

兰州百合采后贮藏保鲜研究进展

张敏敏, 王立光, 李琦, 裴怀弟*

(甘肃省农业科学院生物技术研究所, 兰州 730070)

摘要: 兰州百合营养丰富, 广受消费者喜爱, 作为“甘味”特色优势农产品, 对提升当地农民收入和加快乡村振兴起到重要的作用。但是由于兰州百合采后易褐变, 造成经济损失严重。研究者针对兰州百合采后贮藏保鲜问题已开展了相关研究。基于此, 本文在查阅国内外相关文献的基础上, 紧密结合产业发展, 综述了兰州百合的传统保鲜、物理保鲜和化学保鲜技术, 梳理并展望了兰州百合采后贮藏保鲜研究过程中可能运用到的新技术和新方法, 尤其对于生物保鲜、复合保鲜方法和交叉学科的应用亟需加强。通过对兰州百合采后贮藏保鲜研究进展的综述, 有望为兰州百合品质提升和减损增效提供一定的参考。

关键词: 兰州百合; 采后; 物理保鲜; 化学保鲜

Research progress on postharvest storage and preservation of Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*)

ZHANG Min-Min, WANG Li-Guang, LI Qi, PEI Huai-Di*

(Institute of Biotechnology, Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT: Lanzhou lily is rich in nutrition and widely loved by consumers. Lanzhou lily, an advantaged agricultural product of Ganwei, plays an important role in improving local farmers' income and accelerating rural revitalization. However, it is prone to browning after harvest, resulting in serious economic losses. Researchers have carried out relevant studies on the postharvest storage of Lanzhou lily. On the basis of consulting relevant literature at home and abroad and closely combining with industrial development, this paper comprehensively summarized the traditional, physical and chemical preservation methods of Lanzhou lily. It also sorted out and looked forward to the new technologies and methods that might be used in the research of postharvest storage of Lanzhou lily. In particular, the application of biological preservation, composite application of different preservation technologies and interdisciplinary disciplines needed to be strengthened. This paper aims to provide a certain reference for the quality improvement, loss reduction of Lanzhou lily by reviewing the research progress of postharvest storage and preservation of Lanzhou lily.

KEY WORDS: Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*); postharvest; physical preservation; chemical preservation

0 引言

兰州百合(*Lilium davidii* var. *unicolor*)主要产于甘肃

山区, 已有 400 多年的种植历史, 是甘肃省名优特农产品, 也是全国唯一食药两用甜百合。截至 2021 年, 兰州百合的种植面积已达 20 万亩, 产量约为 8 万 t, 是主产区农民

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-21)、甘肃省农业科学院中青年基金项目(2019GAAS43)

Fund: Supported by the China Agriculture Research System (CARS-21), and the Gansu Academy of Agricultural Sciences Young and Middle-aged Fund Project (2019GAAS43)

*通信作者: 裴怀弟, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为作物种苗快繁与栽培技术研究。E-mail: phdfeixiang@163.com

*Corresponding author: PEI Huai-Di, Master, Associate Professor, Institute of Biotechnology, Gansu Academy of Agriculture Sciences, No.1 Xincun, Academy of Agricultural Sciences, Anning District, Lanzhou 730070, China. E-mail: phdfeixiang@163.com

致富的支柱产业。兰州百合鳞茎富含蛋白质、维生素和矿物质等营养成分,同时含有多糖、多酚、皂苷和生物碱等生理活性物质,深受人们喜爱^[1-3]。随着社会的发展进步,农产品产量和品质的提升将成为驱动农业发展的主要动力,兰州百合因其营养丰富,对人们的健康有着重要意义^[4]。

但是兰州百合鳞茎在采后贮藏过程中容易发生变色、腐烂和品质劣变等问题,严重制约了百合产业的健康发展。由于新鲜果蔬水分活度高,适宜微生物生长,容易造成水分流失、褐变和腐烂等,导致其营养价值、风味和外观品质下降,因此需要开发有效和高效的保鲜技术来提高其贮藏品质、延长货架期,以减少采后损失^[5-7]。目前研究者已对兰州百合预冷技术、物理保鲜和化学保鲜方法进行了深入研究,对保持兰州百合贮藏过程中的外观、风味、营养和功能品质起到非常重要的作用。通过文献查阅和调研发现,目前关于兰州百合采后贮藏保鲜技术的综述仍较少,深入系统地分析兰州百合贮藏保鲜方法十分必要。因此,本文通过对兰州百合的贮藏保鲜技术及其贮藏过程中生理生化和营养成分的变化等进行综述,挖掘兰州百合贮藏保鲜过程中存在的问题,深入思考兰州百合贮藏保鲜的未来研究发展方向,以期对兰州百合的贮藏保鲜提供新的思路 and 参考。

