

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.02.004

烟杆碳基肥与拮抗微生物复配 对烟草生长和抗病性的影响

梁远志¹, 陈晓元¹, 周鑫斌²

1. 中国烟草总公司重庆市公司奉节分公司, 重庆 奉节 404600;

2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715

摘要: 为明确烟杆碳基肥与拮抗微生物肥料复配对烟草生长和抗性的影响, 本研究在重庆市奉节县烟草基地开展小区试验, 利用烟杆碳基肥与多粘类芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌复配, 调查不同施肥处理对烟株农艺性状、抗病性及产量产值的影响。结果表明, 烟杆碳基肥结合多粘芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌 1 kg/666.67 m² 复配对烟株生长有一定的促进作用; 烟杆碳基肥对土壤酸化改良的效果较为稳定, 处理 50 d 土壤 pH 值提高了 0.64 和 0.61; 烟杆碳基肥综合防控方案对根黑腐病的防治效果为 67.8%。烟杆碳基肥与拮抗微生物的协同效应对提升烤烟产量及品质、增强烤烟抗病害能力与农业废弃物资源化利用均具有重要意义。

关键词: 烟杆碳基肥; 多粘芽孢杆菌;

枯草芽孢杆菌; 根黑腐病

中图分类号: S435

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2023)02-0027-09

Effect of Tobacco Stem Carbon Based Fertilizer Compounded with Antagonistic Microorganisms on Growth and Disease Resistance of Tobacco

LIANG Yuanzhi¹, CHEN Xiaoyuan¹, ZHOU Xinbin²

1. Fengjie Branch of Chongqing Tobacco Company, Fengjie Chongqing 404600, China;

2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: To clarify the effects of tobacco stem carbon based fertilizer compounded with antago-

收稿日期: 2023-03-20

基金项目: 中国烟草总公司重庆市公司科技项目(B20221NY1314)。

作者简介: 梁志远, 农艺师, 主要从事烤烟养分管理研究。

通信作者: 周鑫斌, 博士, 副教授。

nistic microbial fertilizers on tobacco growth and resistance, a plot trial was conducted at a tobacco base in Fengjie County, Chongqing. Tobacco stem carbon based fertilizer was selected to be compounded with *Bacillus polymyxa* and *Bacillus subtilis*. The effects of different fertilization treatments on agronomic traits, disease resistance and yield production value of tobacco plants were investigated. The results showed that application of tobacco stem carbon based fertilizer combined with *Bacillus polymyxa* and *Bacillus subtilis* at 1 kg/666.67 m² had a certain promotion effect on the growth of tobacco plants. The effect of tobacco straw biochar on improvement of soil acidification was relatively stable, with soil pH increased by 0.64 and 0.61 units in 50 days of treatment. The efficacy of integrated control program with tobacco straw carbon based fertilizer on the control of root black rot was 67.8%. The synergistic effect of tobacco straw charcoal-based fertilizer and antagonistic microorganisms is important for improving the yield and quality of roasted tobacco, enhancing the disease resistance of roasted tobacco plants and the resource utilization of agricultural waste.

Key words: tobacco stem carbon based fertilizer; *Bacillus polymyxa*; *Bacillus subtilis*; root black rot

