

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80513

贝莱斯芽孢杆菌 D44 对桃采后病害及贮藏特性的影响

周慧娟^{1,2} 周 讯^{1,3} 叶正文^{1,2} 吕贝贝¹ 苏明申^{1,2}
张夏南^{1,2} 杜纪红^{1,2} 李雄伟^{1,2} 张明昊^{1,2}

(1. 上海市农业科学院林木果树研究所, 上海 201403; 2. 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201403;
3. 长江大学, 湖北 荆州 434023)

摘要: [目的] 研究贝莱斯芽孢杆菌 D44 在桃采后病害生物防治中的应用。[方法] 以硬溶质沪油桃 018、硬溶质锦绣黄桃、软溶质湖景蜜露水蜜桃为试材, 探讨枯草芽孢杆菌 A9、贝莱斯芽孢杆菌 D44 和地衣芽孢杆菌 W10 对桃粉红聚端胞霉、青霉菌、镰刀菌、褐腐菌、灰霉菌、交链格胞霉、根霉菌 7 种采后病原菌的拮抗作用, 及其对接种病原菌后 3 种类型桃果实病斑直径、挥发性物质及防腐保鲜效果的影响。[结果] D44 对桃采后褐腐菌、根霉菌、灰霉菌、青霉菌、镰刀菌均有较强的抑制作用。常温条件下, 可使接种褐腐菌的沪油桃 018 和湖景蜜露水蜜桃果实的发病时间均较对照组果实延缓 2 d, 抑制率高达 85%~99%; 可使接种根霉菌的沪油桃 018 和湖景蜜露水蜜桃果实的发病时间较对照组果实分别推迟 3 d, 抑病率高达 87.61%~99.82%; 可显著抑制采后腐烂导致的挥发性物质变化。D44 处理的沪油桃 018 果实常温安全贮藏期可达 6~8 d, 较对照组果实延长 4~6 d, 腐烂率低于 5%, 失重率低于 4.5%, 果实可溶性固形物下降率控制在 8% 以内; 湖景蜜露水蜜桃果实常温安全贮藏期可达 4~6 d, 较对照组延长 2~4 d, 腐烂率低于 8%, 失重率低于 8%, 果实可溶性固形物下降率控制在 4% 以内, 商品和食用价值高。[结论] D44 可显著延缓褐腐菌和根霉菌的发病速率, 并较好地保持果实贮藏品质、延长保鲜期。

关键词: 贝莱斯芽孢杆菌; 油桃; 水蜜桃; 黄桃; 采后病害; 贮藏特性; 挥发性物质

Effects of *Bacillus velezensis* D44 on postharvest diseases and storage characteristics of different peach fruit

ZHOU Huijuan^{1,2} ZHOU Xun^{1,3} YE Zhengwen^{1,2} LU Beibei¹ SU Mingshen^{1,2}
ZHANG Xianan^{1,2} DU Jihong^{1,2} LI Xiongwei^{1,2} ZHANG Minghao^{1,2}

(1. Forest and Fruit Tree Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;
2. Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201403, China;
3. Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China)

Abstract: [Objective] To study the application of *Bacillus velezensis* D44 in the biological control of postharvest diseases in peaches. [Methods] Hu nectarine 018 (hard-soluble), Jinxiu yellow peach (hard-soluble), and Hujing Milu honey peach (soft-soluble) were used as test materials. The antagonistic effects of *B. subtilis* A9, *B. velezensis* D44, and *B. licheniformis* W10 against seven postharvest pathogens-*Polyporus pink*, *Penicillium*, *Fusarium*, brown rot fungus, *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, and *Rhizopus*-were examined. Additionally, the impact of these bacteria on the diameter of disease lesions, volatile substances, and preservation effects in peach fruits after inoculation with these pathogens was evaluated. [Results] *B. velezensis* D44 exhibited strong inhibitory effects on brown rot fungus, *Rhizopus*, *B. cinerea*, *Penicillium*, and *Fusarium* in peaches. At room temperature, the onset of brown rot in Hu nectarine 018 and Hujing Milu peaches inoculated with brown rot fungus was delayed by 2 days compared with the control, with an inhibition rate of 85% to 99%. The onset of soft

基金项目: 上海市科学技术委员会“科技创新行动计划”项目(编号:23N31900600); 国家桃产业技术体系(编号:CARS-30); 上海市农业科技创新项目(编号:2023-02-08-00-12-F04588)

通信作者: 叶正文(1963—), 男, 上海市农业科学院研究员, 博士。E-mail: yezhengwen1300@163.com

收稿日期: 2024-06-04 **改回日期:** 2024-12-21

rot in Hu nectarine 018 and Hujing Milu peaches inoculated with *Rhizopus* was delayed by 3 days compared with the control, with a disease inhibition rate of 87.61% to 99.82%. *B. velezensis* D44 also significantly inhibited the changes in volatile substances caused by decay. The safe storage period of Hu nectarine 018 treated with D44 at room temperature was 6~8 days, which was 4~6 days longer than the control, with a decay rate of less than 5%, a weight loss rate below 4.5%, and a decline in soluble solids controlled within 8%. The safe storage period of Hujing Milu peaches at room temperature was 4~6 days, which was 2~4 days longer than the control, with a decay rate below 8%, a weight loss rate below 8%, and a decline in soluble solids controlled within 4%. The treated fruits exhibited high commercial and edible value. **[Conclusion]** *B. velezensis* D44 significantly delays the onset of brown rot and *Rhizopus* and effectively preserves the storage quality, thereby extending the shelf life.

Keywords: *Bacillus velezensis*; nectarine; honey peach; yellow peach; postharvest diseases; storage characteristics; volatile substance

据统计^[1],中国桃栽培面积 100 万 hm^2 ,年产量 1 500 万 t,其中 80% 以上为溶质桃。上海种植的硬溶质鲜食黄桃、软溶质水蜜桃和蟠桃为典型的溶质类型,且均为国家地理标志农产品,深受消费者青睐。桃果成熟时正值高温高湿季节,加之溶质类型桃采后易软化、不耐贮运,采后损耗严重^[2]。采后病害是引起果实损耗的关键因子,其中,真菌病害引起的桃果腐烂最为严重^[3]。

