

# 水果贮藏保鲜技术研究现状及前景展望

汤乐金\*, 杨钦沾, 屈杰光

(惠州市农产品质量安全监督检测中心, 惠州 516008)

**摘要:** 国内水果产业贮藏保鲜环节收益低下, 不能保证人们对新鲜水果的可持续需求, 因此对于水果的贮藏保鲜技术提出更高的要求。本文总结了近年来国内外水果物理保鲜技术、化学保鲜技术和生物保鲜技术 3 大类主要保鲜技术的研究成果, 简述各贮藏保鲜技术的优缺点, 并对水果贮藏保鲜发展前景进行了展望, 以期为水果实际储藏保鲜工作提供参考。

**关键词:** 水果; 贮藏保鲜; 物理方法; 化学方法; 生物方法

## Research status and prospects of fruit storage and preservation technology

TANG Le-Jin\*, YANG Qin-Zhan, QU Jie-Guang

(Huizhou Agricultural Products Quality Safety Supervision & Testing Center, Huizhou 516008, China)

**ABSTRACT:** The low profitability of the storage and preservation of the domestic fruit industry does not guarantee the sustainable demand for fresh fruits, so it puts forward higher requirements for the storage and preservation technology of fruits. This paper summarized the research results of 3 major categories of main fresh-keeping technologies of physical preservation technology, chemical preservation technology and biological preservation technology in recent years, briefly described the advantages and disadvantages of each storage and preservation technology, and prospected the development prospect of fruit storage and preservation, so as to provide references for the actual fruit storage and preservation work.

**KEY WORDS:** fruit; storage and preservation; physical method; chemical method; biological method

## 1 引言

随着改革开放 40 年来国家的高速发展, 人们生活水平不断提高、消费能力不断增强, 由吃饱穿暖的温饱需求转向吃得健康、绿色、环保、多样化等更高层次的饮食需求<sup>[1]</sup>。2017 年我国主要农产品中水果产量达到 2.52 亿吨, 仅次于粮食产量 6.62 亿吨<sup>[2]</sup>。水果, 不仅品种多, 而且营养物质十分丰富, 是人体各营养物质主要来源渠道, 尤其是维生素 C、有机酸及微量元素等, 在满足人体营养物质需求和调节人体生理功能等方面起着十分重要的作用<sup>[3-6]</sup>。而水果采后由于失去果树的养分供给, 如果不进行恰当的贮藏保鲜处理, 将会导致水果腐烂变质现象, 特别是广东

海南等地区热带水果如荔枝、龙眼等含水量、含糖量高, 再加上处于高温高湿环境, 新陈代谢活动旺盛, 非常容易发生褐变、腐变和质变<sup>[7-9]</sup>。此外, 水果季节性比较强, 应季时供过于求, 价格比较低; 淡季时由于产量低、贮藏保鲜、远距离运输等一些原因, 导致供不应求, 价格比较高。因而, 研究科学合理的水果贮藏保鲜技术, 能有效延长水果贮藏保鲜时间, 减少水果腐变现象, 平衡水果供求关系, 稳定水果市场, 防止出现果贱伤农等现象发生, 具有重大经济和社会效益<sup>[10-12]</sup>。

本文概述了近年来国内外水果 3 大类主要保鲜技术即物理保鲜技术、化学保鲜技术和生物保鲜技术的研究成果, 以便为相关人员进行水果贮藏保鲜提供技术参考。

\*通讯作者: 汤乐金, 主要研究方向为食品安全农药残留研究。E-mail: pawwgc@mail.nankai.edu.cn

\*Corresponding author: TANG Le-Jin, Huizhou Agricultural Products Quality Safety Supervision & Testing Center, No.35, Huayuanshui East Road, Longfeng District, Huizhou 516008, China. E-mail: pawwgc@mail.nankai.edu.cn

## 2 水果贮藏保鲜技术

水果采摘后仍是有生命的有机体,会进行组织代谢呼吸活动、水分蒸发、微生物生长繁殖等生命活动,这些生命活动会导致水果容易出现色变、腐烂和质变等变质现象。对此,国内外专家学者对水果贮藏保鲜技术进行了大量研究,得出影响水果贮藏保鲜的主要因素:温湿度、O<sub>2</sub>含量、CO<sub>2</sub>含量、微生物环境、外源或内源乙烯的含量。在对上述因素进行控制的基础上,共有物理、化学、生物3大类贮藏保鲜方法来减缓水果组织代谢作用、控制微生物生长以达到贮藏保鲜的目的<sup>[13-17]</sup>。

