

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.06.024

胡恒志, 牛平, 刘娟, 等. 两种植物精油对印度谷螟的熏蒸活性研究[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(6): 190-197.

HU H Z, NIU P, LIU J, et al. Research on the fumigation activity of two plant essential oils against *Plodia interpunctella* (Hübner)[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(6): 190-197.

两种植物精油对印度谷螟的熏蒸活性研究

胡恒志, 牛平, 刘娟, 廖江花, 刘霞, 文晓杰, 李超✉

(新疆农业大学 农学院, 农林有害生物监测与安全防控自治区教育厅重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 研究了在室内条件下用薰衣草精油、罗勒精油熏蒸印度谷螟成虫、幼虫后的效果及虫的活性。采用密闭空气滤纸熏蒸法测定薰衣草精油和罗勒精油对印度谷螟成虫和幼虫的熏蒸作用, 分析了薰衣草精油和罗勒精油对印度谷螟成虫、幼虫熏蒸作用的亚致死剂量。罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用强于薰衣草精油, 经时间 96 h、浓度为 50 μL 的薰衣草精油和罗勒精油处理后, 印度谷螟幼虫的死亡率分别为在 92% 和 100%。薰衣草精油和罗勒精油在 2 h 下, 3.5 μL 时对印度谷螟成虫的死亡率为 100% 和 83.33%; 同样在 2 h 下, 薰衣草精油使用量在 3.5 μL 时, 印度谷螟死亡率最高, 而罗勒精油使用量在 4.5 μL 时死亡率为 99.33%。罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用显著高于薰衣草精油, 而薰衣草精油对印度谷螟成虫的熏蒸作用显著高于罗勒精油。

关键词: 印度谷螟; 薰衣草精油; 罗勒精油; 熏蒸活性

中图分类号: S379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)06-0190-08

Research on the Fumigation Activity of Two Plant Essential Oils Against *Plodia interpunctella* (Hübner)

HU Heng-zhi, NIU Ping, LIU Juan, LIAO Jiang-hua, LIU Xia, WEN Xiao-jie, LI Chao✉

(Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control on Crop and Forest in Xinjiang Uygur Autonomous Region, College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumchi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: The fumigation activity and effect of adults and larvae of *Plodia interpunctella* (Hübener) with *Lavandula angustifolia* Mill oil and *Ocimum basilicum* oil on under indoor conditions was studied. The fumigation effect of *Lavandula angustifolia* Mill oil and *Ocimum basilicum* oil on adults and larvae of *Plodia interpunctella* (Hübener) was determined by a closed air filter paper fumigation method. Sublethal doses of *Lavandula angustifolia* Mill oil and *Ocimum basilicum* oil on fumigation of adults and larvae of *Plodia interpunctella* (Hübener) were analyzed. The results showed that the fumigation effect of *Ocimum basilicum* oil on *Plodia interpunctella* (Hübener) larvae was stronger than that of *Lavandula angustifolia*

收稿日期: 2022-06-15

基金项目: 新疆维吾尔自治区天山英才计划 (20210620); 2021 年度新疆农业大学研究生科研创新项目 (XJAUGRI2021008)

Supported by: Tianshan Talent Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. 20210620); 2021 Xinjiang Agricultural University Graduate Research and Innovation Project (No. XJAUGRI2021008)

作者简介: 胡恒志, 男, 2001 年出生, 在读硕士生, 研究方向为储藏物害虫综合治理。E-mail: 1295306917@qq.com.

通讯作者: 李超, 男, 1985 年出生, 博士, 副教授, 研究方向为昆虫生态与害虫综合治理。E-mail: lichao@163.com.

Mill oil. After treatment with *Lavandula angustifolia* Mill oil and *Ocimum basilicum* oil at a concentration of 50 μL for 96 h, the mortality rates of *Plodia interpunctella* (Hübener) larvae were 92% and 100%, respectively. The mortality rates of adults of *Plodia interpunctella* (Hübener) treated with *Lavandula angustifolia* Mill oil and *Ocimum basilicum* oil were 100% and 83.33% at 3.5 μL for 2 h; When both treated for 2 h, 3.5 μL of *Lavandula angustifolia* Mill oil led to the highest mortality rate of *Plodia interpunctella*(Hübener), while 4.5 μL of *Ocimum basilicum* oil only caused 99.33% of mortality rate of *Plodia interpunctella*(Hübener). The study showed that the fumigation effect of *Ocimum basilicum* oil on *Plodia interpunctella*(Hübener) larvae was significantly higher than that of *Lavandula angustifolia* Mill oil, and the fumigation effect of *Lavandula angustifolia* Mill oil on *Plodia interpunctella* (Hübener) adults was significantly higher than that of *Ocimum basilicum* oil.

