

2 种杀线剂对烤烟根系生长和根结线虫的影响

余亚琳^{1,2}, 谷星慧^{3*}, 李红娟³, 樊苗苗¹, 刘美菊⁴, 赵以铭¹, 李江舟³, 代快³, 张立猛³, 林杉¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 甘肃省农业工程技术研究院, 甘肃武威 733006; 3. 云南省烟草公司玉溪市公司技术中心和烟草行业病虫害生物防治工程研究中心, 云南玉溪 653100; 4. 云南农业大学资源与环境学院, 云南昆明 650201)

摘要 为揭示新型杀线剂路富达对烤烟根结线虫病害的防治机理和效果, 设计 2 组盆栽和大田试验, 比较了杀线剂阿维菌素、路富达和路富达与银法利混剂(路银混剂)及其 3 种用量的杀线效果。盆栽试验结果表明, 与清水对照相比, 阿维菌素、路富达和路银混剂均显著降低了烤烟根结线虫病级、根结指数和根结密度, 促进了根系和烟株生长, 显著提高了烤烟茎叶干重和水氮利用效率。不同用量的路富达和路银混剂对烤烟生长和根结线虫病害的影响, 不存在显著差异。大田试验结果表明, 与传统杀线剂阿维菌素相比, 路富达显著降低了根结线虫病情指数, 促进了烟株生长。总之, 与阿维菌素相比, 盆栽条件下路富达具有相同的防治根结线虫病害效果; 在只发生根结线虫病害的烟田, 无需配施银法利, 并可降低路富达推荐使用量, 从而降低防治成本。

关键词 烤烟; 阿维菌素; 路富达; 银法利; 根结线虫病

中图分类号 S435.72 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)17-0130-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.17.035



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect of Two Nematicides on the Root Growth and the Root-knot Nematode Disease of Flue-cured Tobacco

YU Ya-lin^{1,2}, GU Xing-hui³, LI Hong-juan³ et al (1. College of Resources and Environment Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193; 2. Gansu Provincial Institute of Agricultural Engineering and Technology, Wuwei, Gansu 733006; 3. Center for Technology and Biological Control Engineering Research, Yuxi Branch Company of Yunnan Tobacco Company, Yuxi, Yunnan 653100)

Abstract Two pot experiments were designed to evaluate the effects of the new nematicides Lufuda on the control of root-knot nematode diseases in cultivation of flue-cured tobacco with comparison of the nematicides Abamectin and Luyin mixture as well as their application dosages. The results showed that compared with control treatment, application of Abamectin, Lufuda and Luyin mixture significantly reduced the disease grade, root-knot index and root-knot density, promoted the root and shoot growth, and improved the stems and leaves dry weight of flue-cured tobacco and utilization efficiency of water and nitrogen. There was no significant difference in the effects of different dosage of Lufuda and Luyin mixture on the growth of tobacco and the control of root-knot nematode disease. In conclusion, compared with Abamectin, Lufuda had the same effect on controlling root-knot nematode disease under this pot experiment condition. Meanwhile, under the field condition where only root-knot nematode disease occurred, there was no need to apply Yinfali. The recommended dosage of Lufuda could reduce the cost of controlling disease of root-knot nematode.

Key words Flue-cured tobacco; Abamectin; Lufuda; Yinfali; Root knot nematode disease

植物寄生线虫是危害农业生产的主要病原生物之一, 每年造成的全球农业损失超过 1 570 亿美元^[1]。其中根结线虫是危害作物最主要的寄生线虫, 危害的植物种类超过 3 000 种^[2], 包括蔬菜、粮食作物、果树、烟草等。近年来, 根结线虫病害在我国烟草产区频繁发生, 成为危害烤烟生产和品质的主要病害之一^[3]。云南作为我国烤烟主产区, 实行烟菜轮作模式, 前茬蔬菜作物种植过程中水肥大量投入, 导致烟草抗病性降低, 易被根结线虫侵染^[4]。

根结线虫不仅直接侵染根系, 造成烟株萎蔫黄化, 烟叶产量和质量大幅降低^[5]; 而且, 还会增加其他病原菌对烟株的侵染^[6-7], 造成烟草黑胫病和赤星病等病害频繁发生^[8]。目前, 化学防治仍是生产中应用最广泛的防治方法。化学药剂具有使用简便、见效快和应用范围广等优点^[9]。但长期使用化学药剂会造成农药残留、环境次生污染和病虫害抗药性等问题^[10]。因此, 筛选高效低毒、低残留的杀线虫剂, 仍是目前研究的热点。

阿维菌素是大环内酯双糖类化合物^[11], 是具有高选择性和环境相容性的神经毒剂类抗生素农药^[12], 可有效抑制线虫卵的孵化、降低线虫活力和侵染力, 减少根结线虫病害发生^[13]。但随着使用时间延长, 易产生一定的抗药性^[14-15], 药剂用量不断增加, 造成作物药剂残留和环境污染。此外, 阿维菌素不同剂型对根结线虫病害的防治效果存在一定差异^[12,16]。路富达是德国拜耳作物科学公司最新研发的一种吡啶乙基苯甲酰胺类杀线剂, 主要成分是氟吡菌酰胺, 可有效抑制番茄和黄瓜根结线虫病害^[17], 提高作物产量^[18]。银法利是一种具有良好传导性和较强薄层穿透力的杀菌剂, 可以防治黄瓜霜霉病、马铃薯晚疫病^[19]和烟草黑胫病^[20]。据报道, 路富达与银法利混合使用可以更好地防治烟草根结线虫和黑胫病等真菌复合病害。尽管路富达和银法利使用量低, 但价格昂贵, 目前尚未在烟草种植中广泛应用。此外, 为了减轻烟农使用成本, 对于不存在黑胫病的田块是否需要使用“路银混剂”, 也是关注的问题。基于此, 笔者通过 2 组盆栽试验和大田试验, 以生产上常用的阿维菌素作为参照, 评价路富达、路银混剂及其使用浓度对烤烟生长、根结线虫病害和根系形态学参数的影响, 为进一步的大田试验提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 盆栽试验设计 供试土壤采自云南省玉溪市通海县四

