

异抗坏血酸钠处理对鲜切兰州百合贮藏品质的影响

Effects of sodium isoascorbate treatment on storage quality of fresh-cut Lanzhou lily

熊思国^{1,2} 唐晓岚¹ 宋龙龙¹

XIONG Siguo^{1,2} TANG Xiaolan¹ SONG Longlong¹

潘 旋¹ 葛珺桥¹ 姜爱丽^{1,2}

PAN Xuan¹ GE Junqiao¹ JIANG Aili^{1,2}

(1. 大连民族大学生命科学学院, 辽宁 大连 116600;

2. 生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连 116600)

(1. College of Life Science, Dalian Minzu University, Dalian, Liaoning 116600, China; 2. Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization, Ministry of Education, Dalian, Liaoning 116600, China)

摘要:目的:延长鲜切兰州百合贮藏期。方法:以兰州百合为原材料,经鲜切加工处理后,采用 0 (CK), 1, 5, 10 g/L 的异抗坏血酸钠(SI)溶液进行浸泡处理,分析贮藏过程中鲜切兰州百合的品质变化。结果:10 g/L 的 SI 浸泡处理可以更好地维持鲜切兰州百合鳞片的亮度,贮藏 21 d 时,褐变度、可溶性糖和丙二醛含量分别比 CK 组低 23%, 8%, 45%。在贮藏结束时,SI 处理组的多酚氧化酶、过氧化物酶和脂氧合酶活性分别为 97.22, 0.09, 11.89 U/g, 显著低于 CK 组($P < 0.05$)。电子鼻分析表明,SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合的风味有调节作用。结论:SI 浸泡处理是一种操作简便,经济安全的采后处理技术,可以延缓鲜切兰州百合氧化褐变,从而维持其贮藏品质。

关键词:鲜切兰州百合;异抗坏血酸钠;贮藏品质;酶促褐变;膜脂过氧化

Abstract: Objective: This study aimed to extend the storage period of fresh-cut Lanzhou lily. **Methods:** Fresh-cut Lanzhou lily was used as raw materials. Following fresh-cut processing, the raw materials were soaked with 0 (CK), 1, 5, and 10 g/L of SI solution to analyze the quality changes of fresh-cut Lanzhou lily during storage. **Results:** The soaking treatment with 10 g/L of SI

could better maintain the brightness of freshly cut Lanzhou lily. At 21 days of storage, the concentrations of malondialdehyde, soluble sugar, and browning were, respectively, 45%, 8%, and 23% lower than those of the CK group. The SI-treated group had significantly decreased polyphenol oxidase, peroxidase, and lipoxygenase (97.22, 0.09, and 11.89 U/g, respectively) activity at the end of storage compared to the CK group ($P < 0.05$). In addition, electronic nose analysis showed that SI treatment modulated the flavor of fresh-cut Lanzhou lily during storage. **Conclusion:** SI soaking treatment is a simple, economical, and safe post-harvest treatment technique that can delay the oxidative browning of fresh-cut Lanzhou lily and thus maintain its quality during storage.

Keywords: fresh-cut Lanzhou lily; sodium isoascorbate; storage quality; enzymatic browning; membrane lipid peroxidation

兰州百合 (*Lilium davidii* var. *willmottiae* (E. H. Wilson) Ruffill) 是百合科百合属植物,为“川百合”的一个变种,也是中国唯一可食药两用的甜百合,主产于甘肃兰州^[1-2]。兰州百合富含甾体皂苷、生物碱、多糖、酚类等营养物质,具有抑菌、抗肿瘤、抗氧化等功效,深受消费者喜爱^[3-4]。据统计,2021 年中国兰州百合的种植面积已达 1.33 万 hm^2 ,产量约为 8 万 t ^[1]。鲜切百合作为一种初级加工产品,以其新鲜、方便、快捷等特点受到广大消费者的青睐,具有广阔的市场前景。

然而,鲜切加工产生的机械损伤会提高兰州百合鳞片

基金项目:甘肃省科技计划重大项目(编号:21ZD4NA016-02);中央高校基本科研业务费资助(编号:0919-140005)

作者简介:熊思国,男,大连民族大学在读硕士研究生。

通信作者:姜爱丽(1971—),女,大连民族大学教授,博士。

E-mail: jal@dlnu.edu.cn

收稿日期:2023-07-13 **改回日期:**2023-11-24

的生理代谢水平,加速褐变、营养流失等品质劣变问题的产生^[5-6],严重影响产品的营养价值和商品价值。其中,褐变是限制鲜切兰州百合品质的关键因素之一。褐变可分为酶促和非酶促褐变,多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)等是引起酶促褐变的主要原因;还原糖和蛋白质发生羰氨反应可能是引起百合非酶促褐变的原因^[1,7]。有研究^[8]表明,增强果蔬采后的抗氧化能力可能是延缓采后褐变的一种潜在策略。因此,将抗氧化剂应用于鲜切兰州百合可能是提高抗氧化能力和抑制褐变的有效途径。