### 2.1 物理贮藏保鲜技术

#### 2.1.1 气调贮藏保鲜技术

气调贮藏保鲜是指通过科学合理地控制和调节环境温度、O<sub>2</sub>浓度、CO<sub>2</sub>浓度、N<sub>2</sub>浓度,最大程度降低水果组织代谢活动、减少有机物消耗、抑制微生物细菌的生长,达到延长水果贮藏保鲜周期的目的<sup>[8]</sup>。目前采用的气调贮藏保鲜技术按作用方式可分为主动气调(controlled atmosphere package, CAP)和被动气调(modified atmosphere package, MAP)2种<sup>[18,19]</sup>。CAP是指在气调贮藏保鲜期间,依靠设备营造一个恒定的气体浓度环境条件;MAP则是采用具有一定气体透过性的薄膜包装,在建立起预定的调节气体浓度后,不再人为调整,而通过水果自身呼吸作用调节环境气体浓度以及抑制内源乙烯的产生,达到贮藏保鲜目的。根据国内专家杨胜平等<sup>[20]</sup>研究,妃子笑在5%O<sub>2</sub>、5%CO<sub>2</sub>气调保鲜条件下可以延长贮藏保鲜期24d;Mahajan等<sup>[21]</sup>研究印度孟买荔枝在3.5%O<sub>2</sub>、3.8%CO<sub>2</sub>气调保鲜条件下可以延长贮藏保鲜期28d。但是气调贮藏保鲜技术并不适用所有水果,且不同水果贮藏保鲜所需控制条件有较大差异,因此对某种水果进行气调贮藏保鲜前需要进行大量试验,在一定程度上限制了气调保温贮藏的进一步应用。

#### 2.1.2 低温贮藏保鲜技术

作为决定水果贮藏保鲜周期的重要条件,温度对水果的组织代谢活动、微生物活动等都会产生巨大作用。自20世纪80年代日本北海道大学开展临界低温高湿贮藏保鲜研究以来,国内外对低温贮藏保鲜进行了广泛的研究。低温保鲜原理是通过低温可有效降低水果呼吸强度,减少水果自由水运动以减少水果水分蒸发,同时低温还能抑制细菌等微生物生物活性,从而延长水果贮藏保鲜时间。张梅坤<sup>[22]</sup>发现东魁杨梅采收后及时保存在2℃低温条件下,可使贮藏保鲜期由常温4d延长到10~12d。Zhang等<sup>[23]</sup>发现,对巨峰葡萄采用低温高湿贮藏保鲜方法,即控制温度在葡萄冷害点温度以上大约0.5~1℃以及控制相对湿度为90%~98%左右,可以很好地延长贮藏保鲜时间及保存葡萄口感风味。然而,不同品种甚至不同产地的水果,其相对

应的冷害点温度均有所不同<sup>[24]</sup>,因此对每种水果都有其相对应的最佳低温保存环境,如果盲目进行低温保鲜,有可能会因过低低温造成对水果的伤害<sup>[13]</sup>。

#### 2.1.3 臭氧贮藏保鲜技术

臭氧贮藏保鲜作用主要体现在3个方面:(1)诱导水果皮面气孔收缩,降低水果水分蒸腾作用;(2)通过抑制甚至消除水果催熟剂乙烯气体的产生,减缓水果后熟速度及程度;(3)臭氧有一定杀菌作用,可以防止微生物导致的水果色变霉变等变质情况。臭氧可以氧化饱和及非饱和有机化合物,分解乙烯,诱导水果产生抗病性,臭氧会自行分解成氧气,对环境无害无毒。根据王磊<sup>[25]</sup>研究,西红柿进行臭氧贮藏保鲜后,保鲜期限延长14d以上,而口感、品质无任何变化。根据Marcin等<sup>[26,27]</sup>研究,水果采用臭氧贮藏保鲜技术后,不仅能保持很好的外观、口感、香味以及品质,而且还能有杀菌、降低农药残留的益处。使用臭氧保鲜技术,杀菌效果显著,消除乙烯效果明显,不过成本偏高,而且不同水果所适应的抽样处理浓度不一样。若处理不当,臭氧可能会对人体造成伤害<sup>[7]</sup>。

#### 2.1.4 热处理贮藏保鲜技术

早在20世纪20年代,国内外就有相关研究员进行水果热处理保鲜技术研究,后随着化学防腐技术广泛应用,该技术研究及应用受到限制,后又随着人们对饮食健康食品安全越来越重视,热处理技术再一次受到广泛关注和研究。此技术主要是在贮藏水果前,将水果置于特定的热环境中,比如热水、热空气、热蒸汽、微波等热环境中,控制温度在30~50℃之间,处理数分钟至数天不等<sup>[28]</sup>。

通常,水果保鲜热处理技术可参考以下条件:温度为30~45℃,热处理几小时到几天不等;温度为45~60℃,热处理几分钟至几十分钟不等。采后苹果在温度38℃条件下处理4d,后贮藏于0℃冷库中,其硬度明显高于对照组,货架保鲜期间,其软化速度也明显低于对照组,热处理后,苹果色泽、总固形物以及有机酸等都得到较好的保持;采后香蕉在温度52℃条件下处理10min,后再25℃下贮藏,在12d内香蕉保持了较好的硬度和色泽,而对照组出现明显的软化和褪绿转黄<sup>[29]</sup>。

热处理技术的优点在于无化学残留,安全性高,简单;然而由于每种水果都有其适应的热处理条件,同时热处理技术若使用不当,反而会造成水果破坏、失水、变色等加快水果腐变的不良后果。因此,热处理技术一般不单独使用,热处理技术发展趋势是和其他贮藏保鲜技术联合使用。

#### 2.1.5 减压贮藏保鲜技术

减压贮藏又称低压贮藏、减压冷藏、真空贮藏等,是一种在气调贮藏和低温贮藏基础上进一步发展起来的贮藏保鲜技术。将采后水果贮藏于密闭容器中,利用真空泵不断抽出容器内的空气使系统保持低压状态,同时通过压力调节器输送新鲜空气,减压形成的低氧气浓度,减缓水果

