

土壤修复菌剂在设施番茄上的应用效果

桑卫民¹, 刘 杨², 傅留义^{3*}

(1. 山东省土壤肥料总站, 山东 济南 250100; 2. 山东省济南生态环境监测中心, 山东 济南 250100; 3. 山东爱福地生物股份有限公司, 山东 济宁 272063)

摘 要: 随着番茄产业稳定高效的发展, 设施番茄土壤质量问题日益突出。在试验小区内施用土壤修复菌剂进行试验, 对不同处理下设施番茄的土壤养分、微生物数量以及番茄的产量进行分析。结果表明, 施用土壤修复菌剂可以显著提高番茄的产量及经济效益, 显著降低土壤容重, 提高土壤孔隙度; 还可以提高土壤的养分含量。与对照处理相比, 施用土壤修复菌剂的土壤 pH、有机质、硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾含量分别增加了 0.2% ~ 4.6%、1.2% ~ 5.1%、4.2% ~ 11.8%、6.9% ~ 23.8%、5.4% ~ 7.9% 和 3.1% ~ 7.7%; 土壤细菌和放线菌数量也有明显的增加, 真菌数量显著降低。由此可见, 施用土壤修复菌剂, 不仅可以提高作物的产量, 还可以改善土壤质量。

关键词: 土壤修复菌剂; 设施番茄; 土壤质量; 土壤改良

施肥对提高土壤肥力水平和促进作物优质高产至关重要, 然而在高产量和高效益的驱使下, 农户盲目过量和不平衡施肥现象日益严重, 加之肥料在土壤中的转化特征^[1], 导致养分资源和能源的浪费、生产成本的增加以及土壤健康质量的破坏^[2], 其中农田土壤酸化现象尤为突出^[3]。土壤酸化主要是指土壤 pH 值下降的现象, 是土壤质量退化的主要表现形式之一^[4-5]。土壤酸化不仅会加剧土壤盐基离子如钾离子、钙离子、镁离子等淋溶流失, 土壤微生物活性降低, 还会促使土壤中铝、锰等元素的释放^[6-7], 造成土壤质量持续恶化, 作物减产, 甚至对作物产生毒害作用, 这已成为制约我国农业可持续发展的主要问题之一。

目前最为常见改良酸性土壤的措施为施用石灰和土壤改良剂^[8]。胡敏等^[9]研究表明, 施用土壤改良剂可以显著提高土壤 pH 值和增强大麦的根系活力。谷雨等^[10]研究发现, 施用土壤改良剂对土壤理化性状均有一定的改良作用, 增加土壤中细菌数量, 对水稻的农艺及经济性状也表现出积极的影响。长期以来, 国内外学者对土壤改良剂的研发十

分活跃, 市场上土壤调理剂的种类和数量也与日俱增。但是长期施用石灰可能会导致土壤养分失衡, 土壤板结等问题^[11-12]。施用土壤改良剂也可能存在破坏土壤结构, 污染地下水, 成本高等问题^[13]。而微生物不仅可以改善土壤的理化性状, 增加土壤团聚体, 增强通透性, 同时还参与土壤中的有机代谢过程^[14]。因此, 本研究以添加微生物的土壤修复菌剂为供试肥料, 通过连续 3 年的小区试验方法, 探讨其对土壤物理、化学、生物性状、番茄产量以及经济效益的影响, 以期土壤修复菌剂在土壤改良上的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

于 2017 年 8 月至 2018 年 2 月、2018 年 8 月至 2019 年 3 月和 2019 年 8 月至 2020 年 1 月 3 个生长季进行田间试验, 生长季间的空余时间为休棚期。试验田位于山东省济宁市鱼台县唐马镇唐马村蔬菜种植基地 (34° 56' 58.69" N, 116° 41' 43.98" E, 海拔 31 m) 进行。试验地已经连续 15 年种植番茄, 土壤质地类型为壤土。耕层土壤基础指标如下: 有机质 19.9 g/kg, 全氮 0.95 g/kg, 碱解氮 96.0 mg/kg, 有效磷 106.9 mg/kg, 速效钾 173.48 mg/kg, pH 值 5.43, 土壤容重为 1.42 g/cm³。

