

不同性能改良剂对烟田土壤生物学特性和烟叶产质量的影响

邱岭军¹, 许晓敬^{2*}, 张翔¹, 李亮¹, 索炎炎¹, 司贤宗¹, 李琦³, 陈秀华³, 徐敏³, 何雷³

(1. 河南省农业科学院(植物营养与资源环境研究所), 河南郑州 450002; 2. 河南省烟草公司(驻马店分公司), 河南驻马店 463000; 3. 河南省烟草专卖局(公司), 河南郑州 450000)

摘要 为探究不同性能改良剂对豫南烟区连作植烟土壤的改良效果, 采用田间对比试验, 分析了聚谷氨酸、有机碳肥、海藻有机肥、绿色木霉4种土壤改良剂对土壤肥力特性、土壤微生物区系、烟株生长状况及烤后烟产量产值的影响。结果表明, 施用不同性能改良剂可明显改善连作植烟土壤品质, 调节植烟土壤pH至适宜水平, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量上升; 土壤细菌、真菌、放线菌数量随生育期推进先增加后降低, 均于旺长期达到峰值。与CK处理相比, T2处理的细菌、真菌、放线菌数量整个生育期平均值分别提高31.78%、32.25%、30.83%; 不同性能土壤改良剂的材料来源及成分不同, 改良效果也存在差异, 其中T2处理较CK处理产量提升12.56%, 产值增加16.43%, 中上等烟比例提升20.99%, 显著优于T1、T3、T4。综上, 施用有机碳肥能有效改善烟田土壤生物学特性, 促进植株生长, 显著提高烟叶产质量。

关键词 烤烟; 连作障碍; 土壤改良剂; 微生物; 土壤肥力

中图分类号 S156.2 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)01-0163-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.01.044



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Different Performance Modifiers on Soil Properties and Tobacco Yield and Quality in Tobacco Fields

QIU Ling-jun¹, XU Xiao-jing², ZHANG Xiang¹ et al (1. Institute of Plant Nutrition Agricultural Resources and Environmental Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002; 2. Henan Tobacco Company Zhumadian Branch, Zhumadian, Henan 463000)

Abstract In order to explore the improvement effects of different performance modifiers on the continuous cropping tobacco soil in southern Henan, a field comparative experiment was used to analyze effect of the four soil modifiers of polyglutamic acid, organic carbon fertilizer, seaweed organic fertilizer, and green *Trichoderma* on soil fertility characteristics, soil microbial flora, tobacco plant growth status, and flue-cured tobacco yield and output value. The results showed that the application of different performance modifiers could significantly improve the quality of continuous tobacco planting soil, adjust the soil pH for tobacco planting to an appropriate level, and alkalize the soil. The content of available phosphorus and available potassium increased; the number of soil bacteria, fungi, and actinomycetes first increased and then decreased with the growth period, and reached their peak in the prosperous period. Compared with CK treatment, the average number of the bacteria, fungi, and actinomycetes of T2 treatment throughout the growth period increased by 31.78%, 32.25%, and 30.83% respectively; the material sources and ingredients of soil amendments with different properties were different, and the improvement effects were also different. Among them, the yield of T2 treatment was 12.56% higher than that of CK treatment, and the output value was increased by 16.43%. The proportion of upper and middle class cigarettes increased by 20.99%, significantly better than T1, T3, and T4. In summary, the application of organic carbon fertilizer can effectively improve the biological characteristics of tobacco soil, promote plant growth, and significantly improve the quality of tobacco leaves.

