

不同包装方式下海藻刺激素对冷藏甜樱桃‘雷尼’贮藏品质的影响

支欢欢^{1,2} 代慧敏^{1,2} 董宇^{1*}

(1. 青海大学农林科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海省农业有害综合治理重点实验室, 青海 西宁 810016)

摘要: 为研究海藻刺激素(seaweed biostimulant, BIO)和包装方式对青海高原地区所产甜樱桃‘雷尼’(*Prunus avium* L. Rainier)的影响, 分析了在不同质量浓度BIO结合聚乙烯(PE)袋或气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)处理下, 甜樱桃冷藏(0 °C)4周和6周后袋内气体成分、果实品质、生理病害、膜质过氧化程度、抗氧化物质、抗氧化活性以及感官品质的变化。结果表明, 冷藏6周后, 无论是对照组还是BIO处理组, PE袋中的O₂体积分数、CO₂体积分数与大气环境一致; 但MAP处理可降低袋中的O₂体积分数, 同时升高CO₂体积分数, 在2.5、5.0、10.0 g/L的BIO结合MAP处理下, 袋中O₂体积分数和CO₂体积分数在冷藏第6周时分别为7.13%~7.30%和8.67%~9.40%, 有效抑制了果实呼吸作用。此外, 2.5 g/L BIO结合MAP处理可显著延缓冷藏6周后果实硬度、果梗拉力和可滴定酸质量分数的下降, 抑制失重率、腐烂率、果梗褐变率、果面凹陷指数及丙二醛质量摩尔浓度的增加, 维持较高的总酚质量分数、总黄酮质量分数和抗氧化活性, 并保留较好的质地、酸度、甜度和风味。为有效延长甜樱桃‘雷尼’贮藏寿命和维持其品质, 应将采后果实立即用含有2.5 g/L BIO的0 °C蒸馏水浸泡并结合MAP处理, 在冷藏6周内销售, 该处理方式下果实的品质、抗氧化特性和口感俱佳。

关键词: 甜樱桃; 海藻刺激素; 气调包装; 抗氧化能力

Effect of Seaweed Biostimulant on Storage Quality of ‘Rainier’ Sweet Cherries During Cold Storage Under Different Packing Methods

ZHI Huanhuan^{1,2} DAI Huimin^{1,2} DONG Yu^{1*}

(1. Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810016, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management, Xining 810016, China)

Abstract: This study aims to investigate the effects of seaweed biostimulant (BIO) and packaging materials on ‘Rainier’ sweet cherries produced from the Qinghai Plateau region. The gas composition in bags, fruit quality, physiological disorders, membrane peroxidation, antioxidant substances, antioxidant activity, and sensory quality were analyzed after the fruits were treated with different mass concentrations of BIO combined with polyethylene (PE) bags or modified atmosphere packaging (MAP) during cold storage at 0 °C for 4 and 6 weeks. The results showed that after 6 weeks of cold storage with or without BIO treatment, the volume fractions of O₂ and CO₂ in PE bags were equal to those in the environment, while the MAP treatment demonstrated a reduction in the O₂ volume fraction and an elevation in the CO₂ volume fraction in bags. Under the treatments of 2.5, 5.0, and 10.0 g/L BIO combined with MAP, the volume fractions of O₂ and CO₂ in the packing were 7.13%~7.30% and 8.67%~

基金项目: 青海省农林科学院创新基金项目(2022-NKY-02)。

通信作者: 董宇(1983—), 男, 博士, 助理研究员, 硕士研究生导师, 主要从事农产品贮藏与保鲜研究, E-mail: dongyu8306@hotmail.com

收稿日期: 2023-12-21 修回日期: 2024-03-12

9.40%, respectively, after 6 weeks of cold storage, which meant that the treatments inhibited the respiration of fruits. Additionally, the combinations of 2.5 g/L BIO combined with MAP significantly delayed the declines in fruit firmness, stem pull force, and titratable acids, inhibited the increases in weight loss, decay rate, stem browning rate, surface pitting index, and malondialdehyde level, and maintained high levels of total phenols and total flavonoids as well as high antioxidant activities and high sensory characteristics including texture, acidity, sweetness, and flavor during 6 weeks of cold storage. To effectively prolong the storage life and maintain the quality of ‘Rainier’ sweet cherries. The postharvest fruits should be immediately soaked in 0 °C distilled water containing 2.5 g/L BIO, packed with MAP, and sold within 6 weeks. The cherries treated according to this protocol had high storage quality, antioxidant properties, and sensory quality.

Keywords: sweet cherry; seaweed biostimulant; modified atmosphere packaging; antioxidant capacity

甜樱桃‘雷尼’是黄红色甜樱桃品种,在北京、辽宁和山东等地的采收期主要集中在5~6月^[1],而青海省地处青藏高原东北部,受高海拔、气候等因素的影响,当地种植的甜樱桃‘雷尼’开花晚、生育期长,采收期主要集中在7月上旬。虽然果实的生育期延长了,但受紫外线、昼夜温差等因素的影响,所生产的甜樱桃色泽深、风味足、口感极佳^[2]。然而,甜樱桃属于易变质的水果,如果采后未及时处理,则极易受到高温、干燥、致病菌侵染等的影响,造成贮藏过程中果实大量腐烂、果面皱缩暗淡、果梗褐变干枯、果肉变褐、口感发苦等^[3]。随着中国消费者对甜樱桃的需求逐年增加,如何延长青海省甜樱桃贮藏寿命,保持较好的口感,同时减少采后病害的发生,是目前青海省甜樱桃产业发展面临的瓶颈问题。

