

生物有机肥对烤烟黑胫病及根际微生物代谢功能多样性的影响

张云伟¹, 徐智¹, 汤利¹, 李艳红¹, 宋建群¹, 殷红慧²

1 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201;

2 云南省文山州烟草公司, 文山 663000

摘要: 通过田间小区试验, 比较了施肥处理对烤烟产量、黑胫病以及根际微生物代谢功能多样性的影响。结果表明: 在化肥减量的条件下, 配施生物有机肥能获得与常规化肥处理 (T1) 相近或更高的产量和产值, 并显著提高了烤烟的上等烟比例, 减轻黑胫病的危害。其中, 以化肥减量 20% 配施 0.3 kg/m² 生物有机肥 (T3) 处理表现最好。随着生物有机肥施用量的增加, 烤烟根际细菌、放线菌数量、微生物碳源利用强度、Shannon 指数和 McIntosh 指数均呈现增加的趋势。与 T1 相比, T3 处理的根际放线菌数量和碳源利用强度分别增加了 112.6%、24.3%, 并且 McIntosh 均匀度指数增加了 17.5%。主成分分析表明, 施用生物有机肥明显改变了烤烟根际微生物的群落功能, 相对于糖类和酚类, 氨基酸类、羧酸类、聚合物类、胺类的代谢对生物有机肥的施入更为敏感。与其他两个处理相比, T3 处理明显提高了烤烟根际微生物对氨基酸类、酚类碳源的利用能力。

关键词: 生物有机肥; 烤烟黑胫病; 根际微生物代谢功能多样性; 碳源利用

doi:10.3969/j.issn.1004-5708.2014.05.010

中图分类号: S144.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-5708 (2014) 05-0059-07

Effects of bio-organic fertilizer on flue-cured tobacco black shank and diversity of rhizospheric microbial metabolic function

ZHANG Yunwei¹, XU Zhi¹, TANG Li¹, LI Yanhong¹, SONG Jianqun¹, YIN Honghui²

1 College of Resources and Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2 Yunnan Wenshan Tobacco company, Wenshan 663000, China

Abstract: Field experiment was carried out to compare effects of applying different fertilizers on tobacco yield and quality, black shank and rhizospheric microbial functional diversity. Results showed that applying bio-organic fertilizer with reduced chemicals had a higher or approximately the same yield and quality of tobacco than conventional chemical fertilization (T1). It also increased proportions of high grade tobacco leaves and reduced hazards of black shank significantly. The best effect was found when applying 0.3 kg/m² bio-organic fertilizer with 20% reduction of chemical fertilization (T3). With the rise of application rate of bio-organic fertilizer, the number of bacteria, actinomycetes, carbon utilization intensity, Shannon and McIntosh index increased. As compared with T1, the actinomycetes numbers and carbon utilization intensity of T3 treatment were significantly increased by 112.6% and 24.3% and the McIntosh index was increased by 17.5%. Principal component analysis demonstrated that applying bio-organic fertilizer changed the rhizospheric microbial metabolic function, and metabolism of amino acids, carboxylic acids, polymers and amines was more sensitive to bio-organic fertilizers compared with carbohydrates and phenols. T3 increased capacity of microbes in using carbon source of amino acids and phenols significantly as compared with T1 and T2.

Keywords: bio-organic fertilizer; tobacco black shank; rhizospheric microbial metabolic functional diversity; carbon source utilization

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项基金项目 (201103004、201103003); 国家科技支撑计划项目 (2012BAD14B01)

作者简介: 张云伟 (1989—), 在读硕士研究生, 从事植物营养与土壤微生物研究, Email:zyw525448326@126.com

通讯作者: 汤利 (1964—), 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养与病害控制研究, Email:ltang@ynau.edu.cn

收稿日期: 2013-08-23

土传病害是影响烟叶品质最重要的因素之一。土传病害发生的根本原因是土壤微生物区系和多样性失调,导致土壤中病原菌激增而引发土传病害严重发生^[1]。长期施用化肥可导致土壤肥力下降,同时又使土壤微生态系统失衡,致使土传病害泛滥,大量使用农药等化学药剂又增加了农田生态系统失衡的风险^[2-3]。近20多年来,有机肥与化肥协同施用一直是肥料研究的热门领域。生物有机肥以其调控微生物区系降低土传病害受到国内外肥料研究者的关注^[4-5]。研究证实生物有机肥对番茄^[6-7]、香蕉^[8]、棉花^[9]等作物能改善土壤微生物区系,提高其代谢活性,防治土传病害,并提高农产品产量和品质。

