

## 蔬菜贮藏保鲜技术研究进展

张鹏<sup>1,2</sup>, 郝聪聪<sup>3</sup>, 薛友林<sup>3</sup>, 贾晓昱<sup>1,2</sup>, 李江阔<sup>1,2</sup>

(1.天津市农业科学院 农产品保鲜与加工技术研究所, 天津 300384; 2.国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津) a.农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室 b.天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 3.辽宁大学 轻型产业学院, 沈阳 110036)

**摘要:** 目的 综述国内外蔬菜保鲜技术的应用与研究进展, 为后续研究提供理论基础。方法 阐述蔬菜采后的生理变化及影响蔬菜贮藏品质的主要因素, 通过物理、化学、生物等方面综述国内外的蔬菜保鲜技术。结果 选择适宜的保鲜技术应用于各类蔬菜, 可以在一定程度上延长蔬菜的贮藏期, 有助于我国农产品经济的发展。结论 单一保鲜技术的应用对于延长蔬菜贮藏期的效果有限, 保鲜技术的综合应用才是今后蔬菜研究的发展方向。

**关键词:** 蔬菜; 贮藏; 影响因素; 保鲜技术; 研究进展

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)05-0111-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.05.015

## Research Progress of Vegetable Storage and Preservation Technology

ZHANG Peng<sup>1,2</sup>, HAO Cong-cong<sup>3</sup>, XUE You-lin<sup>3</sup>, JIA Xiao-yu<sup>1,2</sup>, LI Jiang-kuo<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China; 2. a. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, b. Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China; 3. College of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036, China)

**ABSTRACT:** The work aims to review the application and research progress of vegetable preservation technologies in China and abroad, so as to provide a theoretical basis for subsequent research. The physiological changes of vegetables after harvesting and the main factors affecting the storage quality of vegetables were described, and the vegetable preservation technologies in China and abroad were reviewed through physical, chemical and biological aspects. The suitable preservation technologies selected for various vegetables could extend the storage period of vegetables to a certain extent and contribute to the development of Chinese agricultural product economy. The application of a single preservation technology has limited effect on extending the storage period of vegetables, and the integrated application of preservation technologies is the development direction of future vegetable research.

**KEY WORDS:** vegetables; storage; affecting factors; preservation technology; research progress

收稿日期: 2022-05-18

基金项目: 甘肃省科技计划重大项目(21ZD4NA016); 天津市科技计划(21ZYCGSN00300); 贵州省科技计划(黔科中引地[2022]4050)

作者简介: 张鹏(1981—), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为果蔬贮运保鲜与无损检测。

通信作者: 李江阔(1974—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品安全与果蔬贮运保鲜新技术。

蔬菜作为人类日常饮食必不可少的食物,其主要成分为水分,还含有少量的蛋白质、糖类、纤维素等。蔬菜的种类繁多,按照其可食用部位可分为叶菜类、花菜类、果菜类、根菜类、茎菜类和食用菌类等,不同种类蔬菜的营养成分不同。在我国,由于许多蔬菜采后未进行保鲜处理,导致蔬菜腐烂耗损严重,因此深入研究蔬菜保鲜技术对推动农业发展有着重要意义。文中主要介绍了国内外保鲜技术在蔬菜贮藏中的应用,并对蔬菜保鲜领域的研究进展提出了展望。

## 1 蔬菜采后的生理变化

### 1.1 呼吸作用增强

在采收后,蔬菜的呼吸作用代替光合作用,为机体提供主要能量。植物在氧气充足的条件下会进行有氧呼吸,通过呼吸作用将碳水化合物、脂肪等底物分解为 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 及能量。植物在缺少氧气的条件下会进行无氧呼吸,可将部分有机物分解为乳酸、乙醇及少量能量<sup>[1]</sup>。

### 1.2 机械损伤诱导乙烯产生

蔬菜在加工过程中会受到机械损伤,导致乙烯产生速率加快、降解酶活性增加。乙烯作为植物生长的调节剂,是调节叶菜成熟和衰老最重要的植物激素。目前,经研究已发现机械损伤、果实成熟和衰老等生理过程都能诱导乙烯的生物合成<sup>[2]</sup>,乙烯对蔬菜的成熟代谢有着很大的影响,一定浓度的乙烯可以加强呼吸作用,促进叶绿素、淀粉等物质的水解<sup>[3-4]</sup>。由此可见,通过人工方法抑制乙烯的产生或促进乙烯的分解,可有效调节果蔬的成熟进程,影响其贮藏期。

### 1.3 活性氧代谢

植物器官在衰老或遭受逆境时,往往会发生膜脂过氧化作用,从而产生丙二醛。丙二醛的积累会影响细胞膜的通透性,进而影响机体的生理生化反应,加速植物的衰老和腐败。

### 1.4 色泽变化

蔬菜中包括很多色素,如叶绿素、类胡萝卜素、花青素等。这些色素的稳定性较差,在贮藏期间,在一定条件下会出现褪色现象。尤其是叶绿素含量高的蔬菜,在高温、氧气充足的条件下,叶绿素极易分解。

## 2 影响蔬菜采后品质的因素

### 2.1 内在成分因素

蔬菜的耐贮藏性会根据蔬菜的组织结构和新陈代谢方式的不同而不同,主要是因各类蔬菜的化学成分组成、含量及采后的变化各不相同。

### 2.1.1 水分

水分在蔬菜的结构组成中占据主体,在新陈代谢中扮演着极为重要的作用。蔬菜中的水分与其风味口感有着极为密切的联系,如含水量高的蔬菜吃起来口感较脆嫩。同时,蔬菜中的水分会引起微生物的增殖,进而引发蔬菜的腐烂。

### 2.1.2 碳水化合物

糖分作为呼吸基质,可维持蔬菜新陈代谢的能量,糖分消耗慢则说明贮藏条件适宜。纤维素主要存在于蔬菜组织的细胞壁内,随着贮藏时间的延长,蔬菜组织会老化,品质会下降,因此这些碳水化合物含量可作为判断贮藏效果的指标。

## 2.2 外在环境条件

### 2.2.1 温度

温度对蔬菜的保鲜效果有着重要的影响。低温可通过降低蔬菜各种生理反应的速度,降低其呼吸作用和酶活性,进而延缓蔬菜的腐败进程。每类蔬菜都有其最适宜的贮藏温度,即贮藏适温。在贮藏适温环境下,蔬菜的呼吸作用和代谢会受到一定抑制,进而延长蔬菜的贮藏期。当温度超过贮藏适温时,蔬菜的代谢和呼吸作用会变强,进而导致水分迅速蒸发,加速蔬菜的腐烂。低于贮藏适温则会引起冷害,出现无法成熟等现象,因此在贮藏过程中对温度的把控是保证蔬菜贮藏品质的重要环节。