对甜樱桃进行采后预冷是目前较为普遍的处理方式,即用0 °C蒸馏水去除甜樱桃的田间热量,从而增加果实硬度,提高抵御清洗、分选及包装过程中机械损伤的能力^[4-5]。此外,在0 °C蒸馏水中加入含氯杀菌剂,如次氯酸钠、次氯酸钙等,不但能达到预冷和清洗果实表面尘土、农药的效果,而且可有效地清除致病菌^[6]。但大量使用含氯杀菌剂会造成环境污染,损害包装设备,对包装人员身体健康造成伤害,同时会造成甜樱桃果梗褐变等问题^[7-8]。因此,寻找一种环境友好型且具有抑菌效果的绿色生物制剂尤为重要。目前发现从海藻中提取的BIO在调节植物生长和发育、提高非生物胁迫耐受性以及增加植物激素活性方面发挥着重要作用^[9-10]。此外,研究发现BIO能抑制苹果贮藏过程中Jonathan褐斑病的发生^[11],延缓草莓、桃子和柠檬在贮藏程中的果实腐烂^[12]。因此,研究BIO在

甜樱桃预冷中的作用对青海的绿色有机甜樱桃输出具有重要意义。

MAP已被广泛用于甜樱桃包装^[13]。MAP通过调节袋内O₂体积分数和CO₂体积分数,能有效延缓果实衰老,减少贮藏过程中生理病害的发生,延长甜樱桃贮藏寿命^[14]。因此,在BIO商业化使用的同时也要考虑包装方式对甜樱桃果实寿命和品质的影响。作者用含不同质量浓度BIO的0 °C蒸馏水结合PE袋或MAP处理甜樱桃‘雷尼’,研究冷藏过程中袋内气体成分、果品质、生理病害、抗氧化活性以及感官品质变化,为其商业化应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

甜樱桃‘雷尼’:采自青海龙田农业开发有限公司商业化果园(青海省海东市乐都区李家壕村,北纬36°24′24″,东经102°33′20″,海拔1 992.7 m),选择大小均一、无病虫害和无机械损伤的果实。果实硬度(6.39±0.05) N,果梗拉力(5.56±0.14) N,果实直径(26.93±0.36) mm,可溶性固形物质量分数(20.64±1.15)%,在1.5 h内运回青海大学农林科学院实验室进行预冷处理(0 °C、相对湿度90%)。

BIO:商品名Stimplex[®],从*Ascophyllum nodosum*提取,由加拿大Acadian Seaplants有限公司提供;MAP包装袋(280 mm×200 mm,厚度25 μm,O₂和CO₂透过率分别为3.0×10⁻⁷、6.5×10⁻⁷ mol/(m²·s)):LifeSpan[®] L227型,澳大利亚Amcor公司;PE打孔袋(17.7 mm×188 mm,孔直径8 mm,孔距50 mm,每个袋子共计8个孔,厚度35 μm,透气率2.0%):美国Ziploc公司。

1.2 仪器与设备

硬度计:GY-4型,浙江托普仪器有限公司;拉力计:HF-300型,乐清市艾德堡仪器有限公司;榨汁机:FPP226型,德龙电器(上海)有限公司;手持数字糖度计:PAL-1型,日本Atago公司;手持数字糖酸度计:PAL-BX/ACID16型,日本Atago公司;CO₂/O₂测定仪:FW-UHQV-K531型,美国Forensics Detectors公司;高速冷冻离心机:3-30K型,德国Signa Laborzentrifugen公司;紫外可见分光光度计:T6型,北京普析通用仪器有限公司。

1.3 BIO和包装处理

将果实随机分为4组,每组果实质量为12 kg,随后放入4个60 L塑料箱,分别加入20 L的0 °C蒸馏水(对照组)以及分别含2.5、5.0、10.0 g/L BIO的0 °C蒸馏水,浸泡10 min后取出,晾干后,从各组中取一半果实装入PE袋中,另一半装入MAP袋中,每袋装1 kg,封口后置于0 °C、相对湿度90%的冷库中分别贮藏4周和6周。各处理组分别记为对照-PE组、2.5 g/L BIO-PE组、5.0 g/L BIO-PE组、10.0 g/L BIO-PE组、对照-MAP组、2.5 g/L BIO-MAP组、5.0 g/L BIO-MAP组、10.0 g/L BIO-MAP组。在各取样点,将不同预冷和包装处理后的甜樱桃移至室温(20 °C)下回温3 h,然后测定相关指标。

1.4 气体分析

采用CO₂/O₂测定仪测定不同预冷处理后PE袋和MAP袋中的O₂体积分数和CO₂体积分数,每个处理各取3袋进行测定。

1.5 果实品质和生理病害测定

1.5.1 果实硬度

采用硬度计测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合PE袋或MAP处理下的果实硬度。

1.5.2 果梗拉力

用拉力计测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合PE袋或MAP处理下的果梗拉力。

1.5.3 可溶性固形物质量分数

用手持数字糖度计测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合PE袋或MAP处理下的可溶性固形物质量分数。

1.5.4 可滴定酸质量分数

用手持数字糖酸度计测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合PE袋或MAP处理下的可溶性固形物质量分数。

1.5.5 失重率

根据式(1)计算甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合PE袋或MAP处理下的失重率。

$$L=(W_1-W_2)/W_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中:

L ——失重率,%;

W_1 ——包装入库前果实质量,g;

W_2 ——各取样点果实质量,g。

1.5.6 腐烂率

根据式(2)计算甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合PE袋或MAP处理下的腐烂率。

$$D=D_1/S \times 100\% \quad (2)$$

式中:

D ——果实腐烂率,%;

D_1 ——发病果实数量,个;

S ——果实总数量,个。

1.5.7 果梗褐变率

将果梗褐变面积占总果梗面积30%以上定义为果梗褐变果实,根据式(3)计算甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合PE袋或MAP处理下的果梗褐变率。

$$B=B_1/S \times 100\% \quad (3)$$

式中:

B ——果梗褐变率,%;

B_1 ——果梗褐变果实数量,个;

