

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.05.003

# 抗番茄早疫病海洋细菌 221-11 的鉴定 及其生防效果评价

杨星月<sup>1</sup>, 陆跃岭<sup>1</sup>, 金东林<sup>1</sup>,  
王淑芳<sup>2</sup>, 焦豫良<sup>3</sup>, 杭新楠<sup>2</sup>

- 江苏海洋大学 海洋科学与水产学院, 江苏 连云港 222005;
- 江苏省海洋生物产业技术协同创新中心, 江苏 连云港 222005;
- 自然资源部滨海盐沼湿地生态与资源重点实验室, 南京 210001

**摘要:** 为了鉴定拮抗番茄早疫病菌(*Alternaria solani*)的海洋细菌并评价其生防效果, 本研究以前期从海洋中分离筛选的番茄早疫病菌拮抗细菌 221-11 为研究对象, 根据形态学特征、生理生化特性和 16S rDNA 序列分析鉴定拮抗细菌的种类, 再采用室内盆栽试验检测海洋拮抗细菌对番茄植株的促生效果以及对番茄早疫病的预防、治疗效果, 最后测定拮抗细菌对植物防御酶(SOD、POD、CAT)活性的影响。结果表明, 海洋拮抗细菌 221-11 为贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*), 该菌对番茄早疫病菌抑菌圈直径为  $61.20 \pm 0.30$  mm, 抑制率为 77.2%, 且能抑制孢子萌发并致畸; 盆栽灌根接种 35 d 发现  $5.75 \times 10^2 \sim 5.75 \times 10^8$  CFU/mL 海洋拮抗细菌 221-11 发酵液均能促进番茄植株生长, 其中, 以  $5.75 \times 10^8$  CFU/mL 发酵液处理株高、鲜质量和干质量最高, 分别增长 15.23%、64.23% 和 118.97%; 发酵液的预防和治疗效果分别为 63.45% 和 45.74%; 接种高浓度 221-11 发酵液后叶片防御酶 SOD、POD、CAT 的活性显著增加, 最高增加 139.82%。综上所述, 海洋拮抗细菌 221-11 对番茄植株有一定的促生潜力且对番茄早疫病有很好的防治效果, 是生物防治番茄早疫病的潜在菌株。

**关键词:** 番茄早疫病; 拮抗细菌;

贝莱斯芽孢杆菌; 防治效果; 防御酶

中图分类号: S436.412.1

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2024)05-0018-10

收稿日期: 2024-05-09

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程项目; 江苏海洋大学研究生科研与实践创新计划项目(KYCX2022-66)。

作者简介: 杨星月, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源与利用。

通信作者: 王淑芳, 博士, 副教授, 硕士研究生导师。

## Identification and Biocontrol Evaluation of Marine Bacteria 221-11 on Tomato Early Blight

YANG Xingyue<sup>1</sup>, LU Yuelin<sup>1</sup>, JIN Donglin<sup>1</sup>,  
WANG Shufang<sup>2</sup>, JIAO Yuliang<sup>3</sup>, HANG Xinnan<sup>2</sup>

1. College of Marine Science and Fisheries, Jiangsu Ocean University, Lianyungang Jiangsu 222005, China;

2. Jiangsu Marine Biological Industry Technology Collaborative Innovation Center, Lianyungang Jiangsu 222005, China;

3. Key Laboratory of Coastal Salt Marsh Ecosystems and Resources, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210001, China

**Abstract:** In order to identify the marine bacteria antagonistic to tomato early blight (*Alternaria solani*) and evaluate its biocontrol effect, in this experiment, the species of the antagonistic bacterium 221-11 for tomato early blight screened in previous work was used as research object. Based on the morphological characteristics, physiological and biochemical properties, and 16S rDNA sequence analysis, the species of antagonistic bacterium was identified. Then, an indoor pot test was used to detect the growth-promoting effects of marine biocontrol bacteria on tomato plants and preventive, therapeutic effect on tomato early blight. Finally, the effects of antagonistic bacteria on the activities of plant defense enzymes (SOD, POD, CAT) were determined by using the aziridinium blue tetrazolium method, the guaiacol method, and the UV-absorbance method. The results showed that the marine antagonistic bacterium 221-11 was *Bacillus velezensis*. It produced an inhibition zone of  $61.2 \pm 0.3$  mm in diameter with 77.2% of inhibition rate against tomato early blight pathogen, and inhibited the spore germination and teratogenesis. After potting root inoculation for 35 d, it was found that  $5.75 \times 10^2 - 5.75 \times 10^8$  CFU/mL of marine bacterium 221-11 fermentation solution were able to promote the growth of tomato plants. Among them, the plant height, fresh weight and dry weight of the plants treated with  $5.75 \times 10^8$  CFU/mL solution was the highest, which increased by 15.23%, 64.23% and 118.97%, respectively. The preventive and therapeutic effects of the fermentation solution were 63.45% and 45.74%. Compared with the control group, the activities of SOD, POD and CAT after inoculation with biocontrol bacterium 221-11 increased with the increase of fermentation liquid concentration, and the highest increase was 139.82%. In summary, the biocontrol bacterium 221-11 has good control effect on tomato early blight and promotion potential to tomato plants, and is a potential strain for biological control of tomato early blight.

