



西瓜枯萎病多功能生防细菌的筛选和抗病效果

李 晋, 普 倩, 张帅帅, 曾国红, 胡秀芳

(浙江理工大学生命科学与医药学院, 杭州 310018)

摘 要: 由尖孢镰刀菌西瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, FON)侵染引起的西瓜枯萎是一种毁灭性的土传病害, 利用有益微生物是生产上防治西瓜枯萎病最具潜力的方法。采用耐酸耐盐培养基和平板对峙法筛选出一株既耐酸耐盐, 又能拮抗西瓜枯萎病原菌的多功能生防菌株 ZJT2, 对其耐酸耐盐活性及抗病效果进行测定, 并进一步对其进行分子鉴定。结果表明: 菌株 ZJT2 可耐受 pH 值为 4.0、NaCl 质量分数为 11% 的培养条件, 且在正常土壤中该菌株对西瓜枯萎病原菌的防治效果高达 100%; 在设施土壤(酸化和盐渍化土壤)中该菌株对西瓜枯萎病原菌的防治效果高达 67%; 16S rDNA 鉴定表明菌株 ZJT2 与暹罗芽孢杆菌(*Bacillus siamensis*) 具有很高的遗传相似性, 同源性为 99%。多功能生防菌株 ZJT2 有望成为酸化及盐渍化土壤中西瓜枯萎病生物防治的新材料。

关键词: 西瓜枯萎病原菌; 多功能生防菌; 抗病效果; 生物防治

中图分类号: S436.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2021)09-0685-06

Screening of multifunctional biocontrol bacterium against watermelon *Fusarium* wilt and its effect on disease control

LI Jin, PU Qian, ZHANG Shuaishuai, ZENG Guohong, HU Xiufang

(College of Life Sciences and Medicine, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Watermelon *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (FON) is a devastating soil-borne disease, and beneficial microorganisms are the most potential method for controlling watermelon *Fusarium* wilt in production. A multifunctional biocontrol strain ZJT2, which was both acid-resistant and salt-resistant, and antagonistic to watermelon wilt pathogen, was screened out by acid-resistant and salt-resistant medium and plate confrontation method, its acid-resistant and salt-resistant activity and disease resistance were tested, and it was further molecularly identified. The results showed that the strain ZJT2 could tolerate the culture conditions with a pH value of 4.0 and a NaCl content of 11%, and the control effect of strain on watermelon wilt pathogen in normal soil was as high as 100%. And the control effect in greenhouse soil (acidified and salinized soil) was up to 67%. The 16S rDNA identification indicated that the strain ZJT2 had high genetic similarity with *Bacillus siamensis* and their homology was 99%. The multifunctional biocontrol strain ZJT2 is expected to become a new material to control watermelon *Fusarium* wilt in acidified and salinized soils in a biological manner.

Key words: *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*; multifunctional biocontrol strain; disease control; biological control

0 引言

西瓜枯萎病由尖孢镰刀菌西瓜专化型(*Fusarium oxysporum f.sp.niveum*, FON)引起,是世界上对植物造成危害最严重的土传病害之一,可导致西瓜大面积减产,是制约西瓜产业发展的重要因素^[1-2]。西瓜枯萎病的病原菌的厚垣孢子在土壤中可存活8~10年,且能侵染多种作物,植株染病后,会出现维管束变褐,茎基部窄缩,最终导致植株枯萎^[3],周围植株被传染后会迅速产生病状,造成枯萎病毁灭性病害^[4]。生防菌剂防治是利用有益微生物对土传病害进行防治的一种技术,具有持久性、多抗性、对环境友好和污染小等特点^[5],也是生产上防治西瓜枯萎病最具潜力的方法^[6],其中生防细菌因繁殖快、营养要求低、适应性好等优点,成为研究植物土传病害生物防治的重点对象^[7-8]。目前,应用于植物土传病害防治的生防细菌主要包括芽孢杆菌属*Bacillus*和假单胞菌属*Pseudomonas*等,其中,芽孢杆菌属的研究最为广泛^[9]。

