

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.05.008

不同药剂组合对烟草花叶病毒病的防控效果研究

刘余¹, 张莉鑫², 王正兵¹, 潘彦心²,
毛敏¹, 白加林¹, 简连均¹,
李云兵¹, 江其朋², 刘颖²

1. 中国烟草总公司四川省公司攀枝花市公司, 四川 攀枝花 617000;

2. 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715

摘要:烟草花叶病毒病(TMV)在攀枝花烟区发生普遍、危害严重,加之生产上缺乏绿色有效的病害防治技术,严重制约着攀枝花烟叶的高质量发展。通过田间小区试验,评估了“诱抗剂+叶面肥+控病药剂”组合对烟草花叶病毒病的防控效果,明确东茛菪内酯、水杨酸为优选诱抗剂,冠顶、希植美2号为配套叶面肥,宁南霉素为核心控病药剂。结果表明,东茛菪内酯和水杨酸联合希植美2号及宁南霉素叶面喷雾能显著提升烟株对烟草花叶病毒病的抗性,且东茛菪内酯对烟株抗性诱导水平要优于水杨酸,二者两次施药处理12 d后,病情指数较对照分别显著降低43.24%和31.35%,较处理前分别显著降低58.06%和46.83%,显著高于对照组病情指数降低率(26.26%);东茛菪内酯和冠顶及宁南霉素联合施用,两次叶面喷雾处理12 d后,病情指数较对照显著降低了43.24%,较处理前显著降低53.97%,且药剂联合叶面喷雾处理对田间烟株的株高、茎围和最大叶面积等均有一定的促进效果。实验结果旨在为攀枝花烟草花叶病毒病的绿色防控和烟株健康栽培提供理论参考和数据支撑。

关键词:烟草花叶病毒病, 抗性诱导,

东茛菪内酯, 绿色防控

中图分类号:S433.3

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号:2097-1354(2025)05-0066-09

Study on the Control Effect of Different Agents Combinations on Tobacco Mosaic Virus Disease

收稿日期:2024-06-10

基金项目:中国烟草总公司四川省公司科技专项项目“基于微生态调控的攀枝花烟草健康栽培关键技术研究与应用”(SCYC202208)。

作者简介:刘余,助理农艺师,主要从事烟草病害致病机理研究。

通信作者:刘颖,博士,实验师。

LIU Yu¹, ZHANG Lixin², WANG Zhengbing¹, PAN Yanxin²,
MAO Min¹, BAI Jialin¹, JIAN Lianjun¹,
LI Yunbing¹, JIANG Qipeng², LIU Ying²

1. Panzhihua Branch, Sichuan Tobacco Company, Panzhihua Sichuan 617000, China;

2. College of Plant Protection, Southwest university, Chongqing 400715, China

Abstract: Tobacco mosaic virus disease is a common and harmful disease in Panzhihua, and lack of green and effective control technology for this disease seriously restricted the high-quality development of local tobacco production. This study evaluated the control effect of combined application of resistance inducers, foliar fertilizers and disease control agents on tobacco mosaic virus disease by field experiment. The combined effects of scopoletin and salicylic acid as resistance inducers, Guanding and Xizhimei # 2 as foliar fertilizers, and Ningnanmycin as a key disease control agent by leaf spray treatment on the occurrence of tobacco mosaic virus disease and tobacco growth were investigated. The results showed that leaf spray treatment of scopoletin and salicylic acid combined with Xizhimei # 2 and Ningnanmycin could significantly improve the resistance of tobacco to mosaic virus. The inducing effect of scopolide on tobacco resistance was better than that of salicylic acid. 12 days after second application of two agents, disease index of tobacco mosaic virus was significantly reduced by 43.24% and 31.35% compared with CK, and by 58.06% and 46.83% compared before treatment, respectively, which the disease index reduction rate was significantly higher than that of control (26.26%). 12 days after the combined application of scopolide, Guanding and Ningnanmycin, the disease index was significantly reduced by 43.24% compared with CK, and 53.97% compared with before treatment. The combined application of resistance inducers, foliar fertilizers and disease control agent by leaf spray treatment had certain promoting effects on tobacco height, stem circumference and leaf area in the field. In this study, combined control application suitable for green control of tobacco mosaic virus disease in Panzhihua was screened, which provided theoretical reference and material support for green control of tobacco virus disease and healthy cultivation of tobacco in Panzhihua area.