**Key words:** tomato early blight; antibacterial; *Bacillus velezensis*; control efficiency; defensive enzyme

番茄(*Solanum lycopersicum*)是仅次于土豆的世界第二大消费蔬菜<sup>[1]</sup>,而由茄链格孢菌(*Alternaria solani*)侵染引起的番茄早疫病造成的经济损失高达70%~80%<sup>[2]</sup>.因此,加强番茄早疫病的防治研究,对降低番茄早疫病、促进农业生产、提高农民收入具有重要意义.

生物防治具有绿色、安全的特性,利用拮抗微生物防治植物病害是生物防治的一个重要方面<sup>[3]</sup>.海洋是最多样和最具竞争力的生态系统<sup>[4]</sup>,如研究发现海洋发根链霉菌和解淀粉芽孢杆菌可以作为番木瓜中抵抗炭疽病的抗性诱导剂<sup>[5]</sup>.孙一凡等<sup>[6]</sup>发现番茄植株经侧孢短芽孢杆菌(*Brevibacillus laterosporus*)B113处理后,叶片中多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)等防御酶活性提高,同时番茄早疫病对植株的侵染程度降低.唐彤彤等<sup>[7]</sup>发现赤杆菌(*Erythrobacter*)YH-07对番茄枯萎病有很好的防治效果.目前,针对番茄早

疫病可供选择的菌株资源仍相对较少, 仍需大量筛选及鉴定对番茄病害广谱、高效拮抗的菌株.

本实验室前期从连云港海域条斑紫菜附生菌中筛选到一株对番茄早疫病菌有强烈抑制作用的海洋细菌 221-11. 本研究拟对该菌株进行种属鉴定, 并通过盆栽试验探究此拮抗菌对番茄的促生作用和对番茄早疫病的防治效果, 为海洋细菌在生物防治中的应用打下理论基础.

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 供试菌株和植物来源

番茄早疫病菌系茄链格孢菌来自中国农业科学院生物防治研究所, 本实验室保存. 拮抗菌为本实验室从连云港海域中的条斑紫菜表面分离, 编号 221-11. 供试番茄来源于宿迁市沭阳大棚蔬菜种植基地购买的长势及各项生长指标相近、对早疫病原菌无抗性的健康番茄苗.

#### 1.1.2 供试培养基

牛奶培养基等测试培养基参照文献<sup>[8-10]</sup>方法进行配置并灭菌.

#### 1.1.3 供试试剂

革兰氏染色、芽孢染色和鞭毛染色试剂盒购自青岛高科技工业园海博生物技术有限公司, 酶活试剂盒购自南京建成生物工程研究所, 其他生化试剂为国产分析纯.

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 海洋拮抗菌 221-11 的抑菌作用

采用平板对峙法测定海洋拮抗菌 221-11 对茄链格孢菌的抑菌作用, 对照组与处理组各重复 3 次, 于 28 °C 生化培养箱培养 7 d 后测量并计算抑制率. 菌丝生长抑制率(%) = (对照组菌落直径 - 处理组菌落直径) / (对照组菌落直径 - 菌饼直径) × 100%<sup>[11]</sup>.

#### 1.2.2 海洋拮抗菌 221-11 的鉴定

1) 形态学观察. 采用平板划线法将拮抗菌接种于 PDA 培养基, 于 28 °C 恒温培养 24 h, 观察并记录平板上菌株的形态. 同时采用革兰氏染色、孢子染色和鞭毛染色方法进行进一步观察.

2) 生理生化特征观察. 参照《微生物学实验》<sup>[12]</sup>和《伯杰细菌鉴定手册》<sup>[13]</sup>, 将菌株 221-11 分别接种于纤维素刚果红培养基等培养基上, 分别观察是否有透明圈产生. 鉴定菌株 221-11 对 ONPG、葡萄糖等营养物质的利用能力.

3) 分子生物学鉴定. 利用 16S rDNA 序列通用引物 27F: 5'-AGAGTTTGATCMTGGCT-CAG-3' 和 1492R: 5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3' 参照已报道的方法<sup>[14]</sup>进行基因扩增并在上海生工生物工程有限公司进行测序, 将所测得的 16S rDNA 序列与 GenBank 中已知的序列进行同源性分析, 选择相似度最高的同源序列, 用 MEGA-11.0 软件进行 Clustal W 多重序列比对, 并采用 NJ(Neighbour-Joining) 算法构建系统发育树.

