

# 火龙果软腐病病原菌鉴定及链霉菌菌株 LWL1827 的防效测定

张鸿雁<sup>1,3</sup>, 陈盈莹<sup>1</sup>, 周雁微<sup>1</sup>, 林丽静<sup>1,2</sup>, 刘锴栋<sup>1\*</sup>

1. 岭南师范学院生命科学与技术学院, 广东湛江 524048; 2. 中国热带农业科学院农产品加工研究所/海南省果蔬贮藏与加工重点实验室, 广东湛江 524001; 3. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江大庆 163319

**摘要:** 火龙果兼具食用和药用价值, 是我国热带、亚热带地区的主要水果, 储藏中容易感病, 其中火龙果软腐病就是一种储藏期常见的主要病害。为明确火龙果软腐病病原菌种类和拮抗放线菌对病原菌的抑菌效果及防治作用, 本研究采用组织分离法, 选择典型软腐病发病果实进行病原菌的分离、纯化和鉴定, 并采用无伤和针刺法回接进行致病性测定。以 26 株链霉菌作为供试拮抗菌株, 采用琼脂块法、生长速率法研究其对病原菌菌丝生长的抑制作用, 并通过链霉菌 LWL1827 无菌发酵滤液喷涂于火龙果果实进行防病效果及抗性酶活性测定。结果表明, 经形态学和分子鉴定发现, 引起火龙果软腐病的病原菌 ZYW18 为串珠镰刀菌 (*Fusarium verticillioides*), 致病性测定表明菌株 ZYW18 为致病菌。链霉菌 LWL1827 可显著抑制病原菌生长, 抑菌圈直径为(18.32±2.13)mm, 透明, 1:5、1:10、1:50 (V/V) 不同浓度无菌发酵滤液的抑菌率分别为 91.23%±3.11%、87.21%±3.22%、80.22%±2.03%, 与其他拮抗菌之间差异显著 ( $P<0.05$ )。病情指数降低效果较明显的为浓度 1:10 (5 d), 病情指数为 11.00±1.03, 防治效果 (53.59%±4.21%) 较好。以浓度 1:10 的链霉菌 LWL1827 无菌发酵滤液处理火龙果不同时间后, 发现其能显著提高火龙果抗性酶多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD) 和苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性, 处理后 3 种酶活性甚至是对照的 2~3 倍, 且 LWL1827 滤液能降低储藏火龙果的病情指数, 提高防治效果。引起火龙果软腐病的病原菌为串珠镰刀菌 (*F. verticillioides*), 为我国首次报道。链霉菌 LWL1827 对病原菌 ZYW18 的抑菌效果显著, 可提高火龙果的抗病性, 对储藏火龙果具有良好的拮抗防病作用。

**关键词:** 火龙果; 串珠镰刀菌; 链霉菌; 拮抗作用

中图分类号: S436.67 文献标识码: A

## Identification of Pitaya Soft Rot and the Biocontrol Efficacy of *Streptomyces* sp. LWL1827

ZHANG Hongyan<sup>1,3</sup>, CHEN Yingying<sup>1</sup>, ZHOU Yanwei<sup>1</sup>, LIN Lijing<sup>1,2</sup>, LIU Kaidong<sup>1\*</sup>

1. Life Science and Technology School, Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong 524048, China; 2. Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Hainan Key Laboratory of Storage and Processing of Fruits and Vegetables, Zhanjiang, Guangdong 524001, China; 3. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China

**Abstract:** Pitaya has both edible and medicinal value, the major fruit in tropical and subtropical regions of China. But it is susceptible to diseases during storage. Pitaya soft rot disease is a common major disease in storage. To clarify the pathogen of pitaya soft rot, the antagonist activity and inhibition effect of antagonistic actinomycetes against pathogen, pitaya with soft rot characteristics were used to isolate pathogens by tissue separation, purification and identification. The pathogenicity of pathogen was determined by inoculated without injuries and fruit acupuncture inoculation. 26 *Streptomyces* spp. as the antagonist strains were tested. The inhibitory effects of cell-free filtrate on mycelial growth of

收稿日期 2022-07-05; 修回日期 2022-11-21

基金项目 海南省果蔬贮藏与加工重点实验室开放课题 (No. HNGS202104); 湛江市科技攻关计划项目 (No. 2020B01103); 岭南师范学院人才专项 (No. ZL2035)。

作者简介 张鸿雁 (1970—), 女, 博士, 教授, 研究方向: 植物病害生物防治。\*通信作者 (Corresponding author): 刘锴栋 (LIU Kaidong), E-mail: liukaidong2001@126.com。

the pathogen were studied by agar block method and growth rate methods. Control effect of LWL1827 cell-free filtrate spraying of different concentration and PPO, POD and PAL activity of concentration 1 : 10 were carried out. ZYW18 was the pathogenic fungus according to the pathogenicity test, which was identified as *Fusarium verticillioides* based on morphological characteristics and molecular identification. LWL1827 could significantly inhibit the mycelia growth of ZYW18, the radius of inhibition zone was (18.32±2.13)mm, and the colony extension was inhibited significantly, the inhibitory rates of sterile fermentation filtrates with different concentrations of 1 : 5、1 : 10、1 : 50 was 91.23%±3.11%, 87.21%±3.22%, 80.22%±2.03%, respectively. LWL1827 cell-free filtrate (1 : 10) significantly improved the activity of PPO, POD and PAL, even 2–3 times higher than that of the control. Meanwhile, LWL1827 could reduce disease index and improve its control effect. Conclusively, the pathogen that causes pitaya is identified as *F. verticillioides*. This is the first report of pitaya caused by *F. verticillioides*. The *Streptomyces* sp. LWL1827 has significant antagonistic effect, and the antagonistic strain LWL1827 has potential value in biological control against pitaya soft rot.

