

植物精油化学成分及其抗菌活性的研究进展

李文茹¹ 施庆珊^{1*} 谢小保¹ 段舜山²

(1. 广东省微生物研究所 广东省菌种保藏与应用重点实验室 广东省华南应用微生物重点实验室-

省部共建华南应用微生物国家重点实验室 广东 广州 510070)

(2. 暨南大学水生生物研究中心 水体富营养化与赤潮防治广东普通高校重点实验室 广东 广州 510632)

摘要: 植物精油是一类从植物中萃取的芳香味油状液体, 是一类优良的天然抗菌材料。作为抗菌材料, 植物精油具有以下优点: 具有广谱高效的抗菌活性; 具有熏蒸特性、气味芳香; 取自天然植物, 绿色环保; 来源广, 提取容易。植物精油因其多种优点, 在抗菌领域具有巨大的潜在应用价值。本文从植物精油的分布及化学成分、抗细菌活性和抗真菌活性的研究, 以及植物精油化学成分与抗菌活性之间的联系等方面对植物精油的抗菌性能进行评述, 以期促进植物精油在抗菌领域的广泛应用, 同时给从事植物精油抗菌研究的科研工作者提供参考。

关键词: 植物精油, 抗菌活性, 化学成分

Progress on the antimicrobial properties of essential oils

LI Wen-Ru¹ SHI Qing-Shan^{1*} XIE Xiao-Bao¹ DUAN Shun-Shan²

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Culture Collection and Application, State Key Laboratory of Applied Microbiology Southern China, Guangdong Institute of Microbiology, Guangzhou, Guangdong 510070, China)

(2. Research Center of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510632, China)

Abstract: Essential oils, a series of aromatic oily liquids extracted from aromatic plants, are fine natural antimicrobial materials. Essential oils have many advantages in the antimicrobial aspect: (1) have strong and broad range of antimicrobial activity; (2) have a fumigating characteristic and aromatic odor; (3) be natural and environmental friendly; (4) easy to be extracted from wide sources. Based on these advantages, essential oils have great potential applications in the antimicrobial field. In this paper, we overviewed the latest progress of researching about essential oils from several aspects, such as the distribution and chemical composition, the antibacterial and antifungal activity, as well as relationship between the chemical compositions and antimicrobial activity. This review could promote the application of essential oils in broad antimicrobial field and provide a reference for the scientists engaged in the research of essential oils.

Keywords: Essential oils, Antimicrobial activity, Chemical compositions

Foundation item: Guangdong Provincial Science and Technology Project (No. 2013B010102014, 2013B050800023); National Nature Science Foundation of China (No. U1133003, 41176104)

*Corresponding author: Tel/Fax: 86-20-87137652; E-mail: jigan@gdim.cn

Received: July 09, 2015; **Accepted:** September 02, 2015; **Published online** (www.cnki.net): March 21, 2016

基金项目: 广东省科技计划项目(No. 2013B010102014, 2013B050800023); 国家自然科学基金项目(No. U1133003, 41176104)

*通讯作者: Tel/Fax: 86-20-87137652; E-mail: jigan@gdim.cn

收稿日期: 2015-07-09; **接受日期:** 2015-09-02; **优先数字出版日期**(www.cnki.net): 2016-03-21

芳香植物用作香料的历史悠久,大量文献记载了芳香植物在古代制作香料的历史,如用于制作香烛、防腐剂、香精、香水、化妆品、药品、食品和饮料的调味料以及抗氧化剂等^[1-2]。芳香植物最初主要是用植物的干物质制作香料,随后发现了一些芳香植物提取物的应用价值,从芳香植物中提取出的植物精油(Essential oil)大约在 2000 年前应运而生^[1,3]。植物精油又称挥发油或香精油,是萃取植物特有的芳香味儿油状液体,取自于草本植物的花、苞、叶、枝、根、树皮、果实、种子和树脂等,以蒸馏、压榨、溶剂萃取等方式提炼出来^[1-3]。现已知的植物精油有三千多种,其中约有三百多种具有重要的商业价值^[3]。

