

大蒜秸秆对烟草根结线虫病及根际土壤理化性状的影响

赵娅红¹, 吴治兴¹, 王志江², 黄飞燕¹, 叶贤文², 李红玉³, 陆卫³, 黄坤³, 余磊¹, 卢超¹, 薛至勤¹, 林江^{3*}

(1. 昆明学院农学院/云南省都市特色农业工程技术研究中心, 云南昆明 650214; 2. 云南省烟草公司昆明市公司, 云南昆明 650214; 3. 云南省烟草公司红河州公司, 云南红河 652300)

摘要 以烤烟红花大金元为材料, 研究大蒜秸秆无菌化还田对烟草根结线虫病及根际土壤的影响。结果表明, T₃(烟株移栽前, 大蒜秸秆一次性施入大田4 500 kg/hm²), 根结线虫防治效果较好。各处理土壤养分含量均随生育期推进呈先增加后降低趋势。不同生育期, T₃(烟株移栽前, 大蒜秸秆一次性施入大田4 500 kg/hm²) 过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶和蛋白酶活性均显著高于其他处理。不同处理土壤酚酸物质含量随生育期推进逐步增加, 表现出富集效应, 对照处理最为显著。T₃(烟株移栽前, 大蒜秸秆一次性施入大田4 500 kg/hm²) 能有效降低烤烟根际土壤中酚酸物质含量, 减少土壤化感自毒作用。在各生育期, T₃(烟株移栽前, 大蒜秸秆一次性施入大田4 500 kg/hm²) 根际土壤中真菌数量均较高, 细菌数量较低, 真菌/细菌较高, 这说明烟株移栽前, 一次性施入大蒜秸秆4 500 kg/hm² 能提高土壤中真菌数量, 降低土壤中细菌数量, 显著提高土壤肥力及土壤活性。综合考虑, 大蒜秸秆对烟草根结线虫病的防治效果, 以 T₃ 处理(烟株移栽前, 大蒜秸秆一次性施入大田4 500 kg/hm²) 的大蒜秸秆添加量较为适宜; 一次性施入大蒜秸秆4 500 kg/hm² 能提高土壤中真菌数量, 降低土壤中细菌数量, 显著提高土壤肥力及土壤活性。

关键词 大蒜秸秆; 烟草; 根结线虫病; 根际土壤

中图分类号 S435.72 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)06-0136-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.06.033



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Garlic Straw on Tobacco Root-knot Nematode Disease and Physicochemical Properties of Rhizosphere SoilZHAO Ya-hong¹, WU Zhi-xing¹, WANG Zhi-jiang² et al (1. Agricultural College of Kunming University/Yunnan Urban Characteristic Agricultural Engineering Technology Research Center, Kunming, Yunnan 650214; 2. Kunming Branch of Yunnan Tobacco Company, Kunming, Yunnan 650214)

Abstract The effect of sterile returning of garlic straw on tobacco root-knot nematode disease and rhizosphere soil was studied using flue-cured tobacco Honghua Dajinyuan as material. The results showed that T₃(garlic straw was applied to the field at a time of 4 500 kg/hm² before transplanting tobacco plants) had a good control effect on root-knot nematode. The soil nutrient content of each treatment increased first and then decreased with the advance of growth period. At different growth stages, the activities of catalase, urease, phosphatase and protease in T₃ (before transplanting the tobacco plant, applying garlic straw into the field at a time of 4 500 kg/hm²) were significantly higher than those in other treatments. The content of phenolic acid in soil of different treatments increased gradually with the advance of growth period, showing enrichment effect, and the control treatment was the most significant. T₃(before transplanting tobacco plants, garlic stalks were applied to the field at a time of 4 500 kg/hm²) could effectively reduce the content of phenolic acids in the rhizosphere soil of flue-cured tobacco and reduce the allelopathic autotoxicity of soil. At each growth stage, T₃(before transplanting tobacco plants, garlic stalks were applied to the field at a time of 4 500 kg/hm²) had a higher number of fungi in the rhizosphere soil, a lower number of bacteria, and a higher ratio of fungi/bacteria, which showed that before transplanting tobacco plants, one-time application of garlic stalks at a time of 4 500 kg/hm² could increase the number of fungi in the soil, reduce the number of bacteria in the soil, and significantly improve soil fertility and soil activity. In a comprehensive consideration, the control effect of garlic straw on tobacco root-knot nematode disease, the garlic straw added amount of T₃ treatment (before transplanting tobacco plants, the garlic straw was applied into the field at a time of 4 500 kg/hm²) was more appropriate; the one-time application of garlic straw 4 500 kg/hm² could increase the number of fungi in the soil, reduce the number of bacteria in the soil, and significantly improve soil fertility and soil activity.