S ——果实总数量,个。

1.5.8 果面凹陷指数

根据果面凹陷斑数目和凹陷斑直径进行分级:1级,果实表面无凹陷斑;2级,果面凹陷斑数目为1~2个且直径<1 mm;3级,果面凹陷斑数目为2~3个且直径为1~<2 mm;4级,果面凹陷斑数目为3~4个且直径为2~3 mm;5级,果面凹陷斑数目>4个且直径>3 mm。根据式(4)计算甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合PE袋或MAP处理下的果面凹陷指数。

$$P=\frac{\sum(P_1 \times N)}{S} \quad (4)$$

式中:

P ——果面凹陷指数;

P_1 ——凹陷等级;

N ——发生果面凹陷的果实数量,个;

S ——总果实数量,个。

1.6 丙二醛、抗氧化物质和抗氧化活性测定

1.6.1 丙二醛质量摩尔浓度

采用硫代巴比妥酸法测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合 PE 袋或 MAP 处理下的丙二醛质量摩尔浓度^[15]。

1.6.2 总酚质量分数

采用福林酚法测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合 PE 袋或 MAP 处理下的总酚质量分数^[16]。

1.6.3 总黄酮质量分数

采用氯化铝比色法测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合 PE 袋或 MAP 处理下的总黄酮质量分数^[16]。

1.6.4 DPPH·清除能力

采用 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼法测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合 PE 袋或 MAP 处理下的 DPPH·清除能力^[16]。

1.6.5 铁离子还原能力

采用 2,4,6-三吡啶基三嗪法测定甜樱桃‘雷尼’在不同采后预冷处理结合 PE 袋或 MAP 处理下的铁离子还原能力^[16]。

1.7 感官评价

选 10 个经过培训的感官评价人员根据表 1 对不同采后预冷处理结合 PE 袋或 MAP 处理的甜樱桃‘雷尼’进行打分,取平均值^[17]。

1.8 数据统计

试验数据采用 DPS 软件进行 Fisher's LSD 单因素、双因素和三因素方差分析, $P < 0.05$ 表示差异显著,用 Excel 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 BIO 结合 PE 袋或 MAP 处理对冷藏甜樱桃‘雷尼’气体成分的影响

甜樱桃在 PE 袋中于 0 °C 冷藏的寿命仅为 4 周左右,但 MAP 可使果实寿命延长至 6 周^[18],其原因是 MAP 通过升高袋内 CO₂ 体积分数,同时降低 O₂ 体积分数来抑制果实呼吸等生理过程。Wang 等^[18] 研究不同 MAP 类型对 2 种晚熟甜樱桃‘Lapins’和‘Skeena’冷藏品质的影响,发现袋内 O₂ 体积分数控制在 6.5%~7.5%、CO₂ 体积分数控制在 8%~10% 时,果实可保持较高的贮藏品质。然而,当 MAP 袋中 O₂ 体积分数进一步降低会诱导果实

表 1 甜樱桃‘雷尼’感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of ‘Rainier’ sweet cherries

指标	评价标准	评分
外观	果面全部皱缩、无光泽	1
	果面部分皱缩、无光泽	2
	果面不光滑、无光泽	3
	果面部分光滑、部分有光泽	4
	果面光滑、有光泽	5
质地	果肉干缩、无汁	1
	果肉发软、少汁	2
	果肉略软、汁适中	3
	果肉较脆、有汁	4
	果肉质地紧密、脆、多汁	5
风味	有强烈的异味	1
	有轻微的异味	2
	无异味	3
	带有一定的香气	4
	香气浓郁	5
甜度	不甜	1
	少许甜	2
	适中	3
	甜	4
	极甜	5
酸度	不酸	1
	少许酸	2
	适中	3
	酸	4
	极酸	5

发酵,生成大量乙醇,造成伤害。由图 1 可知,冷藏 4 周和 6 周时,对照-PE 组和 BIO-PE 组的 O₂ 体积分数均为 19.20%,CO₂ 体积分数为 0.03%~0.04%,与其在大气中的体积分数无差异。但是,对照-MAP 组和 BIO-MAP 组的 O₂ 被消耗,CO₂ 大量生成。在冷藏第 4 周,对照-MAP 组的 O₂ 体积分数最低,仅为 7.07%,低于 BIO-MAP 组的 O₂ 体积分数;同时对照-MAP 组的 CO₂ 体积分数最高,为 9.40%,显著高于其他处理组($P < 0.05$)。无论是对照-MAP 组还是 BIO-MAP 组,袋中的 O₂ 和 CO₂ 均已达到文献 [18] 的最适体积分数,表明冷藏 4 周内无论 MAP 单独处理,还是与 BIO 协同处理均可通过调控袋中气体成分来延缓甜樱桃‘雷尼’的腐败。随着贮藏时间延至 6 周,所有 MAP 处理组的 O₂ 被进一步

消耗,CO₂大量生成。其中,对照-MAP组中O₂体积分数降至5.70%(低于最适体积分数),CO₂体积分数升至10.57%(高于最适体积分数),表明仅用MAP来延长果实寿命具有局限性。但是,BIO-

MAP组的O₂体积分数(7.13%~7.30%) and CO₂体积分数(8.67%~9.40%)仍维持在最适范围内,表明BIO能抑制甜樱桃贮藏过程中的呼吸,进而延长果实在MAP中的贮藏寿命。