除了用作香料之外,植物精油还是一类天然的抗菌材料。近年来环保法规日益严格,人类更加注重健康和崇尚自然,在这种形势下,植物精油在抗菌领域日益受到重视,其主要有以下优势:植物精油具有广谱的抗菌活性,能够抑杀细菌、真菌和病毒^[2];植物精油具有高效的抗菌活性,其有效杀菌浓度一般在微摩尔水平^[4-5];植物精油取自天然芳香植物,绿色环保,安全无毒或基本无毒,无不良刺激性和腐蚀性;植物精油具有熏蒸特性,气味芳香,有清新空气、安神醒脑、保健和矫味儿功能^[6];植物精油来源广,提取容易,且不同植物精油之间具有协同抗菌作用。为促进植物精油在抗菌领域的广泛应用,同时给从事植物精油抗菌研究的科研工作者提供参考,本文从植物精油的分布及化学成分、抗菌活性和抗真菌活性的研究,以及植物精油化学成分与抗菌活性之间的联系等方面做一简要的综述。

1 植物精油的分布及化学成分

植物精油的分布很广,松柏科、木兰科、樟科、芸香科、伞形科、唇形科、姜科、菊科、金娘科、龙樟香科、禾本科的植物都含有丰富的精油,此外,蔷薇科、胡椒科、瑞香科、杜鹃科、木犀科、毛茛科等植物也含有较丰富的精油^[7]。有的植物全株都含有精油,有的则在花、果、叶、根或根茎部分器官中含量较高,而且从同一植物的不同器官中提取

的精油,其化学成分不尽相同,有些植物由于生长的地理环境差异或者采集的时间不同,提取出的精油的化学成分也有差异^[3,8-9]。

植物精油的化学成分主要包括四大类^[7]:萜烯类化合物、芳香族化合物、脂肪族化合物以及其它类化合物。萜烯类化合物是植物精油的主要成分,根据其基本结构的不同分为三类:单萜衍生物,如月桂烯、薰衣草烯、草酚酮、樟脑、蒎烯、茴香醇等;倍半萜衍生物,如金合欢烯、 α -桉叶醇、 β -杜松烯、广藿香酮等;二萜衍生物,如油杉醇等。植物精油中的萜烯类化合物以单萜及倍半萜类为主,其中的含氧衍生物大多生物活性较强或具有芳香气味。芳香族化合物是植物精油中的第二大类化合物,仅次于萜烯类,主要有两类衍生物:一类是萜源衍生物,如百里香草酚、孜然芹烯、 α -姜黄烯等;另一类是苯丙烷类衍生物,其结构多具有 C_6-C_3 骨架、有一个丙烷基的苯酚化合物或其酯类,如桂皮醛、丁香酚、茴香醚等,也有少部分具有 C_6-C_2 骨架,如玫瑰精油中的苯乙醇。小分子脂肪族化合物几乎存在于所有的植物精油中,但其含量相对较少,如鱼腥草精油中的甲基正壬酮,香茅精油中的异戊醛,缬草精油中的异戊酸等。除上述三类化合物外,有些具有辛辣刺激性的植物精油中含有含硫含氮类化合物,如大蒜精油中的大蒜素(二烯丙基三硫醚)、二烯丙基二硫醚、二烯丙基硫醚^[10],黑芥子精油中的异硫氰酸烯丙酯,柠檬精油中的吡咯,洋葱中的三硫化物等。

2 植物精油的抗菌活性

据文献记载,植物精油自古代就曾用于制药和食品防腐,但测试植物精油抗菌活性的实验始于 1881 年 Burt 的研究^[3],《罗马书》中也记载了将芥末用于果汁防腐,抑制发酵微生物的生长^[1]。后来国内外很多科研工作者研究了植物精油的抗菌活性。Anderson 和同事^[11]在 1953 年报道了肉桂对嗜热耐酸芽胞杆菌(*Bacillus thermoacidurans*)的芽孢产生具有抑制作用;大蒜精油能够抑制蜡样芽胞杆菌(*B. cereus*)的芽孢产生^[1];Mantis 等^[12]在 1979 年也报道了大蒜精油对产气荚膜梭状芽胞杆菌

(*Clostridium perfringens*)的芽孢产生抑制作用; 1911年 Hoffman 和 Evans^[13]发现芥末等精油对苹果汁、番茄酱中的细菌具有抑制作用, 同时发现植物精油之间具有协同抗菌作用, 之后很多研究人员也报道了植物精油的协同抗菌效果^[4-15]。

