

# 鲜食无花果贮藏保鲜技术研究进展

颜道民<sup>1</sup>, 尹金晶<sup>1</sup>, 唐晋文<sup>1</sup>, 曾照中<sup>1</sup>, 李嘉康<sup>1</sup>, 侯爱香<sup>2\*</sup>

(1. 湖南农业大学国际学院, 长沙 410128; 2. 湖南农业大学食品科技学院, 长沙 410128)

**摘要:** 无花果营养丰富, 在中国的栽培不断扩大, 具有广阔的市场潜力, 但无花果鲜果的贮藏保鲜是影响无花果产业发展的重要限制因素。本文概述了鲜食无花果的贮藏特性及影响因素, 同时分别对鲜食无花果目前采用的物理保鲜、化学保鲜、生物保鲜、复合保鲜技术以及其他新的保鲜技术研究进行了总结, 以期为无花果的高效贮藏保鲜提供参考。

**关键词:** 鲜食无花果; 贮藏; 保鲜

## Research advances on storage and fresh-keeping technology of fresh *Ficus carica*

YAN Dao-Min<sup>1</sup>, YIN Jin-Jing<sup>1</sup>, TANG Jin-Wen<sup>1</sup>, ZENG Zhao-Zhong<sup>1</sup>, LI Jia-Kang<sup>1</sup>, HOU Ai-Xiang<sup>2\*</sup>

(1. International College, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**ABSTRACT:** *Ficus carica*, a nutritious plant, expansively cultivated in China, has a broad market potential. However, the storage and preservation of fresh *Ficus carica* is an important limiting factor of its industry. The paper overviewd preservation conditions of the fresh fig as well as its influence factors, and summarized kinds of current preservation methods, including physical preservation technology, chemical preservation technology, biological preservation technology, composite technology and other new preservation technologies, so as to provide references for storage and preservation of *Ficus carica*.

**KEY WORDS:** fresh *Ficus carica*; storage; preservation

## 1 引言

无花果(*Ficus carica*)属桑科榕属植物, 是包含经济价值、生态价值、观赏价值和保健功能的一种优良灌木种类<sup>[1,2]</sup>。原产于地中海东部和小亚细亚一带, 在汉代左右传入中国, 种植与繁育历史悠久, 其经济、营养、生态和药用价值不断被发掘, 尤其近年来研究者对其中功能性成分及其机制的研究日益深入<sup>[3]</sup>。我国无花果种植主要在新疆、山东、四川、广东、福建等地, 年产量约4-5万吨, 具有较

大的市场潜力<sup>[4]</sup>。但是无花果鲜果的贮藏保鲜是影响无花果产业进一步发展的主要限制因素, 无花果鲜果在采后易出现果皮褐变、快速老化皱缩、发酵和腐烂变质等问题<sup>[5]</sup>。

本文对近些年鲜食无花果贮藏保鲜技术的研究进行综述, 以期为无花果的高效贮藏保鲜提供参考。

## 2 鲜食无花果的贮藏特性及影响因素

### 2.1 鲜食无花果的贮藏特性

无花果属于呼吸跃变型果实, 但不完全类似猕猴桃

基金项目: 湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目(334)

Fund: Supported by the Undergraduate Research-based Learning and Innovative Experimental Program of Hunan Province (334)

\*通讯作者: 侯爱香, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品生物技术、食品文化。E-mial: aixianghou@163.com

\*Corresponding author: HOU Ai-Xiang, Ph.D, Lecturer, College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China. E-mial: aixianghou@163.com

和香蕉等典型呼吸跃变型果实“绿熟采摘,后熟食用”的特点,而兼具非呼吸跃变型果实的特点,即无花果果实后熟现象不明显,需在一定成熟度下采摘。在采摘后随着无花果呼吸强度,乙烯释放量的逐渐上升,果实软化、老化和腐烂过程十分迅速<sup>[5]</sup>。

## 2.2 影响无花果贮藏的关键因素

影响无花果贮藏效果的因素是多方面的,为更好地保藏、运输和加工无花果,应当在无花果采后贮藏的温度、湿度、气体浓度和环境净度以及采前管理和品种改造这几个关键环节和因素里注意各个指标变化对保藏无花果果实的影响。

### 2.2.1 贮藏温度

贮藏温度是影响无花果贮藏效果最重要的因素,主要是影响无花果呼吸作用从而影响其采后状态。无花果采后贮藏温度高,呼吸作用强,果实中水分和养分的流失消耗加速;贮藏温度低,综合代谢水平下降,同时无花果抗寒冻能力较强,在 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时依旧能良好贮藏<sup>[6]</sup>。合理设定贮藏温度可以有效减少无花果褐变并延长无花果货架期。

