

罗丹, 王珍珍, 韩浩, 等. 低温结合不同硅窗面积气调包装保鲜对大蒜贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(17): 367–374. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110022

LUO Dan, WANG Zhenzhen, HAN Hao, et al. Effect of Low Temperature Combined with Different Silicon Window Areas on the Storage Quality of Garlic in Air Conditioned Packaging[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(17): 367–374. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110022

· 贮运保鲜 ·

低温结合不同硅窗面积气调包装保鲜对大蒜贮藏品质的影响

罗丹¹, 王珍珍¹, 韩浩¹, 吴静¹, 常国立¹, 沙如意^{1,*}, 黄俊¹, 崔艳丽², 毛建卫¹
(1. 浙江科技学院生物与化学工程学院, 浙江省农产品化学与生物加工技术重点实验室, 浙江杭州 310023;
2. 浙江大学化学系, 浙江杭州 310027)

摘要: 为确定不同硅窗面积对大蒜硅窗气调保鲜的影响, 以休眠期后的白皮大蒜为试验对象, 以无硅窗聚乙烯 (PE) 包装袋为对照组, 探讨低温结合 1、3、6、9 cm² 硅窗膜 (镶嵌于面积为 30 cm×25 cm 的聚乙烯 (PE) 包装袋) 对贮藏 120 d 内大蒜品质指标的影响。结果表明: 硅窗面积对采后大蒜的失重率、芽瓣比、色度 (ΔE) 的影响较大, 对于硬度、含水量的影响较小, 较优的硅窗面积为 6 cm², 在 120 d 贮藏期间低温结合 6 cm² 硅窗处理组大蒜的蒜氨酸含量达到 0.38±0.00 g/100 g, 与 0 d 相比较蒜氨酸含量提高了 50.97%, 苹果酸含量下降了 92.38%, 柠檬酸、酒石酸和富马酸含量分别增加了 21.13%、65.87%、43.26%, 主成分分析得出大蒜保鲜品质的关键指标是 ΔE 值、失重率、芽瓣比、含水量、酒石酸含量。综合考虑各个指标的变化以及主成分分析结果, 采用低温结合 6 cm² 硅窗面积可有效缓解大蒜贮藏品质劣变。该研究可为白皮大蒜贮藏保鲜与加工提供理论参考。

关键词: 硅胶膜, 气调, 大蒜, 贮藏, 品质

中图分类号: TS206

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)17-0367-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110022



本文网刊:

Effect of Low Temperature Combined with Different Silicon Window Areas on the Storage Quality of Garlic in Air Conditioned Packaging

LUO Dan¹, WANG Zhenzhen¹, HAN Hao¹, WU Jing¹, CHANG Guoli¹, SHA Ruyi^{1,*}, HUANG Jun¹,
CUI Yanli², MAO Jianwei¹

(1. School of Biological and Chemical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Zhejiang Provincial Key Lab for Chem & Bio Processing Technology of Farm Product, Hangzhou 310023, China;
2. Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to determine the effect of different silicon window areas on the preservation of garlic in silicon windows, garlic was packed in polyethylene (PE) bags with an area of 30 cm×25 cm at low temperature in combination with 1, 3, 6 and 9 cm² silicon window films, and a control group of polyethylene (PE) bags without silicon windows, and the quality indexes were measured within 120 d of storage. The results showed that the area of the silicon window had a greater influence on the weight loss, bud to cloves ratio and colour (ΔE) of the garlic after harvesting, and a smaller influence on the hardness and water content was observed. The optimal silicon window area was 6 cm², the alliin content of garlic in the low temperature combined with 6 cm² silicon window treatment group reached 0.38±0.00 g/100 g during 120 days of storage. Compared with 0 d, the alliin content increased by 50.97%, the malic acid content decreased by 92.38%, and the contents of citric acid, tartaric acid and fumaric acid increased by 21.13%, 65.87% and 43.26% respectively. The principal component analysis revealed that the key indicators of garlic freshness were ΔE value, weight loss, shoot to clove ratio,

收稿日期: 2022-11-07

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目 (LGN22C200034); 江苏省苏北科技专项 (XZ-SZ202137)。

作者简介: 罗丹 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 生物质资源利用技术与工程, E-mail: luodan219@163.com。

* 通信作者: 沙如意 (1982-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农业生物资源生化制造, E-mail: kevinsha_0204@163.com。

water content and tartaric acid content. Considering the variation of each index and the results of the principal component analysis, it was concluded that the use of 6 cm² silicon window area combined with 30 cm×25 cm polyethylene (PE) bags at low temperature could effectively alleviate the deterioration of garlic storage quality. This study can provide a theoretical reference for the storage and processing of white-skinned garlic.

Key words: silicone film; air conditioning; garlic; storage; quality

大蒜是一种药食同源植物,在中国、印度、俄罗斯等多个国家均有种植,其中我国的种植面积最大。大蒜采收后随着贮藏时间的延长,会出现发芽、干瘪、软化等问题,营养物质也会随之流失。目前用于大蒜保鲜的方法主要为低温贮藏,常用温度低于5℃^[1],气调保鲜技术是果蔬贮藏保鲜最为主要的手段之一,在大蒜贮藏中也多有应用^[2]。低温能够降低果蔬的多种生理活动,减少营养物质损失,而将低温与气调贮藏相结合能够带来更好的保鲜效果^[3-5]。

