

β -罗勒烯对烟草黄瓜花叶病毒防控效果的研究

黄生林^{1,2*}, 李春宇^{1,2}, 陈庆龙^{1,2}, 金迎舒^{1,2}, 阮 颖^{1,2}, 刘春林^{1,2#}

¹作物代谢调控与代谢工程实验室, 湖南农业大学农学院, 湖南 长沙

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

收稿日期: 2025年10月23日; 录用日期: 2025年11月13日; 发布日期: 2025年11月26日

摘 要

在植物生理生态的通讯网络中, β -罗勒烯扮演着关键信号分子的角色, 而当应用于烤烟黄瓜花叶病毒病(CMV)的防控时, 其抑制病害、减轻危害的效果尤为突出。室内盆栽试验中, 处理组发病率比对照组低55.5%, 病情指数下降46.39%。大田试验中, β -罗勒烯效果优于化学农药, 控制效果达63.75%至64.70%。病情上升率统计显示, β -罗勒烯诱导的植株病情指数仅上升33.0%, 远低于化学农药组和对照组。这表明 β -罗勒烯不仅在初始阶段有效防控CMV, 还能持续抑制病情恶化。这一系列数据表明, β -罗勒烯为大田防控CMV提供了一种创新、高效的方法, 减少化学农药依赖, 推动绿色农业发展, 为农业现代化提供支撑。

关键词

β -罗勒烯, 信号分子, 烟草黄瓜花叶病毒, 发病率, 病情指数

Study on the Control Effect of β -Ocimene on Tobacco Cucumber Mosaic Virus

Shenglin Huang^{1,2*}, Chunyu Li^{1,2}, Qinglong Chen^{1,2}, Yingshu Jin^{1,2}, Ying Ruan^{1,2}, Chunlin Liu^{1,2#}

¹Laboratory of Crop Metabolic Regulation and Metabolic Engineering College of Agronomy, 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: October 23, 2025; accepted: November 13, 2025; published: November 26, 2025

Abstract

In the communication network of plant physiological ecology, β -ocimene acts as a key signaling

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 黄生林, 李春宇, 陈庆龙, 金迎舒, 阮颖, 刘春林. β -罗勒烯对烟草黄瓜花叶病毒防控效果的研究[J]. 植物学研究, 2025, 14(6): 357-365. DOI: 10.12677/br.2025.146040

molecule, and its effect of inhibiting diseases and reducing harm is particularly prominent when applied to the control of tobacco Cucumber Mosaic Virus (CMV) disease. In the indoor potted experiment, the disease incidence of the treatment group was 55.5% lower than that of the control group, and the disease index decreased by 46.39%. In the field experiment, notably, β -ocimene achieved a higher control efficiency than chemical pesticides, with the efficacy values ranging between 63.75% and 64.70%. Statistics on the disease progression rate showed that the disease index of plants induced by β -ocimene only increased by 33.0%, which was much lower than that of the chemical pesticide group and the control group. This indicates that β -ocimene not only effectively controls CMV in the initial stage but also continuously inhibits the deterioration of the disease. These data show that β -ocimene provides an innovative and efficient method for the field control of CMV, reduces reliance on chemical pesticides, promotes the development of green agriculture, and provides support for agricultural modernization.

Keywords

β -Ocimene, Signaling Molecule, Tobacco Cucumber Mosaic Virus (CMV), Disease Incidence, Disease Index

Copyright © 2025 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

烟草(*Nicotiana tabacum* L.)作为我国重要的经济作物,在多个省份均有规模化种植,其中湖南省是全国第三大烟叶产区,其烟叶产量与品质对我国烟草产业发展具有重要影响[1][2]。近年来,烟草花叶病在我国大部分烟区蔓延态势明显,其中烟草黄瓜花叶病毒(*Cucumber Mosaic Virus*, CMV)的发病情况更为普遍且愈发严重[3]。该病害的肆虐,不仅导致烟叶产量大幅下滑,还使得烟叶的外观形态、内在化学成分等品质指标受损,最终给国家烟草经济发展和烟农的切身利益带来了巨大的经济损耗。所以,找到成本可控、防控高效的途径来应对烟草花叶病(包括前期预防与后期救治),已成为推动烟草产业提质增产过程中必须优先解决的核心问题[4]-[6]。

