SciCell

ODBORNÝ MAGAZÍN

WWW.SCICELL.ORG

2026



ISSN 2585-9137
Vydavateľstvo SciCell

SciCell Magazín



Rastlinné silice – prírodné produkty s obrovským potenciálom využitia

Publikované 3. marca 2021

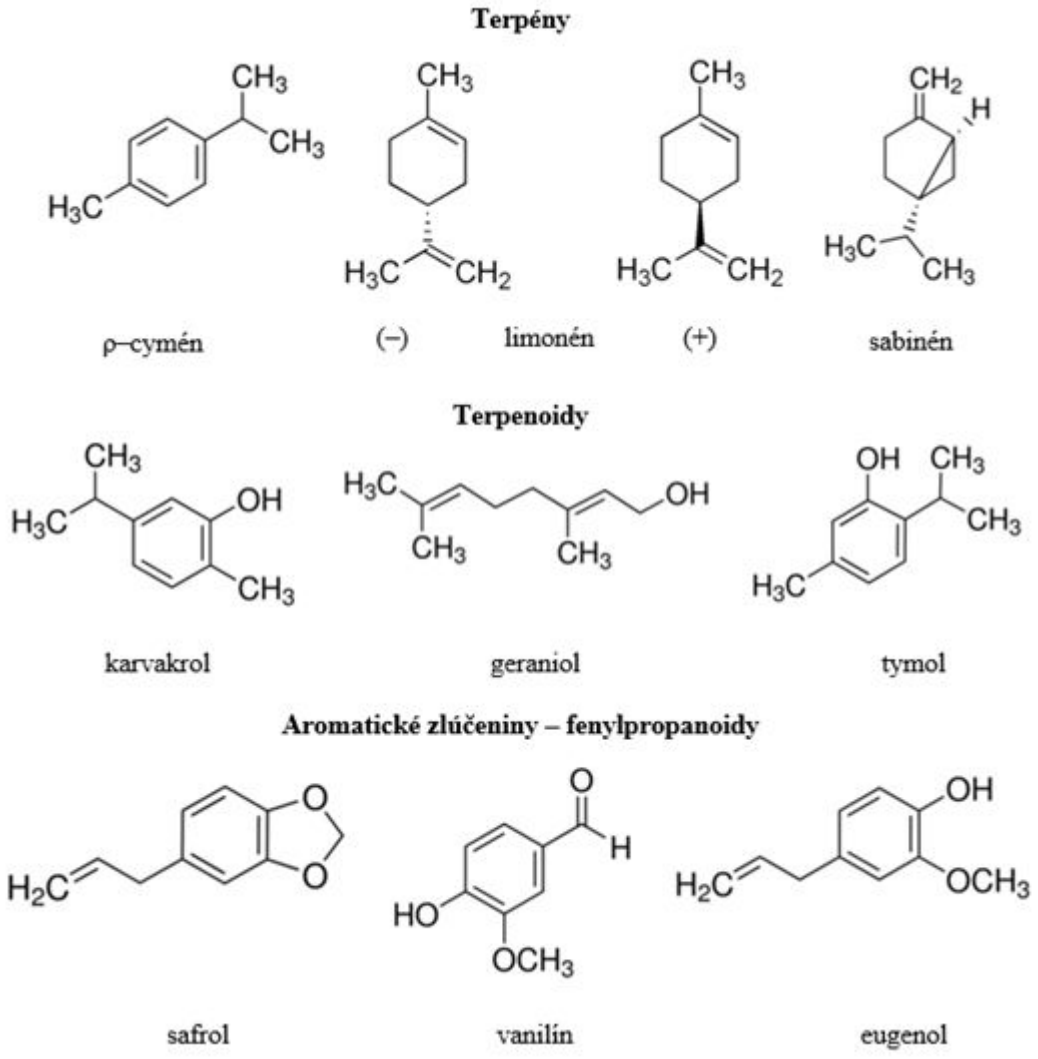
pixabay.com

Miroslava Hlebová*, Lukáš Hleba
*Univerzita Svätého Cyrila a Metoda v Trnave, Fakulta prírodných vied, Katedre biológie
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Katedra mikrobiológie

Rastlinné silice sú zmesi prchavých zlúčenín produkovaných živými rastlinami v podobe sekundárnych metabolitov. Silice môžeme získať z rôznych častí (kvety, korene, listy, kôra, semená, plody, šupky), alebo z celých rastlín. Výsledným získaným produktom je aromatická olejovitá kvapalina, ktorá je väčšinou číra, ale niekedy môže byť jemne zafarbená (žltá, hnedá, atď.).