此后, 越来越多的植物精油被发现具有抗菌作用。Hammer 等通过研究 52 种植物精油对 9 种细菌和一种真菌的抗菌活性, 报道了 46 种具有抗菌活性的植物精油, 其中柠檬草、牛至和月桂精油的抗菌活性很强, 而其它 43 种植物精油具有中度的抗菌活性^[16]。Chang 等研究了两种土肉桂植株 A 和 B 的叶油对 9 种细菌的抗菌活性, 发现土肉桂 B 叶油具有高效的抗菌活性, 对肺炎克雷伯氏菌(*Klebsiella pneumonia*)和沙门氏菌属某菌(*Salmonella* sp.)的最低抑菌浓度均为 500 mg/L, 对其它 7 种细菌的最低抑菌浓度均为 250 mg/L^[17]。Valero 和 Salmerón 研究了肉豆蔻、薄荷、丁香、牛至、肉桂、桉木、鼠尾草、百里香和迷迭香等 11 种植物精油对食源性致病菌蜡样芽胞杆菌的抗菌活性, 发现这 11 种植物精油能够将蜡样芽胞杆菌的生长延滞期延长 14%–1110%, 且肉桂精油的抗菌活性最高, 0.000 5% (体积比)的肉桂精油能够完全抑制蜡样芽胞杆菌在 60 d 内的生长^[18]。Baydar 等研究了细花牛至、盆栽牛至、黑色百里香和土耳其香薄荷等 4 种植物精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌等 15 种细菌的抗菌活性, 发现这 4 种植物精油对 15 种细菌的最低抑菌浓度均低于 1/100 (体积比), 且黑色百里香的抗菌活性最高, 粉液化芽胞杆菌(*B. amyloliquefaciens*)对这 4 种植物精油最敏感^[19]。Prabuseenivasan 等研究了 21 种植物精油对 6 种细菌的抗菌活性, 发现 19 种精油对其中一种或多种细菌具有抗菌活性, 其中肉桂、丁香、天竺葵、柠檬、酸橙、橙子和迷迭香精油的抗菌活性较高, 尤以肉桂精油的抗菌活性最强^[20]。Al-Bayati 报道了百里香、茴芹(洋茴香)精油及其甲醇提取物对 9 种细菌具有较高的抗菌活性, 而且百里香、茴芹精油及其甲醇提取物对除铜绿假单胞菌外的其余 8 种细菌具有协同抗菌作用^[15]。Demirci 等报道了两种糙苏属植物精油对

9 种食源性致病菌具有较高的抗菌活性, 最低抑菌浓度在 125–1 000 mg/L 范围内^[21]。Bajpai 等报道了水杉精油对 2 种食品腐败菌以及 2 种食源性致病菌具有较高的抗菌活性, 最低抑菌浓度也在 125–2 000 mg/L 范围内^[22]。

具有抗菌活性的植物精油很多, 肉桂、丁香和芥末具有很强的抗菌活性, 孜然芹、牛至、鼠尾草、百里香和迷迭香具有中度的抗菌活性, 而胡椒和生姜具有较弱的抗菌作用^[23]。研究表明, 植物精油对革兰氏阳性菌的抗菌活性要高于革兰氏阴性菌^[1]。Viuda-Martos 等报道了百里香精油具有高效的抗菌活性, 且对革兰氏阳性菌的抗菌活性优于革兰氏阴性菌^[24]。Elaissi 等选取两种革兰氏阴性菌和两种革兰氏阳性菌作为受试菌株, 研究了 20 种桉树属植物精油的抗菌活性, 结果表明不同菌种和不同菌株对桉树植物精油的敏感性存在显著差异, 革兰氏阳性的金黄色葡萄球菌对桉树精油最敏感, 革兰氏阴性的粪肠球菌抗性最强^[25]。

进一步的研究表明, 不同物候阶段会对提取的植物精油的抗菌活性产生影响。Ebrahimi 等发现一种百里香在不同物候阶段提取出的精油的质和量均不同, 且不同物候阶段的这种百里香精油的抗菌活性也稍有差异, 但对多种细菌均显示出较高的抗菌活性, 其中枯草芽胞杆菌对该精油最敏感, 铜绿假单胞菌最不敏感^[8]。