1.2 供试材料

供试番茄品种为“东风四”。供试有机肥 (N 1.42%,

收稿日期: 2020-08-12; 录用日期: 2020-09-23

基金项目: 山东省重点研发计划 (重大科技创新工程) 项目: 设施蔬菜有机肥精准施用关键技术研究与应用 (2019JZZY010721)。

作者简介: 桑卫民 (1962-), 女, 正高级农艺师, 大学本科, 从事农业技术推广及微生物肥料的研究。E-mail: 295977028@qq.com。

通讯作者: 傅留义, E-mail: 187054211@qq.com。

P_2O_5 2.40%, K_2O 2.25%)、尿素 (N 46%)、过磷酸钙 (P_2O_5 18%)、硫酸钾 (K_2O 52%)、硝酸钾 (13.4–0–44)、复合肥料 (15–15–15), 供试土壤修复菌剂 (地衣芽孢杆菌 + 淡紫拟青霉菌 + 枯草芽孢杆菌 ≥ 2.0 亿个/mL, $Cu+Fe+Zn+B \geq 3.0$ g/L, pH 5.0 ~ 8.0, 胞外多糖 ≥ 1.0 mg/mL), 均由山东爱福地生物股份有限公司提供。

供试土壤修复菌剂灭活处理方法: 采取一定量的土壤修复菌剂在立式压力蒸汽灭菌器 (型号为 YA28X-47, 121 °C, 30 min) 中进行灭菌, 对灭活后的土壤修复菌剂采用涂抹平板计数法进行活菌检测, 结果显示无菌即为灭菌充分。

1.3 试验设计

2017、2018 和 2019 年的试验设计相同, 均采用田间小区试验, 设置 3 个处理: K1) 常规施肥 +

土壤修复菌剂处理 (土壤修复菌剂处理)、K2) 常规施肥 + 灭活供试土壤修复菌剂处理 (对照处理)、K3) 常规施肥处理。小区按照随机区组设计, 每个小区设置 3 次重复。小区的面积为 6 m × 12.5 m。小区内番茄采用双行宽窄行高垄定植, 垄高为 20 cm, 大行距为 80 cm, 小行距为 40 cm, 株距为 35 cm。2017 年试验于 2017 年 8 月 21 日移栽, 2018 年 2 月 26 日收获完成; 2018 年试验于 2018 年 8 月 15 日移栽, 2019 年 3 月 7 日收获完成; 2019 年试验于 2019 年 8 月 20 日移栽, 2020 年 1 月 28 日收获完成。

2017、2018 和 2019 年试验各小区在移栽前统一施用商品有机肥 7500 kg/hm², 其他肥料施用量见表 1。土壤修复菌剂和灭活土壤修复菌剂均采用灌根的方式施用, 其他肥料施用、田间灌溉以及病虫害防治等栽培措施保证一致。

表 1 不同处理的养分施用量

年份	处理	N (kg/hm ²)	P_2O_5 (kg/hm ²)	K_2O (kg/hm ²)	土壤修复菌剂 (L/hm ²)	灭活土壤修复菌剂 (L/hm ²)
2017	K1	167.0	87.8	258.5	1200	—
	K2(CK)	167.0	87.8	258.5	—	1200
	K3	167.0	87.8	258.5	—	—
2018	K1	180.8	74.3	281.9	1200	—
	K2(CK)	180.8	74.3	281.9	—	1200
	K3	180.8	74.3	281.9	—	—
2019	K1	175.8	87.8	281.0	1200	—
	K2(CK)	175.8	87.8	281.0	—	1200
	K3	175.8	87.8	281.0	—	—

