

# 解磷、钾功能性微生物耐盐效应研究

耿丽平<sup>1</sup>, 范俊<sup>2</sup>, 王婧瑶<sup>1</sup>, 赵全利<sup>3</sup>, 薛培英<sup>1</sup>, 刘文菊<sup>1</sup>

(1.河北农业大学资源与环境科学学院,河北省农田生态环境重点实验室,

河北省蔬菜产业协同创新中心,省部共建华北作物改良与调控国家重点实验室(河北农业大学),

河北保定 071001;2.河北绿环环境科技有限公司,石家庄 050000;3.河北农业大学教学实验场,河北保定 071001)

**摘要:** 围绕设施菜田土壤盐渍化问题,以解磷、钾功能微生物胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌为研究对象,探究了盐分胁迫对功能菌活性、解磷钾能力的影响,并阐明了含2种功能菌微生物菌剂在轻度盐渍化设施菜田的作用效应。结果表明,混合功能菌最大耐受盐浓度为10.5% NaCl,最适宜生长盐分浓度为0.5% NaCl,且解磷、钾能力最强,有效磷、钾增幅分别为52.06%,75.41%;此外,轻度盐渍化设施菜田的小区试验结果显示含2种功能菌的菌剂可提高番茄、甜瓜、西瓜果实VC和可溶性糖含量,分别增产104.81%,23.72%,28.96%;土壤中有有效磷和速效钾含量分别提高95.12%,22.83%,134.52%和92.71%,6.66%,117.46%,显著增加了土壤菌群数量( $P<0.05$ )。综上所述,解磷、钾功能微生物具有耐盐性,可在轻度盐渍化土壤中定殖,并能活化土壤磷、钾,提高蔬菜产量和改善品质。

**关键词:** 轻度盐渍化土壤;功能微生物;菌剂;耐盐性;解磷钾能力

中图分类号:S144.1

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)04-0370-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.04.053

## Study on Salt Tolerance of Functional Microbes with Ability to Dissolve Insoluble Phosphate and Potassium

GENG Liping<sup>1</sup>, FAN Jun<sup>2</sup>, WANG Jingyao<sup>1</sup>, ZHAO Quanli<sup>3</sup>, XUE Peiying<sup>1</sup>, LIU Wenju<sup>1</sup>

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei,

Key Laboratory for Farmland Eco-Environment, Collaborative Innovation Center of Vegetable Industry in Hebei, State Key Laboratory of North China Crop Improvement and Regulation, Hebei Agricultural University,

Baoding, Hebei 071001; 2.Hebei Lvhuan Environmental Technology Company, Shijiazhuang 050000;

3.The Teaching Experiment Field, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 0710001)

**Abstract:** Based on soil salinization in vegetable fields of greenhouse, two bacteria (*Bacillus mucilaginosus* and *B. megaterium*) that can dissolve the insoluble phosphate and potassium) were taken as study objects, microbial incubation and field experiments were conducted to investigate the effect of salt stress on the activity and the phosphate and potassium solubilization of two bacteria, and verify the effects of microbial inoculum application in lightly salinized greenhouse soil. The results showed that the maximum tolerated salt concentration was 10.5% NaCl and the optimum salt concentration of mixed bacteria was 0.5% NaCl, the available P and K concentrations dissolved from minerals were highest in growth medium with 0.5% NaCl and increased by 52.06% and 75.41%. The application of microbial inoculum in the vegetable field with high soil salinization significantly increased the levels of VC and soluble sugar in fruits of tomato, sweet melon, and water melon, and obtained greater yields with increment of 104.81%, 23.72%, and 28.96% compared to the control. Moreover, the application of microbial inoculum significantly increased the concentrations of soil available phosphorus and potassium from the fields with tomato, sweet melon, and watermelon by 95.12%, 22.83%, 134.52%, and 92.71%, 6.66%, 117.46%, respectively, and significantly increased the number of soil bacteria ( $P<0.05$ ). In conclusion, microbial inoculum with *B. mucilaginosus* and *B. megaterium* can colonize in slightly salinized soil, promote the release of the phosphorus and the potassium in the soil, increase vegetables yields, and improve the quality of vegetable fruits.

