

研究报告

贝莱斯芽孢杆菌 BG-2 对厚皮甜瓜贮藏品质及防御酶活性的影响

佐长庚^{1,2,3}, 王静怡^{1,2}, 牛新湘⁴, 管力慧^{1,2}, 刘萍^{1,2}, 杨红梅^{2,3}, 楚敏^{2,3}, 王宁^{2,3}, 林青^{2,3}, 史应武^{*1,2,3,5}

- 1 新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830052
- 2 新疆农业科学院微生物应用研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091
- 3 新疆特殊环境微生物实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091
- 4 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091
- 5 农业农村部西北绿洲农业环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091

佐长庚, 王静怡, 牛新湘, 管力慧, 刘萍, 杨红梅, 楚敏, 王宁, 林青, 史应武. 贝莱斯芽孢杆菌 BG-2 对厚皮甜瓜贮藏品质及防御酶活性的影响[J]. 微生物学通报, 2022, 49(10): 4171-4185

Zuo Changgeng, Wang Jingyi, Niu Xinxiang, Guan Lihui, Liu Ping, Yang Hongmei, Chu Min, Wang Ning, Lin Qing, Shi Yingwu. Effects of *Bacillus velezensis* BG-2 on storage quality and defense enzyme activity of muskmelon[J]. Microbiology China, 2022, 49(10): 4171-4185

摘要:【背景】厚皮甜瓜白霉病主要由尖孢镰刀菌引起,严重影响厚皮甜瓜品质,从而造成经济损失。【目的】研究贝莱斯芽孢杆菌 BG-2 对尖孢镰刀菌的抑制作用,以及对采后厚皮甜瓜贮藏品质的影响。【方法】以贝莱斯芽孢杆菌为供试菌株,研究其对 2 种不同贮藏温度(25 °C 和 4 °C)下厚皮甜瓜果实腐烂率、失重率、果肉硬度、可滴定酸、可溶性固形物含量和维生素 C 含量的影响,同时测定过氧化氢酶(catalase, CAT)、过氧化物酶(peroxidase, POD)和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)防御酶活性,进而探究 *Bacillus velezensis* BG-2 对尖孢镰刀菌的抑制作用及对厚皮甜瓜贮藏品质的影响。【结果】贝莱斯芽孢杆菌 BG-2 菌悬液能有效抑制尖孢镰刀菌的生长,菌悬液浓度为 1×10^7 CFU/mL 时抑菌圈直径为 (20.45 ± 0.39) mm,抑菌效价为 144.48 mm/mL;同时, *B. velezensis* BG-2 能有效减缓果肉硬度、维生素 C 含量、可溶性固形物含量和可滴定酸的下降,抑制果实失重和腐烂,能较好地保持果实的品质,抑制防御酶活性的下降。

基金项目: 国家自然科学基金(31860024, 41471220); 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2018D01A44); 国家重点研发计划(2017YFD0200600)

Supported by: National Natural Science Foundation of China (31860024, 41471220); Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2018D01A44); National Key Research and Development Program of China (2017YFD0200600)

*Corresponding author: E-mail: syw1973@126.com

Received: 2022-02-09; Accepted: 2022-03-22; Published online: 2022-04-12

【结论】*B. velezensis* BG-2 能显著抑制尖孢镰刀菌的生长, 延缓厚皮甜瓜的后熟, 维持采后甜瓜果实较高的品质和防御酶活性, 对甜瓜腐烂有较好的防治效果。

关键词: 贝莱斯芽孢杆菌; 尖孢镰刀菌; 厚皮甜瓜; 贮藏品质; 防御酶

Effects of *Bacillus velezensis* BG-2 on storage quality and defense enzyme activity of muskmelon

ZUO Changgeng^{1,2,3}, WANG Jingyi^{1,2}, NIU Xinxiang⁴, GUAN Lihui^{1,2}, LIU Ping^{1,2}, YANG Hongmei^{2,3}, CHU Min^{2,3}, WANG Ning^{2,3}, LIN Qing^{2,3}, SHI Yingwu^{*1,2,3,5}

1 College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830052, Xinjiang, China

2 Institute of Microbiology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang, China

3 Xinjiang Laboratory of Special Environmental Microbiology, Urumqi 830091, Xinjiang, China

4 Institute of Soil, Fertilizer and Agricultural Water Conservation, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang, China

5 Key Laboratory of Agricultural Environment in Northwest Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi 830091, Xinjiang, China

Abstract: [Background] The white mould disease caused by *Fusarium oxysporum* seriously affects the quality of muskmelon and causes economic losses. [Objective] To study the effect of *Bacillus velezensis* BG-2 on *F. oxysporum* and the storage quality of postharvest muskmelon. [Methods] The effects of storage temperatures (25 °C and 4 °C) on fruit decay rate, weight loss rate, flesh firmness, titratable acid content, soluble solid content, and vitamin C content of muskmelon were studied with *B. velezensis* BG-2. At the same time, the activities of catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), and peroxidase (POD) were determined. Furthermore, the effects of *B. velezensis* BG-2 on *F. oxysporum* and the storage quality of postharvest muskmelon were explored. [Results] *B. velezensis* BG-2 suspension inhibited the growth of *F. oxysporum*. At the concentration of 1×10^7 CFU/mL, *B. velezensis* BG-2 presented the inhibition zone diameter of (20.45±0.39) mm and the inhibition titer of 144.48 mm/mL. Meanwhile, *B. velezensis* BG-2 slowed down the declines in flesh hardness, vitamin C content, soluble solid content, and titratable acid content, and inhibited fruit weight loss and decay, which can maintain fruit quality and inhibit the weakening of defense enzyme activities. [Conclusion] *B. velezensis* BG-2 can significantly inhibit the growth of *F. oxysporum*, delay the post ripening of muskmelon, and maintain the fruit quality and defense enzyme activity of postharvest muskmelon, demonstrating good control effect on muskmelon rot.

Keywords: *Bacillus velezensis*; *Fusarium oxysporum*; muskmelon; storage quality; defense enzyme

新疆地处我国西北部, 昼夜温差大, 光照充足, 是我国最大的厚皮甜瓜生产基地^[1-2]。新疆厚皮甜瓜含水量高、含糖量大, 是西北地区特色水果之一^[3]。然而, 由于新疆厚皮甜瓜采收期

较短且处于高温季节, 采收和贮运过程中容易感染多种病原真菌, 造成果实腐烂变质^[4-5]。其中由尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)引起的采后白霉病是导致新疆厚皮甜瓜腐烂的主要原

因之一^[6]。目前控制采后病害的方式主要是使用化学杀菌剂。化学杀菌剂长期大量使用会导致病原菌产生耐药性,而且药物残留对人类健康和环境安全有潜在危害^[7]。因此,寻找新的保鲜技术,延长厚皮甜瓜贮藏保鲜时间,对厚皮甜瓜产业发展具有重要意义。

近年来,生物防治已逐步取代化学杀菌剂的使用,成为控制果蔬采后病害的主要方式,其中拮抗微生物在生物防治中的应用成为了研究热点^[8-9]。目前能够抑制果蔬采后病害的拮抗微生物有芽孢杆菌属、假单胞菌属和酵母菌属等^[10-13]。孙正祥等^[14]筛选的枯草芽孢杆菌对西瓜枯萎病具有良好的抑菌活性。凌丽晨^[15]研究发现,贝莱斯芽孢杆菌 S3-1 能在樱桃番茄伤口处定殖,帮助果实抵御真菌侵害、激发植物抗性。路兆军等^[16]研究发现假单胞菌 PL-21 对 6 种苹果病原菌具有广谱抗菌性。王笑笑等^[17]研究发现膜醭毕赤酵母菌 KD-16J 能显著抑制番茄果实的自然发病率,对采后番茄灰霉病有较好的抑制效果。

本研究以厚皮甜瓜‘西州蜜 25 号’为试验材料,以分离自新疆厚皮甜瓜土壤的贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*) BG-2 为研究对象,研究贝莱斯芽孢杆菌 BG-2 对尖孢镰刀菌 CH-3 的抑制作用及对厚皮甜瓜贮藏品质的影响,以期评价贝莱斯芽孢杆菌 BG-2 对厚皮甜瓜采后白霉病的防治效果,为探索贝莱斯芽孢杆菌保鲜机制及厚皮甜瓜生物保鲜技术提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 样品

供试厚皮甜瓜品种为‘西州蜜 25 号’,购买于新疆北园春市场,选取大小、重量、成熟度一致、无机械损伤和无病虫害的厚皮甜瓜进行实验。贝莱斯芽孢杆菌(*B. velezensis*) BG-2 分离

