

Eterična ulja - inhibitori rasta gljiva i sinteze mikotoksina

Sažetak

Prirodne antimikrobne tvari u očima potrošača postaju sve poželjnije jer su manje toksične, stoga je trenutno vrlo popularno istraživanje eteričnih ulja kao zamjene za kemijske fungicide. Eterična ulja ili pojedini njihovi sastojci posjeduju, između ostalih, antifungalna i antimikotoksikogena svojstva. Ova osobina je posebice izražena kod eteričnih ulja fenolne strukture, a stanična membrana je glavno mjesto njihovog djelovanja. Njihova djelotvornost ovisiti će o abiotskim i biotskim interakcijama u okolišu.

Ključne riječi: eterična ulja, gljive, mikotoksini

Uvod

Zbog sve veće svijesti potrošača o toksičnim, karcinogenim, rezidualnim i fitotoksičnim učincima kemijskih fungicida povećala se potreba za pronalaskom zadovoljavajućih alternativnih (prirodnih) sredstava kako bi se držalo pod kontrolom fitopatogene gljive koje nanose štete usjevima koji se koriste za ljudsku prehranu (Gould, 1996; Bankole, 1997; Skandamis i sur., 2001). Današnja istraživanja diljem svijeta posvećena su pronalaženju sigurnijih pesticida koji, osim što će biti sigurniji za ljude, neće uzrokovati toksikološke promjene okoliša (Bathis i sur., 2008). Eterična ulja prikladna su zamjena za kemijske fungicide jer se lako dobivaju (ekstrahiraju), ekološki su prihvatljiva, biorazgradiva su, lako se kataboliziraju u okolišu (Zygodlo i Grosso, 1995) i ne zaostaju u tlu i vodama (Misra i Pavlostathis, 1997; Isman, 2006).

Eterična ulja su aromatske uljaste hlapljive tekućine, sekundarni metaboliti, dobiveni iz biljnog materijala: cvijeća, pupa, sjemena, lišća, grana, kore, stabljike, drveta, plodova i korijena (Burt, 2004). Eterična ulja posjeduju antibakterijska (Paster i sur., 1990; Hammer i sur., 1999; Elgayyar i sur., 2001; Al-Bayati, 2008), antiviralna (Duschatzky i sur., 2005), antifungalna (Moleyar i sur., 1986; Akgül i sur., 1988; Arras i sur., 2001; Elgayyar i sur., 2001; Daferera i sur., 2003), antitoksikogena (Juglal i sur., 2002; Marin i sur., 2003; Selvi i sur., 2003; Velluti i sur., 2003), antiparazitna (Pandey i sur., 2000) i insekticidna svojstva (Konstantopoulou i sur., 1992). Eterična ulja kao antimikrobna sredstva označavaju dvije glavne karakteristike: prva je njihovo prirodno podrijetlo što podrazumijeva veću sigurnost za ljude i okoliš, drugo, patogenima je teško razviti otpornost prema mješavini uljnih komponenti s različitim mehanizmima antimikrobne aktivnosti (Daferera i sur., 2003).

Antifungalna i antimikotoksikogena učinkovitost eteričnih ulja

Antifungalnu učinkovitost nekih komponenti eteričnih ulja u pokusu *in vitro* u bujonu i na agaru, ispitali su Moleyar i sur. (1986). U tekućoj kulturi *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporium* i *Penicillium digitatum* inhibitornim su se pokazali nezasićeni aldehidi (cital, cimetni aldehid i citronelal), zatim geraniol i nezasićeni alkoholi, pri minimalnoj inhibitornoj koncentraciji od 100 ppm. Drugačiji rezultati dobiveni su u pokusu na krutoj podlozi kada gore navedene