**Keywords:** pitaya; *Fusarium verticillioides*; *Streptomyces* spp.; antagonism

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.08.019

火龙果又称仙蜜果、红龙果、情人果, 属仙人掌科 (Cactaceae) 量天尺属 (*Hylocereus*) 或蛇鞭柱属 (*Seleniurus*), 原产于热带中美洲地区, 20 世纪 90 年代初引入我国台湾后被驯化试种, 后陆续在海南、广西、广东、福建等地推广种植。火龙果不仅有丰富的营养成分, 还具有抗肿瘤、抗氧化、调节激素及解毒等功效。随着火龙果种植面积的不断扩大, 销售储藏量的增加, 储藏病害种类也越来越多, 发病程度也越来越重。李敏等<sup>[1]</sup>发现胶孢炭疽菌 (*Colletotrichum gloeosporioides*)、MEETUM 等<sup>[2]</sup>发现亚洲炭疽菌 (*C. aenigma*) 和暹罗炭疽菌 (*C. siamense*)、LI 等<sup>[3]</sup>发现平头炭疽菌 (*C. truncatum*) 均可引起火龙果炭疽病。姚昇华等<sup>[4]</sup>发现仙人掌平脐蠕孢 (*Bipolaris cactivora*), 郑樊等<sup>[5]</sup>发现双间柱顶孢 (*Scytilidium dimidiatum*) 是火龙果果腐病的主要病原菌, GUO 等<sup>[6]</sup>发现桃吉尔霉 (*Gilbertella persicaria*) 亦可引起火龙果果腐病。王会会等<sup>[7]</sup>发现引起火龙果溃疡病的病原菌是新暗色柱节孢 (*Neoscytalidium dimidiatum*)。

火龙果软腐病是火龙果储藏时期的主要病害。发病部位变褐软腐, 甚至全部腐败, 造成巨大的经济损失<sup>[8]</sup>。崔志婧等<sup>[9]</sup>发现尖孢镰刀菌 (*F. oxysporum*) 是上海进口火龙果软腐病最主要的病原真菌。林珊宇等<sup>[10]</sup>发现木贼镰刀菌 (*F. equiseti*) 亦能引起火龙果软腐病。但未见串珠镰刀菌 (*F. verticillioides*) 引起火龙果软腐病的报道。对火龙果软腐病病原菌的分离鉴定可对火龙果储藏病害的防治提供理论依据。

针对火龙果果实病害防治, 目前有采用化学防治<sup>[11]</sup>、生物防治<sup>[12]</sup>和天然产物防治<sup>[13]</sup>等方法,

但仍以化学防治为主。因化学农药具有高效、快速、方便的特点, 人们在防治病害过程中高频使用化学农药, 从而使病原菌的抗药性增加, 防治效果减弱, 环境微生态失衡。另外, 化学农药在田间及水果表面不能完全降解而导致的农药残留和环境污染等问题也日益严重, 随着社会经济的发展 and 人们生活水平的提高, 人们对食品质量安全越来越重视, 化学农药的问题也越来越受到关注。人们期待一种绿色、安全、环保的防治方法。而生物防治就是一种有效、安全的病害防治途径, 也是未来病虫害防治的发展趋势。

水果储藏期病害的生防菌有多种, 包括细菌<sup>[14]</sup>、放线菌<sup>[15]</sup>、霉菌<sup>[16]</sup>和酵母菌<sup>[17]</sup>等, 但火龙果果实病害生物防治的研究较少。曾金兴等<sup>[18]</sup>利用解淀粉芽孢杆菌 10075 拮抗 2 株火龙果致腐菌, 防腐效果高于 30%。张振华等<sup>[19]</sup>从 11 个不同生境分离出 15 株具有拮抗活性的细菌, 其中有 2 株温室防效接近 50%。陈迪等<sup>[20]</sup>发现 7 株木霉菌对 3 种火龙果病原菌均有一定的抑制作用。而未见利用放线菌防治火龙果储藏期病害的相关报道。本研究从发生软腐病的火龙果病果中分离纯化病原菌, 利用形态学和分子生物学进行鉴定, 以链霉菌为生物拮抗菌, 研究其发酵滤液对火龙果软腐病的防治效果, 以期为防止火龙果储藏期软腐病病害发生, 提高储藏保鲜效果提供一定的理论基础和防控途经。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 供试火龙果 采自广东省湛江市麻章区金绿宝生态农场。选取新鲜健康、无机械损伤、大

小和成熟度一致的新鲜红宝石火龙果, 进行常规储存。储存期间挑选典型软腐病发病火龙果进行试验。

1.1.2 培养基 病原菌分离、纯化、活化和保存采用马铃薯蔗糖琼脂培养基 (PDA)。拮抗菌为本实验室保藏的拮抗放线菌, 皆为链霉菌属 (*Streptomyces* spp.), 标记为 LWL1827、LWL1828、LWL1829 等共 26 株。拮抗菌的活化、平板涂布和发酵液制备采用高氏一号培养基。

1.1.3 主要试剂和设备 dNTP 和 LA Taq™ 聚合酶[宝生物工程(北京)有限公司], ITS 和 EF1- $\alpha$  引物(上海派森诺生物科技股份有限公司), Axyprep DNA 凝胶回收试剂盒[爱思进生物技术(杭州)有限公司], Neofuge 13R 台式高速冷冻离心机(上海力申科学仪器有限公司)。

## 1.2 方法

1.2.1 病原菌的分离鉴定 (1)病原菌菌株的获得。采用组织分离法, 切取发病火龙果病健交界处 3 mm×3 mm 的组织块, 利用 75%酒精和 1%次氯酸钠溶液消毒, 无菌水清洗, 无菌滤纸吸干水分, 置于 PDA 培养基, 28 °C 黑暗培养 5~7 d。用竹签挑取边缘菌丝, 划线纯化, 经 3 次继代培养后, 接种于 PDA 斜面培养基, 4 °C 冰箱保存备用。

(2)病原菌致病性测定。采用无伤接种和针刺接种法。将健康火龙果清洗干净, 75%酒精表面消毒。针刺接种: 用灭菌竹签刺穿火龙果表面大约直径 5 mm、深度 5 mm 的伤口, 将 5 mm 病原菌琼脂块接种至伤口部位, 置于无菌袋中, 28 °C 培养。接种 PDA 琼脂块为对照, 重复 3 次。不刺伤为无伤接种。定期观察接种处是否有病害发生, 观察并记录病害发生时间及症状。对发病火龙果进行组织分离, 根据柯赫法则确定是否为致病菌。

(3)病原菌形态特征观察。于 PDA 培养基上观察病原菌菌落特征, 如菌落形态、颜色、生长速度、菌丝形态等。插片法显微镜观察病原菌的显微特征, 菌丝形态, 大、小分生孢子产生情况及形态, 厚垣孢子的有无和产生方式, 产孢细胞类型等。参照《真菌鉴定手册》<sup>[21]</sup>进行鉴定。

