

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.05.006

烟草野火病的绿色防控与健康管理的策略

周佳¹, 肖艳松², 刘华飞¹, 任佐华¹

1. 湖南农业大学 植物保护学院, 长沙 410128;

2. 湖南省烟草公司 郴州市公司, 湖南 郴州 423000

摘要: 烟草野火病是由丁香假单胞菌烟草致病变种(*Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*)引发的叶部细菌性病害。作为烟草种植领域的关键性细菌病害, 病原体通过侵染植物组织引起系统性病变。该病害的典型症状是叶片出现黄褐色坏死斑并伴有黄色晕圈, 感染烟叶在烘烤过程中表现出明显的理化特性劣变(如烤后叶片脆弱易碎), 且商业使用性降低, 严重威胁烟草产业的可持续发展。通过对烟草野火病的田间发病症状、微生物群落分析及综合防治的研究进展进行总结, 发现化学防治、生物防治和抗病品种的选育是主要的防治手段。化学防治存在农药残留及抗药性问题, 生物防治虽为绿色防控手段, 但生防菌的产业化应用尚未成熟; 抗病品种选育虽有一定进展, 但尚未培育出稳定的高抗品种。未来研究应聚焦于根据不同烟区的具体情况构建各自的绿色防控体系, 利用分子检测技术开发快速检测方法, 提前预警病害的发生。同时, 加强病原菌遗传多样性和防治方法的研究, 为制定烟草野火病的综合防治策略提供更多数据支持。

关键词: 烟草野火病; 绿色防控;

生物防治; 抗病品种

中图分类号: S432.4

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)05-0046-09

Green Control and Health Management Strategies for Tobacco Wildfire Disease

ZHOU Jia¹, XIAO Yansong², LIU Huafei¹, REN Zuohua¹

1. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Chenzhou Tobacco Company of Hunan Province, Chenzhou Hunan 423000, China

收稿日期: 2025-02-24

基金项目: 湖南省烟草公司郴州市公司科技项目(CZYC2022JS03)。

作者简介: 周佳, 硕士研究生, 主要从事植物病理学研究。

通信作者: 任佐华, 博士, 副教授。

Abstract: Tobacco wildfire disease is a bacterial leaf disease infection caused by *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*. As a critical bacterial disease in tobacco cultivation, the pathogen infects plant tissues, leading to systemic damage. The disease is typically characterized by the appearance of yellowish-brown necrotic spots surrounded by yellow halos on the leaves. Infected tobacco leaves exhibit significant deterioration in physicochemical properties during the curing process, such as increased brittleness and reduced commercial usability, posing a serious threat to the tobacco industry. This article elaborates on research related to field symptoms, microbial community analysis, and integrated management of tobacco wildfire disease. It finds that the most commonly used control methods in recent years include chemical control, biological control, and the breeding of disease-resistant varieties. However, chemical control faces issues such as pesticide residues and the development of resistance, while biological control, although environmentally friendly, but has not yet achieved mature industrial application of biocontrol agents. Although progress has been made in breeding disease-resistant varieties, but no stable, highly resistant varieties have been developed. Future research could focus on establishing region-specific green control systems based on local conditions, developing rapid detection methods using molecular detection technologies for early disease forecasting, and strengthening studies on the genetic diversity of the pathogen and control methods. These efforts will provide more data support for formulating comprehensive strategies to manage tobacco wildfire disease.

Key words: tobacco wildfire disease; green control; biological control; disease-resistant varieties

丁香假单胞菌(*Pseudomonas syringae*)是一种革兰氏阴性细菌,能够通过种子、水、昆虫和被感染的植物残体传播。该菌不仅存在于农业环境中,还广泛分布于非农业环境(如雨、雪、高山和湖泊等)^[1-2]。丁香假单胞菌可侵染多种植物并引发病害,是植物病理学中最重要病原菌之一^[3]。它有超过600种致病变种和超过15种已知的细菌物种^[4]。在自然条件下,该菌能够侵染超过300种经济作物,包括猕猴桃、番茄、桑树和烟草等。丁香假单胞菌可导致猕猴桃溃疡病^[5],引发番茄细菌性叶斑病,危害叶片和果实^[6],造成桑树桑疫病并对蚕桑产业造成重大损失^[7],以及引发烟草野火病和烟草角斑病。

