

增施不同配比解磷菌、解钾菌生物菌肥对烤烟生长发育和根际土壤酶活性的影响*

刘晓倩¹, 杜杏蓉¹, 谭玉娇¹, 罗奇², 王娜^{1**}

(1. 云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650201; 2. 红塔集团玉溪卷烟厂, 云南玉溪 653199)

摘要:【目的】通过向植烟土壤中增施解磷菌、解钾菌生物菌肥, 明确其对烤烟生长发育和根际土壤酶活性的影响。【方法】采用田间小区试验, 在石林县进行了单独施用解磷菌生物菌肥(T1)、单独施用解钾菌生物菌肥(T2)、混合施用解磷菌、解钾菌生物菌肥(T3)和不施用生物菌肥(CK)处理试验, 分析各处理对烤烟产质量和根际酶活性的影响。【结果】(1)生物菌肥的施用, 尤其是解磷菌、解钾菌肥的混合施用, 使产量和产值分别比对照提高了6.1%和15.1%, 促进了烟株的生长发育, 明显提升了经济效益。(2)生物菌肥能改善烟叶内在化学成分, 使烟叶还原糖和钾元素含量分别提高了35.8%和53.7%。(3)混合施用解磷菌、解钾菌处理使土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶4种生物酶类活性分别比对照提高了40.2%、95.6%、119.4%和29.0%。【结论】适宜的解磷菌、解钾菌生物菌肥的施用是改善烟株营养, 促进烟株生长发育, 增加土壤磷素、钾素供应的有效途径之一。

关键词: 生物菌肥; 解磷菌; 解钾菌; 烤烟; 根际土壤

中图分类号: S 572.062

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X(2019)05-0845-07

The Effects of Different Ratios between Phosphate-solubilizing Bacteria and Potassium-solubilizing Bacteria Fertilizers on the Flue-cured Tobacco Growth and the Enzyme Activities in the Rhizospheric Soil

LIU Xiaoqian¹, DU Xingrong¹, TAN Yujiao¹, LUO Qi², WANG Na¹

(1. College of Tobacco Science, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China;

2. Hongta Group Yuxi Cigarette Factory, Yuxi 653199, China)

Abstract: [Purpose] In order to solve the inadequate supply problem of phosphorus and potassium in tobacco planting soil, the effect of increasing application of different ratios between phosphate-solubilizing bacteria and potassium-solubilizing bacteria fertilizer on the growth and development of flue-cured tobacco, and the enzyme activity in the rhizospheric soil were studied. [Method] Four treatments including application of phosphate-solubilizing bacteria fertilizer (T1), application of potassium-solubilizing bacteria fertilizer (T2), mix application of phosphate-solubilizing bacteria and potassium-solubilizing bacteria fertilizer (T3), and no application of bio-fertilizer (CK) were applied

收稿日期: 2018-03-20

修回日期: 2019-08-16

网络首发时间: 2019-09-30 12:02:44

*基金项目: 中国烟草总公司云南省公司科技计划重点项目(2017YN07)。

作者简介: 刘晓倩(1994—), 女, 云南玉溪人, 学士, 主要从事烟草栽培研究。

E-mail: 1936209760@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 王娜(1979—), 女, 云南楚雄人, 硕士, 副教授, 主要从事烟草栽培研究。E-mail: 383817632@qq.com

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20190930.0936.008.html>



in Shilin County to test their effects on the yield and quality of flue-cured tobacco, and the enzyme activity in the rhizospheric soil at mature stag of flue-cured tobacco. [Results] (1) The application of biological bacterial fertilizer, especially the mixed application of phosphate-dissolving bacteria and potassium-dissolving bacteria, increased the yield and output value by 6.1% and 15.1%, respectively, which promoted the growth and development of tobacco plants and significantly improved the economic benefits. (2) Biological bacterial fertilizer could improve the chemical composition of tobacco leaves, and the content of reducing sugar and potassium in tobacco leaves increased by 35.8% and 53.7%, respectively. (3) The combined application of potassium-dissolving bacteria and phosphate-dissolving bacteria increased the activities of soil hydroxase, urease, invertase and acid phosphatase by 40.2%, 95.6%, 119.4% and 29.0%, respectively. [Conclusion] It is one of the effective ways to improve the nutrition of tobacco plant, promote growth and development, and increase the supply of phosphorus and potassium.

