

不同有机肥对烤烟根际土壤微生物的影响*

张云伟 徐智 汤利** 李艳红 宋建群 徐健钦

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要 通过田间小区试验,研究了不同有机肥(精制有机肥、生物有机肥)与减量20%化肥配施对烤烟根际微生物、青枯病防效及产量和品质的影响.结果表明:与常规化肥(CF)相比,化肥减量20%配施有机肥(OF)或生物有机肥(BIO)均显著提高了烤烟根际的细菌数量和微生物总量,配施生物有机肥还显著提高了烤烟根际放线菌的数量,比OF增加44.3%,且真菌数量呈下降趋势.与CF处理相比,OF或BIO处理均显著提高了烤烟根际微生物利用碳底物的能力,BIO还显著提高了根际微生物利用酚类碳源的能力.OF和BIO处理均显著降低了烤烟青枯病的发生及危害程度,与CF相比,OF处理的烤烟青枯病发病率和病情指数分别下降了4%和8%,BIO处理的烤烟青枯病发病率和病情指数分别下降了23%和15.9%.OF和BIO处理均显著提高了烤烟的上等烟比例,比CF分别增加了10.5%和9.7%.BIO处理的产量和产值比OF分别提高17.1%和18.9%.

关键词 有机肥 生物有机肥 烤烟 土壤微生物 青枯病

文章编号 1001-9332(2013)09-2551-06 **中图分类号** S144.1 **文献标识码** A

Effects of different organic fertilizers on the microbes in rhizospheric soil of flue-cured tobacco. ZHANG Yun-wei, XU Zhi, TANG Li, LI Yan-hong, SONG Jian-qun, XU Jian-qin (College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2013, 24(9): 2551-2556.

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of applying different organic fertilizers (refined organic fertilizer and bio-organic fertilizer) and their combination with 20% reduced chemical fertilizers on the microbes in rhizospheric soil of flue-cured tobacco, the resistance of the tobacco against bacterial wilt, and the tobacco yield and quality. As compared with conventional chemical fertilization (CK), applying refined organic fertilizer (ROF) or bio-organic fertilizer (BIO) in combining with 20% reduced chemical fertilization increased the bacterial number and the total microbial number in the rhizospheric soil significantly. Applying BIO in combining with 20% reduced chemical fertilization also increased the actinomyces number in the rhizospheric soil significantly, with an increment of 44.3% as compared with that under the application of ROF in combining with 20% reduced chemical fertilization, but decreased the fungal number. As compared with CK, the ROF and BIO increased the carbon use capacity of rhizospheric microbes significantly, and the BIO also increased the capacity of rhizospheric microbes in using phenols significantly. Under the application of ROF and BIO, the disease incidence and the disease index of bacterial wilt were decreased by 4% and 8%, and 23% and 15.9%, and the proportions of high grade tobacco leaves increased significantly by 10.5% and 9.7%, respectively, as compared with those in CK. BIO increased the tobacco yield and its output value by 17.1% and 18.9%, respectively, as compared with ROF.

Key words: organic fertilizer; bio-organic fertilizer; flue-cured tobacco; soil microbe; bacterial wilt.

* 公益性行业(农业)科研专项(201103004, 201103003)、国家科技支撑计划项目(2012BAD14B01)、云南省高校科技创新团队支持计划项目和云南农业大学学生科技创新创业行动基金项目(2013ZK055)资助。