1.4 测定指标与方法

1.4.1 土壤主要物理性状的测定方法

土壤物理性状测定指标主要为土壤容重和土壤孔隙度。土壤容重和孔隙度均采用环刀法测定。

1.4.2 土壤主要化学性状测定方法

在小区内进行“S”形布点, 采集 0 ~ 20 cm 的土壤带回实验室进行样品处理。土壤鲜样进行土壤硝态氮和铵态氮含量测定, 剩余部分样品进行风干过筛 (过 0.149 mm 筛用于测定有机质; 过 1 mm 筛用于测定土壤 pH、有效磷和速效钾)。土壤 pH 按水土比 2.5 : 1 pH 计测定; 有机质含量采用重铬酸钾-浓硫酸氧化 (外加热法), 硫酸亚铁滴定法测定; 硝态氮和铵态氮含量采用 0.01 mol/L $CaCl_2$ 溶液浸提 (水土比 10 : 1), 靛酚蓝比色法测定铵态氮, 紫外分光光度计测定硝态氮; 有效磷含量测定

采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提, 钼锑抗比色法; 速效钾含量测定采用 NH_4OAc 浸提, 火焰光度法^[15]。

1.4.3 土壤主要微生物种群测定

在番茄收获后每小区按“S”型取样法取 0 ~ 20 cm 土壤样品, 混合装进无菌塑料袋带回实验室, 4 °C 保存。称取 10 g 土壤样品, 放入无菌水中, 振荡使土壤与水充分混合, 得到 10⁻¹ 土壤悬液, 再依次制成 10⁻²、10⁻³、10⁻⁴、10⁻⁵、10⁻⁶ 土壤悬液。细菌选取 10⁻⁴、10⁻⁵、10⁻⁶ 3 个浓度梯度采用牛肉膏蛋白胨培养基平板培养测定; 真菌选取 10⁻²、10⁻³、10⁻⁴ 3 个浓度梯度采用孟加拉红培养基平板培养测定; 放线菌选取 10⁻³、10⁻⁴、10⁻⁵ 3 个浓度梯度采用高氏 1 号培养基平板培养测定^[16]。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件进行数据处

理和统计分析, 多重比较采用邓肯法 (Duncan, $\alpha=0.05$)。

在经济效益计算中, 按照番茄 5.5 元/kg、商品有机肥 400 元/t、尿素 1.8 元/kg、过磷酸钙 1.8 元/kg、硫酸钾 3.3 元/kg、硝酸钾 7.2 元/kg、复合肥 2.4 元/kg、土壤修复菌剂 15 元/L、灭活土壤修复菌剂 6 元/L 进行经济效益计算。

利润 (元/hm²) = 产值 (产量 × 单价) - 肥料成本

2 结果与分析

2.1 土壤修复菌剂对番茄产量及经济效益的影响

由表 2 可知, 施用土壤修复菌剂处理的产量显

著高于对照处理和施用常规施肥处理。与对照处理相比, 2017、2018 和 2019 年施用土壤修复菌剂处理产量分别提高了 4240、5769 和 4006 kg/hm², 增产率分别达到了 5.6%、7.8% 和 5.1%, 利润分别增加了 12520、20926 和 11229 元/hm²。与常规施肥处理相比, 2017、2018 和 2019 年施用土壤修复菌剂处理产量分别提高了 4744、6008 和 4512 kg/hm², 增产率分别达到了 6.3%、8.2% 和 5.8%, 利润分别增加了 8092、15043 和 6816 元/hm²。由此, 可以证明土壤修复菌剂可以显著提高番茄产量和增加经济利润。

表 2 施用土壤修复菌剂对番茄产量及经济效益的影响

年份	处理	产量 (kg/hm ²)	产值 (元/hm ²)	肥料成本 (元/hm ²)	利润 (元/hm ²)
2017	K1	79972 ± 1335a	439846 ± 7344a	24290	415556 ± 7344a
	K2 (CK)	75732 ± 866b	416526 ± 4765b	13490	403036 ± 4765b
	K3	75228 ± 1375b	413754 ± 7562b	6290	407464 ± 7562b
2018	K1	79266 ± 1514a	435960 ± 8352a	24357	411603 ± 8352a
	K2 (CK)	73497 ± 1251b	404234 ± 6878b	13557	390677 ± 6878b
	K3	73258 ± 897b	402917 ± 4935b	6357	396560 ± 4935b
2019	K1	82814 ± 428a	455475 ± 2356a	24321	431154 ± 2356a
	K2 (CK)	78808 ± 476b	433446 ± 2615b	13521	419925 ± 2615b
	K3	78302 ± 1049b	430659 ± 5770b	6321	424338 ± 5770b