的生命活动强度,且能抑制乙烯的合成,减小维生素 C 的损失以及抑制病虫害的发生,真空泵作用下还能带出密闭系统内的呼吸热、乙醛、二氧化碳等次生代谢产物。既能有效延长水果保鲜周期,也能较好保持水果原有风味<sup>[30]</sup>。在压力为 20~30 kPa, 温度 2~4 °C 条件下,枇杷可以贮藏 49 d<sup>[31]</sup>。由于建造贮藏库投资成本较大以及需要一定的技术支持来调节控制贮藏库的温湿度和压力等,减压贮藏的应用受到较大的限制。

### 2.1.6 高压静电场贮藏保鲜技术

高压静电场技术属于微能利用技术,日常生活中的水果都是在电场强度约为 130 V/m 的自然静电场作用下生长,通过外加高压静电场,以期改变水果中分子结构,从而达到贮藏保鲜作用。经过高压静电场处理后的番茄,能很好地保持 Vc 含量、酸度和硬度,不同高压静电场以及处理时间对贮藏保鲜作用不同,60 kV/m 处理 60 min,番茄贮藏保鲜效果最好<sup>[32]</sup>。经过 100 kV/m 高压静电场处理后的黄冠梨,其硬度、含水量、酸度及重量都得到较好保持,其生理活性受到抑制,延长了黄冠梨贮藏保鲜周期<sup>[33]</sup>。高压静电场保鲜技术具有能耗低、清洁、简便有效、容易操作等优势,目前国内外对其仍处于应用开发探索阶段,作用机制不明确成为广泛应用的制约因素。

### 2.1.7 辐照贮藏保鲜技术

辐照,也称为辐射,是指利用电离辐射产生的  $\beta$ 、 $\gamma$  等射线对水果进行保鲜处理,通过射线杀死水果中微生物,抑制水果生理活动过程,减少水果乙烯物质生成,达到延长水果贮藏保鲜的效果。辐照保鲜技术,是一种安全、高效、无污染、简便可行同时能最大限度保留水果原有品质的方法,使用相对低的辐射剂量,一般小于 3 kGy<sup>[34]</sup>。柑橘在剂量为 3 kGy  $\gamma$  射线辐照后结合常温(5~24 °C)贮藏,细菌总数呈指数级下降,微生物增长速度缓慢,而柑橘品质指标之一维生素 C 含量变化不大<sup>[35]</sup>。

## 2.2 化学贮藏保鲜技术

### 2.2.1 防腐剂贮藏保鲜技术

防腐剂贮藏保鲜技术主要是借助化学试剂消除水果中微生物,同时形成保护膜保护水果,从而延缓水果变质速度,延长水果保鲜周期。防腐剂主要有 SO<sub>2</sub>、亚硫酸盐、硝酸盐、苯甲酸钠、山梨酸钾等。根据李文生等<sup>[36]</sup>的研究,对巨峰葡萄贮藏保鲜,SO<sub>2</sub> 粉剂可使保鲜期延长至 60 d; SO<sub>2</sub> 片剂可使保鲜期延长至 150 d,且处理后的 SO<sub>2</sub> 残留都在规定范围内,是安全的。根据董文明等<sup>[37]</sup>的研究,对丽江雪桃中华寿桃贮藏保鲜,0.6  $\mu$ L/L 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropylene, 1-MCP)保鲜处理对保持雪桃水分有较明显作用,1.8  $\mu$ L/L 1-MCP 保鲜结合保鲜膜包装可以推迟雪桃呼吸高峰以及峰值,延长贮藏保鲜周期。葡萄在 SO<sub>2</sub> 保鲜技术处理下,在保证口感和品质前提下能延长葡萄的保存周期<sup>[38]</sup>。但是,此类化学合成防腐剂容易产生二

次污染,存在可能对人体产生致癌隐患<sup>[39]</sup>。

### 2.2.2 涂膜贮藏保鲜技术

涂膜保鲜技术是指将风干后能形成一种无色透明半透膜的物质,如糖类、淀粉、蛋白质、多糖类蔗糖脂等通过包裹、浸渍等方式均匀涂覆在水果表面<sup>[40]</sup>。涂膜保鲜可以阻止水果内物质散失及阻隔外界环境不良影响,抑制水果呼吸和蒸腾作用,抑制细菌生长,延长水果保鲜期。同时,为了克服单一涂膜剂的各自缺点,可将 2 种或 3 种以上成膜物质经过科学合理的方式加工处理成复合涂膜剂,效果更佳优良。魏晶晶等<sup>[41]</sup>发现,使用浓度 4% 丝素蛋白-壳聚糖能有效延缓番茄水果的褐变以及衰老,使番茄在 25 °C 左右条件下保鲜期由 9~12 d 延长至 18~21 d; 研究还发现,在 4 °C 贮藏保鲜条件下,采用壳聚糖复合涂膜可减少中田大山楂的腐烂率,在 2% 壳聚糖+1.5% CaCl<sub>2</sub>+1% 甘油复合涂膜保鲜下,中田大山楂可很好地保持果实的外观、口感等品质<sup>[42]</sup>; 出于对食品安全的考虑,水果保鲜涂膜逐渐由低毒向无毒、可食用性方向发展<sup>[43]</sup>。

