

## 有机无机肥配施对烤烟根际微生物代谢功能多样性以及产质量的影响

向羽, 唐韵, 陈文杰, 丁易金, 牟毅 (湖北中烟工业有限责任公司, 湖北恩施 445000)

**摘要** 为探究有机无机肥配施对烤烟根际微生物活性与产质量的影响, 系统分析了腐熟菜籽饼肥和复合肥配施对烤烟农艺性状、叶绿素值、根际微生物代谢功能多样性以及经济性状的影响。结果表明, 处理 T2(腐熟菜籽饼肥 675 kg/hm<sup>2</sup> 与复合肥 450 kg/hm<sup>2</sup> 配施) 能够显著促进烟株生长与茎围, 分别比对照高 8.17、0.21 cm; 且有利于提高烤烟根际土壤微生物对氨基酸、聚类化合物碳源的利用能力, 代谢功能多样性指数 Simpson 指数与丰富度指数显著高于其他处理; 其次, T2 处理后烤烟成熟期的上中下叶位叶绿素含量, 以及整个生育期与对照无显著差异, 对烟叶的落黄成熟没有推迟效应。进一步对产质量统计表明, T2 处理能够显著提高产量、产值, 较常规施肥分别提升了 282 kg/hm<sup>2</sup>、14 028.90 元/hm<sup>2</sup>。因此, 腐熟菜籽饼肥 675 kg/hm<sup>2</sup>+复合肥 450 kg/hm<sup>2</sup> 为最佳配比, 能够增加土壤生物活性, 提高烟叶产质量与可用性。

**关键词** 有机无机肥; 根际微生物; 功能多样性; 农艺性状; 产质量

中图分类号 S572 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)03-0147-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.03.039



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Metabolic Function Diversity of Rhizosphere Microorganisms and Yield of Flue-cured Tobacco

XIANG Yu, TANG Yun, CHEN Wen-jie et al (China Tobacco Hubei Industrial LLC, Enshi, Hubei 445000)

**Abstract** In order to explore the effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on rhizosphere microbial activity and yield and quality of flue-cured tobacco, the combined application of decomposed rapeseed cake fertilizer and compound fertilizer on the agronomic characteristics, chlorophyll value, rhizosphere microbial metabolic function diversity and economy of flue-cured tobacco was systematically analyzed. The results showed that treatment T2 (675 kg/hm<sup>2</sup> of decomposed rapeseed cake fertilizer and 450 kg/hm<sup>2</sup> of compound fertilizer) could significantly promote tobacco plant growth and stem robustness, which were 8.17 and 0.21 cm higher than those of the control, respectively; also, it improved the carbon source utilization capacity of flue-cured tobacco rhizosphere soil microorganisms, the metabolic functional diversity index Simpson index and richness index were significantly higher than other treatments; secondly, there was no significant difference in the chlorophyll content of upper, middle and lower leaves and the whole growth period of flue-cured tobacco after T2 treatment compared with the control, and the yellowing and ripening of flue-cured tobacco were not delayed. Further yield and quality statistics showed that T2 treatment could significantly increase the yield and output value by 282 kg/hm<sup>2</sup>, 14 028.90 元/hm<sup>2</sup> respectively. Therefore, the best ratio of 675 kg/hm<sup>2</sup> of decomposed rapeseed cake fertilizer and 450 kg/hm<sup>2</sup> of compound fertilizer was beneficial to increase soil biological activity and improve the yield, quality and usability of tobacco leaves.

