

不同温度对真空包装下鲜切胡萝卜贮藏品质的影响

谢佳妮^a, 郭若楠^a, 宾宇淇^a, 石立佳^a, 陈晨^{a,b}, 姜爱丽^{a,b}

(大连民族大学 a.生命科学学院 b.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** 研究不同贮藏温度对真空包装下鲜切胡萝卜贮藏品质的影响。**方法** 将新鲜胡萝卜切片后采用真空包装, 分别置于4、8和20℃下贮藏3、12和25 d。分析贮藏期间鲜切胡萝卜的感官品质、色差、气味、硬度、呼吸强度、菌落总数和总酚含量的变化并进行测定。**结果** 与8℃和20℃下贮藏相比, 4℃低温贮藏显著抑制了微生物生长, 降低了表面白化现象发生的概率, 保持了鲜切胡萝卜的硬度。不同温度下短期贮藏的鲜切胡萝卜气味变化无明显差异, 但长期贮藏后会导致甲基类、氮氧化合物、醇类和醛酮类等化合物的释放。4℃条件下样品的总酚含量显著低于8℃和20℃。**结论** 较短时间的高温贮藏可以促进酚类化合物的合成和积累, 而低温结合真空包装可以保持鲜切胡萝卜的品质以及保证食用的安全性。

关键词: 鲜切胡萝卜; 不同贮藏温度; 真空包装; 品质

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)09-0054-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.09.007

Effects of Different Temperature on Storage Quality of Fresh-cut Carrots under Vacuum Packaging

XIE Jia-ni^a, GUO Ruo-nan^a, BIN Yu-qi^a, SHI Li-jia^a, CHEN Chen^{a,b}, JIANG Ai-li^{a,b}

(a. College of Life Science b. Key Laboratory of Biotechnology and Bioresources Utilization, Ministry of Education, Dalian Minzu University, Liaoning Dalian 116600, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of different storage temperature on quality of fresh-cut carrots under vacuum packaging. Fresh carrots were sliced and vacuum packed and stored at 4, 8 and 20 °C for 3, 12 and 25 d, respectively. Changes on sensory quality, color, aromatic substances, hardness, respiratory rate, total bacterial count and total phenol content of fresh-cut carrots during storage were determined. Compared with storage at 8 °C and 20 °C, storage at 4 °C significantly inhibited microbial growth, reduced the occurrence of surface bleaching phenomenon, and maintained the hardness of fresh-cut carrots. There was no obvious difference in the smell of fresh-cut carrots at different temperature, but compounds such as methyl groups, nitrogen oxides, alcohols and aldehyones would be released after long term storage. The total phenolic content of samples stored at 4 °C was significantly lower than 8 °C and 20 °C. Storage at high temperature for a short period can promote the synthesis and accumulation of phenolic compounds, whereas low temperature combined with vacuum packaging can maintain the quality and safety of fresh-cut carrots.

KEY WORDS: fresh-cut carrot; different storage temperature; vacuum packing; quality

收稿日期: 2023-03-15

基金项目: 甘肃省科技重大项目课题(21ZD4NA016-02)

作者简介: 谢佳妮(2000—), 女, 硕士生, 主攻采后生物学与技术。

通信作者: 陈晨(1986—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为采后生物学与技术; 姜爱丽(1971—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为采后生物学与技术。

胡萝卜是根茎类蔬菜之一, 在世界各地广泛种植。胡萝卜富含类胡萝卜素、维生素和膳食纤维, 还是矿物质和抗氧化剂的良好来源, 具有补肝明目、清热解毒等功效, 在预防许多疾病方面具有重要作用^[1-2]。近年来, 随着人们生活水平提高, 鲜切果蔬因方便、卫生等特点深受广大消费者青睐^[3]。胡萝卜因其硬度、脆度高, 汁液流失少等特点非常适合鲜切加工^[4]。然而鲜切胡萝卜的加工过程, 如去皮、切割等产生的机械损伤, 使胡萝卜组织呼吸速率升高, 蒸腾作用加快, 从而促进组织木质化、质构劣变以及细胞衰老。此外, 机械损伤导致细胞内容物流出, 造成营养流失及风味损失, 并易于微生物的生长繁殖, 从而加速腐烂变质^[5]。