### 2.2.3 乙烯吸收剂贮藏保鲜技术

乙烯吸收剂,就是能够吸收水果贮藏过程中产生的乙烯气体,由于乙烯具有促使水果后熟等导致水果腐坏变质的作用,因此通过乙烯吸收剂吸收乙烯能够有效降低水果后熟速度和推迟水果呼吸高峰,能够延长水果贮藏保鲜周期。目前广泛应用于番茄、猕猴桃等水果保鲜中。采用乙烯吸收剂处理猕猴桃后,可以使贮藏期延长至 180 d<sup>[44]</sup>。

## 2.3 生物贮藏保鲜技术

### 2.3.1 天然提取物复合涂膜剂贮藏保鲜技术

天然提取物是指从植物的根、茎、叶和果等部位提取出来的生物活性物质,该物质具有良好的抗菌性成分,能有效降低水果中微生物和酶的活性,使水果生理活性下降,延长水果贮藏保鲜周期。

方海峰等<sup>[45]</sup>研究各浓度壳聚糖对蓝莓都有保鲜效果,综合各指标分析,壳聚糖浓度在 2.0%~2.5% 范围内贮藏保鲜效果最佳。根据其他研究,海藻酸钠-高良姜类复合涂膜剂可改善象牙芒果的失重率、维生素 C、可溶性固形物等指标<sup>[46]</sup>,阿拉伯胶-肉桂精油类复合涂膜剂可减少细菌对香蕉和木瓜造成的损伤<sup>[47]</sup>,大豆分离蛋白-普鲁兰多糖类复合涂膜剂可以改善猕猴桃的软化速率<sup>[48]</sup>,壳聚糖-薄荷类涂膜可以有效控制樱桃番茄贮藏保鲜过程中黑曲霉、根霉引起的霉菌感染<sup>[49]</sup>。天然提取物保鲜无毒无害环保,正好满足人们对绿色饮食的需求<sup>[50]</sup>。

### 2.3.2 生物拮抗菌贮藏保鲜技术

生物拮抗菌保鲜原理是微生物种群产生抗生素、细菌素和溶菌酶等抗菌物质,这些物质与水果中病原菌互相排斥,能够抑制水果病原菌对水果的腐坏作用,生物拮抗菌保鲜具有无毒无害环保的优势<sup>[51]</sup>。裴炜等<sup>[52]</sup>研究发现,拮抗菌保鲜剂 R-多糖可以明显降低荔枝褐变的概率,提高荔枝好

果率,尤其是浓度为3%时,能有效延缓荔枝维生素C、总糖等营养物质的消耗,延缓荔枝水果的衰老速度,较好保持荔枝风味和品质。Chanjirakul等<sup>[53]</sup>研究得出使用丁香油酚、薄荷醇以及丁香草酚等多种精油处理草莓黑莓等水果时,这些生物制剂能很好地保持此类水果采后保鲜的品质。Rosalia等<sup>[54]</sup>研究证明从水果中分离而得的乳酸菌可以抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌等多种食源性病菌,经过乳酸菌保鲜的苹果能有效抵御沙门氏菌和大肠杆菌的感染。

### 2.3.3 基因工程贮藏保鲜技术

基因工程技术保鲜的主要机制是通过减少水果生理成熟期内源乙烯的生成以及延缓水果后熟过程中的软化来进行贮藏保鲜。以ACC合成酶、ACC氧化酶等酶的基因为切入点减少内源性乙烯的生成,并通过多聚半乳糖醛酸酶进行操作而实现延缓水果后熟软化<sup>[55-57]</sup>。Yin等<sup>[58]</sup>研究结果表明,乙酰水杨酸可以通过影响乙烯合成的关键基因*AdERF1*、*AdERF3*以及*AdERF12*来抑制乙烯物质的合成,从而抑制果实成熟,因而可以延长果实保鲜周期。宋俊岐等<sup>[59]</sup>研究发现,将ACC脱氢酶基因整合到番茄基因组中且稳定表达,转基因番茄乙烯的合成降低80%左右,果实采后可贮藏保鲜75d左右。

### 2.3.4 酶工程贮藏保鲜技术

酶工程保鲜实质是通过酶催化作用,减少甚至完全消除各种外界因素对水果的不良影响。酶工程主要通过排除氧气防止有机物氧化、酶解葡萄糖或蛋白质避免褐变反应以及渗漏裂解微生物细胞壁消除微生物危害3个方面来实现贮藏保鲜作用<sup>[60]</sup>。目前使用较多的是葡萄糖氧化酶以及溶菌酶保鲜技术。葡萄糖氧化酶是通过除掉水果保鲜过程中氧气来阻止氧化变质从而延长保鲜周期;溶菌酶是一种无毒无害、高安全性的天然抑菌杀菌剂,可以水解细胞壁成分,从而使细菌自溶而亡,通过消除微生物影响延长水果保鲜周期。总体来说,酶工程保鲜法具有高效催化(低浓度也能促使反应迅速进行)、条件温和(酶工程法所需要的pH以及温度等条件都很温和)、专一性强(不会引起不必要的化学反应)以及安全性高(酶本质是一种蛋白质)等诸多优点<sup>[61,62]</sup>。

## 3 水果贮藏保鲜技术前景展望

### 3.1 建立更加完善的流通环节贮藏保鲜体系

我国水果总产量增长迅速,从1978年的657万吨增加到2017年的2.52亿吨,然而其对应的贮藏保鲜能力却很落后,相比较国际上流通环节水果损耗5%,国内流通环节水果损耗高达30%<sup>[2]</sup>。因此,很有必要建立更加完善的流通环节贮藏保鲜体系,使我国水果损耗降低到15%以下。