基金项目 中国烟草总公司云南省烟草公司科技计划项目“密集种植烟区土壤保育及烟叶质量提升技术研究与应用”(2017YN17)。

作者简介 余亚琳(1996—), 女, 甘肃张掖人, 硕士研究生, 研究方向: 烟草营养与病害。*通信作者, 高级农艺师, 硕士, 从事烟草栽培及病虫害防治研究。

收稿日期 2020-11-27

街镇发生严重根结线虫病害的烟田, 采样地块坐标为 102°41'18"E, 24°12'10"N, 海拔 1 960 m。于 2019 年 8 月 16 日采集 0~30 cm 土壤, 新鲜土样过 5 mm 筛, 充分混匀, 于采集后第 2 天布置盆栽试验。

试验 1 为单因素试验设计, 供试杀线剂为阿维菌素、路富达、路富达和银法利混合(以下简称路银混剂), 其用量分别为 0.036 mL/株(594 mL/hm²)、0.03 mL/株(495 mL/hm²)、0.03 mL/株路富达 + 0.068 mL/株银法利(1 122 mL/hm²), 并设置清水处理作为对照。试验②为二因素试验设计, 主因素为杀线剂路富达和路银混剂, 副因素为药剂 3 个用量, 路富达用量分别为 0.015、0.03、0.06 mL/株, 其中 0.03 mL/株为推荐用量。在上述路富达 3 种用量的基础上分别添加 0.034、0.068、0.136 mL 银法利/株, 制成路银混剂, 其中 0.068 mL/株为银法利推荐添加量。阿维菌素为神锋 1.8% 阿维菌素乳油(博白县天地农药厂), 路富达含 41.7% 氟吡菌酰胺有效成分, 银法利总有效成分包括霜霉威盐酸盐含量 625 g/L 和氟吡菌胺含量 62.5 g/L(拜耳作物科学(中国)有限公司)。分别于定植后第 3 天和定植后第 30 天, 将上述药剂总用量的 50% 稀释至 500 mL 灌根施用。以上所有处理均重复 6 次, 区组内钵钵随机排列。

盆栽试验于 2019 年 8 月 17 日—10 月 28 日在云南省烟草公司玉溪市马桥科研基地大棚内进行, 试验期间最高气温为 37.1 °C, 最低气温为 17.4 °C, 日均温为 23.5 °C。供试钵钵上口口径 26 cm, 下口径 19 cm, 高 20 cm, 每盆装土 6 kg。供试肥料为玉溪烤烟专用复合肥(N:P₂O₅:K₂O = 12:6:24), 施用量为 4 g N/盆, 分 2 次施入, 基肥和团棵肥各 50%。基肥与土混合均匀, 团棵肥穴施至烟株根系周围。供试烤烟品种为玉溪市主栽烤烟品种 K326, 将漂浮育苗苗龄 45 d 的一株烟苗移栽至上述钵钵。定植当天浇 1.5 L 定植水, 用称重法控制土壤水分含量, 当土壤含水量低于田间最大持水量的 70% 时, 及时补充灌溉至田间最大持水量的 90%, 并记录灌溉水量, 用于计算水分利用效率。

1.2 盆栽样品采集与测定 为了了解烟株氮素营养状况, 在移栽后 73 d, 选取烟株自上而下第 4~6 片完全展开叶, 用无损快速检测仪(SPAD502, Konica Minolta, Japan)测定叶片叶绿素含量(SPAD 值)。每片叶分别测定两侧叶尖下 1/3 处、叶片中部、叶基上 1/3 处 SPAD 值, 每片叶共 6 个点, 记录每株 18 个测点的 SPAD 平均值。此后, 将烟株贴土面剪断, 记录烟株叶片数, 选取最大 2 片叶, 测定叶长和叶宽, 计算烟株最大叶面积^[21]。用钢卷尺测定烤烟株高, 用游标卡尺测量烟株茎基 1 cm 处直径, 作为茎粗。分别称量和记录烟株叶片和茎秆鲜重, 装入网袋中, 放入烘箱, 于 105 °C 杀青 30 min, 75 °C 下烘干至恒重, 分别称量和记录叶片和茎秆干重。氮肥利用效率为单位施氮量所形成的烤烟叶干重, 水分利用效率为单位灌溉水量所形成的烤烟叶干重。

地上部农艺指标测定后, 将钵钵中烟株根系和土壤完整倒入孔径 0.38 mm 的尼龙网袋中, 首先流水冲洗根系土壤, 之后利用筛网、镊子和水盆再进行 3 轮根系清洗, 洗净根系