自新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市厚皮甜瓜根际土壤并保存;尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*) CH-3 由实验室从厚皮甜瓜发病果实中分离并进行形态特征及 ITS 分析鉴定^[18]。

1.2 培养基、主要试剂和仪器

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)、马铃薯葡萄糖水培养基(PDB)和营养肉汤培养基(NB),青岛海博生物科技有限公司。

PDA (g/L): 马铃薯浸粉 6.0, 葡萄糖 20.0, 琼脂 20.0, pH 5.6。PDB (g/L): 马铃薯浸粉 6.0, 葡萄糖 20.0。NB (g/L): 蛋白胨 10.0, 牛肉浸出粉 3.0, 氯化钠 5.0, pH 7.2。

氢氧化钠,天津市恒兴化学试剂制造有限公司;酚酞指示剂,天津市致远化学试剂有限公司;磷酸氢二钠、磷酸二氢钠,天津市福晨化学试剂有限公司;乙酸,天津市大茂化学试剂厂;

手持折光仪,成都豪创光电仪器有限公司;高压蒸汽灭菌锅,北京市永光明医疗仪器厂;果实硬度计,浙江托普云农科技股份有限公司;恒温培养振荡器,上海智城分析仪器制造有限公司;高速冷冻离心机,赛默飞世尔科技公司;紫外分光光度计,岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 *B. velezensis* BG-2 菌悬液和 *F. oxysporum* CH-3 孢子悬浮液的制备

挑取 *B. velezensis* BG-2 单菌落接种于 100 mL NB 培养基中,32 °C、180 r/min 振荡培养 12 h 作为种子液。吸取 2 mL 种子液接入 200 mL NB 培养基中,32 °C、180 r/min 振荡培养 2 d,4 °C、8 000 r/min 离心 5 min,去除上清液。菌体用 0.85% 等体积生理盐水重悬,用血球计数板调整菌悬液浓度分别为 1×10^5 、 1×10^6 、 1×10^7 和 1×10^8 CFU/mL,备用。将 4 °C 保存的 *F. oxysporum* CH-3 用竹签挑取一小块倒贴接种到 PDA 固体平板培养基上,28 °C 恒温培养 5 d 后,

用无菌打孔器制备直径 6 mm 的菌饼, 接种至 200 mL PDB 培养基中, 每瓶 15 个小菌饼, 25 °C、160 r/min 摇床振荡培养 7 d; 然后用四层无菌纱布过滤, 收集滤液, 即为 *F. oxysporum* CH-3 孢子悬浮液, 调整浓度为 1×10^5 CFU/mL 备用。

1.3.2 不同浓度 *B. velezensis* BG-2 菌悬液对 *F. oxysporum* CH-3 的抑菌作用

取 100 μ L *F. oxysporum* CH-3 孢子悬浮液 (10^5 CFU/mL) 均匀涂布于 PDA 培养基上, 用直径 6 mm 打孔器等距打取 4 个孔, 分别加入 100 μ L 不同浓度的 *B. velezensis* BG-2 菌悬液。每个处理重复 3 次, 28 °C 恒温培养 3 d, 用十字交叉法测量抑菌圈直径, 计算抑菌效价^[19]。

抑菌效价(mm/mL) = $(X - Y) / V \times 1\ 000$

式中: X 为抑菌圈直径(mm); Y 为打孔器直径(mm); V 为菌悬液体积(μ L)。

1.3.3 厚皮甜瓜果实损伤接种

厚皮甜瓜表面用自然水冲洗干净, 用 75% 乙醇对表面进行消毒并晾干, 选取果实 16 cm² 的面积, 用针刺 2 mm 深的伤口 30 个, 每个果实选取 4 个点。实验共设置 4 个组, 每组 4 个果实, 设置 2 种贮藏温度(25 °C、4 °C), 5 个取样时间, 共计 160 个果实。对照组(CK): 无菌水浸泡厚皮甜瓜 2 min; BG-2 处理组: 用 *B. velezensis* BG-2 菌悬液(1×10^7 CFU/mL)浸泡厚皮甜瓜 2 min; BG-2+CH-3 处理组: 用无菌棉沾取 *F. oxysporum* CH-3 孢子悬浮液(1×10^5 CFU/mL)涂抹于伤口部位, 静置 30 min 后浸泡于 *B. velezensis* BG-2 菌悬液中 2 min; CH-3 处理组: 用无菌棉沾取 *F. oxysporum* CH-3 孢子悬浮液(1×10^5 CFU/mL)涂抹于伤口部位。将处理后的厚皮甜瓜用厚度 0.01 mm 保鲜袋密封包装, 分别于 25 °C 和 4 °C 保湿贮藏。25 °C 每 5 天取一次样, 4 °C 每 10 天取一次样, 每次取损伤部位果肉 15 g 进行测定。

1.3.4 果实腐烂率和失重率测定

腐烂率采用直观计数法测定, 果实损伤处有发霉、出现腐烂和流汁为烂果^[20]; 失重率采用重量法测定。

1.3.5 果实内在品质指标测定

果肉硬度采用果实硬度计测量, 探头直径 11.1 mm。

可溶性固形物含量(total soluble solid, TSS)采用手持折光仪测定。

维生素 C 含量采用钼蓝比色法测定^[21], 称取 1 g 甜瓜果肉, 加入 10 mL 乙酸提取液(2 mol/L)冰浴匀浆。在 4 °C、8 000 r/min 条件下离心 20 min。吸取 300 μ L 上清液加入 90 μ L 乙二胺四乙酸二钠溶液(0.25 mol/L), 150 μ L 乙酸溶液(0.5 mol/L), 360 μ L 固蓝盐 B 溶液(2 g/L), 加水稀释至 3 mL, 混匀。室温下放置 20 min 后, 于波长 420 nm 处测量吸光度。

可滴定酸(titratable acid, TA)采用酸碱滴定法测定^[22], 称取 5 g 甜瓜果肉置于研钵中磨碎, 用蒸馏水冲洗研钵并转移至 50 mL 容量瓶中, 定容至刻度。摇匀后静置 30 min, 取上清液 20 mL 转入三角瓶中, 并滴加 100 μ L 酚酞指示剂, 用已标定的 0.1 mol/L 氢氧化钠滴定, 滴定至溶液变为粉红色且以 30 s 内不褪色为终点, 以蒸馏水作为空白对照, 记录氢氧化钠反应用量。

1.3.6 甜瓜果实保护酶活性测定

过氧化物酶(peroxidase, POD)活性测定参照王伟玲等^[23]方法并稍加修改, 步骤如下: 称取 1 g 甜瓜果肉放入研钵中, 加入提取液 10 mL (0.05 mol/L pH 5.5 的磷酸缓冲液)冰浴匀浆, 4 °C、8 000 r/min 离心 10 min, 上清液即为酶的粗提液。将反应混合液(磷酸缓冲液 1.2 mL、酶液 600 μ L、0.05 mol/L 愈创木酚 600 μ L)和 600 μ L 2% H₂O₂ 迅速混匀加入比色皿中, 于 470 nm 波长下测定 1 min 和 2 min 时的吸光度值, 以蒸馏

水为对照。

过氧化氢酶(catalase, CAT)活性测定参照彭建等^[24]方法并稍加修改, 步骤如下: 称取 1 g 甜瓜果肉放入研钵中, 加入提取液 10 mL (0.2 mol/L pH 7.8 的磷酸缓冲液)冰浴匀浆, 将匀浆转入离心管中, 4 °C、8 000 r/min 离心 10 min, 上清液即为酶的粗提液。将 0.3 mL 已标定过氧化氢溶液(5 mL 0.05 mol/L H₂O₂, 5 mL 16%硫酸, 1 mL 20%碘化钾, 3 滴 50 mmol/L 钼酸铵, 用 0.1 mol/L 硫代硫酸钠标准溶液滴定至浅黄色, 加入可溶性淀粉至蓝色褪去为终点)和 0.05 mL 酶液反应 2 min, 再加 1 mL 饱和氯化钠和 2.65 mL 钼酸铵, 混匀后测定 405 nm 处的吸光度值。