烟草是重庆市重要的经济作物, 超 30 年连作和长期大量施用化肥使得植烟土壤肥力下降、土传病害严重和土壤板结, 导致烟叶品质逐年下降^[1-2]. 烟叶采收后, 大量废弃烟杆难利用, 残留在烟田, 造成资源浪费, 同时秸秆易燃烧, 引发环境污染^[3]. 烟草秸秆含有大量的纤维素、有机碳和木质素, 以及丰富的矿质元素, 可作为生物炭原料, 加工后还田可改善土壤理化性质, 提高土壤肥力水平, 丰富土壤微生物群落结构, 提升烤烟的质量与品质^[4-5]. 土传病害是严重威胁烤烟生长的因素之一, 如黑胫病、根黑腐病和青枯病等, 生长期间一旦发病, 烟叶质量和经济效益将受到直接影响^[6]. 化学防治虽效果显著, 但存在着烤烟农残污染物超标、环境污染等负面作用, 随着研究的不断深入, 应用拮抗微生物已成为烤烟病虫害治理的重要手段^[6-7]. 拮抗微生物通过抑制病原菌的生长、抢占生态位或者诱导植物抗性等方式来减少病害的发生, 促进植物的健康生长^[8], 如多粘类芽孢杆菌通过分泌生物活性物质及多种蛋白类物质促进植物的生长^[9]. 研究发现, 多粘类芽孢杆菌能够在植物根尖周围形成生物膜结构, 占领生态位防止病原菌的侵染, 同时能够分泌大量的拮抗物质^[10-11]. 枯草芽孢杆菌通过诱导胁迫反应基因、植物激素和胁迫相关代谢产物的表达, 提高植物宿主免疫力^[12]. 枯草芽孢杆菌还能增强固氮能力, 溶解土壤中的磷, 产生铁载体和吡啶乙酸, 抑制病原菌生长, 促进烤烟生长发育^[13-14]. 环境因素很大程度上影响了土壤微生物的生长, 而烟杆碳基肥具有良好的孔隙结构, 可作为良好的载体, 为微生物的生长提供养分和生长环境.

前人研究表明, 施用 1.5 t/hm² 高碳基肥能够改善烟叶化学品质, 能有效提高土壤微生物代谢活性和碳源利用效率^[15]. 高碳基肥与微生物肥配合施用可增加土壤微生物数量, 提高土壤肥力和土壤酶活性, 为烤烟生长提供良好的土壤环境^[16]. 施用 0.35 g/株枯草芽孢杆菌可以提高烟株田间抗病性, 显著降低气候斑点病、普通花叶病和黑胫病的发病率^[17], 但利用烟杆生物炭和拮抗微生物复配对烤烟生长及病害防控的影响尚未见相关报道. 因此, 本研究探讨烟杆碳基肥与对拮抗微生物协同对烤烟产量及品质的影响效应, 对于指导烤烟生产、碳基肥推广应用及农业废弃物资源化利用均具有重要意义.

1 材料与方法

1.1 供试品种

本研究供试烤烟品种为“云烟87”。

1.2 试验材料

生物碳基肥由烟杆生物炭、油菜籽饼肥、牛粪有机肥混合而成,有机质(以干基计) $\geq 45\%$ 。烟杆炭化在重庆市石柱县龙潭乡都会村进行。烟杆生物炭制备过程:烟杆在田间采收后立体堆放至水分约30%,放入炭化炉,以 $(20\pm 0.5)^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升至炭化温度 450°C ,保温一定时间后,随炉冷却至室温,将生物炭粉碎过筛,制备为 $0.25\sim 1\text{ mm}$ 粒径备用(图1)。烟杆生物炭加工后的成品理化性质:pH值10.55,总腐殖酸13.5%,全碳含量66.5%,全氮含量2.4%,碳氮比27.7:1,全硫含量0.95%,比表面积 $1.08\text{ m}^2/\text{g}$,容重 $0.21\text{ g}/\text{cm}^3$,主要官能团为羟基、酰胺基和烷基等。

多粘类芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌菌剂规格为 $1\times 10^{10}\text{ cfu}/\text{g}$,由山东绿陇生物技术有限公司提供。



A为烟杆收集,B为烟杆粉碎,C为炭化,D为生物炭成品。

图1 烟杆生物炭制备过程

1.3 试验设计

试验于2022年3月至2022年10月在重庆市奉节县兴隆镇进行。共设3个处理,采用随机

区组设计, 3次重复, 每个小区面积 666.67 m², 各处理基肥施用方式均为起垄后条施, 追肥用量一致. 具体试验处理: T1 为传统处理; T2 为烟杆碳基肥; T3 为烟杆碳基肥+病害综合防控方案.

