



吴华, 戴建青, 陈大嵩, 欧剑峰, 黄鸿. 植物精油对草菇双额岩小粪蝇的产卵驱避效果及毒力测定 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 753–759.

## 植物精油对草菇双额岩小粪蝇的产卵 驱避效果及毒力测定

吴 华, 戴建青\*, 陈大嵩, 欧剑峰, 黄 鸿\*

(广东省科学院, 广东省生物资源应用研究所, 广东省动物保护与资源利用重点实验室, 广东省野生动物保护与利用公共实验室, 广州 510260)

**摘要:** 在室内采用选择性试验测定了 14 种植物精油单组分化合物对草菇双额岩小粪蝇 *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) 的产卵驱避效果及在室外采用非选择试验测定了其中 3 种化合物的产卵驱避效果及毒力测定。结果表明: 各精油浓度为 10 000 mg/L 时,  $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛表现出明显的产卵驱避效果, 其选择性产卵驱避率分别是  $60.17\% \pm 9.57\%$ 、 $51.07\% \pm 2.63\%$  和  $47.66\% \pm 7.10\%$ , 产卵量均显著低于对照; 月桂烯、 $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯和异松油烯产卵驱避作用效果不明显。 $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛对双额岩小粪蝇幼虫均具有一定的毒性, 对幼虫的校正死亡率分别是  $5.11\% \pm 3.54\%$ 、 $42.68\% \pm 3.94\%$  和  $14.47\% \pm 6.92\%$ ; 丁香酚对双额岩小粪蝇幼虫的毒力最大,  $LC_{50}$  为 16 965.159 mg/L。其次是茴香醛,  $LC_{50}$  为 311 941.332 mg/L。 $\alpha$ -松油醇毒力最差,  $LC_{50}$  为 40 676 080.550 mg/L。进一步非选择性试验结果表明  $\alpha$ -松油醇 (1 250 mg/L ~ 20 000 mg/L)、丁香酚 (625 mg/L ~ 20 000 mg/L) 和茴香醛 (2 500 mg/L ~ 20 000 mg/L) 对双额岩小粪蝇具有明显的产卵驱避效果, 驱避效果随施用浓度的增加而显著增加。在浓度为 20 000 mg/L 时  $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛的非选择性产卵驱避率分别为  $69.75\% \pm 3.98\%$ 、 $60.75\% \pm 1.94\%$  和  $57.23\% \pm 3.38\%$ 。本研究为草菇生产中双额岩小粪蝇的无公害防治及高效环保的植物源驱避剂的开发提供参考。

**关键词:** 植物精油; 双额岩小粪蝇; 产卵驱避;  $\alpha$ -松油醇; 丁香酚; 茴香醛

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 03-753-07

### Oviposition repellent effect and toxicity of plant essential oil on mushroom fly, *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) (Diptera: Sphaeroceridae)

WU Hua, DAI Jian-Qing\*, CHEN Da-Song, OU Jian-Feng, HUANG Hong\* (Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Guangdong Institute of Applied Biological Resources, Guangdong Academy of Science, Guangzhou 510260, China)

**Abstract:** In order to develop an environmentally friendly approach to control *Bifronsina bifrons* (Stenhammar), fourteen plant-derived essential oils were tested for their efficacy on control or toxic activity at a concentration of 10 000 mg/L in the laboratory. The results showed that  $\alpha$ -terpineol, eugenol, and p-Anisaldehyde had significant control against *B. bifrons*. Control efficacies were 60.17%, 51.07%, and 47.66%, respectively. The control efficacies of Myrcene,  $\alpha$ -Pinene,  $\beta$ -Pinene, and Terpinolene were not obvious. Eugenol has a certain toxic effect on larvae of *B. bifrons*, and the corrected mortality rate for

基金项目: 广州市科技计划项目 (201607010105); 广东省科学院科技发展专项 (2018GDASCX-0107)

作者简介: 吴华, 男, 1974 年生, 工程师, 主要从事化学生态研究, E-mail: wu7478@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 戴建青, 博士, 副研究员, 主要研究方向为昆虫化学生态, E-mail: jqdai@giabr.gd.cn; 黄鸿, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为害虫综合防治, E-mail: gdipml@giabr.gd.cn

收稿日期 Received: 2019-07-11; 接受日期 Accepted: 2020-02-18

larvae reaches 42.68%.  $\alpha$ -terpineol and p-Anisaldehyde were no obvious poisoning to *B. bifrons*. Furthermore, the field trials showed that  $\alpha$ -terpineol (1 250 mg/L ~ 20 000 mg/L), eugenol (625 mg/L ~ 20 000 mg/L), and p-Anisaldehyde (2 500 mg/L ~ 20 000 mg/L) had significant control against adults of *B. bifrons*. The control efficacies increased significantly as the concentration.