温度是影响鲜切果蔬贮藏品质的重要因素之一。低温贮藏能抑制酶的活力及微生物的生长, 降低呼吸作用, 不同贮藏温度对鲜切果蔬贮藏期间的各项指标的影响不同^[6]。兰璞等^[7]研究发现低温贮藏 (0 °C) 能够较好地维持鲜切胡萝卜的贮藏期间感官品质。常温 (20 °C) 贮藏有利于 γ -氨基丁酸^[8]和酚类^[9]等营养物质积累。酚类物质具有较高抗氧化活性, 但同时也是木质素合成的重要前体物质, 贮藏期间鲜切胡萝卜表面木质素的沉积会导致其木质化, 木质化及表面失水是引发鲜切胡萝卜的表面白化主要原因^[10]。低温通过抑制木质化相关基因的表达和抑制木质素生物合成相关酶的活性来延迟木质化^[11]。此外, Alegria 等^[12]研究 OPP 薄膜和微孔 OPP 薄膜对鲜切胡萝卜贮藏品质的影响, 结果表明微孔 OPP 薄膜的较高渗透性对保持产品新鲜品质至关重要。目前的研究主要集中于贮藏温度对鲜切胡萝卜品质的影响, 而对真空包装的鲜切胡萝卜研究较少。真空包装可通过降低呼吸和蒸腾作用, 延缓鲜切产品贮藏期间的表面失水, 从而控制木质化, 是一种适合组织结构致密, 具有休眠特性的根茎类蔬菜的保鲜包装方式^[13-14]。本研究通过对不同温度条件贮藏过程中真空包装鲜切胡萝卜品质表征参数 (硬度、感官评分、色差、电子鼻)、生理指标 (总酚含量、呼吸强度)、微生物 (霉菌、酵母菌总数、菌落总数) 进行测定, 经过多因素的综合分析不同贮藏温度对真空包装下鲜切胡萝卜的品质的影响, 对鲜切胡萝卜的加工、运输及保鲜提供参考。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料: “新黑田五寸人参”胡萝卜, 购自大连金州区沃尔玛超市, 选用成熟度一致、无机械损伤、无病虫害的胡萝卜为实验材料。

主要试剂: 次氯酸钠、无水乙醇、过硫酸钾、福林酚, 分析纯, 科密欧有限公司; 平板计数琼脂培养基、马铃薯葡萄糖琼脂培养基 (PDA), 生物试剂,

奥博星生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备: PEN 3 电子鼻, 德国 Airsence 有限公司; 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; F-940 气体分析仪, 美国 Felix 公司; T-25 型匀浆机, 德国 IKA 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; KQ 5200 DB 超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; MLS-3750 高压灭菌锅, 松下电器有限公司; DHG-9070A 烘箱, 上海精宏实验有限公司; SW-CJ 超净工作台, 苏州市苏信净化设备厂。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

新鲜胡萝卜在质量浓度为 2 ml/L 的 NaClO 溶液中浸泡 5 min 后, 切为厚度为 3 mm 的薄片。将鲜切胡萝卜片采用质量浓度为 2 ml/L 的 NaClO 溶液浸泡清洗 1 min, 脱去表面水分后, 采用聚酯真空保鲜袋真空包装, 每袋 200 g (约 35 片), 将处理好的样品分别置于 4 °C 贮藏 25 d, 每隔 5 d 取样; 8 °C 贮藏 12 d, 每隔 3 d 取样; 25 °C 贮藏 3 d, 每天取样。样品用于测定各项指标。

1.3.2 感官评分的测定

参照宋遵阳等^[15]的方法并稍作修改, 采取九分制评分。每次取样点取样时, 由 10 名接受了对鲜切胡萝卜品质初步培训的人员参照表 1 对鲜切胡萝卜气味、色泽、组织结构进行打分。所有成员都最后取其平均分, 总分在 1~9 之间, 6 分以下表示其失去商品价值。具体评分标准见表 1。

表 1 感官品评标准
Tab.1 Table of sensory product evaluation criteria

分值	气味	色泽	组织结构
9	淡淡的清新和甜味	红色	紧密
7	失去清新的味道, 无腐烂	红色变浅, 无白化现象	紧密度下降
5	失去甜味, 但无腐烂味	红色有轻微的白化	轻微软化
3	有轻微腐烂味	出现小面积的白化	有轻微腐烂
1	发白, 出现烂斑	白化 > 1/2	腐烂发臭

1.3.3 表面颜色的测定

表面颜色的测定参照 Yu 等^[16]的方法, 并稍作修改。每个取样点, 随机抽取 10 片, 使用 CR-400 彩色色差仪分别测定鲜切胡萝卜样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,

计算其白化值, 见式(1)。

$$\text{白化值} = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad (1)$$

1.3.4 电子鼻的测定

参照赵婧^[8]的方法并稍作修改, 取鲜切胡萝卜样品 8 g 切成大小均匀的块状置于 120 mL 样品瓶中; 在室温条件下, 静置孵化 30 min, 使用电子鼻对其进行芳香物质的检测。

1.3.5 硬度的测定

利用 TA-TXPlus 质构仪对鲜切胡萝卜中心部位的硬度进行测定。通过去皮水果穿刺试验方法, 采用直径 5 mm 的 P/5 探头进行实验。测试参数: 测前速度为 2 mm/s, 测后速度为 2 mm/s, 最小感知力为 3 N, 穿刺深度为 3 mm。