Key words Tobacco; Continuous cropping obstacles; Soil improver; Microorganisms; Soil fertility

当前我国烟草行业生产中存在长期连作和过量施用化肥的现象, 不利于优质烤烟的持续经营^[1], 再加上我国人均耕地资源不足、不合理的耕作方式及高强度的种植模式, 造成烟田土壤养分不平衡、根际土壤微生态结构恶化、土传病害加重、地力衰退、烟叶产量和品质逐年下降等一系列问题^[2-3]。土壤作为烤烟种植的直接载体, 其理化性质、肥力水平及微生物活性与植物生长代谢密切相关^[4], 对烟株生长发育和烟叶品质有直接影响。地力受损致使烟株生长发育不良、内部转化合成受阻、烟叶香气品质下降、化学成分不协调等, 严重制约烟草行业的可持续生产^[5]。

国内外大量研究表明^[6-7], 土壤改良剂是继有机与无机

肥配施、绿肥翻压及科学轮作之后又一种新型土壤改良方式, 兼具用量少、效率高及效果明显等优点, 是基于改善受损土壤基本性状以促进植物生长发育的多种混合物, 多用来改良和调节土壤中各种营养元素的迁移与循环。在农业生产上, 合理利用改良剂可以改善烤烟营养结构、增强根系活力、促进主根和侧根长度、增强土壤微生物及酶活性^[8]、减少土传病以及青枯病害的发生^[9]。同时, 可有效改善土壤物理特性, 提高肥料利用效率, 增加烤后烟叶产量的稳定性, 提高中上等烟比率、均价和产值^[10-11]。但大多数研究集中在酸化、盐碱、重金属污染土地上施用改良剂对土壤肥力、微生物区系及土壤物理特性的影响, 而根据某一区域独特的地理环境筛选不同性能改良剂对连作烟田的研究较少。鉴于此, 笔者以豫南烟区典型烟叶产区泌阳县连作植烟土壤为研究对象, 采用田间调查、土壤理化性质分析和稀释平板分离测数法, 探究不同性能改良剂对农艺性状、土壤理化性状、根际土壤微生物群落和养分含量的影响, 以期为烟田土壤地力保育、缓解连作障碍和微生态修复筛选出适宜的土壤改良剂, 为进一步提高烟叶品质、彰显豫南烟叶清香风格特色提供技术支撑。

基金项目 驻马店市烟草专卖局科技项目(2019411700200008); 河南省烟草公司重点科技项目“烟草肥料结构优化与提质增效技术研发及应用”(2020410000270019); 河南省烟草业转型升级科技攻关项目“河南植烟土壤保育技术研发及模式构建与示范”(2018410000270036)。

作者简介 邱岭军(1991—), 男, 河南驻马店人, 助理研究员, 硕士, 从事植物养分施肥研究。*通信作者, 农艺师, 硕士, 从事烟草生产与管理。

收稿日期 2021-03-25; **修回日期** 2021-08-16

1 材料与方 法

1.1 试验材料 试验于 2019 年在河南省泌阳县高邑乡王湾村进行,试验地肥力均匀一致,地势平坦,排灌方便。基础土壤理化性状:pH 5.03、有效磷含量 12.5 mg/kg、碱解氮含量 128 mg/kg、速效钾含量 151 mg/kg、有机质含量 17.2 g/kg、全氮含量 1.06 g/kg、全磷含量 0.40 g/kg、全钾含量 18.1 g/kg。试验前茬为烟草,烤烟品种为云烟 87。供试肥料种类:烟草专用复合肥料(N 10%、P₂O₅ 12%、K₂O 18%)、饼肥(N 5%)、硝酸钾(N 13%、K₂O 46%)、硫酸钾(K₂O 50%)。

1.2 试验设计 采用随机区组设计,设 5 个处理,分别是 CK 常规施肥+不施改良剂,T1 常规施肥+聚谷氨酸,T2 常规施肥+有机碳肥,T3 常规施肥+海藻有机肥,T4 常规施肥+绿色木霉。每个处理 3 次重复,小区面积为 72 m²,每小区种植 4 行,行距 120 cm,株距 55 cm。施纯氮量 75 kg/hm²、磷肥 112.5 kg/hm²、钾肥 262.5 kg/hm²,N:P₂O₅:K₂O 为 1.0:1.5:3.5,试验各处理氮、磷、钾用量保持一致,氮肥 70%条施、30%穴施,磷肥全部条施,钾肥 50%条施、20%穴施、30%追施。

