

研究报告

亚低温条件下防控番茄南方根结线虫生防菌株的筛选与鉴定

胡栋 何欢 李洪涛 张翠绵 贾楠 王占武* 彭杰丽

(河北省农林科学院遗传生理研究所 河北省植物转基因中心 农业部农产品质量安全
风险评估实验室(石家庄) 河北 石家庄 050051)

摘要:【目的】筛选亚低温条件下抗线虫和促进植物生长发育的菌株。【方法】采用线虫击倒率测定、室内耐低温测定、拮抗测试和盆栽生物测定相结合的方法进行功能菌株的筛选;采用表型特征、生理生化特征、16S rRNA 基因序列测定相结合的多相分类技术对筛选的菌株进行鉴定。【结果】从根结线虫多发的设施黄瓜和番茄病土中分离出细菌和放线菌 297 株;经对根结线虫击倒率的初步筛选,得到校正击倒率大于 70%的活性菌株 9 株;通过复筛获得 1 株在亚低温条件下同时具有防线虫、防土传病原菌病、促生特性的生防菌株 S205;菌株 S205 被鉴定为抗生素链霉菌(*Streptomyces antibioticus*)。【结论】获得一株在亚低温条件下同时具有抗线虫活性和促进植物生长发育的生防菌株 S205,该研究对解决亚低温条件下根结线虫的防治具有重要意义。

关键词: 根结线虫, 番茄, 链霉菌, 鉴定, 亚低温

Screening and identification of biocontrol strains on controlling tomato *Meloidogyne incognita* under sub-low temperature

HU Dong HE Huan LI Hong-Tao ZHANG Cui-Mian JIA Nan
WANG Zhan-Wu* PENG Jie-Li

(Plant Genetic Engineering Center of Hebei Province, Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Laboratory of Agricultural Product Quality Safety Risk Assessment (Shijiazhuang), Ministry of Agriculture, Shijiazhuang, Hebei 050051, China)

Abstract: [Objective] Isolated bacterial strains which can resistance to root-knot nematodes and promote the growth of plant under the sub-low temperature condition. [Methods] Joint method was used to screen the bacterial strain, the joint method include nematodes resistance test, indoor low temperature resistance test, antagonism test and pot experiment. Phenotypic characteristic, physiological and biochemical characteristics and 16S rRNA gene sequencing method were used to identify the strains which passed screening method. [Results] 297 different bacteria and actinomyces strains were isolated from the soil of tomato and cucumber rhizosphere which are often seriously in

Foundation item: Key Technologies R&D Program of China (No. 2012BAD14B07); Hebei Province Modern Agricultural Industry Technology System Innovation Team of Pigs (No. HBCT2013070201)

*Corresponding author: Tel: 86-311-87652276; E-mail: zhanwu@126.com

Received: October 18, 2016; **Accepted:** January 03, 2017; **Published online** (www.cnki.net): January 10, 2017

基金项目: 国家科技支撑计划项目(No. 2012BAD14B07); 河北省现代农业产业技术体系生猪创新团队(No. HBCT2013070201)

*通讯作者: Tel: 86-311-87652276; E-mail: zhanwu@126.com

收稿日期: 2016-10-18; **接受日期:** 2017-01-03; **优先数字出版日期**(www.cnki.net): 2017-01-10

root-knot nematode disease; After analysis the nematodes resistance rate, 9 strains which have more than 70% corrected death rate to the nematodes were isolated; A strain called S205 was isolated, it have excellent function in prevention and cure of root-knot nematode, soil-borne pathogens and promoting plant growth under sub-low temperature; Strain S205 was classified as *Streptomyces antibioticus*. **[Conclusion]** This research had isolated a biocontrol strain S205 which have the property of resistance root-knot nematode and promoting plant growth under sub-low temperature. The research is significant in prevention of root-knot nematode disease under sub-low temperature.