美澳型核果褐腐病菌(*Monilinia fructicola*)、层出镰孢菌(*Fusarium proliferatum*)、白地霉(*Galactomyces candidum*)、葡萄座腔菌(*Botryosphaeria dothidea*)和灰霉菌(*Botrytis cinerea*)是引起上海地区桃果腐烂的主要病原菌^[4]。其中,褐腐病是记载最早的果品采后病害^[5],在果实生长后期和采后贮藏期间严重发生^[6]。拟茎点霉属真菌属(*Phomopsis* spp.)、灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)、炭疽病菌属(*Colletotrichum* spp.)、根霉属(*Rhizopus* spp.)、镰刀菌属(*Fusarium* spp.)及曲霉属(*Aspergillus* spp.)为引起桃果实采后褐腐病的主要病原菌^[7]。

减压贮藏保鲜、辐照复合保鲜、气调复合保鲜、热处理复合保鲜等可通过抑制果实乙烯释放速率和采后病原菌的繁殖而延长果实的保鲜期,但是仍存在长时间冷藏后常温货架期短、果实易腐烂(抗病性降低,易被外源微生物感染)、风味降低等问题^[8-11]。化学杀菌剂是一种作用机理明确、能够抑制或者杀死病原菌的化学合成物,其具有高效、速效、使用方便、经济效益高等优点,但存在杀菌剂残留等问题。生物防治由于无毒,无残留,也没有连续使用化学药剂产生的抗药性,逐渐成为控制果蔬采后病害的另一条途径^[12]。

芽孢杆菌种群庞大,繁殖能力强,稳定性强,抑菌谱广泛^[13],解淀粉芽孢杆菌^[14]、贝莱斯芽孢杆菌^[15]、枯草芽孢杆菌^[16-17]、巨大芽孢杆菌^[18]、地衣芽孢杆菌^[6,11]等已被用于防控植物病害。芽孢杆菌对桃果实采后病害的影响逐渐成为研究热点。解淀粉芽孢杆菌 C06 产生的抗菌物质为脂肽类化合物 Fengycin 和 Bacillomycin D 可有效防治采后桃褐腐病,防效可达 78%,可将桃果的货架期从 3 d 延长到 7 d^[19-20];地衣芽孢杆菌菌株 W10 菌液及其产生的抗菌蛋白可显著延续褐腐病的发病时间^[6];高浓度枯草芽

孢杆菌 B-912 菌液可显著抑制 25 或 3 °C 贮藏条件下桃果褐腐病的发生^[17];枯草芽孢杆菌 CPA-8 产生的 Fengycin 可有效防治桃褐腐病^[16];除此之外,罗伦隐球酵母+间型假丝酵母组合处理可显著抑制水蜜桃果实霉变和腐烂^[21];杰米拉类芽孢杆菌 W51 能有效抑制桃果实采后匍枝根霉的孢子萌发及菌体生长,诱导抗病相关基因的表达,降低软腐病的发病率和病斑直径^[22];内生真菌蓝状菌属 ZJ-4 通过抑制褐腐菌丝的生长,使孢子表面粗糙凹陷、畸形,抑制桃采后褐腐病的发生^[23]。桃园土壤中的特基拉芽孢杆菌 B-23 可使菌丝顶端膨大、表面粗糙,孢子边缘干瘪、粗糙且皱缩,同时细胞壁被降解、细胞器消失、液泡变形,对褐腐病菌的抑菌率达到了 73.68%^[24]。拮抗细菌 CE 抑菌物质可引起桃褐腐病菌菌丝细胞膜透性变化、菌丝和分生孢子形态异常、分生孢子不能萌发,抑制桃褐腐病菌的侵染^[25]。

贝莱斯芽孢杆菌对芒果炭疽病^[26]、魔芋软腐病^[27]和番茄灰霉病^[28]等多种病害都有显著的防治效果,但贝莱斯芽孢杆菌对桃采后病害的防治和贮藏保鲜的研究鲜有报道。研究拟以从羊肚菌内生菌中筛选出的贝莱斯芽孢杆菌 D44 为试材,研究其对桃褐腐病、软腐病等采后病害的抑制作用,以及对果实贮藏品质和挥发性物质的影响,为贝莱斯芽孢杆菌 D44 在桃采后病害生物防治中的应用提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

沪油桃 018(溶质)、湖景蜜露水蜜桃(软溶质)、锦绣黄桃(硬溶质);上海市农业科学院桃种植基地;

生防细菌地衣芽孢杆菌 W10:扬州大学团队从番茄根际土壤中分离获得;

枯草芽孢杆菌 A9 和贝莱斯芽孢杆菌 D44:课题组从羊肚菌内生菌中分离获得;

桃粉红聚端胞霉、青霉菌、镰刀菌、褐腐菌(OP340986)、灰霉菌(OP340985)、交链胞霉、根霉菌 7 种病原菌:上海市农业科学院林木果树研究所实验室;

LB 琼脂培养基、牛肉膏蛋白胨培养基、马铃薯蔗糖培养基、PDA 平板等:国药集团化学试剂有限公司;

防雾保鲜袋:0.03 mm,零度包装科技有限公司;

质构仪:TA. XT. Plus型,英国 SMS 公司;
折光仪:ATAGO-1 型,日本 ATAGO 公司;
电子鼻:PEN3.5 型,德国 AIRSENSE 公司。

1.2 方法

1.2.1 D44 和 A9 生防菌菌液制备 D44 和 A9 的培养温度为 37℃,最适 pH 值 6.5~7.5,在 LB 琼脂培养基中培养 24 h 即可形成菌落,使用摇床培养法得到 D44 和 A9 的菌悬液。采用平板计数法测得 D44 和 A9 菌数均为 $10^9 \sim 10^{10}$ CFU/mL,用蒸馏水分别稀释至 $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL 进行试验。

1.2.2 W10 生防菌菌液制备 参照纪兆林等^[6]的方法,菌数为 $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL。

1.2.3 样本处理 将稀释好的 D44、A9 和 W10 菌液分别喷洒在桃表面,在室温(25℃)下用鼓风机加速干燥 2 h 后,室温静置 4 h,至果实表面无水雾出现,使菌落迅速繁殖和成膜。

1.2.4 3 种生防菌对 7 种病原菌的平板对峙试验 将粉红聚端孢霉、青霉菌、镰刀菌、褐腐菌、灰霉菌、交链孢霉、根霉菌 7 种病原菌接种于 PDA 平板中央。分别测定 D44、A9(*Bacillus subtilis*)和 W10 对桃病原菌的拮抗效果。