因此,如何控制烟草花叶病危害,已成为当前烟草生产中的核心难题。目前其防治手段主要分为农业、物理、生物、化学四类,但均存在明显局限:农业防治(如选用抗病品种、强化栽培管理[7][8])虽基础,却面临周期长、推广难的问题——传统杂交育种要培育出农艺性状优良且高抗花叶病毒的烟草品种[9]-[11],往往需 5~15 年甚至更久的杂交、回交与筛选;物理防治(如 20 世纪 80 年代我国尝试的银灰色薄膜避蚜防病技术[12])则成本高、实施难度大,至今未能大面积应用;生物防治效果不稳定且技术复杂,化学防治又易引发环境污染与农药残留,威胁人体健康[13]-[15]。

正因现有方法存在不足,寻找防治普通烟草花叶病毒的新途径愈发受关注,而通过诱导植物自身抗性来防控烟草病毒病的思路[16],也逐渐成为研究热点。

当植物感染部位的防御反应被激活后,其远端组织往往会随之启动系统性防御,这种广谱抗病能力被定义为系统获得性抗性(SAR)。该抗性的典型特征是特定病程相关蛋白基因(*PR* 基因)的协同表达,其激活途径可来源于模式触发免疫(PTI)与效应子触发免疫(ETI),且始终伴随水杨酸(SA)含量的显著升高[17][18]。研究证实,若植物的 SA 信号传导通路受损,不仅无法形成 SAR, *PR* 基因也难以被激活,这直接证明了 SA 在 SAR 建立过程中扮演着不可或缺的中间信号角色。在 SA 信号传递链中,调节蛋白 NPR1 是核心转导因子,它在 SA 的诱导下会激活自身功能,进而作为转录共激活因子调控下游抗性基因的表

达。值得注意的是,近年研究发现, β -罗勒烯具备诱导植物产生 SAR 的能力,可作为激活植物系统获得性抗性的关键试剂[19]。

作为一种能介导植物间通讯、触发防御反应的信号分子, β -罗勒烯的独特作用机制已被多项研究揭示:它可打破植物体内水杨酸(SA)防御途径[20]与茉莉酸(JA)防御途径之间的拮抗关系。这两种途径原本常因资源分配呈现“此消彼长”的互斥效应,而 β -罗勒烯能促使二者协同作用,一方面提升抗病相关的 *PR1* 基因表达水平,另一方面同步增强抗虫相关的 *PDF1.2* 基因表达量,最终实现植物“既抗病又抗虫”的双重防御效果[21][22]。

基于上述特性, β -罗勒烯在烟草病毒病防控领域展现出巨大应用潜力。因此,以 β -罗勒烯为核心研究试剂,进一步深入探究其对烟草黄瓜花叶病毒的防控效能,同时通过 RT-qPCR 分析烟株体 CMV 的含量[23],最后通过田间药效试验分析 β -罗勒烯对 CMV 的防治效果,有望为烟草黄瓜花叶病毒病的绿色、高效防控提供全新研究方向与技术思路。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

供试烤烟品种为“云烟 87”,由湖南农业大学农学院烟草科学重点实验室馈赠。采用漂浮育苗技术培育烟苗,当烟苗生长至两叶一心期时,选取长势均匀、无胁迫损伤的健康烟苗,移栽至直径 10 cm、深度 15 cm 的育苗钵中;待烟苗生长至五叶一心期时,备用供后续试验使用。

2.2. 试剂

试验所用试剂及试剂盒如下:91% β -罗勒烯(购自西格玛公司);90%苯丙噻二唑(购自湖北实顺生物科技有限公司);无水乙醇(购自天津市化工三厂有限公司);Easstep™ M Super 总 RNA 提取试剂盒(购自上海普洛麦格生物产品有限公司);cDNA 反转录试剂盒(购自上海赛默飞世尔科技公司)。

2.3. 试验仪器

试验所用仪器如下: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);LighCycler®480 II 型荧光定量 PCR 仪(瑞士 Roche 公司)。

