



杨盼盼, 蒋慧敏, 蒲 强, 等. 与化肥配施的菌肥用量对土壤肥力特性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(3): 26-31.

与化肥配施的菌肥用量对土壤肥力特性的影响

杨盼盼¹, 蒋慧敏¹, 蒲 强¹, 刘丽辉^{1,2}, 谭志远², 余琛韵¹, 谭祺慧¹, 彭桂香¹

(1 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642; 2 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探寻适合与化肥配施的菌肥用量,以期指导广东省南雄烟区大田烟草施肥。【方法】利用已分离的有益微生物菌株(包括具固氮解磷功能的固氮菌属 *Azotobacter* sp. 菌株 x34、具解钾功能的芽孢杆菌属 *Bacillus* sp. 菌株 jb21、属于光合细菌的胶状红长命菌 *Rubrivivax gelatinosus* 菌株 sbg11)与有机物发酵配制而成的菌肥,通过烟草大田试验,以不同施用量的菌肥为处理,即 CK(清水对照)、T1(化肥)、T2(低用量的菌肥+化肥)、T3(中用量的菌肥+化肥)、T4(高用量的菌肥+化肥),每株按照基肥:追肥=1:1的比例施肥。低、中、高用量菌肥分别按照每株基肥 10、20、40 g 的量施用,所有处理的氮、磷、钾施入总量相等,研究不同用量的菌肥对土壤肥力和土壤微生物的影响。【结果】大田条件下,菌肥+化肥处理能有效提高土壤中有机质含量,显著提高土壤中碱解氮、速效磷和速效钾的含量,增强土壤基础呼吸强度,有效提高土壤中细菌和放线菌数量,降低真菌数量。【结论】中用量菌肥(T3,即每株烟草基肥和追肥分别施用 20 g 菌肥)增强土壤肥力的效果更明显,可作为该菌肥的推荐用量。

关键词:菌肥; 施用量; 烟草; 土壤肥力; 土壤微生物

中图分类号:S154.3

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2017)03-0026-06

Effects of application dosages of bacterial manure with chemical fertilizer on soil fertility

YANG Panpan¹, JIANG Huimin¹, PU Qiang¹, LIU Lihui^{1,2}, TAN Zhiyuan²,
YU Chenyun¹, TAN Qihui¹, PENG Guixiang¹

(1 College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To find a suitable ratio of bacterial manure and chemical fertilizer, and guide fertilizing in tobacco field in Nanxiong area, Guangdong Province. 【Method】Bacterial manure was prepared by fermenting organic manure with beneficial microbial strains including nitrogen fixation and phosphate-solubilizing bacteria (*Azotobacter* sp. x34), potassium dissolving bacteria(*Bacillus* sp. jb21) and photo-synthetic bacteria (*Rubrivivax gelatinosus* sbg11). Treatments with different dosages of bacterial manure, including CK (water), T1 (chemical fertilizer), T2 (low dosage of bacterial manure + chemical fertilizer), T3 (medium dosage of bacterial manure + chemical fertilizer) and T4 (high dosage of bacterial manure + chemical fertilizer), were applied to the tobacco field. The ratio of base manure to topdressing for each plant was 1:1. Low, medium and high dosages of bacterial manure were corresponding to 10, 20 and 40 g of base manure per plant respectively. All treatments were the same in their total nitrogen,

收稿日期:2016-06-27 优先出版时间:2017-04-12

优先出版网址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170412.1427.014.html>

作者简介:杨盼盼(1987—),女,硕士,E-mail: 929533934@qq.com; 通信作者:彭桂香(1968—),女,副教授,博士,E-mail: gxpeng@scau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(31370052);广东省自然科学基金(2014A030313459);广东省烟草专卖局项目(粤烟科[2012] 26号,粤烟科201402)

phosphorus and potassium contents. 【Result】Under the field condition, the treatments with both bacterial manure and chemical fertilizer effectively increased the soil organic matter contents, significantly increased the contents of alkali-hydrolysable nitrogen, available phosphorus and available potassium in soil, improved soil respiration intensity, effectively increased the number of bacteria and actinomycetes in soil, and reduced the number of fungi. 【Conclusion】The medium dosage (20 g base manure and 20 g top-dressing) of bacterial manure applied in the T3 treatment has the best effects, which is the recommended dosage of the bacterial manure.

