

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.01.010

岳明灿, 王志国, 陈秋实, 等. 减施化肥配施微生物菌剂对番茄产质量和土壤肥力的影响. 土壤, 2020, 52(1): 68–73

减施化肥配施微生物菌剂对番茄产质量和土壤肥力的影响^①

岳明灿^{1,2}, 王志国¹, 陈秋实¹, 徐明喜², 李伟明², 吴旭东², 刘庆叶², 陈莉莉²,
王东升², 焦加国^{1*}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院/江苏省有机固体废物资源化协同创新中心, 南京 210095; 2 南京市蔬菜科学研究所, 南京 210042)

摘要: 试验以樱桃番茄为材料, 研究减施化肥配施不同微生物菌剂(EM 和春语)对樱桃番茄产量、品质和土壤肥力的影响。结果表明: 减施化肥配施 EM 菌剂处理(RCF + EM)的樱桃番茄产量高于全量化肥处理(CF), 但差异未达显著水平($P>0.05$), RCF + EM 处理番茄可溶性固形物、可溶性蛋白和可溶性糖含量显著高于 CF 处理($P<0.05$), 增幅依次为 31.05%、27.82%、62.73%; RCF + EM 处理的土壤 pH、有机质、速效养分和微生物生物量碳氮含量均高于 CF 处理, 其中 pH、碱解氮和微生物生物量碳差异达到显著水平($P<0.05$), 增幅依次为 13.07%、20.83%、66.10%。与 EM 菌剂相比, 春语微生物菌剂的效果总体较差。因此, 减施化肥配施 EM 菌剂可提高樱桃番茄产量和果实品质, 对土壤肥力也有良好的改善作用。

关键词: 减施化肥; EM 菌剂; 产量和品质; 土壤速效养分; 土壤微生物生物量

中图分类号: S144.1; S641.2 文献标志码: A

Effects of Reduction of Chemical Fertilizer Combined with Application of Microbial Agents on Growth and Soil Fertility of Cherry Tomato

YUE Mingcan^{1,2}, WANG Zhiguo¹, CHEN Qiushi¹, XU Mingxi², LI Weiming², WU Xudong², LIU Qingye², CHEN Lili²,
WANG Dongsheng², JIAO Jiaguo^{1*}

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University/Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing 210095, China; 2 Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042, China)

Abstract: This research examined the effects of the reduction of chemical fertilizer (RCF) combined with the application of microbial agents (EM and CY agents) on the yield and quality of cherry tomato and on soil properties. The results showed that the contents of soluble solids, protein and sugar under RCF + EM treatment were significantly greater than those under the CF treatment (31.05%, 27.82% and 62.73% higher, respectively, $P<0.05$). There was no significant difference in the yields between RCF + EM and CF treatments ($P>0.05$). Soil pH, contents of organic matter and available nutrients and microbial quantity under RCF + EM treatment were higher than those under CF treatment, among of which, soil pH, contents of available nitrogen and soil microbial biomass nitrogen were significantly higher (13.07%, 20.83% and 66.10% higher, respectively, $P<0.05$). Comparatively, the effects of RCF + EM treatment on cherry tomato were generally better than those of RCF + CY treatment. In conclusion, reduction of chemical fertilizer combined with the application of EM agents can not only promote the yield and quality of cherry tomato, but also improve soil fertility.

Key words: Fertilizer reduction; EM microbial agent; Yield and quality; Soil available nutrient; soil microbial quantity

蔬菜生产在农业生产的发展中占有重要位置, 提高蔬菜产量的重要措施就是施用化肥。据联合国粮农组织(FAO)统计, 化肥对农作物增产的贡献率达 40%~

60%。2016 年数据显示, 我国耕地面积 134 921 hm², 平均施肥强度 443.5 kg/hm², 远高于国际公认的施肥上限 225 kg/hm²[1]。但是, 随着化肥的长期大量单施,

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200106)和南京市生态循环农业项目资助。

* 通讯作者(jiaguojiao@njau.edu.cn)

