

# 青椒采后贮藏保鲜研究进展

张少平, 李洲, 练冬梅, 姚运法, 鞠玉栋, 赖正锋, 吴松海, 林碧珍, 洪建基\*  
(福建省农业科学院亚热带农业研究所, 福建漳州 363005)

**摘要:** 青椒营养丰富、果形和颜色多样, 除作为蔬菜食用外, 还广泛用作调料和配菜。采后青椒因呼吸作用及有害微生物侵染, 易失水萎蔫甚至腐烂变质, 合适的保鲜技术能最大限度地保存青椒营养物质、延长保鲜期。本文介绍冷藏及包装等物理保鲜, 植物、动物及微生物等提取物的生物保鲜, 钙处理及1-甲基环丙烯等化学保鲜技术在青椒贮藏中的应用, 详细分析壳聚糖及魔芋葡甘聚糖等复配涂膜对青椒的贮藏保鲜效果, 比较不同保鲜技术在青椒贮藏中的优势, 为采后青椒贮藏保鲜提供参考和指导。

**关键词:** 青椒; 采后; 贮藏; 保鲜技术; 复配涂膜

## Research Progress in Techniques for Postharvest Preservation of Green Sweet Peppers

ZHANG Shaoping, LI Zhou, LIAN Dongmei, YAO Yunfa, JU Yudong, LAI Zhengfeng, WU Songhai, LIN Bizhen, HONG Jianji\*  
(Subtropical Agriculture Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, China)

**Abstract:** Green sweet peppers are rich in nutrients and diverse in shape and color. Apart from being eaten as a vegetable, it is widely used as seasoning and side dishes. Due to respiration and infection by harmful microorganisms, postharvest green peppers are prone to water loss, wilting and even rot. Appropriate preservation technology can maximize the preservation of nutrients and extend the storage period of green peppers. This paper introduces the techniques used for postharvest preservation of green sweet peppers: physical preservation methods such as refrigeration and packaging, biological preservatives such as microbial, plant and animal extracts, and chemical preservatives such as calcium agents and 1-methylcyclopropene (1-MCP), and compares the advantages and disadvantages of these preservation techniques. It elaborates the effect of chitosan or konjac glucomannan-based composite coatings on preserving the quality of green sweet peppers. Our intention is to provide a reference and guidance for the storage and preservation of postharvest green peppers.

**Keywords:** green peppers; postharvest; storage; preservation technology; composite coatings

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220714-154

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2023)13-0328-10

引文格式:

张少平, 李洲, 练冬梅, 等. 青椒采后贮藏保鲜研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(13): 328-337. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220714-154. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Shaoping, LI Zhou, LIAN Dongmei, et al. Research progress in techniques for postharvest preservation of green sweet peppers[J]. Food Science, 2023, 44(13): 328-337. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220714-154. <http://www.spkx.net.cn>

青椒为茄科辣椒属草本植物, 又名菜椒或甜椒等, 由中南美洲热带地区的辣椒演化而来, 经过长期自然选择和人工培育, 果实体积变大、果肉变厚、

辣味减轻或消失<sup>[1]</sup>。青椒有牛角椒、羊角椒、螺丝椒、线椒、灯笼椒和柿子椒等果型, 有绿、黄、红及紫等颜色, 所以青椒不仅作为蔬菜食用, 还被广泛用作调料

收稿日期: 2022-07-14

基金项目: 福建省公益类科研院所专项(2021R1030007; 2021R1030002; 2022R1030002);

福建省农业科学院青年创新团队项目(CXTD2021006-3); 福建省农业科学院科技创新平台专项(CXPT202103);

福建省农业科学院自由探索科技创新项目(ZYTS202207)

第一作者简介: 张少平(1975—)(ORCID: 0000-0002-8737-8713), 男, 高级农艺师, 硕士, 主要从事功能植物次生代谢产物研究。E-mail: zspnc@163.com

\*通信作者简介: 洪建基(1967—)(ORCID: 0000-0002-0428-2709), 男, 研究员, 学士, 主要从事特色蔬菜研究。

E-mail: 76227508@qq.com

和配菜<sup>[2]</sup>。青椒果肉一般厚实且脆嫩,富含VC、胡萝卜素以及辣椒碱、柠檬酸、苹果酸及酒石酸等<sup>[3]</sup>,具有重要的营养、保健、美容和医学等价值<sup>[4]</sup>。青椒在我国种植范围广,山西、贵州、河北、江西、湖北、宁夏、四川、江苏及内蒙古等地为传统主产区,近年来,山东及福建等地的青椒产业也得到迅速发展。各地因气候不同导致青椒上市季节存在差异,但盛夏和寒冬季节上市青椒较少。青椒生产季节性强,上市较集中,而采后青椒仍然是生命有机体,需要进行呼吸作用,高温、冷害、病害及机械损伤等都将导致采后青椒呼吸速率激增而腐烂变质。青椒生产和市场供需矛盾较为突出:生产旺季供过于求,腐烂损失严重;生产淡季供不应求,价格居高不下<sup>[5]</sup>。因此,维持青椒在贮藏过程中的感官品质、降低腐烂率、抑制或减弱采后青椒呼吸作用以减少有机物的消耗和延缓衰老至关重要,采用适当低温冷藏结合包装技术等物理方法、合适的化学和生物保鲜剂的应用等都能够减弱采后青椒的呼吸作用从而延长青椒的保鲜期<sup>[6]</sup>,因此,本文对上述技术进行汇总与比较,以期对采后青椒贮藏保鲜提供参考和指导。

## 1 物理保鲜技术

### 1.1 预冷和低温贮藏

青椒果实含水量高、呼吸作用旺盛,高温日照环境下采后数小时内就会导致其含水量下降、萎蔫以及营养成分流失<sup>[7]</sup>。预冷可以避免采后青椒在过久的高温环境下发生的营养损耗,研究人员采用真空预冷、冰水预冷和冷库自然预冷3种方式对青椒预冷后冷藏,发现预冷后青椒贮藏过程中的感官品质明显优于对照组(未预冷,直接冷藏),3种预冷方式的整体效果依次为:冰水预冷>真空预冷>冷库自然预冷<sup>[8]</sup>;低温可延长果蔬采后贮藏时间,而青椒原产热带,对低温敏感,贮藏温度过低会导致冷害发生<sup>[9]</sup>,关于青椒低温贮藏研究报道较多<sup>[10-11]</sup>,一般认为9~12℃贮藏青椒效果最佳,低于10℃便会呈现冷害现象<sup>[12]</sup>,也有研究报道7℃是采后青椒的最佳贮藏温度<sup>[13]</sup>。不同报道结果存在差异可能与青椒品种、贮藏环境及包装材料等不同有关。

低温贮藏能降低青椒的酶活性,制约有害微生物活动、抑制呼吸和蒸腾作用,降低营养成分消耗和保持较好的外观品质<sup>[14]</sup>。因此,采后青椒及时预冷后再在适当低温下贮藏是一种行之有效的办法,也是实际产业化保鲜应用中最常用的方法之一。

### 1.2 热激和冷激处理

热激处理是指在35~55℃水或水蒸气(也包括干热空气、红外辐射和微波辐射等)条件下处理采后果蔬,杀死或抑制病原菌的活动,诱导热激蛋白产生,降低

果蔬中酶的活性,提高果蔬抗逆性,以延缓果蔬衰老和延长贮藏时间<sup>[15-16]</sup>。张会丽研究了同一热激温度热激处理不同时间、不同热激温度处理相同时间以及不同热激温度结合剪梗处理等对采后青椒的贮藏保鲜效果,发现45℃热激5min结合剪梗处理组在10℃贮藏条件下的保鲜效果最佳<sup>[17]</sup>,总之,适宜的热激环境有利于青椒的贮藏保鲜<sup>[18-19]</sup>。

冷激是指采用低温空气或冰水混合物等冷胁迫处理,诱发果蔬固有生理抗性,以达到提高果蔬自身贮藏品质<sup>[20]</sup>。合适的冷激处理能长时间保留贮藏青椒原有的感官品质、口感和营养价值。在青椒冷激处理方面,研究表明,0℃低温<sup>[21]</sup>、0℃和-12℃双低温以及-18℃低温<sup>[22]</sup>等冷激处理青椒,均有较好的保鲜效果。当然,科学的冷激处理能够延长青椒贮藏时间、有效提高其贮藏品质,但不当冷激处理可能效果不明显甚至引发青椒冷害。

