

精准控温对鲜切胡萝卜贮藏品质和抗氧化性的影响

宾宇淇¹, 谢佳妮¹, 王铭宇¹, 张鹏^{2,3}, 李江阔^{2,3}, 陈晨^{1,4*}, 姜爱丽^{1,4*}

(1.大连民族大学 生命科学学院, 辽宁 大连 116600; 2.天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 天津 300384; 3.国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 天津 300384; 4.生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连 116600)

摘要: **目的** 针对传统冷库温度波动大, 易导致冷害、冻害的难题, 以新鲜胡萝卜为材料, 研究在 2 个贮藏温度(4、15 °C)下精准控温(± 0.1) °C对鲜切胡萝卜贮藏品质和抗氧化性的影响。**方法** 将鲜切胡萝卜分别置于 4 °C 和 15 °C 的普通冰箱和精准恒温箱中进行为期 15 d 和 9 d 的贮藏, 测定贮藏过程中鲜切胡萝卜的外观品质、感官品质、风味物质(鲜切胡萝卜和熟胡萝卜片)、白化指数、硬度、脆性、呼吸强度、总酚含量、ABTS 自由基清除能力及微生物生长情况。**结果** 在 2 种温度条件下贮藏, 与 15 °C 相比, 在 4 °C 下贮藏具有更好的保鲜效果。与冰箱相比, 采用恒温箱贮藏能显著($P < 0.05$)抑制鲜切胡萝卜的白化、呼吸强度及微生物生长, 延缓其硬度和脆性的下降, 并显著($P < 0.05$)提高了总酚含量和 ABTS 自由基清除能力, 延缓了鲜切胡萝卜在贮藏过程中或经高温水煮后风味的劣变进程, 保持了样品较高的感官品质。**结论** 与 15 °C 相比, 在 4 °C 下贮藏有利于保持鲜切胡萝卜的品质, 采用精准控温贮藏对鲜切胡萝卜具有显著的保鲜效果。

关键词: 鲜切胡萝卜; 精准控温; 保鲜; 抗氧化

中图分类号: TS255.3; TB482 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)05-0046-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.05.006

Effect of Precise Temperature Control on Storage Quality and Antioxidant Activity of Fresh-cut Carrots

BIN Yuqi¹, XIE Jiani¹, WANG Mingyu¹, ZHANG Peng^{2,3}, LI Jiangkuo^{2,3},
CHEN Chen^{1,4*}, JIANG Aili^{1,4*}

(1. College of Life Science, Dalian Minzu University, Liaoning Dalian 116600, China; 2. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China; 3. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China; 4. Key Laboratory of Biotechnology and Bioresources Utilization, Ministry of Education, Liaoning Dalian 116600, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effect of precise temperature control (± 0.1 °C) on storage quality and antioxidant activity of fresh-cut carrots under 2 storage temperature (4 °C and 15 °C), so as to solve the difficulties of large temperature fluctuation, cold damage and freeze injury in traditional cold stores. Fresh-cut carrots were stored at 4 °C and 15 °C for 15 d and 9 d in a normal refrigerator and a precise thermostat, respectively, and the appearance, sensory

收稿日期: 2023-10-13

基金项目: 甘肃省科技重大项目(21ZD4NA016-02); 辽宁省教育厅科学研究经费项目(LJKZ0017); 大连民族大学研究生创新项目(0103-100002)

*通信作者

quality, flavor (fresh-cut carrots and cooked carrot slices), whitening index (WI), firmness, brittleness, respiratory rate, total phenolic content (TPC), ABTS radical scavenging ability and microbial growth were determined during the storage process. During the storage at two temperature, 4 °C storage provided better freshness preservation compared with 15 °C. Compared with the refrigerator, thermostat significantly ($P<0.05$) inhibited the WI, respiratory rate and microbial growth of fresh-cut carrots, slowed down the decrease of firmness and brittleness, and significantly ($P<0.05$) increased the TPC and ABTS radical scavenging capacity, slowed down the deterioration of the flavor of the fresh-cut carrots in the process of storage and after boiling at high temperature, and maintained a higher sensory quality of the samples. Compared with 15 °C, 4 °C storage has better preservation effect, in which precise temperature control has significant preservation effect on fresh-cut carrots.

KEY WORDS: fresh-cut carrots; precise temperature control; preservation; antioxidant

胡萝卜 (*Daucus carota* L.) 是日常生活中常见的根茎蔬菜之一, 它含有丰富的营养物质。近年来, 鲜切胡萝卜逐渐成为即食沙拉的配菜之一^[1-2]。在鲜切加工过程中产生的机械损伤会破坏胡萝卜组织的完整性, 加速呼吸代谢和蒸腾作用, 从而加快营养物质的消耗, 使得胡萝卜出现了失重、腐烂等品质劣变现象^[3]。此外, 鲜切胡萝卜因脱水和木质素的积累, 其表面出现白化现象, 从而失去明亮的橙红色外观, 降低了消费者对产品的可接受度和购买欲望^[4-5]。由此可见, 需要寻找一种合适的保鲜方法来延长鲜切胡萝卜的保质期。

低温贮藏是保持鲜切果蔬品质的重要条件之一, 也是目前国内外应用于鲜切产品中最多且保鲜效果显著的方法^[6]。传统的冷库低温贮藏方式受到冷却器强制通风、蒸发器除霜处理及贮藏过程中频繁开关门的影响, 难以精准控制果蔬贮藏环境中的温度和湿度。温度的波动会影响果蔬组织的呼吸、新陈代谢速率, 从而影响果蔬的保质期。此外, 温度波动可能会加剧水分的凝结, 加速微生物的生长和果蔬的腐烂^[7]。精准温控技术 (温度波动值 ≤ 0.1 °C) 是基于低温冷藏提出的一种新型保鲜技术, 可降低温度波动对果蔬的影响, 使果蔬在贮藏期间的品质更加稳定^[8]。Pan 等^[9]研究发现, 恒温贮藏可有效降低桃果实的呼吸速率和多酚氧化酶活性, 从而维持果实在贮藏过程中的品质。桃果实在温度波动范围为 0.5~1 °C 的传统冷库中贮藏 60 d 后, 果肉出现了褐变、毛絮状、半透明等冷害症状, 且腐烂率较高, 通过精准控温能显著降低桃果实贮藏期间冷害的发生率^[7]。此外, 采用精准控温 (精准控温波动条件为 5 °C $\pm$ 0.1 °C) 不仅可以延缓苹果在贮藏过程中果胶多糖的溶解和解聚, 延缓果实硬度的下降, 还能有效提高苹果的抗氧化能力, 延缓膜脂过氧化进程, 降低果实质地和营养物质的损失, 从而延长苹果的保质期^[10-11]。