** 通讯作者. E-mail: ltang@ynau.edu.cn

2013-01-08 收稿, 2013-07-02 接受。

土壤是可持续农业的首要因素. 发掘土壤本身的潜力以降低农用化学品的投入, 节约资源, 减少对环境的污染, 同时实现作物可持续高产优质是可持续农业发展的目标^[1]. 长期以来, 土传病害一直是农产品生产最主要的限制因子之一, 然而, 使用化学药剂防治植物土传病害给土壤增加了巨大的负担, 导致土壤微生态系统失衡^[2-3], 同时, 过量使用农药和化肥又增加了农田的环境风险^[4]. 土壤微生物是参与碳、氮、磷、硫等元素转化的主要驱动力, 对土壤-植物生态系统中的物质循环和能量流通起着决定作用^[5], 是土壤肥力的重要指标. 提高土壤微生物活性, 能够促进植物生长, 防治或减轻病虫害危害, 提高作物产量和品质^[6-7]. 近年来, 国内外有关利用有机肥和生物有机肥调控土壤微生物区系, 减轻植物土传病害、提高农产品品质的研究已有较多报道^[8-13]. 不同类型的有机肥和生物有机肥对番茄土传病害^[8, 11-12]、烤烟连作障碍^[9]、香蕉枯萎病^[10]及其土壤微生物的影响等研究均有报道. 研究结果一致认为, 有机肥和生物有机肥的施用能在一定程度上改善土壤微生物区系及其代谢活性, 防治土传病害, 提高农产品产量和品质, 实现农业的可持续发展^[8-14].

烤烟是云南省主要经济作物. 长期大量施用化肥, 忽视有机肥料的施用, 造成土壤有机质含量下降, 烟田土壤酸化、板结, 烟叶营养比例失调, 已成为烟叶产量和品质提高的瓶颈^[15-16]. 目前关于不同有机肥对烤烟产量和品质的影响研究已有较多报道^[16-20]. 任小利等^[17]采用大田试验研究了菜粕堆肥对烤烟产量、品质及土壤微生物的影响. 彭智良等^[18]采用田间试验的方法研究了饼肥、氨基酸肥对烤烟产量、品质的影响. 陈巧玲等^[19]通过盆栽试验的方法研究了生物有机肥对烤烟青枯病及病原菌的影响. 徐健钦等^[20]在田间条件下研究了不同有机肥对烤烟产量和品质的影响, 结果表明, 在化肥减量的条件下配施生物有机肥能提高烤烟烟叶的产量和上中等烟比例. 然而, 有关有机肥和生物有机肥对云南烤烟土壤微生物区系的影响尚缺乏系统研究, 通过田间小区试验利用有机肥在化肥减量的条件下调控土壤微生物区系, 以减轻烤烟土传病害的研究还未见报道. 因此, 本试验以云南烤烟为对象, 通过田间小区试验, 研究在化肥减量的条件下配施有机肥和生物有机肥对烤烟青枯病及土壤微生物区系的影响, 探讨土壤微生物区系变化与烤烟病害的关系, 以为有机肥和生物有机肥在烤烟上的控病应用及减

肥增效提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2011年5—9月在云南省昆明市寻甸县云南农业大学大河桥农场(25°56' N 103°25' E)进行. 供试烤烟品种为红花大金元, 供试土壤基本理化性状见表1. 供试化肥为烟草专用肥(8-16-24), 精制有机肥和生物有机肥由江苏新天地生物肥料工程中心有限公司提供. 精制有机肥含有机质 $\geq 35\%$, 氮、磷、钾 $\geq 5\%$; 生物有机肥含有机质 $\geq 25\%$, 氮、磷、钾 $\geq 6\%$, 抗病菌种多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)有效活菌数 $\geq 0.5 \times 10^8 \cdot g^{-1}$.

1.2 试验设计

试验共设置3个处理: CF: 当地常规施肥(100% NPK 化肥); OF: 80% NPK 化肥 + 0.30 kg·m⁻²精制有机肥; BIO: 80% NPK 化肥 + 0.30 kg·m⁻²生物有机肥. 每处理4次重复, 共计12个小区. 每小区5墒, 每墒植烟9株, 每个小区共植烟45株, 株行距为55 cm×120 cm, 小区面积29.7 m², 完全随机区组排列.

CF处理氮肥用量按60 kg N·hm⁻²施入, 其中, 基肥45 kg N·hm⁻², 追肥15 kg N·hm⁻², 总养分比例为N:P₂O₅:K₂O=1:2:3; OF和BIO处理的化肥在CF处理的基础上减量20%, 在移栽前施入. 精制有机肥和生物有机肥在移栽前一次性施入, 环施覆土. 试验中不使用防治烤烟土传病害的农药, 其他技术措施按优质烟生产技术要求操作和管理.