试验于 2019 年 4 月 21 日选取长势均匀一致的烟苗进行移栽,不同土壤改良剂按照该产品使用说明书配制成相应比例液体肥料,于移栽烟苗时进行灌根处理。聚谷氨酸为武汉光华时代生物科技有限公司生产,1 hm² 施用量为 15 L,用 150 kg 清水稀释后灌根处理,成分含量(Zn+B+Fe)≥10%,(Ca+Mg+S):SiO₂≥18%,γ-PGA 20 g/kg;有机碳肥为福建绿洲生化有限公司生产,1 hm² 施用量为 15 L,用 6 kg 清水稀释后灌根处理,有机碳养分(以碳量计)≥150 g/L;海藻有机肥为北京雷力海洋生物新产业股份有限公司生产,1 hm² 施用量为 15 L,用 350 kg 清水稀释后灌根处理,成分含量为 Alg≥2%,Sw≥300,N+P+K≥14%,Cu+Fe+Mn+Zn≥4%;绿色木霉为河南农业大学烟草学院提供,1 hm² 施用量为 7.5 kg,用 6 kg 清水稀释后灌根处理,成分含量 0.5 亿孢子/g,其他栽培

及田间管理措施按当地优质烟叶生产规范进行。

1.3 样品采集与项目测定 于烤烟生长的 3 个生育期(团棵期,移栽后 30 d;旺长期,移栽 60 d;成熟期,移栽后 90 d),在烟垄上采集 2 株烟正中位置 0~20 cm 土层 3 个重复的土样,采用 5 点法混合均匀后取 1/4 低温冷藏带回室内,鲜样去杂后保存于 4℃ 冰箱,测定土壤微生物区系,另外部分土样风干后研磨测养分含量。同时,每个生育期随机选取 3 整株烟株,分部位取样并清洗干净,置于烘箱,设定 105℃ 杀青 30 min 后,70℃ 烘干至恒重。

土壤微生物区系用稀释平板分离测数法测定^[12];按照文献^[13]的方法采用电位法(ZD 型酸度计)测定 pH;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰光度计法测定^[14]。

1.4 数据处理 采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 17.0 对试验数据进行处理,用 Duncan's 新复极差法进行多重比较不同处理间差异显著性(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同性能改良剂对烟株农艺性状的影响 不同处理农艺性状见表 1。由表 1 可知,在移栽后 30 d,施用不同性能改良剂对烟株生长发育具有显著的促进作用。与 CK 处理相比,施用不同性能改良剂的株高提高幅度为 0.7~3.7 cm,叶面积分别提高了 12.90%、18.48%、6.94%、8.50%,SPAD 值提高幅度为 0.9~4.8,T2 处理的茎围、叶面积与 CK、T1、T3、T4 均存在显著差异。在移栽后 60 d,叶面积和茎围均以 T2 处理最高,分别达 1 340.1 cm² 和 8.3 cm,叶面积由高到低为 T2>T1>T4>T3>CK 处理。与 CK 处理相比,T2 处理的株高、茎围和叶面积分别提高了 10.24%、15.28%、28.18%。不同处理的 SPAD 值之间进行对比,以 T2 处理最低,表明有机碳肥能有效促进烟叶后期成熟落黄。综上,施用有机碳肥的 T2 处理对烤烟株高、叶片数、茎围及叶面积均有促进作用,能有效促进烤烟生长发育。