Key words: bacterial manure; application dosage; tobacco; soil fertility; soil microorganism

我国从1901年开始使用化学氮肥,一百余年来,化肥对中国的农业发展功不可没。目前,中国是世界上第一大化肥消费国和化肥进口国,世界第二大化肥生产国;中国农民生产投资中,化肥的投入约占全部生产性支出的50%^[1]。长期过量而单纯的施用化肥,会导致土壤理化性质恶化和肥料养分的不平衡,造成土壤肥力衰退,并使作物病虫害加剧^[2],因此,必须改变单纯施用化肥的施肥方法。

生物菌肥是一类含有活性物质且可以获得特定肥料效应的生物制品,主要以微生物生命活动的产物及其所含的酶类来改善植物根际的营养条件和抑制病原菌,是一种无公害肥料^[3],其主要作用在于增强土壤生物活性、提高植物的抗逆抗病能力,也能提高作物品质^[4]。生物菌肥施入土壤后能改善土壤养分结构,同时还有无毒害、无污染、低投入、高产出、高效益等特点^[5-6],因此可作为一种环境友好肥料应用于作物生产和土壤培肥。若与化肥结合施用,将比单施用化肥的作物产量高^[7-8],还可以缓解长期使用化肥所引起的土壤板结、土壤养分比例失调、土地质量下降、环境污染等问题^[9-10]。栗丽等^[11]研究表明:添加微生物菌肥可以提高油菜产量,同时改善油菜的品质;光合细菌菌肥和微生物农药已在烟草生产实践上应用,并取得了明显的效果^[12]。随着生物科学技术的不断发展,微生物肥料在研究与应用方面也取得了很大进展^[13]。本文通过添加功能微生物,并利用微生物与普通肥的共同作用调节烟草生长。采用在广东省南雄烟区优化试验效果较好的菌肥,将其施用量细化到无、低、中、高4个水平,研究不同用量的菌肥对烟草生长中土壤肥力特性的影响,探寻适合与化肥配施的菌肥用量,为解决广东南雄烟区的土壤问题提供理论参考,为菌肥在田间大面积推广和应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于广东省烟草南雄科学研究所试验基地进行,供试土壤为牛肝田,土壤质地为粉砂质黏土,前茬作物为水稻,土壤肥力指标: pH7.37,有机质15.63 g · kg⁻¹,碱解氮、有效磷和速效钾分别为81.5、35.8和168.6 mg · kg⁻¹,供试土壤含水量(*w*)和最大田间持水量(*w*)分别为21.73%和26.84%。供试烟草品种选用粤烟97,由广东省烟草南雄科学研究所(广东烟草粤北烟叶生产技术中心)提供。

供试烟草专用复合肥由广东省烟草南雄科学研究所提供,复合肥中 *w*(N)为13%、*w*(P₂O₅)为9%、*w*(K₂O)为14%,硫酸钾中 *w*(K₂O)为44.83%,过磷酸钙中 *w*(P₂O₅)为12%,花生麸中 *w*(N)为6.39%、*w*(P₂O₅)为1.17%、*w*(K₂O)为1.34%。供试菌株 x34 为固氮菌 *Azotobacter* sp.,具固氮解磷效果,供试菌株 jb21 为解钾菌,属于芽孢杆菌属 *Bacillus* sp.,供试菌株 sbg11 为光合细菌,经鉴定为胶状红长命菌 *Rubrivivax gelatinosus*。菌肥由华南农业大学农学院遗传育种实验室提供,供试菌肥养分 N、P₂O₅ 和 K₂O 分别为 57.4、12.8 和 9.5 g · kg⁻¹,基质是永雄生物有机肥厂生产的有机肥,为谷糠发酵物,含水量(*w*)为20.1%。发酵方法:菌株单独液体发酵扩增后,将各菌株配制成20~30亿个 · mL⁻¹的菌悬液,每一种按质量比5%与堆肥拌匀,然后全部混匀阴干。