根据 NY/T 717—2003, 胡萝卜在冷库贮藏和控温运输过程中, 其环境温度为 0~5 °C。经研究发现, 在 4 °C 条件下贮藏其保鲜效果显著^[12-14], 可以降低

鲜切胡萝卜大肠杆菌 O157:H7 的污染程度, 并抑制其生长^[15]。由于市场中鲜切果蔬通常被置于开放式冷柜中售卖, 导致鲜切果蔬长期处于 10~15 °C 的温度环境中, 因此有必要寻找一种安全、高效的鲜切胡萝卜商业化贮藏保鲜方法。文中选择 4、15 °C 作为贮藏温度, 研究精准控温对真空包装鲜切胡萝卜在贮藏期间的感官品质、生理指标及微生物生长情况的影响, 探讨精准控温对鲜切胡萝卜的保鲜效果, 旨在为鲜切胡萝卜的商业化贮藏保鲜提供新的理论依据和技术支撑。

1 实验

1.1 材料

1.1.1 原材料

选择新鲜的“新黑田五寸人参”胡萝卜, 购于大连金州区果时代精品生鲜超市。选择大小均一、无病虫害和无机械损伤的胡萝卜进行实验。

1.1.2 试剂

主要试剂: 次氯酸钠、无水乙醇、碳酸钠、过硫酸钾, 分析纯, 科密欧有限公司; 福林酚, 北京索莱宝科技有限公司; 2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐、生化试剂, 梯希爱发展有限公司; 平板计数琼脂培养基, 生物试剂, 奥博星生物技术有限公司。

1.1.3 仪器设备

主要仪器设备: WS2Y-1 温湿度仪器, 北京天建华仪科技发展有限公司; 青叶 ZK-600 智能真空包装机, 益健包装机械有限公司; IPP260 低温培养箱, 德国美墨尔特(上海)贸易有限公司; PEN 3 电子鼻, 日本 Insent 公司; F-940 气体分析仪, 美国 Felix 公司; CR-400 色差仪, 日本柯尼卡美能达公司; TA.XT plus 质构仪, 英国 SMS 有限公司; TGL-20M 台式高速冷冻离心机, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; UV-2600 紫外-可见分光光度计, 日本岛津公司; Multiskan GO 全波长酶标

仪,美国 Thermo Scientific 有限公司;MLS -3750 高压灭菌锅,松下电器有限公司。

1.2 样品处理及贮藏

将新鲜胡萝卜浸泡于 200 $\mu\text{L/L}$ 的 NaClO 溶液中 5 min,然后切成 3 mm 的薄片。将胡萝卜薄片先浸泡于 200 $\mu\text{L/L}$ 的 NaClO 溶液中 1 min,然后再浸泡于去离子水中 1 min,在浸泡结束后捞出,并进行脱水处理,最后用厚度为 0.16 mm 的聚酯真空袋(18 cm $\times$ 18 cm)进行真空包装(真空时间 30 s,封口时间 2.5 s,冷却时间 5 s,真空度-0.1 MPa),每包 40 片胡萝卜(约 200 g)。将包装好的样品分别置于冰箱($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$)和精准温控箱($\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)中贮藏,同步放入温湿度记录仪进行温度的监测。将样品分为 4-B 组、4-H 组、15-B 组、15-H 组。4-B 组:将样品置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中。4-H 组:将样品置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中。15-B 组:将样品置于 15 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中。15-H 组:将样品置于 15 $^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中。试验设置 3 个平行样品。

1.3 测定方法

1.3.1 感官评价

分别对 Martínez-Hernández 等^[16]和 Bao 等^[17]的方法进行修改后,对鲜切胡萝卜和熟胡萝卜片(在 100 $^{\circ}\text{C}$ 沸水中烹饪 2 min)进行感官评价,具体评分标准如表 1、表 2 所示。将 5 分设定为消费者对样品可接受的最低分值。

表 1 鲜切胡萝卜感官评价标准

Tab.1 Standard for sensory evaluation of fresh-cut carrot

分值	气味	色泽	组织结构
10.0	淡淡的清新的甜味	红色	紧密
7.5	失去清新的味道,无腐烂味	红色变浅,无白化现象	紧密度下降
5.0	失去清新的味道,无腐烂味	出现小面积的白化现象	轻微软化
2.5	有轻微的腐烂味	白化面积>1/2	腐烂发臭

表 2 熟胡萝卜片感官评价标准

Tab.2 Standard for sensory evaluation of cooked carrot slices

分值	外观	色泽	质地	风味
10.0	外形完整	橙红色	有韧性,不易断	有甜味,香味浓
7.5	外形较完整	深红色	较有韧性,不易断	有甜味,香气淡
5.0	外形较松散	浅红色	较酥脆,较易断	甜味低,无香气
2.5	外形松散	焦糊色,褐变	酥脆,易碾碎	无甜味,无香气

1.3.2 风味物质

利用电子鼻技术对鲜切胡萝卜和熟胡萝卜片进行风味物质的测定。

1.3.3 白化指数

在各处理组中随机抽取 10 片鲜切胡萝卜,使用 CR-400 色彩色差计记录 L^* 、 a^* 、 b^* ,计算白化指数(Whiteness index, I_w),见式(1)^[3]。

$$I_w = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

1.3.4 硬度和脆性

鲜切胡萝卜的硬度参照谢佳妮等^[12]的方法测定。通过 TPA 试验测定鲜切胡萝卜的脆性,使用质构仪中配备的 P/5 圆柱形探头测定样品的脆性。质构仪参数设置:测前速度为 2 mm/s,测后速度为 2 mm/s,2 次压缩之间停留的时间为 5 s,位移为 2 mm,触发力为 10 N。硬度的单位为 N。