### 2.2.2 相对湿度

相对湿度是影响无花果贮藏效果的另一重要因素。通常85%~95%是贮藏无花果的适宜相对湿度。在这样的高湿度环境下,当环境温度的上下浮动超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时会在果实表面出现结露现象。成型水珠会促使细菌、真菌繁殖,影响商品价值<sup>[7]</sup>。相对湿度过低,或通风频率过高,果皮果实会出现失水收缩并加速褐变,商品价值降低。

### 2.2.3 气体浓度

贮藏环境中的各气体成分组成及其浓度同样直接关系到采后无花果果实的呼吸作用,对无花果采后商品价值的保持具有重要影响。合理设定贮藏环节中气体的组成和浓度可以有效抑制呼吸,减少病虫害进而延长贮藏期。通常 $\text{O}_2$ 浓度小于5%时呼吸作用会显著降低,但过低的 $\text{O}_2$ 浓度会引起无氧呼吸而产生乙醛等物质造成低氧伤害,总的来说,在合理的低温贮藏环境下, $\text{O}_2$ 浓度控制在5%~10%, $\text{CO}_2$ 控制在12%~20%可以较好地延长无花果的保藏期<sup>[8]</sup>。

### 2.2.4 环境净度

环境净度是贮藏各类水果的最基本的要求,其贮藏净度标准包括贮藏环境和果实本身的干净程度。整洁卫生的贮藏环境,完整干净的果体可以减少各种微生物的繁殖和扩散,是减少贮藏病害的重要因素。

### 2.2.5 品种及采前管理

不同品种的无花果的耐贮性不一样,张明<sup>[9]</sup>以“波姬红”、“青皮”、“布兰德克”3个品种的无花果为试验材料,发现“布兰德克”是最耐贮品种,最佳贮藏温度是 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[7]</sup>。此外,无花果采前的光照、温度、水分、土地肥沃程度、病虫害防治以及栽培修剪花果管理等环节影响着果实品质,与果实的生长成熟关系紧密,主要通过果实表皮的构成和

完整程度、干物质含量以及微生物附着量等因素影响果蔬的贮藏性能。黄鹏<sup>[10]</sup>研究,以“布兰德克”为试材,增施钾肥可以提高无花果果实品质与贮藏性,以每年每株施加 $1.0\text{ kg}$ 氯化钾2次为最佳。

## 3 鲜食无花果贮藏保鲜技术

为保持新鲜无花果的品质并延长货架期,国内外科研工作者以无花果腐败劣变机制为根本,从各个影响因素着手对其贮藏保鲜技术进行了较为广泛的研究和讨论,发现了多种有效的贮藏保鲜技术,根据不同技术的原理可以分为物理保鲜技术、化学保鲜技术、复合保鲜技术和其他新型保鲜技术。其中物理保藏方法包括低温贮藏、变温贮藏、气调保鲜等,化学保鲜方法包括1-甲基环丙烯处理、钙处理和生物保鲜方法。

### 3.1 物理保鲜技术

#### 3.1.1 低温贮藏

无花果贮藏保鲜最常用的方法是控制低温条件,不过具体参数随品种、产地、果实成熟度和贮藏时间长短的不同而存在差异。马俊等<sup>[11]</sup>在以新疆生产的阿图什无花果为对象的研究中发现,低温储藏相比于常温贮藏的无花果保鲜效果明显更好。张明<sup>[9]</sup>在研究中发现“波姬红”、“青皮”、“布兰德克”最适贮藏温度为 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。与 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 对照组相比,在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏的3种类型无花果果实比自身类型的无花果果实软化率明显下降,同时 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 果实内过氧化氢酶(catalase, CAT)、过氧化物酶(peroxidase, POD)等酶活性显著高于其他组。廖亮等<sup>[12]</sup>和唐霞等<sup>[13]</sup>分别对新疆早黄无花果和“波姬红”为实验材料发现了同样的实验结果,低温贮藏的无花果生化反应水平明显下降,与对照组相比延缓了无花果果实的衰老腐败进程。因此,在不会对无花果造成冷害或冻害的低温贮藏,可以尽可能降低贮藏温度。

#### 3.1.2 变温贮藏

变温贮藏无花果的主要技术包括热刺激处理和冷刺激处理。热刺激处理是对采后蔬果以适宜温度处理,可以钝化酶活、减少病虫害、促进蜡质合成,影响蛋白质合成、组织软化和呼吸情况以延缓衰老,维持鲜食无花果品质<sup>[14]</sup>。应铁进等<sup>[15]</sup>研究发现无花果采用6%  $\text{CaCl}_2$ 溶液或 $43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热水处理后在相同条件下( $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ )贮藏,果实保存效果明显优于钙化处理。欧高政等<sup>[16]</sup>研究综合对比了冰水混合物冷激处理和 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴浸泡热激处理,发现热激和冷激可以显著抑制无花果腐烂指数和丙二醛含量的上升,其中冷激处理 $1.5\text{ h}$ 的保鲜效果最好。陈益鏊<sup>[17]</sup>的报告与上述实验结果类似,冷藏使用聚乙烯薄膜包装并 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热水处理 $5\text{ min}$ 后的无花果其腐烂率和保鲜效果明显优于其他处理。同样,李芳等<sup>[18]</sup>研究对无花果进行时长 $9\text{ s}$ 的 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 漂烫可以有效破坏过氧化物酶活性,之后经过预冷再 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 速冻可以较