### 2.2.2 湿度

湿度也是影响蔬菜贮藏的重要因素之一,采后会给蔬菜带来一些不良影响,如发生失水萎蔫,严重时导致蔬菜腐烂。在贮存时,一定要将蔬菜置于适当的湿度环境中,以降低热蒸腾作用,使蔬菜保持较高的新鲜度。不同蔬菜对湿度的需求不同,比如黄瓜和芹菜的需求较高,而番茄、茄子、大豆等作物需要的空气相对湿度较低<sup>[5]</sup>。将空气的相对湿度控制在一个稳定范围内,相对湿度过高会引起病菌的传播,从而影响蔬菜的保鲜效果。

### 2.2.3 蔬菜所处环境的气体成分

采后蔬菜仍处于活的生命体状态,其呼吸作用为新陈代谢提供主要能量。经研究表明,贮藏环境中气体的成分对蔬菜的呼吸、成长和衰老有着重要的影响。在低浓度的 $\text{O}_2$ 和一定浓度的 $\text{CO}_2$ 的气体环境下适宜贮藏蔬菜。当蔬菜处于乙烯环境中,叶绿素减少,组织会变软,风味增强。

### 2.2.4 化学制剂

研究表明,化学制剂对蔬菜的贮藏品质有一定的影响。这类化学制剂主要有1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)和 $\epsilon$ -聚赖氨酸( $\epsilon$ -polylysine,  $\epsilon$ -PL)。1-MCP通过与金属离子结合,

进而降低乙烯与受体的结合概率,在一定程度上可以保持蔬菜的营养价值和风味。 $\epsilon$ -聚赖氨酸可通过静电吸附作用于细胞膜,改变细胞膜的通透性,抑制细胞的新陈代谢,减少营养物质的损耗,进而延长蔬菜的贮藏期。

### 3 国内外蔬菜保鲜技术现状

#### 3.1 物理保鲜技术

##### 3.1.1 低温保鲜技术

低温保鲜技术主要指将蔬菜置于0~10℃的低温环境中,从而抑制微生物的生长增殖,提高呼吸所需酶的活力,进而降低呼吸损耗,延缓蔬菜的衰老和枯萎进程。杜磊<sup>[6]</sup>以叶菜为例,利用低温保鲜技术将几种叶菜置于0℃环境下,实验结果表明,使用低温保鲜技术能够较好地保留叶菜的感官质地和营养物质,从而延长蔬菜的贮藏期。张哲等<sup>[7]</sup>将质量损失率、Vc含量和叶绿素含量等的变化作为主要衡量指标,对不同温度下贮存的娃娃菜、尖椒和金针菇的质量变化情况进行了对比,在0℃环境下贮存,蔬菜的营养物质损耗较少,能够延长蔬菜的贮藏期。

##### 3.1.2 冰温保鲜技术

冰温指从0℃至结冰温度范围的气温区间。当蔬菜的贮存温度处于冰温时,蔬菜自身的新陈代谢会减弱,损耗的能量也相应减少,进而达到延长蔬菜保鲜期的目的。冰温保鲜技术起源于1970年的日本,此后该技术在部分发达国家也得到了广泛应用<sup>[8]</sup>。目前,我国的冰温冷藏技术已从技术引进发展到推广应用阶段<sup>[9]</sup>。林本芳等<sup>[10]</sup>对西兰花进行了冰温贮藏,实验表明,冰温贮藏对抑制西兰花中TSS含量、Vc含量的降低都具有明显的效果,能明显抑制乙烯的产生,从而延长西兰花的贮藏期。

##### 3.1.3 热处理技术

热处理是蔬菜采后处理的方法之一,通过高温能够有效抑制微生物的生长繁殖及相关酶活性,进而延长蔬菜的贮藏期<sup>[11]</sup>。此技术具有安全、无毒等功效,且在包装后,O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的含量较低<sup>[12]</sup>。梁振华等<sup>[13]</sup>以甘薯为例,对甘薯采用50℃热空气热处理10min,结果表明,热处理后甘薯的贮藏期比未处理甘薯的贮藏期长。王斌等<sup>[14]</sup>以鲜切芋头为例,对鲜切芋头进行了不同程度的热处理,结果表明,不同程度的热处理均能减少鲜切芋头营养物质的流失,延长其贮藏期。其中,以60℃热处理的保鲜效果最好。

##### 3.1.4 辐射贮藏保鲜技术

辐射处理利用电离辐射射线对蔬菜进行处理,抑制蔬菜的新陈代谢和呼吸作用,达到减少微生物和虫害的目的,进而延长蔬菜的贮藏期<sup>[15]</sup>。斯琴雅图等<sup>[16]</sup>

用一定剂量的电子束对滑菇进行了辐照处理,结果表明,电子束辐射处理对滑菇的色泽和形态均有显著的维持作用,可以延长滑菇的贮藏期。

##### 3.1.5 气调贮藏技术

气调贮藏技术通过人为控制贮藏环境中气体的比例,进而抑制呼吸作用,延缓代谢,达到延长蔬菜贮藏期的目的。气调贮藏在以低温条件为基础的前提下,再对贮藏环境中的气体比例进行调控,因此该技术具有冷藏和气调双重功能<sup>[17]</sup>,是贮藏保鲜行业的一个重大突破。气调贮藏技术主要分为主动气调保鲜和被动气调保鲜<sup>[18]</sup>。

###### 3.1.5.1 主动气调保鲜

主动气调保鲜(CA)指人为控制气调冷库中的气体。主动气调贮藏起源并发展于西方国家,我国对主动气调保鲜技术的研究起步相对较晚<sup>[19]</sup>。张乙博等<sup>[20]</sup>以菠菜为例,研究了不同气体比例条件,结果表明,因菠菜的呼吸作用较强,在高浓度O<sub>2</sub>和低浓度CO<sub>2</sub>的气体环境中保鲜效果更好。郑权等<sup>[21]</sup>以蕨菜为例,将未经预处理的蕨菜作为对照组,采用不同比例的二氧化碳和氧气环境进行实验。结果表明,一定气体比例的气调环境延缓了蕨菜品质的下降。其中,采用CO<sub>2</sub>(体积分数为6%)+O<sub>2</sub>(体积分数为10%)的气体比例,其保鲜效果更明显。