2.4. 试验地点与时间

湖南农业大学作物代谢调控与代谢工程实验室,长沙市浏阳烟草试验基地(经度:113.85°,纬度:28.29°)。试验时间:2025.03~2025.08。

2.5. 试验设计

试验参考曾维爱、李宏江[16]的方法,通过室内盆栽试验与大田试验相结合的设计,全面系统地探究 β -罗勒烯对烟草相关特性的影响及其实际应用效果,具体试验设计如下:

一、室内盆栽试验

为保障结果的准确性与可靠性,试验仅设两组处理,且均采用“三次重复、每重复 9 株烟苗”的设计以扩大样本量、降低误差:

处理组:烤烟经 β -罗勒烯诱导处理,重点观察其病毒抗性等指标变化;

对照组:烤烟不进行 β -罗勒烯诱导,其余培养条件(光照、温度、水分、土壤肥力等)与处理组严格一致,以此精准界定 β -罗勒烯的作用效果。

二、大田试验

为验证 β -罗勒烯在实际田间环境中的表现，并与传统防治手段对比，试验共设三类处理，同时通过多重控制确保数据有效性。

处理设置。

处理组：田块施用 β -罗勒烯；

空白对照组：田块既不施用 β -罗勒烯，也不施用化学农药；

化学农药组：田块施用化学农药，用于与 β -罗勒烯处理组对比，分析不同防控手段的优劣。

调查与控干扰措施。

病害调查采用“五点取样法”，每个田块选取 5 个代表性样点，每个样点随机调查 50 株烤烟，保障数据统计的科学性；为避免各处理间因气流、水流、土壤传播产生交叉干扰，处理区间用黑色薄膜阻隔，且间隔距离达 5 米，确保各处理在相对独立的环境中进行。

2.6. 调查内容及方法

一、室内烟苗培育与筛选

室内烟苗培育阶段需全程监测生长状态，待烟苗进入五叶一心的关键生育期后，按以下标准筛选试验苗，确保试验基线一致。

生长一致性：挑选叶片大小、茎秆粗细等外观生长指标相近的烟苗，避免因初始生长差异干扰试验结果；

生长健壮度：所选烟苗需长势健壮，且整个培育周期内未经历干旱、病虫害等任何胁迫胁迫，为后续试验的准确性与可靠性筑牢基础。

二、室内 β -罗勒烯诱导与 CMV 接种

β -罗勒烯诱导处理：完成对处理组烟苗的 β -罗勒烯诱导后，随即对处理组与对照组烟株进行 CMV 病毒接种[24] [25]，接种过程需严格控制变量：

接种量一致：精确调控两组烟株的病毒接种量，确保完全相同，排除因病毒量差异导致的试验误差；

接种条件统一：接种部位、接种面积均需精准控制，保证处理组与对照组在该环节无任何差异。

重复设置与结果统计：每个处理设 3 次重复，以降低偶然因素影响；待烟株发病后，及时、精准统计各组的发病率与病情指数。

三、大田试验处理与调查

试剂施加：从烟苗移栽后第 15 天起，每两周分别对各处理组施加 β -罗勒烯(处理组)或化学农药(化学农药组)，施加过程中严格控制剂量与操作方式，确保各处理区域接受准确、统一的干预。

病害调查：在烤烟旺长期与初花期两个关键阶段，采用五点取样法开展 CMV 病害调查；

样点选择：选取具有代表性的样点，覆盖大田不同位置，保证数据代表性；

调查记录：每个样点调查 50 株烤烟，准确判断并记录每株烤烟的发病症状，包括叶片病斑的数量、大小、形状及分布情况，为后续发病率与病情指数计算提供基础数据。对于发病指标进行调查，参照国家标准 GB/T23222-2008 评估病害等级。病毒病病情指数及发病率计算公式如下：

$$\text{病情指数} = \frac{\sum \text{各级病株(叶)数} \times \text{相对极值}}{\text{调查总株(叶)数} \times \text{最大极值}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发病率}(\%) = \frac{\text{发病株(叶)数}}{\text{调查总株(叶)数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{防治效果}(\%) = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{病情上升率}(\%) = \frac{\text{后期病情指数} - \text{前期病情指数}}{\text{前期病情指数}} \times 100\%$$

(4)