中残留土壤, 同时保证根系完整, 无根系损失。对完整根系进行根结线虫病级和根结指数观测, 根系病级测定参照国家标准烟草病虫害分级及调查方法^[22], 根结指数测定参照国际分级标准^[23]。根结密度为单位质量或单位体积根系中根结的数量。病情观测后, 将整个根系分为主根(连接茎与根部的部位)、侧根和根结 3 部分, 称量并记录各部分根系鲜重, 利用排水法测量主根和根结体积。之后进行侧根根系分析, 将侧根剪为 1 cm 小段, 混合均匀后, 将根系放入盛有去离子水的透明塑料托盘中, 用镊子调整根系位置, 使之无交叉, 用扫描仪(Epson Perfection V700)进行扫描, 用根系分析系统软件(WinRHIZO, Canada)分析侧根长度及体积。用扫描仪将根结部分进行扫描成像, 计数根结数量。最后, 将所有根系分别装入信封后放入烘箱, 75 °C 下烘干至恒重, 测定并记录各部分根系干重。

1.3 大田试验设计与观测方法 为了评价新型杀线剂路富达对烟草根结线虫的防治效果, 选择常规杀线剂阿维菌素作为参比, 于 2020 年 4—9 月分别在云南省玉溪市红塔区高仓镇龙树一组(龙树点)和龙树四组(干海子点)进行大田试验。共设 3 个处理, 分别是路富达、阿维菌素和空白对照。供试烟草品种为 K326, 漂浮育苗, 膜下小苗移栽。2 个试验点分别于 2020 年 4 月 17 日和 4 月 20 日移栽, 试验田间管理按照《玉溪优质烟生产技术规程》进行。于 7 月 10 日打顶期和 9 月 21 日采收结束后, 采用 5 点取样法每个处理挖取 10 株烟株, 调查每棵烟株的病级, 计算病级指数。病情指数 = $\sum(\text{各级病株数} \times \text{该病级值}) / (\text{调查总株数} \times \text{最高级值}) \times 100$ 。并于 7 月 10 日打顶期, 调查每棵烟株的农艺性状, 包括株高、有效叶片数、最大叶长、叶宽和最大叶面积。

1.4 数据分析 数据处理和统计分析采用 Excel 2013 和 SAS 8.2 软件, 采用 SAS 8.2 软件进行单因素和二因素方差分析, 用 Duncan 在 0.05 水平下进行差异显著性检验。应用 Sigma Plot 10 软件作图。

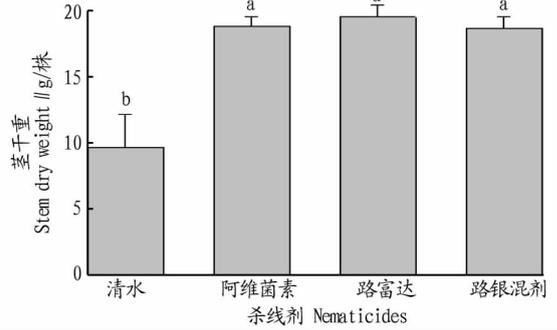
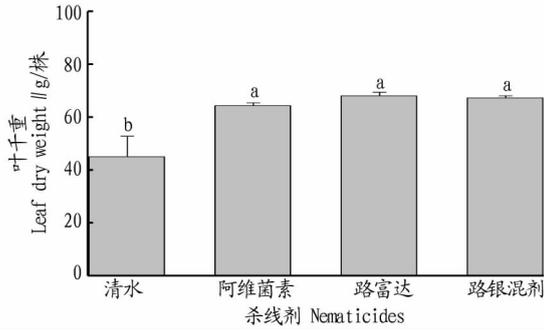
2 结果与分析

2.1 不同杀线剂对根结线虫的杀线效果 与清水对照相比, 阿维菌素、路富达和路银混剂 3 个处理, 均显著提高了烤烟叶干重和茎干重(图 1), 叶干重增幅分别为 43%、51% 和 50%, 茎干重增幅分别为 95%、102% 和 94%; 3 种杀线剂对烤烟叶干重和茎干重的影响差异均不显著。此外, 与清水对照相比, 3 种杀线剂均显著提高了氮肥和水分利用效率(图 2), 其增幅为 26%~51%。然而, 与清水对照相比, 3 种杀线剂并未显著增加烟株茎粗、最大叶叶面积和 SPAD 值, 但显著增加了叶片数和株高(表 1)。

与清水对照相比, 阿维菌素、路富达和路银混剂均显著降低了烤烟根结线虫病级和根结指数, 其相对防效达 63%~68%, 3 种杀线剂处理间差异不显著(图 3)。从根系生长和根结发育的角度来看, 3 种杀线剂均显著增加了主根、侧根和总根干重以及侧根长度和体积(表 2), 但未显著提高主根长度和体积。此外, 3 种杀线剂均显著减少了根结数量, 路银混剂显著降低了根结干重和体积, 但阿维菌素和路富达对根结

干重和体积不存在显著影响(表2)。单位质量根系的根结干重、数量和体积,可以更好地反映线虫对根系的侵染程度。

与清水对照相比,阿维菌素、路富达和路银混剂均显著降低了烤烟单位质量根系的根结干重、数量和体积(图4)。



注:不同小写字母表示不同杀虫剂间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different nematocides($P<0.05$)

图1 不同杀线剂推荐用量对烤烟叶干重和茎干重的影响

Fig. 1 Effects of recommended dosages of different nematocides on leaves and stem dry weight of flue-cured tobacco