Key words: *Plodia interpunctella* (Hübener); *Lavandula angustifolia* Mill.; *Ocimum basilicum*; fumigation activity

印度谷螟 *Plodia interpunctella* (Hübner)属于鳞翅目螟蛾科斑螟亚科,又名印度谷斑螟、印度螟蛾等,是重要的仓储害虫之一^[1-2]。除南极洲没有报道发现外,在全球各地广泛分布^[3],在我国许多地市发生频率比较高^[4-5]。印度谷螟在幼虫期不仅能危害多种干果以及各种药材,还能危害多种粮食及其加工产品等^[6-8]。并且与其他蛀食性害虫不同的是,印度谷螟幼虫在取食的同时可吐丝结网,危害更为严重^[9-11]。

目前使用化学防治进行熏蒸仍是防治印度谷螟的主要手段,由于化学熏蒸剂的大量使用而导致印度谷螟的抗药性日益严重^[12]。因此,寻求绿色无残留的仓储害虫防治产品是现在重要的研究课题,以探寻有效的防治方法来控制印度谷螟的危害势在必行^[13]。相关研究表明,植物精油被大量应用于害虫防治,这是由于植物精油中的单萜和倍半萜以及其它的衍生物能够在昆虫体内的乙酰胆碱酯酶上发挥一定的作用,对害虫产生一定的防治效果^[14-15]。这些植物精油可以通过使用熏蒸、驱避、触杀、引诱、抑制其正常的生长发育以及使害虫拒食等多种方式对害虫进行防治^[16-17]。而且植物精油具有低毒、作用方式多样、环境友好和杀虫活性高等优点^[13,16]。目前,人们对薰衣草和罗勒精油化学成分活性研究发现,这两种植物精油多被应用在医疗保健和食品加工以及日化用品等多种方面^[18-19]。而且还可以作为昆虫繁殖的媒介,诱集昆虫前来传粉、提高授粉率,可以对一些昆虫起到一定的引诱作用^[17]。这两种植物

精油还可以抑制消灭多种植物病原菌,但是抗菌效果容易受到精油本身的化学成分以及外界条件的影响^[18-19]。本实验通过使用薰衣草和罗勒精油熏蒸印度谷螟成虫和幼虫后的效果及虫的活性研究,筛选高活性精油,为开发仓储害虫的新型防控方法提供理论依据。利用植物精油防治仓储害虫,符合当前可持续植保发展要求,这也证明了植物精油的开发具有广阔的应用前景^[20-21]。

1 材料与方法

1.1 印度谷螟的饲养方法

供试虫源:印度谷螟为新疆农业大学昆虫生态实验室人工饲养繁殖的后代,现已连续饲养繁殖10代以上。

饲养方法:饲养在PXM-258A智能人工气候箱内,饲养条件为温度27~29 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度45%~55%,24 h黑暗。饲料配比采用麦麸(麦麸使用前放入高压灭菌锅中进行灭菌2 h)、干酵母、甘油和蜂蜜、自制维生素液,按比例混匀,最后分装于密封袋中待用。

植物精油(薰衣草和罗勒精油为单方纯精油):自慧凝精油旗舰店(澳洲原装进口HEALTREE PTY LTD)。

1.2 实验方法

1.2.1 薰衣草和罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用

采用密闭空气滤纸熏蒸法测定薰衣草和罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用^[20],将印度谷螟

幼虫放置在广口瓶 (500 mL) 中, 每个瓶中放一张滴有不同用量 (5、10、15、20、25、30、35、40、45、50 μL) 薰衣草和罗勒精油的滤纸条 (1 \times 10 cm), 然后快速将滴有精油的滤纸条悬挂在距离瓶口约 5 cm 左右中央位置上, 盖紧瓶口, 用封口膜进行密封, 然后将其放置在正常条件下的人工气候箱内进行饲养 (24 h 全黑暗; 温度 27~29 $^{\circ}\text{C}$; 相对湿度 45%~55%)。每个处理各取同一日龄健康幼虫 30 头, 每个浓度设置 5 个重复, 并设置空白对照, 于 24、48、72、96 h 后检查各处理瓶中的熏蒸情况。打开瓶口, 散气 10 min 后观察死亡虫数并记录。死亡标准是用小毛笔拨动幼虫的虫体, 不会动者或者没有自主反应者判定为死亡。

1.2.2 薰衣草和罗勒精油对印度谷螟成虫的熏蒸作用

方法同 1.2.1, 将印度谷螟成虫放置在广口瓶 (500 mL) 中, 每个瓶中放一张滴有不同用量的滤纸条 (1 \times 10 cm), 薰衣草精油 (0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5 μL), 罗勒精油 (0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5 μL), 然后快速将滴有精油的滤纸条悬挂在距离瓶口约 5 cm 左右中央位置上, 盖紧瓶口, 用封口膜进行密封, 然后将处理过的成虫放置在正常条件下的人工气候箱内进行饲养 (24 h 黑暗; 温度 27~29 $^{\circ}\text{C}$; 相对湿度 45%~55%)。每个处理各取同一批羽化的健康成

虫 30 头, 每个处理均设置 5 个重复, 并设置空白对照, 于 2、4、8、16、32、64 h 后检查各处理瓶中的熏蒸情况。在散气 10 min 后观察死亡虫数并且记录。死亡的评判标准是不会飞行者或无明显自主反应者为死亡。

1.3 数据分析

通过使用 Excel 和 SPSS17.0 统计软件对实验数据进行统计分析, 用 Probit 机率值分析法对数据进行回归分析求出 LD₅₀, 死亡率要先进行平方根反正弦变换再采用单因素 Duncan 氏新复极差检验法进行差异显著性检验。通过数据算出死亡率和校正死亡率, 比较各个浓度的熏蒸结果。

$$\text{死亡率}(\%) = \frac{\text{死亡虫数}}{\text{供试总虫数}} \times 100$$

$$\text{校正死亡率}(\%) = \frac{\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率}}{(1 - \text{对照组死亡率})} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 薰衣草和罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用