表 1 不同处理烟株的农艺性状

Table 1 Agronomic characteristics of tobacco plants with different treatments

处理 Treatment	移栽后 30 d Transplanting for 30 days					移栽后 60 d Transplanting for 60 days				
	株高 Plant height cm	茎围 Stem girth cm	叶片数 Leaf number 片	叶面积 Leaf area cm ²	SPAD value	株高 Plant height cm	茎围 Stem girth cm	叶片数 Leaf number 片	叶面积 Leaf area cm ²	SPAD value
CK	29.2 a	6.1 a	11.3 b	493.9 a	45.3 a	87.9 a	7.2 a	17.5 a	1 045.5 a	55.6 b
T1	31.6 ab	6.3 a	10.4 a	557.6 b	46.2 a	108.9 c	7.7 a	17.7 a	1 228.0 b	56.9 b
T2	31.9 ab	7.0 b	11.9 b	585.2 c	50.1 b	96.9 b	8.3 b	18.5 b	1 340.1 c	52.7 a
T3	32.9 b	6.2 a	11.1 b	528.2 b	48.7 ab	93.2 ab	8.0 a	17.5 a	1 086.6 a	57.2 b
T4	29.9 a	6.4 a	11.4 b	535.9 b	46.4 a	90.6 a	8.1 a	19.4 c	1 127.1 a	53.9 ab

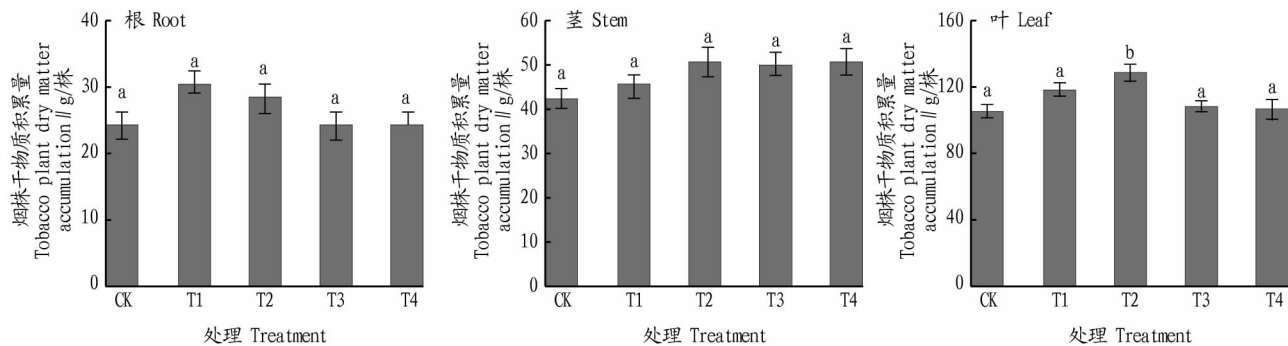
注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)

Note:Different lowercase letters after data within a column indicated significant difference between different treatments(P<0.05)

2.2 不同性能改良剂对烟株干物质积累的影响 由图 1 可知,在移栽后 60 d,施用不同性能改良剂对烟株的根、茎、叶干物质积累量均有不同程度的提高,对烟株生长发育具有明显的促进作用。与 CK 相比,不同处理根、茎和叶干物质重提高幅度分别为 0.41%~25.82%、6.34%~19.01%、0.10%~

22.06%,T1 和 T2 处理根干物质重有明显增加;茎则以 T2 和 T4 处理较高,但不同处理之间无显著差异;施用不同性能改良剂处理的叶干物质重均有不同程度的增加,以 T2 处理最高,达 128.9 g/株,且 T2 处理与 CK、T1、T3、T4 均存在显著差异。表明施用有机碳肥的 T2 处理能有效促进烤烟生长,有

