

水稻细菌性条斑病生防菌株筛选和田间防治效果

王星^{1*}, 杨俊^{1*}, 曹卫华¹, 魏兰芳², 姬广海^{1**}

(1. 云南农业大学/农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室, 昆明 650201; 2. 云南农业大学农科基础实验教学中心, 昆明 650201)

摘要: 为筛选防治水稻细菌性条斑病的生防菌株, 通过平板对峙试验、温室及田间试验, 测定了4个菌株对水稻促生和防治细菌性条斑病的效果。通过平板对峙试验明确了4株生防菌株抑菌活性; 温室试验中, 除生防菌 LH 外, 其他3株生防菌的发酵液处理后的水稻幼苗的株高、根系、鲜重均显著高于对照。接种结果显示接种病原菌前喷施生防菌防效最好。生防菌 L1 在3个不同试验田中防效均达到55%以上, 同时增产效果达到10%以上, 显著高于其他处理。研究表明, 生防菌 L1 不仅可以用于水稻细菌性条斑病的生物防治, 而且可以促进水稻生长, 具有较好的生产应用潜力。

关键词: 水稻细菌性条斑病; 生防细菌; 促生; 生物防治

中图分类号: S476 文献标识码: A 文章编号: 1005-9261(2019)04-0648-07

Screening of Biocontrol Bacteria on Rice Bacteria Leaf Streak and Determination of Field Control Efficacy

WANG Xing^{1*}, YANG Jun^{1*}, CAO Weihua¹, WEI Lanfang², JI Guanghai^{1**}

(1. Key Laboratory of Agriculture Biodiversity for Plant Disease Management, the Ministry of Education/Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Agricultural Foundation Experiment Teaching Center, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to screen better biocontrol bacteria against rice bacteria leaf streak (BLS) caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*, the biocontrol efficacy of four biocontrol bacteria strains on rice bacteria leaf streak were evaluated by plate confrontation test, greenhouse and field experiments. In the plate confrontation test, the antibacterial activities of the four biocontrol bacteria strains were determined. Greenhouse experiment showed that except for biocontrol strain LH, the plant height, root length and fresh weight of the rice seedlings treated with the other three biocontrol bacteria fermentation broths were significantly higher than those of the control. Inoculation test indicated that application of biocontrol bacteria before inoculation of pathogenic *X. oryzae* had the best control effect. Field trials demonstrated that the biocontrol strain L1 achieved more than 55% control efficacy in three different fields, and the yield increase rate was more than 10%, which was significantly higher than other treatments. This study shows that the biocontrol strain L1 can not only be used for the biological control of the BLS disease, but also promote rice growth, thus it has a good potential application.

Key words: rice bacteria leaf streak; biocontrol bacteria; plant growth promotion; biological control

水稻细菌性条斑病是由稻黄单胞菌稻生致病变种 *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* 引起的, 病原细菌通过气孔或者伤口入侵水稻, 定殖于水稻叶片的薄壁组织细胞间并扩展形成条状病斑, 随着病斑不断扩大,

收稿日期: 2018-10-10

基金项目: 云南省科技厅农业基础研究联合专项(2017FG001-005); 国家重点研发计划(2018YFD0200308, 2017YFC1702502, 2018YFD0200703); 云南省科技厅重点研发(农业领域)项目(2018BB016); 国家自然科学基金(31460458)

作者简介: *共同第一作者, 王星, 硕士研究生, E-mail: 631008845@qq.com; 杨俊, 博士研究生, E-mail: 729747016@qq.com; **通信作者, 教授, E-mail: 550356818@qq.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.04.022