具体来说, T2 烟杆碳基肥是由菜籽饼肥、生物炭、牛粪有机肥等多种有机原料按一定比例配合而成的复合有机物料. 本试验选择的最佳有机原料配比: 菜籽饼肥占 20%, 牛粪有机肥占 65%, 生物炭占 15%, 如果按每 666.67 m² 施 150 kg 碳基有机肥, 则需要饼肥 30 kg、牛粪有机肥 97.5 kg, 烟杆生物炭 22.5 kg, 该碳基有机肥碳氮比为 25:1. 生产碳基有机肥的原料中至少应含有 20% 的油枯(菜籽饼、芝麻饼或花生饼均可), 以保证碳基有机肥中氨基酸含量不低于 10%, 这样有利于生防菌的存活. T3 烟杆碳基肥混入多粘类芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌, 每 666.67 m² 用量 1 kg, 将固体发酵产物与按照功能菌适宜 pH 值(5.5~6.5)调节发酵后有机肥进行混合搅拌.

1.4 调查指标

1.4.1 生长发育期指标测定

依据烟草病害分级及调查方法(YC/T 39—1996)统计发育期烟草病害发病率(普通花叶病、黑胫病和青枯病)及病情指数, 烟草病害发生情况按烟草病虫害分级及调查方法(GB/T 23222—2008)调查. 结合当地的病害发生特点, 主要对青枯病进行系统调查, 调查计算每个小区 90 株的发病率及病情指数. 根据青枯病的发生情况, 在发病初期开始调查, 每隔 7 d 调查 1 次, 连续调查 9 次.

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

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

$$\text{防治效果} = \frac{\text{对照的病情指数} - \text{处理的病情指数}}{\text{对照的病情指数}} \times 100\%$$

烟草病情分级依据烟草病虫害分级及调查方法(GB/T 23222—2008), 以株为单位, 分为 6 级.

0 级: 全株无病;

1 级: 茎部病斑不超过茎围的 1/3 或 1/3 以下叶片凋萎;

3 级: 茎部病斑超过茎围的 1/3~1/2 或 1/3~1/2 叶片轻度凋萎, 或下部少数叶片出现病斑;

5 级: 茎部病斑超过茎围的 1/2, 但未全部环绕茎围或 1/2~2/3 叶片凋萎;

7 级: 茎部病斑全部环绕茎围或 2/3 以上叶片凋萎;

9 级: 病株基本枯死.

杀青样矿质营养元素积累量: 于移栽后 40 d、60 d、80 d, 在各小区取长势一致的 3 株烤烟的烟叶进行杀青, 65 °C 烘干, 过 60 目筛, 3 株混合为 1 个样品. 取 0.4 g 样品用全自动消解仪(型号 S60UP)进行消解, 消解完成后过滤得到样品, 用 ICP-MPX 光谱仪检测矿质营养元素积累量.

1.4.2 根际土壤指标测定

分别于移栽 40 d、55 d、70 d、85 d 和 100 d, 在各小区按五点取样法选取长势均匀的 5 株烤烟的根际土壤, 混合为 1 个样品, 参照《土壤农化分析》^[18]测定速效磷、速效钾、有机质和碱

解氮含量;采用酶试剂盒测定脲酶和蔗糖酶活性.

1.5 数据处理与统计学分析

采用 DPS 7.5 软件进行数据描述性统计、差异性分析处理;采用 Excel 2003 和 GraphPad Prism 8.0 进行统计分析和制图.

2 结果与分析

2.1 不同处理方法对烟草农艺性状的影响

打顶期对烟株农艺性状进行测定,结果表明,烟杆碳基肥对烟株生长有显著的促进作用,烟杆碳基肥加菌剂都能促进烟株茎围生长,分别较传统处理提高茎围 0.38 cm 和 0.45 cm,烟杆碳基肥和烟杆碳基肥加菌剂处理后烟株有效叶片数分别比传统处理高出 0.96 片和 1.22 片,与传统比较差异均具有统计学意义;烟杆碳基肥的其他农艺性状与传统处理比较差异无统计学意义(表 1).

表 1 不同处理方法对烟草农艺性状的影响

处理方法	有效叶片数/片	株高/cm	最大叶宽/cm	最大叶长/cm	茎围/cm
T1	15.86±0.45b	96.78±1.14a	26.56±0.32a	61.25±1.26a	7.33±0.15b
T2	16.82±0.45a	99.50±1.56a	27.81±0.82a	62.35±0.93a	7.71±0.14a
T3	17.08±0.65a	102.35±1.36a	27.88±0.76a	65.22±1.35a	7.78±0.16a

注: T1 为传统处理; T2 为烟杆碳基肥; T3 为烟杆碳基肥+病害综合防控方案.; 小写字母不同表示差异具有统计学意义($p<0.05$).