1.3.6 呼吸强度的测定

在每个取样点随机取 10 片鲜切胡萝卜, 称量记录, 置于呼吸盒中, 按照对应的温度放置 1 h, 使用呼吸机将 2 个探头分别插入 2 个塞口中, 等到传感器读数相对稳定后, 记录 CO₂、O₂ 含量。计算式见式(2)。

$$R = \frac{(C_1 - C_2) / 100 \times (V - m \times 10^{-3})}{m \times t} \times 1.96 \quad (2)$$

式中: R 为呼吸强度, mg/(kg·h); C_1 为样品的 CO₂ 释放量, %; C_2 为大气中 CO₂ 体积分数, %; V 为呼吸盒体积, mL; m 为样品质量, kg; t 为时间, h。

1.3.7 微生物的测定

菌落总数采用平板计数法, 参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》计算。

霉菌、酵母菌总数参照 GB 4789.15—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》进行计算。

1.3.8 总酚含量的测定

总酚含量的测定采用福林酚法^[17], 称取冻样样品 5 g, 加入体积分数为 80% 的乙醇溶液 20 mL, 在 40 °C 下超声提取 (40 min); 在 4 °C、12 000 r/min 条件下离心 20 min, 取上层清液; 将 2 mL 福林酚溶液与 2 mL 酶提取液混合均匀, 加入质量分数为 7% 的 Na₂CO₃ 溶液 20 mL 并定容至 50 mL; 避光放置 90 min 后, 于 750 nm 处测定吸光值。总酚含量计算式见式(3)。

$$w = \frac{A}{100 \times m} \quad (3)$$

式中: w 为总酚含量, mg/g; A 为样品在 280 nm 处的吸光值; m 为样品质量, g。

1.4 数据处理

以上实验均进行 3 次重复操作, 利用 Excel 2019 进行数据汇总及处理。数据以“平均值±标准偏差”的方式表示, 并采用 Origin 2022 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜感官评分的影响

真空包装可以隔绝空气, 减少水分蒸发, 但也会引起果蔬无氧呼吸, 厌氧微生物发酵产生酒精和 CO₂ 气体, 导致样品品质劣变和出现胀袋现象。如图 1a 所示, 鲜切胡萝卜在 20 °C 下贮藏 2 d 时出现轻微胀袋, 3 d 时胀袋较严重, 且出现表面发黑和因微生物侵染导致胡萝卜产生水浸现象; 在 8 °C 下贮藏, 12 d 时出现胀袋现象, 且袋内的鲜切胡萝卜出现水浸现象; 而在 4 °C 下贮藏 25 d 时才出现水浸现象, 但未出现胀袋。

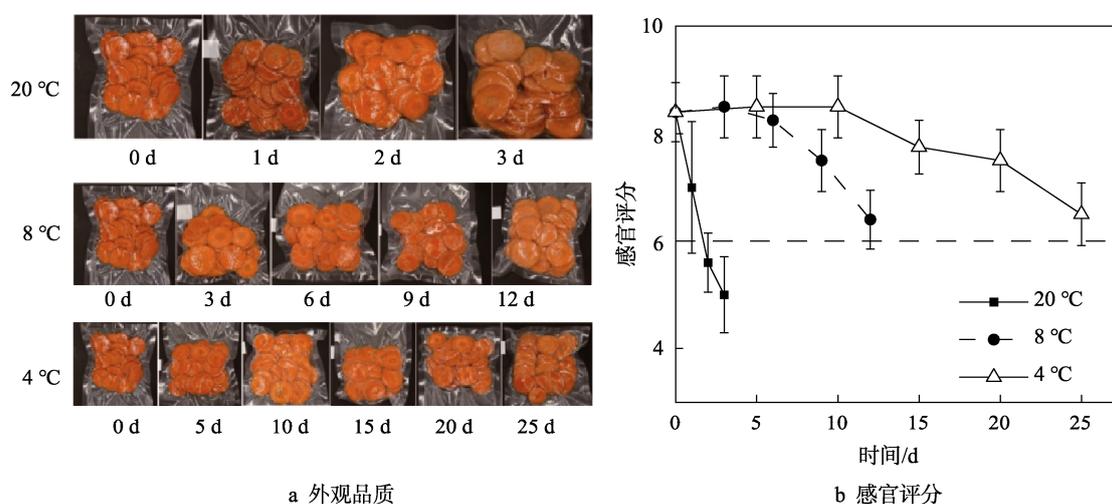


图 1 不同温度对鲜切胡萝卜外观品质和感官评分的影响

Fig.1 Effect of different temperature on appearance quality and sensory scores of fresh-cut carrots

鲜切胡萝卜的感官品质根据气味、色泽和组织结构进行评分。如图 1b 所示, 随着贮藏时间的延长, 鲜切胡萝卜的感官评分逐渐下降。在 20 °C 贮藏时感官评分下降速度最快, 在第 2 天便失去商品价值, 而在 8 °C 和 4 °C 贮藏条件下, 在贮藏期结束时均未失去商品价值。在 20 °C 贮藏时由于温度较高, 鲜切胡萝卜呼吸速率较快, 真空包装下产生的无氧呼吸, 导致大量的乙醇、乙醛和乳酸积累^[17], 从而导致胡萝卜风味下降和组织损伤, 使其品质劣变, 感官评分下降。而 4 °C 低温贮藏能抑制鲜切胡萝卜的呼吸作用, 有效降低鲜切胡萝卜的风味损失和白化现象, 从而减缓感官评分的下降速度。

