

11 种植物精油对 6 种植物病原真菌的抑菌活性研究

吴建挺^{1,2}, 张悦丽¹, 张博¹, 赵连仲^{1,2}, 李长松¹, 齐军山^{1*}

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 济南 250100; 2. 山东师范大学生命科学学院, 济南 250014)

摘要: 为筛选有效的植物杀菌成分, 采用菌丝生长法, 测定了香茅油、薰衣草油、菊花油、月桂油、柠檬油、广藿香油、肉桂油、天竺葵油、迷迭香油、茶树油、薄荷油对 6 种植物病原真菌的抑菌活性。发现在 2 g/L 的浓度下, 上述 11 种精油对 6 种供试病菌均有明显的抑制作用, 其中香茅油、肉桂油、天竺葵油、月桂油、茶树油和薄荷油对 6 种病原真菌的抑制率均为 100%。剂量效应试验表明, 肉桂油对灰葡萄孢 (*Botrytis cinerea*) 和禾谷镰孢菌 (*Fusarium graminearum*) 的 EC_{50} 值分别为 29.05 $\mu\text{g/mL}$ 和 42.96 $\mu\text{g/mL}$, 而天竺葵油对灰葡萄孢 (*Botrytis cinerea*) 和禾谷镰孢菌 (*Fusarium graminearum*) 的 EC_{50} 值分别为 34.02 $\mu\text{g/mL}$ 和 68.48 $\mu\text{g/mL}$ 。

关键词: 植物精油; 肉桂精油; 天竺葵精油; 植物病原真菌; 抑菌活性

中图分类号: S482.2⁺92

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2013)02-0198-05

Antifungal Activity of Eleven Plant Essential Oils against Six Plant Pathogenic Fungi

WU Jian-Ting^{1,2}, ZHANG Yue-Li¹, ZHANG Bo¹, ZHAO Lian-Zhong^{1,2},
LI Chang-Song¹, QI Jun-Shan^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Shandong Province Key Laboratory of Plant Virology, Jinan 250100, China; 2. School of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Increasing concern over environmental and food safety caused by organic synthetic pesticides has highlighted the need for alternative products. Pesticidal activity screening from plants could lead to the discovery of new pest control agents. Antifungal activities of eleven plant essential oils were screened against six plant pathogenic fungi by mycelia growth methods. Results indicated that all tested essential oils possessed obvious antifungal activities against the six fungi at a concentration of 2 g/L, especially the antifungal activities of citronella, cinnamon, geranium, lavender, tea tree, and mint oils, which exhibited 100% inhibition against all tested plant pathogenic fungi. The EC_{50} values of cinnamon oil against *Botrytis cinerea* and *Fusarium graminearum* were 29.05 $\mu\text{g/mL}$ and 42.96 $\mu\text{g/mL}$, respectively, and of geranium oil were 34.02 g/mL and 68.48 $\mu\text{g/mL}$, respectively.

Key words: Plant essential oil; Cinnamon oil; Geranium oil; Plant pathogenic fungi; Antifungal activity

植物病虫害给农业生产造成了巨大的危害。作为重要的农用物资, 农药为粮食增产、农民增收做出了重大贡献。但是, 连续、大量地使用有毒甚至剧毒的化学农药引起了严重的环境污染和食品安全问

题, 直接危及了人类的生存。开发安全、环境友好的新型农药是农药工业的唯一出路。植物精油是具有一定香味的挥发性油状液体的总称, 可存在于植物的不同组织, 如果实、叶、花和根中。植物精油属

收稿日期: 2012-07-19, 修回日期: 2012-10-08。

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(201303025, 201303018, 201003004); 山东省现代农业产业技术体系小麦创新团队资助项目; 山东省农业科技成果转化资金项目“蔬菜有害生物绿色配套控制技术集成与示范”资助。

作者简介: 吴建挺(1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为微生物学(E-mail: 695754038@qq.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence): 齐军山(1970-), 男, 博士, 研究员, 从事植物病害生物防治研究(E-mail: qi999@163.com)。

