

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.01.011

41.7%氟吡菌酰胺防治烟草根结线虫的田间药效

李绍举^{1,2}, 蔡永占³, 唐兰^{1,2}, 林登智¹,
王锦丹¹, 王清位¹, 余磊^{1,2}, 郭建伟^{1,2}

1. 昆明学院 农学与生命科学院/云南省都市特色农业工程技术研究中心, 昆明 650214;
2. 昆明学院 云南省魔芋生物学重点实验室, 昆明 650214;
3. 云南省烟草公司曲靖市公司, 云南 曲靖 655002

摘 要: 本研究采用 41.7% 氟吡菌酰胺随定根水灌根和喷塘 2 种不同施药方式, 与 41.7% 氟吡菌酰胺加 3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌随定根水灌根、传统的 10% 噻唑膦 GR 穴施进行防效比较, 并测量株高、叶宽与收益, 筛选防治烟草根结线虫效果与收益均提高的农药与用药方法。结果表明, 采收后线虫防治效果、叶宽、须根比率与收益排序依次是: 41.7% 氟吡菌酰胺+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌灌根>41.7% 氟吡菌酰胺灌根>41.7% 氟吡菌酰胺喷塘>10% 噻唑膦 GR 穴施; 株高依次为 41.7% 氟吡菌酰胺+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌灌根>41.7% 氟吡菌酰胺喷塘>41.7% 氟吡菌酰胺灌根>10% 噻唑膦 GR 穴施。综合考虑, 41.7% 氟吡菌酰胺+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌灌根、41.7% 氟吡菌酰胺灌根均能更有效地防治线虫, 并减少用工、提高收益。

关 键 词: 41.7% 氟吡菌酰胺; 烟草根结线虫;

灌根; 喷塘; 穴施

中图分类号: S435.72

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2025)01-0084-09

Field Efficacy of 41.7% Fluopyram in Controlling Tobacco Root-knot Nematode

LI Shaoju^{1,2}, CAI Yongzhan³, TANG Lan^{1,2}, LIN Dengzhi¹,
WANG Jindan¹, WANG Qingwei¹, YU Lei^{1,2}, GUO Jianwei^{1,2}

收稿日期: 2024-10-30

基金项目: 曲靖烟区烤烟镰刀菌根腐病发病流行规律及生物防控技术研究与应用(2023YNQJKJ03)、昆明学院引进人才项目(XJ20230077)、国家自然科学基金(31860026)、云南省生物种业和农产品精深加工专项(202202AE090035)。

作者简介: 李绍举, 硕士研究生, 主要从事植物病原菌防治研究。

通信作者: 郭建伟 (1979—), 博士, 副研究员, 现主要从事植物病原菌多样性及有益微生物资源挖掘研究。

1. College of Agronomy and Life Sciences/Yunnan Urban Agricultural Engineering and Technological Research Center, Kunming University, Kunming 650214, China;
2. Yunnan Key Laboratory of Konjac Biology, Kunming University, Kunming 650214, China;
3. Qujing Company, Yunnan Tobacco Company, Qujing, Yunnan 655002, China

Abstract: The efficacy of 41.7% flupyramide applied by chemigation and planting station spray was compared to 41.7% flupyramide plus 300 million/mL *Bacillus amyloliquefaciens* chemigation and traditional 10% thiazole phosphine GR planting station broadcast in this study. Plant height, leaf width, and net profits were measured to screen the pesticides and application methods which can improve both the controlling efficacy of tobacco root knot nematodes and net profits. The results showed that the order of nematode control effectiveness, leaf width, root-lets ratio, and profits after harvesting was as follows: 41.7% flupyramide + 300 million/mL *B. amyloliquefaciens* chemigation > 41.7% flupyramide chemigation > 41.7% flupyramide planting station spray > 10% thiazole phosphine GR planting station broadcast. The order of plant height is 41.7% flupyramide + 300 million/mL *B. amyloliquefaciens* chemigation > 41.7% flupyramide planting station spray > 41.7% flupyramide chemigation > 10% thiazole phosphine GR plant station broadcast. In a word, chemigation with 41.7% flupyramide and 300 million/mL *B. amyloliquefaciens*, as well as chemigation with 41.7% flupyramide, can effectively control nematodes, reduce labor costs, and increase profits.