Key words Garlic straw; Tobacco; Root knot nematode disease; Rhizosphere soil

烟草根结线虫病是由根结线虫侵染所引起的土传病害^[1], 在全球范围内的农业领域广泛出现, 造成的危害极其严重, 在防治上很困难^[2], 其严重影响了烟叶质量, 导致经济的巨大损失^[3]。昆明市处于云贵高原中部, 属亚热带季风型气候, 四季分明、冬温夏热、降水丰沛, 是优质烟叶生产区之一, 其烟草生产在云南省占有重要地位^[4]。近些年, 因为大棚种植各种农作物技术的推广, 土地的利用率大面积提高, 根结线虫发病率也呈不断增加趋势, 已经对昆明烟草的各个

生长时期构成严重威胁^[5]。目前, 烟草根结线虫病的防治仍以化学药剂为主, 选取质量分数为 0.5% 的阿维菌素、质量分数为 10% 的噻唑膦或质量分数为 20% 的丁硫·克百威等, 在移栽期穴施或者生长期灌根施用^[6]。

化学药剂在使用初期一般有较好的防治效果, 但随着使用时间延长, 防效呈明显降低趋势, 化学药剂的成本相对也较高, 在使用过程中, 如果不注意施用的用量及用法, 很容易对土壤微生态环境造成破坏, 还会引起环境污染等问题^[7]。用植物残体和植物提取物溶液对病虫害进行防治, 符合现代农业生产的病虫害防治理念^[5]。研究表明, 印楝、万寿菊、薄荷、芥菜等植物的浸提液均具有良好的杀线虫效果^[8-10]。但这种类型的研究更多存在果蔬类作物, 相关大蒜秸秆对烟草根结线虫病的研究相对较少。为此, 笔者通过田间小区试验, 综合比较 4 个大蒜秸秆量处理对烟草根结线虫病的控制

基金项目 中国烟草总公司云南省公司科技计划项目(202153000024-2017, 2019530100240048); 云南省教育厅科学研究基金项目(2022Y708); 云南省教育厅科学研究基金项目(2022Y711); 云南省教育厅科学研究基金项目(2021Y731)。

作者简介 赵娅红(1991—), 女, 云南昆明人, 硕士研究生, 研究方向: 作物健康栽培。* 通信作者, 农艺师, 硕士, 从事作物栽培研究。

收稿日期 2022-04-15

效果及对烤烟生长发育、土壤养分、酶活、酚酸类物质、土壤微生物数量的影响,以期为昆明烟区烟草的安全生产提供理论依据与技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料 烤烟品种以烤烟红花大金元为材料,烟株生产管理按昆明市优质烤烟栽培生产技术规范进行。供试材料为大蒜秸秆,在烟株移栽前,将粉碎成 1~2 cm 的大蒜秸秆一次性施入大田,翻耕耙匀。采用田间随机区组排列,每个处理重复 3 次。大蒜秸秆的氮、磷、钾含量分别是 0.62%、0.18% 和 0.95%。

1.2 试验设计 试验于 2020 年 4—10 月在安宁市具有严重根结线虫病发病史植烟区开展。设置 4 个大蒜秸秆还田量处理,分别为 3 000 kg/hm² (T₁)、3 750 kg/hm² (T₂)、4 500 kg/hm² (T₃)、5 250 kg/hm² (T₄),对照 CK 不施用大蒜秸秆。在烟株移栽前,将粉碎成 1~2 cm 的大蒜秸秆一次性施入大田,翻耕耙匀。采用田间随机区组排列,每个处理重复 3 次。

采用“S”型 5 点取样法采集土壤样品,分别在移栽期、团棵期(移栽后 30 d)、旺长期(移栽后 60 d)和成熟期(移栽后 90 d)采集不同处理近烟株根部 10 cm 处,直径 3 cm,深度 15 cm 的根际土壤样品约 1 000 g,5 个处理 4 个时期共计 20 个样品,重复 3 次。每份土壤样品充分混匀后分为 2 份,一份 200 g 装入无菌袋中迅速放入干冰盒中,带回实验室放 -80 ℃ 冰箱保存供下一步高通量测序用,另一份约 800 g 用于测定土壤养分、土壤酶活性和土壤酚酸类物质。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 4 个不同处理烟株根结线虫病病害情况调查。按照 GB/T 23222—2008 的方法于烟叶采收末期调查不同处理烟株根结线虫病发病率。采取 5 点取样方法,每点不少于 10 株,计算发病率、病情指数和相对防治效果。

