

β -罗勒烯对烟蚜种群的防控效果

李宏江^{1,2*}, 林 钢^{1,2}, 杨忠龙^{1,2}, 阮 颖^{1,2}, 刘春林^{1,2#}

¹湖南农业大学农学院, 作物代谢调控与代谢工程实验室, 湖南 长沙

²湖南农业大学农学院, 作物表观遗传调控与发育湖南省重点实验室, 湖南 长沙

收稿日期: 2024年4月26日; 录用日期: 2024年5月24日; 发布日期: 2024年5月31日

摘 要

为了探究 β -罗勒烯对烟田烟蚜种群的控制效果及最佳施用浓度, 在室内条件下分析了不同浓度 β -罗勒烯对烟蚜种群数量、种群增长率、干扰作用控制指数以及趋避效果的影响。通过田间药效试验分析了 β -罗勒烯及70%吡虫啉水分散剂对烟蚜种群数量的影响。室内试验结果表明, 10 mM β -罗勒烯对烟蚜种群控制效果最佳, 相较于对照, 施用 β -罗勒烯后12 d每株烤烟上烟蚜密度减少81.7头/株。田间药效试验结果表明, β -罗勒烯能有效抑制田间烟蚜种群数量, 综合效果优于化学农药。进一步的RT-qPCR分析结果表明, β -罗勒烯处理能显著提高烤烟植株中水杨酸途径指示基因PR1和茉莉酸/乙烯途径指示基因PDF1.2的表达量, 这些说明 β -罗勒烯能通过同时激活多条防御途径以促进烤烟植株对烟蚜的防御能力。研究结果表明10 mM β -罗勒烯可用于对烟田烟蚜的控制, 本研究为烟田绿色防控烟蚜提供了新的途径。

关键词

β -罗勒烯, 植物通讯, 烟蚜, 种群控制, 抗性基因

Research on the Control Effect of β -Ocimene on *Myzus persicae* Population

Hongjiang Li^{1,2*}, Gang Lin^{1,2}, Zhonglong Yang^{1,2}, Ying Ruan^{1,2}, Chunlin Liu^{1,2#}

¹Crop Metabolic Regulation and Metabolic Engineering Laboratory, College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

²Hunan Provincial Key Laboratory of Crop Epigenetic Regulation and Development, College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

Received: Apr. 26th, 2024; accepted: May 24th, 2024; published: May 31st, 2024

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

To investigate β -ocimene control effect and optimal application concentration of β -ocimene on the population of *Myzus persicae*, we investigated the impact of different concentrations of β -ocimene on the population size, population growth rate, repellency rate, and disturbance control index on *Myzus persicae* was analyzed under laboratory conditions. Under field conditions β -ocimene on the population quantity of *Myzus persicae* and its impact on the agronomic traits of flue-cured tobacco under the control of β -ocimene. The results are as follows: Through indoor experiments study 10 mM β -ocimene has the best control effect on the *Myzus persicae* population. Within 12 days, the number of adults decreased by 81.7 heads/plant compared to the control group. The results of the field experiment: Compared to the control β -ocimene can effectively inhibit the population of *Myzus persicae* in the field. The RT-qPCR analysis results indicate that, β -ocimene treatment with β -ocimene, the expression levels of the salicylic acid pathway marker gene *PR1* and the jasmonic acid/ethylene pathway marker gene *PDF1.2* in flue-cured tobacco plants were significantly increased, indicating that β -ocimene can promote the defense ability of flue-cured tobacco plants against *Myzus persicae* by simultaneously activating multiple defense pathways. The research results indicate that 10 mM β -ocimene can be used for controlling *Myzus persicae* in tobacco fields, our study provides new insights for the prevention and control of *Myzus persicae* in the field.