Keywords: Root-knot nematode, Tomato, *Streptomyces* spp., Identification, Sub-low temperature

根结线虫(*Meloidogyne* spp.)是一类分布最广、危害最重的植物根系固定性内寄生物,严重危害世界农业的生产^[1]。在我国北方地区,温室大棚以南方根结线虫发生较多,随着保护地栽培面积的逐步增加,复种指数越来越高,特别是节能日光温室的迅速发展,蔬菜根结线虫病的危害日益严重,发生区域也不断扩大。病害发生后,一般减产 10%,严重时达到 75%以上,甚至绝收^[2-3]。生物防治具有无污染、生态环境友好等特点,是目前研究与开发的热点。

目前对优势菌株的筛选大多集中于目的菌株对根结线虫击倒或驱避性能检测方面,缺乏对目的菌株综合特性的研究,如在根际的定殖能力、群体动态变化、对植株生长的影响等^[4-5]。此外,在亚低温条件下具有抗虫特性菌株的筛选还很少引起科研工作者的注意^[6-7]。在我国北方,冬季设施大棚土壤的平均土温一般在 15–20 °C,而大部分土壤微生物的最适生长温度在 25 °C 左右。因此,获得能在亚低温条件下防控根结线虫,并具有促进植物生长的优势菌株显得尤为重要。

本研究以设施蔬菜根结线虫为靶标,从发病蔬菜根际及根围土壤中分离功能微生物。以阿维菌素颗粒制剂为对照,采用室内和温室盆栽试验相结合的方法,筛选出对根结线虫二龄幼虫有较高防控活性,且在亚低温条件下具有促生、提高植物抗性的生防菌株。该研究将为高效、稳定根结线虫防控菌剂的研制奠定菌种资源和技术支持,对其他土传病害、线虫危害等高效生防制剂的研制具有理论和指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试线虫和拮抗指示菌: 分别从河北省藁城市、

无极县及河北省农林科学院蔬菜试验园区采集根结线虫病发病土壤和黄瓜根结线虫病根,用于功能菌株的分离和根结线虫二龄幼虫的孵化。用于拮抗试验的植物病原菌尖孢镰刀菌黄瓜专化型(*Fusarium oxysporium* f.sp. *cucumerinum*) HG-11、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*) AG-2、腐霉病菌(*Pythium aphanidermatum*) MJ-1、甜椒疫病菌(*Phytophthora capsici*) LJ-3 由河北省农林科学院植物保护研究所提供。

1.1.2 培养基: 改良 NA 培养基(g/L): 蛋白胨 10.0, 牛肉膏 3.0, NaCl 5.0, 丙酮酸钠 0.5, 琼脂 18.0; 改良高氏一号培养基(g/L): 可溶性淀粉 20.0, KNO₃ 1.0, K₂HPO₄ 1.0, MgSO₄·7H₂O 0.5, FeSO₄·7H₂O 0.01, 丙酮酸钠 0.2, 琼脂 18.0。

1.1.3 主要试剂和仪器: 培养基成分相关试剂等均为国产分析纯试剂; 细菌基因组提取试剂盒、PCR 扩增相关试剂等, 生工生物工程(上海)股份有限公司; 引物合成和基因测序, 上海英俊生物技术有限公司。PCR 仪、电泳仪、凝胶成像仪等, 美国 Bio-Rad 公司; 超净工作台、恒温培养箱等, 上海智城分析仪器制造有限公司。

1.2 菌株的分离

取 5 g 土壤置于 45 mL 带有玻璃珠的无菌水三角瓶中, 充分振荡后梯度稀释, 取合适稀释度的 100 μL 涂布于改良 NA 培养基和改良高氏一号培养基上, 3 次重复。放置于 28 °C 下恒温倒置培养。根据菌落的颜色、形态、大小等特征挑取不同的菌株进行纯化。纯化培养的菌株于 20%甘油中–70 °C 长期保存和于试管斜面 4 °C 临时保存。

1.3 菌株的初筛

将孵化收集的根结线虫二龄幼虫经 420 目滤膜

过滤后,制成 100 条/800 μL 浓度的二龄幼虫悬浮液备用,仅当天使用。将所有的试验菌株接种到 NA 和改良高氏一号液体培养基中培养,13 000 r/min 离心 10 min,取上清的发酵液,稀释 5 倍后备用。在 24 孔组织培养板中,每孔接种 200 μL 2 倍稀释的菌株发酵滤液和 800 μL 南方根结线虫的悬浮液,常温放置 24 h 后,观察对线虫的击倒作用,并计数,3 个重复。僵直的虫体视为被击倒,以无菌水作为对照。