1.3.2 不同处理土壤养分测定。参考鲍士旦《土壤农化分析》^[11] 的方法测定土壤 pH、有机质、碱解氮、速效钾和速效磷等土壤养分。

1.3.3 土壤酶活性测定。参照关松荫^[12] 的方法测定土壤蛋白酶、土壤蔗糖酶、淀粉酶、土壤磷酸酶、土壤脲酶、过氧化氢酶等活性。

1.3.4 土壤酚酸物质测定。参照荣思川等^[13] 的方法测定土壤中酚酸类物质含量,包括土壤肉桂酸、对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、阿魏酸、4-香豆酸、阔马酸等酚酸类物质。

1.3.5 土壤微生物数量。利用实时荧光定量技术(qRT-PCR)的方法检测土壤中真菌和细菌的数量。提取土壤样品宏基因组 DNA,采用真菌特异性引物(ITS1F:5'-CTTGGT-CATTTAGAGGAAGTAA-3', ITS2R:5'-GCTGCGTTCT-TCATCGATGC-3')、细菌特异性引物 16S(338F:5'-ACTC-CTACGGGAGGCAGCAG-3', 806R:5'-GGACTACHVGGGT-WTCTAAT-3)进行 qPCR 扩增,根据标准曲线定量检测出样品中细菌和真菌的数量;定量 PCR 试剂:ChamQ SYBR Color qPCR Master Mix(2X),定量 PCR 仪:ABI7500 型荧光定量

PCR 仪。

2 结果与分析

2.1 不同处理对烟株根结线虫病的防治效果 不同处理对烟株根结线虫病防治效果见表 1。由表 1 可知,各处理发病率表现为 CK>T₁>T₂>T₄>T₃,病情指数表现为 CK>T₁>T₂>T₄>T₃,防治效果表现为 T₃>T₄>T₂>T₁。总体来看,T₃,即大蒜秸秆还田量为 4 500 kg/hm²,根结线虫防治效果最好。

表 1 不同处理对烟株根结线虫病的防治效果

Table 1 Control effect of different treatments on tobacco root-knot nematode disease

处理 Treatment	发病率 Incidence rate//%	病情指数 Disease index	防治效果 Control effect %	防效排序 Ranking
T ₁	85.00 b	82.15 ab	8.17 b	4
T ₂	78.60 b	78.23 b	12.45 b	3
T ₃	32.50 c	39.40 c	55.96 a	1
T ₄	36.20 c	41.40 c	53.72 a	2
CK	100.00 a	89.46 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).

2.2 不同处理对烤烟农艺性状的影响 不同处理烟株农艺性状见表 2。由表 2 可知,移栽后 30 d,T₁、T₂、T₃ 和 T₄ 烟株株高和有效叶片数均显著高于 CK,T₂ 和 T₃ 节距显著高于 T₁、T₄ 和 CK,T₃ 和 T₄ 的茎围以及最大叶长均显著高于 T₁、T₂ 和 CK。移栽后 60 d,T₃ 和 T₄ 烟株株高、有效叶片数和茎围显著高于 T₁、T₂ 和 CK,T₃ 烟株节距和最大叶长显著大于其他处理,T₄ 烟株最大叶宽显著大于其他处理。移栽后 90 d,T₃ 和 T₄ 烟株株高、有效叶片数和最大叶宽均显著高于 T₁、T₂ 和 CK,T₁、T₂、T₃ 和 T₄ 烟株节距、茎围和最大叶长均显著高于 CK。总体来看,T₃ 和 T₄ 烟株在不同生育期农艺性状表现优于 CK。