自发气调包装技术关键是选用具有特定透气性的薄膜材料来包装产品,利用产品的呼吸作用及薄膜的透气性来调节包装袋内氧气和二氧化碳的含量,从而实现抑制产品呼吸作用和蒸腾作用、延缓生理代谢、减少病原微生物侵染和贮藏损失,达到延长贮藏期的目的。硅橡胶膜具有优良的选择透气性,室温下对氮气、氧气、二氧化碳等气体的透过率比天然橡胶高30~50倍,且具有较大的CO₂和O₂的透气比,对CO₂的透过率是O₂的5倍~6倍,是N₂的12倍^[6]。硅窗气调包装是在塑料包装袋(PE)上镶嵌一块硅橡胶膜,粘在贮存果蔬、粮食的塑料帐(袋)所开的窗口上,用以调节贮藏环境气体成分,故又名硅窗。目前,硅窗气调保鲜已应用于海蓬子^[7]、蒜薹^[8]、芦笋^[9]等多种果蔬的贮藏保鲜中,且能明显改善贮藏效果,同时硅窗气调保鲜技术具有保鲜成本低、贮藏效果好、产品易于管理等特点^[10]。大蒜自发气调保鲜中常采用的是聚氯乙烯膜、聚乙烯膜、聚丙烯膜等进行包装^[11-13],有研究者将硅橡胶膜应用在大蒜贮藏保鲜中具有一定的效果,但无人研究将聚乙烯膜与硅橡胶膜结合用于大蒜贮藏以及探讨不同硅窗面积包装对大蒜贮藏的影响,而在其他果蔬贮藏中不同的硅窗面积包装对于果蔬的贮藏效果的影响差异显著^[8,14-15]。目前用于评价大蒜贮藏保鲜效果的理化指标较多,尚缺少对各指标之间相关性分析的研究报道。

本研究以已过休眠期的白皮大蒜为原料,采用具有不同硅窗面积的气调包装袋对大蒜进行保鲜,以大蒜贮藏过程中的品质损坏以及营养损失为评价指标,通过探讨低温结合硅窗气调包装袋对大蒜品质的影响筛选出最佳的硅窗面积,同时通过建立大蒜贮藏过程中各指标相关关系以构建大蒜采收后贮藏品质的评价指标,为生产上开发大蒜高品质贮藏方法提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大蒜 江苏省邳州白蒜,购自江苏黎明食品集

团有限公司,选取无损伤、无虫害,大小均匀(直径55~60 cm)的大蒜鳞茎;富马酸、马来酸、苹果酸、柠檬酸 色谱纯,中国药品生物制品检定所;酒石酸 色谱纯, Sigma-Aldrich 公司;磷酸二氢钾 色谱纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;磷酸 色谱纯,上海长哲生物科技有限公司;甲醇 色谱纯,美国天地有限公司;蒜氨酸 分析标准品,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

Waters e2695 高效液相色谱仪(配有 2998 紫外检测器(PDA)) 美国 Waters 公司; Allegra X-12R 型冷冻离心机 贝克曼库尔特有限公司; SpectraMax iD5 多功能微孔读板酶标仪 美国 Molecular Devices 公司; MB45 水分测定仪 奥豪斯(常州)仪器有限公司; TA-XT2i 质构仪 超技仪器有限公司; CM-5 分光测色计 日本 Konica Minolta 公司; 30 cm×25 cm 聚乙烯(polyethylene, PE)包装袋 台州市名科塑业有限公司; FC-8 硅胶膜 中科院兰州物理化学所。

1.2 实验方法

1.2.1 硅窗气调包装处理 在 PE 包装袋中下部分别剪出 1 cm²(1 cm×1 cm), 3 cm²(1 cm×3 cm), 6 cm²(2 cm×3 cm), 9 cm²(3 cm×3 cm)的窗口,利用适宜面积的硅窗膜材料覆盖,通过双面胶将硅窗膜内侧与 PE 包装袋外侧固定后在窗口边缘处采用透明胶带二次固定。分别用不同硅窗面积(硅窗 1 cm²、硅窗 3 cm²、硅窗 6 cm²、硅窗 9 cm²)的 PE 包装袋贮藏大蒜,每组放置取 6 颗(0.3~0.4 kg)大蒜置于硅窗袋中,放置在 4℃ 条件下冷藏,分别在贮藏的第 0、30、60、90、120 d 取样,样品取出后及时测定失重率、芽瓣比、含水量、色度,其余样品储存于-80℃ 备用。以 4℃ 低温结合 PE 包装袋贮藏(CK)和 25℃ 室温结合 PE 包装袋贮藏(RT)大蒜为对照组,设 3 次重复。

1.2.2 失重率测定 失重率即贮藏前大蒜重量 M₁ 与贮藏后同一大蒜重量 M₂ 的差值占贮藏前大蒜重量 M₁ 的百分比^[16]。

$$\text{失重率}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.3 芽瓣比测定 芽瓣比即大蒜芽长度 L₁ 与瓣长 L₂ 的比值。大蒜样品剥皮后用游标卡尺测定蒜瓣长度,随后将蒜瓣纵剖并测定内芽长度。每次随机测定 10 个蒜瓣,记录数据,去除离群值后取平均值。

$$\text{芽瓣比} = \frac{L_1}{L_2} \quad \text{式(2)}$$

1.2.4 硬度测定 大蒜样品取出后,在室温下放置

30 min, 去掉外皮, 每一组别中取 10 颗大小一致的蒜瓣, 剥去蒜衣后在蒜瓣中间部位进行测量, 利用配备 P35 圆柱形探头的质构分析仪分析大蒜的质构特性。在 Lu 等^[17]的方法上有所改进: 以 $2.0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 的预压速度、 $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 的下压速度和 $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 的回复速度对整个蒜瓣进行按压, 形变量为 5 mm, 两次压缩的停留时间为 5 s。根据 10 次重复测量计算得出硬度的平均值。

1.2.5 含水量测定 每一组别大蒜中随机挑取 3 颗并随机选取适量蒜瓣样品分别测定含水量, 称取蒜瓣样品鲜重 M_3 , 105°C 烘干后称取干重 M_4 。含水量的计算公式如下:

$$\text{含水量}(\%) = \frac{M_3 - M_4}{M_3} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

1.2.6 色度测定 每一组别大蒜中随机挑取 5 颗并分别选取 2 个蒜瓣样品使用分光测色计测定蒜瓣的色度值。利用大蒜贮藏期间与贮藏 0 d 的色泽计算总色差 ΔE 以评价总色度变化。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad \text{式 (4)}$$

式中: L^* 、 a^* 、 b^* 分别代表不同贮藏时间大蒜的亮度、红绿值、黄蓝值, L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 分别代表大蒜贮藏 0 d 的亮度、红绿值、黄蓝值。

1.2.7 蒜氨酸含量测定 样品预处理: 大蒜剥皮后的蒜瓣用微波炉中火灭酶 60 s, 冻干磨粉后过 40 目筛, 以料液比 1:10 (样品: 60% 乙醇, W/V), 40°C 水浴, 超声功率 450 W 下提取 30 min, 8000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 用 0.01% (V/V) 磷酸缓冲液稀释定容, 过 $0.22 \mu\text{m}$ 微孔滤膜后备用, 上机。

