

## 微生物肥对设施土壤次生盐渍化和番茄生产的影响

张绪美<sup>1</sup>, 曹亚茹<sup>1</sup>, 沈文忠<sup>1</sup>, 管永祥<sup>2\*</sup>, 曾晓萍<sup>2</sup>, 马金骏<sup>2</sup>, 胡青青<sup>1</sup>

(1. 太仓市农业技术推广中心, 江苏 太仓 215400; 2. 江苏省农业技术推广总站, 江苏 南京 210036)

**摘要:**以江苏太仓设施番茄发生次生盐渍化土壤为研究对象,通过农田小区定位试验,研究施用微生物肥料对设施栽培土壤次生盐渍化的缓解作用和对番茄生产的影响。结果表明,与常规施肥相比,施用微生物肥各处理土壤中微生物量均明显提升,其中细菌、放线菌比对照平均分别增加了64.80%、40.28%;土壤含盐量显著下降,其中施用1.2 kg/m<sup>2</sup>时,pH值提升最高,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量下降最为显著,分别达60.29%、96.18%;T1、T2、T3、T4总盐含量分别下降了0.76、1.49、1.54、1.87 g/kg;土壤质量和养分含量也有所改善,其中土壤容重下降了1.60%~11.20%,有机质含量上升幅度为4.81%~28.35%;全氮在0.9 kg/m<sup>2</sup>时含量最高,提高了29.41%;而速效养分含量随微生物肥用量增加却呈下降趋势,有效磷下降了3.88%~29.85%;施用微生物肥亦降低了土壤中Cd浓度,且在1.2 kg/m<sup>2</sup>时下降幅度最大,达到76.09%;微生物肥对番茄生长状况也产生了显著影响,茎粗、叶龄在生长期有所提高,尤其在0.3、0.6 kg/m<sup>2</sup>时,对生长指标的促进作用尤为明显;施用微生物肥对番茄产量也产生显著影响,在微生物肥用量为0.9 kg/m<sup>2</sup>时坐果数和总重最大,分别高于常规施肥处理42.86%、36.36%。由此得出,施用微生物肥料能改善土壤条件,降低土壤含盐量,缓解设施土壤次生盐渍化状况,从而增加番茄产量,提高番茄品质。综合考虑土壤改良效果与经济成本,每公顷施用6 000~9 000 kg为宜。

**关键词:**微生物肥;设施栽培;生物改良;次生盐渍化;番茄

设施农业作为现代农业生产的重要方式之一,在我国蔬菜和其他重要的经济作物栽培中发挥了巨大的作用,取得了显著的经济和社会效应。设施栽培农业的快速发展在为提高蔬菜产量提供有力保障的同时,由于高复种指数、大量的化肥投入以及缺少自然淋溶等原因使得设施栽培土壤次生盐渍化问题日益凸显。次生盐渍化会打破土壤原有的酸碱平衡,土壤变酸,土壤养分失衡,部分营养物质无法被作物吸收;土壤结构改变,板结严重,耕层变浅,通气透水性变差,不仅会直接危害作物的正常生长,而且也容易引发其他相关的生产问题<sup>[1-4]</sup>。因此,必须改变长期单一过量施用化学肥料的习惯,研发新型功能型肥料,采用环境和生态友好施肥方式,才能有利于农业可持续发展。

微生物肥料又称生物肥料、菌肥或接种剂,是一类以微生物生命活动及其产物导致农作物得到特定肥料效应的微生物活体制品<sup>[5]</sup>。微生物肥料中的微生物是土壤有机质形成与分解的主要推动力量。微生物肥料的根际促生菌可提高植物根际养分的可利用性(如固氮、溶磷、解钾),从而提高肥料的使用率<sup>[6]</sup>。生产实践表明,微生物肥料能提高、活化土壤养分供给,产生促进植物生长的活性物质,增强植物抗逆性功能,促进有机物的腐熟过程,提升耕地土壤肥力,维持耕地土壤健康,降低土壤环境污染,提高农产品品质<sup>[7]</sup>。微生物肥料的使用替代了部分化肥,提高了肥料的利用率,减轻了因化肥使用过量带来的土壤酸化、板结、盐渍化等一系列土壤问题;另一方面,抗病功能微生物肥料的使用减少了化学农药的使用及其在农产品和土壤中的残留。微生物肥料的使用与推广在现代农业生产中具有广阔的应用前景。为提高耕地质量,我国自2006年开始实施“土壤有机质提升工程”,就是通过秸秆腐熟菌剂这一微生物肥料的应用,实现作物秸秆快速腐熟以提高土壤有机质含量。

目前,国内外都在研发盐渍化土壤的改良和修复技术,目前主要有水利措施、农业措施、物理化

收稿日期:2018-09-29;录用日期:2018-12-22

基金项目:2017年省重点研发计划(现代农业)“设施蔬菜绿色高效生产关键技术研发项目(编号:BE2017380)”;2018年苏州科技发展计划(农业科技创新)“土壤生态功能退化条件下设施蔬菜高效生态栽培关键技术与集成示范(编号:SNG2018088)”。

作者简介:张绪美(1977-),女,山东德州人,高级农艺师,博士,主要从事土壤改良与修复治理、新型肥料研究与推广。E-mail: xmzhang09@126.com。