Keywords: bio-fertilizer; phosphate-solubilizing bacteria; potassium-solubilizing bacteria; flue-cured tobacco; rhizospheric soil

磷、钾是烟株生长发育所需的大量营养元素, 土壤中磷、钾元素含量及供应情况对烟草的生长发育、产量及品质的形成有重要影响。云南烤烟种植区主要分布在昆明、曲靖、玉溪、大理、红河、文山、保山、临沧和普洱等地, 但这些地区植烟土壤的磷素养分和钾素养分普遍偏低甚至缺乏, 有效养分不足严重制约着烟草产业的发展^[1-4]。提高土壤中有效养分含量是解决这一问题的主要途径, 而长期、大量工业化肥的施用不仅会增加农业投入成本, 还会使土壤有害物质残留量日趋增加, 土壤肥力下降并破坏土壤微生态环境, 甚至造成水体富营养化, 危害生态安全^[5-6]。

生物菌肥作为生物技术发展的产物和农业生产中的重要肥源, 对作物生长和土壤环境具有重要的影响。生物菌肥内含有特定的活体微生物, 通过其生命活动促进植物对营养元素供应量的吸收, 其作用机理是通过改善土壤的理化特性, 提供作物所需的营养元素, 改善植物对营养的吸收^[7]。不仅如此, 它们还能促进作物生长发育、提高有机质含量、增强植株抗病力等。单一功能菌肥包括固氮菌肥、磷细菌菌肥、解钾菌菌肥和硅酸盐细菌菌肥等^[8-10]。国内外众多学者研究了生物菌肥在豆科、茄科等作物上的应用, 目前在美国、澳大利亚等发达国家 80% 以上的豆科作物种植时都接种根瘤菌剂, 但在中国接种根瘤菌的作物面积不足种植面积的 1%^[11-12]。前人对茄子^[13]、花生^[14]和苹果^[15]等植物的研究表明: 解磷菌肥的适量增

施能够有效提高植株对氮、磷、钾的吸收, 显著提高了作物的产量, 改善了品质; 生物菌肥在烟草上的施用能够改善植烟土壤环境^[16]、促进烟株对钾素的吸收和利用^[17], 从而促进烟株生长发育, 提高产质量^[18]。前人通过向水稻^[19]、番茄^[20]和黄瓜^[21]种植土壤中施入生物菌肥的研究表明: 生物菌肥能够提高脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶等土壤酶活性, 有效改善土壤环境。本研究通过向植烟土壤中增施不同配比的解磷菌、解钾菌生物菌肥, 从烟株和土壤两个角度, 研究其对烤烟产量和品质的形成以及根际土壤酶活性的影响, 以期改善植烟土壤磷素、钾素不足问题。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2017 年 4 月 10 日—8 月 31 日在云南省石林县圭山镇烟叶收购站下辖的试验基地内进行, 试验土壤为沙壤土, 前作为玉米, 土壤 pH 6.8, 有机质含量 22.05 g/kg, 速效氮 57.21 mg/kg, 速效磷 14.82 mg/kg, 速效钾 151.35 mg/kg。

1.2 试验设计

1.2.1 供试品种和菌肥

供试烤烟品种为云烟 87。供试生物菌肥为广州微元生物科技有限公司生产的溶磷菌、解钾菌生物菌肥, 有效活菌数 $\geq 2 \times 10^{10}$ cfu/g, 按 1 : 300 倍兑水稀释进行施用。