Key words: 41.7% fluopyramide; tobacco root knot nematode; chemigation; planting station spray; planting station broadcast

全国有 23 个省(区、市)烤烟种植面积约 100 万 hm^2 ^[1], 2020 年云南省烤烟种植面积 39.52 万 hm^2 , 占全国种植面积的 44.5%^[2], 而云南省烟草种植主要分布于曲靖、昆明、楚雄、昭通、大理、保山、临沧、玉溪东部、红河中北部、文山西北部等地区^[3]。云南由于烟草连年种植, 1995 年左右根结线虫病(Root-knot nematode)发病面积就达 2.67 万 hm^2 , 病株造成烟叶减产 30%~50%^[4]; 全国的根结线虫病也已经造成 30%~50% 的损失, 并且危害程度逐年增加^[5]。烟草根结线虫病是一种由植物根结线虫(*Meloidogyne* spp.)为病原物的土壤病害^[6], 研究表明云南曲靖、昆明、玉溪等烟草主产区的根结线虫种类主要有南方根结线虫、爪哇根结线虫和花生根结线虫等 3 种, 优势种为花生根结线虫^[7]。根结线虫除了危害烟草根部以外, 其造成的伤口为黑胫病、根黑腐病、镰刀菌根腐病、青枯病等根茎类病害病原菌的入侵提供便利, 导致复合侵染^[8-9], 还会显著影响根内生与根际微生物群落的变异和组装^[10-12]。

烟草根结线虫从土壤侵入烟草根系, 造成主要吸收水分和营养的须根细胞肿大, 掠夺营养, 分泌果胶酶、纤维素酶等阻碍伤口愈合, 导致植株出现叶缘褪绿变黄, 随后变为红褐色; 植株生长缓慢、黄化、萎蔫, 呈现类似缺水或缺肥的症状, 烟农常将其误认为干旱或营养缺乏导致而忽略防治, 最后造成不可挽回的损失^[13-14]。目前烟草种植区主要防治方法还是农户在烟草移栽的时候, 将阿维菌素^[15]或噻唑膦^[16]撒施到烟塘里面(穴施), 防治的安全性、效果及持效期都存在较大的挑战, 很多种植户往往防不住而导致较大损失, 甚至绝收^[17]。目前针对 41.7% 氟吡菌酰胺对烟草根结线虫的研究也有一些报道, 杨再福等研究发现使用 41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂 0.05~0.07 mL/株, 兑水 500mL 后灌根, 对烟草根结线虫病的防效为 65.94%~68.27%, 显著高于常规药剂(10% 噻唑膦 GR)^[18-19]。目前杀线虫药剂的施药方式主要有覆膜熏蒸^[20]、灌根^[21-23]、穴施(窝施)^[24]。熏蒸法既能杀灭根结线虫, 也能杀灭杂草、真菌、细菌, 然而翻耕

整地后至少覆膜 7 d、揭膜放风 3 d,用工多、耗时长;穴施比灌根操作方便、用工少,但灌根效果显著高于穴施。研究表明,移栽时穴施的防效远远高于移栽后 15 d、30 d 穴施的防效。此外,随着人们对环境及农药安全的担心,目前一些生物制剂也不断涌现^[18],如淡紫拟青霉(*Paecilomyces lilacinus*)^[25]、解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)、木霉菌 TSP-1(*Trichoderma* sp.)等^[20]。因此,对烟草根结线虫的新型防控方式及药剂的选用非常重要,本研究旨在探索烟草移栽时 41.7% 氟吡菌酰胺药剂随定根水一起灌根相对穴施的防效,以期提升对根结线虫防效的同时减少用工量。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及试验材料

试验地位于云南烟草核心栽培区域曲靖马龙旧县小龙家山,田间土壤为壤土,偏沙性,肥力相对一般,施药前一茬均有线虫发生,田间已经连续种植烟草 8 年,烟草品种为云烟 87。41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂、3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌水剂,拜耳作物科学(中国)有限公司生产;10% 噻唑膦 GR,海南力智生物工程有限责任公司生产。

1.2 试验设计

烟苗移栽前整地,设置 15 个试验小区,每个小区 63 m²,3 个试验小区作为 1 个处理,共 5 个处理,总面积 945 m²。4 月 19 日移栽时施药,选择无根结线虫侵染症状及无黑胥病、镰刀菌根腐病、番茄斑萎病毒病等病害症状且长势一致的健康烟苗,移栽时施用根结线虫药剂处理后,正常施肥及用药管理,各处理均不再使用根结线虫防治相关产品。试验处理如表 1。