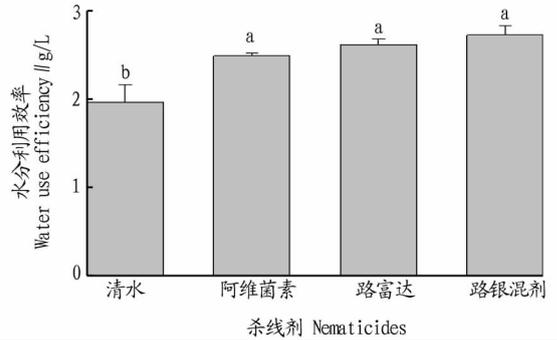
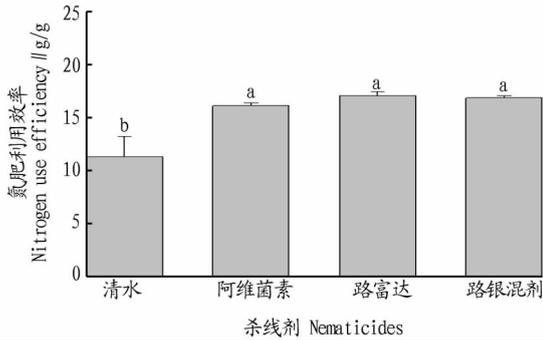


图2 不同杀线剂推荐用量对烤烟水分和氮肥利用效率的影响

Fig. 2 Effects of recommended dosages of different nematocides on water and nitrogen utilization efficiency of flue-cured tobacco

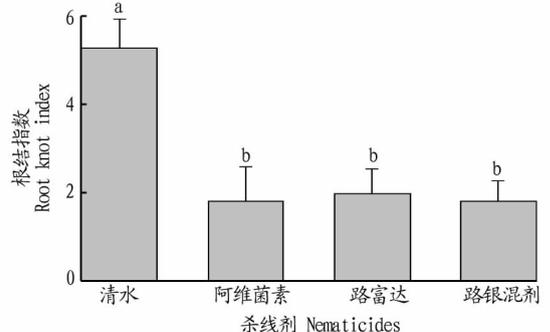
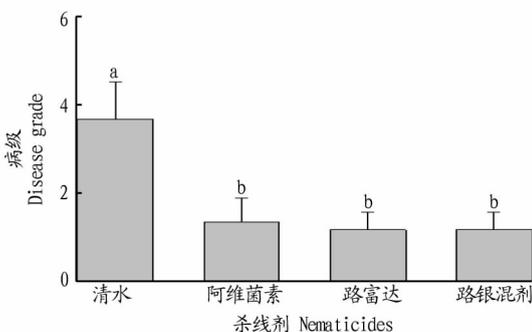
表1 不同杀线剂推荐用量对烤烟地上部农艺指标的影响

Table 1 Influence of recommended dosage of different nematocides on agronomic indexes of flue-cured tobacco

处理 Treatment	茎粗 Stem diameter/mm	叶面积 Leaf area/cm ²	SPAD	叶数 Leaf number/片/株	株高 Plant height/mm
CK	15.10±1.09 a	647.0±69.5 a	49.20±1.02 a	20.50±1.15 b	44.70±5.91 b
阿维菌素 Abamectin	16.00±0.35 a	723.0±33.3 a	51.50±1.84 a	23.70±0.84 a	68.60±1.15 a
路富达 Lufuda	16.00±0.24 a	758.0±25.6 a	51.70±1.28 a	25.50±0.22 a	68.40±2.61 a
路银混合 Mixture	16.60±0.39 a	799.0±14.8 a	51.60±1.29 a	24.80±0.54 a	59.60±5.04 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P<0.05$)



注:不同小写字母表示不同杀虫剂间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different nematocides($P<0.05$)

图3 不同杀线剂推荐用量对烤烟根结线虫病级和根结指数的影响

Fig. 3 Effects of recommended dosage of different nematocides on root disease grade and root knot indexes of flue-cured tobacco

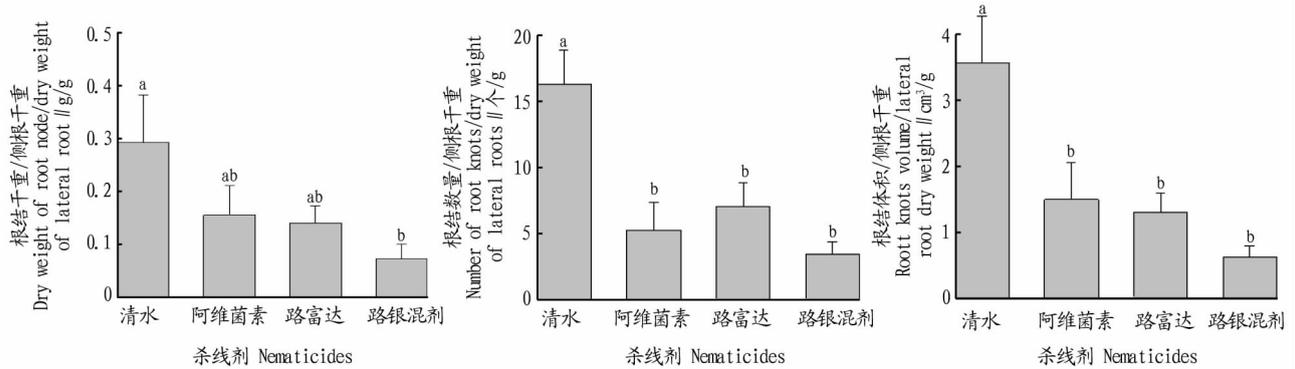
表 2 不同杀线剂推荐用量对烤烟根系和根结干重、数量和体积的影响

Table 2 Effects of recommended dosage of three nematicides on root system and root knot dry weight, quantity and volume of flue-cured tobacco

