

## 腐殖酸与植物源杀线剂和微量元素配施对烤烟抗线虫病害的影响

刘美菊<sup>1</sup>, 余亚琳<sup>2</sup>, 李江舟<sup>3\*</sup>, 樊苗苗<sup>2</sup>, 代快<sup>3</sup>, 纳红艳<sup>3</sup>, 顾茜<sup>1</sup>, 木衣布<sup>1</sup>, 张立猛<sup>3</sup>, 林杉<sup>2</sup>

(1. 云南农业大学资源与环境学院, 云南昆明 650201; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 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)

**摘要** [目的]防治烟草根结线虫病害,减少农药投入,探究改善烟株营养状况和提高抗病能力的措施,推动烟草栽培可持续发展。[方法]采用单因素试验设计,4个处理分别为清水对照、腐殖酸(H)、H+植物源杀线剂、H+微量元素,测定了烤烟生物量、主要农艺指标、根结线虫病级与根结指数、根系和根结形态学参数。[结果]与清水对照相比,所有处理均显著降低了烤烟根结线虫病级和根结指数、根结干重、根结数量和根结体积,显著提高了烟株茎粗、叶面积、SPAD、叶片数和株高,促进了根系生长,进而显著提高了烤烟叶干重和茎干重。[结论]增施腐殖酸营养液及其与植物源杀线剂和微量元素配施,可促进根系生长,进而提高烤烟抗病和抑病能力,是一项具有推广价值的措施,但对其抗病和抑病的机理,还有待进一步研究。

**关键词** 烤烟;腐殖酸;植物源杀线剂;微量元素;根结线虫病

**中图分类号** S435.72 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)16-0104-05

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.16.027



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Humus Acid and Its Combination with Phytogetic Nematicide and Trace Elements on Resistance of Tobacco against Root-knot Nematodes

LIU Mei-ju<sup>1</sup>, YU Ya-lin<sup>2</sup>, LI Jiang-zhou<sup>3</sup> et al (1. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201; 2. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193; 3. Yunnan Tobacco Company Yuxi Company Technology Center, Biological Control Engineering Research Center of China Tobacco, Yuxi, Yunnan 653100)

**Abstract** [Objective] To control tobacco root knot nematode disease, reduce pesticide investment, explore how to control root knot nematodes by improving the nutritional status and disease resistance of tobacco plants to promote sustainable development of tobacco culture. [Method] A field experiment was carried out with one factor randomized design. The four treatments were respectively water control, humus acid (H), H + phytogetic nematicide and H + trace elements. The biomass of flue-cured tobacco, main agronomic indexes, disease level and root-knot index of nematodes, and morphological parameters of root and root-knot were measured. [Result] Compared with the control of clear water, all three treatments significantly reduced the disease grade and root-knot index, dry weight, number and volume of root-knot, while significantly increased the dry weight of leaf and stem due to the improvement of root growth, stem diameter, leaf area, SPAD, leaf number and plant height. [Conclusion] Therefore, our results highlighted that application of humus acid and its combination of phytogetic nematicide and trace element is a useful measure for sustainable tobacco production in the practice which can enhance the ability of flue-cured tobacco against disease resistance and inhibition of tobacco root nematode. However, the mechanism of its disease resistance and inhibition remain to be further studied.

**Key words** Flue-cured tobacco; Humus acid; Phytogetic nematicide; Trace elements; Root knot nematode disease

根结线虫病害是严重危害烤烟生长的土传病害之一,据联合国粮农组织统计,线虫病害对全球烟草造成的直接经济损失达每年4亿美元<sup>[1]</sup>。根结线虫感染根系,不仅危害烟株对水分和养分的吸收,导致烟叶产量和质量大幅度降低<sup>[2]</sup>;还会增加其他病原体对烟株的侵袭<sup>[3-4]</sup>,加大烟草黑胫病和赤星病等发生的概率<sup>[5]</sup>。生产中常使用化学药剂来控制烟草根结线虫病害,但因农药残留将降低烟叶品质,并可能造成次生环境污染<sup>[6]</sup>。农艺防治方法如轮作和选用抗病品种等措施,周期较长,见效甚微<sup>[7]</sup>。通过施用腐殖酸和微量元素肥料,提高烟株御害抗病能力,并结合使用生物制剂来防治根结线虫,是目前烟草生产中的研究热点。