1.3 取样与分析方法

1.3.1 土壤取样 于2011年9月1日烤烟最后一次采烤结束后, 采用五点取样法选取采样点, 利用抖土法采集根际土样, 混匀, 放入无菌自封袋中, 立即带回实验室, 放入4℃冰箱保存, 用于微生物数量的平板培养和微生物功能多样性分析.

1.3.2 烤烟分级 分别将各小区烟叶于适烤期挂牌采烤, 计算各处理小区的产量, 并按当地收购价格计算各处理产值. 依据国家烟叶标准^[21]分级后计算上

表1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of test soil

pH	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	速效氮 Available N (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)
7.99	20.35	103.02	27.31	174.76

等烟和上中等烟比例。

1.3.3 病害调查 根据文献[22]在脚叶成熟期对烤烟青枯病和黑胥病进行病害调查并分级,计算发病率和病情指数。

发病率=发病株数/调查总株数 $\times 100\%$

病情指数= \sum (各级病株数 \times 该病级值)/(调查总株数 \times 最高级值) $\times 100$

1.3.4 微生物数量和功能多样性分析 微生物数量分析采用稀释平板计数法进行,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌采用马丁式培养基、放线菌采用改良高氏一号培养基进行培养^[23]。采用 Biolog-Eco 微平板法研究不同处理对烤烟根际土壤微生物功能多样性的影响,具体方法参照文献[24]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 软件处理数据,用 SPSS 11.5 软件进行方差分析(Duncan 法),差异显著性水平设为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同有机肥对烤烟根际土壤微生物数量的影响

从图1可以看出,与常规化肥处理(CF)相比,在化肥减量20%的条件下配施有机肥和生物有机

肥显著增加了烤烟根际土壤细菌数量,其中配施有机肥(OF)和生物有机肥(BIO)分别比CF增加了33.2% ($P=0.016$)和57.6% ($P=0.001$),OF与BIO间差异不显著。配施有机肥和生物有机肥均能增加根际土壤放线菌数量。与CF相比,OF处理根际放线菌数量有一定增加,但差异不显著;而BIO处理显著增加了根际放线菌数量,较CF增加103.1% ($P=0.001$),较OF增加44.3% ($P=0.011$)。与CF相比,OF的烤烟根际土壤真菌数量有增加趋势,而BIO的根际土壤真菌数量呈下降趋势。

施用有机肥和生物有机肥均能显著增加烤烟根际土壤微生物总量,与CF相比,OF处理的根际土壤微生物总量显著增加了33.7% ($P=0.01$),而BIO处理的根际土壤微生物总量较CF处理显著增加了60.0% ($P=0.001$),较OF处理显著增加了19.7% ($P<0.05$)。

2.2 不同有机肥对烤烟根际土壤微生物功能多样性的影响

2.2.1 微生物代谢活性 AWCD(average well color development)值可反映土壤微生物对 Biolog-Eco 微平板中单一碳源总体利用能力,是表征土壤微生物代谢活性的主要指标^[20]。图2比较了不同施肥处理