**Key words:** Essential oil; *Bifronsina bifrons* (Stenhammar); oviposition repellent;  $\alpha$ -terpineol; eugenol; p-anisaldehyde

植物精油是植物挥发油的总称, 是植物体内的挥发性次生代谢物, 由分子量相对较小的简单化合物组成, 在土壤中可迅速降解。植物精油对害虫的生物活性较高, 作用方式多样, 主要为驱避、引诱、触杀、熏蒸及种群抑制等 (吕建华等, 2006)。有研究表明: 许多非寄主植物精油对昆虫有产卵驱避作用, 可以阻止昆虫在寄主植物上产卵繁殖, 从而使寄主植物免遭害虫为害 (张茂新等, 2003; 黎卓维等, 2007)。

双额岩小粪蝇 *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) 是广州地区草菇 *Volvariella volvacea* 的主要害虫 (欧剑峰等, 2009)。而针对植物精油单组分对草菇害虫双额岩小粪蝇作用活性研究还鲜见报道。因此, 本文研究了 14 种植物精油单组分化合物对草菇害虫双额岩小粪蝇产卵驱避效果, 以期找到能够对双额岩小粪蝇具有显著驱避效果的活性化合物, 为双额岩小粪蝇的无公害防治提供有效参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试虫源

双额岩小粪蝇采自白云区人和镇东坤草菇栽培场, 选取健康活泼成虫吸入三角瓶中带回实验室, 饲养于装有 300 g 草菇培养料 (废棉花 55%, 稻草 40%, 生石灰 5%; 折合干料 100 g) 的塑料盒 (17 cm × 12 cm × 5 cm) 中, 塑料盒用 100 目的纱网 (30 cm × 30 cm × 30 cm) 罩住, 放在 RXZ 型 (多段编程) 智能人工气候箱 (宁波江南仪器厂制造) 中保温保湿, 温度保持在 22 ~ 25℃, 湿度在 80% 以上。连续饲养 3 代后, 形成稳定的实验室种群备用。

### 1.2 主要试剂与仪器

$\alpha$ -松油醇、柠檬醛、香茅醛、3-萜烯、香叶醇、芳樟醇, 单体香料, 含量 95%, 均购于江西吉安吉水县俊达天然香料油厂。 $\beta$ -蒎烯、 $\alpha$ -蒎烯、

异松油烯、月桂烯、丁香酚, 含量 95%, 均购于江西省赣南天然香料油有限公司。柠檬烯 95.0%、茴香醛 99.0%, 购于广东翁江化学试剂有限公司。 $\beta$ -石竹烯 90%, 购于东京化成工业株式会社。吐温-80, 购自山东淄博海杰化工有限公司。RXZ 型 (多段编程) 智能人工气候箱为宁波江南仪器厂产品。

### 1.3 药剂配制

精油的配制: 用 1 000 mg/L 的吐温水溶液将各精油稀释成最终有效浓度为 625 mg/L、1 250 mg/L、2 500 mg/L、5 000 mg/L、10 000 mg/L、20 000 mg/L 的乳化液, 备用。

### 1.4 供试化合物对双额岩小粪蝇的产卵驱避作用

采用选择性产卵驱避率法 (黎卓维等, 2007; 胡黎明等, 2012) 试验: 塑料盒 (17 cm × 12 cm × 5 cm) 装 300 g 草菇培养料 (折合干料 100 g), 喷施 10 000 mg/L 的精油乳化液 5 mL 为处理组, 以喷施 1 000 mg/L 的吐温水溶液 5 mL 为对照组。1 个处理组和 1 个对照组对角放置于 1 个网笼 (75 cm × 75 cm × 75 cm) 内, 网笼内放入双额岩小粪蝇雌、雄各 50 头。通风放置 24 h 后调查产卵量。5 点取样草菇培养基表层 (层厚 < 2 cm), 将所取样品混合后称取 50 g 培养基, 用 20 倍放大镜来调查草菇培养料里面的产卵数。每个处理 5 次重复。评价供试化合物对双额岩小粪蝇产卵的驱避作用。计算公式为:

选择性产卵驱避率 (%) =  $[(C - T) / (C + T)] \times 100$   
式中, C 为对照组卵量, T 为处理组卵量。

### 1.5 供试化合物对双额岩小粪蝇的各虫态的毒性试验

选择在室内对双额岩小粪蝇产卵驱避效果明显的植物精油单组分化合物进行各虫态毒性试验。参照曲绍轩等 (2015) 实验方法。供试虫态包括 1 日卵龄卵、2 日龄蛹、3 龄幼虫和羽化后 1 日龄成虫。每个处理重复 5 次, 每重复 20 粒 (头)。