腐殖酸是进入土壤的有机物料经微生物降解后重新合成的一类非均质黑色或黑褐色的高分子有机聚合物,其中含有多重活性成分和微量元素,对增强植物抗逆性,具有不可替代的积极作用。研究表明,腐殖酸可显著提高烟株生物

量<sup>[8]</sup>,促进烟草根系吸收养分,增加烟草香气物质的形成,提高烟草品质<sup>[9]</sup>。此外,腐殖酸与生物菌剂配施可以促进烟株生长,提高土壤微生物活性,有效防控烟草青枯病与黑胫病<sup>[10]</sup>。然而,关于腐殖酸是否能够预防烟草根结线虫病害的研究,则鲜见报道。

植物矿质营养元素,一方面,作为植物组织构成成分直接参与植物新陈代谢;另一方面,通过调节植物抗病的生理生化反应机制<sup>[11-12]</sup>,影响作物自身的抗病能力<sup>[13-14]</sup>。叶面喷施中微量元素肥料可以显著提高作物产量,提高烟草品质<sup>[15-16]</sup>。钼是硝酸还原酶的组成成分,施用钼肥能够提高烤烟光合速率,促进光合产物积累<sup>[16-17]</sup>。施用镁肥可以降低大豆孢囊线虫病的发病率<sup>[12]</sup>,添加硼肥则可提高植株表皮细胞膜的稳定性,抑制病原菌感染与繁殖。钼肥、镁肥和硼肥同时施用,可以促进烟株早生快发,促进根系生长,改善烟株农艺性状<sup>[14]</sup>。改善植物中微量元素营养状况,进而提升植物自身的抗病能力,以及利用植物提取物来防治作物病害,一直是植物营养与植物病害学者关注的热点。

植物源生物制剂防治烟草花叶病的研究相对较多,如马蓝醇提取物和中草药材料混合提取物可有效防治烟草花叶病<sup>[18]</sup>。然而,关于腐殖酸与微量元素和植物源提取物配合

**基金项目** 中国烟草总公司云南省烟草公司重点科技计划项目(2021530000241032)。

**作者简介** 刘美菊(1984—),女,山东济宁人,讲师,博士,从事烟草营养与病害相关研究。\*通信作者,高级农艺师,博士,从事烟草栽培相关研究。

**收稿日期** 2021-09-09

施用防治烟草根结线虫病害的研究,则相对较少。笔者通过大田试验,评价腐殖酸、腐殖酸与植物源杀线剂和微量元素配施对烟草根结线虫病害的综合防治效果。

## 1 材料与方 法

**1.1 试验地概况** 试验于 2019 年在云南省玉溪市通海县四街镇四寨村小新庄进行,该地属于亚热带半湿润高原季风气候,多年平均降雨量 900 mm,多年平均气温 15.7 °C,年日照时间 2 300 h。试验设置在烟菜轮作多年、常年发生烟草根结线虫病害的烟田,其根结线虫病害程度为中等,地块坐标为 102°41'18"E,24°12'10"N,海拔 1 960 m。

**1.2 试验材料** 供试烤烟品种为 K326。腐殖酸制剂购自上海田应农业科技有限公司,用量为 18 mL/株,基础性状:腐殖酸含量 30 g/L,有机质含量 100 g/L,pH 7.18,密度 1.0 g/mL。植物源杀线剂由中国农业大学资源与环境学院植物抗逆实验室研制,有效成分为植物源酚酸;根据前期盆栽试验结果,确定大田条件下植物源杀线剂用量为 20 mL/株。依据盆栽试验和文献相关报道,中微量元素处理设计为镁、硼和钼 3 种元素混合物,其添加量分别为 200 mgMg/株、15 mgB/株和 5 mgMo/株。镁肥使用无水硫酸镁(阿拉丁试剂),硼肥和钼肥分别使用硼酸和四水钼酸铵(国药集团化学试剂有限公司)。