3 植物精油的抗真菌活性

据报道, 植物精油对真菌的抗菌活性要明显高于细菌^[1]。植物精油抗真菌活性的报道最早见于 18 世纪 80 年代, 报道中描述了芥末、丁香、肉桂精油的抗真菌活性^[1], 肉桂精油能够使植物炭疽病的孢子致死, 肉桂和丁香精油能够抑制包括酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)在内的 8 种酵母的生长^[26]。1984 年, Benjilali 等报道了百里香、迷迭香和桉树叶精油对 13 株青霉、9 株曲霉和 17 株其它真菌的抗菌活性, 研究发现百里香的抗菌效果最好, 其次是迷迭香和桉树精油^[26]。之后, 研究人员陆续报道了大量具有抗真菌活性的植物精油, 包括

大蒜、洋葱、肉桂、山葵、胡椒、丁香、多香果、茴芹、牛至、百里香、香紫苏、迷迭香、月桂树叶、肉豆蔻、芥末等^[1]。

Omidbeygi 等研究了百里香、夏薄荷和丁香精油的抗真菌活性,研究发现百里香的活性最高,夏薄荷次之,丁香活性最低。350 $\mu\text{L/L}$ 的百里香精油能够完全抑制黄曲霉(*Aspergillus flavus*)的生长,夏薄荷精油则需要 500 $\mu\text{L/L}$ 才能完全抑制黄曲霉的生长,而 500 $\mu\text{L/L}$ 的丁香精油对黄曲霉的抑制率达到 87.5%^[27]。Cleff 等发现牛至精油对 16 种念珠菌具有高效的抗菌活性,最低抑菌浓度和最低杀菌浓度均在 2–5 mL/L 范围内^[28]。Yahyazadeh 等^[29]发现百里香和丁香精油在浓度达到 600 $\mu\text{L/L}$ 时能够完全抑制指状青霉(*Penicillium digitatum*)的生长,而鼠尾草和小茴香精油没有显示出对指状青霉的抗菌活性。Jardim 等研究了巴西土荆芥精油对 8 种腐败真菌的抗菌活性,发现当精油浓度达到 0.3% (体积比)时,能够完全抑制这 8 种真菌的生长^[30]。还有研究者研究了从牛至的花和叶中提取的精油对 10 种霉菌、2 种酵母样真菌以及 3 种酵母菌的抗菌活性,发现牛至叶精油比牛至花精油的抗菌活性更高,当两种精油浓度达到 0.5% (体积比)时均能抑制所有真菌的生长,当精油浓度为 0.2% (体积比)时对酵母样真菌和酵母菌的抗菌活性较低^[31]。国内莫小路等发现南方药用植物大叶桉、广藿香和香茅精油对串珠镰刀菌、玉米弯孢霉菌等多种供试植物病原真菌的生长有明显抑制作用^[32]。

植物精油除抑制真菌的生长之外,还能抑制真菌毒素的产生。1980 年,研究人员发现黑胡椒、肉桂、薄荷、孜然芹、生姜和丁香的精油能够抑制黄曲霉的黄曲霉毒素的产生^[33]。1999 年,文献报道牛至、孜然芹、紫花罗勒精油能够抑制赭曲霉产生赭曲霉毒素 A^[34]。Hitokoto 等研究了部分植物精油对一些产毒素真菌的作用,发现大多数植物精油都能在一定程度上抑制毒素的产生,然而,只有丁香、八角和多香果能够完全抑制产毒真菌的生长^[35]。有研究者研究了月桂叶、桂皮、肉桂叶、丁香、甘椒树浆果、甘椒树叶和百里香精油对产毒真菌生长