收稿日期:2019-11-10

资助项目:河北省应用基础研究计划重点基础研究项目(17962902D);国家科技支撑计划项目(2015BAD23B01);河北省农业产业体系项目(HBCT2018030206)

第一作者:耿丽平(1984—),女,硕士研究生,讲师,主要从事土壤环境质量研究。E-mail:genglip486@126.com

通信作者:刘文菊(1971—),女,博士,教授,博士生导师,主要从事土壤障碍修复研究。E-mail:liuwj@hebau.edu.cn

**Keywords:** lightly salinized soil; functional bacteria; microbial inoculum; salt tolerance; ability of dissolve phosphate and potassium

土壤盐渍化是设施菜田土壤中一个主要障碍性问题。由于设施菜田施肥量大、大水漫灌、缺少雨水淋洗等特点,易造成土壤次生盐渍化、土传病害等问题,主要表现为土壤表层覆盖大量青苔,干旱时会出现红霜、白霜且土壤板结,严重影响蔬菜根系的发育,导致植株生长受阻,致使农产品品质下降<sup>[1]</sup>;同时也会造成磷钾元素在土壤中大量累积,从而引起盐渍化土壤的营养失衡。而土壤中丰富的磷钾元素多以磷灰石和铝硅酸盐等矿物态形式存在,不易被植物直接吸收利用<sup>[2]</sup>。已有研究<sup>[3]</sup>表明,从土壤中筛选出具有解钾解硅功能的胶质芽孢杆菌和具有解磷功能的巨大芽孢杆菌,它们自身分泌的有机酸、多糖可以破坏土壤矿物晶格结构,从而释放出可溶态磷、钾等元素。

目前,人们对微生物菌剂在盐分胁迫下的解磷解钾的研究也有一些报道,Jiang 等<sup>[4]</sup>分离出 4 种溶磷菌株,包括巨大芽孢杆菌(YM13)、青贮黏液杆菌(TPMX5)、肠杆菌(YM14)和普罗维登氏菌(TPM23),研究表明这 4 种菌在 1.4 mol/L NaCl 处理下具有较高的溶磷性,能够提高花生的生物量,对花生的生长具有促进作用;Hegazi 等<sup>[5]</sup>研究报道指出,在 50 mmol/L NaCl 处理下接种巨大芽孢杆菌可以提高甜椒的产量;马慧媛等<sup>[6]</sup>研究指出,施用含有哈茨木霉和巨大芽孢杆菌的功能菌可提高设施茄子土壤速效磷、速效钾含量,比对照分别增加 31.51% 和 55.94%;秦超琦等<sup>[7]</sup>研究发现,利用 AM 菌和毛霉菌制成的解磷菌剂施用到海滨盐土上可以促进蓖麻和海滨锦葵的生长,显著增加土壤速效磷的含量,比对照增加 89.0%。本课题组已有的研究<sup>[8]</sup>表明,胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌具有溶磷解钾的能力,并能提高大棚辣椒的产量,但是在盐分胁迫下和次生盐渍化

的大棚菜田土壤上,胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌的解磷解钾的能力如何?基于此,针对永清县设施蔬菜田土壤次生盐渍化问题,以解磷、钾的功能微生物胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌为主要对象,研究了不同盐分浓度胁迫对混合菌剂中胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌有效活菌数、解磷、钾能力的影响,以及混合菌剂在轻度盐渍化设施菜田土壤上的应用效果,尤其是对设施蔬菜产量和品质的影响,以期为解决设施土壤出现的次生盐渍化生产问题提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

室内试验于 2017 年 10 月 2 日至 12 月 30 日在河北农业大学资环学院实验室进行。

供试菌剂为混合菌剂(含有胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌 1:1)有效活菌数为  $3.86 \times 10^8$  cfu/mL,由河北润沃生物技术有限公司提供。牛肉膏—蛋白胨培养基:牛肉膏 5.0 g,蛋白胨 10.0 g,NaCl 5.0 g,水 1 000 mL,pH 7.0~7.2。

供试矿物为钾长石粉( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ),市购于河北省灵寿县钾长石矿粉,粒径  $< 0.15$  mm。使用前过 100 目筛后先用去离子水超声清洗后,在盐酸溶液(pH 4.0)中浸泡 24 h,再用去离子水超声清洗若干次,以除去水溶性钾,直至溶液澄清且 pH 为 7.0,烘干备用<sup>[9]</sup>。