烟草作为重要的经济作物,在其种植过程中常遭受病虫害的侵害。从病原类型分析,烟草的主要危害源包括细菌性病害(如青枯病)、真菌性病害(如黑胫病)、病毒性病害(如普通花叶病毒)以及根结线虫类寄生性病害四大类。根据统计,目前全球已鉴定的烟草病害超过100种,其中具有侵染性的病害种类占比超过60%,而导致烟草严重危害的病害有十几种^[8]。在这些病害中,由丁香假单胞菌引起的角斑病和野火病尤为突出。烟草植株感染后,叶片会出现显著的品质劣变现象,具体表现为烟碱水平下降、挥发性致香物质减少,并伴随刺激性异味的产生,最终导致烟叶丧失商业利用价值。烟草野火病是由丁香假单胞菌烟草致病变种(*Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*)引起的叶部细菌性病害。该病原菌通过雨水传播,具有发病迅猛和破坏力强的特点,能够在短时间内大面积侵染烟草叶片,对烟草生产造成严重威胁。目前,关于烟草野火病的研究主要集中在防治药剂、拮抗菌的筛选以及叶际微生物群落多样性的分析。烟草野火病的发生不仅影响烟草生产,病原菌的越冬导致病害连年发生,而且常伴随有真菌性病害的发生,给烟草产业造成重大经济损失,严重影响烟农收入。因此,研究烟草野火病的防治策略,具有重要的经济和社会价值。本文围绕烟草野火病的典型病征、微生物群落特征及其与病害发生的生态关联,系统梳理了病害发生规律及综合防控策略的最新研究进展,涵盖了生物防治、农艺措施和化学干预等多维度的综合防控技术体系,为构建绿色防控体系提供了理论依据。

1 烟草野火病的发生及危害

丁香假单胞菌是一个高度多样化的病原菌复合群,包含多个致病变种,每个致病变种具有特定的宿主特异性。烟草致病变种主要感染烟草,导致烟草野火病的发生。病原菌侵入烟草后,产生烟草毒素 tabtoxin,抑制植物谷氨酰胺合成酶的活性,导致氨的积累和细胞死亡,叶绿体基质层受到破坏,形成许多泡囊。在毒素作用下,叶片出现典型的坏死病斑和特征性的黄色晕圈等病理症状^[9-10]。烟草野火病最早由美国植物病理学家 Wolf 和 Foser 于 1917 年在美国发现,随后的两年内,病害对美国北卡罗来纳州的烟草造成了严重危害^[11]。此后,全球多地相继发生,我国烟草野火病首次在 20 世纪中期被记录,主要发生在辽宁和云南两大烟草主产区,但未对烟草生产造成严重危害,当时被列为烟草次要病害^[12]。然而,20 世纪 80 年代中期,我国多个烟草产区遭遇了烟草野火病的严重侵袭,波及范围涵盖辽宁、云南、四川等十余个省份,其中辽宁、云南和四川等地成为重灾区。数据显示,这些地区的病害发生率普遍超过 40%,部分地区甚至达到 100%的全面感染,导致烟草植株绝收,并造成了重大经济损失。自此,烟草野火病成为我国烟草生产中的主要病害之一^[13-14]。

2 烟草野火病的症状及流行

在发病初期,烟草叶片上会出现水渍状的小斑点,斑点周围伴有褪绿现象。随着病情的发展,褪绿区域逐渐形成黄色晕圈,水渍状斑点变为褐色病斑(图 1)。在夏季高温高湿的环境条件下,野火病斑有明显扩展的趋势,多个病斑的边缘逐渐融合,最终形成不规则或近圆形的大病斑,病斑周围常伴有特征性的黄色晕圈。随着环境转为高温干燥,病斑中心的褐色部分可能出现穿孔或破裂^[15]。在烟草幼苗期,若种植密度过高且遭遇持续降水天气,可能会导致烟草野火病的大规模爆发^[16]。