校正击倒率(%)=100×(处理击倒率-对照击倒率)/(1-对照击倒率)。

1.4 目的菌株的复筛

1.4.1 耐亚低温菌株的筛选: 将校正击倒率大于 70%的菌株接种到相应的固体生长培养基上,分别置于 4、10、15、20 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中培养,2 d 后开始观察固体培养基上菌落生长情况并记录开始生长的时间,将耐低温菌株用于下述试验。

1.4.2 病原真菌拮抗菌株筛选: 采用平板对峙培养法,测定不同菌株对尖孢镰刀菌黄瓜专化型等 4 种植物病原菌的抑菌率。

1.4.3 盆栽效果比较: 主要比较候选菌株防线虫和促生长特性。将上述试验获得的活性菌株,制成纯的固体菌剂,菌剂浓度为 5.0×10^{10} CFU/g,按菌剂:土=1:300 (体积比)将菌剂均匀混入培养基质,定植两片真叶的番茄幼苗,每处理 5 个重复。培养基质为正常的有菌土壤复合一定比例的有机肥。定植 60 d 后,测定番茄植株地上和地下部分的生物量及番茄叶片的相对电导率。同时对每株番茄幼苗接种二龄幼虫 1 000 头左右,设置清水处理为阴性对照,0.7%的阿维菌素颗粒制剂为阳性对照。每处理 5 盆重复,控制温室环境温度 15–18 $^{\circ}\text{C}$,60 d 后按 Benjumin D 的根结分级标准,调查植株受害程度,计算病情指数和防治效果。

1.5 菌株的鉴定

1.5.1 表型特征和生理生化鉴定: 将待鉴定的菌株接种到高氏一号培养基、燕麦琼脂培养基、黄豆粉琼脂培养基、PDA 培养基上,28 $^{\circ}\text{C}$ 培养 2–7 d,

期间观察并记录菌落、气生菌丝、基内菌丝、可溶性色素等生长特征。将待鉴定的菌株分别进行不同碳氮源利用、硝酸盐还原、淀粉水解等生理生化试验^[8]。

1.5.2 16S rRNA 基因序列测定与分析: 细菌总 DNA 的提取参照参考文献[9]的方法,并略作修改,将提取的 DNA 溶于 TE 缓冲液备用,用 1%琼脂糖电泳检测 DNA 条带大小与质量。16S rRNA 基因 PCR 扩增的引物为 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGG CTCAG-3')和 1492R (5'-TACGGYTACCTTGTTAC GACTT-3')。16S rRNA 基因 PCR 反应体系(50 μL): 10×Reaction buffer 5.0 μL , 2.5 mmol/L dNTPs 4.0 μL , 10 $\mu\text{mol/L}$ 27F 1.0 μL , 10 $\mu\text{mol/L}$ 1492R 1.0 μL , 2.5 U/ μL Taq DNA 聚合酶 1.0 μL , 模板 DNA (约 50 ng) 1.0 μL , ddH₂O 补至 50 μL 。PCR 反应条件: 94 $^{\circ}\text{C}$ 5 min; 94 $^{\circ}\text{C}$ 40 s, 56 $^{\circ}\text{C}$ 40 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 90 s, 30 个循环; 72 $^{\circ}\text{C}$ 5 min。PCR 产物经 1.0%琼脂糖凝胶电泳检测后送测序公司测序。序列拼接结果采用 DNAMAN 6.0 软件进行分析。将拼接成功的核苷酸序列提交至 NCBI 核苷酸序列库进行比对。再用 MEGA 5.0 进化树软件采用邻接法(Neighbor-Joining)构建系统发育树,自展值为 1 000^[10]。

2 结果与分析

2.1 防控根结线虫功能菌株的分离和初筛

从发病黄瓜、番茄的根部、根际和根围土壤中分离获得不同形态菌株 297 株,其中细菌 207 株,放线菌 90 株。经过初筛,得到 9 株对根结线虫二龄幼虫校正击倒率 70%以上的菌株(表 1)。

2.2 防控根结线虫优势菌株的复筛

2.2.1 耐低温菌株筛选: 大多数土壤微生物的适宜生长温度为 25–30 $^{\circ}\text{C}$,而在冬季设施大棚土壤的平均地温只有 15–20 $^{\circ}\text{C}$,要求优势菌株必须具有耐低温特性。从室内耐低温特性测定结果可以看出,菌株 S205 在 4 $^{\circ}\text{C}$ 下 28 d 后开始生长,其它菌株在 4 $^{\circ}\text{C}$ 均不生长,说明菌株 S205 具有很好的耐低温效果(表 2)。