1 传统贮藏

兰州百合可食用部分为地下鳞茎,在长期的生产实践过程中贮藏以窖藏法和沙藏法为主。窖藏是将百合贮藏具有简易通风系统的窖内的一种贮藏方法,具有贮量大、保温保湿效果好等优点,但是该方法只能帮助百合越冬,随着气温的升高,百合褐变和腐烂现象会加剧。沙藏法又被称为低温层积处理,是利用自然冷源和在沙藏条件下百合暂时进入被迫休眠状态进行贮藏保鲜的方法,由于沙藏法对设施要求低、材料少、费用低,因此更适合小规模的新鲜或冬储。目前,随着栽培面积的逐渐扩大,人们对兰州百合品质要求的提升,传统贮藏方法已逐渐不能满足产业化需求。

2 物理保鲜技术

2.1 预冷和低温贮藏

温度是调控果蔬采后生理生化过程的重要因素之一,由于大多数果蔬在采收后往往含有大量的田间热量,导致代谢速率加快,微生物生长增加。此外,由于持续的生理危害,田间的高温易使收获的果蔬水分流失,导致品质加速下降,其贮藏和保质期缩短,严重影响生鲜农产品的跨地区和跨国界长途销售^[8]。为了减少田间热量对果蔬贮藏品质的影响,预冷技术的应用可以有效地去除田间热量,

从而抑制贮藏过程中果蔬的生理生化反应,延缓成熟衰老,减少采后腐烂,保持果实品质^[9]。因此,预冷是保持果蔬贮运品质的第一道也是最关键的防线。常用的预冷技术包括强制风冷、水冷、液态冰冷和真空预冷^[10]。在目前各种类型的预冷系统中,强制风冷是兰州百合最有效的预冷方法,企业在生产实践中通过增大送风量,显著减少了百合冷却所需的时间,然而对于兰州百合预冷技术的系统研究还未见报道^[11]。

低温贮藏是最有效的物理保鲜和绿色保鲜方法之一,可以有效地降低果蔬的呼吸强度,上调应激反应相关基因,阻断乙烯的信号转导,并影响初级和次级代谢,是延长果蔬贮藏期和保质期的主要方法^[12]。兰州百合在低温条件下水分、维生素C、多糖、多酚和黄酮等营养和功能成分含量损失较常温贮藏显著降低,且低温能够显著抑制贮藏过程中多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶的活性,延缓丙二醛含量的上升,有效延长保鲜期^[13-14]。尤其在相温 $[(0.4\pm 0.1)^{\circ}\text{C}]$ 贮藏条件下,百合的硬度和还原糖含量均能够保持较高水平,呼吸强度和乙烯生成速率维持在较低水平,同时在贮藏后期对百合中醇类、酯类及烯炔类物质的挥发有明显的抑制作用。因此,不同低温条件对兰州百合贮藏品质的影响差异明显,在精准温控即相温贮藏条件下能够更好地维持兰州百合的贮藏品质^[15]。

2.2 气调保鲜

气调保鲜通过利用低 O_2 和中低 CO_2 浓度,降低果蔬呼吸速率并抑制微生物生长,同时在较高的相对湿度条件下可以减少水分流失和降低失重,从而保持果蔬的贮藏品质^[16-17]。气调贮藏对果蔬代谢的影响取决于胁迫的强度和持续时间,果蔬的种类、品种、成熟期和采收前条件也是影响采收果实性状的重要因素^[18]。通过不同气体比例对兰州百合采后品质的影响研究发现, CO_2 、 O_2 和 N_2 的比例分别为5%、10%、85%时,百合的褐变度低,能保持较好的感官品质,同时能够有效抑制多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶活性和丙二醛含量的积累^[19]。微环境气调(即 O_2 含量9.4%~15.6%, CO_2 含量4.7%~10.8%)结合相温贮藏可有效控制百合贮藏过程中的腐烂程度,维持硬度在较高水平。同时,微环境气调结合相温贮藏能够抑制贮藏过程中百合营养物质的流失,降低呼吸强度和乙烯生成速率;能够减少醇类、酯类及烯炔类物质的挥发^[20]。综合比较,微环境气调结合相温贮藏下百合的贮藏品质最佳。