2.2 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜表面白化的影响

贮藏期间, 鲜切胡萝卜表面会出现脱水现象, 这是一种物理反应, 会引起可逆的颜色变化。同时, 切片造成胡萝卜表皮细胞被破坏, 受到机械损伤后的鲜切胡萝卜表面生成木质素等白色的次生代谢物质, 因此鲜切胡萝卜表面产生白化现象, 白化值升高^[1,18]。如图 2 所示, 在 20 °C 条件下贮藏的鲜切胡萝卜白化值在 0~2 d 时迅速增加, 温度的升高会在很短的时间内增加组织中的水分流失, 造成其表面脱水, 从而很快地使鲜切胡萝卜的品质下降^[19]。在 20 °C 贮藏 3 d 时, 鲜切胡萝卜由于无氧呼吸出现水浸状, 白化值下降; 而 4 °C 贮藏能抑制鲜切胡萝卜脱水及呼吸作用, 因此在贮藏过程中白化值未发生显著变化。Song 等^[20]发现与 20 °C 贮藏条件相比, 低温 (2 °C) 贮藏显著降低了微加工茭白中木质素含量, 保持了更好的感官品质。Song 等^[20]结果与本研究结果一致, 说明低温贮藏可以抑制鲜切胡萝卜表面木质素形成, 从而延缓了白化值升高。

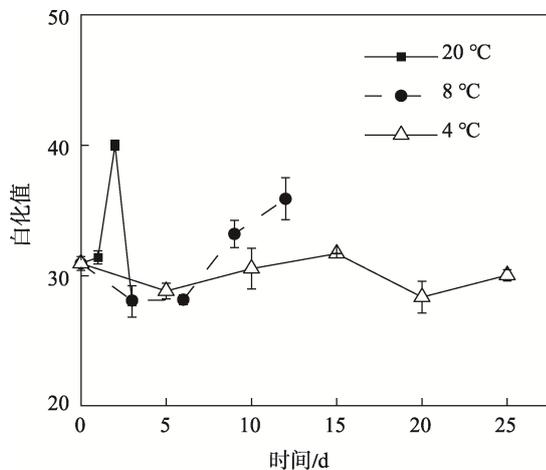


图 2 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜表面白化的影响
Fig.2 Effect of different temperature on surface color of fresh-cut carrots

2.3 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜气味的影响

通过电子鼻测定不同贮藏温度下鲜切胡萝卜挥发性风味物质成分。结果 (图 3) 显示, 0 d 时, 鲜切胡萝卜对 W2W、W1W 这 2 个传感器响应强烈, 说明鲜切胡萝卜本身的气味主要是硫化物、萜烯类化合物。赵婧^[8]对胡萝卜进行切丝处理, 结果显示鲜切胡萝卜丝中 W2W、W1W、W1S 等 3 个传感器响应强烈, 可能不同切分处理会影响鲜切胡萝卜的气味成分。随贮藏时间的延长, 鲜切胡萝卜对 W2W、W1W、W1S、W5S 和 W2S 等 5 个传感器的响应值显著增加, 其中 W1S 的响应值增幅最大。表明鲜切胡萝卜在贮藏过程中, 自身的风味会增强, 同时也会产生甲基类、氮氧化物、醇类和醛酮类等化合物。在 8 °C 和 20 °C 下贮藏 3 d 以及在 4 °C 下贮藏 5 d 时各传感器响应值均无显著差异, 说明在不同温度下短期贮藏对鲜切胡萝卜的气味无显著影响。