### 3.2 水果贮藏保鲜技术向多样化发展

随生活水平提高,人们对水果消费需求也在增加。欧

美发达国家,每年人均水果消费83kg,发展中国家,年人均水果消费也达55kg,国内年人均水果消费虽然从不足6kg快速增长到46kg,然后离世界平均水平61kg还有一定的差距<sup>[1,2]</sup>。因此,在水果消费规模扩大的同时,水果的多样性需求也必定会增加,尤其是一些地方性、时令性水果,这就要求水果贮藏保鲜技术也应相对应多样化发展。

### 3.3 无毒无害贮藏保鲜技术

目前使用较多的化学贮藏保鲜技术,在一定程度上解决采后水果保鲜问题,但也存在着二次污染的风险,对人体产生不良健康影响。长远来看,应加大对无毒无害无残留天然保鲜剂的研究开发和应用。

### 3.4 建立全国性水果流通及贮藏保鲜信息网

为加快信息流通,减少因信息流通不畅导致的水果损失,建立起一个包括采前、采后、贮藏保鲜、加工、流通和销售等环节在内的全国性集成信息网。

### 3.5 建立规模化的水果物流园区

作为水果出口大国的西班牙,当地建立了包括仓储区、物流区、集装箱囤放区、卡车停放区、服务区/办公区和绿化区等的规模化水果物流园,水果贮藏保鲜条件稳定可控、流通方式简单,大大地延长了水果的货架期<sup>[9]</sup>。为了保障水果的新鲜度、美观度、包装实用度、物流便利度以及陈列时间等,可以借鉴世界水果生产强国的先进经验,探索建立规模化的水果物流园。

## 4 小结

在水果的实际贮藏保鲜过程中,单纯一种贮藏保鲜方法往往效果不佳。物理贮藏保鲜方法或需要针对不同水果做非常多的实验,或研究操作复杂,或设备投资大;化学贮藏保鲜方法则容易威胁人体身体健康,不仅与目前绿色食品概念不相符,而且有污染自然环境的隐患;生物贮藏保鲜方法目前主要是天然动植物的粗提取物,效果不够精细,很难直接提高水果的风味和口感,微生物拮抗菌受水果环境影响大,有待后期研究开发出高效稳定的微生物种群。贮藏保鲜方法研究正在由单一方法向复合方法转变,物理保鲜技术、化学保鲜技术、生物保鲜技术等各种保鲜技术的复合研究和应用将是国内外贮藏保鲜的流行趋势。同时,研究工作者在注重水果新鲜度之外,将更加注重风味、品质等质量参数,从而建立综合评估水果新鲜度、成熟度、口感、风味、色泽、安全指数等方面的贮藏保鲜体系。

### 参考文献

- [1] 高行恩,赵敏,季倩楠.健康饮食理念下调味方式的改革与创新[J].中国调味品,2015,40(1):128-130.  
Gao XE, Zhao M, Ji QN. Reform and innovation of seasoning ways under the concept of healthy diet [J]. China Cond, 2015, 40(1): 128-130.