**1.3 试验方法** 试验设置 4 个处理:①清水对照;②腐殖酸(H);③腐殖酸+植物源杀线剂(H+PGE);④腐殖酸+微量元素(H+TE)。试验小区面积为 58.8 m<sup>2</sup>,小区长 8.4 m,宽 7.0 m;设 3 个区组(重复),区组内各处理完全随机排列。每个小区植烟 98 株,烟株行距 1.2 m,株距 0.5 m。4 个处理均施用玉溪烤烟专用复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 12:6:24)和硫酸钾,用量分别为 375 和 345 kg/hm<sup>2</sup>。所有肥料采用水溶后灌根施用方式,分 2 次施用。其中,基肥和团棵肥各施 50%,定植时每株灌根量为 2 L,团棵期灌根量为 1 L,浓度加倍。按照玉溪市烟草公司制定的《优质烤烟 K326 生产指南》进行田间管理。

**1.4 样品采集与分析** 烤烟移栽 14 d 后,在每个小区选取 6 株长势均一的烟苗,编号挂牌,每 14 d 测定一次农艺性状。进入打顶期后,进行样品采集和分析,用花枝剪贴土面将烟株地上部剪断,装入尼龙网袋中带回实验室,依据国家烟草专卖局制定的《烟草农艺性状调查测量方法》(YC/T 142—2010)<sup>[19]</sup>,分别进行农艺参数和烤烟鲜干重测定。应用叶片叶绿素快速测定仪 SPAD (SPAD502, Konica Minolta, Japan) 测定烟株 SPAD 值,选取烟株自上而下 4~6 片完全展开叶,每片叶分别测定两侧叶尖下 1/3 处、叶片中部、叶基上 1/3 处共 6 个点,记录 18 个点 SPAD 值的平均值。记录自茎基部至打顶处烟株叶片数,选取最大 2 片叶进行长宽测定,计算烤烟最大叶叶面积。用钢卷尺测定并记录烤烟株高,用游标卡尺测量烟株茎基 5 cm 处直径为茎粗。分别称量烟株叶片与茎秆鲜重,装入网袋中放入烘箱,于 105 °C 杀青 30 min,75 °C 下烘干至恒重,并部分测定烟叶与茎秆干重。

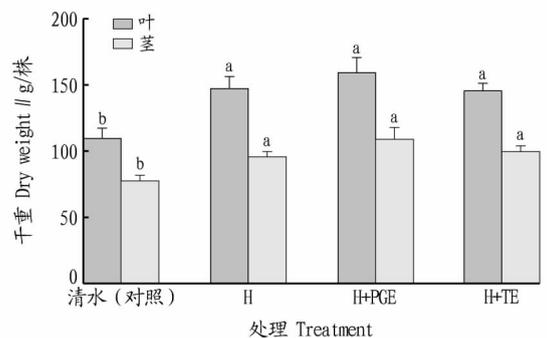
用根管(直径 30 cm,高 30 cm)将烟株根系完整取出,装

入尼龙网袋中带回烟站,进行洗根和根系分析。参照国家标准烟草病虫害分级及调查方法<sup>[20]</sup>,测定根结线虫病级;参照国际分级标准<sup>[21]</sup>,测定根结指数。根结线虫病级和根结指数观测完成后,将整个根系分为主根(连接茎与根部的部位)、粗根(≥2 mm 除主根外的根系)、细根(<2 mm 的根系)和根结 4 部分,称量并记录各部分根系鲜重,利用排水法测量主根、粗根和根结体积。将细根剪为 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)分析细根长度及体积。用扫描仪将根结部分扫描成像,计数和记录根结数量。最后,将所有根系装入信封后放入烘箱,75 °C 下烘干至恒重,测定并记录根干重。