2.1.1 薰衣草精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用

以不同浓度的薰衣草精油对印度谷螟幼虫进行了熏蒸实验, 根据表 1 可以看出在 24、48、72、96 h 后印度谷螟的死亡率呈现出显著差异 ($P < 0.05$), 随着浓度的降低死亡率逐渐下降。当薰衣

表 1 不同浓度处理和不同时间下薰衣草精油对印度谷螟幼虫的校正死亡率
 Table 1 Adjusted mortality of *Plodia interpunctella* larvae treated by lavender essential oil under different concentration and time

浓度/ μL	24 h	48 h	72 h	96 h	%
5	1.33 \pm 0.82 Bi	2.67 \pm 1.63 Bg	2.00 \pm 1.33 ABg	6.67 \pm 1.83 Ah	
10	6.00 \pm 1.63 Ch	11.33 \pm 2.71 BCf	15.33 \pm 2.91 ABf	22.00 \pm 1.70 Ag	
15	10.67 \pm 0.67 Cg	18.00 \pm 2.26 Bef	30.00 \pm 1.83 Ae	32.67 \pm 2.87 Af	
20	14.00 \pm 1.25 Cf	22.67 \pm 2.45 Bde	32.67 \pm 1.94 Ae	38.00 \pm 1.70 Af	
25	18.00 \pm 0.82 Ce	28.67 \pm 3.74 Bcd	34.67 \pm 2.00 Bde	46.00 \pm 2.45 Ae	
30	24.67 \pm 0.82 Dd	32.67 \pm 3.40 Cc	38.67 \pm 0.82 Bcd	51.33 \pm 1.70 Ade	
35	27.33 \pm 1.25 Cd	35.33 \pm 2.71 Bc	42.00 \pm 1.70 Bc	56.67 \pm 3.50 Acd	
40	32.67 \pm 1.25 Cc	47.33 \pm 3.56 Bb	54.67 \pm 2.26 ABb	61.33 \pm 2.26 Ac	
45	42.67 \pm 1.25 Db	51.33 \pm 2.71 Cb	58.00 \pm 1.70 Bb	68.67 \pm 2.71 Ab	
50	54.67 \pm 0.82 Ca	64.00 \pm 3.23 Ba	72.67 \pm 2.21 Aa	78.67 \pm 2.71 Aa	

注: 表中数据为平均数 \pm 标准误。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在同一时间不同浓度 $P < 0.05$ 水平差异显著。同行数据后不同大写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在同一浓度不同时间 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

Note: The data in the table are mean \pm standard error. Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences at $P < 0.05$ levels at different concentrations and the same time by Duncan's new multiple range test. Different capital letters after the data of the same line indicate significant differences at the level of $P < 0.05$ at the same concentration and different time by Duncan's new multiple range test. The same as below.

草精油浓度相同时,随着熏蒸时间的逐渐延长,印度谷螟幼虫的死亡率呈现出明显的上升趋势,而且不同浓度的薰衣草精油对印度谷螟的熏蒸效果显著。在 50 μL 下, 96 h 死亡率最高为 92%, 在 5 μL 下, 24 h 后的死亡率为 1.33%。

2.1.2 罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用

以不同浓度的罗勒精油对印度谷螟幼虫进行了熏蒸实验,根据表 2 可以看出在 24、48、72、

96 h 后印度谷螟的死亡率呈现出显著差异 ($P < 0.05$),随着罗勒精油浓度的降低死亡率逐渐下降。当罗勒精油浓度相同时,随着熏蒸时间的逐渐延长,印度谷螟幼虫的死亡率呈上升趋势,同时不同浓度的罗勒精油对印度谷螟的熏蒸效果显著。在 45 μL , 96 h、50 μL 下, 72 和 96 h 死亡率最高为 100%, 在 5 μL 下, 24 h 后的死亡率为 6.67%。

表 2 不同浓度处理和不同时间下罗勒精油对印度谷螟幼虫的校正死亡率
 Table2 Adjusted mortality of *Plodia interpunctella* larvae treated by basil essential oil under different concentration and time

%

浓度/ μL	24 h	48 h	72 h	96 h
5	2.67 \pm 1.25 Bh	3.33 \pm 1.83 Bi	7.33 \pm 1.25 Bh	15.33 \pm 2.49 Ah
10	4.67 \pm 1.70 Dh	11.33 \pm 2.26 Ch	19.33 \pm 1.94 Bg	33.33 \pm 1.83 Ag
15	10.67 \pm 1.25 Dg	18.67 \pm 3.43 Cg	32.67 \pm 2.21 Bf	42.67 \pm 1.94 Af
20	15.33 \pm 2.26 Cg	32.00 \pm 1.33 Bf	47.33 \pm 2.87 Ae	51.33 \pm 0.82 Ae
25	23.33 \pm 2.36 Df	40.00 \pm 2.58 Ce	48.00 \pm 2.26 Be	56.67 \pm 1.05 Ad
30	38.67 \pm 2.26 Ce	49.33 \pm 2.87 Bd	59.33 \pm 1.94 Ad	66.00 \pm 2.45 Ac
35	48.67 \pm 0.82 Dd	61.33 \pm 2.26 Cc	77.33 \pm 1.25 Bc	83.33 \pm 1.05 Ab
40	60.67 \pm 1.94 Dc	70.67 \pm 1.94 Cb	82.67 \pm 1.94 Bbc	90.67 \pm 1.25 Aa
45	67.33 \pm 1.25 Cb	76.00 \pm 2.87 Bab	87.33 \pm 2.21 Aab	92.00 \pm 1.33 Aa
50	76.67 \pm 2.36 Ba	82.00 \pm 3.09 Ba	90.67 \pm 1.63 Aa	92.00 \pm 1.33 Aa