成虫培养于纱网养虫笼内的塑料盒 (17 cm × 12 cm × 5 cm) 装 300 g 草菇培养料 (折合干料 100 g) 中, 取 5 mL 的 10 000 mg/L 精油乳化液直接对成虫和纱网进行喷雾处理, 对照组喷 5 mL 的 1 000 mg/L 吐温水溶液。其它各虫态分别放置于直径 70 mm 的培养皿内, 皿内铺有滤纸保湿, 取 2 mL 的 10 000 mg/L 精油乳化液喷雾处理, 对照组喷 2 mL 的 1 000 mg/L 吐温水溶液, 其中幼虫添加草菇培养料, 其他虫态不添加食物。经处理后的网笼、培养皿均转入到 25℃、RH 80% 的人工气候箱内培养观察。培养 24 h 后观察, 成虫能正常活动记为存活, 幼虫用毛笔轻触有反应视为存活。蛹可发育到下一虫态, 视为存活, 卵可孵化成幼虫视为存活。记录卵的孵化情况、幼虫的存活情况、蛹的羽化情况和成虫存活情况。计算各虫态的死亡率和校正死亡率。校正死亡率的计算公式如下 (张等宏等, 2016):

$$\text{死亡率}(\%) = \text{死亡虫数} / \text{供试虫数} \times 100$$

$$\text{校正死亡率}(\%) = (\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率}) / (100 - \text{对照组死亡率}) \times 100$$

### 1.6 供试化合物对双额岩小粪蝇幼虫的毒力

采用喷雾法测试植物精油单组分化合物对双额岩小粪蝇幼虫的毒力。在直径 70 mm 的培养皿内, 皿内铺有滤纸保湿, 用毛笔每皿接入 20 头双额岩小粪蝇幼虫, 取 2 mL 5 个不同剂量 (625 mg/L、1 250 mg/L、2 500 mg/L、5 000 mg/L、10 000 mg/L、20 000 mg/L) 的精油乳化液喷雾处理, 对照组喷 2 mL 的 1 000 mg/L 吐温水溶液。处理后添加草菇培养料, 培养皿转入到 25℃、RH 80% 的人工气候箱内培养观察。处理 24 h 后记录幼虫死亡数目, 幼虫用毛笔轻触有反应视为存活。统计幼虫死亡率, 并求出毒力回归方程。

### 1.7 供试化合物对双额岩小粪蝇田间 (草菇生产现场) 产卵驱避试验

选择在室内对双额岩小粪蝇产卵驱避效果明显的植物精油单组分化合物进行田间 (草菇生产现场) 产卵驱避效果考察, 田间试验在广州白云区人和镇东坤草菇栽培场进行, 采用非选择性产卵驱避率法 (黎卓维等, 2007), 处理组的塑料盒 (17 cm × 12 cm × 5 cm) 装 300 g 草菇培养料, 用 5 mL 5 个不同浓度 (625 mg/L、1 250 mg/L、

2 500 mg/L、5 000 mg/L、10 000 mg/L、20 000 mg/L) 的精油乳化液喷雾处理, 对照组喷施 5 mL 的 1 000 mg/L 的吐温水溶液。每处理 4 盒, 每处理取 2 盒放置于草菇培养料预处理堆沤物区, 另外 2 盒放置于菇房门口, 各处理组和对照组成对放置在相同试验区内。24 h 后调查产卵量。5 点取样草菇培养基表层 (层厚 < 2 cm), 将所取样品混合后称取 50 g 培养基, 用 20 倍放大镜来调查草菇培养料里面的产卵数。每个处理 5 次重复。评价供试化合物对双额岩小粪蝇产卵的驱避作用。产卵驱避效果的计算公式为:

$$\text{非选择性产卵驱避率}(\%) = [(C - T) / C] \times 100$$

式中, C 为对照组卵量, T 为处理组卵量。

### 1.8 数据处理方法

应用 SPSS 24.0 软件对实验数据进行处理, 多组间均数比较采用 ANOVA 分析, 多重比较采用 R-E-G-W Q 分析法, 对照与处理之间的差异显著性采用成对样本 T 检验方法进行比较。毒力测定用 Probit 模块 (概率单位回归) 求出毒力回归线。显著性差异水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 14 种植物精油单组分对双额岩小粪蝇产卵的影响

14 种植物精油单组分化合物在浓度 10 000 mg/L 时对双额岩小粪蝇产卵驱避测定结果表明 (表 1): 经  $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛处理后, 双额岩小粪蝇雌虫的产卵量均显著低于对照 ( $P < 0.05$ ), 产卵驱避率分别是 60.17%  $\pm$  9.57%、51.07%  $\pm$  2.63% 和 47.66%  $\pm$  7.10%; 经月桂烯、 $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯和异松油烯处理后, 双额岩小粪蝇雌虫的产卵量与对照比较, 产卵驱避率分别为 -1.32%  $\pm$  3.91%、-2.41%  $\pm$  4.44%、-3.16%  $\pm$  6.55% 和 -3.15%  $\pm$  4.15%, 差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛对双额岩小粪蝇各虫态的毒性试验

根据 2.1 的结果, 本实验选择  $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛这 3 种化合物对双额岩小粪蝇各虫态进行毒性测定。经过 10 000 mg/L  $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛处理后的双额岩小粪蝇各虫态的毒