通讯作者:管永祥, E-mail: gyx5598@126.com。

学措施及生物措施等。水利措施治标不治本,浪费水资源而且可能对地下水产生污染;农业措施见效缓慢;物理化学措施会产生二次污染。目前许多学者都是采取生物改良的研究方法,该方法主要是通过种植耐盐作物和施用微生物肥料等<sup>[3-7]</sup>。微生物肥料中有机碳源含量丰富,增加有机碳源可以促进土壤生物多样性的恢复,有助于抑制病原菌种群数量的增长。因此,国内外对施用有机肥来克服或缓解土壤次生盐渍化的潜力十分重视。大量研究人员在通过添加有机物料改良土壤、优化土壤微生物区系来克服次生盐渍化方面做了大量有益的尝试,但效果不尽一致,表明不同类型外源有机物对土壤微生物群落结构和种群数量调控的机制存在差异<sup>[8-11]</sup>。

太仓市位于长江中下游地区,土壤肥沃,是著名的江南农业文明之乡,亦是现代设施农业的重要基地,设施大棚蔬菜成为当地市场和上海市场供给的主要来源之一。目前,太仓市郊设施菜地面积达到3 000 hm<sup>2</sup>,其中番茄种植面积占约1/7。由于肥料投入量大、自然淋洗少和管理不当等原因,该区域设施大棚土壤出现不同程度的次生盐渍化,严重影响了番茄的产量和品质。以往研究结果显示,太仓市大棚菜地土壤全盐含量平均值为(3.38 ± 0.22) g/kg,已达轻度盐化水平的大棚菜地土壤盐分累积量有69.84%超过安全水平,其中51.59%为轻度盐土,10.32%为中度盐土,5.56%为重度盐土<sup>[12]</sup>,甚至局部地区存在次生盐渍化和重金属双重污染的威胁。次生盐渍化已成为限制该区域设施蔬菜发展的主要土壤障碍因子。因此,该区域迫切需要缓解当前次生盐渍化的现状,保证该区域设施栽培土壤的可持续利用。目前采用微生物肥防治该区域设施土壤次生盐渍化有效性方面的研究尚鲜有报道。本研究筛选了具有改土培肥功能的专用功能型微生物肥料,通过田间小区定位试验研究,从经济、生态角度出发研究微生物肥料对缓解该区域设施土壤次生盐渍化问题发挥的作用及对番茄生产的影响,并研究微生物肥料在番茄上的适宜施用量,为防治该区域设施土壤次生盐渍化提供有效技术措施,为今后大面积推广生物改良培肥技术提供实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

番茄品种:红太子,由山东寿光某公司提供。

生物菌肥:土壤改良培肥基质,包括枯草芽孢

杆菌、黑曲霉、杂色曲霉、蜂房芽孢杆菌4种有益菌,产品剂型为粉剂,有效活菌数≥2亿/g,有机质≥55%,总养分≥5%。

供试土壤为黄泥土,土壤pH值3.03~5.33,有机质23.8~38.4 mg/kg;有效磷32.2~42.4 mg/kg,总氮1.50 g/kg;硝态氮264~3 489 mg/kg,土壤全盐量1.08~4.6 g/kg。

### 1.2 试验设计与处理

试验于2017年4月10日~7月12日在江苏省太仓市双凤镇塘新湖蔬菜基地设施大棚内进行。供试大棚年限在10年左右,主作番茄,土壤由于连年轮作已发生严重次生盐渍化。

试验共设置5个处理。T1:0.3 kg/m<sup>2</sup>微生物肥;T2:0.6 kg/m<sup>2</sup>微生物肥;T3:0.9 kg/m<sup>2</sup>微生物肥;T4:1.2 kg/m<sup>2</sup>微生物肥;T0:常规施肥(CK)。T1、T2、T3、T4各施用常规化肥用量的50%。

番茄先于温室中采用穴盘基质育苗,在秧苗5叶1心时定植,植株留3穗果后掐尖。番茄定植前,先将田块深耕后浇水,待晾干后耙平,穴施各处理微生物肥,然后覆土。T1、T2、T3、T4所有肥料作为基肥一次性施入。

常规肥料运筹:复混肥(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=12-5-8)每公顷用量2 250 kg,其中基肥和追肥各50%。

试验小区进行翻土起垄,垄宽60 cm,每2个垄之间的间距为100 cm,垄高约6 cm。每条垄种植2行番茄,行距约40 cm。将每15株番茄划分为1个220 cm × 60 cm的微区,3个微区作为重复设定为1个处理。移栽后的田间管理方式按常规方法进行。

### 1.3 测定指标与方法

土壤微生物数量:细菌培养采用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌培养采用改良高氏一号培养基,真菌培养采用马丁氏培养基,计数均采用平板培养计数法统计数量<sup>[13]</sup>。尖孢镰刀菌用FON的选择性培养基分离,然后计数<sup>[14]</sup>。

耕层土壤容重、盐分、有机质、全氮、有效磷和速效钾含量:参照文献[15]测定。

土壤有效态Cd浓度:参照文献[16]测定。

番茄产量:每个处理分别测定番茄坐果数量和总重。番茄产量依据平均单果质量与果数计算。

番茄植株生长及产量结构:每个处理分别定期测量番茄植株高度、茎粗、开展度及开花、坐果数。

番茄品质:番茄成熟后,每株随机选择2个番茄,沿纵轴方向取10 g果肉并混合均匀(每个

处理取 20 个番茄)。可溶性固形物采用日本生产的数字折射仪 ACT-1E 测定,总糖采用斐林滴定法测定, Vc 采用 2, 6-二氯酚酚测定<sup>[17-18]</sup>。硝酸盐含量采用酚二磺酸比色法测定; Cd 含量采用 Optima2100 DV 电感耦合等离子体-原子发射光谱仪(美国)方法测定。