**Key words** Organic and inorganic fertilizers; Rhizosphere microorganisms; Functional diversity; Agronomic traits; Yield and quality

化学肥料是农田土壤养分的重要来源, 在促进作物生长发育、改善农艺性状和提高产量方面起着重要作用<sup>[1]</sup>。烤烟的产量和质量受土壤肥力的影响。近年来, 烤烟种植中化肥的投入量不断增加, 有效提高了烟草产量, 但也造成了严重的土壤酸化板结, 生物多样性降低, 中微量营养元素缺失或难以利用, 有机质含量下降, 整体土壤的微生物生态失衡, 导致烟草生长发育受阻, 根茎病害发生严重, 烤烟产质量受到严重威胁<sup>[2-4]</sup>。研究表明, 单施化肥会加速土壤酸化板结, 养分单一, 降低土壤微生物群落的丰度和活性<sup>[5]</sup>, 单施有机肥养分含量低, 利用率低, 无法满足作物在生长旺盛时期对养分迫切需求的问题<sup>[6]</sup>。因此, 结合化肥肥效快、肥力猛, 能短期内提供作物生长营养物质和有机肥养分丰富、含量均衡、肥效持久, 可增加土壤有机质含量、土壤有益微生物数量以及提高土壤酶活性等优点, 有机无机肥合理配施成为提高作物产量、品质, 提高土壤肥力的有效手段<sup>[7-9]</sup>。高菊生等<sup>[10]</sup>研究发现有机无机肥配施能加速水稻分蘖、促进水稻生长, 高产稳产; 宋日等<sup>[11]</sup>研究了有机无机肥配施对玉米根系的影响, 发现其可延缓玉米根系器官衰老, 提高

玉米产量; 化肥和有机肥基追肥各半可改善蔬菜农艺性状, 使蔬菜产量提高 103%~219%<sup>[12]</sup>; 有机肥与化肥的适宜比例配施, 可促进烟株对 P、K 的吸收利用, 提高烤烟中磷、钾元素的含量以及烟叶产量和品质<sup>[13-14]</sup>; 武雪萍等<sup>[15]</sup>通过芝麻饼肥与化肥不同比例配施改善了烟草品质。基于此, 笔者针对重庆万州烟区的土壤肥力状况, 系统探究了腐熟菜籽饼肥和复合肥配施对土壤微生物多样性以及烟叶产质量的影响, 以期当地优质烤烟的生产提供技术支撑。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试烤烟品种为云烟 97。供试肥料为腐熟菜籽饼肥、复合肥。

**1.2 试验地概况** 试验地设置在重庆万州主产烟区, 108.0216°E, 30.7290°N, 海拔 820 m 左右。地势平坦, 质地中壤, 肥力中等均匀, 近 2 年未做过肥料试验。4 月 30 日移栽。

**1.3 试验设计** 采用单因素随机区组设计, 设置 4 个处理, 3 次重复, 共 12 个小区。小区面积 66.67 m<sup>2</sup>, 每个小区 110 株烟, 行距 1.2 m, 株距 0.5 m, 设置 2 行保护行。4 个处理的施肥措施: 处理①(CK) 常规施肥; 处理②(T1) 腐熟菜籽饼肥 450 kg/hm<sup>2</sup>, 复合肥 600 kg/hm<sup>2</sup>; 处理③(T2) 腐熟菜籽饼肥 675 kg/hm<sup>2</sup>, 复合肥 450 kg/hm<sup>2</sup>; 处理④(T3) 腐熟菜籽饼肥

**基金项目** 湖北中烟工业有限责任公司科技项目(2020JSYL4ES2C002)。

**作者简介** 向羽(1986—), 男, 湖北恩施人, 农艺师, 从事烟叶生产及烟叶评级研究。

**收稿日期** 2021-05-17

900 kg/hm<sup>2</sup>, 复合肥 300 kg/hm<sup>2</sup>。

#### 1.4 测定项目与方法

**1.4.1 生育期。**按 YC/T 142—1998《烟草农艺性状调查方法》标准,根据田间烟草实际生长情况记录各生育期日期,包括团棵期、初花期、打顶期、中心花开放期、脚叶成熟期、顶叶成熟期和大田全生育期天数。

**1.4.2 农艺性状。**各处理选择有代表性的 20 株烟挂牌标记,按 YC/T 142—1998《烟草农艺性状调查方法》标准,定点定株在烟草成熟期测量记录烟株的农艺性状,主要包括烟株的株高、单株叶片数(片)、茎围、节距、最大叶长和最大叶宽等。