不合理施肥和长期连作种植会导致土壤养分失衡,是诱导植物土传病害发生的重要原因之一^[10]。酸碱度和盐含量是土壤理化性质的重要指标之一,是衡量土壤质量水平的关键因子^[11],当土壤酸化或者盐含量过高时,土壤养分失衡,有益微生物数量减少,病原菌数量剧增,从而加剧土传病害的发生,最终导致作物减产、品质下降,严重制约了农业生产^[12-13]。施加微生物菌剂是改善土壤理化性质的重要方法,酸性土壤中大量存在的耐酸微生物可以利

用自身的代谢产物中和土壤中的氢离子,提高土壤pH值,进而减缓土壤酸化程度^[14]。在酸性土壤中接入耐酸根瘤菌,有效提高了土壤pH值,缓解了土壤带来的酸性胁迫^[15]。盐渍化土壤中的大量嗜盐微生物通过利用土壤中的盐分,降低土壤的盐含量,从而促进植物的生长^[16]。在盐渍化土壤中施加耐盐菌剂,大大提高了土壤中有益微生物的数量,降低了土壤硝酸盐的含量,缓解了土壤盐渍化程度^[17]。微生物菌剂的开发与利用显著改善了土壤的理化性质,对防治土壤酸化、盐渍化以及减缓植物土传病害发病率起到了重要作用^[18]。

目前,对酸性和盐渍化土壤中西瓜枯萎病病害的防治仅限于如何修复土壤或如何防治病害的单方面治理,并未将两者有机结合,本文通过筛选既耐酸耐盐又拮抗西瓜枯萎病原菌的多功能生防菌株,并在正常土壤和连作障碍土壤中对其防治病害的效果进行了检测,旨在酸性和盐渍化土壤中西瓜枯萎病病害的防治探索出有效的生物防治措施。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试菌株:西瓜枯萎病原菌(FON)由本实验室保存,多功能生防菌由本实验室从浙江台州蔬菜大棚土壤中分离筛选得到。

供试培养基:病原菌FON用PDA培养基培养;生防菌用NB培养基培养,筛选培养基为GM培养基(耐酸)、SC培养基(耐盐),培养基配方见表1。

西瓜植株:采自浙江台州,用于离体、盆栽实验。

表1 培养基配方

培养基名称	培养基配方
PDA	酵母提取物 5.0 g/L,蛋白胨 10.0 g/L,NaCl 10.0 g/L,pH值 4.5
NB	牛肉膏 5.0 g/L,蛋白胨 10.0 g/L,NaCl 5.0 g/L,pH值 4.5
GM	葡萄糖 10.0 g/L,蛋白胨 0.5 g/L,酵母提取物 0.2 g/L,MgSO ₄ ·7H ₂ O 0.2 g/L,pH值 4.5
SC	牛肉膏 3.0 g/L,蛋白胨 10.0 g/L,NaCl 30.0 g/L,pH值 4.5

1.2 实验方法

1.2.1 耐酸耐盐菌株的筛选

称取5g采集的土壤,放入含有100mL无菌水的三角瓶中,振荡后静置5min,取土壤悬浊液进行梯度稀释,涂布至GM固体培养基初筛耐酸菌株,将筛选出的耐酸菌株接种至SC液体培养基复筛耐盐菌株。

1.2.2 拮抗菌株的筛选

采用平板对峙实验进行拮抗菌株的筛选。挑取筛选出的耐酸耐盐菌株的单菌落接种至50mL NB

液体培养基中,30℃,220r/min培养24h,离心去上清,加入无菌水重悬菌体,制备成10⁸个/mL的菌液;将病原菌FON接种至PDA固体培养基中,于28℃倒置培养7d,用5mm打孔器在长有病原菌的平板上打孔,将菌饼倒置在新鲜PDA平板的中心,在其周围均匀放置三个与其等距离(2.5cm)的无菌滤纸片。用移液枪移取5μL耐酸耐盐菌株发酵液于滤纸片上,空白对照为只接入病原菌的PDA平板,每个处理三个重复,将平板倒置培养10d,观察并测量病原菌的直径,计算拮抗菌株的抑制率^[19]。

1.2.3 多功能生防菌耐酸耐盐检测

耐酸:将多功能生防菌株以1%的接种量接种于pH值分别为4.5、4.0、3.5、3.0、2.5和2.0的GM液体培养基中,于28℃、220 r/min培养48 h,测量600 nm处的OD值,空白对照为未接菌的GM培养基。

