

# 高原夏菜贮运保鲜技术研究进展

郭树欣<sup>1,2</sup>, 梁惜雯<sup>1,2</sup>, 姜爱丽<sup>1,2\*</sup>, 熊思国<sup>1,2</sup>, 蒋旭<sup>1,2</sup>

(1. 大连民族大学生命科学院, 大连 116000; 2. 教育部生物技术与生物资源利用重点实验室, 大连 116000)

**摘要:** 高原夏菜是指生长在高海拔干冷地区的蔬菜, 主要填充南方夏季多雨导致的蔬菜市场空缺。目前高原夏菜贮运保鲜体系不完整, 标准化产业模式尚未完善, 缺乏低耗高效的贮运保鲜技术。因此, 需要细分不同种类高原夏菜的贮运保鲜环节, 总结相应的生理变化规律, 从而形成配套的贮运保鲜技术。本文综述了不同种类高原夏菜贮运保鲜技术研究进展, 探究低成本、高效的贮运保鲜技术, 分析高原夏菜贮运保鲜中存在的问题, 从物理、化学、生物保鲜技术, 以及包装、运输方式等方面综述国内外的高原夏菜贮运保鲜技术手段, 为高原夏菜不同品种蔬菜的贮运保鲜技术提供理论依据。

**关键词:** 高原夏菜; 采后生理; 贮运; 保鲜技术

## Research progress of preservation techniques for storage and transportation of plateau summer vegetables

GUO Shu-Xin<sup>1,2</sup>, LIANG Xi-Wen<sup>1,2</sup>, JIANG Ai-Li<sup>1,2\*</sup>, XIONG Si-Guo<sup>1,2</sup>, JIANG-Xu<sup>1,2</sup>

(1. College of Life Science, Dalian Minzu University, Dalian 116000, China; 2. Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization, Ministry of Education, Dalian 116000, China)

**ABSTRACT:** Plateau summer vegetables refers to vegetables grown in high-altitude dry and cold areas, mainly to fill the vegetable market vacancies caused by the rainy summer in the south. At present, the storage, transportation and preservation system of plateau summer vegetables is incomplete, the standardized industrial model has not been perfected, and there is a lack of low-consumption and high-efficiency storage, transportation and preservation technology. Therefore, it is necessary to subdivide different kinds of plateau summer vegetables storage and transportation preservation links, summarize the corresponding physiological change rules, so as to form a supporting storage and transportation preservation technology. This paper summarized the research progress of different kinds of plateau summer vegetables storage and transportation preservation, explored the low-cost and high-efficiency storage and transportation preservation technology, analyzed the plateau summer vegetables storage and transportation preservation problems, and summarized the domestic and foreign storage, transportation, and preservation technologies from the perspectives of physics, chemistry, and biology, as well as packaging and transportation methods. This provides a theoretical basis for the storage, transportation, and preservation technologies of different varieties of plateau summer vegetables.

**KEY WORDS:** plateau summer vegetables; postharvest physiological; storage and transportation; preservation techniques

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

Fund: Supported by the Major Project of Gansu Provincial Science and Technology Program (21ZD4NA016-02), and the Fundamental Research Business Funds of Central Universities

\*通信作者: 姜爱丽, 博士, 教授, 主要研究方向为采后生物学与技术。E-mail: jal@dlnu.edu.cn

\*Corresponding author: JIANG Ai-Li, Ph.D, Professor, Dalian Minzu University, No.18, Liaohe West Road, Jinzhou District, Dalian 116000, China. E-mail: jal@dlnu.edu.cn

## 0 引言

高原夏菜,是夏季生长在气候干冷地区的蔬菜,种植范围以甘肃为核心,适宜生长的温度在17~25℃,多种植在海拔1500 m以上,又被称为冷凉蔬菜<sup>[1]</sup>。以甘肃为核心的高原夏菜种植区,土壤条件优质富含丰富硒元素,光照充足且昼夜温差大,其独特的地理优势,使得产区蔬菜中的蛋白质、维生素含量高于其他产区,开发出的高原夏菜产品硒含量丰富。其次高原地区夏季气温低,干燥少雨,病虫害少,种植生产过程农药使用率低,这保证了蔬菜采摘后的口感,也为蔬菜的安全提供了保障<sup>[2]</sup>。高原夏菜种植面积广,已达到45.4万hm<sup>2</sup>,年产量也增长至1736 t(数据来源:甘肃省统计局)。种植品类多,覆盖上千品种,具有较高的知名度和影响力,其中兰州榆中大白菜、莲花白、菜花获得农业部农产品地理标志认证<sup>[3]</sup>。然而,高原夏菜大部分种类采摘后生理代谢旺盛,贮运过程中的温差变化、病虫害、机械损伤都可能提高其呼吸速率,加速蔬菜衰老或腐烂。

高原夏菜具有良好的市场口碑和广阔的供应量,但其贮运保鲜体系不完整,尚未形成标准化产业模式,缺乏低耗高效的贮运保鲜技术。同时,高原夏菜还存在着诸如冷链设备不完善、贮运保鲜方法不健全、运输过程损耗大等问题<sup>[4]</sup>。因此,需要在现有基础上,细分不同种类高原夏菜的贮运保鲜环节,总结相应的生理变化规律,从而形成配套的贮运保鲜技术。本文分析比较了高原夏菜的物理、化学和生物保鲜技术及其在贮运保鲜中存在的问题,旨在为高原夏菜产业链的完善和可持续发展提供参考。