注: 小写字母不同表示不同利用类型农田间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.2 土壤修复菌剂对土壤主要物理性状的影响

3 年田间试验期间, 施用土壤修复菌剂土壤容重和孔隙度的变化情况如图 1 所示。2017 年试验开始前, 试验地的土壤容重为 1.42 g/cm³。连续 3 年施用土壤修复菌剂后, 土壤容重逐年呈现下降的趋势, 而对照处理和常规施肥处理变化不大。第 3 年试验结束时, 施用土壤修复菌剂处理的土壤容

重为 1.37 g/cm³, 较对照处理下降了 4.9%。由图 1 还可以看出, 与对照处理和常规施肥处理相比较, 2017、2018 和 2019 年施用土壤修复菌剂的处理孔隙度有所增加, 且在 2019 年试验中达到差异显著水平。结果表明, 连续 3 年施用土壤修复菌剂可显著改良土壤的物理性状。

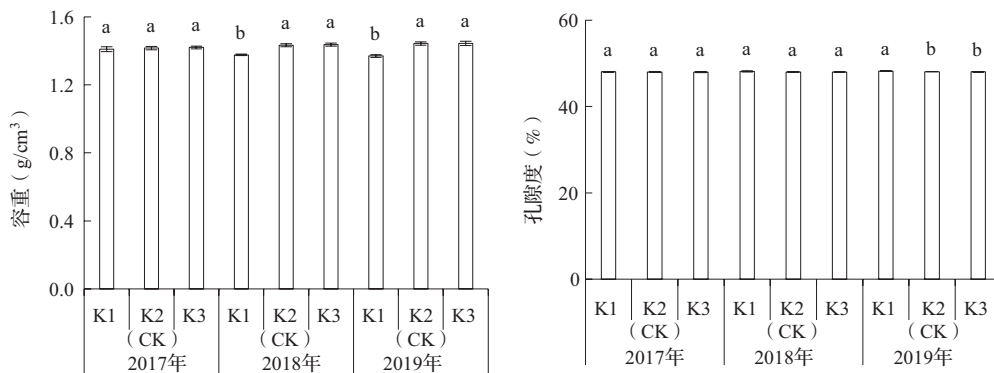


图 1 施用土壤修复菌剂对土壤容重和孔隙度的影响

注: 小写字母不同表示不同利用类型农田间的差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 土壤修复菌剂对土壤主要化学性状的影响

分别于 2018、2019 和 2020 年番茄收获完成后取番茄土壤样品,测定土壤 pH、有机质、硝态氮等土壤化学指标。由表 3 可知,与试验前相比,施用土壤修复菌剂后土壤各项化学指标均表现出逐年优化的趋势,土壤肥力得到了进一步的改良。与

对照处理相比,施用土壤修复菌剂处理土壤的 pH、有机质、硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾均有所增加。在 2019 年,施用土壤修复菌剂处理的土壤 pH、有机质、硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾含量比对照处理分别显著提高了 4.6%、5.0%、11.7%、23.6%、7.9% 和 5.9%。

表 3 施用土壤修复菌剂对土壤化学性状的影响

年份	处理	pH (H ₂ O)	有机质 (g/kg)	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
2017	K1	5.45 ± 0.03a	11.57 ± 0.17a	75.9 ± 0.7a	23.6 ± 0.5a	83.4 ± 1.5a	150.6 ± 4.5a
	K2 (CK)	5.44 ± 0.05a	11.43 ± 0.12a	72.9 ± 1.1b	21.4 ± 0.4b	75.9 ± 2.3b	146.2 ± 4.2a
	K3	5.44 ± 0.04a	11.33 ± 0.12a	73.1 ± 0.8b	22.2 ± 0.2b	76.2 ± 1.4b	145.9 ± 2.7a
2018	K1	5.58 ± 0.03a	11.53 ± 0.09a	82.0 ± 1.1a	25.9 ± 0.7a	81.4 ± 2.9a	160.0 ± 5.1a
	K2 (CK)	5.45 ± 0.05b	11.20 ± 0.08b	76.1 ± 1.6b	24.2 ± 0.2b	77.2 ± 1.6ab	148.6 ± 3.4b
	K3	5.43 ± 0.02b	11.27 ± 0.05b	75.6 ± 1.0b	24.0 ± 0.4b	75.4 ± 0.4b	145.8 ± 2.3b
2019	K1	5.63 ± 0.05a	11.73 ± 0.12a	85.6 ± 1.3a	31.4 ± 0.4a	88.6 ± 1.3a	150.4 ± 1.8a
	K2 (CK)	5.38 ± 0.02b	11.17 ± 0.05b	76.6 ± 1.7b	25.4 ± 0.9b	82.1 ± 1.3b	141.3 ± 1.7b
	K3	5.36 ± 0.03b	11.23 ± 0.09b	76.9 ± 2.3b	24.8 ± 0.6b	83.7 ± 1.1b	142.1 ± 2.6b