1.2.5 3 种生防菌对桃采后褐腐菌和根霉菌的防治作用试验 在 3 种生防菌浓度筛选的预试验基础上,分别以成熟度一致、大小均一、无病虫害、无机械损伤的沪油桃 018、锦绣黄桃、湖景蜜露水蜜桃为试材,均采用菌数为 $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL 的菌液进行处理。先采用 75% 的乙醇对桃果表面进行消毒,晾干后用打孔器在果实表层切取深 3 mm、直径 6 mm 的果皮块,在孔洞内接种生防菌菌液 50 μ L,对照组果实孔洞内注射无菌水。1 d 后再接种直径 6 mm 的桃褐腐菌和根霉菌菌丝块。每处理重复 3 次,每重复 10 个桃果,试验桃果置于 25℃,相对湿度 80%~95% 条件下贮存,每天检查 1 次,记录开始发病时间并测量病斑直径。

1.2.6 D44 和 W10 对桃果实贮藏特性和品质的影响 选择成熟度一致、大小均一、无病虫害、无机械损伤的沪油桃 018、湖景蜜露水蜜桃为试材,分别用菌数为 $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL 的 W10 和 D44 菌液均匀喷洒于果实表面,静止 5 min,对照组果实喷洒无菌水。晾干后桃果于 25℃、相对湿度 80%~95% 的条件下贮藏,每 2 d 分别对果实失重率、腐烂率、硬度、可溶性固形物含量和挥发性物质进行测定。

1.2.7 测定方法

(1) 抑制率:按式(1)计算。

$$C = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

C——抑制率,%;

S_0 ——对照组果斑面积,cm²;

S_1 ——处理组果斑面积,cm²。

(2) 失重率:按式(2)计算,每处理 15 个果实,设 3 次重复。

$$X = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

X——失重率,%;

M_0 ——初始质量,g;

M_1 ——调查时质量,g。

(3) 腐烂率:按式(3)计算,每处理 15 个果实,设 3 次重复。

$$Y = \frac{N_0 - N_1}{N_0} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

Y——腐烂率,%;

N_0 ——初始果数,个;

N_1 ——好果数,个。

(4) 果实硬度:根据周慧娟等^[2]的方法采用质构仪测定,每次随机取 15 个果实进行测定。

(5) 可溶性固形物:在果实缝合线左右赤道部位对称部位取汁,用手持阿贝折光仪测定未经稀释的汁液可溶性固形物含量,每次随机取 20 个果实进行测定。

(6) 电子鼻传感器响应值:使用 PEN3.5 型便携式电子鼻,根据严娟等^[29]的方法进行测定,检测时间为 240 s,取 168~170 s 处 1~3 个稳定信号作为分析的时间点。每个样品重复测定 3 次。结果以绝对数值表示。

1.4 数据处理

采用 SPSS 18.0、Excel 2010 和 Pegasus 13.0 软件进行数据处理,并进行显著性分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 3 种生防菌对桃采后致病菌的拮抗作用

由表 1 可知,贝莱斯芽孢杆菌 D44 和地衣芽孢杆菌 W10 对粉红聚端孢霉、青霉菌、镰刀菌、褐腐菌、灰霉菌、交链孢霉、根霉菌 7 种病原菌均有显著的拮抗作用,进一步说明了芽孢杆菌抗逆性强、广谱性强的特点^[30]。地衣芽孢杆菌^[6]、枯草芽孢杆菌^[17]和解淀粉芽孢杆菌^[10]在采后桃果褐腐病的防治上有一定的报道,但不同芽孢杆菌对采后致病菌的抑制效果和抑菌机理不同。枯草芽孢杆菌 A9 仅对粉红聚端孢霉有显著拮抗作用,对其他病原菌的拮抗作用较弱;贝莱斯芽孢杆菌 D44 和地衣芽孢杆菌 W10 对其中病原菌均有较强的抑制作用。说明贝莱斯芽孢杆菌 D44 和地衣芽孢杆菌 W10 具有防治桃采后主要病原菌,尤其是桃褐腐菌、根霉菌的潜力。因此,以 D44 和 W10 菌液为保鲜剂,开展活体功能验证和防腐保鲜研究。

表 1 3 种生防菌对病原菌的拮抗效果

Table 1 Antagonistic effect of D44, W10 and A9 on seven pathogenic bacteria

病原菌	拉丁名	W10	D44	A9
粉红聚端孢霉	<i>Trichothecium roseum</i>	✓	✓	✓
青霉菌	<i>Penicillium</i>	✓	✓	较弱
镰刀菌	<i>Fusarium</i>	✓	✓	较弱
褐腐菌	<i>Monilinia fruticola</i>	✓	✓	较弱
灰霉菌	<i>Botrytis cinerea</i>	✓	✓	较弱
交链格胞霉	<i>Alternaria</i>	✓	较弱	较弱
根霉菌	<i>Rhizopus stolonifer</i>	✓	✓	较弱

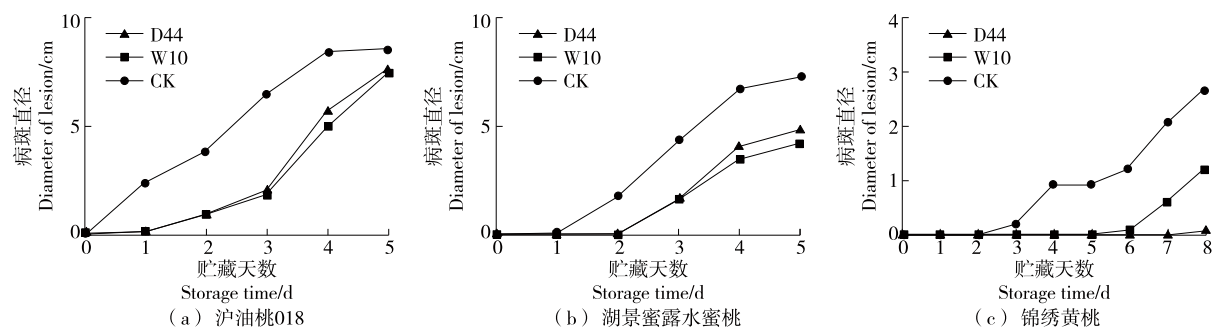


图 1 D44 和 W10 对桃褐腐菌病斑直径的抑制作用

Figure 1 Effect of D44 and W10 on diameter of *Monilinia fruticola* lesion

表 2 D44 和 W10 对桃褐腐病的抑制和发病时间的推迟作用

Table 2 Inhibition of bacterial liquid D44 and W10 on brown rot and delay of onset time