性试验结果表明 (表 2):  $\alpha$ -松油醇对双额岩小粪蝇幼虫的校正死亡率为  $5.11\% \pm 3.54\%$ , 与对照比差异达到显著 ( $P < 0.05$ ), 卵、蛹、成虫则均差异不显著 ( $P > 0.05$ )。丁香酚对双额岩小粪蝇幼虫、卵、蛹的校正死亡率分别为  $42.68\% \pm 3.94\%$ 、 $19.65\% \pm 7.09\%$ 、 $16.76\% \pm 4.83\%$ , 与对照比均达到极显著 ( $P < 0.01$ ), 对成虫的校正死亡率为  $8.44\% \pm 5.05\%$ , 与对照比达到显著 ( $P < 0.05$ )。茴香醛对双额岩小粪蝇幼虫的校正死亡率为  $14.47\% \pm 6.92\%$ , 与对照比达到极显著 ( $P < 0.01$ ), 对卵的校正死亡率为  $8.16\% \pm 4.34\%$ , 与对照比达到显著 ( $P < 0.05$ ), 蛹、成虫则均差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 2.3 $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛对双额岩小粪蝇幼虫的毒力

根据 2.2 的结果, 3 种精油对双额岩小粪蝇各虫态校正死亡率与对照比较均达到显著的虫态是

幼虫, 因而本实验的精油毒力试验, 选择双额岩小粪蝇幼虫。3 种精油对双额岩小粪蝇幼虫的毒力回归方程和  $LC_{50}$  结果表明 (表 3): 丁香酚对双额岩小粪蝇幼虫的毒力最大,  $LC_{50}$  为  $16\ 965.159\text{ mg/L}$ 。其次是茴香醛,  $LC_{50}$  为  $311\ 941.332\text{ mg/L}$ 。 $\alpha$ -松油醇毒力最差,  $LC_{50}$  为  $40\ 676\ 080.550\text{ mg/L}$ 。

### 2.4 $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛对双额岩小粪蝇的田间产卵驱避效果

植物精油单组分化合物  $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛对双额岩小粪蝇的田间产卵驱避效果表明 (图 1):  $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛对双额岩小粪蝇产卵驱避率随着浓度的增加呈现出显著的正相关性, 浓度越高, 产卵驱避效果越好。其中,  $20\ 000\text{ mg/L}$   $\alpha$ -松油醇产卵驱避率可达  $69.75\% \pm 3.98\%$ ,  $20\ 000\text{ mg/L}$  丁香酚可达  $60.75\% \pm 1.94\%$ ,  $20\ 000\text{ mg/L}$  茴香醛则达  $57.23\% \pm 3.38\%$ 。

表 1 各植物精油单组分化合物在浓度  $10\ 000\text{ mg/L}$  时对双额岩小粪蝇产卵的影响 (选择性试验)

Table 1 Oviposition deterrent rate of each plant-derived volatiles against adult *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) at the concentration of  $10\ 000\text{ mg/L}$  under the laboratory condition (Selective test)

化合物 Compounds	产卵量 (粒/50 g 培养基) Average catch count		产卵驱避率 (%) Oviposition deterrent rate
	处理 Treatment	对照 Control	
$\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -Terpineol	$18.40 \pm 4.98$	$73.40 \pm 2.07$	$(60.17 \pm 9.57)^{**}$
丁香酚 Eugenol	$24.40 \pm 3.21$	$75.00 \pm 5.05$	$(51.07 \pm 2.63)^{**}$
茴香醛 p-Anisaldehyde	$25.40 \pm 4.62$	$71.20 \pm 3.11$	$(47.66 \pm 7.10)^{**}$
月桂烯 Myrcene	$83.80 \pm 4.09$	$81.60 \pm 3.78$	$(-1.32 \pm 3.91)$
$\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene	$84.20 \pm 4.27$	$80.20 \pm 3.35$	$(-2.41 \pm 4.44)$
$\beta$ -蒎烯 $\beta$ -Pinene	$89.80 \pm 6.83$	$84.20 \pm 4.92$	$(-3.16 \pm 6.55)$
异松油烯 Terpinolene	$87.80 \pm 4.32$	$82.40 \pm 3.44$	$(-3.15 \pm 4.15)$
芳樟醇 Linalool	$110.20 \pm 10.43$	$70.40 \pm 5.32$	$(-21.95 \pm 3.68)^{**}$
$\beta$ -石竹烯 $\beta$ -Caryophyllene	$130.60 \pm 11.59$	$82.60 \pm 6.19$	$(-22.39 \pm 6.81)^{**}$
香茅醛 Citronellal	$140.60 \pm 11.48$	$78.80 \pm 9.01$	$(-28.24 \pm 5.01)^{**}$
香叶醇 Geraniol	$147.00 \pm 10.58$	$80.00 \pm 8.60$	$(-29.61 \pm 2.97)^{**}$
柠檬烯 Limonene	$171.20 \pm 12.32$	$77.20 \pm 8.79$	$(-37.97 \pm 1.92)^{**}$
柠檬醛 Citral	$214.00 \pm 13.87$	$74.00 \pm 7.35$	$(-48.66 \pm 2.85)^{**}$
3-萜烯 3-Carene	$224.20 \pm 17.77$	$74.20 \pm 7.82$	$(-50.27 \pm 3.41)^{**}$