处理 Treatment	根系总干重 Total root dry weight g	主根 Taproot			侧根 Lateral root			根结 Root knot		
		干重 Dry weight g	长度 Length cm	体积 Volume cm ³	干重 Dry weight g	长度 Length cm	体积 Volume cm ³	干重 Dry weight g	数量 Number 个/株	体积 Volume cm ³
CK	13.10±2.05 b	4.51±0.75 b	7.53±0.52 b	30.70±4.33 a	7.02±1.16 b	708±103 b	44.80±9.35 b	1.52±0.30 a	105.0±27.8 a	18.70±1.52 a
阿维菌素 Abamectin	18.10±0.96 a	6.24±0.66 a	8.20±0.32 ab	34.00±2.91 a	10.40±0.93 a	1 033±78 a	78.30±5.92 a	1.45±0.51 a	50.0±19.4 ab	13.80±5.00 a
路富达 Lufuda	19.40±1.11 a	8.51±0.82 a	8.70±0.26 ab	43.30±3.99 a	9.56±0.75 a	897±108 a	69.00±5.29 a	1.29±0.32 a	65.0±16.5 ab	11.80±2.85 a
路银混合 Mixture	18.60±1.33 a	6.76±1.02 ab	8.90±0.41 a	34.20±5.39 a	11.10±0.84 a	1 251±133 a	92.00±7.92 a	0.74±0.24 b	37.0±9.0 b	6.67±1.71 b

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level



注: 不同小写字母表示不同杀线剂间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different nematicides ($P < 0.05$)

图 4 不同杀线剂推荐用量对单位质量根系的根结干重、数量和体积的影响

Fig. 4 Effects of different nematicides on dry weight, quantity and volume of root knot per unit mass of root system

2.2 不同杀线剂使用剂量对根结线虫的杀线效果 由路富达和路银混剂不同用量的二因素方差分析结果可知, 杀线剂种类和药剂使用量对烤烟茎叶干重和地上部农艺指标无显

著影响, 且杀线剂种类和使用量间不存在显著交互作用。路银混剂推荐用量加倍, 仅显著提高了烤烟茎干重; 随着路银混剂用量增加, 烤烟最大叶叶面积显著增加 (表 3)。

表 3 路富达和路银混剂不同用量对烤烟生物量和农艺指标的影响

Table 3 Effects of different dosage of Lufuda and Luyin mixture on biomass and agronomic indexes of flue-cured tobacco

杀线剂 Nematicide	用量 Dosage mL/株	叶干重 Leaf dry weight/g	茎干重 Stem dry weight/g	茎粗 Stem diameter mm	叶面积 Leaf area cm ²	SPAD	叶数 Leaf number 片/株	株高 Plant height mm
路富达 Lufuda	0.015	65.00±1.57 aA	17.10±1.13 aA	16.20±0.24 aA	738.0±22.6 aA	55.90±1.95 aA	24.40±0.98 abA	68.90±2.36 aA
	0.030	68.00±1.51 aA	19.50±0.91 aA	16.00±0.24 aA	758.0±25.6 aA	51.70±1.28 aA	25.50±0.22 aA	68.40±2.61 aA
	0.060	66.50±3.71 aA	17.20±1.19 aB	16.60±0.56 aA	689.0±39.3 aA	52.90±0.75 aA	23.50±0.56 bA	65.70±2.37 aA
路银混剂 Mixture	0.034	62.60±2.23 aA	17.90±1.35 aA	15.70±0.36 aA	683.0±21.0 bA	49.50±1.79 aB	25.20±0.31 aA	67.10±2.78 aA
	0.068	67.30±0.78 aA	18.60±0.86 aA	16.60±0.39 aA	799.0±14.8 aA	52.40±1.29 aA	24.80±0.54 aA	59.60±5.04 aA
	0.136	68.90±1.55 aA	20.40±0.59 aA	16.70±0.40 aA	751.0±19.4 aA	54.20±1.15 aA	25.30±0.80 aA	68.60±2.64 aA

二因素方差分析 (F)

杀线剂 (P)	0.03 ns	1.41 ns	0.02 ns	0.65 ns	1.36 ns	1.63 ns	0.95 ns
浓度 (C)	2.23 ns	1.23 ns	1.81 ns	4.53 *	0.63 ns	0.76 ns	0.93 ns
P×C	0.63 ns	1.96 ns	1.04 ns	2.97 ns	4.64 *	2.32 ns	1.80 ns

注: 同列不同大写字母表示不同杀线剂间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母间表示不同药剂用量间差异显著 ($P < 0.05$)。二因素方差分析表中 * * *、* *、* 分别表示不同因素在 0.001、0.01、0.05 水平差异显著

Note: Different capital letters in the same column represented significant difference between different nematicides ($P < 0.05$), and different lowercase letters represented significant difference between nematicides dosage ($P < 0.05$). In the table of two-factor analysis of variance, * * *, * * and * respectively represented significant differences between different factors at the levels of 0.001, 0.01 and 0.05 (the same below)

路富达、路银混剂及其药剂用量对烤烟根结线虫病级和根结指数无显著影响。随着路富达用量增加, 根结干重、数量和体积呈下降趋势, 但差异不显著; 此外, 对主根和侧根干重也不存在显著影响。路银混剂对上述根结和根系的影响, 存在类似的趋势 (表 4)。

2.3 大田条件下 2 种杀线剂对根结线虫病病情指数和烟株生长的影响 由图 5 可知, 打顶期和收获后空白对照处理根结

线虫病病情指数分别为 62.2% 和 87.2%, 使用路富达杀线剂后, 则显著降低到 38.9% 和 66.1%; 使用常规杀线剂阿维菌素, 病情指数则介于二者之间, 差异不显著。随着烟株生长, 根结线虫病病害显著加重, 打顶期根结线虫病病情指数显著低于收获后。