2.4 土壤修复菌剂对土壤生物学性状的影响

土壤微生物参与土壤中物质的分解与转化,是土壤肥力的决定性因素之一^[17]。由表 4 可知,施用土壤修复菌剂后土壤中细菌、真菌和放线菌数量的变化情况。土壤中三大微生物数量表现为细菌 > 放线菌 > 真菌。与对照处理和常规施肥处理相比,施用土壤修复菌剂处理的土壤细菌和放线菌数量均有所增加,真菌数量有所降低。在 2018 和 2019 年

的试验中,与对照处理相比,施用土壤修复菌剂处理的细菌分别显著提高了 8.1% 和 10.8%,真菌数量显著降低了 2.0% 和 7.6%,放线菌数量分别提高了 10.5% 和 13.1%,土壤细菌与真菌数量的比值显著增高 10.3% 和 19.9%。由此说明,施用土壤修复菌剂可以提高土壤中细菌和放线菌的数量,降低真菌的数量。

表 4 施用土壤修复菌剂对土壤生物性状的影响

年份	处理	细菌 (10 ⁶ cfu/g)	真菌 (10 ⁴ cfu/g)	放线菌 (10 ⁶ cfu/g)	细菌 / 真菌
2017	K1	7.046 ± 0.159a	1.804 ± 0.005a	3.106 ± 0.012a	390.603 ± 7.793a
	K2 (CK)	6.510 ± 0.253a	1.801 ± 0.008a	3.113 ± 0.055a	361.464 ± 15.627b
	K3	6.523 ± 0.105a	1.824 ± 0.027a	3.136 ± 0.082a	357.603 ± 3.480b
2018	K1	7.565 ± 0.017a	1.827 ± 0.006b	3.259 ± 0.181a	414.167 ± 2.249a
	K2 (CK)	6.996 ± 0.164b	1.864 ± 0.009a	2.949 ± 0.114b	375.388 ± 7.790b
	K3	7.039 ± 0.194b	1.892 ± 0.017a	2.853 ± 0.141b	372.166 ± 10.465b
2019	K1	8.017 ± 0.112a	1.725 ± 0.009b	3.364 ± 0.220a	464.815 ± 8.253a
	K2 (CK)	7.235 ± 0.118b	1.867 ± 0.063a	2.975 ± 0.084b	387.810 ± 12.941b
	K3	7.190 ± 0.140b	1.879 ± 0.050a	2.958 ± 0.139b	383.017 ± 15.444b

3 讨论

3.1 土壤修复菌剂对番茄产量的影响

施用土壤修复菌剂增产效果明显,与对照处理

相比,2017、2018 和 2019 年施用供试土壤修复菌剂处理增产率分别达到了 5.6%、7.8% 和 5.1%,利润分别增加了 12520、20926 和 11229 元/hm²。结

果表明,施用土壤修复菌剂不仅可以提高土壤质量,还可以保障设施番茄的稳产、高产。分析其原因发现,土壤修复菌剂的施用可以改善土壤的物理、化学和生物性状,提高土壤肥力,增加作物产量。另外,土壤微生物会促进作物蛋白质和叶绿素等物质的合成,提高作物自身的抗病性^[18-19],也为作物产量的增加提供了依据。

