, str. 1 – 33.
63. Shahbazi Y. (2015.): *Chemical Composition and In Vitro Antibacterial Activity of Mentha spicata Essential Oil against Common Food-Borne Pathogenic Bacteria*. *Journal of Pathogens*, 2015: 916305.
64. Shakeri A., Khakdan F., Soheili V., Sahebkar A., Rassam G., Asili J. (2014.): Chemical composition, antibacterial activity, and cytotoxicity of essential oil from *Nepeta ucrainica* L. spp. *kopetdaghensis*. *Industrial Crops and Products*, 58: 315 – 321.
65. Sharmeen J. B., Mahomoodally F. M., Zengin G., Maggi F. (2021.): *Essential Oils as Natural Sources of Fragrance Compounds for Cosmetics and Cosmeceuticals*. *Molecules*, 26(3): 666.
66. Soković M., Glamočlija J., Marin P. D., Brkić D., van Griensven L. J. L. D. (2010.): *Antibacterial Effects of the Essential Oils of Commonly Consumed Medicinal Herbs Using an In Vitro Model*. *Molecules*, 15(11): 7532 – 7546.
67. Souza E. L., Stamford T. L. M., Lima E. O., Trajano V. N., Fihlo J. M. B. (2005.): *Antimicrobial effectiveness of spices: An approach for use in food conservation systems*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(4): 549 – 558.
68. Stanić Z., Senjković R. (1994.): *Ekstrakcija sa superkričkim ugljik-dioksidom*. *Farmaceutski glasnik*, 50: 123 – 128.
69. Tiwari V. M., Wahr J., Swenson S. (2009.). *Dwindling groundwater resources in northern India, from satellite gravity observations*. *Geophysical Research Letters*, 36: L18401.

70. Tongnuanchan P., Benjakul S. (2014.): Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation. *Journal of Food Science*, 79(7): R1231 – R1249.
71. Ultee A., Slump R. A., Steging G., Smid E. J. (2000.): Antimicrobial Activity of Carvacrol toward *Bacillus cereus* on Rice. *Journal of Food Protection*, 63(5): 620 – 624.
72. Virgiliou C., Zisi C., Kontogiannopoulos K. N., Nakas A., Iakovakis A., Varsamis V., Gika H. G., Assimopoulou A. N. (2021.): Headspace gas chromatography-mass spectrometry in the analysis of lavender's essential oil: Optimization by response surface methodology. *Journal of Chromatography B*, 1179: 122852.
73. Wani A. R., Yadav K., Khursheed A., Rather M. A. (2021.): An updated and comprehensive review of the antiviral potential of essential oils and their chemical constituents with special focus on their mechanism of action against various influenza and coronaviruses. *Microbial Pathogenesis*, 152: 104620.
74. Yang Z., Wu N., Fu Y., Yang G., Wang W., Zu Y., Efferth T. (2010.): Anti-Infectious Bronchitis Virus (IBV) Activity of 1,8-cineole: Effect on Nucleocapsid (N) Protein. *Journal of Biomolecular Structure & Dynamics*, 28(3): 323 – 330.
75. Ziosi P., Manfredini S., Vertuani S., Ruscetta V., Radice M., Sacchetti G., Bruni R. (2010.): Evaluating Essential Oils in Cosmetics: Antioxidant Capacity and Functionality. *Cosmetics & Toiletries*, 125(6): 32 – 40.

**Adresa autora - Author's address:**

prof. dr. sc. Mirna Mrkonjić Fuka  
Irina Tanuwidjaja mag. ing. agr  
Zavod za mikrobiologiju,

**Primljeno – received:**

18.01.2024.

**Prihvaćeno – accepted:**

19.02.2024.

izv. prof. dr. sc. Martina Grdiša,  
dopisni autor: mgrdisa@agr.hr  
Zavod za biljnu bioraznolikost

izv. prof. dr. sc. Luna Maslov Bandić,  
Zavod za kemiju,

Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet,  
Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska