

“真空预冷+气调包装”提高桑叶菜在模拟电商物流条件下的贮藏品质

杨腾达^{1,2}, 陈于陇¹, 曾凡坤², 叶明强¹, 王玲¹, 罗政¹, 陈飞平¹

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (2. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

摘要: 为探索一种更有效的延长桑叶菜货架期的保鲜技术, 本试验以单一气调包装为对照, 研究不同真空预冷终温结合气调包装对桑叶菜在模拟电商物流贮藏条件下外观品质、失重率、顶空气体分压、呼吸强度和部分营养成分的影响。结果表明: 真空预冷对桑叶菜品质具有双面性。较低的预冷终温(5℃)反而加速桑叶菜采后品质劣变、不利于贮藏保鲜; 适宜的预冷终温(15℃)可显著延缓桑叶菜采后外观品质劣变、抑制呼吸作用, 减少营养价值流失。15℃真空预冷结合气调包装技术可使桑叶菜在模拟电商物流条件下(非冷链)的保鲜期延长到不少于96h; 处理后桑叶菜的呼吸强度显著低于CK(597.20~308 mg CO₂/(kg h) vs 464.66~298 mg CO₂/(kg h)), 袋内的气体氛围保持较佳水平(氧气: 1.44~3.13 kPa、二氧化碳: 7.30~7.56 kPa); 贮藏96h后, 与CK相比, 真空预冷+气调包装处理桑叶菜的色差L*值高0.52°, a*值低0.41°, 多酚和维生素C保留率分别高了7.89%和7.00%, 这表明适宜的真空预冷结合气调包装技术可延缓桑叶菜采后品质下降。研究结果不仅为桑叶菜常温物流保鲜提供一种有效的技术解决方案, 而且对丰富目前有关桑叶菜采后保鲜技术理论具有重要意义。

关键词: 桑叶菜; 电商物流; 采后保鲜; 真空预冷

文章编号: 1673-9078(2020)11-130-136

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0371

Improvement of the Storage Quality of Mulberry Leaf Vegetable by Vacuum Precooling Combined with Modified Atmosphere Packaging Under Simulated E-commerce Logistics Conditions

YANG Teng-da^{1,2}, CHEN Yu-long¹, ZENG Fan-kun², YE Ming-qiang¹, WANG Ling¹, LUO Zheng¹, CHEN Fei-ping¹

(1. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

(2. College of Food Science of Southwestern University, Chongqing, 400715, China)

Abstract: To explore a more effective preservation technology to prolong the shelf-life of mulberry leaf vegetables, the effects of vacuum precooling combined with modified atmosphere packaging (MAP) under different conditions on the appearance quality, weight loss rate, and nutrient content were studied. The results showed that vacuum precooling had a dual effect on the quality of mulberry leaf vegetables. Lower precooling final temperature (5℃) accelerated the quality deterioration of mulberry leaf vegetables after harvest and was unfavorable for storage and preservation; appropriate precooling final temperature (15℃) could significantly delay the quality deterioration of mulberry leaf vegetables after harvest, inhibit respiration, and reduce the loss of nutritional value. Vacuum precooling combined with modified atmosphere packaging technology could extend the shelf life of mulberry leaf vegetables under simulated e-commerce logistics conditions (non-cold chain) to no less than 96 h; after treatment, the respiration intensity of mulberry leaf vegetables was significantly lower than CK (597.20~308 mg CO₂/(kg h) vs 464.66~298 mg CO₂/(kg h)), and the gas atmosphere in the bag was maintained at a better level (O₂: 1.44~3.13 kPa, CO₂: 7.30~7.56 kPa); after 96 h of storage, compared with CK, the color difference L* value of mulberry leaf vegetables treated with vacuum precooling + modified atmosphere packaging was 0.52° higher, a* value was 0.41° lower, and the retention rates of polyphenols and vitamin C were 7.89% and 7.00% higher, respectively. This indicates that appropriate vacuum precooling combined with modified atmosphere packaging technology can delay the quality decline of mulberry leaf vegetables after harvest. The research results not only provide an effective technical solution for mulberry leaf vegetable常温 logistics preservation, but also have important significance for enriching the current theory of mulberry leaf vegetable post-harvest preservation technology.

引文格式:

杨腾达, 陈于陇, 曾凡坤, 等. “真空预冷+气调包装”提高桑叶菜在模拟电商物流条件下的贮藏品质[J]. 现代食品科技, 2020, 36(11): 130-136

YANG Teng-da, CHEN Yu-long, ZENG Fan-kun, et al. Improvement of the storage quality of mulberry leaf vegetable by vacuum precooling combined with modified atmosphere packaging under simulated e-commerce logistics conditions [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 130-136

收稿日期: 2020-04-22

基金项目: 广东省科技创新战略专项资金(高水平农科院建设)项目(R2017YJ-YB3010; R2018QD-087); 广东省农业科学院新兴学科团队建设项目(201805XX); 广东省重点领域研发计划项目(2019B020222001); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目(2019KJ117)