NaCl 浓度:0.5% (正常培养基中 NaCl 含量),3.0%,5.5%,7.5%,10.5%,12.5%。

田间试验于 2018 年 3 月 2 日至 10 月 28 日于河北省永清县设施蔬菜大棚进行。供试作物为设施番茄、甜瓜和西瓜,供试土壤均为轻壤质潮土,其基本理化性质见表 1。

表 1 试验土壤基本理化性质

供试作物	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	硝态氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	铵态氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	pH	EC/ ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	土壤盐化等级
番茄	26.2	34.0	3.31	125	465	8.04	438	轻度
甜瓜	25.8	33.8	3.25	189	397	8.36	258	轻度
西瓜	24.4	32.5	3.19	121	183	8.21	238	轻度

### 1.2 试验处理与培养方法

1.2.1 盐分胁迫下混合菌剂有效活菌数试验 通过不断提高牛肉膏—蛋白胨培养基的盐浓度来进行混合菌耐盐试验。在保持培养基 pH=7 不变的情况下,以含 0.5% NaCl 的正常培养基为 CK,按照上述 NaCl 浓度分别配置成含有不同盐浓度的培养基,250 mL 三角瓶中加入 100 mL 配置好的培养基,121 °C 灭菌 20 min,倒平

板,将稀释  $10^{-5}$  倍菌液按 0.1 mL 的接菌量涂布培养,设 6 个处理,每个处理 4 次重复,28 °C 培养 48 h,采用平板计数法测定其有效活菌数,4 °C 下保存菌株。

1.2.2 盐分胁迫下混合菌解磷、钾能力试验 每 50 mL 离心管中加  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  0.20 g 和含有上述不同浓度 NaCl 培养基 20 mL,封口膜封口,121 °C 灭菌 20 min,然后按 5% (1 mL) 的接菌量将供试菌剂加入

离心管中,以不加菌液为对照,6 个处理,每个处理 4 次重复,30 ℃ 下 250 r/min 培养 5 天。将上述发酵液 10 000 r/min 离心 10 min,上清液收集于 15 mL 离心管中,剩余的沉淀物用 20% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮、定容、过滤后,ICP—OES 测定上清液和沉淀物中磷含量。同理采用钾长石粉替代 Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>,试验设计同上,火焰光度计法测定上清液和沉淀物中钾的含量。

1.2.3 混合菌剂在轻度盐渍化设施菜田上的应用效果研究 该试验在河北省永清县 3 个土壤轻度盐渍化的大棚中进行,分别种植番茄、甜瓜和西瓜。每个蔬菜

表 2 轻度盐渍化土壤 3 种蔬菜微生物菌剂的施用情况

处理	番茄	甜瓜	西瓜
CK	不施菌剂	不施菌剂	不施菌剂
T	定植水冲施 75 L/hm <sup>2</sup>	定植时穴施 225 kg/hm <sup>2</sup> 定植水冲施 37.5 L/hm <sup>2</sup>	定植时穴施 105 kg/hm <sup>2</sup> 定植水冲施 22.5 L/hm <sup>2</sup>

### 1.3 测定项目与方法

有效活菌数、土壤中细菌、真菌、放线菌数量测定采用平板计数法<sup>[10]</sup>。上清液和沉淀物中速效钾含量采用火焰光度计法测定;有效磷含量采用 ICP—OES 测定<sup>[11]</sup>。

土壤理化性质测定<sup>[11]</sup>:土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化—硫酸亚铁滴定法测定;土壤硝态氮含量采用酚二磺酸比色法测定;土壤铵态氮含量采用 KCl 浸提—蒸馏法测定;土壤有效磷含量采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定;土壤速效钾含量采用醋酸铵浸提—火焰光度法测定;土壤 pH 采用电位法测定;土壤 EC 含量采用电导率法测定。

果实品质测定<sup>[12]</sup>:还原性 VC 含量采用 2,6—二氯酚靛酚滴定法测定;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G—250 染色法测定;可滴定酸含量采用 NaOH 滴定法测定;可溶性固形物采用手持折光仪测定;可溶性糖含量采用硫酸—蒽酮比色法测定。

解磷、解钾能力的计算:

$$\text{解磷能力}(\%) = (\text{处理}_{\text{有效磷含量}} - \text{CK}_{\text{有效磷含量}}) \times 100 / \text{CK}_{\text{有效磷含量}}$$

$$\text{解钾能力}(\%) = (\text{处理}_{\text{速效钾含量}} - \text{CK}_{\text{速效钾含量}}) \times 100 / \text{CK}_{\text{速效钾含量}}$$