Chemické zloženie silíc

Chemicky sú rastlinné silice bohatou zmesou bioaktívnych zložiek a komponentov, ako sú terpény, terpenoidy a fenoly. Takmer 90 % všetkých silíc je zložených z monoterpénov. Rastlinné silice môžu obsahovať aj viac ako 60 rozdielnych komponentov, z toho hlavné zložky silíc (napríklad karvakrol v oreganovej silici) môžu tvoriť až 85 % silice. Ostatné zložky silíc sú zastúpené v menšom množstve, ale taktiež môžu výrazne prispievať k ich biologickej aktivite alebo ovplyvňovať ich chuť. Výnimočne môže byť silica tvorená len jedným komponentom, ako napríklad v prípade silice získanej z brezy (*Betula lenta* L.) kde hlavnú zložku tvorí salycilan metylnatý.



Chemická štruktúra terpénov, terpenoidov a niektorých aromatických zlúčenín rastlinných silíc (Císarová, 2016)

V prírode sú konkrétne aromatické a chemické vlastnosti silíc pre rastliny nenahraditeľné a plnia mnoho dôležitých funkcií, ako napríklad (i) priťahovanie užitočného hmyzu a opeľovačov, (ii) ochrana rastlín pred určitým environmentálnym stresom (teplo, chlad atď.) alebo (iii)) ochrana rastlín pred škodcami a/alebo mikroorganizmami. Zloženie silíc sa však môže meniť najmä v závislosti od nespočetných faktorov, ako napríklad druhu rastliny z ktorej sa získavajú, ročné obdobie a čas zberu rastliny, geografické údaje, spôsob pestovania rastliny, klimatické podmienky počas jej rastu, stupeň zrelosti rastliny, alebo môže chemické zloženie ovplyvňovať spôsob extrakcie silíc. Napríklad koriandrová silica (*Coriandrum sativum* L.) extrahovaná zo semien bola chemicky odlišná, od koriandrovej silice extrahovanej z listov rovnakej rastliny. Obsah hlavného komponentu linoloolu obsiahnutého v koriandrovej silici získanej zo semien bol 70 %, zatiaľ čo silica získaná z listov obsahovala len 26 % linaloolu. Na extrakciu silíc je možné použiť množstvo techník. Hydrodestilácia a parná destilácia sú najstaršími, najjednoduchšími a najčastejšie používanými metódami extrakcie silíc. Avšak možno použiť aj konkrétne metódy pre konkrétne rastliny, napr. lisovanie za studena (výhradne na šupky citrusových plodov) alebo,,enfleurage" špeciálne aplikovaný pri získavaní silíc z kvetov ruží. Spôsob extrakcie však treba vyberať opatrne, aby sa extrakciou rastlinné silice neznehodnotili, alebo úplne nebolo zmenené ich chemické zloženie, pretože práve vďaka nemu sa vyznačujú svojimi vysoko účinnými biologickými vlastnosťami.