液相色谱分析条件^[18]: 色谱柱为 AtantisRT 3 柱 (250 mm×4.6 mm, $5 \mu\text{m}$), 检测波长为 214 nm, 流动相为甲醇: 0.01% 磷酸缓冲溶液=3:97 (V/V), 柱温 35°C , 流速为 1 mL/min, 进样量为 $10 \mu\text{L}$ 。蒜氨酸的标准曲线为 $y=8 \times 10^{-6}x+24217$ (x 为浓度, 单位为 mg/mL, y 为峰面积, $R^2=0.9991$)。

1.2.8 有机酸含量测定 样品预处理方法同 1.2.7。液相色谱条件^[19]: 色谱柱为 AtlantisRT₃ 柱 (250 mm×4.6 mm, $5 \mu\text{m}$); 检测波长为 210 nm; 流动相为甲醇: KH_2PO_4 (0.01 mol/L, pH2.7)=2:98 (V/V); 柱温 25°C ; 流速为 1 mL/min; 进样量为 $10 \mu\text{L}$ 。酒石酸、柠檬酸、苹果酸和富马酸的标准曲线分别为 $y=1 \times 10^7x-42842$ (x 为浓度, 单位为 g/100 g, y 为峰面积, $R^2=0.9984$), $y=6 \times 10^6x-205862$ (x 为浓度, 单位为 g/100 g, y 为峰面积, $R^2=0.9987$), $y=6 \times 10^6x-40360$ (x 为浓度, 单位为 g/100 g, y 为峰面积, $R^2=0.9912$), $y=7 \times 10^8x-146415$ (x 为浓度, 单位为 g/100 g, y 为峰面积, $R^2=0.9991$)。

1.3 数据处理

试验重复 3 次, 以 (平均值±标准差) 表示数据结

果, 利用 Microsoft Excel 计算平均值与标准差, 利用 Origin 2021 对试验数据进行作图, 采用 IBM SPSS Statistics 25 软件进行 Duncan's 多重差异显著性分析以及 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同硅窗面积对大蒜贮藏品质的影响

2.1.1 不同硅窗面积对大蒜失重率的影响 在大蒜贮藏过程中, 水分散失和呼吸作用造成的物质消耗, 会导致失重率的升高, 因此失重率的变化能够反映大蒜贮藏过程中的品质优劣^[20]。不同面积的硅窗气调包装对于大蒜失重率的影响如图 1 所示, 经过 120 d 的贮藏, 各个处理组大蒜的失重率在不同的时间段均出现明显上升 ($P<0.05$), 其中低温处理组 (CK) 的失重率均低于室温贮藏组 (RT), 贮藏 30 d 及以后 CK 处理组与 RT 组具有显著性差异 ($P<0.05$)。RT 组大蒜失重率大幅度增加主要由于外界贮藏环境温度较高, 使得其生理活动更为频繁, 呼吸强度和蒸腾作用高于其他处理组。对比 CK 组与硅窗气调包装处理组, 贮藏 60 d 之前各组间无显著差异 ($P>0.05$), 贮藏 60 d 后, 硅窗气调包装处理组失重率显著低于 RT 组和 CK 组, 其中 6 cm^2 硅窗处理组的失重率显著低于其他组 ($P<0.05$)。在赵春燕^[21]的研究中利用不同膜包装鲜嫩蒜贮藏 4 个月后失重率最低为 8.81%, 本研究中仅采用 6 cm^2 硅窗处理组的大蒜在休眠期后, 再贮藏 120 d 的失重率也仅为 2.4%。在整个贮藏期 6 cm^2 硅窗处理组能够明显减少失重率的增加, 该组失重率增加缓慢可能与水分含量变化相关, 因此采用低温下 6 cm^2 硅窗的贮藏方式降低失重率的效果优于其他处理组。

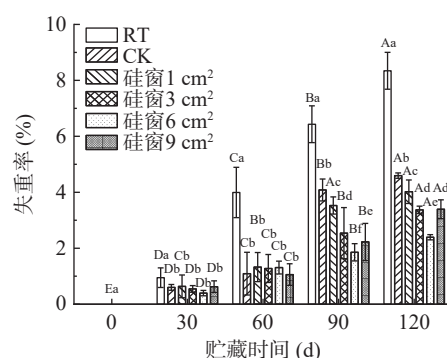


图 1 不同硅窗面积下大蒜失重率的变化

Fig.1 Variation in weight loss rate of garlic at different silicon window areas

注: RT 代表室温贮藏; CK 代表低温贮藏; 不同小写字母代表相同时间下不同组别显著性差异 ($P<0.05$), 不同大写字母代表相同组别不同时间下显著性差异 ($P<0.05$), 图 2~图 5 同。

2.1.2 不同硅窗面积对大蒜芽瓣比的影响 不同处理组的大蒜样品在贮藏过程中的芽瓣比变化见图 2, 从图中可以看出, 解除休眠期后的大蒜在贮藏过程中, 各处理组芽瓣比均呈现上升趋势, RT 组与 1 、 9 cm^2 硅窗处理组在不同时间段芽瓣比具有显著性差异

($P<0.05$), CK 组芽瓣比在 90 d 至 120 d 期间无显著生长趋势($P>0.05$), 3 cm² 硅窗处理组在 60 d 内显著增加后增长趋势减缓, 6 cm² 硅窗处理组芽瓣比在 30 d 至 90 d 贮藏期间变化显著($P<0.05$)。整个贮藏过程中, 硅窗气调面积为 1、3、6 cm² 的三组间芽瓣比的变化无明显差异($P>0.05$); 贮藏 60 d 后, 1、3、6 cm² 硅窗处理组的芽瓣比显著低于 RT 组和 CK 组($P<0.05$); 在贮藏 120 d 时, 各个硅窗处理组的芽瓣比从大到小依次为 9 cm² 硅窗处理组>1 cm² 硅窗处理组>3 cm² 硅窗处理组>6 cm² 硅窗处理组, 硅窗面积 6 cm² 组的芽瓣比达到 0.83, 但与对照组以及其他面积的硅窗处理组相比, 可看出 6 cm² 硅窗处理组对于减缓芽瓣比增加仍具有一定的效果, 能够在一定程度上减缓蒜瓣商品价值的降低。