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2007 软件处理数据和绘表,采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析,其中采用单因素方差分析进行差异显著性检验( $P < 0.05$ ),琼脂培养和摇瓶试验采用 Duncan 法进行数据的多重比较,田间小区试验采用  $t$  检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐分胁迫对混合菌活性的影响

由表 3 可知,30 ℃ 培养 48 h,混合菌的有效活菌数随

大棚均设 2 个处理,分别为不施菌剂的对照组(CK)和施微生物混合菌剂的处理组,每个处理 3 次重复,各试验区菌剂施用情况见表 2,其中处理中菌剂的施用量和施用时期根据已有的研究结果而定,对照组和处理组的田间管理、施肥习惯二者保持一致。番茄、甜瓜和西瓜收获后,取 0—20 cm 土层的土壤样品用于测定其土壤有效磷含量和速效钾含量及土壤中细菌、真菌、放线菌数量;取收获后的番茄、甜瓜和西瓜用于测定果实品质(还原性 VC 含量、可溶性蛋白质含量、可滴定酸含量、可溶性固形物、可溶性糖含量)及产量。

着 NaCl 浓度的增大呈明显下降趋势。在 CK 处理 NaCl 浓度为 0.5% 的正常培养基上,混合菌的有效活菌数最大,达  $7.5 \times 10^8$  cfu/mL;在 NaCl 浓度为 10.5% 时,混合菌的有效活菌数最小,达  $0.4 \times 10^8$  cfu/mL;而当 NaCl 浓度为 12.5% 时,细菌受到盐分的抑制作用而不再生长,这说明混合菌最适宜生长的盐分浓度为 0.5% NaCl,其最大耐受盐浓度为 10.5% NaCl。

表 3 不同浓度盐分对混合菌活性的影响

NaCl 浓度/%	菌落数/个	有效活菌数/ ( $\times 10^8$ cfu · mL <sup>-1</sup> )
0.5	75	7.5a
3.0	67	6.7b
5.5	50	5.0c
7.5	16	1.6d
10.5	4	0.4e
12.5	0	0e

注:同列不同小写字母表示不同 NaCl 浓度处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.2 盐分胁迫下混合菌解磷、钾能力

从表 4 可以看出,在含有不同盐浓度的液体培养基中培养含胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌的混合菌,研究细菌在受到不同盐分胁迫条件下表现出来的解磷、钾能力。对于添加混合菌的处理而言,不同浓度盐分处理之间,发酵物中有效磷含量范围变化为 209.60~302.17 mg/L,且随着添加 NaCl 浓度的增大而呈现逐渐下降的趋势,说明 NaCl 含量的增加对混合菌产生一定的胁迫作用。当 NaCl 浓度为 0.5% 时,处理组和对照组发酵液中有效磷含量分别为 302.71, 199.07 mg/L,处理组比对照组增加 103.64 mg/L,解磷能力达 52.06%;当 NaCl 浓度为 3.0% 时,解磷能力达 39.20%,与 0.5% NaCl 浓度处理差异不显著,说明在 NaCl 浓度为 0.5%~3.0% 时,混合菌解磷能

力最强;当 NaCl 浓度为 12.5% 时,混合菌解磷能力最弱,处理组和对照组中有效磷含量分别为 209.60, 193.17 mg/L,处理组比对照组增加 16.43 mg/L,解磷能力为 8.50%;当 NaCl 浓度为 5.5%,7.5%,10.5%, 12.5% 时,4 个处理间差异不显著( $P>0.05$ )。

添加混合菌处理发酵液中速效钾含量随着 NaCl 浓度的增大呈逐渐下降的趋势,各处理之间差异显著( $P<0.05$ ),说明 NaCl 含量的增加对混合菌产生抑

制作用。在 NaCl 浓度为 0.5% 正常培养基中,混合菌解钾能力最强,处理组和对照组发酵液中速效钾含量为分别为 142.05,80.98 mg/L,处理组比对照组增加 61.07 mg/L,解钾能力达 75.41%;当 NaCl 浓度为 12.5% 时,混合菌解钾能力最弱,处理组和对照组发酵液中速效钾含量分别为 119.62,79.48 mg/L,处理组比对照组增加 40.14 mg/L,仍能表现出一定的解钾能力,解钾能力为 50.50%。