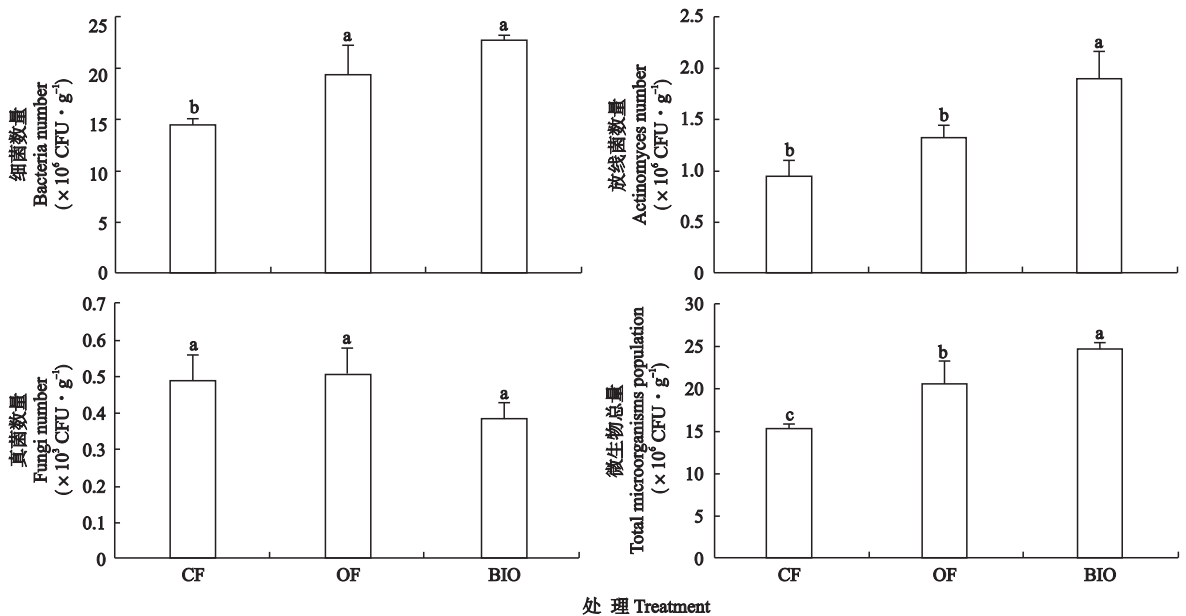


图1 不同处理对烤烟根际土壤细菌、放线菌、真菌及微生物总量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on rhizosphere soil bacteria, actinomycetes, fungi and total microorganisms population of flue-cured tobacco.

CF:100% NPK 化肥 100% NPK chemical fertilizer; OF:80% NPK 化肥+0.30 kg \cdot m $^{-2}$ 精制有机肥 80% NPK chemical fertilizer+0.30 kg \cdot m $^{-2}$ refined organic fertilizer; BIO:80% NPK 化肥+0.30 kg \cdot m $^{-2}$ 生物有机肥 80% NPK chemical fertilizer +0.30 kg \cdot m $^{-2}$ bio-organic fertilizer. 不同小写字母表示各处理之间差异显著($P<0.05$) Different small letters indicated significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

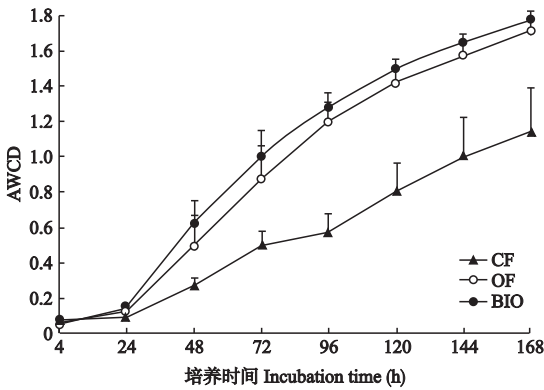


图2 不同施肥处理在 Biolog-Eco 板上 AWCD 值随培养时间的变化

Fig. 2 Changes of AWCD in Biolog-Eco plate with incubation time under different fertilizer treatments.

在不同反应时间的 AWCD 值,在化肥减量 20% 的条件下配施有机肥和生物有机肥的 AWCD 值始终高于常规化肥处理,从 48 h 开始差异达到显著水平 ($P < 0.05$). BIO 处理的 AWCD 值有高于 OF 处理的趋势,但差异未达显著水平.这说明生物有机肥和精制有机肥均能显著地提高烤烟根际微生物的代谢活性,提高其利用碳源的能力.