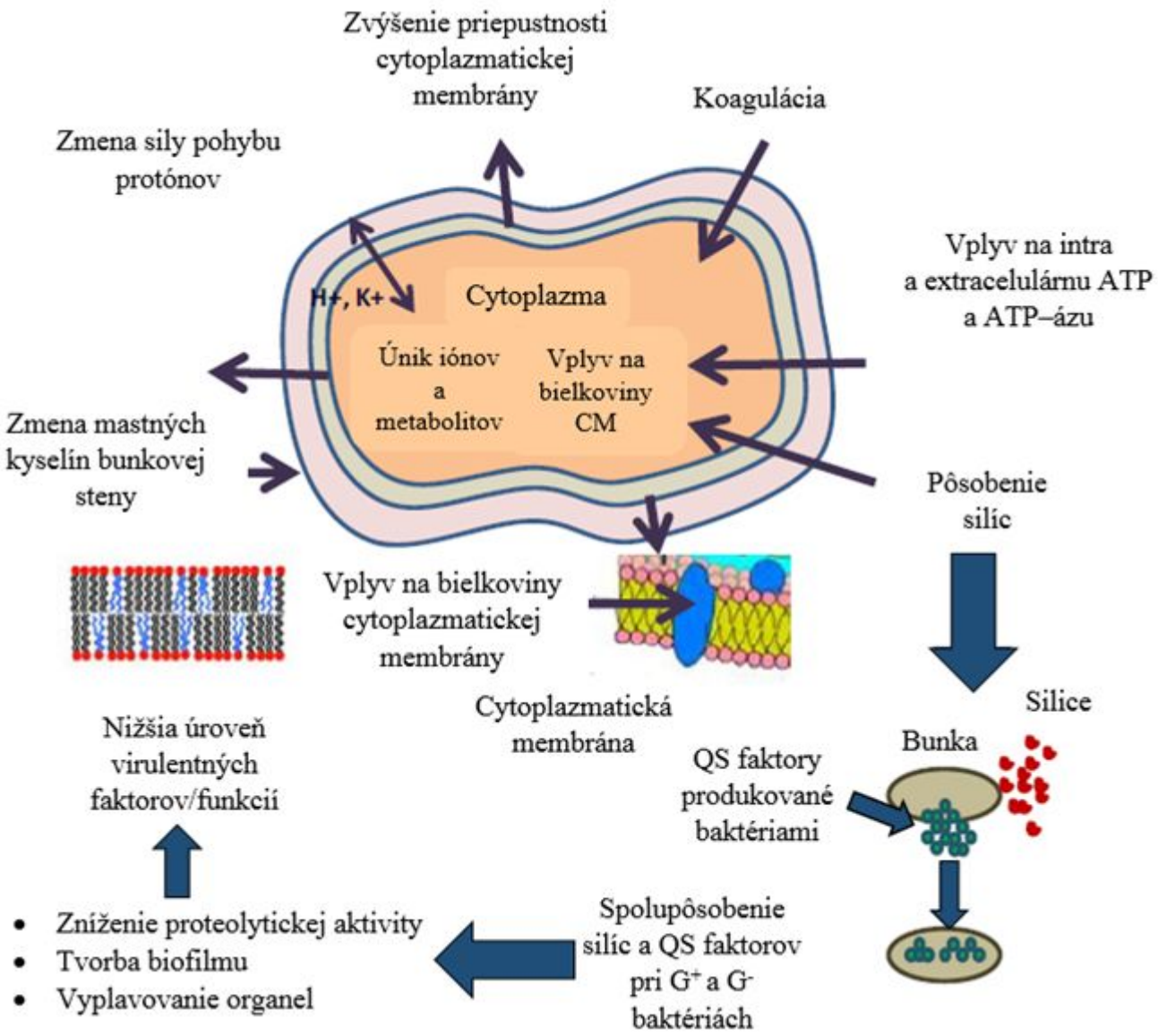
Biologická aktivita

Silice sú známe tým, že majú široké spektrum biologických aktivít, ako napríklad antibakteriálna, antifungálna, antivirotická, aniparazitická, antioxidačná, antirakovinová, alebo insekticídna aktivita.

Antibakteriálna, antifungálna, antivirotická a insekticídna aktivita silíc

Antimikrobiálna účinnosť silíc a ich zložiek pôsobí buď tým, že inhibuje mikrobiálny rast, ale bunky môžu svoju reprodukčnú schopnosť obnoviť, alebo úplným usmrtením mikrobiálnych buniek. Mechanizmy pôsobenia silíc sa líšia kvôli dôležitej variabilite ich chemických zlúčenín a súvisia s mnohými cieľmi v mikrobiálnych bunkách.

V bakteriálnej bunke im umožňuje hydrofóbnosť/lipofilita prekonať bunkovú cytoplazmatickú membránu alebo membránu mitochondrií a permeabilizuje rôzne vrstvy mastných kyselín, polysacharidov a fosfolipidov, čo znamená, že bakteriálna bunka sa stane priepustnejšou. Poruchy týchto štruktúr znamenajú zníženie membránového potenciálu, únik dôležitých iónových a iných bunkových obsahov, zníženie množstva ATP, kolaps protónovej pumpy, fragmentáciu bunkovej membrány a nakoniec stratu makromolekúl. Každý z týchto negatívnych účinkov je hlavnou príčinou poškodenia základných bunkových procesov a nevyhnutne aj lýzy buniek. Všeobecne sú Gram-pozitívne baktérie (napríklad *Staphylococcus aures*) náchylnejšie na pôsobenie silíc ako Gram-negatívne baktérie (napríklad *Escherichia coli*). Je to najme kvôli priamej interakcia bunkovej membrány Gram-pozitívnych baktérií s hydrofóbnymi zložkami silíc. Naopak Gram-pozitívne baktérie sú odolnejšie, pretože majú hydrofilnú bunkovú stenu, ktorá pomáha zabrániť prenikaniu hydrofóbnych zlúčenín do bunky.