作者简介: 岳明灿(1992—), 男, 河南平顶山人, 硕士研究生, 主要从事有机肥替代化肥研究。 E-mail: 2016803168@njau.edu.cn

作物产量不仅没有得到提高^[2], 反而随着施用年限的增加, 对土壤生态系统造成破坏, 致使土壤微生物区系发生变化, 微生物数量下降, 出现土壤酸化、盐渍化、土壤板结等一系列问题, 直接导致农产品品质下降^[3-7]。相关调查研究显示, 在部分蔬菜生产中, 化肥的利用率仅为 35% 左右, 未被吸收的相当一部分化肥都对水体、大气、土壤造成了污染^[8-9], 而减施化肥能够很好地改善这种现象^[10-11]。

近年来, 生物有机肥在改善土壤质量、降低环境污染方面的优势越来越受到国内外学者的重视。研究表明^[12], 化肥配施适量微生物菌剂能够提高玉米产量与土壤微生物生物量碳氮含量。微生物菌剂施用对东北水稻有 13.5% 的增产效果, 能促使秸秆中养分元素的转化, 增加土壤的有机质含量^[13-14]。王其传等^[15]及张志刚等^[16]研究表明, 微生物菌剂能有效改善土壤理化性质, 并调节土壤微生物生长环境, 促进植株生长, 提高辣椒产量。为响应国家 2020 年实现化肥零增长政策, 甚至达到负增长效果, 本研究以樱桃番茄为试验对象, 在适量减施化肥条件下, 探究微生物菌剂对樱桃番茄生长状况、产量及品质的影响, 以期微生物菌剂替代部分化肥的田间施用及效果提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于 2017 年在南京市蔬菜花卉科学研究所设施大棚内进行。试验地位于南京市江宁区横溪街道(31°43'14.03"N, 118°46'12.28"E), 属于亚热带湿润气候, 土壤类型为黄棕壤。设施番茄一年两茬, 连作栽培。供试土壤基本理化性质为: 有机质 25.52 g/kg, 全磷 0.81 g/kg, 碱解氮 121.15 g/kg, 有效磷 70.02 mg/kg, 速效钾 228 g/kg。

供试作物为樱桃番茄, 品种为黑珍珠。2017 年 3 月 5 日育苗, 4 月 5 日定植。供试菌剂为 EM 微生物菌剂和春语微生物菌剂。EM 菌剂是一种由光合细菌、乳酸菌和革兰氏阳性放线菌等 80 多种微生物构成的复合菌群制剂; 春语菌剂是由市场购买的普通菌剂, 含有生物酶、氨基酸、腐殖酸等成分。供试有机肥是市场购买的普通有机肥, 由南通惠农生物有机肥有限公司提供, 总养分质量分数 $\geq 5\%$, 有机质质量分数 $\geq 45\%$ 。化肥为氮磷钾养分质量分数 45% 的复合肥(15-15-15)。栽培方式为传统的畦栽, 行距 40 cm, 株距 40 cm, 每个小区间开沟 50 cm。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计, 设置 5 个处理(表 2),

每个处理 3 次重复。具体处理为: ①不施用任何肥料和菌剂的对照处理(CK); ②依据当地化肥施用量确定的全量化肥处理(CF); ③在 CF 处理基础上减施 40% 化肥, 并灌施春语水溶肥处理(RCF+CY); ④在 CF 处理基础上减施 40% 化肥, 并灌施加喷施 EM 菌剂液体肥处理(RCF+EM); ⑤在 CF 处理基础上减施 40% 化肥, 并灌施加喷施清水处理(RCF+W)。各处理肥料施用情况见表 1。其中, 复合肥、有机肥表施, 然后翻土覆盖。根据微生物菌剂的施用说明, 春语菌剂灌施液为母液用水(下同)稀释 200 倍, EM 菌剂灌施液为母液稀释 500 倍, 喷施为母液稀释 250 倍(常规喷施)。喷施为阴天或者下午 4 点以后进行。灌施、喷施处理为定植后每 10 d 1 次, 定植至采收, 共施用 6 次。其余田间管理采用常规管理模式。