### 1.3 薄膜包装

薄膜包装贮藏可以有效阻断青椒与外部气体交换,控制酶活性、调节生理代谢、抑制呼吸作用和有害菌生长,从而延长青椒贮藏时间<sup>[23]</sup>。青椒的传统聚合薄膜材料包括聚乙烯(polyethylene, PE)(包括低密度聚乙烯(high pressure-low density polyethylene, LDPE)和高密度聚乙烯(high density polyethylene, HDPE))、聚丙烯(polypropylene, PP)(包括定向拉伸聚丙烯(oriented-extension polypropylene, OPP)和双向拉伸聚丙烯(bi-oriented extension polypropylene, BOPP))、聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)、聚对苯二甲酸乙二酯(polyethylene terephthalate, PET)、聚酰胺(polyamide, PA)以及PP/PA、PET/PE、PE/PP和BOPP/PE等复合材料;可食性薄膜材料包括壳聚糖和海藻酸钠等多糖、蛋白质和脂质等;功能性可降解生物基薄膜包括聚乳酸膜、纤维素膜和微孔膜等<sup>[24]</sup>。

利用加入5%纳米抗菌母粒的PE保鲜袋包装青椒,在7℃环境下贮藏,发现其总糖、VC及叶绿素等含量损失均较小,青椒呼吸强度得到有效抑制,保鲜期可达3个月以上。该条件下贮藏90d,青椒质量损失率低于5%,好果率达到90%以上,保鲜效果明显<sup>[25]</sup>;比较5种保鲜膜常温折口包装对青椒的贮藏保鲜效果,发现0.03mm厚PVC保鲜膜包装对青椒果实能够起到较好的保鲜效果,可有效抑制青椒外观指数和叶绿素含量的下降,延缓果实的转红和质量损失率升高,维持VC和可溶性蛋白质等营养物质的含量,抑制丙二醛(malondialdehyde, MDA)积累,同时增强过氧化物酶、过氧化氢酶活性,有效抑制活性氧自由基对组织的损害,保持青椒果实的贮藏品质和商品价值<sup>[26]</sup>;利用无孔和微孔PE保鲜袋在常温下扎袋贮藏保鲜青椒,利用气味扫描仪和顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用技术分析,发现微孔袋更适合青椒贮藏后的货架包装,可以延缓其品质的下降,

达到延长货架期的效果<sup>[27]</sup>；比较PE、壳聚糖、纤维素、壳聚糖/聚乳糖双层和壳聚糖/纤维素双层等保鲜膜对青椒的贮藏保鲜效果，发现含有纳米二氧化钛抗菌剂和氧化石墨烯增强剂的壳聚糖/纤维素双层保鲜膜在光照下具有良好的杀菌和分解包装内乙烯的能力，从而可以减缓青椒中营养物质的消耗，降低质量损失，维持青椒的品质，延长青椒的货架期<sup>[28]</sup>。因此，随着塑料吹膜和加工工艺的改进，越来越多的薄膜材料被应用于青椒保鲜，这些薄膜材料或相互复合在青椒贮藏保鲜方面将发挥着重要作用。

#### 1.4 气调贮藏

气调贮藏是在冷藏的基础上，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和机械气调两种，自发气调也称一次气调，主要通过塑料薄膜气调或硅窗气调包装，利用果蔬自身的呼吸作用来改变贮藏环境中气体成分<sup>[29]</sup>；机械气调也称连续气调，指采用机械气调库严格控制贮藏环境的温度、气体成分和相对湿度等在恒定范围内的气调方法<sup>[30]</sup>。

对10℃环境下7种保鲜袋自发气调贮藏的青椒进行比较研究，发现利用0.03 mm厚PVC保鲜袋并维持袋内O<sub>2</sub>的体积分数约7%和CO<sub>2</sub>体积分数低于2%，可较好地抑制青椒果皮褪绿、减少可溶性固形物和VC的损失、降低腐烂率<sup>[31]</sup>；研究10℃环境下机械气调、减压贮藏和硅窗气调3种方式贮藏青椒，发现硅窗气调可有效抑制青椒呼吸作用，维持较高的VC、可滴定酸和可溶性固形物含量，降低MDA积累量，有利于延长青椒的保藏期，效果优于其他两种贮藏方式<sup>[32]</sup>；研究机械气调库贮存青椒的最适合环境，发现其最佳气调工艺参数为：贮藏温度(9±1)℃、相对湿度为85%~90%；气体成分贮藏前半期为6% O<sub>2</sub>+5% CO<sub>2</sub>，后半期为4% O<sub>2</sub>+2% CO<sub>2</sub>，即双变气调法<sup>[33]</sup>；此外，研究发现LDPE<sup>[34-35]</sup>及生物基薄膜<sup>[36]</sup>等对青椒气调贮藏均具有较好的保鲜效果。气调贮藏，尤其机械气调是一种较为先进的贮藏方法，该方法能更好地保持青椒的硬度和口感，对品质提升具有重要意义，然而相关技术配套及管理是一个较为复杂的工程，因此，需对该技术进行进一步研究。

#### 1.5 辐照保鲜

辐照保鲜技术主要是指利用γ射线、β射线、短波紫外线(UV-C)、电子射线或微波等对物质具有穿透性的特点，杀死果蔬中的寄生虫和微生物，提高果蔬品质和延长贮藏期<sup>[37]</sup>。

在所有辐照保鲜技术中，UV-C处理较常见<sup>[38]</sup>。研究表明，0.25 kJ/m<sup>2</sup>剂量的UV-C处理青椒保鲜效果最好，该剂量UV-C处理能有效保持青椒贮藏期间感官品质及硬度，抑制可溶性固形物、VC和可溶性蛋白质含量下降，同时能提高青椒贮藏期间冷胁迫下的抗逆性，抑制相对电导率和MDA含量上升，减轻果实冷害症状<sup>[39-40]</sup>。

#### 1.6 其他物理保鲜技术

青椒物理保鲜方法还包括冰温贮藏、间歇升温法、高压静电场贮藏及减压贮藏等。这些技术在青椒贮藏保鲜中发挥着重要的补充作用<sup>[41]</sup>。

冰温是从0℃到冰点温度(一般在-0.5~-3.5℃)之间的温度带，郭丽等研究了塑料小包装的青椒在室温、冰温以及经冰点调节剂处理后的冰温贮藏过程中青椒的生理生化变化，发现经乳糖调节剂处理的青椒贮藏效果最好，在感官上与新鲜果实无明显差别<sup>[42]</sup>；间歇升温是指将果蔬在冷藏期内多次间断性提升温度，以减轻低温胁迫导致的冷害症状，研究培养箱间歇升温对贮藏青椒的影响，发现在第6、13天和第21天分别升温处理的青椒贮藏效果最好<sup>[43]</sup>；高压静电场是指人为合成可调节并达到自然电场成百甚至上千倍的综合效应电场，研究不同电场强度对青椒的贮藏保鲜效果，发现利用60 kV/m高压静电场处理青椒果实60 min，保鲜效果明显好于其他高压静电场处理，青椒贮藏64 d，好果率高达90%以上<sup>[44]</sup>；减压贮藏是将密闭容器内部分空气抽出，使内部气压降到一定程度，从而有效降低贮藏果蔬呼吸强度、延长果蔬等农产品贮藏保鲜时间，研究发现4℃、80 kPa环境下贮藏青椒等果蔬，保鲜效果良好<sup>[45]</sup>。青椒传统的物理保鲜方法是低温结合包装袋包装，但随着气调等其他物理保鲜技术的发展，多种物理保鲜方法复合使用在青椒贮藏保鲜中逐渐发挥重要作用。

## 2 生物保鲜技术

### 2.1 植物精油

精油又称挥发油、芳香油及香精油等，是一种具挥发性的小分子质量次生代谢产物。一般借助蒸馏、压榨、浸提以及吸附等方法从含精油植物各器官中分离提取而来，主要成分为脂肪族、芳香族和萜类(单萜和倍半萜)等混合物。植物精油不仅能作为调香剂和医药保健品，而且可用于果蔬贮藏保鲜<sup>[46]</sup>。利用不同浓度山苍子精油<sup>[47]</sup>或丁香精油<sup>[48]</sup>对青椒熏蒸，再进行薄膜袋密封包装后冷藏或常温贮藏，发现适宜浓度山苍子精油和丁香精油对青椒均具有良好的保鲜效果；利用蓖麻油对青椒涂膜可有效延缓果实成熟，从而延长采后贮藏寿命<sup>[49]</sup>。