Mechanizmus pôsobenia rastlinných silíc na bunky mikroorganizmov (Nazzaro *et al*., 2013)(upravené – Císarová, 2016)

Podobne pôsobia silice aj na mikroskopické vláknité huby. V eukaryotických bunkách môžu vyvolať depolarizáciu mitochondriálnych membrán znižovaním membránového potenciálu, ovplyvňujú iónový Ca++ cyklus a ďalšie iónové kanály a znižujú pH gradient, ovplyvňujú (podobne ako u baktérií) protónovú pumpu a ATP. Mitochondrie produkujú superoxidové anióny a peroxid vodíka, ktorý reaguje s obsahom prítomného železa za vzniku medziproduktov s obsahom hydroxylových (OH) skupín, ktoré sú pre mitochondriálnu DNA škodlivé. Permeabilizácia vonkajšej a vnútornej mitochondriálnej membrány vedie k bunkovej smrti.

Antivirotická aktivita silíc sa prejavuje napríklad inaktiváciou vírusu tým, že zabraňujú jeho prichyteniu na bunky a následnému šíreniu. Na inhibícii replikácie sa podieľajú najmä monoterpény, sesquiterpény alebo fenylpropanoidy. Taktiež sa predpokladá, že silice reagujú s vírusovými obalmi ich rozpúšťaním, ovplyvňujú adsorpciu väzbou na vírusové proteíny a taktiež vyvolávajú penetráciu vírusov, alebo dokážu znížiť ich infekčnosť.

Za posledných 50 rokov boli tisíce rastlín skúmané ako potenciálne zdroje repelentov a insekticídov. Niektoré silice ako napríklad citronelová, citrónová a eukalyptová sú už v mnohých krajinách zaregistrované ako repelenty. Monoterpény, prítomné v siliciach ako a-pinén, cineol, eugenol,

limonén, terpinolén, citronellol, citronellal, gáfor a tymol sú vysoko účinné proti komárom a kliešťom. Rovnako mnohé ďalšie silice ako levanduľová, šalviová silica alebo silica z citrónovej trávy sú úspešné v odpudzovaní hmyzu.

Antioxidačná a antirakovinová aktivita

Oxidačný stres vzniká v dôsledku tvorby voľných radikálov a reaktívnych foriem kyslíka (ROS), ktoré spôsobujú poškodenie bunkových makromolekúl. Silice sú schopné neutralizovať tieto vznikajúce voľné radikály a tým prispievať k zlepšeniu zdravia alebo zvyšovať ochranu potravín ich konzerváciou. Znehodnotenie potravín sa môže prejaviť pri ich spracovaní a/alebo skladovaní prostredníctvom farebných zmien a nepríjemných chutí. Antioxidačné zlúčeniny môžu zabrániť, meniť a dokonca ukončiť oxidačné reakcie pri relatívne nízkych koncentráciách. Silice s vyšším obsahom fenolových látok (napríklad tymol, eugenol, karvakrol) majú významnú antioxidačnú aktivitu.

Oxidačný stres taktiež súvisí s rôznymi zdravotnými problémami, ako je starnutie, artérioskleróza, rakovina, Alzheimer, Parkinson, cukrovka, astma. Silice sú známe svojimi protizápalovými, antibiotickými a antirakovinovými vlastnosťami a dokonca pôsobia aj ako lokálne anestetikum. Mnohé doteraz publikované štúdie poukazujú na potenciál silíc pri liečbe rakoviny, kde silice zvyšujú citlivosť rakovinových buniek ku konvenčne využívaným protirakovinovým liečivám. Napríklad geraniol (komponent silice nachádzajúci sa v citrusovej tráve – *Cymbopogon* spp.) interferuje s membránovými funkciami a s bunkovými signálnymi javmi rakovinových bunkových línií a inhibuje tak syntézu ich DNA. Terpenoidy, ako aj polyfenolové zložky rastlín bránia proliferácii buniek prostredníctvom nekrózy alebo indukciou apoptózy rakovinových buniek. Silice teda pôsobia na rakovinové bunky prostredníctvom rôznych mechanizmov vrátane prevencie, ako aj pôsobením na samotné nádorové bunky.

Možnosti využitia rastlinných silíc

V minulosti boli rastlinné silice veľmi hojne používané. Starí Egypťania používali silice v medicíne, voňavkárstve, ale aj počas balzamovania tiel zosnulých, ktorých pripravovali na mumifikáciu. V starovekej Ázii sa silice využívali ako prímes do parfumov a aromatických látok pre liturgické a terapeutické účely. V stredoveku tieto poznatky o vonných látkach priniesli križiaci späť do Európy a ďalej ich rozvíjali alchymisti alebo mnísi v kláštoroch na získavanie rôznych liekov na liečenie chorôb alebo na výrobu aromatických látok do mydiel a parfumov. V období renesancie bolo používanie rastlinných silíc v parfumérii a kozmetike rozšírené do celého sveta.