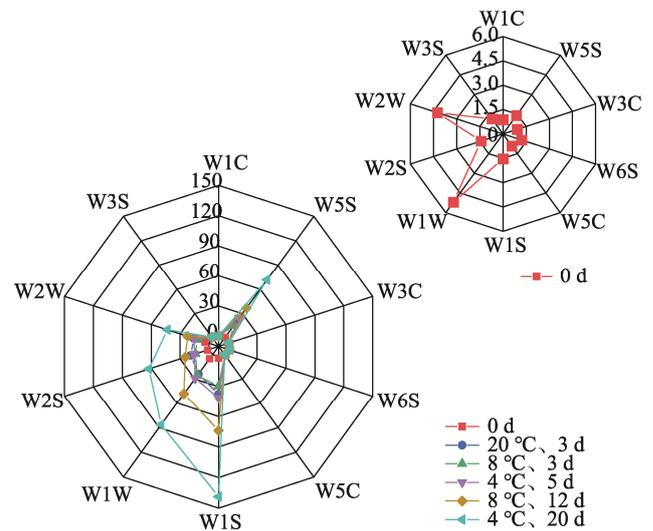


图 3 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜气味的影响

Fig.3 Effect of different temperature on odor of fresh-cut carrots

2.4 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜硬度的影响

硬度是反映果蔬衰老及失水情况的重要指标, 鲜切胡萝卜切片产生的机械损伤会导致其脱水和酚类物质的积累, 并易于微生物的生长繁殖, 从而使鲜切胡萝卜在贮藏期间发生软化和木质化, 使其硬度降低^[14,21]。如图 4 所示, 不同贮藏温度鲜切胡萝卜的硬度均随贮藏时间延长呈下降趋势 (图 4)。在 20 °C 贮藏条件下鲜切胡萝卜硬度的下降速率显著高于 4 °C 和 8 °C 贮藏条件下的, 说明低温贮藏能保持鲜切胡萝卜的硬度。Javier 等^[22]研究了将鲜切木瓜在不同温度中贮藏的效果, 结果表明较低的温度防止了硬度的损失。此外, 不同贮藏温度也显著影响真空包装鲜切马铃薯的硬度, 低温 (3 °C) 下贮藏鲜切马铃薯的硬度略高于

在 10 °C 下贮藏的样品,可能是由于较高温度条件下贮藏有利于微生物的生长繁殖,且细胞壁内源酶活性较高^[23]。

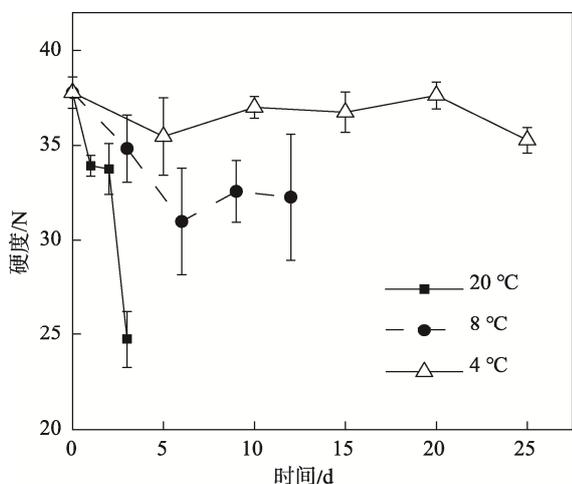


图4 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜硬度的影响
Fig.4 Effect of different temperature on firmness of fresh-cut carrots

2.5 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜呼吸强度的影响

呼吸作用与鲜切果蔬贮藏期品质密切相关,鲜切机械伤害会诱导呼吸作用增强,从而加速果蔬组织衰老^[24]。抑制呼吸的产生对保持鲜切果蔬的贮藏品质具有重要意义^[25]。由图5可知,不同温度条件下贮藏鲜切胡萝卜的呼吸强度均呈上升趋势。贮藏初期(0~3 d),在 20 °C 贮藏条件下鲜切胡萝卜的呼吸强度显著高于 4 °C 和 8 °C 贮藏条件下鲜切胡萝卜的,表明低温能抑制鲜切胡萝卜的呼吸作用,这与 Iqbal 等^[24]、Juan 等^[26]的研究结果一致。贮藏后期,4 °C 和 8 °C 贮藏的鲜切胡萝卜呼吸强度持续升高,二者分别在 12 d 和 20 d 时呼吸强度达到最大。可能是因为真空包装抑制了呼吸作用,当鲜切胡萝卜在从真空环境中取出后,其呼吸强度急剧增加导致^[27]。

2.6 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜菌落的影响

微生物的安全性对鲜切果蔬的品质和保质期非常重要,鲜切使果蔬的内部组织暴露于微生物污染中,因此鲜切产品在贮藏期间保持微生物稳定性的能力是至关重要的^[28]。与其他包装相比,真空包装能更好地保持鲜切胡萝卜的硬度、水分含量以及能抑制微生物增长。然而,真空包装的氧气浓度极低,可促进厌氧菌微生物的生长,导致鲜切胡萝卜品质劣变^[29]。如图6所示,随着贮藏时间的延长,在不同贮藏温度条件下,鲜切胡萝卜中霉菌、酵母菌和细菌总数均呈逐渐上升趋势。在 20 °C 贮藏条件下的霉菌、酵母菌

和细菌总数增长速度均显著高于 4 °C 和 8 °C 贮藏条件下的。贮藏前期,在 4 °C 和 8 °C 条件下的鲜切胡萝卜的霉菌、酵母菌和细菌总数均无显著增加。随贮藏时间的延长,在 4 °C 和 8 °C 下贮藏的鲜切胡萝卜的霉菌和酵母菌的生长数量呈上升趋势,而细菌数量增加缓慢。这可能是因为低温条件能抑制嗜温微生物的生长,这种趋势可能是由于微生物生长的稳定阶段或真空包装对某些需氧微生物的抑制,也是贮藏后期鲜切胡萝卜的主要菌群为霉菌、酵母菌的原因。除此之外,贮藏后期微生物生长减慢也可能是由于无氧呼吸产生有机酸的增加而引起的^[29]。