2.2.2 微生物不同类型碳源利用能力 用不同类型碳源平均颜色变化率评价了不同施肥处理烤烟根际微生物对糖类、羧酸类、氨基酸类、胺类、聚合物类和酚类 6 类碳源利用能力的差异(图 3).在化肥减量 20% 的条件下,配施有机肥和生物有机肥均能显著提高烤烟根际微生物对糖类、羧酸类和聚合物类碳源的利用率;对氨基酸类碳源利用率有明显提高的

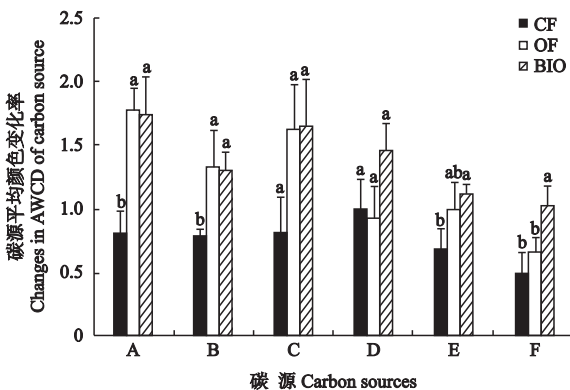


图3 不同施肥处理下烤烟根际微生物对不同类型碳源利用率

Fig. 3 Utility for different types of carbon sources by rhizospheric microbes of flue-cured tobacco under different fertilizer treatments.

A: 糖类 Sugars; B: 羧酸类 Carboxylic acids; C: 氨基酸类 Amino acids; D: 胺类 Amines; E: 聚合物类 Polymers; F: 酚类 Phenols.

趋势,但差异未达显著水平;而对胺类碳源的利用率无显著影响.值得注意的是,BIO 显著提高了微生物利用酚类碳源的能力,较 CF 处理提高了 110.2% ($P = 0.001$),较 OF 处理提高了 54.7% ($P < 0.05$).

2.2.3 微生物碳源利用主成分分析 对不同施肥处理下烤烟根际微生物利用单一碳源特性进行主成分分析,结果如图 4 所示.与烤烟根际微生物碳源利用功能多样性相关的主成分 1 (PC1)、主成分 2 (PC2) 可分别解释变量方差的 82.2% 和 10.2%.因此,根据主成分 1 可比较各处理的微生物群落功能,对每一主成分得分系数与 31 种碳源吸光度值的相关分析结果表明,对 PC1 贡献较大的碳源主要是糖类和羧酸类,而对 PC2 贡献较大的碳源主要为胺类和氨基酸类.不同施肥处理对烤烟根际微生物群落功能的影响差异极显著. CF 处理位于 PC1 和 PC2 的负端,说明常规化肥处理对土壤微生物的碳源利用能力无显著影响. OF 和 BIO 处理均位于 PC1 和 PC2 的正端,二者之间无显著差异.与 CF 处理相比,两者均显著提高了烤烟根际微生物对 PC1 和 PC2 上的主要碳源的利用能力,明显提高了烤烟根际微生物的群落功能.

2.3 不同有机肥对烤烟青枯病的影响

从烤烟青枯病发生情况(图 5)可知,在田间条件下,减量 20% 化肥配施有机肥和生物有机肥处理的青枯病发生及危害程度均显著低于常规化肥处理.与 CF 相比,OF 的青枯病发病率及病情指数分别降低了 4% ($P < 0.05$) 和 8% ($P = 0.011$),BIO 的青枯病发病率及病情指数分别降低了 23% ($P = 0.001$) 和 15.9% ($P = 0.001$).与 OF 相比,BIO 的青枯病发病率及病情指数分别降低了 19% 和 7.9% ($P < 0.01$).可见,生物有机肥的施用能显著降低烤

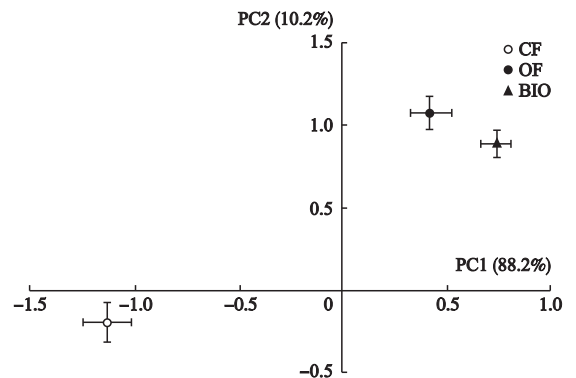


图4 不同施肥处理下烤烟根际微生物群落功能主成分分析
Fig. 4 Principal component analysis of rhizospheric microbial community function of flue-cured tobacco under different fertilizer treatments.