Aplikácie rastlinných silíc na rôzne účely v súčasnej dobe zahŕňajú nielen ich použitie pri varení na zlepšenie chuti alebo vône, ale aj aplikáciu v poľnohospodárstve proti rôznym škodcom, v medicíne na zosilnenie účinku komerčných liečiv, v aromaterapii, kozmetike, alebo na ochranu potravín pred mikrobiálnym znehodnotením v potravinárskom priemysle.

Potraviny

Rastlinné silice sa v potravinárskom priemysle široko používajú kvôli svojim prírodným antimikrobiálnym, antioxidačným alebo biokonzervačným účinkom, ktoré pomáhajú predlžovať ich trvanlivosť. Ovocie a zelenina sú najbežnejšími druhmi potravín, v ktorých sa používajú, vrátane ďalších, ako sú rybie výrobky, mäsové výrobky, mlieko a mliečne výrobky a chlieb a pečivo. Ak sa však silice pridávajú priamo do potravinovej matrice, môžu sa začať rýchlo rozkladať v dôsledku interakcie medzi ich nestabilným, prchavým zložením a vonkajšími faktormi, ako je svetlo, oxidácia a zahrievanie. Faktory prítomné v zložitých potravinových matriciach, ako je obsah tuku, proteíny, aktivita vody, pH a enzýmy môžu potenciálne znížiť účinnosť rastlinných silíc. Naopak nízke pH v potravinách môže zvýšiť ich rozpustnosť a stabilitu a tým zlepšiť ich antimikrobiálnu aktivitu. Ďalšie

spôsoby, ktoré sa využívajú na zvýšenie aktivity silíc v potravinách zahŕňajú napríklad zvýšenie obsahu solí a znižovanie skladovacích teplôt. Silice, ktoré sa využívajú v potravinách podľa klesajúceho antibakteriálneho účinku majú nasledovné poradie: oreganová/klinčeková/koriandrová/škoricová>tymianová> mätová> rozmarínová> horčicová> šalviová silica. Približné antibakteriálne pôsobenie komponentov je zoradené nasledovne (od najvyššieho po najnižší): eugenol>karvakrol/kyselina škoricová> metylchavicol>cinnamaldehyd>citral/geraniol. Medzi jednotlivými komponentami rastlinných silíc však existujú rôzne vzťahy, ako je napríklad synergizmus, teda vzájomné zosilnenie pôsobenia jednotlivých komponentov v kombinácii, alebo antagonizmus. Antagonizmus sa pozoruje, keď účinok jednej alebo oboch zlúčenín je menší, ak sa aplikujú spoločne, ako keď sa aplikujú jednotlivo. Niektoré štúdie dospeli k záveru, že celé silice majú vyššiu antibakteriálnu aktivitu ako ich jednotlivé hlavné zložky, čo naznačuje, že minoritné zložky prítomné v rastlinných siliciach sú rozhodujúce pre činnosť silíc a môžu mať synergický účinok alebo zosilňujúci vplyv na majoritné komponenty. Synergizmus bol dokázaný napríklad medzi karvakrolom a jeho biologickým prekurzorom p-cyménom pri pôsobení na vegetatívne bunky *Bacillus cereus*. Zdá sa že p-cymén, ktorý má veľmi slabý antibakteriálny účinok ak sa používa samostatne, spôsobuje napučiavanie bakteriálnych bunkových membrán vo väčšej miere ako karvakrol. Týmto mechanizmom pravdepodobne umožňuje ľahší prístup karvakrolu do bakteriálnej bunky a tým spolu pôsobia synergicky. Takéto pôsobenie silíc (synergické alebo antagonistické) je zaznamenané aj v potravinách. Napríklad kombinácia eugenolu a zvýšeného množstva soli v potravinovej matrici spôsobí, že eugenol zvýši priepustnosť bunkových membrán a NaCl svojím pôsobením narúša a inhibuje intracelulárne enzýmy v bunkách. Antagonistické účinky soli boli napríklad zistené pri karvakrole a p-cyméne proti baktérii *Bacillus subtilis* v ryži: karvakrol a p-cymén pôsobili synergicky, ale tento účinok sa znížil pridaním soli (1,25 g 11 ryže). Mnohé štúdie preukázali, že klinčeková, škoricová, tymianová silica inhibovali rast baktérií *Listeria monocytogenes* a *Salmonela enteritidis* v mäkkom syre. Zistilo sa však, že tieto druhy boli oveľa menej inhibované v plnotučnom syre ako v syre, ktorý obsahoval nižší podiel tuku, čo naznačuje ochranné pôsobenie tuku. Úroveň tuku v syre teda chránilo bakteriálne bunky pre pôsobením silíc. Rovnako v mäsových výrobkoch s vysokým obsahom tuku bolo zaznamenané výrazné zníženie pôsobenia silíc proti baktériám. Antimikrobiálny účinok silíc je tiež závislý od použitej koncentrácie. Aby sa dosiahla výrazná antibakteriálna aktivita silíc v potravinách používajú sa veľmi vysoké koncentrácie silíc. Silná aróma rastlinných silíc však následne obmedzuje ich použitie ako konzervačných látok v potravinách. Potraviny s vyšším obsahom lipidov vyžadujú taktiež vyššie koncentrácie silíc na inhibíciu rastu baktérií. Preto je veľmi dôležité vybrať vhodnú kombináciu potravina + silica. Niektoré potraviny sú vo všeobecnosti spájané s využívaním korenín alebo bylín, ako napríklad oregano alebo rozmarín, ktoré zlepšujú organoleptické vlastnosti (chuť a vôňu) mäsa alebo rýb. Minimalizovanie negatívnych dopadov na organoleptické vlastnosti potravín je preto veľmi dôležité. Rastlinné silice však môžu byť použité napríklad v modifikovanej atmosfére balenia vo svojej plynnej fáze, kde ich komponenty neprichádzajú do kontaktu s potravinovou matricou. Rovnako sa môžu používať vo forme takzvaných jedlých povlakov, alebo filmov, ktoré sa na potraviny nanášajú, alebo sa môžu enkapsulovať a v potravine uvoľňovať postupne iba pri kontakte s nežiaducim mikroorganizmom.