可导致水稻叶片枯死^[1], 近年来在我国不同的水稻生产地区大面积发生, 可导致水稻减产 15%~25%, 严重情况下可减产 40%~60%, 给水稻的安全生产带来了严重的威胁^[2]。目前, 水稻细菌性条斑病防治中主要依赖于化学防治, 研究证实云南水稻细菌性条斑病菌对农用链霉素表现不同程度的抗药性^[3], 从而加速了水稻条斑病在田间的暴发流行, 因此生物防治越来越受到了国内外植物保护工作者的重视。由于生防菌具有对土壤和环境生态安全, 对人、动植物无毒副作用, 病原菌难以产生抗药性, 部分生防菌能够促进植物生长等优点^[4], 筛选出拮抗微生物对植物病害进行行之有效的生物防治。目前, 广泛应用开发的植物病害生防细菌主要有荧光假单胞杆菌 *Pseudomonas fluorescens*、芽胞杆菌 *Bacillus* sp. 和放射性农杆菌 *Agrobacter radiobacter*、溶杆菌属 *Lysobacter* sp.^[5-8]等, 生防菌一般能够产生复杂的多肽类、大环内脂类和小分子化合物等天然活性产物, 对植物病原菌有较好的抑制效果, 目前已有较多文献对这方面的研究进行了报道^[9-11]。

基于合理利用有益微生物资源, 开发高效、安全的生防菌剂的目的, 本研究应用本实验室自选的能够促进水稻生长和对水稻细菌性条斑病原菌有一定抑制效果的菌株, 通过测定 4 株不同菌株对水稻促生、增产效果及水稻细菌性条斑病的温室、田间防效, 筛选出具有广泛地域适应性、并且防效高和稳定性好的生防菌株, 为其田间高效应用提供科学依据, 为进一步开发成绿色生防农药用于水稻病害控制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

水稻品种为丰优香占; 供试杀菌剂为噻菌铜(浙江龙湾化工有限公司); 供试生防菌为抗生素溶杆菌 *Lysobacter antibioticus* L1、L6, 解淀粉芽胞杆菌 *Bacillus amyloliquefaciens* C3, 甲基营养型芽胞杆菌 *Bacillus methylotrophicus* LH, 供试病原菌为水稻细菌性条斑病原菌 *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* YM15, 均由云南农业大学植物保护学院提供。

1.2 供试培养基

NA 培养基: 蛋白胨 10 g, 牛肉粉 3 g, 氯化钠 5 g, 琼脂 15 g, 蒸馏水 1000 mL, pH 7.0, 121 °C 灭菌 15 min。

KB 液体培养基: 蛋白胨 20 g, K₂HPO₄ 1.5 g, MgSO₄·H₂O 1.5 g, 甘油 10 mL, pH 7.0, 蒸馏水 1000 mL, 121 °C 灭菌 15 min。

1.3 试验地点

温室试验在云南农业大学校内温室进行。田间试验设置 3 个地点, 分别为云南省红河州弥勒市朋普镇、云南省德宏州瑞丽市姐相乡和云南省西双版纳州景洪市大勐龙镇, 所选田块每年均有水稻细菌性条斑病发生。

1.4 生防菌液制备

将抗生素溶杆菌 L1、L6, 解淀粉芽胞杆菌 C3 和甲基营养型芽胞杆菌 LH 分别接种于 KB 液体培养基中, 28 °C、160 r/min 培养 48 h, 调整各生防菌浓度为 10⁹ CFU/mL。

1.5 生防菌对水稻细菌性条斑病菌拮抗作用的测定

将水稻细菌性条斑病菌接种于 KB 液体培养基中, 28 °C、160 r/min 培养 48 h, 调整浓度为 10⁸ CFU/mL, 按 20% 的比例将水稻细菌性条斑病菌悬液与 NA 培养基混匀后, 制成含病原菌的平板; 取牛津杯放于含菌平板上, 每个牛津杯加入 100 μL 供试的生防菌培养液, 于 28 °C 培养箱中培养 48 h 后测量抑菌直径, 每个供试菌株重复 3 次。

1.6 生防菌对水稻的促生试验

挑选健康水稻种子, 用 70% 的乙醇处理 3 min, 无菌水冲洗 5 次, 于 28 °C 人工气候箱催芽, 待芽长到 1 cm 时播种于塑料盆(长 30 cm×宽 25 cm×高 15 cm)里。每个水稻盆里播种 10 粒种子, 土层厚度 10 cm, 设 3 个重复, 按照 1.4 方法制备生防菌, 每隔 5 d 分别向水稻盆中浇灌稀释 10 倍的生防菌的发酵液 10 mL, 连续浇灌 5 次, 以无菌水为空白对照。30 d 后将水稻苗拔起, 用清水冲洗干净, 测量幼苗的株

