

DOI:10.13718/j.cnki.zwxy.2023.01.013

基于根际健康和精准用药的 烟草根结线虫病绿色防控技术研究

——以四川省会理市黎溪镇横坝塘村为例

江连强¹, 赖婷², 王金峰³

1. 中国烟草总公司四川省公司凉山州公司, 四川 西昌 615000;

2. 重庆西农植物保护科技开发有限公司, 重庆 400700;

3. 西南大学植物保护学院, 重庆 400715

摘要: 四川省凉山彝族自治州会理市是我国“清甜香”优质烟叶主要生产区之一。近年来, 由于气候环境变化、烟草连作等因素导致烟草根结线虫病大面积暴发, 对烟叶高质量生产造成了严重威胁。本研究以烟草根际健康调控为核心, 集成牡蛎硅粉土壤调酸控病及精准用药等多项技术, 建立了一套以烟株根际健康调控为核心的烟草根结线虫绿色防控技术体系, 并于2022年在黎溪镇开展田间示范研究。研究表明, 该技术体系对根结线虫病具有较好的防治效果, 防效达81.12%; 同时, 技术应用显著提高了土壤全磷、速效钾、交换性钙、镁的含量, 提升了土壤pH值及脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶的活性, 降低了土壤交换性酸的含量, 对于优化土壤结构, 持续控制根结线虫病的发生具有重要的价值和意义。

关键词: 根结线虫病; 综合防控; 绿色防控

中图分类号: S432.4

文献标志码: A

文章编号: 2097-1354(2023)01-0095-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Green Control Technology of Tobacco Root Knot Nematode Disease Based on Rhizosphere Health and Precise Chemical Application ——Take Lixi Township of Huili County as an Example

JIANG Lianqiang¹, LAI Ting², WANG Jinfeng³

收稿日期: 2022-12-13

基金项目: 凉山烟草线虫病害的监测预警及绿色防控技术研究与应用(川烟科[2020]2号)。

作者简介: 江连强, 中级农艺师, 硕士, 主要从事烟草生产技术指导工作。

1. Liangshan Prefecture Branch of Sichuan Tobacco Company, Xichang Sichuan 615000, China;
2. Chongqing Xinong Plant Protection Technology Development Co. LTD., Chongqing 400700, China;
3. School of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Huili County of Liangshan Prefecture of Sichuan Province is one of the main production areas of ‘sweet and sweet’ quality tobacco leaves. In recent years, due to climate change, tobacco continuous cropping and other factors, caused outbreak of tobacco root knot nematodes in large areas, posing a serious threat to the high-quality production of tobacco leaves. This study focused on regulation of tobacco rhizosphere health and integrated several technologies, such as oyster silica soil acid adjustment and disease control, and precise chemical application, to establish a tobacco rhizosphere health control based tobacco root-node nematode green control technology system. The field demonstration and application were carried out in Lixi Town in 2022. The demonstration results showed that the scheme had a good control effect on root knot nematodes, and the control efficiency was up to 81.12%. At the same time, this scheme significantly increased the contents of total phosphorus, available potassium, exchangeable calcium and magnesium in soil, also increased the pH value of soil and the activities of urease, catalase and sucrase, and reduced the content of exchangeable acid in soil, which has important value and significance for optimizing soil structure and continuously controlling the occurrence of root knot nematodes.

Key words: root knot nematodes; comprehensive prevention and control; green prevention and control

烟草根结线虫病(Tobacco Root-knot Nematode Disease)是烟草生产中主要的土传病害之一, 发生范围广、危害程度高、防治难度大, 严重影响我国各烟区烟叶产质量的提升^[1-4]. 四川省凉山彝族自治州属亚热带季风气候区, 四季分明, 是我国“清甜香”优质烟叶主要生产区之一^[5]. 近年来, 由于复种指数不断增加, 烟草根结线虫病呈逐年升高趋势^[6-8]. 目前, 根结线虫病的防控方法仍以化学防治为主^[9-10], 如撒施阿维菌素、噻唑膦^[11]等, 但长期使用化学药剂会造成农药残留、环境污染、病虫害抗药性提升等问题^[12]. 本研究以烟草根际健康调控为核心, 以持续有效控制为目标, 紧紧围绕“绿色防控、减肥减药”的工作原则, 集成牡蛎硅粉土壤调酸控病、育苗基质拌菌壮苗控病、有机肥拌菌控病、叶面中微量元素补充、精准用药等多项技术, 建立了一套以烟株根际健康调控为核心的根结线虫绿色防控技术体系, 以达到提高烟草健康水平、有效防控烟草根结线虫病、烟草高效绿色发展的目标, 同时为根结线虫病防控及土壤健康管理提供参考.