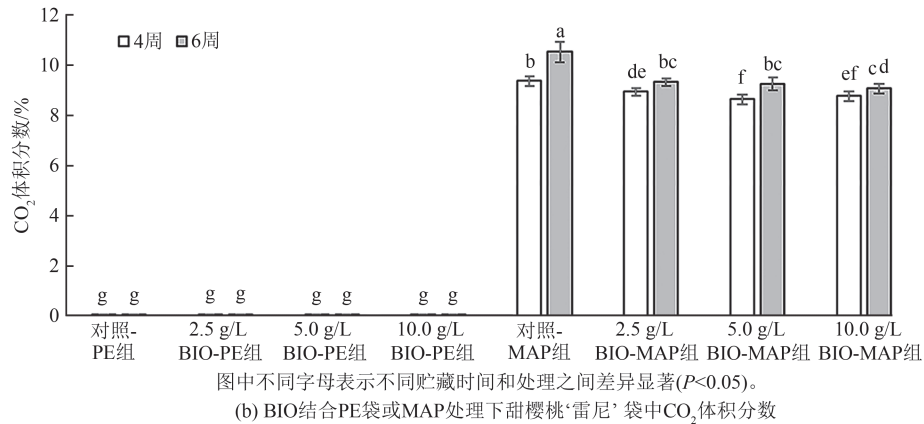
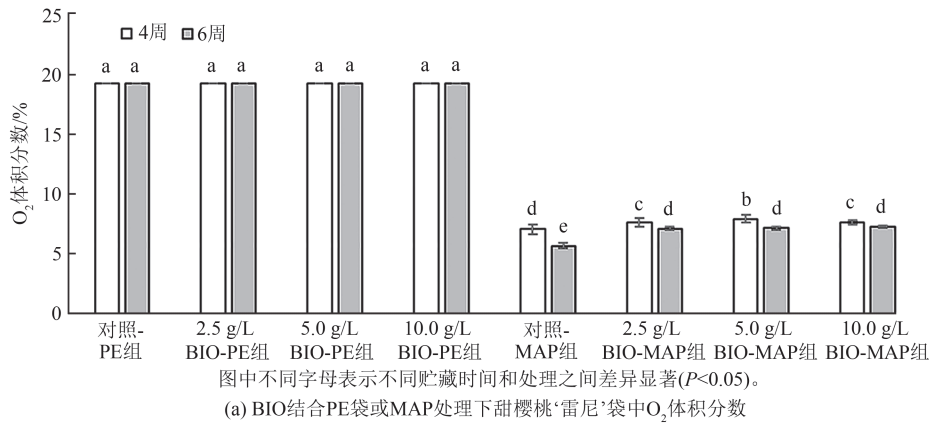


图1 BIO结合PE袋或MAP处理对冷藏甜樱桃‘雷尼’袋中O₂体积分数和CO₂体积分数的影响

Fig. 1 Effects of BIO combined with PE bags or MAP treatment on O₂ and CO₂ volume fractions in bags of ‘Rainier’ sweet cherries after cold storage

2.2 BIO结合PE袋或MAP处理对冷藏甜樱桃‘雷尼’果实品质和生理病害的影响

果实硬度、果梗拉力、可溶性固形物质量分数和可滴定酸质量分数可反映甜樱桃果实的贮藏品质^[19]。由表2可知,冷藏第4周,BIO-PE组的果实硬度和果梗拉力显著高于对照-PE组($P<0.05$),但可溶性固形物质量分数在各处理间无差异。此外,2.5 g/L BIO-PE组的可滴定酸质量分数显著高于其他组($P<0.05$),表明采后BIO处理能延缓短时间冷藏过程中甜樱桃品质的下降。与PE包装处理相比,MAP处理的果实保持了较高的果实硬度、果梗拉力和可滴定酸质量分数。与对照-MAP组相比,2.5 g/L BIO-MAP组和5.0 g/L BIO-MAP

组的果实硬度和可滴定酸质量分数更高且两者之间无差异。无论哪种包装方式,延长贮藏时间(至6周)可造成果实硬度、果梗拉力和可滴定酸质量分数的下降,但是2.5 g/L BIO结合PE或MAP处理均能维持较高的果实硬度、果梗拉力和可滴定酸质量分数,表明当BIO质量浓度为2.5 g/L时可延长果实贮藏时间。方差分析表明,包装方式(B)或贮藏时间(C)能显著影响果实的4个贮藏品质指标;采后预冷处理方式(A)能影响果实硬度、果梗拉力和可滴定酸质量分数,但未影响可溶性固形物质量分数,表明采后BIO处理可影响冷藏过程中甜樱桃果实品质劣变。此外,包装方式和贮藏时间(B×C)影响果实硬度、果梗拉力和可滴定

酸质量分数,表明在延长甜樱桃贮藏品质方面 MAP处理优于PE袋包装。同时,研究发现采后预冷处理方式、包装方式和贮藏时间($A \times B \times C$)能影

响可滴定酸质量分数,表明 BIO 和 MAP 结合处理对冷藏甜樱桃‘雷尼’贮藏品质的影响主要是抑制冷藏过程中果实内可滴定酸的降解。

表2 BIO结合PE袋或MAP处理对冷藏甜樱桃‘雷尼’果实品质和生理病害的影响

Table 2 Effects of BIO combined with MAP treatment on fruit quality and physiological disorders of ‘Rainier’ sweet cherries after cold storage