烤烟是我国重要的经济作物。烟草黑胫病是常见的土传真菌性病害。前期研究表明,在田间条件下,与有机肥相比,生物有机肥能提高烤烟烟叶的产量和上中等烟比例,提高烤烟根际微生物的代谢活性,并有效降低青枯病的危害程度^[10-11]。然而通过田间小区试验研究不同比例生物有机肥与减量化肥配施对烤烟

黑胫病及根际微生物代谢功能多样性的影响未见报道。本试验拟通过田间小区试验,研究不同比例生物有机肥对烤烟黑胫病以及根际微生物代谢功能多样性的影响,探讨生物有机肥的控病机制,确定生物有机肥与化肥配施的合理比例,以期为生物有机肥在绿色烤烟生产上的应用及减肥增效提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于2012年5~9月在云南省文山市麻栗坡县大坪镇烟叶收购站试验田(23° 07' 18.1" N 104° 37' 01.0" E)进行。

1.2 试验材料

1.2.1 供试品种与土壤

供试烤烟品种为云烟87,供试土壤基本理化性状见表1。

表1 供试土壤基本理化性质
Tab. 1 Properties of the sampled soil

pH	有机质 / (g/kg)	速效氮 / (mg/kg)	速效磷 / (mg/kg)	速效钾 / (mg/kg)
6.4	27.9	139.8	49.1	177.6

1.2.2 供试肥料

供试化肥为烟草专用肥,其中基肥总养分比例为氮(N)8%、磷(P₂O₅)15%、钾(K₂O)22%,追肥为氮(N)15%、磷(P₂O₅)0%、钾(K₂O)33%;生物有机肥为“爸爱我”烟草专用抗土传病害生物有机肥,由江苏新天地生物肥料工程中心有限公司提供(生物有机肥含有机质≥25%、氮(N)3.2%、磷(P₂O₅)1.4%、钾(K₂O)1.4%、抗病菌种多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)有效活菌数≥0.5亿/g)。

1.3 试验设计

试验共设置3个处理:T1:当地常规施肥(100%NPK化肥);T2:90%NPK化肥+0.15 kg/m²生物有机肥;T3:80%NPK化肥+0.3 kg/m²生物有机肥。3次重复,共计9个小区。每个小区5垄,每垄植烟8株,每个小区种烟40株,株行距为55 cm×120 cm,小区面积29.7 m²,随机区组排列。

当地常规化肥处理(T1)氮肥用量按105 kg N/hm²施入,其中基肥60 kg N/hm²,追肥45 kg N/hm²,总

养分比例为(m(N):m(P₂O₅):m(K₂O)=1:1:2.5,生物有机肥处理的化肥基、追肥在常规化肥(T1)的基础上按相应比例减量施入。生物有机肥做基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。

1.4 取样与分析方法

1.4.1 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^[12]分级后计算上等烟比例。

1.4.2 病害调查

根据文献[13]在脚叶成熟期对烤烟黑胫病进行病害调查并分级,并计算病情指数。

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

1.4.3 土壤取样

于烤烟最后一次采烤结束后采用棋盘采样法选取

采样点, 利用抖土法采集根际土样, 混匀, 用无菌自封袋包装, 立即带回实验室, 放入 4℃ 冰箱保鲜, 用于微生物数量的平板培养和微生物功能多样性分析。

1.4.4 可培养微生物数量的测定

可培养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^[14]。

1.4.5 微生物代谢功能多样性分析

采用 BIOLOG ECO 碳素利用法研究不同处理对烤烟根际土壤微生物代谢功能多样性的影响。具体方法参照文献^[15]。

1.4.6 统计方法

采用 Microsoft Excel 2007 整理后, 用 SPSS11.5

软件进行方差分析 (Duncan 检验法) 和主成分分析 (PCA), 差异显著性水平设为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 生物有机肥对烤烟产质量的影响

从表 2 可以看出, 在田间条件下, 与常规化肥 (T1) 相比, 在化肥减量的条件下配施生物有机肥能显著提高烤烟上等烟比例。产量和产值均呈现出化肥减量 20% 配施 0.3 kg/m² 生物有机肥 (T3) > 化肥减量 10% 配施 0.15 kg/m² 生物有机肥 (T2) > 常规化肥 (T1) 的趋势, 但处理间差异均没有达到统计学意义水平 ($P > 0.05$)。与 T1 相比, T3 处理的上等烟比例显著增加了 12.4% ($P = 0.027$), 与 T2 的差异没有统计学意义。