## 1 高原夏菜贮运保鲜存在问题

高原夏菜主要填补南方夏季多雨导致的蔬菜供不应求,以甘肃为核心的高原夏菜产区是蔬菜东调、南运的重要基地,已出口马来西亚、泰国等东南亚国家,并计划在“一带一路”建设的推动下走向中东、西欧等地区,从而促进世界蔬菜贸易的发展<sup>[5]</sup>。目前部分高原夏菜产区生产水平相对落后,没有形成完整的采后供应链体系,采后贮运的过程中,缺乏科学的理论指导和标准化管理及质量保证措施,造成部分蔬菜由于贮运保鲜方式不当而腐败变质<sup>[6]</sup>。

### 1.1 预冷能力不足,冷链设备不完善

高原夏菜在夏季高温条件采收,采后保鲜措施不完善,入库前的转运物流大部分环节处于室外而非冷库中开展<sup>[7]</sup>,高温直接造成蔬菜黄化、萎蔫,不仅降低农产品的质量,还会造成极大的损耗<sup>[8]</sup>。一些叶类蔬菜由于采后不能及时预冷,导致其错过最佳保鲜时间,腐烂变质现象普遍<sup>[9]</sup>。

### 1.2 保鲜技术落后,蔬菜腐烂率高

采收后的高原夏菜主要解决南方夏季多雨导致的蔬

菜供应不足,其终端销售市场距离核心产区较远,各个环节导致的蔬菜损失达到25%~30%,这些采后保鲜技术不完善造成的损耗严重影响了蔬菜市场的供给。在贮运过程中,植物体内分泌的生长素急剧变化,促进植物衰败的相关植物激素大量上升,蔬菜的生理代谢水平提高,腐败变质也因此加速。通过采后贮藏保鲜技术,能够维持蔬菜采后品质,延长其贮藏期。

### 1.3 运输距离较长,包装问题尚未解决

包装可以保持蔬菜运输过程的新鲜品质,适宜的减震包装技术可以防止运输过程中震动、冲击导致的果蔬品质劣变,以延长高原夏菜贮藏期<sup>[10]</sup>。现有技术以控制环境中气体成分、防止水分蒸发、保持低温等手段来维持农作物的生理品质。传统的高原夏菜保鲜经过简易包装后用塑料、草席、棉被等材料作为隔温包装方式,这样的包装可以减少贮藏过程中的机械损伤。

## 2 高原夏菜保鲜技术

远距离运输对高原夏菜流通至关重要,采后保鲜技术能维持高原夏菜较好的品质。目前高原夏菜主要采取的保鲜手段有采后预冷、运输过程加冰储冷以及保温包装的复合贮运模式。该模式尚存在弊端,包括运输过程温度不可调节导致蔬菜发生冷害;保鲜环节复杂,食品安全和运输中的风险不易把控,蔬菜采后浪费率较高等问题。急需强化物流运输系统,完善采后物理、化学、生物保鲜技术,细化产业分工,延长产业链。

### 2.1 物理保鲜技术

#### 2.1.1 预冷技术

高原夏菜大多种类采收期为夏季,太阳照射蔬菜导致蔬菜表面温度急剧上升,致使水分蒸发。采摘后预冷技术可以去除果蔬表面所携带的田间热量,降低果蔬表面的温度,从而抑制采后生理生化反应和微生物生长,最大限度地减少蔬菜采后的品质损失,延长果蔬的保鲜期和货架期<sup>[11]</sup>。预冷是果蔬采后贮运的一个重要环节,是冷链流通的第一步,对整个冷链物流起着至关重要的作用<sup>[12]</sup>。

常用的预冷技术包括强制风冷、水冷、流态冰冰冷却和真空冷却,这些预冷手段从技术角度来看是不同的,但都是热量从农产品到冷却介质,从而达到预冷。蔬菜采摘后在低温的冷藏条件下,自身所释放的内源乙烯会导致蔬菜发生品质劣变,采后低温可以延缓腐败,是实际产业化保鲜应用中最常用的方法之一<sup>[13]</sup>。

空气预冷成本低廉、操作简单且几乎适用于所有农产品,但存在耗能高、效率低、预冷不均匀、易产生冷害等缺点。预冷可以延长菜心的货架期,维持其贮藏期间较好的营养品质<sup>[14]</sup>。冰水预冷通常是将果蔬直接浸泡在0℃的冰水混合物中或将其喷洒在果蔬表面,使果蔬与冰水直接