耐盐:将多功能生防菌株以1%的接种量接种于盐质量分数分别为5%、7%、9%、11%、13%和15%的SC液体培养基中,于28℃、220 r/min培养48 h,测量600 nm处的OD值,空白对照为未接菌的SC培养基。

1.2.4 多功能生防菌的抑菌效果检测

1.2.4.1 离体实验

将病原菌FON接种至PDA固体培养基中,于28℃倒置培养7 d后备用。将拮抗菌接种至NB液体培养基,于30℃、220 r/min培养24 h,离心去上清,加入无菌水重悬菌体,制备 10^8 个/mL的菌液。

对培养30 d的西瓜植株在超净台进行表面消毒(无菌水洗涤3次,每次1 min;75%乙醇消毒20 s;3%NaClO消毒3 min;无菌水冲洗3次),将消毒好的西瓜植株置于含有无菌滤纸的无菌组培瓶中,使用灭菌棉签将拮抗菌菌液均匀涂抹在植株表面并定植24 h。用无菌针头挑取培养7 d后的FON的菌丝接种于西瓜植株的根茎部,置于28℃培养箱中培养7 d,观察植株发病情况,并按照下列公式,具体方法参考文献[20]统计植株病情指数和防治效率,共设4个处理,分别为CK(接无菌水)、病原菌、拮抗菌、拮抗菌加病原菌,每个处理做9瓶,每3瓶为一个重复。

$$D = \frac{\sum (R \times N_r)}{N \times R_m},$$

其中: D 为病情指数; R 为各病情级别; N_r 为各级别对应的发病植株数; N 为调查总植株数; R_m 为最高病情级别值。

$$C/\% = \frac{D_{ck} - D_t}{D_{ck}} \times 100,$$

其中: C 为防治效果; D_{ck} 为对照组病情指数; D_t 为处理组病情指数。

1.2.4.2 盆栽实验

将培养40 d的西瓜苗移栽到盆栽盆中(每盆一株),适应生长一周后,向土壤中加入5 mL浓度为 10^8 个/mL的拮抗菌体悬浮液,定植3 d后,接种5 mL浓度为 10^8 个/mL的病原菌FON孢子悬浮液于植株根部,10 d后观察植株的生长状况,记录发病情况。

共设置2组实验,正常土壤(pH值6.8,盐含

量0.22 g/kg)和设施土壤(pH值5.0,盐含量0.45 g/kg);其中,正常土壤为纯天然、无虫无病营养土,对正常土壤进行酸度及盐含量调整得到设施土壤,为避免土壤中微生物对实验造成干扰,实验所用土壤皆进行了灭菌处理;每组设4个处理,分别为CK(接无菌水)、病原菌、拮抗菌、拮抗菌加病原菌,每个处理做9盆,每3盆为一个重复。

1.2.5 多功能生防菌的鉴定

1.2.5.1 形态鉴定

挑取多功能生防菌株单菌落,划线至NB固体培养基中,于28℃倒置培养24 h,观察菌株的菌落形态,并对菌株进行革兰氏染色及芽孢染色,观察菌体形态和芽孢有无。

1.2.5.2 分子鉴定

用CTAB法提取细菌基因组DNA的具体方法参考文献[21],并作为模板进行PCR扩增,引物采用细菌通用引物27F: 5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3'和1492R: 5'-TACGGYTACCTTGTTACGAC TT-3',PCR反应条件参考文献[22],将PCR扩增产物送往苏州金唯智生物科技有限公司进行测序,测序结果在NCBI的GenBank中进行比对分析,确定菌株的近缘株种属,用MEGA5.0软件构建系统发育树。

2 结果与讨论

2.1 耐酸耐盐菌株的筛选

通过GM培养基初筛,获得7株耐酸菌株,并对其进一步采用SC培养基复筛,获得2株耐酸耐盐菌株,命名为ZJT2和ZJT7。

2.2 拮抗菌株的筛选

通过平板对峙法对ZJT7、ZJT2进行拮抗效果检测,结果如图1所示。由图1可以看出菌株ZJT7、ZJT2均能抑制病原菌FON的生长。

分别测定ZJT2和ZJT7对FON病原菌的抑制率,发现菌株ZJT7对病原菌的抑制率为28.33%,而菌株ZJT2对病原菌的抑制率高达66.39%,因此,选用菌株ZJT2进行后续的离体和盆栽实验。