表 2 不同施肥处理对烤烟经济指标的影响

Tab. 2 Effects of different fertilizer treatment on flue-cured tobacco

处理	产量 / (kg/hm ²)	产值 / (Yuan/hm ²)	上等烟比例 / %
T1	1628.1 ± 348.8a	16423.2 ± 3036.4a	10.4 ± 1.0b
T2	1652.4 ± 109.9a	19295.4 ± 3476.0a	19.3 ± 6.9ab
T3	1840.7 ± 197.1a	21353.6 ± 2037.0a	22.8 ± 5.8a

注: T1:100%NPK 化肥; T2:90%NPK 化肥 + 0.15kg 生物有机肥 / m²; T3:80%NPK 化肥 + 0.3kg 生物有机肥 / m²。同列不标有相同小写字母者表示处理间差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 下同。

2.2 生物有机肥对烤烟黑胫病病情指数的影响

与常规化肥 (T1) 相比, 在化肥减量的条件下, 配施生物有机肥均能显著降低黑胫病病情指数。与 T1 相比, T2 和 T3 处理的黑胫病病情指数分别下降了 7.9% ($P < 0.05$) 和 10.7% ($P = 0.001$)。T2 与 T3 处理间差异没有统计学意义 ($P > 0.05$)。

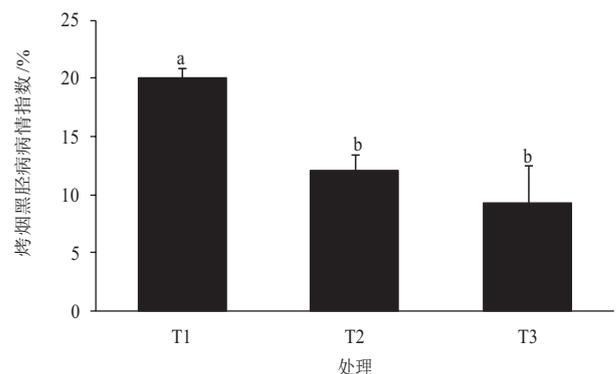
2.3 生物有机肥对烤烟根际可培养微生物数量的影响

从表 3 可以看出, 施用生物有机肥的根际细菌数量呈现出 T3 > T2 > T1 的趋势, 但处理间未达显著差异水平 ($P > 0.05$)。

施用生物有机肥显著提高了烤烟根际放线菌的数量。与 T1 相比, T3 处理的烤烟根际放线菌数量显著增加了 112.6% ($P = 0.01$), 与 T2 处理的差异没有统计学意义 ($P > 0.05$)。

施用生物有机肥的烤烟根际真菌数量变化不大,

T2 处理根际真菌数量较 T1 有一定增加的趋势, T3 处理与 T1 处理真菌数量基本一致, 处理间没有统计学意义 ($P > 0.05$)。



注: 不标有相同小写字母这表示各处理之间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

图 1 不同施肥处理对烤烟黑胫病影响

Fig. 1 Effects of different fertilizer treatment on black shank

表3 不同处理对烤烟根际土壤细菌、放线菌、真菌的影响
Tab. 3 Effects of different treatment on rhizospheric bacterium, actinomycetes and fungus

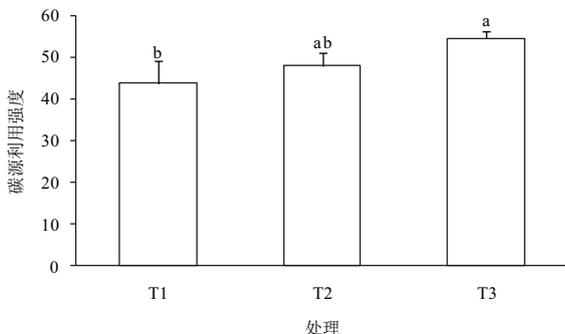
处理	细菌数量 (10^6 CFU/g)	放线菌数量 (10^5 CFU/g)	真菌数量 (10^3 CFU/g)
T1	9.2±2.0 a	20.3±8.2b	62.0±12.6a
T2	10.6±2.8a	35.1±4.2ab	65.4±21.3a
T3	13.3±1.7a	43.2±5.0a	60.9±18.0a