好地保存无花果的感官品质。

### 3.1.3 气调贮藏

气调贮藏是一种得到深入研究和广泛推广的水果采后保鲜技术,通过各种手段来实现对果实储存环境的气体成分调整<sup>[19]</sup>。在适宜的氧气和二氧化碳浓度环境下,果实可以在不影响食品品质的前提下尽可能地降低生化反应,保持果实硬度和营养,降低营养素消耗和有害物质的生成。赵伟君<sup>[8]</sup>研究在 0℃的情况下,氧气浓度在 2%~5%情况下保存效果最好,无花果呼吸强度、腐烂指数和 Vc 含量情况均优于其他氧气浓度。蔡子康<sup>[20]</sup>的研究与赵伟君相似,气调包装 CO<sub>2</sub>(19%±0.5%)浓度和 O<sub>2</sub>(3%±0.5%)浓度情况下可以减少失重率并有助于维持无花果较高的营养价值。国外学者 Bahar 等<sup>[21]</sup>同样通过不同受控气氛条件发现贮藏无花果时,在一定条件下随着环境 CO<sub>2</sub> 的浓度增加贮藏无花果果实损伤程度下降。另外, Celia 等<sup>[22]</sup>通过控制环境 SO<sub>2</sub> 含量的变化,探究了 SO<sub>2</sub> 浓度对抑制无花果腐烂并延长其货架期的作用。

### 3.1.4 臭氧保鲜

臭氧又称超氧,具有较强的抑菌和杀菌能力,是一种新型、高效又环保的杀菌剂,在餐饮、医疗等多种行业中有广泛利用价值<sup>[23]</sup>。因此,臭氧运用在果蔬贮藏保鲜上同样可以达到维持产品品质,减少腐烂和延长贮藏期的作用<sup>[24]</sup>。严圆等<sup>[25]</sup>研究发现,无花果冷藏前采用臭氧处理可以抑制果实腐烂率和保持好果率,但单一使用臭氧处理会降低冷藏后果实 Vc 含量。张晓娜<sup>[26]</sup>研究在无花果贮藏期 25 d 内,12.84 mg/m<sup>3</sup> 的臭氧浓度最有利于无花果贮藏保鲜。杨清蕊<sup>[27]</sup>创新使用臭氧冰膜手段对鲜食无花果进行贮藏,更好地达到了均匀保藏无花果的目的,与对照组相比果实失重率、腐烂率明显下降,同时更好控制呼吸速率、抑制乙烯释放,并延缓多种抗氧化酶活性的下降。另外,蒋家伟等<sup>[28]</sup>研究了不同频次臭氧处理对无花果冷藏保鲜的影响,推测其最佳效果与臭氧时间点的选择有关。

### 3.1.5 薄膜保鲜

薄膜保鲜可以构建一种将食品 and 外界环境隔开的屏障,以保护食品减少受到外界微生物、粉尘和空气的影响。滑艳稳等<sup>[29]</sup>研究了使用市售聚乙烯薄膜包装鲜食无花果可以适度延长无花果的保鲜期。国外研究者 Villalobos 等<sup>[30,31]</sup>研究了拥有不同数量大小气孔的聚乙烯薄膜对保藏鲜食无花果的作用,在相同条件下孔径 100 μm, 3 个/cm<sup>3</sup> 的聚乙烯薄膜可以有效减少鲜食无花果重量损失并延迟其受真菌污染的时间,同时对鲜食无花果本身香味没有影响。

## 3.2 化学保鲜技术

### 3.2.1 钙处理和氯处理

钙与果蔬内部结构及其变化关系紧密,果蔬采后经过钙处理可以提高果蔬内部钙含量,增加果蔬硬度,抑制呼吸作用和乙烯生成,并达到一定的延长果蔬贮藏期的作

用<sup>[32-34]</sup>。钙处理已经用于桃果<sup>[35,36]</sup>、苹果<sup>[37,38]</sup>和枣果实<sup>[39]</sup>等水果的贮藏保鲜,并取得了可观的保鲜效果。应铁进等<sup>[15]</sup>研究将采后无花果置于 6%氯化钙溶液中浸泡 15 min 可以减少呼吸作用强度,延迟乙烯峰浓度出现并缓解贮藏期间的果实软化。黄鹏<sup>[40]</sup>研究了钙和萘乙酸对无花果贮藏品质的综合影响,并找到在 1.0%氯化钙与 30 mg/mL 萘乙酸共同处理的情况下,处理的无花果果实贮藏效果最好。张冬梅等<sup>[41]</sup>研究采后无花果果实经过氯处理同样能达到维持无花果硬度,降低无花果失重率和可溶性固形物含量的作用,以提高其贮藏品质,并发现经过 80 mg/L 二氧化氯处理的效果最好。另外国外学者 Irfan 等<sup>[42]</sup>从微生物角度研究了 4%氯化钙处理预处理鲜食无花果可以有效抑制好氧细菌、酵母菌和霉菌的生长,延长无花果采后货架期。