2.1.3 薰衣草与罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸毒力回归分析

根据薰衣草和罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸效果,可以计算出不同处理时间后的回归方程和致死中量 LD_{50} 以及相关系数 R^2 等。通过表 3 可以看出,薰衣草精油熏蒸 24 h 后印度谷螟幼虫的 LD_{50} 是 78.575 μL , 罗勒精油熏蒸 24 h 后印度谷螟幼虫的 LD_{50} 是 50.508 μL 。两种植物精油对印度谷螟幼虫毒力回归方程中的相关系数 R^2 均在 0.95 以上,说明薰衣草、罗勒精油对印度谷螟

幼虫毒力测定的回归方程拟合程度比较好。罗勒精油熏蒸毒力显著高于薰衣草精油;印度谷螟幼虫对罗勒精油的反应比薰衣草精油更为敏感。

2.2 薰衣草和罗勒精油对印度谷螟成虫的熏蒸作用

2.2.1 薰衣草精油对印度谷螟成虫的熏蒸作用

以不同浓度的薰衣草精油对印度谷螟成虫进行了熏蒸实验,由表 4 可知,在 24、48、72、96 h 后印度谷螟的死亡率均呈现出显著性差异 ($P < 0.05$),随着薰衣草精油浓度的升高和处理时

表 3 两种植物精油对印度谷螟幼虫的熏蒸毒力回归分析

Table3 Regression analysis of fumigation virulence of two plant essential oils on *Plodia interpunctella* larvae

精油	观察时间/h	回归方程	斜率	LD_{50} (95%置信区间) / μL	相关系数 R^2	卡方值 χ^2
薰衣草精油	24	$y = 5.115 2x - 9.600 0$	3.834 \pm 0.403	78.575 (66.472~100.230)	0.956 2	3.473
	48	$y = 6.187 9x - 3.490 9$	2.486 \pm 0.243	72.768 (60.554~93.959)	0.984 6	5.448
	72	$y = 6.897 0x + 2.133 3$	2.192 \pm 0.199	55.502 (47.388~68.276)	0.956 7	8.494
	96	$y = 7.763 6x + 8.145 4$	2.087 \pm 0.174	37.905 (33.340~44.148)	0.966 0	2.697
罗勒精油	24	$y = 8.357 6x - 14.630 0$	3.864 \pm 0.315	50.508 (42.355~67.137)	0.965 7	26.875
	48	$y = 9.103 0x - 6.557 6$	2.995 \pm 0.231	40.325 (36.614~45.204)	0.994 7	10.985
	72	$y = 9.890 9x - 0.254 5$	2.807 \pm 0.201	30.235 (27.633~33.314)	0.977 5	8.034
	96	$y = 9.466 7x + 7.745 5$	2.423 \pm 0.176	26.317 (23.785~29.243)	0.957 8	7.604

表 4 不同浓度处理和不同时间下薰衣草精油对印度谷螟成虫的校正死亡率

Table 4 Corrected mortality of adults of *Plodia interpunctella* treated by lavender essential oil at different concentrations and time

浓度/ μL	2 h	4 h	8 h	16 h	32 h	64 h	%
0.5	0.00 \pm 0.00 Fg	8.67 \pm 0.82 Ed	23.33 \pm 1.49 Dc	54.00 \pm 1.25 Cb	87.33 \pm 1.25 Bb	100.00 \pm 0.00 Aa	
1	40.00 \pm 1.05 Df	60.67 \pm 1.25 Cc	87.33 \pm 1.25 Bb	98.67 \pm 0.82 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
1.5	60.67 \pm 1.25 Ce	91.33 \pm 1.33 Bb	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
2	77.33 \pm 1.25 Bd	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
2.5	88.67 \pm 1.33 Bc	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
3	95.33 \pm 0.82 Bb	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
3.5	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	

间的逐渐延长,成虫的死亡率显著增加。当薰衣草精油浓度相同时,随着熏蒸时间的逐渐延长,印度谷螟成虫的死亡率呈现出上升的趋势,同时在不同浓度下的薰衣草精油对印度谷螟成虫的熏蒸效果显著。在 3.5 μL 下,2 h 后;2、2.5、3 μL 下,4 h 后;1.5 μL 下,8 h 后;1 μL 下,32 h 后;0.5 μL 下,64 h 后死亡率均为 100%。

2.2.2 罗勒精油对印度谷螟成虫的熏蒸作用

以不同浓度的罗勒精油对印度谷螟成虫进行了熏蒸实验,由表 5 可知,在 24、48、72、96 h 后印度谷螟的死亡率均呈现出显著性差异 ($P < 0.05$),随着罗勒精油浓度的逐渐升高,死亡