2.2 不同处理方法对烟草养分吸收的影响

由于烟杆碳基肥促进了养分的吸收,利于烤烟生长,因此全生育期烤烟吸收的养分显著高于传统处理,烟杆碳基肥+病害综合防控处理后烟草上部叶氮、磷分别较常规有机肥提高 5.74%, 5.42%; 分别提高中部叶氮、钾 3.63%, 34.33%; 分别提高下部叶磷、钾 29.23%, 31.48%, 与传统处理比较差异均具有统计学意义(表 2).

表 2 不同处理方法对烟草养分吸收的影响

g/kg

处理方法	上部叶			中部叶			下部叶		
	全氮	全磷	全钾	全氮	全磷	全钾	全氮	全磷	全钾
T1	20.37a	1.66b	18.25a	13.76b	1.21a	17.01c	16.28a	1.30b	20.11b
T2	21.63a	1.76a	15.56b	14.97a	1.26a	21.27ab	16.70a	1.59a	25.60a
T3	21.54a	1.75a	17.36ab	14.26a	1.15bc	22.85a	16.08a	1.68a	26.44a

注: 小写字母不同表示差异具有统计学意义($p<0.05$).

2.3 不同处理方法对土壤微生物数量的影响

由试验结果可以看出,施用烟杆碳基肥+病害综合防控方案显著提高了烤烟旺长期土壤细菌群落数,较传统处理高 139.09%, 提高了细菌的种群数量;显著降低了与病虫害发生有关的真菌数量,较传统处理低 69.43%;施用碳基有机肥对放线菌的群落也有提高,但是其影响程度较低.成熟期土壤微生物数量明显低于旺长期.施用生物有机肥显著提高了成熟期土壤细菌群落数,显著降低了与真菌数量,对放线菌的影响较小(表 3).

表3 不同处理方法不同生长期根际土壤微生物数量比较

 $\times 10^4$ cfu/gDS

采样点	细菌		真菌		放线菌	
	旺长期	成熟期	旺长期	成熟期	旺长期	成熟期
T1	336.7	248.0	72.3	10.1	64.4	23.7
T2	786.0	261.2	17.8	3.1	71.3	25.3
T3	805.0	281.0	22.1	4.2	71.7	22.1

2.4 不同处理方法对植烟酸化土壤 pH 值的影响

结果表明, 烟杆碳基肥能在一定程度上提高土壤 pH 值, 50 d 内 T2、T3 的土壤 pH 值分别较 T1 显著提高了 0.64 和 0.61, 80 d 内 T2、T3 的土壤 pH 值分别较 T1 提高了 0.49 和 0.53, 但各处理间比较差异无统计学意义, 烟杆碳基肥对土壤酸性改良的持效期较长(图 2)。

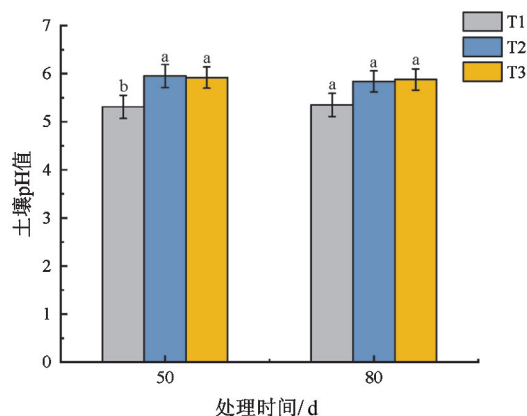


图2 不同处理方法对土壤 pH 值的影响

2.5 不同处理方法对烟草病害发生情况的影响

6 月 30 日田间出现较为明显的根黑腐病发病症状, 以 6 月 30 日为时间起点, 每隔 6~7 d 对不同施肥处理小区进行烟草根黑腐病发病率和病情指数调查. 结果表明, 根黑腐病综合防控有较明显的效果, T2 和 T3 的发病率较 T1 分别下降了 49.5% 和 67.8% (图 3)。