#### 1.2.3 海洋拮抗菌 221-11 发酵液和番茄早疫病原菌的制备

将拮抗菌 221-11 置于 28 °C 下, 在 PDA 培养基划线培养 48 h 后接种到 PDB 培养基中, 恒温振荡培养(28 °C, 转速 180 r/min) 24 h 后, 用无菌水 100 倍梯度稀释配成  $5.75 \times 10^2 \sim 5.75 \times 10^8$  CFU/mL 的系列发酵液. 取 4 °C 冰箱保存的番茄早疫病菌于 PDA 培养基上, 28 °C 培养 5 d 后制成直径 6 mm 的菌饼, 备用.

#### 1.2.4 海洋拮抗菌 221-11 对番茄幼苗的促生作用

将 1.2.3 中稀释的发酵液浇灌到幼苗根部, 同时设置清水为对照组, 每处理组 10 株, 每株

10 mL, 每 7 d 灌根一次, 共 5 次. 培养 35 d 后将植株连根拔起, 洗净根部的土壤和肥料, 吸水纸吸干水分, 分别统计株高、鲜质量和干质量<sup>[15]</sup>.

### 1.2.5 海洋拮抗菌 221-11 对番茄早疫病的防效测定

拮抗菌 221-11 对番茄早疫病的防效测定采用盆栽试验. 取纯化后的番茄早疫病菌, 用打孔器打下制成菌饼. 在预防测定中, 将 10 mL 浓度为  $5.75 \times 10^8$  CFU/mL 的发酵液均匀喷洒在植株叶片上, 保湿 1 d 后再将番茄早疫病菌菌饼倒扣在番茄叶片中央; 治疗测定中, 先接种病菌, 保湿 1 d 后再均匀喷洒  $5.75 \times 10^8$  CFU/mL 发酵液. 以清水为对照组, 每组处理设置 20 株幼苗, 重复 3 次<sup>[16-17]</sup>. 在 25 °C、12 h : 12 h 光周期条件下保湿培养 7 d 后, 测定 3 组的发病率和病情指数.

病情分级标准与计算方式是以叶片为单位, 0~4 级为标准调查番茄幼苗的病情指数<sup>[18]</sup>. 病情指数 =  $\sum(\text{各级病叶数} \times \text{对应发病级数}) / (\text{调查总叶片数} \times \text{最高调查发病级数}) \times 100$ ; 预防效果(治疗效果) =  $(\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}) / \text{对照病情指数} \times 100$ .

### 1.2.6 海洋拮抗菌 221-11 对番茄幼苗叶片防御酶活性的影响

分别以灌根的方式浇灌 10 mL  $5.75 \times 10^4$  CFU/mL、 $5.75 \times 10^8$  CFU/mL 浓度的海洋拮抗菌 221-11 发酵液到幼苗根部, 以无菌水为对照. 每 5 d 灌根一次, 10 d 后采集植株叶片(倒数第 1 和倒数第 2 的完全展开叶)进行研磨, 得到粗酶液. 按照蔡庆生<sup>[19]</sup>的方法测定 SOD、POD 和 CAT 活性.

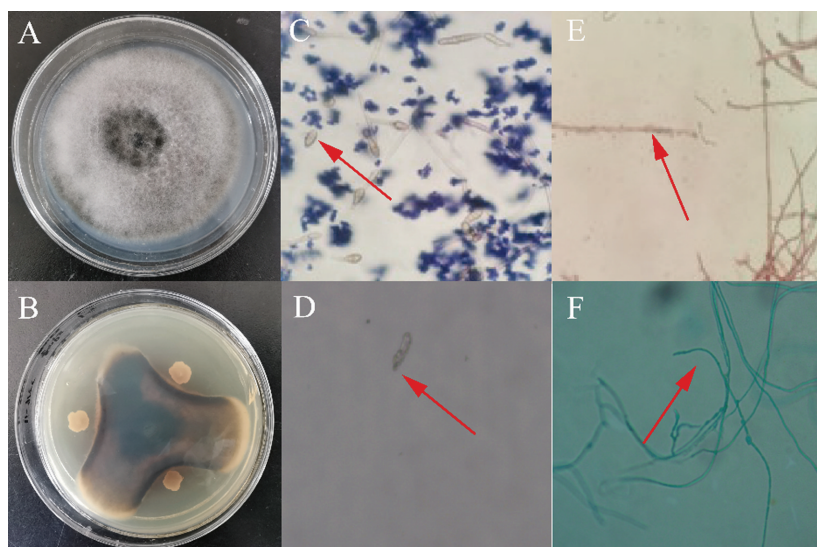
## 1.3 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 27.0 进行数据分析, 以最小显著差数法(LSD)分析差异显著性.

## 2 结果与分析

### 2.1 海洋拮抗菌 221-11 的抑菌作用

海洋细菌 221-11 对番茄早疫病菌具有强烈抑菌作用(图 1A 和 B). 抑菌带直径为  $61.2 \pm 0.3$  mm, 菌丝生长抑制率为 77.2%. 与正常生长的孢子和菌丝相比(图 1C 和 E), 受抑制的孢子呈现长棒状、细长且出现破裂, 菌丝则变得膨大、弯曲、分枝增多(图 1D ~ F).