表 1 不同菌株对二龄幼虫的校正击倒率
Table 1 Corrected mortality to second stage juveniles under different strains

序号 Serial No.	菌株编号 Strain No.	平均击倒率 Average mortality (%)	校正击倒率 Corrected mortality (%)
1	B167	100.00	98.22
2	S511	100.00	98.22
3	S205	94.68	92.90
4	B244	94.44	92.66
5	S206	89.86	88.08
6	S252	85.03	83.25
7	STU101	79.34	77.56
8	S251	78.03	76.25
9	LK101	76.15	74.37

2.2.2 病原真菌拮抗菌筛选: 在实际的设施蔬菜大棚中, 根结线虫经常与各类土传病害同时发生。采用对峙平板法, 通过抑菌率比较各菌株对病原真菌的拮抗能力。从表 3 结果可见, 菌株 S205、STU101、B244、S252 和 B167 对腐霉病菌、丝核菌、镰刀菌和疫病菌 4 株病原菌均有拮抗作用, 且抑菌率均达到 46%以上。菌株 S205 对镰刀菌的抑制最强, 抑制率为 51.11%。

表 2 各菌株在低温下的生长情况
Table 2 Growth and development of different strains under low temperature

菌株编号 Strain No.	生长初始时间 The first time to grow (days)			
	4 °C	10 °C	15 °C	20 °C
S205	28	12	8	5
STU101	—	10	8	5
B244	—	5	3	1
S252	—	15	12	8
LK101	—	5	3	1
B167	—	5	3	1
S511	—	—	20	12

2.2.3 盆栽效果比较: 对较优菌株 S205、S511、B167、B244、STU101、LK101 和 S252 进行了低温条件下的盆栽防效测定。温室环境温度 15–18 °C。从表 4 结果可见, 菌株 S205 和菌株 STU101 的病情指数最低, 分别为 5.34 和 6.30, 防效达到了 56.82%和 49.09%, 优于阿维菌素处理和对照。

由图 1 和图 2 结果可见, 不同处理均可提高番茄植株的地上鲜重和促进根系发育, 其中菌株 S205 处理的番茄地上鲜重和根系干重与对照相比较差异显著($P<0.05$)。

表 3 各菌株对不同病原菌的拮抗作用(抑制率, %)
Table 3 Antagonism of different strains to different pathogens (inhibition rate, %)

供试菌株 Strains	拮抗菌株 Antagonistic strains			
	腐霉病菌 <i>Pythium aphanidermatum</i> MJ-1	立枯丝核菌 <i>Rhizoctonia solani</i> AG-2	尖孢镰刀菌黄瓜专化型 <i>Fusarium oxysporium</i> f.sp. <i>cucumerinum</i> HG-11	甜椒疫病菌 <i>Phytophthora capsici</i> LJ-3
S205	46.89	51.00	51.11	49.33
STU101	48.56	46.67	46.56	51.67
B244	51.22	55.44	48.44	46.44
S252	46.33	48.78	48.56	51.22
LK101	34.44	52.11	34.44	—
B167	51.11	54.44	47.44	48.33
S511	—	—	—	—

注: —: 无拮抗作用。

Note: —: No antagonism.

表 4 温室盆栽试验防治效果分析
Table 4 Effect of controlling root-knot nematode under pot experiment in greenhouse

菌株编号 Strain No.	病情指数 Disease index	防治效果 Effect of controlling (%)
S205	5.34	56.82
STU101	6.30	49.09
阿维菌素 Abamectin	7.63	38.33
B244	9.03	27.01
S252	10.29	16.88
LK101	10.93	11.69
B167	11.40	7.88
S511	12.32	0.46
CK	12.38	—