**1.4.3 3个叶位成熟期叶绿素(SPAD值)分析。**在打顶后,使用 SPAD-520 叶绿素仪分别测定每个处理 6 株挂牌标记烟株的上部叶,每片烟叶以主脉为对称的叶基、叶中、叶尖共 6 个点的 SPAD 值,测定部位为叶缘和主脉间的中间部位,测定的 SPAD 值的平均值为该片烟叶的 SPAD 值。

**1.4.4 烟草根际微生物功能多样性检测。**移栽后于旺长期按 5 点取样法,先去掉 0~2 cm 的表土,轻轻抖掉根系外围土壤,取根际表面的土壤样品,用无菌袋密封带回室内备用,每袋取 500 g。每个处理重复 3 次,每个样品取 3 株烟的根际土壤进行混合。

土壤微生物群落功能多样性采用 31 种碳源的 Biolog ECO 微平板法进行测定<sup>[16]</sup>,其中样品处理与测定方法参照

Sala 等<sup>[17]</sup>的方法。Biolog ECO 微平板购自美国 Biolog 公司,采用酶标仪(BIO-TEK Instruments INC, USA)进行测定。

将 Biolog ECO 平板预热到 28 ℃,用排枪取 150 μL 抽取液于各孔中,28 ℃ 恒温培养,在 24、48、72、96、120、144、172 h 用酶标仪进行检测读数,测定波长为 590 nm。微生物代谢强度采用每孔颜色平均变化率 AWCD 来描述。AWCD =  $\sum(C-R)/n$ ,其中 C 为所测的 31 个碳源孔的吸光值, R 为对照孔的吸光值, n 为碳源的数目。土壤微生物群落功能多样性指数计算参照 Kirk 等<sup>[18]</sup>的方法,选取 96 h 的试验结果进行丰富度指数(S)、Shannon 多样性指数(H)、Simpson 指数(D)、MicIntosh 指数的计算。

**1.4.5 烟叶经济效益分析。**采烤结束后按照国家烟叶分级标准分级,统计不同处理产量、产值、均价、上等烟比例等烟叶的主要经济性状指标。

**1.5 数据处理** 采用 SPSS 13.0 进行数据处理与统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 不同施肥处理对烤烟生育期的影响** 调查结果显示,不同施肥处理对试验地烟叶的生育期有一定影响,整个大田生育期对照与 T1、T2 处理一致,但随着腐熟菜籽饼肥施用量的增加,复合肥的减少,尤其 T3 处理(腐熟菜籽饼肥 900 kg/hm<sup>2</sup>, 复合肥 300 kg/hm<sup>2</sup>),烟草中心花开放期推迟,整个大田生育期延长 5 d(表 1)。

表 1 不同施肥处理对烤烟生育期的影响

Table 1 Effects of different fertilization treatments on growth period of tobacco

处理 Treatment	团棵期 Resettling period	初花期 Early flowering period	中心花开放期 Central flower blooming period	脚叶成熟期 Foot leaf maturity period	顶叶成熟期 Top leaf maturity period	大田生育期 Field growth period/d
CK	06-01	06-23	06-28	07-06	08-26	118
T1	06-01	06-23	06-28	07-06	08-26	118
T2	06-01	06-26	07-01	07-01	08-26	118
T3	06-04	06-27	07-03	07-11	08-31	123

**2.2 不同施肥处理对烤烟农艺性状的影响** 对烤烟成熟期株高、单株叶片数、茎围、节距、最大叶长和最大叶宽等进行调查并统计分析,结果见表 2。由表 2 可知,不同施肥处理对云烟 87 的农艺性状均有不同程度的改善和提高,其中株高、单株叶片数、茎围、最大叶长均普遍高于对照组,其中 T2(腐