###### 3.1.5.2 被动气调保鲜

被动气调保鲜(MA)指蔬菜通过呼吸代谢降低密闭环境中O<sub>2</sub>的含量,增加CO<sub>2</sub>的含量<sup>[22]</sup>,进而延长蔬菜的贮藏期<sup>[23]</sup>。被动气调保鲜使用的薄膜主要分为复合膜、新型保鲜膜和常规保鲜膜。根据材质,将常规保鲜膜分为PE保鲜膜、PVC保鲜膜、PP保鲜膜、硅橡胶膜等。PE作为目前应用广泛的保鲜膜材质,其质量相对安全<sup>[24]</sup>。连珊珊等<sup>[25]</sup>以磨盘柿为例,采用不同厚度的PE保鲜膜对磨盘柿进行包装,以不做包装处理为空白对照,结果表明,包装后磨盘柿的保鲜效果明显提高。PVC保鲜膜有着更好的透明性和黏性,其多种功能特性均优于PE膜。当蔬菜对CO<sub>2</sub>敏感时,可选用PVC保鲜膜<sup>[26]</sup>。PP保鲜膜具有价格低、表面强度良好等优点,且加工容易,因此PP保鲜膜的应用较广泛<sup>[27]</sup>。PP保鲜膜主要应用于鲜切菜的保鲜<sup>[28]</sup>。硅橡胶膜是一种高透气性薄膜,其强度较差。李铁华等<sup>[29]</sup>分别采用硅窗气调包装和普通气调包装对茶树菇进行了处理,结果表明,使用硅窗气调包装更好地维持了茶树菇的外观质地,减缓了其营养物质的损耗,延长了茶树菇的贮藏期。新型保鲜膜主要包括微孔薄膜和高透气比保鲜膜。微孔薄膜主要通过薄膜上开设微孔,在一定条件下改变气体透过率,从而达到保鲜蔬菜的目的。吴姗姗等<sup>[30]</sup>采用微孔保鲜膜和PE保鲜膜分别对黄瓜进行了包装处理,研究2种包装方法保鲜效果的差异,结果表明,微孔保鲜膜对黄瓜的保鲜效果更佳。高透气比的保鲜膜有着较高

的  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  渗透系数比。史君彦等<sup>[31]</sup>采用  $\text{CO}_2$  高渗透保鲜膜和 PVC 保鲜膜分别对长茄进行包装, 研究 2 种保鲜方法保鲜效果的差异, 结果表明, 2 种方法均能延长蔬菜的贮藏期, 但  $\text{CO}_2$  高渗透保鲜膜的保鲜效果更好。复合膜的保鲜效果好, 且可降解。随着现代技术的发展, 复合膜的应用也越来越广泛。Wang 等<sup>[32]</sup>制备了 PLA/PBAT 复合膜, 并对马铃薯进行包装, 结果表明, 应用 PLA/PBAT 复合膜能够有效延长马铃薯的贮藏期。由于采用塑料薄膜袋进行气调保鲜, 会形成厌氧条件<sup>[33]</sup>, 因此对  $\text{CO}_2$  较敏感的蔬菜容易腐烂, 且薄膜材料后续处理不当会引起环境污染等问题。

## 3.2 化学保鲜技术

### 3.2.1 1-MCP 处理

1-MCP 是一种新型乙烯拮抗剂, 无毒无异味, 在常温下以气体状态存在。1-MCP 通过与金属离子结合, 进而降低乙烯与受体的结合概率, 在一定程度上可以减缓蔬菜成熟衰老相关生理反应的进程<sup>[34]</sup>。

#### 3.2.1.1 1-MCP 单独处理效应

1-MCP 处理可以有效抑制蔬菜中乙烯与相关受体的结合, 进而引发一系列生理反应, 加快蔬菜组织细胞的衰亡, 因此采用 1-MCP 处理蔬菜表现出理想的保鲜效果。郭峰等<sup>[35]</sup>采用 1-MCP 对红椒进行了处理, 结果表明, 适当浓度的 1-MCP 处理可较好地保持红椒的质构性能, 较好地维持红椒的外观质地。史君彦等<sup>[36]</sup>在低温条件下对油菜进行了 1-MCP 处理, 结果表明, 经过 1-MCP 处理后的油菜具有良好的外观质地, 延缓了营养物质含量的下降, 延长了蔬菜的贮藏期。陈皖豫<sup>[37]</sup>对娃娃菜进行 1-MCP 处理, 研究了 1-MCP 对娃娃菜保鲜效果的影响, 结果表明, 1-MCP 处理技术可以保持娃娃菜贮藏期间的外观质地, 达到良好的保鲜效果。

#### 3.2.1.2 1-MCP 与其他方法联用效应

由于 1-MCP 单独处理的效果有限, 国内外研究人员尝试将 1-MCP 处理与其他处理手段相结合, 探究联合处理对蔬菜保鲜的效果。首先, 1-MCP 处理技术可与巴西棕榈蜡、对羟基苯甲酸酯类及其钠盐等化学试剂联合使用, 以提升保鲜效果。例如, Min 等<sup>[38]</sup>将水杨酸甲酯与 1-MCP 相结合, 对番茄进行了处理。结果表明, 水杨酸甲酯联合 1-MCP 处理比单独采用水杨酸甲酯处理更有效地抑制了微生物的生长繁殖, 延长了果实的贮藏期。Lee 等<sup>[39]</sup>同时应用甲酸乙酯和 1-MCP 来抑制甜柿叶螨, 结果表明, 采用 1-MCP 辅助甲酸乙酯熏蒸处理可以延长果实的贮藏期, 维持果实的外观质地。杨国辉等<sup>[40]</sup>采用聚赖氨酸联合 1-MCP 处理草菇, 并以 1-MCP 单独处理为对照组。实验结果表明, 聚赖氨酸联合 1-MCP 处理比 1-MCP 单独处理更有效地抑制了微生物的生长, 延缓了营养物质含量的下降, 保鲜效果更好。

物理手段主要有调节温度、湿度、压力和气体成分, 进而延长蔬菜的贮藏期。这些物理方法与 1-MCP 相结合, 可以辅助 1-MCP 杀死微生物, 提高相关酶活性, 改善蔬菜的口感和外观质地, 从而实现良好的保鲜功效。以气调贮藏与 1-MCP 结合为例, 梁晶晶等<sup>[41]</sup>采用 1-MCP 结合薄膜包装技术对青菜进行包装处理, 结果表明, 气调包装技术结合 1-MCP 处理青菜后的保鲜效果比单独采用气调包装技术或单独采用 1-MCP 处理的保鲜效果更好。林旭东等<sup>[42]</sup>采用盒式气调包装技术结合 1-MCP 技术对番茄进行了处理, 结果表明, 1-MCP 处理结合气调贮藏保鲜技术更有效地维持了番茄果实的外观质地, 延长了贮藏期。魏雯雯等<sup>[43]</sup>采用 1-MCP 处理结合硅窗袋气调包装技术对青椒进行了处理, 结果表明, 采用 1-MCP 处理结合硅窗袋气调技术可以有效维持青椒果实的叶绿素含量、Vc 含量, 延长青椒的贮藏期。在温度的协同作用下, 王通等<sup>[44]</sup>采用 1-MCP 处理结合低温贮藏技术对黄花菜进行处理, 以单独采用 1-MCP 处理为对照组。结果表明, 1-MCP 结合低温贮藏技术的保鲜效果强于对照组。弓德强等<sup>[45]</sup>以樱桃番茄为例, 在低温条件下对其进行 1-MCP 处理。结果表明, 1-MCP 处理结合低温相较于单独 1-MCP 处理, 更为有效地抑制了番茄的呼吸代谢, 进而延长了番茄的贮藏期。