### 3.2.2 1-甲基环丙烯处理

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropylene, 1-MCP)是一种乙烯抑制剂,且在适宜浓度下安全无毒<sup>[43]</sup>。1-MCP 技术用于果蔬保鲜在今年内得到了国内外研究者的广泛研究关注,并发现其机制主要通过抑制果蔬呼吸作用并抑制乙烯与受体结合而达到保护果蔬组织结构<sup>[44-46]</sup>。王磊等<sup>[47]</sup>研究,在使用 1.5 μL/L 的 1-MCP 浸泡处理 24 h 后的无花果,其乙烯释放高峰比对照组推迟了 5 d,延缓了无花果衰老过程,增加了贮藏时间。韩璐等<sup>[48]</sup>研究的与王磊相似,同样是在 1.5 μL/L 的 1-MCP 处理情况下无花果贮藏效果最好。张晓娜<sup>[26]</sup>同样采用各种浓度 1-MCP 处理无花果,并检测了无花果硬度、腐烂率和多种抗氧化酶活力,其最佳效果浓度与上述实验一致。外国学者 Freiman 等<sup>[49]</sup>同样研究了 1-MCP 对保藏无花果果实的作用,在采前经过 1-MCP 处理的无花果采后发育成熟速度明显降低,极大延长了无花果的货架期,减少了软化率和腐败率。

## 3.3 生物保鲜方法

生物保鲜剂是近年兴起能用于食品抗菌保鲜的动植物源提取物。壳聚糖是一种阳离子多糖,广泛存在与许多甲壳类动物中,具有很好的抗菌性、生物相容性和安全性,近年得到了较为广泛研究并应用于食品、医药和农业等方面<sup>[50]</sup>。李元会<sup>[7]</sup>使用壳聚糖处理对“波姬红”无花果进行涂膜处理发现其可以延缓无花果硬度、糖含量还有 Vc 含量的下降,减少果实腐烂,推迟呼吸高峰和乙烯释放高峰的出现,延长其贮藏期并筛选出最适宜壳聚糖处理浓度为 2.5%。孟宪昉等<sup>[51]</sup>的研究也同样发现无花果涂膜处理可以有效防止无花果失重率的增加,有助于贮藏期间维持无花果品质的稳定。马肖静等<sup>[52]</sup>和王国武等<sup>[53]</sup>的研究类似,针对“布兰瑞克”品种使用 1.5%壳聚糖处理鲜食无花果可以有效延长无花果贮藏期。可以发现不同种类无花果果肉组织结构、表皮厚度和采时成熟情况等存在一定差异,最佳的壳聚糖处理浓度在生产上需要针对具体情况分析。

另外,许多植物提取物同样表现出具有防腐保鲜,延长果蔬贮藏期的功能。张合亮等<sup>[54]</sup>研究不同浓度的无花果自身叶片醇提取物在4℃贮藏条件下无花果贮藏效果的区别,发现5%的无花果叶醇提取物可以有效减少无花果失重率、腐烂率和可溶性固形物含量,延长了无花果的贮藏期。Tripathi等<sup>[55]</sup>研究从生姜中提取的精油对采后的葡萄进行涂膜处理,其与对照组相比葡萄浆果出现灰霉病症的时间延后了10d,无花果表皮与葡萄同样柔软脆弱易产生灰霉等真菌病害,生姜提取物在鲜食无花果保鲜上的运用值得深入研究关注。同时,已有冀晓磊等<sup>[56]</sup>将柳叶、苦芥子、苦豆子和生姜提取物亚麻胶结合进行无花果鲜果的涂膜保鲜比较实验,发现在常温下0.1%亚麻胶+0.05%生姜提取物制作的涂膜的保鲜效果最好。另外赵贵红<sup>[57]</sup>研究植酸、丁香和五味子提取物均有利于无花果的贮藏保鲜。

### 3.4 复合保鲜技术

混合保鲜技术是对无花果保鲜技术进一步探索和尝试,叶文斌<sup>[58]</sup>研究,利用葫芦巴胶和中草药纹党为膜基质,配合CaCl<sub>2</sub>、甘油、柠檬酸为膜助剂配合制成的可食用复合膜用于无花果常温(25~28℃)贮藏保鲜,其6d后涂膜组好果率明显高于未处理对照组,并实验获取了最佳的膜各成分比例参数。滑艳稳等<sup>[29]</sup>研究了聚乙烯醇薄膜结合谷氨酰胺转化酶改性大豆蛋白对无花果的保藏效果优于市售的普通聚乙烯薄膜。国外学者Mariadel等<sup>[59]</sup>研究结合脱脂豆粕提取物的聚乙烯薄膜拥有优于普通聚乙烯薄膜的贮藏无花果特性。