植物源次生代谢物质,分子量较小,可随水蒸气蒸出。近年来研究发现,许多植物精油对植物病原菌具有抑制作用。李扬苹等^[1]筛选了7种精油对尖镰孢菌进行抑菌活性实验,发现在16.0 $\mu\text{L/mL}$ 下,桂皮油、丁香油的抑制作用最强,对孢子萌发和菌丝生长的抑制率分别为100%、99.74%和100%、100%。叶舟等^[2,3]研究了4种林木精油的抑菌活性,并对杉木心材精油的抑菌成分进行了研究,确定主要抑菌成分为柏木脑。Faleiro等^[4]对百里香属(*Thymus*)精油的杀菌活性进行研究,发现它们对白色假丝酵母(*Candida albicans*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)和奇异变形杆菌(*Proteus mirabilis*)等均具有广泛的杀菌作用。Romagnoli等^[5]发现了孔雀草精油分别在10 $\mu\text{L/mL}$ 和1.25 $\mu\text{L/mL}$ 下对灰葡萄孢(*Botrytis cinerea*)和指状青霉(*Penicillium digitatum*)完全抑制,并确定薄荷酮和薄荷二烯酮为其主要抑菌成分。上述进展使我们相信,植物精油的研究可以为环境友好型农药的开发做出贡献。

本实验选取11种天然芳香植物精油,对6种植物病原真菌进行离体抑菌活性研究,从中筛选出抑菌活性较好的植物精油,并对其抑菌机理进行了初步研究,以便为从植物精油中寻找天然抑菌物质打下基础。

1 材料与方法

1.1 供试精油

供试精油为香茅油、薰衣草油、菊花油、月桂油、柠檬油、广藿香油、肉桂油、天竺葵油、迷迭香油、茶树油、薄荷油。均为单方精油,购自上海香汇生物科技有限公司。

1.2 供试病原菌

供试病原菌为:茄镰孢菌(*Fusarium solani*)和灰葡萄孢(*Botrytis cinerea*)分离自番茄,终极腐霉(*Pythium ultimum*)、瓜果腐霉(*Pythium aphanidermatum*)和尖镰孢菌(*Fusarium oxysporium*)分离自西瓜,禾谷镰孢菌(*Fusarium graminearum*)分离自小麦,均由山东省农科院植保所分离保存。

1.3 抑菌活性测定

1.3.1 菌丝生长法

用丙酮将11种精油分别稀释成182 mg/mL ,用0.22 μL 针头式细菌滤器过滤后取0.5 mL加入

45 mL PDA培养基中混匀(每毫升培养基中含有2 mg 植物精油),倒入直径90 mm培养皿,倒三皿。选择事先培养好的生长均匀的病原菌菌落沿其边缘用打孔器打直径5 mm的菌饼。待加入药液的培养基凝固后接种菌饼于培养基中心。对照加0.5 mL的丙酮代替精油。瓜果腐霉和终极腐霉19℃培养2~3 d,尖镰孢菌和茄镰孢菌25℃培养6~7 d,灰葡萄孢21℃培养6~7 d,禾谷镰孢菌27℃培养5~6 d,待对照快要长满培养皿时用十字交叉法测量菌落直径(mm),取平均值。计算抑制率,重复3次^[6]。

$$\text{抑制率} = \frac{\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径} - 5} \times 100\%$$

1.3.2 孢子萌发法

对菌丝生长法筛选出的高活性植物精油用孢子萌发法进一步测定其活性^[7]。分别称取精油0.3 mg ,加入20 μL 丙酮溶解,再用980 μL 的0.1%吐温80水溶液稀释,将各精油均配成浓度为0.3 mg/mL 的药液。将各药液依次吸取0.5 mL加入不同的小试管,然后吸取制备好的孢子悬液0.5 mL,分别使药液与孢子悬浮液等量混合均匀,药液终浓度为150 $\mu\text{g/mL}$ 。吸取上述混合液滴到凹玻片上,保湿适温培养。对照为不含精油的相同浓度的丙酮吐温水溶液。重复3次。待对照的孢子萌发率达到90%以上时,检查各处理的孢子萌发情况,计算孢子萌发相对抑制率。