1.2 试验设计及土壤采集

1.2.1 大田试验 大田试验采用随机区组设计,5个处理分别为:CK(清水对照)、T1(化肥)、T2(低用量菌肥+化肥)、T3(中用量菌肥+化肥)、T4(高用量菌肥+化肥),3次重复,共15个小区,每个小区种植1行,每行种植25株,共375株烟草,共0.027 hm²,烟田为东西走向,四周设保护行,烟草行距120 cm,株距60 cm。具体施肥方案如表1,其中花生麸、

复合肥、菌肥、过磷酸钙用作基肥,复合肥、菌肥、硫酸钾用作追肥, m (基肥): m (追肥)=1:1,追肥3次,分别于烟草的生根期、团棵期和旺长前期进行,3次追肥的比例为3:3:4。菌肥和化肥间距20 cm穴施。除CK外,所有处理氮、磷、钾的施入总量相等。

每株烟施 N 10 g, P_2O_5 5.6 g, K_2O 14.5 g, 不足的磷和钾分别由过磷酸钙和硫酸钾补充。

1.2.2 土壤采集 分别于烟草生长的团棵期、旺长期和成熟期采集0~20 cm土层的土壤,用于土壤微生物数量、土壤基础呼吸和土壤理化性质的测定。

表 1 试验施肥处理
Tab.1 Different fertilizer treatments in field experiment

处理	基肥/(g·株 ⁻¹)				追肥/(g·株 ⁻¹)		
	花生麸	复合肥	菌肥	过磷酸钙	复合肥	菌肥	硫酸钾
CK	0	0	0	0	0	0	0
T1	44	28.00	0	0	28.00	0	13.46
T2	44	23.58	10	4.5	23.58	10	15.40
T3	44	19.17	20	8.98	19.17	20	17.33
T4	44	10.34	40	17.96	10.34	40	21.21

1.3 分析方法

土壤基础呼吸采用隔离罐-碱液吸收法^[14];土壤3大类微生物(根际土壤中细菌、真菌、放线菌数量)的测定采用稀释平板法^[14];土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶以及磷酸酶活性测定方法参考关松荫^[15]方法;土壤样品化学性质的测定参照《土壤农化分析》^[16];有机质采用重铬酸钾容量法-外加热氧化法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;速效磷采用0.5 mol·L⁻¹NaHCO₃法测定;速效钾采用NH₄OAC浸提、火焰光度法(6400A火焰光度计)测定。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 (Microsoft company) 和 SPSS17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 软件对数据进行统计分析和相关性分析,采用 Duncun's 新复极差法对数据进行差异性分析。

2 结果与分析

2.1 不同用量的菌肥对烟草土壤肥力的影响

由表2可知,T1、T2、T3、T4处理烟草土壤后,有机质含量大体上表现出逐渐增加的趋势,且与CK有

表 2 不同处理对土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量的影响¹⁾

Tab.2 Effects of different treatments on the contents of soil organic matter, available nitrogen, available phosphorus and available potassium

生长期	处理	w (有机质)/ (g·kg ⁻¹)	w /(mg·kg ⁻¹)		
			碱解氮	速效磷	速效钾
团棵期	CK	14.52±0.08c	73.56±0.30d	31.11±0.31c	127.63±0.61d
	T1	17.55±0.04a	93.15±0.63c	37.37±1.05b	184.67±0.71c
	T2	17.49±0.13a	106.48±1.03b	42.40±0.83a	212.59±0.96a
	T3	16.53±0.21b	104.33±1.45b	44.76±1.13a	209.16±0.71a
	T4	16.60±0.13b	111.03±0.45a	38.90±0.22b	196.92±0.92b
旺长期	CK	12.48±0.23d	67.02±0.63e	28.13±0.70d	102.82±1.42d
	T1	19.93±0.05c	144.84±1.03d	40.73±0.68c	266.65±0.40c
	T2	21.17±0.12b	156.83±0.59c	47.93±0.82bc	304.85±1.22a
	T3	22.55±0.09a	162.15±1.48b	52.94±1.31a	283.78±1.05b
	T4	22.51±0.06a	169.97±1.42a	50.36±1.18ab	298.90±0.52a
成熟期	CK	10.95±0.22d	56.68±0.71d	25.47±0.77d	66.65±1.34e
	T1	22.67±0.16c	127.38±0.85c	59.59±1.18c	222.15±0.71d
	T2	24.63±0.14b	137.57±0.70b	69.93±0.35b	242.42±0.71c
	T3	25.57±0.09a	144.02±0.88a	72.78±0.40a	262.61±1.37a
	T4	24.68±0.16b	147.82±1.21a	67.57±1.21b	252.69±1.53b