### 3.5 其他保鲜技术

纳米材料技术是材料技术上的重大突破,其在鲜食果蔬保鲜领域上也有明显优势。蔡子康<sup>[20]</sup>研究确定纳米粒子含量为10% Ag、5% TiO<sub>2</sub>、2.5% ZnO和5%高岭土的纳米包装材料对无花果的失重率和腐烂率抑制效果最好。Kong等<sup>[60]</sup>研究将无花果贮藏于纳米级雾状环境中同样可以减少果实失重和腐烂,并避免传统冷藏贮存无花果方法中产生的减重和冷害。

## 4 结论与展望

物理保鲜方法与化学保鲜方法各具优势,可结合实际生产条件和产品特性选择合适的保鲜技术。根据无花果贮藏特性和采后生理特点,结合物理化学保鲜技术,利用二者优势研发操作简单、成本低、贮藏时间长、对果实品质没有危害的环境友好型综合保鲜技术将是提高无花果贮藏技术的一个有前景的发展方向。

此外,对于无花果采后生理衰老、黄酮降解、内含物下降和抗氧化系统调控机制有待探索,不同贮藏保鲜技术对鲜食无花果果实品质的影响也有待深入研究,这将为探索新型无花果保鲜技术奠定基础。同时,由于无花果的种

植和采收具有较强的地域性和季节性,如何适应市场要求将无花果静态保鲜技术和动态物流运输结合将是促进无花果产业发展的关键问题。

### 参考文献

- [1] Deepa P, Sowndhararajan K, Kim S, et al. A role of *Ficus*, species in the management of diabetes mellitus: A review [J]. *J Ethnopharm*, 2018, 215: 210–232.
- [2] Corlett RT. Figs (*Ficus*, Moraceae) in Urban Hong Kong, south China [J]. *Biotropica*, 2006, 38(1): 116–121.
- [3] 王伟, 陈逢佳, 潘勋剑, 等. 无花果营养成分与健康相关性的研究进展 [J]. *浙江农业科学*, 2018, 59(1): 113–115, 119.  
Wang W, Chen FJ, Pan XJ, et al. Research progress on the relationship between nutritional components of *Ficus carica* and health [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2018, 59(1): 113–115, 119.
- [4] 周爱琴, 李春丽, 王然, 等. 无花果果实发育形态学观察 [J]. *北京农学院学报*, 2016, 31(4): 17–20.  
Zhou AQ, Li CL, Wang R, et al. Morphological observation on fig fruit development [J]. *J Beijing Univ Agric*, 2016, 31(4): 17–20.
- [5] 沈元月. 我国无花果发展现状、问题及对策 [J]. *中国园艺文摘*, 2018, 43(2): 75–78, 122.  
Shen YY. Current situation, problems and countermeasures of fig development in China [J]. *Chin Horticul Abstr*, 2018, 43(2): 75–78, 122.
- [6] Sozzig O, Abraj N, Trincherio GD, et al. Postharvest response of 'brown Turkey' figs (*Ficus carica* L.) to the inhibition of ethylene perception [J]. *J Sci Food Agric*, 2005, 85(14): 2503–2508.
- [7] 李元会. 1-MCP及壳聚糖处理对无花果贮藏品质及生理的影响 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.  
Li YH. Effects of 1-MCP and chitosan treatment on storage quality and physiology of fig [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2016.
- [8] 赵伟君. 不同气调条件及臭氧处理对无花果贮藏生理及品质的影响 [D]. 保定: 河北农业大学, 2015.  
Zhao WJ. Effects of different controlled atmosphere and ozone treatment on physiology and quality of fig storage [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2015.
- [9] 张明. 不同品种无花果采后生理及贮藏品质变化的研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2013.  
Zhang M. Study on the change of postharvest physiology and storage quality of different *Ficus carica* L. varieties [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2013.
- [10] 黄鹏. 增施钾肥对无花果贮藏品质的影响 [J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(6): 24–27.  
Huang P. Effects of application of potassium fertilizer on fruit storage of *Ficus carica* [J]. *J Northwest Forest Univ*, 2007, 22(6): 24–27.
- [11] 马骏, 孙宝亚, 关文强, 等. 阿图什无花果贮藏保鲜试验初报 [J]. *保鲜与加工*, 2009, 9(2): 48–50.  
Ma J, Sun BY, Guan WQ, et al. Preliminary experiment of preservation of atushi fig [J]. *Stor Process*, 2009, 9(2): 48–50.
- [12] 廖亮, 李瑾瑜, 马红艳, 等. 贮藏温度和成熟度对新疆早黄无花果采后生理的影响 [J]. *核农学报*, 2016, 30(2): 282–287.  
Liao L, Li JY, Ma HY, et al. Effects of storage temperature and maturity on postharvest physiology of early yellow fig in Xinjiang [J]. *J Nucl Agric*