注: 不标有相同小写字母者表示各处理之间差异有统计学意义 ($P<0.05$)。

2.4 生物有机肥对烤烟根际微生物代谢功能多样性的影响

2.4.1 生物有机肥对烤烟根际微生物总的碳源利用强度的影响

图2是以ECO微平板培养120h的碳源利用强度评价了不同处理的烤烟根际微生物的代谢活性。从图2可以看出,生物有机肥对烤烟根际微生物碳源利用活性有显著影响。与常规化肥(T1)相比,T3处理的碳源利用强度提高了24.3% ($P=0.01$)。T2处理 ($P>0.05$)。



注: 不标有相同小写字母这表示各处理之间差异有统计学意义 ($P<0.05$)。

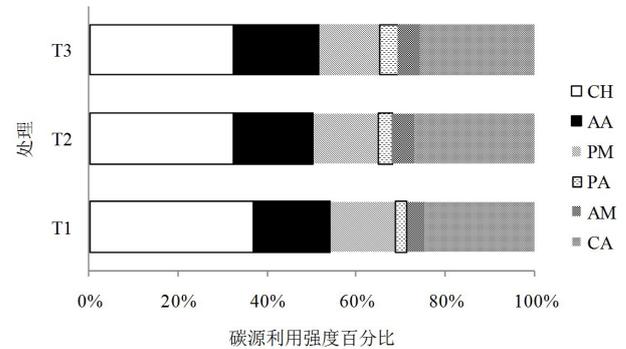
图2 不同施肥处理下的碳源利用强度

Fig. 2 Carbon source utilization under different fertilizer treatment

2.4.2 生物有机肥对烤烟根际微生物6类碳源利用能力的影响

从不同处理碳源利用强度百分比(图3)来看,不同处理的烤烟根际微生物碳源利用强度中以糖类、氨基酸类、羧酸类、聚合物类的利用比例较高,以酚类和胺类的利用比例较低。与常规化肥处理(T1)相比,配施生物有机肥处理根际微生物的糖类碳源的利用强度百分比均下降了4.4%。与T1相比,化肥减量20%配施0.3kg/m²生物有机肥处理(T3)的氨基酸类和酚

类碳源的利用强度百分比分别增加了2.1%和1.3%。

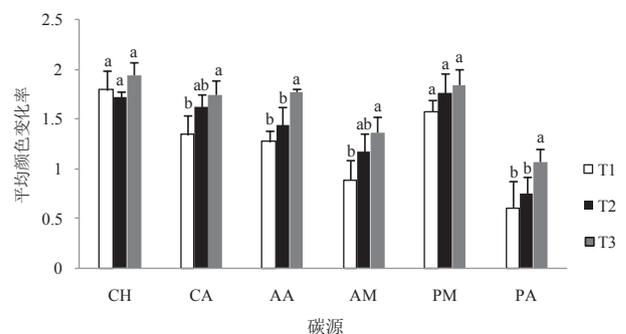


注: CH: 糖类; CA: 羧酸类; AA: 氨基酸类; AM: 胺类; PM: 聚合物; PA: 酚类。

图3 不同施肥处理在Biolog-ECO板上的碳源利用强度百分比

Fig. 3 The percentage of carbon source utilization intensity on Biolog-ECO under different fertilizer treatment

图4是以不同类型碳源的AWCD值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。总体来说,除糖类和聚合物无显著差异外,施用生物有机肥的烤烟根际微生物对其他类碳源的利用能力均呈现增加的趋势。施用生物有机肥显著提高了烤烟根际微生物对羧酸类、胺类碳源的利用能力。与常规化肥(T1)相比,T3处理的羧酸和胺类碳源的利用能力分别增加了30.1% ($P=0.01$)和54.7% ($P=0.001$),与T2之间没有统计学意义。与常规化肥(T1)相比,在化肥减量20%的条件下配施0.3kg/m²生物有机肥(T3)还显著提高了烤烟根际微生物对氨基酸类、酚类碳源的利用能力,增幅分别达39.6% ($P<0.05$)和77.2% ($P=0.001$)。