1)表中数据为平均值±标准误,相同生长期的同列数据后凡是具有一个相同字母者,表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法, $n=3$)。

显著差异,在团棵期 T1 与 T2、T3 与 T4 处理之间的差异性不大,旺长期和成熟期 T2、T3、T4 处理与 T1 处理土壤有机质含量差异较明显,说明单施化肥能够提高土壤中有机质的含量但效果不及施用菌肥的处理明显,其中 T3 处理的有机质含量最高;在整个烟草生长期,土壤中碱解氮含量整体趋势为 T4 > T3 > T2 > T1 > CK, T2、T3、T4 处理土壤中碱解氮含量显著高于 T1 处理和 CK,在旺长期 T4 处理的碱解氮 (169.97 mg · kg⁻¹) 比 T1 处理 (144.84 mg · kg⁻¹) 提高了 17.35%,说明施用不同量菌肥和单施化肥处理均能够提高土壤中碱解氮含量,但是施用菌肥处理对土壤中碱解氮含量的提高效果更明显,其中 T4 处理的效果最显著,其原因可能是菌肥中含有固氮菌,能够改善土壤环境,提高土壤肥力;土壤中速效磷含量整体表现为 T3 > T2 > T4 > T1 > CK,在团棵期时 T1、T2、T3、T4 处理土壤中速效磷含量比较相近,在旺长期和成熟期时 T2、T3、T4 处理土壤中速效磷含量与 T1 差异显著,这可能是因为施用的菌肥中含有解磷菌,能够活化土壤中不能为植物直接利用的磷成分,对土壤难降解磷的转化有一定的作用,提高了土壤中有效磷含量;在不同的生长期,T2、T3、T4 处理土壤中速效钾含量显著高于 T1 处理和 CK,说明与单施化肥相比,施用不同量的菌肥更有利于提高土壤中速效钾的含量,在旺长期后随着烟叶对钾元素需求的增多和土壤施肥的减少,

土壤中速效钾含量开始下降。

2.2 不同用量的菌肥对烟草土壤中微生物学特征的影响

由表 3 可以看出,在不同时期各处理土壤的基础呼吸强度不同,在整个烟草生长期不同处理大体表现为 T3 > T2 > T1 > T4 > CK 的变化趋势。T3 处理的土壤基础呼吸均显著高于其他处理,在旺长期时,T3 处理土壤基础呼吸强度最大(7.51 mg · kg⁻¹ · h⁻¹),比 T1 提高了 18.45%,可能是菌肥中的微生物发挥其生物效应,能够进行大量的繁殖生长或激活土壤中土著微生物的代谢繁殖,提高了土壤呼吸强度,但菌肥用量过高则表现出对土壤基础呼吸强度产生一定的抑制作用,单施化肥能够提高土壤的基础呼吸强度但作用效果不及 T2 处理(低用量的菌肥 + 化肥)和 T3 处理(中用量的菌肥 + 化肥)显著。各生长期 T2、T3、T4 处理细菌数量均高于其余处理,说明与 CK 和单施化肥相比,施用不同用量菌肥可以显著提高土壤中细菌的数量,这可能是菌肥发挥其微生物效应,促进细菌的生长,从而使细菌数量增加的缘故;T3 处理土壤中细菌数量在旺长期时达到 61.58 × 10⁶ cfu · g⁻¹,显著高于 T2 处理(48.13 × 10⁶ cfu · g⁻¹)和 T4 处理(54.16 × 10⁶ cfu · g⁻¹),比 T1 处理提高了 89.77%,说明施用中用量菌肥的 T3 处理在提高土壤中细菌数量方面的作用更加显著,T3 处理能够更好地为植物生长提供有益环境;整个烟草生长过程