品种	处理	抑制率/%	发病时间/d	推迟时间/d
沪油桃 018	D44 菌液	89.58±6.33	3	2
	W10 菌液	91.89±9.39	3	2
	对照		1	
湖景蜜露水蜜桃	D44 菌液	86.83±7.12	3	2
	W10 菌液	84.90±6.58	3	2
	对照		1	
锦绣黄桃	D44 菌液	98.13±5.32	4	2
	W10 菌液	98.61±6.19	4	2
	对照		2	

由图 2 和表 3 可知,接种根霉菌后,贮藏第 6 天,对照组沪油桃 018、湖景蜜露水蜜桃和锦绣黄桃果实的病斑直径分别为 5.49、2.87、1.20 cm,说明沪油桃 018 最易染根霉菌,湖景蜜露水蜜桃和锦绣黄桃较抗根霉菌引起的软腐病;与对照组相比,接种 D44 可显著降低果实的病斑直径,并使沪油桃 018、湖景蜜露水蜜桃和锦绣黄桃软腐病

2.2 D44 和 W10 对油桃、水蜜桃和黄桃褐腐菌和根霉菌的抑制作用

由图 1 和表 2 可知,接种褐腐菌后,常温(25℃)贮藏第 3 天,对照组沪油桃 018、湖景蜜露水蜜桃和锦绣黄桃果实的病斑直径分别为 6.47、4.38、0.06 cm,说明沪油桃 018 最易染褐腐菌,其次是湖景蜜露水蜜桃,锦绣黄桃较抗褐腐;D44 和 W10 菌液处理均可显著抑制 3 种类型桃果实的褐腐菌病斑直径,随着贮藏时间的延长,抑制作用减弱,说明芽孢杆菌抑菌效果的稳定性是未来需要攻克的技术关键。与对照组相比,接种 D44 可使沪油桃 018 和湖景蜜露水蜜桃和锦绣黄桃果实褐腐病的发病时间延缓 2 d,抑制率高达 85%~99%,效果显著,说明 D44 菌株具有防治桃褐腐病的潜力,与刘悦^[31]对鹰嘴桃的研究结果一致。

的发病时间分别推迟 3、3、4 d,抑病率高达 87.61%~99.82%,与陈雨诗^[32]对樱桃的研究结果一致。除此之外,贝莱斯芽孢杆菌在芒果炭疽病^[26]、魔芋软腐病^[27]和番茄灰霉病^[28]上亦具有较好的防治效果。

2.3 D44 和 W10 对果实接种褐腐菌和根霉菌后电子鼻传感器响应值的影响

基于 PCA 分析(图 3),接种褐腐菌后的对照组沪油桃

表 3 D44 和 W10 对根霉菌的抑制和发病时间的推迟作用[†]Table 3 Inhibition of bacterial liquid D44 and W10 on *Rhizopus* and delay of onset time

品种	处理	抑病率/%	发病时间/d	推迟时间/d
沪油桃 018	D44 菌液	87.61±2.57	5	3
	W10 菌液	93.37±4.52	5	3
	对照		2	
湖景蜜露水蜜桃	D44 菌液	89.58±4.36	4	3
	W10 菌液	69.37±3.98	4	3
	对照		1	
锦绣黄桃	D44 菌液	99.82±9.03	8	4
	W10 菌液	98.73±8.69	6	2
	对照		4	

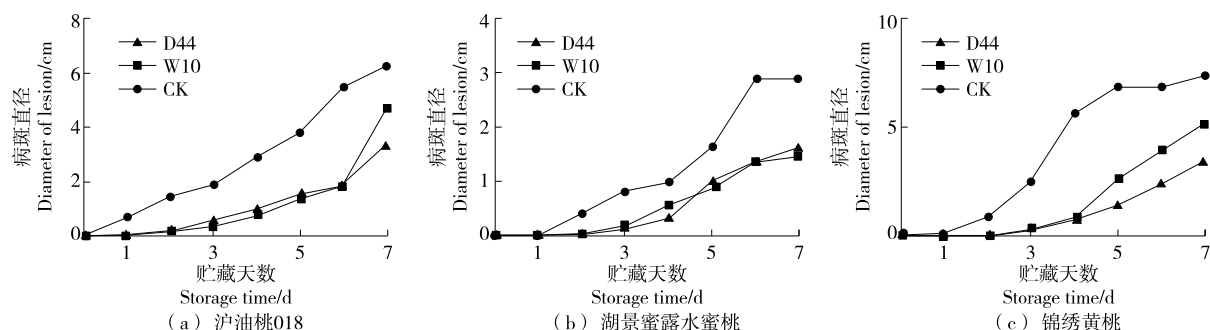


图2 D44和W10对根霉菌病斑直径的抑制作用

Figure 2 Effect of D44 and W10 on diameter of *Rhizopus* lesion

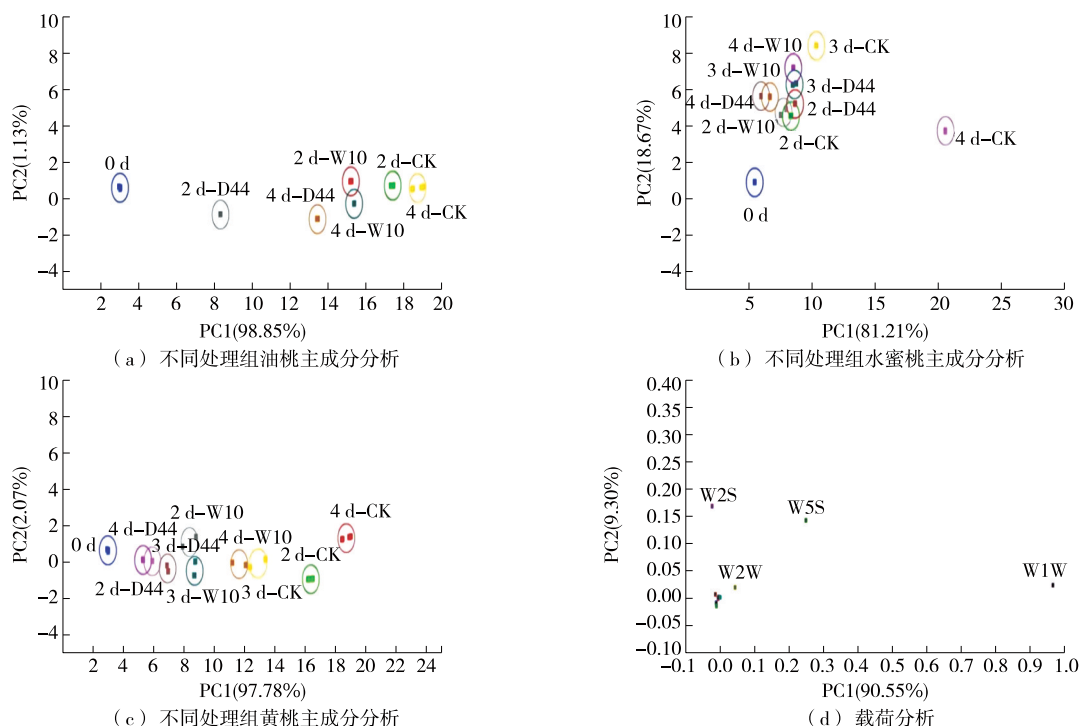


图3 接种褐腐菌后不同处理组果实电子鼻传感器响应值的主成分分析

Figure 3 Principal component analysis of electronic nose sensor response values in different treatment groups inoculated with brown rot fungus