接触,利用冰水较高的传热系数达到预冷的目的<sup>[15-16]</sup>。较低的预冷温度虽然有利于果蔬采后快速降温,但需控制温度,防止果蔬发生冷害或冻害。高原夏菜部分十字花科和叶类蔬菜可以采用冰水预冷的方式来延长其货架期。流态冰又称流化微粒冰,是一种可流动的冰,一种新型的载冷和储冷介质<sup>[17]</sup>。流态冰预冷时,其冰晶迅速全方位包裹蔬菜从而达到快速均匀降温的效果,预冷速率高。同时,由于其独特的冰晶结构填充至蔬菜表面时可保护蔬菜产品免受机械损伤。利用流态冰<sup>[18]</sup>预冷西蓝花以满足其在低温条件下的运输,维持西蓝花较好的感官品质。与传统制冰技术略有差异,流态冰不是直接将水冻结成冰块,而是将无机物的水溶液冷却到一定的温度使水从溶液结晶析出,从而形成细小的球状冰晶,可以有效缓解蔬菜黄化、干枯<sup>[19]</sup>。但是流态冰预冷的方式并不适用于所有高原夏菜,适用的蔬菜需具备不易受冷害,且遇冰水混合物后能保持原有性状以及抵抗冰水中消毒试剂的能力<sup>[20]</sup>。

真空预冷的主要作用方式是通过在真空条件下降低水的沸点,使果蔬表面或内部的水分迅速蒸发,从而带走果蔬的热量,达到降温的效果<sup>[21-22]</sup>。对于常见的叶类蔬菜,利用真空预冷通常可以在 30 min 之内将蔬菜温度降到 0~2℃<sup>[23]</sup>。通过真空预冷处理菠菜<sup>[24]</sup>、青豆<sup>[25]</sup>、生菜<sup>[26]</sup>可以抑制黄化,延缓果实衰老,维持其较好的感官品质。此外,大部分高原夏菜都可以使用真空预冷技术,诸如,小白菜<sup>[27]</sup>、白菜<sup>[28]</sup>和卷心菜<sup>[29]</sup>等。真空预冷技术不仅适用于比表面积较大的叶菜类,也适用于非叶类果蔬,如胡萝卜<sup>[30]</sup>。真空预冷冷却速率高、冷却均匀、干净卫生,但是叶片类高原夏菜结构易碎,高度易腐,含水量较高<sup>[31]</sup>,所以操作过程需要格外注意预冷温度。

### 2.1.2 辐照技术

果蔬辐照保鲜技术是以辐射加工技术为基础的一种物理冷杀菌保鲜技术,它可以影响果蔬内部的生理生化变化,抑制生物酶活性,在延长其贮藏期的同时维持其原有的风味和营养成分,破坏果蔬表面微生物内部的 DNA、RNA 或蛋白质等有机大分子,使其表面的致腐微生物死亡,从而达到延长货架期的目的<sup>[32]</sup>。对鲜切西蓝花进行包装后电子辐照,发现辐照处理可以明显抑制西蓝花黄化,延长其贮藏期<sup>[33]</sup>。短波紫外线(ultraviolet-C, UV-C)作为一种可接受的非生物胁迫可以诱导植物产生防御性,改善了采后水果和蔬菜的品质<sup>[34]</sup>。光是植物细胞功能和代谢的调节因子,低水平白光二极管(light-emitting diode, LED)照射可以通过调节氨基酸代谢,延缓小白菜<sup>[35]</sup>采后衰老。辐照处理可减少果蔬在疾病、衰老、贮藏期间的冷害,保持高原夏菜的营养成分。高原夏菜包含蔬菜品种多,可以根据不同种类高原夏菜的生理特性选择合适的辐照波长和时间。

### 2.1.3 气调贮藏技术

气调贮藏是在冷藏基础上,进一步提高贮藏环境的

相对湿度,并人为改变环境中气体组分的贮藏保鲜方法。气调贮藏有自发气调(modified atmosphere storage, MA)和机械气调(controlled atmosphere storage, CA)两种,MA 也称一次气调,主要通过塑料薄膜气调包装。塑料薄膜气调是利用了薄膜的低透气性,使包装袋内维持一定浓度范围的氧气和二氧化碳浓度,达到延长蔬菜保鲜期的目的。薄膜能够限制包装中的水蒸气蒸发,保持蔬菜原有的外观品质。目前气调保鲜膜在蔬菜保鲜中应用广泛,在维持叶菜类、花菜类、根菜类和茎菜类蔬菜的生理品质上均有研究<sup>[36-38]</sup>。CA 也称连续气调,主要原理是改善气调冷库中的气体成分,限制果蔬的呼吸作用,利用机械设备来实现水果保鲜。CA 气调保鲜的基础为保鲜冷库,气调库的温度可与普通保鲜冷库相同,或稍高于普通冷库的温度,但要注意温度不能过低,以防止果蔬冷害<sup>[39]</sup>。气调贮藏能更好地保持高原夏菜贮藏过程中的硬度和口感,对品质提升具有重要意义,然而相关技术配套及管理等等是一个较为复杂的工程,对气调技术的进一步研究并将其应用于高原夏菜保鲜将具有广阔的前景。