二因素方差分析结果表明, 2 种杀线剂和试验点间, 烟株株高、有效叶片数和最大叶片差异显著, 但二者之间不存在

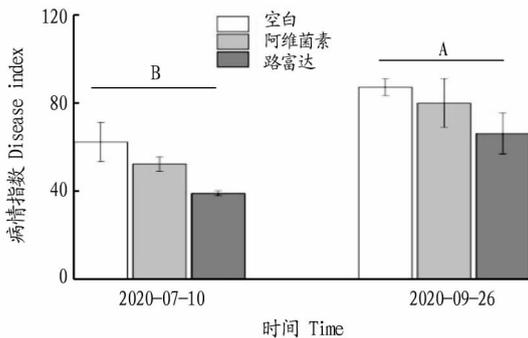
表4 不同药剂用量对烤烟根结线虫病情和根系参数的影响

Table 4 Effects of different dosage of Lufuda and Luyin mixture on the disease and root parameters of flue-cured tobacco root node nematode

杀线剂 Nematicide	用量 Dosage mL/株	病级 Disease level	根结指数 Root knot index	根结 Root knot			主根干重 Main root dry weight/g	侧根干重 Lateral root dry weight/g
				干重 Dry weight g	数量 Number 个/株	体积 Volume cm ³		
路富达 Lufuda	0.015	1.80±0.49 aA	2.60±0.40 aA	1.06±0.32 aA	95.0±21.7 aA	15.00±3.54 aA	6.34±0.80 aA	10.10±1.19 aA
	0.030	1.17±0.40 aA	2.00±0.58 aA	1.29±0.32 aA	65.0±16.5 aA	11.80±2.85 aA	8.51±0.82 aA	9.56±0.75 aA
	0.060	0.83±0.17 aA	1.83±0.48 aA	0.86±0.35 aA	46.0±16.1 aA	9.17±3.52 aA	7.88±1.51 aA	8.95±0.82 aB
路银混剂 Luyin mixture	0.034	1.67±0.42 aA	2.83±0.60 aA	1.45±0.48 aA	84.0±24.1 aA	11.80±4.13 aA	6.40±1.17 aA	11.10±0.58 aA
	0.068	1.17±0.40 aA	1.83±0.48 aA	0.74±0.24 aA	37.0±9.0 abA	6.67±1.71 aA	6.76±1.02 aA	11.10±0.84 aA
	0.136	0.83±0.17 aA	2.00±0.63 aA	0.63±0.20 aA	27.0±11.3 bA	5.33±1.86 aA	8.30±0.99 aA	12.10±0.65 aA
二因素方差分析(F)								
杀线剂(P)	0.10ns	0.06ns	0.22ns	1.55ns	2.43ns	0.31ns	8.75**	
浓度(C)	2.76ns	1.43ns	1.25ns	5.05**	2.11ns	1.25ns	0.05ns	
P×C	0.20ns	0.08ns	0.97ns	0.12ns	0.66ns	0.57ns	0.98ns	

注:同列不同大写字母表示不同杀线剂间差异显著($P<0.05$),不同小写字母间表示不同药剂用量间差异显著($P<0.05$)。二因素方差分析表中***、**、*分别表示不同因素在0.001、0.01、0.05水平差异显著

Note: Different capital letters in the same column represented significant difference between different nematocides, and different lowercase letters represented significant difference between nematocides dosage($P<0.05$). In the table of two-factor analysis of variance, ***, ** and * respectively represented significant difference between different factors at the levels of 0.001, 0.01 and 0.05



注:不同小写字母表示不同杀线剂间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different nematocides($P<0.05$)

图5 打顶期(7月10日)和收获后(9月26日)2种杀线剂对烟草根结线虫病情指数的影响

Fig. 5 Effects of two nematocides amendment on disease index of root-knot nematodes on tobacco at the topping stage and after harvest

显著交互作用(表5)。与空白对照相比,使用新型杀线剂路富达平均显著提高了烟株株高10%,增加有效叶片数6.7%和最大叶面积21.8%;干海子的促生效果显著优于龙树村。阿维菌素的使用效果则介于二者之间,与空白对照处理相比,差异不显著。

3 结论与讨论

该研究盆栽试验结果表明,与传统杀线剂阿维菌素相比,路富达和路银混剂均可有效防治烤烟根结线虫病害,降低根结线虫病级、根结指数和根结密度,从而显著促进烟株生长和提高烤烟叶干重和茎干重。大田试验结果表明,与传统杀线剂阿维菌素相比,路富达显著降低了根结线虫病情指数,促进了烟株生长。

香蕉、甘蔗、黄瓜、烟草、西瓜和番茄的研究结果表明,阿维菌素可以减少植株根部雌虫数量、根结数和土壤中二龄幼虫数量^[11],降低线虫活动能力和侵染力,减少根结线虫病害发生^[13,24-25]。然而,据文献报道,不同加工剂型的阿维菌素对

表5 打顶期(7月10日)2种杀线剂对烟株农艺性状的影响

Table 5 Effects of two nematocides on agronomic indexes of flue-cured tobacco at the topping stage on 10th July