1.3.5 呼吸强度

参考卫赛超^[18]的方法对鲜切胡萝卜进行呼吸强度的测定。

1.3.6 总酚含量

采用福林酚比色法测定鲜切样品中的总酚含量^[19]。

1.3.7 ABTS 自由基清除能力

参照 Chen 等^[4]的方法测定鲜切胡萝卜的 ABTS 自由基清除能力,测定结果以每克鲜切胡萝卜(鲜质量)相当于 Trolox 的物质的量(μmol)表示。

1.3.8 菌落总数

菌落总数参照 GB 4789.2—2016 测定。

1.3.9 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据统计,并计算标准偏差,数据用平均值 $\pm$ 标准偏差($n+3$)表示。采用 SPSS 22.0 软件的单因素方差分析方法(ANOVA)中的 Duncan 检验对实验数据进行差异显著性分析($P<0.05$)。用 Origin 2018 制图。

2 结果与讨论

2.1 不同贮藏环境下温度的变化

温湿度传感器可以实时监测鲜切胡萝卜在不同贮藏条件下随环境温度的变化情况,在一定程度上反映样品贮藏环境的温度波动情况。由图 1 可知,普通冰箱和精准恒温箱的温度呈不规则波动,波动范围分别为 ± 1 、 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。波动频率从基本温度(4、15 $^{\circ}\text{C}$)分别到最高温度(5、4.1 $^{\circ}\text{C}$ 或 15、15.1 $^{\circ}\text{C}$)及最低温度(3.1、3.9 $^{\circ}\text{C}$ 或 14.3、14.9 $^{\circ}\text{C}$),再回到基本温度(4、15 $^{\circ}\text{C}$)。

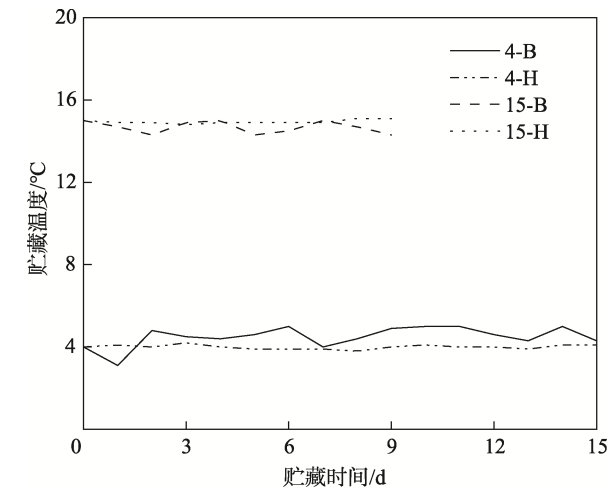


图 1 不同贮藏环境内部温度的变化
Fig.1 Change of interior temperature in different storage environment

2.2 精准控温对鲜切胡萝卜外观及感官品质的影响

果蔬经过真空包装处理后,在流通过程中极易导致产酸、产气微生物的生长繁殖,致使真空包装出现酸败胀袋现象,从而降低果蔬的理化性质、外观品质和食用价值。15-B 组在贮藏至第 6 天时样品通过代谢活动产生了大量气体,导致真空袋完全膨胀,而 15-H 组样品直到第 9 天时才完全胀袋(图 2)。在 4 °C 下贮藏时,在贮藏第 12 天时袋内部分区域产生了少量气体,出现了轻微胀袋情况,直到贮藏结束(15 d)时仍未完全胀袋。总的来说,与冰箱贮藏相比,采用

恒温箱贮藏能有效抑制鲜切胡萝卜的胀袋情况,且在 4 °C 下贮藏的效果比 15 °C 更好。

所有处理组鲜切样品的感官得分均随着贮藏时间的延长呈不断下降的趋势,如图 3a 所示。其中,15-B 和 15-H 组鲜切样品分别在贮藏第 6 天和第 9 天时感官得分低于 5 分,在 4 °C 下贮藏的鲜切样品的感官得分在整个贮藏期均高于 5 分。由图 3b 可知,经高温水煮后,15-H 组样品在第 9 天的感官得分从 4.33 增至 6.33,其余 3 组样品经烹饪后的感官得分均在一定程度上增加,推测原因是鲜切胡萝卜在贮藏过程中产生的部分不良风味物质的热稳定性差、不耐高温,经水煮后被分解。

2.3 精准控温对鲜切胡萝卜风味物质的影响

不同处理的鲜切样品和熟胡萝卜片的电子鼻特征向量值测定结果如图 4 所示。不同样品的 W2W、W2S、W1W、W1S、W5S 传感器响应值具有显著差异,结合感官评价结果(图 3)推测这 5 种变化显著的物质可能是导致样品产生不良气味的物质。与 15 °C 下贮藏相比,在 4 °C 下贮藏能有效抑制鲜切胡萝卜不良风味的产生,且采用恒温箱贮藏的抑制效果好于冰箱。已有研究表明,精准控温($\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)通过抑制醇类的挥发和促进醛类等香气成分的释放来延缓兰州百合和枸杞鲜果不良气味的产生^[20, 8]。样品经高温水煮后,不良风味物质的特征响应值降低,这与感官评分结果一致。鲍诗晗等^[19]研究后也发现,“广红”胡萝卜经水煮后气味降低,且样品气味随着水煮时间的延长而逐渐减弱。