(4)病原菌的分子鉴定。病原真菌 rDNA-ITS 及 EF1- $\alpha$  序列测定及系统发育分析, 依照试剂盒说明书进行病原菌 DNA 提取, 分别用 ITS 引物 (ITS1: 5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3', ITS4: 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') 和 EF1- $\alpha$

引物 (EF1-728F: 5'-CATCGAGAAGTTCGAGA AGG-3', EF1-986R: 5'-TACTTGAAGGAACCCCT TACC-3') 进行 PCR 扩增, 产物回收。委托上海派森诺生物科技有限公司进行序列测定, 测序结果在 NCBI 的 GenBank 数据库进行 BLAST 同源序列比对, 选取同源性较高及形态相近的菌株序列, 经拼接后, 用 MEGA7.0 中的邻接法 (neighbor-joining, NJ) 构建系统发育进化树, 使用 bootstraps 进行自检, 1000 次重复以检验进化树置信度。通过亲缘关系分析确定病原菌的分类地位。

1.2.2 拮抗菌的拮抗防病作用 (1)平板抑菌试验。采用琼脂块法, 用灭菌竹签从斜面试管中取少量放线菌, 均匀涂布于高氏 1 号培养基上, 28 °C 培养 7 d。用直径 5 mm 的无菌打孔器打成菌饼, 转接至涂布病原菌的平皿上, 菌面朝下, 重复 3 次, 25 °C 培养 3~5 d, 观察, 采用十字交叉法测定抑菌圈直径及抑菌圈透明度。

无菌发酵滤液的制备。将供试放线菌接种到液体培养基中, 28 °C、150 r/min 振荡培养 9 d。发酵液 4000×g 离心 5 min 后, 用 0.22  $\mu$ m 灭菌微孔滤膜过滤除菌, 得无菌滤液。

抑菌率测定。采用生长速率法。将滤液配制成 1:1、1:5、1:10、1:50、1:100 (V/V) 不同浓度上清液与 PDA 培养基混合倒平板, 以不加无菌滤液的 PDA 培养基为对照。用 5 mm 无菌打孔器取病原菌菌饼, 置于 PDA 平板中央, 重复 3 次, 25 °C 培养 7 d, 采用十字交叉法测量菌落直径, 计算抑菌率。确定最佳拮抗菌及滤液浓度, 用于后续试验。抑制率=(对照菌落直径-处理菌落直径)/对照菌落直径×100%。

(2)火龙果接种试验。选取健康火龙果, 经 75%酒精和无菌水各擦拭 3 次。选取对峙试验拮抗效果较好的拮抗菌株制备不同浓度的无菌发酵滤液, 喷涂火龙果、晾干。将病原菌孢子悬浮液 (孢子浓度为  $1.0 \times 10^7$  个/mL) 喷涂火龙果, 以空白培养基和清水为对照, 3 次重复。处理火龙果室温 3~11 d, 每隔 2 d 观察, 计算病情指数 (disease index, DI) 和防效 (control efficacy, CE)。病情指数=(发病级别×该级别发病数)/(调查总个数×最高病级别)×100。防效=(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数×100%。

判定标准<sup>[22]</sup>: 无褐变为 0 级; 褐变面积小于 20% 为 1 级; 褐变面积在 20%~50% 之间为 2 级;

褐变面积在 50%~75%之间为 3 级;褐变面积大于 75%为 4 级;整果褐变为 5 级。

火龙果经无菌滤液处理后,参考曹健康等<sup>[23]</sup>的方法对果实中多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性进行测定。

### 1.3 数据处理

利用 Excel 2019 软件记录、统计数据并进行基础分析,采用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,采用 Duncan's 多重比较进行显著性分析( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

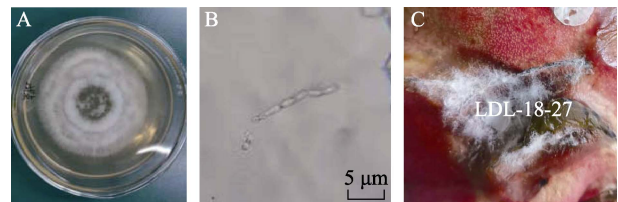
### 2.1 病原菌鉴定

从火龙果软腐病发病组织中分离获得病原菌,得到纯培养物标记为 ZYW18。

**2.1.1 病原菌的形态学分析** 将病原菌 ZYW18 接种于 PDA 培养基上培养观察菌落形态。发现培养至第 3 天,菌落直径达到 30 mm;第 5 天菌落直径达 50 mm;第 7 天菌落直径达 80 mm,菌落圆形,气生菌丝初期为白色,疏松,棉絮状,边缘具有卷毛状,逐渐变为浅黄色。菌落背面米黄色(图 1A)。大型分生孢子罕见,镰刀状,中等偏窄,两端稍尖,略微向内弯曲,多数单隔膜,大小  $1.5\sim 3.0\ \mu\text{m}\times 20.0\sim 30.0\ \mu\text{m}$ 。小型分生孢子呈链状排列,椭圆形或圆锥形,大小为  $5.0\sim 12.0\ \mu\text{m}\times 1.5\sim 2.5\ \mu\text{m}$ (图 1B)。

**2.1.2 致病性测定** 将病原菌 ZYW18 回接于健康火龙果上,经无伤和针刺接种进行致病性测定(图 1C)。发现 2 种接种方法均出现症状。病原

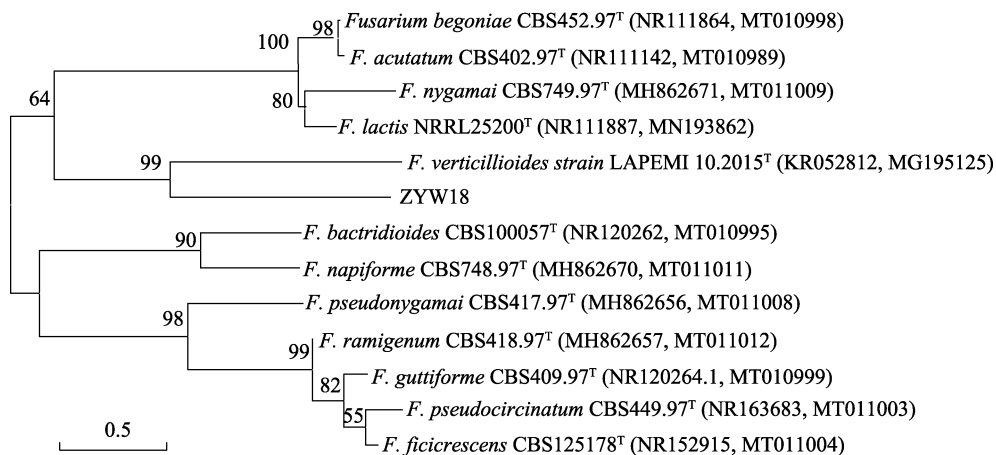
菌接种 5 d 后病斑直径达到 32.5 mm,果肉褐变,表层覆盖一层白色菌丝,后期菌丝范围逐渐扩大,果肉开始出现软烂,侵染部位组织软化褐变明显。症状与自然发病火龙果相符。从回接后的发病部位病健交界处取得组织块,分离得到病原菌与接种病原菌一致。证明接种的病原菌是引起火龙果软腐病的致病菌。