表 1 不同处理施肥量(t/hm²)
Table 1 Application amounts of fertilizers under different treatments

处理	复合肥	有机肥	春语菌剂	EM 菌剂	清水
CK	-	-	-	-	-
CF	0.75	7.5	-	-	-
RCF+CY	0.45	7.5	1.2	-	-
RCF+EM	0.45	7.5	-	2.4	-
RCE+W	0.45	7.5	-	-	2.4

1.3 测定项目与方法

番茄产量: 自收获期(2017 年 6 月 5 日)起每 3~4 d 采收成熟度一致的樱桃番茄, 测定其产量, 期间采收 5 次, 至 6 月 22 日采收结束, 汇总并计算总产量。番茄单果重以第 3 次采收的每个小区成熟度一致、大小均匀的 10 颗果实的平均质量计。

果实品质: 在果实成熟期采集成熟度一致、大小均匀的果实进行 Vc、可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物含量的测定。Vc 采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定^[17], 可溶性糖采用蒽酮比色法测定^[17], 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G-250 比色法测定^[17], 可溶性固形物用 WYT0-80% 糖度计测定。

土壤理化性质: 含水量采用 105 °C 恒温烘干法测定; pH 采用土水比 1:2.5 无 CO₂ 水浸提, pH 计测定; 电导率(EC)采用 EC 计测定; 有机质采用重铬酸钾滴定法测定; 全氮采用凯氏定氮法测定; 全磷采用 HClO₄-H₂SO₄ 消解-钼蓝比色法测定; 碱解氮采用碱解扩散法测定; 有效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼蓝比色法测定; 速效钾采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定^[18]。

土壤微生物生物量碳氮: 土壤微生物生物量采用

氯仿熏蒸法测定, 微生物生物量碳用硫酸钾浸提-重铬酸钾氧化法测定; 微生物氮采用硫酸钾浸提-碱化蒸馏法测定。

1.4 数据分析

利用 Microsoft Excel 2016 软件处理数据和 Origin 2015 作图, 并运用 SPSS 20.0 对数据进行单因素方差分析, 对其显著性差异($P < 0.05$)用 LSD 和 Duncan's 检验法进行多重比较。

2 结果与分析

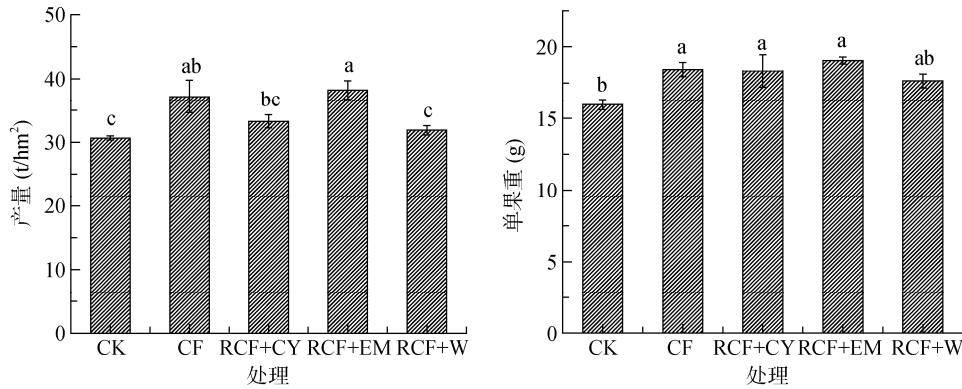
2.1 不同处理对樱桃番茄产量的影响

作物的产量是衡量施肥效果和土壤肥力水平的重要指标。由图 1 可以看出, RCF+EM 处理(减施化肥配施 EM 菌剂)的产量最高, 显著高于其他各处理(除 CF 处理外), 且产量增幅在 14.88%~24.66%, 而