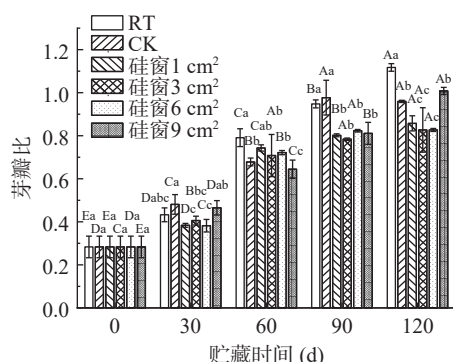


图2 不同硅窗面积下大蒜芽瓣比的变化

Fig.2 Variation of garlic shoot to clove ratio at different silicon window areas

2.1.3 不同硅窗面积对大蒜硬度的影响 硬度是能够影响消费者对大蒜等果蔬类商品接受度的质构特征之一, 能反映出商品的组织特征并因此来表示其新鲜度^[22]。不同处理组的大蒜样品在贮藏过程中的硬度变化见图3, 从图3可以看出, 随着时间的延长, 各处理组的硬度均呈现下降趋势。在贮藏期间, 大蒜的各种生理活动随着时间延长逐渐活跃, 营养物质被消耗导致大蒜的硬度逐渐降低。在整个贮藏期间, RT 组的硬度下降最为迅速。在贮藏的 30 d 内, 其余各处理组之间的差异并不显著($P>0.05$)。随着贮藏时间的延长, 从 60 d 开始, 硅窗气调面积 6 cm² 处理

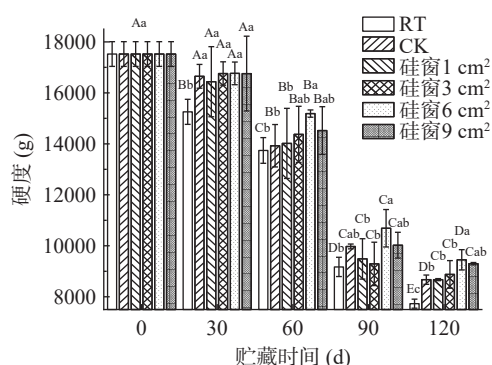


图3 不同硅窗面积下大蒜中的硬度变化

Fig.3 Firmness changes during the gas conditioning storage of garlic silicon window

组的硬度最高, 说明该处理组下大蒜的贮藏品质较好。

2.1.4 不同硅窗面积对大蒜含水量的影响 大蒜贮藏过程中水分含量的变化与大蒜的呼吸作用相关, 合适的气调环境会抑制大蒜的呼吸作用和蒸腾作用, 进而减缓大蒜样品水分含量的下降^[23], 减缓蒜米外观的皱缩以及大蒜鳞茎硬度的下降。不同处理组的大蒜样品在贮藏过程中的含水量的变化见图4, 从图4可以看出不同处理组的大蒜样品经过长时间的贮藏均会出现水分含量下降的现象, 其中 RT 组水分下降最大, 其次是 CK 组。各贮藏时间点的大蒜样品中, 硅窗气调组的样品含水量均高于 CK、RT 组, 其中在 60 d 到 120 d 的贮藏阶段, 硅窗气调面积 6 cm² 处理组的水分含量高于其他处理组。水分含量的变化会受到环境因素影响, PE 袋水分透过率较低, 硅胶膜具有良好的透水性, 低温下环境内水分进入包装袋在内部凝结使袋内水分含量提升, 出现结露现象, 造成了硅窗面积较大的 9、6 cm² 硅窗处理组中水分含量先后出现上升, 这与 He 等^[24]的研究一致。而环境中水分对硅窗 1、3 cm² 硅窗处理组与 RT、CK 组袋内水分含量影响不大, 四组中水分含量持续降低^[25-26]。6、9 cm² 硅窗处理组具有相同的波动趋势, 而 6 cm² 硅窗处理组波动更小, 说明 6 cm² 硅窗处理组对于维持包装袋内大蒜水分含量效果更好, 因此采用 6 cm² 硅窗包装大蒜要优于其他处理组。

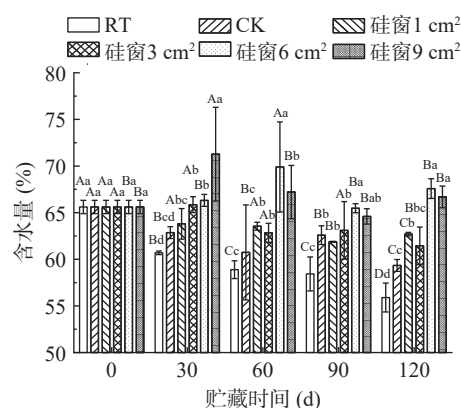


图4 不同硅窗面积下大蒜中的含水量变化

Fig.4 Changes of water content in garlic at different silicon window areas

2.1.5 不同硅窗面积对大蒜色度的影响 贮藏至 120 d 时, 不同面积硅窗组以及 CK 组的外观色泽较 RT 组白皙, 低温对维持蒜瓣外观色泽更有利, 而低温下不同面积硅窗组的差别可通过色度大小 ΔE 值呈现。将色度用来评价大蒜样品在贮藏过程中外观颜色的变化, 以此来判断在贮藏过程中的褐变程度^[27], 通过 ΔE 值的变化可衡量大蒜不同贮藏时间的色度相较于贮藏 0 d 时的变化程度, 结果如图5所示, 从图中可以看出随着贮藏时间延长, 各组的 ΔE 值均呈现上升趋势, 说明与贮藏 0 d 的样品相比色度变化越大^[28], 6 cm² 硅窗处理组在不同时间段的增长趋势没