018、湖景蜜露水蜜桃和锦绣黄桃的电子鼻传感器响应值随着贮藏时间的延长有显著的改变;第一主成分贡献率分别为 98.85%, 81.21%, 97.03%, 第二主成分贡献率为 1.13%, 18.67%, 2.80%, 总贡献率为 99.57%, 说明提取的果实气味信息较完全, 可用于桃采后病害的监测^[33]。对照组接种褐腐菌后, 贮藏 0, 2, 4 d 的沪油桃 018, 贮藏 0, 2, 3, 4 d 的湖景蜜露水蜜桃, 以及贮藏 0, 2, 3, 4 d 的锦绣黄桃的挥发性物质能够被完全区分, 说明褐腐病可导致桃果实的气味发生显著变化, 但具体的特征性物质组分需进一步研究。PCA 显示(图 4), 接种根霉菌后的对照组油桃、水蜜桃和黄桃果实的电子鼻传感器响应值气味随着贮藏时间的延长发生改变, 贮藏 0, 7 d 的沪油桃 018, 贮藏

0, 4, 6 d 的湖景蜜露水蜜桃, 以及贮藏 0, 6, 10 d 的锦绣黄桃的气味差异较大, 能够被完全区分开, 但由根霉菌致病引起的果实气味变化的时间点晚于褐腐菌致病引起的, 其具体机理需进一步研究。

电子鼻技术还可用于果实贮藏性能的区分, 马淑凤等^[34]利用电子鼻对贮藏 0, 1~3, 4~6 d 的水蜜桃进行了有效区分; 张鹏等^[35]利用电子鼻对不同货架期的苹果挥发性成分进行检测, 可以准确判别常温不同货架期的苹果; 周慧娟等^[36]利用电子鼻对低温贮藏条件下 3 个砂梨品种挥发性物质进行了有效区分, 可判别低温贮藏下不同品种的梨果实, 预测安全贮藏期。贮藏期间, 经 D44 和 W10 处理后接种褐腐菌的 3 种类型桃果实的气味较为相近(见

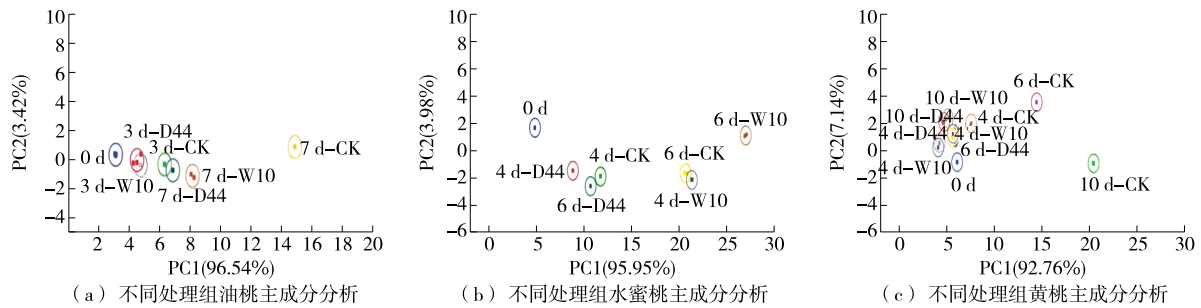


图4 接种根霉菌后不同处理组果实电子鼻传感器响应值的主成分分析

Figure 4 Principal component analysis of electronic nose sensor response values in different treatment groups inoculated with *Rhizopus*

图3),说明其可抑制褐腐菌导致果实产生异味。其中,贮藏第4天,D44处理组的3种类型桃果实的挥发性气体与初始值无显著性差异,与其可显著抑制果实病斑直径、腐烂变质的结论一致。贮藏期间,经D44处理后接种根霉菌的3种类型桃果实的挥发性气体与初始值无显著性差异(见图4),说明其可抑制根霉菌导致果实产生异味。后续将选择较易染褐腐菌和根霉菌的沪油桃018和湖景蜜露水蜜桃进行保鲜研究。

2.4 D44和W10对油桃和水蜜桃防腐保鲜效果的影响

由图5和图6可知,整个贮藏期间,对照组沪油桃018和湖景蜜露水蜜桃果实失重率和腐烂率呈急剧上升趋势。D44和W10处理均可显著抑制果实失水和腐烂,两个处理组间的失重率无显著性差异,但D44处理组的沪油桃018果实腐烂率显著低于W10处理组的。贮藏第8天,D44处理组沪油桃018和湖景蜜露水蜜桃果实腐烂率仅为5.56%和11.11%,显著低于对照组果实的,进一步