1.2.2 试验设计

试验共设 4 个处理, 每个处理设 3 次重复,

每个重复 667 m², 种植烤烟 1 100 株。采用随机区组排列, T1 处理为 *V*(生物菌肥解钾菌):*V*(解磷菌)=0:1 混合, T2 处理为 *V*(生物菌肥解钾菌):*V*(解磷菌)=1:0 混合, T3 处理为 *V*(生物菌肥解钾菌):*V*(解磷菌)=1:1 混合, CK 处理为等量清水。采用灌根方式于 2018 年 4 月 10 日、4 月 24 日、5 月 8 日分 3 次施用, 每次生物菌肥施用量均为 100 L/667 m²。

1.2.3 田间管理

试验采用膜下小苗移栽, 移栽期为 4 月 10 日, 6 月 30 日打顶, 有效留叶数为 20 片; 株行距为 120 cm×50 cm; 施用肥料为烟草专用复合肥[*m*(N):*m*(P₂O₅):*m*(K₂O)=12:10:24) 625.6 kg/hm² 和 KNO₃[*m*(N):*m*(P₂O₅):*m*(K₂O)]=13.5:0:44.5) 162 kg/hm², 基、追肥比例为 7:3。其余管理按照当地优质烟管理规程进行。

1.3 调查测定项目

1.3.1 农艺性状调查测定

于烤烟下部叶生理成熟期(7 月 10 日)采用五点取样法对农艺性状进行调查测定, 每个处理选取 10 株烟, 参照行业标准 YCT 142—2010^[22]的方法进行。

1.3.2 经济性状统计

各处理烟叶在正常成熟时进行挂牌烘烤, 统计各处理烟叶经济性状, 包括产量、产值、均价、上等烟比例和中等烟比例。

1.3.3 烟叶化学成分分析

随机选取各处理中桔三(C3F)等级样品各 3 kg 进行化学成分测定, 测定指标包括烟碱、总氮、还原糖、钾离子含量、氯离子含量, 并计算氮碱比、糖碱比、钾氯比。测定方法参考《烟叶化学成分及分析》^[23]进行。

1.3.4 土壤酶活性测定

于烤烟下部叶生理成熟期(7 月 10 日)每个处理随机选取 10 株烟, 在距烟株茎基部 20 cm 范围内分别取 0~20 cm 深的根际土混合, 自然风干后研磨过 1 mm 筛。测定 pH 值、过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶的活性, 测定方法见文献^[24]。

1.4 统计分析方法

运用 IBM SPSS Statistics 22.0 统计软件对数据进行统计分析, 采用 Sigmaplot 12.5 进行数据处理及作图。

2 结果与分析

2.1 生物菌肥对烤烟农艺性状的影响

由图 1 所示: T2 和 T3 间的株高差异不显著, 但都显著高于 CK 和 T1, CK 处理最低; CK 的茎围显著小于 T2 和 T3, T2 处理最大, 但与其 T1、T3 差异不显著; T2 和 T3 的有效叶片数差异不显著, 但都显著多于 CK 和 T1, CK 处理最少; 各处理间的茎叶角度差异不显著; 各处理间的叶面积大小为 T3>T2>T1>CK, 而 CK 的叶面积显著低于 T3。以上结果表明: 施用解磷菌、解钾菌生物菌肥能促进烟株的生长发育。