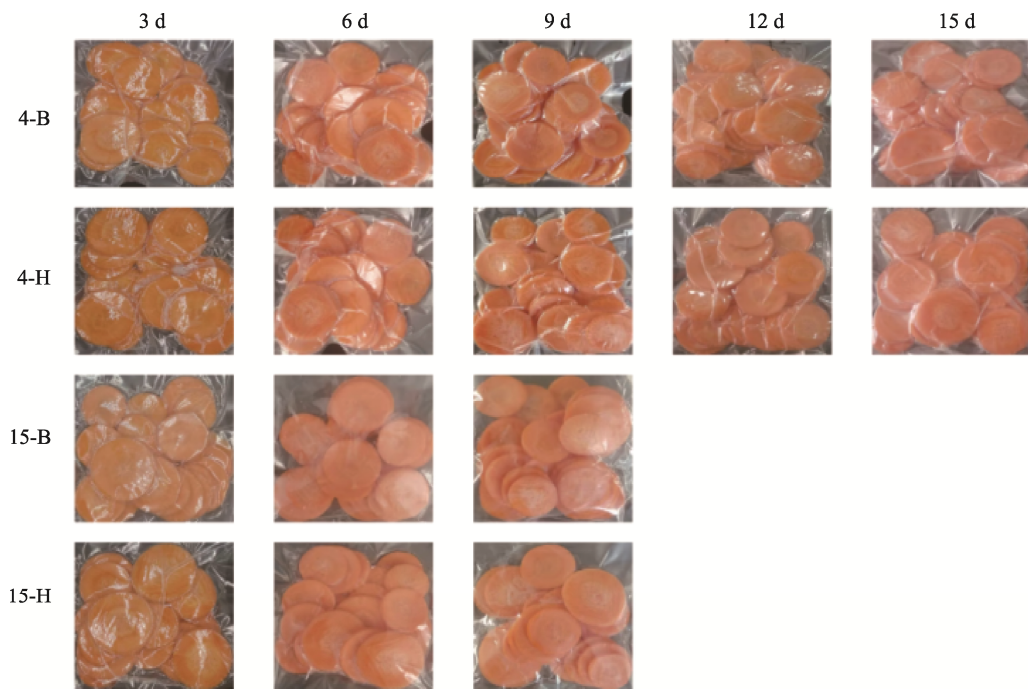
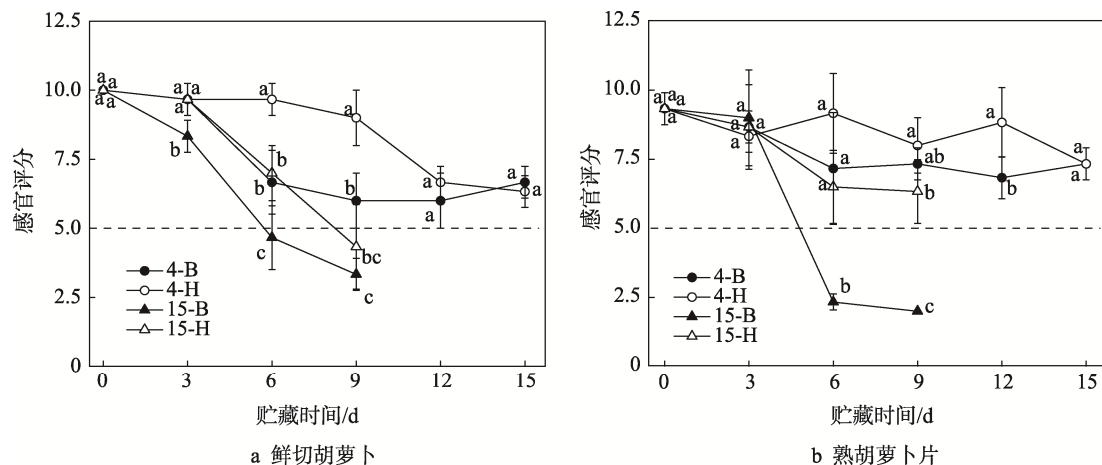


图 2 精准控温对鲜切胡萝卜胀袋的影响
Fig.2 Effect of precise temperature control on the swelling bag of fresh-cut carrots



注：不同小写字母表示不同处理在相同贮藏时间存在显著性差异 ($P < 0.05$)，下同。

图3 精准控温对鲜切胡萝卜和熟胡萝卜片感官评分的影响

Fig.3 Effect of precise temperature control on the sensory evaluation of fresh-cut carrots and cooked carrot slices

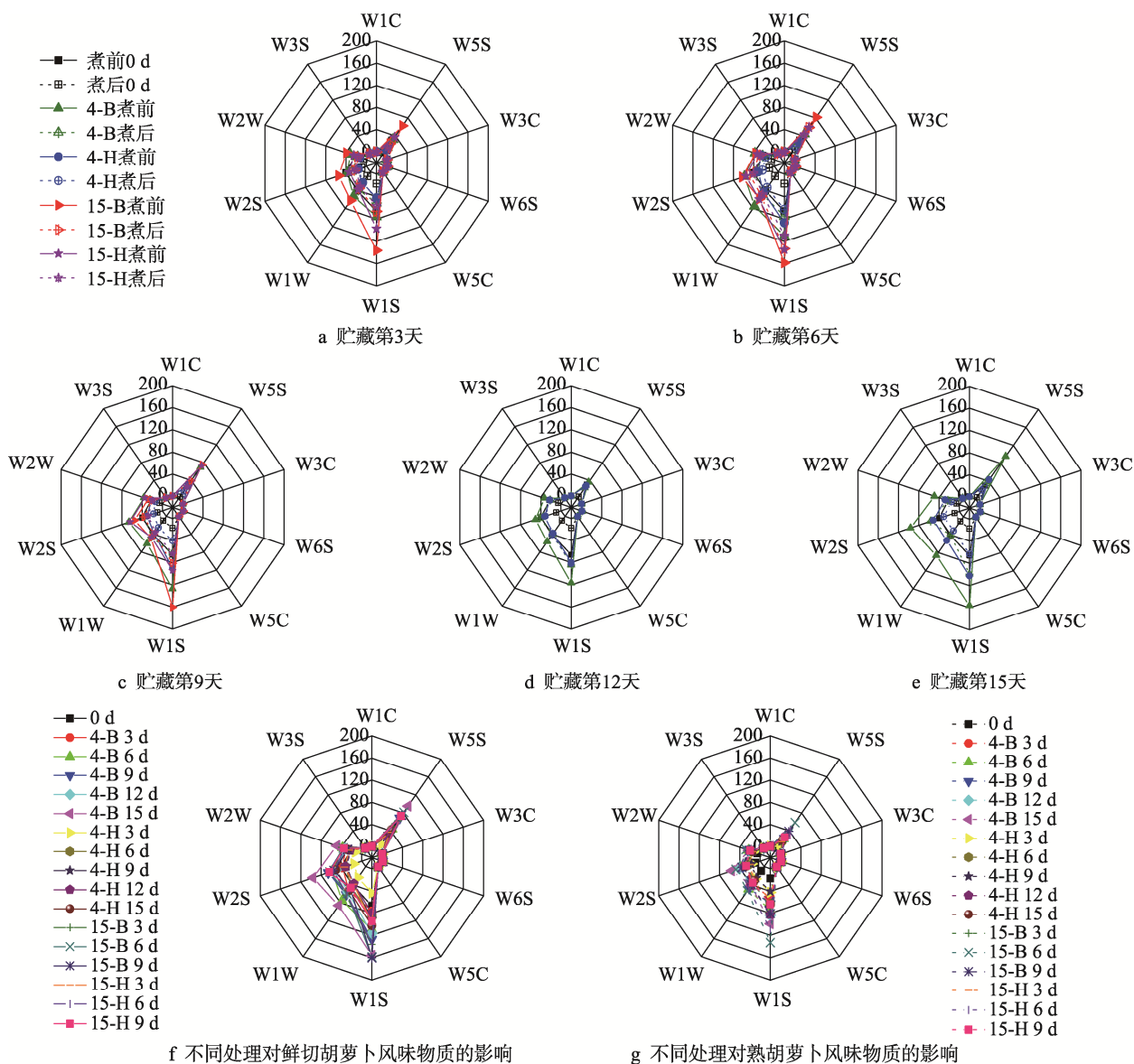
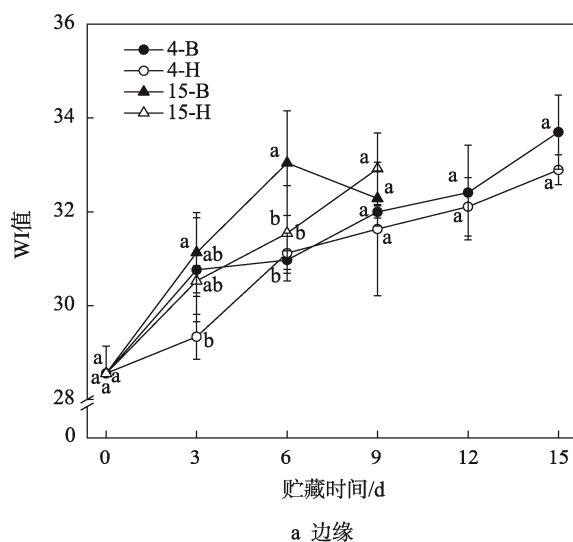