的抑制作用,发现这些精油浓度达到 1 000 $\mu\text{L/L}$ 和 500 $\mu\text{L/L}$ 时能够完全抑制 20 种产毒真菌的生长^[36]。Rassoli 和 Owlia 发现两种百里香的精油能够抑制寄生曲霉(*A. parasiticus*)的生长和黄曲霉毒素的产生,两种百里香精油对寄生曲霉的最低抑菌浓度均为 250 $\mu\text{L/L}$,且在该浓度下均能抑制黄曲霉毒素的产生,两种百里香精油对寄生曲霉的最低杀菌浓度分别为 500 $\mu\text{L/L}$ 和 1 000 $\mu\text{L/L}$ ^[37]。紫花罗勒、中国肉桂和月桂精油能够抑制寄生曲霉的生长和黄曲霉毒素 B₁、G₁ 的产生,而香菜精油不能抑制寄生曲霉的生长和黄曲霉毒素的产生^[38]。甜橙精油对黑曲霉具有高效的抗菌活性,在肉汤培养基和琼脂平皿上的最低抑菌浓度分别为 2.5 mg/L 和 3.0 mg/L ^[39]。藿香蓟精油能够抑制黄曲霉菌丝的生长和黄曲霉毒素 B₁ 的产生,当精油浓度达到 0.10 mg/L 时能够完全抑制黄曲霉毒素的产生^[40]。橘子和柠檬草精油能够抑制黄曲霉的生长和黄曲霉毒素的产生,当两种精油的浓度达到 750 $\mu\text{L/L}$ 时均能完全抑制黄曲霉的生长,橘子和柠檬草精油浓度分别达到 750 $\mu\text{L/L}$ 和 500 $\mu\text{L/L}$ 时能够完全抑制黄曲霉毒素 B₁ 的产生^[41]。宽叶毒芹的精油对黄曲霉、米曲霉(*A. oryzae*)、黑曲霉和交链孢霉(*Alternaria alternata*)等 4 种食源性真菌具有高效的抗菌活性,最低抑菌浓度均为 5 mL/L ,能够抑制孢子的产生和萌发,抑制菌丝的生长,同时也抑制黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁)的产生^[42]。姜黄精油能够抑制黄曲霉菌丝的生长和黄曲霉毒素 B₁、G₁ 的产生,当精油浓度达到 1.5% (体积比)时能够 100%抑制黄曲霉毒素的产生^[43]。南非酸橙和酸橙精油对黄曲霉和寄生曲霉具有高效的抗真菌活性,对黄曲霉和寄生曲霉的黄曲霉毒素的抑制效果明显,尤其酸橙精油当浓度达到 2.25 g/L 时能够完全抑制黄曲霉毒素的产生^[44]。

植物精油对真菌菌丝和孢子也具有破坏作用。甜橙精油处理后,黑曲霉菌丝发生细胞质流失的现象,菌丝直径变小、细胞壁变薄,菌丝发生扭曲致使细胞壁破损^[39]。还有研究者发现荆芥精油能够抑制支孢样支孢霉(*Cladosporium cladosporioides*)、绿

色木霉 (*Trichoderma viride*) 和 2 种链格孢属 (*Alternaria*) 霉菌的分生孢子的发芽, 其中支孢样支孢霉最敏感, 0.1 mg/L 的荆芥精油即能完全抑制该菌分生孢子的萌发, 而链格孢属霉菌抗性最强, 需要 0.6 mg/L 才能抑制其分生孢子的萌发^[45]。此外, 蓝桉树精油对构巢曲霉 (*A. nidulans*) 具有基因毒性, 当精油浓度达到 0.12 mL/L 时能够增加构巢曲霉二倍体有丝分裂的不稳定性^[46]。

4 植物精油的化学成分与抗菌活性之间的联系

植物精油中含有多种化学成分, 通常达几十种甚至一百多种, 植物精油的抗菌活性与其化学成分密切相关, 尤其是一些高活性的化学组分对其抗菌活性起主要作用。植物精油抗菌活性主要与其化学功能基团有关, 1996年Faid等报道植物精油功能基团抗菌活性大小排序如下: 酚类(活性最高)>醇类>醛类>酮类>酯类>炔类^[47], 随后2003年Kalembe和Kunicka又根据前人的上百项研究重新总结了植物精油功能基团抗菌活性的强弱, 并做了如下排序: 酚类>肉桂醛>醇类>醛类=酮类>酯类>碳氢化合物类^[48]。我们实验室对几种植物精油化学成分分析及抗菌活性的研究结果进一步证实了上述功能基团与其抗菌活性的强弱关系^[10]。除了不同植物精油抗菌活性不同之外, 我们还发现同一种植物精油的抗细菌和抗真菌活性之间会有很大差异, 如大蒜精油和香茅精油的抗真菌活性远远高于抗细菌活性, 而肉桂精油的抗细菌活性高于抗真菌活性, 表明植物精油由于化学组分不同而具有不同的抗真菌与抗细菌的机制^[10]。