超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性测定参照赵建等^[25]方法并稍加修改, 步骤如下: 称取 1 g 甜瓜果肉放入研钵中, 加入提取液 10 mL (1/15 mol/L pH 7.8 的磷酸缓冲液)冰浴匀浆, 将匀浆转入离心管中, 4 °C、8 000 r/min 离心 10 min, 上清液即为酶的粗提液。将 60 μL 酶液、60 μL 10 mmol/L 盐酸羟胺、120 μL 7.5 mmol/L 黄嘌呤酶液、120 μL 0.2 mg/mL 黄嘌呤氧化酶和 240 μL 双蒸水混匀, 37 °C 恒温水浴 30 min 后, 加入 1.2 mL 0.33%对氨基苯磺和 1.2 mL 0.1%甲萘胺, 混匀后静置 30 min, 测定 560 nm 处的吸光度值。

1.4 数据处理与分析

结果以平均值±标准差表示, 用 excel 2016 软件处理数据, 用 origin 2021 绘图, 用 SPSS 26 软件进行方差分析, 用 Duncan's 多重比较法进行显著性检验, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 *B. velezensis* BG-2 菌悬液对 *F. oxysporum* CH-3 的抑菌结果

不同浓度的 *B. velezensis* BG-2 菌悬液对 *F.*

oxysporum CH-3 均有抑制作用(表 1, 图 1)。随着浓度的增加, 抑菌圈直径先增大后减小, 菌悬液浓度为 1×10^7 CFU/mL 时抑菌圈直径达到最大, 为(20.45±0.39) mm, 抑菌效价为 144.48 mm/mL, 此浓度与其他浓度相比, 抑菌圈直径有显著差异。因此, 1×10^7 CFU/mL 为最佳抑菌浓度。

表 1 不同浓度 *B. velezensis* BG-2 菌悬液对 CH-3 的抑菌作用

Table 1 Bacteriostatic effect of *B. velezensis* BG-2 suspension with different concentrations on CH-3

菌悬液浓度 Bacterial suspension concentration (CFU/mL)	抑菌圈直径 The diameter of inhibition zone (mm)	抑菌效价 Inhibition titer (mm/mL)
1×10^5	15.50±0.79c	95.03
1×10^6	17.29±0.66b	112.93
1×10^7	20.45±0.39a	144.48
1×10^8	17.55±0.64b	115.54

注: 同列数据后的不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)
Note: Different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$).

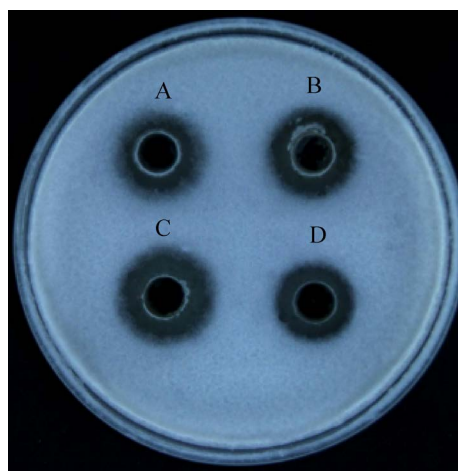


图 1 *B. velezensis* BG-2 菌悬液对 CH-3 的抑菌圈

Figure 1 The inhibition zone of *B. velezensis* BG-2 suspension on CH-3. A: 1×10^5 CFU/mL bacterial suspension; B: 1×10^6 CFU/mL bacterial suspension; C: 1×10^7 CFU/mL bacterial suspension; D: 1×10^8 CFU/mL bacterial suspension.

2.2 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜腐烂率的影响

如图 2 所示, 在 25 °C 和 4 °C 贮藏, 果实的腐烂率随时间延长均呈现上升趋势, 而 BG-2 处理组的果实腐烂率显著低于 BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组(图 2C)。25 °C 贮藏过程中(图 2A), 第 5 天时 BG-2 处理组无腐烂果实; 第 25 天时 BG-2 处理组腐烂率为 37.02%, BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组(CK)腐烂率分别为 51.81%、97.20%和 80.56%, 各组间差异显著。

4 °C 贮藏过程中(图 2B), 第 10 天时 BG-2 处理组和 BG-2+CH-3 处理组无腐烂果实; 贮藏第 20 天, 各组腐烂率迅速上升且组间差异显著, BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组腐烂率分别为 5.61%、11.13%、33.30%和 19.40%; 贮藏第 50 天, BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组腐烂率分别为 52.86%、61.12%、100%和 83.48%。由此可知, 在 4 °C 和 25 °C 贮藏过程中, *B. velezensis* BG-2 均可有效抑制贮藏期果实的腐烂。

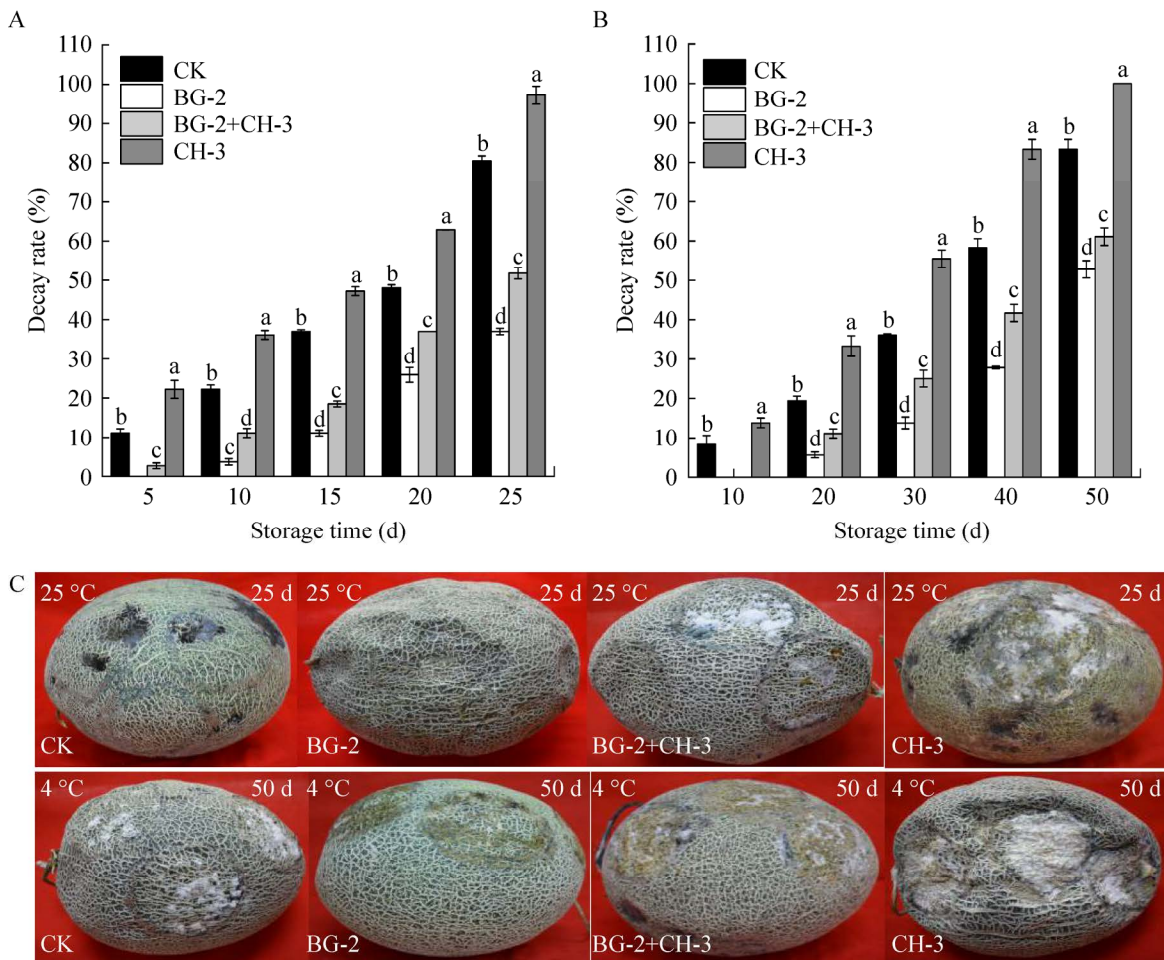


图 2 两种贮藏温度下 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜腐烂率的影响 A: 25 °C; B: 4 °C; C: 不同处理在不同温度下贮存后的腐烂程度。不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

Figure 2 Effects of *B. velezensis* BG-2 on the decay rate of muskmelon at two storage temperatures. A: 25 °C; B: 4 °C; C: Decay degree of different treatments after storage at different temperatures. Different lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.3 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜失重率的影响

如图 3 所示, 在 4 °C 和 25 °C 贮藏, 果实的失重率随时间延长呈现上升趋势, 而 BG-2 处理组的果实失重率低于 BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组。25 °C 贮藏第 25 天(图 3A), BG-2 处理组失重率为 8.82%, BG-2+CH-3 处理组失重率为 10.23%, CH-3 处理组失重率为 38.93%, 对照组(CK)失重率为 17.39%, 各组间差异显著。4 °C 贮藏第 20 天(图 3B), 各组