2.3 不同处理对土壤养分的影响 不同处理的根际土壤养分特征见表 3。由表 3 可知,各处理根际土壤养分含量均随生育期推进呈先增加后降低的趋势。总氮含量随生育期推进均无显著变化。移栽后 30 d,T₁、T₂ 和 CK 土壤偏酸性,T₃ 和 T₄ 呈微酸性。T₃ 和 T₄ 有机质含量较高,T₁ 和 CK 水解氮和速效钾含量显著高于 T₂、T₃ 和 T₄,CK 有效磷含量最高,且显著高于其他处理。移栽后 60 d,T₁、T₂ 和 CK 土壤偏酸性,T₃ 和 T₄ 呈微酸性。T₃ 和 T₄ 有机质含量显著高于 T₁、T₂ 和 CK,T₁ 和 CK 水解氮和有效磷含量显著高于 T₂、T₃ 和 T₄,CK 速效钾含量最高,且显著高于其他处理。移栽后 90 d,T₁、T₂ 和 CK 土壤偏酸性,T₃ 和 T₄ 呈微酸性。T₃ 和 T₄ 有机质含量显著高于 T₁、T₂ 和 CK,T₁ 和 CK 水解氮和有效磷含量显著高于 T₂、T₃ 和 T₄。CK 速效钾含量最高,且显著高于其他处理。

总体来看,各处理根际土壤养分含量均随生育期推进呈先增加后降低趋势。总氮含量随生育期推进均无显著变化。T₁、T₂ 和 CK 土壤偏酸性,T₃ 和 T₄ 呈微酸性。烤烟生长各时期,CK 处理根际土壤养分含量较高。

表2 不同处理烟株农艺性状比较

Table 2 Comparison of agronomic traits of tobacco plants under different treatments

移栽后天数 Transplant days//d	处理 Treatment	株高 Plant height cm	有效叶片数 Effective number of blades//片	节距 Pitch//cm	茎围 Stem circumference cm	最大叶长 Maximum leaf length//cm	最大叶宽 Maximum leaf width//cm
30	T ₁	32.52 a	8.25 a	5.20 b	2.13 b	44.33 b	19.23 bc
	T ₂	33.16 a	8.36 a	6.35 a	2.46 b	43.53 b	20.45 b
	T ₃	36.26 a	8.79 a	6.32 a	3.65 a	52.33 a	23.46 a
	T ₄	34.56 a	7.62 a	5.26 b	3.83 a	48.60 a	21.15 ab
	CK	21.23 b	6.45 b	4.13 c	1.87 c	38.45 c	19.03 c
60	T ₁	89.45 b	15.00 b	9.25 bc	3.43 b	71.67 c	31.45 c
	T ₂	88.27 b	15.46 b	10.23 b	3.71 b	72.35 c	30.23 cd
	T ₃	115.46 a	18.64 a	12.48 a	4.28 a	78.56 a	34.05 b
	T ₄	112.30 a	17.67 a	10.95 b	4.20 a	75.23 b	38.23 a
	CK	75.46 c	13.22 c	8.23 c	3.45 b	71.02 c	28.46 d
90	T ₁	123.67 c	18.20 b	11.56 ab	4.02 a	82.33 a	38.20 b
	T ₂	128.00 b	18.33 b	12.10 a	4.12 a	84.06 a	37.45 b
	T ₃	135.20 a	20.15 a	12.50 a	4.56 a	86.20 a	42.10 a
	T ₄	132.13 ab	19.40 ab	12.60 a	4.40 a	84.58 a	40.13 a
	CK	92.13 d	16.00 c	9.03 b	3.50 b	75.46 b	30.02 c

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($P<0.05$).

表3 不同处理根际土壤养分特征

Table 3 Nutrient characteristics of rhizosphere soil under different treatments

移栽后天数 Transplant days//d	处理 Treatment	pH	有机质 Organic matter g/kg	总氮 Total nitrogen g/kg	水解氮 Hydrolyzed nitrogen mg/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Available potassium mg/kg
30	T ₁	5.04 b	20.42 d	1.2 a	64.33 b	23.15 c	987.52 bc
	T ₂	5.12 b	21.60 d	1.1 a	43.45 de	23.45 c	460.23 e
	T ₃	6.50 a	27.34 b	1.2 a	36.26 f	18.03 e	478.96 e
	T ₄	6.63 a	27.56 b	1.4 a	35.60 f	20.35 d	420.27 e
	CK	4.86 bc	20.18 d	1.1 a	68.72 b	25.46 b	1 075.63 b
60	T ₁	5.14 b	24.56 c	1.1 a	82.15 a	31.22 a	1 011.56 b
	T ₂	5.13 b	24.86 c	1.1 a	48.95 d	26.32 b	578.64 d
	T ₃	6.45 a	29.13 a	1.4 a	42.13 e	19.46 de	546.32 d
	T ₄	6.23 a	29.40 a	1.4 a	45.12 d	25.14 b	560.12 d
	CK	4.51 c	21.45 d	1.0 a	86.46 a	30.45 a	1 245.36 a
90	T ₁	4.78 c	18.22 e	1.3 a	52.12 cd	26.41 b	654.31 d
	T ₂	5.46 b	17.56 ef	1.4 a	40.12 e	20.45 d	322.49 f
	T ₃	6.64 a	21.30 d	1.2 a	31.02 g	17.20 e	324.15 f
	T ₄	6.22 a	21.32 d	1.2 a	34.56 fg	18.23 e	475.13 e
	CK	4.08 d	16.45 f	1.0 a	54.33 c	25.66 b	892.46 c