- [2] 中华人民共和国国家统计局. 2018年中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.  
The Nation Bureau of Statistics. China statistical yearbook of 2018 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.
- [3] 王中林. 猕猴桃气调保鲜储藏技术[J]. 科学种养, 2016, (3): 60-61.  
Wang ZL. Atmosphere package preservation and storage technology of kiwifruit [J]. Sci Breed, 2016, (3): 60-61.
- [4] 李元亭, 李桂云, 黄永红. 几种水果储藏前后营养物质含量的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(22): 240-241.  
Li YL, Li GY, Huang YH. A comparative study of nutrient content in several fruits before and after storage [J]. J Anhui Agric Sci, 2015, 43(22): 240-241.
- [5] 任猛, 左秋杰, 阚苗. 热带水果在冰箱中储存研究[J]. 家电科技, 2018, (2): 73-75.  
Ren M, Zuo QJ, Kan M. Study on mango storage conditions in refrigerator [J]. Home Appl Technol, 2018, (2): 73-75.
- [6] 宁正祥, 赵谋明, 邝荣泽. 新鲜果蔬保健作用的探讨[J]. 营养学报, 1992, (3): 260-265.  
Ning ZX, Zhao MM, Kuang RZ. Effects of fresh vegetables and fruits on nitrite elimination and antioxidation [J]. Acta Nutr Sin, 1992, (3): 260-265.
- [7] 侯玉婷, 施威, 孔令云, 等. 采后水果保鲜技术研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36, (8): 226-231.  
Hou YT, Shi W, Kong LY, *et al.* Research advances in preservation technology of postharvest fruits [J]. Food Ind, 2015, 36(8): 226-231
- [8] 汤石生, 刘军, 龚丽, 等. 果蔬保鲜贮藏技术研究进展[J]. 现代农业装备, 2018, (4): 67-73.  
Tang SS, Liu J, Gong L, *et al.* Research progress on preservation technology of fruit and vegetable [J]. Agric Prod Process, 2018, (4): 67-73.
- [9] 蒋雨, 艾静汶, 王淋靓. 热带特色水果荔枝与龙眼的采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. 农产品加工, 2016, (1): 63-66.  
Jiang Y, Ai JW, Wang LL. Research progress on postharvest preservation technology of tropical fruit litchi and longan [J]. Farm Prod Process, 2016, (1): 63-66.
- [10] 侯丽君, 刘英梅, 张金华, 等. 生物防腐保鲜膜在水果保鲜中的应用研究[J]. 食品与药品, 2018, 20(4): 271-274.  
Hou LJ, Liu YM, Zhang JH, *et al.* Study on application of biological preservative film in preservation of fruits [J]. Food Drug, 2018, 20(4): 271-274.
- [11] Somya T, Rachna S, Prabhat K, *et al.* Preservation effect of high pressure processing on ascorbic acid of fruits and vegetables: A review [J]. J Food Biochem, 2017, 41(1): 1-14.
- [12] Ahmadi F, Lee YH, Lee WH, *et al.* Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite [J]. J Environ Manag, 2018, 224: 113-121.
- [13] 马修钰, 王建清, 王玉峰, 等. 果蔬保鲜方法概述[J]. 中国果菜, 2016, 36(6): 4-9.  
Ma XY, Wang JQ, Wang YF, *et al.* Preservation technology of fruits and vegetables [J]. China Fruit Veg, 2016, 36(6): 4-9.
- [14] 许弯, 张菊华. 采后水果保鲜技术研究进展[J]. 湖南农业科学, 2018, (8): 116-118, 122.  
Xu W, Zhang JH. Research advances in preservation technology of postharvest fruits [J]. Hunan Agric Sci, 2018, (8): 116-118, 122.
- [15] 张慙, 刘倩. 国内外果蔬保鲜技术及其发展趋势[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(8): 785-792.  
Zhang M, Liu Q. Study on present situation and development trends of fruit & vegetable preservation in the world [J]. J Food Sci Biotechnol, 2014, 33(8): 785-792.
- [16] Farhad A, Youn HL, Won HL, *et al.* Long-term anaerobic conservation of fruit and vegetable discards without or with moisture adjustment after aerobic preservation with sodium metabisulfite [J]. Waste Manag, 2019, 87: 113.
- [17] Pandiselvam R, Subhashini S, Banuu PEP, *et al.* Ozone based food preservation: a promising green technology for enhanced food safety [J]. Ozone: Sci Eng, 2018, 41(1): 1-18.
- [18] Min-Ji K, An DS, Lee DS. Modified atmosphere container with time - controlled gas - diffusion tube for preserving fresh produce [J]. J Food Process Eng, 2013, 36(5): 694-703.
- [19] 程丽林, 吴波, 袁海君, 等. 鲜切果蔬贮藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2019, (1): 147-152.  
Cheng LL, Wu B, Yuan HJ, *et al.* Advances in the storage and preservation technology of fresh-cut fruits and vegetables [J]. Stor Process, 2019, (1): 147-152.
- [20] 杨胜平, 谢晶, 钱韻芳, 等. 鲜剂涂膜与 MAP 保鲜“妃子笑”荔枝[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 279-283.  
Yang SP, Xie J, Qian YF, *et al.* Preservation of litchi with composite chitosan coating and modified atmosphere packaging [J]. Food Sci, 2013, 34(8): 279-283.
- [21] Mahajan PV, 卢光. 用受控气氛和低温延长荔枝果实的贮藏期[J]. 热带农业工程, 2005, (2): 30-36.  
Mahajan PV, Lu G. Extension the storage period of litchi fruit by controlled atmosphere and low temperature [J]. Trop Agric Eng, 2005, (2): 30-36.
- [22] 张梅坤. 低温保鲜处理对东魁杨梅果实的影响[J]. 福建林业科技, 2018, 45(2): 68-72.  
Zhang MK. Effect of low temperature preservation treatment on fruit of Dongkui bayberry [J]. J Fujian Forest Sci Technol, 2018, 45(2): 68-72.
- [23] Zhang M, Tao Q, Huan YJ, *et al.* Effect of temperature control and high humidity on the preservation of Jufeng grapes [J]. Int Agrophys, 2002, 16(4): 25-28.
- [24] 朱丹, 李丽娟, 黄毕生. 水果保鲜技术研究进展[J]. 大理学院学报, 2013, 12(4): 55-57.  
Zhu D, Li LJ, Huang BS. Research progress on preservation of fruits [J]. J Dali Univ, 2013, 12(4): 55-57.
- [25] 王磊. 西红柿臭氧保鲜实验研究[J]. 包装工程, 2005, (1): 14-16.  
Wang L. Experimental research on tomatoes ozone fresh-keeping [J]. Packag Eng, 2005, (1): 14-16.
- [26] Marcin G, Richard C, Deborah R. The use of ozone to extend the shelf - life and maintain quality of fresh produce [J]. J Sci Food Agric, 2015, 95(4): 662-671.
- [27] Predmore A, Sanglay G, Li JR, *et al.* Control of human norovirus surrogates in fresh foods by gaseous ozone and a proposed mechanism of inactivation [J]. Food Microbiol, 2015, 50: 118-125.
- [28] 寇莉萍, 刘兴华, 任亚梅, 等. 采后热处理技术在果蔬贮藏保鲜上的应用[J]. 中国农学通报, 2005, (11): 67-70.