熟菜籽饼肥 675 kg/hm<sup>2</sup>, 复合肥 450 kg/hm<sup>2</sup>) 处理效果最佳,株高、单株叶片数、茎围、节距、最大叶长分别比对照高 8.17 cm、1 片、0.21 cm、0.38 cm、3.37 cm,表明腐熟菜籽饼肥 675 kg/hm<sup>2</sup>, 复合肥 450 kg/hm<sup>2</sup> 可以促进烤烟根茎的生长,增加茎的粗壮程度。

表 2 不同施肥处理对烤烟农艺性状的影响

Table 2 Effects of different fertilization treatments on agronomic traits of tobacco

处理 Treatment	株高 Plant height cm	单株叶片数 Leaf number per plant	茎围 Stem circumference cm	节距 Pitch cm	最大叶长 Length of maximum leaf/cm	最大叶宽 Width of maximum leaf/cm
CK	98.43	18.00	8.19	6.05	72.14	35.27
T1	102.30	18.33	8.37	6.04	75.33	34.83
T2	106.60	19.00	8.40	6.43	75.51	37.63
T3	104.43	19.00	8.35	6.19	75.81	37.50

**2.3 不同施肥处理对土壤根际微生物代谢功能的影响** 对不同配肥处理对根际土壤微生物碳源利用能力进行测定,结果见图 1。由图 1 可知,土壤微生物群落利用碳源量逐渐增

加,代谢活性增强,在培养前的 24 h AWCD 值较小,各处理之间无显著差异,说明碳源利用较少,24 h 后表现出明显的上升趋势,144 h 之后 AWCD 值变化趋于平缓。各处理土

壤微生物对单一碳源利用强度表现为  $T2 > T1 > T3 > CK$ , 其中  $T2$  处理后的土壤微生物 AWCD 值明显高于 CK, 存在显著差异。

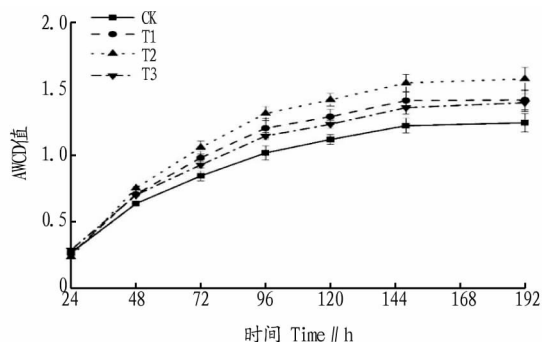
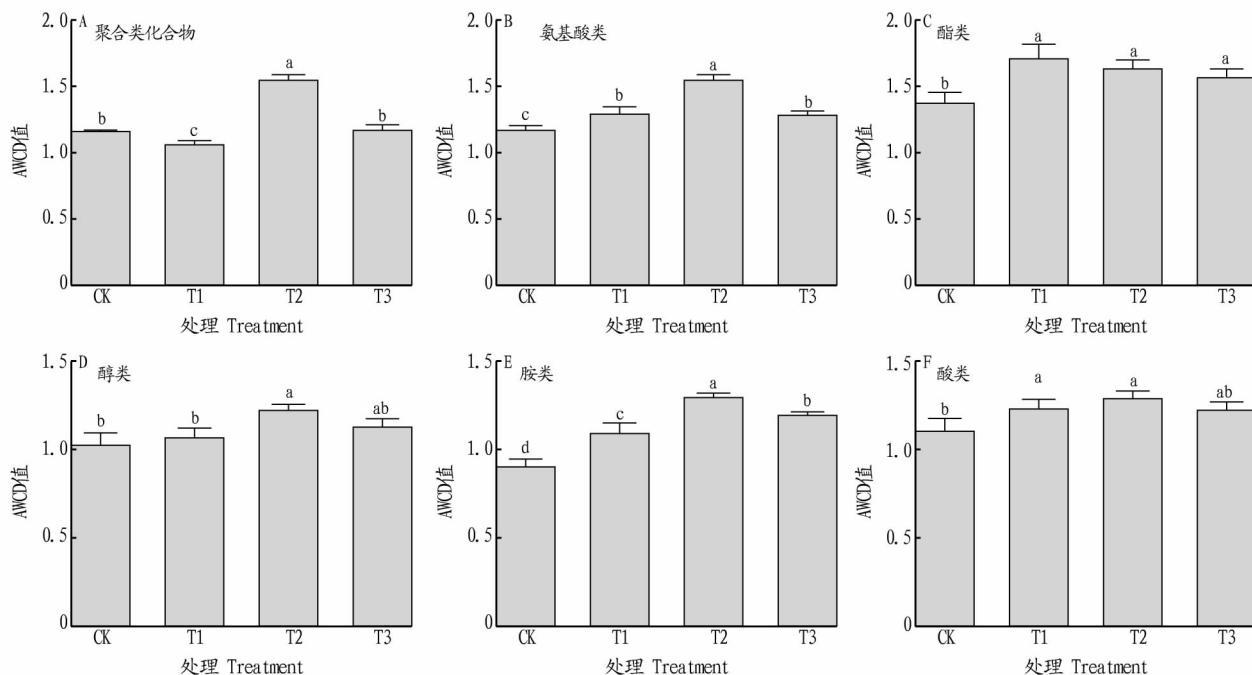