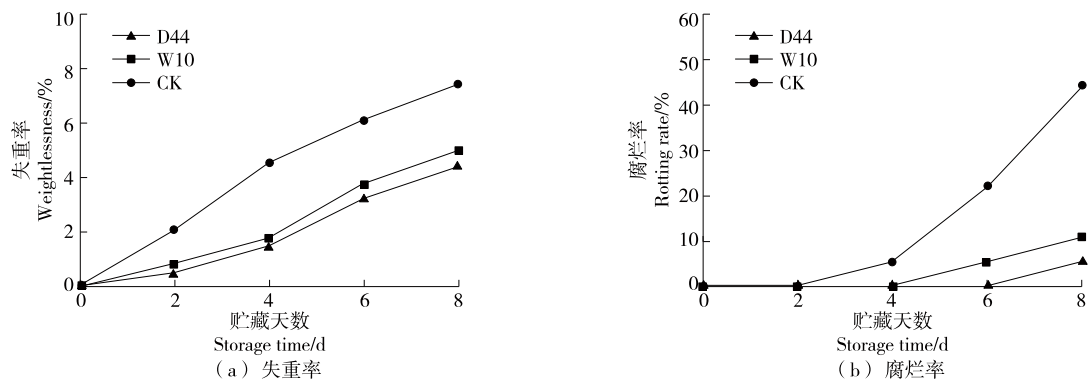


图5 沪油桃018果实失重率和腐烂率的变化

Figure 5 Changes in weight loss rate and decay rate of Hu nectarine 018

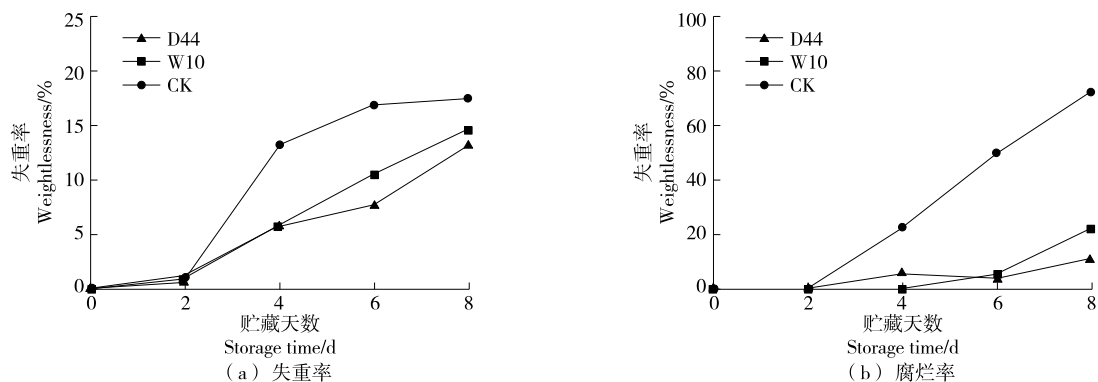


图6 水蜜桃果实失重率和腐烂率的变化

Figure 6 Changes in weight loss and decay rate of honey peach

证实了贝莱斯芽孢杆菌的抑菌特性。由图 7 和图 8 可知, D44 和 W10 处理对沪油桃 018 和湖景蜜露水蜜桃果实带

皮硬度和果肉组织硬度均无显著性影响,但可有效抑制贮藏后期(4~6 d)两种果实可溶性固形物含量的下降。

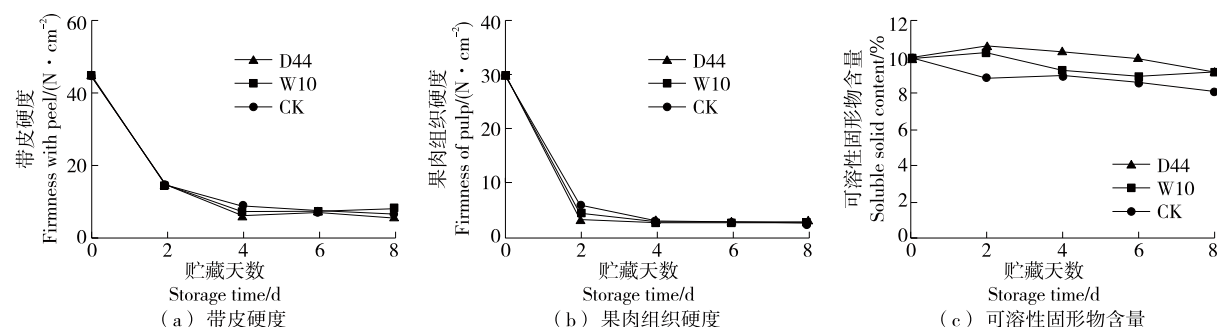


图 7 油桃果实硬度和可溶性固形物含量的变化

Figure 7 Changes in firmness and soluble solid content of nectarine

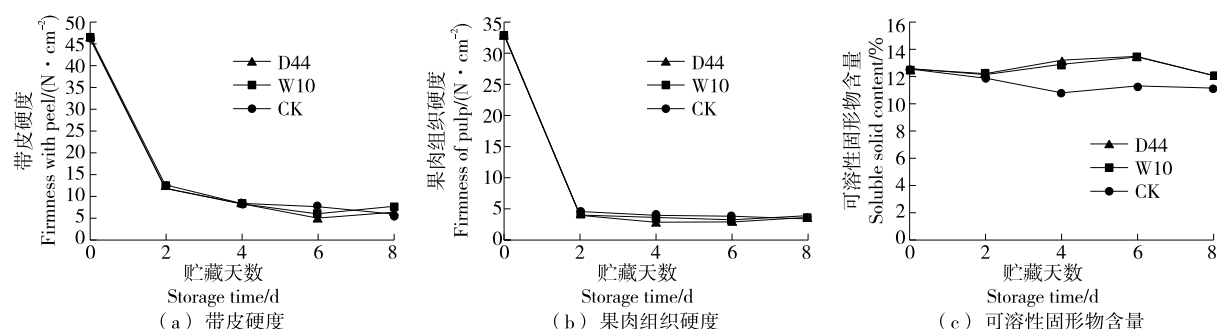


图 8 水蜜桃果实硬度和可溶性固形物含量的变化

Figure 8 Changes in firmness and soluble solid content of honey peach

结合果实失重率、腐烂率、果实硬度和可溶性固形物含量的变化,得出:D44处理组的沪油桃 018果实常温安全贮藏保鲜期和流通期可达 6~8 d,较对照组果实延长 4~6 d,腐烂率低于 5%,失重率低于 4.5%,果实可溶性固形物下降率控制在 8%以内;湖景蜜露水蜜桃果实常温安全贮藏保鲜期和流通期可达 4~6 d,较对照组延长 2~4 d,腐烂率低于 8%,失重率低于 8%,果实可溶性固形物下降率控制在 4%以内,商品和食用价值高。

3 结论

贝莱斯芽孢杆菌 D44 对桃采后褐腐菌、根霉菌、灰霉菌、青霉菌、镰刀菌有较强的拮抗作用,能延缓果实发病时间。贝莱斯芽孢杆菌 D44 可使接种褐腐菌和根霉菌的沪油桃 018 和湖景蜜露水蜜桃果实的发病时间分别均较对照组果实延缓 2, 3 d, 抑制率高达 85%~99%, 87.61%~99.82%。接种褐腐菌和根霉菌后,对照组沪油桃 018、湖景蜜露水蜜桃和锦绣黄桃果实的电子鼻传感器响应值均发生了显著性变化,根霉菌致腐引起的果实电子鼻传感器响应值变化的时间点晚于褐腐菌致腐引起的,其具体机理有待进一步研究;贝莱斯芽孢杆菌 D44 可显著抑制接种后病原菌后电子鼻传感器响应值的变化,说明贝莱斯芽孢杆菌