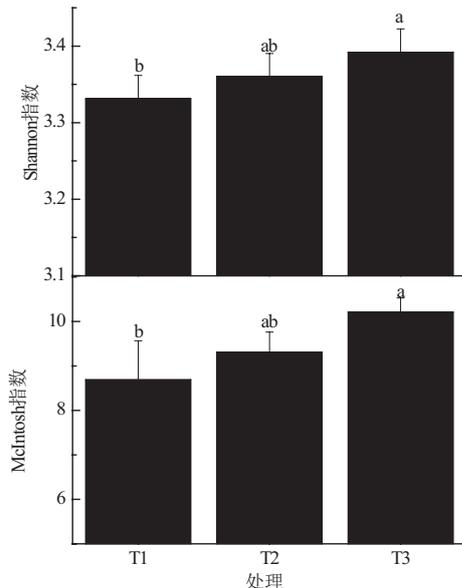
注: 不标有相同小写字母这表示各处理之间差异有统计学意义 ($P<0.05$)。CH: 糖类; CA: 羧酸类; AA: 氨基酸类; AM: 胺类; PM: 聚合物; PA: 酚类。

图4 不同施肥处理下烤烟根际微生物的不同类型碳源利用率

Fig. 4 Carbon source utilization rate of rhizospheric microbial under different fertilizer treatment

2.4.3 烤烟根际微生物群落多样性指数比较

图5是以Shannon多样性指数和McIntosh均匀度指数比较了不同施肥处理的微生物群落结构变化。在减量化肥条件下,配施生物有机肥显著提高了植烟土壤根际微生物多样性指数和均匀度指数。与常规化肥(T1)相比,T3处理的多样性指数和均匀度指数分别增加了2.9%($P<0.05$)和17.5%($P<0.05$)。



注: 不标有相同小写字母这表示各处理之间差异有统计学意义($P<0.05$)。

图5 不同处理土壤微生物群落功能多样性指数

Fig. 5 Functional diversity index of soil microbial group under different treatment

2.4.4 不同处理烤烟根际微生物碳源利用主成分分析

应用主成分分析是根据各种碳源的因子权重值,可清晰地看出各处理在碳源利用上的具体差异,评价引起各处理间土壤微生物群落差异的主要碳源。通过主成分分析可以在降维后的主元向量空间中,用点的位置直观地反映出不同土壤微生物群落功能多样性变化^[22]。应用主成分分析(PCA)从31个变量中提取2个主成分因子,第1主成分(PC1)和第2主成分(PC2)分别可以解释所有变量的62.38%和37.62%,2个主成分累计方差贡献率达到100%,可以以2个主成分表征原来31个变量的特征。因此,取2个主成分(PC1

和PC2)得分作图来表征微生物群落碳源代谢特征(图6)。

从图6可以看出,各处理间的碳源利用得分差异明显,分别位于不同的三个象限。施用生物有机肥(T2,T3)处理在PC1上的得分较高,即位于第1,4象限;常规化肥处理(T1)在PC1和PC2上的得分均较低,位于第2象限。T3处理在PC1和PC2上的得分均较高,位于第1象限,表明T3处理对PC1和PC2上的主要碳源均影响较大。此外,T2和T3处理在PC1上的得分均为正值,而T1处理在PC1上的得分为负值,表明PC1上的碳源是区分施用生物有机肥的敏感碳源;T1处理在PC2上的得分近似为“0”,T2在PC2上的得分为负值,而T3在PC2上的得分为正值,表明PC2上的碳源是区分生物有机肥施用量的敏感碳源。

主成分得分系数与单一碳源光密度值的相关分析结果(表4)表明,糖类在PC1和PC2上的相关性均较高(系数 >0.8),且PC1和PC2上的碳源均为3个;氨基酸类、羧酸类、聚合物类、胺类在PC1上相关性较高的碳源均多于与PC2相关性较高的碳源个数;酚类在PC1上相关性较高的碳源与PC2相等。表明氨基酸类、羧酸类、聚合物类、胺类这4类碳源是区分施用生物有机肥的敏感碳源,而糖类、酚类这2类碳源是区分生物有机肥施用量的敏感碳源。

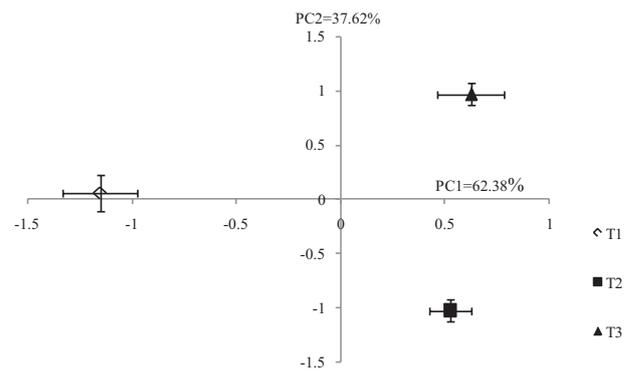


图6 不同施肥处理对烤烟根际微生物群落功能主成分分析

Fig. 6 Analysis of main content of rhizospheric microbial group under different fertilizer treatment