表 3 不同处理对土壤基础呼吸强度以及细菌、真菌、放线菌数量的影响¹⁾

Tab.3 Effects of different treatments on soil respiration intensity, and numbers of bacteria, fungi and acitinomyces					
生长期	处理	土壤基础呼吸/ (mg · kg ⁻¹ · h ⁻¹)	细菌数量/ (10 ⁶ cfu · g ⁻¹)	真菌数量/ (10 ⁴ cfu · g ⁻¹)	放线菌数量/ (10 ⁴ cfu · g ⁻¹)
团棵期	CK	3.07 ± 0.02d	6.33 ± 0.67d	16.67 ± 0.60c	15.67 ± 0.33c
	T1	3.25 ± 0.02c	8.67 ± 0.89d	18.76 ± 0.88bc	18.43 ± 0.88c
	T2	3.40 ± 0.04b	17.00 ± 0.58c	19.67 ± 1.20b	24.33 ± 0.76b
	T3	3.59 ± 0.04a	19.69 ± 0.88b	21.00 ± 0.58ab	24.68 ± 1.20b
	T4	3.37 ± 0.01b	27.67 ± 0.88a	22.67 ± 0.33a	26.76 ± 0.90a
旺长期	CK	3.84 ± 0.01e	27.14 ± 0.64c	45.33 ± 0.88c	47.67 ± 1.40d
	T1	6.34 ± 0.07d	32.45 ± 1.52c	43.67 ± 0.88c	54.33 ± 0.83c
	T2	7.14 ± 0.04b	48.13 ± 1.02b	56.73 ± 1.45a	64.78 ± 0.67bc
	T3	7.51 ± 0.06a	61.58 ± 1.38a	54.67 ± 1.33ab	79.33 ± 1.18a
	T4	5.73 ± 0.05c	54.16 ± 0.92b	51.33 ± 0.88b	59.47 ± 1.02b
成熟期	CK	2.64 ± 0.09d	15.36 ± 1.76d	39.33 ± 0.52a	33.67 ± 0.95d
	T1	3.82 ± 0.02c	12.83 ± 1.45d	41.89 ± 0.88a	45.38 ± 0.86c
	T2	4.27 ± 0.11b	36.71 ± 1.20c	32.33 ± 0.68b	54.33 ± 0.86ab
	T3	4.57 ± 0.07a	52.04 ± 1.80a	28.67 ± 0.88c	59.00 ± 1.30a
	T4	3.72 ± 0.09c	45.67 ± 0.90b	25.58 ± 0.91d	51.67 ± 0.60b