1 材料与方法

1.1 试验地点与作物

本研究于2022年在四川省凉山彝族自治州会理市黎溪镇横坝塘村(东经102°1′17″, 北纬26°17′47″, 海拔1 890 m)进行, 其中示范区共设置3.33 hm², 并以周边5块面积共1.33 hm²的未处理烟田作为对照区. 示范区和对照区土壤均为红壤土, 供试烟草品种为“中川208”.

1.2 供试药剂

100 亿/g 苗强壮复合微生物菌剂、30 亿/g 根茎康复合菌剂、95%牡蛎硅粉粉剂、金维果7号叶面肥(15-9-30+1.1%TE)均购自重庆西农植物保护科技开发有限公司; 50 亿/g 淡紫拟青霉粉剂购自济宁玉园生物科技有限公司, 15%阿维丁硫乳油购自内蒙古清源保生物科技有限公司

司; 0.5%氨基寡糖素水剂购自海南正业中农高科技股份有限公司, 有机肥采用自制有机肥.

1.3 示范区施药流程

烟苗于 2022 年 5 月 7 日移栽, 示范区各处理见表 1, 其余所有烟田处理措施采用统一漂浮育苗和常规田间管理技术(表 1).

表 1 示范区技术处理措施

时期	药剂	使用量	使用方法	目的
育苗期	100 亿/g 苗强壮复合微生物菌剂	100 g/1 000 株烟苗所用基质	基质与药剂混合均匀, 装入育苗盘, 正常播种育苗	选用苗强壮复合微生物菌剂加淡紫拟青霉在育苗时拌入基质中, 抢占根际生态位, 构建烟株健康微生物屏障, 防御根结线虫的早期入侵
	50 亿/g 淡紫拟青霉粉剂	15 g/1 000 株烟苗所用基质		
移栽前	95%牡蛎硅粉粉剂	200 kg/667 m ²	起垄前条施; 应避免直接采用贝壳粉、牡蛎壳粉等不溶于水的材料, 施用时无均匀撒施, 避免该材料直接和烟草幼嫩的根部接触	补充 K, P, Si, Ca, Mg 等中微量元素, 调节土壤的生态环境
移栽时	30 亿/g 根茎康复菌剂	2 kg/667 m ²	现混现用, 起垄时条施	使根茎康菌剂和淡紫拟青霉活化有机肥, 促进有益微生物增殖, 提升有机肥养分转化和利用率
	50 亿/g 淡紫拟青霉粉剂	20 g/667 m ²		
移栽后	当地有机肥	200 kg/667 m ²	与定根水混合均匀后浇灌, 每株浇灌量 500 mL 以上	降低土壤病原数量, 提升植株抗性
	15%阿维丁硫乳油	60 mL/667 m ²		
旺长期	0.5%氨基寡糖素水剂	200 mL/667 m ²	1 000 倍液, 叶面喷雾	补充叶面微量元素, 提升烟株抵抗力, 预防叶部病害
	金维果 7 号叶面肥 (15-9-30+1.1%TE)	50 g/667 m ²		

1.4 数据调查

1.4.1 农艺性状调查

选择 20 株烟挂牌标记, 分别在烟草移栽后 50 d(旺长期)和 80 d(打顶后 7 d)按照《烟草农艺性状调查测量方法》(YC/T 142—2010)定点定株测量农艺性状. 本试验调查的主要农艺性状指标包括烟株的株高、茎围、有效叶片数、最大叶长及最大叶宽.

$$\text{最大叶面积}(\text{cm}^2)=0.634\ 5\times\text{最大叶长}(\text{cm})\times\text{最大叶宽}(\text{cm})$$