地点 Site	杀线剂 Nematicides	株高 Plant height cm	有效叶 Effective leaf 个/株	最大叶长 Maximum leaf length/cm	最大叶宽 Maximum leaf width/cm	最大叶面积 Maximum leaf area/cm ²
龙树村 Longshu Village	空白对照	101.6±2.1 bA	23.1±0.6 bA	63.3±1.5 bA	31.2±0.4 bA	1975.0±70.5 bA
	阿维菌素	102.4±2.4 bA	23.1±0.5 bA	66.2±1.8 bA	31.3±1.2 bA	2082.0±121.0 bA
	路富达	110.9±1.6 aA	24.3±0.4 aA	69.2±1.3 aA	32.1±0.6 aA	2220.0±64.5 aA
干海子 Ganhaizi	空白对照	94.2±1.0 bB	22.0±0.4 bB	58.1±1.9 bB	23.2±0.6 bB	1348.0±64.8 bB
	阿维菌素	96.6±0.9 bB	22.3±0.7 bB	59.4±1.5 bB	23.4±0.6 bB	1391.0±62.2 bB
	路富达	104.5±2.9 aB	23.6±0.3 aB	66.3±1.6 aB	27.6±0.6 aB	1827.0±64.8 aB
平均值 Average	空白对照	97.9±1.4 b	22.5±0.3 b	60.7±1.3 b	27.2±1.0 b	1662.0±85.6 b
	阿维菌素	99.5±1.4 b	22.7±0.4 b	62.8±1.4 b	27.3±1.1 b	1737.0±103.4 b
	路富达	107.7±1.8 a	24.0±0.2 a	67.7±1.1 a	29.8±0.7 a	2024.0±63.4 a

二因素方差分析(F值)

杀线剂	14.45***	6.43**	9.86***	8.64***	12.13***
试验点	16.63***	4.78*	13.96***	134.41***	80.98***
杀线剂×试验点	0.09ns	0.02ns	0.73ns	3.74ns	2.04ns

注:同列不同大写字母表示不同试验点间差异显著($P<0.05$),不同小写字母间表示不同杀线剂间差异显著($P<0.05$)。二因素方差分析表中***、**、*分别表示不同因素在0.001、0.01、0.05水平差异显著

Note: Different capital letters in the same column represented significant difference between different experimental sites, and different lowercase letters represented significant difference between different nematocides($P<0.05$). In the table of two-factor analysis of variance, ***, ** and * respectively represented significant differences between different factors at the levels of 0.001, 0.01 and 0.05

植株根结线虫病害的防治效果,仍存在争议。该研究所用的 1.8%阿维菌素乳油对根结线虫具有较强抑制效果,不但可以有效防治根结线虫病害^[26-27],而且显著提高了根系干重、长度和体积,降低了根结干重、体积和根结密度。而颗粒剂和微囊悬浮剂对根结线虫病害的防治效果不稳定,且随着使用时间增加,病虫产生抗药性^[14,28],降低田间防治效果,增产率也显著降低^[29]。

该研究结果表明,盆栽条件下路富达和路银混剂具有与阿维菌素相同的防治根结线虫的效果,这与此前在番茄和黄瓜上的试验结果基本一致^[17-18],其作用机理主要是降低根结线虫病级、根结指数和根结密度。路富达作为一种新型杀线剂,主要成分为氟吡菌酰胺,通过阻断病原菌线粒体呼吸电子传递链上的复合体II的电子传递,抑制琥珀酸脱氢酶或琥珀酸辅酶还原酶活性,切断机体能量供应,进而杀死线虫或抑制其生长发育,其防效可高达 60%~70%^[30]。此外,路富达可以提高番茄根系抗性酶活性,降低丙二醛含量,促进植株体内脯氨酸含量增加,为细胞恢复提供能量,有效促进植株生长和对水肥的吸收利用^[30]。

银法利可有效防治黄瓜霜霉病、马铃薯晚疫病^[19]和烟草黑胫病^[20]。据德国拜耳作物科学公司内部资料报道,路富达与银法利混合使用可以更好地防治根结线虫和黑胫病复合病害。然而,对于不存在烟草黑胫病的供试土壤而言,与仅使用路富达或阿维菌素处理相比,路银混剂对于抑制烟草根结线虫病害和促进烟株生长的影响,并未体现出效果。

为了降低生产成本,对于不存在黑胫病的烟田,不建议使用路富达和银法利混合药剂。此外,根据盆栽条件下路富达和银法混剂不同浓度的试验结果,对于中度根结线虫病害的烟田土壤,适当降低路富达使用量,可达到与推荐用量同样的防治效果,进而可以大幅度降低烟农的生产成本和可能存在的环境污染风险。从已经完成的大田试验结果评价,2种杀线剂的防治效果并不十分理想。因此,上述盆栽试验的结论,还有待针对不同发病程度的大田条件进行适当的验证和调整。

参考文献

[1] DONG L Q, ZHANG K Q. Microbial control of plant-parasitic nematodes: A five-party interaction[J]. *Plant and soil*, 2006, 288(1/2): 31-45.
 [2] ABAD P, WILLIAMSON V M. Plant nematode interaction: A sophisticated dialogue[J]. *Advances in botanical research*, 2010, 53(10): 147-192.
 [3] 张映杰, 闫芳芳, 叶田会, 等. 4 种生物制剂对烟草根结线虫防治技术的研究[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(8): 82-85.

(上接第 129 页)

以提高草地贪夜蛾的防治效果。

参考文献

[1] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas[J]. *African entomology*, 2018, 26(2): 286-300.
 [2] 全国农业技术推广服务中心. 植物病虫情报: 当前玉米重大病虫害发生动态[N]. *河北科技报*, 2019-08-31(005).
 [3] 杨光. 草地贪夜蛾应急防治用药推荐名单公布[J]. *农药市场信息*, 2019(12): 3.
 [4] 王国荣, 李斌, 黄福旦, 等. 4 种杀虫剂对玉米上草地贪夜蛾的室内外活性[J]. *中国植保导刊*, 2019, 39(12): 70-72.