图 1 烟草野火病田间症状

烟草野火病的发病机制受多种因素的共同调控,包括烤烟品种的遗传特性、田间环境条件、施肥管理措施以及移栽时期等。病原菌的越冬特性表现为能够在烟草种子、病残组织、枯枝落叶及加工烟制品等多种基质中存活,并借助风雨等媒介在田间传播,通常通过植株伤口或自然气孔等途径进行侵染。高温(28~32℃)和降雨易导致野火病的发生。在野火病感染并出现第一个症状后,病害的流行速度与日平均温度呈正相关^[17]。氮肥的施用会降低烟草对野火

病的抗性,而连作田相比轮作田的发病情况更为严重,这可能与连作田中病原体的残留有关^[18]。该病害的流行呈现明显的阶段性特征,危害主要发生在烟株团棵期至旺长期以及成熟期的关键生育阶段。病害的流行时序表现为:6月上旬初期侵染通常发生在植株下部叶片,形成零星病斑^[19];6月下旬至7月上旬进入指数增长期,形成年度发病高峰;8月上中旬,在高温高湿的气候条件下,病原菌的二次侵染会对烟叶的产量和品质造成持续性损害^[20]。

3 烟草野火病菌形态与遗传特性

烟草野火病原菌呈短杆状,缺乏荚膜和芽孢,菌体两端钝圆,具有1~6根单极生鞭毛。它是一种革兰氏阴性菌,能在马铃薯培养基(PDA)和牛肉膏蛋白胨培养基(NA)中良好生长。在NA培养基上,菌落呈乳白色,中心稍隆起,边缘透明且整齐。若连续多代在培养基上培养,野火病原菌的致病性会丧失,但若保存在烟草叶片的离体组织中,其致病性可至少维持1年^[12]。关于野火病原菌的遗传多样性,刘雅婷等^[21]对云南地区野火病菌群体的研究发现,该群体在遗传多样性上表现突出。夏纬跃等^[22]对吉林省烟草野火病菌的遗传多态性分析表明,该区域内病原菌群体具有丰富的遗传多样性。值得注意的是,不同地理来源的菌株在亚群水平上表现出显著差异,揭示了病原菌群体结构的区域异质性。林凡力^[23]对来自5个省(市)的144株烟草野火病菌株进行了遗传多样性分析,发现烟草野火病菌在遗传分化方面受到地域的影响,不同地理来源的菌株在遗传多样性上存在明显差异。

4 烟草野火病的检测方法

烟草野火病的检测主要依赖分子生物学技术和田间症状观察法。分子生物学技术,例如,聚合酶链式反应(Polymerase Chain Reaction, PCR)和荧光定量聚合酶链式反应(Quantitative Polymerase Chain Reaction, qPCR),具有高灵敏性和特异性,但操作复杂、耗时长且设备要求高,难以在田间快速应用。田间症状观察法虽然简便,但容易与其他病害(如烟草花叶病、赤星病和角斑病)混淆,可能导致误判。因此,开发快速、准确且适用于田间的检测技术成为当前研究的重点方向。近年来,基于环介导等温扩增(Loop-mediated Isothermal Amplification, LAMP)^[24]和重组酶聚合酶扩增(Recombinase Polymerase Amplification, RPA)^[25]的检测技术,因其快速、灵敏和便携的特点,在植物病害检测中展现出巨大潜力。陈瑞朋^[26]建立了烟草野火病的LAMP检测方法,设计了一组烟草野火病特异性LAMP引物,并优化了LAMP检测体系,通过加入染料并根据颜色变化判断结果,可以更快速、直观地检测烟草野火病的致病菌。LAMP和RPA技术可在等温条件下快速扩增目标基因,适用于田间快速检测。此外,基于高光谱成像和人工智能的病害早期预警系统也逐渐应用于烟草病害监测中。该系统通过分析叶片的光谱特征和病害症状,能够实现病害的早期识别和预警。