利于烟株干物质积累。



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

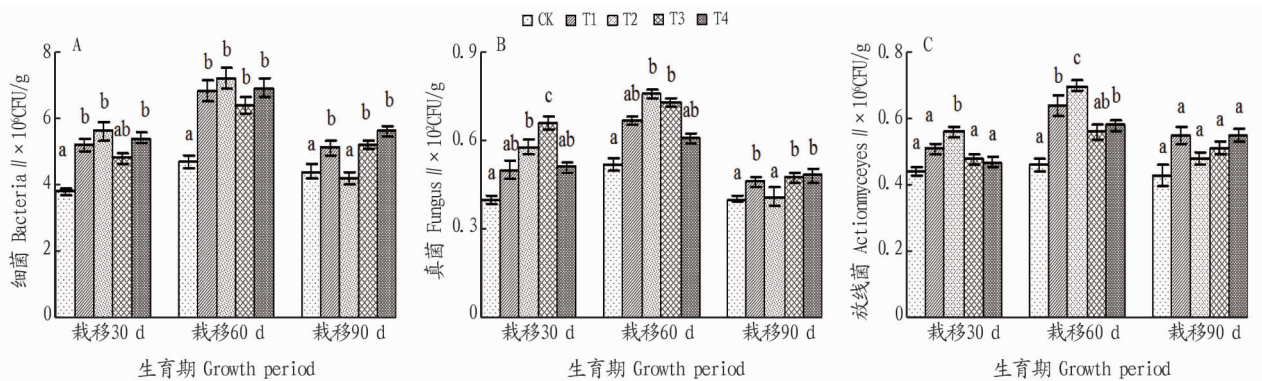
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

图1 不同处理对烟株干物质积累的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on dry matter accumulation of tobacco plants

2.3 不同性能改良剂对土壤微生物学特性的影响 由图2可知,各处理土壤微生物数量发生了明显变化,具体表现为细菌>放线菌>真菌,土壤细菌最高,其次是放线菌。施用不同性能改良剂的微生物数量显著高于不施改良剂的CK处理,表明科学合理施用改良剂对连作烟田土壤具有积极效应,对各微生物类群数量的提升具有统计学意义。由图2A可知,土壤细菌数量随生育期的不断推进表现出先增大后减小的变化规律,于移栽后60d出现峰值,T2处理在前2个生育期细菌数量最高,在移栽后90d时,T2处理急剧下降,与CK无显著差异,但T2与T1、T3和T4处理均存在显著性差异,且显著小于T1、T3和T4处理。由图2B可知,土壤真菌

数量的增减规律与细菌数量类似,施用不同性能改良剂的真菌数量较CK处理分别提高14.31%~28.85%、1.66%~46.15%、17.77%~65%和17.31%~27.5%,在移栽后90d,T2处理与T1、T3和T4处理均存在显著差异,而T1、T3和T4处理之间差异不显著。由图2C可知,土壤放线菌数量的变化规律为前期缓慢增加、后期缓慢下降,前2个生育期T2处理与T1、T3和T4处理均存在显著差异;于移栽后90d,不同性能土壤改良剂处理之间均无显著差异。综上,表明施用有机碳肥的T2处理对土壤微生物群落功能多样性和数量、生态修复改良效果最佳。



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 indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

图2 不同处理对土壤微生物数量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on soil microbial quantity

2.4 不同性能改良剂对植烟土壤理化性质的影响 由表2可知,在移栽后60d,施用不同性能改良剂的土壤pH(背景值5.03)呈明显升高趋势,其中以T2处理涨幅最大,提高了21.87%,与CK、T1、T3、T4处理均存在显著差异,其次为T1处理,提高了10.34%。随着烤烟生育期的不断推进,烟田土壤逐渐变得疏松,不同性能改良剂的土壤容重均低于CK处理,但未达显著差异水平,可能是短期内施用不同性能改良剂对土壤物理特性的改良效果并不明显。不同处理的土壤含水率与CK相比,均有不同程度的提高,以T3处理最高,达

14.2%。不同性能改良剂处理可显著提高烤烟土壤有效磷含量,T2处理的有效磷、碱解氮、速效钾含量比CK分别提高了59.68%、13.38%、2.67%,而T3、T4处理对土壤速效钾含量表现出某些抑制作用。施用不同性能改良剂为烤烟长期的快速生长提供充足的养分。

2.5 不同性能改良剂对烤烟经济性状的影响 由表3可知,施用不同性能改良剂处理的产量、产值、均价和中上等烟比例均有不同程度提高,其中以T2处理烟叶品质最佳且经济性状好,较CK处理产量提升11.11%,产值增加16.43%,