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($P<0.05$).

2.4 不同处理对土壤酶活性的影响 不同处理酶活性见表4。由表4可知,移栽后30 d, T₃根际土壤中过氧化氢酶活性和脲酶活性显著高于其他处理,分别较对照提高了107.73%和48.11%。T₂、T₃和T₄之间磷酸酶活性无显著差异,但均显著高于对照。T₃和T₄蛋白酶活性显著高于其他处理,分别较对照提高了125.26%和127.77%。移栽后60 d, T₃根际土壤中过氧化氢酶活性显著高于其他处理,较CK提高了195.44%, T₂和T₃根际土壤中脲酶和磷酸酶活性均显著高于其他处理,脲酶活性分别较CK提高了75.46%和81.91%,磷酸酶活性分别较CK提高了83.33%和100.00%。T₃和T₄蛋白酶活性显著高于其他处理,分别较CK提高了135.86%和121.41%。移栽后90 d, T₃根际土壤中过氧化氢酶、脲酶、磷

酸酶和蛋白酶活性均大于等于其他处理,分别较CK提高了144.92%、42.35%、60.00%和68.90%。

总体来看,不同生育期, T₃过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶和蛋白酶活性均较高。

2.5 不同处理对土壤酚酸类物质的影响 不同处理根际土壤酚酸类物质见表5。由表5可知,不同处理烟株根际土壤中共检测出6种酚酸类物质,分别为对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、4-香豆酸、阿魏酸和肉桂酸。

移栽后30 d, T₃中对羟基苯甲酸、香草酸和丁香酸未检出,4-香豆酸、阿魏酸和肉桂酸含量明显低于其他处理,分别较CK降低了55.76%、75.66%和49.75%。移栽后60 d, T₃中对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、4-香豆酸、阿魏酸和肉桂

表 4 不同处理根际土壤酶活性

Table 4 Enzyme activity of rhizosphere soil under different treatments

移栽后天数 Transplant days//d	处理 Treatment	过氧化氢酶 Catalase mL/g	脲酶 Urease activity mg/(g·d)	磷酸酶 Phosphatase mg/g	蛋白酶 Protease μg/(g·d)
30	T ₁	0.256 e	34.225 de	0.007 c	723.568 e
	T ₂	0.350 d	35.313 de	0.008 bc	952.485 c
	T ₃	0.484 c	49.257 b	0.009 b	1 248.452 b
	T ₄	0.252 e	37.156 d	0.008 b	1 262.356 b
	CK	0.233 e	33.256 d	0.005 d	554.235 f
60	T ₁	0.345 d	42.223 c	0.008 bc	821.325 d
	T ₂	0.514 b	56.345 a	0.011 a	1 017.532 b
	T ₃	0.712 a	58.414 a	0.012 a	1 472.332 a
	T ₄	0.245 e	41.256 cd	0.008 c	1 382.142 a
	CK	0.241 e	32.112 f	0.006 cd	624.236 e
90	T ₁	0.225 e	32.435 f	0.004 d	524.125 f
	T ₂	0.445 c	36.426 de	0.008 bc	615.272 ef
	T ₃	0.578 bc	45.741 bc	0.008 bc	992.412 bc
	T ₄	0.224 e	32.125 f	0.005 d	915.232 c
	CK	0.236 e	32.132 f	0.005 d	587.563 f

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 ($P<0.05$).