表 1 试验药剂处理及使用方法

处理编号	药剂处理	克有效成分	制剂用量	施药技术(时间/次数/方法/用水量)
T1	清水对照	/	/	每株 3 L 水
T2	41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂灌根	312.75	750 mL/hm ²	按照剂量兑水,每株 3 L 水
T3	41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌水剂灌根	312.75	750 mL/hm ² + 7500 mL/hm ²	按照剂量兑水,每株 3 L 水
T4	41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂喷塘	437.85	750 mL/hm ²	烟草移栽当天,将药液按照水量 450 L/hm ² 兑水喷塘(约 0.035 L/株)后浇定根水,每株补定根水 2.865 L
T5	10% 噻唑膦 GR 穴施	300	45 kg/hm ²	将药剂撒施到烟塘里,与有机质混合均匀,移栽后浇定根水 3 L/株

1.3 调查方法与内容

1.3.1 不同药剂防治烟草根结线虫的安全性调查

移栽 10 d 后,调查不同处理的烟苗是否存在叶片黄化、焦叶、萎蔫等症状。

1.3.2 不同处理烟草根结线虫田间防控效果调查

结合田间实际情况,在烟草进入打顶期后根部根结线虫引起的根瘤表现较为明显,本试验

选择 80 d 和 125 d(采收结束)调查 2 次,烟草病害发生情况按《烟草病虫害分级及调查方法》(GB/T23222—2008)进行调查(表 2),结合当地的病害发生特点,主要对烟草根结线虫病进行调查,调查每个小区的发病株数及发病级数。

计算公式:

$$\text{病株率}(\%) = \text{发病株数} / \text{调查总株数} \times 100\%$$
$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{发病株数} \times \text{该病级代表值})}{(\text{调查总株数} \times \text{最高级代表值})} \times 100$$
$$\text{防治效果}(\%) = (\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}) / \text{对照病情指数} \times 100\%$$

表 2 烟草病虫害分级及调查方法

地上部观察		地下部观察	
级数		级数	
0 级	植株生长正常	0 级	根部正常,无可见根结
1 级	病株生长基本正常,叶缘或叶尖部分变黄但不干尖	1 级	1/4 以下根上有少量根结
3 级	病株比健株矮 1/4~1/3,叶片轻度干尖、干边	3 级	1/4~1/3 根上有少量根结
5 级	病株比健株矮 1/3~1/2,大部分叶片干尖、干边或有枯黄斑	5 级	1/3~1/2 根上有根结
7 级	病株比健株矮 1/2 以上,全部叶片干尖、干边或有枯黄斑	7 级	1/2 以上根上有根结,少量次生根产生根结
9 级	病株全部矮化,整株叶片干枯	9 级	所有根上,包括次生根上也长满根结

1.3.3 不同处理的烟株株高、叶宽、须根百分比等农艺性状调查

移栽施药后 80 d,按照 5 点取样的方法,每点 5 株进行标记并测量株高及叶片最大宽度,计算平均值和标准差,比较其差异性。移栽施药后 142 d,按照 80 d 时的标记,挖出烟株根系,调查是否有根结、烂根,统计须根百分比(植物水分、营养吸收主要依靠须根)。

1.3.4 不同处理的投入、收益统计与核算

将 5 个处理全部叶片分别按照处理进行分批次采收烘烤,烟秆做好标记,烘烤后分开堆放,最后统一定级后称重,按照烟站收购价进行收益评估,并折算成每公顷的成本与收益。

1.4 数据处理与统计学分析

采用 SPSS 17.0 和 Excel 2010 进行统计分析和制图,以“平均数±标准差”表示综合防效,用 Duncan 多重比较法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同药剂防治烟草根结线虫的安全性

如图 1 所示,移栽施药 10 d 后:左边为 41.7%氟吡菌酰胺 750 mL/hm² 灌根的烟苗,其叶片浓绿,无黄化、焦叶、萎蔫症状;右边为穴施 10%噻唑膦的烟苗,其叶片黄化,局部叶片干尖及植株较弱。

2.2 不同处理的烟草根结线虫田间防控效果

由田间药效试验结果可知(表 3),药后 80 d 和药后 125 d 防效趋势整体一致,由高到低依次为 T3、T2、T4、T5,各处理防效比较差异具有统计学意义。其中,T3 处理在几个处理中防