1 doc.dr.sc. Gabriella Kanižai Šarić, prof.dr.sc. Zlata Milaković, Danijela Dorotić, student; Poljoprivredni fakultet, Osijek
2 Mira Kovačević, univ.spec. oecol., Zavod za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije
3 prof.dr.sc. Vinko Krstanović, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek

komponente nisu inhibirale rast ovih plijesni, ali su bile aktivne u inhibiciji *Rhizopus stolonifer* i *Mucor* sp. Istraživači su zaključili kako je inhibicija fungalnog rasta na čvrstoj hranjivoj podlozi, za razliku od tekuće, rezultat kombiniranog učinka hlapljivih komponenti eteričnih ulja na površini agara i sastojaka ulja otopljenih/dispergiranih u podlozi. Akgül i sur. (1988) ispitali su učinak deset turskih začina (sjeme crnog kumina, plod korijandra, plod kumina, plod kopra, list lovora, list origana, list peršina, list metvice, list slatkog bosiljka, sjeme bijele gorušice) kao i djelotvornost eteričnog ulja origana, timola i karvakrola u sprječavanju rasta plijesni zagađivača hrane rodova *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium* i *Geotrichum* na hranjivim podlogama. Eterično ulje origana, zatim timol i karvakrol u koncentraciji od 0,025 % (w/v) i 0,05 % (w/v) pokazala su kompletnu inhibiciju rasta testiranih plijesni. Slične rezultate su dobili Paster i sur. (1990) koji su s eteričnim uljem origana i majčine dušice inhibirali rast roda *Aspergillus* pri 400, 600 i 700 ppm. Elgayyar i sur. (2001), su ispitali antimikrobnu aktivnost eteričnih ulja na saprofitne plijesni te su zaključili kako je eterično ulje origana najučinkovitije i kompletno inhibira rast ispitivanih *fungi imperfecti* (*Aspergillus niger*, *Geotrichum* i *Rhodotorul*). Autori napominju kako se daljnjim istraživanjima trebaju utvrditi organoleptičke i kemijske promjene nastale primjenom eteričnih ulja te njihovu djelotvornost u realnom sustavu.

Uz antifungalnu djelotvornost začinskih ulja Juglal i sur. (2002) su ispitali i antimikotoksikogenu učinkovitost. Ulje klinčića (eugenol) djelovalo je najinhibitornije na fungalni rast *Aspergillus parasiticus* i *Fusarium verticillioides*, a slijede ga cimet (cimetni aldehid), origano (timol i karvakrol) i ulje muškarnog oraščića (miristin), dok ulja nima i eukaliptusa (cineol) nisu pokazala značajan inhibitoran učinak na fungalni rast. U istom istraživanju ulje klinčića suprimira proizvodnju aflatoksina B₁, B₂, G₁, G₂ pri 0,5 ppm, dok 2 ppm ovog ulja smanjuje sintezu fumonizina B₁ za 78 % u tekućoj hranjivoj podlozi. Ista skupina autora je također zaključila kako antifungalna aktivnost ispitivanih aromatskih organskih tvari može biti vezana uz njihove aktivne komponente koje imaju cikličku strukturu s postranim lancima osim eukaliptusa i nima koji su se pokazali antifungalno neučinkovitim. Velluti i sur. (2003) su ispitali inhibitorni učinak eteričnih ulja cimeta, klinčića, limunske trave, origana i palmarose na rast *Fusarium proliferatum* i proizvodnju fumonizina B₁ na sterilnom zrnju kukuruza. Zaključili su kako a_w temperatura i koncentracija eteričnih ulja ima značajan učinak na rast *F. proliferatum*, ali nisu ustanovili značajne razlike između učinka cimeta, origana, palmarose i limunske trave na tri različita izolata iste vrste. Različiti izolati su imali drugačiji odgovor na a_w temperaturu i koncentraciju eteričnih ulja. Svih pet ispitivanih eteričnih ulja je pokazalo inhibitorni učinak na rast *F. proliferatum* na 20 i 30 °C i pri a_w 0,995, dok su kod a_w 0,950 samo cimet, klinčić i origano bili učinkoviti u inhibiciji rasta *F. proliferatum* na 20 °C i nijedan od njih na 30 °C. Smanjenju produkcije fumonizina B₁ pridonijeli su cimet, origano i palmarosa pri a_w 0,995 i obje temperature, dok su klinčić i limunska trava imali dobar učinak na 30 °C. Korištene su dvije koncentracije od 500 i 1000 ppm eteričnog ulja, ali pokazalo se da nema značajne razlike u njihovoj djelotvornosti. Autori su zaključili kako cimet i origano mogu biti učinkoviti u kontroli rasta i produkciji fumonizina B₁ na kukuruзу u predžetvenim uvjetima. Ista skupina autora (Marin i sur. 2003) je proširila svoja istraživanja biosinteze fumonizina B₁ na nesteriliziranom kontaminiranom zrnju kukuruзу koje je inokulirano čistim kulturama *F. verticillioides* i *F. proliferatum* uz primjenu eteričnih ulja cimeta (82,3 % eugenola), klinčića (88,2 % eugenola), limunske trave (52 % geraniola, 28 % nerala), origana (70 % karvakrola, 16,7 % p-cimen) i palmarose (87,6 % geraniola), pri dva aktiviteta vode (0,995 i 0,950) i dvije temperature (20 i 30 °C), u koncentraciji od 500 ppm. Najbolji učinak su pokazali cimet, limunska trava i palmarosa na većem aktivitetu vode (a_w) pri 20 i 30 °C za *F. verticillioides*.