植物精油虽然普遍提取率低、获取成本较高，但其作为天然保鲜剂之一，所含丰富的活性物质使其具有广谱抗氧化和抑菌效果，从而具有延缓青椒贮藏期间衰老和维持感官和营养品质的作用。同时，植物精油除直接用于青椒保鲜外，还可与其他保鲜剂复配，或制成精油纳米乳液保鲜剂，或联合物理方法等用于青椒保鲜，因此，植物精油应用于青椒保鲜具有很好的开发前景。

## 2.2 植物浸提液

自然界中许多功能性植物具有抑菌作用，但只有部分植物能用于采后果蔬贮藏保鲜，这些植物含主要包括天然香辛料和一些中草药等。这些植物浸提液因富含酚类化合物而具有很好的保鲜效果<sup>[50]</sup>。

丁香<sup>[51]</sup>、大蒜<sup>[52]</sup>和油用牡丹皮<sup>[53]</sup>等提取液对青椒浸泡后的贮藏保鲜均具有较好效果。不同功能性植物所含活性成分不同，这些不同活性物质之间可能存在协同作用，从而增强了抑菌活性，因此，复配植物浸提液对青椒贮藏保鲜效果的相关研究更普遍。比如相同比例丁香、高良姜、五味子及乌梅4种药用植物复配<sup>[54]</sup>，相同比例丁香和大黄2种药用植物复配<sup>[55]</sup>，丁香、厚朴、苦参、紫丹参和迷迭香5种植物中的3种以相同比例复配<sup>[56]</sup>，不同比例大蒜和生姜复配<sup>[57]</sup>等对青椒贮藏保鲜效果均比较显著。天然香辛料和中草药等植物种质资源丰富、浸提液获取简便、功能成分特殊，加之不同成分复配存在的协同增效作用及拓宽抗菌谱等优势，因此相关浸提液及其复配作为生物保鲜剂对青椒的贮藏将发挥更大的作用。

## 2.3 植物生长物质类

植物生长物质是指调节植物生长和发育的微量活性物质，包括植物激素和植物生长调节剂。其中，植物激素除公认的生长素、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸、乙烯外，多胺、茉莉酸类、水杨酸 (salicylic acid, SA) 及油菜内酯等也被证明对植物生长发育具有多方面调节作用。在青椒贮藏保鲜应用中的植物生长物质包括多胺 (精胺、酰胺、腐胺、腐胺和亚精胺)、茉莉酸甲酯和水杨酸等 (表1)，这些物质大多能有效提高青椒果实耐冷性，减轻冷害的发生。

表1 植物生长物质对青椒贮藏保鲜研究实例

Table 1 Effects of plant growth substances on quality preservation of green sweet peppers

植物生长物质	具体成分	处理条件	保鲜效果	参考文献
多胺	精胺	0.5 mmol/L溶液浸泡5 min、保鲜袋打孔包装、(1±1) °C贮藏50 d	有效抑制青椒果实呼吸强度，减少果实叶绿素和VC分解及MDA的积累，延缓相对电导率上升，降低果实腐烂指数和冷害指数	[17]
	酰胺	0.4 mmol/L溶液涂抹、保鲜袋打孔包装、4 °C贮藏12 d	有效抑制青椒果实冷害指数升高，延缓相对电导率增加，抑制果实MDA积累，维持细胞膜的完整性；延缓果实叶绿素、VC和可溶性蛋白的降解，增强过氧化物酶 (peroxidase, POD)、过氧化物酶 (catalase, CAT) 和抗坏血酸过氧化物酶 (ascorbate peroxidase, APX) 活性，提高抗冷性	[58]
	腐胺+亚精胺	浓度均为0.2 mmol/L的溶液浸泡30 s、保鲜袋打孔包装、(4±1) °C贮藏40 d	有效延长青椒采后货架期，果实可滴定酸度、蛋白质、叶绿素和辣椒素含量以及POD和CAT活性降低缓慢；脯氨酸含量和1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除活性随着贮藏时间的延长而持续增加	[59]
	亚精胺	1.0 mmol/L溶液涂抹、20 °C贮藏7 d	抑制果实变红，保持果实硬度，减少电解质渗漏以及VC和叶绿素的降解，抑制MDA的积累；增强POD、CAT和APX相关基因表达和酶活性，减少机械损伤引起的果实不利生理变化	[60]
		30 μmol/L溶液浸泡10 min、保鲜袋打孔包装、4 °C、相对湿度 (relative humidity, RH) 85%~90%贮藏12 d	明显抑制青椒冷害发生，延缓VC、总酚和类黄酮等抗氧化物质含量的下降，显著提高PPO、POD、APX、CAT等抗氧化酶活力，提高青椒果实的抗氧化能力，延缓品质劣变	[61]

续表1

植物生长物质	具体成分	处理条件	保鲜效果	参考文献
茉莉酸类		5 μmol/L溶液浸泡10 min，保鲜袋打孔包装、10 °C贮藏2 d，转入4 °C冷库中贮藏33 d	有效抑制青椒冷害的发生，延缓果实叶绿素和VC含量的降低，延缓青椒MDA的积累，保持细胞完整性，提高贮藏期间青椒POD、CAT和APX活性和相关基因表达量	[62]
		1 μmol/L溶液浸泡10 min、保鲜袋包装、4 °C、RH 80%~85%贮藏25 d	青椒果实冷害指数、电解质渗漏、MDA含量、磷脂酶D活性均显著降低，VC、磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰丝氨酸维持较高水平，二半乳糖基二酰基甘油、磷脂酸、二半乳糖酰基二酰基甘油/单半乳糖甘油和磷脂酰胆碱/磷脂酰乙醇胺保持较低水平，膜脂降解延迟，脯氨酸含量增加	[63]
	茉莉酸甲酯	10 μmol/L溶液浸泡10 min、保鲜袋包装、13 °C贮藏2 d后再4 °C贮藏12 d	有效维持青椒品质，抑制冷害指数升高，延缓MDA含量增加，抑制叶绿素和VC含量下降，增强POD、CAT和APX活性和相关基因表达	[64]
		1 μmol/L溶液浸泡30 min、保鲜袋打孔包装、4 °C、RH 80%贮藏25 d	显著抑制膜透性增加，降低MDA积累量，降低脯氨酸在组织中的含量，从而减轻青椒冷害	[65]
		10 μmol/L溶液浸泡10 min、保鲜袋包装、2 °C贮藏21 d	获取较好保鲜效果的同时，从分子水平解释青椒耐冷机理有助于进一步开发对低温不敏感的青椒，并为改善采后果实品质奠定基础	[66]
	SA	SA	2.0 mmol/L溶液浸泡20 min、3 °C冷库贮藏21 d	有效抑制青椒表面水浸凹陷，延缓果实中叶绿素的降解和VC的流失，抑制细胞膜透性的增加和MDA的积累，并使抗氧化系统酶类POD、CAT、谷胱甘肽还原酶、APX活性始终维持在较高水平
		1.0 mmol/L或3.0 mmol/L溶液浸泡10 min、(10±1) °C贮藏30 d后转移至室温下模拟3 d货架期	延缓青椒果实VC含量和叶绿素含量的下降，降低果实的呼吸速率、相对电导率和MDA积累量，抑制POD活性上升，刺激CAT活性升高，降低青椒果实贮藏中的腐烂指数，延缓果实成熟衰老进程	[17]

## 2.4 动物源保鲜剂

用于果蔬保鲜的动物源保鲜剂主要包括壳聚糖、蜂胶、明胶及抗菌肽等。壳聚糖具有生物降解、杀菌、抗氧化性以及良好成膜性能等优点，可通过涂层或可食用薄膜用于果蔬采后贮藏保鲜<sup>[68]</sup>。

壳聚糖用于青椒贮藏保鲜主要是通过与其他生物保鲜剂复配涂膜<sup>[69]</sup>，而壳聚糖制备复合保鲜膜包装<sup>[70-71]</sup>或单一浸泡<sup>[72]</sup>对青椒采后贮藏保鲜应用报道较少，相关研究发现其能达到对青椒贮藏保鲜的目的，但效果不显著，实际产业化应用也不常见。

## 2.5 微生物源保鲜剂

微生物保鲜是指通过微生物菌体或菌体代谢物对致病微生物进行拮抗、竞争从而达到对采后青椒保鲜目的。其中微生物菌体主要包括酵母菌、枯草芽孢杆菌及木霉菌等；菌体代谢物包括那他霉素、乳酸链球菌素、ε-聚赖氨酸及普鲁兰多糖等<sup>[73]</sup>。