效最佳，药后 80 d 和药后 125 d 的防效分别为 82.95% 和 68.22%。



左边列为 41.7% 氟吡菌酰胺 750 mL/hm²灌根，右边列为 10% 噻唑膦 45 kg/hm²穴施。

图 1 移栽施药 10 d 后烟苗长势

表 3 烟草根结线虫田间药效试验结果

处理方法	使用剂量/(g a.i. · hm ⁻²)	防效/%	
		药后 80 d	药后 125 d
T1	清水	/	/
T2	312.75	76.74±1.8 ab	56.48±5.7 ab
T3	312.75	82.95±1.87 a	68.22±2.80 a
T4	437.85	46.51±8.59 b	26.89±2.73 b
T5	300	45.74±4.06 bc	14.18±1.91 bc

注：T1 为清水对照，T2 为 41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂灌根，T3 为 41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌水剂灌根，T4 为 41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂喷塘，T5 为 10% 噻唑膦 GR 穴施。小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

2.3 不同处理的烟株株高、叶宽和须根情况比较

移栽后 80 d，株高由高到低依次为 T3、T4、T2、T1 和 T5，其中 T3、T4 株高明显高于其他处理，差异具有统计学意义；叶宽由高到低依次为 T3、T2、T4、T1 和 T5，其中 T3、T2 叶宽明显高于其他处理，差异具有统计学意义(表 4)。烟草采收完后田间调查各处理根系发现，T3 根系最好，且须根较多，根系较白(图 2)。须根占根系比由高到低依次为 T3、T2、T4、T5 和 T1。T3 须根占比明显高于其他处理，差异具有统计学意义(表 4)。

表 4 不同处理烟株农艺性状比较

处理方法	移栽后 80 d		移栽后 142 d
	株高/cm	叶宽/cm	须根占根系比/%
T1	71.44±5.00 c	26.20±1.75 c	10.00±5.00 de
T2	87.72±6.06 b	31.10±0.88 ab	46.67±15.28 b
T3	92.20±4.40 a	32.00±0.67 a	63.33±5.77 a
T4	91.64±6.05 ab	30.80±1.03 b	18.33±2.89 c
T5	65.36±7.08 d	24.10±0.99 d	11.67±7.64 cd

注：T1 为清水对照，T2 为 41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂灌根；T3 为 41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌水剂灌根；T4 为 41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂喷塘；T5 为 10% 噻唑膦 GR 穴施。小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

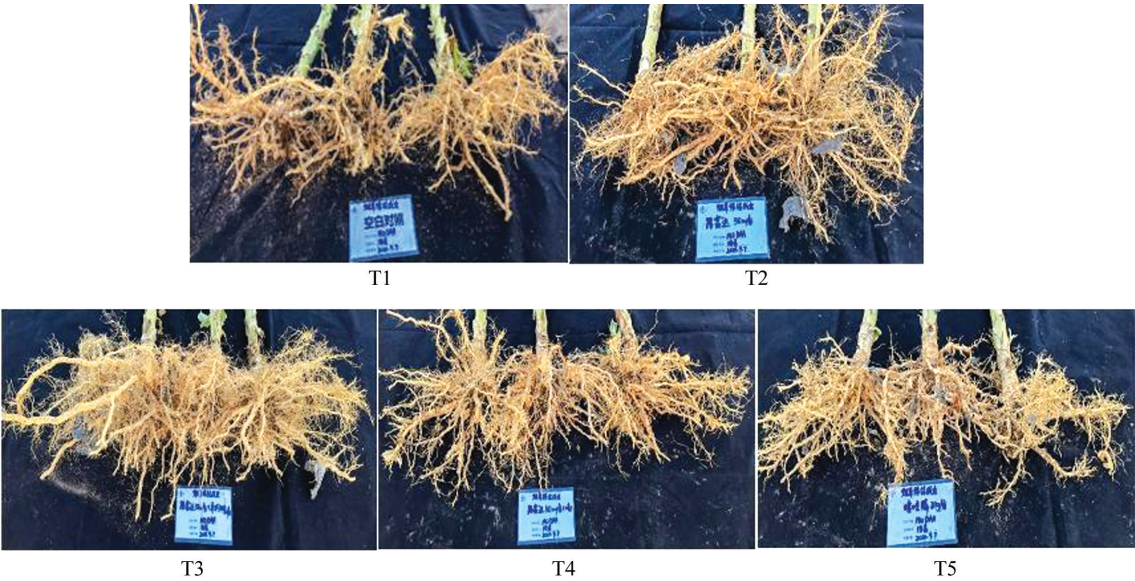


图 2 各处理烟草根系比较

2.4 不同处理成本及收益比较

各处理收益均得到提升,收益增加比例:T3(54.70%)>T2(29.51%)>T4(24.06%)>T5(3.81%)>T1(清水对照)(表 5)。可见根结线虫防治好后,对烟草整体收益均有一定提升,且处理 T3 提升比例最高,达 54.70%。