## 2.2 化学保鲜技术

### 2.2.1 植物生长调节剂保鲜

植物生长调节剂通过化学合成与植物激素具有类似生理学特性的物质,对果蔬采后的生理生化变化具有调节作用。常用的植物生长调节剂主要有茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)、氯吡啶(forchlorfenuron, CCPU)、1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)等。MeJA 是植物天然产生的内源物质,对植物逆境的反应中起着重要的调节作用,已广泛用于果蔬保鲜,在尖椒、圆椒、菜心、西蓝花保鲜中均有应用,它可以有效保护高原夏菜采后色泽,延缓贮藏过程中感官变化的速率<sup>[40]</sup>。CCPU 是一种果实膨大剂,可以促进土豆、番茄、辣椒的后熟作用<sup>[41]</sup>。植物在衰败过程中,植物体内的生长素、细胞分裂素、赤霉素等植物生长激素水平急剧下降,促进植物衰败的脱落酸、乙烯等植物激素大量上升,导致蔬菜腐烂<sup>[42]</sup>。1-MCP 作为一种乙烯拮抗剂,广泛用于果蔬采后保鲜领域,其可通过与乙烯受体中的金属离子发生强烈结合,减缓乙烯的释放速率,从而延缓果蔬成熟衰老的进程。1-MCP 因其无毒、无残留、操作简单等优点备受人们关注<sup>[43]</sup>。使用 1-MCP 结合植酸处理菠菜,发现处理组贮藏时间明显延长,同时 1-MCP 结合植酸处理可以降低乙烯的释放量,提高了贮藏期内菠菜的品质<sup>[44]</sup>。对青椒<sup>[45]</sup>、甘蓝<sup>[46]</sup>等高原夏菜施用适宜浓度的 1-MCP 后模拟贮运过程发现 1-MCP 能够使蔬菜的贮运过程延长 2~4 d,但 1-MCP 并不适用于所有蔬菜,对非呼吸跃变型果实影响不显著,甚至会影响原有风味<sup>[47]</sup>。

### 2.2.2 化学试剂保鲜

果蔬保鲜常用化学试剂二氧化氯(ClO<sub>2</sub>)、次氯酸钠(NaClO<sub>2</sub>)、褪黑素(melatonin, MT)及苯并噻重氮[benzo-

(1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester, BTH] 等。ClO<sub>2</sub> 价格低廉、操作简单, 安全性高, 是国际上公认的理想消毒保鲜剂<sup>[48]</sup>。ClO<sub>2</sub> 的水溶物可以抑制蛋氨酸转化为乙烯的反应, 抑制乙烯合成, 降低叶类蔬菜呼吸作用, 从而延缓果蔬腐烂<sup>[49]</sup>。ClO<sub>2</sub> 可以破坏蔬菜表面微生物结构发挥保鲜作用, 用其对菠菜<sup>[50]</sup>、小白菜<sup>[51]</sup>等叶类蔬菜进行处理, 可以延缓其黄化, 维持更好的贮藏质量。NaClO<sub>2</sub> 可用于清洗生菜, 对其表面微生物具有抑制作用, 维持了较好的感官品质<sup>[52]</sup>。MT 是吡啶杂环类化合物, 作为果蔬内源性自由基清除物质, 是提高果蔬采后抗氧化能力和抗逆境胁迫能力的重要物质。菠菜采摘后经过喷施 MT 处理, 可以使其营养物质维持在较高水平, 并且延迟叶绿素降解, 保持较好的感官品质<sup>[53]</sup>。BTH 是人工合成的果蔬诱导剂, 能够诱导果实产生抗病性<sup>[54]</sup>。

高原夏菜覆盖品种多, 针对不同品种的蔬菜需要使用不同的化学保鲜剂, 与物理保鲜技术相比, 针对不同种类高原夏菜的化学保鲜剂相关研究较少, 主要以植物生长调节剂和化学试剂为主。化学保鲜剂的使用可以抑制高原夏菜生理生化反应及致病菌的活性, 调控蔬菜细胞内相关防御基因的表达, 来达到维持高原夏菜产品质量。但是上述化学保鲜剂容易引起果蔬抗药性增强, 化学物质的残留存在安全隐患问题, 可能会造成健康危害, 需要严格按照国家标准控制其使用量, 公众也对其安全性存在一定质疑, 因此迫切需要开发绿色环保的化学保鲜剂, 减缓高原夏菜采后损失, 延长其贮藏期。

## 2.3 生物保鲜技术

### 2.3.1 天然提取物保鲜

生物保鲜技术是采用动植物以及微生物的天然产物进行保鲜, 运用适当的分离技术, 科学定向地获取和浓缩醛、酮、精油等活性物质, 其机制是通过其自身的抗菌作用抑制病原体的生长, 钝化褐变相关酚酶的活力, 从而降低其生理代谢的强度, 阻止氧化反应的发生, 保持蔬菜原有的营养成分和天然特性<sup>[55]</sup>。植物源提取物菊芋, 具有抗菌活性, 可抑制番茄、辣椒的真菌性疾病<sup>[56]</sup>。大蒜提取物可以进入蔬菜细胞质, 抑制植物细胞的生理生化反应<sup>[57]</sup>。动物源提取物蜂胶提取物具有良好的抗氧化和抗真菌特性, 可用于水果和蔬菜的采后贮藏<sup>[58]</sup>。天然提取物可对多种类的高原夏菜进行保鲜, 但是部分天然物质分离纯化方法复杂, 成本较高, 需要发展低成本的新型提取技术用于蔬菜保鲜。

### 2.3.2 生物涂膜技术

生物涂膜保鲜技术是使用活性抗菌物质在果蔬表面形成一层物理屏障, 其机制是通过隔绝空气、湿气以及外界微生物, 从而减少其品质的劣变及组织的恶化, 达到延长其贮藏时间的目的。涂膜技术用于蔬菜的贮藏中, 可以减少果蔬贮藏中的质量损失, 使呼吸作用维持在较低