(1)

1.4.2 病害调查

称取移栽后 100 d 土壤样品 100 g, 采用贝尔曼漏斗法对土壤中根结线虫进行分离, 48 h 后于显微镜下计数. 同时测定土壤含水量, 计算 100 g 干土中二龄根结线虫(J2)的数量.

$$\text{J2 减退率}(\%)=\frac{\text{对照区 J2 数量}-\text{处理区 J2 数量}}{\text{对照区 J2 数量}}\times 100\%$$

(2)

按照《烟草病虫害分级及调查方法》(GB/T 23222—2008), 在移栽 100 d 时对每块烟田的病害情况进行调查.

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

(3)

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

(4)

$$\text{防治效果}(\%) = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100\% \quad (5)$$

1.4.3 土壤理化性质及土壤酶活检测

于移栽后 100 d 对每个小区随机选取 5 株烟采取根际土,并于室内风干过 60 目网筛.土壤理化性质参照《土壤农业化学分析方法》^[13]和《土壤环境检测技术》^[14]进行检测, pH 值测定采用电位法,用 1 mol/L KCl 溶液进行浸提,土:水=1:2.5;有机质测定采用重铬酸钾容量-外加热法;全氮测定采用凯氏定氮法;全磷测定采用硫酸-高氯酸消煮色;全钾测定采用氢氧化钠熔融-火焰光度计法;碱解性氮测定采用碱解扩散法;有效磷采用碳酸氢钠法;速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法;交换性氢、交换性铝采用中和滴定法;交换性钙、镁采用原子吸收光度计法.土壤脲酶用苯酚-次氯酸钠法^[15],以每天每克风干土产生 1 μmol $\text{NH}_3\text{-N}$ 定义为一个酶活力单位;土壤纤维素酶用羧甲基纤维素钠-3,5-二硝基水杨酸比色法^[16],以每天每克风干土产生 1 μmol 葡萄糖定义为一个酶活力单位;土壤过氧化氢酶采用比色法^[17],以每天每克风干土样催化 1 μmol H_2O_2 定义为一个酶活力单位;土壤蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[18],以每天每克风干土催化产生 1 μmol 葡萄糖定义为一个酶活力单位.

1.5 数据处理与统计学分析

所有数据利用 Excel 2019 进行数据整理,同时应用 SPSS 23.0 软件进行差异显著性分析.

2 结果与分析

2.1 不同处理方法土壤理化性质比较

由试验结果可知,处理区烟田 pH 值、交换性酸、交换性钙离子及交换性镁离子含量与对照区比较,差异均具有统计学意义;经处理后,处理区烟田 pH 值得到提升,交换性氢离子和交换性铝离子含量明显低于空白对照组,而交换性钙离子和交换性镁离子含量明显高于对照组(表 2).

表 2 不同处理方法土壤交换性阳离子含量比较

组别	pH 值	交换性酸/ $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$			交换性钙离子/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	交换性镁离子/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
		交换性氢离子	交换性铝离子	总量		
处理区	5.73 $\pm$ 0.03**	0.19 $\pm$ 0.01	0.44 $\pm$ 0.04	0.63 $\pm$ 0.05	962.64 $\pm$ 25.73**	64.81 $\pm$ 2.61**
对照区	5.14 $\pm$ 0.04	0.39 $\pm$ 0.02**	3.14 $\pm$ 0.14**	3.53 $\pm$ 0.16**	702.34 $\pm$ 6.04	51.04 $\pm$ 0.79

注:“*”和“**”表示组间数据比较差异具有统计学意义,“*”和“**”分别表示 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$.

由试验结果可知,处理区烟田全磷和速效钾含量与对照区比较,差异具有统计学意义,其中处理区烟田全磷和速效钾含量明显高于对照区;而处理区土壤有机质、全氮、全钾、碱解性氮和有效磷含量与对照区比较,差异无统计学意义(表 3).