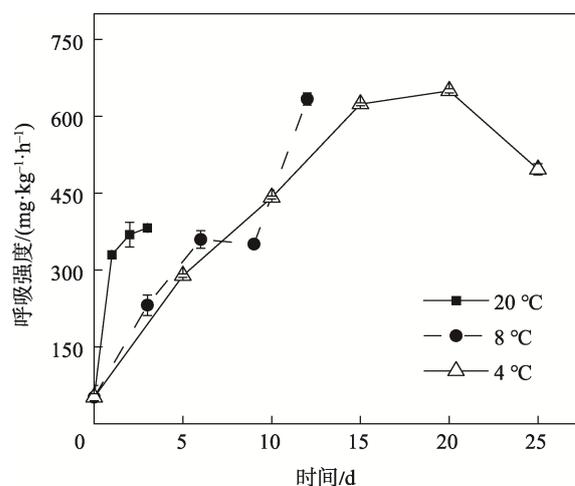


图5 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜呼吸强度的影响
Fig.5 Effect of different temperature on respiratory rate of fresh-cut carrots

2.7 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜总酚含量的影响

果蔬在受到机械损伤时,会激活自身防御机制来修复损伤胁迫,例如诱导合成大量酚类物质等次生代谢产物用于组织修复。苯丙氨酸解氨酶(PAL)作为苯丙烷代谢途径的关键酶,对调控酚类物质合成发挥重要作用^[9]。机械伤害能够诱导鲜切果蔬 PAL 活性提高,从而增加酚类物质合成^[30]。不同温度条件下的鲜切胡萝卜的总酚含量在贮藏过程中总体呈上升趋势,温度越高总酚含量积累越多(图7)。在机械损伤的基础上较高的贮藏温度进一步促进了鲜切胡萝卜 PAL 活力的上升,加速了酚类物质的合成与积累^[10]。Han 等^[9]的研究结果显示较高的贮藏温度可能通过提高活性氧代谢水平来增加伤口诱导的酚类积累。说明低温可能通过抑制活性氧代谢来抑制酚类物质合成,从而降低鲜切胡萝卜总酚含量。此外,在贮藏前期鲜切胡萝卜中总酚含量均略有下降,可能是由于真空包装对样品中酚类物质的合成具有抑制作用。

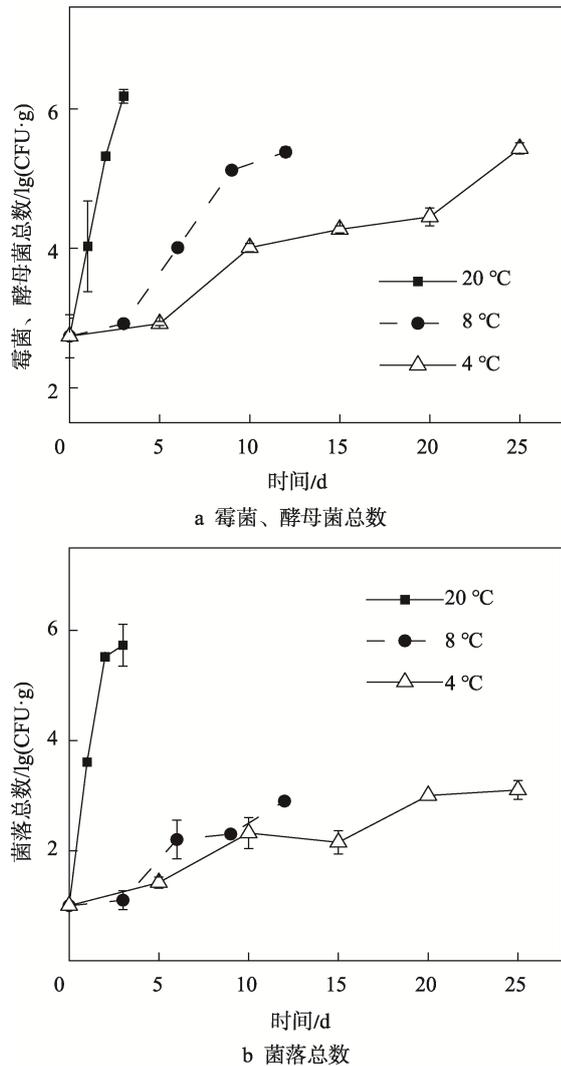


图 6 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜霉菌、酵母菌总数、菌落总数的影响

Fig.6 Effect of different temperature on total number of mold and yeast, total bacterial count of fresh-cut carrots