5 烟草野火病的防治

5.1 抗病品种的选育

在病害防治中,抗病品种的选育是至关重要的一步,也是最具成本效益的防控策略。然而,目前烟草品种中,具有稳定抗烟草野火病特性的栽培品种仍然较为稀缺。

关于烟草野火病的抗性鉴定,采用长花烟和黄花烟作为抗性鉴定宿主,根据致病力差异将

野火病菌生理小种划分为4种,分别编号为0号、1号、2号和3号生理小种。0号生理小种专性侵染普通栽培烟草品种,对长花烟和黄花烟均不具备侵染能力;1号生理小种能侵染长花烟,但无法侵染黄花烟;2号生理小种具有广谱致病性,可侵染包括长花烟和黄花烟在内的所有供试烟草品种;3号生理小种则表现出与1号相反的致病特性,能够侵染黄花烟但无法侵染长花烟。目前,烟草抗性育种中可利用的野火病抗源有两个,其中利用长花烟的野火病抗性育成的主要为白肋烟品种,如Burley21^[27]等。

曾建敏等^[28]以“K326”不育系为母本、“K326”为背景,创制了抗野火病育种材料“GH17-487”作为父本,配置雄性不育杂交种,成功选育出中抗野火病的烤烟品种“NC-YATAS102”。针对重庆市新引种的烟草品种,江龙等^[29]通过田间试验发现,“云烟116”“CF8704”“NC297”和“NC102”4个品种中,“NC102”表现出较好的野火病抗性,研究表明“NC102”品种在重庆地区具有较强的野火病抗性优势,为当地烟草野火病抗性品种的选育提供了重要参考。尽管已有一些烟草品种对野火病表现出较好的抗性,但尚未选育出高抗品种。烟草野火病的抗病品种选育可以通过挖掘抗病基因、利用基因编辑技术和分子标记辅助选择,培育出具有稳定抗性的烟草品种。此外,各省烟区应对本地区的野火病生理小种进行鉴定和划分,根据不同生理小种选育抗病品种。由于烟草野火病菌的遗传分化受到地域的影响,因此,在抗病品种的选育过程中,可以研究各省烟区的病菌遗传背景,并根据各省的生态环境选育适宜的抗病品种。

5.2 烟草野火病的田间管理

野火病的整体防治应遵循“以田间管理为基础,以生物和物理防治为主,化学防治为辅”的原则。①合理轮作。采用烟稻轮作的方式,避免与茄科、豆科等寄主作物轮作,以减少初期侵染源。②种子消毒。在播种前做好种子消毒工作,防止病原菌传播。③科学施肥。根据田间实际情况适量施肥,少施氮肥,增施磷肥和钾肥。④合理密植。移栽时避免过密种植,确保烟株间有足够的通风空间。⑤及时摘除病叶。发现病叶应及时摘除,并确保病叶不留在田间,以减少病原菌的残留。

5.3 烟草野火病的化学防治

关于烟草野火病的化学防治,王振国等^[30]的研究表明,噻菌铜悬浮液、诺尔霉素水剂、菌核净等药剂在不同发病阶段使用效果最佳;在烟草团棵期之前,使用20%噻菌铜悬浮剂、诺尔霉素水剂和能量金植物营养剂(1000倍液)+斯德考普微量元素肥复配处理,能有效控制团棵前野火病的发生;在烟草现蕾之后,使用噻菌铜悬浮剂+菌核净可湿性粉剂、诺尔霉素水剂,按照不同时间和不同复配,分次施药可有效控制病害。唐明等^[31]研究了4种杀菌剂(4%春雷霉素、50%氯溴异氰尿酸、20%噻菌铜和3%噻霉酮)对烟草野火病的防治效果,结果表明,在烟草旺长末期施用4%春雷霉素能够有效提高野火病防控效果,为制定科学施药方案提供了理论依据。高崇等^[32]使用抑菌圈法研究发现,0.3%的四霉素水溶剂对野火病具有良好的抑菌效果;田间实验结果表明,0.3%四霉素水溶剂的药效达到60%以上,显示出其作为绿色防控药剂用于烟草野火病防治的潜力,同时对烟株具有促生作用。赵方涛等^[33-34]研究了5种助剂对中生菌素、噻霉酮及氢氧化铜防治烟草野火病的增效作用;研究发现,“杰效利”对中生菌素和“勤天助”对噻霉酮具有增效作用,接种15d后,“杰效利”对中生菌素和“勤天助”对噻霉酮的增效分别为34.89%和15.11%;“云展”对中生菌素和“勤天助”对噻霉酮的增效作用则表现为减量增效,接种21d后,“云展”对中生菌素减少10%、“勤天助”对噻霉酮减少30%,增效分别为