#### 1.4 数据处理与统计分析

利用 SPSS-Statistics 17.0 进行处理(见差异显著性分析),假设检验概率值设定 95%,采用 Duncan 法进行多重比较, Excel 2009 进行数据整理及作图,结果采用 3 个重复的平均值 ± 标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 对土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤生态系统中重要的组成部分,其群落结构组成及其变化在一定程度上反映了土壤的质量及其功能性。微生物肥本身富含大量微生物和有机物质,有机物质同时又为微生物的生长与繁殖创造了条件,因而施用微生物有机肥后土壤微生物数量会发生变化,如表 1 所示,与对照 T0 相比, T1、T2、T3、T4 的土壤细菌、放线菌数量均明显增加,分别比对照平均增加了 64.80%、40.28%;而真菌、尖孢镰刀菌数量变化趋势具有相似性,土壤中真菌、尖孢镰刀菌数量随着微生物肥用量增加呈现下降的趋势,与对照相比,平均下降幅度分别为 35.42%、29.68%。这可能是因为,该试验所用微生物有机肥本身含有大量的尖孢镰刀菌拮抗菌,而其中含有有机物和养分,刺激了土壤中细菌和放线菌的增殖,使土壤中放线菌与真菌的比值增加,从而抑制了尖孢镰刀菌增殖,使土壤微生物区系更趋合理;对于真菌来说,与 T0 相比,施用微生物肥处理的真菌含量相对较低,是因为微生物肥中含有黑曲霉与杂色曲霉,在制肥过程中,主要用来分解原料中秸秆类成分,所以在微生物肥生产后期,两种真菌数量已经显著小于细菌数量。微生物肥料施加到土壤后,短期内真菌会增加,但在微生物肥施加 3 个月之后的检测时期,随着养分的改变,土壤微生物区系发生较大变化,施加微生物肥料的土壤真菌数量反而低于 T0。此与王宏伟等<sup>[19]</sup>在西瓜上施加植物内生真菌,在成熟期 3 个施加真菌组土壤的真菌数量反而小于未施加组的结果是一致的。

表 1 不同施肥处理对土壤微生物量的影响

检测项目	细菌 ( $\times 10^6$ Cfug)	真菌 ( $\times 10^6$ Cfug)	放线菌 ( $\times 10^6$ Cfug)	尖孢镰刀菌 ( $\times 10^4$ Cfug)
T0	60.93 ± 3.43e	1.80 ± 0.09a	3.01 ± 0.08c	2.51 ± 0.08a
T1	85.03 ± 2.71d	1.30 ± 0.01b	3.82 ± 0.16b	2.21 ± 0.17b
T2	95.20 ± 2.66c	1.28 ± 0.04b	3.75 ± 0.17b	2.13 ± 0.04b
T3	103.70 ± 3.89b	1.23 ± 0.05b	4.69 ± 0.29b	1.52 ± 0.05c
T4	117.73 ± 4.56a	0.84 ± 0.01c	4.63 ± 0.18a	1.20 ± 0.06d

注:不同小写字母代表不同处理间差异达显著水平( $P \leq 0.05$ ),下同。

### 2.2 不同处理对土壤性状、养分和镉含量的影响

微生物肥的施用提高了土壤中有益微生物细菌的数量,加快了土壤中有机质的分解,促进了作物对有机物中养分的吸收,而微生物肥本身含有的有机质又保证了土壤有机质的供给。从表 2 看出,与对照 T0 相比, T1、T2、T3、T4 处理的土壤有机质含量分别比对照提高了 4.81%、13.05%、21.54%、28.35%。

土壤容重是反映土壤紧实程度、孔隙状况等结构特性的重要指标,它对土壤的孔隙度及大小分配、土壤的穿透阻力等有重要影响。虽然有机质能提高土壤的通透性,土壤容重随微生物肥施入量的增加而减少,降幅为 1.60% ~ 11.20%,但该试验各处理之间土壤容重并没有显著变化,可能是微生物肥施入时间短,未对土壤容重产生显著影响。

从土壤矿质养分含量来看,如表 2 所示,施用微生物肥可以提高土壤全氮含量。与对照相比,全氮的提高在施用微生物肥料后尤为明显, T1 处理提高了 8.8%, T3 处理时提升率 29.41%,但在 T4 处理后却呈现略有下降现象。有研究表明<sup>[20-22]</sup>,微生物肥能增加土壤有机质及总氮含量,这与本研究得出的结论具有一致性。对于速效养分来说,由于施用微生物肥可促进番茄对土壤有效磷的吸收,使土壤有效磷含量降低了 3.88% ~ 29.85%,导致土壤中有效磷含量降低,而对速效钾含量没有显著影响。

土壤酸碱性影响土壤生物活性和土壤养分的存在形态及有效性,对作物生长发育乃至产量和品质都产生影响<sup>[23]</sup>。表 2 显示,随着施用微生物肥量增加,土壤全盐量显著下降,与对照相比, T1、T2、T3、T4 处理的土壤含盐量分别下降了 0.76、1.49、1.54、1.87 g/kg。与之相反,与对照相比,随着微生物肥施用量增加,土壤 pH 值显著升高,在 T4 处理时, pH 值趋向于中性,最高提高了 2.52,提高幅度为 60.29%。由此可见,施用微生物肥对次生盐渍化有显著的缓解作用。