目前鲜切兰州百合的保鲜技术包括低温(相温)贮藏^[4]、气调贮藏^[3]、紫外照射处理^[9]、硫化氢处理^[10]、植物精油处理^[5]等,这些技术均对兰州百合的贮藏起了一定的积极作用。然而,这些技术可能存在操作繁琐、成本较高等问题。因此亟需一种更安全、经济、便捷的保鲜技术来解决鲜切兰州百合鳞片品质劣变的问题。异抗坏血酸钠(SI)是抗坏血酸钠的光学异构体,在部分国家,SI被广泛用作一种安全有效的抗氧化防腐剂,并用于抑制鲜切农产品的褐变^[11]。然而,目前还没有关于 SI 处理对鲜切兰州百合的贮藏保鲜的研究。研究拟探究 SI 处理对鲜切兰州百合贮藏品质的影响,以期为 SI 处理应用于鲜切兰州百合保鲜领域提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

兰州百合:市售;

D-异抗坏血酸钠:食品级,石药集团维生药业(石家庄)有限公司;

盐酸、甲醇、硫酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、聚乙烯吡咯烷酮、过氧化氢、次氯酸钠:分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司;

苯酚、考马斯亮蓝 G250、愈创木酚、邻苯二酚、氢氧化钠、亚油酸钠、2-巯代巴比妥酸、三氯乙酸:分析纯,阿拉丁试剂(上海)有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

色差计:CR-400 型,日本 Konica Minolta 公司;

紫外分光光度计:UV-2600 型,日本岛津公司;

研磨机:A11 basic 型,德国 IKA 公司;

电子天平:ME104 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

高速冷冻离心机:H1850R 型,湖南湘仪离心机仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理 将无病虫害、机械伤,成熟度一致(八年生三头皇规格)的兰州百合进行手工剥片,去除内芯,选取无霉变、腐烂、发黄及机械伤的鳞片,经清洗、消毒

(200 mL/L 的次氯酸钠溶液浸泡 3 min)、漂洗后备用。鲜切兰州百合鳞片随机分为 4 组(每组约 200 g),置于 0 (CK),1,5,10 g/L 的 SI 溶液中浸泡 10 min。沥干表面水分后,将百合鳞片装入聚乙烯托盘中,以保鲜膜包裹,置于(1±1)℃冷库贮藏。每隔 7 d 进行随机取样并测定亮度(L*)、褐变度、可溶性蛋白、可溶性糖、总酚、类黄酮、花青素、丙二醛(MDA)、脂氧合酶(LOX)、PPO、POD、CAT 和风味等相关指标,贮藏期为 28 d。

1.2.2 外观品质表征

(1) 亮度表征:在各取样时间点,使用 CR-400 型色差计测定鲜切兰州百合鳞片凸面的固定位置,每组各 10 片,记录 L*。

(2) 褐变度表征:参考 Huang 等^[9]的方法,将百合鳞片研磨后离心,测定 410 nm 下吸光度($A_{410\text{ nm}}$),褐变度以 10 倍 $A_{410\text{ nm}}$ 值表示。

1.2.3 营养品质指标测定

(1) 可溶性蛋白含量:采用考马斯亮蓝法^[12]测定样品中的可溶性蛋白含量,以牛血清蛋白制作标准曲线。

(2) 可溶性糖含量:采用硫酸—苯酚法^{[13]54-57}测定 485 nm 下的吸光度,根据蔗糖标准曲线计算可溶性糖含量。

(3) 总酚、类黄酮和花青素含量:参考曹建康等^{[13]44-46}的方法,使用 1% 的盐酸—甲醇进行提取,使用分光光度法测定样品中的总酚、类黄酮和花青素,分别以没食子酸,芦丁和儿茶素制作标准曲线。

1.2.4 膜脂过氧化程度测定

(1) 丙二醛含量:采用硫代巴比妥酸法^[14]。

(2) 脂氧合酶活性:参考 Wang 等^[15]的方法,以每分钟每克鲜重质量的样品在 234 nm 处吸光度增加 1 为一个单位(U)。

1.2.5 活性氧代谢酶活性测定 根据 Shi 等^[16]的方法。PPO、POD、CAT 分别在 420,470,240 nm 处测定吸光度,并绘制动力学曲线。以对应波长处每克鲜重质量的样品在 1 min 内吸光度变化 1 为一个单位(U)。

1.2.6 电子鼻风味测定 参考 Xiong 等^[17]的方法并稍作修改,称取 3 g 百合鳞片加 15 mL 去离子水,匀浆后进行离心,采用顶空法吸取上清液中的挥发性气体,并使用电子鼻进行分析。电子鼻包含 10 个金属氧化物传感器,其特征响应如表 1 所示^[12]。

1.3 数据处理

除方法中特殊说明,各项指标每组均重复测定 3 次,取平均值。所得数据采用 Microsoft Excel 2016 软件进行统计处理,采用 SPSS 24.0 软件对数据进行显著性分析(T-test 和 Duncan, $P < 0.05$)和皮尔逊相关性分析,并采用 Origin pro 2021 软件绘图。

表 1 传感器代表的物质种类及性能描述

Table 1 Material type and performance description represented by sensor

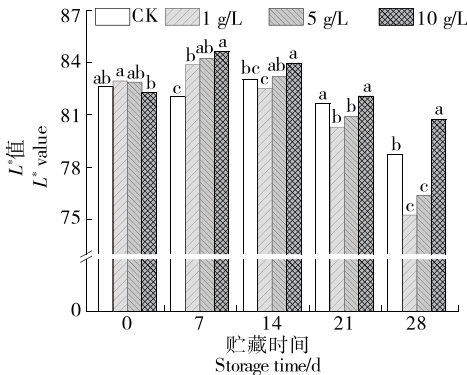
序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分,苯类
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	芳香成分灵敏,氨类
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