作者简介: 杨腾达(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品采后保鲜

通讯作者: 陈飞平(1985-), 女, 博士研究生, 助理研究员, 研究方向: 生物材料与果蔬保鲜

headspace gas partial pressure, respiration intensity and some nutrients of mulberry leaf vegetables were studied under simulated e-commerce logistics conditions, by comparing modified atmosphere packaging only (as the control). The results showed the two-sided effects of vacuum precooling on the quality of mulberry leaf vegetable. A lower precooling treatment (5 °C) accelerated the deterioration of the quality of mulberry leaf vegetables thereby was not conducive to vegetable storage and preservation. Appropriate precooling treatment (15 °C) could delay significantly the deterioration of appearance quality, inhibit respiration and reduce the loss of nutritional value. Vacuum precooling (15 °C) combined with MAP could prolong the shelf life of mulberry leaf vegetables not less than 96 h under simulated e-commerce logistics conditions (non-cold chain). The respiration intensity of the mulberry leaf vegetables treated by vacuum precooling combined with MAP was remarkably lower than that of control (597.20~308 mg CO₂/(kg h) vs 464.66~298 mg CO₂/(kg h)), with the gas atmosphere in the package being maintained better (O₂: 1.44~3.13 kPa, CO₂: 7.30~7.56 kPa). After the 96-h storage, the mulberry leaf vegetables treated by vacuum precooling combined with MAP had a L* value higher than 0.52° and a* value lower than 0.41°, with the retention rates of polyphenol and vitamin C being increased by 7.89% and 7.00%, respectively. Accordingly, an appropriate vacuum precooling-MAP treatment could delay the decline of the postharvest quality of mulberry leaf vegetables. The research results not only provide an effective solution strategy for preserving mulberry leaf vegetables during logistics transportation at room temperature, but also are of great significance to enrich the existing technical theories for postharvest preserving mulberry leaf vegetables.

Key words: mulberry leaf vegetable; e-commerce logistics; postharvest preservation; vacuum precooling

桑叶菜由桑枝顶端的一芽两叶组成，是一种桑叶产品，其中桑叶约占桑叶菜重量 75%。Wen 等^[1]报道桑树含有丰富的功能成分，包括多糖、酚类、生物碱、黄酮类等，这些功能成分具有广泛的生理活性，是一种具有健康效益的可食性植物资源。中医用桑叶作为治疗感冒、护肝、提升视力、强身健体的药物^[2,3]。当下新型冠状病毒肆虐，桑叶被纳入了防新型冠状病毒感染的肺炎一号中医预防方案中，其在疾病预防中的作用受到了较大重视。

预冷技术是美国农业部的 Powell 和他的同事在 1904 年第一次提出来的。经过一百多年的发展，预冷被认为是所有应用于保持农产品新鲜、销售的处理中最重要的^[4]。Sun 等^[5]指出迅速冷却可能是成功贮藏蔬菜和其它园艺产品的关键。真空预冷技术是一种快速冷却技术，被认为是最有效的冷却技术之一^[6,7]，这种技术已经在农产品的预冷工艺中被广泛应用，像生菜、大白菜、鲜切花^[8]。然而，真空预冷技术在桑叶菜中的应用未见报道。研究桑叶菜的真空预冷工艺对延缓桑叶菜采后营养成分损失，维持桑叶菜商品价值具有重要意义。

生鲜电商是当下广受欢迎的一种新兴业态，但由于我国冷链物流产业相应设施不足以及成本较高等问题，目前我国农产品电商物流仍然以非冷链的模式为主。生鲜果蔬采后仍为活体，能进行包括呼吸代谢在内的一系列生命活动，因此在电商物流过程中，适当的保鲜技术对于保持新鲜果蔬品质非常重要。本团队前期研究发现，相比市售普通包装，自发气调包装可以有效地保持桑叶菜采后贮藏的外观品质，但营养品质损失仍较高。预冷技术被证明是一种有效保持果蔬

采后品质的保鲜技术，那么桑叶菜适宜的真空预冷温度是多少？真空预冷协同气调包装是否可进一步提高桑叶菜的贮藏品质？基于此，本文采用真空预冷结合气调包装处理，研究不同真空预冷终温对桑叶菜在模拟电商物流条件（“泡沫箱+冰袋”包装）下贮藏品质影响，研究结果有望为桑叶菜的采后物流保鲜提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

桑叶菜（粤桑 11 号、桑枝顶端的一芽两叶）采自广东省清远市英德市万仔蚕桑农业合作社；气调保鲜袋（主要材质为改性低密度聚乙烯，厚度 20 μm，25 °C 条件下氧透过率为 12000 cm³/m²·24 h·0.1 MPa、水蒸气透过率 23.19 g/m²·24 h）。乙酸钠（分析纯）、硼酸（分析纯）、邻苯二胺（分析纯），国药集团化学试剂有限公司；苯酚（分析纯），Aladin 公司；福林酚，源叶生物科技有限公司；液氮，佛山市普雷克斯公司。