表 2 不同施肥处理的土壤性状、养分和镉含量的变化特征

检测项目	T0	T1	T2	T3	T4
pH 值	4.18 ± 0.16d	5.8 ± 0.11c	6.12 ± 0.16b	6.4 ± 0.19ab	6.7 ± 0.23a
有机质 (g/kg)	26.6 ± 1.37c	27.88 ± 2.28c	30.07 ± 2.06bc	32.33 ± 1.56ab	34.14 ± 2.08a
容重 (g/cm <sup>3</sup> )	1.25 ± 0.08a	1.18 ± 0.07a	1.20 ± 0.05a	1.23 ± 0.08a	1.11 ± 0.07a
全盐量 (g/kg)	3.84 ± 0.01a	1.98 ± 0.00b	1.35 ± 0.02c	1.30 ± 0.01d	0.97 ± 0.03e
全氮 (g/kg)	1.72 ± 0.02d	1.91 ± 0.07c	2.00 ± 0.03b	2.20 ± 0.01a	2.21 ± 0.01a
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 含量 (mg/kg)	3.14 ± 0.11a	3.12 ± 0.10b	2.30 ± 0.08c	0.20 ± 0.09d	0.12 ± 0.05e
有效磷 (mg/kg)	33.5 ± 1.83b	30.7 ± 1.17b	32.2 ± 2.34b	29.6 ± 3.00b	23.5 ± 1.32a
速效钾 (mg/kg)	102 ± 5.47a	96.6 ± 4.59a	95.4 ± 8.23a	90 ± 8.80a	92 ± 3.50a
Cd 含量 (mg/kg)	0.42 ± 0.00a	0.22 ± 0.00c	0.30 ± 0.01b	0.18 ± 0.00d	0.10 ± 0.00e

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量的多少是决定该区域土壤盐渍化程度的主要指标之一。微生物肥还可以通过提供有机氮达到降低土壤硝酸盐积累的目的<sup>[24-25]</sup>。从表 2 看出,施用微生物肥可有效降低盐渍化土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的含量,与对照相比,NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量下降显著,T4 降幅最大,达 96.18%,说明在微生物肥替代 50% 化肥条件下,可促使植株大量吸收土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,降低了土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量,从而使得土壤次生盐渍化状况得以缓解。

试验区土壤重金属 Cd 含量略高,个别点位超过《土壤环境质量标准》的二级限值<sup>[26]</sup>,而且土壤酸性越强,有效态 Cd 含量越高,Cd 容易被作物吸收。施用微生物肥使得土壤 pH 值升高,从而降低了土壤中有效态 Cd 含量。表 2 显示,与对照相比,随着微生物肥用量增加,土壤中有效态 Cd 含量下降明显,T4 下降最显著,比对照下降了 76.09%,说明施用微生物肥在缓解土壤次生盐渍化的同时也降低了土壤有效态 Cd 含量,进一步保障了番茄生产的安全性。

### 2.3 不同处理对番茄植株生长的影响

微生物肥料对不同生育时期番茄植株的株高、茎粗、叶龄以及开展度产生明显影响。如图 1 ~ 4 所示,在整个番茄植株生长过程中,与对照相比,微生物肥对茎粗和叶龄均有促进作用,其效果从移栽后 30 d 后开始体现。尤其是 T1、T2,移栽 40 d 后茎粗、叶龄和开展度高于其他处理,而 T4 与常规相比,并无明显差异。这可能是由于设施番茄最适宜生长的 pH 值为中偏酸性,从本研究来看,使用微生物肥明显提升了土壤 pH 值,随着用量增加,酸化现象逐步缓解,在 T3 处理时,土壤酸碱性最适宜番茄生长,因此随着微生物肥用量增加,番茄植株性状亦呈现增加趋势。由此可见,微生物肥料投入量应该控制在合理的范围之内,才能促进作物健康生长。