1-MCP 处理技术已经广泛应用于蔬菜的贮藏保鲜上, 但是该技术也有一定的局限性, 需要控制 1-MCP 处理的浓度和时间, 因此如何有效地将 1-MCP 应用于蔬菜市场仍需不断探索<sup>[46]</sup>。

### 3.2.2 赤霉素处理

赤霉素是一种可以影响植物生长发育的植物激素。刘云芬等<sup>[47]</sup>采用赤霉素对鲜切莴苣进行了处理, 结果表明, 采用适宜浓度赤霉素能有效地延长鲜切莴苣的贮藏期。Lers 等<sup>[48]</sup>以欧芹为例, 对其进行赤霉毒处理, 结果表明, 赤霉素可以影响蛋白质的合成及相关酶活性, 进而延长欧芹的贮藏期。杨运英等<sup>[49]</sup>添加不同浓度的赤霉素保鲜剂对蜘蛛兰切花进行了处理, 结果表明, 与对照组相比, 添加适宜浓度的赤霉素保鲜剂可有效延长蜘蛛兰切花的瓶插寿命。

### 3.2.3 脱氧保鲜

脱氧剂通过与  $\text{O}_2$  发生反应, 使环境中  $\text{O}_2$  的浓度降低。常见的脱氧剂有铁粉、抗坏血酸和不饱和脂肪酸等。Charles 等<sup>[50]</sup>在采用气调包装的基础上再添加适量脱氧剂对番茄进行包装, 结果表明, 脱氧剂可有效抑制果实的呼吸和代谢, 进而有效延长了番茄的贮藏期。杨娜等<sup>[51]</sup>在  $0\text{ }^\circ\text{C}$  条件下采用  $100\text{ mg/L}$  的抗坏血酸对胡萝卜进行处理, 研究了抗坏血酸对胡萝卜保鲜效果的影响。结果表明, 抗坏血酸能够保持胡萝卜的蛋白质含量, 延缓胡萝卜糠心现象的发生, 有利于延长胡萝卜的贮藏时间。

### 3.2.4 氯化钙处理

钙作为植物细胞壁和细胞膜的主要成分,起着很重要的生理功能<sup>[52]</sup>。采后进行适当的钙处理可以加强植物细胞壁和细胞膜的坚固性,从而调节细胞内酶的活性及新陈代谢,从而延长蔬菜的贮藏期。蔬菜采后的钙处理常用氯化钙,因其无毒无异味的特点被人们广泛使用<sup>[53]</sup>。董桂君等<sup>[54]</sup>以茭白为例,采用  $\text{CaCl}_2$  对其进行处理。结果表明,采用  $\text{CaCl}_2$  可以较好地保持茭白的外观,延长茭白的贮藏期。白琳等<sup>[55]</sup>采用  $\text{CaCl}_2$  处理鲜切姜,可以更好地维持其外观质地,延长鲜切生姜的贮藏期。

### 3.2.5 乙醇熏蒸处理

乙醇作为蔬菜本体的代谢产物,具有高效的杀菌性,因此乙醇熏蒸处理可以作为保鲜技术,广泛应用于蔬菜<sup>[56]</sup>。肖婷等<sup>[57]</sup>采用乙醇对小白菜进行熏蒸处理,结果表明,乙醇熏蒸处理可以较好地维持小白菜的外观质地,延长小白菜的贮藏期。肖婷等<sup>[58]</sup>在室温条件下对红薯尖进行熏蒸处理,结果表明,乙醇熏蒸处理可以有效地抑制红薯尖的呼吸作用,维持其较好的感官质地,延长红薯尖的贮藏期。

## 3.3 生物保鲜技术

生物保鲜技术采用从动植物及微生物中提取的保鲜剂,可以抑制腐败菌和酶活性。生物保鲜技术具有价格低、绿色无污染等优点,常用的生物保鲜剂主要包括植物类、动物类、微生物类等。

### 3.3.1 植物类天然保鲜剂

植物类天然保鲜剂主要包括茶多酚、海藻酸钠、魔芋葡甘聚糖等,其来源多为植物,现阶段已广泛应用于蔬菜保鲜的研究中。茶多酚是一种多酚类物质,可以有效抑制微生物的增长。刘开华等<sup>[59]</sup>以青椒为例,对其进行茶多酚涂膜处理。结果表明,经过涂膜处理青椒的质量损失率降低,保持了良好的外观质地,在一定程度上延长了蔬菜的贮藏期。魔芋葡甘聚糖是一种天然的高分子化合物,具有安全无毒、成膜性良好等特点。黄杨敏等<sup>[60]</sup>对鲜切莲藕进行魔芋葡甘聚糖复合涂膜处理,结果表明,魔芋葡甘聚糖复合涂膜处理能有效维持鲜切莲藕的外观质地,抑制其呼吸作用,减少营养物质的损失,具有良好的保鲜效果。海藻酸钠是一种天然多糖类化合物,具有良好的持水性、抗菌性等特点。任邦来等<sup>[61-62]</sup>采用海藻酸钠溶液对辣椒进行涂膜处理,研究海藻酸钠涂膜处理对辣椒贮藏期的影响。结果表明,海藻酸钠处理可以减小营养物质的损耗,进而延长辣椒的贮藏期。月桂酸单甘酯是一种从植物中提取的应用广泛且绿色安全的化合物。有研究表明,月桂酸单甘酯具有良好的抑菌性<sup>[63]</sup>。Yang 等<sup>[64]</sup>用含单月桂酸甘油酯的纳米乳液对甘薯进行处理,涂膜后减小了营养物质的损耗,维持了甘薯