配施春语微生物菌剂处理(RCF+CY)效果要明显差于 RCF+EM 处理; 从单果重来看, 不论是减施化肥配施微生物菌剂, 还是 CF 处理, 其单果重均显著高于 CK 处理, 表明减施化肥配施微生物菌剂对番茄产量有促进作用, 其中配施 EM 菌剂增产效果最好。

2.2 不同处理对樱桃番茄品质的影响

可溶性蛋白、可溶性糖和可溶性固形物是樱桃番茄的营养品质, Vc 是樱桃番茄的保健品质, 其含量的高低直接影响着蔬菜的口味和营养价值^[19]。总体来看(表 2), RCF+EM 处理对果实品质的提升要优于 CF 处理, 其可溶性固形物、可溶性蛋白、可溶性糖含量均显著高于 CF 处理, 分别高出 31.05%、27.82%、62.73%, 而 Vc 含量差异不显著。RCF+CY 处理效果次于 RCF+EM 处理, 除可溶性固形物外, RCF+cy 处理与 CF 处理两者之间差异不显著。



(图中不同小写字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著, 下同)

图 1 不同处理对樱桃番茄产量、单果重的影响

Fig. 1 Yields and fruit weights of cherry tomatoes under different treatments

表 2 不同处理对樱桃番茄 Vc、可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物含量的影响

Table 2 Contents of Vc, soluble sugar, soluble protein and soluble solids of cherry tomatoes under different treatments

处理	可溶性	Vc	可溶性蛋白	可溶性糖
	固形物	(mg/100g)	(mg/g)	(mg/g)
CK	5.35 ± 0.09 d	755.52 ± 10.87 b	0.81 ± 0.01 c	2.91 ± 0.02 c
CF	5.70 ± 0.10 cd	1168.20 ± 1.34 ab	1.33 ± 0.12 b	3.30 ± 0.08 bc
RCF+CY	6.40 ± 0.21 b	1112.55 ± 167.31 ab	1.40 ± 0.09 b	4.26 ± 0.61 b
RCF+EM	7.47 ± 0.29 a	1395.71 ± 225.08 a	1.70 ± 0.06 a	5.37 ± 0.37 a
RCF+W	6.20 ± 0.15 bc	905.13 ± 147.87 b	1.28 ± 0.07 b	3.14 ± 0.13 c

注: 表中同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$), 下表同。

2.2 不同处理对土壤理化性质的影响

土壤速效养分能够反映土壤养分的现实状况。如表 3 所示, RCF+EM 处理能够显著提高土壤的速效养分, 其对 pH、有机质含量也有很好的提升作用。与 CF 处理相比, 其 pH、碱解氮含量显著增加, 增幅分别为 13.07%、20.83%, 有机质和其他速效养分

含量则均高于 CF 处理, 但差异不显著。RCF+CY 处理土壤养分含量均低于 RCF+EM 和 CF 处理。

2.3 不同处理对土壤微生物生物量碳、氮含量的影响

作为土壤生态系统的重要组成部分, 土壤微生物生物量的变化是评价土壤肥力高低的重要依据^[20]。

表 3 不同处理对土壤理化性质的影响
Table 3 Physiochemical properties of soils under different treatments

处理	pH	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
CK	6.34 ± 0.07 a	25.62 ± 3.11 b	1.45 ± 0.06 b	0.86 ± 0.06 b	119.54 ± 0.46 c	73.56 ± 4.56 c	230.76 ± 1.26 b
CF	5.66 ± 0.12 b	31.30 ± 0.18 ab	2.58 ± 0.45 a	1.23 ± 0.09 a	166.23 ± 0.46 b	132.73 ± 8.48 ab	337.81 ± 11.96 a
RCF+CY	6.19 ± 0.13 a	35.75 ± 7.32 ab	1.83 ± 0.01 ab	0.97 ± 0.04 ab	150.13 ± 0.46 b	103.95 ± 26.29 abc	244.10 ± 4.27 b
RCF+EM	6.40 ± 0.12 a	42.69 ± 7.32 a	2.09 ± 0.27 ab	1.00 ± 0.10 ab	200.85 ± 11.15 a	145.30 ± 4.19 a	343.12 ± 23.50 a
RCF+W	5.76 ± 0.17 b	30.14 ± 0.47 ab	1.98 ± 0.36 ab	1.07 ± 0.08 ab	140.88 ± 15.57 bc	92.83 ± 6.91 bc	234.45 ± 14.42 b