水平, 也可以抑制果蔬表面致腐微生物的生长, 提高果蔬的贮藏质量。其丰富的抗氧化活性物质和广谱的抑菌效果, 可以达到延缓贮藏高原夏菜衰老和维持感官及营养品质的目的。同时, 生物涂膜技术除直接作用于蔬菜, 还可与其他保鲜剂<sup>[59]</sup>、精油联合物理保鲜<sup>[60]</sup>、精油涂抹包装纸箱保鲜<sup>[61]</sup>等, 因此, 高原夏菜的涂膜技术具有很好的开发前景。

## 3 高原夏菜运输与包装技术

甘肃省近年来加强外来合作, 推动高原夏菜畅销 22 个省 60 余个大中城市的上百个批发市场, 出口东南亚十余个国家, 省会兰州已成为西北最大规模的产地型蔬菜集散中心。但是每年由于采摘、分级、包装、贮藏、运输等环节的技术因素, 使得蔬菜的平均浪费率偏高。目前有相关文献对基于运输过程中震动胁迫对果蔬品质的影响展开研究, 指出了运输蔬菜的过程中应当避免过度震动, 装筐时要确定每筐的重量, 避免蔬菜较少而导致在运输中过度震动, 造成表面机械损伤, 尽可能减少运输对蔬菜品质的影响<sup>[62]</sup>; 蔬菜运输过程需要保持环境低温、低湿、弱光, 而高原夏菜在远距离运输中存在最大问题是温度不可控、光照不可控; 采摘后对蔬菜进行包装<sup>[63]</sup>的主要功能是在贮藏、运输和配送过程中保护产品, 因此正确选择合适的包装材料可以确保高原夏菜在目的地市场销售的最终质。

综上所述, 蔬菜的贮运是一个系统性工程, 从蔬菜的包装到运输过程中的环境条件都会对蔬菜的最终质量有一定的影响。远距离的运输是影响高原夏菜品质的关键环节, 在运输过程中合理有效的包装方式可以很大程度地保持蔬菜的新鲜程度, 延长其贮藏期。

## 4 总结与展望

高原地区充足的光照、冷凉的气候以及洁净的生长环境赋予了高原夏菜极高的品质, 从品种选育到栽培种植采收, 高原夏菜产业覆盖贮藏、加工、包装、物流、销售等全产业链, 高原夏菜产区将打造万亿级市场供给全国蔬菜市场。但是蔬菜在受到采后机械伤害胁迫以及贮藏环境的变化后, 会诱导其次生代谢水平提高, 呼吸作用旺盛, 部分营养物质作为底物被消耗, 导致其感官发生变化、营养品质急剧降低, 对其商品性产生巨大影响。

高原夏菜品种繁多, 需要根据个体差异选择不同的保鲜技术, 以维持其采后较好的贮藏品质。目前, 国内外系统性针对高原夏菜保鲜技术的相关文献较少, 大部分保鲜技术主要以物理保鲜技术为主, 包括预冷技术、辐照保鲜技术等, 通过抑制呼吸强度和酶活性的变化来维持贮藏期间的感官品质; 化学保鲜剂的长期使用会导致蔬菜

抗药性增强,而且化学物质的残留不仅会给人体健康带来伤害还会给环境造成污染;生物保鲜技术安全性较高,但是保鲜成本较高,相关文献报道还较少,相关作用方式对其蔬菜内在的调控机制、调控腐败变质机制尚不明确,未来可以将多种保鲜技术综合使用,基于多组学技术,从蛋白水平和基因水平,进一步深入探究其保鲜机制,为完善高原夏菜贮运保鲜技术提供新思路。