D44 可显著抑制贮藏期间腐败物质的滋生,基于电子鼻技术可预测桃果实贮藏期间的挥发性物质变化。

贝莱斯芽孢杆菌 D44 可使沪油桃 018 和湖景蜜露水蜜桃果实常温安全贮藏期分别延长至 6~8, 4~6 d, 腐烂率分别低于 5%, 8%, 失重率分别低于 4.5%, 8%, 但对果实硬度和可溶性固形物含量均无显著性影响。贝莱斯芽孢杆菌 D44 可显著抑制果实采后褐腐菌和根霉菌的发病速率,又可较好地保持果实贮藏品质、延长保鲜期,可作为生物防治用于桃采后及生长期的病害防治,后期将继续对其使用方法和配套技术进行系统性研究。

参考文献

- [1] 王力荣. 中国桃品种改良历史回顾与展望[J]. 果树学报, 2021, 38(12): 2 178-2 195.
WANG L R. History and prospect of peach breeding in China [J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(12): 2 178-2 195.
- [2] 周慧娟, 叶正文, 张夏南, 等. 1-MCP 处理结合不同低温条件对水蜜桃风味质地及生理的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 139-146.
ZHOU H J, YE Z W, ZHANG X N, et al. Effect of 1-MCP combined with low temperature storage on flavor, texture and physiology of honey peach[J]. Food & Machinery, 2022, 38(3): 139-146.

- 139-146.
- [3] 肖烟云, 张婷婷, 林丽莎, 等. 中国桃果实采后生理和病害研究进展[J]. 包装与食品机械, 2014, 32(3): 45-51.
- XIAO Y Y, ZHANG T T, LIN L S, et al. Advances in the studies on post-harvest physiology and post-harvest disease of Chinese peach fruit[J]. Packaging and Food Machinery, 2014, 32(3): 45-51.
- [4] 张丽勃, 李雄伟, 石大艳, 等. 上海地区桃果实腐烂病原菌分离及鉴定[J]. 上海农业学报, 2022, 38(1): 6-12.
- ZHANG L Q, LI X W, SHI D Y, et al. Isolation and identification of pathogen causing peach fruit decay in Shanghai [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2022, 38(1): 6-12.
- [5] 吴祺媛. 桃采后病害病原菌鉴定及麝香霉 VOCs 对其的防治 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2023: 3-4.
- WU Q Y. Identification of peach postharvest disease pathogens and effects of muscodor VOCs on them[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2023: 3-4.
- [6] 纪兆林, 贺惠文, 周慧娟, 等. 地衣芽孢杆菌 W10 及其抗菌蛋白对桃褐腐病的抑制作用[J]. 园艺学报, 2015, 42(10): 1 879-1 888.
- JI Z L, HE H W, ZHOU H J, et al. Preservative effects of *Bacillus licheniformis* W10 and its antifungal protein on storage peach fruits [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(10): 1 879-1 888.
- [7] 张丽勃, 周慧娟, 方献平, 等. 不同时期水蜜桃果实中真菌群落多样性[J/OL]. 分子植物育种. (2022-11-16) [2024-07-08]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.5.20221115.1749.010.html>.
- ZHANG L Q, ZHOU H J, FANG X P, et al. High-throughput sequencing on fungal diversity in honey peach fruit at different ripening stage[J/OL]. Molecular Plant Breeding. (2022-11-16) [2024-07-08]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.5.20221115.1749.010.html>.
- [8] 周慧娟, 乔勇进, 张绍铃, 等. 低温减压对大团蜜露水蜜桃软化及膜伤害生理的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(4): 802-807.
- ZHOU H J, QIAO Y J, ZHANG S L, et al. Effects of low temperature and hypobaric on softening and membrane injury physiology of datuanmilu peach[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 26(4): 802-807.
- [9] WANG K, ZHU G, LI Y L, et al. Non-thermal effects of microwave irradiation alleviates postharvest chilling injury of peach fruit by retarding phenolic accumulation and enhancing membrane stability[J]. Food Chemistry, 2023, 411: 135448.
- [10] LIU H R, HE H, LIU C X, et al. Changes of sensory quality, flavor-related metabolites and gene expression in peach fruit treated by controlled atmosphere (CA) under cold storage[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(13): 7 141.
- [11] 贺惠文, 孙黎平. 地衣芽孢杆菌 W10 菌液和抗菌蛋白对桃果实贮藏保鲜效果的影响[J]. 亚热带植物科学, 2020, 49(5): 340-344.
- HE H W, SUN L P. Preservative effects of *Bacillus licheniformis* W10 and its antifungal protein on storage of peach fruits[J]. Subtropical Plant Science, 2020, 49(5): 340-344.
- [12] SHARMA R R, SINGH D, SINGH R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: a review[J]. Biological Control, 2009, 50: 205-221.
- [13] 邹曼, 陈雨诗, 许春艳, 等. 生防芽孢杆菌对果蔬采后病害防治的研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 488-495.
- ZOU M, CHEN Y S, XU C Y, et al. Research progress of *Biocontrol bacillus* on postharvest diseases of fruits and vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 488-495.
- [14] 刘小玉, 付登强. 解淀粉芽孢杆菌在农业生产中的应用[J]. 中国果菜, 2022, 42(8): 81-84.
- LIU X Y, FU D Q. Application in agricultural production of *Bacillus amyloliquefaciens*[J]. China Fruit and Vegetable, 2022, 42(8): 81-84.
- [15] 夏丽娟, 梁竟宇, 李靖, 等. 贝莱斯芽孢杆菌对烟草白粉病的毒力与防效及对烟草的安全性评价[J]. 农药科学与管理, 2022, 43(7): 31-36.
- XIA L J, LIANG J Y, LI J, et al. Toxicity and field efficacy of *Bacillus velezensis* against tobacco powdery mildew and safety evaluation to tobacco[J]. Pesticide Science and Administration, 2022, 43(7): 31-36.
- [16] YÁÑEZ-MENDIZÁBAL V, ZERIOUH H, VIÑAS I, et al. Biological control of peach brown rot (*Monilinia* spp.) by *Bacillus subtilis* CPA-8 is based on production of fengycin-like lipopeptides[J]. European Journal of Plant Pathology, 2012, 132: 609-619.
- [17] 范青, 田世平, 李永兴, 等. 枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*) B-912 对采后柑桔果实青、绿霉病的抑制效果[J]. 植物病理学报, 2000, 30(4): 343-348.
- FAN Q, TIAN S P, LI Y X, et al. Postharvest biological control and green mold and blue mold of citrus fruits by *Bacillus subtilis*[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2000, 30(4): 343-348.
- [18] 丁从文, 韦罗晴, 马忠璇, 等. 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 W C, WEI L Q, MA Z X, et al. 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.
- [19] ZHOU T, SCHNEIDER K E, LI X Z. Development of biocontrol agents from food microbial isolates for controlling post-harvest peach brown rot caused by *Monilinia fructicola* [J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 126: 180-185.
- [20] LIU J, ZHOU T, HE D, et al. Functions of lipopeptides bacillomycin and fengycin in antagonism of *Bacillus*