1)表中数据为平均值 ± 标准误,相同生长期的同列数据后,凡是具有一个相同字母者表示处理间差异不显著(P > 0.05, Duncan's 法, n = 3)。

中,T1 处理与 CK 的土壤细菌含量差异不明显,说明单施化肥不利于土壤中细菌的生长繁殖;在旺长期后,不同处理土壤中细菌的数量表现出下降趋势,这可能与当时试验期气候条件有关,5 月连续阴雨天气,气温降低,造成土壤细菌数量减少。在整个烟草生长期,不同处理土壤中真菌的数量呈现先上升后下降的趋势。在团棵期和旺长期时,T2、T3、T4 处理的土壤真菌数量高于 CK 和 T1 处理,说明施入菌肥能够提高土壤中真菌的数量;但在成熟期时,T2、T3、T4 处理的土壤真菌数量低于 CK 和 T1 处理,T2、T3、T4 处理的土壤真菌数量表现为:T2 > T3 > T4,可能是因为菌肥中的细菌抑制了土壤中原有真菌的正常生长繁殖,说明菌肥在植物生长后期对土壤中真菌数量有抑制作用,菌肥用量不同则表现出抑制作用效果不同。不同处理土壤中放线菌的数量呈现先上升后下降的趋势,在旺长期和成熟期不同处理土壤中放线菌数量整体表现为 T3 > T2 > T4 > T1 > CK,T3 处理在每次采样时,土壤中放线菌的数量均高于其余各处理,在旺长期时,T3 处理土壤中放线菌数量($79.33 \times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$)相对于单施化肥的 T1 处理($54.33 \times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$)增加了 46.02%,说明施用中用量菌肥的 T3 处理对土壤中放线菌数量的提高效果最显著,T4 处理在各次采样时放线菌数量均低于 T2、T3 处理,说明高用量的菌肥对土壤中放线菌数量的提高效果不如低用量和中用量的效果,但都大于单施化肥对提高土壤中放线菌数量的效果。随着旺长期后气候条件的改变,不同施肥处理土壤中放线菌的数量整体表现为下降趋势。

3 讨论与结论

农作物加工产物本身是一种重要的农业资源,利用农作物加工后的产物如豆粕、花生饼、米糠等进行有益微生物发酵,这些有机产物发酵后还田能明显改善土壤的理化性状^[17-18],本研究结果表明:与单施化肥(T1)和清水对照相比,施用菌肥能提高土壤中有机质含量,显著提高土壤中速效磷、碱解氮、速效钾含量。菌肥能够显著地提高土壤肥力,可能是施入的菌肥含有有益功能菌如光合细菌、解磷菌、解钾菌和固氮菌的缘故。Bouranis 等^[19]研究发现,烟田施用微生物肥料,利用固氮、解磷、解钾菌等有益菌的生命活动,可以培肥地力。

土壤呼吸作为表征土壤质量和土壤肥力的重要生物学指标,在一定程度上反映了土壤的氧化和转化能力,特别是土壤基础呼吸部分,反映了土壤物质的代谢强度和生物学特性^[20]。本研究中,在不同的

烟草生长期,T1、T2、T3、T4 处理的基础呼吸强度显著高于 CK,说明菌肥和化肥都能够提高土壤的基础呼吸强度,田俊岭等^[21]研究发现高效光合细菌菌剂能够显著提高土壤的呼吸强度,这与本研究结果相似。其中 T3 处理土壤的呼吸强度最大,T4 呼吸强度从旺长期到成熟期均小于 T2 处理,可能是因为 T4 处理菌肥用量过高,环境恶化,影响到土壤微生物的代谢繁殖,抑制了土壤的基础呼吸。武丽娜^[22]通过水培试验证明高浓度的光合细菌菌剂对植物生长有抑制作用。

土壤微生物生物量可敏感地反映出不同土壤生态系统之间的差异,因此土壤微生物学特性可以反映土壤质量的变化,作为评价土壤健康的生物指标^[23]。T2、T3、T4 处理土壤所含的细菌和放线菌数量,显著高于对照和单施化肥处理,其中 T3 处理的细菌和放线菌数量最多,可能是菌肥中的光合细菌、固氮菌等发挥其微生物效应,促进了微生物的繁殖所致;T4 处理的细菌和放线菌数量少于 T3 处理,说明菌肥还需选择一个合适的用量,以便土壤中的微生物发挥其最大的作用。对于土壤真菌数量,在团棵期各个处理差别不大,从团棵期到旺长期,随着菌肥的施入,菌肥对土壤中真菌数量有提高作用,从旺长期到成熟期时,对土壤中真菌的数量有着显著的抑制效果,在成熟期时土壤真菌的数量低于对照和单施化肥处理,可能是随着土壤中细菌数量的增多,对真菌繁殖产生抑制作用所致,有利于减少土传病害的发生。已有研究表明,施用菌肥能够显著提高土壤中细菌、放线菌数量,抑制真菌的数量^[24-27],这与本研究结果相似。