5 展望

随着环保法规日益严格, 人类更加注重健康和崇尚自然, 天然环保的抗菌剂取代毒副作用较大的化学防腐剂势在必行。植物精油具有高效的抗菌活性, 萃取自天然植物, 将会在粮食、食品、饲料及家居生活用品的抗菌方面具有广阔的应用前景。目前国内外对植物精油抗菌方面的研究, 大多只是通过测试植物精油对细菌或真菌的最低抑菌浓度研究其抗菌活性, 而对植物精油的抗菌活性、抗菌动力学特征以及抗菌作用机制尚没有进行系统深入

的研究, 还有大量的研究工作需要开展。(1) 植物精油的抗菌效能和机制的研究是需要阐明的一个重要科学问题, 本团队研究了几种典型植物精油的抗细菌和抗真菌活性^[10], 同时分别研究了香茅精油、大蒜精油、山苍子精油和茶树精油对黑曲霉、绳状青霉、白假丝酵母、大肠杆菌和铜绿假单胞菌的抗菌效应与作用机制^[49-52], 并在实验研究的基础上提出了植物精油抗菌机制的初步模型。(2) 植物精油抗真菌与抗细菌效应和机制的异同, 以及植物精油协同抗菌作用与其化学组分之间的联系, 也是需要深入研究的重要方面。(3) 植物精油抗菌材料的研发也是促进植物精油广泛应用的重要一环。植物精油抗菌材料在有害微生物防治领域的未来发展, 需要多学科专家学者的共同努力与协作。

参考文献

- [1] Shelef LA. Antimicrobial effects of spices[J]. Journal of Food Safety, 1984, 6(1): 29-44
- [2] Ceylan E, Fung DY. Antimicrobial activity of spices[J]. Journal of Rapid Methods and Automation in Microbiology, 2004, 12(1): 1-55
- [3] Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 94(3): 223-253
- [4] Bullerman LB. Inhibition of aflatoxin production by cinnamon[J]. Journal of Food Science, 1974, 39(6): 1163-1165
- [5] Boonchird C, Flegel TW. *In vitro* antifungal activity of eugenol and vanillin against *Candida albicans* and *Cryptococcus neoformans*[J]. Canadian Journal of Microbiology, 1982, 28(11): 1235-1241
- [6] Wang HX, Guo YQ. Feasibility of aromatic essential oils used in prevention of feed mold[J]. Guangdong Feed, 1996(5): 26-28 (in Chinese)
王红星, 郭燕群. 芳香型植物精油应用于饲料防霉的可行性探讨[J]. 广东饲料, 1996(5): 26-28
- [7] Yao XS. Terpenoids and volatile oils[A]//Medicinal Chemistry of Natural Products[M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2003 (in Chinese)
姚新生. 萜类和挥发油[A]//天然药物化学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003
- [8] Ebrahimi SN, Hadian J, Mirjalili MH, et al. Essential oil composition and antibacterial activity of *Thymus carchasicus* at different phenological stages[J]. Food Chemistry, 2008, 110(4): 927-931
- [9] Kalembe D, Matla M, Smetek A. Antimicrobial activities of essential oils[A]//Patra AK. Dietary Phytochemicals and Microbes[M]. Netherlands: Springer, 2012: 157-183
- [10] Li WR, Shi QS, Mo CY, et al. Chemical composition and antimicrobial activity of several typical essential oils[J]. Microbiology China, 2013, 40(11): 2128-2137 (in Chinese)
李文茹, 施庆珊, 莫翠云, 等. 几种典型植物精油的化学成分与其抗菌活性[J]. 微生物学通报, 2013, 40(11): 2128-2137
- [11] Anderson EE, Esselen JR WB, Handleman AR. The effect of essential oils on the inhibition and thermal resistance of microorganisms in acid food products[J]. Journal of Food Science, 1953, 18: 40-47
- [12] Mantis AJ, Koidis PA, Karaioannoglou PG et al. Effect of garlic extract on food poisoning bacteria[J]. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 1979, 12(6): 330-332
- [13] Hoffman A, Evans AC. The use of spices as preservatives[J].