高、根长和鲜重，并计算促生率。生长促生率 (%) = (生防菌处理生长指标 - 无菌水处理生长指标) / 无菌水处理生长指标 × 100。

1.7 温室生防菌防效测定

盆栽防效试验于云南农业大学温室中进行，温度控制在 28~35 °C，自然光照。按照 1.6 方法育秧苗，30 d 后，将水稻秧苗移栽至塑料盆（长 30 cm × 宽 25 cm × 高 15 cm）里，每盆移栽 3 丛秧苗，每丛 3 株，待秧苗移栽 45 d 后，从新鲜培养皿上收集水稻细菌性条斑病菌体，用无菌水调整 OD₆₀₀ = 0.5，于喷施生防菌前 2、0 和后 2 d，针刺接种病原菌。生防菌液的喷施浓度为 10⁹ CFU/mL，每处理喷雾量 40 mL 菌液，以喷施无菌水为对照。接种 7 d 后测量条斑病病斑大小，计算防治效果，防治效果 (%) = (对照病斑长度 - 生防菌处理病斑长度) / 对照病斑长度 × 100。

1.8 田间防治效果试验

田间设置 3 个试验点，每个试验点 6 个处理，分别为 4 个生防菌处理及化学杀菌剂噻菌铜，清水为空白对照，每个处理重复 3 次，以随机区组排列，小区面积为 50 m²。在田间自然发病初期进行喷雾施药，间隔两周，进行第 2 次喷施生防菌剂，共喷 3 次。供试菌剂的施用量是 60 L/hm²，噻菌铜施用量为 2 kg/hm²，在最后一次喷施药剂后一周开始调查，采用对角线 5 点取样，每点调查 5 丛，共 25 丛，记录病情等级，计算病情指数和防效，水稻细菌性条斑病病情分级标准参考 Zhang 等^[12]的方法。水稻成熟后，每小区通过五点取样，每点取 1 m² 的水稻测量产量。

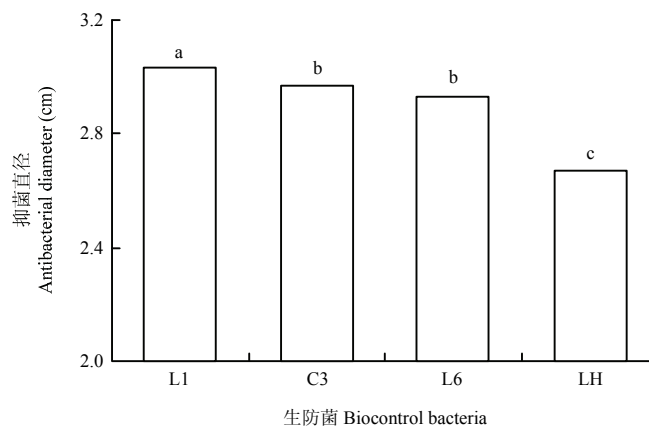
1.9 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 19 和 Excel 2003 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 生防菌对水稻细菌性条斑病菌的拮抗作用

各菌株对水稻细菌性条斑病的抑菌活性用所测得的抑菌圈直径大小表示，菌株 L1 的抑菌效果最好，抑菌直径为 3.03 cm，其抑菌活性明显优于其他菌株抑菌能力；菌株 C3 次之，抑菌直径为 2.97 cm；菌株 L6 与 LH 也表现出不同的拮抗抑菌活性，抑菌直径分别是 2.93 和 2.67 cm（图 1）。



注：不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level.