1.2 仪器设备

Cary Eclipse 荧光分光光度计，美国 Agilent 公司；Checkpoint 手持气体分析仪，丹麦 PBI-Dansensor 公司；UV-2450 型紫外/可见光分光光度计，日本 Shimadzu 公司；Millipore Elix 纯水仪，德国 Merck Millipore 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

将 7.5 kg 桑叶菜采摘后迅速运至广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所实验楼, 将所有桑叶菜随机分成 3 份, 一份真空预冷至 15 °C、一份真空预冷至 5 °C, 还有一份不预冷作为对照 (CK)。将桑叶菜 (2.4 kg) 放入真空预冷机进行预冷, 待真空预冷结束后, 取 100 g 迅速测预冷桑叶菜的呼吸强度, 其它按照每包 125 g 装入气调保鲜袋中。然后迅速放入泡沫箱中, 泡沫箱底部放入 4 个 500 g 的冰袋 (冰袋包 2 层隔热纸以防止桑叶菜发生冷害), 泡沫箱盖盖好后置于常温室。在贮藏后第 0 h、12 h、24 h、36 h、48 h、72 h 和 96 h 取样品直接测定色度、失重率、顶空气体成分等指标并用液氮磨粉后保存在 -80 °C 冰箱, 用于测定桑叶菜多酚含量和维生素 C 含量。

1.3.2 色度

从包装袋取出桑叶菜, 将其完整的二位叶 (从芽开始向下数第 2 片叶子) 正面放在色度仪的检测孔上, 运行程序, 测定桑叶菜的 L* 值、a* 值。每袋桑叶菜至少随机测 15 次色度值并取平均, 作为该袋桑叶菜的色度。

1.3.3 失重率

以贮藏包装前称取的桑叶菜质量为 m_1 , 取出样品后, 撕开包装袋, 再次称量桑叶菜的净重 m_2 , 记录数据, 按照下面公式计算失重率 (m_1 和 m_2 的单位是 g)。

$$\text{失重率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%$$

1.3.4 顶空 O₂ 和 CO₂ 分压的测定

包装袋内 O₂ 和 CO₂ 含量的测定用丹麦 Dansensor Checkpoint 手持气体分析仪进行测定。从泡沫箱取出桑叶菜后迅速在包装袋上粘贴 3 个粘性垫片 (分别放置在包装袋的上方、左方、右方), 用气体分析仪上的针头通过垫片插入包装袋内 (每个垫片只插一次针头), 进行 O₂ 和 CO₂ 测定, 以 kPa 为单位。

1.3.5 呼吸速率测定

取 100 g 桑叶菜放入 3.2 L 玻璃罐内, 在放入一个二氧化碳检测仪后迅速密封玻璃罐, 当二氧化碳检测仪指数开始上升时读取 0 min 的数据, 再每隔 1 min 读取一次数据, 直至第 6 min。每个样品重复三次, 以 mg CO₂/(kg h) 为单位。

1.3.6 多酚含量和维生素 C 含量测定

多酚含量测定: 采用福林酚法测定桑叶菜的多酚含量^[9], 称取 0.60 g 桑叶菜粉, 加入 8 mL 70% 乙醇溶液中, 暗室浸提 2 h 后收集提取液, 再向沉淀中加入 8 mL 70% 乙醇溶液浸提 2 h, 合并提取液, 并用 70% 乙醇溶液稀释 10 倍后, 取 1 mL 稀释液, 加入 0.5 mL

福林酚溶液, 再加入 1.5 mL 10% 碳酸钠溶液, 反应 2 h。反应结束后, 在 760 nm 处测定反应液的吸光度, 并进行计算, 以 mg/g 作为多酚含量的单位。

维生素 C 含量测定: 采用分子荧光分光光度法测定桑叶菜和维生素 C 含量^[10], 称取 0.5 g 桑叶菜粉, 加入 5 g 纯水中震荡混匀后, 5000 r/min 离心 5 min, 收集上清液。对照反应: 取 1 mL 上清液, 加入 1 mL 硼酸乙酸钠溶液 (硼酸 30 g/L, 乙酸钠 250 g/L), 暗室反应 20 min 后加入 1 mL 0.2 g/L 邻苯二酚溶液反应 40 min, 设置荧光分光光度计的激发波长 355 nm, 发射波长 425 nm, 测定反应液的荧光强度。样品反应: 将对照反应的硼酸乙酸钠换成 250 g/L 乙酸钠溶液。样品反应的荧光强度减去对照反应的荧光强度就是上清液的荧光强度, 再根据标曲计算桑叶菜和维生素 C 含量, 以 mg/g 为单位。

1.3.7 数据处理

所有实验都设置了 3 次平行实验和至少 2 次重复实验, 利用 Excel 2013 对数据进行整理、OriginPro 8.5.1 制图, 以数据标准差制作误差线, 采用 SPSS 20.0 数据处理软件对测定的数据进行单因素方差分析 (ANOVA), 利用 Duncan 式多重比较对差异显著性进行分析 ($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 桑叶外观品质分析