2.3 臭氧处理

臭氧是一种对细菌、真菌、病毒和真菌孢子有很强抑制作用的天然氧化剂,可作为直接接触使用于新鲜农产品的消毒剂^[21]。臭氧通常是由空气或气态氧通过高压放电产

生的,高压放电从氧原子自由基产生臭氧分子,处理后无残留,对于延长果蔬贮藏期和货架期有着较好的效果^[22]。同时,臭氧抑制 1-氨基环丙烷-1-羧酸(1-aminocyclopropane-1-carboxylate, ACC)合成酶和 ACC 氧化酶的活性,直接氧化乙烯。臭氧抑制细胞壁降解酶的活性,可显著减少果实软化^[23]。臭氧处理的有效性和可持续性主要取决于不同果蔬种类及臭氧的处理浓度和时间^[24]。用不同浓度臭氧水对百合进行处理,发现臭氧水浓度对百合保鲜效果差异明显,贮藏过程中百合的褐变度随着臭氧水质量浓度(0~1.5 mg/L)的增加逐渐减小,但是当臭氧水质量浓度增大至 2.0 mg/L 时,百合褐变度增大^[19]。因此,在臭氧处理过程中,臭氧水浓度的选择尤为重要。

2.4 紫外照射

紫外(ultraviolet, UV)照射可以有效地保持果蔬贮藏品质并延长其保质期,UV-A (320~400 nm)和 UV-B (280~320 nm)比 UV-C (200~280 nm)的危害小,其中 UV-C 可以有效地减少新鲜果蔬上的致病微生物,同时也可以抑制果蔬营养成分的流失^[25-27]。将兰州百合用 UV-C 处理不同时间,结果发现在贮藏前经 UV-C 照射 10 min 可以更好地保持百合色泽,抑制多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶活性和丙二醛含量的积累,从而延缓兰州百合的衰老进程^[19]。

3 化学保鲜技术

3.1 二氧化氯

各种形式的氯包括次氯酸钠、氯气、二氧化氯和次氯酸钙是食品部门中使用最广泛的化学消毒剂。二氧化氯是一种强氧化剂,被提议作为次氯酸钠的替代品,次氯酸钠是水果和蔬菜表面最常用的消毒剂,因为其氧化能力是次氯酸钠的 2.5 倍以上,具有广泛的生物杀灭功效,而且产生的致癌副产物较少^[28-29],现已广泛应用于食品保鲜、医疗消毒、水体净化等领域^[30]。通过在果蔬加工、包装或贮存过程中添加二氧化氯以抑制果蔬中微生物的生长或任何其他变质物质,保持果蔬的质地、风味和颜色。气态二氧化氯已被证明比水溶液形式更有效地灭活微生物,因为气体在细胞中的扩散作用显著。通过不同浓度二氧化氯熏蒸处理对降低百合贮藏期间的褐变度效果显著,其中在二氧化氯浓度为 6 mg/L 时百合的腐烂指数达到最低,维生素 C 和可溶性固形物含量维持在较高水平,呼吸强度和丙二醛含量降低明显,有效地保证了百合贮藏期间的外观品质和营养品质。但是,当二氧化氯浓度较低或过高时均会影响百合的保鲜效果^[31]。因此,适宜的二氧化氯浓度对百合保鲜至关重要。