失重率迅速上升且差异显著; 贮藏第 50 天, BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组失重率分别为 11.63%、13.03%、16.67%和 15.51%。由此可知, 在 4 °C 和 25 °C 贮藏过程中, *B. velezensis* BG-2 均可抑制贮藏期果实失重, 保持果实重量。

2.4 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜果肉硬度的影响

由图 4 可知, 在 4 °C 和 25 °C 贮藏, 各处理果肉硬度均呈现下降趋势, 而且同一贮藏

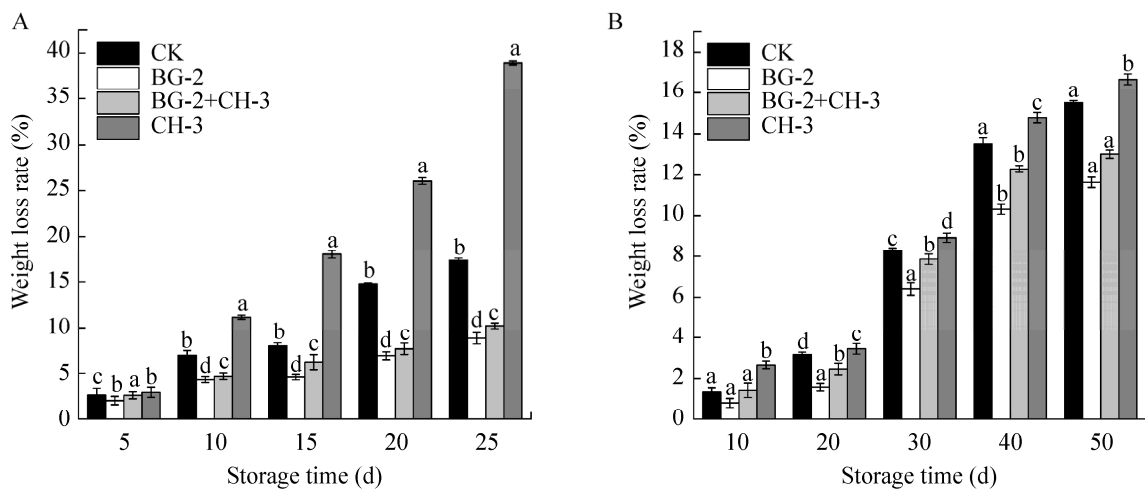


图 3 两种贮藏温度下 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜失重率的影响

Figure 3 Effects of *B. velezensis* BG-2 on weight loss of muskmelon at two storage temperatures.

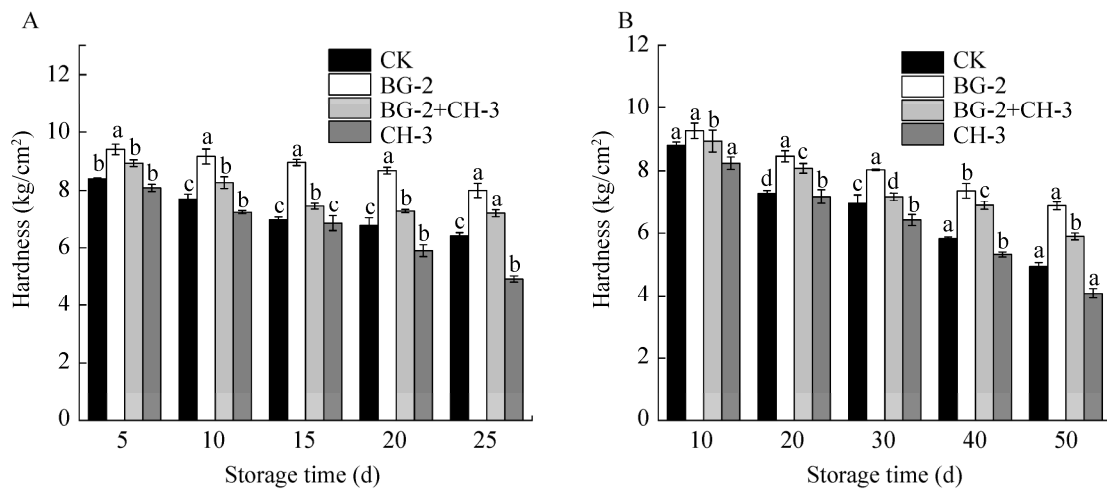


图 4 两种贮藏温度下 *B. velezensis* BG-2 对果肉硬度的影响

Figure 4 Effects of *B. velezensis* BG-2 on fruit hardness at two storage temperatures.

时间内 BG-2 处理组果肉硬度显著高于对照组。25 °C 贮藏第 5 天时(图 4A) BG-2 处理组果肉硬度为 9.4 kg/cm², 显著高于其他组; 贮藏第 25 天硬度降低至 8.0 kg/cm², 显著高于对照组和 CH-3 处理组。在 4 °C 贮藏过程中(图 4B), BG-2 处理组果肉硬度显著高于其他组, 贮藏第 50 天时 BG-2 处理组果肉硬度为 6.88 kg/cm², 并且 BG-2 处理组硬度一直保持较低的下降低速率。由此可知, *B. velezensis* BG-2 可以减缓果肉硬度下降速率, 保持厚皮甜瓜果实较好的质地。

2.5 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜维生素 C 含量的影响

由图 5 可知, 在 4 °C 和 25 °C 贮藏期间, 随着贮藏时间的延长, 厚皮甜瓜果实中维生素 C 含量呈下降趋势, 而且同一贮藏时间 BG-2 处理组果实维生素 C 含量显著高于 BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组。在 25 °C 贮藏过程中(图 5A), 第 5 天时 BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组维生素 C 含量分别为 125.07、114.01、101.13 和 107.19 μg/g-FW; 贮藏第 25 天时 BG-2 处理组维生素 C 含量降低至

75.37 μg/g-FW, BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组维生素 C 含量分别为 49.62、35.60 和 41.66 μg/g-FW。在 4 °C 贮藏的第 10 天(图 5B), BG-2 处理组维生素 C 含量为 89.24 μg/g-FW, 显著高于 BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组。贮藏的第 50 天, BG-2 处理组维生素 C 含量为 37.12 μg/g-FW, BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组维生素 C 含量分别为 32.19、22.35 和 26.13 μg/g-FW。由此可见, 在 4 °C 和 25 °C 贮藏过程中, *B. velezensis* BG-2 可以显著抑制厚皮甜瓜果实中维生素 C 含量的下降。

2.6 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜可溶性固形物含量的影响

由图 6 可知, 甜瓜采后生命活动依靠营养物质维持, 因而可溶性固形物含量随着贮藏时间的延长而呈现下降趋势。在 25 °C 贮藏过程中(图 6A), BG-2 处理组可溶性固形物呈缓慢下降趋势, 而且含量显著高于其他组, 贮藏第 5 天时, BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组可溶性固形物含量分别为 13.83%、

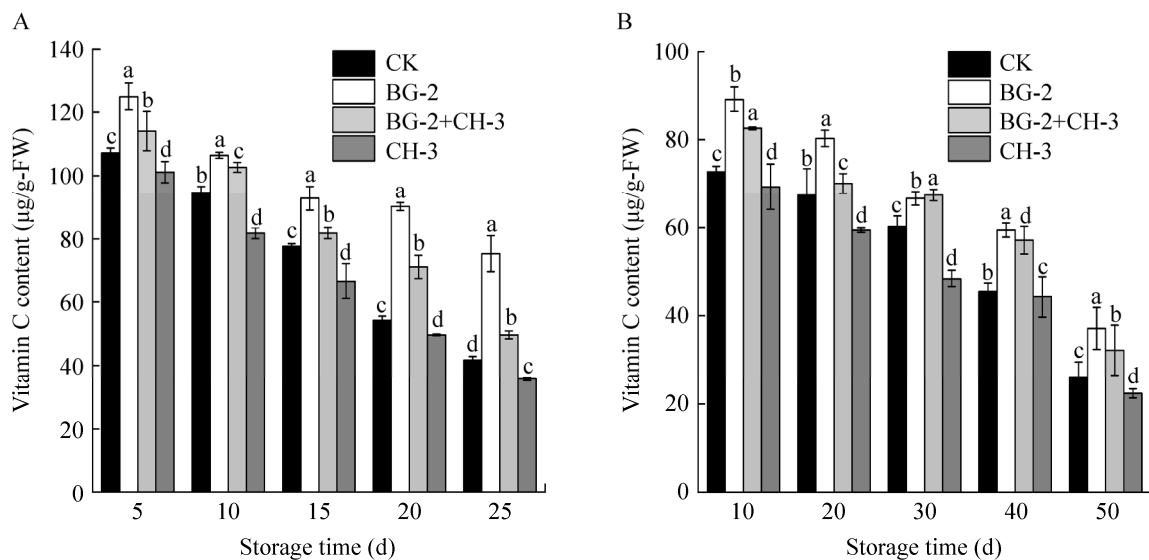


图 5 两种贮藏温度下 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜维生素 C 含量的影响

Figure 5 Effects of *B. velezensis* BG-2 on vitamin C contents of muskmelon at two storage temperatures.