在青椒贮藏保鲜方面，有研究利用木霉菌以及木霉菌与多菌灵复配液浸泡青椒后将其装入打孔PE袋，再将其置于10 °C环境下贮藏保鲜，结果表明，拮抗菌处理可有效延缓青椒VC和叶绿素的降解，降低呼吸强度，减少MDA积累，从而降低青椒果实腐烂率，延缓果实转红指数上升，抑制青椒果实后熟进程，获得了较好的保鲜效果<sup>[17]</sup>；也有研究利用ε-聚赖氨酸、曲酸及乳酸链球菌素等复配抑菌液对青椒浸泡后装入聚乙烯保鲜袋中，于室温下贮藏保鲜，效果显著<sup>[74]</sup>。总体而言，利用微生物保鲜剂对青椒进行保鲜的研究报道较少，实际应用中也不常见。

### 3 化学保鲜技术

#### 3.1 钙处理

钙离子在植物生长发育和成熟衰老等生理方面具有重要作用。钙能够有效抑制采后果实细胞壁酶活性,延缓非水溶性果胶物质的降解,保持细胞膜结构完整,降低膜对水的渗透性,从而达到延缓果实衰老和保鲜目的<sup>[75]</sup>。

利用1% (质量分数)、2%和3%  $\text{CaCl}_2$ 溶液浸泡处理采后青椒10 min后贮藏,发现2%和3%  $\text{CaCl}_2$ 均对青椒具有很好的保鲜效果<sup>[76]</sup>;研究发现,在45 °C下,3%  $\text{CaCl}_2$ 溶液浸泡采后青椒25 min可有效降低其呼吸强度,提高叶绿素稳定性,同时延缓果实中VC降解,达到很好的贮藏保鲜效果<sup>[77]</sup>;利用6%  $\text{CaCl}_2$ 和0.1 mmol/L钙拮抗剂氯丙嗪处理青椒后于4 °C冷藏,具有很好的防冻效果<sup>[78]</sup>。钙处理可直接应用于青椒等果蔬的贮藏与保鲜,但钙处理结合其他保鲜剂复配或与其他物理方法复合使用对青椒贮藏保鲜效果更好。

#### 3.2 1-甲基环丙烯

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)为性质活泼的小环烯烃,是一种新型、高效的乙烯拮抗化合物,其因自身较高的双键张力和化合能可与乙烯受体蛋白发生不可逆结合,从而抑制乙烯生成;因此,1-MCP可有效延长各种呼吸高峰果蔬的贮藏时间和保质期<sup>[79]</sup>。

利用1-MCP熏蒸处理青椒,发现不同浓度1-MCP均可显著抑制青椒贮藏期间呼吸作用和乙烯释放,有效保持果实硬度,延迟后熟和衰老,延长贮藏期,其中剂量为1.0  $\mu\text{L/L}$ 时效果最佳<sup>[80]</sup>;比较1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP熏蒸以及55 °C热激30 s结合1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP熏蒸处理青椒,结果发现热激结合1-MCP处理的青椒在贮藏期间质量损失率和可溶性固形物含量、腐烂率、颜色和色差等方面表现均更好<sup>[31]</sup>;模拟青椒贮运条件,采用1  $\mu\text{L/L}$  1-MCP熏蒸处理青椒24 h后,再10 °C贮藏6 d,取出后盖上保温被,再在25 °C室温条件下放置24 h,重新放入10 °C冷库中贮藏28 d后,青椒果实商品率仍可达70%以上<sup>[81]</sup>;比较1-MCP处理和1-MCP结合硅窗袋气调包装处理对青椒8 °C下贮藏保鲜效果,发现1  $\mu\text{L/L}$  1-MCP处理能维持青椒果实较好的内在品质和外观品质,而1-MCP结合硅窗气调包装适合青椒1个月短时间贮藏,随着贮藏时间延长,硅窗袋包装内 $\text{CO}_2$ 过高,相对湿度较大,青椒果实腐烂现象增加<sup>[82]</sup>;1-MCP结合气调包装青椒,可减少其在10 °C贮藏条件下的水分和营养物质流失,显著延长货架期<sup>[83]</sup>。1-MCP作为传统化学保鲜剂,与其他保鲜剂复配或与其他物理方法复合在青椒等果蔬贮藏保鲜中发挥着重要作用。

#### 3.3 亚氯酸钠和二氧化氯

亚氯酸钠( $\text{NaClO}_2$ )是一种具有广泛用途的化合物,同时可作为生产二氧化氯( $\text{ClO}_2$ )的原料。 $\text{ClO}_2$ 遇水

可同时释放次氯酸分子和新生态原子氧,实现双重强氧化作用,从而快速使有害微生物体内氨基酸链断裂,破坏酶系统,进而导致微生物死亡<sup>[84]</sup>。 $\text{ClO}_2$ 使用成本低、操作简单方便、持续消毒能力强、安全性高,是非常理想的消毒剂和保鲜剂。

陈莉以剂量均为80 mg/L的 $\text{NaClO}_2$ 溶液和 $\text{ClO}_2$ 溶液分别浸泡采后青椒5 min,以清水处理为对照,发现这两种化合物对青椒均具有很好的贮藏保鲜效果<sup>[85]</sup>;比较5、10、20 mg/L和50 mg/L  $\text{ClO}_2$ 气体熏蒸青椒,通过测定贮藏期青椒呼吸强度、腐烂率、MDA和叶绿素等含量,发现50 mg/L  $\text{ClO}_2$ 处理青椒保鲜效果最佳<sup>[86]</sup>;有研究表明,30  $\mu\text{L/L}$   $\text{ClO}_2$ 可通过影响叶绿素降解和类胡萝卜素生物合成途径,从而延缓采后青椒变红<sup>[87]</sup>。 $\text{ClO}_2$ 、 $\text{CaCl}_2$ 和1-MCP均为传统化学保鲜剂,这些化学保鲜剂在青椒等果蔬保鲜相关利用及实际应用中均较常见。

### 4 复配保鲜技术

#### 4.1 壳聚糖复配涂膜

壳聚糖为天然多糖甲壳素脱除某些乙酰基后的产物。壳聚糖处理采后果蔬后,会在表面形成一层膜,该膜有利于果蔬内部形成高 $\text{CO}_2$ 和低 $\text{O}_2$ 环境的形成,从而抑制呼吸作用并提高果蔬抗病性<sup>[88]</sup>。壳聚糖阻隔性能及成膜效果好,但如果仅进行单一涂膜,则容易出现 $\text{O}_2$ 透过薄膜而 $\text{CO}_2$ 被阻隔从而导致二者比例不佳的现象,因此通过壳聚糖复配对青椒进行保鲜处理<sup>[89]</sup>。考虑到可食性膜的安全性,壳聚糖一般与生物保鲜剂复配(表2),壳聚糖添加量一般在1%~2%之间,其他复配料含量不等;一般对复配液浸泡青椒时间要求不严格,可在20 s~30 min之间;青椒的保鲜贮藏时间与不同复配液保鲜效果有关外,还与贮藏温度和是否利用保鲜袋包装有关。因此,在产业化应用方面,青椒壳聚糖复配涂膜后需要结合低温及包装等其他物理保鲜方法复合处理,这更利延长青椒的贮藏保鲜时间。

#### 4.2 KGM复配涂膜

KGM为天然高分子可溶性膳食纤维,具有很好的生物学活性和流变学性能。KGM作为可食性天然保鲜剂,不仅能有效抑制果蔬呼吸、减少营养成分消耗,同时还能抵御有害微生物入侵,减缓果蔬褐变<sup>[100]</sup>。

在3、6 g/L和9 g/L KGM中依次加入1 g/L单甘脂和1 g/L明胶制备复合涂膜,发现6 g/L KGM复合涂膜保鲜青椒效果最佳<sup>[101]</sup>;比较8.0 g/L KGM+0.35%甘油+1.0 g/L曲酸+0.2 g/L乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)+0.25 g/L抗坏血酸复配涂膜、8.0 g/L KGM+0.2%甘油+1.0 g/L曲酸+0.2 g/L EDTA和0.1 g/L抗坏血酸复配涂膜,以不涂膜处理青椒为对照,通过测定不同

表 2 壳聚糖复配涂膜对青椒贮藏保鲜作用

Table 2 Effect of chitosan-based composite coatings on quality preservation of green sweet peppers