**1.5 数据分析** 应用 Excel 2013 软件进行数据处理,采用 SAS 8.2 软件进行单因素方差分析,用 Duncan 在 0.05 水平下进行差异显著性检验。采用 Sigma Plot 10.0 进行数据作图。

## 2 结果与分析

**2.1 不同处理对烤烟地上部生物量和农艺指标的影响** 与清水对照相比,添加腐殖酸、腐殖酸+植物源杀线剂和腐殖酸+微量元素的处理,均显著提高了烤烟叶干重和茎干重,叶干重增幅分别为 34%、45%和 32%,茎干重则分别提高了 23%、41%和 29%(图 1)。



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters mean significant difference between different treatments ( $P < 0.05$ )

图 1 不同处理对打顶期烟株叶干重及茎干重的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on leaf dry weight and stem dry weight of tobacco plant at the topping stage

由表 1 可知,团棵期,4 个处理对烤烟最大叶叶面积的影响不存在显著差异;与清水对照相比,添加腐殖酸则显著提高了烤烟叶片 SPAD 和烟株株高,腐殖酸+微量元素处理显著提高了烤烟叶片数。打顶期,与清水对照相比,3 种处理均显著提高了烟株 SPAD 和株高;添加腐殖酸、腐殖酸+植物源杀线剂的处理,显著提高了烤烟茎粗及最大叶叶面积;腐殖酸+微量元素处理,则显著提高了烤烟叶片数。

**2.2 不同处理对烤烟根系及根结线虫病相关指标的影响** 由表 2 可知,与对照相比,添加腐殖酸、腐殖酸+杀线剂和腐殖酸+微量元素的处理,均显著降低了烤烟病级、根结指数、根结干重、根结数量和根结体积。然而,与仅添加腐殖酸

的处理相比,配施杀线剂或微量元素反而提高上述参数的数值。

表1 不同处理对团棵期和打顶期烟株地上部主要农艺性状的影响

Table 1 Effects of different treatments on main agronomic parameters at the resettling stage and the topping stage

时期 Stage	处理 Treatment	茎粗 Stem diameter mm	叶面积 Leaf area cm <sup>2</sup>	SPAD	叶片数 Leaf number 片/株	株高 Plant height cm
团棵期 Resettling stage (06-03)	清水(对照)	—	946±45 a	34.90±0.70 ab	21.30±0.62 b	51.00±1.78 c
	H	—	1 044±46 a	35.40±0.68 a	22.60±0.65 ab	67.70±2.00 a
	H+PGE	—	985±68 a	32.90±0.94 b	22.40±0.76 ab	60.00±3.56 b
	H+TE	—	936±32 a	33.40±0.49 b	24.80±1.18 a	55.60±1.55 bc
打顶期 Topping stage (08-02)	清水(对照)	30.50±0.87 b	1 331±75 b	41.50±0.73 b	20.60±0.54 b	111.00±2.30 b
	H	33.90±0.67 a	1 577±61 a	46.80±1.34 a	21.00±0.77 ab	122.00±2.78 a
	H+PGE	34.70±1.46 a	1 574±86 a	47.40±1.58 a	21.30±0.70 ab	120.00±4.59 a
	H+TE	32.00±1.13 ab	1 403±41 ab	46.60±1.52 a	22.80±0.56 a	121.00±2.53 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 mean significant difference between different treatments ( $P<0.05$ )

表2 不同处理对打顶期烟株根系病级和根结指标的影响

Table 2 Effects of different treatments on root disease grade and root knot indexes of tobacco plants at the topping stage

处理 Treatment	病级 Disease level	根结指数 Root knot index	根结干重 Root knot dry weight//g/株	根结数量 Root knot number//个/株	根结体积 Root knot volume cm <sup>3</sup>
清水(对照) Clear water	8.00±0.26 a	6.69±0.25 a	11.20±1.52 a	466.00±43.30 a	108.20±14.10 a
H	0.83±0.43 c	0.83±0.35 c	0.05±0.04 c	3.12±1.53 c	0.24±0.10 c
H+PGE	3.20±0.66 b	3.60±0.70 b	2.03±0.58 c	155.00±39.50 b	14.00±4.25 c
H+TE	4.00±0.54 b	4.53±0.59 b	5.47±1.20 b	209.00±38.80 b	39.10±8.41 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 mean significant difference between different treatments ( $P<0.05$ )