中上等烟比例均提升 20.99%, T2 处理产量、产值、均价和中上等烟比例显著优于 T1、T3、T4 处理, 且 T1、T3、T4 处理产量、产值、均价之间均无显著差异, 表明施用有机碳肥的 T2

处理可提高中上等烟比例、均价和烟叶产量、产值, 对提升烤烟的经济效益有积极作用。

表 2 不同处理对土壤理化性质的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil physical and chemical properties

处理 Treatment	土壤 pH	土壤容重 SBD//g/cm ³	含水率 WC//%	有效磷 AP//mg/kg	碱解氮 AN//mg/kg	速效钾 AK//mg/kg
CK	5.03 a	1.36 a	12.5 a	12.4 a	127 a	150 c
T1	5.55 a	1.34 a	13.6 b	15.2 b	146 c	170 d
T2	6.13 b	1.32 a	13.9 b	19.8 c	144 c	154 c
T3	5.41 a	1.35 a	14.2 b	14.3 ab	126 a	114 a
T4	5.39 a	1.33 a	12.8 a	20.0 c	135 b	138 b

注: 同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters after data within a column indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

表 3 不同处理对烤烟经济性状的影响

Table 3 Effects of different treatments on economic characters of flue-cured Tobacco

处理 Treatment	产量 Yield kg/hm ²	产值 Output value 元/hm ²	均价 Average price 元/kg	中上等烟比例 Middle and upper tobacco rate %
CK	2 333.9 a	56 234.7 a	22.38 a	52.4 a
T1	2 425.5 a	62 553.4 b	24.79 b	54.2 b
T2	2 593.2 b	65 474.8 c	26.26 c	63.4 c
T3	2 464.4 a	62 644.4 b	24.42 b	48.6 a
T4	2 400.3 a	63 223.1 b	24.34 b	56.8 b

注: 同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters after data within a column indicated significant differences ($P < 0.05$)

3 讨论

适宜的植烟土壤是烤烟生长发育、提高烟叶产量及品质的重要基础^[15-16]。不同性能改良剂包含多种中微量元素、微生物菌剂和活性添加剂, 引入冗余的有益微生物菌群能有效促进有机质矿化, 在某种程度上激活了多种功能性微生物和酶的嗜嗜性, 增加土壤氮素的矿化速度、释放速率, 进而改善土壤理化性状、微生物种群结构和生物养分有效性, 增强烤烟的营养供给能力和抗逆性能, 对改善烟叶品质等具有积极作用^[17-18]。研究表明^[19]施用不同土壤改良剂可调节 pH 至适宜范围, 提升土壤盐基交换性和阳离子总量, 增加土壤有机质的矿化、碱解氮含量、钾含量的固定和减少对磷的吸附, 这与该研究结果一致。施用不同性能改良剂处理的 pH 与 CK 处理相比分别提高了 10.34%、21.87%、7.55%、7.16%。王佩雯等^[20]研究表明 pH 可间接作用于根细胞表面电荷或者 pH 动态变化直接影响土壤养分离子有效性, 进而影响烤烟对养分的吸收。陈丽燕等^[21]研究表明土壤 pH 与细菌 Chao 指数、细菌香农指数等呈极显著正相关关系, 与土壤全氮、铵态氮、有效 Fe、Zn 呈显著线性负相关。不同性能改良剂的材料来源及组成成分不同, 对连作烟田土壤的改良效果也存在差异, 其中以有机碳肥的 T2 处理改良效果最佳, 可显著提高烤烟土壤速效磷、碱解氮和速效钾含量, 与 CK 处理相比分别提高了 59.67%、13.38%、2.67%, 这与邓小华等^[22]研究结果一致。不同性能改良剂的施用不仅改善了植株的生