复配成分	处理条件	保鲜效果	参考文献
1%壳聚糖+0.5%明胶	浸泡2 min、(20±1)℃、RH 60%~70%、泡沫箱贮藏12 d	延缓水分散失,保持抗坏血酸含量,抑制MDA积累,从而达到延长保鲜时间、维持果实品质的效果	[90]
2%壳聚糖+1%马铃薯淀粉	浸泡20 min, 7℃、RH 85%~90%冰箱内贮藏24 d	有效抑制青椒失水,减缓大分子物质和VC分解,具有护色作用,抑制膜脂过氧化产物MDA含量上升,减弱低温对膜系统的伤害,保持POD活性,减缓转红速率,延长保存期	[91]
1.5%壳聚糖+200 mg/kg茶多酚	浸泡20 s、保鲜袋折口包装、室温贮藏30 d	明显降低青椒在贮藏期间的呼吸强度和质量损失率,延缓果实VC和叶绿素含量的下降,抑制腐烂发生	[92]
1.5%的壳聚糖+1.5%或2%蒲公英提取物	浸泡1 min、(25±2)℃人工气候箱中贮藏21 d	显著降低青椒水分的损失,减缓叶绿素、可滴定酸和VC含量的下降,抑制青椒中POD活性下降,增强SOD活性	[93]
2%壳聚糖+0.25%肉桂精油	浸泡30 min、保鲜袋折口包装、8℃贮藏35 d	很好地保持青椒外观品质,增强果实SOD、POD及CAT等抗氧化酶活性,减少MDA的积累	[94]
1.5%壳聚糖+0.4%魔芋葡甘聚糖(konjac glucomannan, KGM)+2.0% CaCl <sub>2</sub> +1%丙三醇	室温20~25℃、RH 85%左右、贮藏20 d	质量损失率明显减少;硬度以及叶绿素、可溶性固形物含量和VC含量增加,青椒保存期得以延长	[95]
1.5%壳聚糖+4%丙二醇	浸泡30 s、保鲜袋折口包装、9℃贮藏42 d	显著降低青椒失水率和腐烂率,抑制叶绿素和VC含量的降低,延缓青椒综合品质下降,延长贮藏寿命	[96]
1.5%壳聚糖+5%木薯淀粉+1.5% CaCl <sub>2</sub>	浸泡10 min、25℃瓦楞纸箱中贮藏25 d	呼吸强度明显降低,减缓糖降解速率,较好地保存营养物质,可溶性固形物的保存效果好	[10]
0.4%壳聚糖+0.006%陈皮素+0.2%海藻酸钠	喷淋1.5 g/100 g复配液、保鲜袋包装、(9±1)℃贮藏48 d	很好地保持青椒硬度和VC含量,减少MDA的积累,维持POD活性,提高商品价值,延长货架期	[97]
1%壳聚糖+700 μg/mL月桂酰精氨酸乙酸盐+100 μg/mL尼泊金甲酯钠	浸泡10 min、保鲜袋敞口放置、25℃、RH 80%左右贮藏15 d	显著提高青椒的好果率、降低腐烂指数,减少青椒的抗坏血酸及叶绿素损失	[98]
2%壳聚糖+4%聚乙烯醇+0.45%铜纳米粒子	浸泡10 min、保鲜袋折口包装、10℃、RH 80%左右贮藏30 d	添加铜纳米粒子不仅有利于种植青椒的生长,同时能提高青椒贮藏期间果实中抗氧化剂、总酚和黄酮含量	[99]

贮藏期青椒生理生化指标的变化,发现这2种KGM复配涂膜对青椒贮藏保鲜效果好,且两者之间贮藏保鲜效果差异不大<sup>[102]</sup>。单一KGM存在成膜时间长、膜强度低、抗菌能力差和吸湿度大等缺点,因此,实际生产上KGM常与其他多糖或蛋白等进行复配涂膜制成复合膜。

### 4.3 其他复配保鲜技术

青椒复配保鲜利用主要集中在壳聚糖复配涂膜和KGM复配涂膜,此外其他化合物复配处理用于青椒贮藏保鲜也有报道。利用100 μL/L ClO<sub>2</sub>与3 μL/L 1-MCP复合熏蒸处理青椒,以100 μL/L ClO<sub>2</sub>和3 μL/L 1-MCP分别单一处理为对照,结果表明,1-MCP、ClO<sub>2</sub>及复合处理都能不同程度地延缓青椒质量损失率的上升,有效保持果实硬度和可溶性固形物、可滴定酸、VC含量,降低相关酶活性,减缓果实叶绿素降解,其中,复合熏蒸处理效果优于单一处理,对保持青椒营养价值和商品价值效果显著<sup>[103]</sup>;利用2.81% NaCl电解酸性功能水、0.3% CaCl<sub>2</sub>和0.005% SA 3种物质复配处理青椒,以2.81% NaCl电解酸性功能水为对照,结果发现复配处理能够更好地延长青椒贮藏期,延缓衰老<sup>[104]</sup>;以热激(45℃热水常压浸泡2 min)、钙处理(2.5% CaCl<sub>2</sub>溶液中浸泡20 min)以及热激结合钙处理(钙处理后再热激)3种方式对青椒进行贮藏保鲜处理,结果发现热激结合钙处理可以更好地灭活氧化酶、提高膜的钙含量,进一步维持膜稳定性,因此,在青椒整个贮藏过程中能保持较低的多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸酶活性,较高的过氧化氢酶含量,从生理特性方面有效保持青椒贮藏品质<sup>[105]</sup>。

单一保鲜剂虽然操作简单,应用成本相对较低,但保鲜效果不突出;而复配保鲜剂有协同增效及拓宽抗菌谱等效果,因此复配保鲜剂的利用还有待进一步深入,相关产业化应用也有很大的提升空间。

## 5 不同保鲜技术比较分析

青椒贮藏包括物理、化学及生物等方法,各种保鲜方法侧重点不同,但目的都是对青椒贮藏期间品质起关键作用的因素进行优化调控。由于不同保鲜方法效果存在差异,采用复合保鲜技术能最大限度地减少青椒贮藏期间不同营养物质损失,延长保鲜期<sup>[106]</sup>。

比较0.5 mL/L臭氧水、100 mL/L NaClO<sub>2</sub>、40 mL/L ClO<sub>2</sub>和50 kHz、100 W超声波4种不同清洗方式处理青椒的效果,以自来水清洗对照,将各清洗方式青椒沥干后分别装入PE保鲜膜室温贮藏,结果发现各清洗方式相比自来水处理均具有更好的保鲜效果,其中臭氧水清洗对青椒保鲜效果最佳,贮藏至10 d仍有商品和食用价值<sup>[107]</sup>;采用1.5%壳聚糖(复配1%甘油、1%硬脂酸、0.3% NaCl和2%乙酸)、1.5% CaCl<sub>2</sub>(复配1%丙三醇)和5%木薯淀粉(复配1%甘油、1%硬脂酸、1%单甘酯和0.04%抑霉唑)复配涂膜,以去离子水浸泡处理为对照,研究不同处理对青椒贮藏保鲜效果,发现涂膜能较好地保存青椒营养物质,其中壳聚糖复合涂膜相比于CaCl<sub>2</sub>和木薯淀粉等复合涂膜对青椒常温下贮藏保鲜效果更好<sup>[10]</sup>;研究不同质量浓度SA(0.2、0.5 g/L和1.0 g/L)和壳聚糖(0.5、0.1 g/L和1.5 g/L)复配浸泡涂膜和喷雾涂膜

对青椒品质影响,发现SA质量浓度相同时,0.5 g/L壳聚糖抑制青椒质量损失效果最好,其中浸涂对减慢青椒质量损失、抑制呼吸和腐烂效果更好<sup>[108]</sup>。比较复合保鲜剂浸泡(300 mg/L异抗坏血酸钠+60 mg/L曲酸+10 mg/L赤霉素和10 mg/L SA)、复合保鲜剂涂膜(1%壳聚糖+0.02%单硬脂酸甘油酯+0.4%吐温-80+0.5%异抗坏血酸钠+0.5% NaCl和0.5% EDTA-2Na)、气调包装(孔径为1 mm、孔密度为30个/60 cm<sup>2</sup>)、臭氧热钙处理(2% CaCl<sub>2</sub>+150 mg/m<sup>3</sup>臭氧、40 °C热空气处理15 min)及1% 1-MCP熏蒸处理青椒的保鲜效果,以不处理直接贮藏为对照,结果发现各处理对青椒都具有一定保鲜作用,尤以复合保鲜剂涂膜对青椒贮藏保鲜效果最佳<sup>[109]</sup>;以1-MCP、SO<sub>2</sub>、乙烯吸收剂3种保鲜剂两两组合,对青椒进行保鲜研究,结果发现1-MCP与SO<sub>2</sub>复配处理组保鲜效果最好<sup>[110]</sup>。青椒贮藏保鲜方法繁多,单一保鲜剂或保鲜方法无法达到对青椒很好的保鲜效果,而复配保鲜剂结合复合保鲜方法的利用还有待进一步提升,相关的应用也将成为青椒产业化保鲜的主流。