较好的外观质地。

### 3.3.2 动物类天然保鲜剂

动物类天然保鲜剂是从动物组织成分或从其分泌物中提取出来的物质。壳聚糖作为目前应用较广的动物类生物保鲜剂<sup>[65-67]</sup>,在自然界的分布较广泛<sup>[68]</sup>,具有安全无毒、保鲜效果显著等特点。李乾等<sup>[69]</sup>以枸杞为例,选用不同浓度壳聚糖溶液浸泡鲜果,研究壳聚糖溶液对枸杞的保鲜效果。结果表明,与对照组相比,壳聚糖处理有利于保持枸杞的色泽、可溶性固形物含量,其中以质量分数为 1.25% 的壳聚糖溶液处理组的效果最好。魏奇等<sup>[70]</sup>以双孢蘑菇为例,采用壳聚糖结合  $\epsilon$ -聚赖氨酸对双孢蘑菇进行处理。结果表明,与对照组相比,壳聚糖结合  $\epsilon$ -聚赖氨酸处理可有效抑制双孢蘑菇表面微生物的生长,延长双孢蘑菇的贮藏期。Pushkala 等<sup>[71]</sup>对胡萝卜进行了柠檬酸壳聚糖涂膜处理,可以有效减少胡萝卜营养物质的损耗,维持胡萝卜的外观质地,延长胡萝卜的贮藏期。Zhang 等<sup>[72]</sup>对黄瓜进行水杨酸壳聚糖膜处理,结果表明,水杨酸壳聚糖膜可以有效地抑制黄瓜的冷害,降低黄瓜的腐烂率,进而延长蔬菜的贮藏期。

### 3.3.3 微生物保鲜剂

微生物菌体可通过产生与致腐微生物形成竞争关系的代谢产物,进而抑制微生物的增长,延长蔬菜的贮藏期。Bari 等<sup>[73]</sup>通过添加乳酸链球菌的复配保鲜剂对鲜切甘蓝、花椰菜和绿豆芽进行处理,结果表明,添加乳酸链球菌的复配保鲜剂可以有效抑制微生物的增长。宋晓雪等<sup>[74]</sup>采用纳他霉素溶液对鲜切莴苣进行喷雾处理,结果表明,处理后鲜切莴苣中微生物的生长得到明显抑制,延长了鲜切莴苣的贮藏期。

## 4 结语

蔬菜保鲜包装技术已经成为 21 世纪的科研热点,越来越多的国内外学者对上述蔬菜保鲜包装技术进行了深入研究,开发出更具综合实用性的保鲜技术。在贮藏运输过程中,蔬菜极易发生磕碰和腐败,不利于我国农产品经济的发展,因此对蔬菜采用适宜的保鲜技术具有重要意义。

蔬菜的成熟度及加工方式等也会影响蔬菜贮藏的品质,因此要综合选择适宜气调的蔬菜及相应的保鲜技术,从而达到更好的保鲜效果。这些保鲜技术在起着保鲜效果的同时,仍存在很多需要改进的方面。塑料薄膜袋气调保鲜主要采用以 PE、PVC 为原材料制作的产品,这些材料在废弃后不容易降解,因此处理不当会引发环境污染。主动气调保鲜技术以低温环境为基础,但是温度过低,蔬菜会发生冷害,进而发生各种生化和生理功能障碍,从而影响蔬菜的保鲜效果。气调保鲜需要投建冷库,保鲜成本较大。1-MCP

处理是一种有效、成本低的保鲜技术,且安全无毒。此外,1-MCP处理对非呼吸跃变型果实在贮藏过程中的生理变化无显著影响,有时甚至会促进乙烯的产生,导致果实腐烂。过度使用1-MCP会抑制挥发性酯类和醇类等物质的生物合成,进而加快蔬菜风味的流失。生物保鲜技术存在操作烦琐、实施成本较高等缺点,因此在蔬菜保鲜中的应用相对较少,在生物保鲜技术方面还需进一步研究和探讨。

以上蔬菜保鲜技术虽然能在一定程度延长蔬菜的贮藏期,但单一保鲜技术的效果有限,因此国内外科研人员尝试将多种保鲜技术结合使用。例如,在蔬菜保鲜上,将1-MCP与气调包装结合使用,这2种技术的结合具有更好的保鲜效果。结合多种保鲜包装技术有着更为广阔的研究前景,找到各类蔬菜的特定保鲜技术可显著延长其贮藏期,进而提升蔬菜的商品性。

#### 参考文献:

- [1] 朱军伟, 谢晶. 叶菜类蔬菜保鲜技术研究进展[J]. 湖南农业科学, 2011(21): 90-93.  
ZHU Jun-wei, XIE Jing. Advances in Preservation Techniques for Leafy Vegetables[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011(21): 90-93.
- [2] BLEECKER A B, KENDE H. Ethylene: A Gaseous Signal Molecule in Plants[J]. Annual Review of Cell and Developmental Biology, 2000, 16: 1-18.
- [3] GIULIANO G, TAVAZZA R, DIRETTO G, et al. Metabolic Engineering of Carotenoid Biosynthesis in Plants[J]. Trends in Biotechnology, 2008, 26(3): 139-145.
- [4] BARRY C S, GIOVANNONI J J. Ethylene and Fruit Ripening[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2007, 26(2): 143-159.
- [5] 苏淑芳, 陈彦伟. 湿度对蔬菜生长的影响及调节措施[J]. 河南农业, 2013(3): 40.  
SU Shu-fang, CHEN Yan-wei. Effect of Humidity on Vegetable Growth and Its Adjustment Measures[J]. Agriculture of Henan, 2013(3): 40.
- [6] 杜磊. 低温加湿保鲜对叶菜类蔬菜贮藏品质的影响[J]. 广东蚕业, 2020, 54(5): 47-48.  
DU Lei. Effect of Low Temperature and Humidification on the Storage Quality of Leaf Vegetables[J]. Guangdong Sericulture, 2020, 54(5): 47-48.
- [7] 张哲, 李立民, 田津津, 等. 冷藏车温度场不均匀度对蔬菜保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 309-316.  
ZHANG Zhe, LI Li-min, TIAN Jin-jin, et al. Effects of Refrigerated Truck Temperature Field Uniformity on Preservation of Vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(15): 309-316.
- [8] YAMANE A. Development of Controlled Freezing-Point Storage of Foods[J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1982, 29(12): 736-743.
- [9] 姜晓燕, 史学增, 赵海臣. 冰温冷藏技术在船舶上的应用分析[J]. 机电设备, 2010, 27(6): 12-15.  
JIANG Xiao-yan, SHI Xue-zeng, ZHAO Hai-chen. Application Discussion of Controlled Freezing-Point Technology to be Used on Ship Refrigeration System for Food Preservation[J]. Mechanical and Electrical Equipment, 2010, 27(6): 12-15.
- [10] 林本芳, 鲁晓翔, 李江阔, 等. 冰温贮藏对西兰花保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 312-316.  
LIN Ben-fang, LU Xiao-xiang, LI Jiang-kuo, et al. Effect of Ice-Temperature Storage on the Freshness Retaining of Broccolis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(19): 312-316.
- [11] WANG Jin-hua, YOU Yan-li, CHEN Wen-xuan, 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.
- [12] HONG S I, LEE H H, KIM D. Effects of Hot Water Treatment on the Storage Stability of Satsuma Mandarin as a Postharvest Decay Control[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43(2): 271-279.
- [13] 梁振华, 黎萍, 李恒锐, 等. 热处理对鲜切甘薯保鲜效果及抗氧化系统的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(10): 164-167.  
LIANG Zhen-hua, LI Ping, LI Heng-rui, et al. Effect of Heat Treatment on Fresh-Keeping Effect and Antioxidant System of Fresh-Cut Sweet Potato[J]. The Food Industry, 2020, 41(10): 164-167.
- [14] 王斌, 方美珊, 肖艳辉, 等. 热处理条件筛选及其提高鲜切芋头贮藏品质的生理机制[J]. 食品工业科技, 2020, 41(10): 284-288.  
WANG Bin, FANG Mei-shan, XIAO Yan-hui, et al. Screening of Heat Treatment Conditions and Its Physiological Mechanism in Enhancing Storage Quality of Fresh Cut Taro[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(10): 284-288.
- [15] 傅俊杰. 脱水蔬菜辐照杀菌及贮藏保鲜效果的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 102-105.  
FU Jun-jie. Study on Radialization Preservation Techniques of Dehydrated Vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(5): 102-105.