图4 精准控温对鲜切胡萝卜风味物质的影响

Fig.4 Effect of precise temperature control on flavor substance of fresh-cut carrots

2.4 精准控温对鲜切胡萝卜白化指数的影响

表面白化是影响消费者对鲜切胡萝卜可接受度的重要因素, 研究发现, 受损部位组织失水及木质素积累是导致鲜切胡萝卜表面白化的主要原因^[21-22]。如图 5 所示, 除了 15-B 组样品的边缘 WI 值在第 9 天下降外, 所有处理组样品的边缘 WI 值均上升 (图 5a)。WI 值的降低可能是因 15-B 组样品在贮藏后期包装袋完全胀袋后呼吸代谢增强, 导致样品表面出水、组织发黏 (图 2)。不同处理组样品的中心 WI 值在整个贮藏期间均随着时间的延长而上升 (图 5b), 且在 4 °C 下贮藏样品的中心 WI 值均显著低于在 15 °C 下贮藏 ($P<0.05$)。除了 15-B 组在第 9 天外, 同一贮藏温度下均是恒温箱组样品的 WI 值低于冰箱组样品的 WI 值。



2.5 精准控温对鲜切胡萝卜硬度和脆性的影响

硬度和脆性是评价鲜切胡萝卜质构的关键指标^[23]。由图 6 可知, 在整个贮藏期间, 4-H 组样品的硬度和脆性均随着贮藏时间的延长而不断增加, 其余 3 组样品的硬度和脆性均呈先上升后下降的趋势。硬度和脆性的增加可能是由样品在贮藏过程中失水导致组织硬化所致, 在贮藏后期样品硬度和脆性降低可能是由呼吸代谢增加, 导致真空包装袋内气体成分组成改变, 出现胀袋情况, 样品组织出水、发黏及软化所致。4-H 组样品的硬度和脆性未下降, 可能是因其胀袋情况较轻, 还未出现品质劣变现象。

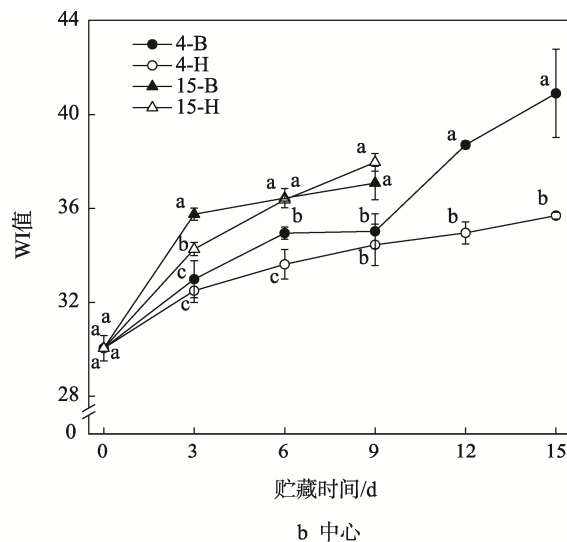


图 5 精准控温对鲜切胡萝卜 WI 值的影响

Fig.5 Effect of precise temperature control on WI values of fresh-cut carrots

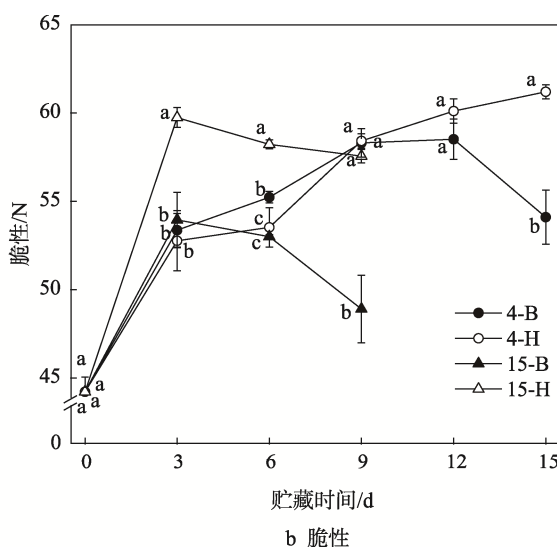
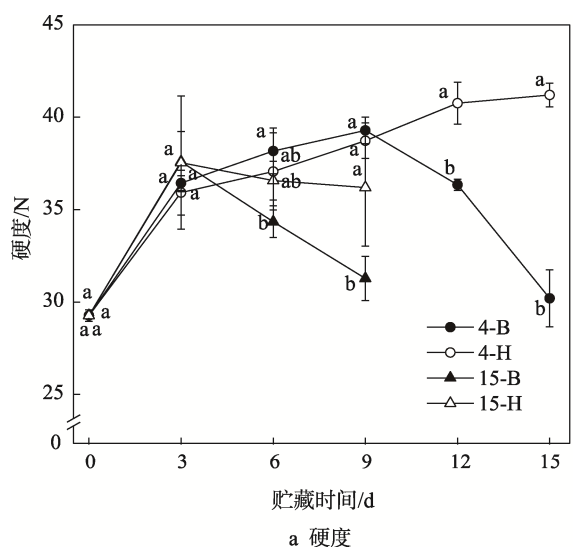