F. proliferatum reducira sintezu fumonizina B₁ uporabom cimeta, limunske trave i palmarose pri 20 °C, ali redukcija nije statistički značajna. Autori su zaključili kako kompetitivna mikoflora igra bitnu ulogu u nastanku fumonizina B₁, a djelotvornost eteričnih ulja na supstratu kao što su žitarice je manja u odnosu na sintetičke medije. Velluti i sur. (2004) su u istraživanja obuhvatili *F. verticillioides* koji je inokuliran na sterilnom zrnu kukuruza, te su ispitali učinak eteričnih ulja cimeta, klinčića, limunske trave, origana i palmarose na rast i produkciju fumonizina B₁ pri dva aktiviteta vode (0,995 i 0,95), dvije temperature (20 i 30 °C) i dvije koncentracije od 500 i 1000 ppm. Sva ispitana eterična ulja su pokazala inhibitorni učinak koji je ovisio o a_w , a učinak im je bio bolji pri nižem a_w i nižoj temperaturi. Najdjelotvorniji u inhibiciji rasta *F. verticillioides* pri a_w 0,995 imali su origano i limunska trava, dok su pri a_w 0,95 origano i klinčić bili učinkoviti samo pri većoj koncentraciji eteričnog ulja. Biosinteza fumonizina B₁ bila je inhibirana samo pri 30 °C i a_w 0,995 i to od strane svih ispitivanih eteričnih ulja podjednako u koncentraciji od 1000 ppm. U ovom istraživanju autori su primijetili i pojačanu sintezu toksina pri određenim okolišnim uvjetima: pri 20 °C, a_w 0,95 i a_w 0,995 kod tretiranja kukuruza s eteričnim uljem origana te kod tretiranja kukuruza cimetom, klinčićem, palmarosom na 30 °C i a_w 0,95. Slične rezultate dobili su i Lopez i sur. (2004) koji su s *Origanum vulgare* (origano) inhibirali micelijski rast *F. verticillioides* i sintezu fumonizina B₁. Ova aromatična biljka ima visok sadržaj alkoholnih i fenolnih sastojaka (terpineol i timol 42,3 % od ukupnog sadržaja ulja), a smatra se da eterična ulja s oksigeniranim sastojcima imaju veću antifungalnu aktivnost u usporedbi s ugljikovodičnima (Lopez i sur., 2004). Učinak eteričnih ulja cimeta, klinčića, origana, palmarose i limunske trave na rast *Fusarium graminearum* i proizvodnju zearalenona i deoksinivalenola pri dva aktiviteta vode (0,995 i 0,95), dvije temperature (20 i 30 °C) i koncentraciji od 500 ppm na nesteriliziranom zrnu kukuruza ispitali su Marin i sur. (2004). Pri nižoj temperaturi nije utvrđena značajna inhibicija sinteze deoksinivalenola. Viša temperatura i a_w 0,95 uz eterična ulja cimeta, klinčića i limunske trave inhibira akumulaciju deoksinivalenola, dok je origano i palmarosa stimuliraju. Potpuna inhibicija deoksinivalenola je utvrđena pri 30 °C i a_w 0,995. Općenito, učinak eteričnih ulja bio je slab što se može pripisati utjecaju kompetitivne mikoflore. Najboljim se pokazalo eterično ulje klinčića u simultanoj inhibiciji zearalenona i deoksinivalenola.