酸含量显著低于其他处理,分别较对照降低了 68.49%、96.19%、69.62%、62.53%、76.42%和 73.03%。移栽后 90 d, T₃

中对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、4-香豆酸、阿魏酸和肉桂酸含量显著低于其他处理,分别较对照降低了 72.34%、86.71%、76.09%、73.83%、71.95%和 71.47%。总体来看,所有处理根际土壤酚酸类物质含量随生育期推进逐步增加,表现出富集效应,CK 处理最为显著。

以上结果表明,不同处理根际土壤酚酸物质含量随生育期推进逐步增加,表现出富集效应,对照 CK 最为显著。其中 T₃,即烟株移栽前,大蒜秸秆一次性施入大田 4 500 kg/hm²,能有效降低烤烟根际土壤中酚酸物质含量,减少根际土壤化感自毒作用。

2.6 不同处理对土壤微生物数量的影响 不同处理根际土壤微生物数量见表 6。由表 6 可知,移栽后 30 d, T₃ 根际土壤真菌数量显著高于其他处理, T₂ 细菌数量显著高于其他处理。移栽后 60 d, T₄ 根际土壤真菌数量显著高于其他处理, T₃ 细菌数量显著低于其他处理。移栽后 90 d, T₃ 根际土壤真菌数量显著高于 T₁、T₂、T₄ 和 CK。T₂ 和 T₃ 根际土壤细菌数量明显低于其他处理。真菌/细菌是评价根际土壤肥力和健康程度的重要指标之一,根际土壤真菌/细菌越高代表根际土壤肥力越高,根际土壤生态系统稳定程度也越高。从表 6 可以看出,移栽后 30、60 和 90 d, T₃ 根际土壤真菌/细菌均高于其他处理,分别为 0.017 6、0.113 2 和 0.135 3。

表 5 不同处理根际土壤酚酸类物质

Table 5 Phenolic acids in rhizosphere soil under different treatments

单位: μg/g

移栽后天数 Transplant days//d	处理 Treatment	对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	香草酸 Vanillic acid	丁香酸 Eugenolic acid	4-香豆酸 4-Coumaric acid	阿魏酸 Ferulic acid	肉桂酸 Cinnamic acid
30	T ₁	0.53 de	1.27 e	1.78 e	3.56 d	1.56 e	1.25 h
	T ₂	0.52 de	0.58 g	1.20 f	2.89 e	0.89 g	1.85 g
	T ₃	—	—	—	1.23 f	0.46 h	1.02 h
	T ₄	0.45 e	0.86 f	1.25 f	1.45 f	0.75 g	1.69 g
	CK	0.56 d	1.26 e	1.23 f	2.78 e	1.89 d	2.03 f
60	T ₁	0.62 c	2.24 c	2.45 d	4.56 c	2.03 c	2.45 e
	T ₂	0.68 bc	0.95 d	2.22 d	3.56 d	1.12 f	2.89 e
	T ₃	0.23 f	0.11 h	0.89 g	1.42 f	0.58 h	1.23 h
	T ₄	0.50 e	1.02 e	1.25 f	2.35 e	1.25 f	3.02 d
	CK	0.73 b	2.89 ab	2.93 c	3.79 d	2.46 b	4.56 b
90	T ₁	0.68 b	2.79 b	3.25 b	5.46 b	2.13 bc	3.23 cd
	T ₂	0.74 bc	1.52 d	2.86 c	4.02 c	1.74 d	3.65 c
	T ₃	0.26 f	0.46 g	1.04 f	1.68 f	0.92 g	1.86 g
	T ₄	0.56 d	1.56 d	2.68 c	2.89 e	2.03 c	4.02 bc
	CK	0.94 a	3.46 a	4.35 a	6.42 a	3.28 a	6.52 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 ($P<0.05$).

总体来看,各处理根际土壤真菌数量随生育期推进呈先增高后降低趋势, T₁、T₂、T₄ 和 CK 细菌数量随生育期推进呈先增高后降低趋势, T₃ 根际土壤细菌含量随生育期推进逐步降低。其中, T₃ 在各生育期根际土壤中真菌数量均较高,细菌数量较低,真菌/细菌较高,这说明烟株移栽前,大蒜秸秆一次性施入大田 4 500 kg/hm² 能提高根际土壤中真菌数量,降低根际土壤中细菌数量,显著提高根际土壤肥力及根际土壤活性。