图1 不同处理烟株根际土壤微生物利用碳源的平均颜色变化率  
Fig.1 Average AWCD for tobacco rhizosphere microbes using different carbon sources of soil

对ECO板上的31种碳源分成6种,即聚合类化合物、氨



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 at 0.05 level

图2 不同处理烟株根际微生物对六大类碳源的利用能力

Fig.2 Utilization of six carbon sources by tobacco rhizosphere microorganisms under different treatments

表3 不同处理对烤烟根际微生物代谢功能多样性指数的影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on metabolic functional diversity index of rhizosphere microorganisms

处理 Treatment	Shannon 指数 (H)	Simpson 指数 (D)	丰富度指数 (S)	MicIntosh 指数 (U)
CK	3.23±0.03 b	0.920±0.001 b	26.33±0.67 b	1.78±0.07 b
T1	3.39±0.01 a	0.930±0.002 b	28.00±0.58 ab	2.20±0.02 a
T2	3.44±0.03 a	0.950±0.001 a	28.80±0.30 a	2.32±0.03 a
T3	3.38±0.02 a	0.930±0.002 b	27.67±0.38 b	1.93±0.03 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 indicated significant difference between different treatments at 0.05 level

基酸类、酯类、醇类、胺类、酸类,并将每类碳源进行分析,结果见图2。由图2可知,菜籽饼肥施配后能够显著提高土壤微生物对氨基酸类、酯类、胺类碳源的利用(图2B、C、E),与对照存在显著差异( $P < 0.05$ )。尤其  $T2$  处理(腐熟菜籽饼肥  $675 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 复合肥  $450 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )能够显著促进微生物对聚合类化合物、醇类、酸类碳源的利用(图2A、D、F),明显高于其他3个处理。

进一步对 Shannon 多样性指数、Simpson 指数、MicIntosh 指数、丰富度指数进行分析,发现  $T2$  处理最优。 $T2$  处理的 Shannon 指数 ( $3.44 \pm 0.03$ )、Simpson 指数 ( $0.950 \pm 0.001$ )、丰富度指数 ( $28.80 \pm 0.30$ )、MicIntosh 指数 ( $2.32 \pm 0.03$ ) 均显著高于 CK(表3)。

2.4 不同施肥处理对烤烟3个叶位成熟期 SPAD 值分析 在烤烟打顶后,对不同处理3个叶位的叶绿素值进行测定,结果表明,不同叶位在烟叶成熟期的 SPAD 差别较大,而在4个处理间表现也不同,各个叶位随着腐熟菜籽饼肥施用