总之,施用不同用量的菌肥能促进作物生长并使环境中的养分潜力得以充分发挥,有利于增强土壤肥力,为植物提供更多的可利用物质;同时又能增加土壤有益微生物数量,抑制病害和提高植物的抗病及抗逆能力,从而为植物生长创造良好的环境。中等用量的菌肥(T3),即每株烟草基肥和追肥都施用 20 g 菌肥,增强土壤肥力的效果更明显,可作为此菌肥的推荐用量。这一研究结果可为大面积推广利用菌肥提供理论依据,菌肥在复合肥的研发生产中有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 张北赢,陈天林,王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11): 182-187.
[2] 曾靖,常春华,王雅鹏. 基于粮食安全的我国化肥投入研究[J]. 农业经济问题, 2010(5): 66-70.
[3] 吴建峰,林先贵. 我国微生物肥料研究现状及发展趋

- 势[J]. 土壤, 2002, 34(2): 68-72.
- [4] 徐志峰, 王旭辉, 丁亚欣, 等. 生物菌肥在农业生产中的应用[J]. 现代农业科技, 2010(5): 269-270.
- [5] 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]. 中国微生物生态学杂志, 2010, 22(2): 102-105.
- [6] 韩庆岭, 滕跃. 微生物肥料开发策略探讨[J]. 上海蔬菜, 2010(4): 88-89.
- [7] 梁运江, 许广波, 郑哲, 等. 生物菌肥对水稻营养特性及增产效果的初步研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(2): 88-89.
- [8] 李明. 微生物肥料研究[J]. 生物学通报, 2001, 36(7): 5-7.
- [9] 王彩虹. 施肥新技术: 配方施肥加菌肥[J]. 现代农业科技, 2007(15): 150.
- [10] 夏振远, 李云华, 杨树军. 微生物菌肥对烤烟生产效应研究[J]. 中国烟草科学, 2002, 23(3): 28-30.
- [11] 栗丽, 洪坚平, 谢英荷, 等. 生物菌肥对采煤塌陷复垦土壤生物活性及盆栽油菜产量和品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 939-944.
- [12] 郭维, 罗建新, 李宏图, 等. 饼粕类堆肥的生产及在烟草生产中的应用综述[J]. 湖南农业科学, 2012(3): 47-51.
- [13] TANDON H L S. Fertilizers, organic manures, recyclable wastes and bio-fertilizers[M]. New Delhi(India): Fertilizer Development and Consulation Organisation, 1992.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 54-57
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-323.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-110.
- [17] 王美新, 邵孝侯, 于静, 等. EM 生物有机肥对植烟土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 323-325.
- [18] 叶协锋, 凌爱芬, 张斌, 等. 腐殖酸对烤烟土壤性状及烟叶品质的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(5): 46.
- [19] BOURANIS D L, THEODOROPOUTOS A G, DROSSOPOULOS J B. Designing synthetic polymers as soil conditioners[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 1995, 26(9/10): 1455-1480.
- [20] 韩文炎. 茶园土壤微生物量、硝化和反硝化作用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 20-24.
- [21] 田俊岭, 彭桂香, 李永涛, 等. 一种高效光合菌剂对辣椒生长及土壤微生物的影响[J]. 生物技术进展, 2014, 4(3): 197-200.
- [22] 武丽娜. 光合细菌对水培黄瓜苗期生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(11): 6409-6410.
- [23] 周丽霞, 丁明懋. 土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用[J]. 生物多样性, 2007, 15(2): 162-171.
- [24] 张信娣, 曹慧, 徐冬青, 等. 光合细菌和有机肥对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J]. 土壤, 2008, 40(3): 443-447.
- [25] 何云辉. 光合细菌的培养及其对土壤肥力的影响[D]. 成都: 四川师范大学, 2014: 41-43.
- [26] 杨芳, 田俊岭, 杨盼盼, 等. 高效光合细菌菌剂对番茄品质、土壤肥力及微生物特性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(1): 49-54.
- [27] 张信娣, 史永军, 陈银科. 光合细菌和有机肥对土壤主要微生物类群的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(3): 59-62.

【责任编辑 李晓卉】