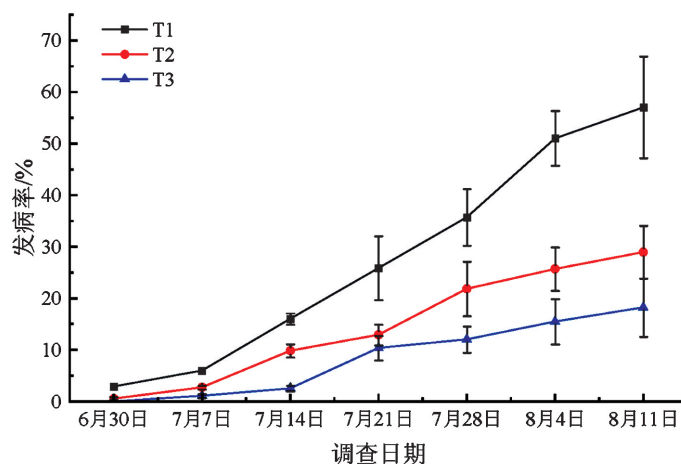


图3 不同处理方法烟草根黑腐病发病情况

2.6 不同处理方法对烟草根际土壤交换性阳离子含量的影响

通过对土壤酸碱度与交换性阳离子的含量进行分析, 结果发现, 施用烟杆碳基肥后能够明显降低土壤交换性氢离子、交换性铝离子的含量, 明显提高土壤中交换性钙离子、交换性镁离子的含量, 与传统处理比较差异均具有统计学意义(表 4).

表 4 不同处理方法对土壤交换性阳离子含量的影响

处理方法	交换性酸/(cmol · kg ⁻¹)			交换性钙离子/ (mg · kg ⁻¹)	交换性镁离子/ (mg · kg ⁻¹)
	交换性氢离子	交换性铝离子	总量		
T1	0.38a	3.42a	3.80a	687.63b	49.36b
T2	0.22b	1.03b	1.25b	856.32a	64.25a
T3	0.21b	0.93b	1.24b	862.45a	64.56a

注: 小写字母不同表示差异具有统计学意义($p<0.05$).

2.7 不同处理方法对烤烟经济指标的影响

由试验结果可知, 烤烟的产量、产值和上中等烟比例均呈现出 T3、T2、T1 递减的趋势. 植烟土壤施用烟杆碳基肥结合微生物防控方案能显著提高烟叶的经济产量, 营养土结合生物有机肥施用的烟田烤烟增产、增收效果更好(表 5).

表 5 不同处理方法对烤烟经济指标的影响

处理方法	产量/(kg · hm ⁻²)	产值/(元 · hm ⁻²)	上等烟比例/ %
T1	1 123a	38 944.8b	61.58b
T2	1 249a	41 247.4b	65.47a
T3	1 376a	44 054.9a	67.73a

注: 小写字母不同表示差异具有统计学意义($p<0.05$).

3 结论与讨论

烟杆碳基肥与拮抗微生物复配的协同效应可显著提升烤烟产量及品质、增强烤烟抗病害能力, 对根黑腐病的防治效果为 67.8%. 施用烟杆碳基肥结合多粘芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌 1 kg/ 666.67 m² 肥料的打顶期烤烟茎围及叶片数均显著高于常规施肥, 施用碳基肥可改善烟株的农艺性状, 提高烤后烟叶的经济性状和品质^[15-16]. 分析其原因主要包括 2 个方面, 一是烟杆碳基肥能够为烤烟提供有机质, 促进作物根系下扎, 改善烟株农艺性状, 土壤有机质中含有植物生长所需的各种营养元素, 是提高土壤肥力的物质基础^[19]; 另一方面, 烟杆碳中含有丰富的有机酸、氨基酸、脂肪酸等, 能够促进烤烟根系生长, 增强养分的吸收与利用^[16].