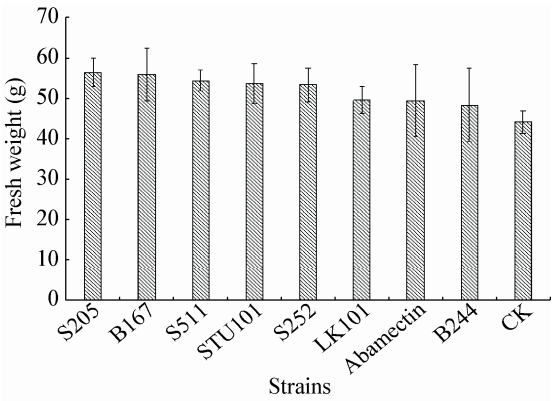


图 1 不同菌株对番茄地上鲜重的影响
Figure 1 Effect of different strain on the ground fresh weight of tomato

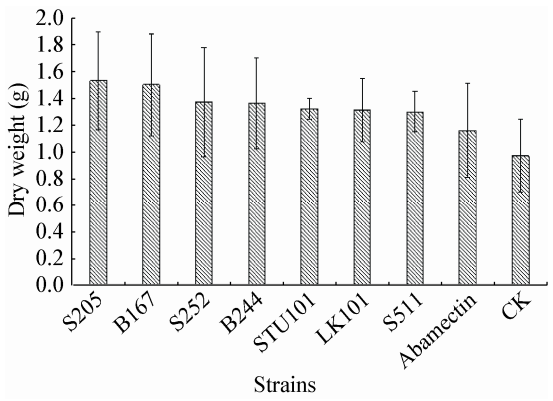


图 2 不同菌株对番茄根系干重的影响
Figure 2 Effect of different strain on the dry weight of tomato root

植物组织电导率是反映植株水分状况以及抗逆性的重要指标。相对电导率与植物抗性包括抗(耐)寒性、耐热性、耐盐性、抗病性等相关, 相对电导率越低, 说明细胞质电解液外渗的越少, 细胞膜受到破坏的程度越低, 细胞受到的伤害越小^[11]。菌株 S205、STU101 和 B244 处理叶片的相对电导率均低于对照(表 5), 说明采用 3 株菌处理后, 植物细胞的系统抗性得到了显著改善。

2.3 优势菌株 S205 的分类鉴定

通过初筛和系统复筛, 筛选出一株综合性能优良的菌株 S205。

2.3.1 表型特征及生理生化特性: 菌株 S205 在高氏一号培养基上生长良好, 菌落圆形, 表面干燥, 菌落边缘整齐, 凸起, 菌落最初为白色, 然后逐渐变成浅灰色或灰色, 且与培养基结合较紧密。气生菌丝浅灰至深灰色, 基内菌丝黄色, 有可溶性色素产生。革兰氏染色阳性, 菌丝无隔, 不断裂, 孢子丝呈链状直丝, 孢子长椭圆形。生理生化试验结果如表 6 所示。

2.3.2 16S rRNA 基因的序列分析: 提取链霉菌菌株 S205 的总 DNA, 对 16S rRNA 基因进行扩增, 测序后, 采用 Neighbor-Joining 法构建系统进化树(图 3)。菌株 S205 与抗生素链霉菌(AY999776)、抗生素链霉菌(AB184184)聚于同一分支, 其相似性达到了 100%。结合表型性状、生理生化特征和 16S rRNA

表 5 不同菌株对番茄叶片相对电导率的影响
Table 5 Effect of different strain on relatively conductivity of tomato leaf

菌株编号 Strain No.	相对电导率 Relatively conductivity (%)
CK	14.44 ^a
S205	10.14 ^b
STU101	10.45 ^b
B244	12.78 ^b
B167	14.55 ^a
阿维菌素 Abamectin	14.62 ^a
S252	23.64 ^c
S511	27.50 ^c
LK101	57.42 ^c

注: 小写字母不同表示数据差异达到显著水平(P<0.05).
Note: Different letters in the control and treated stand for the significant difference at the 0.05 level.