[4] 李江舟, 焦永鸽, 代快, 等. 玉溪地区前茬作物对烤烟产质量的影响及施肥改进措施[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(20): 6597-6600, 6652.
 [5] 董娟. 使用堆肥防治线虫的现状[J]. *生物灾害科学*, 2012, 35(3): 245-248.
 [6] 金娜, 刘倩, 简恒. 植物寄生线虫生物防治研究新进展[J]. *中国生物防治学报*, 2015, 31(5): 789-800.
 [7] 李娟, 张克勤. 食线虫微生物防治病原线虫的研究[J]. *中国生物防治学报*, 2013, 29(4): 481-489.
 [8] 邱雪柏. 烟草根结线虫生物防治研究进展[J]. *贵州农业科学*, 2010, 38(7): 121-124.
 [9] 刘顺晓. 六种药剂对瓜类根结线虫病的防治及其使用技术研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2018.
 [10] HAJJI-HEDEFI L, REBAI E, LARAYEDH A et al. Biological control of *Meloidogyne javanica* on tomato with Dazitol® and soil solarization[J]. *Environmental science and pollution research*, 2018, 25(18): 17278-17282.
 [11] 刘丹, 颜冬冬, 毛连纲, 等. 阿维菌素防治植物线虫的研究进展[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 39(S1): 83-87.
 [12] 李素霞, 张杰, 张文娟, 等. 不同加工剂型阿维菌素对南方根结线虫的防治效果[J]. *植物保护学报*, 2013(6): 575-576.
 [13] 邹雅新, 曹素芳, 马娟, 等. 阿维菌素和硫线磷对南方根结线虫的毒力[J]. *植物保护*, 2009, 35(2): 39-43.
 [14] 刘刚. 云南通海小菜蛾对阿维菌素已达极高抗水平[J]. *农药市场信息*, 2015(15): 62.
 [15] 何玉仙, 杨秀娟, 翁启勇, 等. 小菜蛾对阿维菌素的抗性研究[J]. *福建农业学报*, 2002, 17(3): 155-158.
 [16] 尼秀媚, 李光聚, 彭佃亮, 等. 四种根结线虫生物防治药剂的田间药效试验[J]. *北方园艺*, 2018(9): 89-92.
 [17] 刘勇鹏, 赵群法, 张涛, 等. 生物杀线虫剂对日光温室番茄根结线虫病防治研究[J]. *河南农业大学学报*, 2017(6): 815-821.
 [18] 刘慧芹, 刘真真, 沈高峰, 等. 3 种药剂对保护地黄瓜根结线虫病防治效果研究[J]. *天津农林科技*, 2019(1): 14-15, 18.
 [19] 李德建. 银法利——拜耳全新蔬菜杀菌剂[J]. *中国农药*, 2006, 2(4): 54.
 [20] 唐旭兵, 李光西, 宋玉川, 等. 香料烟黑胫病原鉴定及防治药剂筛选[J]. *中国烟草学报*, 2010, 16(2): 66-69.
 [21] 郑凤君, 华南金秋, 张立猛, 等. 长宽法测定幼苗期烟草叶面积的校正系数[J]. *中国烟草科学*, 2015, 36(6): 13-16.
 [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 烟草病虫害分级及调查方法: GB/T 23222—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 2-3.
 [23] BRIDGE J, PAGE S L J. Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart[J]. *Tropical pest management*, 1980, 26(3): 296-298.
 [24] 丁中, 彭德良, 何旭峰, 等. 不同地理种群甘薯茎线虫对不同杀线剂的敏感性[J]. *农药*, 2007, 46(12): 851-853.
 [25] 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.
 [26] 鲁旭鹏, 段玉玺, 陈立杰, 等. 阿维菌素和噻唑磷对根结线虫病的田间防效[J]. *中国植保导刊*, 2015, 35(1): 63-64.
 [27] 李秋捷, 陆秀红, 黄金玲, 等. 不同药剂对南方根结线虫的室内毒力测定[J]. *浙江农业科学*, 2018, 59(8): 1432-1433, 1435.
 [28] 王磊. 阿维菌素面临的机遇与挑战[J]. *生物技术世界*, 2015, 12(2): 63-64.
 [29] 赵雪梅, 彭森, 张震. 不同农药对设施番茄根结线虫的防效研究[J]. *现代农业科技*, 2019(17): 122, 125.
 [30] 王瑞娇, 郑小兰, 刘勇鹏, 等. 芸苔素内酯的复合应用对番茄根结线虫抑制效果的研究[J]. *河南农业大学学报*, 2017, 51(1): 29-35.

[5] 范晓培, 余正军, 王清文, 等. 7 种杀虫剂对玉米草地贪夜蛾幼虫的室内毒力测定及田间防效[J]. *陕西农业科学*, 2020, 66(8): 37-40, 64.
 [6] 王希, 舒宽义. 11 种杀虫剂处理对玉米草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. *生物灾害科学*, 2019, 42(4): 292-296.
 [7] 杨晓杰, 高超男, 盛子耀, 等. 玉米田草地贪夜蛾防治药剂筛选[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(23): 186-187, 217.
 [8] 太红坤, 郭井非, 张峰, 等. 草地贪夜蛾在云南冬季甜玉米上的生物学习性及为害状观察[J]. *植物保护*, 2019, 45(5): 91-95.
 [9] 陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 等. 草地贪夜蛾的昆虫病原微生物资源及其应用现状[J]. *植物保护*, 2019, 45(6): 1-9, 19.
 [10] 吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略[J]. *植物保护*, 2020, 46(2): 1-5.
 [11] 赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 等. 8 种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. *植物保护*, 2019, 45(4): 74-78.