2 结果与分析

2.1 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合外观品质的影响

2.1.1 L^* 值 如图 1 所示,CK 组的 L^* 值持续降低,SI 处理组的 L^* 值在前 7 d 增加,随后持续降低。在贮藏前 7 d,各浓度 SI 处理组的 L^* 值均高于 CK 组,但在贮藏 14 d 后,1.5 g/L SI 处理组的 L^* 值开始低于 CK 组,并且差异显著($P<0.05$)。值得注意的是,10 g/L SI 处理的鲜切兰州百合鳞片保持了最高的 L^* 值,显著高于其他处理组($P<0.05$),表明 SI 处理对鲜切兰州百合鳞片亮度的维持效果存在浓度依赖性,高浓度的 SI 处理可以更好地维持鲜切兰州百合的外观品质,因此选择 10 g/L 的 SI 进行后续试验。

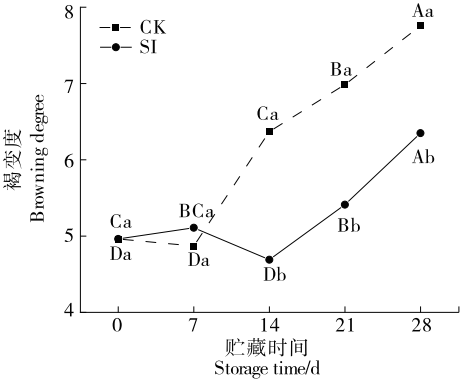
2.1.2 褐变度 由图 2 可知,随着贮藏时间延长,鲜切兰州百合的褐变度总体呈持续上升趋势,贮藏 14~28 d 时



小写字母不同表示同一取样点不同处理组差异显著($P<0.05$)

图 1 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合 L^* 值的影响

Figure 1 Effects of different concentrations of SI treatments on the L^* values of fresh-cut Lanzhou lily during storage



大写字母不同表示同一处理组不同取样点差异显著($P<0.05$);小写字母不同表示同一取样点不同处理组差异显著($P<0.05$)

图 2 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合褐变度的影响

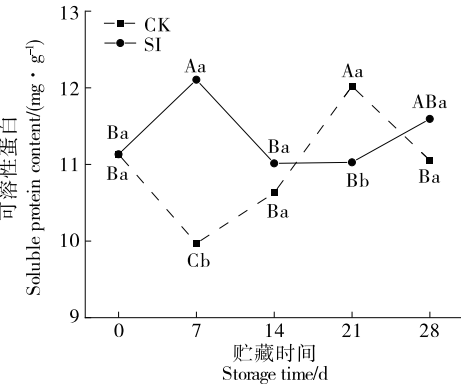
Figure 2 Effects of SI treatment on browning degree of fresh-cut Lanzhou lily during storage

褐变度迅速升高。其中 CK 组上升速率最快,贮藏 28 d 时的褐变度为初始值的 1.56 倍,而 SI 处理仅为 1.28 倍,说明 SI 处理可以延缓可溶性色素含量的积累,从而维持较低的褐变度。

2.2 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合营养品质的影响

2.2.1 可溶性蛋白含量 如图 3 所示,贮藏初期各组百合的可溶性蛋白含量呈波动趋势,起初的起伏变化可能是鲜切兰州百合鳞片受到机械损伤和低温胁迫的结果。在后续的贮藏期内,随着百合鳞片的愈伤修复和低温休眠^[4],CK 组与 SI 处理组的可溶性蛋白含量差异不大($P>0.05$)。

2.2.2 可溶性糖含量 如图 4 所示,CK 组可溶性糖含量呈持续上升趋势,SI 处理组初期上升较快,然后波动变化。低温胁迫会促使淀粉向可溶性糖转化,从而提高其



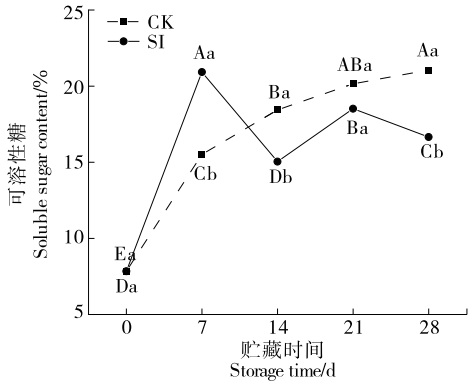
大写字母不同表示同一处理组不同取样点差异显著($P<0.05$);小写字母不同表示同一取样点不同处理组差异显著($P<0.05$)

图 3 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合可溶性蛋白含量的影响

Figure 3 Effects of SI treatments on soluble protein content of fresh-cut Lanzhou lily during storage

抗冷能力,SI 处理可显著降低香蕉果皮的冷害发生,因此在贮藏初期可溶性糖含量激增以应对低温胁迫^[18]。一部分可溶性糖转化为还原糖以供呼吸代谢消耗,另一部分转化为淀粉以应对环境胁迫^[4],SI 处理组的波动变化可能是可溶性糖合成及转化的动态平衡所致。贮藏 14 d 后,CK 组的可溶性糖含量均高于 SI 处理组。贮藏至 28 d 时,CK 组的可溶性糖含量为 21%,而 SI 处理组为 17%。SI 处理组较低的可溶性糖含量意味着其还原糖含量可能较少,这可能与其较低的褐变度有一定关系。