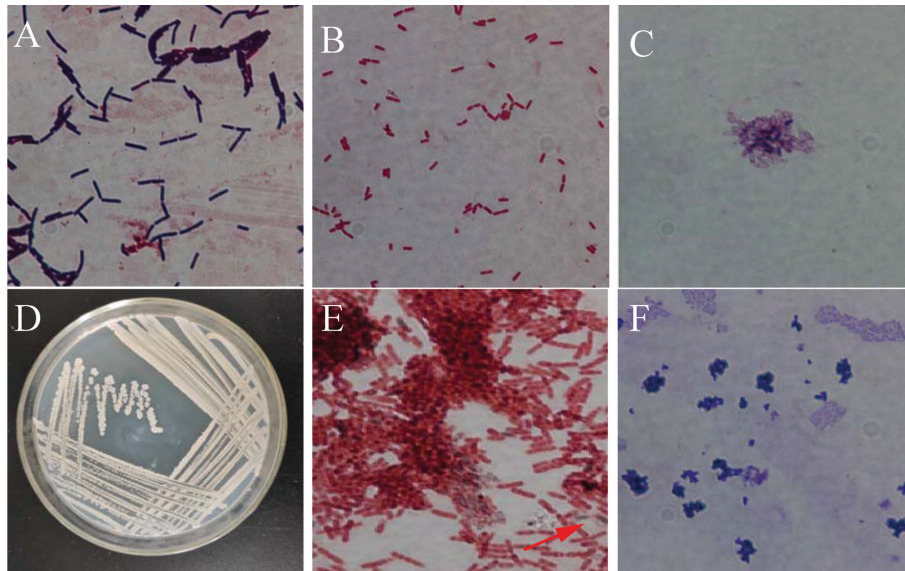
A: 番茄早疫病菌; B: 经对峙培养的番茄早疫病菌; C: 正常的番茄早疫病菌孢子; D: 受抑制的番茄早疫病菌孢子;  
E: 正常的番茄早疫病菌菌丝; F: 受抑制的番茄早疫病菌菌丝; C~F 显微镜倍数 400×

图 1 拮抗菌对番茄早疫病菌的抑制作用

## 2.2 海洋拮抗菌的鉴定

### 2.2.1 形态学观察和生理生化特征

海洋拮抗菌 221-11 菌体为杆状，革兰氏染色为阳性；在 PDA 培养基上单菌落为乳白色、不透明、边缘不整齐、表面干燥和褶皱，芽孢呈绿色，鞭毛呈紫色(图 2)，属于芽孢杆菌属。



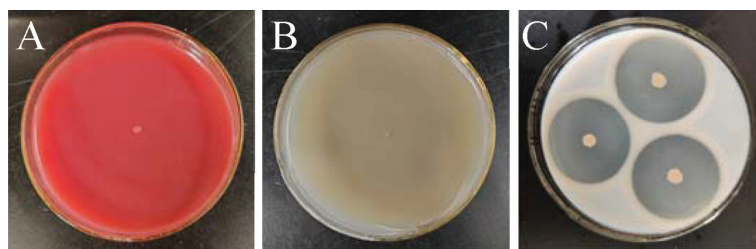
A: 大肠杆菌(阴性对照); B: 金黄色葡萄球菌(阳性对照); C: 海洋拮抗菌 221-11;  
D: 菌落形态; E: 芽孢染色; F: 鞭毛染色; A~C、E、F 显微镜倍数 400×

图 2 海洋拮抗菌 221-11 的形态学观察

海洋拮抗菌 221-11 生理生化特征测定结果见表 1 和图 3，该菌能够利用部分糖类，产蛋白酶，透明圈直径为  $37.2 \pm 0.2$  mm(图 3)。

表 1 海洋拮抗菌 221-11 生理生化特征

| 生理生化指标 | 结果 | 生理生化指标        | 结果 |
|--------|----|---------------|----|
| ONPG   | —  | 6.5%NaCl 高盐肉汤 | —  |
| 葡萄糖    | +  | 明胶            | +  |
| 蔗糖     | +  | 硫化氢           | —  |
| 麦芽糖    | +  | 胆汁七叶苷         | +  |
| 阿拉伯糖   | —  | 七叶苷           | —  |
| 乳糖     | —  | 尿素            | —  |
| 半固体琼脂  | +  |               |    |



A: 纤维素刚果红培养基; B: 果胶培养基; C: 牛奶培养基

图 3 海洋拮抗菌 221-11 产酶能力鉴定

### 2.2.2 海洋拮抗菌 221-11 的 16S rDNA 序列分析

16S rDNA 测序所得序列经网上比对发现与贝莱斯芽孢杆菌(GenBank 号: MN093876)相似度最高, 相似度为 99%。系统发育树发现海洋拮抗菌 221-11 序列与贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*)聚为一支(图 4)。再结合形态学观察和生理生化鉴定结果, 确定拮抗菌 221-11 为贝莱斯芽孢杆菌(*B. velezensis*)。