表 4 不同盐浓度对混合菌解磷、解钾能力的影响

NaCl 浓度/%	有效磷含量/(mg·L <sup>-1</sup> )		解磷能力/%	速效钾含量/(mg·L <sup>-1</sup> )		解钾能力/%
	CK	处理		CK	处理	
0.5	199.07±9.27a	302.71±7.98a	52.06	80.98±0.86a	142.05±0.81a	75.41
3.0	201.73±4.86a	280.80±23.04a	39.20	81.06±0.49a	140.21±0.16ab	72.98
5.5	189.50±5.23a	219.66±6.24b	15.92	80.93±1.36a	138.07±0.59b	70.61
7.5	195.98±3.98a	216.66±6.89b	10.71	80.91±1.24a	132.48±1.37c	63.72
10.5	195.85±3.44a	215.32±16.89b	9.94	80.38±0.55a	128.04±1.49d	59.30
12.5	193.17±9.85a	209.60±7.89b	8.50	79.48±0.59a	119.62±0.39e	50.50

综上所述,混合菌剂在受到盐胁迫时,解磷、钾能力随着盐浓度的增大而降低,但是仍能表现出一定的溶磷解钾能力。故进一步将混合菌剂应用到轻度盐渍化设施菜田上,研究其在土壤中的存活能力,以及对蔬菜品质、产量及活化土壤中磷、钾元素的影响。

### 2.3 微生物菌剂在轻度盐渍化设施菜田的施用效应

2.3.1 施用微生物菌剂对轻度盐渍化设施蔬菜品质及产量的影响 施用微生物菌剂处理的番茄叶片大而肥厚,叶色浓绿,茎秆增粗,植株健壮;果实整齐、果面光滑,色泽鲜艳,口感好,畸形果少,商品性状好。从番茄果实品质指标(表 5)来看,除蛋白质外,处理组 VC 含量、可滴定酸含量、可溶性固形物和可溶性糖含量比对照分别提高 69.44%,101.34%,12.33% 和 2.68%,差异显著( $P<0.05$ );处理组和对照组的单果重分别为 0.21,0.16 kg/个,比对照组增加 31.25%,每亩增产 104.81%,差异显著( $P<0.05$ )。

施用微生物菌剂处理的甜瓜苗所有叶片的叶色浓绿,生长正常,而未施微生物菌剂的对照棚室甜瓜老叶出现叶脉间失绿黄化的现象,且施用微生物菌剂的

棚室甜瓜花期提前 1 周左右。同时施用微生物菌剂处理的甜瓜甘甜、酥脆,对照组的甜瓜甜度稍差、且硬度较大。从甜瓜果实质指标(表 5)来看,除可滴定酸含量和可溶性固形物外,处理组 VC 含量、蛋白质含量和可溶性糖含量比对照分别提高 145.83%,7.14%, 35.41%,差异显著( $P<0.05$ );处理组和对照组的单果重分别为 2.85,2.54 kg/个,比对照高出 12.20%,每亩增产 23.72%,差异显著( $P<0.05$ )。

施用微生物菌剂后,可促进西瓜缓苗和壮苗,瓜秧长势好,抗病性增强,开花结瓜提前 7~10 天;以往冷棚西瓜存在裂瓜现象,而施用微生物菌剂处理的西瓜没有发现裂瓜现象。从西瓜果实品质指标(表 5)来看,除可滴定酸含量和可溶性固形物变化不大外,施用微生物菌剂,可显著提高 VC、蛋白质和可溶性糖含量,尤其 VC 含量提高 1 倍,差异显著( $P<0.05$ )。处理组和对照组的单果重分别为 5.10,4.02 kg/个,比对照高出 26.87%,每亩增产 28.96%,差异显著( $P<0.05$ )。

由此可见,施用微生物菌剂后,可以改善果实品质,增加产量。

表 5 微生物菌剂对轻度盐渍化设施蔬菜品质及产量的影响

处理	VC 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )	蛋白质含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	可滴定酸含量/%	可溶性固形物/%	可溶性糖含量/%	单果重/kg	亩产量/kg	增产/%	
									VC 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )
番茄	CK	0.36±0.02	0.16±0.03*	15.64±0.06	3.73±0.12	1.49±0.20	0.16	5111	—
	T	0.61±0.04*	0.03±0.01	31.49±0.08*	4.19±0.15*	1.53±0.18*	0.21*	10468*	104.81
甜瓜	CK	0.24±0.09	0.28±0.07	13.47±0.16	11.78±0.46	6.27±0.46	2.54	3680	—
	T	0.59±0.03*	0.30±0.06*	11.26±0.13	12.13±0.11	8.49±0.56*	2.85*	4553*	23.72
西瓜	CK	0.26±0.04	0.35±0.05	11.29±0.02	10.5±0.13	5.86±0.15	4.02	3360	—
	T	0.41±0.02*	0.37±0.04*	11.24±0.05	10.4±0.16	6.14±0.13*	5.10*	4333*	28.96