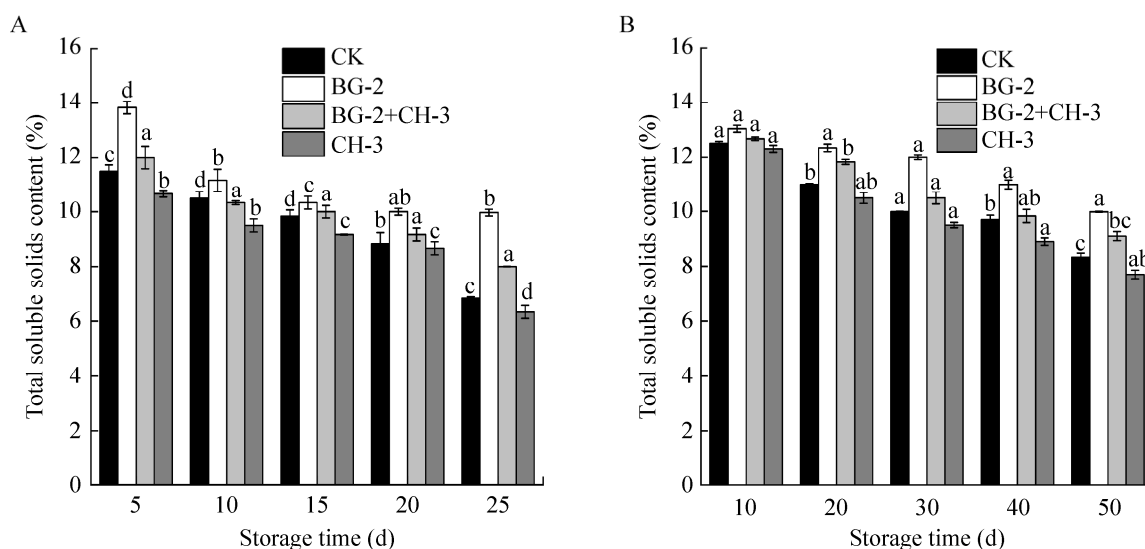


图 6 两种贮藏温度下 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜可溶性固形物含量的影响

Figure 6 Effects of *B. velezensis* BG-2 on TSS contents of muskmelon at two storage temperatures.

12.00%、10.67%和 11.50%；贮藏第 25 天时，BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组可溶性固形物含量分别为 9.97%、8.00%、6.33%和 6.88%。4 °C 贮藏过程中(图 6B)，BG-2 处理组可溶性固形物含量高于其他组，贮藏第 10 天时，BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组可溶性固形物含量分别为 13.03%、12.67%、12.30%和 12.50%，各组之间差异不显著；贮藏第 50 天时，BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组可溶性固形物含量分别为 9.99%、9.10%、7.77%和 8.33%，BG-2 处理组与其他组差异显著。结果表明，*B. velezensis* BG-2 可以抑制可溶性固形物含量下降，延缓果实成熟。

2.7 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜可滴定酸含量的影响

由图 7 可知，在 4 °C 和 25 °C 贮藏期间，随着贮藏时间的延长，厚皮甜瓜果实中可滴定酸呈下降趋势，并且整个贮藏时间内，BG-2 处理组果实可滴定酸高于 BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组。在 25 °C 贮藏过

程中(图 7A)，贮藏第 5 天时，BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组可滴定酸分别为 1.39%、1.28%、1.17%和 1.23%，BG-2 处理组可滴定酸显著高于 BG-2+CH-3 处理组和 CH-3 处理组；贮藏第 25 天时，BG-2 处理组可滴定酸为 0.84%，显著高于其他组。在 4 °C 贮藏过程中(图 7B)，贮藏第 10 天时，BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组可滴定酸分别为 1.34%、1.28%、1.21%和 1.26%，各组之间差异不显著；贮藏第 50 天时，BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组可滴定酸分别为 0.84%、0.78%、0.60%和 0.67%，BG-2 处理组可滴定酸显著高于 CH-3 处理组和对照组。因此，*B. velezensis* BG-2 可以抑制甜瓜可滴定酸的降低，保持甜瓜的贮藏品质。

2.8 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜防御酶活性的影响

由图 8A、8B 可知，在 4 °C 和 25 °C 贮藏期间，随着贮藏时间的延长，厚皮甜瓜果实中超氧化物歧化酶呈先上升后下降趋势，在 25 °C

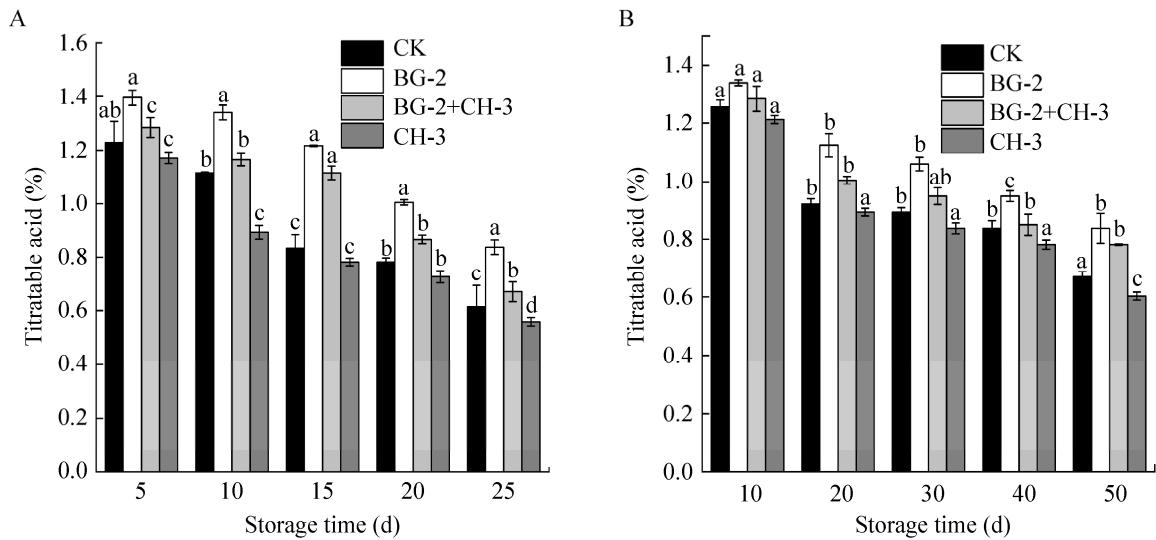


图 7 两种贮藏温度下 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜可滴定酸含量的影响

Figure 7 Effects of *B. velezensis* BG-2 on titratable acid contents of muskmelon at two storage temperatures.