图 1 不同处理桑叶菜在模拟电商物流条件下贮藏 96 h 后的外观品质

Fig.1 Appearance quality of mulberry leaf vegetables with different treatments after storage for 96 h at simulated e-commerce logistics condition

如图 1 所示, 贮藏至第 96 h 时, CK 桑叶菜出现了轻微的褐变、失水现象, 预冷终温为 15 °C 的桑叶菜没有发现明显的品质劣变问题, 可见, 真空预冷结合气调包装可更有效延缓桑叶菜采后劣变, 有望实现桑叶菜在非冷链物流条件下的跨省运输。然而, 不可忽视的是, 预冷终温为 5 °C 的桑叶菜产生了明显的褐变、

失水和黄化现象,说明过低的预冷终温会导致桑叶菜产生更严重的劣变现象,这可能由于真空预冷是一种通过水蒸气蒸发吸热的方式实现果蔬降温的技术,预冷终温越低,蒸发的水蒸气越多,从而导致果蔬自身失水严重^[11]。失水会导致桑叶菜细胞液外渗,生理代谢紊乱,不利于维持桑叶菜的营养价值和商品价值。王成等^[12]发现真空预冷终温为 10 °C 的胡萝卜比预冷终温为 6 °C 和 8 °C 的胡萝卜保鲜效果更好,可见过低的预冷终温不利于桑叶菜保鲜。

2.2 色度

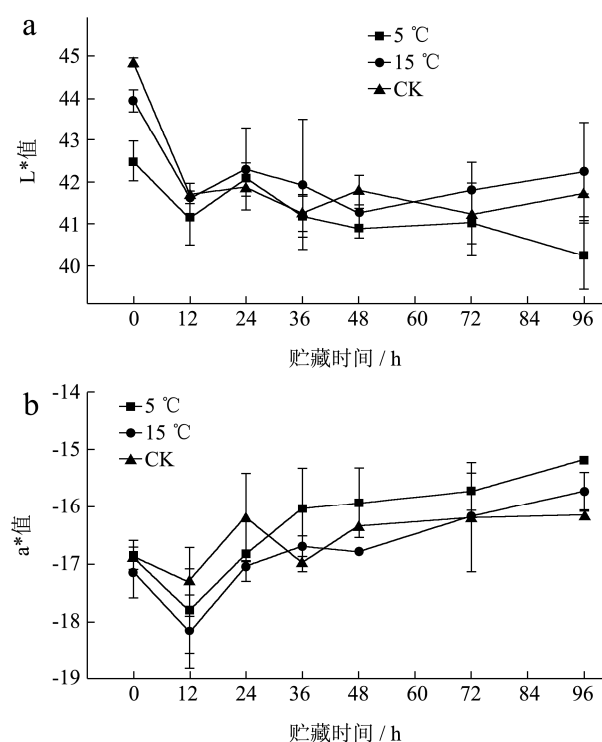


图2 不同处理桑叶菜在模拟电商物流条件下色度 L*值和 a*值

Fig.2 Chroma L* value and a* value of mulberry leaf vegetables with different treatments at simulated e-commerce logistics conditions

色度可以表征桑叶菜采后颜色变化,从而判断果蔬新鲜度的变化。如图 2a 所示,真空预冷导致桑叶菜 L*值下降,0 h 时,CK 桑叶菜 L*值(44.84°)显著高于真空预冷后的桑叶菜 ($p < 0.05$)。预冷终温为 15 °C 的桑叶菜 L*值(43.95°)显著高于预冷终温为 5 °C 的桑叶菜(42.40°)。可见,真空预冷处理降低了桑叶菜的亮度,这可能是由于真空预冷对桑叶菜产生了一定程度损伤所导致^[11]。到第 12 h,三组桑叶菜 L 值都显著下降 ($p < 0.05$),预冷组和 CK 桑叶菜 L*值没有显著差异。12 h 之后,桑叶菜 L*值的变化趋于平稳,但是在第 96 h 时,预冷终温为 5 °C 的桑叶菜 L*值为 40.25°,显著低于预冷终温为 15 °C 的桑叶菜(42.25°)

和 CK(41.73°)。可见,过低的预冷终温不利于桑叶菜的保鲜。

桑叶菜在贮藏过程中会伴有黄化的现象,色度值的变化可反映其褪绿或转黄程度, a*值为正值表示偏红,负值表示偏绿,当 a*值为负值时,其绝对值越大说明果蔬色泽越绿^[13]。如图 2b 所示,贮藏过程中,桑叶菜 a*值均为负值,且出现了上升的趋势(从 -17.15°~-16.90°上升至-16.15°~-15.18°),可见,贮藏过程中桑叶菜出现了褪绿现象。到第 96 h,预冷终温为 5 °C 的桑叶菜 a*值绝对值显著低于 CK 和预冷终温为 15 °C 的桑叶菜(15.18° vs 16.15° vs 15.74°),表明真空预冷终温为 5 °C 反而会加重桑叶菜的褪绿现象,不利于保持桑叶菜的外观品质。