注:同列数字后 \* 表示同种蔬菜 CK 与处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

2.3.2 施用微生物菌剂对轻度盐渍化设施菜田土壤微生物区系的影响 施用微生物菌剂后,种植番茄、

甜瓜、西瓜的土壤中细菌、真菌、放线菌的有效活菌数变化见表 6。在施用微生物菌剂处理的土壤菌群的

有效活菌数比对照组的土壤菌群有效活菌数有一定增长。种植番茄处理组中细菌、真菌、放线菌有效活菌数分别为  $1.55 \times 10^8$ ,  $1.52 \times 10^4$ ,  $4.25 \times 10^6$  cfu/g, 分别比对照组增加 23.02%, 83.13% 和 26.11%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 种植甜瓜处理组中细菌、真菌、放线菌有效活菌数分别为  $1.96 \times 10^8$ ,  $2.34 \times 10^4$ ,  $2.69 \times 10^6$  cfu/g, 分别比对照组增加 133.33%, 49.04% 和 42.33%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 种植西瓜处理组中的细菌、真菌、放线菌有效活菌数分别为  $1.11 \times 10^8$ ,  $1.43 \times 10^4$ ,  $1.57 \times 10^6$  cfu/g, 分别比对照组增加 33.73%, 48.96%, 44.04%, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由此可见, 施用微生物菌剂处理后, 轻度盐渍化土壤中细菌有所增加, 说明微生物菌剂施入土壤后, 混合菌剂里的细菌能够正常生长繁殖, 并保持一定活性。而土壤中真菌和放线菌的增加, 说明微生物菌肥能够改变土壤的微域环境, 对土壤中的真菌、放线菌有益, 有助于土壤微生物的生长繁殖。

表 6 微生物菌剂对轻度盐渍化设施菜田土壤微生物数量的影响

蔬菜种类	处理	细菌/ ( $\times 10^8$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$ )	真菌/ ( $\times 10^4$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$ )	放线菌/ ( $\times 10^6$ cfu $\cdot$ g $^{-1}$ )
番茄	CK	1.26 $\pm$ 0.08	0.83 $\pm$ 0.02	3.37 $\pm$ 0.12
	T	1.55 $\pm$ 0.03*	1.52 $\pm$ 0.02*	4.25 $\pm$ 0.09*
甜瓜	CK	0.84 $\pm$ 0.03	1.57 $\pm$ 0.03	1.89 $\pm$ 0.07
	T	1.96 $\pm$ 0.05*	2.34 $\pm$ 0.11*	2.69 $\pm$ 0.06*
西瓜	CK	0.83 $\pm$ 0.04	0.96 $\pm$ 0.04	1.09 $\pm$ 0.03
	T	1.11 $\pm$ 0.04*	1.43 $\pm$ 0.03*	1.57 $\pm$ 0.06*

2.3.3 施用微生物菌剂对轻度盐渍化设施菜田土壤有效磷和速效钾的影响 由表 7 可知, 施用微生物菌剂处理组中有效磷含量分别为 207.09, 145.05, 237.12 mg/kg, 分别比对照组提高 95.12%, 22.83%, 134.52%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 施用微生物菌剂处理组中速效钾含量分别为 613.06, 273.09, 285.13 mg/kg, 分别比对照组提高 92.71%, 6.66%, 117.46%, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。由此可见, 施用微生物菌剂可以增加轻度盐渍化土壤中有效磷和速效钾的含量。