图 6 精准控温对鲜切胡萝卜硬度和脆性的影响

Fig.6 Effect of precise temperature control on firmness and brittleness of fresh-cut carrots

2.6 精准控温对鲜切胡萝卜呼吸强度的影响

呼吸强度的变化在一定程度上能够反映采后贮藏环境或鲜切加工对果蔬组织代谢活动的影响^[1]。如图7所示,鲜切胡萝卜的呼吸强度在贮藏前3 d急剧上升,在贮藏3 d后15-B组鲜切样品的呼吸强度开始下降,而其余3组样品的呼吸强度则呈先下降后上升的趋势。有研究表明,温度波动会加速绿番茄呼吸峰和乙烯峰值的出现,±5℃波动组果实的峰值显著高于±0℃恒温组果实,推测温度波动加快了绿番茄的成熟^[24]。与±4、±3、±2℃相比,较小的温度波动幅度(4℃±1℃)能够降低猕猴桃呼吸强度的峰值,延缓其呼吸进程^[25]。文中得出了类似结果,与普通冰箱贮藏相比,采用精准恒温箱可显著($P<0.05$)抑制鲜切胡萝卜贮藏过程中的呼吸强度。

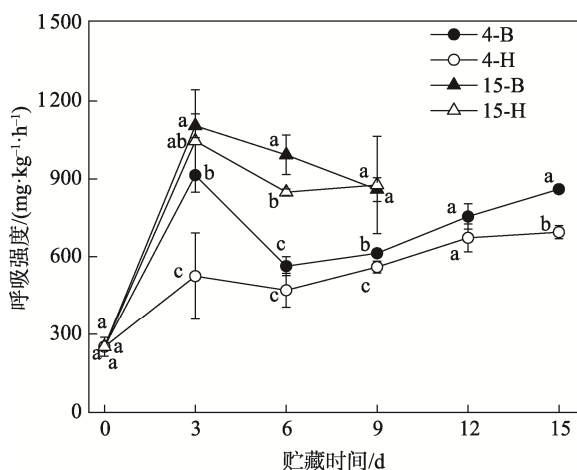


图7 精准控温对鲜切胡萝卜呼吸强度的影响

Fig.7 Effect of precise temperature control on respiratory rate of fresh-cut carrots

2.7 精准控温对鲜切胡萝卜抗氧化能力的影响

如图8所示,在整个贮藏期间,采用4℃条件贮藏的样品的总酚含量整体呈先下降后上升的趋势,而在15℃下贮藏则逐渐下降。在贮藏6 d时,贮藏于精准恒温条件下的样品的总酚含量均显著高于贮藏在温度波动条件下的样品的总酚含量($P<0.05$)。这与已有研究结果一致,与(15±5)℃和(15±1)℃下贮藏相比,在(15±0)℃下贮藏可显著抑制绿番茄总酚含量的损失,延缓绿番茄的成熟和衰老进程^[24]。在贮藏前3 d,由于真空包装隔绝了氧气与样品的接触,从而抑制了样品总酚的积累,随着贮藏时间的延长,样品自身新陈代谢的进行及活性氧的积累激活了鲜切胡萝卜的防御机制,从而诱导了酚类物质的积累,提高了抗氧化和抗菌能力^[26]。在15℃下贮藏的2组样品的总酚含量在贮藏3 d后仍持续下降,这可能是

因样品经真空包装处理后在较高温度下的无氧呼吸程度过高,导致样品组织松弛,使其膜结构、液泡等细胞器受损,从而影响酚类物质的合成和积累^[24]。与15-B组样品相比,15-H组样品的品质劣变程度较低,这可能是其总酚含量下降相对较慢的原因。

机体内活性氧代谢的平衡可提高果蔬的抗氧化能力,从而保持果蔬品质,并延长商品货架期^[27]。如图9所示,在15℃下贮藏的样品的ABTS自由基清除能力随着贮藏时间的延长呈先上升后下降趋势,而在4℃下贮藏的样品的ABTS自由基清除能力呈波动变化趋势,采用精准恒温贮藏可显著($P<0.05$)提高贮藏中鲜切胡萝卜的ABTS自由基清除能力。鲜切胡萝卜的酚类物质含量与其抗氧化能力呈现较大的正相关,较高浓度的酚类物质可提高样品对ABTS自由基的清除能力^[28],这与文中的研究结论一致。

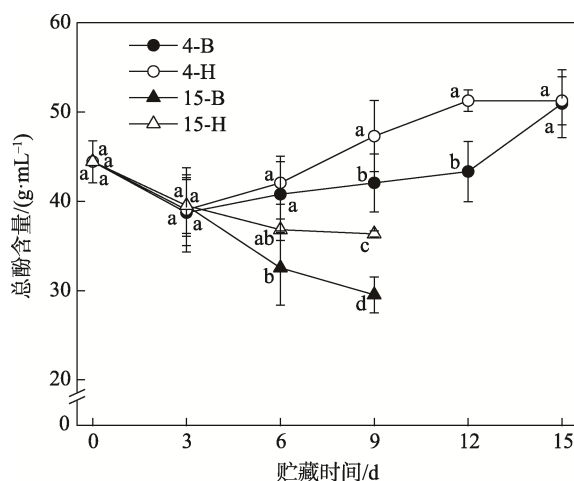


图8 精准控温对鲜切胡萝卜总酚含量的影响

Fig.8 Effect of precise temperature control on total phenolic content of fresh-cut carrots