表 3 不同处理方法土壤大量元素及有机质含量比较

组别	有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全钾/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	碱解性氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	有效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
处理区	40.6 $\pm$ 0.72	0.86 $\pm$ 0.01	0.82 $\pm$ 0.04**	12.1 $\pm$ 0.43	178.27 $\pm$ 3.09	41.61 $\pm$ 1.2	534.87 $\pm$ 7.25**
对照区	41.64 $\pm$ 0.83	0.84 $\pm$ 0.01	0.68 $\pm$ 0.02	11.69 $\pm$ 0.12	168.7 $\pm$ 4.4	39.4 $\pm$ 1.71	460.41 $\pm$ 15.6

注:“*”和“**”表示组间数据比较差异具有统计学意义,“*”和“**”分别表示 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$.

2.2 不同处理方法土壤酶活比较

由试验结果可知,处理区和对照区的土壤脲酶、纤维素酶和过氧化氢酶的活性比较,差异具有统计学意义,其中处理区土壤脲酶、纤维素酶和过氧化氢酶活性明显高于对照区;而处理区蔗糖酶活性与对照区比较,差异无统计学意义(表 4).

表 4 不同处理方法土壤酶活情况比较				$\mu\text{mol} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$
组别	脲酶	纤维素酶	过氧化氢酶	蔗糖酶
处理区	20.98±0.31 **	0.84±0.03 *	47.32±0.25 **	51.76±1.74
对照区	13.51±0.05	0.68±0.04	44.40±0.38	49.49±1.59

注:“*”和“**”表示组间数据比较差异具有统计学意义,“*”和“**”分别表示 $p<0.05$ 和 $p<0.01$.

2.3 不同处理方法烟草农艺性状比较

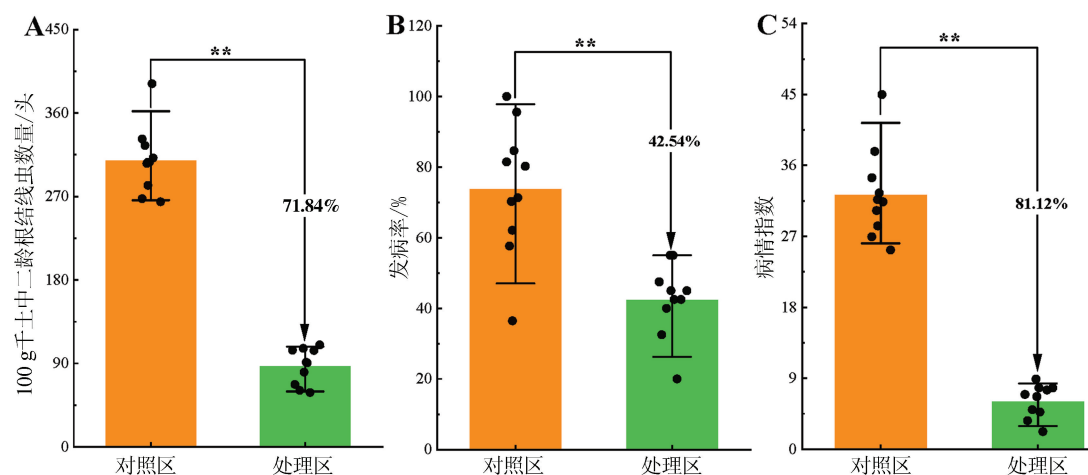
对旺长期和打顶后田间烟株的农艺性状进行调查,结果发现,处理区烟株株高、茎围、有效叶片数和最大叶面积与对照区比较,差异具有统计学意义.旺长期时,处理区烟株株高、茎围、有效叶片数和最大叶面积高于对照区的的 5.93%,2.77%,11.11%和 6.39%;打顶后,处理区烟株株高、茎围、有效叶片数和最大叶面积高于对照区的 13.16%,7.54%,20.00%和 10.75%(表 5).

表 5 不同处理方法烟草农艺性状比较					
生长期	组别	株高/cm	茎围/cm	有效叶片数/片	最大叶面积/cm ²
旺长期	处理区	30.01±0.99 **	5.93±0.17 **	10.00±1.00 **	621.49±36.62 **
	对照区	28.33±1.14	5.77±0.15	9.00±1.00	584.18±50.78
打顶后	处理区	91.76±2.90 **	11.27±0.17 **	18.00±1.00 **	1 512.51±58.24 **
	对照区	81.09±3.47	10.48±0.15	15.00±1.00	1 365.72±78.00

注:“*”和“**”表示组间数据比较差异具有统计学意义,“*”和“**”分别表示 $p<0.05$ 和 $p<0.01$.