- amyloliquefaciens* C06 towards *Monilinia fruticola*[J]. Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology, 2011, 20(1): 43-52.
- [21] 王雅歆, 颜菲, 李建龙. 3 种拮抗酵母菌组合处理对水蜜桃贮藏品质的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(7): 173-180.
WANG Y X, YAN F, LI J L. Effects of three antagonistic yeasts treatment on the storage quality of honey peach[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(7): 173-180.
- [22] 朱晶凤, 高玉侠, 李习冉, 等. 杰米拉类芽孢杆菌 W51 对桃果实采后病害防治及保鲜效果研究[J]. 中国果菜, 2022, 42(11): 6-14.
ZHU J F, GAO Y X, LI X R, et al. Biocontrol and preservation effect of *paenibacillus jamilae* W51 on postharvest disease of peach fruit[J]. China Fruit and Vegetable, 2022, 42(11): 6-14.
- [23] 侯旭, 关伟, 胡晓, 等. 桃树根部内生真菌 ZJ-4 的分离鉴定及其对桃褐腐病的抑制效果[J]. 微生物学杂志, 2018, 38(2): 63-69.
HOU X, GUAN W, HU X, et al. Isolation and identification of *Endophytic Fungus* ZJ-4 from peach roots and its inhibitory effect against *Monilinia fruticola*[J]. Journal of Microbiology, 2018, 38(2): 63-69.
- [24] 袁雪, 侯旭, 胡晓, 等. 桃褐腐病拮抗细菌的筛选、鉴定及生防作用[J]. 北京农学院学报, 2018, 33(4): 7-13.
YUAN X, HOU X, HU X, et al. Screening and identification of antagonistic bacteria and its control effect against the peach brown rot[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2018, 33(4): 7-13.
- [25] 杨海清, 赵筱萌, 赵晓燕, 等. 桃树根际拮抗细菌 CE 抑菌物质对桃褐腐病菌的抑制作用和稳定性研究[J]. 果树学报, 2011, 28(2): 204-208.
YANG H Q, ZHAO Y M, ZHAO X Y, et al. Antifungal mechanism against *Monilinia fruticola* and stability of the antagonistic substance from *Bacterium strain* CE[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(2): 204-208.
- [26] 杨苑, 郭永福, 唐浩智, 等. 云南芒果采后炭疽病原菌的鉴定及室内生防菌的筛选[J]. 生物技术进展, 2020, 10(4): 371-377.
YANG Y, GUO Y F, TANG H Z, et al. Identification of pathogen responsible for *Anthraco* disease of postharvest mango in yunnan province and its biocontrol bacterium laboratory screening[J]. Current Biotechnology, 2020, 10(4): 371-377.
- [27] 崔双, 陈昌龙, 冯佳豪, 等. 魔芋软腐病致病菌 *Pectobacterium aroidearum* 的特征及贝莱斯芽孢杆菌的生防效果[J]. 中国蔬菜, 2021(3): 83-93.
CUI S, CHEN C L, FENG J H, et al. Characterization of *Pectobacterium aroidearum* causing konjac soft rot and biocontrol effect of *Bacillus velezensis*[J]. China Fruit and Vegetable, 2021(3): 83-93.
- [28] XU Y, WANG L L, LIANG W X, et al. Biocontrol potential of endophytic *Bacillus velezensis* strain QSE-21 against postharvest grey mould of fruit[J]. Biol Contr, 2021, 161: 104711.
- [29] 严娟, 张明昊, 蔡志翔, 等. 需冷量和需热量差异对桃花叶物候进程的影响[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(5): 1 281-1 292.
YAN J, ZHANG M H, CAI Z X, et al. Effects of chilling and heat requirement differences between peach floral bud and leaf bud on their phenological process[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(5): 1 281-1 292.
- [30] 刘雪峰, 袁项成, 向莘苇, 等. 芽孢杆菌防控柑橘采后病害的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(7): 10-14.
LIU X F, YUAN X C, XIANG P W, et al. Research progress on controlling citrus postharvest diseases by *Bacillus*[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2024, 52(7): 10-14.
- [31] 刘悦. 贝莱斯芽孢杆菌 zk1 的分离、全基因组测序及其感染鹰嘴桃的采后代谢组学研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2020: 21-22.
LIU Y. Isolation and whole genome sequencing of *Bacillus velezensis* zk1 and metabolomics study of the strain infecting postharvest olecranon peach[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2020: 21-22.
- [32] 陈雨诗. 贝莱斯芽孢杆菌的抑菌特性以及对甜樱桃果实采后软腐病的生防效果[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020: 11-15.
CHEN Y S. The bacteriostasis of *Bacillus velezensis* and its effect on postharvest soft rot of sweet cherry[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020: 11-15.
- [33] PAN L Q, ZHANG W, ZHU N, et al. Early detection and classification of pathogenic fungal disease in post-harvest strawberry fruit by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Research International, 2014, 62: 162-168.
- [34] 马淑凤, 王周平, 丁占生, 等. 应用电子鼻技术对水蜜桃储藏期内品质变化的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(3): 390-394.
MA S F, WANG Z P, DING Z S, et al. Study on the quality of juicy peaches during store using an electronic nose[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2010, 29(3): 390-394.
- [35] 张鹏, 李江阔, 陈绍慧. 基于电子鼻判别富士苹果货架期的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 272-276.
ZHANG P, LI J K, CHEN S H. Discrimination of Fuji apples shelf life by electronic nose[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(5): 272-276.
- [36] 周慧娟, 叶正文, 曾思懿, 等. 砂梨品种果实冷藏期间质地及品质差异性评价[J]. 食品与机械, 2023, 39(1): 125-131.
ZHOU H J, YE Z W, ZENG S Y, et al. Evaluation on fruit texture and quality of different pear varieties during cold storage[J]. Food & Machinery, 2023, 39(1): 125-131.