2.2.3 总酚、类黄酮和花青素含量 由表 2 可知,各组鲜切兰州百合鳞片的总酚和类黄酮含量在整个贮藏期间均无明显变化,组间差异也不显著($P>0.05$),相关性分析表明,总酚含量($R=0.43, P>0.05$)和类黄酮含量($R=0.17, P>0.05$)与褐变度呈非显著正相关。CK 组的花青素含量除在贮藏 21 d 有所提高外,在整个贮藏期间总体呈下降趋势,而 SI 处理组在贮藏 14 d 达到峰值,其余贮



大写字母不同表示同一处理组不同取样点差异显著($P<0.05$);小写字母不同表示同一取样点不同处理组差异显著($P<0.05$)

图 4 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合可溶性糖含量的影响

Figure 4 Effects of SI treatments on soluble sugar content of fresh-cut Lanzhou lily during storage

表 2 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合总酚、类黄酮和花青素的影响[†]

Table 2 Effects of SI treatment on total phenols, flavonoids, and anthocyanins in fresh-cut Lanzhou lily during storage

贮藏时间/d	总酚/(mg · g ⁻¹)		类黄酮/(mg · g ⁻¹)		花青素/(μg · g ⁻¹)	
	CK	SI	CK	SI	CK	SI
0	2.21±0.04 ^{AB}	2.21±0.04	2.99±0.03 ^{AB}	2.99±0.03	1.02±0.15 ^A	1.02±0.15 ^A
7	2.21±0.07 ^{AB}	2.24±0.02	2.92±0.04 ^{Bb}	3.03±0.06 ^a	0.79±0.14 ^{BC}	0.75±0.18 ^B
14	2.19±0.03 ^{Bb}	2.27±0.05 ^a	3.02±0.04 ^{AB}	2.97±0.08	0.67±0.05 ^{Cb}	1.10±0.05 ^{Aa}
21	2.26±0.04 ^A	2.23±0.06	3.04±0.12 ^A	2.96±0.10	0.96±0.17 ^{AB}	0.76±0.03 ^B
28	2.23±0.03 ^{AB}	2.23±0.03	2.93±0.05 ^{AB}	2.92±0.03	0.74±0.07 ^{BC}	0.68±0.02 ^B

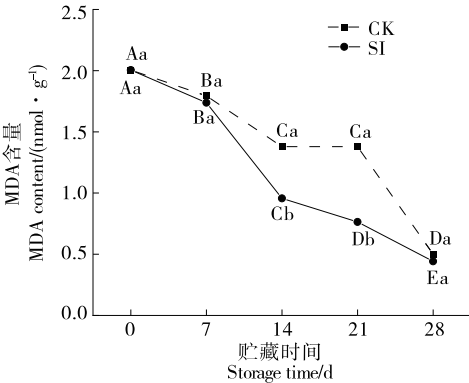
[†] 大写字母不同表示同一处理组不同取样点差异显著($P<0.05$);小写字母不同表示同一取样点不同处理组差异显著($P<0.05$)。

藏时间也均呈下降趋势。总的来说,整个贮藏期间,CK 组和 SI 处理组的花青素含量差异不显著($P>0.05$)。鲜切兰州百合总酚和类黄酮含量无明显变化,可能是因为低温的贮藏环境下,酚类和类黄酮生物合成及代谢水平较慢或处于动态平衡。

2.3 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合膜脂过氧化的影响

2.3.1 MDA 含量 如图 5 所示,随着贮藏时间延长,各组百合鳞片的 MDA 含量呈显著下降趋势,初期 MDA 含量过高可能是鲜切加工过程的机械损伤所造成的,随着贮藏时间延长,兰州百合的抗氧化能力增强清除了过量的 MDA^[19]。在贮藏 14,21 d 时,SI 处理的 MDA 含量显著低于 CK 组($P<0.05$),分别为 CK 组的 69%,55%。表明 SI 处理可以减少鲜切兰州百合鳞片 MDA 的积累,对减轻膜脂过氧化损伤具有积极作用。

2.3.2 LOX 活性 如图 6 所示,各组百合的 LOX 活性总体呈下降趋势,CK 组在 21~28 d 迅速下降,而 SI 处理组在前 7 d 迅速下降。贮藏的前 21 d,SI 处理组的 LOX



大写字母不同表示同一处理组不同取样点差异显著($P<0.05$);小写字母不同表示同一取样点不同处理组差异显著($P<0.05$)

图 5 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合 MDA 含量的影响

Figure 5 Effects of SI treatments on MDA content of fresh-cut Lanzhou lily during storage

活性均显著低于 CK 组($P<0.05$);贮藏第 7、14 和 21 天,SI 处理组的 LOX 活性分别比 CK 组低 48%,32%,44%。

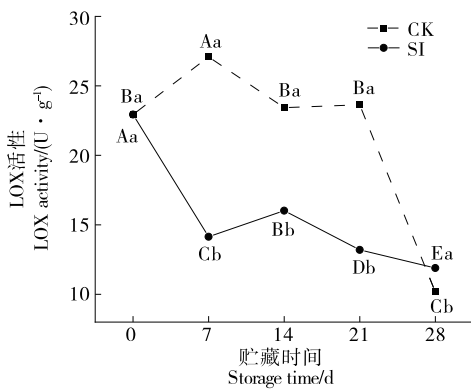


图6 SI处理对贮藏期间鲜切兰州百合LOX活性的影响

Figure 6 Effects of SI treatments on LOX activity of fresh-cut Lanzhou lily during storage