处理	贮藏时间/周	果实硬度/N	果梗拉力/N	可溶性固形物质量分数/%	可滴定酸质量分数/%	失重率/%	腐烂率/%	果梗褐变率/%	果面凹陷指数
对照-PE组	4	8.20±0.80 ^{de}	3.75±0.15 ^{cd}	18.65±1.22 ^{abc}	0.57±0.01 ^e	2.69±0.14 ^b	25.33±2.52 ^b	55.33±3.51 ^b	1.14±0.02 ^{gh}
2.5 g/L BIO-PE组	4	9.23±0.19 ^{abc}	4.36±0.09 ^{ab}	19.01±0.91 ^a	0.64±0.01 ^d	1.83±0.06 ^c	7.33±2.08 ^d	27.33±2.08 ^f	1.15±0.01 ^g
5.0 g/L BIO-PE组	4	8.95±0.76 ^{bc}	4.19±0.34 ^b	19.11±0.28 ^a	0.58±0.01 ^e	1.81±0.10 ^c	7.00±1.73 ^d	33.33±1.53 ^{de}	1.15±0.01 ^g
10.0 g/L BIO-PE组	4	8.95±0.25 ^{bc}	4.02±0.10 ^{bc}	18.76±0.83 ^{ab}	0.57±0.02 ^e	1.86±0.05 ^c	6.67±1.53 ^d	36.00±2.65 ^d	1.15±0.02 ^g
对照-MAP组	4	8.72±0.19 ^{cd}	4.16±0.14 ^b	18.59±0.27 ^{abc}	0.67±0.02 ^c	0.56±0.04 ^f	7.33±2.08 ^d	33.67±5.03 ^{de}	1.11±0.03 ^{gh}
2.5 g/L BIO-MAP组	4	9.69±0.17 ^a	4.57±0.42 ^a	19.19±0.38 ^a	0.73±0.01 ^a	0.16±0.01 ^g	4.00±1.00 ^d	19.67±2.08 ^g	1.10±0.01 ^{gh}
5.0 g/L BIO-MAP组	4	9.60±0.40 ^{ab}	4.14±0.38 ^b	19.11±0.15 ^a	0.71±0.02 ^{ab}	0.19±0.01 ^g	5.00±1.00 ^d	21.33±1.53 ^g	1.09±0.03 ^h
10.0 g/L BIO-MAP组	4	9.71±0.45 ^a	4.33±0.07 ^{ab}	19.14±0.78 ^a	0.70±0.02 ^{bc}	0.19±0.01 ^g	5.67±1.15 ^d	22.00±2.00 ^g	1.10±0.03 ^{gh}
对照-PE组	6	5.21±0.51 ^j	2.27±0.12 ^g	17.92±0.39 ^{bc}	0.21±0.02 ^k	3.42±0.14 ^a	36.67±2.08 ^a	65.00±2.65 ^a	1.62±0.06 ^a
2.5 g/L BIO-PE组	6	6.16±0.33 ^{hi}	3.29±0.14 ^e	18.19±0.17 ^{abc}	0.34±0.02 ⁱ	2.14±0.26 ^d	13.00±2.65 ^c	47.67±5.51 ^c	1.28±0.06 ^e
5.0 g/L BIO-PE组	6	5.11±0.19 ^j	2.69±0.28 ^f	17.94±0.37 ^{bc}	0.26±0.01 ^j	2.40±0.23 ^c	15.33±3.06 ^c	47.67±3.06 ^c	1.36±0.03 ^{cd}
10.0 g/L BIO-PE组	6	5.97±0.25 ⁱ	2.53±0.17 ^{fg}	17.68±0.60 ^c	0.25±0.02 ^j	2.23±0.21 ^{cd}	16.33±1.53 ^c	49.67±2.52 ^c	1.40±0.02 ^{bc}
对照-MAP组	6	6.72±0.13 ^{gh}	3.57±0.20 ^{de}	18.85±0.40 ^{ab}	0.40±0.02 ^h	0.68±0.04 ^f	14.33±2.08 ^c	46.00±2.65 ^c	1.41±0.02 ^b
2.5 g/L BIO-MAP组	6	7.43±0.35 ^f	4.10±0.14 ^{bc}	18.97±0.88 ^a	0.43±0.02 ^{fg}	0.22±0.02 ^g	7.33±2.31 ^d	28.67±2.52 ^{ef}	1.34±0.01 ^d
5.0 g/L BIO-MAP组	6	7.60±0.27 ^{ef}	3.99±0.34 ^{bc}	18.49±0.21 ^{abc}	0.44±0.02 ^f	0.25±0.02 ^g	6.33±2.08 ^d	29.67±1.53 ^{ef}	1.34±0.02 ^d
10.0 g/L BIO-MAP组	6	7.03±0.29 ^{fg}	4.00±0.20 ^{bc}	18.60±0.72 ^{abc}	0.41±0.01 ^{gh}	0.29±0.02 ^g	7.00±2.65 ^d	29.00±4.00 ^{ef}	1.21±0.03 ^f
$A(P)$		0	0	0.547	0	0	0	0	0
$B(P)$		0	0	0.015	0	0	0	0	0
$C(P)$		0	0	0.002	0	0	0	0	0
$A \times B(P)$		0.124	0.158	0.901	0	0	0	0.044	0
$A \times C(P)$		0.583	0.547	0.556	0.401	0.097	0.033	0.317	0
$B \times C(P)$		0	0	0.069	0	0	0	0.005	0.015
$A \times B \times C(P)$		0.142	0.235	0.967	0.042	0.204	0.298	0.056	0

注:同列不同小写字母代表不同处理组之间差异显著($P < 0.05$); A 为采后预冷处理方式; B 为包装方式; C 为贮藏时间。

无论甜樱桃品质如何,消费者挑选甜樱桃时都不太接受果实出现任何生理病害,如果面皱缩、腐烂、果梗褐变、果面凹陷等^[20]。由表2可

知,与对照-PE组相比,BIO-PE组在冷藏第4周时果实的失重率、腐烂率和果梗褐变率均显著降低($P < 0.05$),其中2.5 g/L BIO-PE组的果梗褐变率

最低,但所有处理对果面凹陷指数无显著影响($P>0.05$)。结合气体成分分析结果表明,BIO不但能抑制果实呼吸,而且对果梗呼吸也具有一定抑制作用。利用MAP可进一步降低失重率、腐烂率、果梗褐变率和果面凹陷指数。此外,与对照-MAP组相比,BIO-MAP组的失重率和果梗褐变率较低。将贮藏时间由4周延长至6周时,所有处理的失重率、腐烂率、果梗褐变率和果面凹陷指数均呈上升趋势。但是,无论是PE袋还是MAP结合BIO处理均能抑制失重率、腐烂率、果梗褐变率和果面凹陷指数的增加,表明BIO结合PE袋或MAP处理在抑制甜樱桃‘雷尼’生理病害中具有重要作用。方差分析表明,采后预冷处理方式(A)、包装方式(B)、贮藏时间(C)、采后预冷处理方式和包装方式(A×B)及包装方式和贮藏时间(B×C)均能影响这4种生理病害的发生。然而,采后预冷处理方式和贮藏时间(A×C)能影响腐烂率和果面凹陷指数;采后预冷处理方式、包装方式和贮藏时间(A×B×C)只能影响果面凹陷指数,表明BIO结合MAP处理主要影响冷藏过程中甜樱桃果面凹陷的发生,这对增加消费者购买欲起到重要作用。