率逐渐增加。当薰衣草精油浓度处理相同时,随着不同浓度下熏蒸时间的逐渐延长,印度谷螟成虫的死亡率开始上升,同时在不同浓度的罗勒精油对印度谷螟成虫的熏蒸效果显著。在 4、4.5 μL 下,4 h 后;3.5 μL 下,8 h 后;2、2.5、3 μL 下,16 h 后;1、1.5 μL 下,32 h 后死亡率均为 100%。

2.2.3 薰衣草与罗勒精油对印度谷螟成虫的熏蒸毒力回归分析

根据薰衣草和罗勒精油对印度谷螟成虫的熏蒸效果,计算出不同处理时间后的回归方程和致死中量 LD_{50} 以及相关系数 R^2 等。通过表 6 可以看出,薰衣草精油熏蒸 2 h 印度谷螟成虫的 LD_{50}

表 5 不同浓度处理和不同时间下罗勒精油对印度谷螟成虫的校正死亡率

Table 5 Corrected mortality of adults of *Plodia interpunctella* treated by basil essential oil under different concentration and time

浓度/ μL	2 h	4 h	8 h	16 h	32 h	64 h	%
0.5	0.00 \pm 0.00 Ei	0.00 \pm 0.00 Eg	8.67 \pm 0.82 Df	34.00 \pm 1.25 Cc	52.67 \pm 1.25 Bb	82.67 \pm 1.94 Ab	
1	20.00 \pm 1.49 Eh	38.67 \pm 1.33 Df	52.00 \pm 1.33 Ce	85.33 \pm 1.70 Bb	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
1.5	31.33 \pm 0.82 Dg	50.67 \pm 1.25 Ce	70.67 \pm 0.67 Bd	98.67 \pm 0.82 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
2	45.33 \pm 0.82 Df	69.33 \pm 1.25 Cd	86.00 \pm 1.25 Bc	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
2.5	57.33 \pm 1.25 De	81.33 \pm 0.82 Cc	96.67 \pm 1.49 Bb	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
3	72.67 \pm 1.25 Cd	90.00 \pm 1.05 Bb	98.67 \pm 0.82 Aab	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
3.5	83.33 \pm 1.05 Cc	97.34 \pm 0.67 Ba	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
4	94.00 \pm 1.25 Bb	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	
4.5	99.33 \pm 0.67 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	100.00 \pm 0.00 Aa	

表 6 两种植物精油对印度谷螟成虫的熏蒸毒力回归分析

Table 6 Regression analysis of fumigation virulence of two plant essential oils on adults of *Plodia interpunctella*

精油	观察时间/h	回归方程	斜率	LD_{50} (95%置信区间) / μL	相关系数 R^2	卡方值 χ^2
薰衣草精油	2	$y = 15.945x - 14.000$	4.288 \pm 0.315	2.081 (1.749~2.507)	0.926 0	20.363
	4	$y = 28.266x - 32.666$	3.510 \pm 0.250	1.574 (1.113~2.124)	0.939 1	40.919
	8	$y = 36.400x - 38.333$	2.816 \pm 0.205	1.297 (0.758~1.942)	0.936 2	51.380
	16	$y = 49.334x - 47.779$	2.246 \pm 0.171	1.045 (0.513~1.681)	0.997 0	49.642
	32	$y = 87.333x - 87.333$	1.871 \pm 0.152	0.835 (0.189~1.664)	1.000 0	72.852
	64	$y = 100.00x - 100.00$	1.757 \pm 0.147	0.760 (0.056~1.758)	1.000 0	91.520
罗勒精油	2	$y = 12.150x - 16.489$	4.515 \pm 0.312	3.099 (2.907~3.323)	0.988 7	6.948
	4	$y = 15.214x - 15.048$	3.762 \pm 0.249	2.417 (2.086~2.808)	0.950 2	22.507
	8	$y = 18.071x - 13.333$	3.117 \pm 0.207	1.956 (1.579~2.381)	0.921 7	29.739
	16	$y = 34.734x - 32.334$	2.227 \pm 0.156	1.345 (0.827~1.921)	0.958 7	54.069
	32	$y = 50.000x - 49.111$	1.920 \pm 0.142	1.125 (0.558~1.761)	0.999 1	64.997
	64	$y = 82.667x - 82.667$	1.635 \pm 0.130	0.920 (0.300~0.629)	1.000 0	78.636

是 2.081 μL , 罗勒精油熏蒸 2 h 印度谷螟成虫的 LD_{50} 是 3.099 μL 。两种植物精油对印度谷螟成虫毒力回归方程中的相关系数均在 0.90 以上, 说明这薰衣草、罗勒精油对印度谷螟成虫毒力测定的回归方程拟合程度比较好。薰衣草精油对印度谷螟成虫的熏蒸毒力显著高于罗勒精油; 印度谷螟成虫对薰衣草精油反应比罗勒精油更为敏感。