Keywords

β -Ocimene, Plant Communication, *Myzus persicae*, Population Control, Resistance Genes

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

烟蚜(*Myzus persicae*)又称桃蚜,是烟草重要害虫之一[1],其危害时间长、发生数量大,常密集在烟叶背面或叶心上。烟蚜通过吸食烟株韧皮部汁液直接对烟株产生危害,同时烟蚜还分泌蜜露,导致烟叶发生煤污病,使烤烟的产量与质量下降。此外,烟蚜还能够传播病毒病,病毒病的发生将造成巨大的经济损失[2] [3] [4],因此烟蚜的有效防治对烤烟生产至关重要。

目前,在烤烟生产过程中,化学农药的大范围使用导致烟蚜抗药性增强、资源浪费以及农药残留等问题日益凸显[5],化学农药在施用的过程中仅有 1%左右为有效喷洒,其余 99%则释放至非目标土壤、水体和大气中,最终被人类和其他生物体吸收。农药的使用已经严重危害人类健康,如何有效降低化学农药使用量已经成为全世界面临的一个共同难题[6] [7]。针对这些问题近年来生物防控开始兴起,其中利用烟蚜天敌对烟蚜进行防控是一个行之有效的方法[8] [9],但生物防控见效相对较慢、使用不太方便[5],现在烟草生产上亟需更为简便、有效和无农残的烟蚜防治新方法。 β -罗勒烯是一种植物通讯信号分子,由植物体内提取而来,具有绿色无污染的特点,它能诱导植株产生防御反应,促使植株进入防御戒备状态,有利于植株更快、更有效的抵御外界生物胁迫[10] [11]。Kishimoto K 等[12]通过研究发现,野生烟草在受到不同昆虫取食后,罗勒烯的释放量会显著升高;Kessler A 等[13]经过试验发现,表达罗勒烯合成酶的烟草能够吸引更多的蚜虫天敌,并且能够抑制蚜虫的生长发育;Kang 等通过外源施加 β -罗勒烯的方

式诱导大白菜对蚜虫产生抗性,蚜虫在取食大白菜后,生长发育会受到抑制,个体变小、繁殖能力下降[14]。桂茜等[15]发现经 β -罗勒烯诱导的拟南芥在接种斜纹夜蛾后,斜纹夜蛾会展现出较强的拒食性,体重显著降低,拒食率显著增加,拟南芥相关防御基因的表达量显著提高[10] [16]。以上研究均表明, β -罗勒烯在绿色防控方面有着巨大的应用潜力和优势,但能否通过外源施加 β -罗勒烯,诱导烟草对烟蚜产生抗性的研究还未曾出现。为此,本研究将通过外源施加 β -罗勒烯的方式,分析不同 β -浓度罗勒烯对烟蚜种群的控制效果,同时通过 RT-qPCR 分析烟株体内抗性基因的表达情况,最后通过田间药效试验分析 β -罗勒烯对烟蚜的防治效果,旨在为进一步丰富绿色防控手段,实现烤烟绿色生产提供科学的参考。

2. 材料与方法

2.1. 供试材料

供试烤烟品种为“云烟 87”(湖南农业大学农学院烟草工程重点实验室馈赠),盆栽种植于湖南农业大学农学院生物测定中心温室内,待烟株长至五叶一心后备用。

烟蚜采自湖南农业大学浏阳烟草实验基地(湖南省浏阳市永安镇永和村,经度: E113.85°, 纬度: N28.29°),在室温中以烤烟植株饲养繁殖多代后供试。

2.2. 供试试剂

82% β -罗勒烯(德国 Sigma 公司); 70%吡虫啉水分散粒剂(河北中保绿农作物有限公司); 无水乙醇(天津市化工三厂有限公司); Eastep™ Super 总 RNA 提取试剂盒(上海普洛麦格生物产品有限公司); cDNA 反转录试剂盒(上海赛默飞世尔科技公司)。

2.3. 试验仪器

仪器: 10 L 干燥罐(常德比克曼生物科技有限公司); 载玻片(常德比克曼生物科技有限公司); Light Cycler® 480 II 型荧光定量 PCR 仪(瑞士 Roche 公司)。