## 参考文献

- [1] 杨静. 基于乡村振兴战略视角对兰州市高原夏菜产业的发展研究[D]. 兰州: 兰州财经大学, 2019.  
YANG J. Research on the development of plateau summer vegetables industry in Lanzhou City based on the perspective of rural revitalization strategy [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Finance and Economics, 2019.
- [2] 杜涛, 陈海生. 甘肃省高原夏菜产业高质量发展研究[J]. 农业科技管理, 2023, 42(4): 16–20.  
DU T, CHEN HS. Research on high-quality development of plateau summer vegetable industry in Gansu Province [J]. Mgt Agric Sci Technol, 2023, 42(4): 16–20.
- [3] 甘肃省统计局. 甘肃发展年鉴-2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.  
Gansu Province National Statistical Office. Gansu development yearbook-2022 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2022.
- [4] 张凯, 张玉鑫, 陈年来, 等. 甘肃省高原夏菜种植气候区划[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 179–185.  
ZHANG K, ZHANG YX, CHEN NL, *et al.* Climate division of plateau summer vegetables in Gansu Province [J]. J Northwest Agric Fore Univ (Nat Sci Ed), 2012, 40(5): 179–185.
- [5] 冯毓琴, 李翠红, 慕钰文, 等. 高原夏菜高效预冷与保鲜贮运技术简述[J]. 甘肃农业科技, 2018, (8): 84–86.  
FENG YQ, LI CH, MU YW, *et al.* A brief description of efficient pre-cooling and fresh storage technology for plateau summer vegetables [J]. Gansu Agric Sci Technol, 2018, (8): 84–86.
- [6] 于威, 郑全皓, 景彩虹, 等. 兰州市高原夏菜产业发展现状、存在问题及对策[J]. 长江蔬菜, 2022, (13): 1–4.  
YU W, ZHENG QH, JING CH, *et al.* The current situation problems and countermeasures of the development of plateau summer vegetable industry in Lanzhou [J]. Yangtze River Veget, 2022, (13): 1–4.
- [7] 马鹏. 基于物联网技术的高原夏菜溯源体系应用研究-以兰州市榆中县为例[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.  
MA P. Research on the application of plateau summer vegetables traceability system based on internet of things technology-Yuzhong County of Lanzhou City as an example [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020.
- [8] 王雅萍. 兰州新区西岔镇高原夏菜产业发展现状与对策研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.  
WANG YP. Research on the development status and countermeasures of plateau summer vegetable industry in Xicha Town, Lanzhou new district [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020.
- [9] 冯毓琴, 张永茂, 于洋. 甘肃高原夏菜产地预冷与保温物流模式分析[J]. 中国蔬菜, 2014, (12): 61–64.  
FENG YQ, ZHANG YM, YU Y. Analysis of pre-cooling and insulation logistics model of Gansu plateau summer vegetable production area [J]. Chin Veget, 2014, (12): 61–64.
- [10] 贾晓昱, 董立超, 李金金, 等. 不同运输和选果方式对蓝莓采后品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2778–2786.  
JIA XY, DONG LC, LI JJ, *et al.* Effects of different transportation and fruit selection methods on postharvest quality of *Vaccinium corymbosum* [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(9): 2778–2786.
- [11] DUAN Y, WANG GB, FAWOLE OA, *et al.* Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review [J]. Trend Food Sci Technol, 2020, 100(7): 278–291.
- [12] MI S, LI T, ZHU WX, *et al.* Cold shock precooling improves the firmness of chili pepper during postharvest storage and the molecular mechanisms related to pectin [J]. Food Chem, 2023, 419: 136052.
- [13] JUAN FM, LUCIA GF, ANALIA C, *et al.* Effects of ethylene and 1-MCP on quality maintenance of fresh cut celery [J]. Postharvest Technol, 2019, 148: 176–183.
- [14] 杨国华, 刘贵珊, 何建国, 等. 预冷后宁夏菜心贮藏期内品质分析及货架期的预测[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 263–271.  
YANG GH, LIU GS, HE JG, *et al.* Quality analysis and shelf life prediction of Ningxia cabbage during storage after precooling [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(18): 263–271.
- [15] LIANG YS, ORTHRI W, WU PS, *et al.* Influence of hydrocooling on browning and quality of litchi cultivar Feizixiao during storage [J]. Int J Refrig, 2013, 35(5): 1173–1179.
- [16] GU ST, XU DY, ZHOU FH, *et al.* Cold shock treatment maintains quality and induces relative expression of cold shock domain protein (CSDPs) in postharvest sweet cherry [J]. Sci Horticam, 2020, 262(27): 109058.
- [17] 胡亚男, 张建友, 吕飞, 等. 流态冰制取技术及其在水产品中应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 464–472.  
HU YN, ZHANG JY, LV F, *et al.* Research progress on preparation of ice slurry and its application in aquatic products [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(21): 464–472.
- [18] 董迪, 卢立新, 王清. 西兰花流态冰预冷包装纸箱性能试验[J]. 农业工程技术, 2020, 40(23): 18–20.  
DONG D, LU LX, WANG Q. Performance test of broccoli fluid ice pre-cooled packaging carton [J]. Agric Eng Technol, 2020, 40(23): 18–20.
- [19] 刘瑶, 左进华, 高丽朴, 等. 流态冰预冷处理对甜玉米贮藏品质的影响[J]. 制冷学报, 2020, 41(3): 18–20.  
LIU Y, ZUO JH, GAO LP, *et al.* Effect of fluid ice pre-cooling treatment on the storage quality of sweet corn [J]. J Refrig, 2020, 41(3): 18–20.
- [20] PRUSKY D. Reduction of the incidence of postharvest quality losses and future prospects [J]. Food Secur, 2011, 3: 463–474.
- [21] RANJBARAN M, DATTA AK. Pressure-driven infiltration of water and bacteria into plant leaves during vacuum cooling: A mechanistic model [J]. J Food Eng, 2019, 246: 209–223.
- [22] ZHU Z, WU X, GENG Y, *et al.* Effects of modified atmosphere vacuum cooling (MAVC) on the quality of three different leafy cabbages [J]. LWT Food Sci Technol, 2018, 94: 190–197.
- [23] ZHU Z, GENG Y, SUN DW, *et al.* Effects of operation processes and conditions on enhancing performances of vacuum cooling of foods: A review [J]. Trends Food Sci Technol, 2019, 85: 67–77.
- [24] 郭淑婷, 薛健翼, 李锋, 等. 真空预冷压力对菠菜采后贮藏保鲜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(5): 265–269.  
GUO ST, XUE JY, LI F, *et al.* Effects of vacuum precooling pressure on postharvest preservative quality of spinach [J]. Sci Technol Food Ind, 2021,