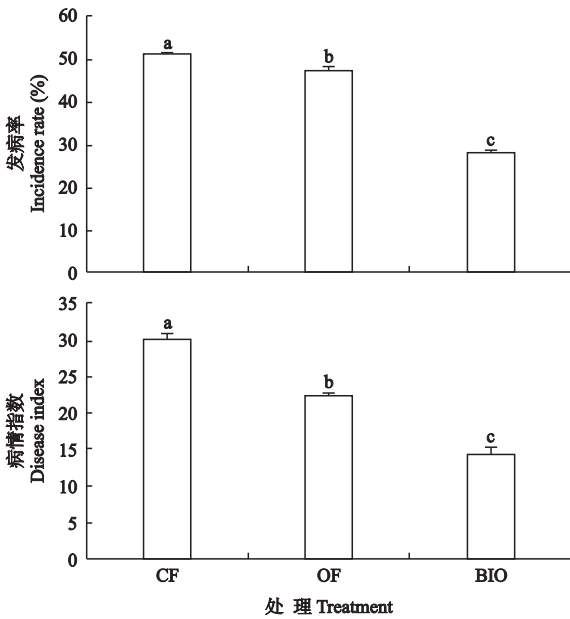


图5 不同有机肥对烤烟青枯病的影响

Fig. 5 Effects of different organic fertilizers on bacterial wilt of flue-cured tobacco.

烟青枯病的发生及危害程度,其表现明显好于精制有机肥。

2.4 不同有机肥对烤烟产量和质量的影响

从表2可以看出,与常规化肥处理相比,减量20%化肥配施有机肥和生物有机肥处理均能显著提高烤烟的上等烟比例,增幅分别为10.5%和9.7%。OF处理虽然显著提高了烤烟的上等烟比例,但是产量较CF显著下降了6.3% ($P < 0.05$),产值也呈现出下降的趋势。与CF相比,BIO的烤烟产量和产值显著提高,增幅分别为9.8%和8.6%,表现出较好的减肥增效作用。可见生物有机肥中的功能微生物对烤烟品质和产量的提高起到了重要的作用。

表2 不同有机肥对烤烟经济指标的影响

Table 2 Effects of different organic fertilizers on economic indicators of flue-cured tobacco

处理 Treatment	产量 Yield ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	产值 Output value ($\text{yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$)	上等烟比例 Proportion of high grade tobacco leaves (%)	上中等烟比例 Proportion of mid-high grade tobacco leaves (%)
CF	2370.3±30.7b	37286.9±533.9b	27.4±1.0b	82.1±1.0a
OF	2221.1±18.3c	34022.1±313.5b	37.9±0.9a	81.6±1.2a
BIO	2602.0±50.1a	40472.1±343.2a	37.1±0.4a	84.1±0.9a

同列数据不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Data with different small letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

3 讨 论

3.1 不同有机肥对烤烟根际土壤微生物的影响

土壤抑病能力最重要的因素是土壤中的微生物

物^[1]。有机类肥料的施用能调整土壤微生物群落结构,提高土壤微生物的物种多样性和功能多样性,从而提高土壤的抑病能力,达到控制土传病害的目的。本试验采用稀释平板计数法和 Biolog-Eco 微平板相结合的方法研究了不同施肥处理烤烟根际微生物的变化。结果表明,在化肥减量20%的条件下,配施精制有机肥和生物有机肥都能增加烤烟根际细菌、放线菌的数量,提高烤烟根际微生物的多样性。这与前人的研究结果一致^[3,11]。土壤中细菌数量的增加有利于土壤养分的转化,能为植物的生长提供良好的环境,而土壤中放线菌数量的增加不仅能促进土壤有机质转化,还能产生抗生素,对植物的土传病原菌起到一定的拮抗作用^[11]。与精制有机肥相比,生物有机肥更能促使细菌、放线菌成为烤烟根际的优势菌群,降低根际真菌的数量,提高土壤微生物的多样性,使根际微生物区系向健康的方向发展,有助于形成抑病型土壤^[11]。Biolog-Eco 微平板测定结果表明,两种商品有机肥可提高土壤微生物利用碳底物的能力,对6类碳源的利用和主成分分析进一步说明了这一结果。这与前人的研究结果一致^[3,8-11]。值得注意的是,生物有机肥显著提高了根际微生物利用酚类碳源的能力,而酚类的增加降低了土壤中氨化细菌的繁殖,是造成连作障碍的原因之一^[9,25]。施用生物有机肥能促进根际微生物利用酚酸类碳源的能力,从而降低土壤中酚酸的积累,可在一定程度上减轻作物的连作障碍^[9]。这可能是生物有机肥降低烤烟土传病害和连作障碍的机制之一。