图 1 生防菌发酵液对水稻细菌性条斑菌的抑菌能力

Fig. 1 Sterile fermentation broth inhibited *X. oryzae* pv. *oryricola* on the plate

2.2 生防菌促生效果测定

生防菌 L1、C3 和 L6 的发酵液促进水稻幼苗高度增加 10% 以上，且幼苗根长增加 15% 以上，幼苗鲜重增加 25% 以上，3 个生长指标与对照相比均具有显著差异；生防菌 LH 与其他三株生防菌相比，促生效果较差，且各个生长指标与对照相比均无显著差异（表 1）。

表 1 生防菌对水稻促生作用
Table 1 Effects of biocontrol bacteria on promoting the growth of rice

处理 Treatment	株高 Plant height		根长 Root length		鲜重 Fresh weight	
	平均值	增长率	平均值	增长率	平均值	增长率
	Average value (cm)	Promoting rate (%)	Average value (cm)	Promoting rate (%)	Average value (cm)	Promoting rate (%)
抗生素溶杆菌 <i>L. antibioticus</i> L1	35.3±2.3 a	15.61	7.4±1.2 a	16.84	27.3±1.7 a	25.61
解淀粉芽胞杆菌 <i>B. samyloliquefaciens</i> C3	34.4±1.8 b	12.77	7.4±0.7 a	16.32	27.2±1.4 a	25.46
抗生素溶杆菌 <i>L. antibioticus</i> L6	34.1±2.1 b	11.79	7.3±0.3 ab	15.26	27.3±0.9 a	25.76
甲基营养型芽胞杆菌 <i>B. methylotrophicus</i> LH	30.9±1.6 c	1.09	6.7±0.6 c	6.32	25.5±2.1 b	17.17
CK	30.5±1.7 c	—	6.3±0.8 c	—	21.7±1.8 b	—

注：同列数据后附不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

2.3 生防菌温室防效测定

4 种生防菌均是在病原菌接种前 2 d 喷施的处理防效为最高，显著高于在其他时间点喷施生防菌的防效；菌株 L1 防效最高，为 64.94%；生防菌 C3 防效次之，另外 2 株生防菌对水稻条斑病防效均低于 60%（表 2）。

表 2 生防菌不同喷施时间对水稻条斑病防效
Table 2 Control efficacies of different spraying time against rice bacterial leaf streak

处理 Treatment	接种前 2 d 喷施生防菌		接种 0 d 喷施生防菌		接种后 2 d 喷施生防菌	
	Spraying bacteria 2 d before inoculation		Spraying bacteria 0 d before inoculation		Spraying bacteria 2 d after inoculation	
	病斑	防效	病斑	防效	病斑	防效
	Lesions (cm)	Control efficacy (%)	Lesions (cm)	Control efficacy (%)	Lesions (cm)	Control efficacy (%)
抗生素溶杆菌 <i>L. antibioticus</i> L1	1.15±0.04 a	64.94	1.33±0.17 b	59.08	1.69±0.12 c	48.32
解淀粉芽胞杆菌 <i>B. samyloliquefaciens</i> C3	1.24±0.13 a	62.20	1.34±0.09 b	58.77	1.62±0.15 c	50.46
抗生素溶杆菌 <i>L. antibioticus</i> L6	1.39±0.08 a	57.62	1.64±0.13 b	49.54	1.62±0.14 b	50.46
甲基营养型芽胞杆菌 <i>B. methylotrophicus</i> LH	1.46±0.11 a	55.49	1.27±0.18 b	51.92	1.61±0.19 b	50.76
CK	3.28±0.09 a	—	3.25±0.15 a	—	3.27±0.17 a	—

2.4 不同生防菌对水稻细菌性条斑病田间防治效果

在景洪市大勐龙镇，生防菌 L1 的防效最好，与化学杀菌剂防效相当，防效达 57.56%；生防菌 C3 处理防效也达到 50%以上，而菌株 L6 与 LH 防效相近，且低于 50%；在瑞丽市姐相乡，生防菌 L1、C3 和化学农药噻菌铜三者防效无显著差异，生防菌 L6 和 LH 防效较低，仅有 54.91%与 47.35%；在弥勒市朋普镇，4 种生防菌除菌株 L1 与化学杀菌剂防效相近，其余 3 种生防菌防效较低，皆与化学农药有显著差异，菌株 LH 防效仅有 7.24%。生防菌 L1 在 3 个地区的防效相近，而其他生防菌的防效在不同地点差别较大，因此，生防菌 L1 具有较广泛的地域适应性（表 3）。