量的增加,SPAD 总体呈增加趋势,可能是由于饼肥分解更慢,植株成熟落黄较慢。此外  $T2$ (腐熟菜籽饼肥  $675 \text{ kg}/\text{km}^2$ , 复合肥  $450 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )处理后,与 CK、 $T1$  处理相比,SPAD 值上升较慢,上中下烟叶的 SPAD 分别为 24.4、17.6、12.7,但进一步增加饼肥的用量  $T3$ (腐熟菜籽饼肥  $900 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 复合肥  $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )处理后,其上中下烟叶的 SPAD 值显著上升,不利于后期的烟叶成熟落黄,因此, $T2$  处理较有利于烟叶成熟发育,为最佳处理(表4)。

2.5 不同施肥处理对烤烟经济性状的影响 产量、产值、均价、上等烟比例、中上等烟比例是烟叶的主要经济性状指

标,综合反映了烟叶的质量和经济效益。对不同处理烤后烟叶进行分级,统计其经济性状指标。由表5可知,烤烟的产量、产值、均价、上等烟比例和中上等烟比例等随着腐熟菜籽饼肥施用量的增加呈先增加后降低趋势,以T2最高,较常规施肥,产量、产值、均价分别提升了282 kg/hm<sup>2</sup>、14 028.90元/hm<sup>2</sup>、1.91元/kg,上等烟比例和中上等烟比例提升4.06、4.32百分点。

表5 不同施肥处理对烤烟经济性状的影响

Table 5 Effects of different fertilization treatments on economic traits of tobacco

处理 Treatment	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产值 Production value 元/hm <sup>2</sup>	均价 Average price 元/kg	上等烟比例 The high class leaf rate/%	中上等烟比例 The middle class and superior leaf rate/%
CK	1 797.00	40 087.50	24.12	53.44	93.18
T1	1 803.45	45 681.30	25.33	55.50	93.50
T2	2 079.00	54 116.40	26.03	57.50	97.50
T3	1 898.55	48 033.30	25.30	55.23	93.77

### 3 结论与讨论

适量有机无机肥配施可以改善烟叶农艺性状,提高烤烟营养和生长关键期的养分供应强度以及烟叶的产量和品质。张长华等<sup>[19]</sup>研究发现,有机无机配施显著提高了土壤蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性,烟叶产量和品质最高,中上等烟比例比不施肥和单施化肥分别提高了24.6%和13.2%<sup>[19]</sup>。一定条件下,可以采用30%腐熟菜籽饼有机肥等氮替代烟草复合肥,改善植烟土壤综合肥力,与对照相比,20%腐熟菜籽饼有机肥等氮替代烟草复合肥处理能缩短烤烟生育期,显著提高中部烟叶单叶面积,减少烤烟黑胫病、根黑腐病和根结线虫病的发病率,烤后烟叶中上等烟比例、均价和产值较对照分别提高5.23%、8.57%和5.38%,收益明显增加<sup>[20]</sup>。同时,不同类型有机肥与无机肥配施对烤烟农艺性状、经济性状及品质的影响不同,在农家肥、油枯、氨基酸有机肥、海藻有机肥4种有机肥与无机肥合理配施的田间试验中,氨基酸有机肥与无机肥配施对烤烟株高、茎围、叶面积系数等农艺性状促进效果明显,产量和产值也最高,而在中上等烟叶比例中以油枯处理最高,氨基酸有机肥处理次之<sup>[21]</sup>。因此,为最高效地提升烟草的产量和品质,应选择合适的有机肥和无机肥进行适宜比例的配施。

该研究以腐熟菜籽饼肥与复合肥为材料,研究2种肥料不同量配施对土壤生物活性以及烟叶产值的影响,结果表明,在重庆万州烟区,采用腐熟菜籽饼肥675 kg/hm<sup>2</sup>与复合肥450 kg/hm<sup>2</sup>有利于提高烟田土壤微生物活性,提升烟叶产质量,适合于当地的推广应用。

### 参考文献

[1] 王柏娇. 农业化肥产业发展对生态环境的影响分析研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(10): 177-180.  
[2] 邱岭军, 李亮, 张翔, 等. 有机无机氮肥用量与配比对土壤生物学特性及烟叶品质的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 920-927.