Medicína

Schopnosť tvorby biofilmov významne prispieva k patogenéze mnohých mikroorganizmov, ktoré vyvolávajú ochorenia súvisiace so zdravotníckymi pomôckami. Navyše aj zvýšené a nesprávne používanie antibiotík viedlo k vzniku bakteriálnych a fungálnych patogénov rezistentných voči viacerým liekom. Preto treba hľadať nové alternatívy ku komerčne využívaným liečivám. Zdá sa, že v prekonávaní tohto problému sú účinné práve rastlinné silice. Napríklad karvakrol sa prejavuje širokým spektrom antimikrobiálnej aktivity a taktiež má schopnosť inhibovať tvorbu biofimov a interferovať s nimi. Mnohé štúdie tiež poskytujú informácie o tom, že silice dokážu synergicky pôsobiť s komerčne využívanými antibiotikami alebo antimykotikami a tak zvyšovať ich účinnosť.

Týmto spôsobom by mohli byť vyžívané v kombináciách s liečivami, ktorých použité koncentrácie by boli oveľa nižšie a tým aj ich negatívny dopad na ľudské zdravie.

Na základe svojej cytotoxickej a prooxidačnej aktivite sa môžu silice využívať ako vynikajúce antiseptické alebo antimikrobiálne látky aj v domácnostiach, napríklad na čistenie vzduchu, osobnú hygienu alebo, dokonca vnútorné použitie (perorálne). Veľkou výhodou silíc je najmä skutočnosť, že sú obvykle bez dlhodobých genotoxických rizík. Navyše, niektoré z nich vykazujú veľmi jasnú antimutagénnu kapacitu ktorá by mohla byť spojená s antikarcinogénnou aktivitou. Silice sú považované za netoxické pre človeka a cicavce, pretože sa rýchlo vstrebávajú, metabolizujú v pečeni a následne sa rýchlo vylučujú pomocou obličiek. Kvôli potenciálnemu obsahu niektorých toxický látok však boli rozdelené do troch tried podľa vzrastajúcej toxicity. Prvá trieda zahŕňa zlúčeniny s nízkou toxicitou (povolená denná dávka pre dospelého človeka je 3 mg na kg telesnej hmotnosti), ktoré nevyžadujú žiadne špecifické testovanie, druhá trieda zahŕňa zlúčeniny s miernou toxicitou (0,91 mg na kilogram telesnej hmotnosti) a do tretej triedy patria toxické zlúčeniny, ktoré by sa nemali požívať v množstve väčšom ako 0,15 mg na kg telesnej hmotnosti dospelého človeka. Posledné štúdie preukázali, že prooxidačná činnosť silíc alebo niektorých ich zložiek, ako aj niektorých polyfenolov je veľmi efektívna pri znižovaní veľkostí rôznych typov nádorov alebo pôsobí inhibične na množenie nádorových buniek apoptotickými a/alebo nekrotickými účinkami. Napríklad silica z vresny (*Myrica gale* L.) sa preukázala významnou protirakovinovou aktivitou v pľúcach a hrubom čreve. Taktiež eugenol z klinčekovca voňavého (*Syzygium aromaticum*) sa preukázal ako výborný inhibítor rakovinových buniek. Geraniol taktiež inhibuje bunky rakoviny hrubého čreva vyvolaním depolarizácie ich membrány, interferenciou s iónovými kanálmi a signálnymi dráhami a inhibuje syntézu ich DNA. Mnoho nádorových buniek sa vyznačuje závažnými zmenami v energetickom metabolizme, mitochondriálnej nadprodukcii a pretrvávajúcom oxidačnom strese. Silice, ktoré sú schopné interferovať s mitochondriami, môžu vytvoriť prooxidačné účinky a stať sa tak originálnymi látkami využívanými na inhibíciu nádorových buniek. V prípade silíc by sa ich výroba dala veľmi ľahko kontrolovať aby neboli toxické a nemali vedľajšie mutagénne účinky na zdravé tkanivá. Takto by si mohli silice nájsť cestu do modernej medicíny.