表 6 菌株 S205 的生理生化特征
Table 6 Physiological and biochemical characteristics of strain S205

	项目 Items	结果 Results		项目 Items	结果 Results
唯一碳源利 用试验 Sole sugar utilization test	D-木糖 D-xylose	—	不同盐浓度下生长情况 Grow and development under different salt concentration	1%	+++
	D-甘露糖 D-mannose	+		2%	++
	葡萄糖 Glucose	+		3%	++
	D-半乳糖 D-galactose	+		4%	+
	鼠李糖 Rhamnose	+++		5%	+
	棉籽糖 Cottonseed sugar	+		6%	—
	D-甘露醇 D-mannitol	+++	生长温度试验 Grow and development under different temperature	45 °C	—
	L-阿拉伯糖 L-arabinose	+		37 °C	+++
	乳糖 Lactose	—		28 °C	+++
	麦芽糖 Maltose	—		15 °C	+
	海藻糖 Trehalose	+		10 °C	+
	D-果糖 D-fructose	+		4 °C	+
	蔗糖 Sucrose	++	不同 pH 生长试验 Grow and development under different pH	pH 5.0	—
	淀粉 Starch	+++		pH 6.0	+
	肌醇 Inositol	++		pH 7.0–8.0	+++
唯一氮源利 用试验 Sole nitrogen utilization test	L-缬氨酸 L-Valine	+		pH 9.0	+
	L-组氨酸 L-Histidine	++	硝酸盐还原试验 Nitrate reduction test 明胶液化 Gelatin liquefaction H ₂ S 的产生 H ₂ S production 淀粉水解 Starch hydrolysis test 卵磷脂酶测定 Lecithin enzyme assay 纤维素水解 Cellulose hydrolysis test	pH 10.0	+
	L-苯丙氨酸 L-Phenylalanine	+/-		pH 11.0	—
	L-精氨酸 L-Arginine	+			+
	L-丝氨酸 L-Serine	+			+
	L-色氨酸 L-Tryptophan	+			—
	L-赖氨酸 L-Lysine	+			+
	L-羟脯氨酸 L-Hydroxyproline	+/-			+
	L-半胱氨酸 L-Cystine	+			+

注：+：阳性结果；—：阴性结果。
Note: +: Positive results; -: Negative results.

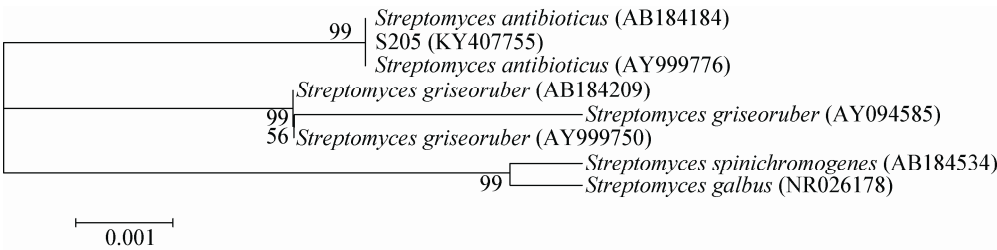


图 3 菌株 S205 的 16S rRNA 基因序列系统发育树

Figure 3 Phylogenetic tree constructed based on the 16S rRNA gene sequence of S205

注：分支点上的数字表示构建系统树时 1 000 次计算时形成该节点的百分比；括号内数值为 GenBank 登录号；标尺或刻度 0.001 代表 0.1% 的 16S rRNA 基因序列的进化差异。

Note: The bootstrap values presented at the branches were calculated from 1 000 replications; Numbers in parentheses are GenBank accession No.; The scale bar 0.001 represents 1 nucleotide substitutions per 1 000 nucleotide.

基因序列分析结果, 鉴定 S205 为抗生素链霉菌 (*Streptomyces antibioticus*)。

3 结论与讨论

根结线虫病害是我国农业特别是设施蔬菜产业多发且难以防治的主要病害之一, 传统的化学和物理防治方法存在污染环境、成本高等问题。因此, 利用功能微生物进行生物防治具有安全、高效、生态友好等特点, 具有广阔的应用前景。由于我国北方设施大棚在冬季的地温为 15–20 °C, 而大部分土壤微生物的最适生长温度在 25 °C 左右, 因此, 将耐低温特性作为关键评价指标, 是获得高效防控菌株的重要前提。此外, 为了提高应用效果及其稳定性, 综合评价目的菌株的拮抗病原真菌、促进根系发育等特性也非常必要。本研究将筛选亚低温下抗线虫特性和亚低温下促进植物生长发育相结合, 筛选得到的菌株 S205 在室内耐低温测试中表现出很强的耐低温特性, 可在 4 °C 下生长。在 15–18 °C 温室环境下, 菌株 S205 处理的植株明显优于对照, 说明菌株 S205 可在亚低温下发挥其生物功能。