2.3 失重率

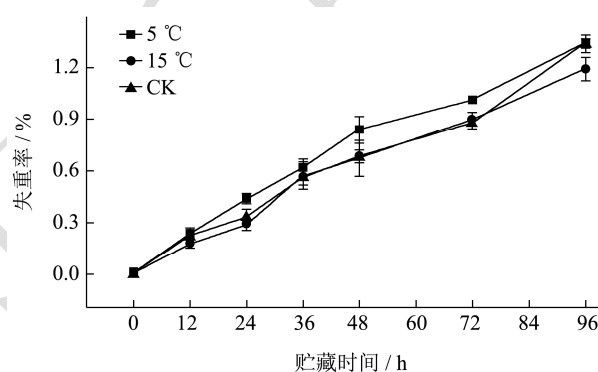


图3 不同处理桑叶菜在模拟电商物流条件下的失重率

Fig.3 Weight loss of different mulberry leaf vegetables with different treatments at simulated e-commerce logistics conditions

失重率是鉴定果蔬新鲜度的重要指标^[14]。如图 3 所示,贮藏过程中桑叶菜失重率呈上升趋势(从 0%增加到 1.19%~1.34%),预冷终温为 15 °C 的桑叶菜贮藏过程中失重率低于 CK 和预冷终温为 5 °C 的桑叶菜,说明自发气调包装可以有效抑制桑叶菜采后水分流失,这与 Manalopolou 等^[15]的结果在青椒采后研究中的结果类似,并且相比 5 °C 真空预冷终温,15 °C 更有利于桑叶菜水分保持。可见,合适的真空预冷可有效抑制桑叶菜在贮藏过程中失重的发生。

2.4 顶空气体成分

袋内顶空 O₂ 和 CO₂ 含量能调控自发气调包装中果蔬的品质劣变^[16],不合适的气体氛围能加速果蔬衰老,促进果蔬品质劣变。贮藏过程中,所有样品袋内氧气分压均呈下降趋势(图 4a,从 20.3 kPa 下降到 0.59~1.44 kPa),二氧化碳分压均呈上升趋势(图 4b,从 0 kPa 上升到 6.95~7.78 kPa),相比 5 °C 真空预冷处

理和 CK, 15 °C 真空预冷处理桑叶菜袋内氧气分压下降更缓慢, 二氧化碳分压上升更缓慢, 到第 36 h 时桑叶菜 15 °C、5 °C 真空预冷桑叶菜和 CK 桑叶菜的氧气分压分别为 2.11 kPa、1.57 kPa 和 1.84 kPa, 二氧化碳分压分别为 7.56 kPa、7.71 kPa、7.58 kPa。第 48 h, CK 和真空预冷终温为 15 °C 的桑叶菜的袋内顶空氧气含量基本保持稳定, 但是真空预冷终温为 5 °C 的桑叶菜氧气分压仍在以较高速率下降, 第 96 h 时, 只有 0.59 kPa, 这远低于气调包装下氧气分压的最低值, 过低的顶空氧气含量会导致蔬菜细胞被破坏并且产生臭味物质^[16]。可见不适宜的真空预冷终温可能会加速桑叶菜在贮藏过程中的呼吸作用, 从而导致包装袋内产生不合适的气体氛围。

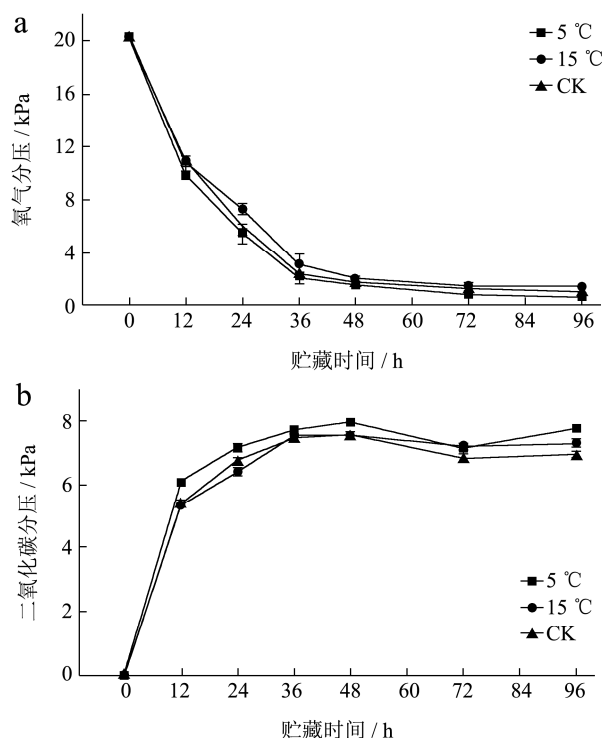


图 4 不同处理桑叶菜在模拟电商物流条件的顶空气体成分
Fig.4 Headspace gas content of different mulberry leaf vegetables with different treatments at simulated E-commerce logistics conditions