2.4 不同处理方法病害防控效果比较

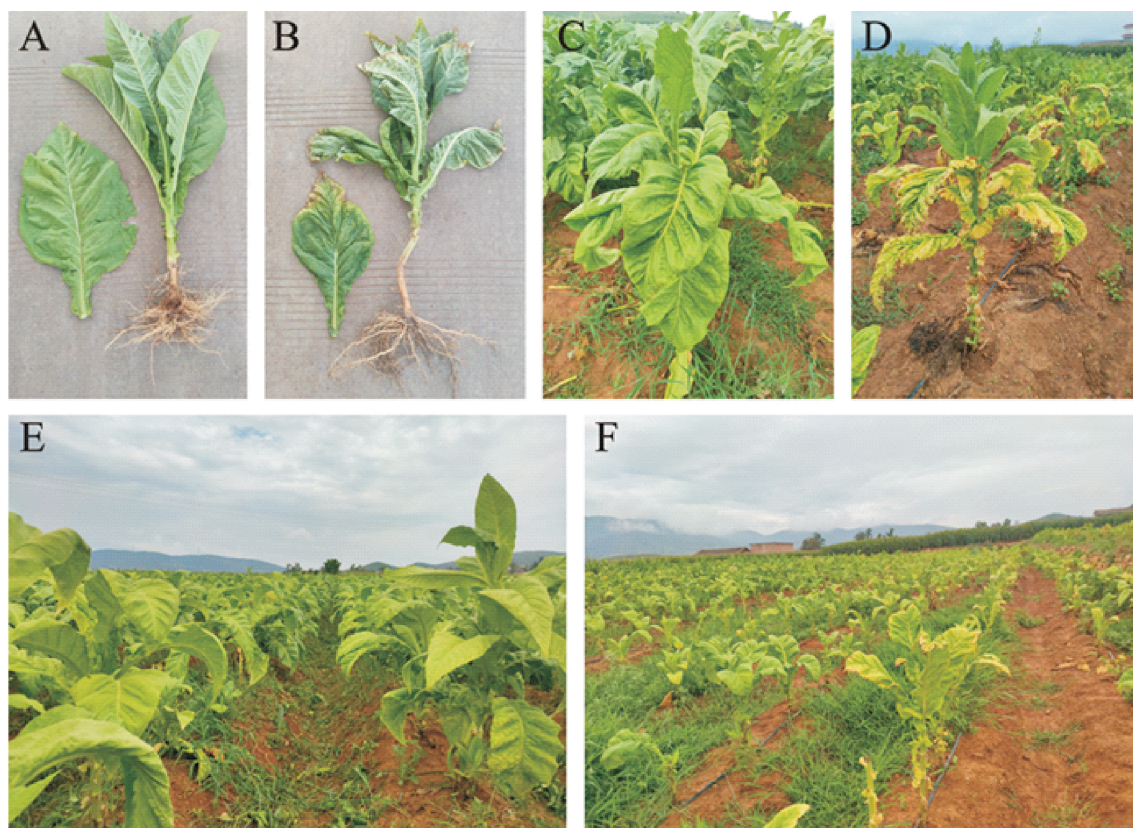
由试验结果可知,在 100 d 时处理区烟田中的土壤二龄根结线虫数量为 87 头明显低于对照区的 309 头,两组比较差异具有统计学意义.对照区的发病率为 73.97%,而处理区的发病率为 42.50%,处理区比对照区低 31.47%,差异具有统计学意义.对照区的病情指数为 32.36,处理区的病情指数仅为 6.11,对根结线虫的防控效果达 81.12%,处理区与对照区病情指数比较差异具有统计学意义(图 1),不同处理烟草生长情况见图 2.



A 中百分数代表根结线虫减退率; B 中百分数表示发病率变化情况; C 中百分数代表防控效果;

“*”和“**”表示组间数据比较差异具有统计学意义, “*”和“**”分别表示 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$.