Key words: tobacco mosaic virus disease; resistance inducing; scopoletin; green control

植物病毒病是仅次于植物真菌病害的第二大类植物病害,被称为“植物癌症”^[1],具有寄主专化性强、胞内寄生、传播迅速等特点^[2],可对农作物产量和质量造成严重的不利影响。烟草花叶病毒(Tobacco Mosaic Virus, TMV)是其中最具代表性的病原之一,已知可侵染 36 科 400 多种植物^[3],其侵染途径多样且隐蔽,一旦侵入便会迅速扩散至整株植物^[4],且使侵染植株终生带毒,条件适宜时迅速显症,导致作物减产甚至绝收。近年来,受烟田连作、单一烟草品种集中种植等因素的影响,烟草花叶病毒病的发生呈上升趋势,加之烟田感病烟株病残体清除不彻底,导致烟区烟草花叶病毒基数不断扩大,病害呈加重流行趋势,严重限制了我国烟叶的高质量发展^[5-7]。然而,传统化学防治效果有限,环境风险高,亟需低毒、高效、环境友好的绿色防控技术。

四川省攀枝花市地处西南高原植烟生态区,昼夜温差大,阳光充足,是我国优质烟叶的重要产区。近年来,受烟田连作和土壤保育措施不足等因素的影响,攀枝花部分烟区烟田土壤退化明显,土壤微生物群落结构和养分失衡严重,烟株早生快发能力不足、抗病抗逆能力较差^[8]。同时,在烟草移栽期至旺长期,攀枝花地区干旱少雨,日间气温较高,导致田间烟株烟草花叶

病毒病感病率高、显症早^[9]，对烟株前期长势和后期烟叶质量均有严重影响。随着绿色植保和食品安全理念深入人心，以植物抗性诱导为主的病害防控技术日益受到关注^[10-11]。植物诱抗剂可以通过激活植物免疫系统以增强植物抗病性，具有广谱抗病、不易产生抗性和绿色安全等优点^[12]，在病害防控中具有广阔的应用前景。同时，有研究表明，营养平衡对于提升植物抗性具有重要价值^[13-14]，但目前对于抗性诱导与营养补充在烟草花叶病毒病防控中的联合应用鲜有报道。因此，本研究通过田间试验探究了不同诱抗剂与叶面肥联合施用对于烟草花叶病毒病的防控效果，旨在明确适用于攀枝花地区烟草花叶病毒病绿色防控的最佳药剂组合，为攀枝花烟草的健康栽培和病害绿色防控提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验所用的材料及其来源如表 1 所示：

表 1 试验材料信息

名称	来源
8%宁南霉素水剂	四川金珠生态农业科技有限公司(市售)
0.5%东莨菪内酯乳剂	西南大学天然产物农药研究室(自研)
希植美 2 号	重庆西农植物保护科技开发有限公司(市售)
冠顶	四川国光农化股份有限公司(市售)
水杨酸(97%分析纯)	成都市科隆化学品有限公司(市售)

1.2 试验地情况

试验于 2022 年在四川省攀枝花市盐边县红格镇和爱乡民主村烟草种植基地(26°30'36"N, 102°0'36" E)开展，试验地海拔 2 035.9 m，烟草连作 5 年以上，且 2022 年田间烟草花叶病毒病发生严重。

供试烟草品种为云烟 99。试验烟苗均采用漂浮育苗法进行培育，按照四川省烟草公司攀枝花市公司制定的生产管理方案相关技术标准进行苗床和大田管理，烟苗移栽时间为 4 月 25 日，中心花开放打顶，打顶时间为 7 月 15 日。试验地烟草种植密度为行距 115~120 cm，株距 55~60 cm，平均每 667 m² 种植 1 100 株。

1.3 试验设计

选取较为平整的地块，划分试验小区，试验共设 7 个处理，每个处理设置 3 个重复，共 21 个小区，各小区面积约 50 m²，每小区约 60 株烟苗，按照随机区组排列各个小区。