由图 2 可以看出, RCF+EM 和 RCF+CY 处理的微生物生物量碳含量均显著高于 CF 处理, 分别增加 66.10% 和 42.54%, 以 RCF+EM 处理效果最好; 不

同处理间微生物生物量氮含量的变化趋势与微生物生物量碳含量基本一致, 以 RCF+EM 处理最高, 为 27.85 mg/kg, CK 最低, 为 8.50 mg/kg。

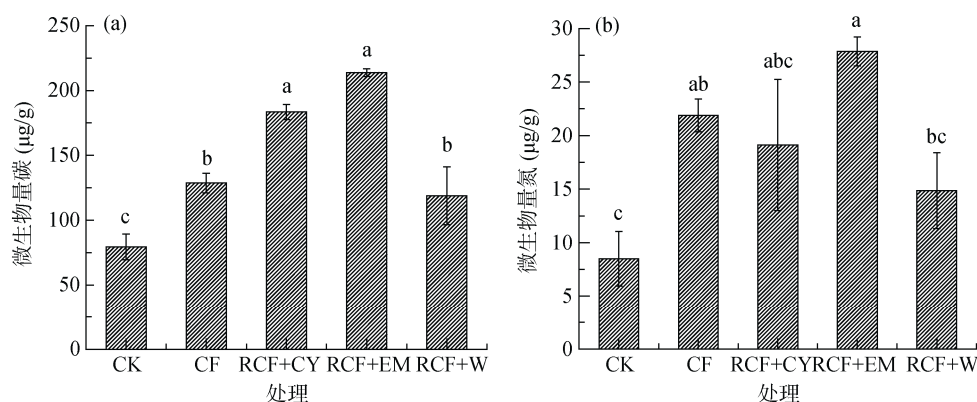


图 2 不同处理对土壤微生物生物量碳、氮含量的影响

Fig. 2 Contents of microbial biomass C and N of soils under different treatments

3 讨论

本试验结果表明, RCF+EM 处理可以提高樱桃番茄产量, 及可溶性糖、蛋白、固形物含量等品质指标。在产量方面, RCF+EM 处理稍高于 CF 处理, 但差异不显著。赵贞等^[21]、韦翔华等^[22]的研究结果表明, 配施微生物菌剂对黄瓜、玉米的产量及果实的 Vc、可溶性糖含量均有明显的促进作用。王冰清等^[23]研究表明, 化肥减施配施有机肥对黄瓜、苦瓜和甘蓝产量无显著影响, 但能明显提高其可溶性糖、Vc 含量等果实品质指标。本研究中, 配施 EM 菌剂的效果要优于春语菌剂, 这可能是由于前者含有大量的光合菌群, 能够充分利用植株根部的分泌物, 并将其转化为糖类、氨基酸和多种维生素等生理活性物质, 刺激和调节作物的生长发育^[24]; 或者直接被植物吸收, 从而提升果实品质, 促进作物增产; 也可能是由于配施 EM 菌剂处理喷施叶面肥, 提升了叶片的光合作用, 促进了植株碳同化物的累积, 从而提高其产量。