A: 病原菌菌落; B: 病原菌孢子(小型); C: 病果。  
A: Pathogenic fungi colony; B: Pathogenic spores (small); C: Infected fruit.

图 1 火龙果软腐病病原菌 ZYW18 形态特征和致病性  
Fig. 1 Morphological characteristic and pathogenicity of soft rot pathogen ZYW18

**2.1.3 病原菌的系统发育分析** 病原菌菌株 ZYW18 的 ITS 和 EF1- $\alpha$  PCR 产物测序后,分别获得长度为 540、590 bp 的扩增片段,产物纯化后测序,将 rDNA-ITS 和 EF1- $\alpha$  基因序列提交到 GenBank 数据库(登录号分别为 ON012775 和 ON087601),经数据比对分析后构建系统发育树(图 2)。ITS 序列聚类结果显示,ZYW18 与 *F. verticillioides* LAPEMI 10.2015 (ITS 和 EF1- $\alpha$  登录号分别为 KR052812 和 MG195125.1) 相似度达 99%~100%,遗传距离最小,聚为一类,支持率为 99%。结合形态特征和分子鉴定结果,表明引起火龙果软腐病的病原菌为串珠镰刀菌(*F. verticillioides*)。



括号内数值为相应菌株的 rDNA-ITS 和 EF1- $\alpha$  基因 GenBank 登录号。

Numbers in the parentheses are GenBank accession numbers of the rDNA-ITS 和 EF1- $\alpha$  genes of the corresponding strains.

图 2 病原菌 ZYW18 基于 rDNA-ITS 和 EF1- $\alpha$  基因序列系统发育树

Fig. 2 Phylogenetic tree of ZYW18 based on rDNA-ITS and EF1- $\alpha$  sequences

## 2.2 拮抗性链霉菌对病原菌的拮抗作用及防效

2.2.1 拮抗作用 在 PDA 平板涂布接种病原菌 ZYW18, 接种拮抗组织块, 筛选拮抗菌株 (图 3, 表 1)。由表 1 可知, 26 株拮抗性链霉菌中, 抑菌效果较明显的有 5 株。其中抑菌圈直径较大, 抑菌效果较明显的菌株为 LWL1827, 抑菌圈直径为  $(18.32 \pm 2.13)$  mm, 且抑菌圈透明, 抑制彻底, 与其他菌株相比差异显著; 其次为 LWL1828, 抑菌圈直径为  $(12.55 \pm 1.56)$  mm。LWL1829 和 LWL1818 抑菌不彻底, 抑菌圈不透明。

5 株菌不同浓度的无菌发酵滤液对病原菌 ZYW18 的抑菌作用见表 1。由表 1 可知, 抑菌率最高的为 LWL1827, 1 : 5、1 : 10、1 : 50 (V/V) 不同浓度无菌发酵滤液的抑菌率分别为  $91.23\% \pm 3.11\%$ 、 $87.21\% \pm 3.22\%$ 、和  $80.22\% \pm 2.03\%$ , 与其他菌相应浓度相比差异显著; 其次为 LWL1828,

其浓度为 1 : 10 的抑菌率最高, 为  $45.03\% \pm 1.98\%$ ; 其他 3 株菌抑菌效果相当, 抑菌率相对较小。抑菌效果最弱的是 LWL1829。

由图 3 和表 1 的拮抗试验可知, 对病原菌 ZYW18 的拮抗效果最佳的为链霉菌 LWL1827 (*Streptomyces* sp. LWL1827), 选取 1 : 5、1 : 10、1 : 50 (V/V) 不同浓度进行火龙果接种试验。

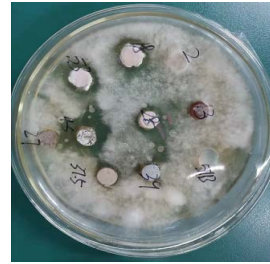


图 3 火龙果软腐病原菌 ZYW18 的拮抗作用  
Fig. 3 Antagonism of soft rot pathogen ZYW18

表 1 不同浓度拮抗菌滤液对病原菌 ZYW18 生长的抑制作用

Tab. 1 Inhibition effect of different concentrations of *Streptomyces* spp. on the growth of pathogen ZYW18

菌株 Strain	抑菌圈直径 Inhibition zone diameter/mm	抑菌圈透明度 Transparency of inhibition zone	抑菌率 Inhibitory rate/%				
			1 : 1	1 : 5	1 : 10	1 : 50	1 : 100
LWL1827	$18.32 \pm 2.13^a$	+++	$48.36 \pm 4.19^a$	$91.23 \pm 3.11^a$	$87.21 \pm 3.22^a$	$80.22 \pm 2.03^a$	$12.32 \pm 2.14^a$
LWL1828	$12.55 \pm 1.56^b$	+++	$36.28 \pm 1.03^b$	$35.36 \pm 2.69^b$	$45.03 \pm 1.98^b$	$16.33 \pm 1.22^b$	$3.69 \pm 1.01^b$
LWL1829	$6.58 \pm 1.65^c$	++	$20.15 \pm 3.03^c$	$22.57 \pm 2.69^c$	$13.25 \pm 4.30^c$	$10.65 \pm 1.97^c$	$2.32 \pm 0.11^b$
LWL1818	$9.38 \pm 2.00^c$	++	$10.36 \pm 1.00^d$	$29.68 \pm 5.00^b$	$19.22 \pm 1.63^c$	$10.32 \pm 1.35^c$	$3.25 \pm 1.08^b$
LWL1853	$7.36 \pm 0.56^c$	+++	$18.99 \pm 1.31^c$	$18.26 \pm 5.01^c$	$12.92 \pm 4.66^c$	$10.01 \pm 6.01^c$	$5.99 \pm 2.19^b$

注: 同列不同小写字母表示菌株间差异显著 ( $P < 0.05$ )。+++、++ 表示抑菌圈透明度强或弱。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between strains ( $P < 0.05$ ). +++, ++ indicate transparency of inhibition zone strong or weak.