所有药剂处理方式均为叶面喷雾，药剂浓度如表 2 所示，药液用量为 40 kg/667 m² (40 kg/1 100 株)。共喷施 2 次，第 1 次喷施时间为烟苗移栽后 60 d(烟株现蕾前，6 月 25 日)，第 2 次喷施时间为烟苗移栽后 70 d(烟株现蕾后打顶前，7 月 5 日)。

表2 田间小区试验设计

处理	处理设计
处理1	希植美2号400倍液+0.5%东莨菪内酯400倍液+宁南霉素500倍液
处理2	希植美2号400倍液+水杨酸4000倍液+宁南霉素500倍液
处理3	希植美2号400倍液+宁南霉素500倍液
处理4	冠顶500倍液+0.5%东莨菪内酯400倍液+宁南霉素500倍液
处理5	冠顶500倍液+水杨酸4000倍液+宁南霉素500倍液
处理6	冠顶500倍液+宁南霉素500倍液
处理7	空白对照

1.4 数据调查

1.4.1 烟株农艺性状调查

各小区选择10株代表性烟株挂牌标记,参照《烟草农艺性状调查方法》(YC/T 142-2010),在烟草现蕾期(第1次施药后10 d,7月5日)和打顶后5 d(第二次施药后15 d,7月20日)测定烟株的农艺性状,主要包括烟株的株高、茎围、有效叶片数、最大叶长、最大叶宽,并计算最大单叶面积。

$$\text{单叶面积}(\text{cm}^2) = 0.6345 \times \text{叶长}(\text{cm}) \times \text{叶宽}(\text{cm})$$

1.4.2 病害调查

参照《烟草病虫害分级及调查方法》(GB/T 23222-2008),对烟草花叶病毒病(TMV)进行系统调查。根据病害的发生情况,从发病初期开始,每隔3 d调查一次,连续调查4次以上。记录每个小区的发病株数及发病级数。烟草花叶病毒病分级标准如下:

0级:全株无病。

1级:心叶脉明或轻微花叶,植株无明显矮化。

3级:1/3叶片花叶但不变形,或植株矮化为正常株高的3/4以上。

5级:1/3~1/2叶片花叶,或少数叶片变形,或主脉变黑,或植株矮化为正常株高的2/3~3/4。

7级:1/2~2/3叶片花叶,或变形或主侧脉坏死,或植株矮化为正常株高的1/2~2/3。

9级:全株叶片花叶,严重变形或坏死,或植株矮化为正常株高的1/2以下。

根据田间病害发生情况,计算发病率、病情指数和病情指数减退率,计算公式如下:

$$\text{发病率}(\%) = \frac{\text{发病株数}}{\text{调查总株数}} \times 100\%$$

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{发病株数} \times \text{该病级代表值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高级代表值}} \times 100$$

$$\text{病情指数减退率}(\%) = \frac{\text{处理前病情指数} - \text{处理后病情指数}}{\text{处理前病情指数}} \times 100\%$$

根据病情指数计算相对防效:

$$\text{相对防效}(\%) = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100\%$$

1.5 数据分析方法

利用Excel 2013对数据进行整理,使用SPSS 17.0软件通过单因素方差分析(ANOVA)与

显著性差异检验($p < 0.05$), 使用 Origin 进行绘图。

2 结果

2.1 不同药剂叶面喷雾处理对烟草花叶病毒病发生的影响

自第2次施药后对田间烟草花叶病毒病发生情况进行调查, 结果如图1所示。由图1可知, 第2次施药时(处理后0 d), 处理1、处理2、处理3、处理4、处理5、处理6和处理7烟草花叶病毒病发病率均达到100%, 病情指数平均值分别为65.43、56.05、52.59、54.57、58.52、58.51和60.49; 第2次施药至施药后12 d, 处理组和对照组(处理7)病情指数呈逐渐降低趋势。至第2次施药后12 d, 对照组(处理7)烟草花叶病毒病病情指数仍维持在较高水平, 高达45.68, 处理1、处理2、处理3、处理4、处理5和处理6病情指数分别较对照组显著降低了43.24%、31.35%、34.59%、43.24%、24.86%和19.46%, 表明药剂叶面喷雾处理能有效缓解烟草花叶病毒病病情, 具有一定的病害防控效果。