## 6 结 语

采后青椒由于后熟作用仍然进行着活跃的生理活动,因此会消耗自身营养成分;此外,青椒在贮藏及运输过程中还易受到采前残留有害微生物及贮藏环境中有害微生物等侵袭而加速其腐烂变质。考虑到经济成本,青椒在采后运输过程中常存在保鲜措施缺乏或仅采用低温包装等传统简易的贮藏技术的问题,导致其保质期短、货架期品质下降快;气调贮藏等一些较为先进的保鲜技术由于初期建设成本偏高以及操作相对复杂使其在生产应用上不够普及。目前虽有大量关于青椒贮藏保鲜的研究报道,但由于成本及操作可行性等问题导致其在实际生产中较少应用。

合适的保鲜技术能最大限度保存青椒贮藏期间营养物质、延长保鲜期。虽然物理、化学及生物等各种保鲜方法侧重点不同,但目的都是对青椒贮藏期间品质起关键作用的因素进行优化配置。结合近年来文献报道可知,青椒最常用保鲜技术是采用化学和生物保鲜剂处理后进行包装或涂膜,再置于低温环境贮藏的复合保鲜法,其中最常见化学和生物保鲜剂包括壳聚糖、CaCl<sub>2</sub>、茉莉酸甲酯、KGM、1-MCP等及其复配剂。随着保鲜技术的发展,生物保鲜剂由于资源丰富、来源广泛、功能成分特殊,加之不同成分复配存在的协同增效及抗菌谱宽等优势,对青椒的贮藏将发挥更大的作用;而化学保鲜剂存在试剂残留的缺点,具有安全隐患,将逐渐被取代;此外,随着转基因技术在青椒生产上的日益成熟,选育耐贮藏青椒也将是对青椒贮藏保鲜技术的有效补充。

## 参考文献:

- [1] HAREL B, VAN ESSEN R, PARMET Y, et al. Viewpoint analysis for maturity classification of sweet peppers[J]. *Sensors*, 2020, 20(13): 3783. DOI:10.3390/s20133783.
- [2] GUEVARA L, DOMÍNGUEZ-ANAYA M Á, ORTIGOSA A, et al. Identification of compounds with potential therapeutic uses from sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits and their modulation by nitric oxide (NO)[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22(9): 4476. DOI:10.3390/ijms22094476.
- [3] ÖZEN T, KOYUNCU M A, ERBAŞ D. Effect of ozone treatments on the removal of pesticide residues and postharvest quality in green pepper[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 58(6): 2186-2196. DOI:10.1007/s13197-020-04729-3.
- [4] MOHAMMAD SALAMATULLAH A, HAYAT K, MABOOD HUSAIN F, et al. Effects of different solvents extractions on total polyphenol content, HPLC analysis, antioxidant capacity, and antimicrobial properties of peppers (red, yellow, and green (*Capsicum annuum* L.))[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, 2022: 7372101. DOI:10.1155/2022/7372101.
- [5] TONG R C, WHITEHEAD C S, FAWOLE O A. Effects of conventional and bokashi hydroponics on vegetative growth, yield and quality attributes of bell peppers[J]. *Plants*, 2021, 10(7): 1281. DOI:10.3390/plants10071281.
- [6] BARBOSA C, MACHADO T B, ALVES M R, et al. Fresh-cut bell peppers in modified atmosphere packaging: improving shelf life to answer food security concerns[J]. *Molecules*, 2020, 25(10): 2323. DOI:10.3390/molecules25102323.
- [7] 张萌, 曹婷婷, 程紫薇, 等. 高湿贮藏对青椒果实冷害和抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(3): 243-250. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-20200817-221.
- [8] 张洪磊. 青椒的保鲜贮藏研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013: 10-33.
- [9] LIU L, WEI Y N, SHI F, et al. Intermittent warming improves postharvest quality of bell peppers and reduces chilling injury[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 101: 18-25. DOI:10.1016/j.postharvbio.2014.11.006.
- [10] 徐海山, 肖佳颖, 周辉, 等. 贮藏温度对湖南本地青椒采后理化品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(9): 2514-2520. DOI:10.3969/j.issn.2095-0381.2019.09.011.
- [11] WANG Q, DING T, ZUO J H, et al. Amelioration of postharvest chilling injury in sweet pepper by glycine betaine[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 112: 114-120. DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.07.008.
- [12] 胡美斯. 茉莉酸甲酯处理对冷胁迫青椒中CBF信号通路的调控[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020: 16-55. DOI:10.27327/d.cnki.Gshnu.2020.000391.
- [13] HE X, CHAVAN S G, HAMOUI Z, et al. Smart glass film reduced ascorbic acid in red and orange capsicum fruit cultivars without impacting shelf life[J]. *Plants*, 2022, 11(7): 985. DOI:10.3390/plants11070985.
- [14] POLA W, SUGAYA S, PHOTCHANACHAI S. Influence of postharvest temperatures on carotenoid biosynthesis and phytochemicals in mature green chili (*Capsicum annuum* L.))[J]. *Antioxidants*, 2020, 9(3): 203. DOI:10.3390/antiox9030203.
- [15] 王慧, 张艳梅, 王大鹏, 等. 热激处理对青椒耐冷性及抗氧化体系的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(2): 312-316.
- [16] GENG Z, HUANG X, WANG J, et al. Pulsed vacuum drying of pepper (*Capsicum annuum* L.): effect of high-humidity hot air impingement