Antimikrobna aktivnost opisanih eteričnih ulja i njihovih komponenti najvjerojatnije se temelji na prisutnosti aromatske jezgre i fenolne OH grupe, koja je reaktivna i formira vodikove veze na aktivnim mjestima enzima (Velluti i sur., 2004a). Nadalje, antifungalna učinkovitost eteričnih ulja ovisi o vrsti gljive, ali i abiotским uvjetima okoliša. Također bitan je i utjecaj biotskih interakcija. Istraživanja Marin i sur. (1998) pokazala su kako prisutnost *Aspergillus niger*, *Aspergillus ochraceus* i *Aspergillus flavus* stimulira sintezu fumonizina, dok je u prisutnosti *Penicillium implicatum* zabilježeno smanjenje njegove sinteze. Inhibicija sinteze fumonizina primijećena je i u prisutnosti *F. graminearum* pri 15 °C, dok je pri 25 °C ona bila stimulirana (Velluti i sur., 2000b).

Mehanizam djelovanja eteričnih ulja

Inhibitorni učinak aromatičnih tvari najčešće je povezan s hidrofobnošću, koja je direktno korelirana s \log^P (particijski koeficijent tj. raspodjela lipofilne komponente između oktanol i vode) i njihovom raspodjelom u citoplazmatskoj membrani (Lanciotti i sur., 2003). Najhidrofobnije komponente općenito su najtoksičnije i stanična membrana je često glavno mjesto njihove toksične djelatnosti (Sikkema i sur., 1995). Umetanje lipofilnih spojeva u membranu uzrokuje promjene njenih fizikalno-kemijskih osobina, narušava integritet membrane i povećava pasivni protok protona kroz membranu (Ben Arfa i sur., 2005). Ovaj učinak je posebno prisutan

u tvarima koje imaju \log^p veći od 3 (npr: karvakrol 3,52; timol 3,30; eugenol 2,73) (Ben Arfa i sur., 2005; Nostro i sur., 2007). Utvrđen je i fungicidan učinak timola i karvakrola na fungalnu stanicu stvaranjem lezija na citoplazmatskoj membrani (Pina-Vaz i sur., 2004; Pinto i sur., 2006). Transmisijском elektrоnskom mikografijom utvrđeno je kako niže koncentracije timola ($1 \mu\text{gL}^{-1}$) uzrokuju dezorganizaciju staničnih organela fungalnih konidija i hifa, dok veće koncentracije ($8 \mu\text{gL}^{-1}$) dovode do gubitka strukture i organizacije stanice (Svircev i sur., 2007). Karvakrol se zahvaljujući svojoj hidrofobnosti može akumulirati u staničnoj membrani. Njegova sposobnost stvaranja vodikovih veza kao i sposobnost otpuštanja protona može inducirati konformacijske promjene membrane što dovodi do stanične smrti (Ben Arfa i sur., 2005). Eugenol djeluje na fungalnu stanicu tako što inhibira germinaciju konidija i formiranje apresorija, te uzrokuje oštećenje konidijalnih membrana i otjecanje citoplazmatskog sadržaja (Herath i sur., 2008). Citral je prirodna mješavina geraniala i nerala, geometrijskih izomera, koji posjeduje snažno fungistatsko i fungicidno djelovanje (Garcia i sur., 2008). Općenito, inhibitorni učinak citrala i sličnih komponenti kao što su citronelal i α -pinen na stanicu plijesni uključuje granulaciju citoplazme, puknuće citoplazmatske membrane i inaktivaciju i/ili inhibiciju sinteze intracelularnih i ekstracelularnih enzima (Garcia i sur., 2008). Nezasićeni aldehidi strukturno slični citralu: heksenal, decenal, pentenal, također posjeduju antifungalnu aktivnost (Moleyar i sur., 1986). Autori smatraju da CHO grupa nezasićenih aldehida konjugirana dvostrukom vezom može biti mjesto antifungalne aktivnosti. Ovakve molekule su snažni elektrofilni, što bi moglo značiti da povećanje elektrofilnosti povećava i antifungalnu aktivnost (Moleyar i sur., 1986).