3 讨论

经前人研究可知, 植物精油通过驱避^[20-21]、触杀^[21-22]、熏蒸^[20,23]、抑制产卵^[24]等活性可以对仓储害虫玉米象^[22,24]、赤拟谷盗^[23-25,27]、印度谷螟^[21,26]等害虫产生较好的防控效果。陆驰宇^[23]发现在 24、48、72 h 这三个时间段后使用 60 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 的蓝桉叶精油对印度谷螟幼虫熏蒸的校正死亡率分别为 84.45%、89.54%、96.15%。而本研究使用薰衣草精油浓度 50 μL 在处理 24、48、72 h 后的校正死亡率为 54.67%、64.00%、72.67%, 使用罗勒精油浓度 50 μL 在处理 24、48、72 h 后的校正死亡率为 76.67%、82.00%、90.67%, 经实验证明薰衣草和罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用要弱于蓝桉叶精油。熊李波^[28]指出使用 10 μL 介子精油对印度谷螟成虫熏蒸 2、4、8、16 h 后的校正死亡率分别为 60.00%、60.00%、78.33%、88.33%, 而本实验使用薰衣草精油 1 μL 处理 2、4、8、16 h 后的校正死亡率分别为 40.00%、60.67%、87.33%、98.67%, 使用罗勒精油 1 μL 处理 2、4、8、16 h 后的校正死亡率分别为 20.00%、38.67%、52.00%、85.33%, 通过实验表明薰衣草和罗勒精油使用量在 3.5 μL 、4.5 μL 时, 16 h 后印度谷螟成虫的熏蒸死亡率可以达到 100%, 可以证明两种植物精油的熏蒸作用强于介子精油。

Jesser 等^[14]在使用植物精油对印度谷螟成虫的熏蒸毒性试验中, 发现桉树精油 40 μL 在熏蒸 2 h 后的效果最好, 精油的熏蒸毒性顺序为桉树>薄荷>天竺葵=薰衣草>佛手柑>棕榈树。在本实验中薰衣草精油使用量在 3.5 μL 下, 2 h 后印度谷螟成虫的死亡率可以达到 100%, 罗勒精油使用量在 4.5 μL 下, 2 h 后印度谷螟成虫的死亡率可以达到 90%以上, 由于研究方法不一致, 所以还

需进一步研究验证。Mostafiz 等^[29]在使用苯甲酸甲酯熏蒸 4 h 后, 使用量在 1 $\mu\text{L}/\text{L}$ 对印度谷螟成虫熏蒸毒性最高, 可以达到 100%, 而使用浓度和处理时间一致的香茅醛、芳樟醇、1,8 桉树脑和柠檬烯分别产生 82%、60%、54%和 26%的死亡率; 和本实验对比可以看出薰衣草和罗勒精油对印度谷螟成虫的熏蒸毒力要高于香茅醛、芳樟醇、1,8 桉树脑和柠檬烯而弱于苯甲酸甲酯。Bo 等^[30]指出使用二氧化氯熏蒸 5 天后, 无论熏蒸的位置如何, 印度谷螟的成虫和幼虫的死亡率均可达到 100%, 在使用 0.2 $\mu\text{L}/\text{L}$ 的二氧化氯熏蒸 24 h 后对成虫有效果。Han 等^[31]在使用 0.1 $\mu\text{L}/\text{L}$ 和 0.2 $\mu\text{L}/\text{L}$ 的二氧化氯分别持续 48 h 和 24 h 的熏蒸后, 导致印度谷螟的各个生命阶段的死亡率为 100%。而本研究使用薰衣草和罗勒精油 3.5 μL 、4.5 μL 在 4 h 后死亡率达到 100%。

本研究表明薰衣草和罗勒精油对印度谷螟成虫和幼虫具有较好的熏蒸活性, 两者均具有一定的开发和应用前景。据相关文献报道薰衣草精油的关键活性成分为桉叶油醇、 α -松油醇、芳樟醇、樟脑、 β -蒎烯、 α -蒎烯等^[32], 罗勒精油的关键活性成分为 α -蒎烯、左旋- β -蒎烯、4-萜烯醇、水合桉烯、罗勒烯和茴香脑等^[33]。这些关键活性成分可作为先导化合物, 为合成新型植物源药剂提供化学结构。薰衣草和罗勒在我国新疆种植面积广泛^[34-35], 容易获得。而且植物精油对人类有较好的保健效果^[16-17], 对人、畜无任何毒副作用。因此两种植物精油是理想可开发的天然植物源农药。

4 结论

薰衣草精油 50 μL 对印度谷螟幼虫熏蒸 96 h 后的死亡率为 92%, 罗勒精油 45 μL 对印度谷螟幼虫熏蒸 96 h 后的死亡率为 100%; 薰衣草精油熏蒸 24 h 后印度谷螟幼虫的 LD_{50} 是 78.575 μL , 罗勒精油熏蒸 24 h 后印度谷螟幼虫的 LD_{50} 是 50.508 μL 。证明罗勒精油对印度谷螟幼虫的熏蒸作用要高于薰衣草精油。薰衣草精油 3.5 μL 对印度谷螟成虫熏蒸 2 h 后的死亡率为 100%, 罗勒精油在 4.5 μL 熏蒸 2 h 后的死亡率为 99.33%; 薰衣

草精油熏蒸 2 h 印度谷螟成虫的 LD₅₀ 是 2.081 μL, 罗勒精油熏蒸 2 h 印度谷螟成虫的 LD₅₀ 是 3.099 μL。证明薰衣草精油对印度谷螟成虫的熏蒸作用要高于罗勒精油。在印度谷螟的防治中薰衣草和罗勒精油均具有较高的应用潜力和价值。