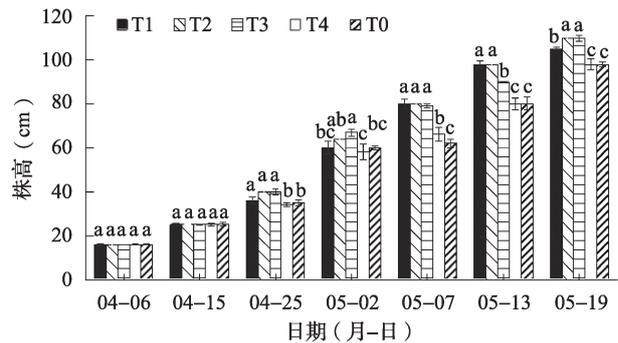


图 1 各处理番茄株高变化

注:不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ),下同。

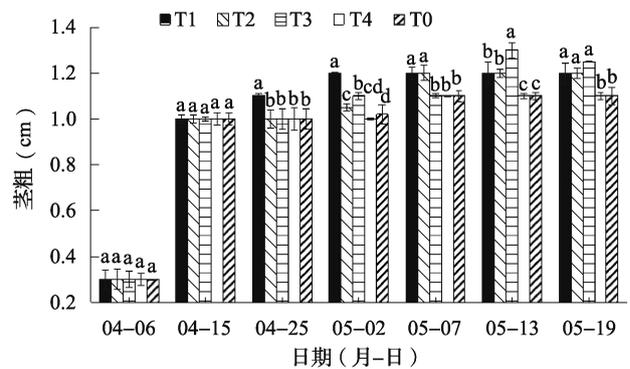


图 2 各处理番茄茎粗变化

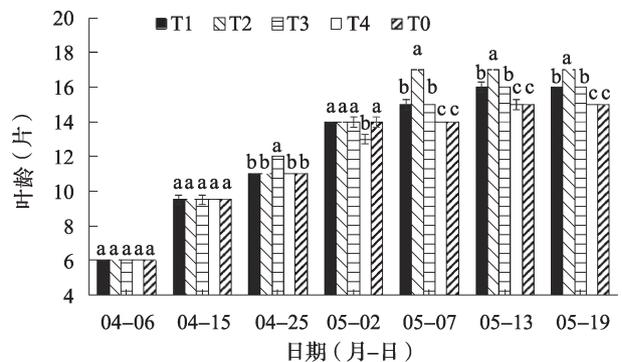


图 3 各处理番茄叶龄变化

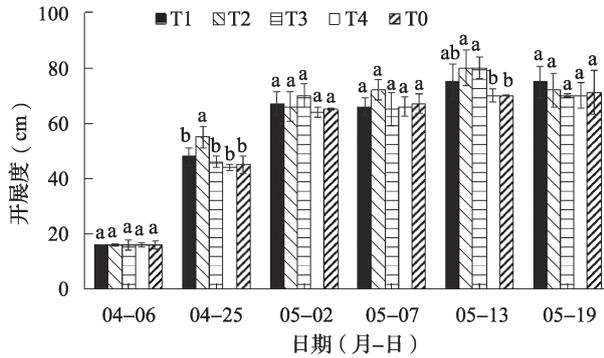


图 4 各处理番茄开展度变化

2.4 不同处理对番茄座果数量和果重的影响

本试验于 6 月 8 日至 7 月 10 日共采摘番茄果实 12 次, 计算单株总果数, 称量单株果实重量, 结果如表 3 所示, 与常规施肥相比, 施用微生物肥均能显著提高番茄单株坐果数和总重, 分别提高了 14.29% ~ 42.86%、10.62% ~ 36.36%, 在 T3 处理时坐果数和总重最大, 分别为 10 个/株, 1 489 g/株, 分别高于常规施肥处理 42.86%、36.36%。对于单果重而言, 除 T4 处理外, 其他处理的平均单果重

都略低于常规施肥处理, 且随着微生物肥施用量的增加, 番茄单果重量有降低的趋势, 但同时随着微生物肥用量的增加, 番茄果实总重量却随之升高。说明降低化肥用量, 可提高单株番茄坐果数, 降低单果重, 但总体上显著提高了番茄的产量。

表 3 不同处理番茄的座果数量和果重

处理	坐果数 (个/株)	总重 (g/株)	平均单果重 (g)
T0	7.2 ± 0.64c	1 092 ± 69.8c	154.56 ± 7.27b
T1	8.0 ± 0.64b	1 208 ± 51.6b	144.93 ± 8.25a
T2	10.0 ± 0.74a	1 470 ± 60.6a	149.99 ± 7.41a
T3	10.0 ± 0.64a	1 489 ± 55.75a	145.07 ± 7.77a
T4	8.3 ± 0.46b	1 323 ± 61.83ab	158.79 ± 9.00b

2.5 不同处理对番茄品质的影响

从番茄果实品质分析来看 (表 4), 施用微生物肥料对番茄品质产生明显影响。与对照相比, 随着施肥水平的提高, 可溶性糖、Vc 及有机酸含量均有所提高, T2 处理时番茄可溶性糖、有机酸含量最高, 比对照分别提高 34.21%、21.57%, T3 处理时番茄 Vc 含量最高, 比对照提高了 18.43%。

表 4 不同处理番茄品质特征

处理	可溶性糖 (%)	Vc (mg/100 g)	有机酸 (%)	NO <sub>3</sub> 含量 (mg/kg)	Cd 积累量 (mg/kg)
T0	1.90 ± 0.09b	28.20 ± 1.12b	0.51 ± 0.03a	365 ± 17.49a	0.102 ± 0.003a
T1	2.44 ± 0.11a	28.30 ± 1.16b	0.51 ± 0.02a	355 ± 25.75b	0.085 ± 0.002b
T2	2.55 ± 0.10a	29.10 ± 1.19a	0.62 ± 0.02b	340 ± 15.49b	0.083 ± 0.002b
T3	2.52 ± 0.06a	33.40 ± 0.85a	0.61 ± 0.02b	298 ± 28.19c	0.076 ± 0.004c
T4	2.54 ± 0.06a	29.00 ± 0.73a	0.60 ± 0.03b	123 ± 23.02d	0.073 ± 0.001c

表 4 显示, 随着微生物肥用量提高, 番茄果实中硝酸盐含量下降明显, 此结果与赵征宇等<sup>[27]</sup>的研究一致。可能是微生物肥料改变了番茄植株吸收机制, 促使番茄的叶、茎、根中吸收了土壤中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 从而使果实中的硝酸盐含量下降造成的, 具体原因需要进一步探究。T4 硝酸盐含量最低, 比对照降低了 1.97 倍, 且差异均达到了显著水平 (P ≤ 0.05), 表明施用微生物肥料能够显著降低番茄硝酸盐含量, 提高番茄品质。这可能是因为, 微生物肥料施入土壤后, 其所含的各类微生物对土壤中的营养元素进行了活化分解, 如解磷细菌和解钾细菌能分解土壤中被固定的磷、钾, 特别是固氮菌能固定空气中的氮, 促进了番茄植株对养分的吸收利用率<sup>[28]</sup>, 因此, 有利于番茄品质的提高。