有显著差异($P>0.05$)。在 60 d 至 120 d 贮藏阶段, RT 组的 ΔE 值上升趋势显著大于其他各处理组($P<0.05$), 与 CK 相比, 硅窗气调组的 ΔE 值呈现显著性差异($P<0.05$), 说明低温结合硅窗气调贮藏能够减缓大蒜的色泽变化。在贮藏 60 d 至 120 d 期间, 6 cm^2 硅窗处理组的 ΔE 值与其他处理组差异显著($P<0.05$), 且各低温贮藏组中 6 cm^2 硅窗处理组的变化趋势最小, 说明利用 6 cm^2 硅窗处理组贮藏大蒜可以保持较好的色度。采用低温结合硅窗自发气调贮藏大蒜保鲜效果优于低温对照组, 而在不同面积硅窗组中 6 cm^2 硅窗处理组的变化最低表明本实验中利用 6 cm^2 硅窗气调包装保鲜能够有效维持大蒜的品质。

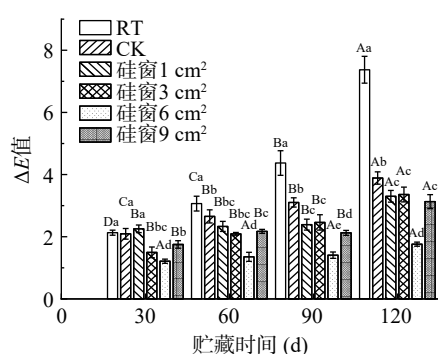


图 5 不同硅窗面积下大蒜中的色度变化

Fig.5 Color changes of garlic at different silicon window areas

2.2 最佳硅窗面积气调保鲜对贮藏大蒜特征成分的影响

上述研究结果表明, 不同硅窗面积气调保鲜处理组之间, 硅窗面积对大蒜的失重率、芽瓣比、色度的影响最大, 对于硬度、含水量的影响较小。在贮藏过程中, RT 组在 90 d 开始逐渐皱缩、腐烂、色泽发黄, 低温硅窗处理组与 CK 组在贮藏 120 d 内无明显腐烂现象且外观较为白皙, 同时综合考虑大蒜在贮藏过程中的失重率、芽瓣比、色度、硬度、含水量等指标影响, 选择硅窗面积为 6 cm^2 的气调保鲜为贮藏大蒜的较优条件并分析该组别与 CK 组中特征成分的变化, 对 6 cm^2 硅窗处理组保鲜手段下大蒜各指标相关性进行分析。

2.2.1 最佳硅窗面积气调保鲜对贮藏大蒜蒜氨酸含量的影响 蒜氨酸是大蒜最主要的风味前体物质之一, 与大蒜的抗癌、抗氧化、抗炎等药用价值密切相关^[29-31]。从图 6 中可以看出, 在大蒜贮藏过程中, 6 cm^2 硅窗处理组蒜氨酸含量始终高于 CK 组, 硅窗 6 cm^2 与 CK 组中蒜氨酸含量呈先缓慢上升后降低后再升高的趋势, 在 120 d 的贮藏期间硅窗 6 cm^2 的蒜氨酸含量从 $0.25\pm 0.01\text{ g}/100\text{ g}$ 提高到 $0.38\pm 0.00\text{ g}/100\text{ g}$, 增加了 1.38 倍; 而 CK 组的蒜氨酸含量从 $0.25\pm 0.01\text{ g}/100\text{ g}$ 提高到 $0.28\pm 0.00\text{ g}/100\text{ g}$, 有小幅增加。蒜氨酸含量的变化会因贮藏条件以及大蒜生理状态而改变, 适宜的贮藏条件对于积累蒜氨酸有利^[32-33], 同时 γ -谷氨酰二肽能够转化为蒜氨酸使其含量增

加^[29], 随着贮藏时间延长, γ -谷氨酰二肽被消耗, 而蒜氨酸是一种不稳定的物质, 蒜氨酸的分解会导致鳞茎中蒜氨酸含量的下降, 在贮藏到 90 d 时大蒜鳞茎组织结构大量软化细胞破损可能有蒜氨酸酶释放出导致蒜氨酸被大量分解。在 90 d 到 120 d 期间蒜氨酸含量有所积累可能与鳞芽变化有关, 此阶段 6 cm^2 硅窗处理组鳞芽变化低于低温对照组, 在此贮藏条件下贮藏 120 d 后, 蒜氨酸含量显著高于低温对照(CK)组, 表明该处理能够有效保持蒜氨酸含量, 减少蒜氨酸的分解。

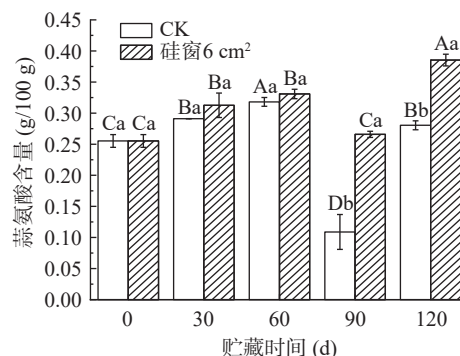
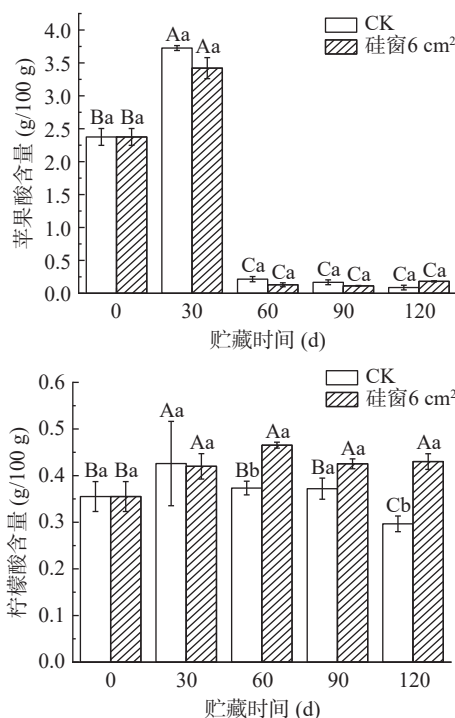


图 6 最佳硅窗面积下大蒜中的蒜氨酸含量变化

Fig.6 Variation of alliin content in garlic at optimal silicon window area

2.2.2 最佳硅窗面积气调保鲜对贮藏大蒜有机酸含量的影响 利用高效液相色谱分析最佳硅窗面积下大蒜贮藏过程中有机酸含量变化, 如图 7 所示, 大蒜中检测到的主要有机酸为苹果酸、柠檬酸和酒石酸。在贮藏前 30 d, 苹果酸的含量最高, 其次是柠檬酸和酒石酸, 富马酸的含量较低。贮藏 60 d 后, 6 cm^2 硅窗处理组与 CK 组中的有机酸是以柠檬酸为主, 其次是酒石酸。Ritota 等^[34] 在意大利大蒜品种中检测