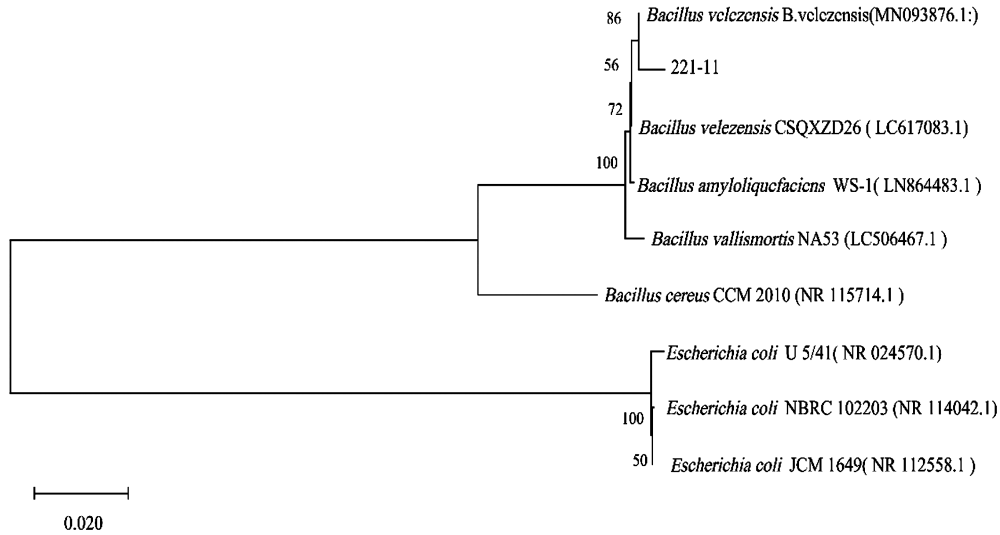


图 4 海洋拮抗菌 221-11 的系统发育树

### 2.3 海洋拮抗菌 221-11 对番茄幼苗的促生作用

灌根 35 d 后, 株高与质量如表 2 所示. 结果发现不同浓度海洋拮抗菌 221-11 菌液对番茄植株的生长均有一定的促进作用, 各生长指标与对照相比均显著差异 ( $p < 0.05$ ). 当发酵液浓度为  $5.75 \times 10^8$  CFU/mL 时, 番茄的株高、鲜质量和干质量达到最大值, 增长率分别为 15.23%、64.23% 和 118.97%; 同时鲜质量和干质量与其他处理组及对照组间差异均达到极显著水平 ( $p < 0.001$ ).

表 2 海洋拮抗菌 221-11 对番茄幼苗植株的影响

| 处理<br>菌液浓度/(CFU · mL <sup>-1</sup> ) | 株高/cm          | 鲜质量/g           | 干质量/g          |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 对照(CK)                               | 23.17 ± 0.73bA | 9.87 ± 0.29cB   | 1.16 ± 0.01eD  |
| $5.75 \times 10^2$                   | 23.69 ± 0.94aA | 12.23 ± 1.09bAB | 1.43 ± 0.07dCD |
| $5.75 \times 10^4$                   | 24.10 ± 1.17aA | 12.93 ± 0.92bAB | 1.73 ± 0.04cBC |
| $5.75 \times 10^6$                   | 24.87 ± 1.00aA | 13.84 ± 1.48bAB | 1.94 ± 0.03bB  |
| $5.75 \times 10^8$                   | 26.70 ± 0.90aA | 16.21 ± 1.90aA  | 2.54 ± 0.18abA |

注: 表中数据为平均值 ± 标准差; 同列数据后小写字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ ), 大写字母不同表示差异极显著 ( $p < 0.001$ ).

### 2.4 海洋拮抗菌 221-11 对番茄早疫病的防治效果

研究结果表明 221-11 可显著降低病情指数, 治疗组和预防组的病情指数分别比对照组降低 45.73% 和 63.36%, 并且预防效果要高于治疗效果(表 3)。

表3 番茄幼苗病情指数和防治效果计算

| 处理 | 叶片总数/片 | 发病率/% | 病情指数         | 相对防效/%       |
|----|--------|-------|--------------|--------------|
| CK | 330    | 100   | 92.53±0.62aA |              |
| T1 | 330    | 45.45 | 33.90±1.61cC | 63.45±1.61aA |
| T2 | 350    | 60.61 | 50.22±2.50bB | 45.74±2.34bB |

注: T1: 预防处理组; T2: 治疗处理组. 同列数据后小写字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ ), 大写字母不同表示差异极显著( $p < 0.01$ ).