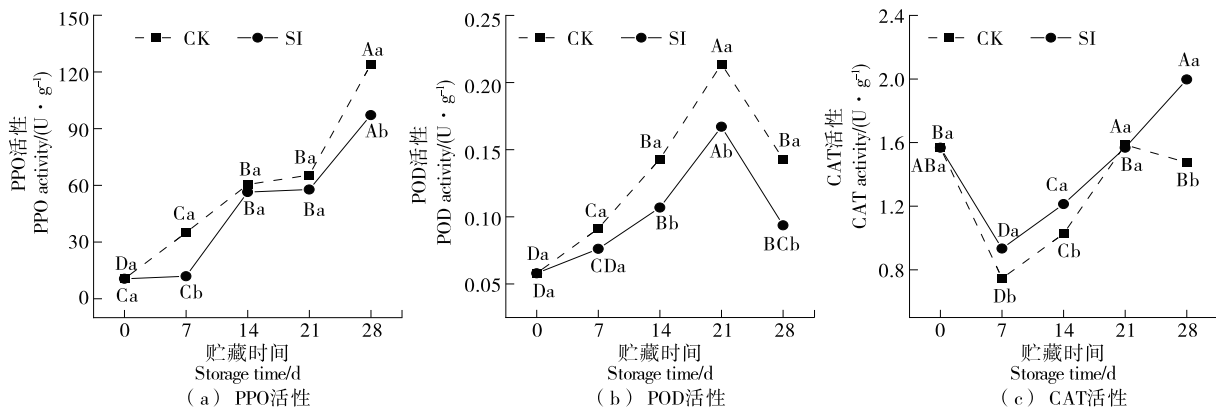


图7 SI处理对贮藏期间鲜切兰州百合PPO、POD和CAT活性的影响

Figure 7 Effects of SI treatment on PPO, POD, and CAT activities of fresh-cut Lanzhou lily during storage

酶促褐变是鲜切兰州百合褐变的主要因素之一。

2.4.2 POD活性 如图7(b)所示,两组均呈先升后降的趋势,并在贮藏21 d时达到活性高峰。POD既参与酶促褐变反应,又催化过氧化氢分解,参与调节活性氧平衡^{[13]101}。在贮藏21 d后骤降可能是因为兰州百合鳞片衰老,活性氧平衡被打破,MDA含量和LOX活性也有类似变化趋势。SI处理组的POD活性在大部分贮藏期间均显著低于CK组($P<0.05$)。贮藏14,21,28 d时,SI处理组的POD活性分别比CK组低25%,22%,35%,表明SI处理可以抑制鲜切兰州百合鳞片中POD活性的增加,延缓其酶促褐变的进程。

2.4.3 CAT活性 如图7(c)所示,各组百合鳞片的CAT活性呈先下降后持续升高的趋势。在贮藏0 d时,百合鳞片的CAT活性较高,推测是百合的生理防御活性较强,而鲜切加工导致活性氧的快速聚集,贮藏初期的CAT被

相关性分析表明,LOX活性和MDA含量呈正相关($R=0.88$),SI处理后的鲜切兰州百合具有较低的LOX活性,可能是其MDA含量较低的原因之一。SI处理后的鲜切兰州百合鳞片具有更低的LOX活性和MDA含量,表明SI处理可以减轻鲜切兰州百合的膜脂过氧化,维持细胞膜完整性,从而抑制百合褐变。

2.4 SI处理对贮藏期间鲜切兰州百合活性氧代谢相关酶活性的影响

2.4.1 PPO活性 如图7(a)所示,随着贮藏时间延长,各组百合鳞片的PPO活性持续增加,且CK组增长速率更快。贮藏至28 d时,CK组百合鳞片的PPO活性为124.10 U/g,是初始值的11.83倍,而SI处理组的PPO活性显著低于CK组($P<0.05$),仅为97.22 U/g,为初始值的9.27倍,说明SI处理可以钝化鲜切兰州百合鳞片的PPO活性。相关性分析结果显示,鲜切兰州百合的褐变度与PPO活性呈显著正相关($R=0.93, P<0.05$),说明

用于维持百合活性氧稳定平衡,因而出现了贮藏前7 d过程中CAT活性骤降,张鹏等^[20]也有类似的报道。在大部分贮藏时间内,SI处理组的CAT活性显著高于CK组,贮藏至28 d时,SI处理组的CAT活性比CK组高35%。

SI处理显著抑制了贮藏期间鲜切兰州百合的PPO和POD活性,诱导CAT活性增强,该结果与田密霞等^[21]的一致。

2.5 SI处理对贮藏期间鲜切兰州百合风味品质的影响

如图8所示,随着贮藏时间延长,鲜切兰州百合的挥发性化合物含量呈下降趋势,SI处理组的挥发性化合物含量低于CK组。优势传感器为W1W、W1S、W2W、W2S和W5S,表明鲜切兰州百合中含有较多的硫化物、甲基类、醇类、醛酮类和氮化合物等挥发性化合物。SI处理后兰州百合具有较低的W1W、W1S和W2W传感器响应值,表明SI处理可以减轻鲜切兰州百合中硫化物和甲基