表 7 微生物菌剂对轻度盐渍化设施菜田土壤中有效磷、速效钾含量的变化 单位: mg/kg

蔬菜种类	处理	有效磷含量	速效钾含量
番茄	CK	106.13 $\pm$ 9.56	318.13 $\pm$ 0.05
	T	207.09 $\pm$ 8.25*	613.06 $\pm$ 0.04*
甜瓜	CK	118.09 $\pm$ 8.91	256.04 $\pm$ 0.02
	T	145.05 $\pm$ 7.43*	273.09 $\pm$ 0.07*
西瓜	CK	101.11 $\pm$ 6.12	131.12 $\pm$ 0.03
	T	237.12 $\pm$ 8.20*	285.13 $\pm$ 0.02*

### 3 讨论

微生物自身生理特性决定其生存要求较高, 而设

施蔬菜产业的长期发展使菜田土壤处于盐渍化、湿度大等逆性环境, 为此, 微生物在盐分含量过高的情况下, 是否能够正常生长并发挥自身作用成为进一步研究的关键问题。李杨等<sup>[13]</sup>从天津盐碱土中分离纯化出的硅酸盐细菌对盐分耐受效果高达 3%; 张广志等<sup>[14]</sup>从山东盐碱地分离筛选的菌株均能够耐盐 10%, 最高可达耐盐程度为 20%, 当盐分为 25% 时, 分离筛选的菌株活性均受到明显抑制。而本试验中混合菌剂(含胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌)最大耐受盐浓度为 10.5%, 当盐分浓度为 12.5% 时, 细菌受到盐分的抑制作用而不再生长, 说明不同菌剂对盐分的耐受程度不同。

微生物菌剂被广泛地应用于盐渍化土壤的改良当中, 它不仅能够改变土壤中营养元素的活性状态, 改善土壤理化性质, 改变微生物菌群, 为设施蔬菜生长提供一个良好的生存环境, 从而起到促进作物生长, 降低土传病害, 提高产量。近年来, 国内外学者对微生物菌剂在盐碱地改良中的报道较多。章丽<sup>[15]</sup>研究指出, 施用根际促生菌贝莱斯芽孢杆菌 S3-1 (*Bacillus amyloliquefaciens* S3-1) 可以改善土壤次生盐渍化, 并有效提高土壤肥力, 改善蔬菜品质; 陈小倩等<sup>[16]</sup>、李北齐等<sup>[17]</sup>研究证明, 施用生物有机肥可以有效改良盐碱地, 提高大麦、玉米的产量; 耿丽平等<sup>[18]</sup>研究指出, 施用硅酸盐菌剂可使小麦土壤速效钾含量提高 40.82%, 小麦产量增加 24.23%; 方方舟等<sup>[19]</sup>研究指出, 施用微生物菌剂可使稻田土壤磷、钾含量分别提高 32.17% 和 45.57%。本研究中施用微生物菌剂对轻度盐渍化设施蔬菜番茄、甜瓜和西瓜的果实品质及产量均有提高, 产量分别比对照组增加 104.81%, 23.72%, 43.84%; 显著提高土壤中有效磷和速效钾含量, 分别比对照组提高 95.12%, 22.83%, 134.52% 和 92.71%, 6.66%, 117.46%。这与前人<sup>[20]</sup>的研究结果一致, 这是由于解磷解钾微生物既能活化土壤中磷、钾元素, 又能对植物根系分泌物的数量和种类产生影响, 并能提高植物根系对各种营养物质的吸收, 从而对植物生长发育起到促进作用, 其机理是在繁殖过程中, 微生物分泌的有机酸、多糖、氨基酸和多种酶等物质, 使土壤团粒结构疏松, 毛细管被切割, 抑制了返盐的形成。

微生物群落的数量、结构和活性与土壤生态系统功能密切相关, 土壤微生物群落受诸多环境因素的影响<sup>[6, 21]</sup>。马慧媛等<sup>[6]</sup>研究指出, 施用微生物菌剂能够改变土壤可培养微生物的数量和构成, 微生物菌剂处理土壤中细菌、真菌和放线菌的数量均显著增加; 李凤霞

等<sup>[22]</sup>的研究指出,氮肥减量+微生物菌剂处理能够增加土壤中细菌、放线菌和微生物总数的数量。本研究结果表明,施用微生物菌剂可显著增加土壤中细菌、真菌、放线菌的数量,这与前人<sup>[23]</sup>的研究结果一致,原因可能是由于施入的混合菌剂中微生物对土著微生物有一定的活化作用,且含有供微生物生长繁殖所需的营养物质,因而加速了土壤中微生物的生长繁殖。

## 4 结论

(1)含有胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌 1:1 混合菌最大耐受盐浓度为 10.5% NaCl,最适宜生长的盐分浓度为 0.5%,且在该盐分浓度下解磷、钾的能力最强,有效磷、速效钾含量增幅分别为 52.06%,75.41%。

(2)施用含有溶磷解钾能力的胶质芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌的微生物菌剂可以改善轻度盐渍化设施菜田番茄、甜瓜和西瓜果实品质,增产效果明显,显著增加土壤微生物菌群的数量,并且促进设施菜田土壤中磷、钾的释放。

### 参考文献:

[1] 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.