2.3 多功能生防菌的耐酸耐盐活性

对菌株ZJT2进行耐酸耐盐活性检测,结果如表2所示。由表2可知,ZJT2可耐受pH值为4.0和NaCl质量分数为11%的生长条件,达到了中度嗜盐的水平^[23],说明菌株ZJT2能在极端酸化和盐渍化土壤中生存,并可能在酸化土壤和盐渍化土壤中防治西瓜枯萎病原菌。

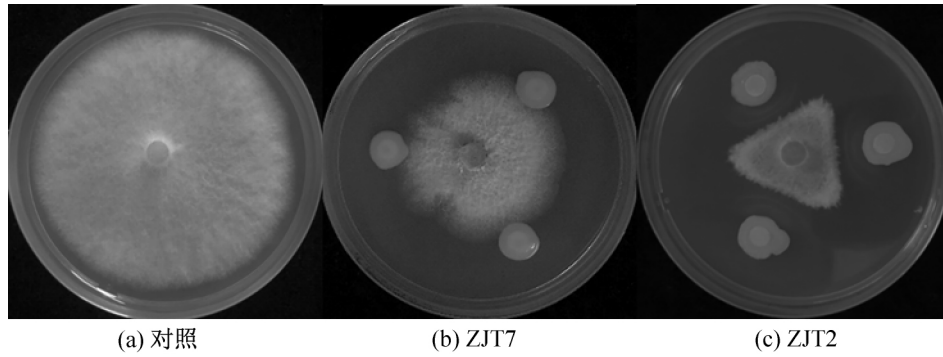


图 1 两株耐酸耐盐菌株对病原菌 FON 的拮抗效果照片

表 2 菌株 ZJT2 的耐盐耐酸活性

耐盐耐酸	NaCl 质量分数/%						pH 值					
	5	7	9	11	13	15	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
活性	+	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—

2.4 多功能生防菌的抗病效果

2.4.1 离体实验

对菌株 ZJT2 进行抗病效果的检测,结果如图 2 和表 3 所示。无菌水的对照组植株生长状况良好,病情指数为 0,接入西瓜枯萎病原菌 FON 的植株整

株已呈现枯萎的现象,病情指数达到 100,而同时接入拮抗菌 ZJT2 和病原菌 FON 的植株只有小部分叶片出现轻微枯萎,防治效果达到了 75%,表明菌株 ZJT2 显著抑制了西瓜枯萎病原菌引起的离体植株枯萎,该菌株可有效防治西瓜枯萎病。



图 2 菌株 ZJT2 对离体西瓜植株枯萎病的抑制效果

注:CK. 无菌水处理;ZJT2. 拮抗菌处理;FON. 病原菌处理;FON+ZJT2. 拮抗菌加病原菌处理。

表 3 菌株 ZJT2 对离体西瓜植株枯萎病的防治效果

处理	病情指数	防治效果/%
CK	0	—
ZJT2	0	—
FON	100	—
FON+ZJT2	25	75

2.4.2 盆栽实验

测定菌株 ZJT2 对盆栽西瓜枯萎病的防治效果,结果如图 3 和表 4 所示,可以看出,施加拮抗菌 ZJT2 的植株(ZJT2-1、ZJT2-2)与施加无菌水的对照组(CK-1、CK-2)生长状况大致相同,说明拮抗菌 ZJT2 本身对植物的生长没有太大影响;在正常土壤和设施土壤

中只接入病原菌的植株(FON-1、FON-2)茎叶出现了明显的枯萎,且设施土壤中植株(FON-2)的枯萎现象更为严重,说明土壤酸化和盐渍化的确会加重土传病害的发生;正常土壤中同时接入菌株 ZJT2 和病原菌 FON 的植株(FON+ZJT2-1)依然生长良好,并未出现病害,设施土壤中同时接入拮抗菌和病原菌的植株(FON+ZJT2-2)仅有小部分叶片出现枯萎,植物生长状态依然良好;在正常土壤和设施土壤中 ZJT2 均呈现出较好的拮抗效果,其中,在正常土壤中防治效果为 100%,设施土壤中防治效果为 67%,说明菌株 ZJT2 显著抑制了枯萎病原菌对西瓜植株的侵染,降低了西瓜枯萎病的发病率。