2.2.2 防治效果 喷涂菌株 LWL1827 的发酵滤液后, 常温储藏 3、5、7、9、11 d。不同浓度和不同时间的火龙果病情指数 (DI) 和防治效果 (CE) 均有差异 (表 2)。不同储藏时间的培养基对照和清水对照的病情指数相当, 差异不显著。由表 2 可知, 储藏 3 d, 处理和对照火龙果均未发病; 储藏 5 d, 培养基对照和清水对照火龙果的病情指数分别为  $26.30 \pm 1.95$  和  $23.70 \pm 4.23$ , 显著高于 LWL1827 发酵滤液处理的病情指数, 浓度为 1 : 10 的防治效果较好, 为  $53.59\% \pm 4.21\%$ ; 储藏 7 d 和 9 d 的病情指数也显著低于培养基对照和清水对照; 储藏 11 d, 培养基对照和清水对照火龙果病情指数已分别高达  $85.11 \pm 5.36$  和  $82.55 \pm 6.43$ , 滤液处理的病情指数均低于 50.00%, 浓度为 1 : 50 的防治效果最高为  $51.54\% \pm 3.06\%$ , 其次是浓度为 1 : 10 的防治效果  $43.06\% \pm 2.88\%$ 。可见, 随着储

藏时间延长, 拮抗菌株发酵滤液处理的火龙果病情指数均显著降低。同时, 不同稀释度发酵滤液的防病效果亦有所下降, 其中浓度为 1 : 10 的防治效果下降幅度较小。

2.2.3 拮抗菌株对火龙果抗性酶活性的影响 火龙果经浓度为 1 : 10 的拮抗菌株 LWL1827 发酵液处理不同时间后, 火龙果果实的抗性酶活性变化见表 3。由表 3 可知, 3 种抗性酶 PPO、POD 和 PAL 活性均呈先逐渐上升, 后逐渐下降的趋势, 与对照相比差异显著。第 7 天 3 种酶活性均达峰值, PPO、POD 和 PAL 活性分别为  $(1.90 \pm 0.15)$ 、 $(3.88 \pm 0.55)$ 、 $(1.48 \pm 0.43)$  U/g。由表中还可看出, 菌株 LWL1827 发酵滤液处理后火龙果 3 种抗性酶活性均高于对照。对于 PPO, 储藏 9 d 和 11 d 的酶活性分别是对照的 2.31 倍、2.28 倍; 对于 POD, 储藏 7 d 的酶活性是对照的 2.34 倍; 对于

表 2 菌株 LWL1827 发酵滤液对火龙果软腐病的防治效果  
Tab. 2 Effects of the ferment filtrate of LWL1827 on control effect of pitaya

处理 Treatment	3 d		5 d		7 d		9 d		11 d	
	DI	CE/%	DI	CE/%	DI	CE/%	DI	CE/%	DI	CE/%
1 : 5	0	0	17.00±1.35 <sup>b</sup>	28.27±2.18 <sup>c</sup>	30.00±4.21 <sup>b</sup>	46.28±5.12 <sup>b</sup>	62.00±4.00 <sup>b</sup>	16.35±2.01 <sup>b</sup>	49.00±3.33 <sup>b</sup>	40.64±3.11 <sup>b</sup>
1 : 10	0	0	11.00±1.03 <sup>b</sup>	53.59±4.21 <sup>a</sup>	28.00±2.01 <sup>bc</sup>	49.86±4.32 <sup>a</sup>	48.00±3.65 <sup>c</sup>	35.24±2.30 <sup>a</sup>	47.00±3.54 <sup>b</sup>	43.06±2.88 <sup>b</sup>
1 : 50	0	0	15.00±1.15 <sup>b</sup>	36.71±3.51 <sup>b</sup>	32.00±2.53 <sup>b</sup>	42.69±3.85 <sup>b</sup>	66.00±4.27 <sup>b</sup>	10.96±1.14 <sup>c</sup>	40.00±2.81 <sup>bc</sup>	51.54±3.06 <sup>a</sup>
培养基 CK	0	0	26.30±1.95 <sup>a</sup>	0 <sup>d</sup>	59.65±5.32 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>	80.25±6.01 <sup>a</sup>	0 <sup>d</sup>	85.11±5.36 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>
清水 CK	0	0	23.70±4.23 <sup>a</sup>	0 <sup>d</sup>	55.84±6.10 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>	74.12±4.86 <sup>a</sup>	0 <sup>d</sup>	82.55±6.43 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments ( $P<0.05$ ).

表 3 LWL1827 发酵滤液对火龙果抗性酶活性的影响  
Tab. 3 Effects of the ferment filtrate of LWL1827 on defense enzyme activity of pitaya

时间 Time/d	PPO/(U·g <sup>-1</sup> )		POD/(U·g <sup>-1</sup> )		PAL/(U·g <sup>-1</sup> )	
	CK	LWL1827	CK	LWL1827	CK	LWL1827
0	0.47±0.11 <sup>a</sup>	0.48±0.11 <sup>a</sup>	1.71±0.25 <sup>a</sup>	1.72±0.19 <sup>a</sup>	0.68±0.14 <sup>a</sup>	0.68±0.14 <sup>a</sup>
3	0.68±0.13 <sup>b</sup>	1.02±0.15 <sup>a</sup>	1.61±0.20 <sup>a</sup>	1.88±0.15 <sup>a</sup>	0.48±0.11 <sup>a</sup>	0.89±0.22 <sup>a</sup>
5	0.88±0.36 <sup>b</sup>	1.40±0.09 <sup>a</sup>	1.52±0.22 <sup>b</sup>	2.47±0.33 <sup>a</sup>	0.55±0.14 <sup>b</sup>	1.21±0.52 <sup>a</sup>
7	0.92±0.10 <sup>b</sup>	1.90±0.15 <sup>a</sup>	1.66±0.31 <sup>b</sup>	3.88±0.55 <sup>a</sup>	0.61±0.11 <sup>b</sup>	1.48±0.43 <sup>a</sup>
9	0.54±0.10 <sup>b</sup>	1.25±0.21 <sup>a</sup>	1.90±0.26 <sup>b</sup>	2.19±0.26 <sup>a</sup>	0.47±0.10 <sup>b</sup>	1.31±0.25 <sup>a</sup>
11	0.46±0.09 <sup>b</sup>	1.05±0.10 <sup>a</sup>	0.92±0.11 <sup>a</sup>	1.10±0.23 <sup>a</sup>	0.40±0.15 <sup>b</sup>	1.12±0.33 <sup>a</sup>

注：同行不同小写字母表示同一时间同一指标差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference in the same indicator at the same time ( $P<0.05$ ).