- Industrial and Engineering Chemistry, 1911, 3(11): 835-838
- [14] Fu YJ, Zu YG, Chen LY, et al. Antimicrobial activity of clove and rosemary essential oils alone and in combination[J]. Phytotherapy Research, 2007, 21(10): 989-994
- [15] Al-Bayati FA. Synergistic antibacterial activity between *Thymus vulgaris* and *Pimpinella anisum* essential oils and methanol extracts[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2008, 116(3): 403-406
- [16] Hammer KA, Carson CF, Riley TV. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts[J]. Journal of Applied Microbiology, 1999, 86(6): 985-990
- [17] Chang ST, Chen PF, Chang SC. Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum*[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2001, 77(1): 123-127
- [18] Valero M, Salmerón MC. Antibacterial activity of 11 essential oils against *Bacillus cereus* in tyndallized carrot broth[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 85(1/2): 73-81
- [19] Baydar H, Sağdıç Ö, Özkan G, et al. Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey[J]. Food Control, 2004, 15(3): 169-172
- [20] Prabuseenivasan S, Jayakumar M, Ignacimuthu S. *In vitro* antibacterial activity of some plant essential oils[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2006, 6: 39
- [21] Demirci F, Guven K, Demirci B, et al. Antibacterial activity of two *Phlomis* essential oils against food pathogens[J]. Food Control, 2008, 19(12): 1159-1164
- [22] Bajpai VK, Yoon JI, Kang SC. Antifungal potential of essential oil and various organic extracts of *Nandina domestica* Thunb. against skin infectious fungal pathogens[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 83(6): 1127-1133
- [23] Škrinjar MM, Nemet NT. Antimicrobial effects of spices and herbs essential oils[J]. Acta Periodica Technologica, 2009, 40(40): 195-209
- [24] Viuda-Martos M, Mohamady MA, Fernández-López J, et al. *In vitro* antioxidant and antibacterial activities of essential oils obtained from Egyptian aromatic plants[J]. Food Control, 2011, 22(11): 1715-1722
- [25] Elaissi A, Salah KH, Mabrouk S, et al. Antibacterial activity and chemical composition of 20 *Eucalyptus* species' essential oils[J]. Food Chemistry, 2011, 129(4): 1427-1434
- [26] Benjilali B, Tantaoui A, Ayadi A, et al. Method to study antimicrobial effects of essential oils: application to the antifungal activity of six Moroccan essences[J]. Journal of Food Protection, 1984, 47(10): 748-752
- [27] Omidbeygi M, Barzegar M, Hamidi Z, et al. Antifungal activity of thyme, summer savory and clove essential oils against *Aspergillus flavus* in liquid medium and tomato paste[J]. Food Control, 2007, 18(2): 1518-1523
- [28] Cleff MB, Meinerz AR, Xavier M, et al. *In vitro* activity of *Origanum vulgare* essential oil against *Candida* species[J]. Brazilian Journal of Microbiology, 2010, 41(1): 116-123
- [29] Yahyazadeh M, Omidbaigi R, Zare R, et al. Effect of some essential oils on mycelial growth of *Penicillium digitatum* Sacc[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2008, 24(8): 1445-1450
- [30] Jardim CM, Jham GN, Dhingra OD, et al. Composition and antifungal activity of the essential oil of the Brazilian *Chenopodium ambrosioides* L.[J]. Journal of Chemical Ecology, 2008, 34(9): 1213-1218
- [31] Radušenė J, Judpintienė A, Pečiulytė D, et al. Chemical composition of essential oil and antimicrobial activity of *Origanum vulgare*[J]. Biologija, 2005, 4: 53-58
- [32] Mo XL, Wang YS, Zeng QQ, et al. Antifungal activity study of several essential oils[J]. Natural Product Research and Development, 2005, 17(6): 696-699 (in Chinese)
- 莫小路, 王玉生, 曾庆钱, 等. 几种药用植物精油的抗真菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2005, 17(6): 696-699
- [33] Mabrouk SS, El-Shayeb NMA. Inhibition of aflatoxin formation by some spices[J]. Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1980, 171(5): 344-347