- [16] 斯琴图雅, 王强, 张玉宝, 等. 电子束辐照对滑菇保鲜效果的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(27): 166-168.  
SIQIN Tu-ya, WANG Qiang, ZHANG Yu-bao, et al. Effect of Electron Beam Irradiation on the Preservation of Pholiota Nameko[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(27): 166-168.
- [17] 吕佳煜. 气调保鲜技术保护红香酥梨采后挥发性风味物质的研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2016: 22-47.  
LYU Jia-yu. Protection of Volatile Compounds in Post-Harvest Red Fragrant Pear by CAP[D]. Jinzhou: Bohai University, 2016: 22-47.
- [18] 陈文. 我国果蔬保鲜技术发展近况[J]. 农村实用工程技术, 1998, 18(7): 24.  
CHEN Wen. Recent Development of Fruit and Vegetable Preservation Technology in China[J]. Agricultural Engineering Technology, 1998, 18(7): 24.
- [19] 马玉芳, 李秋荣. 三大保鲜技术在蔬菜贮藏中的应用研究进展[J]. 青海农林科技, 2016(3): 53-57.  
MA Yu-fang, LI Qiu-rong. The Research Progress of Three Fresh Preservation Technologies in Vegetable Storage[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2016(3): 53-57.
- [20] 张乙博, 刘建新, 周婧, 等. 不同气调包装对菠菜冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 276-279.  
ZHANG Yi-bo, LIU Jian-xin, ZHOU Jing, et al. The Impact of Different Modified Atmosphere Packaging Used in Spinach on Preservation Effect in Refrigerated Condition[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 276-279.
- [21] 郑权, 丁云闪, 崔琳琳, 等. 不同气调包装对蕨菜保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 103-108.  
ZHENG Quan, DING Yun-shan, CUI Lin-lin, et al. Effect of Different Atmosphere Packaging on the Preservation of Bracken[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(4): 103-108.
- [22] TECHAVUTHIPORN C, BOONYARITTHONGCHAI P. Effect of Prestorage Short-Term Anoxia Treatment and Modified Atmosphere Packaging on the Physical and Chemical Changes of Green Asparagus[J]. Post-harvest Biology and Technology, 2016, 117: 64-70.
- [23] 李家政, 李晓旭, 王晓芸. 果蔬保鲜膜与自发气调包装[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(6): 1-5.  
LI Jia-zheng, LI Xiao-xu, WANG Xiao-yun. Preservative Film and Modified Atmosphere Packaging for Fruits and Vegetables[J]. Storage and Process, 2013, 13(6): 1-5.
- [24] 张国慧, 陈海峰, 窦承颖. 聚乙烯保鲜膜的卫生性能研究[J]. 大众标准化, 2019(16): 80-81.  
ZHANG Guo-hui, CHEN Hai-feng, DOU Cheng-ying. Study on Hygienic Performance of Polyethylene Preservative Film[J]. Popular Standardization, 2019(16): 80-81.
- [25] 连珊珊, 路丹丹, 李家政. 聚乙烯膜包装对磨盘柿贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(6): 45-50.  
LIAN Shan-shan, LU Dan-dan, LI Jia-zheng. Effect of Polyethylene Film Packaging on Storage Quality of Mopan Persimmon[J]. Storage and Process, 2019, 19(6): 45-50.
- [26] 李家政. 果蔬自发气调包装原理与应用[J]. 包装工程, 2011, 32(15): 33-38.  
LI Jia-zheng. Principle and Application of Voluntary Modified Atmosphere Packaging for Fruit and Vegetable[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15): 33-38.
- [27] 傅和青, 朱立红, 黄洪, 等. 聚丙烯薄膜特点及其在包装业的应用[J]. 包装工程, 2003, 24(5): 1-3.  
FU He-qing, ZHU Li-hong, HUANG Hong, et al. Characteristics and Applications of Polypropylene Film in Packaging[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(5): 1-3.
- [28] 王惠惠. 鲜切菜心关键技术研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013: 39-55.  
WANG Hui-hui. Research on Key Techniques of Fresh-Cut Flowering Cabbage[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2013: 39-55.
- [29] 李铁华, 张愨. 硅窗气调包装保鲜贮藏茶树菇呼吸特性与贮藏品质的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(1): 39-43.  
LI Tie-hua, ZHANG Min. Study on the Respiration and Quality Change of the Stored Agrocybe Chaxingu with Silicon Gum Film Window for Modified Atmosphere Packaging[J]. Food & Machinery, 2007, 23(1): 39-43.
- [30] 吴珊珊, 李善菊, 孙晓侠, 等. 微孔保鲜膜对黄瓜贮藏保鲜效果的影响[J]. 蚌埠学院学报, 2014, 3(2): 21-23.  
WU Shan-shan, LI Shan-ju, SUN Xiao-xia, et al. The Influence of Microporous Film on Storage and Keep Fresh Effect of Cucumber[J]. Journal of Bengbu College, 2014, 3(2): 21-23.
- [31] 史君彦, 高丽朴, 左进华, 等. PVC膜和CO<sub>2</sub>高渗透保鲜膜包装对茄子保鲜效果的影响[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 7-11.  
SHI Jun-yan, GAO Li-pu, ZUO Jin-hua, et al. Effect of PVC Film and High CO<sub>2</sub> Permeability Film Packaging on Preservation of Eggplant[J]. Packaging Engineering,