2.5 不同生防菌对水稻增产效果

菌株 L1 处理对水稻有明显的增产效果，3 个地点均增产 10%以上，其次是化学杀菌剂产量与对照相比也都增加 5%以上，菌株 C3、LH 的增产效果次之，且变化较大，菌株 LH 的增产效果较差，在 3 个地点产量增长率均在 5%以下（表 4）。

表 3 不同生防菌对水稻细菌性条斑病的田间防治效果

Table 3 Control efficacies of different biocontrol bacteria against rice bacterial leaf streak in field trials

处理 Treatment	景洪市大勐龙镇		瑞丽市姐相乡		弥勒市朋普镇	
	病情指数	防效	病情指数	防效	病情指数	防效
	Disease index	Control efficacy (%)	Disease index	Control efficacy (%)	Disease index	Control efficacy (%)
抗生素溶杆菌 <i>L. antibioticus</i> L1	22.09	57.56 a	16.63	63.67 a	13.96	56.32 a
解淀粉芽胞杆菌 <i>B. samyloliquefaciens</i> C3	25.94	50.16 b	18.30	60.02 ab	19.62	38.58 b
抗生素溶杆菌 <i>L. antibioticus</i> L6	28.00	46.20 c	20.63	54.91 b	21.98	31.20 c
甲基营养型芽胞杆菌 <i>B. methylotrophicus</i> LH	28.23	45.76 c	24.10	47.35 c	29.63	7.24 e
噻菌铜 Thiodiazole copper	22.90	56.01 a	17.53	61.69 d	13.74	57.00 a
CK	52.05	-	45.78	-	31.95	-

表 4 不同生防菌对水稻产量影响

Table 4 Effects of different biocontrol bacteria on rice yield

处理 Treatment	景洪市 Jinghong		瑞丽市 Ruili		弥勒市 Mile	
	产量	增长率	产量	增长率	产量	增长率
	Yield (kg/hm ²)	Promoting rate (%)	Yield (kg/hm ²)	Promoting rate (%)	Yield (kg/hm ²)	Promoting rate (%)
抗生素溶杆菌 <i>L. antibioticus</i> L1	7695 ± 38 a	11.76	7055 ± 98 a	11.54	7335 ± 78 a	10.63
解淀粉芽胞杆菌 <i>B. samyloliquefaciens</i> C3	7530 ± 27 ab	9.37	6800 ± 97 b	7.51	7155 ± 131 b	7.92
抗生素溶杆菌 <i>L. antibioticus</i> L6	7335 ± 56 b	6.54	6485 ± 89 c	2.53	7160 ± 62 b	7.99
甲基营养型芽胞杆菌 <i>B. methylotrophicus</i> LH	7140 ± 79 d	3.71	6475 ± 102 c	2.37	6915 ± 73 c	4.30
噻菌铜 Thiodiazole copper	7245 ± 82 c	5.23	6795 ± 93 b	7.41	7100 ± 75 b	7.09
CK	6885 ± 44 e	-	6325 ± 73 e	-	6630 ± 45 d	-

3 讨论

从室内抑菌试验来看, 4 株生防菌 L-1、L6、C3 和 LH 对水稻条斑病菌均有一定抑制作用, 从温室和田间效果来看, 总体上生防菌对水稻均有促生作用, 对水稻细菌性条斑病有较好的控制效果, 但各个菌株差异较大, 菌株 L1 的防效在不同地点均达到 55% 以上, 同时温室促生以及增产与对照相比均有显著差异, 可以进一步开发为水稻细菌性条斑病的绿色生物农药; 而菌株 C3 与 L6 对水稻促生效果较好, 但防效次之, 可以针对生防菌株 C3 与 L6 开发水稻促生调节剂。