- Sci, 2016, 30(2): 282–287.
- [13] 唐霞, 张明, 马俊莲, 等. 适宜贮藏温度保持鲜无花果品质[J]. 农业工程学报, 2015, (12): 282–287.  
Tang X, Zhang M, Ma JL, *et al.* Appropriate stored temperature to maintain quality of fresh figs fruits [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2015, 31(12): 282–287.
- [14] Yang HJ. Effect of Variable temperature heat treatment on life characteristics of postharvest tomato [J]. J Eng Thermophys, 2012, 33(10): 1667–1670.
- [15] 应铁进, 傅红霞, 程文虹. 钙和热激处理对无花果的采后生理效应和保鲜效果[J]. 食品科学, 2003, 24(7): 149–152.  
Ying TJ, Fu HX, Chen WH. Postharvest physiological and fresh-keeping effects of calcium and heat shock treatment on fig [J]. Food Sci, 2003, 24(7): 149–152.
- [16] 欧高政, 袁亚芳, 张盛旺, 等. 不同处理对无花果保鲜效果的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(34): 19575–19576.  
Ou GZ, Yuan YF, Zhang SW, *et al.* Study on fresh keeping effect of different treatments on *Ficus carica* L [J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38(34): 19575–19576.
- [17] 陈益盛. 无花果保鲜方法比较试验[J]. 中国南方果树, 2013, 42(2): 88–89.  
Chen YL. A comparative experiment on preservation methods of figs [J]. Fruit Trees Southern China, 2013, 42(2): 88–89.
- [18] 李芳, 孔令明, 宋曼, 等. 速冻无花果保鲜工艺的研究[J]. 食品工业, 2014, (9): 70–74.  
Li F, Kong LM, Song M, *et al.* Study on processing of quick-freezing fig for fresh-keeping [J]. Food Ind, 2014, (9): 70–74.
- [19] 戚英伟, 田建文, 王春良. 水果气调贮藏保鲜研究进展[J]. 保鲜与加工, 2014, (4): 53–58.  
Qi YW, Tian JW, Wang CL. Research advances in modified atmosphere preservation of fruits [J]. Stor Process, 2014, (4): 53–58.
- [20] 蔡子康. 气调包装和纳米材料包装对无花果采后品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.  
Cai ZK. Effects of modified atmosphere packaging and nano-material packaging on preservation quality of postharvest fig fruit [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [21] Bahar A, Lichter A. Effect of controlled atmosphere on the storage potential of ottomanit fig fruit [J]. Sci Hortic, 2018, 227: 196–201.
- [22] Celia MC, Lluís P, Bremer V, *et al.* Evaluation of the use of sulfur dioxide to reduce postharvest losses on dark and green figs [J]. Postharv Biol Technol, 2011, 59(2): 150–158.
- [23] Sharma M, Hudson JB. Ozone gas is an effective and practical antibacterial agent [J]. Am J Infect Control, 2008, 36(8): 560–563.
- [24] 邹凯, 赵东方, 胡蓉, 等. 臭氧在鲜切果蔬保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2012, 33(14): 376–379.  
Zou K, Zhao DF, Hu R, *et al.* Application of ozone in fresh-cut fruits and vegetables [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(14): 376–379.
- [25] 严圆, 柳宁, 张云, 等. ‘玛斯义·陶芬’无花果冷藏期代谢特性及对不同保鲜处理的反应[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(17): 159–163.  
Yan Y, Liu N, Zhang Y, *et al.* Ripening behavior of fig (*Ficus carica* L. cv. masui dauphine) fruits to different treatments in cold storage [J]. Food Res Dev, 2015, 36(17): 159–163.
- [26] 张晓娜. 1-MCP和臭氧处理对无花果贮藏生理及品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.  