1.3.3 EC_{50} 测定

选取抑菌活性较好的6种精油,分别稀释成系列浓度梯度的含药培养基。按1.3.1的方法测定不同质量浓度精油对灰葡萄孢和禾谷镰孢菌的抑菌活性,并求其回归方程 $y = a + bx$ 及有效中浓度(EC_{50} 值)^[8]。同法测定腐霉利对灰葡萄孢、甲基硫菌灵对禾谷镰孢菌的 EC_{50} 值作为阳性对照。

1.4 肉桂精油和天竺葵精油对灰葡萄孢菌丝形态及电导率的影响

将灰葡萄孢在PDA培养基上培养5 d,打直径5 mm的菌饼,移入PDB培养基内,每瓶2块。25℃,110 r/min 振荡培养6 d,菌丝抽滤,去离子水漂洗3次,收集菌丝体。称菌丝2 g悬浮于PDB培养基中,加入精油使终浓度为0.2 mg/mL ,对照不加药,48 h后用Nikon Eclipse 80i观察、照相。

称1.5 g菌丝,无菌去离子水漂洗3次。加入30 mL去离子水,加入精油使药液浓度为1 mg/mL ,

0.5、1、1.5、2、2.5、3 h 时测定电导率。重复 3 次^[9,10]。

2 结果与分析

2.1 精油的抑菌活性

2 g/L 的质量浓度下,11 种精油对 6 种植物病原真菌抑菌活性结果见表 1。其中,香茅油、月桂油、肉桂油、天竺葵油、茶树油和薄荷油对 6 种病原真菌的抑制率均高达 100%;其次,薰衣草油对 5 种病原菌的抑制率在 100%;迷迭香油对 4 种病原菌的抑制率在 100%;柠檬油、广藿香油、野菊花油对 3 种病菌的抑制率均在 100%。结果表明,香茅油、肉桂油、月桂油、茶树油、薄荷油和天竺葵油这 6 种植物精油抑菌谱广且抑菌率高,同时其它几种植物精油抑菌活性也较高。

这 6 种抑菌效果较好的精油对禾谷镰孢菌的

EC₅₀值均在 75 μg/mL 以下,对灰葡萄孢的 EC₅₀ 值也都低于 100 μg/mL,特别是肉桂、天竺葵和薄荷精油对灰葡萄孢的 EC₅₀值都在 40 μg/mL 以下(表 2)。说明这几种精油有较宽的杀菌谱,特别是对禾谷镰孢菌和灰葡萄孢有较强的抑菌活性。

肉桂和天竺葵精油对灰葡萄孢孢子萌发的抑制率均在 90%左右(见表 3),说明它们不仅抑制菌丝生长,而且对孢子萌发也有较好的抑制活性。

2.2 肉桂精油和天竺葵精油对灰葡萄孢菌丝形态的影响

经过肉桂精油 48 h 处理的灰葡萄孢菌丝形态发生明显变化(图 1)。菌丝内部出现空泡,可能是肉桂精油处理后菌丝细胞内部结构破坏,细胞膜受损,内容物释放到细胞外。天竺葵精油处理的灰葡萄孢菌丝形态与空白对照相比,差异不大。

表 1 11 种精油对 6 种植物病原真菌的抑制活性
Table 1 Antifungal activity of eleven essential oils against six plant pathogenic fungi

精油 Essential oils	基源植物 Plants	抑制率 ±S.E Inhibition rate (%)					
		瓜果腐霉 <i>P. aphanidermatum</i>	终极腐霉 <i>P. ultimum</i>	尖镰孢菌 <i>F. oxysporium</i>	茄镰孢菌 <i>F. solani</i>	灰葡萄孢 <i>B. cinere</i>	禾谷镰孢菌 <i>F. graminearum</i>
香茅	<i>Cymbopogon citratus</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA
野菊花	<i>Chrysanthemum indicum</i>	100.00 ± 0.00aA	89.98 ± 2.42bB	85.31 ± 1.89bB	100.00 ± 0.00aA	63.20 ± 3.55cC	100.00 ± 0.00aA
月桂	<i>Laurus nobilis</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA
广藿香	<i>Pogostemon cablin</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	70.96 ± 4.12cC	95.93 ± 2.91bB	53.27 ± 3.00dD	100.00 ± 0.00aA
天竺葵	<i>Pelargonium hortorum</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA
茶树	<i>Melaleuca alternifolia</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA
迷迭香	<i>Rosmarinus officinalis</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	86.65 ± 3.36bB	100.00 ± 0.00aA	73.15 ± 4.11bB	100.00 ± 0.00aA
薰衣草	<i>Lavandula angustifolia</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	76.72 ± 3.26bB	100.00 ± 0.00aA
肉桂	<i>Cinnamomum cassia</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA
柠檬	<i>Citrus limonum</i>	67.37 ± 2.09bB	100.00 ± 0.00aA	73.15 ± 2.07cC	100.00 ± 0.00aA	43.55 ± 3.29eE	100.00 ± 0.00aA
薄荷	<i>Mentha haplocalyx</i>	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA

注:数据后的不同小写字母表示在方差分析(Duncan 新复极差法)中于 0.05 水平上差异显著,不同大写字母表示在方差分析(Duncan 新复极差法)中于 0.01 水平上差异极显著。下表同。
Notes: Means followed by the same letter, within a column, are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). The same below.

表 2 6 种植物精油和对照药剂对禾谷镰孢菌和灰葡萄孢的 EC₅₀ 值
Table 2 EC₅₀ value toxicity test of six essential oils and control fungicides against *F. graminearum* and *B. cinerea*

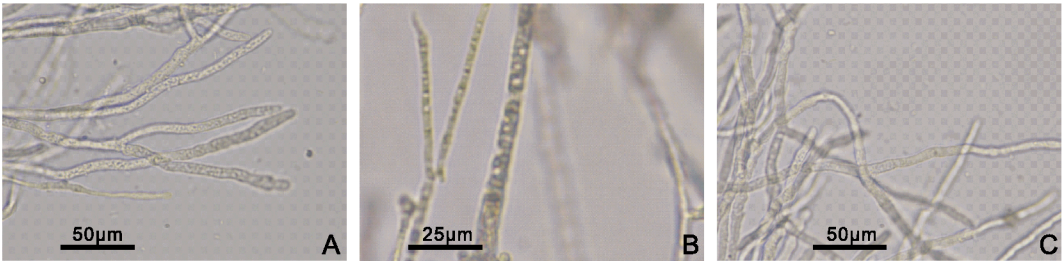
精油 Essential oils	基源植物 Plants	禾谷镰孢菌 <i>F. graminearum</i> EC ₅₀ (μg/mL)	灰葡萄孢 <i>B. cinerea</i> EC ₅₀ (μg/mL)	杀菌剂 Fungicides	禾谷镰孢菌 <i>F. graminearum</i> EC ₅₀ (μg/mL)	灰葡萄孢 <i>B. cinerea</i> EC ₅₀ (μg/mL)
肉桂	<i>Cinnamomum cassia</i>	42.96	29.05	腐霉利 Procymidone	—	4.56
天竺葵	<i>Pelargonium hortorum</i>	68.48	34.02			
薄荷	<i>Mentha haplocalyx</i>	41.10	38.03			
香茅	<i>Cymbopogon citratus</i>	68.12	74.31	甲基硫菌灵 Thiophanate-Methyl	3.99	—
月桂	<i>Laurus nobilis</i>	74.98	93.12			
茶树	<i>Melaleuca alternifolia</i>	58.87	64.37			

注:EC₅₀为有效中浓度。
Note: EC₅₀, Median effective concentration.

表3 两种精油对灰葡萄孢孢子萌发的抑制作用
Table 3 Inhibition effect of two essential oils on *B. cinerea* spore germination

精油 Essential oils	基源植物 Plants	抑制率±S.E Inhibition rate (%)		
		孢子萌发率 Pore germination rate	处理校正孢子萌发率 Correction spore germination rate	孢子萌发相对抑制率 Pore germination relative inhibition rate
肉桂	<i>Cinnamomum cassia</i>	7.00 ± 0.58 bA	7.59 ± 0.68 aA	91.78 ± 0.79 aA
天竺葵	<i>Pelargonium hortorum</i>	9.33 ± 0.88 aA	10.12 ± 1.03 aA	89.02 ± 1.20 aA

注：数据后的字母含义同表1。
Note: Means followed by the same letter with the same meaning as in Table 1.