2.5 呼吸速率

呼吸作用是一种消耗植物体内营养以产生能量供给自身生理需求的代谢活动, 高呼吸强度不利于桑叶菜营养品质的维持。如图 5 所示, 真空预冷可降低桑叶菜的呼吸强度, 在贮藏开始时 (0 h), CK 桑叶菜呼吸强度显著高于 15 °C 和 5 °C 预冷处理桑叶菜 (597.20 mg CO₂/(kg h) vs 464.66 mg CO₂/(kg h) 和 381.73 mg CO₂/(kg h)), 表明真空预冷可降低桑叶菜的呼吸强度。但贮藏到 12 h 时, 预冷终温为 5 °C 的桑叶菜呼吸强度

反而最高 (537.25 mg CO₂/(kg h)), 而预冷终温为 15 °C 的桑叶菜呼吸强度 (450.43 mg CO₂/(kg h)) 仍低于 CK (480.85 mg CO₂/(kg h)), 一直到贮藏结束, 三组桑叶菜呼吸强度的高低次序仍然保持这个顺序。可见, 真空预冷终温 5 °C 反而促进了桑叶菜呼吸代谢, 而预冷终温 15 °C 可以抑制桑叶菜的呼吸代谢, 这个结果与包装袋内的顶空气体成分变化相符 (图 4)。因此采用合适的预冷终温有利于延缓桑叶菜营养品质流失, 提高桑叶菜的商品价值。气调包装袋内气体主要受包装材料、贮藏温度和产品自身呼吸作用的影响^[17], 本研究的气调包装袋是相同材质的, 所处环境也相同。真空预冷终温为 15 °C 的桑叶菜呼吸强度最低可能是其袋内 O₂ 和 CO₂ 分压变化最慢的主要原因 (图 4)。吴允才等^[18]发现真空预冷终温为 8 °C 的小青菜呼吸代谢低于 CK 和真空预冷终温为 4 °C 的, 可见, 预冷终温不是越低越好。

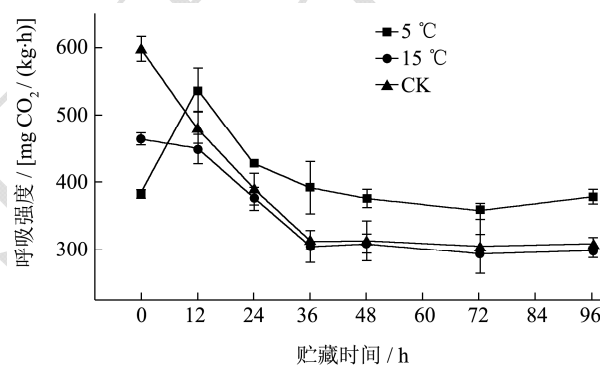


图 5 不同处理桑叶菜在模拟电商物流条件下的呼吸速率
Fig.5 Respiration rate of mulberry leaf vegetables with different treatments at simulated E-commerce logistics conditions

2.6 维生素 C 和多酚

如图 6a 所示, 桑叶菜维生素 C 含量在贮藏过程中呈现下降的趋势 (从 0.76 mg/L 下降到 0.53~0.62 mg/L)。预冷终温为 5 °C 的桑叶菜维生素 C 含量在贮藏期内始终保持最低, 而预冷终温为 15 °C 的桑叶菜维生素含量一直保持较高水平, 在第 96 h 时, 其桑叶菜维生素 C 含量 (0.62 mg/g) 显著高于 CK 和预冷终温为 5 °C 的桑叶菜维生素 C 含量 (0.53 mg/g、0.56 mg/g)。可见合适的预冷终温有利于维持桑叶菜维生素 C 的含量, 这与赵维琦等^[19]的研究结果类似, 发现真空预冷可以有效延缓西兰花维生素 C 含量下降。

如图 6b 所示, 第 0 h 时, 预冷终温为 5 °C 的桑叶菜多酚含量 (5.20 mg/g) 低于预冷终温为 15 °C 和 CK 的桑叶菜 (5.35 mg/g、5.56 mg/g)。这可能是由于桑叶菜在经历真空预冷时受到了一定程度的损伤所致。

CK和真空预冷终温为15℃的桑叶菜在贮藏过程中均出现了先下降后上升再下降的现象。但是真空预冷终温为15℃的桑叶菜出现极小值和极大值的时间都晚于CK,且96h时,前者多酚含量(5.79 mg/g)显著高于后者(5.37 mg/g)。而预冷终温为5℃的桑叶菜没有出现极小值,并且其第一次出现极大值的时间最早,96h时的多酚含量只有4.89 mg/g。可见15℃预冷终温有利于延缓桑叶菜多酚损失,而5℃真空预冷反而促进了桑叶菜多酚损失。多酚是重要的营养物质,贮藏开始时由于生理代谢活动(如木质素代谢)的需要被消耗导致多酚含量出现下降,前期研究^[20]已经发现桑叶菜采后贮藏过程中会发生木质素积累。但由于多酚在植物体内能进行逆境响应,当多酚含量降低到较低值时,会得到植物体内其它物质的补充^[21],这就导致后期桑叶菜中多酚含量上升,王馨悦等^[22]发现蓝莓果实采后贮藏过程中总酚含量会出现一段时间的上升现象。但是由于植物采后无法从外界吸收养分且体内营养物质有限,多酚含量上升到一定值后开始下降。