贮藏过程中(图 8A), 贮藏第 5 天时, BG-2 处理组酶活性显著高于 BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组, 为 60.99 U/g; 贮藏第 10 天时, BG-2+CH-3 处理组酶活性显著高于 BG-2 处理组、CH-3 处理组和对照组, BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组酶活性在贮藏第 20 天时均达到最大, 分别为 68.97、75.85、59.77 和 49.58 U/g。在 4 °C 贮藏过程中(图 8B), 贮藏第 10 天时, BG-2 处理组超氧化物歧化酶显著高于其他组; 贮藏第 20 天时, BG-2 处理组、CH-3 处理组和对照组酶活性达到最大, 分别为 59.51、49.66 和 42.71 U/g, BG-2+CH-3 处理组在第 30 天时酶活显著高于其他处理, 为 65.13 U/g。

由图 8C、8D 可知, 在 4 °C 和 25 °C 贮藏期间, 随着贮藏时间的延长, 过氧化物酶都呈现先上升后下降的趋势。在 25 °C 贮藏期间(图 8C), 贮藏第 5 天时, BG-2 处理组酶活性高于 CH-3 处理组和对照组且 BG-2 处理组和 BG-2+CH-3 处理组之间差异不显著; 贮藏第 10 天时, 各组酶活性达到最大, 其中 BG-2+CH-3 处理组显著高于

其他组, 为 7.61 U/g-FW; 之后各组酶活性逐渐降低。在 4 °C 贮藏期间(图 8D), 贮藏第 10 天时, BG-2 处理组酶活性高于 BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组, 为 7.87 U/g-FW; 第 20 天时, 各组酶活达到最高, BG-2+CH-3 处理组酶活性显著高于 BG-2 处理组、CH-3 处理组和对照组, 为 8.21 U/g-FW; 第 50 天时, 各组酶活最低, 而且对照组显著低于其他处理组, 酶活为 2.21 U/g-FW。

由图 8E、8F 可知, 在 4 °C 和 25 °C 贮藏期间, 随着贮藏时间的延长, 过氧化氢酶都呈现先上升后下降的趋势。在 25 °C 贮藏期间(图 8E), 贮藏第 5 天时, BG-2 处理组、BG-2+CH-3 处理组和 CH-3 处理组酶活均高于对照组; 贮藏第 10 天时, 各组酶活性达到最大, 其中 BG-2+CH-3 处理组显著高于其他组, 为 65.25 $\mu\text{mol}/(\text{min}\cdot\text{g}\cdot\text{FW})$; 之后各组酶活性逐渐降低, 但 BG-2+CH-3 处理组酶活始终高于 BG-2 处理组、CH-3 处理组和对照组。在 4 °C 贮藏期间(图 8F), 贮藏第 10 天时, BG-2 处理组酶活性高于 BG-2+CH-3 处理组、CH-3 处理组和对照组, 为 38.30 $\mu\text{mol}/(\text{min}\cdot\text{g}\cdot\text{FW})$; 第 20 天时各组酶活达到最高, BG-2+CH-3 处理

组酶活性显著高于 BG-2 处理组、CH-3 处理组和对照组, 为 $65.76 \mu\text{mol}/(\text{min}\cdot\text{g}\cdot\text{FW})$; 之后各组酶活性逐渐降低, 第 50 天时, 各组酶活最低, 而且 BG-2+CH-3 处理组显著高于其他组, 酶活为

$19.54 \mu\text{mol}/(\text{min}\cdot\text{g}\cdot\text{FW})$ 。

由此可知, *B. velezensis* BG-2 能有效减缓超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶活性的降低, 延长甜瓜贮藏期。

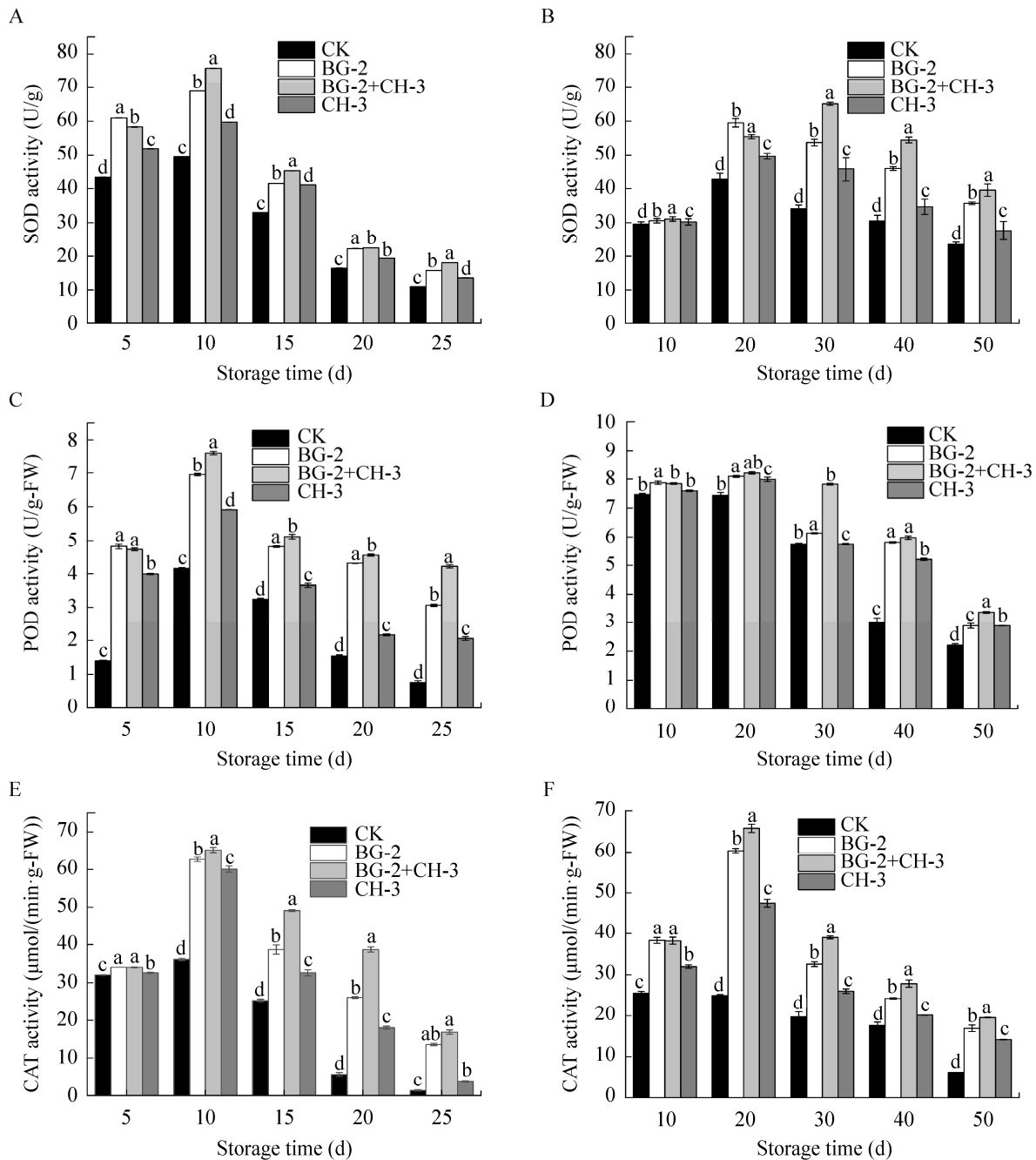


图 8 两种贮藏温度下 *B. velezensis* BG-2 对厚皮甜瓜防御酶活性的影响

Figure 8 Effects of *B. velezensis* BG-2 on SOD、POD、CAT activities of muskmelon at two storage temperatures.

3 讨论与结论

尖孢镰刀菌可导致多种水果腐败变质,厚皮甜瓜白霉病是一种重要的果实病害,给新疆厚皮甜瓜的贮藏和运输带来很大的挑战。生物防治已经成为植物病害防治的发展方向。近年来,用于防治植物病害的生防菌主要有芽孢杆菌、假单胞菌、木霉菌等^[26-28],其中贝莱斯芽孢杆菌是芽孢杆菌中应用最广泛的菌种之一。目前已报道贝莱斯芽孢杆菌对花生白绢病^[29]、黄瓜霜霉病^[30]和棉花黄萎病^[31]等多种植物病原菌具有抑制作用,而贝莱斯芽孢杆菌用于防治尖孢镰刀菌引起的厚皮甜瓜白霉病及对厚皮甜瓜贮藏品质的研究鲜有报道。

本文以前期分离的一株有拮抗作用的 *B. velezensis* BG-2 为研究对象,研究了不同浓度 *B. velezensis* BG-2 菌悬液对厚皮甜瓜白霉病病原菌尖孢镰刀菌 CH-3 的抑制作用及对厚皮甜瓜贮藏品质的影响,结果表明,不同浓度的 *B. velezensis* BG-2 菌悬液对尖孢镰刀菌 CH-3 均有抑制作用,浓度为 1×10^7 CFU/mL 时抑菌效价最高。*B. velezensis* BG-2 菌悬液处理后,在一定程度上控制了采后厚皮甜瓜果实腐烂和失重,同时抑制果肉硬度、可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量的下降,表明 *B. velezensis* BG-2 处理对厚皮甜瓜白霉病的生物防治和采后品质维持有潜在的应用价值。

果实贮藏运输过程中,由于磕碰损伤,易受到病原菌的侵染,导致果实腐烂变质,风味发生变化^[32]。本研究发现,在贮藏过程中,*B. velezensis* BG-2 能够抑制厚皮甜瓜的发病,可以延缓厚皮甜瓜贮藏期间的失重,减缓厚皮甜瓜果胶的分解,有效地抑制病原菌生长,从而减少硬度和可溶性固形物含量的下降。这与刘奎等关于枯草芽孢杆菌 BS-1 菌株对猕猴桃的