Eterična ulja kao prirodni fungicidi bi mogla biti učinkovita u inhibiciji rasta gljiva i sinteze mikotoksina u predžetvenim uvjetima (Velluti i sur. 2004b). Također, mogu se koristiti u skladištima i silosima kao antifungalni i antimikotoksikogeni agensi.

Hrvatsko zakonodavstvo prema Pravilniku o aromama preuzima odredbe odluke europske komisije od 23. veljače 1999. godine kojom se uvodi registar aromatičnih tvari koje se koriste u ili na hrani (Narodne novine Republike Hrvatske br. 86/2010). Prema ovoj odluci registrirani su brojni sastojci eteričnih ulja (timol, eugenol, karvakrol, citral, heksenal, pentenal, decenal) kao poboljšivači okusa u hrani (Official Journal of the European Communities No 217/1999; 32/2002).

Zaključak

Antifungalna i antimikotoksikogena svojstva eteričnih ulja i njihovih pojedinih sastojaka omogućava njihovo korištenje u proizvodima i sirovinama namijenjenima za humanu i animalnu prehranu. Međutim, poželjna su daljnja istraživanja koja bi utvrdila sigurnost i kvalitetu proizvoda koji ih sadrže.

Literatura

- Akgül A, Kivanç M. 1988. Inhibitory effects of selected Turkish spices and oregano components on some food-borne bacteria. *International Journal of Food Microbiology* 6: 263-268.
- Arras G, Usai M. 2001. Fungitoxic activity of 12 essential oils against four postharvest citrus pathogens: chemical analysis of *Thymus capitatus* oil and its effect in subatmospheric pressure conditions. *Journal of Food Protection* 64: 1025-1029.
- Al-Bayati AF. 2008. Synergistic antibacterial activity between *Thymus vulgaris* and *Pimpinella anisum* essential oils and methanol extracts. *Journal of Ethnopharmacology* 116: 403-406.
- Bankole, S. A. 1997. Effect of essential oils of two Nigerian medicinal plants (*Azadirachta indica* and *Morinda lucida*) on growth and aflatoxin B1 production in maize grain by a toxigenic *Aspergillus flavus*. *Letters in Applied Microbiology* 24: 190-192.
- Bathis, D. R., Harminder, P. S., Ravinder, K. K., Shalinder, K. 2008. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management* 256: 2166-2174.
- Ben Arfa A, Combes S, Preziosi-Belloy L, Gontard N, Chaliel P. 2006. Antimicrobial activity of carvacrol related to its chemical structure. *Letters in Applied Microbiology* 43: 149-154.