施肥降低了 42.97%。这是因为微生物肥施入土壤后显著提高了土壤 pH 值, 降低了土壤中有效态 Cd 含量, 从而抑制了番茄从土壤中吸收 Cd。

2.6 不同处理对番茄产量及经济效益的影响

2.6.1 对产量的影响

与常规施肥措施相比, 施用微生物肥会显著提高番茄产量, 图 5 显示, 随着微生物肥施用量的增

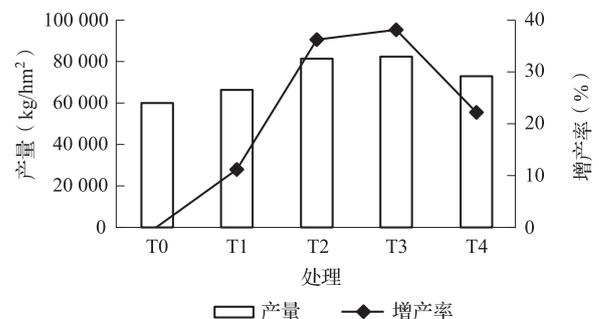


图 5 不同微生物肥施肥量对番茄产量的影响

微生物肥显著降低了番茄果实中 Cd 含量, 表 4 显示, T4 处理的番茄果实 Cd 含量最低, 比常规

加, 番茄产量明显增加; 同时, 随着微生物肥用量的持续增加, 产量增幅趋势放缓, 说明随着微生物肥用量的进一步增加, 超过一定限度, 对番茄增产效果已不明显, 产量反而下降, 由此可见, 仅从考虑增产角度出发, 微生物肥料施肥量控制在 6 000 ~ 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 为宜。

### 2.6.2 对经济效益的影响

表 5 显示, 与对照相比, 施用微生物肥的各处理产量均明显高于对照, T3 增收量最高, T2 其次; 扣除肥料成本后, 各处理增收均高于常规, 而 T2 增收却最高, 达到 29.99%; 其次是 T3, 为 29.09%; 而 T1、T4 增收分别是 8.46%、11.02%。说明随着微生物肥用量的增加, 在其它投入成本一致的情况下, 产出比值呈现先上升后下降趋势, 当微生物肥用量控制在每公顷施用 6 000 ~ 9 000 kg 时, 能够获得较高的经济效益。

表 5 不同施肥处理下的番茄经济效益

处理	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	总收益 (万元/hm <sup>2</sup> )	肥料成本 (万元/hm <sup>2</sup> )	收益 (万元/hm <sup>2</sup> )	增收 (万元/hm <sup>2</sup> )
T0	62 714.1	31.357 07	0.30	31.057 07	—
T1	66 633.9	34.674 03	0.99	33.684 03	2.626 97
T2	81 689.4	42.201 78	1.83	40.371 78	9.314 73
T3	82 807.2	42.760 68	2.67	40.090 68	9.033 62
T4	73 267.8	37.990 98	3.51	34.480 98	3.423 93

注: 微生物肥按市场价 2 800 元/t 计; 番茄按市场价 5.0 元/kg 计。

## 3 讨论

在设施蔬菜生产过程中, 用肥不合理、栽培管理措施不当、地下水上升等因素导致保护地土壤含盐量增加, 特别是硝酸盐含量增加, 引起设施栽培蔬菜的生长发育受到抑制, 产量和品质降低<sup>[27]</sup>。以往研究表明, 大棚盐分总盐量高于露地 2.1 ~ 13.4 倍, 并随着棚龄的增加而有增加趋势, 积累的盐类主要是硝酸盐, 约占阴离子总量的 67% ~ 76%<sup>[29]</sup>。相关研究表明, 化学肥料的投入对土壤微生物生物量有抑制作用, 农户习惯性投入过量的肥料对土壤微生物群落产生不利的影响, 抑制了土壤中有益微生物的繁殖<sup>[30-32]</sup>, 这与本研究得出常规施肥土壤微生物含量很低, 且明显低于施入微生物肥土壤的结论具有一致性。

本研究表明, 经过微生物肥改良后的土壤微生物数量明显增加, 说明通过增施微生物肥使进入土

壤中的微生物发挥了重要作用。有益微生物的加入改善了土壤微生态环境, 抑制病原微生物, 提高了土壤活性, 促进土壤及根际微生物的增长<sup>[33]</sup>, 这与本研究中添加微生物肥的土壤, 其细菌总量比常规施用化肥的土壤细菌总量大幅提升得出的结论具有一致性。

根据以往研究, 太仓市主要致盐离子是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup><sup>[12, 34]</sup>, 本研究发现通过增施微生物肥, 能明显降低土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量, 说明本区域投入含微生物的有机物料能缓解当地盐渍化状况。耿士均等<sup>[33]</sup>采用专用微生物肥对不同连作障碍强度土壤上的辣椒生长发育影响进行了研究, 发现专用微生物肥可以促进不同程度连作土壤中有效养分的提高, 能很好地缓解土壤连作障碍, 这与本研究结果一致。究其原因, 可能与微生物肥能促进作物根、茎、叶吸收土壤中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 从而使得土壤含盐量下降的因素是分不开的<sup>[27]</sup>, 具体原因需要进一步探究。

由于小型电镀厂、冶金厂造成的历史遗留污染及化肥不合理施用等原因, 太仓市郊设施大棚土壤局部存在重金属 Cd 含量超标现象。本研究发现施用微生物肥可显著降低土壤中镉浓度, 进而降低番茄果实的吸收量。马国辉等<sup>[35]</sup>研究发现, 在重金属污染农田施用生物菌肥能显著降低各种重金属在稻谷中的含量。因此, 在设施栽培土壤上施用微生物肥, 既能有效缓解次生盐渍化, 又能降低重金属活性, 提高产品品质, 故值得今后大力推广使用。

本研究在减少化肥用量 50% 基础上施用微生物肥, 既能保证番茄增产, 又减少了化肥施用量, 降低了生产成本, 还能改善土壤质量及农产品品质, 说明生物菌肥与化肥配合施用能取得较好的经济、社会和生态效益。