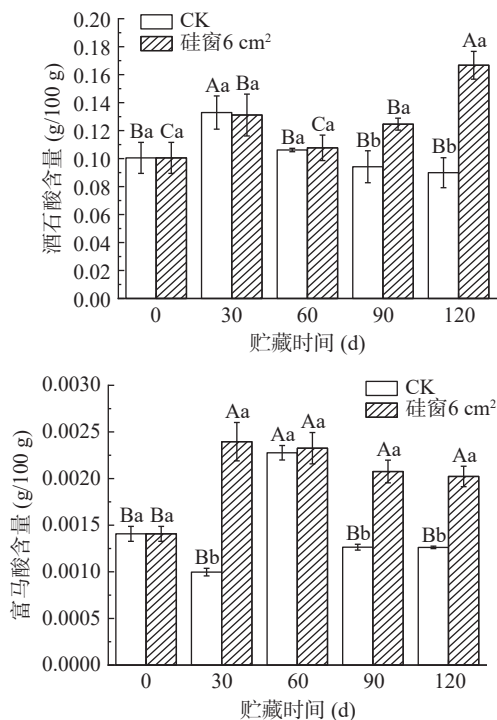


图7 最佳硅窗面积下大蒜中有机酸含量变化

Fig.7 Changes of organic acid content in garlic at optimal silicon window area

到了柠檬酸、苹果酸和富马酸等有机酸,与本研究结果基本一致。

从图7中可以看出,与贮藏0 d相比,贮藏前30 d两组处理苹果酸、柠檬酸和酒石酸含量均有一定程度升高,贮藏60 d富马酸含量显著增加($P<0.05$),有机酸含量的增加可能是低温胁迫促使大蒜鳞茎机体作出的反应,有研究表明有机酸能够在不利的环境条件下帮助植物减轻损伤^[35]。贮藏过程中,6 cm²硅窗处理组与CK组中苹果酸含量的变化趋势相同,在120 d时硅窗6 cm²与CK组中苹果酸含量分别下降了92.38%和96.32%,同一时间不同组别中的含量无显著差异($P>0.05$),苹果酸含量的降低会使得大蒜中酸的风味降低。与贮藏0 d相比,贮藏120 d后,

硅窗面积6 cm²处理组中柠檬酸、酒石酸和富马酸含量分别增加了21.13%、65.87%、43.26%。苹果酸与柠檬酸是三羧酸循环中不可或缺的物质,三羧酸循环是糖类、脂类、氨基酸的最终代谢通路和联系枢纽,而酒石酸、柠檬酸等也可起到抗氧化的作用。在60 d至120 d贮藏期间,6 cm²硅窗处理组不同时间的柠檬酸与富马酸含量无显著差异($P>0.05$),而CK组中柠檬酸、酒石酸与富马酸均被大量消耗,总体来说,与CK组相比较,6 cm²硅窗处理组能够有效减缓有机酸的降解。

2.3 最佳硅窗面积气调包装下大蒜贮藏期间各指标相关性与主成分分析

2.3.1 相关性分析 采用Pearson相关性分析大蒜样品的贮藏时间、失重率、芽瓣比、含水量、硬度、蒜氨酸、酒石酸、苹果酸、柠檬酸、富马酸、 ΔE 的相关性,结果见表1。如表1所示贮藏时间与失重率存在着极显著正相关性($P<0.01$),与硬度具有极显著负相关性($P<0.01$),与芽瓣比间显著正相关($P<0.05$)。6 cm²硅窗处理组大蒜的失重率、硬度、芽瓣比变化可用于判断贮藏时间的长短。在商品价值中,芽瓣比与失重率之间具有极显著正相关性($P<0.01$),与硬度具有显著负相关性($P<0.05$),与苹果酸存在显著负相关性($P<0.05$)。

2.3.2 主成分分析 采用SPSS对大蒜贮藏过程中各项指标进行主成分分析,大蒜样品主成分的特征值及方差贡献率见表2。以特征值>1为标准可取得3个主成分,前3个主成分的贡献率分别为63.741%、17.322%、11.72%,累计贡献率为92.783%,说明三个主成分已能够反映样品各指标的基本信息^[36]。因此,选取前3个主成分作为大蒜贮藏品质的重要主成分。结合主成分载荷矩阵(表3)以及因子载荷图(图8)可知,PC1主要由 ΔE 值、失重率、芽瓣比等指标决定,PC2主要由含水量决定,PC3主要由酒石酸含量决定,说明影响大蒜保鲜品质的关键指标是 ΔE 值、失重率、芽瓣比、含水量、酒石酸含量。

表1 各指标间的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of each index

指标	时间	失重率	芽瓣比	硬度	含水量	ΔE	蒜氨酸	酒石酸	苹果酸	柠檬酸	富马酸
时间	1										
失重率	0.991**	1									
芽瓣比	0.955*	0.972**	1								
硬度	-0.963**	-0.964**	-0.916*	1							
含水量	0.267	0.297	0.341	-0.034	1						
ΔE	0.874	0.825	0.833	0.428	-0.737	1					
蒜氨酸	0.642	0.599	0.487	-0.464	0.637	0.722	1				
酒石酸	0.770	0.698	0.549	-0.735	0.024	0.726	0.764	1			
苹果酸	-0.783	-0.854	-0.900*	0.764	-0.454	-0.558	-0.335	-0.242	1		
柠檬酸	0.615	0.600	0.696	-0.407	0.748	0.85	0.598	0.297	-0.567	1	
富马酸	0.484	0.415	0.499	-0.287	0.475	0.843	0.515	0.385	-0.212	0.891*	1

注: *表示显著相关($P<0.05$); **表示极显著相关($P<0.01$)。

表 2 主成分特征值及方差贡献率
Table 2 Eigenvalues of principal components and their contribution to total variance