- Burt S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *International Journal of Food Microbiology* 94: 223-253.
- Daferera DJ, Ziogas BN, Polissiou MG. 2003. The effectiveness of plant essential oils on the growth of *Botrytis cinerea*, *Fusarium* sp. and *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*. *Crop Protection* 22: 39-44.
- Duschatzky CB, Possetto ML, Talarico LB, Garcia CC, Michis F, Almeida NV, De Lampasona MP, Schuff C, Damonte EB. 2005. Evaluation of chemical and antiviral properties of essential oils from South American plants. *Antiviral Chemistry & Chemotherapy* 16: 247-251.
- Elgayyar M, Draughon FA, Golden DA, Mount JR. 2001. Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. *Journal of Food Protection* 64: 1019-1024.
- Garcia R, Alves ESS, Santos MP, Viégas Aquije GMF, Fernandes AAR, dos Santos RB, Ventura JA, Fernandes PMB. 2008. Antimicrobial activity and potential use of monoterpenes as tropical fruits preservatives. *Brazilian Journal of Microbiology* 39:163-168.
- Gould, G. W. 1996. Industry perspectives on the use of natural antimicrobials and inhibitors for food applications. *Journal of food protection* (supplement): 82-86.
- Hammer KA, Carson CF, Rilely TV. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology* 86: 985-990.
- Herath H, Abeywickrama K. 2008. *In vitro* application of selected essential oils and their major components in controlling fungal pathogens of crown rot in Embul banana (*Musa acuminata* - AAB). *International Journal of Food Science and Technology* 43: 440-447.
- Moleyar V, Narasimham P. 1986. Antifungal activity of some essential oil components. *Food Microbiology* 3: 331-336.
- Isman, M. B., Machial, C. M. 2006. Pesticides based on plant essential oils: from traditional practice to commercialization. U Rai, M., Carpinella, M. C. (Eds.) *Naturally occurring bioactive compounds. Advances in phytomedicine, Vol. 3.* Elsevier pp. 29-44.
- Juglal S, Govinden R, Odhav B. 2002. Spice oils for the control of co-occurring mycotoxin-producing fungi. *Journal of Food Protection* 65: 683-687.
- Konstantopoulou I, Vassilopoulou L, Mavragani-Tsipidou P, Scouras ZG, 1992. Insecticidal effects of essential oils. A study of the effects of essential oils extracted from eleven Greek aromatic plants on *Drosophila auraria*. *Experientia* 48: 616-619.
- Kurita N, Koike S. 1983. Synergistic antimicrobial effect of ethanol, sodium chloride, acetic acid and essential oil components. *Agricultural Biology and Chemistry* 47: 67-75.
- Lancioti R, Belletti N, Patrignani F, Gianotti A, Gardini F, Guerzoni ME. 2003. Application of hexanal, (E)-2-hexanal, and hexyl acetate to improve the safety of fresh-sliced-apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 2958-2963.
- Lopez AG, Theumer MG, Zygodlo JA, Rubinstein HR. 2004. Aromatic plants essential oils activity on *Fusarium verticillioides* fumonisin B₁ production in corn grain. *Mycopathologia* 158: 343-349.
- Marin S, Sanchis V, Arnau F, Ramos AJ, Magan N. 1998. Colonisation and competitiveness of *Aspergillus* and *Penicillium* species on maize grain in the presence of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum*. *International Journal of Food Microbiology* 45: 107-117.
- Marin S, Velluti AS, Muñoz A, Ramos AJ, Sanchis V. 2003. Control of fumonisin B₁ accumulation in naturally contaminated maize inoculated with *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum*, by cinnamon, clove, lemongrass, oregano and palmarosa essential oils. *European Food Research and Technology* 217: 332-337.
- Marin S, Velluti A, Ramos AJ, Sanchis V. 2004. Effect of essential oils on zearalenone and deoxynivalenol production by *Fusarium graminearum* in non-sterilized maize grain. *Food Microbiology* 21: 313-318.
- Misra, G., Pavlostathis, S. G. 1997. Biodegradation kinetics of monoterpenes in liquid and soil slurry system. *Applied Microbiology and Biotechnology* 47: 572-277.
- Moleyar V, Narasimham P. 1986. Antifungal activity of some essential oil components. *Food Microbiology* 3: 331-336.
- Narodne novine. 2010. Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi. Pravilnik o aromama br. 86/2010. Službeni list Republike Hrvatske.
- Nostro A, Roccaro AS, Bisignano G, Marino A, Cannatelli MA, Pizzimenti FC, Cioni PL, Procopio F, Blanco AR. 2007. Effects of oregano, carvacrol and thymol on *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* biofilms. *Journal of Medical Microbiology* 56: 519-523.
- Official Journal of the European Communities No 217/1999.
- Official Journal of the European Communities No 32/2002.
- Pandey R, Kalra, A, Tandon, S, Mehrotra N, Singh HN, Kumar S. 2000. Essential oil compounds as potent source of nematocidal compounds. *Journal of Phytopathology* 148: 501-502.
- Paster N, Juven BJ, Shaaya E, Menasherov M, Nitzan R, Weisslowicz H, Ravid U. 1990. Inhibitory effect of oregano and thyme essential oils on moulds and foodborne bacteria. *Letters in Applied Microbiology* 11: 33-37.
- Pina-Vaz C, Rodrigues AG, Pinto E, Costa-de-Oliveira S, Tavares C, Salgueiro L, Cavaleiro C, Gonçalves MJ, Martinez-de-Oliveira J. 2004. Antifungal activity of *Thymus* oils and their major compounds. *European Academy of Dermatology and Venereology* 18: 73-78.
- Pinto E, Pina-Vaz C, Salgueiro L, Gonçalves MJ, Costa-de-Oliveira S, Cavaleiro C, Palmeira A, Rodrigues A, Martinez-de-Oliveira J. 2006. Antifungal activity of the essential oil of *Thymus pulegioides* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species. *Journal of Medical Microbiology* 55: 1367-1373.
- Ruberto G, Baratta MT. 2000. Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. *Food Chemistry* 69: 167-174.
- Sikkema J, De Bont J, Poolman B. 1995. Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Microbiological Review* 59: 201-222.