2.7. 烤烟病毒含量的检测

烟株经 β -罗勒烯诱导处理后，分别收集各处理烟株的叶片，按照 Trizol 法分别提取 β -罗勒烯叶片总 RNA，反转录为 cDNA。利用 premier primer5 软件设计 CMV 基因实时定量 PCR 产生抗性(Quanlilitative Real-Time PCR, qRT-PCR)引物，以 *Actin* 作为内参基因，按照 Light Cycler®480 SYBR GreenI Msater qPCR 试剂盒的操作说明配置反应体系，使用 Light Cycler®480II型荧光定量 PCR 仪进行 β -罗勒 qRT-PCR 反应 [16]。根据 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 法对各处理 CMV 的相对表达量进行计算[23]，探究 β -罗勒烯对烟株体内 CMV 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>	CCCCTCACCACAGAGTCTGC	<i>Actin-F</i> 基因 PCR 扩增
<i>Actin-R</i>	CCCCTCACCACAGAGTCTGC	<i>Actin-R</i> 基因 PCR 扩增
<i>CMV-F</i>	GGCTTTCCAAGGTACCAGTAG	<i>CMV-F</i> 基因 PCR 扩增
<i>CMV-R</i>	ATCGAGCTTGCCAATTACTAC	<i>CMV-R</i> 基因 PCR 扩增

3. 结果与分析

3.1. β -罗勒烯诱导烟株防御烟黄瓜花叶病毒病

外源施加 β -罗勒烯可显著诱导烤烟对 CMV 的抗性，接种后处理组烟株发病程度显著低于对照组(图 1)。对照组 CMV 发病率达 85.1%、病情指数为 66.14，而处理组发病率仅 29.6%(降幅 55.5%)，病情指数 19.75 (降幅 46.39%) (表 2)。结果表明， β -罗勒烯能有效抑制 CMV 的增殖，其优良防控效果为后续大田试验提供了坚实依据。

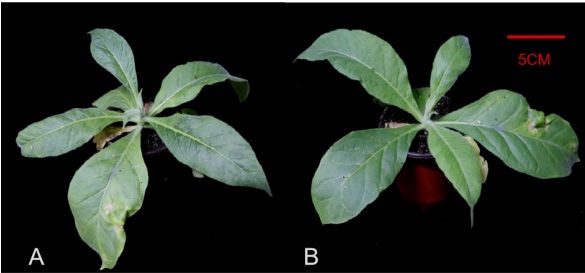


Figure 1. Effect of indoor prevention and control of CMV in β -ocimene.

A: Control (CK); B: β -ocimene

图 1. β -罗勒烯室内防控 CMV 的效果。A：对照(CK)；B： β -罗勒烯

Table 2. The prevention and control effect of A β -ocimene CMV

表 2. β -罗勒烯对 CMV 的防控效果

处理	发病率(%)	病情指数	防治效果(%)
对照	85.1 $\pm$ 6.8a	66.14 $\pm$ 8.7a	—
β -罗勒烯	29.6 $\pm$ 5.2b	19.75 $\pm$ 4.2b	70.13

注：数据中不同小写字母代表处理间存在显著差异(单因素方差分析， $P < 0.05$)。

外源施用 β -罗勒烯可有效减轻 CMV 对烟株造成的危害，显著降低病害表型严重程度，直观可见(图 2)。CMV 接种 7 天后，对照组烟株表现出褪绿、叶缘上卷症状，新叶出现明脉、褪绿现象；而 β -罗勒烯处理组烟株未出现上述症状，新叶几乎未受侵害。这表明 β -罗勒烯能有效抑制 CMV 的增殖与转运，增强烟株抗 CMV 能力。室内盆栽试验证实， β -罗勒烯作为植物通讯信号分子，具有诱导烟株抗 CMV 的独特功能，为其田间应用提供了理论支撑和实践依据。