PAL, 储藏 3、5、7、9、11 d 的酶活性分别为对照的 1.85 倍、2.20 倍、2.43 倍、2.79 倍、2.80 倍。可以看出, 滤液处理后抗性酶活性的下降变缓。

### 3 讨论

软腐病作为火龙果储藏期重要病害, 是火龙果采后腐烂的主要原因, 严重影响火龙果的储运品质, 缩短货架期, 造成较大经济损失。火龙果软腐病病原菌的鉴定, 以及该病害的生物防治对于火龙果储运和绿色保鲜具有重要意义。

镰刀菌 (*Fusarium* spp.) 是真菌中的一个庞大的家族, 普遍存在于土壤及动、植物有机体内, 世界各地均有分布, 是危害最严重的植物病原真菌<sup>[24]</sup>。一种镰刀菌往往可侵染不同种的植物, 同种植物某种病害也会由于植物产地和来源不同, 环境的差异, 由不同镰刀菌侵染, 或者不同优势种的镰刀菌复合侵染。本研究由火龙果软腐病患组织中获得病原菌为串珠镰刀菌 (*F. verticillioides*), 不同于文献中尖孢镰刀菌 (*F. oxysporum*)<sup>[9]</sup>和木贼镰刀菌 (*F. equiseti*)<sup>[10]</sup>, 其原因可能是产地和来源不同, 侵染的镰刀菌或优势种不同所致。

串珠镰刀菌是赤霉属的重要植物病原真菌, 可侵染农作物、果树、蔬菜、花卉等 100 多种植物, 引起根腐、茎腐、果腐等多种症状, 造成严重的经济损失<sup>[25]</sup>。串珠镰刀菌还可产生多种毒素, 污染食品、饲料, 危害人和动物健康和安全<sup>[26]</sup>。已有串珠镰刀菌侵染苹果<sup>[27]</sup>、西瓜<sup>[28]</sup>、香蕉<sup>[29]</sup>等的报道, 而未见侵染火龙果的相关报道。本研究通过形态学鉴定和分子鉴定, 将火龙果软腐病病原菌 ZYW18 确定为串珠镰刀菌 (*F. verticillioides*), 为首次报道。菌株 ZYW18 在 PDA 培养基常温培养 7 d, 菌落直径即可以达到 80 mm, 严重缩短火龙果的保鲜期。

在植物病害生防菌的研究和应用中, 放线菌因其资源丰富, 拮抗活性次级代谢产物种类繁多, 使其具有巨大的开发潜力。链霉菌属 (*Streptomyces* spp.) 为放线菌科中最大的一个属, 在土壤、植物根际、根内均有分布, 是天然活性物质的重要来源。链霉菌能够产生多种抗生素和酶类, 对病原菌具有拮抗作用<sup>[30-32]</sup>。另外, 链霉菌还可以提高植物体内抗性酶的活性, 降低丙二醛含量, 提升脯氨酸和可溶性蛋白质含量, 提高植物对外界环境的抗性<sup>[33]</sup>。张凯等<sup>[34]</sup>研究发