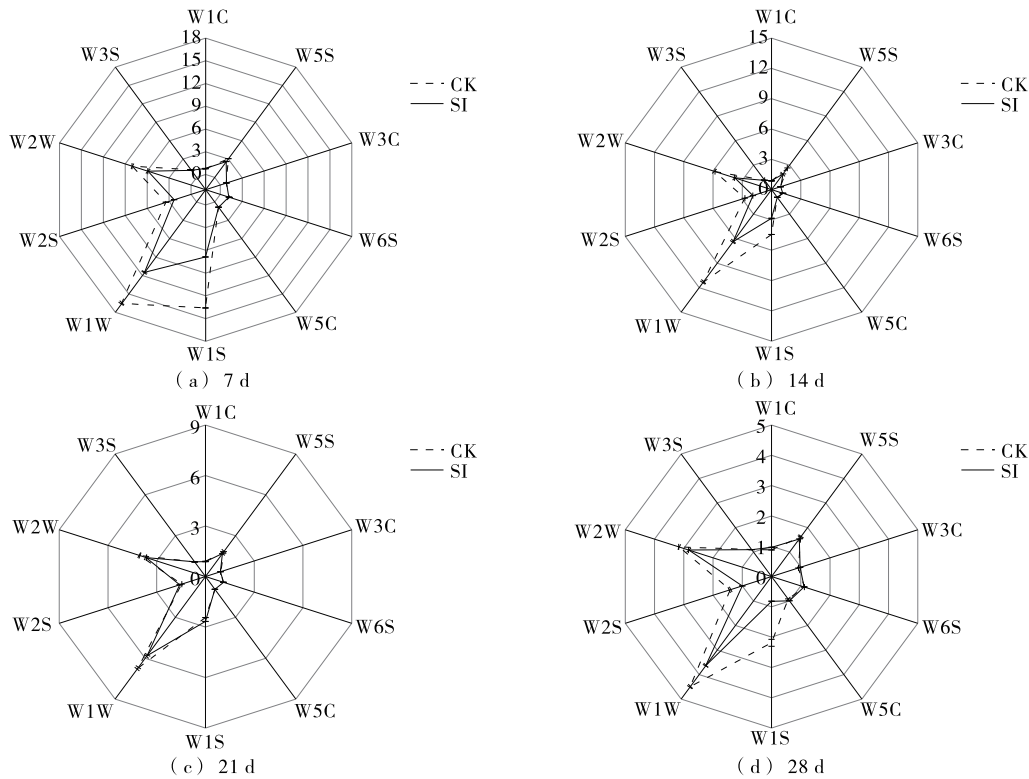


图 8 SI 处理对贮藏期间鲜切兰州百合风味的影响

Figure 8 Effects of SI treatment on the flavor of fresh-cut Lanzhou lily during storage

类化合物的含量。

贮藏期间兰州百合香气变化的主成分分析(PCA)如图 9 所示。其中 PC1 占比 95.8%,PC2 占比 3.3%,总占比为 99.1%,可显示绝大多数的气味信息。PCA 中的优势载荷同是上述 5 个传感器,且分布在 PCA 图 X 轴正方向的两侧。通过对各贮藏时间点样品的得分信息分析可知,相同时间点的 CK 组的得分响应值更靠 X 轴正方向,验证了雷达图的分析结果。上述结果表明,SI 处理会影响鲜切兰州百合的风味,但影响的挥发性化合物的种类

及具体含量还有待进一步研究。

2.6 鲜切兰州百合生理指标的相关性分析

如图 10 所示, L^* 与褐变度、可溶性蛋白、可溶性糖、总酚、POD 和 CAT 呈非显著负相关($P>0.05$),与 PPO 呈显著负相关($R=0.94,P<0.05$)。 L^* 与类黄酮和花青素呈非显著正相关($P>0.05$),与 MDA 和 LOX 分别呈显著和极显著正相关($R=0.96,P<0.05;R=0.97,P<0.01$)。

SI 处理改变了鲜切兰州百合的生理代谢水平,其 L^* 与褐变度、PPO 和 POD 呈非显著负相关($P>0.05$),与 CAT 呈极显著负相关($R=0.99,P<0.01$)。 L^* 与可溶性蛋白、可溶性糖、总酚、类黄酮、花青素、MDA 和 LOX 均呈非显著正相关($P>0.05$)。说明鲜切兰州百合的褐变主要与酶促褐变和膜脂过氧化有关,SI 处理主要是通过调节 CAT 等抗氧化酶活性来维持其外观品质。

3 结论

与 CK 组相比,异抗坏血酸钠处理维持了鲜切兰州百合的贮藏品质,特别是 10 g/L 的异抗坏血酸钠处理,在贮藏结束时 L^* 值最高,为 80.75。异抗坏血酸钠处理降低了鲜切兰州百合贮藏期间的褐变度、丙二醛含量、脂氧合酶、多酚氧化酶和过氧化物酶活性,减少了膜脂过氧化水平,延缓其酶促褐变。异抗坏血酸钠处理对可溶性蛋白、