3.2 不同有机肥对烤烟土传病害控病效果及产量和质量的影响

本研究结果表明,在田间条件下,化肥减量20%配施两种商品有机肥都能使烤烟青枯病的发生情况和危害程度有所下降,以化肥减量配施生物有机肥对烤烟青枯病防治效果最为明显。化肥减量20%配施有机肥和生物有机肥均提高了烤烟的上等烟比例,减量化肥配施精制有机肥虽然提高了烤烟的品质,但产量较常规化肥有所下降。在化肥减量20%的条件下,配施生物有机肥处理获得了比常规化肥处理更高的产量和产值,说明生物有机肥有更好的促生和抑病作用,其原因可能是生物有机肥的施用改善了烤烟根际土壤的微生物区系,提高了根际微生物的代谢活性,促进了土壤中养分的活化和抑病型土壤的形成。生产中若能降低化肥施用量配施生物有机肥,可减少因生产化肥而消耗的大量能源,减轻环境污染,实现农业废弃物的循环利用和农

业的可持续发展^[4,11]. 本研究结果表明,精制有机肥和生物有机肥的效用有一定的相似性,但各有优势,是否可将这两种有机类肥料以不同比例与减量化肥配施,达到更高的产量和更好的控病效果,使减肥增效达到最大化,是下一步研究的重点.