A. 对照; B. 肉桂精油处理; C. 天竺葵精油处理。
A. Control; B. Cinnamon oil; C. Geranium oil.

图1 精油对灰葡萄孢菌丝形态的影响
Fig. 1 Effect of essential oils on hyphal morphology of *B. cinerea*

2.3 肉桂精油和天竺葵精油对灰葡萄孢细胞膜渗透性的影响

对灰葡萄孢菌丝体电导率的测定发现(图2),加入肉桂精油的液体电导率明显增加。而加入天竺葵精油培养一定时间后,液体的电导率相比对照明显降低。说明两种精油均能导致菌丝细胞膜透性变化,对灰葡萄孢菌丝体内含物的渗透产生影响,从而造成液体电导率的变化。

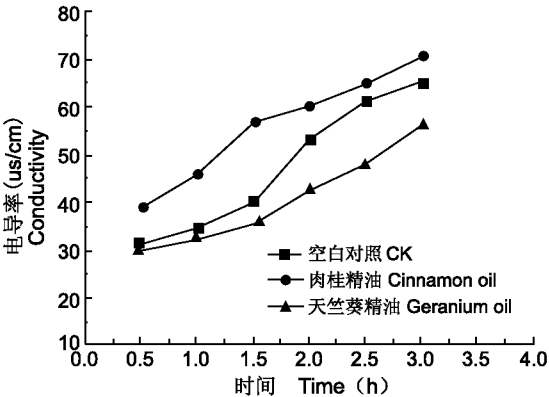


图2 精油对灰葡萄孢菌丝体细胞膜渗透性的影响
Fig. 2 Effect of essential oils on cellular leakage of hyphae of *B. cinerea*

3 讨论

植物精油是由几十种化合物组成的复杂混合

物,主要成分为萜烯、倍半萜烯及其氧化物,此外还有醛、酮、酯、酸等,其中醛类的抗真菌活性最高,其次为醇、酚等^[11],如百里香精油的主要成分百里酚、丁香精油的主要成分丁香酚、香紫苏精油的主要成分香紫苏醇等均具有广谱的抑菌效果^[12]。本研究发现肉桂和天竺葵精油的抑菌作用很好,可能与其含有丰富的肉桂醛和香茅醇有关^[13,14]。

研究表明,香叶醇可提高细胞外渗透并增加真菌细胞的流动性、降低细胞膜脂质层的相变温度及膜脂的流动性^[15]。细胞膜在维持细胞生命活动所需内含物(如糖类,蛋白质,无机盐等)含量上发挥重要作用,细胞膜损伤则导致细胞内含物的渗漏^[16]。细胞膜通透性异常增加,是细胞损伤的早期表现。研究发现,作用于细胞膜的抗菌物质能使病菌蛋白质、核酸、金属离子外泄^[17]。Knobloch等^[18]研究了多种萜类对菌类的初生能量代谢、NADH及丁二酸脱氢酶(SDH)活性、呼吸过程的电子传递过程的影响,发现在 5×10^{-2} mol/L时,所有供试萜类都能抑制上述反应,从而影响菌类的呼吸作用及细胞膜功能。本研究发现,肉桂精油可提高细胞外渗透,造成内含物质的渗漏。天竺葵精油则可能是通过降低灰葡萄孢的呼吸作用,从而影响到细胞膜的功能,降低了其通透性。

Bhuyan 等^[19]对辣薄荷草和过江藤叶精油杀菌活性进行了研究,发现它们对立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)和稻平脐蠕孢菌(*Bipolaris oryzae*)具有很好的杀菌作用。通过 GC-MS 分析,辣薄荷草精油的主要成分为薄荷酮(54.36%)和水芹烯(30.86%),过江藤叶精油的主要成分为香叶醛(25.9%)和橙花醛(14.6%)。Pitarokili 等^[20]验证了鼠尾草(*Salvia fruticosa*)精油对5种植物病原真菌均具有较好的杀菌作用,测定其主要活性成分为樟脑,在500 $\mu\text{L/L}$ 时对核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)和茄镰孢菌的抑制率分别为51.65%和64.86%。本研究筛选出了一批抑菌活性较好的植物精油,在植物真菌病害的生物防治中具有潜在的应用价值。尤其是香茅油、肉桂油、天竺葵油、月桂油、茶树油和薄荷油对6种供试病原真菌的抑制率均高达100%(见表2),明显优于柠檬油、广藿香油、野菊花油等精油,具有抑菌活性高、抑菌谱广的特点。