- 42(5): 265–269.
- [25] ZHANG XJ, YI WG, LIU GS, *et al.* Colour and chlorophyll level modelling in vacuum-precooled green beans during storage [J]. *J Food Eng*, 2021, 301: 110523.
- [26] LIU EH, HU XB, LIU SY. Theoretical simulation and experimental study on effect of vacuum pre-cooling for postharvest leaf lettuce [J]. *J Food Nutr Res*, 2014, 2(8): 443–449.
- [27] AN RH, LUO SF, ZHOU HS, *et al.* Effects of hydrogen-rich water combined with vacuum precooling on the senescence and antioxidant capacity of pakchoi (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) [J]. *Sci Horticam*, 2021, 289(17): 110469.
- [28] HE SY, LI YF. Experimental study and process parameters analysis on the vacuum cooling of iceberg lettuce [J]. *Energ Convers Manage*, 2008, 49(10): 2720–2726.
- [29] CHENG HP, HSUEH CF. Multi-stage vacuum cooling process of cabbage [J]. *J Food Eng*, 2007, 79(1): 37–46.
- [30] KUSUMANINGSIH T, MARTINI T, RINI KS, *et al.* Effect of air cooling and vacuum cooling storage on the  $\beta$ -carotene content and proximate analysis (water content, pH, total protein and content of sugar) in carrot [J]. *Iop Conf*, 2017, 4(193): 1–11.
- [31] 李彦. 果蔬压差预冷技术优化的数值分析及实验研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- LI Y. Numerical analysis and experimental study on optimization of pressure differential pre-cooling technology for fruits and vegetables [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [32] 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.
- [33] 戚文元, 王海宏, 岳玲, 等. 电子束辐照对鲜切西蓝花冷藏保鲜的影响[J]. *上海农业学报*, 2020, 36(6): 126–131.
- QI WY, WANG HH, YUE L, *et al.* Effect of electron beam irradiation on the fresh-cut broccoli cold storage and preservation [J]. *Shanghai J Agric*, 2020, 36(6): 126–131.
- [34] ZHANG WL, JIANG WB. UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2019, 92(10): 71–80.
- [35] ZHOU FH, YUE XZ, XU DY, *et al.* LED irradiation delays postharvest senescence in pakchoi by regulating amino acid metabolism [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2022, 194: 112047.
- [36] 郭慧媛, 吴广枫, 曹建康, 等. 气调贮藏对不同种类蔬菜保鲜效果的影响[J]. *农产品加工*, 2020, (23): 10–13.
- GUO HY, WU GF, CAO JK, *et al.* Effects of air-controlled storage on the freshness preservation of different kinds of vegetables [J]. *Agric Prod Proc*, 2020, (23): 10–13.
- [37] 王晓, 陈冰洁, 刘晨霞, 等. 低温结合气调保鲜水培小白菜的研究[J]. *上海农业学报*, 2023, 39(2): 95–98.
- WANG X, CHEN BJ, LIU CX, *et al.* Study of low temperature combined with modified atmosphere packaging on fresh-keeping effects of hydroponics Chinese cabbage [J]. *Shanghai J Agric*, 2023, 39(2): 95–98.
- [38] MARIA C, LUNA JA, TUDELA FA, *et al.* Modified atmosphere (MA) prevents browning of fresh-cut romaine lettuce through multi-target effects related to phenolic metabolism [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2016, 119: 84–93.
- [39] ANASTASIADI M, COLLINGS ER, TERRY LA. Investigating the role of abscisic acid and its catabolites on senescence processes in green asparagus under controlled atmosphere (CA) storage regimes [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2022, 188: 111892.
- [40] FENG L, ZHENG Y, ZHANG Y, *et al.* Methyl jasmonate reduces chilling injury and maintains postharvest quality in peaches [J]. *J Agric Chem*, 2021, 69(33): 9529–9535.
- [41] SHAN TT, ZHANG X, GUO CF, *et al.* Identity synthesis and cytotoxicity of forchlorfenuron metabolites in kiwifruit [J]. *J Int Agric*, 2003, 48(11): 1246–1252.
- [42] XIANG WJ, WANG WH, SUN DW. Phytohormones in postharvest storage of fruit and vegetables: Mechanisms and applications [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2021, 12(61): 2969–2983.
- [43] LIN Y, LIN Y, LIN H, *et al.* Effects of paper containing 1-MCP postharvest treatment on the disassembly of cell wall polysaccharides and softening in Younai plum fruit during storage [J]. *Food Chem*, 2018, 264(10): 1–8.
- [44] 张悦, 李安, 潘立刚, 等. 1-MCP 结合植酸处理对菠菜保鲜效果的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-12. [2023-08-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220613.0931.016.html>
- ZHANG Y, LI AN, PAN LG, *et al.* Effect of 1-MCP combined with phytic acid treatment on the freshness of spinach [J/OL]. *Food Sci*: 1-12. [2023-08-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220613.0931.016.html>
- [45] ZORAN SI, RADMILA T, YAACOV P, *et al.* Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest storage quality in green bell pepper fruit [J]. *Food Bioproc Technol*, 2012, 5: 2758–2767.
- [46] 李金金, 杨钧翔, 赵楠, 等. 1-MCP 结合生物保鲜剂对鲜切甘蓝保鲜效果的影响[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-14. [2023-08-25]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.TS.20221208.1542.001.html>
- LI JJ, YANG JX, ZHAO N, *et al.* Effect of 1-MCP combined with biological preservatives on the freshness of fresh-cut kale [J/OL]. *Food Ferment Ind*: 1-14. [2023-08-25]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.TS.20221208.1542.001.html>
- [47] 李长亮, 冯毓琴, 魏丽娟, 等. 1-甲基环丙烯在西兰花贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 299–304.
- LI CL, FENG YQ, WEI LJ, *et al.* Research progress on the application of 1-methylcyclopropene in the storage and preservation of broccoli [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(4): 299–304.
- [48] MALKA SK, PARK MH. Fresh produce safety and quality: Chlorine dioxide's role [J]. *Front Plant*, 2022, 12: 775629.
- [49] 徐晔, 张晓臣, 潘金梦, 等. 不同保鲜措施对韭菜贮藏效果的影响[J]. *中国果菜*, 2022, 42(6): 6–12.
- XU Y, ZHANG XC, PAN JM, *et al.* Effect of different preservation measures on the storage effect of leeks [J]. *China Fruit Veget*, 2022, 42(6): 6–12.
- [50] CMU Y, FENG Y, WEI L, *et al.* Combined effects of ultrasound and aqueous chlorine dioxide treatments on nitrate content during storage and postharvest storage quality of spinach [J]. *Food Chem*, 2020, 333(15): 127500.
- [51] 王晓, 陈冰洁, 刘晨霞, 等. ClO<sub>2</sub> 缓释熏蒸处理对小白菜保鲜效果的影响[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(6): 160–163.
- WANG X, CHEN BJ, LIU CX, *et al.* Effect of ClO<sub>2</sub> slow-release fumigation treatment on the freshness of Chinese cabbage [J]. *Jiangsu*