研究结果^[33]一致。维生素 C 可以清除掉果实代谢产生的自由基,保护细胞组织免受损害,从而延缓果实衰老的速度。*B. velezensis* BG-2 能有效抑制酸味物质的消耗并减缓维生素 C 含量的下降,而低温可降低厚皮甜瓜生理代谢速率,减缓酸味物质的利用和维生素 C 的氧化。因此,通过 *B. velezensis* BG-2 处理,可滴定酸和维生素 C 含量变化相对较小。

植株诱导抗性是所有植物普遍存在的,当果蔬受到损伤或者病原菌入侵时会引发果蔬体内诱导抗性表达,增强果蔬体内防御酶活性,抑制病原菌的生长^[34]。大量研究表明,植物体内的防御酶如 SOD、CAT 和 POD 等在抵抗病原菌侵染方面发挥着重要作用^[35],其中 SOD 和 CAT 可以清除活性氧自由基,以减轻其对植株的危害^[36];POD 能催化以 H_2O_2 为氧化剂的氧化还原反应,清除植物体内病菌侵害后产生的 H_2O_2 并参与木质素等抗菌物质的合成^[37]。本研究发现,采后厚皮甜瓜在后熟衰老过程中活性氧代谢失调,造成活性氧自由基的积累,诱导了 SOD、POD 和 CAT 酶活性的升高,相较于对照组、BG-2 处理组和 CH-3 处理组,BG-2+CH-3 处理组 SOD、POD 和 CAT 活性最高,并能在贮藏后期保持相对较高的酶活性,表明 *B. velezensis* BG-2 与 *F. oxysporum* CH-3 在防御酶的诱导作用中具有协同作用,这与井敏敏等报道的拮抗菌 JS-8 与病原菌枝状芽枝霉共同接种后芒果果实过氧化物酶和多酚氧化酶活性高于单独接种拮抗菌或病原菌的结果^[38]一致,这种协同作用是一种促进关系。

REFERENCES

- [1] 邵旭鹏,王豪杰,李霖华,范盈盈,王成,刘峰娟.新疆不同地区厚皮甜瓜“纳斯蜜”营养品质比较[J].保鲜与加工,2021,21(4):128-133
Shao XP, Wang HJ, Li MH, Fan YY, Wang C, Liu FJ.

- Comparison on nutritional qualities of muskmelons 'nasmī' in different regions of Xinjiang[J]. Storage and Process, 2021, 21(4): 128-133 (in Chinese)
- [2] 李佳, 玛尔哈巴·帕尔哈提, 白羽嘉, 冯作山. 不同包装贮藏方式对哈密瓜片品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 12-17
Li J, Maerhaba·Paerhati, Bai YJ, Feng ZS. Effect of different packaging and storage methods on the quality of Hami melon slice[J]. Storage and Process, 2020, 20(1): 12-17 (in Chinese)
- [3] 张有林, 张润光, 孙刚, 陈婷. 伽师瓜采后生理、贮期病害及贮藏保鲜技术[J]. 中国农业科学, 2010, 43(6): 1220-1228
Zhang YL, Zhang RG, Sun G, Chen T. Study on postharvest physiology, storage diseases and quality changes of Jiashi muskmelon[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(6): 1220-1228 (in Chinese)
- [4] Li JM, Fokkens L, Rep M. A single gene in *Fusarium oxysporum* limits host range[J]. Molecular Plant Pathology, 2021, 22(1): 108-116
- [5] 姚薇, 曲明星, 崔晓慧, 夏润玺, 刘限. 木霉菌合成银纳米粒子条件的优化及其对甜瓜尖孢镰刀菌抑制作用[J]. 生物工程学报, 2020, 36(9): 1859-1868
Yao W, Qu MX, Cui XH, Xia RX, Liu X. Optimization of synthesizing silver nanoparticles from *Trichoderma* strains for inhibition of *Fusarium oxysporum*[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2020, 36(9): 1859-1868 (in Chinese)
- [6] 刘玲, 王旭, 张培光, 沈良伟, 杨磊, 徐晴. 大蓟总黄酮对尖孢镰刀菌甜瓜专化型生长、生理的影响及其田间防治效果[J]. 植物保护学报, 2020, 47(3): 628-636
Liu L, Wang X, Zhang PG, Shen LW, Yang L, Xu Q. Inhibition of total flavonoids in *Cirsium japonicum* DC on growth physiological indexes and control effect of *Fusarium oxysporum* f. sp. melonis in field[J]. Journal of Plant Protection, 2020, 47(3): 628-636 (in Chinese)
- [7] Kahramanoğlu İ. Preserving postharvest storage quality of fresh loquat fruits by using different bio-materials[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(8): 3004-3012
- [8] Lahlali R, Aksissou W, Lyousfi N, Ezrari S, Blenzar A, Tahiri A, Ennahli S, Hrutić J, MacLean D, Amiri S. Biocontrol activity and putative mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* (SF14 and SP10), *Alcaligenes faecalis* ACBC1, and *Pantoea agglomerans* ACBP1 against brown rot disease of fruit[J]. Microbial Pathogenesis, 2020, 139: 103914
- [9] Xue HL, Sun YX, Li L, Bi Y, Hussain R, Zhang R, Long HT, Nan MN, Pu LM. Acetylsalicylic acid (ASA) induced fusarium rot resistance and suppressed neosolaniol production by elevation of ROS metabolism in muskmelon fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 265: 109264
- [10] 丁从文, 韦罗晴, 马忠璇, 周尚泽. 巨大芽孢杆菌 LB01 粗提物对采后芒果炭疽病的生防效果及成分鉴定[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 31-36
Ding CW, Wei LQ, Ma ZX, Zhou SZ. Biocontrol effect of *Bacillus megaterium* LB01 crude extract on anthracnose in postharvest mango and identification of its components[J]. Food Research and Development, 2021, 42(17): 31-36 (in Chinese)
- [11] Deng J, Kong SS, Wang F, Liu Y, Jiao JY, Lu YY, Zhang F, Wu JR, Wang LC, Li XZ. Identification of a new *Bacillus sonorensis* strain KLBC GS-3 as a biocontrol agent for postharvest green mould in grapefruit[J]. Biological Control, 2020, 151: 104393
- [12] 魏雪, 江孟遥, 钟涛, 张曼, 王智荣, ZSOLT Zalan, FERENC Hegyi, KRISZTINA Takacs, 杜木英. 荧光假单胞菌 ZX 对葡萄采后灰霉病的防治[J]. 食品工业科技, 2021, 42(22): 125-132
Wei X, Jiang MY, Zhong T, Zhang M, Wang ZR, Zalan Z, Hegyi F, Takacs K, Du MY. Control of gray mold in postharvest grapes with *Pseudomonas fluorescens* ZX[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(22): 125-132 (in Chinese)
- [13] Rivas-Garcia T, Murillo-Amador B, Nieto-Garibay A, Rincon-Enriquez G, Chiquito-Contreras RG, Hernandez-Montiel LG. Enhanced biocontrol of fruit rot on muskmelon by combination treatment with marine *Debaryomyces hansenii* and *Stenotrophomonas rhizophila* and their potential modes of action[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 151: 61-67
- [14] 孙正祥, 龙欣钰, 孟祥佳, 曹帅, 毛国庆, 周焱. 枯草芽孢杆菌 YZU-S149 的分离鉴定及对西瓜枯萎病的生防作用[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2021, 18(4): 114-120
Sun ZX, Long XY, Meng XJ, Cao S, Mao GQ, Zhou Y. Isolation and identification of *Bacillus subtilis* YZU-S149 and its biocontrol effect on watermelon *Fusarium* wilt[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2021, 18(4): 114-120 (in Chinese)
- [15] 凌雨晨. 贝莱斯芽孢杆菌 S3-1 对樱桃番茄采后果腐病的防治及果实保鲜的研究[D]. 上海: 上海师范大学硕士学位论文, 2021
Ling LC. Study on the control of cherry tomato harvest rot by *Bacillus velezensis* S3-1 and its fresh keeping