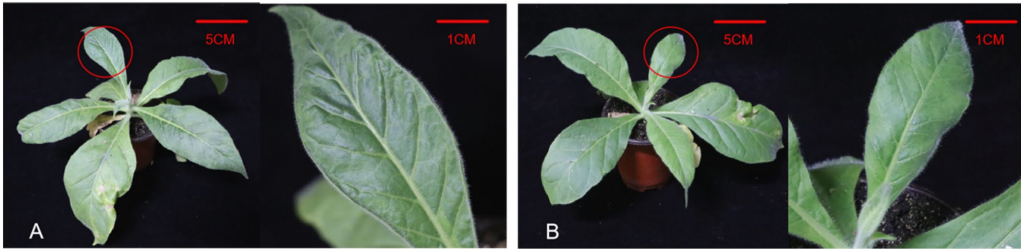
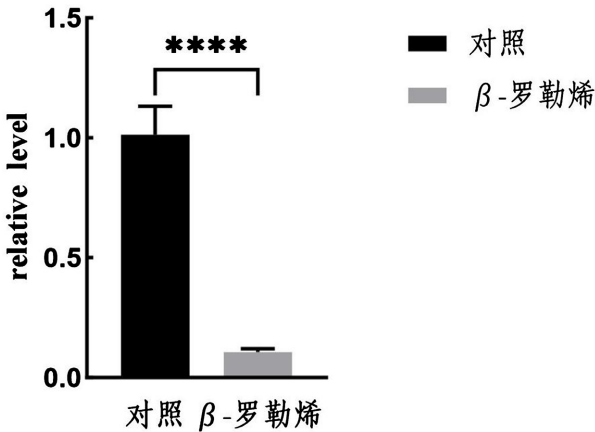


Figure 2. The incidence of CMV on tobacco plants after induction treatment with β -ocimene. A: Control (CK); B: β -ocimene

图 2. 经 β -罗勒烯诱导处理后对 CMV 在烟株上发病情况。A: 对照(CK); B: β -罗勒烯

分子水平检测结果显示(图 3)， β -罗勒烯诱导后，处理组烤烟植株内 CMV 含量显著低于对照组，病毒复制被显著抑制，且对照组 CMV 含量较处理组升高近 10 倍。这进一步证实， β -罗勒烯可诱导烟株增强抗 CMV 能力，通过降低植株内病毒含量减轻 CMV 危害。



注：图中不同处理图注上不同的*表示单因素方差分析在 0.05 水平下，差异显著。

Figure 3. The impact of β -ocimene on the accumulation of CMV
图 3. β -罗勒烯对 CMV 积累量的影响

3.2. 大田施用 β -罗勒烯对烟草普通花叶病毒病的防治效果

在自然状况下，于旺长期开展首次针对 CMV 的发病率及病情指数的调查(图 4)。

在旺长期调查时，对照组烟田 CMV 发病率为 9.7%，病情指数 2.40；化学农药组发病率 7.6%、病情指数 1.24，防治效果 48.33%。 β -罗勒烯处理组防控效果显著，发病率降至 5.4%，病情指数 0.87，防治效果达 63.75%，优于化学农药组。初花期调查显示，各处理组发病率及病情指数均有上升，但 β -罗勒烯组上升趋势平缓，病情指数增幅极小，最终防治效果升至 64.70%，显著高于化学农药组的 50.01%(表 3)。大田试验表明， β -罗勒烯具有显著抗病毒效果及独特作用机制，可作为防控烟草黄瓜花叶病毒病的新型试剂(图 4)。

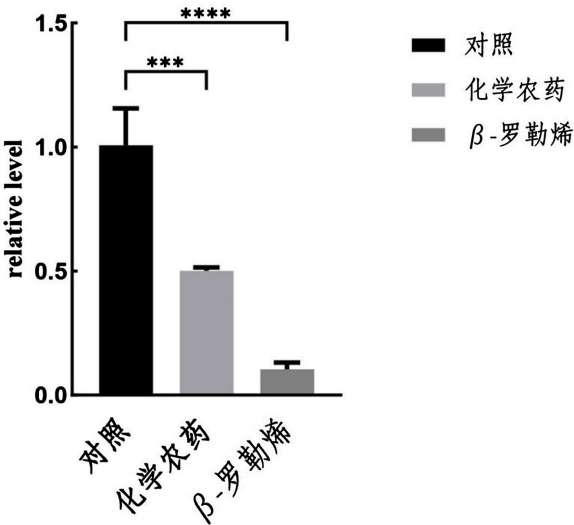


Figure 4. The incidence of CMV with different treatments. A: Control (CK); B: Chemical pesticides; C: β -ocimene
图 4. 不同处理 CMV 的发病情况。A: 对照(CK); B: 化学农药; C: β -罗勒烯