主成分	特征值	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)
1	6.374	63.741	63.741
2	1.732	17.322	81.062
3	1.172	11.72	92.783
4	0.722	7.217	100
5	6.47E-16	6.47E-15	100
6	2.18E-16	2.18E-15	100
7	8.02E-17	8.02E-16	100
8	-1.46E-16	-1.46E-15	100
9	-2.55E-16	-2.55E-15	100
10	-3.57E-16	-3.57E-15	100

表 3 主成分载荷矩阵
Table 3 Principal component loading matrix

特征向量	对主成分的贡献		
	主成分1	主成分2	主成分3
ΔE	0.954	0.102	0.194
失重率	0.931	-0.348	-0.099
芽瓣比	0.927	-0.255	-0.251
硬度	-0.826	0.562	0.009
柠檬酸	0.826	0.508	-0.15
苹果酸	-0.757	0.246	0.594
蒜氨酸	0.753	0.243	0.388
酒石酸	0.696	-0.305	0.634
富马酸	0.687	0.529	0.211
含水量	0.523	0.685	-0.3

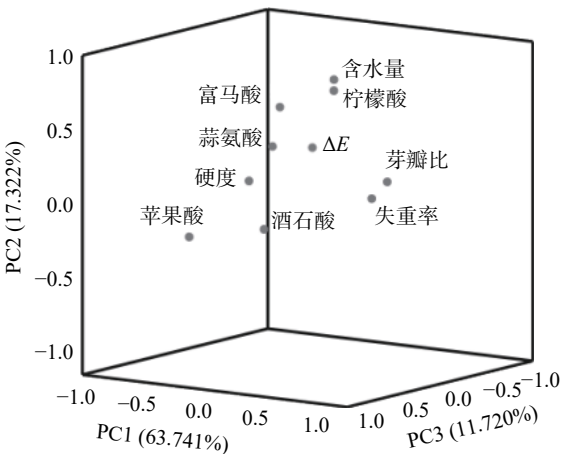


图 8 大蒜贮藏过程中各生理指标主成分分析因子载荷图
Fig.8 Principal component analysis and factor loading diagrams during garlic storage

3 结论

低温结合不同面积硅窗气调包装保鲜过程中 6 cm² 硅窗处理组最佳,与其他低温硅窗组比较该处理有效减缓大蒜品质的劣变,在整个贮藏过程中 6 cm² 硅窗处理组明显缓解了失重率、芽瓣比、硬度、蒜氨酸含量的剧烈变化,苹果酸含量显著下降,而酒石酸、柠檬酸和富马酸含量显著增加。最佳硅窗面积气调包装下贮藏时间与失重率、芽瓣比间存在显著

正相关性,芽瓣比与苹果酸之间存在显著负相关性,主成分分析得出 ΔE 值、失重率、芽瓣比、含水量、酒石酸含量是大蒜保鲜品质的关键指标,能够为大蒜贮藏品质评价提供理论参考。

参考文献

[1] 梁庆玲. 大蒜鳞茎贮藏过程中品质和生理特性的变化[D]. 青岛: 山东农业大学, 2008. [LIANG Q L. Changes of quality and physiological characteristics in garlic bulb during storage[D]. Qingdao: Shandong Agricultural University, 2008.]

[2] CHOI D J, LEE S H, KIM C B, et al. Effects of CA and MA storage on the quality of garlic (*Allium sativum*) [R]. 2002.

[3] SCHOUTEN R E, ZHANG X, VERSCHOOR J A, et al. Development of colour of broccoli heads as affected by controlled atmosphere storage and temperature[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 51(1): 27-35.

[4] 魏丽娟, 冯毓琴, 李翠红, 等. 基于温度条件的西兰花硅窗自发气调硅窗面积的筛选及验证[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 236-244. [WEI L J, FENG Y Q, LI C H, et al. Screening and verification of silicon gum film window area for modified atmosphere packaging of broccoli based on temperature conditions[J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 236-244.]

[5] MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ G B, ARTÉS-HERNÁNDEZ F, GÓMEZ P A, et al. Comparative behaviour between kailan-hybrid and conventional fresh-cut broccoli throughout shelf-life[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 50(1): 298-305.

[6] 许牡丹, 肖程顺. 硅窗气调对灵武长枣生理变化的影响[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(12): 172-174. [XU M D, XIAO C S. The effect of silicon window on physiological and biochemistry of Lingwu long jujube[J]. *Food Research and Development*, 2011, 32(12): 172-174.]

[7] LU D H, ZHANG M, WANG S J, et al. Effects of modified atmosphere packaging with different sizes of silicon gum film windows on *Salicornia bigelovii* Torr. storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2009, 89(9): 1559-1564.

[8] 张晶琳, 王永江, 杨相政, 等. 不同硅窗面积气调包装对蒜薹贮藏期间品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(18): 195-200. [ZHANG J L, WANG Y J, YANG X Z, et al. Effect of modified atmosphere with different silicon-window area on the quality of garlic bolt during storage[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(18): 195-200.]

[9] LI T, ZHANG M. Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window on the quality of stored green asparagus (*Asparagus officinalis* L) spears[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(2): 1046-1053.

[10] MATTOS L M, MORETTI C L, FERREIRA M D. Modified atmosphere packaging for perishable plant products[J]. *Polypropylene*, 2012, 95: 1-12.

[11] LI X, LI L, WANG X, et al. Notice of Retraction: Improved keeping quality of fresh-cut garlic sprouts by atmosphere packaging conditions[C]. *Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. IEEE, 2010, 3: 317-320.

[12] SOTHORNVIT R, TANGWORAKIT P. Effect of edible coating on the quality of fresh-cut garlic in modified atmosphere packaging (MAP)[C]. *International Controlled and Modified Atmosphere Research Conference* 1071. 2013: 413-419.