表4 不同施肥处理对烤烟各叶位叶绿素含量的影响

Table 4 Effects of different fertilization treatments on chlorophyll content at different leaf positions of tobacco

处理 Treatment	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf
CK	23.9	16.8	11.2
T1	23.6	16.1	11.9
T2	24.4	17.6	12.7
T3	29.3	21.8	14.5

[3] 卢钰升, 顾文杰, 李集勤, 等. 化肥有机替代对烤烟产质量、土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(16): 22-27.  
[4] 李艳红, 徐智, 汤利, 等. 化肥减量配施生物有机肥对烤烟青枯病及其病原菌的影响[J]. 云南农业大学学报, 2015, 30(4): 612-617.  
[5] VITOUSEK P M, NAYLOR R, CREWS T, et al. Nutrient imbalances in agricultural development[J]. Science, 2009, 324(5934): 1519-1520.  
[6] 李阳波. 施肥对烤烟产质量及土壤微生物的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2015.  
[7] 王玉, 侯玉杰, 付乃峰, 等. 生物有机肥对茶园土壤肥力、养分及土壤环境的影响[J]. 北方园艺, 2011(17): 171-173.  
[8] 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.  
[9] 李维维, 祁国平, 牛永健, 等. 生物有机肥对土壤微生物活性的影响管窥[J]. 资源节约与环保, 2016(6): 268, 271.  
[10] 高菊生, 秦道珠, 刘更另, 等. 长期施用有机肥对水稻生长发育及产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2002, 28(2): 31-33, 38.  
[11] 宋日, 吴春胜, 马丽艳, 等. 有机无机肥料配合施用对玉米根系的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(3): 393-396.  
[12] 黄东风, 王果, 李卫华, 等. 不同施肥模式对蔬菜生长、氮肥利用及菜地氮流失的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 631-638.  
[13] 熊德中, 刘淑欣, 李春英, 等. 有机-无机肥配施对土壤养分和烤烟生育的影响[J]. 福建农业大学学报, 1996, 25(3): 345-349.  
[14] 唐莉娜, 熊德中. 有机无机肥配施对烤烟氮磷钾营养分配及产量和质量的影响[J]. 福建农业学报, 1999, 14(2): 50-55.  
[15] 武雪萍, 朱凯, 刘国顺, 等. 有机无机肥配施对烟叶化学成分和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2005(1): 10-13.  
[16] GAMO M, SHOJI T. A method of profiling microbial communities based on a most-probable-number assay that uses BIOLOG plates and multiple sole carbon sources[J]. Applied and environmental microbiology, 1999, 65(10): 4419-4424.  
[17] SALA M M, PINHASSI J, GASOL J M. Estimation of bacterial use of dissolved organic nitrogen (DON) compounds in aquatic ecosystems using Biolog plates[J]. Aquatic microbial ecology, 2006, 42(1): 1-5.  
[18] KIRK J L, BEAUDETTE L A, HART M, et al. Methods of studying soil microbial diversity[J]. Journal of microbiological methods, 2004, 58(2): 169-188.  
[19] 张长华, 蒋卫, 蒋玉梅, 等. 施肥对烤烟产量、品质及土壤养分、酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(3): 77-80.  
[20] 杨祖恒, 潘义宏, 马显弘, 等. 有机无机肥配施对烤烟品种云烟105产量的影响[J]. 江西农业学报, 2019, 31(6): 58-62.  
[21] 潘兴兵, 陈林, 张文婧, 等. 有机无机肥配施对烤烟农艺性状、经济性状及化学品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(3): 70-74.