- 2017, 38(3): 7-11.
- [32] WANG Long-feng, RHIM J W, HONG S I. Preparation of Poly(lactide)/Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Blend Films Using a Solvent Casting Method and Their Food Packaging Application[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 454-461.
- [33] JACXSENS L, DEVLIEGHERE F, VAN DER STEEN C, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Microbial Growth and Sensorial Qualities of Fresh-Cut Produce[J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 71(2/3): 197-210.
- [34] BROSNAN T, SUN Da-wen. Precooling Techniques and Applications for Horticultural Products—A Review[J]. International Journal of Refrigeration, 2001, 24(2): 154-170.
- [35] 郭峰, 王毓宁, 李鹏霞, 等. 1-MCP 处理对采后红椒质构性能的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 272-277. GUO Feng, WANG Yu-ning, LI Peng-xia, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene Treatments on Texture Properties of Red Pepper during Post-Harvest Storage[J]. Food Science, 2015, 36(16): 272-277.
- [36] 史君彦, 王清, 高丽朴, 等. 1-MCP 处理对油菜贮藏品质影响的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(23): 188-192. SHI Jun-yan, WANG Qing, GAO Li-pu, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Storage Quality of Pak Choy[J]. Food Research and Development, 2017, 38(23): 188-192.
- [37] 陈皖豫. 气调包装技术及 1-MCP 处理对娃娃菜采后贮藏品质的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2020: 59-75. CHEN Wan-yu. Effects of Air Conditioning Packaging Technology and 1-MCP Treatment on Postharvest Storage Quality of Brassica Pekinensis[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2020: 59-75.
- [38] MIN De-dong, LI Fu-jun, ZHANG Xin-hua, et al. Effect of Methyl Salicylate in Combination with 1-Methylcyclopropene on Postharvest Quality and Decay Caused by Botrytis Cinerea in Tomato Fruit[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(10): 3815-3822.
- [39] LEE B H, PARK C G, YANG J O, et al. Concurrent Application of Ethyl Formate and 1-Methylcyclopropene to Control *Tetranychus Urticae* on Exported Sweet Persimmons (*Diospyros Kaki* Thunb. 'Fuyu')[J]. Entomological Research, 2018, 48(3): 198-203.
- [40] 杨国辉, 江丹霞, 武少兰, 等. 聚赖氨酸联合 1-MCP 处理对草菇保鲜效果的影响[J]. 菌物学报, 2021, 40(12): 3347-3359. YANG Guo-hui, JIANG Dan-xia, WU Shao-lan, et al. Effects of Combined Treatment of E-Polylysine and 1-Methylcyclopropene on the Storage Quality of Volvariella Volvacea Fruiting Bodies[J]. Mycosystema, 2021, 40(12): 3347-3359.
- [41] 梁晶晶, 王向阳. 气调和 1-MCP 对青菜保鲜贮藏的影响[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(9): 126-129. LIANG Jing-jing, WANG Xiang-yang. Effect of Modified Atmosphere and 1-MCP on Keeping Pak Choy Fresh during Storage[J]. Food Research and Development, 2006, 27(9): 126-129.
- [42] 林旭东, 康孟利, 朱麟, 等. 气调和 1-MCP 对番茄常温配送品质的影响[J]. 农产品加工, 2021(8): 5-7. LIN Xu-dong, KANG Meng-li, ZHU Lin, et al. Effects of Modified Atmosphere and 1-MCP on the Quality of Tomato at Room Temperature[J]. Farm Products Processing, 2021(8): 5-7.
- [43] 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. WEI Wen-wen, FENG Jian-hua, YANG Xiang-zheng, et al. Effect of 1-MCP and Silicon Gum Film Modified Atmosphere Packaging on Quality Retention during Storage of Green Pepper[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(7): 52-55.
- [44] 王通, 王娟, 马晓艳, 等. 1-MCP 处理结合冷库预冷对黄花菜低温贮藏效果的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(12): 15-22. WANG Tong, WANG Juan, MA Xiao-yan, et al. Effect of 1-MCP Treatment Combined with Cold Storage Precooling on Low Temperature Storage of Daylily[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(12): 15-22.
- [45] 弓德强, 李敏, 高兆银, 等. 1-MCP 处理对樱桃番果实采后低温贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 116-122. GONG De-qiang, LI Min, GAO Zhao-yin, et al. Effect of 1-MCP Treatment on the Quality of Cherry Tomato Fruits in Postharvest Low Temperature Storage[J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(4): 116-122.
- [46] 胡筱, 潘浪, 丁胜华, 等. 1-MCP 作用机理及其在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 304-309. HU Xiao, PAN Lang, DING Sheng-hua, et al. Research Progress on the Mechanism of Action of 1-MCP and Its Application in Postharvest Fruits and Vegetables Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(8): 304-309.
- [47] 刘云芬, 田天容, 殷菲彤, 等. 赤霉素对鲜切莴苣酶促褐变及活性氧代谢的影响[J]. 食品与发酵工业,