3 结论与讨论

烟草根结线虫病土壤中根结线虫、烟株、土壤和根际

微生物组成了一个小的生态系统,作为典型的土传病害,其发生流行与土壤微生态环境关系密切^[5]。长期采用传统化学农药防治根结线虫病易造成土壤板结、微生态结构单一,同时造成的农药污染和残留既危害生态环境,还影响烟草及其制品的安全性^[7]。随着环境保护意识的增强,人们对低毒、低残留、可降解的植物源根结线虫防治药剂越来越重视^[14-15]。曹志平等^[16]向土壤系统中引入小麦秸秆,增加了土壤碳源,促进了食细菌和食真菌线虫类的种类和数量,从而抑制了植食性线虫的繁殖。Piedra Buena 等^[17]向根结线虫病严重的土壤施入辣椒秸秆,提高了微生物的数量及多样

性,从而控制了根结线虫的繁殖。研究表明,大蒜可以防治根结线虫病^[18-20]。

表6 不同处理根际土壤微生物数量

Table 6 Microbial quantity of rhizosphere soil under different treatments

移栽后天数 Transplant days//d	处理 Treatment	真菌拷贝数 Fungal copy number ×10 ⁷ copies/g	细菌拷贝数 Bacterial copy number ×10 ⁹ copies/g	真菌/细菌 Fungi/ bacteria
30	T ₁	1.27±0.02 g	1.45±0.02 b	0.008 6
	T ₂	2.25±0.04 e	2.13±0.35 a	0.010 6
	T ₃	2.85±0.03 d	1.62±0.23 b	0.017 6
	T ₄	2.04±0.12 e	1.52±0.05 b	0.013 4
	CK	1.52±0.05 f	1.65±0.01 b	0.009 2
60	T ₁	6.53±0.16 c	2.56±0.25 a	0.025 5
	T ₂	11.25±0.92 b	2.53±0.43 a	0.044 5
	T ₃	12.45±0.35 b	1.10±0.41 c	0.113 2
	T ₄	18.75±0.23 a	2.53±0.23 a	0.074 1
	CK	7.09±0.04 c	1.76±0.05 b	0.040 3
90	T ₁	1.25±0.01 g	0.26±0.02 d	0.048 1
	T ₂	1.36±0.04 g	0.19±0.07 de	0.071 6
	T ₃	2.03±0.12 e	0.15±0.03 e	0.135 3
	T ₄	1.71±0.05 f	0.24±0.05 d	0.071 3
	CK	1.25±0.03 g	0.22±0.02 d	0.056 8

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 ($P<0.05$).

植物生长的基础是土壤,而土壤酶主要来源于土壤动物、植物根系和微生物的细胞分泌物及其残体的分解物。土壤酶活性体现了土壤中各种生物化学过程的强度和方向^[21],是土壤肥力和自净能力评价的重要指标^[22]。其中,过氧化氢酶表示土壤氧化过程的强度,其活性与土壤有机质转化速度密切相关;土壤脲酶可将土壤中的有机化合物尿素水解为氨态氮,对提高氮素的利用率和促进土壤氮素循环具有重要意义^[12]。土壤酶是土壤组分中最活跃的有机成分之一,主要来自微生物和植物根系分泌等途径,此外还有土壤动植物残体的释放^[22]。该研究中,土壤添加大蒜秸秆后,不同生育期,处理 T₃(4 500 kg/hm²) 过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶和蛋白酶活性均显著高于其他处理。

在该研究中,T₃(烟株移栽前,大蒜秸秆一次性施入大田 4 500 kg/hm²) 根结线虫防治效果较好,在不同生育期烟株农艺性状表现较好。烤烟生长各时期,CK 处理土壤养分含量较高。不同生育期,T₃(烟株移栽前,大蒜秸秆一次性施入大田 4 500 kg/hm²) 过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶和蛋白酶活性均显著高于其他处理。不同处理土壤酚酸物质含量随生育期推进逐步增加,表现出富集效应,对照处理最为显著。T₃(烟株移栽前,大蒜秸秆一次性施入大田 4 500 kg/hm²) 能有效降低烤烟根际土壤中酚酸物质含量,减少土壤感自毒作用。在各生育期,T₃(烟株移栽前,大蒜秸秆一次性施入大田 4 500 kg/hm²) 根际土壤中真菌数量均较高,细菌数量较低,真菌/细菌较高,这说明烟株移栽前,一次性施入大蒜秸秆 4 500 kg/hm² 能提高土壤中真菌数量,降低土壤中细菌数