上述研究的结果表明,这些植物精油中都含有较高活性的抑菌成分,如在活性追踪指导下,对其成分进行分离纯化,并进行结构修饰和改造,鉴定其活性成分的化学结构,有可能得到活性更高的、具有农药活性的先导化合物,进而开发出新型的环境友好型农药。

参考文献:

- [1] 李扬苹,何霞红,朱有勇. 7种精油对香荚兰根腐病尖镰孢菌抑菌作用的初步研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2004, 32(10): 89-93.
- [2] 叶舟. 4种林木精油的抑菌活性[J]. 福建农林大学学报, 2007, 36(3): 312-315.
- [3] 叶舟,林文雄,陈伟. 杉木心材精油抑菌活性及其化学成分研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2394-2398.
- [4] Faleiro M L, Miguel M G, Ladeiro F. Antimicrobial activity of essential oils isolated from Portuguese endemic species of *Thymus* [J]. *Lett Appl Microbiol*, 2003, 36(1): 35-40.
- [5] Romagnoli C, Bruni R, Andreotti E. Chemical characterization and antifungal activity of essential oil of capitula from wild Indian *Tagetes patula* L. [J]. *Protoplasma*, 2005, 225(1-2): 57-65.
- [6] 中华人民共和国农业部. NY/T 1156.2-2006 中华人民共和国农业行业标准: 农药室内生物测定试验准则——杀菌剂(第2部分): 抑制病原真菌菌丝

生长试验——平皿法[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2006.

- [7] 中华人民共和国农业部. NY/T 1156.1-2006 中华人民共和国农业行业标准: 农药室内生物测定试验准则——杀菌剂(第1部分): 抑制病原真菌孢子萌发试验——凹玻片法[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2006.
- [8] 陈年春. 农药生物测定技术[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991: 161-162.
- [9] 王兴全, 张新虎, 杨顺义. 苍耳提取物对番茄灰霉病菌抑制机理的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2008, 43(3): 107-110.
- [10] Lee H J, Choi G J, Cho K Y. Correlation of lipid peroxidation in *Botrytis cinerea* caused by dicarboximide fungicides with their fungicidal activity [J]. *J Agric Food Chem*, 1998, 46: 737-741.
- [11] Kurita N, Miyaji M, Kurane R. Antifungal activity of components of essential oils [J]. *Agric Biol Chem*, 1981, 45(4): 945-952.
- [12] 胡林峰, 许明录, 朱红霞. 植物精油抑菌活性研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23: 384-391.
- [13] 李玲玲, 袁文杰. 肉桂油气相色谱与气质联用分析[J]. 药物分析杂志, 2000, 20(2): 116-118.
- [14] 吴建挺, 张博, 张悦丽, 等. 天竺葵精油抑菌活性及其主要抑菌成分[J]. 北京农业, 2013(3): 4-5.
- [15] Bard M. Geraniol interferes with membrane functions in strains of *Candida* and *Saccharomyces* [J]. *Lipids*, 1988, 23: 534-538.
- [16] Wei M K, Wu Q P, Huang Q. Plasma membrane damage to *Candida albicans* caused by chlorine dioxide (ClO_2) [J]. *Lett Appl Microbiol*, 2008, 47(2): 67-73.
- [17] Odds F C, Brown A J P, Cow N A R. Antifungal agents: mechanisms of action [J]. *Trends Microbiol*, 2003, 11(6): 272-279.
- [18] Knobloch K. Mechanism of antimicrobial activity of essential oils [J]. *Planta Med*, 1986, 52: 556.
- [19] Bhuyan P D, Chutia M, Pathak M G. Effect of essential oils from *Lippia geminata* and *Cymbopogon jwarancusa* on *in vitro* growth and sporulation of two rice pathogens [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2010, 87(11): 1333-1340.
- [20] Pitarokili D, Tzakou O, Loukis A. Volatile metabolites from *Salvia fruticosa* as antifungal agents in soilborne pathogens [J]. *J Agric Food Chem*, 2003, 51(11): 3294-3301.

(责任编辑: 王豫鄂)