2.2 生物菌肥对烤烟经济性状的影响

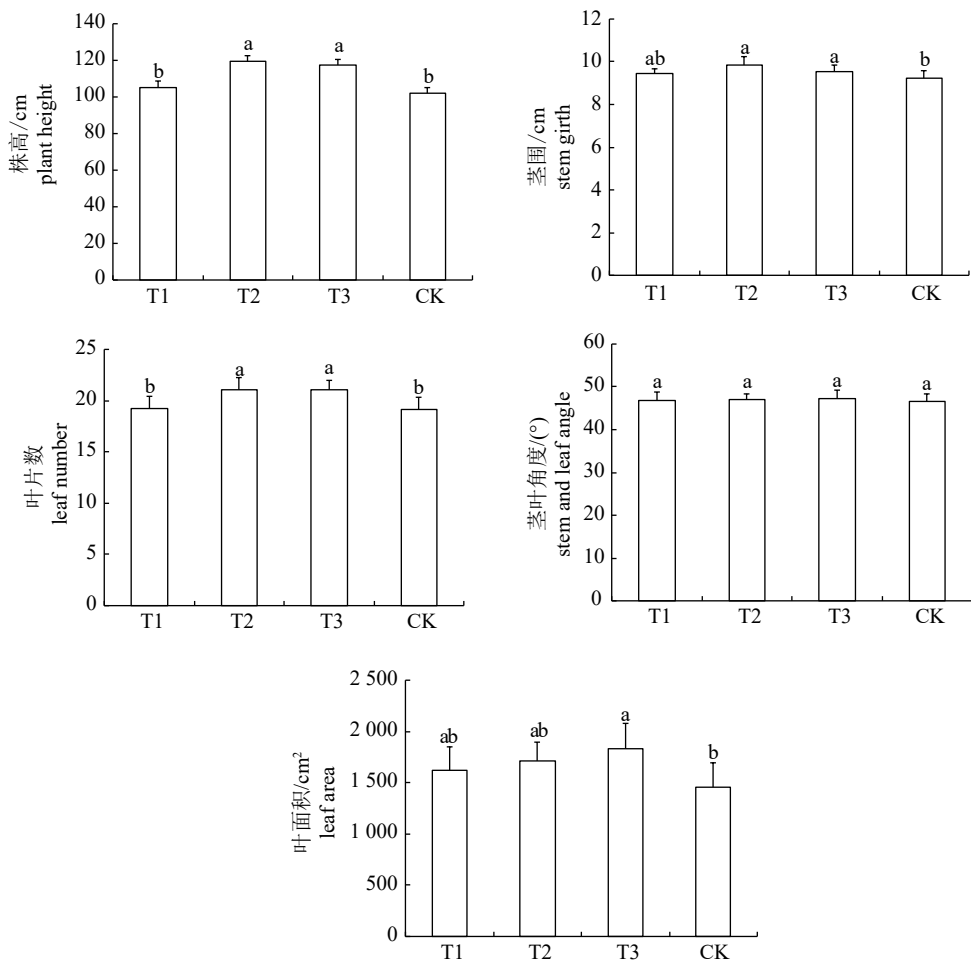
由表 1 可知: 各处理间烤烟产量为 T3>T1>T2>CK, 其中 T3 处理的烤烟产量比 CK 提高了 6.1%, 但各处理间差异不显著; T3 处理的产值、均价、上等烟比例和中等烟比例均高于或显著高于其他处理, 而 CK 的各项指标均低于或显著低于其他处理。说明混合施用解磷菌、解钾菌生物菌肥的处理能显著提高烤烟的产量、产值、均价、上等烟比例和中等烟比例。

2.3 生物菌肥对烟叶化学成分的影响

从表 2 可知: 在 C3F 等级中, 各处理烟碱的含量都在优质烤烟适宜指标^[25]的范围内, 但 CK 处理显著低于其他处理; 各处理总氮的含量均在优质烤烟适宜指标^[25]范围内, 且各处理间差异不显著; 蛋白质含量以 CK 最高, 且显著高于 T2 处理, 但各处理均在优质烤烟适宜指标^[25]范围内; 还原糖含量和钾含量均以 CK 处理显著低于其他处理, 且 T1、T2 和 T3 处理间差异不显著, 与 CK 相比, T3 的还原糖和钾含量分别提高了 35.8% 和 53.7%; 各处理间氯离子的含量为 CK>T2>T1>T3; CK 处理钾氯比显著低于其他处理, 且不在优质烤烟适宜指标^[25]范围内。以上结果表明: 施用生物菌肥能显著增加烟叶还原糖和钾含量, 提高了烟叶可用性。

2.4 生物菌肥对成熟期根际土壤酶活性的影响

由图 2 所示: 各处理的过氧化氢酶活性依次为 T3>T2>T1>CK, 且 T3、T2 与 CK 间存在显著差异; T3 的过氧化氢酶活性比 CK 提高了 40.2%, 说明施用生物菌肥对过氧化氢酶活性促进明显, 且解磷菌、解钾菌混施改善效果最好。各处理脲酶活性依次为 T3>T2>T1>CK, CK 与其



注：小写字母表示处理间差异达 5% 显著差异；下同。
Note: Small letters indicate significant difference among treatment at 5% level; the same as below.