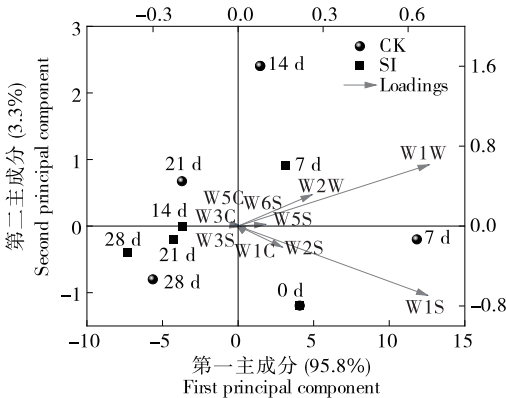


图 9 鲜切兰州百合贮藏期间风味变化的主成分分析

Figure 9 Principal component analysis of flavor changes in fresh-cut Lanzhou lily during storage

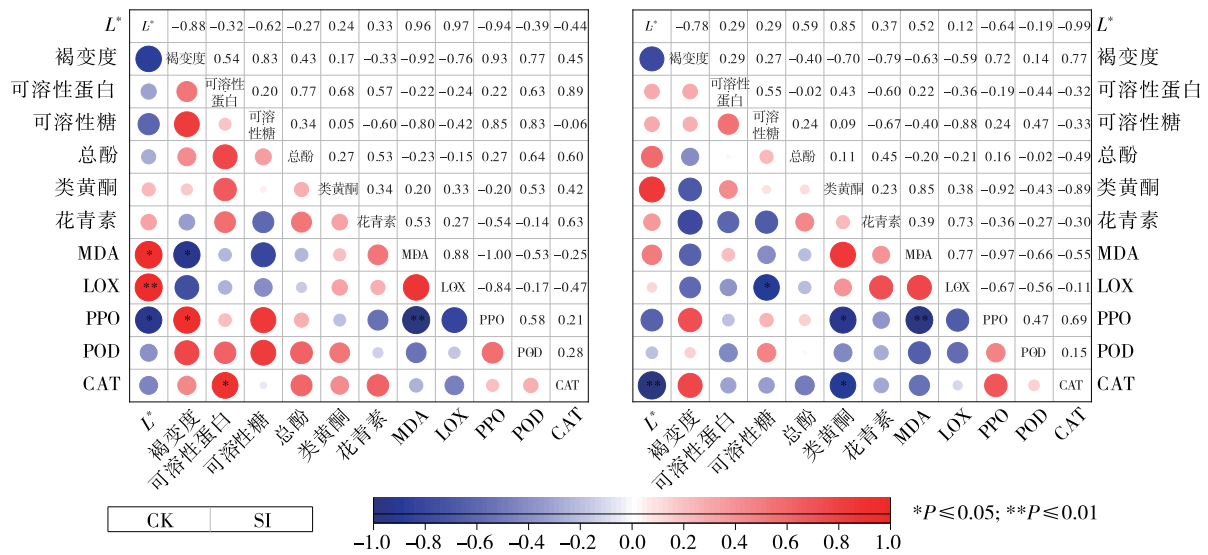


图 10 各项生理指标的相关性分析热图

Figure 10 Heat map for correlation analysis of various physiological indicators

总酚、类黄酮、花青素等营养指标含量无显著不良影响。此外,异抗坏血酸钠处理也可以调控贮藏期间鲜切兰州百合的香气组成和含量变化,但具体变化还有待研究。总而言之,异抗坏血酸钠处理是一种简单有效的采后处理技术,可用于维持鲜切兰州百合色泽,延缓其品质劣变。

参考文献

[1] 张敏敏,王立光,李琦,等.兰州百合采后贮藏保鲜研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(3): 131-136.
ZHANG M M, WANG L G, LI Q, et al. Research progress on postharvest storage and preservation of Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*) [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2023, 14(3): 131-136.
[2] 李善家,崔莉娟,苏培玺,等.特色农产品兰州百合产地溯源及确证[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 329-337.
LI S J, CUI L J, SU P X, et al. Geographical origin traceability and origin confirmation of specialty agricultural product Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(16): 329-337.
[3] 魏宝东,康丹丹,张鹏,等.微环境气调结合相温贮藏对兰州百合采后品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(9): 241-249.
WEI B D, KANG D D, ZHANG P, et al. Effects of micro-environment modified atmosphere package combined with phase temperature storage on postharvest quality of Lanzhou lily [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(9): 241-249.
[4] 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.
[5] 高凯丽,胡文忠,刘程惠,等.茶树精油熏蒸处理对轻加工百合褐变及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 267-272.
GAO K L, HU W Z, LIU C H, et al. Effects of tea tree essential oil fumigation on browning and quality of lightly processed lily scales [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(18): 267-272.
[6] ZHAO K D, XIAO Z P, ZENG J G, et al. Effects of different storage conditions on the browning degree, PPO activity, and content of chemical components in fresh *Lilium bulbis* (*Lilium brownii* F. E. Brown var. *viridulum* Baker.) [J]. Agriculture, 2021, 11(2): 184.
[7] 杨莉萍,郭旭东,姬捷,等.百合色泽变化机制及控制的研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(6): 1 978-1 985.
YANG L P, GUO X D, JI J, et al. Research progress on mechanism of *Lilium Bulbus* color change and control[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(6): 1 978-1 985.
[8] ALI S, KHAN A S, MALIK A U, et al. Postharvest application of antibrowning chemicals modulates oxidative stress and delays pericarp browning of controlled atmosphere stored litchi fruit[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(3): e12746.
[9] HUANG H, GE Z W, LIMWACHIRANON J, et al. UV-C treatment affects browning and starch metabolism of minimally processed lily bulb[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 128: 105-111.
[10] HUANG D J, LI W T, DAWUDA M M, et al. Hydrogen sulfide reduced colour change in Lanzhou lily-bulb scales[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 176: 111520.
[11] XU D Y, GU S T, ZHOU F H, et al. Mechanism underlying sodium isoascorbate inhibition of browning of fresh-cut mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 173: 111357.