表 5 不同处理成本及收益比较

处理	收益 /(元·hm ⁻²)	生育期内农药成本 /(元·hm ⁻²)	肥料及地膜 /(元·hm ⁻²)	用工及地租等 /(元·hm ⁻²)	净收益 /(元·hm ⁻²)	收益增加 比率/%
T1	76 964.88	2 850	1 800	30 000	42 314.88	—
T2	90 653.41	4 050	1 800	30 000	54 803.41	29.51
T3	101 836.5	4 575	1 800	30 000	65 461.50	54.70
T4	88 347.73	4 050	1 800	30 000	52 497.73	24.06
T5	79 326.38	3 600	1 800	30 000	43 926.38	3.81

注:表中农药、地膜及地租成本根据种植户使用的药剂进行估算,各地可能存在一定差异。

3 讨论

研究表明,41.7% 氟吡菌酰胺+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌混合和 41.7% 氟吡菌酰胺在烟草移栽时灌根能够有效防治烟草根结线虫,且持效期较长,比农户常用的穴施 10% 噻唑膦 GR 防效优异,安全性也较高;其防治效果也优于 41.7% 氟吡菌酰胺喷塘 750 mL/hm²。移栽时灌根优于喷塘,喷塘优于穴施,原因可能如下:首先,灌根处理比喷塘处理的药剂与水混合更均匀,而喷塘处理比穴施后移栽浇定根水的混合效果更佳,也更能均匀地分布到烟草根系,有助于药剂/菌剂的活性和作用范围最大化;其次,根结线虫具有趋水性,灌根处理能将土壤中的线虫诱集到药液作用范围内杀死。这与刘挺等将阿维菌素、2.5 亿活孢子/g 厚孢轮枝菌颗粒剂穴施、灌根处理烟草的结果是一致的^[26]。此外,将药液与水充分混匀作为定根水灌根,相对喷塘、穴

施后再浇定根水,能节省大约一半的工时。还有研究表明,烟苗移栽前 50 mL 土壤中平均二龄期根结线虫数量为 8.4 条,移栽后 6 d 就能检测到根结线虫二龄期幼虫,9~12 d 达到一个侵染高峰^[28]。因此,农业上采用 41.7% 氟吡菌酰胺+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌和 41.7% 氟吡菌酰胺混匀作为定根水灌根替代穴施 10% 噻唑膦 GR,避免噻唑膦用药量增加,更符合国家农药零增长策略^[29]。长期施用化肥农药对土壤生物多样性构成了严重威胁,生物防治可有效减少对农田生物和环境的影响^[30],且通过 3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌的加入,有效改善烟区连作障碍,提升根系健康,也能为农户线虫防治提供新的用药选择。

此外,41.7% 氟吡菌酰胺+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌处理在烟草叶宽、株高、须根比率上均有优良表现,原因可能是灌根处理能更有效地防治根结线虫病,间接促进了烟草的生长,兼之采后烟业净收益提高,在实际应用中具有更广阔的应用前景和推广价值。

研究表明,针对烟草根结线虫种群密度的增大,土壤真菌种类更加丰富,子囊菌门的相对丰度有所增加^[31];镰刀菌属病原菌可能与烟草根结线虫的发生有关,青霉属、粗糙链孢菌属病原菌均具有腐生菌功能,对纤维素具有明显降解作用^[32],这势必导致烟草各种次生病害的发生。41.7% 氟吡菌酰胺作为 SDHI 类比较新颖的化合物,目前登记用于白粉病和根结线虫病的防治。还有研究表明,氟吡菌酰胺可以控制土传性病原真菌核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)^[33]及气传性的病原真菌灰葡萄孢菌^[34]、链格孢菌^[35]、烟草叶斑病菌(*Stagonosporopsis* sp.)^[36],意味着氟吡菌酰胺不仅可以控制线虫,还可能有助于控制烟草白粉病、赤星病、叶斑病、灰霉病。此外,氟吡菌酰胺还能够提高辣椒根际溶磷、固氮细菌的丰度促进辣椒生长^[37]。因此,该药对烟草根结线虫病、白粉病、赤星病、叶斑病、灰霉病,甚至对黑胫病、镰刀菌根腐病的防效及促进生长机制有待进一步系统研究。