16.36%和11.97%;助剂“云展”“杰效利”和“勤天助”均能提高氢氧化铜对烟草野火病的防治效果;在防效对比中,“勤天助”与氢氧化铜复配组合展现出显著的增效作用,接种15 d后,其相对防效达到59.22%,较单一氢氧化铜处理(24.39%)防效增幅高达142.80%,显示出显著的协同增效效应。朱鑫^[35]使用CuONPs复合纳米凝胶防治烟草野火病,结果表明,预防处理组的病斑大小小于噻菌铜处理组,且治疗效果相较于噻菌铜处理组更佳。化学农药的使用是目前经济投入较低、应用较广的防治方法,但也存在一些问题,例如,化学农药残留、病原菌产生抗药性、增加防治成本以及土壤环境污染等。因此,寻找更为绿色环保的防治方法,成为当前烟草野火病防治的主要方向。

5.4 烟草野火病的生物防治

在烟草野火病的生物防治方面,应用生防细菌是主要方法。张宾予^[36]在土壤以及烟草根、茎样品中分离到433株生防细菌,其中32株对烟草野火病具有抑制作用。粪产碱杆菌BS140效果最佳,田间防效实验显示,施用BS140发酵液3次后,在7 d、14 d和21 d的防治效果分别为78.76%、76.56%和73.37%。王玲玲^[37]从烟草大田根际土壤中成功分离出枯草芽孢杆菌W-5233,该菌株对烟草野火病菌表现出显著的拮抗作用,抑菌圈直径接近20 mm。室内盆栽实验结果显示,W-5233对烟草野火病的保护性防效和治疗性防效分别为85.98%和76.95%。陈丹阳^[38]从健康烟田分离得到贝莱斯芽孢杆菌CYD8-11,在盆栽试验中展现了良好的生物防治潜力,对烟草野火病的相对防效达69.41%。孙宏伟等^[39]分离出2株对烟草野火病具有显著抑制作用的噬菌体T-109和T-ZD,并进行了盆栽实验,实验结果显示,针刺接种防效优于喷雾接种;在针刺实验中,先喷施噬菌体后接种野火病,防效均在90%以上,且防效明显高于先接种野火后喷施噬菌体。此外,生物防治剂在降低烟草病虫害指数和发病率方面,表现出良好的效果^[40]。

近年来,随着测序技术的进步,越来越多的研究开始关注植物微生物群落^[41-43]。研究表明,深入了解植物微生物群落有助于更好地理解病原菌的生态行为,从而以更可持续的方式控制病害的发生。关于叶部病害,叶际真菌和细菌能够在叶片表面及内部定殖。叶际微生物群落由多种潜在有益微生物、伴随致病菌以及拮抗微生物组成^[44-46]。了解叶际微生物群落并构建病害发生的微生物组,能为精准制定防控策略提供理论支持。在烟草野火病的叶际微生物研究中,郭涛等^[47]分析了不同发病程度的烟草叶片(包括病斑叶片与健康叶片)中的微生物群落结构和多样性,结果表明,随着病害程度的加重,叶际微生物多样性指数呈现先升高后降低的趋势。进一步分析发现,泛菌属(*Pantoea*)的丰度随着病害发展逐渐升高,表明其丰度变化与烟草野火病的发生过程呈正相关,提示该菌属可能在病害的发生和发展中起到促进作用。同时,茎点霉属可能在病害抑制中发挥潜在的抑制作用。刘天波等^[48]研究了施用拮抗菌后烟草野火病叶际微生物群落的变化,结果表明,拮抗菌群的菌属在处理组中显著富集,其相对丰度与病情指数呈负相关,表明拮抗菌群能够在烟草叶际良好定殖。此外,对不同时间段的烟草野火病叶际微生物群落多样性的分析发现,野火病的发病率和病情指数与蓝藻的丰度呈负相关,提示蓝藻可能对野火病具有潜在的抑制作用^[49]。通过分析病害叶际微生物群落的组成和多样性,可以更加全面地了解微生物群落结构,从中筛选出潜在的生物防治菌种,为生物防治提供有力的菌种资源。