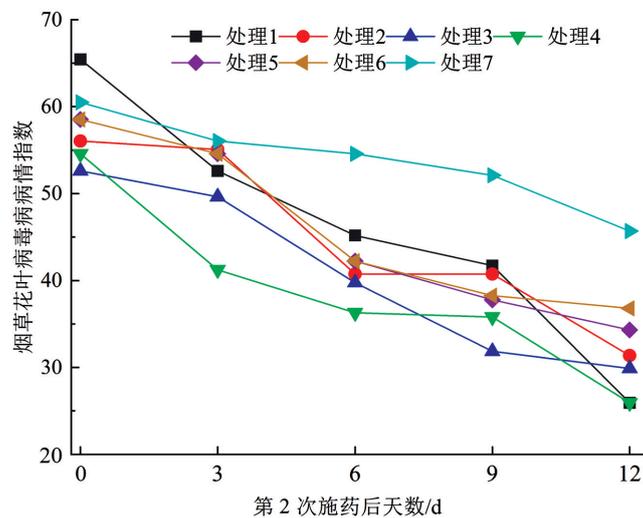


图1 不同药剂叶面喷雾处理对烟草花叶病毒病发生的影响

第2次施药后3 d, 处理1、处理2、处理3、处理4、处理5、处理6和处理7烟草花叶病毒病病情指数较第2次施药时分别降低了19.00%、11.78%、19.50%、23.15%、11.20%、11.20%和10.45%; 第2次施药后6 d, 处理1、处理2、处理3、处理4、处理5、处理6和处理7烟草花叶病毒病病情指数较第2次施药时分别降低了31.13%、25.97%、29.67%、29.41%、26.86%、26.86%和14.70%; 第2次施药后9 d, 处理1、处理2、处理3、处理4、处理5、处理6和处理7烟草花叶病毒病病情指数较第2次施药时分别降低了37.23%、34.22%、40.98%、38.79%、43.40%、39.40%和16.42%; 第2次施药后12 d, 处理1、处理2、处理3、处理4、处理5、处理6和处理7烟草花叶病毒病病情指数较第2次施药时分别降低了58.06%、46.83%、47.22%、53.97%、43.38%、41.05%和26.26%。第2次施药后12 d, 药剂处理组烟草花叶病毒病病情指数较第2次施药时的降低率均显著高于对照组, 进一步表明药剂叶面喷雾处理能有效促进烟草花叶病毒病病情指数的降低, 对病害具有明显的防控效果(表3), 病情指数降低率由高到低依次为处理1 > 处理4 > 处理3 > 处理2 > 处理5 > 处理6 > 处理7。

表3 不同药剂叶面喷雾处理后烟草花叶病毒病情指数降低率

单位:%

处理	第2次施药后天数/d			
	3	6	9	12
处理1	19.00±5.87ab	31.13±4.46b	37.23±4.64ab	58.06±1.99c
处理2	11.78±1.90a	25.97±1.08a	34.22±3.16ab	46.83±0.05bc
处理3	19.50±1.17ab	29.67±4.01ab	40.98±5.55b	47.22±5.85bc
处理4	23.15±3.28b	29.41±4.08ab	38.79±5.34ab	53.97±4.46bc
处理5	11.20±3.64a	26.86±5.88a	43.40±5.37b	43.38±5.30bc
处理6	11.20±3.64a	26.86±5.88a	39.40±4.43ab	41.05±4.21b
处理7	10.45±2.32a	14.70±3.91a	16.42±1.59a	26.26±3.49a

注:不同小写字母表示差异有统计学意义,下同。

整体来看,诱抗剂东莨菪内酯和水杨酸叶面喷雾处理均能显著提升烟株对烟草花叶病毒病的抗性,有利于感病烟株症状的缓解,且东莨菪内酯对烟株的抗性诱导效果要优于水杨酸,诱抗剂与叶面肥或宁南霉素联合施用可显著增强对TMV的防治效果,尤以东莨菪内酯与希植美2号及宁南霉素复配方案效果最佳。因此,建议在烟草花叶病毒病防控中优先推广该组合方案,以实现病害的高效、绿色治理。