对 S511、B167、S205、B244、STU101、S252 和 LK101 这 7 株菌的根结线虫拮抗的功能进行了盆栽试验验证, 初步明确 S205 具有较好的抗虫和促生功能, 有进一步开发和研究的价值。在盆栽试验过程中, 由于 7 株菌的使用浓度都一致, 这使得有些菌株在本次试验中表现一般的原因有可能有如下几点: (1) 不同菌株在土壤或根际或根内的“生态位”不一样, 使用的浓度不一定相同; (2) 菌株不同, 可能需要的增效物或配套措施也不同。另外, 在前期的平皿实验中, 菌株 B167 和 S511 对线虫的击倒率最高, 但在盆栽试验中却没有表现出较好的防控效果, 可能与土壤环境、宿主专一性有关。

在盆栽试验中, 只用了有菌的培养基质来检验 S205 的抗线虫和促生功能, 然而番茄根际微生物与 S205 是如何互相影响和作用的却不清楚, 因此有必要在进一步的研究中验证 S205 在无菌培养基质中的抗线虫和促生功能。

研究采用的是经典的平板分离方法, 由于该方法具有高度选择性, 分离出来的菌株仅占土壤细菌群落的很小一部分, 另外培养环境与土壤环境相差很远, 因此对目的菌株的获得具有很大局限。据报道, 在土壤、植物根际、植物组织中都存在数量庞大的微生物群落, 其中迄今不可培养的占 90%–99%^[12], 这些难培养的细菌很可能在土壤系统的“生态位”起着重要作用。近年来, 国内外学者开始利用以分子生物学为核心的微生物非培养技术研究土壤或其他环境中的微生物, 并取得了重要进展, 这将为根际线虫拮抗菌株的“定向分离”提供理论和技术支持。

目前已报道的各种链霉菌在次级代谢产物上研究较多^[13], 但关于抗生素链霉菌 (*Streptomyces antibioticus*) 的报道还很少, 尤其是抗生素链霉菌在亚低温条件下抗南方根结线虫功能上未见有报道, 本研究发现的抗生素链霉菌菌株除具有抗根结线虫和拮抗病原真菌外, 还有一定的促生和提高植株系统抗性的功能, 其田间应用效果还需做深入试验予以证明。

参考文献

- [1] Mai WF, Abawi GS. Interactions among root-knot nematodes and fusarium wilt fungi on host plants[J]. Annual Review of Phytopathology, 1987, 25(1): 317-338
- [2] Lei JC, Huang HQ. Research advance on biological control of the meloidogyne incognita[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2007, 23(S1): 76-81 (in Chinese)
雷敬超, 黄惠琴. 南方根结线虫生物防治研究进展[J]. 中国生物防治, 2007, 23(S1): 76-81
- [3] Fang Z, Peng DL, Li JH. Control effect of three fungal strains fermentation liquid to tomato root-knot nematode[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2010, 29(4): 440-443 (in Chinese)
方治, 彭德良, 李建洪. 3 株真菌发酵液对番茄根结线虫的防治效果[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(4): 440-443
- [4] Wei H, Liu M, Bao SX, et al. Screening and characterization of anti-root-knot nematode actinomycetes strain from mud under mangrove (*Rhizophora*) forest[J]. Journal of Microbiology, 2012, 32(4): 13-16 (in Chinese)
魏华, 刘敏, 鲍时翔, 等. 1 株抗根结线虫红树林放线菌的筛选与鉴定[J]. 微生物学杂志, 2012, 32(4): 13-16
- [5] Huang HQ, Yuan WD, Wei H, et al. Screening and identification of an actinomycete strain with nematocidal activity[J]. Biotechnology Bulletin, 2013(11): 175-179 (in Chinese)