Zhang XN. Effects of 1-MCP and ozone treatment on physiology and quality of figs during the storage [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2011.
- [27] 杨清蕊. 不同温度和臭氧冰膜处理对无花果贮藏生理及品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.  
Yang QR. Effects of different temperatures and ozone ice film treatment on fig storage physiology and quality [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2012.
- [28] 蒋家伟, 翁渝洁, 赵敏, 等. 臭氧不同频次处理对无花果冷藏期保鲜效果的影响[J]. 中国食品添加剂, 2014, (9): 127–132.  
Jiang JW, Weng YJ, Zhao M, *et al.* Effect of different frequency treatment with ozone on preservation of figs in cold storage [J]. China Food Addit, 2014, (9): 127–132.
- [29] 滑艳稳, 申亚倩, 安永超. 不同保鲜薄膜对无花果保鲜性能的比较研究[J]. 包装学报, 2014, 6(2): 6–11.  
Hua YW, Shen YQ, An YC. Comparative study of figs preservation with different fresh keeping films [J]. Packag J, 2014, 6(2): 6–11.
- [30] Villalobos, María DC, Serradilla, *et al.* Use of equilibrium modified atmosphere packaging for preservation of ‘San Antonio’ and ‘Banane’ breba crops (*Ficus carica* L.) [J]. Postharv Biol Technol, 2014, 98: 14–22.
- [31] Villalobos MC, Serradilla MJ, Martín A, *et al.* Influence of modified atmosphere packaging (MAP) on aroma quality of figs (*Ficus carica* L.) [J]. Postharv Biol Technol, 2018, 136: 145–151.
- [32] 王大伟, 向延菊. 采后钙处理对新疆和田地区冬枣贮藏特性的影响[J]. 食品工业, 2016, 37(8): 92–95.  
Wang DW, Xiang YJ. Influence of calcium treatment on storage characteristic of the postharvest fruits of *Zizyphus jujube* mill. cv. dongzao in Hetian of Xinjiang [J]. Food Ind, 2016, 37(8): 92–95.
- [33] 韩红艳, 于继洲, 智海英. 钙处理对水果耐贮性的影响[J]. 河北果树, 2003, (4): 1–3.  
Han HY, Yu XZ, Zhi HY. Effect of calcium treatment on storage tolerance of fruits [J]. HeBei Fruits, 2003, (4): 1–3.
- [34] Shiva R, Majid R, Asghar R. Comparison of nano-calcium and calcium chloride spray on postharvest quality and cell wall enzymes activity in apple cv. red delicious [J]. Sci Hortic, 2018, 240: 57–64.
- [35] 韩龙慧. 氮钙互作对设施油桃果实品质及光合特性的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2014.  
Han LH. Effects of N-Ca interaction on fruit quality and photosynthetic characteristics of Nectarine in greenhouse [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2014.
- [36] 方庆, 尚霄丽, 张建鹏. 钙处理对‘3-18’桃果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2015, (4): 22–25.  
Fang Q, Shang XL, Zhang JP. Effect of calcium treatment on fruit quality of 3-18 peach [J]. Northern Hortic, 2015, (4): 22–25.
- [37] 聂佩显, 余赞美, 王兆顺, 等. 不同钙制剂和喷施时间对苹果苦痘病发病率及果实品质的影响[J]. 河北农业科学, 2017, 21(4): 47–49, 103.  
Nie PX, Yu XM, Wang ZS, *et al.* Effects of different calcium preparations and spraying time on the incidence of Apple bitter pox and fruit quality [J]. Hebei Agric Sci, 2017, 21(4): 47–49, 103.
- [38] 欧志锋. 钙处理对红富士苹果果实品质及贮藏性的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.  
Ou ZF. Effect of calcium treatment on fruit quality and storability of red