## 2.5 海洋拮抗菌 221-11 对番茄叶片防御酶活性的影响

不同浓度的拮抗菌 221-11 对番茄植株内相关防御酶活性均有一定的增加. SOD、POD 和 CAT 活性都随着菌液浓度( $0$ 、 $5.75 \times 10^4$  和  $5.75 \times 10^8$  CFU/mL)的增大而升高, 当发酵液浓度为  $5.75 \times 10^8$  CFU/mL 时达到最高, 酶活性分别为对照的 119.24%、158.82% 和 239.82%, POD、CAT 活性与对照组相比差异极显著( $p < 0.001$ )(表 4).

表4 海洋拮抗菌 221-11 对番茄叶片 SOD、POD、CAT 活性的影响

| 处理<br>菌液浓度/(CFU · mL <sup>-1</sup> ) | SOD/(U · g <sup>-1</sup> ) | POD/(U · g <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup> ) | CAT/(U · g <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------------|----------------------------|--|----------------------------|
| 0                                    | 299.673±39.33aA            | 17±1.00cC                                      | 0.452±0.02cC               |
| $5.75 \times 10^4$                   | 351.596±40.90aA            | 22±0.30bB                                      | 0.723±0.04bB               |
| $5.75 \times 10^8$                   | 357.333±18.07aA            | 27±0.60aA                                      | 1.084±0.04aA               |

同列数据后小写字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ ), 大写字母不同表示差异极显著( $p < 0.01$ ).

## 3 结论与讨论

有研究表明, 从海洋环境中分离得到的细菌, 能够产生多种抗微生物的活性物质, 并诱导宿主产生抗性<sup>[20-22]</sup>, 在植物抵御植物病原体方面发挥着越来越重要的作用, 发掘海洋微生物资源充实抗菌微生物库成为生物防治的主要任务之一. 本试验从海洋条斑紫菜表面分离的贝莱斯芽孢杆菌 221-11 经过平板对峙培养, 结果表明对番茄早疫病菌等植物病菌具有显著抑制作用, 丰富了番茄早疫病微生物生物防治的菌种资源.

相对于放线菌和真菌来说, 芽孢杆菌生成的芽孢具有较强的抗逆性、容易生产、需要营养简单、易于保存和使用等优点, 所以市场上商业化的拮抗制剂大多为芽孢杆菌属<sup>[23]</sup>. 海洋芽孢杆菌属细菌, 如解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)<sup>[24]</sup>、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)<sup>[25]</sup>、贝莱斯芽孢杆菌(*B. velezensis*)<sup>[26]</sup>、苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*)<sup>[27]</sup>等, 已经被证实是一种植物生长促进剂和免疫系统性诱导剂, 能产生多种抗微生物化合物, 抑制病原菌生长. 沈会芳等<sup>[28]</sup>的试验表明, 贝莱斯芽孢杆菌 GDND 能抑制烟草镰孢根腐病菌的整个生产发育过程, 包括孢子萌发、菌丝生长和孢子形成. 本研究从连云港海域条斑紫菜表面筛选到的番茄早疫病菌拮抗菌 221-11 初步鉴定为贝莱斯芽孢杆菌, 能强烈地抑制番茄早疫病菌的生长, 具有进一步的应用价值.

白红燕等<sup>[29]</sup>通过温室试验和大田试验发现贝莱斯芽孢杆菌 EBV02 对棉花黄萎病的防治效

果分别可达 68.33% 和 37.25%, 且可以显著促进棉苗生长; 安婉宁等<sup>[30]</sup>从渤海海泥分离筛选出的贝莱斯芽孢杆菌 CT2628 可以增强植物的保水能力和光合作用, 促进植物生长. 本研究与前人研究结果一致, 盆栽试验表明贝莱斯芽孢杆菌 221-11 具有显著的促生长和防治效果. 贝莱斯芽孢杆菌 221-11 在试验浓度下均能够促进番茄植株生长, 鲜质量和干质量与对照相比差异极显著.

SOD、POD 与 CAT 可调节  $H_2O_2$  浓度, 降低植物细胞膜脂的过氧化作用, 保护植物细胞, 避免病原体进一步侵害植物<sup>[31-32]</sup>. 邹强等<sup>[33]</sup>指出接种 TP-1 发酵液可以诱导葡萄相关防御酶活性的提高, 增强葡萄对灰霉病的抗性. 赵欣等<sup>[34]</sup>发现玉米幼苗接种解淀粉芽孢杆菌 HRH317 后, 其叶片内 SOD、POD 和 CAT 活性峰值是对照的 1.38~3.35 倍. 本项研究中灌根海洋拮抗菌 221-11 发酵液后, 叶片防御酶 SOD、POD、CAT 的活性随着发酵液浓度的升高而增强, CAT 和 POD 活性表现为极显著差异, SOD 表现为显著差异, 与赵欣等研究结果<sup>[34]</sup>相似. 然而本试验 CAT 酶活(2.40 倍)增加最多, SOD 增加的效果最差; 赵欣等<sup>[34]</sup>的研究中 SOD 增加效果最高(3.35 倍), POD 增加最少(1.38 倍), 这可能与拮抗菌的种类与特性有关.