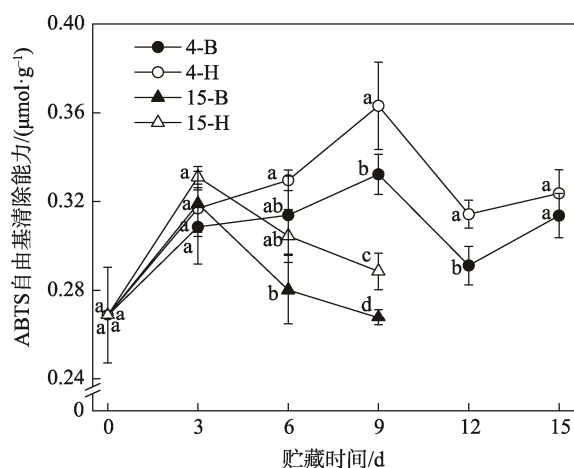


图9 精准控温对鲜切胡萝卜ABTS自由基清除能力的影响

Fig.9 Effect of precise temperature control on ABTS radical scavenging ability of fresh-cut carrots

2.8 精准控温对鲜切胡萝卜菌落总数的影响

微生物安全性对于鲜切果蔬的品质和保质期非常重要。Rediers 等^[29]研究发现, 在鲜切菊苣的供应链中, 温度大幅度波动会显著增加总大肠杆菌和肠杆菌科细菌数量, 因此抑制鲜切果蔬在流通或贮藏过程中的温度波动显得至关重要。文中的研究结果显示, 在不同贮藏条件下鲜切胡萝卜的菌落总数均逐渐上升(图 10), 且与 15 °C 下贮藏相比, 在 4 °C 下贮藏可显著 ($P<0.05$) 抑制鲜切胡萝卜菌落总数的增加; 与普通冰箱贮藏相比, 采用精准恒温箱能够显著 ($P<0.05$) 抑制样品菌落总数的增加。

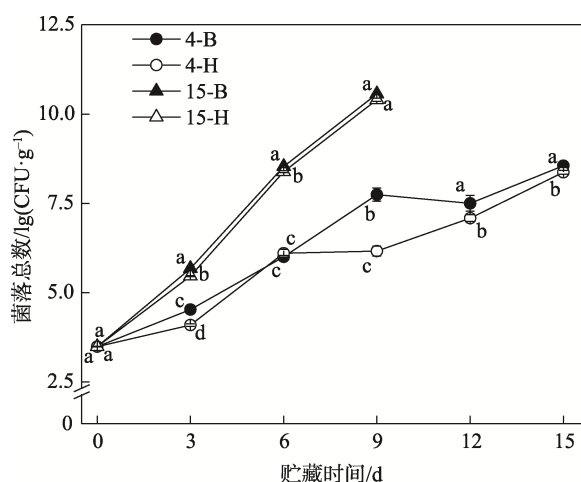


图 10 精准控温对鲜切胡萝卜菌落总数的影响
Fig.10 Effect of precise temperature control on the total number of colonies of fresh-cut carrots

3 结论

贮藏温度的稳定是保持果蔬采后品质的重要因素之一。与恒温贮藏相比, 温度连续波动是一种环境胁迫, 会导致鲜切胡萝卜的品质在贮藏过程中快速劣变。相比之下, 采用 2 种恒温贮藏方式均能显著 ($P<0.05$) 降低鲜切胡萝卜的呼吸强度, 抑制样品在真空包装贮藏下的胀袋速度, 从而维持鲜切胡萝卜较高的硬度和脆性, 延缓鲜切胡萝卜在贮藏过程中及高温水煮后风味的劣变进程, 抑制微生物的生长繁殖, 延缓鲜切胡萝卜在贮藏期间品质劣变的速度。此外, 采用精准恒温箱贮藏均显著提高了鲜切胡萝卜的总酚含量和 ABTS 自由基清除能力, 延缓了鲜切胡萝卜的白化进程, 维持了较高的感官得分。与 15 °C 下贮藏相比, 在 4 °C 下贮藏更有利于延缓鲜切胡萝卜品质的劣变进程, 其中 4-B 组的保鲜效果优于 15-H 组, 说明低温更有利于鲜切胡萝卜的保鲜。

综上所述, 采用精准控温贮藏均能够显著

($P<0.05$) 抑制鲜切胡萝卜的白化、呼吸强度及微生物的生长, 延缓硬度和脆性的下降, 显著 ($P<0.05$) 提高总酚含量和 ABTS 自由基清除能力, 从而延缓鲜切胡萝卜在贮藏过程中风味的劣变进程, 保持样品较高的感官得分。与 15 °C 相比, 在 4 °C 下贮藏具有更好的保鲜效果, 其中恒温箱贮藏的保鲜效果优于冰箱贮藏。

参考文献:

- [1] IMENEO V, PISCOPO A, MARTÍN-BELLOSO O, et al. Efficacy of Pectin-Based Coating Added with a Lemon Byproduct Extract on Quality Preservation of Fresh-Cut Carrots[J]. Foods, 2022, 11(9): 1314.
- [2] VIACAVA G E, CENCI M P, ANSORENA M R. Effect of Chitosan Edible Coatings Incorporated with Free or Microencapsulated Thyme Essential Oil on Quality Characteristics of Fresh-Cut Carrot Slices[J]. Food and Bioprocess Technology, 2022, 15(4): 768-784.
- [3] ALEGRIA C, GONÇALVES E M, MOLDÃO-MARTINS M, et al. Multi-Target Alternative Approaches to Promoting Fresh-Cut Carrots' Bioactive and Fresh-Like Quality[J]. Foods, 2022, 11(16): 2422.
- [4] CHEN C, HU W Z, ZHANG R D, et al. Effects of Hydrogen Sulfide on the Surface Whitening and Physiological Responses of Fresh-Cut Carrots[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(12): 4726-4732.
- [5] RANJITHA K, SUDHAKAR RAO D V, SHIVASHANKARA K S, et al. Shelf-Life Extension and Quality Retention in Fresh-Cut Carrots Coated with Pectin[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 42: 91-100.
- [6] 程丽林, 吴波, 袁海君, 等. 鲜切果蔬贮藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(1): 147-152.
CHENG L L, WU B, YUAN H J, et al. Research Progress in Storage and Preservation Technologies of Fresh-Cut Fruits and Vegetables[J]. Storage and Process, 2019, 19(1): 147-152.
- [7] JIA X Y, LI J K, DU M J, et al. Combination of Low Fluctuation of Temperature with TiO₂ Photocatalytic/Ozone for the Quality Maintenance of Postharvest Peach[J]. Foods, 2020, 9(2): 234.
- [8] 张鹏, 袁兴铃, 薛友林, 等. 精准温度控制对枸杞鲜