进一步分析表明,与对照相比,添加腐殖酸、腐殖酸+杀线剂和腐殖酸+微量元素的处理对烤烟根系总干重的影响差异不显著;然而,腐殖酸+杀线剂、腐殖酸+微量元素显著提高了烤烟主根干重,腐殖酸、腐殖酸+杀线剂显著提高了主根直径。与对照相比,其他3个处理对烤烟粗根干重的影响差异

不显著;但显著提高了烤烟粗根长度,且显著提高了烤烟细根干重、细根体积和细根长度(表3)。此外,与对照(清水)相比,其他3个处理均显著提高了细根长与粗根长的比值,最大值为腐殖酸+微量元素处理(图2)。

表3 不同处理对打顶期烟株根系主要指标的影响

Table 3 Effects of different treatments on main root indexes of tobacco plants at the topping stage

处理 Treatment	总根干重 Total root dry weight g/株	主根(连接茎与根部的部位) Taproot			粗根( $\geq 2$ mm 除主根外的根系) Thick root			细根( $< 2$ mm 的根系) Fine root		
		干重 Dry weight g/株	体积 Volume cm <sup>3</sup>	直径 Diameter mm	干重 Dry weight g/株	体积 Volume cm <sup>3</sup>	长度 Length m	干重 Dry weight g/株	体积 Volume cm <sup>3</sup>	长度 Length m
清水(对照)	59.10±	26.50±	117.00±	32.80±	17.20±	71.10±	2.00±	4.20±	14.30±	124.00±
	4.52 a	2.00 b	10.70 a	1.26 c	1.50 a	8.19 b	0.12 c	0.58 c	1.45 b	7.21 b
H	62.70±	32.40±	126.00±	37.40±	21.60±	95.60±	3.47±	8.70±	34.80±	394.00±
	3.43 a	1.91 ab	8.75 a	1.01 ab	1.62 a	6.62 ab	0.19 ab	0.49 ab	1.69 a	13.20 a
H+PGE	69.50±	37.20±	149.00±	40.30±	20.60±	107.00±	3.82±	9.60±	39.20±	424.00±
	4.46 a	3.14 a	15.60 a	1.85 a	1.24 a	4.50 a	0.10 a	0.70 a	1.91 a	16.10 a
H+TE	65.20±	34.40±	119.00±	34.60±	17.70±	94.90±	3.10±	7.70±	35.20±	401.00±
	2.40 a	1.67 a	7.75 a	1.00 bc	1.64 a	11.4 ab	0.13 b	0.46 b	2.27 a	26.00 a

注:总根干重为烤烟主根干重、粗根干重、细根干重及根结干重总和。同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )

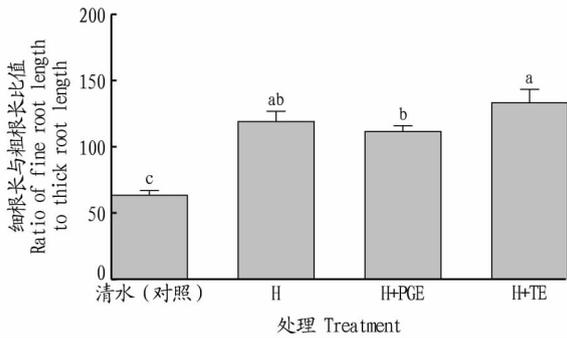
Note: The total dry weight of root is the total dry weight of main root, thick root, fine root and root knot of flue-cured tobacco. Different lowercase letters in the same column mean significant difference between treatments ( $P<0.05$ )

地上部叶干重分别与主根干重、粗根干重、细根干重、粗根总长和细根总长呈显著正相关(图3),其决定系数分别为0.436 7、0.174 4、0.367 1、0.345 2和0.254 9;而主根长度与叶干重之间则不存在显著相关关系。