3.2 复合涂膜

复合涂膜是果蔬保鲜的有效方法。作为一种水溶性的天然多糖,壳聚糖因其低毒、环保、成膜性能好而成为一种理想的包衣剂,受到了广泛的关注。它形成一个半透膜,减缓水果的呼吸和蒸腾作用^[32]。壳聚糖包衣能有效地保持果蔬在贮藏过程中的总可溶性固形物、可滴定酸度和水分等生理指标^[33]。此外,壳聚糖对包括细菌和真菌在内的多种微生物具有抗菌能力^[34]。纳他霉素是一种天然的抗真菌多烯,由纳他霉素链霉菌产生,对人体毒性低,它已被 40 多个国家批准为食品添加剂,可以抑制果蔬中真菌的生长并延长贮藏周期。然而,纳他霉素在水中的溶解度较低,这使得纳他霉素很难粘附在果蔬表面^[35]。因此,纳他霉素溶解度低,难以在果实表面聚集是其作为天然防腐剂开发的主要障碍。研究发现,适宜浓度的那他霉素和壳聚糖复合涂膜处理能显著降低百合的褐变指数,并减少水分、维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白等营养成分的流失,从而保证了百合鳞茎片贮藏期间的品质^[36]。

3.3 1-甲基环丙烯

乙烯是调节果蔬成熟衰老以及贮藏期品质的关键因素。无论是内源或外源产生的乙烯对果蔬品质影响较大。果蔬分为呼吸跃变型和非呼吸跃变型,在非呼吸跃变型果蔬中,随着乙烯浓度的增加,呼吸速率按比例增大,但峰值的时间不受影响,呼吸速率在乙烯被去除后立即下降^[37]。1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)由于其无毒性质、在生理温度下的气态形式以及在低浓度下的有效性,对果蔬贮藏效果较好。一般来说,乙烯施用于成熟期果实会加速成熟速度,而 1-MCP 则会降低成熟速度,在某些情况下可以完全抑制成熟速度^[38-39]。1-MCP 处理对延缓百合软化和褐变有一定的效果,能够较好地能保持百合的质地、紧实度、风味和外观,但是 1-MCP 处理对百合的呼吸作用无显著影响,这主要是由于百合鳞茎在采收后的 3 个月为休眠期,对外界处理不敏感所导致的^[40]。

4 复合保鲜技术

果蔬贮藏保鲜方法的选择直接影响着果蔬的贮藏效果,在贮藏保鲜过程中往往是将多种保鲜方法科学合理的组合,以发挥更佳的保鲜效果^[41-42]。在兰州百合贮藏保鲜中,将臭氧清洗、紫外照射、气调和低温冷藏相结合能够有效抑制褐变相关酶(多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶)活性,延缓丙二醛含量的积累,从而减轻细胞膜的受损伤程度^[19]。通过将臭氧、紫外照射、气调和低温冷藏这 4 种方法结合用于兰州百合的保鲜,虽然一

一定程度上取得了较好的保鲜效果,但是要将其应用于生产实践中则存在工序繁杂、难以批次处理和劳动力成本增加等问题^[43]。

5 展 望

本文系统地综述了兰州百合传统保藏、物理和化学贮藏保鲜的方法,发现在兰州百合保鲜方面取得了一定的成效,但与其他大宗果蔬贮藏保鲜方法研究相比,兰州百合贮藏保鲜技术研究仍有较大的提升空间。(1)在现有兰州百合贮藏保鲜研究方面,探究了不同贮藏方式处理对兰州百合褐变度、丙二醛、与褐变相关酶活性和营养成分等基础指标的影响,并未系统深入地研究不同贮藏条件下品质指标的变化规律和影响机制。随着食品组学技术的快速发展,探究百合褐变产生规律及不同贮藏方式对百合贮藏品质的影响机制,对这些调节机制的阐明将拓宽我们对百合贮藏过程中的初级代谢和相关的次级代谢的理解,更有利于贮藏保鲜方法优化或新的保鲜方法在百合保鲜中的应用,而不是盲目地套用其他果蔬的贮藏保鲜方法^[44-46]。(2)单一保鲜技术在百合贮藏保鲜中的应用较为广泛,但单一保鲜技术效果具有局限性,也有不可避免的自身缺陷^[47],在一定程度上影响了其对产品的保鲜效果。综合应用贮藏保鲜措施,探究高效复合保鲜技术,可以扬长避短、优势互补,克服单一处理的缺点,有针对性地提高兰州百合贮藏保鲜性能。这对确保兰州百合的营养品质、外观品质,拓宽兰州百合销售渠道,发挥区域特色经济优势具有促进意义。(3)兰州百合在贮藏方面的技术储备还不足以支撑日益扩大的产业需求,新技术的开发和多学科的交叉应用有助于兰州百合保鲜技术的提升。在兰州百合保鲜方面,研发简单、高效、安全的百合贮藏技术且能保持百合食用营养品质是现在亟需解决的关键问题,除了需要推广和优化百合的预冷技术之外,应更多地将生物保鲜技术应用于百合的贮藏保鲜中。同时,通过多传感器、先进成像技术分析和物联网工具等综合技术,实时监测百合在贮藏过程中生理生化和营养功能的变化,无疑将提高整个产业链的竞争力^[48-50]。同时,对兰州百合的研究应综合考虑不同品种、生长发育过程及田间管理等对采后处理和保鲜加工的影响。