2.2 不同药剂叶面喷雾处理对烟草生长的影响

对烟株现蕾期和打顶后5d的农艺性状进行调查,结果如表4和表5所示。调查结果表明,不同药剂叶面喷雾处理对烟株的生长均有一定的促进效果,药剂处理组烤烟株高、茎围、最大叶长、最大叶宽和最大叶面积一般要高于对照组(处理7)。其中,在现蕾期,处理1、处理3、处理4、处理5和处理6烤烟株高较对照组分别提升了5.51、7.05、5.92、0.98和9.35cm,处理1、处理2、处理3、处理4、处理5和处理6茎围分别较对照提高了9.54%、8.80%、9.29%、10.53%、20.32%和17.72%,最大叶面积分别较对照组提高了1.99%、1.14%、10.73%、5.21%、5.40%和12.82%。

表4 不同处理对烟株现蕾期农艺性状的影响

处理	株高/cm	茎围/cm	最大叶长/cm	最大叶宽/cm	最大叶面积/cm ²
处理1	125.29±0.87b	8.84±0.07ab	71.52±1.16a	33.61±2.2a	1531.96±23.46a
处理2	119.69±0.17a	8.78±0.03ab	72.67±0.15a	32.89±0.14a	1519.13±4.73a
处理3	126.83±0.52b	8.82±0.06ab	74.57±0.17a	35.10±0.69b	1663.19±21.02b
处理4	125.70±0.25b	8.92±0.11ab	73.32±0.31a	33.89±0.59ab	1580.40±33.88ab
处理5	120.76±3.55a	9.71±0.19b	73.91±0.54a	33.63±0.81a	1583.24±7.36ab
处理6	129.13±1.12b	9.50±0.52b	73.73±1.59a	36.16±0.31b	1694.57±50.90b
处理7	119.78±1.78a	8.07±0.12a	72.05±0.33a	32.81±0.52a	1502.07±17.56a

打顶后5d,处理1、处理2、处理3、处理4、处理5和处理6烤烟株高较对照分别提升了4.37、2.41、7.50、7.57、6.79和11.09cm,茎围分别较对照提高了4.83%、5.96%、8.43%、6.58%、3.80%和7.71%,最大叶面积分别较对照组提高了6.74%、1.72%、13.11%、9.57%、0.54%和8.19%。

表5 不同处理对烟株打顶后5 d农艺性状的影响

处理	株高/cm	茎围/cm	最大叶长/cm	最大叶宽/cm	最大叶面积/cm ²
处理1	130.15±2.81ab	10.20±0.15a	77.22±1.51a	36.11±2.99a	1 777.29±78.90ab
处理2	128.19±2.94a	10.31±0.04a	74.90±0.73a	35.57±0.74a	1 693.69±51.26a
处理3	133.28±3.28b	10.55±0.27a	76.87±1.52a	38.51±1.57a	1 883.34±59.37b
处理4	133.35±2.84b	10.37±0.25a	76.17±1.50a	37.21±0.35a	1 801.45±50.97b
处理5	132.57±3.49ab	10.10±0.03a	75.39±1.49a	34.93±0.32a	1 674.00±27.60a
处理6	136.87±1.80b	10.48±0.25a	78.65±0.37a	36.51±0.89a	1 824.34±36.13b
处理7	125.78±0.91a	9.73±0.21a	75.90±1.62a	34.51±0.36a	1 665.01±49.83a

整体来看,不同药剂叶面喷雾处理对烟株生长促进作用依次为处理6>处理4>处理3>处理5>处理1>处理2,由此可见,叶面肥冠顶对于烟株生长的促进效果要优于希植美2号,而抗性诱导剂处理对烟株生长可能有一定的延缓作用,表现为含抗性诱导剂处理组的烟株农艺性状略逊于不含抗性诱导剂处理组,且水杨酸对烟株生长的延缓效果要略强于东茛菪内酯。

3 讨论

本研究通过田间试验明确了诱抗剂+叶面肥+宁南霉素叶面喷雾处理对烟草花叶病毒病具有显著防效,表明“抗性诱导+营养补偿”策略在植物系统性病害治理中具有广阔前景,可为其他难防病害提供防治新思路。本研究首次报道东茛菪内酯、希植美2号和宁南霉素联用对烟草花叶病毒病的协同控制效果,具有较高的创新性和引领性,为攀西烟区乃至我国烟草花叶病毒病的防控提供了理论参考和材料支撑。然而,该药剂组合的推广应用还存在一定的局限性,其跨生态区适应性、不同气候条件下的稳定性及剂量优化仍需系统验证,以实现减量增效与精准应用。