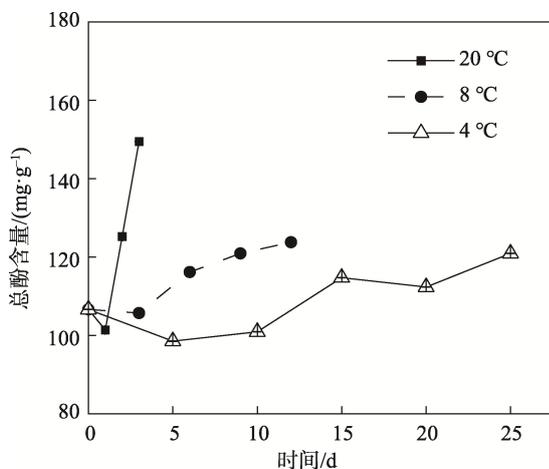


图 7 不同贮藏温度对鲜切胡萝卜总酚含量的影响

Fig.7 Effect of different temperature on total phenolic content of fresh-cut carrots

3 结语

鲜切胡萝卜在贮藏初期由于切片产生机械损伤, 激活了自身防御机制, 诱导合成大量酚类物质等次生代谢产物用于组织修复。在贮藏过程中鲜切胡萝卜易脱水和木质化, 使酚类物质增加, 从而导致鲜切胡萝卜表面产生白化现象。此外, 呼吸作用增强和微生物侵染等导致胡萝卜组织软化、硬度下降, 从而导致鲜切胡萝卜贮藏品质下降, 货架期缩短。真空包装能降低鲜切果蔬周围氧气含量, 抑制其贮藏过程中的呼吸作用并减缓微生物的生长, 是一种适用于鲜切胡萝卜的保鲜包装方式。本研究结果表明, 温度显著影响真空包装鲜切胡萝卜的贮藏品质, 与 8 °C 和 20 °C 相比, 4 °C 贮藏显著降低了鲜切胡萝卜的呼吸作用, 延缓由于表面脱水导致的木质化现象, 从而延缓其表面白化, 并保持了鲜切胡萝卜的硬度, 抑制了微生物的增长, 有助于维持鲜切胡萝卜在贮藏期间的感官品质。但短期贮藏对在不同温度下的鲜切胡萝卜气味无显著影响, 而随时间延长, 真空包装中的鲜切胡萝卜会产生甲基类、氮氧化合物、醇类和醛酮类等化合物, 导致气味劣变。此外, 鲜切胡萝卜在 20 °C 下的总酚含量显著高于 4 °C 和 8 °C 下的, 说明高温贮藏会诱导酚类化合物的合成和积累。综上所述, 低温结合真空包装可以保持鲜切胡萝卜的品质和安全性, 与 8 °C 相比, 4 °C 的保鲜效果更好。本研究结论将为鲜切胡萝卜的加工、运输及保鲜提供理论依据, 并且真空包装具有便捷、价格低廉、安全等特点, 在鲜切果蔬保鲜方面将具有广阔的应用前景。

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* (Basel, Switzerland), 2022, 11(9): 1314.
- [2] QUE Feng, HOU Xi-lin, WANG Guang-long, et al. Advances in Research on the Carrot, an Important Root Vegetable in the Apiaceae Family[J]. *Horticulture Research*, 2019, 6: 69.
- [3] 王佳宇, 胡文忠, 于皎雪, 等. 紫外线杀菌技术在鲜切果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. *包装工程*, 2021, 42(13): 85-92.
- [4] 李丽, 唐杰, 李昌宝, 等. 清洗杀菌方式对鲜切胡萝卜