2.4. 试验方法

2.4.1. β -罗勒烯诱导烟株防控烟蚜的抗性检测

试验方法参考刘梅[17]、覃韧[18]的方法。试验设置 4 个处理: 分别为 5、10、15 mM β -罗勒烯诱导处理及对照(未经 β -罗勒烯诱导),每个处理设置 3 组重复,每组重复 3 株烟。将烟株放入干燥罐内,分别暴露于浓度为 0、5、10、15 mM 的 β -罗勒烯中,处理 6 h。处理结束后,挑选活力相近的 2 龄若蚜,分别接入各处理烟株上,每株烟苗接入 10 头若蚜,接虫部位统一为倒数第二片叶背面,随后将接种有烟蚜的材料放入养虫罩中,在温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, RH 为 60%~70%,光周期为 16 L: 8D 的条件下生长。从接虫后第 4 d 开始,每隔 2 d 对各处理烟蚜的数量进行一次统计,直到第 12 d。根据公式 1、2、3 分别计算出各处理,烟蚜种群增长率[19]、烟蚜的趋避率[20]、以及干扰作用控制指数[21],探究不同浓度 β -罗勒烯对烟蚜种群的影响。

$$\text{种群增长率} = \frac{\ln \text{第}n\text{天烟蚜种群数量} - \ln \text{烟蚜初始种群数量}}{\text{试验开始至检测当日的天数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{驱避率} = \frac{\text{对照平均虫口数} - \text{处理平均虫口数}}{\text{对照平均虫口数} + \text{处理平均虫口数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{干扰作用控制指数(IIPC)} = \frac{\text{处理虫口数}}{\text{对照虫口数}} \quad (3)$$

2.4.2. 抗性基因表达量检测

烟株经 β -罗勒烯诱导处理(处理方式同 1.3.1)后, 分别收集各处理烟株的叶片, 按照 Trizol 法分别提取叶片总 RNA, 反转录为 cDNA。利用 premier primer5 软件设计抗性基因 *PR1* 和 *PDF1.2* 的实时定量 PCR (Quantitative Real-Time PCR, qRT-PCR)引物, 以 *Actin* 作为内参基因, 按照 Light Cycler[®] 480 SYBR Green I Msater qPCR 试剂盒的操作说明配置反应体系, 使用 Light Cycler[®] 480 II 型荧光定量 PCR 仪进行 qRT-PCR 反应。根据 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 法对各处理 *PR1* 和 *PDF1.2* 的相对表达量进行计算[22], 探究 β -罗勒烯对烟株体内抗性基因表达情况的影响。所用引物如下表 1:

Table 1. Primer and sequence
表 1. 引物与序列

引物名称	引物序列(5'~3')	用途
<i>Actin-F</i>	TGGAAACGTCGTCCTCAGTG	<i>Actin</i> 基因 qPCR 扩增
<i>Actin-R</i>	GCTGGGAGCAAGAGCAGTAA	<i>Actin</i> 基因 qPCR 扩增
<i>PR1-F</i>	CTAAGGCCGTCGAGATGTGG	<i>PR1</i> 基因 qPCR 扩增
<i>PR1-R</i>	ACCCTAGCACATCCAACACG	<i>PR1</i> 基因 qPCR 扩增
<i>PDF1.2-F</i>	TGGAAACGTCGTCCTCAGTG	<i>PDF1.2</i> 基因 qPCR 扩增
<i>PDF1.2-R</i>	GCTGGGAGCAAGAGCAGTAA	<i>PDF1.2</i> 基因 qPCR 扩增

2.4.3. 田间药效试验

试验设置在长沙市浏阳烟草试验基地, 试验田面积为 1800 m² (60 m × 30 m), 长条型, 施肥条件均一致。设置 3 个处理, 以施加 β -罗勒烯的田块为处理组, 不施加 β -罗勒烯和化学农药的田块为空白对照, 施用化学农药的田块作为化学药剂对照组。每个处理各设置 3 个重复, 共 9 个小区, 每个小区 100 m²。于烟株上烟蚜发生初期(2023 年 4 月 10 日), 开始施用 β -罗勒烯和化学农药, 间隔两周施用一次, 在整个防控期内分别施用 4 次 β -罗勒烯和 4 次化学农药。于第一次施用 β -罗勒烯和化学农药后 7 d, 开始对各处理烟蚜进行统计, 间隔 7 d。

采用五点取样法, 在每个小区四周和中心取 5 个点调查, 每个点随机调查 5 株烤烟, 调查时均选取每株烤烟倒 1~5 片叶上的烟蚜进行统计。统计结束后, 根据公式 4, 分别计算出不同处理烟蚜的虫口减少率。

$$\text{虫口减少率} = \frac{\text{对照烟蚜种群数量} - \text{处理烟蚜种群数量}}{\text{对照烟蚜种群数量}} \times 100\% \quad (4)$$