在国家提倡肥料零增长的大背景下, 适当减少化肥的施用量, 增加替代生物有机肥的用量, 开展生物有机肥与化肥配施, 支持国家化肥使用量零增长行动, 对保障国家粮食安全、转变农业发展方式、实现绿色高效发展的目标具有重要意义<sup>[36]</sup>。本研究在常规化肥用量减少 50% 基础上, 施加不同量的微生物肥, 对土壤中的全氮、有效磷、盐分、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量等均有影响。试验结果的差异不都是来自于微生物肥, 但不可否认, 通过添加微生物肥, 不仅可以增加营养物质, 还因其含有大

量的有益微生物, 施入土壤后, 通过有益微生物的大量繁殖而发挥其固氮, 磷钾释放, 扩大根系吸收面积和抑制有害菌繁殖的作用<sup>[37]</sup>, 为作物根系生长提供良好的环境, 最终实现增产、增收的目的。

#### 4 结论

微生物肥的施用对设施次生盐渍化土壤中微生物量影响显著, 细菌、放线菌比对照平均分别增加了 64.80%、40.28%; 真菌、尖孢镰刀菌数量随着微生物肥用量增加呈现下降的趋势, 与对照相比, 平均下降幅度分别为 35.42%、29.68%。

微生物肥的施用对土壤理化性状产生显著影响。其中, 显著提高了土壤有机质和全氮含量, 有机质含量上升幅度为 4.81% ~ 28.35%; 全氮 0.9 kg/m<sup>2</sup> 时含量最高; 而有效磷含量下降了 3.88% ~ 29.85%, 速效钾含量无明显变化, 对土壤容重影响不显著。

微生物肥的施用对土壤次生盐渍化有显著缓解作用。土壤含盐量显著下降, 其中施用 1.2 kg/m<sup>2</sup> 时, pH 值提升最高, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量下降最为显著, 分别达 60.29%、96.18%; T1、T2、T3、T4 总盐含量分别下降了 0.76、1.49、1.54、1.87 g/kg。

施用微生物肥对番茄产量结构也产生显著影响, 在微生物肥用量为 0.9 kg/m<sup>2</sup> 时坐果数和总重最大, 分别为 10 个/株, 1 489 g/株, 分别高于常规施肥处理 42.86%、36.36%。

综合考虑改良效果与经济成本, 微生物肥施用量每公顷控制在 6 000 ~ 9 000 kg 最适宜。

本研究仅对番茄一茬作物进行了研究探讨, 对微生物肥的后效性及后茬作物的施用量还需要继续探讨; 今后将采取“轮、控、改、替”综合技术途径出发, 更全面、更科学、更合理的解决设施栽培土壤次生盐渍化问题。

#### 参考文献:

[1] 吴志行. 设施农业 [M]. 南京: 江苏科学出版社, 2001.  
 [2] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展 [J]. 土壤, 2004, 36 (3): 235-242.  
 [3] 赵彩芹. 保护地次生盐渍化的危害及防治 [J]. 陕西农业科学, 2005, (2): 82-83.  
 [4] 张晓虎, 李新平. 设施农业土壤次生盐渍化研究进展 [J]. 商洛学院学报, 2008, 22 (5): 50-54.  
 [5] 张瑞福, 颜春荣, 张楠, 等. 微生物肥料研究及其在耕地质

量提升中的应用前景 [J]. 中国农业科技导报, 2013, 15 (5): 816.  
 [6] 葛诚. 微生物肥料生产应用基础 [M]. 北京: 中国农业科学出版社, 2000. 1-28.  
 [7] 李乐, 孙海, 刘政波, 等. 微生物肥料的作用、机理及发展方向 [J]. 东北农业科学, 2016, 414 (4): 63-69.  
 [8] 马利平, 高芬, 乔雄梧. 家畜沤肥浸渍液对黄瓜枯萎病的防治及作用机理探析 [J]. 植物病理学报, 1999, 29 (3): 270-274.  
 [9] 蔡燕飞, 廖宗文, 章家恩, 等. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (3): 349-353.  
 [10] 蔡燕飞, 廖宗文. FAME 法分析施肥对番茄青枯病抑制和土壤健康恢复的效果 [J]. 中国农业科学, 2003, 36 (8): 922-927.  
 [11] 张树生, 杨兴明, 黄启为, 等. 施用氨基酸肥料对连作条件下黄瓜的生物效应及土壤生物性状的影响 [J]. 土壤学报, 2007, 44 (4): 689-694.  
 [12] 张绪美, 沈文忠, 胡青青. 太仓市郊大棚菜地土壤盐分累积与分布特征研究 [J]. 土壤, 2017, 49 (5): 987-991.  
 [13] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.  
 [14] Komada H. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil [J]. Review of Plant Protection Research, 1975. 114-124.  
 [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.  
 [16] 杜森, 高祥照. 土壤分析技术规范 (第二版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006. 172-197.  
 [17] 邵光成, 郭瑞琪, 蓝晶晶, 等. 避雨栽培条件下番茄灌排方案熵权系数评价 [J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30 (6): 733-737, 744.  
 [18] Yurtseven E, Kesmez G D, Nlkara A. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*) [J]. Agricultural Water Management, 2005, 78 (1-2): 128-135.  
 [19] 王宏伟, 王兴祥, 吕立新, 等. 施加内生真菌对花生连作土壤微生物和酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23 (10): 2693-2700.  
 [20] 柴晓彤, 顾金凤, 毛亮, 等. 微生物菌肥对盐渍化土壤中盐分离子及有机质含量的影响 [J]. 上海交通大学学报 (农业科学版), 2017, 35 (1): 78-84.  
 [21] 逢焕成, 李玉义, 严慧峻, 等. 微生物菌剂对盐碱土壤化和生物性状影响的研究 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28 (5): 951-955.  
 [22] 孙婧, 田永强, 高丽红, 等. 秸秆生物反应堆与菌肥对温室番茄土壤微环境的影响 [J]. 农业工程学报, 2014, 30 (6): 153-164.  
 [23] 王立刚, 李维炯, 邱建军, 等. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究 [J]. 土壤与肥料, 2004, (5):