- [34] Basílico MZ, Basílico JC. Inhibitory effects of some spice essential oils on *Aspergillus ochraceus* NRRL 3174 growth and ochratoxin A production[J]. Letters in Applied Microbiology, 1999, 29(4): 238-241
- [35] Hitokoto H, Morozumi S, Wauke T, et al. Inhibitory effects of spices on growth and toxin production of toxigenic fungi[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1980, 39(4): 818-822
- [36] Janssen AM, Scheffer JJC, Svendsen AB. Antimicrobial activities of essential oils[J]. Pharmaceutisch Weekblad Scientific Edition, 1987, 9(4): 193-197
- [37] Rassoli I, Owlia P. Chemoprevention by thyme oils of *Aspergillus parasiticus* growth and aflatoxin production[J]. Phytochemistry, 2005, 66(24): 2851-2856
- [38] Atanda OO, Akpan I, Oluwafemi F. The potential of some spice essential oils in the control of *A. parasiticus* CFR 223 and aflatoxin production[J]. Food Control, 2007, 18(5): 601-607
- [39] Sharma N, Tripathi A. Effects of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck epicarp essential oil on growth and morphogenesis of *Aspergillus niger* (L.) van Tieghem[J]. Microbiological Research, 2008, 163(3): 337-344
- [40] Nogueira JHC, González E, Galletti SR, et al. *Ageratum conyzoides* essential oil as aflatoxin suppressor of *Aspergillus flavus*[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 137(1): 55-60
- [41] Singh P, Shukla R, Kumar A, et al. Effect of *Citrus reticulata* and *Cymbopogon citratus* essential oils on *Aspergillus flavus* growth and aflatoxin production on *Asparagus racemosus*[J]. Mycopathologia, 2010, 170(3): 195-202
- [42] Tian J, Ban XQ, Zeng H, et al. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Cicuta virosa* L. var. *latisepta* Celak[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 145(2/3): 464-470
- [43] Sindhu S, Chemakam B, Leela NK, et al. Chemoprevention by essential oil of turmeric leaves (*Curcuma longa* L.) on the growth of *Aspergillus flavus* and aflatoxin production[J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(5): 1188-1192
- [44] Rammanee K, Hongpattarakere T. Effects of tropical *Citrus* essential oils on growth, aflatoxin production, and ultrastructure alterations of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*[J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(6): 1050-1059
- [45] Grbić ML, Stupar M, Vukojević J, et al. Inhibitory effect of essential oil from *Nepeta rtanjensis* on fungal spore germination[J]. Central European Journal of Biology, 2011, 6(4): 583-586
- [46] Miyamoto CT, De Sant'anna JR, Da Silva Franco CC, et al. Genotoxic activity of *Eucalyptus globulus* essential oil in *Aspergillus nidulans* diploid cells[J]. Folia Microbiologica, 2009, 54(6): 493-498
- [47] Faid M, Charai M, Mosaddak M. Chemical composition and antimicrobial activities of two aromatic plants: *Origanum majorana* L. and *O. compactum* Benth[J]. Journal of Essential Oil Research, 1996, 8: 657-664
- [48] Kalembe D, Kunicka A. Antibacterial and antifungal properties of essential oils[J]. Current Medicinal Chemistry, 2003, 10(10): 813-829
- [49] Li WR, Shi QS, Dai HQ, et al. Antifungal activity, kinetics and molecular mechanism of action of garlic oil against *Candida albicans*[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 22805
- [50] Li WR, Shi QS, Ouyang YS, et al. Antifungal effects of citronella oil against *Aspergillus niger* ATCC 16404[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 97(16): 7483-7492
- [51] Li WR, Shi QS, Liang Q, et al. Antifungal effect and mechanism of garlic oil on *Penicillium funiculosum*[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(19): 8337-8346
- [52] Li WR, Shi QS, Liang Q, et al. Antibacterial activity and kinetics of litsea cubeba oil on *Escherichia coli*[J]. PLoS One, 2014, 9(11): e110983