参考文献

- [1] 白光剑, 陈少丹, 张普照, 等. 百合多糖的化学结构表征和生物活性研究进展[J]. 中草药, 2022, 53(20): 6583-6592.
BAI GJ, CHEN SD, ZHANG PZ, *et al.* Research progress on chemical structure characterization and biological activities of *Lilium bulbosum* polysaccharides [J]. Chin Tradit Herbal Drug, 2022, 53(20): 6583-6592.
- [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 SJ, CUI LJ, SU PX, *et al.* Geographical origin traceability and origin confirmation of specialty agricultural product Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*) [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(16): 329-337.
- [3] 罗耀华, 王馨雨, 陈晟, 等. 7种百合内外鳞片营养品质及抗氧化特性评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(24): 247-255.
LUO YH, WANG XY, CHEN S, *et al.* Evaluation of nutritional quality and antioxidant properties of inner and outer scales of 7 species of lilies [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(24): 247-255.
- [4] CASSANI L, GOMEZ-ZAVAGLIA A. Sustainable food systems in fruits and vegetables food supply chains [J]. Front Nutr, 2022, 9: 829061.
- [5] PORAT R, LICHTER A, TERRY LA, *et al.* Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention [J]. Postharvest Biol Technol, 2018, 139: 135-149.
- [6] LIU XW, BOURVELLEC C, YU JH, *et al.* Trends and challenges on fruit and vegetable processing: Insights into sustainable, traceable, precise, healthy, intelligent, personalized and local innovative food products [J]. Trend Food Sci Technol, 2022, 125: 12-25.
- [7] LUFU R, AMBAW A, OPARA UL. Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors [J]. Sci Hortic-Amsterdam, 2020, 272: 109519.
- [8] MERCIER S, VILLENEUVE S, MONDOR M, *et al.* Time-temperature management along the food cold chain: A review of recent developments [J]. Comp Rev Food Sci, 2017, 16(4): 647-667.
- [9] DUAN Y, WANG GB, FAWOLE OA, *et al.* Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review [J]. Trend Food Sci Technol, 2020, 100: 278-291.
- [10] BROSANAN T, SUN DW. Precooling techniques and applications for horticultural products-A review [J]. Int J Refrig, 2001, 24(2): 154-170.
- [11] ATKIN OK, TJOELKER MG. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature [J]. Trend Plant Sci, 2003, 8(7): 343-351.
- [12] 马君义, 韩小芬, 陈楠, 等. 兰州百合鳞茎冷藏保鲜过程中碳水化合物含量及淀粉酶活性的变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 73-77.
MA JY, HAN XF, CHEN N, *et al.* Changes of carbohydrate contents and amylase activities in bulb of *Lilium davidii* var. *unicolor* during cooling storage preservation process [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(10): 73-77.
- [13] 王乙婷. 贮藏条件对兰州百合主要营养成分及抗氧化活性影响的研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016.
WANG YT. Study on effects of storage conditions on main nutritional components and antioxidant activity of *Lilium* [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2016.
- [14] 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 DD, ZHANG P, LI JK, *et al.* Effects of phase temperature storage