- Kou LP, Liu XH, Ren YM, *et al.* A review of storage fruit and vegetable with heat treatment of postharvest [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2005, (11): 67-70.
- [29] 梁志宏, 吕英忠. 采后热处理技术在果蔬保鲜中的应用[J]. *农产品加工*, 2013, (9): 38-39.
- Liang ZH, Lv YZ. A Review of storage fruit and vegetable with heat treatment of postharvest [J]. *Process Agric Prod*, 2013, (9): 38-39.
- [30] 王传增, 董飞, 张雪丹, 等. 果蔬减压保鲜贮藏研究进展[J]. *农学报*, 2016, 6(03): 68-71.
- Wang CZ, Dong F, Zhang XD, *et al.* Research progress on fruit and vegetable decompression storage [J]. *J Agric*, 2016, 6(3): 68-71.
- [31] Chen HJ, Mao JL, Zheng YH. Effects of hypobaric storage on quality and flesh leatheriness of cold-stored loquat fruit [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2008, 24(6): 245-249.
- [32] 刘铁玲, 孙贵宝, 曹菁. 高压静电场处理番茄贮藏保鲜试验[J]. *农机化研究*, 2010, 32(9): 184-186, 193.
- Liu TL, Sun GB, Cao J. Study on tomato preservation by high voltage electrostatic field [J]. *Agric Mechaniz Res*, 2010, 32(9): 184-186, 193.
- [33] 孙贵宝, 李蓓. 高压静电场处理黄冠梨的贮藏保鲜试验[J]. *农机化研究*, 2009, 31(8): 166-167, 220.
- Sun GB, Li J. Research on storage and preservation of huangguan pear with high voltage electrostatic field [J]. *Agric Mechaniz Res*, 2009, 31(8): 166-167, 220.
- [34] 赵喜亭, 周颖媛, 邵换娟. 果蔬贮藏辐照保鲜技术研究进展[J]. *北方园艺*, 2013, (20): 169-172.
- Zhao XT, Zhou YY, Shao HJ. Advances of irradiated technology in storage and fresh-keeping of fruits and vegetables [J]. *Northern Hortic*, 2013, (20): 169-172.
- [35] 罗美雨, 李文革. 辐照对柑橘保鲜效果的研究[J]. *湖南农业科学*, 2009, (6): 137-138, 142.
- Luo MY, Li WG. Research on storage and preservation of citrus with irradiated technology [J]. *Hunan Agric Sci*, 2009, (6): 137-138, 142.
- [36] 李文生, 王宝刚, 杨军军, 等. 不同剂型二氧化硫对葡萄贮藏效果的影响[J]. *食品科技*, 2013, 38(3): 40-42.
- Li WS, Wang BG, Yang JJ, *et al.* Effect of sulfur dioxide formulation on storage of table grape [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(3): 40-42.
- [37] 董文明, 田素梅, 施忠芬, 等. 1-MCP 处理在低温条件下贮藏对丽江雪桃采后生理的影响[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(23): 127-130.
- Dong WM, Tian SM, Shi ZF, *et al.* Effects of 1-MCP treatment on physiology of Lijiang snow peach fruits during cold storage [J]. *Food Res Dev*, 2014, 35(23): 127-130.
- [38] Environmental Botany. Researchers at Shanxi university target environmental botany (identification of miRNAs involved in SO<sub>2</sub> preservation in *Vitis vinifera* L. by deep sequencing) [Z]. 2018.
- [39] 张亚波, 郭志军, 权伍荣. 果蔬贮藏保鲜技术的研究现状和发展趋势[J]. *延边大学学报*, 2009, 31(1): 71-76.
- Zhang YB, Guo ZJ, Quan WR. Research present situation and trend of sevelopmeng of fruits and vegetables store and maintaining freshness [J]. *J Agric Sci Yanbian Univ*, 2009, 31(1): 71-76.
- [40] Fernanda G. Biodegradable packaging and edible coating for fresh-cut fruits and vegetables [J]. *Italian J Food Sci*, 2015, 27(1): 1-18.
- [41] 魏晶晶, 钱静, 王志敏. 丝素蛋白改性涂膜处理对番茄保鲜效果研究[J]. *食品科技*, 2018, 43(5): 26-30.
- Wei JJ, Qian J, Wang ZM. Effect of silk fibroin modified chitosan-cerium composite coating on tomato preservation [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(5): 26-30.
- [42] 何忠伟, 何彩梅, 吴桂容, 等. 壳聚糖复合涂膜对中田大山楂的保鲜效果[J]. *北方园艺*, 2017, (20): 135-139.
- He ZW, He CM, Wu GR, *et al.* Preservative effect of chitosan complex film on Zhongtian big hawthorn [J]. *North Hortic*, 2017, (20): 135-139.
- [43] 吴安君, 李瑜. 果蔬涂膜保鲜的研究现状[J]. *粮油加工*, 2009, (3): 134-137.
- Wu AJ, Li Y. Research on preservation of fruits and vegetables by coating [J]. *Cere Oils Process*, 2009, (3): 134-137.
- [44] 张有林. 猕猴桃低温、气调、保鲜剂复合贮藏保鲜技术[J]. *农业工程学报*, 2002, (4): 138-141.
- Zhang YL. Combined technology of kiwifruit storage and freshness-keeping with freshness-keeping reagent at low temperature and modified atmosphere [J]. *Trans Chin Soc Agr Eng*, 2002, (4): 138-141.
- [45] 方海峰, 薛伟. 常温下壳聚糖涂膜对蓝莓保鲜效果的研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(16): 5243-5245.
- Fang HF, Xie W. Preservation of chitosan coating to blueberries under room temperature [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2014, 42(16): 5243-5245.
- [46] 江敏, 胡小军, 赖静方, 等. 高良姜提取物-海藻酸钠涂膜保鲜芒果的研究[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(8): 152-155.
- Jiang M, Hu XJ, Lai JF, *et al.* Effect of coating with galangal extract-sodium alginate on mango fruit during storage at room temperature [J]. *Food Res Dev*, 2011, 32(8): 152-155.
- [47] Maqbool M, Ali A, Alderson PG, *et al.* Postharvest application of gum Arabic and essential oils for controlling anthracnose and quality of banana and papaya during cold storage [J]. *Postharv Biol Technol*, 2011, 62(1): 71-76.
- [48] Xu S, Chen X, Sun DW. Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature [J]. *J Food Eng*, 2001, 50(4): 211-216.
- [49] Guerra IC, De-Oliveira PD, Al DSP, *et al.* Coatings comprising chitosan and *Mentha piperita* L. or *Mentha x villosa* Huds essential oils to prevent common postharvest mold infections and maintain the quality of cherry tomato fruit [J]. *Int J Food Microbiol*, 2015, (214): 168-178.
- [50] 王刚霞, 席冬华, 吴忠红, 等. 生物保鲜技术在果蔬防腐中的应用及研究进展[J]. *生物技术进展*, 2014, 4(1): 12-16.
- Wang GX, Xi DH, Wu ZH, *et al.* Development of biological technology on fruit and vegetables preservation [J]. *Curr Biotechnol*, 2014, 4(1): 12-16.
- [51] 毕文慧, 姚健, 刘学俊, 等. 微生物在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(20): 347-351.
- Bi WH, Yao J, Liu XJ, *et al.* Application and research progress of microorganism in fruit and vegetable storage [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(20): 347-351.
- [52] 裴炜, 尹京苑, 李标, 等. 生物保鲜剂 R-多糖低温保鲜荔枝的研究[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(5): 121-129.
- Pei Y, Yin JY, Li B, *et al.* Study on the storage of litchi with biological pressvativter-polysaccharide at low temperature [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2012, 12(5): 121-129.
- [53] Chanjirakul K, Wang SY, Wang CY, *et al.* Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries [J]. *Postharv Biol Technol*, 2006, 40: 106-115.