- 黄惠琴, 袁维道, 魏华, 等. 一株抗根结线虫放线菌的筛选与鉴定[J]. 生物技术通报, 2013(11): 175-179
- [6] de Araujo FF, Marchesi GVP. Use of *Bacillus subtilis* in the control of root-knot nematode and the growth promotion in tomato[J]. *Ciência Rural*, 2009, 39(5): 1558-1561
- [7] Singh P, Siddiqui ZA. Biocontrol of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by the isolates of *Bacillus* on tomato[J]. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 2010, 43(14): 1423-1434
- [8] Kämpfer P, Busse HJ, Scholz HC. *Chromobacterium piscinae* sp. nov. and *Chromobacterium pseudoviolaceum* sp. nov., from environmental samples[J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2009, 59(10): 2486-2490
- [9] Rainey FA, Ward-Rainey N, Kroppenstedt RM, et al. The genus *Nocardiopsis* represents a phylogenetically coherent taxon and a distinct actinomycete lineage: proposal of *Nocardiopsaceae* fam. nov.[J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1996, 46(6): 1088-1092
- [10] Xiao C, Huang HQ, Ye JJ, et al. *Ornithinibacter aureus* gen. nov., sp. nov., a novel member of the family *Intrasporangiaceae*[J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2011, 61(3): 659-664
- [11] Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide[J]. *Australian Journal of Botany*, 2003, 51(4): 335-380
- [12] Cristinzio G, Scala F. Electrolyte leakage as a potential method for measuring of eggplant resistance and *Verticillium dahliae* virulence[J]. *Phytopathology*, 1994, 29(4): 184-190
- [13] Dai FP, Li SW. Progress on the secondary metabolites and applications of *Streptomyces*[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2014(3): 30-35 (in Chinese)
- 代芳平, 李师翁. 链霉菌次级代谢物及其应用研究进展[J]. 生物技术通报, 2014(3): 30-35

(上接 p.1865)

征 稿 简 则

3.3 摘要写作注意事项

3.3.1 英文摘要: 1) 建议使用第一人称, 以此可区分研究结果是引用文献还是作者得出的; 2) 建议用主动语态, 被动语态表达拖拉模糊, 尽量不用, 这样可以避免长句, 以求简单清晰; 3) 建议使用过去时态, 要求语法正确, 句子通顺; 4) 英文摘要的内容应与中文摘要一致, 但可比中文摘要更详尽, 写完后务必请英文较好且专业知识强的专家审阅定稿后再返回编辑部。5) 摘要中不要使用缩写语, 除非是人人皆知的, 如: DNA, ATP 等; 6) 在英文摘要中, 不要使用中文字体标点符号。

3.3.2 关键词: 应明确、具体, 一些模糊、笼统的词语最好不用, 如基因、表达……

4 特别说明

4.1 关于测序类论文

凡涉及测定 DNA、RNA 或蛋白质序列的论文, 请先通过国际基因库 EMBL (欧洲)或 GenBank (美国)或 DDBJ (日本), 申请得到国际基因库登录号 (Accession No.)后再投来。

4.2 关于版权

4.2.1 本刊只接受未公开发表的文章, 请勿一稿两投。

4.2.2 凡在本刊通过审稿、同意刊出的文章, 所有形式的 (即各种文字、各种介质的)版权均属本刊编辑部所有。作者如有异议, 敬请事先声明。

4.2.3 对录用的稿件编辑部有权进行文字加工, 但如涉及内容的大量改动, 将请作者过目同意。

4.2.4 文责自负。作者必须保证论文的真实性, 因抄袭剽窃、弄虚作假等行为引发的一切后果, 由作者自负。

4.3 审稿程序及提前发表

4.3.1 来稿刊登与否由编委会最后审定。对不录用的稿件, 一般在收稿 2 个月之内通过 E-mail 说明原因, 作者登陆我刊系统也可查看。稿件经过初审、终审通过后, 作者根据编辑部返回的退修意见进行修改补充, 然后以投稿时的用户名和密码登陆我刊系统上传修改稿, 待编辑部复审后将给作者发稿件录用通知单, 稿件按照投稿先后排队发表。

4.3.2 对投稿的个人和单位一视同仁。坚持文稿质量为唯一标准, 对稿件采取择优先登的原则。

5 发表费及稿费

论文一经录用, 将在发表前根据版面收取一定的发表费并酌付稿酬、赠送样刊。

6 联系方式

地址: 北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号中国科学院微生物研究所《微生物学通报》编辑部(100101)

Tel: 010-64807511; E-mail: tongbao@im.ac.cn; 网址: <http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>

Tel: 010-64807511; E-mail: tongbao@im.ac.cn; <http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>