- Agric Sci, 2021, 49(6): 160–163.
- [52] 林永艳, 谢晶, 朱军伟, 等. 清洗方式对鲜切生菜保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 211–213.  
LIN YY, XIE J, ZHU JW, *et al.* Effects of different washing agents on the preservation of fresh-cut lettuce [J]. Food Mach, 2012, 28(1): 211–213.
- [53] WANG MY, XU J, DING ZY, *et al.* Prolong the postharvest shelf life of spinach through the antioxidative ability of melatonin [J]. Food Chem X, 2023, 19: 100769.
- [54] ANFOKA GH. Benzo-(1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester induces systemic resistance in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill CV. Vollandung) to cucumber mosaic virus [J]. Crop Prot, 2000, 19: 401–405.
- [55] MARIN A, CHAFEER M, ATARES L, *et al.* Effect of different coating-forming agents on the efficacy of the biocontrol agent *Candida sake* CPA-1 for botrytis cinerea on grapes [J]. Biol Control, 2016, 96: 108–119.
- [56] CHEN FJ, LONG XH, YU MN, *et al.* Phenolics and antifungal activities analysis in industrial crop Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves [J]. Ind Crop Prod, 2013, 47: 339–345.
- [57] 沈影州, 张瑞, 王香爱. 生姜大蒜提取物的果蔬保鲜应用[J]. 现代食品, 2021, (16): 33–36.  
SHEN YZ, ZHANG R, WANG XAI. Application of ginger-garlic extract for fruit and vegetable preservation [J]. Mod Food, 2021, (16): 33–36.
- [58] PU YJ, JIANG H, TZHANG YQ, *et al.* Advances in propolis and propolis functionalized coatings and films for fruits and vegetables preservation [J]. Food Chem, 2023, 414: 135662.
- [59] ZHAO R, GUAN WL, ZHOU XM, *et al.* The physiochemical and preservation properties of anthocyanidin/chitosan nanocomposite-based edible films containing cinnamon-perilla essential oil pickering nanoemulsions [J]. Food Sci Technol, 2022, 153: 112506.
- [60] PERUMAL AB, HUANG LX, RESHMA BN, *et al.* Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review [J]. Food Chem, 2022, 375: 131810.
- [61] ROUT S, TAMBE S, DESHMUKH RK, *et al.* Recent trends in the application of essential oils: The next generation of food preservation and food packaging [J]. Trends Food Sci Technol, 2022, 11(129): 421–439.
- [62] 张晓飞, 曲梅, 田永强, 等. 蔬菜商品苗贮藏运输技术研究进展[J]. 中国蔬菜, 2014, 1(7): 4–11.  
ZHANG XF, QU M, TIAN YQ, *et al.* Research progress on storage and transportation technology of vegetable commercial seedlings [J]. Chin Veget, 2014, 1(7): 4–11.
- [63] VANESA LG, ROSARIO V, JOSE BM, *et al.* Carbon footprint comparative analysis of cardboard and plastic containers used for the international transport of Spanish tomatoes [J]. Sustainability, 2021, 13(5): 3–28.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

## 作者简介



郭树欣, 硕士研究生, 主要研究方向为采后生物学与技术。

E-mail: 1239387668@qq.com



姜爱丽, 博士, 教授, 主要研究方向为采后生物学与技术。

E-mail: jal@dlnu.edu.cn