由于连作障碍、化肥的不合理使用等因素, 烟田酸化问题日益严重, 导致烟草减产、烤烟品质下降以及病害发生增加, 降低了土壤肥力, 不利于烟草生长及微生物群落结构和功能的稳定^[20]. 因此, 通过合理的土壤改良措施, 改善土壤的理化性质, 调节土壤酸碱度的生态防治措施已逐渐引起重视^[20]. 魏国胜等^[21]的研究表明, 土壤 pH 值与烟株根茎部病害显著相关, 其中酸性植烟土壤烤烟更易感病. 高碳基肥含有钾、钙、钠等丰富的矿质元素, 溶于水后呈碱性, 施

入土壤后能够提高土壤 pH 值, 改变植烟土壤的理化性质^[22]。由本研究结果可知, 烟杆碳基肥能够显著增加土壤中的交换性钙、镁含量。土壤交换性钙、镁作为土壤盐基离子, 对土壤保水保肥有一定作用, 而且能够为烟草提供丰富的钙、镁元素, 促进烤烟的生长发育与品质提升^[23]。此外, 土壤中大量的盐基离子随烟草收获后带走, 土壤胶体中的正负电荷为保持平衡, 会加速水解产生大量 H^+ , 因此烟田土壤逐步趋于酸化^[20], 而土壤交换性钙、镁的显著增加能够有效治理土壤酸化问题。本研究也充分证实, 在酸性植烟土壤中施用烟杆碳基肥与多粘类芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌复配肥料, 能提高土壤 pH 值, 对根黑腐病有一定的控制作用。因此, 在防控根黑腐病时要采取综合措施, 特别注意对酸化土壤的修复, 维护植物健康的根际微生态环境, 保证烟株营养平衡, 才能有效控制烟草根黑腐病发生。

本研究结果发现, 烟杆碳基肥与拮抗微生物复配施用使得土壤细菌和放线菌数量均明显高于常规施肥, 这说明该施肥处理对土壤微生物数量有显著影响, 与殷全玉等^[22]的研究结果一致。碱性环境更适宜放线菌生长, 而烟杆碳为碱性物质, 施入土壤后可为放线菌创造适宜的生长环境, 放线菌也可以通过降解烟杆碳基肥中芳香类化合物从而得到更多的营养物质, 提高其数量与丰度。土壤中微生物数量与有机质呈极显著相关, 微生物能够促进肥料的吸收与转换, 为烤烟的生长发育提供充足的养分, 提高了烤烟氮、磷、钾养分吸收, 从而促进烤烟生长^[15]。研究表明, 随着烤烟病害程度的加重, 土壤细菌群落的均匀度和丰富度降低, 而真菌群落的均匀度和丰富度升高^[24]。烟杆碳基肥能够通过改变植烟土壤中有益微生物群的繁殖来抑制病原菌的增长, 增加土壤微生物代谢多样性, 进而提高土壤微生态环境的稳定性^[15]。烟株更健康, 养分吸收的越多, 可有效改善产量和质量。因此应从改良烟株根际土壤出发, 改善土壤营养、土壤酸碱度、微生态环境, 从而提升烤烟产量及品质、增强烤烟抗病害能力。

综上所述, 烟杆碳基肥结合多粘芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌 $1\text{ kg}/666.67\text{ m}^2$ 对烟株生长有一定的促进作用; 烟杆生物碳对土壤酸化改良的效果较为稳定, 处理 80 d 土壤 pH 值提高 0.49 和 0.53; 烟杆碳基肥综合防控方案对根黑腐病的防治效果为 67.8%。烟杆碳基肥与拮抗微生物的协同效应对提升烤烟产量及品质、增强烤烟抗病害能力与农业废弃物资源化利用均具有重要意义。

参考文献:

- [1] 陈江华, 李志宏, 刘建利, 等. 全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价 [J]. 中国烟草学报, 2004, 10(3): 14-18.
- [2] 韦建玉, 黄崇峻, 金亚波, 等. 重庆市主要烟区土壤肥力状况综合评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(11): 30-36.
- [3] 肖和友, 李宏图, 杨勇, 等. 烟草废弃物生物炭对植烟土壤、烤烟生长及经济效益的影响 [J]. 湖南农业科学, 2018(6): 36-39, 43.
- [4] 肖和友, 朱伟, 王海军, 等. 连续施用不同生物炭对植烟土壤特性和烤烟品质的影响 [J]. 中国烟草科学, 2021, 42(3): 19-25.
- [5] 李彩斌, 王琛, 康俊, 等. 穴施生物炭对烤烟根区土壤生物学性质的影响 [J]. 土壤通报, 2023, 54(1): 107-116.
- [6] 张新要, 蒲文宣, 袁仕豪, 等. 药剂防治烤烟根茎病害新方法研究初报 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 487-489.
- [7] 祖庆学, 聂忠扬, 林松, 等. 我国烟草黑胫病的发生流行及防治技术措施 [J]. 植物医学, 2022(4): 84-89.
- [8] JEONG H, CHOI S K, RYU C M, et al. Chronicle of a Soil Bacterium: *Paenibacillus Polymyxa* E681 as a Tiny Guardian of Plant and Human Health [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10: 467.

- [9] 孙成成. 多粘类芽孢杆菌在烟株内定殖特性及对烟草青枯病的防效研究 [D]. 重庆: 西南大学.
- [10] TAKENAKA S, SEKIGUCHI H, NAKAHO K, et al. Colonization of *Pythium Oligandrum* in the Tomato Rhizosphere for Biological Control of Bacterial Wilt Disease Analyzed by Real-Time PCR and Confocal Laser-Scanning Microscopy [J]. *Phytopathology*, 2008, 98(2): 187-195.
- [11] NAMITADEO, K. A NATARAJAN, P SOMASUNDARAN. Mechanisms of Adhesion of *Paenibacillus Polymyxa* Onto Hematite, Corundum and Quartz [J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2001, 62(1-4): 27-39.
- [12] 冯印印, 李斌, 杨洋, 等. 烟草青枯病菌拮抗细菌的筛选、鉴定和抑菌机制研究 [J]. *中国生物防治学报*, 2021, 37(2): 331-339.
- [13] 夏艳, 徐茜, 董瑜, 等. 烟草青枯病菌拮抗细菌的筛选、鉴定及生防特性研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22(2): 201-207.
- [14] 濮永瑜, 包玲凤, 何翔, 等. 烟草青枯病和黑胫病拮抗细菌的筛选、鉴定及防效研究 [J]. *中国农学通报*, 2022, 38(7): 116-123.
- [15] 李怡博, 翟春贺, 苏梦迪, 等. 微生物肥与高碳基肥配施对植烟土壤微生物数量和土壤肥力的影响 [J]. *烟草科技*, 2021, 54(4): 23-32.
- [16] 张志浩, 陈思蒙, 任天宝, 等. 高碳基肥对烤烟生长及土壤微生物碳代谢多样性特征的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2019(1): 79-86.
- [17] 李迪秦, 任铮, 祝利, 等. 土壤调理剂与枯草芽孢杆菌菌剂配施对烟草生长发育及病害的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(10): 88-94.
- [18] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. 土壤农化分析与环境监测 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [19] 叶协锋, 周涵君, 李志鹏, 等. 生物炭类型对植烟土壤碳库及烤后烟叶质量的影响 [J]. *中国烟草学报*, 2018, 24(1): 77-85.
- [20] 查宇璇, 冉茂, 周鑫斌. 烟田土壤酸化原因及调控技术研究进展 [J]. *土壤*, 2022, 54(2): 211-218.
- [21] 魏国胜, 周恒, 朱杰, 等. 土壤 pH 值对烟草根茎部病害的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(1): 140-143.
- [22] 殷全玉, 刘健豪, 方明, 等. 高碳基肥配施菌剂对植烟土壤化学性质及微生物的影响 [J]. *湖南农业大学学报 (自然科学版)*, 2019, 45(5): 501-506.
- [23] ZHANG Y T, HE X H, LIANG H, et al. Long-Term Tobacco Plantation Induces Soil Acidification and Soil Base Cation Loss [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(6): 5442-5450.
- [24] 高正锋, 白羽祥, 朱宣全, 等. 烟草根黑腐病不同发病程度与土壤养分及微生物群落的关系 [J]. *南方农业学报*, 2022, 53(9): 2478-2486.

责任编辑 苏荣艳