烟草花叶病毒病初侵染源主要是土壤和病残体^[15],病毒能在土壤、病叶残体和烘烤过的病叶中存活数年,烟田病原基数大也是该病普发、高发的重要原因。在烟草的整个生育期,农事操作过程中的机械摩擦和灌溉用水等均会造成烟草花叶病毒的传播,而高温和强光等自然因素也能缩短烟草花叶病毒病的潜伏期,加速加重病害发生^[16-20]。攀枝花地区在烟草移栽期至旺长期高温少雨,烟草花叶病毒病发生严重,雨季来临后病株症状会有所减轻,但病毒对于烟株发育和烟叶品质的影响仍不容忽视^[21-22],生产上依然需要重视对病毒侵染的预防、对传播途径的阻断以及对感病烟株的救治。研究表明,早期实施诱抗剂+叶面肥+宁南霉素综合调控可显著缓解感病烟株的症状,促进植株恢复,对维持烟叶化学成分协调及烤后质量具有重要实践意义。

植物诱抗剂可以通过激活植物自身免疫系统达到提高植物抗病性、抵御病害的效果,具有广谱抗病、不易产生抗药性、安全无污染等优点,是植物病害防治的重要途径^[23-25]。东茛菪内酯和水杨酸广泛存在于植物中,具有抗真菌和细菌活性,是重要的诱抗剂^[26-31]。当烟株受到病原侵染时,烟株组织会响应产生高浓度的东茛菪内酯和水杨酸,直接参与烟草抵御病原入侵和限制病原扩增的系统抗性过程。本试验中,东茛菪内酯和水杨酸联合叶面肥及宁南霉素处理能显著减轻感病烟株症状,加快烟株恢复,表明东茛菪内酯和水杨酸对烟株抗病性均具有较好的

提升效果。然而,其抗性诱导机制,例如烟株响应的抗性通路和靶标,以及诱抗剂与病毒的互作关系等方面仍缺乏系统深入的研究,后续可借助多组学技术,针对性破解东莨菪内酯和水杨酸介导的植物抗性诱导和病害防控机理。

本研究发现,诱抗剂的施用对于烟株的生长有一定的抑制效果,这可能与处理后烟株体内系统抗性机制启动消耗更多生长所需的能量和物质有关。因此,在进行抗性诱导处理时,要结合病毒侵染的关键期,充分考虑抗性诱导的处理时间、处理次数和药剂浓度,控病与促生兼顾,以实现控病增产效果。

参考文献:

- [1] 刘翠君,石丽桥,王开梅. 微生物来源的抗植物病毒活性物质研究进展 [J]. 生物资源, 2019, 41(5): 381-389.
- [2] KUZUYAKOV Y, MASON-JONES K. Viruses in Soil: Nano-Scale Undead Drivers of Microbial Life, Biogeochemical Turnover and Ecosystem Functions [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2018, 127: 305-317.
- [3] WANG T N, YANG S, LI H Y, et al. Discovery, Structural Optimization, and Mode of Action of Essramycin Alkaloid and Its Derivatives as Anti-Tobacco Mosaic Virus and Anti-Phytopathogenic Fungus Agents [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(2): 471-484.
- [4] 申莉莉,贾海燕,何青云,等. 毒株、苗龄及温度对烟草苗期接种 TMV 试验的影响 [J]. 植物病理学报, 2021, 51(4): 607-617.
- [5] 夏焯. 三种烟草病毒在烟田土壤中的分布动态及在烟草中的互作 [D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [6] 白静科,吴彦辉,牛龙龙,等. 河南烟草病毒病田间发生动态及种类监测分析 [J]. 河南农业科学, 2022, 51(12): 90-96.
- [7] 邵高明. 攀枝花市烟草主要病虫害调查及防控技术研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
- [8] 赵誉强. 烟草花叶病毒(TMV)侵染对烟草土壤微生物及理化性质的影响 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [9] 江连强,官宇,殷鹏涛,等. 攀西地区土壤温湿度及盐分与烟株生长的相关性研究 [J]. 植物医生, 2020(4): 15-20.
- [10] YANG L, GUAN D L, VALLS M, et al. Sustainable Natural Bioresources in Crop Protection: Antimicrobial Hydroxycoumarins Induce Membrane Depolarization-Associated Changes in the Transcriptome of *Ralstonia solanacearum* [J]. Pest Management Science, 2021, 77(11): 5170-5185.
- [11] 肖鹏,王振国,李栋梁,等. 烟草抗性诱导剂及其使用技术 [J]. 植物医生, 2013, 26(3): 45-48.
- [12] 丁伟,刘颖. 植物医学的新概念——免疫调控 [J]. 植物医生, 2019, 32(5): 1-8.
- [13] 丁伟,张淑婷. 植物医学的新概念——营养病害 [J]. 植物医生, 2019, 32(3): 1-6.
- [14] 李红利,孙振元,赵梁军,等. 茉莉酸类物质对植物生长发育及抗性的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(16): 167-172.
- [15] 刘蕾,肖志鹏,周向平,等. 生防菌 BZ3 对烟草普通花叶病毒的生防效果及全基因组分析 [J]. 中国烟草科学, 2023, 44(4): 33-40.
- [16] 白静科,牛龙龙,吴彦辉,等. TMV、CMV 和 PVY 三重荧光定量 PCR 同步检测方法的建立 [J]. 中国烟草科学, 2023, 44(5): 55-61.
- [17] GAO D, WANG D M, CHEN K, et al. Activation of Biochemical Factors in CMV-Infected Tobacco by Ningnanmycin [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2019, 156: 116-122.
- [18] 崔培培,谢俊凯,郭文涛,等. 新型喹啉衍生物的设计、合成及抗烟草花叶病毒活性 [J]. 农药, 2024, 63(12): 871-878.
- [19] 王光华,刘俊杰,朱冬,等. 土壤病毒的研究进展与挑战 [J]. 土壤学报, 2020, 57(6): 1319-1332.
- [20] 李成军,孟颖光,高崇,等. 高温胁迫诱导烟草对 TMV 的抗性效应研究 [J]. 延边大学农学学报, 2018,

- 40(1): 74-77, 86.
- [21] 罗刚, 高华军, 韦忠, 等. 氨基寡糖素和钾营养调节剂对烟草普通花叶病毒病的防治效果 [J]. 作物研究, 2018, 32(2): 140-143.
- [22] 金亚波, 陈天才, 王克, 等. 追施 N, K 复合肥和 K₂SO₄ 对烟草品种 K326 生长和抗病性的影响 [J]. 植物医学, 2022, 1(1): 26-34.
- [23] WU L M, WU H J, CHEN L N, et al. Induction of Systemic Disease Resistance in *Nicotiana benthamiana* by the Cyclodipeptides Cyclo (l-Pro-l-Pro) and Cyclo (d-Pro-d-Pro) [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2017, 18(1): 67-74.
- [24] 赵烁. 喷施超敏蛋白对葡萄生长结实及诱导抗性的作用研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [25] 牛亚斌, 李红, 李晓静, 等. 植物诱导抗性剂在农业生产中的应用进展 [J]. 农业科技通讯, 2023(10): 120-122, 138.
- [26] 崔伟伟. 东茛菪内酯诱导烟草对青枯病的抗性及其作用机理研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [27] 杨振国. 植物保卫素东茛菪内酯对烟草的诱导抗性研究进展 [J]. 现代农业科技, 2014(16): 21-22, 27.
- [28] 杨亮. 羟基香豆素类化合物对青枯雷尔氏菌致病特性的调控作用研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [29] 李云洲. 外源水杨酸诱导 RNAi 与 MAPK3 级联信号抗番前黄化曲叶病毒研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [30] 王宇, 王辉, 朱文莹, 等. 水杨酸处理对番茄褪绿病毒抗性影响的初步研究 [J]. 山东农业科学, 2022, 54(10): 110-116.
- [31] 李寒, 蔡凯, 高维常, 等. 基于水杨酸和茉莉酸拮抗作用的烟碱合成调节研究 [J]. 农业生物技术学报, 2023, 31(8): 1595-1609.

责任编辑 孙文静 崔玉洁