[13] AKAN S, GUNES N T, YANMAZ R. Methyl jasmonate and low temperature can help for keeping some physicochemical quality

- parameters in garlic (*Allium sativum* L.) cloves[J]. *Food Chemistry*, 2019, 270: 546–553.
- [14] 郭媛丽. 硅窗气调膜结合不同保鲜剂对鲜蒜贮藏期间品质的影响[D]. 太原: 山西农业大学, 2019. [GUO Y L, et al. Effects of silicon window air conditioning film combination with different preservatives on the quality of fresh garlic during storage[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2019.]
- [15] 陈小红, 王清章, 李洁, 等. 不同硅窗面积对藜蒿保鲜效果影响的研究[J]. 粮油加工, 2010(7): 74–77. [CHEN X H, WANG Q Z, LI J, et al. Study on the effect of different silicon window areas on the freshness of *Artemisia quinoa*[J]. Grain and Oil Engineering, 2010(7): 74–77.]
- [16] 冯磊, 郑永华, 汪峰, 等. 茉莉酸甲酯处理对冷藏水蜜桃品质的影响[J]. 食品科学, 2003(9): 135–139. [FENG L, ZHEN Y H, WANG F, et al. Effects study on meja treatment for cold storage of peache[J]. Food Science, 2003(9): 135–139.]
- [17] LU R, MA Y, WANG X, et al. Study of texture properties of ‘laba’ garlic in different color states and their change mechanisms[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(9): 4710–4721.
- [18] 牛娜娜, 沙如意, 杨陈铭, 等. 预处理工艺对黑蒜功能性成分、抗氧化活性影响及相关性研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 67–75. [NIU N N, SHA R Y, YANG C M, et al. The effect of pretreatment on functional components and antioxidant activity of black garlic[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(8): 67–75.]
- [19] 王珍珍, 沙如意, 王高坚, 等. HPLC法同时测定食用植物酵素中12种有机酸[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 279–285. [WANG Z Z, SHA R Y, YANG C M, et al. Simultaneous determination of twelve organic acids in edible plant source jiaosu by HPLC[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 279–285.]
- [20] 阙斐, 叶素丹, 黄涵年. 氯化钙复合保鲜垫纸对蓝莓采后贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(5): 17–21. [JUE F, YE S D, HUANG H N. Effect of calcium chloride compound preservation paper on postharvest quality of blueberry[J]. Storage and Process, 2022, 22(5): 17–21.]
- [21] 赵春燕, 刘诗阳, 王淑琴, 等. 不同膜处理对嫩鲜蒜贮藏期间生理变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(12): 189–192. [ZHAO C Y, LIU S Y, WANG S Q, et al. The effects of different plastic wraps on fresh garlic physiological changes during storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(12): 189–192.]
- [22] ARABPOOR B, YOUSEFI S, WEISANY W, et al. Multi-functional coating composed of *Eryngium campestre* L. essential oil encapsulated in nano-chitosan to prolong the shelf-life of fresh cherry fruits[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 111: 106394.
- [23] 陈淑慧, 王彦, 赵丹, 等. 膜材料在果蔬自发热气调过程中的应用及发展[J]. 膜科学与技术, 2022, 42(3): 153–162. [CHEN S H, WANG Y, ZHAO D, et al. Application and development of membrane materials in modified atmosphere packaging of fruits and vegetables[J]. Membrane Science and Technology, 2022, 42(3): 153–162.]
- [24] HE Y, FAN G J, WU C E, et al. Influence of packaging materials on postharvest physiology and texture of garlic cloves during refrigeration storage[J]. *Food Chemistry*, 2019, 298: 125019.
- [25] 耿子坚, 陈于陇, 肖更生, 等. 不同规格硅窗袋对荔枝采后常温贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(10): 28–32. [GENG Z J, CHEN Y L, XIAO G S, et al. Effects of packaging with different sizes of silicon gum film on postharvest quality of litchi during storage at 20 °C[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(10): 28–32.]
- [26] 徐锦洋, 王瑞, 张妮, 等. 基于主成分分析法研究自发热气调包装对方竹鲜笋保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 322–330. [XU J Y, WANG R, ZHANG N, et al. Study on the effects of modified atmosphere packaging on the freshness of chimonobambusa utilis bamboo shoots based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 322–330.]
- [27] 史轲轲, 朱树华. 大豆分离蛋白对鲜切桃的保鲜效果[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 222–229. [SHI K K, ZHU S H. Effect of soy protein isolate on storage quality of fresh-cut peaches[J]. *Food Science*, 2019, 40(13): 222–229.]
- [28] 牛丽影, 胡丽丽, 李大婧, 等. 草莓脯贮藏期间非酶褐变的化学途径分析[J]. 食品科学, 2022, 43(17): 248–254. [NIU L Y, HU L L, LI D J, et al. Chemical pathway analysis of non-enzymatic browning in preserved strawberry during storage[J]. Food Science, 2022, 43(17): 248–254.]
- [29] MARTINS N, PETROPOULOS S, FERREIRA I C. Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre-and post-harvest conditions: A review[J]. *Food Chemistry*, 2016, 211: 41–50.
- [30] CAPASSO A. Antioxidant action and therapeutic efficacy of *Allium sativum* L[J]. *Molecules*, 2013, 18(1): 690–700.
- [31] KHANUM F, ANILAKUMAR K, VISWANATHAN K. Anticarcinogenic properties of garlic: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2004, 44(6): 479–488.
- [32] FEI M L, TONG L, WEI L, et al. Changes in antioxidant capacity, levels of soluble sugar, total polyphenol, organosulfur compound and constituents in garlic clove during storage[J]. *Industrial Crops and Products*, 2015, 69: 137–142.
- [33] HORNÍČKOVÁ J, KUBEC R, CEJPEK K, et al. Profiles of S-alk(en)ylcysteine sulfoxides in various garlic genotypes[J]. *Czech Journal of Food Sciences*, 2010, 28(4): 298–308.
- [34] RITOTA M, CASCIANI L, HAN B Z, et al. Traceability of Italian garlic (*Allium sativum* L.) by means of HRMAS-NMR spectroscopy and multivariate data analysis[J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(2): 684–693.
- [35] KHAN N, ALI S, ZANDI P, et al. Role of sugars, amino acids and organic acids in improving plant abiotic stress tolerance[J]. *Pak J Bot*, 2020, 52(2): 355–363.
- [36] 王震, 裴令栋, 彭勇, 等. 中早熟苹果品种的贮藏品质和酚类物质差异分析[J]. 食品科学, 2023, 44(7): 202–210. [WANG Z, PEI L D, PENG Y, et al. Differences in storage quality and phenolics of mid and early maturing apple varieties[J]. *Food Science*, 2023, 44(7): 202–210.]