长状况, 烟株株高、茎围及叶面积均有不同程度提高, 而且有利于烟株干物质积累, 与 CK 处理相比, 根、茎、叶干物质积累提高幅度分别为 0.41%~25.82%、6.34%~19.01%、0.10%~22.06%。兰挚谦等^[23]研究表明连作番茄配施土壤改良剂能够降低土壤酸性, 增大土壤孔隙度, 促进根系快速生长发育, 为果实成熟提供充足营养。周绪宝等^[24]研究表明施用土壤改良剂可有效提升根系活力、提高光合作用和土壤酶活性, 显著提升花生、苹果、甜瓜等作物的产量与品质, 这与该研究结果一致, 该试验结果表明 T2 处理较 CK 处理产量提升 11.11%, 产值增加 16.43%, 中上等烟比例提升 20.99%, 且烤后中部烟叶的总糖、还原糖、氯的质量分数及糖碱比、氮碱比和两糖比均在适宜范围内, 使烤后烟叶内在化学品质更协调。

土壤细菌、真菌、放线菌数量是微生物区系结构重要的组分之一, 并积极介入调控土壤中物质能量循环、有机物转化吸收、活化土壤养分以及维护微生物生态群落平衡^[25-27], 在提高作物抗病抗害的免疫机理以及增强作物抵抗非可控生物因素与非生物因素逆境胁迫方面具有巨大作用, 是影响土壤养分库、生物化学活性及群落生理功能的活指标^[28-29]。该研究结果显示, 施用不同性能改良剂处理与 CK 相比, 可显著增加烟田土壤细菌、真菌、放线菌数量, 这对于连作烟田微生物生态土壤修复与保护, 促进烤烟的快速生长, 降低土传病害发生等方面具有积极意义^[30]。周绪宝等^[24]研究表明, 土壤改良剂的施用改善了植物生长状况, 增加了土壤微生物总量, 改变了微生物群落结构组成和多样性以及不同分类水平下各类细菌所占比重, 最终影响了微生物多样性指数和土壤系统结构的复杂性, 种群结构的复杂程度和多样性指数越高, 稳定性就越高, 这与该研究结果一致, T2 处理细菌、真菌、放线菌数量比同期 CK 处理整个生育期平均值分别提高 31.78%、32.25%、30.83%。潘金华等^[31]研究表明, 施用土壤改良剂可有效增强土壤有机氮的硝化、矿化作用、氮素有效利用率以及较好地达到土壤培肥的目的。邓小华等^[32]研究表明, 施用土壤改良剂可提高烟叶物理特性、中上等烟比例和产量、产值、烤后烟化学成分指数和评吸总分。若烤烟生产中土壤改良剂科学合理施用, 不仅有利于优质烤烟的成熟

落黄,而且会增加烤烟后期土壤中硝化细菌数量。因此,施用有机碳肥的 T2 处理能有效改善河南烟田土壤生物学特性,提升烟田土壤的营养结构,使土壤肥力水平得到提高。

4 结论

不同性能土壤改良剂的材料来源及组成成分不同,对植烟土壤理化性状、微生物群落、烟株生长状况及烟叶产值的改良效果存在明显差异,其中以施用有机碳肥的 T2 处理烟叶品质好且经济性最佳,显著影响了烟田土壤微生物群落功能多样性和数量、土壤生态修复改良效果,在烤后烟叶产量稳定性情况下,提高了上中等烟比例、均价和产值。因此,在该试验条件下,施用有机碳肥更符合豫南烟区优质烤烟生产的营养特性,能有效改良烟田土壤环境,提高烤烟的产量和品质。

参考文献

[1] 张继光,申国明,张久权,等. 烟草连作障碍研究进展[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(3): 95-99.

[2] 许自成,肖汉乾,赵献章,等. 植烟土壤养分丰缺状况评价的统计方法[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 558-561.

[3] 邢世和,熊德中,周碧青,等. 不同土壤改良剂对土壤生化性质与烤烟产量的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 72-75.

[4] 孙蔚锋,王旭. 土壤调理剂的研究和应用进展[J]. 中国土壤与肥料, 2013(1): 1-7.

[5] 黄成江,张晓海,李天福,等. 植烟土壤理化性状的适宜性研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 42-46.

[6] 张瑶,邓小华,杨丽丽,等. 不同改良剂对酸性土壤的修复效应[J]. 水土保持学报, 2018, 32(5): 330-334.