图 1 不同处理对烤烟农艺性状的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on the agronomic traits of flue-cured tobacco

表 1 不同处理对烤烟经济性状的影响

Tab. 1 Effects of different treatments on the economic characters of flue-cured tobacco

处理 treatment	产量/(kg·hm ⁻²) yield	产值/(CNY·hm ⁻²) output value	均价/(CNY·kg ⁻¹) average price	上等烟比例/% first class tobacco ratio	中等烟比例/% middle class tobacco ratio
T1	2 417.40±71.27 a	55 632.98±817.46 ab	23.0±0.34 ab	62.49±0.02 ab	31.78±0.01 ab
T2	2 399.85±46.36 a	53 961.74±748.85 b	22.5±0.40 bc	59.10±0.02 bc	31.76±0.01 ab
T3	2 465.10±29.61 a	58 294.55±499.82 a	23.65±0.10 a	65.39±0.01 a	33.63±0.06 a
CK	2 322.90±44.98 a	50 657.42±1 090.33 c	21.81±0.12 c	56.02±0.01 c	29.39±0.05 b

注：小写字母表示处理间差异达 5% 显著差异；下同。
Note: Small letters indicate significant difference among treatment at 5% level; the same as below.

他 3 个处理间差异显著，其活性比 T3 降低了 95.6%，说明生物菌肥对脲酶活性有显著促进作用。生物菌肥对蔗糖酶活性促进作用明显，表现为 T3>T2>T1>CK，且各处理间差异显著，T3 比 CK 提高了 119.4%。酸性磷酸酶活性大小依次为 T3>T1>T2>CK，说明施用生物菌肥对酸性磷酸酶活性有促进作用，CK 与其他 3 个处理间差异

显著，且比 T3 低了 29.0%，说明解磷菌、解钾菌混施对酸性磷酸酶活性促进作用更显著。

3 讨论

首先，施用生物菌肥处理的各烟株株高、茎围、有效叶数、叶面积均优于 CK，这与张振荣等^[26]的研究结果一致，其中以 T3 和 T2 处理的效

表 2 不同处理对烤烟化学成分的影响

Tab. 2 Effects of different treatments on the chemical components of flue-cured tobacco

化学成分 chemical components	T1	T2	T3	CK
烟碱/% nicotine	2.32±0.071 ab	2.44±0.148 a	2.12±0.010 b	1.81±0.021 c
总氮/% total nitrogen	1.76±0.005 a	1.70±0.068 a	1.76±0.148 a	2.03±0.199 a
蛋白质/% protein	8.50±0.047 ab	7.90±0.264 b	9.08±0.946 a	10.39±1.243 a
还原糖/% reducing sugar	24.22±3.081 a	23.05±0.459 a	24.76±0.697 a	18.23±0.291 b
钾/% potassium	1.83±0.428 a	2.31±0.280 a	2.06±0.151 a	1.34±0.150 b
氯/% chlorine	0.32±0.033 ab	0.35±0.099 ab	0.28±0.001 b	0.49±0.033 a
钾/氯 potassium chlorine ratio	5.71±0.868 a	6.60±0.867 a	7.35±0.537 a	2.73±0.493 b