- 卜保鲜效果的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(9): 13-17.
- LI Li, TANG Jie, LI Chang-bao, et al. Effect of Cleaning and Sterilization Methods on Fresh-Keeping Effect of Fresh-Cut Carrots[J]. The Food Industry, 2020, 41(9): 13-17.
- [5] GIANNAKOUROU M C, TSIRONI T N. Application of Processing and Packaging Hurdles for Fresh-Cut Fruits and Vegetables Preservation[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2021, 10(4): 830.
- [6] JIA Xiao-yu, LI Jiang-kuo, DU Mei-jun, et al. Combination of Low Fluctuation of Temperature with TiO₂ Photocatalytic/Ozone for the Quality Maintenance of Postharvest Peach[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2020, 9(2): 234.
- [7] 兰璞, 刘斌, 贾凝, 等. 贮藏温度对鲜切胡萝卜贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(24): 168-172.
- LAN Pu, LIU Bin, JIA Ning, et al. Effect of Storage Temperature on Storage Quality of Fresh-Cut Carrots[J]. Food Research and Development, 2020, 41(24): 168-172.
- [8] 赵婧. 谷氨酸处理对鲜切胡萝卜品质和活性成分积累的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- ZHAO Jing. Effects of Glutamate Treatment on Quality and Active Component Accumulation of Fresh-Cut Carrots[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020.
- [9] HAN Cong, LI Jing, JIN Peng, et al. The Effect of Temperature on Phenolic Content in Wounded Carrots[J]. Food Chemistry, 2017, 215: 116-123.
- [10] CHEN Chen, HU Wen-zhong, ZHANG Rui-dong, 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.
- [11] YANG Bai-qi, FANG Xiang-jun, HAN Yan-chao, et al. Analysis of Lignin Metabolism in Water Bamboo Shoots During Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 192: 111989.
- [12] 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 (Basel, Switzerland), 2022, 11(16): 2422.
- [13] CHETTI M B, DEEPA G T, ANTONY R T, et al. Influence of Vacuum Packaging and Long Term Storage on Quality of Whole Chilli (*Capsicum Annuum* L.)[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(10): 2827-2832.
- [14] 徐冬颖, 周福慧, 蒋海峰, 等. 真空包装结合避光处理对鲜切马铃薯的品质影响[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 184-192.
- XU Dong-ying, ZHOU Fu-hui, JIANG Hai-feng, et al. Effect of Vacuum Combined with Light-Proof Packaging on Quality of Fresh-Cut Potatoes[J]. Food Science, 2020, 41(13): 184-192.
- [15] 宋遵阳, 徐云峰, 关惠, 等. 臭氧水对鲜切胡萝卜贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(8): 326-329.
- SONG Zun-yang, XU Yun-feng, GUAN Hui, et al. Effect of Ozone Water on Preserve Quality of Fresh-Cut Carrot[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(8): 326-329.
- [16] YU Yong, JIANG Xiuping, RAMASWAMY H S, et al. High Pressure Processing Treatment of Fresh-Cut Carrots: Effect of Pre-soaking in Calcium Salts on Quality Parameters[J]. Journal of Food Quality, 2018, 2018: 1-9.
- [17] 赵蕾, 胡文忠, 刘文玲, 等. NO 处理对鲜切胡萝卜生理生化变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 151-157.
- ZHAO Lei, HU Wen-zhong, LIU Wen-ling, et al. Effects of Nitric Oxide on Physiological and Biochemical Changes of Fresh-Cut Carrots[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(1): 151-157.
- [18] 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 Hui-wen, TANG Jing, JIN Peng, 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.
- [19] RAEES-UL H, KAMLESH P. 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.
- [20] SONG Li-li, CHEN Hang-jun, GAO Hai-yan, et al. Combined Modified Atmosphere Packaging and Low Temperature Storage Delay Lignification and Improve the Defense Response of Minimally Processed Water Bamboo Shoot[J]. Chemistry Central Journal, 2013, 7(1): 147.
- [21] 张恺迦. 酸性硫酸钙(ACS)在鲜切胡萝卜和葡萄保鲜中的应用初探[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020.

- ZHANG Kai-ru. Preliminary Study on the Application of Acidic Calcium Sulfate (ACS) in Fresh-Cut Carrots and Grapes[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2020.
- [22] JAVIER R, FRANCISCO A V, FERNANDO A J, et al. Cutting Shape and Storage Temperature Affect Overall Quality of Fresh-cut Papaya cv. 'Maradol'[J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70(7): 482-489.
- [23] DRAENKA D H, MAJA R, MARIO E, et al. Effect of Anti-Browning Agents and Package Atmosphere on the Quality and Sensory of Fresh-Cut Birgit and Lady Claire Potato during Storage at Different Temperatures[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(4): 14391.
- [24] IQBAL T, RODRIGUES F A S, MAHAJAN P V, et al. Effect of Minimal Processing Conditions on Respiration Rate of Carrots[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(8): 396-402.
- [25] GRAHAM D E, LISA O K, RICHARD K N. Respiratory and low-temperature sweetening responses of fresh-cut potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers to low oxygen[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 156: 110937.
- [26] JUAN S D A, FABIANA F S, LILIA S H, et al. Fresh-Cut Radish Using Different Cut Types and Storage Temperatures[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2005, 40(2): 149-154.
- [27] XU Dong-ying, CHEN Chen, ZHOU Fu-hui, et al. Vacuum Packaging and Ascorbic Acid Synergistically Maintain the Quality and Flavor of Fresh-Cut Potatoes[J]. *LWT-Food Science & Technology*, 2022, 162: 113356.
- [28] BECERRA-MORENO A, REDONDO-GIL M, BENAVIDES J, et al. Combined Effect of Water Loss and Wounding Stress on Gene Activation of Metabolic Pathways Associated with Phenolic Biosynthesis in Carrot[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6: 837.
- [29] LI Zu-di, ZHAO Wen-ting, MA Yue, et al. Shifts in the Bacterial Community Related to Quality Properties of Vacuum-Packaged Peeled Potatoes during Storage[J]. *Foods (Basel, Switzerland)*, 2022, 11(8): 1147.
- [30] HELLSTRÖM J, GRANATO D, MATTILA P H. Accumulation of Phenolic Acids during Storage over Differently Handled Fresh Carrots[J]. *Foods (Basel, Switzerland)*, 2020, 9(10): 1515.

责任编辑: 曾钰婵