- blanching pretreatment on drying kinetics and quality attributes[J]. Foods, 2022, 11(3): 318. DOI:10.3390/foods11030318.
- [17] 张会丽. 青椒采后生理及贮藏技术研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008: 14-32. DOI:10.7666/d.y1336389.
- [18] 邵婷婷, 张敏, 刘威, 等. 采后热水处理对青椒果实低温贮藏期间活性氧代谢及抗氧化物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(12): 133-139. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.019328.
- [19] KANTAKHOO J, IMAHORI Y. Antioxidative responses to pre-storage hot water treatment of red sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit during cold storage[J]. Foods, 2021, 10(12): 3031. DOI:10.3390/foods10123031.
- [20] WANG F, MI S, CHITRAKAR B, et al. Effect of cold shock pretreatment combined with perforation-mediated passive modified atmosphere packaging on storage quality of cucumbers[J]. Foods, 2022, 11(9): 1267. DOI:10.3390/foods11091267.
- [21] 姜云北, 陶乐仁, 梅娜. 冷激处理对青椒生理及品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(6): 27-31. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2015.06-006.
- [22] 刘璐, 陶乐仁, 周小辉. 低温和双低温处理对青椒保藏品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(5): 12-16.
- [23] GHOSH A, SAHA I, FUJITA M, et al. Photoactivated TiO<sub>2</sub> nanocomposite delays the postharvest ripening phenomenon through ethylene metabolism and related physiological changes in *Capsicum* fruit[J]. Plants, 2022, 11(4): 513. DOI:10.3390/plants11040513.
- [24] YADAV A, KUMAR N, UPADHYAY A, et al. Recent advances in novel packaging technologies for shelf-life extension of guava fruits for retaining health benefits for longer duration[J]. Plants, 2022, 11(4): 547. DOI:10.3390/plants11040547.
- [25] 余文华, 李洁芝, 陈功, 等. 果蔬纳米保鲜膜的研制及其在青椒保鲜中的应用研究[J]. 四川食品与发酵, 2008(5): 28-31. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2008.05.008.
- [26] 史君彦, 高丽朴, 左进华, 等. 不同保鲜膜包装对青椒保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2016(18): 131-135. DOI:10.11937/bfyy.201618032.
- [27] 潘冰燕, 鲁晓翔, 李江阔, 等. 不同包装对甜椒贮藏后货架期挥发性物质及理化品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 236-243. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618038.
- [28] 梁雪. 聚乳酸/TiO<sub>2</sub>/GO抗菌双层膜的制备及其对青椒的保鲜效果研究[D]. 成都: 四川农业学, 2020: 44-48. DOI:10.27345/d.cnki.gsnyu.2020.000708.
- [29] 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. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2020.12.004.
- [30] ANASTASIADI M, COLLINGS E R, TERRY L A. Investigating the role of abscisic acid and its catabolites on senescence processes in green asparagus under controlled atmosphere (CA) storage regimes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 188: 111892. DOI:10.1016/j.postharvbio.2022.111892.
- [31] 孙海燕. 1-MCP、MAP和热处理对青椒贮藏生理及品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006: 13-40.
- [32] 凡家莉, 张慙, 周海莲, 等. 番茄、青椒混储过程的硅窗气调保鲜[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(8): 873-878. DOI:10.3969/j.issn.1673-1689.2015.08.013.
- [33] 李素清, 张艳梅, 秦文. 青椒气调贮藏工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 318-322. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.01.041.
- [34] DE JESÚS ORNELAS-PAZ J, CASTAÑEDA-JIMÉNEZ A C, ESTRADA-ALVARADO M I, et al. Effect of the perforation level of recycled-LDPE bags on the modification of the atmosphere development, bioactive compounds content, and other qualities of Jalapeño peppers during storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(10): 6415-6424. DOI:10.1007/s13197-015-1749-8.
- [35] DEVGAN K, KAUR P, KUMAR N, et al. Active modified atmosphere packaging of yellow bell pepper for retention of physico-chemical quality attributes[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(2): 878-888. DOI:10.1007/s13197-018-3548-5.
- [36] CHITRAVATHI K, CHAUHAN O P, RAJU P S. Shelf life extension of green chillies (*Capsicum annuum* L.) using shellac-based surface coating in combination with modified atmosphere packaging[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(8): 3320-3328. DOI:10.1007/s13197-016-2309-6.
- [37] DARRÉ M, VICENTE A R, CISNEROS-ZEVALLOS L, et al. Postharvest ultraviolet radiation in fruit and vegetables: applications and factors modulating its efficacy on bioactive compounds and microbial growth[J]. Foods, 2022, 11(5): 653. DOI:10.3390/foods11050653.
- [38] VICENTE A R, PINEDA C, LEMOINE L, et al. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 35(1): 69-78. DOI:10.1016/j.postharvbio.2004.06.001.
- [39] 宁明岸. UV-C处理对采后青椒果实冷害的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2020: 11-23. DOI:10.27034/d.cnki.ggxixu.2020.002347.
- [40] 马丽丽, 左进华, 王清, 等. UV-C处理对青椒色泽和生理品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 281-288. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200216-165.
- [41] KONTOMINAS M G, BADEKA A V, KOSMA I S, et al. Innovative seafood preservation technologies: recent developments[J]. Animals, 2021, 11(1): 92. DOI:10.3390/ani11010092.
- [42] 郭丽, 程建军, 马莺, 等. 青椒冰温贮藏的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 323-325.
- [43] 刘玲, 魏亚南, 纪淑娟, 等. 间歇升温对低温储藏青椒果实硬度及相关指标的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(4): 195-199. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2014.04.040.
- [44] 孙贵宾, 刘铁玲, 梁鹏, 等. 高压静电场处理对青椒鲜度保持的影响[J]. 农机化研究, 2007(3): 134-135; 138.
- [45] 罗晨, 周晓东, 鞠晓晨, 等. 减压贮藏保鲜技术对果蔬保鲜效果的研究[J]. 家电科技, 2021(增刊1): 61-65. DOI:10.19784/j.cnki.issn1672-0172.2021.99.015.
- [46] 付红军. 山苍子油的提取效果及其防腐保鲜研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017: 64-76. DOI:10.7666/d.Y3269256.
- [47] 关文强. 丁香油的超临界CO<sub>2</sub>萃取及在果蔬保鲜中的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2006: 119-124. DOI:10.7666/d.y1048843.
- [48] 刘万臣. 丁香精油抗菌性、抗氧化活性及其对果蔬贮藏效果的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008: 64-61.
- [49] PANIGRAHI J, PATEL M, PATEL N, et al. Changes in antioxidant and biochemical activities in castor oil-coated *Capsicum annuum* L. during postharvest storage[J]. Biotechnology, 2018, 8(6): 280. DOI:10.1007/s13205-018-1284-1.
- [50] KISIRIKO M, ANASTASIADI M, TERRY L A, et al. Phenolics from medicinal and aromatic plants: characterisation and potential as biostimulants and bioprotectants[J]. Molecules, 2021, 26(21): 6343. DOI:10.3390/molecules26216343.
- [51] 王紫艳. 丁香提取液处理对青椒保鲜效果的影响[D]. 太原: 山西农业大学, 2016: 8-32.
- [52] 刘楠楠, 杨佳萌. 不同超声温度制备大蒜提取液对青椒保鲜效果的影响[J]. 中国调味品, 2018, 43(6): 41-44. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2018.06.009.
- [53] 赵奇, 杨玉珍, 郭运宏, 等. 油用牡丹皮提取液对青椒的保鲜效应[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 339-342. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.02.065.