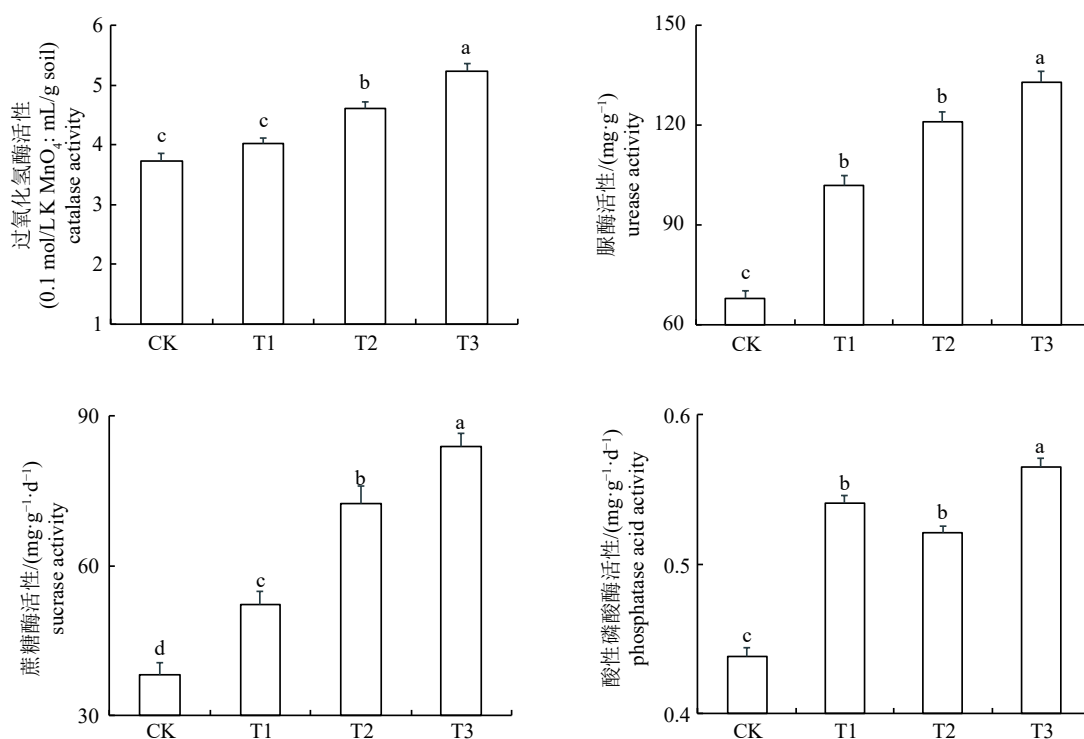


图 2 不同处理对烤烟根际土壤酶活性的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on the enzyme activities in the rhizospheric soil of flue-cured tobacco

果较好。从经济指标来看,生物菌肥,尤其是混合施用解磷菌、解钾菌的处理(T3)可显著增加产值、均价和中上等烟的比例。综合农艺性状和经济指标可知:生物菌肥的施用,尤其是解磷菌、解钾菌肥的混合施用,可促进烟株的生长发育,分析其原因,可能是菌株混配后其基因型和表型的多样性更适应于根际在整个生长季节中的生物、化学和物理变化,更有利于根部的定植和存活^[26],还能将土壤积存却不能被植物吸收利用的钾元素、磷元素转化为能被植物吸收利用的速效钾和速效磷,且从不同程度提高了土壤有机质、速效钾、有效磷和碱解氮的含量^[27-28],促进土壤中养分的转化,提高肥料利用率,从而促进

烟株生长发育。同时,生物菌肥的施用会让土壤根际的微生态环境尤其是微生物种属和数量发生改变,可能会间接影响烤烟的生长^[29-30]。

就化学成分而言,生物菌肥可在一定程度上增加烟叶烟碱含量,以T2处理增加最多,但含量仍在优质烤烟化学成分适宜指标范围内。施用生物菌肥显著增加了烟叶还原糖含量,糖碱比含量也较为适宜。不仅如此,施用生物菌肥的处理能明显增加烟叶含钾量,使其与CK存在显著差异。总体而言,施用生物菌肥能显著提高烟叶还原糖及钾元素含量,钾氯比适宜,烟气醇和,燃烧性好,有利于优质烟叶品质的形成。