### 3 讨论

该研究结果表明,增施腐殖酸显著降低了烟株根结线虫病害,促进了烟株地上部生长,进而显著提高了烤烟叶干重

和茎干重。作为天然高分子有机化合物,腐殖酸所含有的活性物质能够刺激植物根系生长,具有提高植物抗逆性的能力,已被以往研究所证实<sup>[8,22-23]</sup>。施用腐殖酸后,烟株叶片叶绿素含量和叶面积显著提高,这从施用腐殖酸可以提高叶片光合速率、促进烤烟光合作用的报道中得到很好的验证<sup>[22,24-25]</sup>。此外,研究表明,腐殖酸能显著提高过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性,降低丙二酮含量,从而提高烤烟根



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters mean significant difference between treatments ( $P<0.05$ )

图2 不同处理对打顶期烟株根系细根与粗根根长比值的影响

Fig.2 Effects of different treatments on the ratio of fine root length to thick root length of tobacco plants at the topping stage

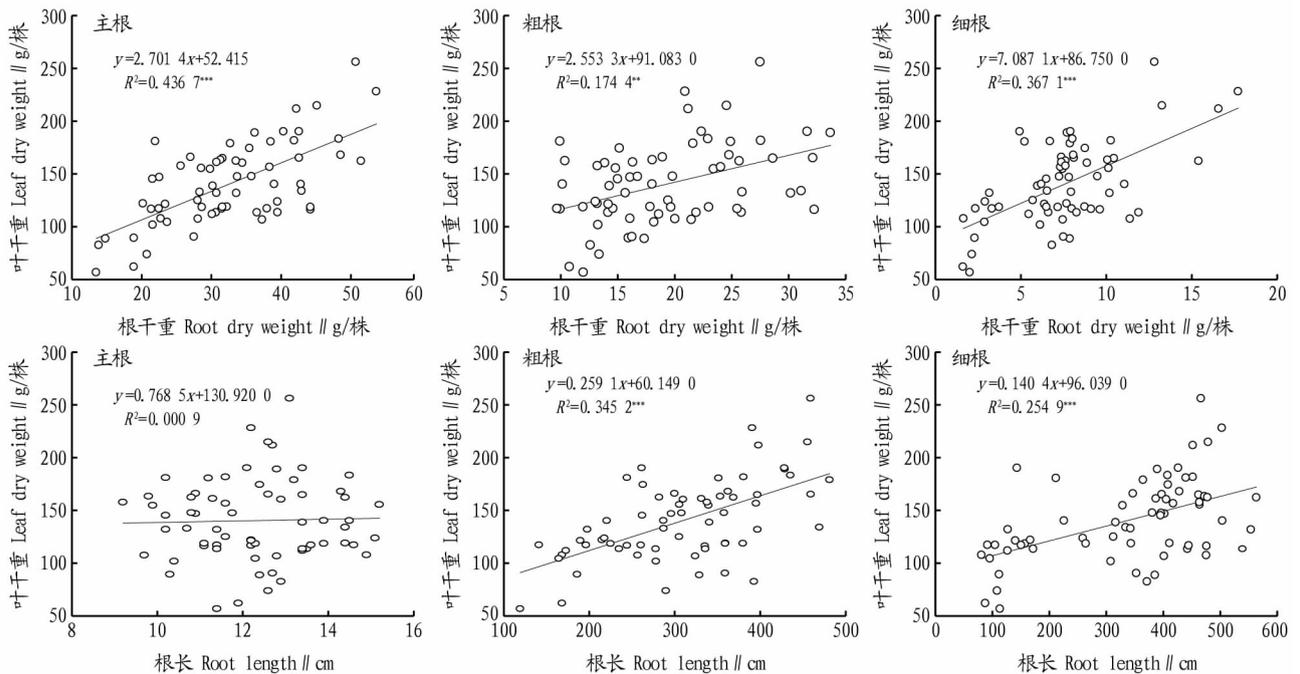


图3 打顶期烤烟主根、粗根、细根的干重和长度与叶干重相关性分析

Fig.3 Correlation analysis of dry weight and length of main root, thick root and fine root and leaf dry weight of flue-cured tobacco at the topping stage