2.3 BIO结合PE袋或MAP处理对冷藏甜樱桃‘雷尼’丙二醛、抗氧化物质和抗氧化活性的影响

目前已证实随贮藏时间延长,果实衰老缓慢,体内活性氧代谢失调,造成大量有害物质(如丙二醛、单线态氧、超氧阴离子、过氧化氢、

羟自由基等)生成,但果实体内的酚类物质、黄酮类物质以及相关抗氧化酶等可延缓膜质过氧化发生以及促进活性氧的清除,进而延长果实寿命^[21]。由表3可知,冷藏第4周,对照-PE组与BIO-PE组的丙二醛质量摩尔浓度无差异,总酚、总黄酮、DPPH·清除能力和铁离子还原能力均无差异;而MAP处理能显著降低丙二醛积累,同时维持果实内较高的抗氧化物质分数和抗氧化活性。其中,2.5 g/L BIO-MAP组的作用效果最为明显。冷藏第6周,与对照-PE组相比,BIO-PE组虽未影响DPPH·清除能力和铁离子还原能力,但却抑制了丙二醛积累,其中2.5 g/L BIO-PE组的果实体内保持了较高的总酚和总黄酮质量分数。与对照-MAP组相比,BIO-MAP组能进一步延缓丙二醛积累以及抗氧化物质分数和抗氧化活性的降低。虽然丙二醛、DPPH·清除能力和铁离子还原能力在不同质量浓度BIO结合MAP的处理组之间无显著差异,但2.5 g/L BIO-MAP组的果实具有较高的总酚和总黄酮质量分数,说明2.5 g/L BIO-MAP组能延缓膜质过氧化发生,维持果体内较高的抗氧化物质分数以及抗氧化活性,进而维持了较高的果实贮藏品质。由方差分析结果可知,采后预冷处理方式、包装方式和贮藏时间(A×B×C)均影响了铁离子还原能力,表明BIO结合MAP处理提高冷藏甜樱桃‘雷尼’抗氧化活性的机理主要是通过影响铁离子还原能力。

表3 BIO结合PE袋或MAP处理对冷藏甜樱桃‘雷尼’丙二醛、抗氧化物质和抗氧化活性的影响

Table 3 Effects of BIO combined with PE bags or MAP treatment on MDA, antioxidant substances, and antioxidant capacity of ‘Rainier’ sweet cherries after cold storage

处理	贮藏时间/ 周	丙二醛质量摩尔 浓度/($\mu\text{mol}/\text{kg}$)	总酚质量分数/ (mg/kg)	总黄酮质量分数/ (mg/kg)	DPPH·清除能力/ (mg/kg)	铁离子还原能 力/(mg/kg)
对照-PE组	4	2.28±0.17 ^c	702.01±33.99 ^e	393.73±23.76 ^{de}	41.80±0.95 ^{ghij}	27.43±2.78 ^{de}
2.5 g/L BIO-PE组	4	2.21±0.29 ^c	722.75±22.00 ^e	422.35±10.22 ^{cd}	47.22±2.97 ^{defg}	28.22±0.94 ^{de}
5.0 g/L BIO-PE组	4	2.40±0.36 ^{bc}	733.32±8.07 ^{fg}	422.50±16.72 ^{cd}	44.90±2.66 ^{efgh}	29.41±3.01 ^{de}
10.0 g/L BIO-PE组	4	2.32±0.19 ^c	716.10±13.98 ^e	422.85±16.67 ^{cd}	44.62±3.44 ^{efghi}	30.25±1.62 ^d
对照-MAP组	4	1.85±0.10 ^{de}	891.57±15.37 ^{bc}	443.05±27.47 ^c	61.95±9.17 ^{bc}	35.96±2.17 ^c
2.5 g/L BIO-MAP组	4	1.60±0.04 ^f	961.89±17.05 ^a	536.48±23.29 ^a	76.17±8.20 ^a	44.93±3.90 ^a
5.0 g/L BIO-MAP组	4	1.59±0.04 ^f	891.57±12.09 ^{bc}	491.62±3.97 ^b	68.92±5.45 ^{ab}	40.01±2.69 ^b
10.0 g/L BIO-MAP组	4	1.62±0.12 ^{ef}	907.94±10.94 ^b	512.44±15.24 ^{ab}	72.94±1.33 ^a	38.35±0.98 ^{bc}
对照-PE组	6	3.34±0.01 ^a	587.81±10.66 ⁱ	313.16±11.97 ^g	35.88±1.59 ^j	22.90±1.14 ^{fg}

续表

处理	贮藏时间/ 周	丙二醛质量摩尔 浓度/($\mu\text{mol}/\text{kg}$)	总酚质量分数/ (mg/kg)	总黄酮质量分数/ (mg/kg)	DPPH·清除能力/ (mg/kg)	铁离子还原能 力/(mg/kg)
2.5 g/L BIO-PE组	6	2.32±0.06 ^c	636.32±31.51 ^b	377.37±13.93 ^{ef}	37.21±5.35 ^{ij}	23.74±1.95 ^{fg}
5.0 g/L BIO-PE组	6	2.61±0.13 ^b	604.88±29.24 ^{hi}	344.16±31.41 ^{fg}	35.42±3.74 ^j	22.79±1.53 ^{fg}
10.0 g/L BIO-PE组	6	2.57±0.09 ^b	583.61±5.29 ⁱ	341.68±7.72 ^{fg}	34.67±3.01 ^j	21.79±0.62 ^g
对照-MAP组	6	2.44±0.08 ^{bc}	761.23±46.11 ^f	401.24±11.22 ^{de}	38.53±1.59 ^{hij}	36.01±1.09 ^{ef}
2.5 g/L BIO-MAP组	6	1.84±0.04 ^{def}	860.39±29.11 ^{cd}	491.25±33.09 ^b	54.80±3.52 ^{cd}	36.87±1.84 ^{bc}
5.0 g/L BIO-MAP组	6	1.85±0.05 ^{de}	800.77±13.83 ^c	442.43±30.59 ^c	51.09±4.96 ^{def}	36.46±1.70 ^c
10.0 g/L BIO-MAP组	6	1.88±0.09 ^d	835.86±8.07 ^{de}	446.64±37.05 ^c	52.35±5.89 ^{de}	36.46±2.88 ^c
A(P)		0	0	0	0	0
B(P)		0	0	0	0	0
C(P)		0	0	0	0	0
A×B(P)		0.285	0.008	0.093	0.011	0
A×C(P)		0	0.465	0.469	0.954	0.565
B×C(P)		0.387	0.202	0.111	0.000	0.901
A×B×C(P)		0.087	0.102	0.719	0.659	0.005