图1 不同处理方法对烟草根结线虫病的防控效果



A 和 B 为团棵期烟株生长情况; C 和 D 为打顶期烟株生长情况;

E 和 F 为打顶期整田情况; 其中, A, C, E 为处理区, B, D, F 为对照区.

图2 不同处理方法烟草生长情况

3 结论与讨论

本研究通过田间试验发现, 经过处理可以改善烟田土壤状况, 减少根结线虫病的发生. 在土壤理化性质方面, 其显著提升了全磷、速效钾、交换性钙镁的含量和 pH 值, 降低了土壤交

换性酸的含量;在土壤酶活方面,可显著提升土壤脲酶、过氧化氢酶和纤维素酶的活性;在植株生长上,能显著提升株高、增加茎围、最大叶面积和有效叶片数;在病害方面,明显降低土壤中根结线虫数量,降低根结线虫发病率,对根结线虫病的防效达 81.12%,对烟草根结线虫病具有较好的防治效果。

土壤理化性质和土壤酶活在维持有机物代谢平衡、保证元素循环等方面发挥重要作用^[19-20]。大量研究表明,土壤理化性质^[8, 21-22]与土壤酶活^[23-24]等与根结线虫病有着密切的关系,其中土壤 pH 值、土壤交换性钙含量、土壤过氧化氢酶、蔗糖酶活性在根结线虫病发病地块中显著低于健康田块,而酸性磷酸酶活性与之相反,因而土壤改良在控制根结线虫病的防控中起着不可或缺的作用^[25-26]。本研究集成了牡蛎硅粉土壤调酸控病、育苗基质拌菌壮苗控病、有机肥拌菌控病、叶面中微量元素补充、精准用药等多种技术,研究发现处理后显著提升了全磷、速效钾、交换性钙镁的含量和 pH 值,降低了土壤交换性酸的含量,这与姬佳旗^[27]的研究结果相一致;张赛莉等^[28]研究表明钙镁元素在抗根肿病的甘蓝中的含量高于感病品种,同时向土壤中添加钙镁肥可以降低甘蓝根肿病的发生,这可能与钙镁元素在植株生长过程中的重要作用有关。在土壤酶活方面,本研究发现其提升了土壤脲酶、过氧化氢酶和纤维素酶的活性,提升土壤对尿素的水解能力,为植株提供更多的养分,同时也增强了土壤清理过氧化氢的能力,从而降低土壤中过度累积的过氧化氢对植物根系的危害,进而促进植株生长及植株对病害的抵抗力。对农艺性状调查也发现处理区烟草农艺性状也显著优于对照区。综合烟草土壤理化性质、土壤酶活、植株农艺性状、土壤根结线虫数量及对病害的防治效果等来看,该方案改善了土壤理化性质,优化了土壤结构,对烟草根结线虫病也起到了较好的防控效果。

针对往年发病严重的区域一定要做预防处理,比如清理田间烟株残体、翻耕晾晒;对于一般地块要做好预警工作。烟草根结线虫病发病烟株通常表现为从下部叶片开始叶尖、叶缘开始褪绿变黄,与烟草缺素症相类似;为避免误判,可拔出烟株查看根部是否有“鸡爪状”来确认。在根结线虫病防治时,药剂防治一定要在表现出症状的初期或常发区移栽后发病前施用。一旦进入发病高峰期或者发病后施药,效果就比较差^[29]。根结线虫防治时使用的化学药剂应注意轮换用药,避免抗性产生和农药残留超标。喷淋完药剂后,然后用细土封实,可以获得理想的效果。

参考文献:

- [1] CASTAGNONE-SERENO P, DANCHIN E G J, PERFUS-BARBECH L, et al. Diversity and Evolution of Root-Knot Nematodes, Genus *Meloidogyne*: New Insights from the Genomic Era [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2013, 51: 203-220.
- [2] 赵鸿,彭德良,朱建兰. 根结线虫的研究现状 [J]. *植物保护*, 2003, 29(6): 6-9.
- [3] TRUDGILL D L, BLOK V C. Apomictic, Polyphagous Root-Knot Nematodes: Exceptionally Successful and Damaging Biotrophic Root Pathogens [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2001, 39: 53-77.
- [4] MAHANTESHA, S. R. VIJAYA, RAWAL R. D, RAMASWAMY G. R. Field Evaluation of Tomato Genotypes for Resistance to *Alternaria solani* [J]. *Trends in Biosciences*, 2013, 5(4): 294.
- [5] 朱乾兰. 关于凉山地区烟叶种植中病虫害防治措施探讨 [J]. *现代农业研究*, 2020, 26(2): 93-94.
- [6] 陈玉蓝. 四川省植烟土壤酸度特征及其影响因素研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- [7] WANG C L, BRUENING G, WILLIAMSON V M. Determination of Preferred pH for Root-Knot Nematode Aggregation Using Pluronic F-127 Gel [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2009, 35(10): 1242-1251.
- [8] 江其朋,江连强,龚杰,等. 影响四川凉山地区烟草根结线虫病发生的关键因子分析 [J]. *中国烟草学报*, 2021, 27(6): 89-98.

- [9] 欧平武, 余艺涛, 吕军, 等. 几种杀线剂防控水稻根结线虫病的效果 [J]. 中国植保导刊, 2021, 41(11): 66-68.
- [10] 冯推紫, 裴月令, 孙燕芳, 等. 阳光消毒防治海南冬季辣椒根结线虫病效果评价 [J]. 福建农业学报, 2018, 33(11): 1172-1175.
- [11] 迟元凯, 叶梦迪, 赵伟, 等. 氟吡菌酰胺对南方根结线虫的作用效果 [J]. 植物保护学报, 2019, 46(6): 1364-1370.
- [12] HAJJI-HEDFI 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.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [14] 中国环境监测总站. 土壤环境监测技术 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- [15] 王玉功, 刘婧晶, 刘怡熙, 等. 苯酚-次氯酸钠比色法测定土壤脲酶活性影响因素的研究 [J]. 土壤通报, 2019, 50(5): 1166-1170.
- [16] 张月全. 酸雨区不同林龄杉木人工林凋落物混合分解特征及土壤酶活性动态 [D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- [17] 杨兰芳, 曾巧, 李海波, 等. 紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性 [J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 207-210.
- [18] 隋跃宇, 陈一民, 焦晓光, 等. 土壤蔗糖酶的测定方法: CN106248664A[P]. 2016.
- [19] 刘文宝. 土壤处理剂对设施番茄连作土壤特性及根结线虫的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [20] 施河丽, 向必坤, 左梅, 等. 恩施烟区烟草根结线虫发生与土壤理化性状的关系 [J]. 中国烟草科学, 2020, 41(1): 81-86.
- [21] 李珊, 李启权, 张浩, 等. 泸州植烟土壤有效态微量元素含量空间变异及其影响因素 [J]. 土壤, 2016, 48(6): 1215-1222.
- [22] 左梅, 谭军, 向必坤, 等. 根际土壤性状对烟田烟草根结线虫病害发病等级的影响 [J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 885-890.
- [23] 王宏宝, 毛佳, 曹凯歌, 等. 设施黄瓜根结线虫病发生危害与土壤酶活相关性研究 [J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2020, 51(4): 621-625.
- [24] 王启宇, 吕怡颖, 杨敏, 等. 烤烟根结线虫病发生与土壤酶活性的相关性研究 [J]. 湖南农业科学, 2021(8): 32-35.
- [25] 牛亚茹, 付祥峰, 邱良祝, 等. 施用生物炭对大棚土壤特性、黄瓜品质和根结线虫病的影响 [J]. 土壤, 2017, 49(1): 57-62.
- [26] 谷端银. 土壤酸化和 CaCN₂ 处理对黄瓜生长发育及根结线虫病的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.
- [27] 姬佳旗. 牡蛎壳粉调节土壤 pH 及控制烟草青枯病的效果研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [28] 张赛莉, 宋洪元, 任雪松, 等. 钙镁硫元素与甘蓝根肿病抗性关系的分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(9): 41-45.
- [29] 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.

责任编辑 苏荣艳