3.2 土壤修复菌剂对土壤物理性状的影响

土壤微生物修复菌剂不仅可以促进土壤团粒结构的形成,增强土壤通透性,保水保肥能力,还可以修复农业中受损的土壤,改善土壤的微生态系统,提高土壤的生产能力^[20]。本研究结果表明,施用土壤修复菌剂可以显著降低土壤容重,增加土壤孔隙度。这可能是土壤修复菌剂施入到土壤中后,微生物促使土壤中的有机物质向腐殖质进行转化,结合钙离子及黏土形成有机物和无机物的结合体,该结合体可以调节土壤的内部结构^[21-22]。

3.3 土壤修复菌剂对土壤化学性状的影响

本试验研究土壤修复菌剂在设施番茄土壤化学性状上的改良效果。结果表明,与对照处理相比,2019年施用土壤修复菌剂处理的土壤pH、有机质、硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾含量分别提高了4.6%、5.0%、11.7%、23.6%、7.9%和5.9% ($P<0.05$),与李国等^[23]的研究结果一致。在农田中,土壤修复菌剂的施用一方面可以促使土壤中微生物的活动,加快土壤内有机质发生矿化,提高土壤养分含量^[24]。另一方面,土壤修复菌剂可以使作物产生根际效应,刺激微生物的活性,促使土壤养分的转化,提高养分的吸收和利用^[25]。

3.4 土壤修复菌剂对土壤生物性状的影响

微生物群落的数量和活性是土壤肥力的基础,是维持土壤健康和肥力的重要因素。在农业生态系统中,施用土壤修复菌剂后改变了土壤中有益微生物的比例和土壤原有的微生物群落结构^[26],作物在适宜的生长环境下产生的根际分泌物又反作用于根际细菌,促进其繁殖,形成良性的循环^[27]。土壤修复菌剂的施用还提高了土壤养分含量,也会为微生物群落的生存和繁殖提供有力条件,从而达到土壤微生物菌落数量增加的目的。本试验结果表明,施用土壤修复菌剂后,可以明显地改变设施番茄土壤根际微生物群落的数量、细菌与真菌的比值,这与雷金银等^[28]和王光飞等^[29]的研究结果一致。

4 结论

在本试验条件下,施用供试土壤修复菌剂可以显著提高土壤的养分含量和改善生物学性状,即提高土壤pH、有机质、硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾含量,增加土壤细菌、放线菌的数量,降低真菌的数量,提高细菌与真菌的比值。此外,施用该土壤修复菌剂还可以明显改善土壤的物理性状和提高番茄的产量及经济效益。

参考文献:

- [1] 王火焰,周健民. 根区施肥—提高肥料养分利用率和减少面源污染的关键和必需措施[J]. 土壤, 2013, 45(5): 785-790.
- [2] 李猛,何永涛,孙维,等. 不同施肥模式下西藏农田土壤质量的变化[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(3): 144-148.
- [3] Guo J H, Liu X, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.
- [4] Van Breemen N. Acidic deposition and internal proton in acidification of soils and water[J]. Nature, 1984, 367: 599.
- [5] Anderson N P, Hart J M, Sullivan D M, et al. Applying lime to raise soil pH for crop production (Western Oregon)[Z]. Corvallis Oregon: Extension Service, Oregon State University, 2013.
- [6] 王敬国. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1995. 92-103.
- [7] 鲁艳红,廖育林,聂军,等. 长期施用氮磷钾肥和石灰对红壤性水稻土酸性特征的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(1): 202-212.
- [8] 解开治,徐培智,严超,等. 不同土壤改良剂对南方酸性土壤的改良效果研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(20): 160-165.
- [9] 胡敏,向永生,鲁剑巍. 不同调理剂对酸性土壤降酸效果及大麦幼苗生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(3): 118-124.
- [10] 谷雨,蒋平,李志明,等. 不同土壤调理剂对酸性土壤的改良效果[J]. 湖南农业科学, 2015(3): 61-64.
- [11] Haling R E, Simpson R J, Delhaize E, et al. Effect of lime on root growth, morphology and the rhizosphere of cereal seedlings growing in an acid soil[J]. Plant and Soil, 2010, 327(1-2): 199-212.
- [12] 刘琼峰,蒋平,李志明,等. 湖南省水稻主产区酸性土壤施用石灰的改良效果[J]. 湖南农业科学, 2014(13): 29-32.
- [13] 顾金凤. 微生物菌肥对盐渍化土壤的改良研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.