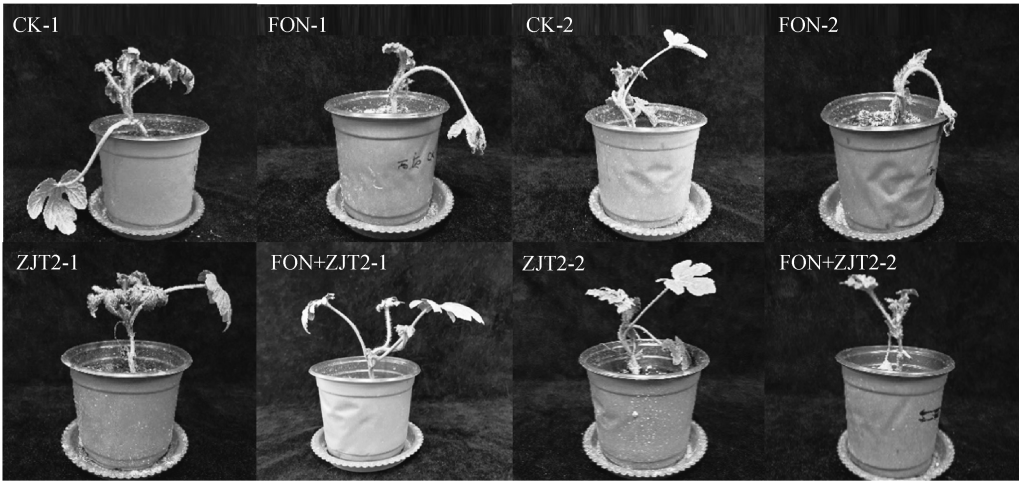


图 3 菌株 ZJT2 对盆栽西瓜植株枯萎病的抑制效果

注:CK-1. 无菌水处理;FON-1. 病原菌处理;ZJT2-1. 拮抗菌处理;FON+ZJT2-1. 拮抗菌加病原菌处理;均为正常土壤。
CK-2. 无菌水处理;FON-2. 病原菌处理;ZJT2-2. 拮抗菌处理;FON+ZJT2-2. 拮抗菌加病原菌处理;均为设施土壤。

表 4 菌株 ZJT2 对盆栽西瓜植株枯萎病的防治效果

处理	病情指数	防治效果/%
CK-1	0	—
FON-1	100	—
ZJT2-1	0	—
FON+ZJT2-1	0	100
CK-2	0	—
FON-2	100	—
ZJT2-2	0	—
FON+ZJT2-2	33	67

2. 5 多功能生防菌的鉴定

2. 5. 1 形态鉴定

在 NB 固体培养基上观察到菌株 ZJT2 的菌落形态如表 5 所示,菌落为白色不透明的圆形凸起、表面光滑半湿润、边缘整齐,菌体为杆状,产芽孢,为革兰氏阳性菌。

2. 5. 2 分子鉴定

将菌株 ZJT2 扩增后的序列进行测序,基因片

表 5 菌株 ZJT2 菌落与菌体形态特征

菌株	菌落表面	菌落边缘	菌落透明度	菌落颜色	含水状况	菌体形状	革兰氏染色	芽孢
ZJT2	光滑凸起	圆	不透明	白色	半湿润	杆状	+	+

段大小为 1397 bp,NCBI 登录号为 MT605505。用 BLAST 进行同源性比对分析结果显示,ZJT2 为暹罗芽孢杆菌 (*Bacillus siamensis*),与模式菌株的相似度为 99%。采用 MEGA 5.0 软件将 ZJT2 菌株与 GenBank 中的 9 株芽孢杆菌 (*Bacillus* spp.) 构建系统发育树,发现 ZJT2 菌株与暹罗芽孢杆菌的亲缘关系最近(图 4)。文献报道大多数芽孢杆菌属均具有良好的拮抗作用^[24],已有研究发现解淀粉芽孢杆菌 L3 能显著降低土壤中西瓜枯萎病原菌的数量^[25],枯草芽孢杆菌 NBT-15 对西瓜枯萎病菌的抑制率为 60.50%^[26],但针对防治酸性和盐渍化土壤中西瓜枯萎病害的研究目前还未见报道。