- fuji apple [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014.
- [39] 支欢欢, 刘琦琦, 徐娟, 等. 微酸电解水结合不同钙源处理改善“尖脆”枣果实采后货架品质[J]. 现代食品科技, 2018, 34(9): 45–50, 214.
- Zhi HH, Liu QQ, Xu J, *et al.* Microacid electrolytic water combined with different calcium source treatment improves the shelf quality of "sharp and crisp" jujube fruit after harvest [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2018, 34(9): 45–50, 214.
- [40] 黄鹏. 采前钙和萘乙酸处理对无花果贮藏品质的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(5): 97–101.
- Huang P. Effects of pre-harvest calcium and naphthalene acetic acid treatment on storage quality of figs [J]. *J Zhongnan Univ Forest Sci Technol*, 2008, 28(5): 97–101.
- [41] 张冬梅, 杨震, 卫晓英, 等. 不同浓度二氧化氯对无花果流通过程中贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2016, (8): 127–130.
- Zhang DM, Yang Z, Wei XY, *et al.* The effect of different concentration of chlorine dioxide on storage quality of figs during circulation [J]. *North Hortic*, 2016, (8): 127–130.
- [42] Irfan PK, Vanjakshi V, Prakash MNK, *et al.* Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life [J]. *Postharv Biol Technol*, 2013, 82(4): 70–75.
- [43] Sisler EC, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments [J]. *Physiol Plantar*, 1997, 100(3): 577–582.
- [44] Pongprasert N, Srilaong V. A novel technique using 1-MCP microbubbles for delaying postharvest ripening of banana fruit [J]. *Postharv Biol Technol*, 2014, 95: 42–45.
- [45] Salazar J, Jorquera C, Campos-Vargas R, *et al.* Effect of the application timing of 1-MCP on postharvest traits and sensory quality of a yellow-fleshed kiwifruit [J]. *Sci Hortic*, 2019, 244: 82–87.
- [46] Sisler EC. The discovery and development of compounds counteracting ethylene at the receptor level [J]. *Biotechnol Adv*, 2006, 24(4): 357–367.
- [47] 王磊, 张子德, 张晓娜, 等. 1-MCP 处理对无花果采后乙烯生物合成代谢的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(4): 119–124.
- Wang L, Zhang ZD, Zhang XN, *et al.* Effects of 1-MCP treatment on ethylene biosynthesis and metabolism of Postharvest figs [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2013, 13(4): 119–124.
- [48] 韩璐, 苑社强, 张晓娜, 等. 1-MCP 处理对无花果贮藏品质及采后生理的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 339–341.
- Han L, Yuan SQ, Zhang XN, *et al.* Effect of 1-MCP treatment on storage quality and postharvest physiology of fig fruits [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(3): 339–341.
- [49] Freiman ZE, Rodov V, Yablovitz Z, *et al.* Preharvest application of 1-methylcyclopropene inhibits ripening and improves keeping quality of 'brown turkey' figs (*Ficus carica* L.) [J]. *Sci Hortic*, 2012, 138(138): 266–272.
- [50] Ferreira ARV, Bandarra NM, Moldo-Martins M, *et al.* Fucopol and chitosan bilayer films for walnut kernels and oil preservation [J]. *LWT*, 2018, 91: 34–39.
- [51] 孟宪昉, 吴子健, 张晴晴, 等. 壳聚糖涂膜对无花果冷藏保鲜效果的研究[J]. 食品研究与开发, 2014, (7): 114–117.
- Meng XF, Wu ZJ, Zhang QQ, *et al.* Effects of chitosan-coating on cold preservation of *ficus carica* linn [J]. *Food Res Dev*, 2014, (7): 114–117.
- [52] 马肖静, 余东坡, 王兰菊, 等. 壳聚糖涂膜冷藏无花果保鲜效果[J]. 河南农业科学, 2010, 39(12): 111–113.
- Ma XJ, Yu DP, Wang LJ, *et al.* Fresh-keeping effect of chitosan coated figs [J]. *Henan Agric Sci*, 2010, 39(12): 111–113.
- [53] 王国武, 苗厚刚, 邹文娟, 等. 壳聚糖对无花果保鲜效果的影响[J]. 江苏农业科学, 2010, (3): 337–339.
- Wang GW, Miao HG, Zou WJ, *et al.* The effect of chitosan on the preservation of figs [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2010, (3): 337–339.
- [54] 张合亮, 赵祥忠, 宋俊梅. 无花果叶醇提取物在无花果保鲜中的应用研究[J]. 食品科技, 2015, (1): 232–235.
- Zhang HL, Zhao XZ, Song JM. Application research of ethanol extracts of fig leaves on figs preservation [J]. *Food Sci Technol*, 2015, (1): 232–235.
- [55] Tripathi P, Dubey NK, Shukla AK. Use of some essential oils as post-harvest botanical fungicides in the management of grey mould of grapes caused by *Botrytis cinerea* [J]. *World J Microbiol Biotechnol*, 2008, 24(1): 39–46.
- [56] 冀晓磊, 李学文, 陈如春, 等. 无花果生物型保鲜剂保鲜效果初探[J]. 农产品加工, 2011, (11): 74–75, 80.
- Ji XL, Li XW, Chen RC, *et al.* Preliminary study on the preservation effect of fig biotype preservative [J]. *Process Agric Prod*, 2011, (11): 74–75, 80.
- [57] 赵贵红. 化学保鲜剂和中草药提取物对无花果保鲜效果的探讨[J]. 中国果菜, 2005, (2): 32.
- Zhao GH. Study on the effect of chemical preservatives and extracts of Chinese herbal medicine on the preservation of figs [J]. *China Fruits Veget*, 2005, (2): 32.
- [58] 叶文斌. 葫芦巴胶与中草药纹党可食用复合膜对无花果常温贮藏的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(8): 160–166.
- Ye WB. Effects of edible film coating of fenugreek gum with chinese herbal medicine codonopsis [J]. *Acta Agric Boreali-Occident Sin*, 2014, 23(8): 160–166.
- [59] Mariadel CV, Manuel JS, Alberto M, *et al.* Synergism of defatted soybean meal extract and modified atmosphere packaging to preserve the quality of figs (*Ficus carica* L.) [J]. *Postharv Biol Technol*, 2016, 111: 264–273.
- [60] Kong M, Lampinen B, Shackel K, *et al.* Fruit skin side cracking and ostiole-end splitting shorten postharvest life in fresh figs (*Ficus carica* L.), but are reduced by deficit irrigation [J]. *Postharv Biol Technol*, 2013, 85: 154–161.

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介

颜道民, 主要研究方向为食品科学与工程。

E-mail: daomin.yan@qq.com

侯爱香, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品微生物技术、食品文化。

E-mail: aixianghou@163.com