诱导抗病性是指植株在受到外界生物或非生物因子作用后, 植物体内的天然防御系统开启从而抵御病原菌侵害的抵抗机制, 生防菌诱导植株产生抗病性与植物系统获得性抗性有相似之处, 主要表现在诱导木质素的形成, 诱导植株本身防御酶活力等^[13-15]。温室试验结果表明, 在病原菌接种前喷施生防菌防效较好, 这说明了利用生防菌对水稻条斑病的防控应以预防和早期防控为主。最佳的喷洒生防菌时期应在田间水稻发生细菌性条斑病之前, 及时喷施一定量的生防菌, 可有效控制条斑病的发生, 推测这与生防菌对水稻诱导抗性有关, 提前喷施生防菌可能诱导水稻中某些氧化酶基因或者抗病基因的表达, 在接种病原菌之后喷施可能会影响生防菌对水稻的诱导作用, 可以通过实时荧光定量 PCR 检测不同处理的水稻中的相关基因表达水平, 进一步确定喷洒生防菌的最佳时间。

生防菌一般会产植物激素促进植物生长,如嗜铁素、吲哚乙酸和细胞分裂素等^[16-19],同时能够产生许多有生物活性的次生代谢产物,对病原菌有一定的抑制作用^[20-22]。本研究结果表明,抗生素溶杆菌 L1 的发酵液对水稻生长有一定的促生效果,生防菌的发酵液可促进水稻发芽、水稻幼苗生长,可使株高、根长和鲜重等生理指标显著提高,而且具有增产效果,同时,抗生素溶杆菌 L1 具有防治水稻细菌性条斑病的生防潜力,在云南省不同地点的防效和增产效果相对稳定,具有广泛的地域适应性。已有报道表明抗生素溶杆菌 OH13、HS124 产生吩嗪类似物和对羟基苯乙酸和裂解酶等,具有抑制病原菌的作用^[23-25],但抗生素溶杆菌 L1 产生何种次生代谢产物以及对水稻细菌性条斑病菌抑制效果和对水稻促生防病机制还有待进一步研究。

目前,我国的可用于水稻细菌病害防治的生物制剂的登记报道较少,江苏省苏科农化公司研制出“叶斑宁 60 亿/mL 解淀粉芽胞杆菌 Lx-11 水剂”,获得农业部临时登记,已用于水稻细菌性条斑病的生防。本试验中筛选出的抗生素溶杆菌生防菌,不同于解淀粉芽胞杆菌 Lx-11,对稻黄胞菌抑菌作用强,并且在云南不同区域具有稳定的防病、增产效果,可作为今后研制开发防控水稻细菌性条斑病的首选菌株,但还需要进一步优化发酵工艺条件,提高抑菌活性物质含量,从产品剂型改造、田间施用方法等方面,改变单一的田间喷施生防菌,结合生防菌种子处理以及关键生育期喷施处理方法,达到全程有益微生物驱动的水稻健康种植的目的。开发出高效生物农药,并在田间生防防控实践中进行全程有效跟踪分析评估,提升其对水稻细菌性条斑病的生物防控水平。