- 12-16.
- [24] 杜红斌, 王秀峰, 崔秀敏. 植物  $\text{NO}_3^-$  积累的生理机制研究 [J]. 中国蔬菜, 2001, 1(2): 49-51.
- [25] 田霄鸿, 王朝辉, 李生秀. 不同氮素形态及配比对蔬菜生长和品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1999, 27(2): 6-10.
- [26] GB 15618-1995, 土壤环境质量标准 [S].
- [27] 赵征宇, 孙永红, 赵明, 等. 有机无机肥配施对土壤氮素转化和番茄产量品质的影响 [J]. 华北农学报, 2013, 28(1): 208-212.
- [28] 李仁发, 潘晓萍, 蔡顺香. 施用有机肥对降低蔬菜硝酸盐残留的影响 [J]. 福建农业科技, 1999, (6): 14-15.
- [29] 孙凯文. 碳调节剂在次生盐渍化土壤中的使用效果及对氮素形态的影响研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2016.
- [30] 葛晓颖, 孙志刚, 李涛, 等. 设施番茄连作障碍与土壤芽孢杆菌和假单胞菌及微生物群落的关系分析 [J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(2): 514-523.
- [31] 徐福利, 梁银丽, 张成娥, 等. 日光温室土壤生物学特性与施肥的关系 [J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 20-22, 30.
- [32] 吴凤芝, 王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2274-2280.
- [33] 耿士均, 王波, 刘刊, 等. 专用微生物肥对不同连作障碍土壤根际微生物区系的影响 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 758-764.
- [34] 张绪美, 沈文忠, 李梅. 太仓市水稻土表层 EC 分布特征分析 [J]. 土壤, 2014, 46(3): 577-579.
- [35] 马国辉, 何定国, 何定荣, 等. 生物菌肥不同用量对稻米重金属污染的阻控效果研究 [J]. 作物研究, 2014, 28(8): 919-921.
- [36] 史书强, 赵颖, 何志刚, 等. 生物有机肥配施化肥对马铃薯土壤养分运移及产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 154-157.
- [37] 沈宝云, 余斌, 王文, 等. 腐植酸铵、有机肥、微生物肥配施在克服甘肃干旱地区马铃薯连作障碍上的应用研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2011, (2): 68-70.

#### Effects of microbial fertilizer on soil secondary salinization and tomato production in protected cultivation

ZHANG Xu-mei<sup>1</sup>, CAO Ya-ru<sup>1</sup>, SHEN Wen-zhong<sup>1</sup>, GUAN Yong-xiang<sup>2\*</sup>, ZENG Xiao-ping<sup>2</sup>, MA Jin-jun<sup>2</sup>, HU Qing-qing<sup>1</sup>

(1. Taicang Agro-Tech Extension Centre, Taicang Jiangsu 215400; 2. Jiangsu Agro-Tech Extension Station, Nanjing Jiangsu 210036)

**Abstract:** In this study, the effects of microbial fertilizers on the soil secondary salinization and tomato production in protected cultivation were studied through filed experiments in Taicang, Jiangsu. The results showed that the microbial biomass increased and the soil salt content decreased significantly in soil treated with microbial fertilizer comparing with normal fertilization treatment, and the average increase of bacteria and actinomycetes reached 64.80% and 40.28% respectively. In addition, when the application rate of microbial fertilizer was 1.2 kg/m<sup>2</sup>, the soil pH had the largest increase by 60.29% and the concentration of  $\text{NO}_3^-$  decrease the most by 96.18%. The contents of total salinity in T1, T2, T3, T4 decreased with 0.76, 1.49, 1.54, 1.87 g/kg respectively. Soil quality and nutrient content were also improved by microbial fertilizers, among them, the bulk density decreased with 1.60% ~ 11.20% and organic matter content increased with 4.81% ~ 28.35%. And when the application rate of microbial fertilizer was 0.9 kg/m<sup>2</sup>, the soil total nitrogen content had the largest increase by 29.41%. However, the application of microbial fertilizers decreased the content of available phosphorus with 3.88% ~ 29.85%. And microbial fertilizers also decreased the concentration of Cd in soil and when the application rate of microbial fertilizer was 1.2 kg/m<sup>2</sup>, the decrease was the largest, which was 76.09%. On the other hand, microbial fertilizer also had a significant effect on tomato growth. Stem diameter, leaf age and crown width increased during the growth period, and the promoting effects was particularly obvious with the microbial fertilizer application at 0.3 and 0.6 kg/m<sup>2</sup>. And microbial fertilizer also influenced the tomato yield and quality. When the application rate of microbial fertilizer was 0.9 kg/m<sup>2</sup>, both fruit amount and total weight were the highest among the different treatments and higher than that in normal fertilization treatment with 42.86% and 36.36% respectively. As a result, the application of microbial fertilizers could significantly improve soil conditions, reduce soil salt content and alleviate the secondary salinization of the soil, and thus increasing tomato yield and quality. Considering the effect of soil improvement and economic cost, the suitable application rate of microbial fertilizer is 6 000 ~ 9 000 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key words:** microbial fertilizer; protected cultivation; biological improvement; secondary salinization; tomato