本试验结果表明, RCF+EM 处理对土壤 pH、有机质和速效养分含量均有提升作用, 且相较 CF 处理,

其 pH、碱解氮含量显著提高, 而 RCF+CY 处理的效果则较差。前人研究表明, 长期施用无机肥会使土壤酸化, 并且随着施氮量的增加 pH 降低越显著^[25]。本试验中 RCF+EM 处理对土壤酸化有明显的缓解作用, 这与樊琳等^[26]的研究结果一致, 可能是由于 EM 菌剂在促进有机肥的矿化过程中发生了有机阴离子脱羧基化, 并释放出钙、镁等碱性物质^[27]; 或者是菌剂促进了有机官能团对氢离子和铝离子的吸收^[28], 从而提高土壤 pH。本试验中, 配施 EM 菌剂可以很大程度上增加土壤微生物活性, 进而提高土壤养分的利用效率。虽然全量化肥施用可以迅速提高土壤速效养分, 但由于其维持时间较短, 并不能促进土壤养分循环, 因此可能会导致作物后期生长发育乏力^[29]。

土壤微生物生物量碳、氮是土壤微生物生物量的重要表征^[30]。本试验结果表明, RCF+EM 处理对微生物生物量碳含量的影响显著高于 CF 处理。有研究表明, 施用微生物菌剂能够调节土壤状况, 改善其水、肥、气、热条件, 为微生物的活动提供良好的生存环境^[16]。微生物生物量氮含量差异不显著, 可能是由

于化肥施用量较多,则土壤中有效氮含量也相应增加,较多的氮素经同化作用转入到微生物体内被固定,从而促进微生物生物量氮含量的增加。

作物产量的降低和土壤肥力的退化是由于土壤中养分含量的亏缺,合理的施肥方式能够提高土壤中养分的循环利用。综合来看,由于菌剂中含有大量活性有益菌群,施入土壤后能够改变樱桃番茄根际微生物群落结构组成,显著增加根际细菌数量,促进土壤向高肥的“细菌型”转化^[31-32]。另一方面,菌剂施入土壤后,在微生物繁殖代谢过程中会分泌出大量胞外多糖,促进了土壤团粒结构的形成,调节其物理性质^[33]。施用有机肥增加了土壤有机质含量,提高了土壤酸碱缓冲能力^[34],为微生物的活动提供有利保障,微生物菌剂的施入加速了有机质的矿化作用,从而提高土壤的有效养分含量与植物易吸收营养成分,而物理性质的提高又增加其保水保肥能力^[35],很大程度地改善了植株根系的生态环境,并促进其根系生长,进而促进植株根系对土壤营养元素的持续吸收,提升养分利用效率。EM 菌剂中含有的光合菌群和叶面喷施措施能够提高叶片的光反应活性,有利于光合产物的积累。菌肥的施用对植株整体的促进作用较为均衡,光合速率的提升,提高了光合碳同化物的积累,更加利于光合同化物向果实的运输累积,从而提高果实的品质,提升其产量^[34]。

4 结论

减施化肥配施 EM 菌剂对樱桃番茄产量、品质和土壤肥力和微生物学性质具有不同程度的改善作用。本研究结果对设施蔬菜地有机肥合理替代部分化肥提供了一定的理论参考,但由于本试验只进行了一季,关于减施化肥量和配施微生物菌剂对蔬菜产量、品质和土壤肥力的长期效应还应持续地深入探究。

参考文献:

- [1] 金书秦,张惠,吴娜伟. 2016 年化肥、农药零增长行动实施结果评估[J]. 环境保护, 2018(1): 45-49.
- [2] 顾小龙,陈巍,蔡枫,等. 配施木霉微生物肥对连作黄瓜的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 1296-1305.
- [3] 王庆. 有机培肥化肥减量对土壤酶活性及微生物的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [4] 陈贵,赵国华,张红梅,等. 长期施用有机肥对水稻产量和氮磷养分利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(1): 92-97.
- [5] 谢鹏斌,黄鹏,安丹军. 配施生物有机肥及化肥减量对玉米间作豌豆土壤微生物及产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(6): 41-46.
- [6] 孙运杰,马海林,刘方春,等. 生物肥对蓝莓根际土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 167-171,177.
- [7] 王丹,赵学强,郑春丽,等. 两种根际促生菌在不同氮磷条件下对油菜生长和养分吸收的影响[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1078-1083.
- [8] 任红燕,宋志勇,李霏霏,等. 胜利油藏不同时间细菌群落结构的比较[J]. 微生物学通报, 2011, 38(4): 561-568.
- [9] Xue D, Yao H Y, Ge D Y, et al. Soil microbial community structure in diverse land use systems: A comparative study using biolog, DGGE, and PLFA analyses[J]. Pedosphere, 2008, 18(5): 653-663.
- [10] 陈浩,李博,熊正琴. 减氮及硝化抑制剂对菜地氧化亚氮排放的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(4): 938-947.
- [11] 褚义红. 不同微生物菌肥对温室生菜生长、品质、产量及氮素积累的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [12] 陈龙,孙广正,姚拓,等. 干旱区微生物肥料替代部分化肥对玉米生长及土壤微生物的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(7): 108-113.
- [13] 崔美华,郭坤友,刘庆巍. 生物固氮菌肥在水稻上应用效果试验[J]. 北方水稻, 2009(2): 66.
- [14] 倪国荣,涂国全,魏赛金,等. 稻草还田配施催腐菌剂对晚稻根际土壤微生物与酶活性及产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(1): 149-154.
- [15] 王其传,孙锦,束胜,等. 微生物菌剂对日光温室辣椒生长和光合特性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(6): 7-12.
- [16] 张志刚,董春娟,高苹,等. 蔬菜残株堆肥及微生物菌剂对设施辣椒栽培土壤的改良作用[J]. 西北植物学报, 2011, 31(6): 1243-1249.
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M](第三版). 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [19] 吴雪,王坤元,牛晓丽,等. 番茄综合营养品质指标构建及其对水肥供应的响应[J]. 农业工程学报, 2014, 30(7): 119-127.
- [20] 汤宏,沈健林,张杨珠,等. 秸秆还田与水分管理对稻田土壤微生物量碳、氮及溶解性有机碳、氮的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 240-246.
- [21] 赵贞,杨延杰,林多,等. 微生物菌肥对日光温室黄瓜生长发育及产量品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(18): 149-153.
- [22] 韦翔华,李华兴,冯宏,等. 不同肥料对后茬土壤微生物及玉米生长的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 138-142.
- [23] 王冰清,尹能文,郑棉海,等. 化肥减量配施有机肥对蔬菜产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(1): 242-247.
- [24] 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.

- [25] Heinze S, Raupp J, Joergensen R G. Effects of fertilizer and spatial heterogeneity in soil pH on microbial biomass indices in a long-term field trial of organic agriculture[J]. *Plant and Soil*, 2010, 328(1/2): 203–215.
- [26] 樊琳, 柴如山, 刘立娟, 等. 稻草和猪粪发酵残渣配施菌剂对大棚连作土壤的改良作用[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(2): 437–444.
- [27] Hue N V. Alleviating soil acidity with crop residues[J]. *Soil Science*, 2011, 176(10): 543–549.
- [28] 陈贵, 张红梅, 沈亚强, 等. 猪粪与牛粪有机肥对水稻产量、养分利用和土壤肥力的影响[J]. *土壤*, 2018, 50(1): 59–65.
- [29] 于滢. 微生物肥料对稻田土壤养分有效性、水稻养分吸收和产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [30] Rifai S W, Markewitz D, Borders B. Twenty years of intensive fertilization and competing vegetation suppression in loblolly pine plantations: impacts on soil C, N, and microbial biomass[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(5): 713–723.
- [31] 孔庆宇, 秦嗣军, 张英霞, 等. EM 菌剂对甜樱桃幼苗根际微生物区系及根系呼吸的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2013, 44(4): 409–412.
- [32] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(1): 352–360.
- [33] 张永春. 长期不同施肥对土壤酸化作用的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [34] 刘春阳. 生物肥料对‘红阳’猕猴桃园土壤理化性质及产量、品质的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2016.
- [35] 宁川川, 王建武, 蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. *生态环境学报*, 2016 (1): 175–181.