[2] 沈仁芳,赵学强.土壤微生物在植物获得养分中的作用[J].生态学报,2015,35(20):6584-6591.

[3] 钱晓雍,沈根祥,郭春霞,等.不同废弃物对设施菜地次生盐渍化土壤的修复效果[J].农业环境科学学报,2014,33(4):737-743.

[4] Jiang H H, Qi P S, Wang T, et al. Role of halotolerant phosphate-solubilising bacteria on growth promotion of peanut(*Arachis hypogaea*) under saline soil[J]. Annals of Applied Biology,2019,174(1):20-30.

[5] Hegazi A M, Ei-Shraiy A M, Ghoname A A. Mitigation of salt stress negative effects on sweet pepper using arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), *Bacillus megaterium* and Brassinosteroids (BRs)[J]. Gesunde Pflanzen, 2017,69(2):91-102.

[6] 马慧媛,黄媛媛,刘胜尧,等.微生物菌剂施用对设施茄子根际土壤养分和细菌群落多样性的影响[J].微生物学通报,2020,47(1):140-150.

[7] 秦超琦,吴向华,郑琨,等.解磷菌剂对海滨盐土有效磷含量及耐盐油料植物生长的影响[J].生态学杂志,2009,28(9):1835-1841.

[8] Zhao Y N, Zhang M S, Wei Y, et al. Effects of microbial inoculants on phosphorus and potassium availability, bacterial community composition, and chili pepper growth in a calcareous soil: A greenhouse study[J]. Journal of Soils and Sediments, 2019, 19(10): 3597-3607.

[9] 赵艳,张晓波,郭伟.不同土壤胶质芽孢杆菌生理生化特征及其解钾活性[J].生态环境学报,2009,18(6):2283-2286.

[10] 林先贵.土壤微生物研究原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2010.

[11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.

[12] 张敏硕,赵英男,杨威,等.微生物菌剂对张北冷凉坝上地区马铃薯产量、品质及活化土壤磷钾的效果[J].水土保持学报,2019,33(3):232-239.

[13] 李杨,李登煜,黄明勇,等.从盐碱土中分离的几株硅酸盐细菌的生物学特性初步研究[J].土壤通报,2006,37(1):206-208.

[14] 张广志,周红姿,杨合同,等.盐碱土壤中耐盐细菌的分离与鉴定[J].山东农业科学,2008(9):49-50,54.

[15] 章丽.上海郊县设施菜田土壤次生盐渍化调查及 S3-1 菌株与蔬菜的改良利用[D].上海:上海师范大学,2018.

[16] 陈小倩,曹伟召,李国梁,等.盐碱土壤施用不同生物有机肥对大麦生长和产量的影响[J].大麦与谷类科学,2016,33(3):48-51.

[17] 李北齐,王倡宪,孟瑶,等.生物有机肥对盐碱土壤养分及玉米产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(21):182-186.

[18] 耿丽平,李小磊,赵全利,等.添加微生物菌剂对小麦产量及土壤生物学性状的影响[J].江苏农业科学,2017,45(5):50-54.

[19] 方华舟,左雪枝.稻田固氮解磷解钾菌筛选及其复合菌剂对土壤培肥作用[J].中国土壤与肥料,2014(3):82-87.

[20] 张辉,李维炯,倪永珍.生物有机无机复合肥对土壤微生物活性的影响[J].农村生态环境,2004,20(1):37-40.

[21] 顾金凤.微生物菌肥对盐渍化土壤的改良研究[D].江苏扬州:扬州大学,2013.

[22] 李凤霞,赵营.氮肥减量配施微生物菌剂对灌溉土花椰菜产量及土壤微生物的影响[J].水土保持研究,2017,24(2):94-100.

[23] Marschner P, Crowley D, Yang C H. Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type[J]. Plant and Soil, 2004,261(1/2):199-208.