- Selvi A. T, Joseph G.S, Jayaprakasha G. K. 2003. Inhibition of growth and aflatoxin production in *Aspergillus flavus* by *Garcinia indica* extract and its antioxidant activity. *Food Microbiology* 20: 455–460.
- Skandamis, P., Koutsoumanis, K., Fasseas, K., Nychas, G. J. E. 2001. Inhibition of oregano essential oil and EDTA on *E. coli* O157: H7. *Italian Journal of Food Science* 13: 55–65.
- Svircev AM, Smith RJ, Zhou T, Hernandez M, Liu W, Chu, CL. 2007. Effects of thymol fumigation on survival and ultrastructure of *Monilinia fructicola*. *Postharvest Biology and Technology* 45: 228–233.
- Thoroski J, Blank G, Biliaderis C. 1989. Eugenol induced inhibition of extracellular enzyme production by *Bacillus cereus*. *Journal of Food Protection* 52: 399–403.
- Velluti A, Marin S, Gonzales R, Ramos AJ, Sanchis V. 2000a. Fumonisin B1, zearalenon and deoxynivalenol production by *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum* and *F. graminearum* in mixed cultures on irradiated maize kernels. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 88–94.
- Velluti A, Marrin S, Bettucci L, Ramos AJ, Sanchis V. 2000b. The effect of fungal competition on colonization of maize grain by *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum* and *F. graminearum* and on fumonisin B and zearalenone formation. *International Journal of Food Microbiology* 59: 59–66.
- Velluti A, Sanchis V, Ramos AJ, Egido J, Marin S. 2003. Inhibitory effect of cinnamon, clove, lemongrass, oregano and palmarosa essential oils on growth and fumonisin B1 production by *Fusarium proliferatum* in maize grain. *International Journal of Food Microbiology* 89: 145–154.
- Velluti A, Sanchis V, Ramos AJ, Marin S. 2004a. Effect of essential oils of cinnamon, clove, lemon grass, oregano and palmarosa on growth of and fumonisin B1 production by *Fusarium verticillioides* in maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 1141–1146.
- Velluti A, Sanchis V, Ramos AJ, Turon C, Marin S. 2004b. Impact of essential oils on growth rate, zearalenone and deoxynivalenol production by *Fusarium graminearum* under different temperature and water activity conditions in maize grain. *Journal of Applied Microbiology* 96: 716–724.
- Zygadlo, J. A., Grosso, N. R. 1995. Comparative study on the antifungal activity of essential oils from aromatic plants growing wild in the central region of Argentina. *Flavour and Fragrance Journal* 10: 113–118.

Surveying scientific study

Essential oils – inhibitors of fungal growth and mycotoxin synthesis

Summary

Naturally occurring antimicrobials are becoming more and more desirable mainly because they are less toxic for humans. Therefore, researches that are trying to substitute fungicides with essential oils are very popular. Essential oils or their components show antifungal and antimycotoxinogenic properties. Antifungal activity was especially observed in essential oils rich in phenolic compounds while the cell membrane is the main site of their action. The effectiveness of essential oils depends on abiotic and biotic environmental conditions.

Key words: essential oils, fungi, mycotoxins