现栗褐链霉菌 (*S. badius*) 对芒果炭疽病原菌胶孢炭疽菌 (*C. gloeosporioides*) 具有较强的抑制作用, 对染病果实有良好的防效。傅雁辉等<sup>[35]</sup>发现链霉菌 JD121 能增强柑橘抗病性, 降低腐烂率, 提高保鲜效果。而尚无利用放线菌, 尤其是利用链霉菌对火龙果软腐病进行生物防治的相关报道。本研究筛选得到链霉菌 LWL1827, 经平板抑菌试验发现该菌株拮抗效果较好。将 LWL1827 发酵滤液经不同浓度稀释后处理火龙果, 发现浓度为 1:10 的发酵滤液能降低火龙果软腐病的病情指数, 提高防治效果。同时, 浓度为 1:10 的发酵滤液可以提高火龙果抗性酶活性, 从而提高其抗病能力。本研究表明菌株 LWL1827 及其发酵液产生的抑菌物质可以抑制病原菌的生长, 同时可以提高火龙果抗性酶活力, 使火龙果软腐病斑的发展得到控制, 提高了火龙果对病原菌的抵抗能力, 降低了病情指数, 提高了防效。因此, 可将浓度为 1:10 的 LWL1827 发酵滤液喷涂于火龙果果实表面, 作为火龙果储藏期间软腐病的防治措施。但因火龙果主要用于食用, 拮抗菌 LWL1827 及代谢产物的毒理学、生物安全性有待进一步研究。平板抑菌试验可以直观地反映病原菌与拮抗菌的相互作用, 表现拮抗菌抑菌能力的强弱, 作为初步筛选的依据, 但其忽视了拮抗菌-病原菌-植物三者的相互作用。通过火龙果接种试验可以更全面地体现三者互作, 更准确地检验拮抗菌的拮抗能力。本研究利用拮抗菌发酵液对病情指数、防效和抗性酶活性的影响, 体现了拮抗菌作用于病原菌和火龙果果实, 对二者均产生作用。但拮抗菌、病原菌与火龙果间的互作机理有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 李敏, 胡美姣, 高兆银, 薛丁榕, 杨冬平, 杨波, 张正科. 一种火龙果腐烂病原菌鉴定及生物学特性研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(11): 2044-2048.  
LI M, HU M J, GAO Z Y, XUE D R, YANG D P, YANG B, ZHANG Z K. Identification and biological characteristics of a pathogen causing fruit rot of *Hylocereus undatus* (Haw.) Britt. et. Rose[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(11): 2044-2048. (in Chinese)
- [2] MEETUM P, LEKSOMBOON C, KANJANAMANEES-ATHIAN M. First report of *Colletotrichum aenigma* and *C. siamense*, the causal agents of anthracnose disease of dragon fruit in Thailand[J]. Journal of Plant Pathology, 2015, 97(2): 402-402
- [3] LI W G, YI X W, HO H H, SU Y Y, YUE Q H. First report of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) anthracnose caused by *Colletotrichum truncatum* in China[J]. Journal of Phytopathology, 2013, 162(4): 272-275.
- [4] 姚昇华, 范诗睿, 邢云莱, 何嘉琳. 越南‘红心’火龙果黑腐病病原真菌鉴定及环境因素影响分析[J]. 植物生理学报, 2015, 51(9): 1419-1424.  
YAO S H, FAN S R, XING Y L, HE J L. Pathogen identification and environmental effects analysis of black rot disease of imported Vietnamese ‘Red’ pitaya[J]. Plant Physiology Journal, 2015, 51(9): 1419-1424. (in Chinese)
- [5] 郑樊, 徐刚, 仇芳, 郑妃庆, 郑丽, 谢昌平. 海南省火龙果软腐病病原菌的鉴定及生物学特性[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 137-142.  
ZHENG F, XU G, QIU F, ZHENG F Q, ZHENG L, XIE C P. Identification and biological characteristics of the pathogenic fungus causing the soft rot of *Hylocereus costaricensis* in Hainan, China[J]. Plant Protection, 2019, 45(4): 137-142. (in Chinese)
- [6] GUO L W, WU Y X, HE H X, MAO Z C, HE P B, HE Y Q. Storage rot of dragon fruit caused by *Gilbertella persicaria*[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(1): 111-114, 167.
- [7] 王会会, 符碧海, 戴俊, 徐倩, 王萌, 陶挺燕, 谢昌平, 朱朝华. 火龙果溃疡病菌的鉴定及室内药剂筛选[J]. 中国南方果树, 2016, 45(1): 8-12, 17.  
WANG H H, FU B H, DAI J, XU Q, WANG M, TAO T Y, XIE C P, ZHU C H. Identification of dragon fruit canker pathogen and indoor screening of fungicides[J]. South China Fruits, 2016, 45(1): 8-12, 17. (in Chinese)
- [8] 朱迎迎, 陈亮, 祝庆刚, 张正科, 李敏, 高兆银, 胡美姣. 火龙果采后病害与防控技术研究进展[J]. 中国热带农业, 2014(4): 55-58.  
ZHU Y Y, CHEN L, ZHU Q G, ZHANG Z K, LI M, GAO Z Y, HU M J. Progress in post-harvest disease and preservative technology of pitaya[J]. China Tropical Agriculture, 2014(4): 55-58. (in Chinese)
- [9] 崔志婧, 王奕文, 于岳, 许玲. 上海市进口火龙果软腐病病害分析[J]. 微生物学通报, 2011, 38(10): 1499-1506.  
CUI Z J, WANG Y W, YU Y, XU L. Pathogens analysis of soft rot disease of imported pitaya in Shanghai[J]. Microbiology China, 2011, 38(10): 1499-1506. (in Chinese)
- [10] 林珊宇, 贤小勇, 韦小妹, 韦继光, 朱桂宁. 广西火龙果采后病害主要病原菌分离与鉴定[J]. 中国南方果树, 2018, 47(2): 6-12.  
LIN S Y, XIAN X Y, WEI X M, WEI J G, ZHU G N. Isolation and identification of main pathogens of postharvest dis-

- ease of pitaya fruit in Guangxi[J]. South China Fruits, 2018, 47(2): 6-12. (in Chinese)
- [11] BORDOH P K, ALI A, DICKINSON M, SIDDIQUI Y, ROMANAZZI G. A review on the management of postharvest anthracnose in dragon fruits caused by *Colletotrichum* spp.[J]. Crop Protection, 2020, 130(4): 1-7.
- [12] MAMAT S, MD SHAH U, REML I N. Characterization of antifungal activity of endophytic *Penicillium oxalicum* T3.3 for anthracnose biocontrol in dragon fruit (*Hylocereus* sp)[J]. International Journal of Environmental Research, 2018, 4(1):65-76.
- [13] 黄婵婵, 何业懿, 陈慧敏, 汪跃华, 吴富旺. 七种植物精油对火龙果采后保鲜效果的初步研究[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(3): 7-11, 17.  
HUANG C C, HE Y Y, CHEN H M, WANG Y H, WU F W. Preliminary study on the postharvest preservation effect of seven plant essential oils on pitaya[J]. Storage and Process, 2020, 20(3): 7-11, 17. (in Chinese)
- [14] KANG S M, RADHAKRISHNAN R, LEE I J. *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* GR53, a potent biocontrol agent resists *Rhizoctonia* disease on Chinese cabbage through hormonal and antioxidants regulation[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2015, 31(10): 1517-1527.
- [15] 张鸿雁, 林国莉, 李如莲, 纪晓琦. 番茄果腐病拮抗菌的筛选及对番茄的防腐保鲜作用[J]. 生物技术通报, 2022, 38(3):69-78.  
ZHANG H Y, LIN G L, LI R L, JI X Q. Antagonistic actinomycetes of tomato fruit rot and preservation quality of tomato[J]. Biotechnology Bulletin, 2022, 38(3): 69-78. (in Chinese)
- [16] HU Z B, TAO Y W, TAO X Y, SU Q H, CAI J C, QIN C, DING W J, LI C Y. Sesquiterpenes with phytopathogenic fungi inhibitory activities from fungus *Trichoderma virens* from *Litchi chinensis* Sonn[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2019, 67(38): 10646-10652.
- [17] ZOU X R, WEI Y Y, DAI K, XU F, WANG H F, SHAO X F. Yeasts from intertidal zone marine sediment demonstrate antagonistic activities against *Botrytis cinerea* *in vitro* and in strawberry fruit[J]. Biological Control, 2021, 158: 1-9.
- [18] 曾金兴, 黎忠杰, 佟硕秋, 陶怡, 吴拥军. 火龙果致腐菌的分离鉴定及生物拮抗防腐措施[J]. 微生物学通报, 2021, 48(6): 2008-2020.  
ZENG J X, LI Z J, TONG S Q, TAO Y, WU Y J. Isolation and identification of pitaya spoilage fungi and the measures of biological antagonistic anticorrosion[J]. Microbiology China, 2021, 48(6): 2008-2020. (in Chinese)
- [19] 张振华, 林江, 王文雅, 许畅, 杨开祥, 何世伟. 火龙果溃瘍病原菌拮抗菌株的筛选与生物防治效果初探[J]. 河南农业科学, 2019, 48(8): 88-94.  
ZHANG Z H, LIN J, WANG W Y, XU C, YANG K Y, HE S W. Screening of antagonistic strains of pitaya ulcer pathogen and primary study on biocontrol effects[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(8): 88-94 (in Chinese)
- [20] 陈迪, 侯巨梅, 邢梦玉, 彦哲, 刘铜. 7 株木霉菌对火龙果 3 种病原菌的拮抗作用[J]. 热带作物学报, 2020, 41(12): 2501-2506.  
CHEN D, HOU J M, XING M Y, YAN Z, LIU T. Antagonistic effects of seven *Trichoderma* strains on three pathogens of pitaya[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(12): 2501-2506. (in Chinese)
- [21] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.  
WEI J C. Manual of fungal identification[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1979. (in Chinese)
- [22] 顾沛雯, 张光弟, 王华荣, 丁波. 果蔬采后致腐病菌检测及防治[J]. 农业科学研究, 2012, 33(1): 1-6  
GU P W, ZHANG G D, WANG H R, DING B. Determination and control of the main pathogens of post-harvest fruit and vegetables rot disease in Ningxia[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2012, 33(1): 1-6 (in Chinese)
- [23] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.  
CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007. (in Chinese)
- [24] 贺运春. 真菌学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.  
HE Y C. Mycology[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008. (in Chinese)
- [25] DE MENEZES H D, TONANI L, BACHMANN L, WAINWRIGHT M, LEITE B G U, VON ZESKA K M R. Photodynamic treatment with phenothiazinium photosensitizers kills both ungerminated and germinated microconidia of the pathogenic fungi *Fusarium oxysporum*, *Fusarium moniliforme* and *Fusarium solani*[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2016, 164(11): 1-12.
- [26] WANG X, WU Q H, WAN D, LIU Q, CHEN D, LIU Z L, MARTÍNEZ-LARRAÑAGA M R, MARTÍNEZ M A, ANADÓN A, YUAN Z H. Fumonisin: oxidative stress-mediated toxicity and metabolism *in vivo* and *in vitro*[J]. Archives of Toxicology, 2016, 90(1): 81-101.
- [27] 刘丽英, 刘珂欣, 朱浩, 迟晓丽, 许超, 张潇, 刘维维, 金晓, 孙中涛, 毛志泉. 有机物料厌氧发酵液中拮抗苹果再植障碍病原真菌的细菌筛选及其防治效果[J]. 应用生态