[7] 张东,扈强,杜咏梅,等. 植烟土壤酸化及改良技术研究进展[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(5): 113-118.

[8] 于宁,关连珠,娄翼来,等. 施石灰对北方连作烟田土壤酸度调节及酶活性恢复研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 849-851.

[9] 万川,蒋珍茂,赵秀兰,等. 深翻和施用土壤改良剂对烟草青枯病发生的影响[J]. 烟草科技, 2015, 48(2): 11-15, 26.

[10] 陈世军,潘文杰,孟玉山,等. 石灰和聚丙烯酰胺处理的酸性土壤对烤烟生长及生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1243-1251.

[11] 朱克亚,孙星,程森,等. 不同改良剂对皖南烟田土壤性状及烤烟产量和品质的影响[J]. 土壤, 2016, 48(4): 720-725.

[12] 滕应,骆永明,李振高. 污染土壤的微生物多样性研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 1018-1026.

[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] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京:科学出版社, 1978: 1-288.

[15] 施娟,刘艳红,王田涛,等. 有机肥与烟草专用肥配施对植烟土壤微生物和土壤酶活性的动态变化[J]. 土壤通报, 2017, 48(5): 1126-1131.

[16] 郝浩浩,李亚飞,张翔,等. 有机替代部分无机氮肥对烟草生长发育及产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(12): 172-175.

[17] 刘晔,姜瑛,王国文,等. 不同连作年限对植烟土壤理化性状及微生物区系的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(13): 136-140.

[18] 舒秀丽,赵柳,孙学振,等. 不同土壤改良剂处理对连作西洋参根际微生物数量、土壤酶活性及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1289-1294.

[19] 陈丽燕,戴华鑫,陈江华,等. 豫中烟区土壤微生物特性及其与土壤理化性质的关系[J]. 烟草科技, 2017, 50(5): 1-9.

[20] 王佩雯,朱金峰,任志广,等. 不同土壤改良剂处理下连作植烟土壤化学性质及土壤酶活性的耦合分析[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(4): 82-91.

[21] 陈丽燕,王建伟,刘海轮,等. 环秦岭区域植烟土壤养分状况及其与烟叶品质的关系[J]. 烟草科技, 2016, 49(10): 15-22.

[22] 邓小华,黄杰,杨丽丽,等. 石灰、绿肥和生物有机肥协同改良酸性土壤并提高烟草生产效益[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1577-1587.

[23] 兰挚谦,郑文德,林薇,等. 不同土壤改良剂对番茄生长和土壤肥力的影响[J]. 河南农业科学, 2019, 48(5): 91-98.

[24] 周绪宝,郝毅,庞博,等. 不同改良剂对草莓种植土壤细菌群落的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(18): 60-66.

[25] 陶磊,褚贵新,刘涛,等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146.

[26] 张恩平,田悦悦,李猛,等. 长期不同施肥对番茄根际土壤微生物功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(14): 5027-5036.

[27] 蔡秋华,黄俊杰,林云红,等. 草木灰对烤烟根际土壤微生物群落结构及功能多样性的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(11): 43-50.

[28] ZHONG W H, GU T, WANG W, et al. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity[J]. Plant and soil, 2010, 326(1/2): 511-522.

[29] KOURTEV P S, EHRENFELD J G, HÄGGBLÖM M. Exotic plant species alter the microbial community structure and function in the soil[J]. Ecology, 2002, 83(11): 3152-3166.

[30] KENNEDY A C, SMITH K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils[J]. Plant and soil, 1995, 170(1): 75-86.

[31] 潘金华,庄舜尧,黄化刚,等. 土壤改良剂对黔西北两种植烟土壤氮矿化的影响[J]. 烟草科技, 2017, 50(5): 10-18.

[32] 邓小华,杨哲宇,李玉辉,等. 施用改良剂对植烟土壤酶活性和养分含量的影响[J]. 烟草科技, 2019, 52(2): 33-39.