生防菌的应用提供了一种更加绿色生态的防治方法,而且一些生防菌还对烟草具有促生作用。因此,越来越多对烟草野火病有显著抑制效果的生防菌被筛选出来。为了提高其防治效

果,研究人员对生防菌的发酵条件进行了优化,并深入探讨了其作用机制。然而,目前许多生防菌尚未实现成熟化和商品化,导致无法广泛应用。目前,关于烟草野火病的商品化生防菌,主要包括美国 AgraQuest 公司和拜耳公司开发的枯草芽孢杆菌系列产品 Serenade[®]、Kodiak[®],以及美国 NuFarm 公司开发的荧光假单胞菌 BlightBan[®]。

6 展望

烟草野火病是我国多个烟草种植区的重要病害之一,严重影响烟草的质量与产量,造成显著的经济损失。因此,针对烟草野火病的研究与防治具有重要的理论和实践意义。目前,化学药剂防治仍是烟草野火病防控的主要手段,但农药残留和环境污染问题日益受到关注。因此,绿色防治技术已成为当前研究的重点方向。除培育抗病品种和筛选生防菌外,构建绿色防控体系是实现可持续防控的重要策略。例如,彭迎春等^[50]在郴州市桂阳县构建了“农业防治+早期预防+生物制剂”的野火病绿色防治体系,该体系通过做好田间管理,并在病害发病前期配合使用波尔多液和3%多抗霉素可湿性粉进行防治,病情指数控制在0.09~0.28且不施用化学农药;该防治体系在经济效益、生态效益和社会效益方面均取得了显著成果,与对照区和施用20%噻菌铜的自防区相比,绿色防控区的野火病病情指数显著较低,展现了良好的防控效果。各烟草产区可根据自身的地理环境、气候条件和土壤特点,结合主要的防治手段,构建适合本地区的绿色防控技术。此外,病害的快速检测与早期预警是提高烟草野火病防控效果的关键环节。

综上所述,构建基于病原菌遗传多样性的分区治理绿色防控体系、开发生防菌剂、研发快速检测技术以及实现病害早期预警是烟草野火病防控的关键研究方向^[51-52]。未来,应进一步加强病原菌遗传多样性、抗病机制以及综合防控策略的研究,为烟草产业的可持续发展提供科学依据和技术支持。

参考文献:

- [1] BUNDALOVIC-TORMA C, LONJON F, DESVEAUX D, et al. Diversity, Evolution, and Function of *Pseudomonas Syringae* Effectoromes[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2022, 60: 211-236.
- [2] MORRIS C E, SANDS D C, VINATZERBA, et al. The Life History of the Plant Pathogen *Pseudomonas Syringae* Is Linked to the Water Cycle[J]. *The ISME Journal*, 2008, 2(3): 321-334.
- [3] MANSFIELD J, GENIN S, MAGORI S, et al. Top 10 Plant Pathogenic Bacteria in Molecular Plant Pathology [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2012, 13(6): 614-629.
- [4] GOMILA M, BUSQUETS A, MULET M, et al. Clarification of Taxonomic Status within the *Pseudomonas Syringae* Species Group Based on a Phylogenomic Analysis[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8: 2422.
- [5] 李梦宇, 蔡守远, 杨馨源, 等. 猕猴桃细菌性溃疡病研究进展[J]. *大连民族大学学报*, 2025, 27(1): 6-11.
- [6] 王傲雪, 田雨鑫, 白怡潇. 丁香假单胞菌番茄致病变种(Pst DC3000)抗病机制研究进展[J]. *东北农业大学学报*, 2024, 55(6): 90-98.
- [7] 危玲, 李永远, 莫西, 等. 桑疫病的防治难点分析[J]. *四川蚕业*, 2024, 52(4): 46-48.
- [8] 赵荣艳, 杨靖华, 蒋士君. 烟草病害生物防治研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(22): 5918-5919, 5968.
- [9] 徐玲, 张世琰. 烟草野火病毒素对烟草叶片组织超微结构的影响[J]. *云南农业大学学报*, 2006, 21(1): 57-60.
- [10] 白宝璋, 朱广发, 谭桂茹, 等. 烟草叶片感染野火病时的某些生理生化变化[J]. *吉林农业大学学报*, 1994, 16(2): 28-30.