- on post-harvest quality of Lanzhou lily during cold storage [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(24): 175–181.
- [15] WILSON MD, STANLEY RA, EYLES A, *et al.* Innovative processes and technologies for modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut fruits and vegetables [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2019, 59(3): 411–422.
- [16] QU P, ZHANG M, FAN K, *et al.* Microporous modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh foods: A review [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2022, 62(1): 51–65.
- [17] FANG YJ, WAKISAKA M. A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies [J]. *Agric Basel*, 2021, 11(10): 992.
- [18] 张朝阳. 兰州百合保鲜过程中酶活性研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2018.
- ZHANG CY. Study on enzyme activity in the fresh-keeping process of *Lilium davidii* var. [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2018.
- [19] 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 DD, WEI BD, *et al.* Effects of micro-environment modified atmosphere package on postharvest senescence and defense enzymes of Lanzhou lily [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(13): 317–323.
- [20] GLOWACZ M, REES D. The practicality of using ozone with fruit and vegetables [J]. *J Sci Food Agric*, 2016, 96(14): 4637–4643.
- [21] BRODOWSKA AJ, NOWAK A, SMIGIELSKI K. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2018, 58(13): 2176–2201.
- [22] SHEZI S, MAGWAZA LS, MDITSHWA A, *et al.* Changes in biochemistry of fresh produce in response to ozone postharvest treatment [J]. *Sci Hortic-Amsterdam*, 2020, 269: 109397.
- [23] TOTI M, CARBONI C, BOTONDI R. Postharvest gaseous ozone treatment enhances quality parameters and delays softening in cantaloupe melon during storage at 6°C [J]. *J Sci Food Agric*, 2018, 98(2): 487–494.
- [24] PERERA WPTD, NAVARATNE SB, WICKRAMASINGHE I. Review on effect of postharvest illumination by fluorescent and ultraviolet light waves on the quality of vegetables [J]. *J Food Process Eng*, 2022, 45(2): e13960.
- [25] SHAMA G. Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2007, 44(1): 1–8.
- [26] STEVENS C, KHAN VA, WILSON CL, *et al.* The effect of fruit orientation of postharvest commodities following low dose ultraviolet light-C treatment on host induced resistance to decay [J]. *Crop Prot*, 2005, 24(8): 756–759.
- [27] SIMPSON AMA, MITCH WA. Chlorine and ozone disinfection and disinfection byproducts in postharvest food processing facilities: A review [J]. *Crit Rev Env Sci Technol*, 2022, 52(11): 1825–1867.
- [28] SHEN CL, NORRIS P, WILLIAMS O, *et al.* Generation of chlorine by-products in simulated wash water [J]. *Food Chem*, 2016, 190: 97–102.
- [29] SUN XX, BALDWIN E, BAI JH. Applications of gaseous chlorine dioxide on postharvest handling and storage of fruits and vegetables-A review [J]. *Food Control*, 2019, 95: 18–26.
- [30] 黄兴强, 黄崇杏, 王健, 等. 二氧化氯在食品保鲜中的应用研究进展 [J]. *包装工程*, 2020, 41(9): 74–80.
- HUANG XQ, HUANG CX, WANG J, *et al.* Research progress in the application of chlorine dioxide to food preservation [J]. *Packag Eng*, 2020, 41(9): 74–80.
- [31] 巩慧玲, 王晓敏, 袁惠君, 等. ClO₂处理对兰州百合低温贮藏的防腐保鲜效果[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(11): 359–364.
- GONG HL, WANG XM, YUAN HJ, *et al.* Effects of chlorine dioxide on postharvest rots control and preservation of Lanzhou lily bulb [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2011, 27(11): 359–364.
- [32] SARKER A, GRIFT TE. Bioactive properties and potential applications of Aloe vera gel edible coating on fresh and minimally processed fruits and vegetables: A review [J]. *J Food Meas Charact*, 2021, 15(2): 2119–2134.
- [33] LIU XJ, LI XN, ZHANG RR, *et al.* A novel dual microsphere based on water-soluble thiolated chitosan/mesoporous calcium carbonate for controlled dual drug delivery [J]. *Mater Lett*, 2021, 285: 129142.
- [34] KHAN A, ALAMRY KA. Recent advances of emerging green chitosan-based biomaterials with potential biomedical applications: A review [J]. *Carbohydr Res*, 2021, 506: 108368.
- [35] TORRIJOS R, NAZARETH TM, CALPE J, *et al.* Antifungal activity of natamycin and development of an edible film based on hydroxyethylcellulose to avoid *Penicillium* spp. growth on low-moisture mozzarella cheese [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 154: 112795.
- [36] 巩慧玲, 李飞, 孙爱洁, 等. 纳他霉素壳聚糖复合涂膜对兰州百合鳞茎片的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(2): 208–212.
- GONG HL, LI F, SUN AIJ, *et al.* Effects of natamycin and chitosan coating compounds on fresh keeping of Lanzhou lily bulb during storage [J]. *Food Ferment Ind*, 2016, 42(2): 208–212.
- [37] EBRAHIMI A, KHAJAVI MZ, AHMADI S, *et al.* Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: A review [J]. *Int J Environ Sci Technol*, 2022, 19(5): 4599–4610.
- [38] WATKINS CB. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables [J]. *Biotechnol Adv*, 2006, 24(4): 389–409.
- [39] TOMALA K, GUZEK D, GŁĄBSKA D, *et al.* Maintaining the quality of ‘Red Jonaprince’ apples during storage by 1-methylcyclopropene preharvest and postharvest treatment [J]. *Agriculture*, 2022, 12(8): 1189.
- [40] 巩慧玲, 袁惠君, 冯再平, 等. 1-MCP、ClO₂对兰州百合贮藏保鲜效果的影响[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(10): 338–339.
- GONG HL, YUAN HJ, FENG ZP, *et al.* Effect of 1-MCP or chlorine dioxide on the storage and fresh-keeping of Lanzhou lily [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, 31(10): 338–339.
- [41] LARA I, BUSTAMANTE CA, VILLARREAL NM. Editorial: Fruit