2.5. 数据分析

采用 Origin 2022、Excel 2010 和 SPSS 23 软件进行作图、数据统计分析、单因素方差分析($p = 0.05$) LSD 法比较, 数据均用平均值 ± 标准误进行表示。

3. 结果与分析

3.1. β -罗勒烯诱导烟株对烟蚜种群数量的影响

见表 2, 外源施加 β -罗勒烯对烟蚜种群数量具有显著的控制效果, 于接虫后第 12 d, 对各处理烟蚜数量进行统计发现, 对照组烟蚜数量为 124.7 头/株; 经 5、10、15 mM β -罗勒烯诱导后烟蚜数量分别为 76.0、43.0、44.0 头/株, 相比对照分别减少了 48.7、81.7、80.7 头/株。据此推断 10 mM β -罗勒烯对烟蚜种群数量的控制效果最佳, 见图 1。

Table 2. The effect of β -ocimene on the population of *Myzus persicae***表 2.** β -罗勒烯对烟蚜种群数量的影响

接蚜后天数/d	β -罗勒烯不同浓度下烟蚜数量/头			
	0 mM	5 mM	10 mM	15 mM
4	10.0 ± 0.0 a	10.0 ± 0.0 a	10.0 ± 0.0 a	10.0 ± 0.0 a
6	20.7 ± 3.5 a	16.3 ± 1.5 b	14.3 ± 0.6 b	14.0 ± 1.0 b
8	62.0 ± 11.0 a	40.3 ± 2.1 b	24.0 ± 5.0 c	25.0 ± 5.0 c
10	108.7 ± 10.5 a	66.0 ± 12.0 b	35.3 ± 8.0 c	36.3 ± 9.3 c
12	124.7 ± 7.6 a	76.0 ± 12.5 b	43.0 ± 3.6 c	44.0 ± 4.9 c

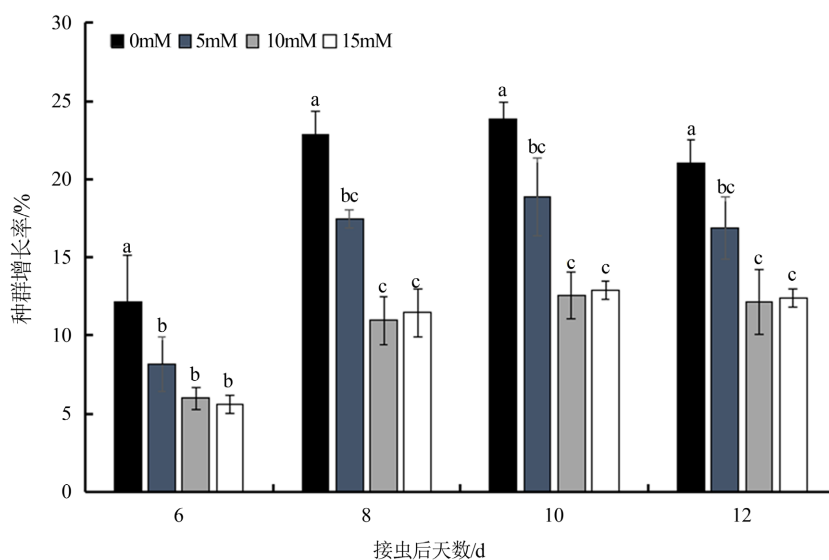
注：表中同一时间图注上不同的小写字母表示单因素方差分析在 0.05 水平下，差异显著。



Figure 1. Growth and reproduction of *Myzus persicae* on tobacco plants after treated by under different concentrations of β -ocimene