由于印度谷螟的成虫和幼虫在实验室内接触的剂量、方式以及外界环境条件等差异, 还需进一步进行相关实仓熏蒸实验, 以便更精确地评价薰衣草和罗勒精油对印度谷螟成幼虫的熏蒸效果, 为开发印度谷螟的新型防控方法提供科学依据。

参考文献:

- [1] GVOZDENAC S M, PRVULOVIĆ D M, RADOVANOVIĆ M N, et al. Life history of *Plodia interpunctella* (Hübner) on sunflower seeds: Effects of seed qualitative traits and the initial seed damage[J]. Journal of Stored Products Research, 2018, 79: 89-97.
- [2] 安建东, 国占宝, 李继莲, 等. 明亮熊蜂繁育室内印度谷斑螟的形态特征与生物学特性[J]. 昆虫知识, 2007, 44(5): 698-702.
AN J D, GUO Z B, LI J L, et al. Morphological characters and bionomics of *Plodia interpunctella* a pest in *Bombus lucorum* colonies breeding in captivity[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2007, 44(5): 698-702.
- [3] MOHANDASS S, ARTHURA F H, ZHU K Y, et al. Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products[J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(3): 302-311.
- [4] 王殿轩, 白春启, 周玉香, 等. 我国 8 省 43 家面粉企业储粮昆虫种类调查研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, (1): 101-107.
WANG D X, BAI C Q, ZHOU Y X, et al. Survey of stored-grain insect species of forty-three wheat flour mills of eight provinces in China[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2017, (1): 101-107.
- [5] 王殿轩, 冀乐, 白春启, 等. 我国 11 省 79 地市(州)储粮场所中印度谷螟和麦蛾的发生分布调查研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, 38(6): 110-114+130.
WANG D X, JI L, BAI C Q, et al. Investigation on occurrence and distribution of *Plodia interpunctella* and *Sitotroga cerealella* in seventy-nine prefecture-level cities of eleven provinces of china[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 38(6): 110-114+130.
- [6] HENGSDIJK H, BOER W D. Post-harvest management and post-harvest losses of cereals in Ethiopia[J]. Food Security, 2017, 9(5): 945-958.
- [7] SAMBAEJU K R, PHILLIPS T W. Responses of adult *Plodia interpunctella*(Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to light and combinations of attractants and light[J]. Journal of Insect Behavior, 2008, 21(5): 422-439.
- [8] CHEN E H, TAO Y X, SONG W, et al. Transcriptome-wide identification of microRNAs and analysis of their potential roles in development of Indian meal borer (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Journal of Economic Entomology, 2020, 3(3): 1535-1546.
- [9] 杨念婉, 李艾莲. 植物精油应用于害虫防治研究进展[J]. 植物保护, 2007, 33(6): 16-21.
YANG N W, LI A L. Advances in the research of plant essential oils for pest control[J]. Plant Protection, 2007, 33(6): 16-21.
- [10] HASSAN R S, MAHMOUD E A, SILEEM T M, et al. Evaluation of fast neutron irradiation as a new control method against the Indian meal borer, *Plodia interpunctella*(Hübner)[J]. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2019, 12(1): 24-30.
- [11] SODERSTROM E L, LOVITT A E. Interspecific competition of almond moth, Indian meal borer, and raisin moth in malathion-treated and untreated almonds[J]. Journal of Economic Entomology, 1973, 66(3): 742-745.
- [12] OH H W, YUN C S, JEON J H, et al. Conifer diterpene resin acids disrupt juvenile hormone-mediated endocrine regulation in the Indian meal borer *Plodia interpunctella*[J]. Journal of Chemical Ecology, 2017, 43: 703-711.
- [13] 杨长举, 唐国文, 薛东. 21 世纪的储粮害虫防治[J]. 湖北植保, 2004, (5): 45-48.
YANG C J, TANG G W, XUE D. Control of stored grain pests in the 21st century[J]. Hubei Plant Protection, 2004, (5): 45-48.
- [14] JESSER E N, WERDIN G J O, MURRAY A P, et al. Efficacy of essential oils to control the Indian meal borer, *Plodia interpunctella*(Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2017, 20(4): 1122-1129.
- [15] CABALLERO-GALLARDO, KARINA, STASHENKO, et al. Essential oils from plants of the genus *Cymbopogon* as natural insecticides to control stored product pests[J]. Journal of Stored Products Research, 2015, 62: 81-83.
- [16] FARID I M, CHAKIRA H, CAI W L, et al. Effect of some plant essential oils on the orientation and predation capacity of the predatory spider *Pardosa pseudoannulata*[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2019, 22(3): 927-932.
- [17] EBADOLLAHI A, JALALI S J. A review on recent research results on bio-effects of plant essential oils against major Coleopteran insect pests[J]. Toxin Reviews, 2015, 43(2): 1-16.
- [18] 陈蔚青, 金建忠. SFE-CO₂ 萃取和水蒸气蒸馏提取薰衣草精油的抗菌活性比较与 GC-MS 分析[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(15): 1821-1823.
CHEN W Q, JIN J Z. Comparison and GC-MS analysis of antibacterial activity of Lavender essential oil extracted by SFE-CO₂ extraction and steam distillation[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2008, 33(15): 1821-1823.