- 2021, 47(19): 215-220.
- LIU Yun-fen, TIAN Tian-rong, YIN Fei-long, et al. Effects of Gibberellin on Enzymatic Browning and Reactive Oxygen Metabolism of Fresh-Cut Lettuce[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(19): 215-220.
- [48] LERS A, JIANG Wei-bo, LOMANIEC E, et al. Gibberellic Acid and CO<sub>2</sub> Additive Effect in Retarding Post-harvest Senescence of Parsley[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(1): 66-68.
- [49] 杨运英, 唐希荣, 王廷芹. 不同浓度赤霉素对蜘蛛兰切花的保鲜效应[J]. 江西农业学报, 2021, 33(6): 29-33.
- YANG Yun-ying, TANG Xi-rong, WANG Ting-qin. Effects of Different Concentrations of Gibberellin on Preservation of Cut Flowers of *Hymenocallis littoralis*[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2021, 33(6): 29-33.
- [50] CHARLES F, SANCHEZ J, GONTARD N. Active Modified Atmosphere Packaging of Fresh Fruits and Vegetables: Modeling with Tomatoes and Oxygen Absorber[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(5): 1736-1742.
- [51] 杨娜, 王清, 郭李维, 等. 外源抗坏血酸处理对胡萝卜贮藏期间品质的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(15): 243-248.
- YANG Na, WANG Qing, GUO Li-wei, et al. Effects of Exogenous Ascorbic Acid on Quality of Carrot during Storage[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(15): 243-248.
- [52] 韩黎舟, 吕静祎, 白琳, 等. 采后氯化钙处理对红树莓保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 233-238.
- HAN Xu-zhou, LYU Jing-yi, BAI Lin, et al. Effect of Postharvest Calcium Chloride Treatment on Preservation of Red Raspberry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(6): 233-238.
- [53] ZHI H H, LIU Q Q, DONG Y, et al. Effect of Calcium Dissolved in Slightly Acidic Electrolyzed Water on Antioxidant System, Calcium Distribution, and Cell Wall Metabolism of Peach in Relation to Fruit Browning[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2017, 92(6): 621-629.
- [54] 董桂君, 乔勇进, 刘晨霞, 等. 氯化钙处理对茭白采后品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(4): 23-31.
- DONG Gui-jun, QIAO Yong-jin, LIU Chen-xia, et al. Effect of Calcium Chloride Treatment on Postharvest Quality of *Zizania latifolia*[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2021, 57(4): 23-31.
- [55] 白琳, 吕静祎, 路研文, 等. 氯化钙处理对鲜切生姜保鲜的影响[J]. 包装与食品机械, 2020, 38(4): 28-33.
- BAI Lin, LYU Jing-yi, LU Yan-wen, et al. Effects of Calcium Chloride Treatment on Preservation of Fresh-Cut Ginger[J]. Packaging and Food Machinery, 2020, 38(4): 28-33.
- [56] 杨晓哲, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 乙醇熏蒸对采后甜樱桃的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2020, 41(5): 239-244.
- YANG Xiao-zhe, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Effects of Ethanol Fumigation on Preservation of Sweet Cherry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(5): 239-244.
- [57] 肖婷, 何欣遥, 吴姗鸿, 等. 乙醇熏蒸对小白菜的护绿机理[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(21): 173-180.
- XIAO Ting, HE Xin-yao, WU Shan-hong, et al. The Mechanism of Green Preservation of Pakchoi by Ethanol Fumigation[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(21): 173-180.
- [58] 肖婷, 陈东秀, 罗鸿, 等. 乙醇熏蒸对红薯尖冷藏期间品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(15): 209-217.
- XIAO Ting, CHEN Dong-xiu, LUO Hong, et al. Effects of Ethanol Fumigation on Quality of Sweet Potato Leaves during Cold Storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(15): 209-217.
- [59] 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.
- LIU Kai-hua, XING Shu-jie. Study of Tea Polyphenol-Incorporated Chitosan Coating on Green Pepper Preservation[J]. China Food Additives, 2013(2): 224-228.
- [60] 黄杨敏, 孙晔, 耿思翌, 等. 魔芋葡甘聚糖复合涂膜对鲜切莲藕保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 266-271.
- HUANG Yang-min, SUN Ye, GENG Si-yi, et al. Effect of Konjac Glucomannan Composite Coating on the Preservation of Fresh-Cut Lotus Root[J]. Food Science, 2016, 37(8): 266-271.
- [61] 任邦来, 马启福. 海藻酸钠对辣椒保鲜效果的研究[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(11): 34-36.
- REN Bang-lai, MA Qi-fu. Effects of Sodium Alginate on Pepper Preservation[J]. Food and Nutrition in China, 2013, 19(11): 34-36.
- [62] REN Bang-lai, MA Qi-fu. Study on the Effect of Sodium Alginate on the Freshness of Pepper[J]. China Food and Nutrition, 2013, 19(11): 34-36.
- [63] SCHLIEVERT P M, PETERSON M L. Glycerol Monolaurate Antibacterial Activity in Broth and Biofilm

- Cultures[J]. PLoS One, 2012, 7(7): e40350.
- [64] YANG Hu-qing, LI Xia, LU Guo-quan. Effect of Carnauba Wax-Based Coating Containing Glycerol Monolaurate on Decay and Quality of Sweet Potato Roots during Storage[J]. Journal of Food Protection, 2018, 81(10): 1643-1650.
- [65] CHIEN P J, SHEU F, YANG F H. Effects of Edible Chitosan Coating on Quality and Shelf Life of Sliced Mango Fruit[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1): 225-229.
- [66] ROMANAZZI G, KARABULUT O A, SMILANICK J L. Combination of Chitosan and Ethanol to Control Postharvest Gray Mold of Table Grapes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(1): 134-140.
- [67] DONG Hua-qiang, CHENG Liang-ying, TAN Jia-hou, et al. Effects of Chitosan Coating on Quality and Shelf Life of Peeled Litchi Fruit[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 64(3): 355-358.
- [68] 陈娟, 牛国才. 壳聚糖在葡萄保鲜中的应用研究进展[J]. 烟台果树, 2019(4): 8-9.  
CHEN Juan, NIU Guo-cai. Research Progress on Application of Chitosan in Grape Preservation[J]. Yantai Fruits, 2019(4): 8-9.
- [69] 李乾, 王洁, 王永贵, 等. 壳聚糖处理对冷藏枸杞品质的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2020, 43(3): 214-220.  
LI Qian, WANG Jie, WANG Yong-gui, et al. Effects of Chitosan Treatment on Quality of Refrigerated Lycium Barbarum[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2020, 43(3): 214-220.
- [70] 魏奇, 翁馨, 李婕, 等. 壳聚糖和  $\epsilon$ -聚赖氨酸处理对双孢蘑菇贮藏过程中品质的影响[J]. 菌物学报, 2022, 41(1): 146-154.  
WEI Qi, WENG Xin, LI Jie, et al. Effects of Chitosan and E-Polylysine Treatment on Quality Attributes of Agaricus Bisporus Fruiting Bodies during Storage[J]. Mycosystema, 2022, 41(1): 146-154.
- [71] PUSHKALA R, PARVATHY K R, SRIVIDYA N. Chitosan Powder Coating, a Novel Simple Technique for Enhancement of Shelf Life Quality of Carrot Shreds Stored in Macro Perforated LDPE Packs[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16: 11-20.
- [72] ZHANG You-zuo, ZHANG Mei-ling, YANG Hu-qing. Postharvest Chitosan-g-Salicylic Acid Application Alleviates Chilling Injury and Preserves Cucumber Fruit Quality during Cold Storage[J]. Food Chemistry, 2015, 174: 558-563.
- [73] BARI M L, UKUKU D O, KAWASAKI T, et al. Combined Efficacy of Nisin and Pediocin with Sodium Lactate, Citric Acid, Phytic Acid, and Potassium Sorbate and EDTA in Reducing the *Listeria Monocytogenes* Population of Inoculated Fresh-Cut Produce[J]. Journal of Food Protection, 2005, 68(7): 1381-1387.
- [74] 宋晓雪, 胡文忠, 毕阳, 等. 纳他霉素对鲜切莴苣表面微生物增殖与生理生化变化的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(8): 336-339.  
SONG Xiao-xue, HU Wen-zhong, BI Yang, et al. Effect of Natamycin on Surface Microorganism's Growth and Physiological Properties of Fresh-Cut Lettuces[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(8): 336-339.

责任编辑: 彭颖