图 1. 接虫后 12 d 各处理蚜虫数量

3.2. β -罗勒烯诱导烟株对烟蚜种群增长率的影响



注：图中同一时间图注上不同的小写字母表示单因素方差分析在 0.05 水平下，差异显著。

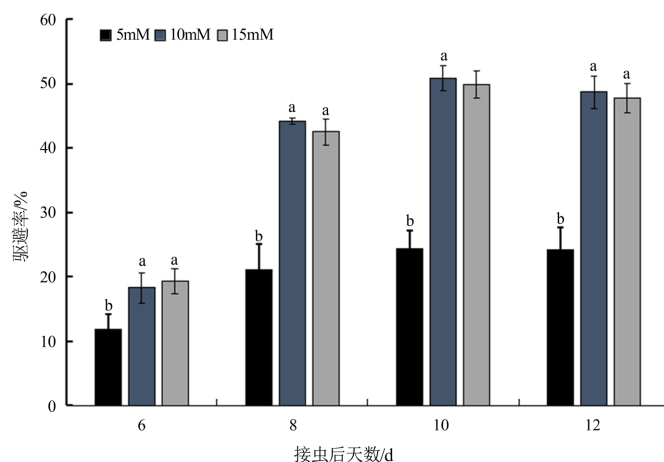
Figure 2. Population growth of *Myzus persicae* on tobacco plants after treated by different concentrations of β -ocimene

图 2. 经不同浓度 β -罗勒烯处理后烟蚜种群增长率

见图 2: 外源施加 β -罗勒烯对烟蚜的种群增长率具有显著的抑制效果。随着 β -罗勒烯浓度的增加, 增长率整体呈下降趋势。12 d 内, 对照组烟蚜种群增长率为 21.03%; 经 5、10、15 mM β -罗勒烯诱导后, 烟蚜种群增长率分别为 16.90%、12.16% 和 12.35%, 相比对照分别下降了 4.13、8.87、8.68 个百分点。综上所述, 10 mM β -罗勒烯诱导烟株对烟蚜种群增长率的抑制效果最大。

3.3. β -罗勒烯诱导烟株对烟蚜驱避率的影响

见图 3: 本研究测试 β -罗勒烯三种浓度处理中, 5 mM 对烟蚜的趋避率影响最小; 15 mM 对烟蚜趋避率的影响次之; 10 mM 对烟蚜趋避率的影响最大, 其中 10 mM 和 15 mM β -罗勒烯对烟蚜趋避率无显著性差异。最大趋避率出现在经 10 mM β -罗勒烯诱导后第 10 d 为 50.97%, 最小趋避率为 5 mM β -罗勒烯诱导后第 6 d 仅为 11.89%。综上所述 10 mM β -罗勒烯对烟蚜驱避效果最佳。



注: 图中同一时间图注上不同的小写字母表示单因素方差分析在 0.05 水平下, 差异显著。

Figure 3. Different concentrations of β -ocimeneon the repellency rate of *Myzus persicae* in tobacco plants

图 3. 经不同浓度 β -罗勒烯处理后烟株对烟蚜的驱避率

3.4. β -罗勒烯诱导烟株对烟蚜种群的干扰效果

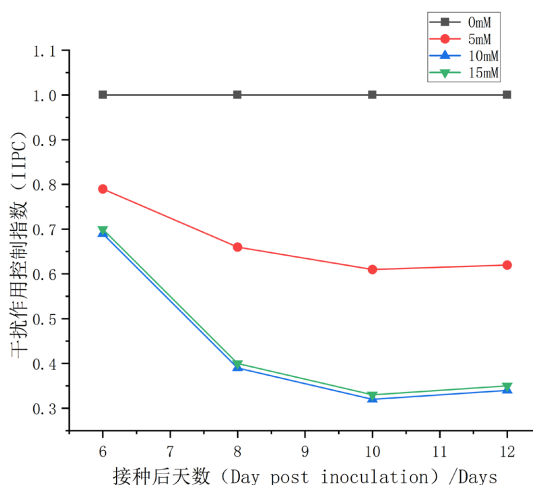


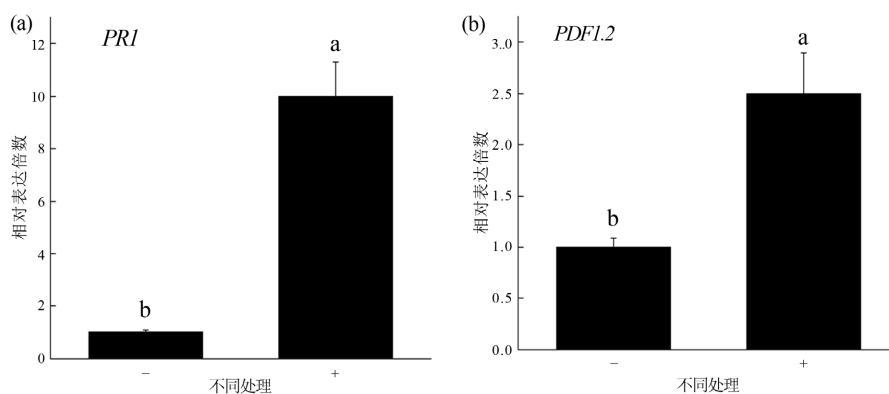
Figure 4. The effect of different concentrations of β -ocimeneon on the control index of the disturbance of *Myzus persicae* population