注: 表中数据为平均产卵数  $\pm$  标准差 ( $n=5$ ); \* 表示对照与处理之间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); \*\* 表示对照与处理之间存在极显著差异 ( $P < 0.01$ )。Note: Values are the means  $\pm$  SD ( $n=5$ ); \* and \*\* indicate a significant difference between treatment and the control at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively.

表 2 10 000 mg/L α-松油醇、丁香酚和茴香醛处理对双额岩小粪蝇各虫态的毒性

Table 2 Effect of 10 000 mg/L α-Terpineol, 10 000 mg/L eugenol, and 10 000 mg/L p-Anisaldehyde on *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) at different developmental stages

虫态 Stage	α-松油醇 α-Terpineol		丁香酚 Eugenol		茴香醛 p-Anisaldehyde	
	死亡率 (%) Mortality	校正死亡率 (%) Corrected mortality	死亡率 (%) Mortality	校正死亡率 (%) Corrected mortality	死亡率 (%) Mortality	校正死亡率 (%) Corrected mortality
卵 Egg	6.00 ± 4.18	(4.05 ± 4.20)	23.00 ± 5.70	(19.65 ± 7.09)**	11.00 ± 2.24	(8.16 ± 4.34)*
幼虫 Larva	9.00 ± 2.24	(5.11 ± 3.54)*	45.00 ± 3.54	(42.68 ± 3.94)**	17.00 ± 7.58	(14.47 ± 6.92)**
蛹 Pupa	8.00 ± 5.70	(4.11 ± 4.22)	20.00 ± 7.07	(16.76 ± 4.83)**	8.00 ± 5.70	(4.21 ± 4.40)
成虫 Adult	6.00 ± 2.24	(2.05 ± 2.81)	12.00 ± 7.58	(8.44 ± 5.05)*	9.00 ± 4.18	(3.11 ± 2.84)

注: 表中数据为平均值 ± 标准差 (n=5); \* 表示对照与处理之间存在显著差异 (P<0.05); \*\* 表示对照与处理之间存在极显著差异 (P<0.01)。Note: Values are the means ± SD (n=5); \* and \*\* indicate a significant difference between treatment and the control at P<0.05 and P<0.01, respectively.

表 3 α-松油醇、丁香酚和茴香醛对双额岩小粪蝇幼虫的毒力

Table 3 Virulence of α-Terpineol, eugenol, and p-Anisaldehyde to *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) larva

化合物 Compounds	毒力回归方程 Virulence regression equation	LC <sub>50</sub> (mg/L)	95% 置信限度 Confidence limits	卡方 χ	自由度 df	显著性 P
α-松油醇 α-Terpineol	Y = -3.488 + 0.458 X	40 676 080.550	-	0.043	4	1.00
茴香醛 p-Anisaldehyde	Y = -4.089 + 0.744 X	311 941.332	39 157.997 ~ 1.304E + 33	0.171	4	0.997
丁香酚 Eugenol	Y = -4.120 + 0.974 X	16 965.159	8 625.668 ~ 92 136.586	0.510	4	0.973