表4 ECO微孔板中与PC1和PC2上相关性较高的主要碳源
Tab. 4 Carbon source highly related to PC1 and PC2 on ECO microplate

碳源类别	底物	主成分 1	主成分 2
糖类	D- 木糖	-	0.956
	a-D- 乳糖	0.904	-
	β - 甲基 -D- 葡萄糖苷	-	-
	葡萄糖 -1- 磷酸盐	-	0.809
	D- 纤维二糖	-0.870	-
	N- 乙酰基 -D- 葡萄糖胺	-	0.949
	I- 赤藻糖醇	-	-
	D- 甘露醇	-	-
	D,L-a- 甘油	0.886	-
	氨基酸类	L- 精氨酸	-
L- 天冬酰胺酸		1.000	-
L- 苯基丙氨酸		-	-
L- 丝氨酸		1.000	-
L- 苏氨酸		0.925	-
甘氨酸 -L- 谷氨酸		0.803	-
聚合类		a- 环状糊精	0.964
	肝糖	0.990	-
	吐温 40	0.984	-
	吐温 80	-	0.992
酚类	2- 羟苯甲酸	0.858	-
	4- 羟基苯甲酸	-	0.807
胺类	苯乙基胺	0.940	-
	腐胺	0.932	-
羧酸类	D- 半乳糖醛酸	0.835	-
	D- 氨基葡萄糖酸	0.989	-
	D- 半乳糖酸 - γ - 内酯	-	0.982
	r- 羟基丁酸	0.971	-
	衣康酸	0.810	-
	a- 丁酮酸	0.961	-
	D- 苹果酸	0.973	-
	丙酮酸甲酯	-	0.958

注：相关系数 > 0.8 或 < -0.8。

3 结论与讨论

3.1 生物有机肥对烤烟产质量的影响

作物的产量与品质与土壤中的有效营养元素密切相关^[16-17]。由于有机(类)肥料原料来源丰富,不同有机肥料的养分含量也各不相同,因此有机(类)肥料替代部分化肥需要确定合适的替代比例^[5,18]。有研究表明,有机肥替代50%化肥能获得与单施化肥相当甚至更高的水稻产量^[19-20]。也有研究表明,随着有机肥替代无机肥纯氮比例(20%~40%)的增加,烤烟产量反而有所下降^[21]。本研究结果表明,在化肥减量20%的条件下,配施生物有机肥能提高烤烟的上等烟比例,且降低烤烟黑胫病的危害程度,以减量20%的化肥配施0.3kg/m²生物有机肥表现最好。有机(类)肥料替代化肥的最适比例因作物种类与品种、土壤类型和肥料种类的差异而有所不同,要确定一个最适比例是很困难的。尤其是这一比例是否能适应长期定位试验,还有待进一步验证。

3.2 生物有机肥对烤烟根际微生物数量及碳源利用能力的影响

本研究结果表明,随着生物有机肥施用量的增加,烤烟根际细菌和放线菌数量都呈现明显增加的趋势,且真菌的数量能维持在一个低的水平。作物对土传病害的抗性与根际土壤微生物关系密切。目前很多学者认为,对土传病害的抑制在一定程度上是土壤微生物群体的作用^[22],根际土壤中的细菌及放线菌是生物防治的贡献者,通过它们对病原菌的拮抗作用抑制或直接杀死病原菌的菌丝及孢子^[1,23]。土壤中细菌和放线菌密度是土壤的生物活性的重要指标,而土壤真菌密度上升是地力衰竭的标志之一^[23-24]。随着生物有机肥替代化肥比例的增加,有利于促进细菌、放线菌成为土壤微生物群落中的优势群体,又稳定真菌数量,这可能是生物有机肥控制烤烟土传病害的重要机制之一。

很多研究表明,土壤微生物群落的代谢活性与作物发病情况有较好的一致性^[6,23]。随着生物有机肥替代化肥比例的增加,烤烟根际微生物群落的代谢活性也呈现出增加的趋势,这与烤烟黑胫病病情指数下降的趋势相吻合。其原因可能是生物有机肥的施用使得有益微生物的碳源利用强度增加,与土传病原菌形成“营养竞争”,从而使病原菌得不到足够的营养物质进而不能大量繁殖^[24]。在化肥减量的条件下,配施生物有机肥降低了糖类碳源在烤烟根际微生物总的碳源利用强度中的百分比,董艳^[25]等研究认为糖类碳源的利用强度降低是施氮增加蚕豆枯萎病抗性的机制