图 4. 不同浓度 β -罗勒烯对烟蚜种群干扰作用控制指数的影响

见图 4: 本研究测试 β -罗勒烯三种浓度处理中, 5 mM 对烟蚜种群的干扰效果最小; 15 mM 对烟蚜种群的干扰效果次之; 10 mM 对烟蚜种群的干扰效果最大。接入烟蚜后第 10 d, 三个处理对烟蚜的干扰效果均达到最佳, 分别为 0.61、0.32 和 0.33。表示烟蚜种群数量仅为对照组的 61%、32%、33%。综上所述, 10 mM β -罗勒烯对烟蚜种群的干扰效果最佳。

3.5. β -罗勒烯诱导烟株提高抗性基因的表达

前面试验结果表明, 烟株经 10 mM β -罗勒烯诱导后对烟蚜种群的控制效果最佳。故以 10 mM β -罗勒烯处理的烟株作为处理组, 未经 β -罗勒烯处理的烟株作为对照组。通过对比发现, 经 β -罗勒烯诱导后, 烟株体内水杨酸(SA)防御途径指示基因 *PR1* 的表达量相较于对照提高了 9 倍; 茉莉酸/乙烯(JA/ET)防御途径指示基因 *PDF1.2* 的表达量相较于对照提高了 1.5 倍(见图 5), *PR1* 和 *PDF1.2* 表达同时提高, 暗示着 β -罗勒烯能够解除 SA 防御途径与 JA/ET 防御途径之间的拮抗。以上结果表明, β -罗勒烯诱导能够启动烟株自身防御反应, 从而增强烟株对烟蚜取食的抗性。



注: 同组柱形图中不同字母表示 0.01 水平下差异极显著, “-”表示对照, “+”表示经罗勒烯处理。A: *PR1* 基因相对表达量, B: *PDF1.2* 基因相对表达量。

Figure 5. Relative expression level of resistance genes
图 5. 抗性基因相对表达情况

3.6. 田间施用 β -罗勒烯对烟蚜种群数量的影响

Table 3. The control effect of different treatments and stages on *Myzus persicae*
表 3. 不同处理不同时期烟蚜虫口减少率

时期	对照组 数量/头	化学农药组		罗勒烯处理组	
		数量/头	虫口减少率/%	数量/头	虫口减少率/%
4/10	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
4/17	2.08 ± 0.52	0.53 ± 0.15	74.52 ± 9.25a	0.82 ± 0.22	60.57 ± 7.33b
4/24	7.85 ± 2.67	3.56 ± 0.87	54.65 ± 9.85a	3.17 ± 1.04	59.62 ± 11.50a
5/01	12.10 ± 3.55	1.94 ± 0.55	83.97 ± 5.25a	4.12 ± 1.66	65.95 ± 8.66b
5/08	6.80 ± 1.95	3.29 ± 0.65	51.62 ± 5.25b	2.81 ± 0.75	58.67 ± 6.03a
5/15	8.05 ± 3.23	2.24 ± 0.52	77.17 ± 8.27a	3.18 ± 1.15	60.50 ± 7.16b
5/22	8.33 ± 2.78	4.21 ± 1.76	49.46 ± 7.05b	3.20 ± 0.55	61.58 ± 4.50a
5/29	6.25 ± 1.85	1.87 ± 0.46	70.08 ± 10.25a	2.19 ± 0.73	64.96 ± 9.85a