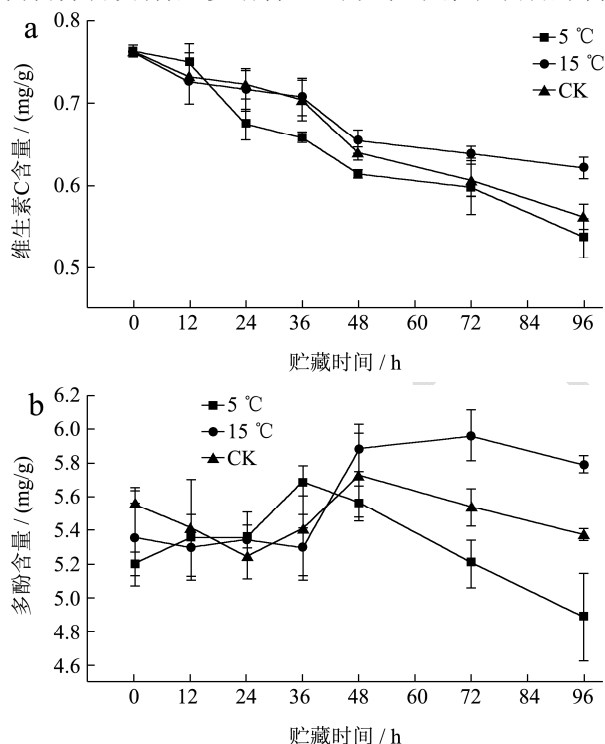


图6 不同处理桑叶菜在模拟电商物流条件下维生素C和多酚含量

Fig.6 Vc and total polyphenol content of leaf vegetables with different treatments at simulated E-commerce logistics conditions

维生素C和多酚都是抗氧化物质,呼吸作用会产生大量氧自由基,这些氧自由基会攻击细胞内的蛋白质、脂质等造成细胞氧化^[23],这将严重损害植物细胞,导致果蔬采后劣变加速,而多酚和维生素C可以与细

胞内的氧自由基反应进而达到抗氧化的目的^[24]。ZHANG等^[25]报道桑叶抗氧化能力与其多酚含量呈显著的正相关关系。彭程等^[26]报道黄皮果汁抗氧化活性与其总多酚和抗坏血酸含量呈显著的正相关关系, Du等^[27]报道猕猴桃果实的抗氧化能力与其总多酚和维生素C含量呈显著的正相关关系,可见,真空预冷终温为15℃的桑叶菜能维持更高的维生素C和多酚含量可能与其更低的呼吸速率有关。

3 结论

研究发现,真空预冷对桑叶菜的贮藏品质具有双面性。较低的预冷终温(5℃)反而加速桑叶菜采后品质劣变、不利于贮藏保鲜,适宜的预冷终温(15℃)可显著保持桑叶菜采后外观品质、抑制桑叶菜的呼吸,减少营养价值流失。真空预冷结合气调包装可以使桑叶菜在模拟电商物流条件下(非冷链)的保鲜期延长至不少于96h,是常规物流桑叶菜保鲜期的2倍,可为桑叶菜的陆路跨省运输提供一种有效的技术解决方案。预冷终温15℃处理的桑叶菜在贮藏96h后,仍能保持嫩绿色,与CK组相比,其多酚和维生素C保留率分别提高了7.89%和7.00%,这可能与适度真空预冷降低桑叶菜的呼吸强度有关。适度真空预冷结合气调包装可以有效保持桑叶菜采后品质,延长其货架期,在桑叶菜的电商物流保鲜中能明显降低桑叶菜的物流成本,具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] WEN Peng, HU Teng-gen, Linhardt Robert J, et al. Mulberry: A review of bioactive compounds and advanced processing technology [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 83: 138-158
- [2] XUE Ming, SUN Hai-yan, CAO Yan, et al. Mulberry leaf polysaccharides modulate murine bone-marrow-derived dendritic cell maturation [J]. Human Vaccines & Immunotherapeutics, 2015, 11(4): 946-950
- [3] HE Xi-rui, FANG Jia-cheng, RUAN Yin-lan, et al. Structures, bioactivities and future prospective of polysaccharides from *Morus alba* (white mulberry): A review [J]. Food Chemistry, 2018, 245: 899-910
- [4] Baladhiya Chiman, Doshi Jayesh. Precooling techniques and applications for fruits and vegetables [J]. International Journal of Processing and Post Harvest Technology, 2016, 7(1): 141-150
- [5] SUN Da-wen. Experimental research on vacuum rapid cooling of vegetables [C] // Advances in the refrigeration systems,