- [54] Rosalia T, Baneras L, Badosa E, *et al.* Bioprotection of golden delicious apples and iceberg lettuce against foodborne bacterial pathogens by lactic acid bacteria [J]. *Int J Food Microbiol*, 2008, 123(2): 50–60.
- [55] 廖妍俨. 生物保鲜技术在果蔬贮藏保鲜中的应用[J]. *贵州化工*, 2012, 37(4): 27–29.  
Liao YY. Application of biological technology on fruit and vegetable preservation [J]. *Guizhou Chem Ind*, 2012, 37(4): 27–29.
- [56] 蔡路响, 吕艳芳, 李学鹏, 等. 复合生物保鲜技术及其在生鲜食品中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(10): 380–384.  
Cai LJ, Lv YF, Li XP, *et al.* Research progress in application of complex biological preservation technology in the fresh food [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(10): 380–384.
- [57] 王安建, 侯传伟, 魏书信. 生物技术在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. *河南农业科学*, 2009, (9): 171–173.  
Wang AJ, Hou CW, Wei SX. Application of biotechnology in fresh-keeping of fruits and vegetables [J]. *J Henan Agric Sci*, 2009, (9): 171–173.
- [58] Yin XR, Zhang Y, Zhang B, *et al.* Effects of acetylsalicylic acid on kiwifruit ethylene biosynthesis and signaling components [J]. *Postharv Biol Technol*, 2013, 83(2): 27–33.
- [59] 宋俊岐, 邱并生, 王荣, 等. 通过表达 ACC 脱氨酶基因控制番茄果实的成熟[J]. *生物工程学报*, 1998, (1): 35–40.  
Song JQ, Qiu BS, Wang R, *et al.* The manipulation and modification of fruit ripening by expression of ACC deaminase gene in tomato [J]. *Chin J Biotechnol*, 1998, (1): 35–40.
- [60] 龚霄, 游玉明, 史沁红. 酶制剂在食品保鲜中应用研究[J]. *粮食与油脂*, 2007, (11): 36–38.  
Gong X, You YM, Shi QH. Application of enzymatic preparation in food preservation [J]. *Cere Oils*, 2007, (11): 36–38.
- [61] 张远. 酶制剂在食品保鲜中的应用[J]. *食品与药品*, 2005, (3): 26–29.  
Zhang Y. The application of enzymatic preparation in food preservation [J]. *Food Drug*, 2005, (3): 26–29.
- [62] 韩亮亮. 酶制剂在食品加工保鲜与检测中的应用[J]. *现代食品*, 2016, (18): 22–23.  
Han LL. Application of enzyme in food processing preservation and detection [J]. *Mod Food*, 2016, (18): 22–23.

(责任编辑: 韩晓红)

### 作者简介



汤乐金, 主要研究方向为食品安全农药残留研究。

E-mail: pawwcg@mail.nankai.edu.cn