- responses to biotic and abiotic stressors during postharvest [J]. *Front Plant Sci*, 2022, 13: 914841.
- [42] 张慙, 冯彦君. 果蔬生物保鲜新技术及其研究进展[J]. *食品与生物技术学报*, 2017, 36(5): 449–455.
- ZHANG M, FENG YJ. Newbio-preservation technology of fruits & vegetables and its research progress [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2017, 36(5): 449–455.
- [43] LIU Q, ZHANG R, XUE H, *et al.* Ozone controls potato dry rot development and diacetoxyscirpenol accumulation by targeting the cell membrane and affecting the growth of *Fusarium sulphureus* [J]. *Physiol Mol Plant P*, 2022, 118: 101785.
- [44] ZIV C, FALLIK E. Postharvest storage techniques and quality evaluation of fruits and vegetables for reducing food loss [J]. *Agronomy-Basel*, 2021, 11(6): 1133.
- [45] MATHABE PMK, BELAY ZA, NDLOVU T, *et al.* Progress in proteomic profiling of horticultural commodities during postharvest handling and storage: A review [J]. *Sci Hortic-Amsterdam*, 2020, 261: 108996.
- [46] BELAY ZA, CALEB OJ. Role of integrated omics in unravelling fruit stress and defence responses during postharvest: A review [J]. *Food Chem*, 2022, 5: 100118.
- [47] MU YW, FENG YQ, WEI LJ, *et al.* Combined effects of ultrasound and aqueous chlorine dioxide treatments on nitrate content during storage and postharvest storage quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.) [J]. *Food Chem*, 2020, 333(1): 127500.
- [48] ADEDEJI AA, EKRAMIRAD N, RADY A, *et al.* Non-destructive technologies for detecting insect infestation in fruits and vegetables under postharvest conditions: A critical review [J]. *Foods*, 2020, 9(7): 927.
- [49] 王萍, 王玲, 于新, 等. 菜心采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(19): 6956–6962.
- WANG P, WANG L, YU X, *et al.* Research advances in postharvest storage and preservation techniques of Chinese flowering cabbage [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(19): 6956–6962.
- [50] REBEAUD SG, CIOLI L, COTTER PY, *et al.* Cultivar, maturity at harvest and postharvest treatments influence softening of apricots [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2023, 195: 112134.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



张敏敏, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为植物天然产物开发利用研究。
E-mail: 29730484@qq.com



裴怀弟, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为作物种苗快繁与栽培技术研究。
E-mail: phdfeixiang@163.com