注: 表中同一时间图注上不同的小写字母表示单因素方差分析在 0.05 水平下, 差异显著。

根据室内盆栽试验结果, 将以 10 mM β -罗勒烯用于大田, 吡虫啉配制成 500 倍液后用于大田。见表 3, 在整个调查期间, 处理组与化学试剂对照组烟蚜数量均低于对照组, 施用 β -罗勒烯后, 烟蚜数量相比对照减少了 58.67~65.95%; 施用化学农药后, 烟蚜数量相比对照减少了 49.46%~83.97%。 β -罗勒烯在整个防控期间内效果较为稳定波动较小, 施用化学农药效果波动较大。化学农药能迅速灭杀烟蚜, 在施用初期, 烟蚜数量迅速减少, 效果较为显著, 但随着时间的推移以及降雨等天气情况的影响, 药效逐渐降低, 烟蚜数量开始回升; 施用 β -罗勒烯后, 烟株自身防御体系被激活, 此期间不会因外界环境变化而影响防治效果, 烟蚜数量从一开始就显著降低, 整个防治过程波动较小, 效果稳定。综上所述, 施用 β -罗勒烯及化学农药均能有效控制烟蚜的种群数量, 但施用 β -罗勒烯效果更加稳定且符合烤烟绿色发展理念。

4. 结论

通过室内盆栽试验确定, 烟株经 10 mM β -罗勒烯诱导后, 对烟蚜展现出的抗性最强。烟株经 10 mM β -罗勒烯诱导后, 烟蚜密度减少了 81.7 头/株、种群增长率减少了 8.87 个百分点; 通过进一步分子水平检测发现, 烟株体内水杨酸防御途径指示基因 *PR1* 与茉莉酸/乙烯防御途径指示基因 *PDF1.2* 的表达量分别上升了 9 倍和 1.5 倍。以 10 mM β -罗勒烯用于大田, 在整个防控期间内, 烟蚜数量减少了 58.67%~65.95%, 相较于化学农药效果更加稳定且更加绿色环保。基于本研究的数据得出结论, β -罗勒烯可作为一种新型的烟蚜防控试剂, 建议浓度为 10 mM。

5. 讨论

通过室内盆栽试验发现, β -罗勒烯对烟蚜种群影响较大, 烟蚜种群数量、种群增长率均显著降低, 这些结果与 Kang 等的结论相近[14], 此外, 烟株经 β -罗勒烯诱导后, 对烟蚜具有显著的趋避作用。分子水平检测显示, 经 β -罗勒烯诱导后, 烟株体内抗性基因 *PR1* 及 *PDF1.2* 的表达量极显著上升, 这与刘春林报道的结果一致[23]。烟株经 β -罗勒烯诱导后所展现出的抗性, 与 *PR1* 及 *PDF1.2* 表达量的上调密切相关, 这与 Shonle 的结论一致[24]。*PR1* 与 *PDF1.2* 分别作为 SA 防御途径及 JA 防御途径的指示基因, 其表达量的提升预示着两条防御信号通路同时被激活, 而 SA 信号传导途径参与了由烟蚜取食诱导的植物防御反应[25], 据此分析, SA 防御途径被激活, 可能是 β -罗勒烯诱导烟株对烟蚜产生抗性的主要原因。以上结果表明 β -罗勒烯在防控蚜虫方面存在着巨大潜力。

项目基金

湖南省烟草公司长沙市公司项目“罗勒烯防控烟草病毒病的应用与研究”(CS2023KJ02); 湖南省教育厅项目(20K070)。

参考文献

- [1] 王凤龙, 周义和, 任广伟. 中国烟草昆虫图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [2] Brault, V., Uzest, M., Monsion, B., et al. (2010) Aphids as Transport Devices for Plant Viruses. *Comptes Rendus Biologies*, **333**, 524-538. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.04.001>
- [3] 马亚玲, 刘长仲. 蚜虫的生态学特性及其防治[J]. 草业科学, 2014, 31(3): 519-525.
- [4] 娄芳, 朱文平, 赵小燕, 等. 烟草蚜虫危害及防治措施[J]. 植物医生, 2003, 16(5): 9-10.
- [5] 刘保才, 王俊琪, 孙国语. 蔬菜病虫害化学防治中的 3R 问题与科学使用农药[J]. 上海蔬菜, 2004(6): 68-69.
- [6] 屠豫钦. 有害生物化学农药防治与农药的科学使用技术问题[J]. 中国烟草科学, 2003, 9(z1): 71-78, 82.
- [7] 高正良, 钱玉梅. 烟田主要害虫时空动态与化学防治[J]. 安徽烟草科技, 1994(4): 337-339.
- [8] Dicke, M. and Bruin, J. (2001) Chemical Information Transfer between Wounded and Unwounded Plants. *Biochemical Systematics and Ecology*, **29**, 1103-1113. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(01\)00053-9](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(01)00053-9)