- [11] LUCAS GB. Diseases of Tobacco (Third edition)[M]. Biological Consulting Associates, 1975.
- [12] 王振国, 丁伟. 烟草野火病发生与防治的研究进展[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1): 101-106.
- [13] 张广民, 吕军鸿, 阚光锋, 等. 烟草野火病研究概况[J]. 中国烟草学报, 2002, 8(2): 34-37, 48.
- [14] 刘秋, 吴元华, 于基成. 烟草野火病的研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(3): 354-360.
- [15] 谈文. 烟草病理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [16] 刘雅婷, 张世琰. 烟草野火病的研究进展[J]. 云南农业大学学报, 2002, 17(2): 197-200.
- [17] CAI X H, CHEN T, WANG R Y, et al. Forecasting Wildfire Disease on Tobacco: Toward Developing a High-Accuracy Prediction Model for Disease Index Using Local Climate Factors and Support Vector Regression[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 137(3): 2139-2149.
- [18] 吴佳星, 丁伟, 刘燕. 影响烟草野火病发生的关键因子分析[J]. 植物医生, 2016, 29(3): 55-56.
- [19] 谢永华. 烤烟野火病发生原因及综合防治措施[J]. 云南农业, 2014(3): 29-30.
- [20] 席孟玲. 烟草野火病、角斑病的防治[J]. 河南农业, 2005(12): 31.
- [21] 刘雅婷, 李永忠, 张世琰, 等. 云南烟草野火病菌遗传多样性分析[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(6): 514-517.
- [22] 夏纬跃, 卢宝慧, 杨丽娜, 等. 吉林省烟草野火病菌群体分子多态性分析[J]. 吉林农业大学学报, 2014, 36(5): 524-529.
- [23] 林凡力. 中国5省市烟草野火病菌遗传多样性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [24] NOTOMI T, OKAYAMA H, MASUBUCHI H, et al. Loop-Mediated Isothermal Amplification of DNA[J]. Nucleic Acids Research, 2000, 28(12): E63.
- [25] GHOSH D K, KOKANE S B, GOWDA S. Development of a Reverse Transcription Recombinase Polymerase Based Isothermal Amplification Coupled with Lateral Flow Immunochromatographic Assay (CTV-RT-RPA-LFICA) for Rapid Detection of Citrus Tristeza Virus[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 20593.
- [26] 陈瑞朋. 烟草野火病菌与角斑病菌 LAMP 快速检测方法的建立与应用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [27] HEGGESTAD H E. Development of Burley 21, the First Wildfire-Resistant Tobacco Variety, Including Results of Variety Trials[J]. Bulletin Tennessee Agricultural Experiment Station, 1960, 321: 1-51.
- [28] 曾建敏, 李永平, 刘勇, 等. 烤烟新品种‘NC-YATAS102’的选育及特征特性[J/OL]. 分子植物育种, 1-14 [2025-09-10]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20241021.1001.006>.
- [29] 江龙, 胡丽涛, 王琴, 等. 4个烟草品种抗病性评价[J]. 植物医学, 2022, 1(6): 71-77.
- [30] 王振国, 陈秋双, 余治国, 等. 烟草野火病防治技术研究[J]. 湖南农业科学, 2019(1): 43-47.
- [31] 唐明, 程智敏, 陈叙生, 等. 烤烟野火病的防治药剂及施药时期研究[J]. 作物研究, 2018, 32(3): 217-220.
- [32] 高崇, 江登宇, 孙田喆, 等. 防治烟草野火病药剂筛选试验[J]. 农药, 2025, 64(2): 142-145.
- [33] 赵方泖, 周挺, 林可竟, 等. 5种助剂对提高氢氧化铜防治烟草野火病效果的影响[J]. 亚热带农业研究, 2024, 20(3): 203-209.
- [34] 赵方泖, 吴金梅, 周挺, 等. 5种助剂对中生菌素和噻霉酮防治烟草野火病的增效作用[J]. 农药, 2025, 64(1): 57-62.
- [35] 朱鑫. CuONPs 复合纳米凝胶的制备及防控2种烟草叶部病害研究[D]. 重庆: 西南大学, 2023.
- [36] 张缤予. 烟草3种叶斑病生防菌株与生防药剂筛选及防治效果研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2024.
- [37] 王玲玲. 烟草野火病顽菌的筛选、鉴定及发酵条件的初步研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2006.
- [38] 陈丹阳. 烟草野火病菌拮抗菌的筛选、鉴定及其生防效果研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2023.
- [39] 孙宏伟, 李慧, 刘瑞清, 等. 烟草野火病菌噬菌体的分离及盆栽防治试验[J]. 烟草科技, 2019, 52(2): 19-24.
- [40] LIUT B, GUY B, ZHOUC, et al. Ecological Strategies of Biological and Chemical Control Agents on Wildfire Disease of Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)[J]. BMC Microbiology, 2021, 21(1): 184.
- [41] SUNM L, SHIC H, HUANGY, et al. Effect of Disease Severity on the Structure and Diversity of the Phyllo-