量,显著提高土壤肥力及土壤活性。综合考虑大蒜秸秆对烟草根结线虫病的防治效果,以 T₃ 处理(烟株移栽前,大蒜秸秆一次性施入大田 4 500 kg/hm²) 的大蒜秸秆添加量较为适宜;一次性施入大蒜秸秆 4 500 kg/hm² 能提高土壤中真菌数量,降低土壤中细菌数量,显著提高土壤肥力及土壤活性。

该研究表明,土壤添加大蒜秸秆后能够显著降低烟草根结线虫病的病情指数,且大蒜秸秆对根结线虫病的抑制效果具有明显的用量效应。施用量过高(>5 250 kg/hm²) 对根结线虫病的抑制效果降低。综合考虑烟草的生长、根结线虫病的防控,以施用 4 500 kg/hm² 大蒜秸秆表现出较好的根结线虫病防控效果。

参考文献

- [1] 孔凡玉,王静.烟草根结线虫病研究进展[J].沈阳农业大学学报,2001,32(3):232-235.
- [2] 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.
- [3] 陈红华,李富强,向必坤,等.农业废弃物还田对植烟土壤物理性状及根结线虫病的影响[J].中国烟草科学,2019,40(4):37-41.
- [4] 徐兴阳,杨艳梅,端木永明,等.昆明烤烟种植区根结线虫种类的初步鉴定[J].云南农业大学学报(自然科学),2017,32(5):947-951.
- [5] 王志江,叶贤文,詹筱国,等.中草药提取物对烟草根结线虫病及根际土壤理化性状的影响[J].湖南农业科学,2020(06):66-69.
- [6] 黄阔,叶长文,李栋,等.烟草根结线虫病防治药剂对根际土壤细菌群落结构的影响[J].烟草科技,2021,54(11):9-17.
- [7] 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.
- [8] NATARAJAN N, CORK A, BOOMATHI N, et al. Cold aqueous extracts of African marigold, *Tagetes erecta* for control tomato root knot nematode, *Meloidogyne incognita* [J]. Crop protection, 2006, 25(11): 1210-1213.
- [9] CABONI P, SABA M, TOCCO G, et al. Nematicidal activity of mint aqueous extracts against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2013, 61(41): 9784-9788.
- [10] CHAVAN S N, PANKAJ, SHAKIL N A, et al. Bioefficacy of *Crotalaria juncea* L. extracts against rice root knot nematode, *Meloidogyne graminicola* [J]. Annals of plant protection sciences, 2013, 21(2): 408-411.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [13] 荣思川,师尚礼,孙灿灿.苜蓿植株及根际土壤中主要酚酸和香豆素物质含量测定[J].土壤,2016,48(5):931-938.
- [14] 李春,赵东兴,张建春,等.12种中草药提取液对香蕉根结线虫的毒杀活性[J].热带农业科学,2019,39(11):72-76.
- [15] 高强,张浩,任海龙,等.刺角瓜提取物对南方根结线虫的触杀活性研究[J].安徽农业科学,2022,50(8):122-125.
- [16] 曹志平,周乐昕,韩雪梅.引入小麦秸秆抑制番茄根结线虫病[J].生态学报,2010,30(3):765-773.
- [17] PIEDRA BUENA A, GARCÍA-ÁLVAREZ A, DÍEZ-ROJO M A, et al. Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes [J]. Bioresource technology, 2007, 98(15): 2846-2851.
- [18] TIBUGARI H, MOMBESHORA D, MANDUMBU R, et al. A comparison of the effectiveness of the aqueous extracts of garlic, castor beans and marigold in the biocontrol of root-knot nematode in tomato [J]. Journal of agricultural technology, 2012, 8(2): 479-492.
- [19] ANASTASIADIS I, KIMBARIS A C, KORMIPI M, et al. The effect of a garlic essential oil component and entomopathogenic nematodes on the suppression of *Meloidogyne javanica* on tomato [J]. Hellenic plant protection, 2011, 4: 21-24.
- [20] 郝丽霞,程智慧,孟焕文,等.设施番茄套作大蒜的生物和生态效应:套播时期对不同品种大蒜生长发育和产量的影响[J].生态学报,2010,30(19):5316-5326.
- [21] 路怡青,朱安宁,张佳宝,等.免耕和秸秆还田对潮土酶活性及微生物量碳氮的影响[J].土壤,2013,45(5):894-898.
- [22] 李锐,刘瑜,褚贵新.不同种植方式对绿洲农田土壤酶活性与微生物多样性的影响[J].应用生态学报,2015,26(2):490-496.