土壤酶对土壤中动植物残体及凋落物的分解

与转化、化学元素的循环利用、土壤结构的形成等过程起着必不可少的作用^[31-32]。土壤酶活性可以作为衡量土壤肥力和土壤微生物代谢活动强弱的重要指标。解磷菌、解钾菌属于植物根际促生细菌,具有促进植物生长发育的功能和起到生物防治的作用,含有解磷菌、解钾菌的生物菌肥具有固氮、解磷、解钾及分泌植物激素等生理活性,能促进植物生长^[33]。本试验通过对烟株根际土壤中过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶活性进行测定,结果显示:施用生物菌肥可以提高这 4 种酶活性,表明生物菌肥能活化土壤中的生物酶类,尤其是混合施用解钾菌、解磷菌对土壤酶活性的促进作用最显著。解磷菌和解钾菌都是土壤习居菌,相互之间没有抑制作用或只有微弱的抑制作用,解磷菌还能促进其他细菌生长繁殖^[34]。因此,掌握这些微生物之间的相互作用,将几种微生物有机混合在一起,确定菌剂的最佳组合,对微生物菌肥的利用开发有重要意义。

[参考文献]

- [1] 李卫,周冀衡,张一扬,等.云南曲靖烟区土壤肥力状况综合评价[J].中国烟草学报,2010,16(2): 61. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5708.2010.02.013.
- [2] 黄俊杰,李世琛,杨德海,等.大理红塔植烟基地土壤肥力综合评价[J].云南农业大学学报(自然科学),2017,32(1): 125. DOI: 10.16211/j.issn.1004-390X(n).2017.01.019.
- [3] 胡海洲,丁根胜,陈志强,等.云南牟定主要植烟区土壤肥力评价[J].安徽农业科学,2013,41(19): 8158. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2013.19.032.
- [4] 张加云,李向阳,余凌翔,等.云南省新烟区土壤肥力状况综合评价[J].西南农业学报,2011,24(4): 1386. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4829.2011.04.033.
- [5] 万兵兵,刘晔,吴越,等.烟草根际解磷解钾菌的筛选鉴定及应用效果研究[J].河南农业科学,2016,45(9): 46. DOI: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2016.09.011.
- [6] DONG W Y, ZHANG X Y, WANG H M, et al. Effect of different fertilizer application on the soil fertility of paddy soils in red soil region of southern China[J]. PLoS One, 2012, 7(9): e44504. DOI: 10.1371/journal.pone.0044504.
- [7] 王睿豪.微生物菌肥对小粒黑豆生长发育及生理特性的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [8] 吴恩彪.微生物肥料对云烟 87 根系生长及其根际土壤细菌群落多样性影响[D].福州:福建农林大学,2015.
- [9] 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. DOI: 10.3321/j.issn:1008-505X.2007.02.024.
- [10] 黄鹏,何甜,杜娟.配施生物菌肥及化肥减量对玉米水肥及光能利用效率的影响[J].中国农学通报,2011,27(3): 76.
- [11] 张继光,中国明,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. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2011.03.020.
- [12] ABUSUWAR A, OMER E. Effect of intercropping, phosphorus fertilization and rhizobium inoculation on the growth and nodulation of some leguminous and cereal forages[J]. Agriculture and Biology Journal of North America, 2011, 2(1): 109. DOI: 10.5251/abjna.2011.2.1.109.124.
- [13] 蒋欣梅,夏秀华,于锡宏,等.微生物解磷菌肥对大棚茄子生长及土壤有效磷利用的影响[J].浙江大学学报(理学版),2012,39(6): 685. DOI: 10.3785/j.issn.1008-9497.2012.06.016.
- [14] 闫小梅,虞丽,叶成龙,等.一株灰潮土解磷菌的解磷特性及其对花生的促生作用[J].中国农学通报,2015,31(26): 150. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb15040148.
- [15] 王洋娟.微生物菌肥对苹果树体生长及病害防控的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [16] 周芳芳,周丽娟,詹军,等.烟草功能菌的研究进展[J].河南农业科学,2013,42(12): 6. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3268.2013.12.002.
- [17] 李鑫,周冀衡,李强,等.枸溶性钾肥与解钾菌液配施对烤烟生长及钾素营养状况的影响[J].烟草科技,2016,49(11): 1. DOI: 10.16135/j.issn.1002-0861.2016.0003.
- [18] 肖胜.施用不同种类解钾菌对不同部位烟叶化学成分及经济性状的影响[J].重庆与世界,2016(11): 46. DOI: 10.13769/j.cnki.cn50-1011/d.2016.11.013.
- [19] 岳自慧,翟汝伟,罗世武,等.作物秸秆配施生物菌肥对宁南山区新修梯田土壤理化性状的影响[J].中国水土保持,2018(2): 50. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0941.2018.02.018.
- [20] 米国全,王裔娜,史艳艳,等.土壤熏蒸剂及生物菌肥对日光温室番茄土壤酶活性及产量的影响[J].河南农业科学,2018,47(7): 100. DOI: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2018.07.016.
- [21] 闵申.施用生物菌肥对农作物土壤酶活性的影响[J].江西农业,2016(10S): 30. DOI: 10.19394/j.cnki.issn1674-4179.2016.19.028.
- [22] YC/T 142—2010.烟草农艺性状调查测定方法[S].
- [23] 李春丽,毛绍春.烟叶化学成分及分析[M].昆明:云南大学出版社,2007.
- [24] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [25] 闫克玉,赵献章.烟叶分级[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [26] 张振荣,布云红,赖泳红,等.不同功能菌剂对连作烟叶农艺性状和根际土壤细菌的影响[J].云南大学学报(自然科学版),2012,34(S1): 116.
- [27] 黄锦文,唐莉娜,曾文龙,等.不同土壤处理对烤烟根际土壤生物学特性的影响[J].中国烟草学报,2016,22(2): 75. DOI: 10.16472/j.chinatobacco.2015.265.
- [28] 卜令铎,李江舟,张立猛,等.不同外源物质(灌根)对烤烟根系及烟叶养分吸收的影响[J].南方农业学报,2017,48(5): 812. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1191.2017.05.