能会使植株根系产生生理反应,促进根系苯丙烷类代谢,产生大量酚类物质和木质素等来提高植株的抗病性<sup>[30]</sup>,刺激植株地上部生长,进而提高地上部生物量。腐殖酸中所含有的活性物质和微量元素可以改善烟株农艺性状,促进烟株根系生长,影响烟株的抗病性<sup>[14]</sup>。研究表明,施用硼肥可以提高植物细胞膜稳定性,减少根系向外分泌营养物质,从而减轻病害侵染,而且适当增加硼含量还可以提高细胞壁的稳定性的,有效阻碍病原菌的入侵<sup>[31]</sup>。施用镁肥可增强作物组织抵抗力,降低大豆孢囊线虫病的发病率<sup>[12]</sup>。硅可以增加植物细胞壁的机械强度,而且在硅沉积位置可以促进酚类物质和木质素的积累,提高植物的抗病性<sup>[32]</sup>。总之,增施腐殖酸

系活力,增强根系的吸收能力<sup>[26-27]</sup>,这可以解释该研究中,施用腐殖酸显著增加了细根干重、体积和长度。

根系作为植物吸收水分和养分的重要器官,可分为主根和侧根两部分,其中侧根又可分为粗根(除主根外, $\geq 2$  mm的根系)和细根( $< 2$  mm的根系),各部分功能和被线虫侵染的程度不同。主根和粗根为植株地上部生长提供支撑和固定,主根是水分和养分的传输通道,粗根为细根的生长发育提供支撑,同时,根结线虫病害主要发生在植株粗根部位<sup>[28]</sup>。而细根则是植物吸收水分和养分最重要的器官。与对照相比,所有处理均显著提高了烤烟细根干重和长度以及细根长度与粗根长度的比值;而且,腐殖酸+植物源杀线剂处理的细根根长最高。庞大的根系为烟草旺长期对水分和养分的高需求<sup>[29]</sup>提供了强有力的保障,使叶干重和茎干重显著增加。

此外,根结线虫病害发生的时间也可能影响植株地上部生物量形成。在根系基本形成后,根结线虫侵染植株根系可

营养液肥料及其与植物源杀线剂和微量元素配施,促进了根系生长,尤其是显著提高了对于水分和养分吸收意义更大的细根体积和长度,进而提高了烤烟抗病和抑病能力,但对其抗病和抑病的机理,还有待进一步研究。

#### 4 结论

该研究结果表明,与清水对照相比,腐殖酸单独施用、腐殖酸和植物源杀线剂配施、腐殖酸和微量元素配施,均显著降低了烤烟根结线虫病级和根结指数、根结干重、根结数量和根结体积,显著提高了烟株茎粗、叶面积、SPAD、叶片数和株高,促进了植株根系生长,提高了细根干重与长度,进而显著提高了烤烟叶干重和茎干重。据此,笔者认为腐殖酸可以