- 学报, 2018, 29(10): 3407-3415.
- LIU L Y, LIU K X, ZHU H, CHI X L, XU C, ZHANG X, LIU W W, JIN X, SUN Z T, MAO Z Q. Screening of bacteria that antagonize the main pathogen fungi of apple replantation disorders from anaerobic fermented fluid of organic material and its inhibitory effect[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(10): 3407-3415. (in Chinese)
- [28] 杜若琛, 王金胜. 西瓜枯萎病菌分离、鉴定及室内毒力测定[J]. 广东农业科学, 2013, 40(5): 71-72.
- DU R C, WANG J S. Isolation, identification and laboratory toxicity determination of *Fusarium oxysporum* from watermelon root rot[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(5): 71-72. (in Chinese)
- [29] ALVINDIA D G. An integrated approach with hot water treatment and salt in the control of crown rot disease and preservation of quality in banana[J]. International Journal of Pest Management, 2013, 59(4): 271-278.
- [30] 朱志炎, 田志宏, 李建雄. 链霉菌的功能及其在农业上的应用[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(5): 580-590.
- ZHU Z Y, TIAN Z H, LI J X. Functions and applications of *Streptomyces* in agriculture[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2019, 27(5): 580-590. (in Chinese)
- [31] 陶宗, 王海华, 申权, 彭喜旭, 周定港, 邹姝欣, 邹琰. 链霉菌和芽孢杆菌的生防机理及抗菌活性产物[J]. 农业与技术, 2019, 39(14): 1-5.
- TAO Z, WANG H H, SHEN Q, PENG X X, ZHOU D G, WU S X, ZOU Y. Biocontrol mechanisms and antagonistic secondary metabolites of *Streptomyces* and *Bacillus*[J]. Agriculture and Technology, 2019, 39(14): 1-5. (in Chinese)
- [32] 葛优优, 刘晓瑜, 窦桂铭, 马玉超. 内生链霉菌 SSD49 的抑菌活性和防病促生效果[J]. 生物技术通报, 2017, 33(6): 121-127.
- GE Y Y, LIU X Y, DOU G M, MA Y C. Antimicrobial activities and efficacy of endophytic *Streptomyces* sp. SSD49 in plant disease control and plant-growth-promoting[J]. Biotechnology Bulletin, 2017, 33(6): 121-127. (in Chinese)
- [33] 胡小京, 敖飞雄, 石乐娟, 彭强, 李欣, 周小会, 陈孝玉龙. 两株链霉菌对非洲菊生长和生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(9): 3321-3326.
- HU X J, AO F X, SHI L J, PENG Q, LI X, ZHOU X H, CHEN X Y L. Effects of two *Streptomyces* strains on growth and physiological properties of *Gerbera jamesonii*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(9): 3321-3326. (in Chinese)
- [34] 张凯, 吴曼莉, 辜柳霜, 郑钧月, 柳志强, 李晓宇. 胶孢炭疽菌生防放线菌 gz-8 的鉴定及生物活性初步评价[J]. 农药学报, 2017, 19(6): 708-715.
- ZHANG K, WU M L, GU L S, ZHENG J Y, LIU Z Q, LI X Y. Identification and preliminary evaluation of a biocontrol actinomycete strain gz-8 against *Colletotrichum gloeosporioides*[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2017, 19(6): 708-715. (in Chinese)
- [35] 傅雁辉, 赵泽文, 徐佳明, 李赛英, 刘冲, 魏赛金. 链霉菌 JD211 所产活性物质对采后柑橘贮藏保鲜的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(10): 2412-2418.
- FU Y H, ZHAO Z W, XU J M, LI S Y, LIU C, WEI S J. Effect of active substances produced by *Streptomyces* JD211 on postharvest citrus storage and preservation[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(10): 2412-2418. (in Chinese)