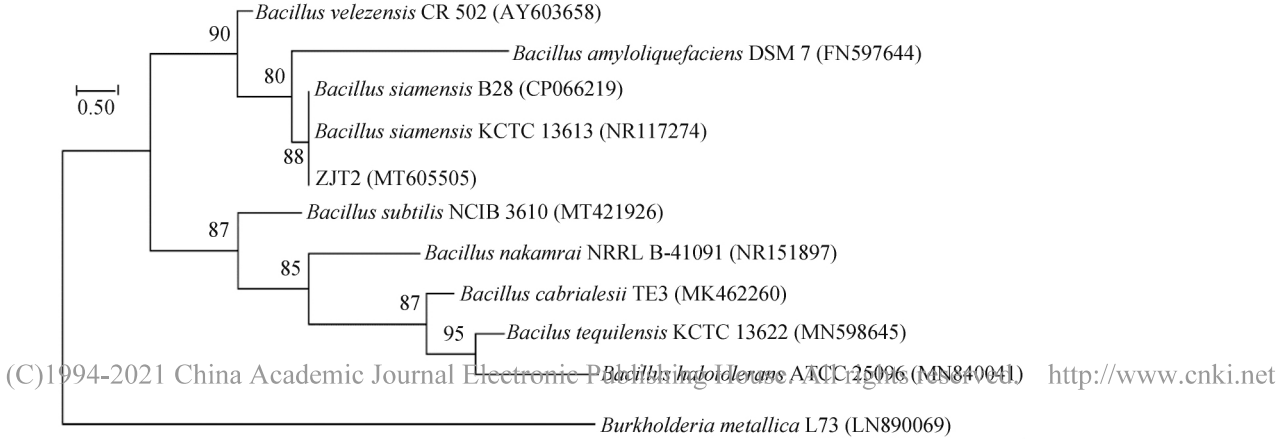


图 4 基于 ZJT2 的 16S rDNA 序列及其相似序列构建的系统发育树

3 结 论

生防菌剂具有持久性、多抗性、对环境友好和污染小等特点,利用生防菌剂防治西瓜枯萎病既经济又环保,而施加耐酸、耐盐微生物菌剂对改善土壤酸化和盐渍化、减缓植物土传病害发病率起着重要作用。本文从蔬菜大棚土壤样品中筛选得到2株耐酸耐盐菌株 ZJT7 和 ZJT2 来进行生物防治,主要结论如下:

a) 平板对峙实验表明菌株 ZJT7 对西瓜枯萎病原菌的抑制率为 28.33%,而菌株 ZJT2 对西瓜枯萎病原菌的抑制率高达 66.39%。

b) 对菌株 ZJT2 进行耐酸耐盐活性检测,该菌株可耐受 pH 值为 4.0、NaCl 质量分数为 11% 的高酸高盐条件。

c) 离体、盆栽实验表明菌株 ZJT2 在正常土壤中对西瓜枯萎病原菌的防治效果高达 100%,在设施土壤(酸化和盐渍化土壤)中对西瓜枯萎病原菌的防治效果高达 67%,该菌株对西瓜枯萎病表现出了良好的防效,显著降低了西瓜枯萎病的发病率。经形态观察、16S rDNA 序列分析,ZJT2 鉴定为暹罗芽孢杆菌 (*Bacillus siamensis*)。

本文筛选出的耐酸耐盐拮抗菌株对酸性和盐渍化土壤中西瓜枯萎病害的生物防治具有明显的功效,为实际生产多效生防菌剂提供生防菌的材料。

参考文献:

- [1] 吴洪生,周晓冬,李鹤,等. 黄瓜、西瓜枯萎病拮抗细菌的初步分离与鉴定[J]. 西南农业学报, 2013, 26(3): 1019-1025.
- [2] 魏滢洁. 枯草芽孢杆菌的分离鉴定及其与球毛壳菌协同防治黄瓜枯萎病的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019: 15.
- [3] 于天祥,张明方. 西瓜枯萎病研究进展[J]. 中国西瓜甜瓜, 2004(1): 17-19.
- [4] 纪明山,王英姿,程根武,等. 西瓜枯萎病拮抗菌株筛选及田间防效试验[J]. 中国生物防治学报, 2002, 18(2): 71-74.
- [5] 吴石平,燕嗣皇,陆德清,等. 木霉菌与三唑酮配合对西瓜生长的影响和对枯萎病的防效[J]. 西南农业学报, 2002, 15(2): 65-68.
- [6] Faheem M, Raza W, Zhong W, et al. Evaluation of the biocontrol potential of *Streptomyces goshikiensis* YCXU against *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* [J]. Biological Control, 2015, 81(10): 101-110.
- [7] 康金磊,韩旭,张仕琦,等. 一株来源于茼蒿根际的西瓜枯萎病拮抗菌的鉴定及特性研究[J]. 华北农学报, 2016, 31(S1): 447-452.
- [8] 王卿. 西瓜枯萎病生防细菌的筛选及作用机制初步研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013: 13.
- [9] 胡亚杰,韦建玉,卢健,等. 枯草芽孢杆菌在农作物生产上的应用研究进展[J]. 作物研究, 2019, 33(2): 167-172.
- [10] 李童瑶,刘文钰. 作物土传病害的危害及防治技术研究[J]. 南方农机, 2018, 49(20): 90-91.
- [11] Van Nguyen S, Nguyen P T K, Araki M, et al. Effects of cropping systems and soil amendments on nematode community and its relationship with soil physicochemical properties in a paddy rice field in the Vietnamese Mekong Delta[J]. Applied Soil Ecology, 2020, 156: 103683.
- [12] 李艳春,陈志鹏,林伟伟,等. 茶树连作障碍形成机制及调控措施研究进展[J]. 生态科学, 2019, 38(5): 225-232.
- [13] 孙萍,林贤锐,鲍慧,等. 有机肥对设施草莓土壤盐渍化及草莓生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(8): 1298-1300.
- [14] 樊战辉,唐小军,郑丹,等. 茶园土壤酸化成因及改良措施研究和展望[J]. 茶叶科学, 2020, 40(1): 15-25.
- [15] 任豫霜,朱丹,姜伟,等. 酸性土壤中接种耐酸根瘤菌对豆科植物根际微生态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 1077-1088.
- [16] 刘萧湘. 具有植物促生活性的耐盐菌的筛选及微生物法改良盐渍化土壤初探[D]. 上海: 上海师范大学, 2016: 57.
- [17] 王雨沁,阚雨晨,苏受婷,等. NCT-2 土壤修复菌剂对次生盐渍化土壤的改良效果[J]. 上海蔬菜, 2019(6): 73-77.
- [18] Br ígido C, Oliveira S. Most acid-tolerant chickpea mesorhizobia show induction of major chaperone genes upon acid shock[J]. Microbial Ecology, 2013, 65(1): 145-153.
- [19] 沈永昶,曹贝贝,胡森,等. 三七根腐病原菌拮抗菌的筛选与活性分析[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2019, 41(6): 806-811.
- [20] 肖嵘. 微生态调控对铁皮石斛白绢病的防治效应及其机理初探[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2018: 48.
- [21] 伏荣桃,王剑,陈诚,等. 稻曲病菌基因组 DNA 提取方法比较与小文库构建[J]. 生物技术通报, 2018, 34(4): 102-106.
- [22] 王凡,洪葵. CTAB 法提取野野村菌基因组 DNA[J]. 微生物学通报, 2010, 37(8): 1211-1215.
- [23] Edbeib M F, Wahab R A, Huyop F, et al. Halophiles: Biology, adaptation, and their role in decontamination of hypersaline environments [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2016, 32(8): 1-23.
- [24] Tian Z, Chen C, Chen K, et al. Biocontrol and the mechanisms of *Bacillus* sp. w176 against postharvest green mold in citrus [J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 159: 11022.
- [25] 李成果. 解淀粉芽孢杆菌 L3 对西瓜的防病促生作用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016: 63.
- [26] 岳菊,刘郇洲,张荣胜,等. 西瓜枯萎菌拮抗细菌的筛选、鉴定及防效测定[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(3): 428-432.

(责任编辑:唐志荣)