4 结论

41.7% 氟吡菌酰胺 750 mL/hm²、41.7% 氟吡菌酰胺+3 亿/mL 解淀粉芽孢杆菌移栽时每株烟苗 3 L 药液灌根,对烟草根结线虫的防治效果优于 41.7% 氟吡菌酰胺喷塘、10% 噻唑膦穴施,还能促进叶宽、株高、须根百分比;经过投入、收益核算,净收益也高于 41.7% 氟吡菌酰胺喷塘、10% 噻唑膦穴施。该施药方式操作方便,减少农户工时,具有广阔的应用前景和推广价值。

参考文献:

- [1] 张萍,张玉婵,许自成,等. 中国烟草学科研究热点与趋势——基于近 20 年烟草学科研究生学位论文的文献计量学分析[J]. 中南农业科技, 2024, 45(4): 212-217, 233.
- [2] 闫新甫,孔劲松,罗安娜,等. 近 20 年全国烤烟产区种植规模消长变化分析[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(4): 92-101.
- [3] 窦小东,侯胜芳,李蒙,等. 云南烤烟适宜种植区对气候变化的响应[J]. 高原气象, 2024, 43(4): 1076-1086.
- [4] 祝明亮,张克勤,夏振远,等. 烟草根结线虫生物防治研究进展[J]. 微生物学通报, 2004, 31(6): 95-99.
- [5] TONG W, LI J, CONG W, et al. Bacterial Community Structure and Function Shift in Rhizosphere Soil of Tobacco Plants Infected by *Meloidogyne incognita*[J]. Plant Pathology Journal, 2022, 38(6): 583-592.
- [6] JONES J T, HAEGEMAN A, DANCHIN E G J, et al. Top 10 Plant-Parasitic Nematodes in Molecular Plant Pathology[J]. Molecular Plant Pathology, 2013, 14(9): 946-961.
- [7] 杨艳梅,梁艳,袁绍杰,等. 云南省部分烟区根结线虫形态和分子鉴定[J]. 南方农业学报, 2017, 48(2):