- 果贮藏品质和香气成分的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(18): 322-330.
- ZHANG P, YUAN X L, XUE Y L, et al. Effects of Precise Temperature Control on the Storage Quality and Aroma Components of Fresh Goji Fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(18): 322-330.
- [9] PAN Y F, LI X H, JIA X Y, et al. Storage Temperature without Fluctuation Enhances Shelf-Life and Improves Postharvest Quality of Peach[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(3): e13881.
- [10] CHEN L, PAN Y F, JIA X Y, et al. Constant Storage Temperature Delays Firmness Decreasing and Pectin Solubilization of Apple during Post-Harvest Storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(9): 1.
- [11] CHEN L, WANG M Y, WANG H F, et al. Isothermal Storage Delays the Senescence of Post-Harvest Apple Fruit through the Regulation of Antioxidant Activity and Energy Metabolism[J]. Foods, 2023, 12(9): 1765.
- [12] 谢佳妮, 郭若楠, 宾宇洪, 等. 不同温度对真空包装下鲜切胡萝卜贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2023, 44(9): 54-61.
- XIE J N, GUO R N, BIN Y Q, et al. Effects of Different Temperature on Storage Quality of Fresh-Cut Carrots under Vacuum Packaging[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(9): 54-61.
- [13] 朱惠文, 汤静, 金鹏, 等. 贮藏温度对鲜切胡萝卜品质及总酚和 γ -氨基丁酸含量的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 213-219.
- ZHU H W, TANG J, JIN P, et al. Effect of Storage Temperature on Quality and Total Phenolic and γ -Aminobutyric Acid Content in Fresh-Cut Carrot[J]. Food Science, 2019, 40(9): 213-219.
- [14] 马跃, 胡文忠, 程双, 等. 鲜切胡萝卜的生理生化及品质变化的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(12): 352-355.
- MA Y, HU W Z, CHENG S, et al. Study on the Changes in Physio-Biochemistry and Quality of Fresh-Cut Carrot[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(12): 352-355.
- [15] OBEIRNE D, GLEESON E, AUTY M, et al. Effects of Processing and Storage Variables on Penetration and Survival of *Escherichia Coli* O157:H7 in Fresh-Cut Packaged Carrots[J]. Food Control, 2014, 40: 71-77.
- [16] MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ G B, AMODIO M L, COLELLI G. Potential Use of Microwave Treatment on Fresh-Cut Carrots: Physical, Chemical and Microbiological Aspects[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(6): 2063-2072.
- [17] BAO S H, LI X J, LAN T, et al. Effects of Different Cooking Treatments on the Sensory Qualities and Pigmented Phytochemicals of Carrots[J]. Food Chemistry, 2023, 405: 135015.
- [18] 卫赛超, 谢晶. 不同包装方式对芒果低温模拟运输贮藏中品质及代谢的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(5): 227-234.
- WEI S C, XIE J. Effects of Different Packaging Methods on the Quality and Metabolism of Mango Fruit during Simulated Low-Temperature Transportation and Storage[J]. Food Science, 2022, 43(5): 227-234.
- [19] 鲍诗晗, 李诗雯, 何玉英, 等. 烹饪方式对胡萝卜感官品质及营养素含量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 149-156.
- BAO S H, LI S W, HE Y Y, et al. Effects of Cooking Methods on Sensory Quality and Nutrient Content of Carrot[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(8): 149-156.
- [20] 康丹丹, 张鹏, 李江阔, 等. 相温贮藏对采后兰州百合冷藏期间品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(24): 175-181.
- KANG D D, ZHANG P, LI J K, et al. Effects of Phase Temperature Storage on Post-Harvest Quality of Lanzhou Lily during Cold Storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(24): 175-181.
- [21] CHEN C C, WANG Y, XU L, et al. Characterization of Absciscic Acid and Ethylene in Regulating the White Blush in Fresh-Cut Carrots[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(21): 12788.
- [22] SONG Z Y, LI F, GUAN H, et al. Combination of Nisin and E-Polylysine with Chitosan Coating Inhibits the White Blush of Fresh-Cut Carrots[J]. Food Control, 2017, 74: 34-44.
- [23] HAQ R U, PRASAD K. Antioxidant Activity, Phenolic, Carotenoid and Color Changes in Packaged Fresh Carrots Stored under Refrigeration Temperature[J]. Journal

- of Food Measurement and Characterization, 2017, 11(4): 1542-1549.
- [24] CHEN L, PAN Y F, LI H D, et al. Constant Temperature during Postharvest Storage Delays Fruit Ripening and Enhances the Antioxidant Capacity of Mature Green Tomato[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(11): 1-12.
- [25] 熊金梁, 陈爱强, 刘婧, 等. 温度波动对猕猴桃在 4 °C 下货架贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(19): 69-76.
- XIONG J L, CHEN A Q, LIU J, et al. Effect of Temperature Fluctuation on the Quality of Kiwifruit during 4 °C Shelf Storage[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(19): 69-76.
- [26] GASTÉLUM-ESTRADA A, HURTADO-ROMERO A, SANTACRUZ A, et al. Sanitizing after Fresh-Cutting Carrots Reduces the Wound-Induced Accumulation of Phenolic Antioxidants Compared to Sanitizing before Fresh-Cutting[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(13): 4995-4998.
- [27] HAN C, LI J, JIN P, et al. The Effect of Temperature on Phenolic Content in Wounded Carrots[J]. Food Chemistry, 2017, 215: 116-123.
- [28] PÉREZ M B, CARVAJAL S, BERETTA V, et al. Characterization of Purple Carrot Germplasm for Antioxidant Capacity and Root Concentration of Anthocyanins, Phenolics, and Carotenoids[J]. Plants, 2023, 12(9): 1796.
- [29] REDIERS H, CLAES M, PEETERS L, et al. Evaluation of the Cold Chain of Fresh-Cut Endive from Farmer to Plate[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 51(2): 257-262.