- effect[D]. Shanghai: Master's Thesis of Shanghai Normal University, 2021 (in Chinese)
- [16] 路兆军, 于晓丽, 苗杰, 赵莹, 王淑惠, 陈丽英, 李保进. 假单胞菌 PL-21 的鉴定及其拮抗 2 种苹果病原菌的作用[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 808-811
Lu ZJ, Yu XL, Miao J, Zhao Y, Wang SH, Chen LY, Li BJ. Identification of *Pseudomonas* sp. PL-21 and its antagonistic effect on two apple pathogens[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2021, 37(3): 808-811 (in Chinese)
- [17] 王笑笑, 季小诗, 刘芳, 赵月, 郭红莲. 生防菌 KD-16J 的鉴定及其对番茄灰霉病的抑制作用[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(3): 182-188
Wang XX, Ji XS, Liu F, Zhao Y, Guo HL. Identification of biocontrol strain KD-16J and the effect on grey mould of tomatoes[J]. Food Research and Development, 2021, 42(3): 182-188 (in Chinese)
- [18] 管力慧. 拮抗菌对甜瓜贮藏品质及生理影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学硕士学位论文, 2021
Guan LH. Study on the effect of antagonistic bacteria on storage quality and physiology of melon[D]. Urumqi: Master's Thesis of Xinjiang University, 2021 (in Chinese)
- [19] 王艳玲, 尚敏敏, 张素玮, 郭小洁, 王永刚. 假单胞菌 YL11 对扩展青霉的抑制作用及其机理初探[J]. 微生物学通报, 2019, 46(5): 1081-1091
Wang YL, Shang MM, Zhang WW, Guo XJ, Wang YG. Initial study on inhibition of *Penicillium expansum* by *Pseudomonas* sp. YL11 and mechanism[J]. Microbiology China, 2019, 46(5): 1081-1091 (in Chinese)
- [20] 吉宁, 王瑞, 曹森, 马立志. 1-MCP 结合臭氧处理对水晶葡萄采后贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(9): 56-63
Ji N, Wang R, Cao S, Ma LZ. Effects of 1-MCP combined with ozone treat on postharvest storage quality of crystal grapes[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(9): 56-63 (in Chinese)
- [21] 刘泽松, 史君彦, 左进华, 高丽朴, 王清, 孟德梅. UV-C 和 LED 红光复合处理对西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(17): 238-245
Liu ZS, Shi JY, Zuo JH, Gao LP, Wang Q, Meng DM. Effect of combined UV-C and red light emitting diode irradiation on storage quality of broccoli[J]. Food Science, 2020, 41(17): 238-245 (in Chinese)
- [22] 贾晓辉, 王文辉, 佟伟, 杜艳民, 王志华, 姜修成. 自发气调包装对库尔勒香梨采后生理及贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(24): 4785-4796
Jia XH, Wang WH, Tong W, Du YM, Wang ZH, Jiang XC. Effect of modified atmosphere packaging on postharvest physiology and quality of 'Korla xiangli' pears during storage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(24): 4785-4796 (in Chinese)
- [23] 王伟玲, 王展, 王晶英. 植物过氧化物酶活性测定方法优化[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(4): 21-23
Wang WL, Wang Z, Wang JY. Optimization of determination method of peroxidase activity in plant[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2010, 29(4): 21-23 (in Chinese)
- [24] 彭建, 王丹英, 徐春梅, 陈丽萍, 邓飞, 章秀福. 钼酸铵法测定水稻过氧化氢酶活性[J]. 中国农学通报, 2009, 25(16): 61-64
Peng J, Wang DY, Xu CM, Chen LP, Deng F, Zhang XF. Ammonium molybdate method for detecting the activities of rice catalase[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(16): 61-64 (in Chinese)
- [25] 赵建, 李想, 鲁政, 文镜. 影响超氧化物歧化酶活性测定的因素[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 216-218
Zhao J, Li X, Lu Z, Wen J. Factors affecting the determination of superoxide dismutase activity[J]. Food Science, 2010, 31(9): 216-218 (in Chinese)
- [26] 虞凡枫, 赵进, 孙铭悦, 樊子婧, 陈芳, 牛世全. 黄瓜枯萎病拮抗芽孢杆菌 A7-3-14 的筛选及鉴定[J]. 北方园艺, 2022(3): 41-46
Yu FF, Zhao J, Sun MY, Fan ZJ, Chen F, Niu SQ. Screening and identification of antagonistic *Bacillus* A7-3-14 in cucumber *Fusarium* wilt[J]. Northern Horticulture, 2022(3): 41-46 (in Chinese)
- [27] 张亚, 苏品, 刘双清, 廖晓兰, 黄璜. 拮抗假单胞菌 SU8 对几种植物病原真菌的抑制作用[J]. 农药, 2013, 52(12): 917-920
Zhang Y, Su P, Liu SQ, Liao XL, Huang H. Inhibition of antifungal *Pseudomonas* SU8 against several phytopathogenic fungi[J]. Agrochemicals, 2013, 52(12): 917-920 (in Chinese)
- [28] Gavali MT, Bansode SA, Bhale UN. Biological control of charcoal rot of Jowar with the use of *Trichoderma* species[J]. Bioinfolet - A Quarterly Journal of Life Sciences, 2021, 18(1a): 96-99
- [29] 潘梦诗, 郭文阳, 张宗源, 岳丹丹, 亓兰达, 王雪妍, 张英涛. 贝莱斯芽孢杆菌对花生白绢病的防治效果[J]. 生物学杂志, 2022, 39(1): 37-41
Pan MS, Guo WY, Zhang ZY, Yue DD, Qi LD, Wang XY, Zhang YT. Biocontrol effects of *Bacillus velezensis* on peanut stem rot caused by *Sclerotium rolfsii*[J]. Journal of Biology, 2022, 39(1): 37-41 (in Chinese)

- [30] 肖倩, 李守望, 梁晨, 李文宇, 毛怡文. 贝莱斯芽孢杆菌对黄瓜霜霉病的作用方式和持效期[J]. 农药, 2021, 60(11): 829-831
Xiao Q, Li SW, Liang C, Li WY, Mao YW. Action mode and duration of *Bacillus velezensis* against cucumber downy mildew[J]. Agrochemicals, 2021, 60(11): 829-831 (in Chinese)
- [31] Sherzad Z, Tang CM. A new strain of *Bacillus velezensis* as a bioagent against *Verticillium dahliae* in cotton: isolation and molecular identification[J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2020, 30: 118
- [32] Lufu R, Ambaw A, Opara UL. The influence of internal packaging (liners) on moisture dynamics and physical and physiological quality of pomegranate fruit during cold storage[J]. Foods, 2021, 10(6): 1388
- [33] 刘奎, 赵焕兰, 宗宁, 李欢欢, 刘永胜, 苗敏. 枯草芽孢杆菌 BS-1 菌株对猕猴桃采后软腐病的抑制和保鲜效果评价[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(10): 40-49
Liu K, Zhao HL, Zong N, Li HH, Liu YS, Miao M. Inhibition and fresh-keeping effects evaluation of *Bacillus subtilis* BS-1 strain on soft rot of postharvest kiwifruit[J]. Storage and Process, 2021, 21(10): 40-49 (in Chinese)
- [34] 郑家瑞, 李云洲. 植物诱导抗性研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2022, 41(2): 51-58
Zheng JR, Li YZ. Research progress on induced resistance in plants[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2022, 41(2): 51-58 (in Chinese)
- [35] 郭祖国, 王梦馨, 崔林, 韩宝瑜. 6 种防御酶调控植物体应答虫害胁迫机制的研究进展[J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 4248-4258
Guo ZG, Wang MX, Cui L, Han BY. Research progress on the underlying mechanisms of plant defense enzymes in response to pest stress[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(12): 4248-4258 (in Chinese)
- [36] 陈杭君, 王翠红, 邵海燕, 毛金林, 周拥军. 不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1230-1236
Chen HJ, Wang CH, Gao HY, Mao JL, Zhou YJ. Effect of packaging on the postharvest quality and the antioxidant activity of blueberry[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(6): 1230-1236 (in Chinese)
- [37] 陈嘉琪, 张耘梦, 张黎明, 韩洪庚, 石晶盈. 不同包装方式对嫩鲜蒜贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 28-34
Chen JQ, Zhang YM, Zhang LM, Han HG, Shi JY. Effects of different packaging methods on the storage quality and antioxidant activity of fresh and tender garlic[J]. Food Research and Development, 2021, 42(20): 28-34 (in Chinese)
- [38] 井敏敏, 田亚琴, 邵远志. 拮抗菌 JS-8 对‘台农’芒果贮藏品质及保护酶活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1): 168-173
Jing MM, Tian YQ, Shao YZ. The effects of antagonistic bacterium JS-8 on storage quality and activity of protective enzymes of ‘Tai Nong’ mango[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(1): 168-173 (in Chinese)