- 284-291.
- [8] DONG Y, WANG X Q. Investigation on Pathogenic Factors of Tobacco Root-Knot Nematode Disease in Gengma County, Yunnan Province[J]. Agricultural Science & Technology, 2014, 15(12): 2253-2258.
- [9] HUANG Y, MA L, FANG D H, et al. Isolation and Characterisation of Rhizosphere Bacteria Active Against *Meloidogyne incognita*, *Phytophthora nicotianae*, and the Root Knot-Black Shank Complex in Tobacco[J]. Pest Management Science, 2015, 71(3): 415-422.
- [10] LI Y, LEI S N, CHENG Z Q, et al. Microbiota and Functional Analyses of Nitrogen-Fixing Bacteria in Root-Knot Nematode Parasitism of Plants[J]. Microbiome, 2023, 11(1): 48.
- [11] 黄飞燕, 彤磊, 薛至勤, 等. 烟草根结线虫病对烟株根际土壤真菌群落结构及多样性的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(3): 584-592.
- [12] GUO JW, MOHAMAD O A A, WANG X L, et al. Editorial: Microbiome Associated with Plant Pathogens, Pathogenesis, and Their Applications in Developing Sustainable Agriculture[J]. Frontiers in Microbiology, 2024, 15: 1423961.
- [13] 王金峰, 江连强, 刘东阳, 等. 烟草根结线虫病防治方法及发展趋势[J]. 植物医生, 2021, 34(2): 9-12.
- [14] 崔江宽, 任豪豪, 孟颢光, 等. 我国烟草根结线虫病发生与防治研究进展[J]. 植物病理学报, 2021, 51(5): 663-682.
- [15] 张胜博, 暴连群, 蔡晓瑞, 等. 阿维菌素 B2 防治烟草根结线虫病药效研究[J]. 农业与技术, 2018, 38(1): 10-11, 47.
- [16] 张瑞平, 闫芳芳, 刘旭, 等. 攀枝花市烤烟根结线虫病的发生与防治[J]. 四川农业科技, 2015, 11: 44-45.
- [17] 王继岭, 李频道. 临沂市甘薯种植区噻唑膦药害多发的原因与对策[J]. 现代化农业, 2024, (4): 8-10.
- [18] 郑庆伟. 氟吡菌酰胺防治烟草根结线虫病效果显著高于噻唑膦[J]. 农药市场信息, 2021, (014): 53-53.
- [19] 杨再福, 喻会平, 赵志博, 等. 氟吡菌酰胺防治烟草根结线虫病及对烟株生长的影响[J]. 山地农业生物学报, 2021, 40(1): 90-92.
- [20] 王绍坤, 秦西云, 钊相俊, 等. 斯美地熏蒸土壤防除烟草苗床杂草和病虫害研究[J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(2): 149-152.
- [21] 王军, 沈大刚. 5%涕灭威 GR 不同施药量防治烟草根结线虫病比较试验[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(9): 4085, 4130.
- [22] 艾辉建, 刘志明, 黄金玲, 等. 几种杀线剂对南方根结线虫的田间药效试验[J]. 南方农业学报, 2012, 43(7): 961-964.
- [23] 黄阔, 李石力, 张永强, 等. 不同微生物菌剂对烟草根结线虫病控制效果研究[J]. 植物医生, 2019, 32(6): 28-33.
- [24] 李芳, 张绍升, 陈家骅. 淡紫拟青霉对烟草根结线虫病的防治效果[J]. 福建农业大学学报, 1998, 27(2): 196-199.
- [25] 陈国康, 陆曦诚, 肖崇刚, 等. 木霉菌株 TSP-1 对烟草根结线虫卵的寄生性试验[J]. 烟草科技, 2011, 44(6): 78-80.
- [26] 刘挺, 江连强, 陈树鸿, 等. 不同施药方式对烟草根结线虫病的防控效果研究[J]. 植物医学, 2022, 1(2): 24-31.
- [27] 陈树鸿, 江连强, 罗祖华, 等. 不同施药时期对烟草根结线虫病的防控效果研究[J]. 植物医生, 2021, 34(3): 7-12.
- [28] 李宏光, 余萍, 阙劲松, 等. 烟草苗移栽后室内与田间根结线虫幼虫侵染动态检测[J]. 西南农业学报, 2018, 31(6): 1203-1208.
- [29] 黄晓慧, 杨飞. 化肥农药零增长行动的农业减污降碳协同效应及脱钩效应分析[J]. 生态经济, 2024, 40(2): 117-123.

- [30] 邓子菁, 高佳楠, 韩煜, 等. 不同防控措施对烟田土壤线虫群落的影响[J]. 环境科学研究, 2024, 37(10): 2159-2170.
- [31] 张俊. 根结线虫土壤微生物多样性研究[D]. 昆明: 云南大学, 2015.
- [32] 高芬, 岳换弟, 秦雪梅, 等. 植物致病镰刀菌细胞壁降解酶的研究进展[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(4): 955-960.
- [33] 苗淑斐, 李路怡, 钱乐, 等. 河南省油菜菌核病菌对氟吡菌酰胺及其复配剂的敏感性[J]. 农药学学报, 2023, 25(3): 748-754.
- [34] 孟令涛, 王佳辉. 氟吡菌酰胺与咯菌腈混配对灰葡萄孢菌的联合毒力及药效评价[J]. 世界农药, 2024, 46(8): 48-53.
- [35] 叶璐, 张超凡, 程苗嘉, 等. 柑橘褐斑病菌的种群构成及优势种——盖森链格孢对两种 SDHIs 杀菌剂的敏感基线[J/OL]. 植物病理学报, 2024-06-19[2024-11-12]. <https://doi.org/10.13926/j.cnki.apps.001656>.
- [36] 杨江敏. 广西贺州烟草叶斑病菌(*Stagonosporopsis* sp.)的鉴定、生物学特性及药剂筛选[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023.
- [37] SUN T, LI M, SALEEM M, et al. The Fungicide “Fluopyram” Promotes Pepper Growth by Increasing the Abundance of P-Solubilizing and N-Fixing Bacteria[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 188: 109947.

责任编辑 杨光明