本研究结果也存在一些不足. 据前人研究, 拮抗菌可以在土壤及植物组织内进行定殖从而增强植物生理活动, 诱导非特异性防御酶增加. 本研究在促生与防御酶酶活测定试验中采用灌根方式, 而作为药剂, 在实际操作中喷洒操作更为常见, 因此在防效试验中应采用喷洒方式. 关于 221-11 的最佳使用方式还需要进一步研究, 同时要明确防治因子的具体种类和作用机制<sup>[35-36]</sup>、拮抗菌在土壤中的定殖效果<sup>[37-38]</sup>、定殖的影响因素以及菌剂制备方法和使用方法, 并进一步做更加深入的研究.

#### 参考文献:

- [1] IMRAN M, ABO-ELYOUSR K A M, MOUSA M A A, et al. A Study on the Synergetic Effect of *Bacillus amyloliquefaciens* and Dipotassium Phosphate on *Alternaria solani* Causing Early Blight Disease of Tomato [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2022, 162(1): 63-77.
- [2] RASOOL M, AKHTER A, SOJA G, et al. Role of Biochar, Compost and Plant Growth Promoting Rhizobacteria in the Management of Tomato Early Blight Disease [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 6092.
- [3] 彭奎, 周开雁, 汤术开, 等. 3 种微生物菌剂对烟草生长及抗病性的影响 [J]. *植物医生*, 2020(4): 9-14.
- [4] MÜLLER M, SPIERS A J, TAN A, et al. Investigating Quorum-Quenching Marine Bacilli as Potential Biocontrol Agents for Protection of Shrimps Against Early Mortality Syndrome (EMS) [J]. *Scientific Reports*, 2023, 13(1): 4095.
- [5] CHIQUITO-CONTRERAS R G, MURILLO-AMADOR B, CARMONA-HERNANDEZ S, et al. Effect of Marine Bacteria and Ulvan on the Activity of Antioxidant Defense Enzymes and the Bio-Protection of Papaya Fruit Against *Colletotrichum gloeosporioides* [J]. *Antioxidants*, 2019, 8(12): 580.
- [6] 孙一凡, 刘喆, 李海洋, 等. 侧孢芽孢杆菌 B113 对番茄早疫病防治效果及机制 [J]. *应用生态学报*, 2021, 32(1): 299-308.
- [7] 唐彤彤, 孙星, 董元华, 等. 对番茄枯萎病具防效的海洋源赤杆菌 YH-07 的发酵条件探究 [J]. *中国生物防治学报*, 2018, 34(5): 753-761.
- [8] 尹春筱. 产高温蛋白酶菌株的分离鉴定及蛋白酶基因的克隆与表达 [D]. 抚州: 东华理工大学, 2018.
- [9] 张小丹, 赵赛赛, 林一, 等. 果胶酶产生菌 *Bacillus subtilis* Z-5 的筛选及酶学性质研究 [J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(11): 34-40.