注：同列不同小写字母代表不同处理组之间差异显著($P < 0.05$)；A为采后预冷处理方式；B为包装方式；C为贮藏时间。

2.4 BIO结合PE袋或MAP处理对冷藏甜樱桃‘雷尼’感官评价的影响

对处理果实进行外观、质地、风味、甜度和酸度的感官评价^[22]，见图2。与MAP处理相

比，对照-PE组和BIO-PE组在冷藏第4周的风味和酸度评分较低，当贮藏时间延长至6周，质地和甜度的评分下降。与对照-MAP组相比，BIO-MAP组在冷藏第6周时外观、质地和酸度

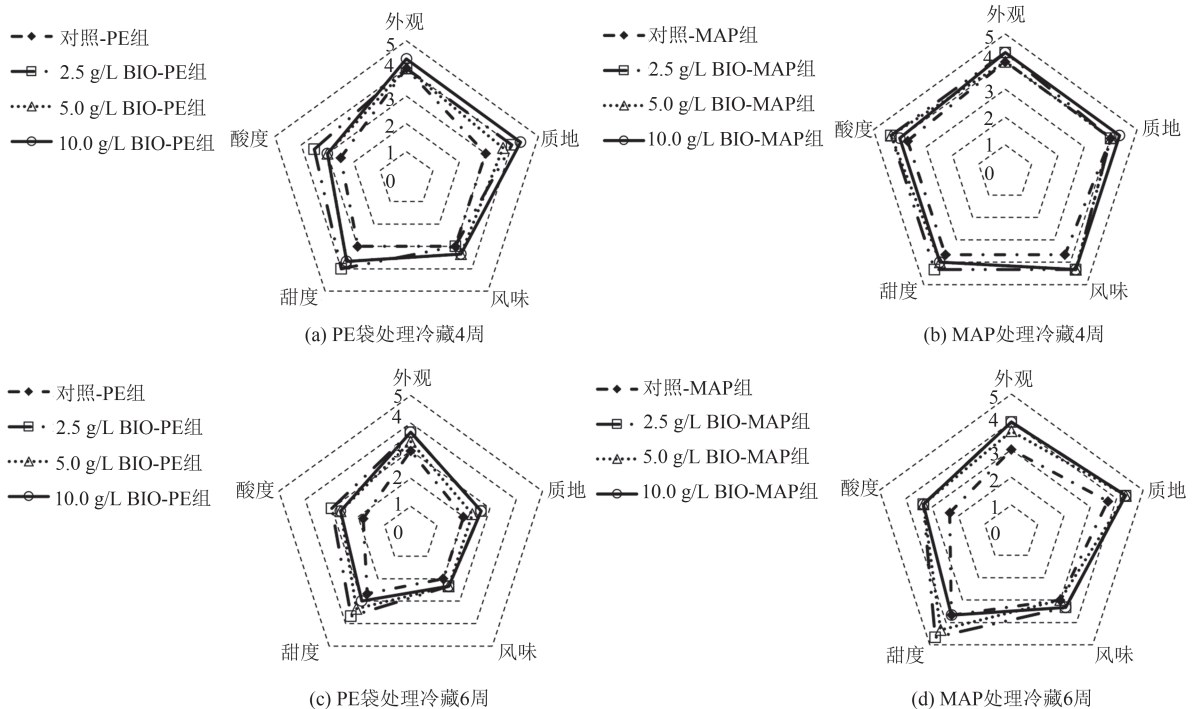


图2 BIO结合PE袋或MAP处理对冷藏4周和6周的甜樱桃‘雷尼’感官评价的影响

Fig. 2 Effects of BIO combined with PE bags or MAP treatment on sensory evaluation of ‘Rainier’ sweet cherries after 4 and 6 weeks of cold storage

方面的评分均较高,其中 2.5 g/L BIO-MAP 组保持了较高的甜度,表明 2.5 g/L BIO 结合 MAP 方式对延长冷藏甜樱桃‘雷尼’口感的效果最为显著。

3 结论

作者探讨了 2.5、5.0、10.0 g/L BIO 结合 PE 袋或 MAP 处理对延长冷藏甜樱桃品质、抑制生理病害、保持抗氧化活性和口感的影响。结果表明,2.5、5.0、10.0 g/L BIO 结合 MAP 处理可将冷藏 6 周后的袋内 O₂ 体积分数和 CO₂ 体积分数分别控制在最适范围内,且不会造成果实因缺氧发生无氧呼吸。此外,与 BIO 结合 PE 袋处理相比,BIO 结合 MAP 处理能够更好地保持较高的果实硬度、果梗拉力、可滴定酸质量分数、总酚质量分数、总黄酮质量分数、抗氧化活性以及较低的失重率、腐烂率、果梗褐变率、果面凹陷指数和丙二醛质量摩尔浓度,尤其是 2.5 g/L BIO 结合 MAP 处理。通过对各处理组冷藏果实的感官品质分析发现,2.5 g/L BIO 结合 MAP 处理的果实在保持较高甜度的基础上,还能保持较好的外观、较脆的质地和较酸的口感,有助于提高消费者的购买欲。作者后续会进一步探究 BIO 结合 MAP 处理对甜樱桃冷藏过程中代谢产物的影响,为揭示其作用机理提供参考。