之一。因此,这也可能是生物有机肥控制黑胫病的重要机制之一。生物有机肥施用量的增加还显著提高了烤烟根际微生物的Shannon指数和McIntosh均匀度,促进了烤烟根际微生物区系向健康的方向转变。这对于增加烤烟对黑胫病的抗性有着重要意义。

BIOLOG主成分分析表明,施用生物有机肥的敏感碳源是氨基酸类、羧酸类、聚合物类、胺类,说明施用生物有机肥能够提高烤烟根际微生物对这4类碳源的利用能力。有研究认为,天冬酰胺、苯丙氨酸、苏氨酸、精氨酸能够促进尖孢镰刀菌孢子萌发和菌丝生长^[1]。因此,施用生物有机肥提高了根际微生物对氨基酸类碳源的利用能力可能对降低黑胫病病情指数有一定作用。而糖类、酚类这2类碳源是区分生物有机肥施用量的敏感碳源,即随着生物有机肥施用量的增加,烤烟根际微生物利用酚类的能力也呈现显著增加的趋势。烟草土壤酚类物质的积累可能是导致烟草连作障碍的原因之一,而施用生物有机肥可促进土壤中以酚类为碳源的微生物类群的繁殖,可在一定程度上减轻烟草连作障碍^[23],这可能是生物有机肥施用量增加能减轻烤烟黑胫病危害程度的重要机制之一。

参考文献

- [1] Ren L X, Su S M, Yang X M, et al. Intercropping with aerobic rice suppressed Fusarium wilt in watermelon. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008,40:834-844.
- [2] Ling N, Xue C, Huang Q W, et al. Development of a mode of application of bioorganic fertilizer for improving the biocontrol efficacy to Fusarium[J]. *BioControl*, 2010, 55:673-683.
- [3] 胡可,李华兴,卢维盛,等.生物有机肥对土壤微生物活性的影响[J].*中国生态农业学报*.2010,18(2):303-306.
- [4] 杨兴明,徐阳春,黄启为,等.有机(类)肥料与农业可持续发展及生态环境保护[J].*土壤学报*,2008,45(5):925-932.
- [5] 何萍,金继运,等.集约化农田节肥增效理论与实践[M].北京:科学出版社,2012:239-241.
- [6] 李胜华,谷丽萍,刘可星.有机肥配施对番茄土传病害的防治及土壤微生物多样性的调控[J].*植物营养与肥料学报*,2009,15(4):965-969.
- [7] 袁英英,李敏清,胡伟,等.生物有机肥对番茄青枯病的防效及对土壤微生物的影响[J].*农业环境科学学报*.2011,30(7):1344-1350.
- [8] 张志红,冯宏,肖相政,等.生物肥防治香蕉枯萎病及对土壤微生物多样性的影响[J].*果树学报*.2010,27(4):575-579.
- [9] Luo J, Ran W, Hu J, et al. Application of Bio-Organic Fertilizer Significantly Affected Fungal Diversity of Soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*.2010, 74(6):2039-2048.
- [10] 徐健钦,徐智,宋建群,等.不同有机肥对烤烟生长发育、产质量及青枯病的影响[J].*云南农业大学学报*.2013,28(1):133-138.

3 结论

(1) 川北烟区植烟土壤有机质含量总体均有中等程度的空间变异性。元坝区土壤中 54.62% 的土壤处于较缺乏水平以上, 宜增加有机肥的施用。旺苍县 52.19% 的土壤全氮处于较偏高水平以上, 宜合理控制氮肥的施入量。

(2) 研究区土壤有机质与全氮含量相关系数为 0.856, 土壤有机质和全氮块金系数分别为 0.617 和 0.720, 其变异受地形地貌、土壤质地和土壤类型等结构因素影响较大。

(3) 川北植烟土壤有机质和全氮空间分布差异明显, 影响因素主要由海拔高度、土壤质地和土壤类型构成, 研究区区域应根据三个主要因素及相应的影响程度, 合理调控有机肥与氮肥的施肥比例。