- [10] 张功友, 王一涵, 郭敏, 等. 重楼中一株产纤维素酶内生真菌的分离及鉴定 [J]. 生物技术通报, 2022, 38(2): 95-104.
- [11] 王玉双, 肖蓉, 郭照辉, 等. 来源于中药的稻瘟病菌拮抗解淀粉芽胞杆菌鉴定及其活性成分特性 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(5): 746-752.
- [12] 沈萍, 陈向东. 微生物学实验 [M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [13] 廖延雄. 《伯杰氏鉴定细菌学手册》与《伯杰氏分类细菌学手册》 [J]. 微生物学通报, 1992, 19(4): 249.
- [14] 万中义, 方伟, 张志刚, 等. 链霉菌 HBERC-44441 活性成分的分离鉴别及其抗菌活性测定 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(3): 615-623.
- [15] 吴金山, 王思琦, 黄家权, 等. 5 株生防菌定殖能力、促生作用及其对木薯细菌性枯萎病生防潜力的研究 [J]. 热带作物学报, 2022, 43(9): 1880-1887.
- [16] 王俊美, 李亚红, 徐飞, 等. 腥掷孢酵母 17wy1 的分离、鉴定及对小麦白粉病防效初探 [J]. 河南农业科学, 2024, 53(2): 101-107.
- [17] 谢梓语, 郭恩辉, 孙宇波, 等. 枯草芽胞杆菌 B1409 对番茄和辣椒的防病促生作用 [J]. 植物保护学报, 2018, 45(3): 520-527.
- [18] 王发科, 郑贵彬. 番茄早疫病抗病性鉴定方法 [J]. 植物病理学报, 1992, 22(2): 168.
- [19] 蔡庆生. 植物生理学实验 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.
- [20] GHAZIALATTAS S, ZABERMAWI N M, ELBESTAWY E. Biodegradation of Atrazine Using Selected Marine Bacteria: Possibilities for Treating Pesticide-Contaminated Wastewater [J]. Journal of King Saud University-Science, 2023, 35(6): 102721.
- [21] BIBI F, NASEER M I, HASSAN A M, et al. Diversity and Antagonistic Potential of Bacteria Isolated from Marine Grass *Halodule uninervis* [J]. 3 Biotech, 2018, 8(1): 48.
- [22] FEHMIDA B, MUHAMMAD I N, MUHAMMAD Y, et al. LC-MS Based Identification of Secondary Metabolites from Marine Antagonistic Endophytic Bacteria [J]. Genetics and Molecular Research, 2017, 16(4): 1-14.
- [23] 王卓妮, 覃良红, 王丽, 等. 草莓病害拮抗细菌的筛选及其对草莓褐色叶斑病的防效 [J]. 中国蔬菜, 2023(2): 63-71.
- [24] 汪晶晶, 曹雪梅, 李欢, 等. 抗菌海洋解淀粉芽胞杆菌 GM-1-2 菌株摇瓶发酵培养基和发酵条件优化 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(8): 291-295.
- [25] MAGHEMBE R, MOTO E, MAKARANGA A, et al. Complete Genome Sequence of *Bacillus Subtilis* strain MARUCo01 Isolated from Marine Sediments of the Indian Ocean in Bagamoyo, Tanzania [J]. Microbiology Resource Announcements, 2023, 12(9): e0047323-e0047323.
- [26] 宋波, 张廷富, 杨昌鑫, 等. 贝莱斯芽胞杆菌对柑橘病原菌皮落青霉的生防初探 [J]. 西南农业学报, 2022, 35(11): 2609-2615.
- [27] SALEM A, KHANDAKER M M, MAHMUD K, et al. Enhancing Photosynthesis and Root Development for Better Fruit Quality, Aroma, and Lessening of Radioactive Materials in Key Lime (*Citrus Aurantifolia*) Using *Trichoderma Harzianum* and *Bacillus Thuringiensis* [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2024, 206: 108295.
- [28] 沈会芳, 杨祁云, 张景欣, 等. 贝莱斯芽胞杆菌 GDND-2 对烟草镰孢根腐病菌生长发育的影响 [J]. 微生物学通报, 2023, 50(7): 2876-2891.
- [29] 白红燕, 赵丽红, 蒲丹丹, 等. 贝莱斯芽胞杆菌 EBV02 对棉花黄萎病的防治作用及机理 [J]. 棉花学报, 2022, 34(5): 443-457.
- [30] 安婉宁. 海洋生境贝莱斯芽胞杆菌 CT2628 的促生长抗逆作用研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2021.
- [31] 陈爽, 王继华, 张必弦, 等. 贝莱斯芽胞杆菌对大豆根腐病盆栽防效及防御酶活性检测 [J]. 分子植物育种, 2022, 20(19): 6492-6500.

- [32] AKHTARI A, DAVARI M, HABIBI-YANGJEH A, et al. Antifungal Activities of Pure and ZnO-Encapsulated Essential Oil of *Zataria multiflora* on *Alternaria solani* as the Pathogenic Agent of Tomato Early Blight Disease [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 932475.
- [33] 邹强, 牛新湘, 刘萍, 等. 拮抗葡萄灰霉病贝莱斯芽孢杆菌的生长特征及对相关防御酶活性的影响 [J]. *食品工业科技*, 2023, 44(15): 126-133.
- [34] 赵欣, 郝林. 解淀粉芽孢杆菌菌株 HRH317 对感染串珠镰孢菌玉米幼苗伏马毒素 B1 含量及相关防御酶活性的影响 [J]. *植物保护学报*, 2020, 47(2): 273-282.
- [35] 刘巍, 王华, 杨若兰, 等. 淡紫灰链霉菌 gCLA4 对猕猴桃溃疡病预防效果及抑菌活性成分分离鉴定 [J]. *西北农业学报*, 2023, 32(8): 1289-1296.
- [36] 李扬凡, 邵美琪, 刘畅, 等. 解淀粉芽孢杆菌 HMB33604 的抑菌物质及对马铃薯黑痣病的防治效果 [J]. *中国农业科学*, 2021, 54(12): 2559-2569.
- [37] 王若彤, 陈思杰, 鞠明岫, 等. 枸杞深色有隔内生真菌定殖规律及其与土壤因子的相关性 [J]. *西北农业学报*, 2023, 32(12): 1953-1963.
- [38] 孟素玲, 王媛, 顾欣, 等. 西瓜枯萎病菌和哈茨木霉的 GFP 标记及根部动态定殖比较 [J]. *西北农业学报*, 2024, 33(2): 355-363.

责任编辑 王新娟