Limity a bezpečnosť používania rastlinných silíc

Napriek tomu, že značný počet silíc a ich komponentov bol uznaný ako GRAS (všeobecne uznané ako bezpečné – Generally recognized as safety) a sú alebo boli schválené ako potravinárske arómy, niektoré údaje naznačujú ich toxicitu. Napríklad eugenol, mentol a tymol, ktoré sa využívajú pri liečení koreňových kanálikov v zubnom lekárstve môžu spôsobiť podráždenie ďasien v ústnej dutine. Niektoré silice a ich zložky sú schopné spôsobiť alergickú kontaktnú dermatitídu u ľudí, ktorí ich často používajú, alebo silice používané v oblasti medicíny, paramedicíny a aromaterapii vykazujú spazmolytické a spazmogénne vlastnosti a je veľmi ťažké ich spojiť s konkrétnymi komponentami v siliciach. Steda ú potrebné preventívne opatrenia a limity pokiaľ ide o používanie týchto látok vo väčšom rozsahu. Potvrdenie bezpečnosti s prihliadnutím na obrovskú chemickú variabilitu silíc sa preto stalo pre spotrebiteľa dôležitejšou. V rôznych štúdiách boli charakterizované chemické a toxikologické vlastnosti rôznych silíc alebo ich komponentov pri použití v potravinárskom priemysle. Dôležité kontrolné orgány ako Codex Alimentarium a Európska rada vypracovali osobitné protokoly pre chemické a toxikologické analýzy, schválené návody na spracovanie a bezpečnostné obmedzenia obsahu prchavých zložiek silíc ako aj možné synergické a antagonistické účinky. Skúšky toxicity/bezpečnosti sú však veľmi variabilné a odlišné. Jedna z najpoužívanejších metód pre hodnotenie bezpečnosti silíc je akútny orálny test, ktorý umožňuje stanovenie LD_{50} (letálnej dávky, ktorá usmrtí minimálne 50 % buniek) alebo stredná hodnota smrteľnej dávky. Čím vyššia je hodnota LD_{50} silice, tým vhodnejšie je jej využitie ako konzervačnej látky v potravinách. Európskou komisiou bolo zaregistrovaných niekoľko komponentov rastlinných silíc na použitie v potravinách ako arómy. Registrované arómy nepredstavujú žiadne riziko pre zdravie spotrebiteľa a zahŕňajú napríklad karvakrol, karvón, cinnamaldehyd, citral, p-cymén, eugenol, limonén, mentol, tymol, linalool, vanilín,

citral. Estragol a metyl eugenol boli odstránené zo zoznamu v roku 2001 z dôvodu ich genotoxicity. Nové dochucovadlá možno registrovať až po toxikologických a metabolických štúdiách. Mnohé citrusové silice (mandarínková, citrónová, pomarančová) sa používajú ako aromatizátory v čajoch, likéroch, kondenzovanom ovocí alebo cukrovinkách. Schválenie silíc ako prísad do potravín alebo ako liečiv si ale vyžaduje nákladné štúdie o bezpečnosti ich použitia, metabolizme organizmami a podobne. Z legislatívneho hľadiska by preto bolo v mnohých krajinách výhodnejšie použiť celé korenie, bylinu alebo celú rastlinnú silicu, ako použiť jednotlivé komponenty silíc.