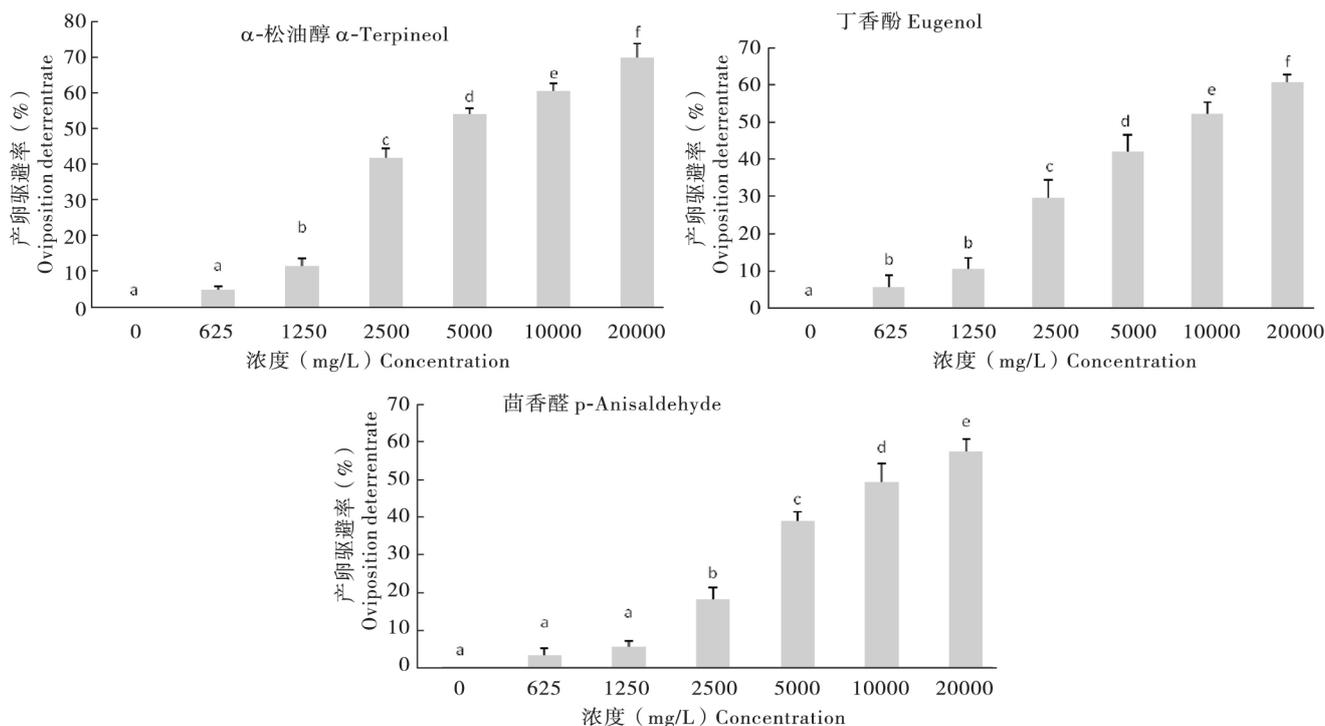


图 1 α-松油醇、丁香酚和茴香醛系列浓度对双额岩小粪蝇成虫的田间产卵驱避率 (非选择性试验)

Fig. 1 Oviposition deterrent rate of α-Terpineol, eugenol, and p-Anisaldehyde against adult *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) in the field (nonselective test)

注: 不同小写字母者, 表示在 P<0.05 存在显著差异。Note: Different lowercase letters indicate a significant difference at P<0.05.

### 3 结论与讨论

植物精油因具有对人、畜安全、作用方式新颖和不污染环境等优点而备受关注。关于植物精油对多种植食性昆虫驱避、拒食、熏蒸和毒杀活性的研究也有许多文献报道(徐汉虹和赵善欢, 1995; 吕建华等, 2006; 黎卓维等, 2007; 丁玉军等, 2009; 边文波等, 2012), 但植物精油单组分对双额岩小粪蝇作用活性的研究还鲜见报道。吴华等(2019)报道了三角瓶密闭熏蒸法测试月桂烯、 $\alpha$ -蒎烯、异松油烯3种植物精油对双额岩小粪蝇的熏杀、击倒作用及其混配增效作用。本研究发现在开放环境里, 月桂烯、 $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、异松油烯对双额岩小粪蝇的产卵驱避作用不明显。研究发现 $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛, 无论是室内选择性试验还是田间非选择性试验, 对双额岩小粪蝇成虫均具有明显的产卵驱避效果, 且随着 $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛浓度的增加其产卵驱避效果显著增加。

据报道, 芳樟醇、香叶醇、柠檬醛对白纹伊蚊 *Aedes albopictus* 和德国小蠊 *Blattella germanica* 雄性成虫有驱避作用(郝蕙玲等, 2008; 林永丽等, 2008; 邵明辉等, 2015), 柠檬烯对松小蠹 *Dendroctonus brevicomis* 有驱避作用(徐汉虹和赵善欢, 1994), 迷迭香挥发物中 $\beta$ -石竹烯明显地驱避茶树害虫假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* (Gothe) (钮羽群等, 2015)。但本研究的室内试验结果表明, 芳樟醇、 $\beta$ -石竹烯、香叶醇、柠檬烯、柠檬醛对双额岩小粪蝇无驱避活性。

研究表明 $\alpha$ -松油醇对草菇主要害虫双额岩小粪蝇有驱避活性, 而文献报道 $\alpha$ -松油醇对草菇的另一种害虫平菇厉眼蕈蚊 *Lycoriella pleuroti* 也有驱避活性(吴华等, 2018)。证明 $\alpha$ -松油醇可兼治草菇的两种害虫, 可作为防治草菇害虫的一种基础性的精油成分。 $\alpha$ -松油醇、丁香酚和茴香醛不仅能驱避双额岩小粪蝇, 还能驱避白蚊伊蚊(郝蕙玲和杜家纬, 2008; 邵明辉等, 2015)。且茴香醛对德国小蠊雄性成虫也有驱避性(林永丽等, 2008)。大量研究表明, 植物精油对昆虫有驱避、引诱、熏蒸、毒杀和抑制害虫生长发育作用。本研究发现丁香酚对双额岩小粪蝇卵、幼虫、蛹和成虫均具有一定的毒杀作用,  $\alpha$ -松油醇对幼虫、茴香醛对卵、幼虫也具有一定的毒杀作用。草菇