- [14] 董琼娥, 童江云, 田云霞, 等. 复合微生物菌剂对土壤改良及切花玫瑰产质量的影响 [J]. 贵州农业科学, 2020, 48 (1): 32-36.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [17] 吴荣, 刘善江, 孙昊, 等. 长期定位不同施肥方式对土壤肥力和微生物的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (4): 12-18.
- [18] 朱金英. 微生物菌剂在设施黄瓜和番茄上的应用效果研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [19] 钟书堂, 沈宗专, 孙逸飞, 等. 生物有机肥对连作蕉园香蕉生产和土壤可培养微生物区系的影响 [J]. 应用生态学报, 2015, 26 (2): 481-489.
- [20] 潘复静, 张伟, 王克林, 等. 典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征 [J]. 生态学报, 2011, 31 (2): 335-343.
- [21] 段恩忠. 微生物肥料对土壤的改良作用及在农作物生产中的应用 [J]. 种子科技, 2016, 34 (11): 108.
- [22] 任家永, 王克春. BGB 生物有机肥对土壤及作物产量品质的影响 [J]. 中国园艺文摘, 2013 (5): 27-28.
- [23] 李国, 易强, 许世武, 等. 微生物菌剂对新疆棉花连作障碍的消减研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (1): 202-207.
- [24] 刘雷. 微生物肥料对玉米根际土壤微环境的影响 [D]. 太原: 山西大学, 2019.
- [25] Phillips R P, Fahey T J. Tree species and mycorrhizal associations influence the magnitude of rhizosphere effects [J]. Ecology, 2006, 87 (5): 1302-1313.
- [26] 薛峰, 颜廷梅, 杨林章, 等. 施用有机肥对土壤生物性状影响的研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18 (6): 1372-1377.
- [27] 常文智, 马鸣超, 李力, 等. 施用胶质类芽孢杆菌对土壤生物活性和花生产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014 (1): 84-89.
- [28] 雷金银, 何进勤, 周丽娜, 等. 生物培肥及 AMF 对马铃薯连作土壤微生物特征及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (4): 90-94.
- [29] 王光飞, 高晓东, 马艳, 等. 生物有机类复合调理剂在设施叶菜障碍土壤上的应用效果 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (2): 56-65.

Amendment effect of microbial soil conditioner on tomato of facilities cultivation

SANG Wei-min¹, LIU Yang², FU Liu-yi^{3*} (1. Shandong Soil and Fertilizer Head Station, Jinan Shandong 250100; 2. Jinan Ecological and Environmental Monitoring Center Shandong Province, Jinan Shandong 250100; 3. Shandong Aifudi Biology Co. Ltd., Jining Shandong 272063)

Abstract: As the stable and efficient development of tomato industry, the soil quality of the facility tomato problems are becoming more and more serious. In this experiment, the effects of microbial soil conditioner were used in the plot experiment. The soil nutrients, number of microorganisms, yield of tomato under different experimental treatments were analyzed. The results showed that the application of microbial soil conditioner significantly increased the yield and economic benefits of tomato, significantly reduced the soil bulk density and increased soil porosity; it also increased the nutrient content of the soil. Compared with the control treatment, soil pH, the contents of soil organic matter, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, available phosphorus and available potassium increased by 0.2% ~ 4.6%, 1.2% ~ 5.1%, 4.2% ~ 11.8%, 6.9% ~ 23.8%, 5.4% ~ 7.9% and 3.1% ~ 7.7%, respectively, with application of microbial soil conditioner. The number of soil bacteria and actinomycetes increased significantly, and the number of fungi decreased significantly. As a consequence, the application of soil remediation bacteria can not only increase crop yield, but also improve soil quality.

Key words: microbial soil conditioner; protected tomato; soil quality; soil amelioration