- [19] 陈计峦, 宋丽军, 张云, 等. 薰衣草精油抗氧化成分提取及其对 DPPH·清除率的研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 5(7): 173-176.
CHEN J L, SONG L J, ZHANG Y, et al. Study on extraction and DPPH-scavenging activity of Lavender extracts[J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 5(7): 173-176.
- [20] 袁海滨, 李玉双, 赵欣阳, 等. 3种植物精油对绿豆象成虫的熏蒸及驱避活性[J]. 吉林农业大学学报, 2017, 39(1): 28-31.
YUAN H B, LI Y S, ZHAO X Y, et al. Fumigant activity and repellent effect of three kinds of essential oil against *Callosobruchus chinensis* (Linnaeus) adults[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2017, 39(1): 28-31.
- [21] 胡恒志, 牛平, 廖江花, 等. 薰衣草精油及罗勒精油对印度谷螟幼虫的生物活性分析[J/OL]. 中国粮油学报: 1-12[2022-04-09].
HU H Z, NIU P, LIAO J H, et al. Bioactivities of the essential oils of *Lavender* and basil against the larvae of *Plodia interpunctella*[J/OL]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association: 1-12[2022-04-09].
- [22] MAZZAFERA P, KUBO R K, MÁRIO M. Carbon fixation and partitioning in coffee seedlings infested with *Pratylenchus coffeae*[J]. European Journal of Plant Pathology, 2004, 110(8): 861-865.
- [23] 陆驰宇. 植物精油对印度谷螟和赤拟谷盗的熏蒸作用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 4-12.
LU C Y. Fumigation activities of essential oils against the *Plodia interpunctella* (Hübner) and *Tribolium castaneum*(Herbst)[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013: 4-12.
- [24] AHMED S S, HASHEM M Y. Susceptibility of different life stages of Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hubner) and almond moth *Ephesia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) to modified atmospheres enriched with carbon dioxide[J]. Journal of Stored Products Research, 2012, 51: 49-55.
- [25] 安越, 逯靖, 王存存, 等. 两种亚菊属植物挥发油及主要成分对赤拟谷盗幼虫的活性研究[J]. 植物保护, 2022, 48(1): 246-250+264.
AN Y, LV J, WANG C C, et al. Biologica activity of the main components of the essential oils of two *Ajania* plant species against the larval stages of *Tribolium castaneum*[J]. Plant Protection, 2022, 48(1): 246-250+264.
- [26] CHRISTIAN N, PHILLIPS T W. Ovipositional responses of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to oils[J]. Annals of the Entomological Society of America, 2003(4): 524-531.
- [27] 周峰, 王存存, 王作亮, 等. 毛莲蒿挥发油对赤拟谷盗成虫的活性研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(2): 143-148.
ZHOU F, WANG C C, WANG Z L, et al. Study on the activity of essential oil from *Artemisia vestita* against *Tribolium Castaneum* adults[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(2): 143-148.
- [28] 熊李波. 孜然、花椒、芥子混合精油对仓储党参扩展青霉和印度谷螟的防控效果及部分机理[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018: 25.
XIONG L B. Controlling effect and partial mechanism of mixture of cumin, red pepper and mustard essential oil against *Plodia Interpunctella* and *Penicillium expansum* during codonopsis storage[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018: 25.
- [29] MOSTAFIZ M M, HASSAN E, ACHARYA R, et al. Methyl benzoate is superior to other natural fumigants for controlling the Indian meal moth (*Plodia interpunctella*)[J]. Insects, 2020, 12(1): 23.
- [30] BO H, GDH B, HK A, et al. Chlorine dioxide fumigation to control stored product insects in rice stored in a room[J]. Journal of Stored Products Research, 2019, 84: 101527.
- [31] HAN G D, KWON H, NA J, et al. Sensitivity of different life stages of Indian meal moth *Plodia interpunctella* to gaseous chlorine dioxide[J]. Journal of Stored Products Research, 2016, 69: 217-220.
- [32] 张艳, 李正跃, 陈斌. 薰衣草精油对斜纹夜蛾的生物活性测定[J]. 南方农业学报, 2019, 50(11): 2481-2488.
ZHANG Y, LI Z Y, CHEN B. Bio-activity of *Lavandula angustifolia* Mill. essential oil against *Spodoptera litura* (Fabricius)[J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(11): 2481-2488.
- [33] 黄丽芸, 马海旭, 郭阿君. 罗勒精油成分鉴定及抑菌活性测定[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2018, 19(2): 257-261.
HUANG L Y, MA H X, GUO A J. Chemical constituents and antimicrobial activity of Basil essential oil[J]. Journal of Beihua University(Natural Science), 2018, 19(2): 257-261.
- [34] 丁丽娟. 新疆伊犁薰衣草特色产业发展路径研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019, 15-21.
DING L J. Research on the development of characteristic *lavender* industry in Yili, Xinjiang, Hefei: Anhui Agricultural University, 2019, 15-21.
- [35] 王同军. 罗勒栽培管理及综合利用技术[J]. 乡村科技, 2020(12): 100-101.
WANG T J. Basil cultivation management and comprehensive utilization technology[J]. Rural Technology, 2020(12): 100-101.