- 009.
- [29] 高峰, 尤垂淮, 刘朝科, 等. 施用微生物菌剂对烤烟经济性状及其根际微生态变化的影响[J]. 福建农业学报, 2014, 29(12): 1230. DOI: [10.3969/j.issn.1008-0384.2014.12.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-0384.2014.12.015).
- [30] 张云伟, 徐智, 汤利, 等. 不同有机肥对烤烟根际土壤微生物的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2551. DOI: [10.13287/j.1001-9332.2013.0504](https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.2013.0504).
- [31] 王满, 卫宣志, 郭芳阳, 等. 动植物有机肥对烤烟根际土壤酶活性及微生物碳氮的影响[J]. 江西农业学报, 2017, 29(10): 63. DOI: [10.19386/j.cnki.jxnyxb.2017.10.14](https://doi.org/10.19386/j.cnki.jxnyxb.2017.10.14).
- [32] 龚丝雨, 聂亚平, 张启明, 等. 增施生物炭对烤烟成熟期根际土壤酶活性的影响[J]. 江西农业学报, 2017, 29(10): 54. DOI: [10.19386/j.cnki.jxnyxb.2017.10.12](https://doi.org/10.19386/j.cnki.jxnyxb.2017.10.12).
- [33] 管国强, 李倩, 尚磊, 等. 菌株混合培养的溶磷解钾效果及条件优化[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(2): 323. DOI: [10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2016.02.013](https://doi.org/10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2016.02.013).
- [34] 夏觅真, 马忠友, 曹媛媛, 等. 棉花根际固氮菌、解磷菌及解钾菌的相互作用[J]. 中国微生态学杂志, 2010, 22(2): 102. DOI: [10.13381/j.cnki.cjm.2010.02.001](https://doi.org/10.13381/j.cnki.cjm.2010.02.001).

责任编辑: 何馨成