- sphere Microbial Community in Tobacco[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 13: 1081576.
- [42] DAIY F, WUX M, WANGH C, et al. Spatio-Temporal Variation in the Phyllospheric Microbial Biodiversity of *Alternaria Alternata*-Infected Tobacco Foliage[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 920109.
- [43] 蔡泽彦, 张明星, 周池, 等. 辣椒疫病不同抗性品种内生微生物群落多样性、结构及功能分析[J]. *园艺学报*, 2025, 52(2): 322-336.
- [44] RANGEL L I, LEVEAU J H J. Applied Microbiology of the Phyllosphere[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2024, 108(1): 211.
- [45] GONG T Y, XIN X F. Phyllosphere Microbiota: Community Dynamics and Its Interaction with Plant Hosts[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2021, 63(2): 297-304.
- [46] LINDOW S E, BRANDL M T. Microbiology of the Phyllosphere[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(4): 1875-1883.
- [47] 郭涛, 汪汉成, 余知和, 等. 烟草野火病叶际微生物群落结构与多样性[J]. *广西植物*, 2024, 44(10): 1894-1904.
- [48] 刘天波, 滕凯, 周向平, 等. 拮抗菌群对烟草野火病的防治效果及叶际微生物群落多样性的影响[J]. *微生物学通报*, 2021, 48(8): 2643-2652.
- [49] WANG Z H, FU C W, TIAN J Y, et al. Responses of the Bacterial Community of Tobacco Phyllosphere to Summer Climate and Wildfire Disease[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 1050967.
- [50] 彭迎春, 吴楚杰, 李思军, 等. 桂阳县烟草野火病绿色防控技术示范应用研究[J]. *现代农业科技*, 2023(12): 94-96.
- [51] 刘延鑫, 王俊峰, 杜传印, 等. 基于YOLOv3的多类烟草叶部病害检测研究[J]. *中国烟草科学*, 2022, 43(2): 94-100.
- [52] 张荣琴. 基于多光谱遥感技术的烟草花叶病监测识别研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023.

责任编辑 苏荣艳