参考文献

- [1] Zhang R-F (张瑞福), Shen Q-R (沈其荣). Characterization of the microbial flora and management to induce the disease suppressive soil. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 2012, **35**(5): 125–132 (in Chinese)
- [2] Zhou Q-X (周启星). *Science of Health Soil: Quality of Health. Soil and Safty of Agricultural Product*. Beijing: Science Press, 2005 (in Chinese)
- [3] Hu K (胡可), Li X-H (李兴华), Lu W-S (卢维盛), et al. Effect of microbial organic fertilizer application on soil microbial activity. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2010, **18**(2): 303–306 (in Chinese)
- [4] Liu X-Y (刘晓燕), Jin J-Y (金继运), Ren T-Z (任天志), et al. Potential of organic manures nutrient resources and their environmental risk in China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(8): 2092–2098 (in Chinese)
- [5] Ye X-F (叶协锋), Zhang Y-J (张友杰), Lu X-M (鲁喜梅), et al. Research advance on relationship between the soil microbes and soil nutrition. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2009, **40**(6): 237–239 (in Chinese)
- [6] Lin X-G (林先贵), Hu J-L (胡君利). Scientific connotation and ecological service function of soil microbial diversity. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2008, **45**(5): 892–899 (in Chinese)
- [7] Zhang SS, Raza W, Yang XM, et al. Control of *Fusarium* wilt disease of cucumber plants with the application of a bio-organic fertilizer. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, **44**: 1073–1080
- [8] Li S-H (李胜华), Gu L-P (谷丽萍), Liu K-X (刘可星), et al. Effects of combined application of organic fertilizers on the control of soil borne diseases and the regulation of soil microbial diversity. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2009, **15**(4): 965–969 (in Chinese)
- [9] Yang Y-H (杨宇虹), Chen D-M (陈冬梅), Jin Y (晋艳), et al. Effects of different fertilizer on functional diversities of microbial flora in rhizospheric of monoculture tobacco. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2011, **37**(1): 105–111 (in Chinese)
- [10] Zhang Z-H (张志红), Feng H (冯宏), Xiao X-Z (肖相政), et al. Influence of bio-fertilizers on control of banana wilt disease and soil microbial diversity. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2010, **27**(4): 575–579 (in Chinese)
- [11] Yuan Y-Y (袁英英), Li M-Q (李敏清), Hu W (胡伟), et al. Effect of biological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microorganism. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), 2011, **30**(7): 1344–1350 (in Chinese)
- [12] Zhu Z (朱震), Chen F (陈芳), Xiao T-J (肖同建), et al. Controlling effect of antagonist bioorganic fertilizer on tomato root-knot nematode. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(4): 1033–1038 (in Chinese)
- [13] Weller DM, Raaijmakers JM, Gardener BBM, et al. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 2002, **40**: 309–348
- [14] Van Elsas JD, Costal R, Jansson J, et al. The metagenomics of disease-suppressive soils; Experiences from the METACONTROL project. *Trends in Biotechnology*, 2008, **26**: 591–601
- [15] Li H-X (李洪勋). Research advance on relationship between the organic fertilizers and tobacco. *Soil and Fertilizer Sciences in China* (中国土壤与肥料), 2007(1): 5–12 (in Chinese)
- [16] Xiao X-Z (肖相政), Liu K-X (刘可星), Zhang Z-H (张志红), et al. Effect of biological organic fertilizer on flue-cured tobacco growth and defensive-related enzymes activity. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2010, **25**(1): 175–179 (in Chinese)
- [17] Ren X-L (任小利), Wang L-P (王丽萍), Xu D-B (徐大兵), et al. Effects of application of rapeseed cake compost combined with chemical fertilizer on the yield and quality of flue-cured tobacco and soil microorganism. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 2012, **35**(2): 92–98 (in Chinese)
- [18] Peng Z-L (彭智良), Huang Y-J (黄元炯), Liu G-S (刘国顺), et al. Effects of different organic fertilizer on soil microbe and hence quality and yield of tobacco leaves. *Acta Tabacaria Sinica* (中国烟草学报), 2009, **15**(2): 41–45 (in Chinese)
- [19] Chen Q-L (陈巧玲), Hu J (胡江), Wang H-C (汪汉成), et al. Effects of bio-organic fertilizer application on population of *Ralstonia solanacearum* and *Brevibacillus brevis* in tobacco rhizosphere. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 2012, **35**(1): 75–79 (in Chinese)
- [20] Xu J-Q (徐健钦), Xu Z (徐智), Song J-Q (宋建群), et al. Effects of different organic fertilizer on growth, yield, quality and bacterial wilt of flue-cured tobacco. *Journal of Yunnan Agricultural University* (云南农业大学学报), 2013, **28**(1): 133–138 (in Chinese)
- [21] State Tobacco Monopoly Bureau (国家烟草专卖局). National Standard of Flue-cured Tobacco. GB 2635–1992. Beijing: China Standards Press, 2004 (in Chinese)
- [22] The Standardization Administration of the People's Republic of China (中国国家标准化管理委员会). The Tobacco Diseases and Pests Classification and Research Method. GB/T 23222–2008. Beijing: China Standards Press, 2009 (in Chinese)
- [23] Lin X-G (林先贵). *Soil Microbial Research Principles and Methods*. Beijing: Higher Education Press, 2010: 362–364 (in Chinese)
- [24] Yao H-Y (姚槐应), Huang C-Y (黄昌勇). *Soil Microbial Ecology and Experimental Technology*. Beijing: Science Press, 2006: 166–169 (in Chinese)
- [25] Zhang S-X (张淑香), Gao Z-Q (高子勤), Liu H-L (刘海玲), et al. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology. III. Soil phenolic acids and their biological effect. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, **11**(5): 102–105 (in Chinese)

作者简介 张云伟,男,1989年生,硕士研究生.主要从事植物营养与土壤微生物研究. E-mail: zyw525448326@126.com

责任编辑 张凤丽