参 考 文 献

- [1] Hummel A W, Wilkins K E, Wang L, *et al.* A transcription activator-like effector from *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* elicits dose-dependent resistance in rice[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2016, 18(1): 55-66.
- [2] Niñoliu D O, Ronald P C, Bogdanove A J. *Xanthomonas oryzae* pathovars: model pathogens of a model crop[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2010, 7(5): 303-324.
- [3] 周丽洪, 韩阳, 李森, 等. 西南地区水稻细菌性条斑病菌链霉素抗性研究[J]. *云南农业大学学报*, 2014, 29(5): 654-660.
- [4] Idris E S E, Iglesias D J, Talon M, *et al.* Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42[J]. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2007, 20(6): 619.
- [5] 董国菊, 李文英, 刘翠平, 等. 烟草疫霉拮抗菌株 P-72-10 的鉴定及其拮抗代谢产物初步分析[J]. *植物病理学报*, 2012, 42(3): 297-305.
- [6] 彭兵, 张树斌, 贾宇, 等. 枯草芽孢杆菌菌株 A 抗菌蛋白的分离纯化及抗真菌机理[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 67-74.
- [7] Folman L B, Postma J, van Veen J A. Characterisation of *Lysobacter enzymogenes* (Christensen and Cook 1978) strain 3.1T8, a powerful antagonist of fungal diseases of cucumber[J]. *Microbiological Research*, 2003, 158(2): 107-115.
- [8] Kobayashi D Yuen G. The potential of *Lysobacter* spp. as bacterial biological control agents for plant diseases[J]. *CAB Review: Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*, 2007, 2(7): 1-11.
- [9] Luo C, Liu X, Zhou H, *et al.* Nonribosomal peptide synthase gene clusters for lipopeptide biosynthesis in *Bacillus subtilis* 916 and their phenotypic functions[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2015, 81(1): 422-431.
- [10] 张森, 周立梅, 徐德阳, 等. 侧孢短芽孢杆菌 BL-21 抗菌蛋白的稳定性分析和分离纯化[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(15): 43-48.
- [11] 李红晓, 张殿朋, 赵洪新, 等. 解淀粉芽胞杆菌 MH71 抗菌物质理化特性及对番茄灰霉病菌的抑菌活性[J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(4): 485-492.
- [12] Zhang R S, Liu Y F, Luo C P, *et al.* *Bacillus amyloliquefaciens* Lx-11, a potential biocontrol agent against rice bacterial leaf streak[J]. *Journal of Plant Pathology*, 2012, 94(3): 609-619.
- [13] Jetiyanon K, Wei G, Tuzun S, *et al.* Induced systemic resistance (ISR) of cucumber by stem injection and seed treatment with PGPR[J]. *Phytopathology*, 1995, 85: 114.
- [14] 陈志谊, 许志刚, 陆凡, 等. 拮抗细菌 B-916 对水稻植株的抗性诱导作用[J]. *西南农业学报*, 2001, 14(2): 44-48.
- [15] 李德全, 陈志谊, 聂亚锋. 生防菌 Bs-916 及高效突变菌株抗菌物质及其对水稻抗性诱导作用的研究[J]. *植物病理学报*, 2008, 38(2): 192-198.
- [16] 陈思宇. 水稻纹枯病菌拮抗细菌的筛选与防治作用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.

- [17] 王卉, 尚庆茂, 张志刚, 等. 解淀粉芽孢杆菌 L-H15 产促生物质分析及发酵工艺优化[J]. 食品科学, 2017, 38(10): 74-81.
- [18] 闫志宇, 翟蓓蓓, 李术娜, 等. 乙草胺降解菌 L3 的促生物质[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(22): 295-298.
- [19] 杨晓云, 陈志谊, 蒋盼盼, 等. 解淀粉芽孢杆菌 B1619 对番茄的促生作用[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(3): 349-356.
- [20] Hyunsun K, Jin R D, Krishnan H B, *et al.* Biocontrol ability of *Lysobacter antibioticus* HS124 against *Phytophthora* blight is mediated by the production of 4-hydroxyphenylacetic acid and several lytic enzymes[J]. *Current Microbiology*, 2009, 59(6): 608-615.
- [21] Lou L, Qian G, Xie Y, *et al.* Biosynthesis of HSAF, a tetramic acid-containing macrolactam from *Lysobacter enzymogenes*[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2011, 133(4): 643-645.
- [22] 王皓楠, 靳鹏飞, 康迅, 等. 解淀粉芽孢杆菌 HAB-6 抑菌物质及其相关基因的分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(4): 79-83.
- [23] Zhao Y, Qian G, Ye Y, *et al.* Heterocyclic aromatic N-oxidation in the biosynthesis of phenazine antibiotics from *Lysobacter antibioticus*[J]. *Organic Letters*, 2016, 18(10): 2495-2498.
- [24] Laborda P, Zhao Y, Ling J, *et al.* Production of antifungal p-aminobenzoic acid in *Lysobacter antibioticus* OH13[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(3): 630.
- [25] Gardener M S, Kim I S, Kim K Y, *et al.* Draft genome sequence of a chitinase-producing biocontrol bacterium, *Lysobacter antibioticus* HS124[J]. *Plant Disease*, 2014, 20(3): 216-218.