双额岩小粪蝇发生数量最多的是在草菇培养料预处理堆沤物上, 大量双额岩小粪蝇在预处理堆沤物上面产卵并随着培养基料带进草菇房里面危害(欧剑峰等, 2009), 并且产卵期很短, 通常在12~24 h孵化(刘桂清等, 2009)。可根据双额岩小粪蝇危害的特点, 有针对性地将这3种植物精油喷施在草菇的培养料预处理堆沤物上, 既可以驱避双额岩小粪蝇来预处理堆沤物上产卵, 又可以对已经产卵在预处理堆沤物上并孵出的幼虫产生一定的毒杀作用, 达到事半功倍的防治效果。

### 参考文献 (Reference)

- Bian WB, Wang GC, Gong YF, et al. Repellent and anti-feedant activity of 19 plant essential oils against *Mylokerinus aurolineatus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (2): 496-502. [边文波, 王国昌, 龚一飞, 等. 十九种植物精油对茶丽纹象甲成虫的驱避和拒食活性 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (2): 496-502]
- Ding YJ, Xie HQ, Lin N, et al. Preliminary study oil biological activity of some kinds of plant essential oils [J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2009, 37 (24): 11608-11609. [丁玉军, 谢慧琴, 林楠, 等. 几种植物精油生物活性的初步研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (24): 11608-11609]
- Hao HL, Du JW. Effects of several potential spatial repellents on the host-seeking behavior of *Aedes albopictus* (Skuse) (Diptera: Culicidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (11): 1220-1224. [郝蕙玲, 杜家纬. 几种驱避化合物对白纹伊蚊寄生搜寻能力的影响 [J]. 昆虫学报, 2008, 51 (11): 1220-1224]
- Hu LM, Zeng L, Shen JM, et al. Oviposition deterrent effects and chemical constituents of essential oils from *Cymbopogon nardus* on *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2012, 34 (2): 249-253. [胡黎明, 曾玲, 申建梅, 等. 香茅精油对桔小实蝇产卵驱避作用及其化学成分分析 [J]. 环境昆虫学报, 2012, 34 (2): 249-253]
- Lin YL, Hao HL, Sun JC. Repellency of four plant essential oils to German cockroach, *Blattella germanica* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45 (3): 477-479. [林永丽, 郝蕙玲, 孙锦程. 四种植物精油对德国小蠊的驱避效果 [J]. 昆虫知识, 2008, 45 (3): 477-479]
- Li SQ, Zhang ZN. EAG responses of *Monochamus alternatus Hope* (Coleoptera: Cerambycidae) to volatiles from larval frass and the repellency tests in fields [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (3): 284-289. [李水清, 张钟宁. 松墨天牛成虫对幼虫粪挥发物质的触角电位反应及林间驱避试验 [J]. 昆虫学报, 2008, 51 (3): 284-289]
- Liu GQ, Huang H, Ou JF, et al. Biological characteristics of *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) (Diptera: Sphaeroceridae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2009, 31 (1): 90-92. [刘桂清, 黄鸿, 欧剑峰, 等. 双额岩小粪蝇生物学特性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2009, 31 (1): 90-92]
- Liu GQ, Xu JL, Ou JF, et al. Using entomopathogenic nematodes for