- [9] Dicke, M., Sabelis, M.W., Takabayashi, J., *et al.* (1990) Plant Strategies of Manipulating Predator-Prey Interactions through Allelochemicals: Prospects for Application in Pest Control. *Journal of Chemical Ecology*, **16**, 3091-3118. <https://doi.org/10.1007/BF00979614>
- [10] Arimuri, G., Ozawa, R., Nishioka, T., *et al.* (2002) Herbivore-Induced Volatiles Induce the Emission of Ethylene in Neighboring Lima Bean Plants. *The Plant Journal*, **29**, 87-98. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2002.01198.x>
- [11] Nalam, V., Louis, J. and Shah, J. (2019) Plant Defense against Aphids, the Pest Extraordinaire. *Plant Science*, **279**, 96-107. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.04.027>
- [12] Kishimoto, K., Matsui, K., Ozawa, R., *et al.* (2006) Analysis of Defensive Responses Activated by Volatile *allo*-Ocimene Treatment in *Arabidopsis thaliana*. *Phytochemistry*, **67**, 1520-1529. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.05.027>
- [13] Kessler, A. and Baldwin, I.T. (2001) Defensive Function of Herbivore-Induced Plant Volatile Emissions in Nature. *Science*, **291**, 2141-2144. <https://doi.org/10.1126/science.291.5511.2141>
- [14] Kang, Z.W., Liu, F.H., Zhang, Z.F., *et al.* (2018) Volatile β -Ocimene Can Regulate Developmental Performance of Peach Aphid *Myzus persicae* through Activation of Defense Responses in Chinese Cabbage *Brassica pekinensis*. *Frontiers in Plant Science*, **9**, Article 708. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00708>
- [15] 桂茜. 罗勒烯促进植物抗虫分子机制的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- [16] Kishimoto, K., Matsui, K., Ozawa, R., *et al.* (2005) Volatile C6-Aldehydes and *allo*-Ocimene Activate Defense Genes and Induce Resistance against *Botrytis cinerea* in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology*, **46**, 1093-1102. <https://doi.org/10.1093/pcp/pci122>
- [17] 刘梅, 张昌容, 班菲雪, 等. 南方小花蝽-蚕豆-蚕豆蚜载体植物系统对茶叶害虫的控制效果[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(5): 936-945.
- [18] 覃韧, 李戎, 潘应拿, 等. 烟蚜茧蜂对草莓蚜虫的控制效果[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45(10): 49-54.
- [19] 晁文娣, 吕昭智, 赵莉, 等. 七星瓢虫对不同初始密度棉蚜种群的调控作用[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43(1): 206-213.
- [20] 徐长宝, 谢戈亮, 柯伟政, 等. 矿物油对茶园小贯小绿叶蝉的控制效果和对茶叶感官品质的影响[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(4): 1010-1018.
- [21] 庞雄飞, 张茂新, 侯有明, 等. 植物保护剂防治害虫效果的评价方法[J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 108-110.
- [22] 胡佳, 曾文婕, 刘春林. 叶片中 GUS 染色观测油体含量技术体系的建立[J]. 植物生理学报, 2017, 53(2): 185-190.
- [23] Liu, C.L., Ruan, Y., Guan, C.Y., *et al.* (2004) β -Ocimene Gene Expression Pattern Induced by Ocimene Signaling Molecule. *Science Bulletin*, **2004**, 2643-2644.
- [24] Shonle, I. and Bergelson, J. (1995) Interplant Communication Revisited. *Ecology*, **76**, 2660-2663. <https://doi.org/10.2307/2265837>
- [25] Reymond, P. (2013) Perception, Signaling and Molecular Basis of Oviposition-Mediated Plant Responses. *Planta*, **238**, 247-258. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1908-y>