Table 3. Effect of different field treatments on the prevention and control of CMV
表 3. 大田不同处理对 CMV 的防控效果

处理	旺长期			初花期		
	发病率%	病情指数	防效%	发病率%	病情指数	防效%
对照	9.7 $\pm$ 2.2a	2.40 $\pm$ 0.52a	—	12.8 $\pm$ 2.6a	3.40 $\pm$ 0.59a	—
化学农药	7.6 $\pm$ 1.2b	1.24 $\pm$ 0.48b	48.33	10.1 $\pm$ 2.1b	1.70 $\pm$ 0.60b	50.01
β -罗勒烯	5.4 $\pm$ 1.0b	0.87 $\pm$ 0.28c	63.75	6.80 $\pm$ 2.0b	1.20 $\pm$ 0.54c	64.70

注：数据中不同小写字母代表处理间存在显著差异(单因素方差分析， $P < 0.05$)。



注：图中不同处理图注上不同的*表示单因素方差分析在 0.05 水平下，差异显著。

Figure 5. The impact of β -ocimene on the accumulation of CMV
图 5. 不同处理对 CMV 积累量的影响

为进一步验证 β -罗勒烯的防控效果,本研究通过分子检测技术分析了不同处理组烤烟植株体内的 CMV 含量,结果如(图 5)所示。数据表明,经 β -罗勒烯诱导处理后,处理组烤烟的 CMV 含量显著低于对照组,说明 β -罗勒烯可有效抑制病毒在烟株体内的复制;与此同时,对照组烟株的 CMV 含量较化学农药组升高近 2 倍,较 β -罗勒烯处理组升高近 4.5 倍。综上可见,在大田环境条件下, β -罗勒烯能够诱导烟株增强对 CMV 的抗性,通过显著降低植株体内的病毒载量,从而减轻 CMV 对烤烟的侵染危害。

4. 结论

本研究采用室内盆栽试验与大田试验相结合的方法。室内盆栽试验可精准控制环境因素,观察 β -罗勒烯诱导烟草对 CMV 的初期响应及微观变化,为田间试验提供理论支撑和技术参数;大田试验贴近实际生产环境,通过统计不同处理的发病率与病情指数、检测不同处理 CMV 积累量,明确 β -罗勒烯对烟草 CMV 的显著防控效果。该研究有助于开发高效、新型、绿色无残留的烤烟 CMV 防控技术,突破传统防治局限,提升防控效率,减少病毒对烟草产量和品质的影响,为烟草病虫害防治领域提供新方向,推动相关技术创新发展。

5. 讨论

当前,烟草黄瓜花叶病毒(CMV)的有效防控仍面临技术瓶颈[13]-[15],而 β -罗勒烯在该病毒防控中凸显出显著应用价值。其核心优势在于操作简便,无需复杂的技术支撑与设备投入,无论是专业技术人员还是普通烟农都能快速掌握。在实际应用该制剂时,需注重均匀施用,防止局部药剂堆积引发药害,同时避开雨天与大风天气以保障防控效果。由于该方法不受地域条件与种植规模的限制,具备较强的推广适用性,可快速转化为烟草生产中的实用防控技术[16]。这一技术路径不仅为 CMV 防控提供了全新思路与可行方案,拓宽了烟草病虫害防治的研究与实践范畴,为烤烟产业可持续发展筑牢技术根基;还能通过有效减轻病毒危害,保障烟草产量稳定与品质提升。