- food technologies and cold chain. Sofia (Bulgaria), 2000: 342-347
- [6] DING Tian, LIU Fen, Ling Jian-gang, et al. Comparison of different cooling methods for extending shelf life of postharvest broccoli [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2016, 9(6): 178-185
- [7] ZHU Zhi-wei, GENG Yi, SUN Da-wen. Effects of operation processes and conditions on enhancing performances of vacuum cooling of foods: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 85: 67-77
- [8] Briley George C. Vacuum cooling of vegetables and flowers [J]. Ashrae Journal, 2004, 46(4): 52
- [9] 孙小静,刘军,廖森泰,等.不同桑品种新鲜桑叶制作脱水桑叶菜品质的综合评价[J].蚕业科学,2015,41(3):534-541
- SUN Xiao-jing, LIU Jun, LIAO Sen-tai, et al. Comprehensive quality evaluation of dehydrated mulberry leaf vegetable prepared by using fresh mulberry leaves of different mulberry varieties [J]. Science of Sericulture, 2015, 41(3): 534-541
- [10] 王惠惠,陈于陇,徐玉娟,等.高氧气调包装对鲜切菜心品质的影响 [J].中国食品学报,2014,14(2):161-170
- WANG Hui-hui, CHEN Yu-long, XU Yu-juan, et al. Effect of super atmospheric oxygen packaging on the quality of fresh-cut flowering cabbages [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(2): 161-170
- [11] Brosnan Tadhg, SUN Da-wen. Compensation for water loss in vacuum-precooled cut lily flowers [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 79(3): 299-305
- [12] 王成,徐玉娟,吴继军,等.鲜切胡萝卜的真空预冷研究[J].保鲜与加工,2012,12(2):24-28
- WANG Cheng, XU Yu-juan, WU Ji-jun, et al. Effect of vacuum precooling on the fresh-cut carrot [J]. Storage and Process, 2012, 12(2): 24-28
- [13] Pola Wissanee, Sugaya S, Photchanachai Songsin. Color development and phytochemical changes in mature green chili (*Capsicum annuum* L.) exposed to red and blue light-emitting diodes [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(1): 59-66
- [14] SHEN Yan, SUN Yu-jing, QIAO Li-ping, et al. Effect of UV-C treatments on phenolic compounds and antioxidant capacity of minimally processed Satsuma mandarin during refrigerated storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 50-57
- [15] Manolopoulou H, Xanthopoulos G, Douros N, et al. Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: quality criteria [J]. Biosystems Engineering, 2010, 106(4): 535-543
- [16] Ghidelli Christian, Pérez-gago María B. Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58(4): 662-679
- [17] ZHANG Min, MENG Xiang-yong, Bhandari Bhesh, et al. Recent developments in film and gas research in modified atmosphere packaging of fresh foods [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(13): 2174-2182
- [18] 吴允才,李保国,石茂占.真空预冷处理对小青菜品质影响的实验研究[J].食品科技,2011,36(8):36-39
- WU Yun-cai, LI Bao-guo, SHI Mao-zhan. Effect of vacuum pre-cooling treatment on the quality of greengrocery [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(8): 36-39
- [19] 赵维琦,孟赞,董斌,等.采用真空预冷处理提升西兰花贮藏品质[J].食品与发酵工业,2019,45(19):213-218
- ZHAO Wei-qi, MENG Zan, DONG Bin, et al. Effect of vacuum precooling treatment on preservative quality of broccoli [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(19): 213-218
- [20] 杨腾达,陈飞平,陈于陇,等.桑叶菜采后商品化处理前的品质变化规律[J].食品与发酵工业,2019,45(22):124-129
- YANG Teng-da, CHEN Fei-ping, CHEN Yu-long, et al. The quality deterioration pattern of postharvest mulberry leaf vegetables before commercial processing [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(22): 124-129
- [21] 徐国前,张振文,郭安鹊,等.植物多酚抗逆生态作用研究进展 [J].西北植物学报,2011,31(2):423-430
- XU Guo-qian, ZHANG Zhen-wen, GUO An-que, et al. Progress on the stress-resistant ecological function of plant polyphenols [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(2): 423-430
- [22] 王馨悦,姜爱丽,胡文忠,等.乳酸钙处理对采后蓝莓品质的影响 [J].现代食品科技,2019,35(7):47-54
- WANG Xin-yue, JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, et al. Effect of calcium lactate treatment on the postharvest quality of blueberries [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(7): 47-54
- [23] 林植芳,李双顺,林桂珠,等.衰老叶片和叶绿体中H₂O₂的累积与膜脂过氧化的关系[J].植物生理学报,1988,1:16-22
- LIN Zhi-fang, LI Shuang-shun, LIN Gui-zhu, et al. The relationship between H₂O₂ accumulation and membrane lipid peroxidation in senescent leaves and chloroplasts [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 1988, 1: 16-22

(下转第179页)