Záver

Rastlinné silice majú vysoký potenciál ako prírodné antimikrobiálne činidlo a antioxidačné látky. Výskum zameraný na tieto bioaktívne zmesi neustále prispieva k zvyšovaniu šance na vývoj silných ekologických a bezpečných prostriedkov, ktoré sa budú dať využiť v poľnohospodárstve a potravinárstve ako alternatíva k syntetickým chemikáliám, tak aj v medicíne, ako alternatíva k liečivám. V dnešnej dobe sú silice klasifikované ako všeobecne bezpečné, a preto sú povolené ako prísady do potravín, alebo ako konzervačné látky. Na elimináciu negatívneho organoleptického vplyvu silíc na potraviny sa využívajú napríklad aktívne balenie alebo moderné zapúzdrovacie technológie. Klinické účinky silíc je však potrebné neustále skúmať, aby sa mohla správne odhadnúť miera ich potenciálnych negatívnych (akútnych alebo chronických) účinkov.

Použitá literatúra

Adorjan, B., & Buchbauer, G. (2010). Biological properties of essential oils: an updated review. *Flavour and Fragrance Journal*, *25*(6), 407-426. https://doi.org/10.1002/ffj.2024

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils–a review. *Food and chemical toxicology*, *46*(2), 446-475. https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106

Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (Eds.). (2015). *Handbook of essential oils: science, technology, and applications*. CRC press. https://doi.org/10.1201/9781351246460

Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International journal of food microbiology*, *94*(3), 223-253. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022

Calo, J. R., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A., & Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems–A review. *Food control*, *54*, 111-119. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040

Císarová, M. (2016). Inhibícia rastu mikroskopických húb v potravinách prírodnými látkami. Dizertačná práca, SPU Nitra, 246s.

Falleh, H., Jemaa, M. B., Saada, M., & Ksouri, R. (2020). Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. *Food Chemistry*, 127268. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268

Gupta, A., Sharma, S., & Naik, S. N. (2011). Biopesticidal value of selected essential oils against pathogenic fungus, termites, and nematodes. *International biodeterioration & biodegradation*, *65*(5), 703-707. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.11.018

Hassoun, A., & Çoban, Ö. E. (2017). Essential oils for antimicrobial and antioxidant applications in fish and other seafood products. *Trends in Food Science & Technology*, *68*, 26-36. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.016

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. https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012

Jahani, M., Pira, M., & Aminifard, M. H. (2020). Antifungal effects of essential oils against Aspergillus

niger in vitro and in vivo on pomegranate (Punica granatum) fruits. *Scientia Horticulturae*, *264*, 109188. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109188

Kalemba, D. A. A. K., & Kunicka, A. (2003). Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current medicinal chemistry*, *10*(10), 813-829. https://doi.org/10.2174/0929867033457719

Lammari, N., Louaer, O., Meniai, A. H., & Elaissari, A. (2020). Encapsulation of essential oils via nanoprecipitation process: Overview, progress, challenges and prospects. *Pharmaceutics*, *12*(5), 431. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12050431

Misharina, T. A., Terenina, M. B., & Krikunova, N. I. (2009). Antioxidant properties of essential oils. *Applied Biochemistry and Microbiology*, *45*(6), 642-647. https://doi.org/10.1134/s000368380906012x

Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, *6*(12), 1451-1474. https://doi.org/10.3390/ph6121451

Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: a review. *Bioresource technology*, *101*(1), 372-378. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048

Raut, J. S., & Karuppayil, S. M. (2014). A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial crops and products*, *62*, 250-264. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.055

Sharma, K., Guleria, S., Razdan, V. K., & Babu, V. (2020). Synergistic antioxidant and antimicrobial activities of essential oils of some selected medicinal plants in combination and with synthetic compounds. *Industrial Crops and Products*, *154*, 112569. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112569

Tisserand, R., & Young, R. (2013). *Essential oil safety-e-book: A guide for health care professionals*. Elsevier Health Sciences. https://doi.org/10.1016/b978-0-443-06241-4.00013-8 Yakoubi, R., Megateli, S.,

Sadok, T. H., Bensouici, C., & Bağci, E. (2021). A synergistic interactions of Algerian essential oils of Laurus nobilis L., Lavandula stoechas L. and Mentha pulegium L. on anticholinesterase and antioxidant activities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *31*, 101891. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101891