参考文献

- [1] 李湘伟. 闽北烟区气候及土壤养分对烤烟内在品质形成的影响研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012 (6).
- [2] 曹志洪, 周健民. 中国土壤质量 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 赵明松, 张甘霖, 李德成, 等. 江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素 [J]. 生态学报, 2013, 33 (6): 5058-5066.
- [4] 张生杰, 黄元炯, 任庆生, 等. 氮素对不同品种烤烟叶片衰老、光和特性及产量和品质的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (3): 668-674.
- [5] 李春俭, 张福锁, 李文卿, 等. 我国烤烟生产中的氮素管理及其与烟叶品质的关系 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (2): 331-337.
- [6] 张建杰, 张强, 杨治平, 等. 山西临汾盆地土壤有机质和全氮的空间变异特征及其影响因素 [J]. 土壤通报, 2010, 41 (4): 839-844.
- [7] 赵明松, 张甘霖, 李德成, 等. 苏中平原南部土壤有机质空间变异特征研究 [J]. 地理科学, 2013, 33(1): 83-88.
- [8] 李雪利, 叶协锋, 顾建国, 等. 土壤 C/N 比对烤烟碳氮代谢关键酶活性和烟叶品质影响的研究 [J]. 中国烟草学报, 2011, 17 (3): 32-36.
- [9] 陶德欣. 四川省烤烟区烤烟质量区域特征研究 [D]. 四川: 四川农业大学, 2011 (6).
- [10] 陈云. 广元土壤养分状况与烤烟生长和化学成分的关系 [D]. 四川: 四川农业大学, 2012 (6).
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [13] 王玮明. 基于 GIS 的地统计学方法在土壤科学中的应用 [J]. 农业资源与环境科学, 2007, 5(23): 404-408.
- [14] 烟草种植区划协作组. 全国烟草种植区划报告 [M]. 北京: 轻工业出版社, 2009.
- [15] 曾庆宾, 袁家富, 彭成林, 等. 攀枝花市植烟土壤养分状况评价 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51 (2): 243-246.
- [16] 赵业婷, 常庆瑞, 李志鹏, 等. 渭北台塬区耕地土壤有机质与全氮空间特征 [J]. 农业机械学报, 2014 (08): 201-206.
- [17] 郭永龙, 毕如田, 王瑾, 等. 华北典型山区忻州不同小生境坡耕地土壤肥力特征 [J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 205-208.
- [18] 张倩, 王昌全, 李冰, 等. 攀西植烟土壤有机质和全氮空间变异性研究 [J]. 核农学报, 2013, 27 (4): 0501-0508.
- [19] 邢喆, 黄标, 董成森, 等. 江苏省沭阳县农田土壤有机质和全氮的时空差异及其影响因素 [J]. 土壤, 2013, 45 (3): 405-411.
- [20] 李菊梅, 徐明岗, 秦道珠, 等. 有机肥无机肥配施对稻田氨挥发和水稻产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 51-56.
- [21] 张新要, 姜占省, 李天福, 等. 不同饼肥用量和氮素形态配比对烤烟产质量的影响 [J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 867-870.
- [22] 张瑞福, 沈其荣. 抑病型土壤的微生物区系特征及调控 [J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 125-132.
- [23] 杨宇虹, 陈冬梅, 晋艳, 等. 不同肥料种类对连作烟草根际土壤微生物功能多样性的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37(1): 105-111.
- [24] Irikiin Y, Nishiyama M, Otsuka S, et al. Rhizobacterial community-level sole carbon source utilization pattern affects the delay in the bacterial wilt of tomato grown in rhizobacterial community model system. Applied Soil Ecology, 2006, 34: 27-32.
- [25] 董艳, 杨智仙, 董坤, 等. 施氮水平对蚕豆枯萎病和根际微生物代谢功能多样性的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(4): 1101-1108.

[上接第 65 页]

- [11] 张云伟, 徐智, 汤利, 等. 不同有机肥对烤烟根际微生物的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2551-2556.
- [12] 国家烟草专卖局. 烤烟国家标准 GB2635-1992[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [13] 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, 2009.
- [14] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 362-364.
- [15] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其试验技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 166-169.
- [16] Garland J L. Analysis and interpretation of community-level physiological profiles in microbial ecology. FEMS Microbiology Ecology, 1997, 24: 289-300.
- [17] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants[M]. London: Academic Press, ed. 2, 1995: 483-503.
- [18] 任小利, 王丽萍, 徐大兵, 等. 菜粕堆肥与无机肥配施对烤烟产量和品质以及土壤微生物的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(2): 92-98.
- [19] 管建新, 王伯仁, 李东初. 化肥有机肥配合对水稻产量