参考文献

- [1] 赵慧. 不同地区甜樱桃品种果实品质性状的比较研究[J]. 农业科技通讯,2023(5):107-112.
ZHAO H. A comparative study on fruit quality traits of sweet cherry cultivars from different regions[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2023 (5) : 107-112. (in Chinese)
- [2] 马永强. 青海省甜樱桃产业发展现状及思考[J]. 青海农林科技,2016(2):49-50.
MA Y Q. The production status and thought of the sweet cherry in Qinghai Province[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2016(2) : 49-50. (in Chinese)
- [3] CORREIA S, SCHOUTEN R, SILVA A P, et al. Factors affecting quality and health promoting compounds during growth and postharvest life of sweet cherry (*Prunus avium* L.) [J]. Frontiers in Plant Science, 2017,8:2166.
- [4] 彭丽,高姗,熊思国,等. 不同预冷温度对甜樱桃果实保鲜效果的影响[J]. 包装工程,2023,44(7):104-114.
PENG L, GAO S, XIONG S G, et al. Effects of different precooling temperature on the preservation of sweet cherry [J]. Packaging Engineering, 2023, 44 (7) : 104-114. (in Chinese)
- [5] 李小娟,支欢欢,董宇. 外源次生代谢物结合冷水处理对甜樱桃贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技,2019,40(7):237-242.
LI X J, ZHI H H, DONG Y. Effects of exogenous secondary metabolites combined with hydrocooling water on quality attributes of sweet cherry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40 (7) : 237-242. (in Chinese)
- [6] WANG Y, LONG L E. Physiological and biochemical changes relating to postharvest splitting of sweet cherries affected by calcium application in hydrocooling water[J]. Food Chemistry,2015,181:241-247.
- [7] LI X J, ZHI H H, LI M, et al. Cooperative effects of slight acidic electrolyzed water combined with calcium sources on tissue calcium content, quality attributes, and bioactive compounds of ‘Jiancui’ jujube [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(1) : 184-192.
- [8] ZHI H H, DONG Y. Evaluation of integrated ultrasound and CaCl₂ in hydrocooling water on the quality of ‘Bing’, ‘Lapins’, and ‘Sweetheart’ cherries stored in modified atmosphere packaging [J]. Scientia Horticulturae, 2022, 299:111060.
- [9] KHAN W, RAYIRATH U P, SUBRAMANIAN S, et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2009,28(4):386-399.
- [10] AFONSO S, OLIVEIRA I, MEYER A S, et al. Biostimulants to improved tree physiology and fruit quality: a review with special focus on sweet cherry [J]. Agronomy, 2022, 12(3) : 659.
- [11] SOPPELSA S, KELDERER M, TESTOLIN R, et al. Effect of biostimulants on apple quality at harvest and after storage [J]. Agronomy, 2020, 10(8) : 1214.
- [12] CORATO U, SALIMBENI R, PRETIS A, et al. Antifungal activity of crude extracts from brown and red seaweeds by a supercritical carbon dioxide

- technique against fruit postharvest fungal diseases [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2017, 131: 16-30.
- [13] WARGO J M, PADILLA-ZAKOUR O I, TANDON K S. Modified atmosphere packaging maintains sweet cherry quality after harvest[J]. *New York Fruit Quarterly*, 2003, 11(2):5-8.
- [14] XING S H, ZHANG X S, GONG H S. The effect of CO₂ concentration on sweet cherry preservation in modified atmosphere packaging [J]. *Czech Journal of Food Sciences*, 2020, 38(2):103-108.
- [15] 章潇天, 张愨, 过志梅. 超声波-气调联合处理对番茄、丝瓜混合贮藏保鲜效果的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2020, 39(12):62-70.
- ZHANG X T, ZHANG M, GUO Z M. Effect of ultrasound combined with modified atmosphere packaging on preservation quality of tomato and loofah mixed storage [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2020, 39(12):62-70. (in Chinese)
- [16] DU G R, LI M J, MA F W, et al. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits[J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(2):557-562.
- [17] 支欢欢, 刘琦琦, 徐娟, 等. 微酸电解水结合不同钙源处理改善“尖脆”枣果实采后货架品质[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(9):45-50, 214.
- ZHI H H, LIU Q Q, XU J, et al. Slightly acidic electrolyzed-water in combination with different calcium sources improved storage quality of “Jiancui” jujube fruit during shelf-life storage[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(9):45-50, 214. (in Chinese)
- [18] WANG Y, BAI J H, LONG L E. Quality and physiological responses of two late-season sweet cherry cultivars ‘Lapins’ and ‘Skeena’ to modified atmosphere packaging (MAP) during simulated long distance ocean shipping[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 110:1-8.
- [19] LI M, WANG Y, DONG Y. Pre-harvest application of harpin β protein improves fruit on-tree and storage quality attributes of ‘Lapins’ and ‘Regina’ sweet cherry (*Prunus avium* L.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 263:109115.
- [20] Hui H Y. *Handbook of fruits and fruit processing*[M]. Ames: Blackwell Publishing, 2006.
- [21] 李芮, 宋雅琪, 周丹丹, 等. 等离子体活化水对鲜切莲藕杀菌及保鲜的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2023, 42(10):30-40.
- LI R, SONG Y Q, ZHOU D D, et al. Effects of plasma-activated water on sterilization and preservation of fresh-cut lotus root[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2023, 42(10):30-40. (in Chinese)
- [22] SILVA V, PEREIRA S, VILELA A, et al. Preliminary insights in sensory profile of sweet cherries[J]. *Foods*, 2021, 10(3):612.

(责任编辑: 闫林红)