作为根结线虫病害中等发生程度烟田的调理剂,来提高烟株抗病性,降低根结线虫病害的发生。但对其抑制根结线虫病害发生的机理,还有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 邢雪霞.烟草对南方根结线虫抗性机理研究[D].郑州:河南农业大学,2018.
- [2] 董飒.使用堆肥防治线虫的现状[J].生物灾害科学,2012,35(3):245-248.
- [3] 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.
- [4] 李娟,张克勤.食线虫微生物防控病原线虫的研究[J].中国生物防治学报,2013,29(4):481-489.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 李星月,余辉,朱从桦,等.四川烟草根结线虫危害及其综合防控对策[J].四川农业科技,2018(2):31-32.
- [8] 熊维亮,杨鹏,杨军伟,等.腐殖酸有机肥在烤烟生产上的应用效果[J].安徽农业科学,2018,46(8):133-136,139.
- [9] 祖庆学,曹本福,廖恒,等.腐植酸肥对烟叶相关油分品质的影响[J].中国热带农业,2019(2):66-71.
- [10] 苟剑俞,韩小斌,彭玉龙,等.腐殖酸和菜籽饼肥与微生物菌剂协同作用对烟草青枯病和黑胫病的调控作用[J].植物医生,2019,32(1):14-19.
- [11] DORDAS C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review[J]. Agronomy for sustainable development, 2008, 28(1):33-46.
- [12] ZHENG Y, DUAN Y, CHEN S Y, et al. Responses of soybean cyst nematode *Heterodera glycines* to macroelement and microelement compounds[J]. Bulgarian journal of agricultural science, 2010, 16(2):172-180.
- [13] 郭衍银,徐坤,王秀峰,等.矿质营养与植物病害机理研究进展[J].甘肃农业大学学报,2003,38(4):385-393.
- [14] 赖荣洪,黄锡春,许威,等.施用镁硼钼肥对山地紫色土烤烟产质量的影响[J].江西农业学报,2018,30(4):75-78.
- [15] 马占峰,黄建,唐民,等.微量元素对烤烟化学品质的影响[J].江西农业,2017(9):23-24.
- [16] 万越,张黎明.钼肥对烤烟质量影响研究进展[J].湖南农业科学,2017(8):127-130.
- [17] 张纪利,李余湘,罗红香,等.施钼对烟草叶绿素含量、光合速率、产量及品质的影响[J].中国烟草科学,2011,32(2):24-28.
- [18] 陈雅寒,汝冰璐,翟颖妍,等.抑制烟草花叶病毒(TMV)植物提取物的筛选[J].植物保护学报,2018,45(3):463-469.
- [19] 国家烟草专卖局.烟草农艺性状调查测量方法:YC/T 142—2010[S].北京:中国标准出版社,2010:2-10.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 靳志丽.腐殖酸提高烤烟品质和产量的机理研究[D].郑州:河南农业大学,2000.
- [23] 王树会,张红艳.不同腐殖酸用量对烤烟生长及产质的影响[J].中国农学通报,2007,23(1):288-291.
- [24] 梁文旭.腐殖酸对烤烟光合性能及产质量的影响[J].湖南农业科学,2004(5):30-33.
- [25] 肖瑶,蒋宇洲,李迪,等.腐殖酸肥对重茬烤烟光合特性的影响[J].安徽农业科学,2016,44(34):4-6,22.
- [26] 庞春花,贺笑,张永清,等.氮肥与腐殖酸配施对藜麦根系抗旱生理效应及产量的影响[J].干旱区资源与环境,2019,33(3):184-188.
- [27] 何坤.腐殖酸对重茬烤烟土壤性状和产量质量的影响研究[J].种子科技,2019,37(6):151.
- [28] MARSCHNER P. Marschner's mineral nutrition of higher plants [M]. Second Edition. London: Academic Press, 1995.
- [29] 王欢欢,任天宝,张志浩,等.生物质炭对烤烟旺长期根系发育及光合特性的影响[J].水土保持学报,2017,31(2):287-292.
- [30] 贾双双,徐坤.南方根结线虫侵染对2个不同抗性番茄砧木幼苗苯丙烷类代谢的影响[J].热带亚热带植物学报,2016,24(2):143-150.
- [31] 王玉祥.矿质营养与植物病害的关系研究[J].农业灾害研究,2012,2(6):25-27.
- [32] 张岩,宋玉霞,陈虞超,等.硅元素对水稻生长的影响概述[J].宁夏农林科技,2010(6):85-88.

(上接第103页)

- [17] ALAM M M. New host records of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* [J]. Current science, 1975, 14(12):64-71.
- [18] 刘国坤,肖顺,张绍升,等.藤本豆根结线虫病的病原鉴定及其侵染特性的研究[J].热带作物学报,2012,33(2):346-352.
- [19] MYERS L, WANG K H, MCSORLEY R, et al. Investigations of weeds as reservoirs of plant-parasitic nematodes in agricultural systems in northern florida [C]//26th Southern Conservation Tillage Conference. Raleigh, North Carolina: NASS, 2004:256-265.