- [12] 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.
- [13] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experiment guidance on postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [14] ZHENG Q L, ZUO J H, GU S T, et al. Putrescine treatment reduces yellowing during senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 152: 29-35.
- [15] WANG J H, YOU Y L, CHEN W X, et al. Optimal hypobaric treatment delays ripening of honey peach fruit via increasing endogenous energy status and enhancing antioxidant defence systems during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 101: 1-9.
- [16] SHI J Y, ZUO J H, ZHOU F H, et al. Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 141: 23-38.
- [17] XIONG S G, SUN X S, TIAN M X, et al. 1-Methylcyclopropene treatment delays the softening of *Actinidia arguta* fruit by reducing cell wall degradation and modulating carbohydrate metabolism[J]. Food Chemistry, 2023, 411: 135485.
- [18] JIAO W X, XI Y, CAO J K, et al. Regulatory effects of CaCl_2 , sodium isoascorbate, and 1-methylcyclopropene on chilling injury of banana fruit at two ripening stages and the mechanisms involved[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(2): e13442.
- [19] LI X, ZHANG C Y, WANG X Q, et al. Integration of metabolome and transcriptome profiling reveals the effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the browning of fresh-cut Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*) bulbs during storage [J]. Foods, 2023, 12(6): 1 335.
- [20] 张鹏, 康丹丹, 魏宝东, 等. 微环境气调包装对兰州百合采后衰老与防御酶的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 317-323.
- ZHANG P, KANG D D, WEI B D, et al. Effects of micro-environment modified atmosphere package on postharvest senescence and defense enzymes of Lanzhou lily[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 317-323.
- [21] 田霞霞, 胡文忠, 王艳颖, 等. 山梨酸钾、异抗坏血酸钠及包装方式对鲜切梨的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7): 382-385.
- TIAN M X, HU W Z, WANG Y Y, et al. Effect of potassium sorbate, sodium isoascorbate and the different packing on fresh-cut pears[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7): 382-385.

(上接第 83 页)

- [11] FATAHILLAH A, SETIAWAN T B, SHOLIHIN A. Numerical analysis of ice freezing processes of block ice production in a brine tank factory using the finite volume method[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1 832(1): 12-23.
- [12] SUKBOROM P, CHINSUWAN A. Effects of feed water temperature, pool temperature, and pool side heat transfer coefficient on freezing time of the conventional block ice production[J]. Energy Procedia, 2017, 138: 63-68.
- [13] 方贵银, 邢琳, 杨帆. 蓄冷空调技术[J]. 电力需求侧管理, 2005(2): 42-45.
- FANG G Y, XING L, YANG F. Cool storage conditioning technology[J]. Power Demand Side Management, 2005(2): 42-45.
- [14] ZHAO J D, LIU N, KANG Y M. Optimization of ice making period for ice storage system with flake ice maker[J]. Energy & Buildings, 2008, 40(9): 1 623-1 627.
- [15] 杜玉吉, 周长江, 丁为俊, 等. 制冰桶结构对制冰性能影响的数值模拟分析研究[J]. 建筑热能通风空调, 2021, 40(7): 6-9.
- DU Y J, ZHOU C J, DING W J, et al. Influence of ice bucket structure on ice making performance based on fluent[J]. Building Energy & Environment, 2021, 40(7): 6-9.
- [16] 潘艾刚, 王俊彪, 张贤杰. 基于等效热容法和焓法的相变传热数值分析[J]. 计算机仿真, 2014, 31(2): 315-319.
- PAN A G, WANG J B, ZHANG X J. Numerical analysis of phase-change heat transfer characteristics using effective heat capacity method and enthalpy method[J]. Computer Simulation, 2014, 31(2): 315-319.

(上接第 116 页)

- [24] 余雯, 梁瑞红, 李佩, 等. 南酸枣糕贮藏过程中非酶褐变的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 319-321, 326.
- YU W, LIANG R H, LI T, et al. Research on non-enzymatic browning reaction of *Choerospondias axillaris* fruit cake during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 319-321, 326.
- [25] 徐鹏程, 王苒玮, 罗小虎, 等. 电子束辐照对留胚米理化性质及食用品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(4): 41-47.
- XU P C, WANG J W, LUO X H, et al. Effect of electron beam irradiation on physicochemical properties and edible qualities of rice with remained germ [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2023, 42(4): 41-47.
- [26] ROIG M G, BELLO J F, RIVERA Z S, et al. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice[J]. Food Research International, 1999, 32(9): 609-619.