- [54] 余东坡. 中草药醇提物抑菌活性筛选及其在青椒保鲜上的应用[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008: 32-35. DOI:10.7666/d.y1336311.
- [55] 柴梦颖, 焦镭. 药用植物复配液在甜椒贮藏保鲜中的防腐效果[J]. 北方园艺, 2012(7): 171-172.
- [56] 闫师杰, 梁丽雅, 郑伟. 中草药提取液贮藏青椒试验[J]. 食品科学, 2002, 33(3): 138-140.
- [57] 刘楠楠, 杨静. 大蒜、生姜不同比例复配液对青椒保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 25-29. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2018.07.005.
- [58] 史君彦, 高丽朴, 左进华, 等. 外源神经酰胺处理对青椒果实抗冷性的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(2): 164-170. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.2.025.
- [59] PATEL N, GANTAIT S, PANIGRAHI J. Extension of postharvest shelf-life in green bell pepper (*Capsicum annuum* L.) using exogenous application of polyamines (spermidine and putrescine)[J]. Food Chemistry, 2019, 275: 681-687. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.09.154.
- [60] WANG Y X, ZHOU F H, ZUO J H, et al. Pre-storage treatment of mechanically-injured green pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit with putrescine reduces adverse physiological responses[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 145: 239-246. DOI:10.1016/j.postharvbio.2018.08.002.
- [61] 付安珍, 左进华, 王清, 等. 茉莉酸甲酯处理对青圆椒采后冷害生理与营养品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(15): 213-219. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210127-302.
- [62] 刘瑶, 郑秋丽, 左进华, 等. 茉莉酸甲酯结合低温预贮对尖椒采后品质及生理特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 178-184. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181224-267.
- [63] MA M J, ZHU Z Q, CHENG S C, et al. Methyl jasmonate alleviates chilling injury by regulating membrane lipid composition in green bell pepper[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 266: 109308. DOI:10.1016/j.scienta.2020.109308.
- [64] WANG Y X, GAO L P, WANG Q, et al. Low temperature conditioning combined with methyl jasmonate can reduce chilling injury in bell pepper[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 243: 434-439. DOI:10.1016/j.scienta.2018.08.031.
- [65] 高竹. 冷藏青椒膜脂组分和磷脂酶D的变化及茉莉酸甲酯减轻冷害的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018: 35-43.
- [66] LEE J G, YI G, SEO J, et al. Jasmonic acid and ERF family genes are involved in chilling sensitivity and seed browning of pepper fruit after harvest[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 17949. DOI:10.1038/s41598-020-75055-z.
- [67] 丁天, 史君彦, 王清, 等. 水杨酸对青椒抗冷性的影响[J]. 北方园艺, 2014(9): 154-158.
- [68] STASIŃSKA-JAKUBAS M, HAWRYLAK-NOWAK B. Protective, biostimulating and eliciting effects of chitosan and its derivatives on crop plants[J]. Molecules, 2022, 27(9): 2801. DOI:10.3390/molecules27092801.
- [69] SALGADO-CRUZ M P, SALGADO-CRUZ J, GARCÍA-HERNÁNDEZ A B, et al. Chitosan as a coating for biocontrol in postharvest products: a bibliometric review[J]. Membranes, 2021, 11(6): 421. DOI:10.3390/membranes11060421.
- [70] 李雪. 壳聚糖与纳米TiO<sub>2</sub>对淀粉复合膜力学强度和阻隔性能的影响及复合膜在果蔬中的涂膜保鲜应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021: 44-46. DOI:10.27314/d.cnki.gsscu.2021.000156.
- [71] 催颖, 温晓凤, 吴燕蓉, 等. 离子体处理聚丙烯无纺布制备复合保鲜材料及其性能研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(12): 3082-3087.
- [72] 周魏, 邓双双, 李亚娜. 壳聚糖保鲜液的浸泡时间对青椒保鲜性的影响[J]. 广东化工, 2016, 43(11): 30-31. DOI:10.3969/j.issn.1007-1865.2016.11.015.
- [73] TAN C, HAN F, ZHANG S, et al. Novel bio-based materials and applications in antimicrobial food packaging: recent advances and future trends[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(18): 9663. DOI:10.3390/ijms22189663.
- [74] 毕文慧, 李丽, 姚健, 等. 复配抑菌剂对青椒细菌性软腐病防治及保鲜效果研究[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(6): 8-14.
- [75] CORMICK G, BETRAN A P, ROMERO I B, et al. Effect of calcium fortified foods on health outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. Nutrients, 2021, 13(2): 316. DOI:10.3390/nu13020316.
- [76] 徐水芳, 肖志坚, 赵威威. 钙处理对青椒采后贮藏品质的影响[J]. 包装学报, 2016, 8(4): 19-23. DOI:10.3969/j.issn.1674-7100.2016.04.004.
- [77] 庞凌云, 李瑜, 詹丽娟, 等. 钙和热处理对青椒贮藏品质的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 112-117. DOI:10.16429/j.1009-7848.2013.01.004.
- [78] 张馨媛. 钙离子对低温胁迫下青椒冷害影响的机理研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019: 23-33. DOI:10.27327/d.cnki.gshnu.2019.000921.
- [79] ZHANG J, MA Y, DONG C, et al. Meta-analysis of the effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on climacteric fruit ripening[J]. Horticulture Research, 2020, 7(1): 208. DOI:10.1038/s41438-020-00405-x.
- [80] BAKPA E P, ZHANG J, XIE J, et al. Storage stability of nutritional qualities, enzyme activities, and volatile compounds of “hangjiao No. 2” chili pepper treated with different concentrations of 1-methylcyclopropene[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 838916. DOI:10.3389/fpls.2022.838916.
- [81] 侯田莹, 王福东, 寇文丽, 等. 温度变化和1-MCP处理对青椒贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2012, 12(5): 8-13. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2012.05.002.
- [82] 魏雯雯, 冯建华, 杨相政, 等. 1-MCP和硅窗袋气调包装对青椒贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2014, 39(7): 52-55. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2014.07.011.
- [83] TAN C K, ALI Z M, ISMAIL I, et al. Effects of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on the antioxidant capacity in pepper “Kulai” during low-temperature storage[J]. Scientific World Journal, 2012, 2012: 474801. DOI:10.1100/2012/474801.
- [84] MALKA S K, PARK M H. Fresh produce safety and quality: chlorine dioxide's role[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 12: 775629. DOI:10.3389/fpls.2021.775629.
- [85] 陈莉. 稳定性亚氯酸钠溶液在食品保鲜上的应用研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2006: 40-48. DOI:10.7666/d.y960330.
- [86] 杜金华, 傅茂润, 李苗苗, 等. 二氧化氯对青椒采后生理和贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2006(6): 1215-1219. DOI:10.3321/j.issn:0578-1752.2006.06.018.
- [87] WEI F, FU M R, LI J P, et al. Chlorine dioxide delays the reddening of postharvest green peppers by affecting the chlorophyll degradation and carotenoid synthesis pathways[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 156: 110939. DOI:10.1016/j.postharvbio.2019.110939.
- [88] FELICIA W X L, ROVINA K, NUR'AQILAH M N, et al. Recent advancements of polysaccharides to enhance quality and delay ripening of fresh produce: a review[J]. Polymers, 2022, 14(7): 1341. DOI:10.3390/polym14071341.
- [89] IÑIGUEZ-MORENO M, RAGAZZO-SÁNCHEZ JA, CALDERÓN-SANTOYO M. An extensive review of natural polymers used as coatings for postharvest shelf-life extension: trends and challenges[J]. Polymers, 2021, 13(19): 3271. DOI:10.3390/polym13193271.
- [90] 许暄, 徐泽平, 马韵升, 等. 明胶与壳聚糖复配对青椒贮藏保鲜的影响[J]. 福建农业学报, 2015, 30(6): 590-593. DOI:10.19303/j.issn.1008-0384.2015.06.013.

- [91] 刘璐,陶乐仁,匡珍,等.马铃薯淀粉-壳聚糖复合保鲜膜对青椒保鲜效果研究[J].食品与发酵科技,2018,54(2):15-19.
- [92] 刘开华,邢淑婕.含茶多酚的壳聚糖涂膜对青椒的保鲜效果研究[J].中国食品添加剂,2013(2):224-228. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2013.02.029.
- [93] 张变玲,刘耀成,周琦,等.壳聚糖结合蒲公英提取物涂膜保鲜青椒研究[J].湖南工程学院学报(自然科学版),2016,26(4):60-63. DOI:10.15987/j.cnki.hgjbz.2016.04.014.
- [94] XING Yage, LI Xihong, XU Qinglian, et al. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.)[J]. Food Chemistry, 2011, 124(4): 1443-1450. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.07.105.
- [95] 彭凌,张猛,王卫东.涂膜青椒的常温保鲜效果研究[J].食品科学,2009,30(18):371-375. DOI:10.7506/spkx1002-6630-200918087.
- [96] 刘忆冬,翟金兰,杨艳彬,等.壳聚糖涂膜对贮藏青椒综合品质影响的研究[J].食品与发酵科技,2012,48(1):62-64. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2012.01.015.
- [97] 陈少华.川陈皮素的提取及其复合保鲜剂应用研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2017:32-37.
- [98] 李阳,邓伶俐,徐晓卉,等.月桂酰精氨酸乙酯盐酸盐复配保鲜剂对青椒保鲜效果的影响[J].食品科学,2020,41(11):201-206. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190617-178.
- [99] PINEDO-GUERRERO Z H, HERNÁNDEZ-FUENTES A D, ORTEGA-ORTIZ H, et al. Cu nanoparticles in hydrogels of chitosan-PVA affects the characteristics of post-harvest and bioactive compounds of jalapeño pepper[J]. Molecules, 2017, 22(6): 926. DOI:10.3390/molecules22060926.
- [100] ZHAO Y, LI B, LI C, et al. Comprehensive review of polysaccharide-based materials in edible packaging: a sustainable approach[J]. Food, 2021, 10(8): 1845. DOI:10.3390/foods10081845.
- [101] 戴文婧,尹明安,沈建鹏,等.魔芋葡甘聚糖涂膜对牛角椒保鲜效果的影响[J].食品科学,2013,34(20):329-333. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201320068.
- [102] 张艳梅,王慧,秦文.正交试验优化魔芋葡甘聚糖复合膜配方及其对青椒的保鲜作用[J].食品科学,2012,33(12):313-317. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201212065.
- [103] 张晓敏,李具鹏,傅茂润,等.1-MCP结合二氧化氯处理对青椒货架期品质的影响[J].食品工业科技,2018,39(13):275-280. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.13.050.
- [104] 张誉丹.酸性功能水复配保鲜剂处理对青椒保鲜效果的研究[D].太原:山西农业大学,2017:22-34.
- [105] 肖佳颖.贮藏温度和处理方式对青椒采后理化品质的影响[D].长沙:湖南农业大学,2019:24-41.
- [106] DE REZENDE L P, BARBOSA J, TEIXEIRA P. Analysis of alternative shelf life-extending protocols and their effect on the preservation of seafood products[J]. Foods, 2022, 11(8): 1100. DOI:10.3390/foods11081100.
- [107] 李丽,辛明,李昌宝,等.不同清洗方式对青椒保鲜效果的影响[J].食品工业,2019,40(6):13-16.
- [108] 梅娜,陶乐仁.复合保鲜剂及其涂膜方式对青椒贮藏效果的影响[J].食品与发酵科技,2016,52(4):41-44;8. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2016.04-009.
- [109] 丁捷.几种蔬菜的保鲜方法和介电型品质无损检测数学模型的研究[D].成都:四川农业大学,2011:27-30.
- [110] 冯春婷,陶永清,董成虎,等.不同复合保鲜剂处理对青椒采后贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(19):95-99. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2019.19.017.