致 谢

本文在撰写和修改过程中,感谢杨忠龙、肖亚琴参与实验设计及实验结果分析。

基金项目

本研究由湖南省烟草公司长沙市公司项目(CS2023KJ02);湖南省教育厅项目(20K070)资助。

参考文献

- [1] 苏峻冬. 湖南烟草主要病虫害发病规律研究与测报应用的研发[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [2] 刘勇, 莫笑晗, 余清, 等. 云南、福建、湖南烟区烟草花叶病主要病毒种类检测及黄瓜花叶病毒亚组鉴定[J]. 植物病理学报, 2006(4): 310-313.
- [3] 周建国, 肖启明, 刘双清, 等. 烟草花叶病毒病发生及防治研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(1): 121-122, 138.
- [4] 彭建斐, 莫其会, 邓泽征, 等. 芷江县烟草花叶病的发生与防控药剂筛选[J]. 南方农业, 2024, 18(1): 165-168.
- [5] 田维强, 邢月, 夏秋兰, 等. 贵州省烟草病毒病的发生及综合防治措施[J]. 植物医学, 2022, 1(6): 110-116.
- [6] 白静科, 何雷, 吴彦辉, 等. 河南烟草主要病毒发生种类及侵染类型分析[J]. 中国烟草科学, 2022, 43(1): 49-54.
- [7] 马国胜, 何博如. 烟草病毒研究现状与展望[J]. 中国生态农业学报, 2006(2): 150-153.
- [8] 黄文川. 论我国烟草抗病毒基因工程[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 1999(3): 283-285.
- [9] 程立锐, 陈小翠, 代帅帅, 等. 烟草黄瓜花叶病毒抗性位点发掘[J]. 中国烟草科学, 2018, 39(4): 1-6.
- [10] 王凤龙, 时焦, 钱玉梅, 等. 烟草种质资源对黄瓜花叶病毒抗性鉴定研究[J]. 中国烟草科学, 2000(3): 3-6.
- [11] 李正风, 刘勇, 夏玉珍. 黄瓜花叶病毒及抗病转基因烟草研究进展[J]. 生物技术, 2006(5): 80-82.

- [12] 杨德廉, 王凤龙, 钱玉梅, 等. 我国烟草病毒病的防治研究策略[J]. 中国烟草科学, 2001(1): 48-50.
- [13] 龚玉娟. 湖南烟草病毒病发生现状及防治药剂筛选[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2021.
- [14] 刘艳华, 王志德, 钱玉梅, 牟建民, 陈德鑫, 申莉莉. 烟草抗病毒病种质资源的鉴定与评价[J]. 中国烟草科学, 2007(5): 1-4, 8.
- [15] 黄婷, 吴云锋, 陈伟, 等. 烟草品种对烟草花叶病毒和黄瓜花叶病毒的抗性鉴定[J]. 植物病理学报, 2013, 43(1): 50-57.
- [16] 曾维爱, 李宏江, 翟争光, 蔡海林, 林钢, 周世民, 谢鹏飞, 李帆, 阮颖, 刘春林. β -罗勒烯对烟草马铃薯 Y 病毒防控效果的研究[J]. 农业科学, 2023, 13(12): 1100-1107.
- [17] Durrant, W.E. and Dong, X. (2004) Systemic Acquired Resistance. *Annual Review of Phytopathology*, **42**, 185-209. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140421>
- [18] More, J.B. and Dang, J.L. (1997) The Hypersensitive Response and the Induction of Cell Death in Plants. *Cell Death and Differentiation*, **4**, 671-683. <https://doi.org/10.1038/sj.cdd.4400309>
- [19] 肖牧. 罗勒烯诱导植物防御反应的分子机制研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
- [20] 师金鸽, 李占杰, 杨铁钊. 水杨酸对烟草抗黄瓜花叶病毒的诱导效应[J]. 华北农学报, 2008, 23(6): 108-111.
- [21] Liu, C.L., Ruan, Y., Guan, C.Y., et al. (2004) β -Ocimene Gene Expression Pattern Induced by Ocimene Signaling Molecule. *Science Bulletin*, **22**, 2373-2374.
- [22] 刘武, 阮颖, 刘春林. 植物防御信号分子 β -罗勒烯的研究进展. 植物生理学报, 2012, 48(2): 103-110.
- [23] 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.
- [24] 罗懿. 烟草花叶病毒(Tobacco mosaic virus)和黄瓜花叶病毒(Cucumber mosaic virus)侵染心叶烟的小 RNA 鉴定分析[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
- [25] 陈茜, 刘英杰, 董勇浩, 等. 黄瓜花叶病毒侵染烟草对烟蚜生长发育、取食和选择行为的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(8): 1673-1683.