- control of mushroom fly, *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) (Diptera: Sphaeroceridae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (1): 143–146. [刘桂清, 徐洁莲, 欧剑峰, 等. 利用昆虫病原线虫防治草菇双额岩小粪蝇 [J]. 中国生物防治学报, 2012, 28 (1): 143–146]
- Liu YS, Yan SC, Cheng H, et al. Behavioural responses of *Dendrolimus superans* to dahurin larch and its nine volatiles [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45 (4): 72–77. [刘英胜, 严善春, 程红, 等. 落叶松毛虫对兴安落叶松 9 种挥发性物质的行为反应 [J]. 林业科学, 2009, 45 (4): 72–77]
- Li ZW, Zeng XN, Luo S, et al. Deterrent effect of essential oils on oviposition of *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2007, 29 (3): 97–102. [黎卓维, 曾鑫年, 罗诗, 等. 植物精油对荔枝蒂蛀虫的产卵驱避效果 [J]. 昆虫天敌, 2007, 29 (3): 97–102]
- Lv JH, Zhao YJ, Lu YJ. The bioactivities of three kinds of essential oils on four species of important stored-grain insects [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2006, 21 (3): 325–329. [吕建华, 赵英杰, 鲁玉杰. 三种植物精油对四种主要储粮害虫的生物活性研究 [J]. 中国粮油学报, 2006, 21 (3): 325–329]
- Niu YQ, Wang MX, Cui L, et al. Control of the tea green leafhopper via volatile compounds of rosemary: The potential for further development of a Push–Pull strategy [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35 (7): 2380–2387. [钮羽群, 王梦馨, 崔林, 等. 迷迭香挥发物不同组合对假眼小绿叶蝉行为的调控 [J]. 生态学报, 2015, 35 (7): 2380–2387]
- Ou JF, Huang H, Xu JL, et al. Investigation on the occurrence of mushroom fly, *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) (Diptera: Sphaeroceridae) in straw mushroom [J]. *Edible Fungi*, 2009, 6: 59–65. [欧剑峰, 黄鸿, 徐洁莲, 等. 双额岩小粪蝇在草菇上发生调查初报 [J]. 食用菌, 2009, 6: 59–65]
- Qu SX, Ma L, Yuan Y, et al. Survival rates of the mushroom sciarid fly *Lycoriella ingenua* under adverse temperatures [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 688–692. [曲绍轩, 马林, 袁野, 等. 食用菌厉眼蕈蚊 *Lycoriella ingenua* 在温度逆境下的存活率 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (3): 688–692]
- Shao MH, Wang XQ, Zhao WY, et al. Chemical composition of essential oil from chestnut flower and its repellency against *Aedes albopictus* [J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2015, 26 (1): 62–65. [邵明辉, 王雪青, 赵文越, 等. 板栗花精油的化学组成及对白纹伊蚊驱避作用研究 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2015, 26 (1): 62–65]
- Shi W, Liu H, Ye H. Behavioral response of *Bactrocera dorsalis* to five kinds of odor volatile of mango [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (2): 318–321. [施伟, 刘辉, 叶辉. 桔小实蝇对五种芒果气味挥发性物质的行为反应 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (2): 318–321]
- Wu H, Dai JQ, Chen DS, et al. Fumigation effect of three plant essential oils against *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) and their Synergistic effect [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2019, 26 (4): 137–142. [吴华, 戴建青, 陈大嵩, 等. 三种植物精油单组分化合物对双额岩小粪蝇的熏杀击倒及其混配增效作用 [J]. 食用菌学报, 2019, 26 (4): 137–142]
- Wu H, Ou JF, Huang H. Repellent effect of plant essential oils against *Lycoriella pleuroti* [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2018, 25 (1): 74–78. [吴华, 欧剑峰, 黄鸿. 八种植物精油单组分化合物对平菇厉眼蕈蚊的驱避作用 [J]. 食用菌学报, 2018, 25 (1): 74–78]
- Xu HH, Zhao SH. Application of essential oils for the control of insect pests [J]. *Natural Product Research and Development*, 1994, 6 (1): 82–88. [徐汉虹, 赵善欢. 植物精油在害虫防治上的应用 [J]. 天然产物研究与开发, 1994, 6 (1): 82–88]
- Xu HH, Zhao SH. Repellent and ovicidal actions of 5 plant essential oils to stored-grain insects were investigated [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 1995, 10 (1): 1–5. [徐汉虹, 赵善欢. 五种精油对储粮害虫的忌避作用和杀卵作用研究 [J]. 中国粮油学报, 1995, 10 (1): 1–5]
- Zhang DH, Chen E, Zhang XY, et al. Comparative analysis of the contact activity of different fractions from *Stellera chamaejasme* root extracts against two *Tetranychus* and *Acyrtosiphon pisum* [J]. *Plant Protection*, 2016, 42 (6): 229–234. [张等宏, 陈娥, 张小云, 等. 瑞香狼毒根乙醇提取物及 4 种溶剂萃取物对两种叶螨及豌豆蚜的触杀活性比较 [J]. 植物保护, 2016, 42 (6): 229–234]
- Zhang MX, Ling B, Pang XF. Progress and application of oviposition deterrents of non-preferable plants on insect [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2003, 25 (1): 28–36. [张茂新, 凌冰, 庞雄飞. 非嗜食植物中的昆虫产卵忌避物及其利用 [J]. 昆虫天敌, 2003, 25 (1): 28–36]
- Zhang XY, Huo ZG, You CY, et al. Effects of volatiles in twenty non-host plants on the repelled and attractive behaviors of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2014, 35 (3): 63–68. [张献英, 霍治国, 犹昌艳, 等. 20 种非寄主植物挥发物对褐飞虱拒避与引诱行为的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2014, 35 (3): 63–68]
- Zhang Y, Yan FS. Herbivore-induced volatiles and their roles in plant defence [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 41 (2): 204–214. [张瑛, 严福顺. 虫害诱导的植物挥发性次生物质及其在植物防御中的作用 [J]. 昆虫学报, 1998, 41 (2): 204–214]
- Zhou Q, Xu T, Zhang GR, et al. Repellent effects of herbivore-induced rice volatiles on the brown plant hopper, *Nilaparvata lugens* Stål [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46 (6): 739–744. [周强, 徐涛, 张古忍, 等. 虫害诱导的水稻挥发物对褐飞虱的驱避作用 [J]. 昆虫学报, 2003, 46 (6): 739–744]