

无花果采后生理和贮藏保鲜研究进展

张雪丹¹, 安 淼¹, 张 倩¹, 孟艳玲², 辛 力¹

(1. 山东省果树研究所, 山东 泰安 271000; 2. 威海市农业科学院, 山东 威海 264200)

摘 要: 无花果具有很高的营养价值和药用价值, 属跃变型果实, 采后易腐烂而难于保存。随着人们对无花果营养价值的深入认识, 无花果的市场需求呈增长趋势。但无花果的采后生理及贮藏保鲜技术仍滞后于产业发展的需要, 是目前制约无花果产业发展的关键问题。本文综述无花果采后的生理变化、主要病害以及贮藏保鲜技术, 着重论述冷藏、1-甲基环丙烯(1-MCP) 处理、气调贮藏、二氧化硫处理、二氧化氯处理等主要措施, 旨在为相关研究和产业发展提供参考。

关键词: 无花果; 采后; 生理; 病害; 贮藏保鲜

Research Advances in Postharvest Physiology and Preservation of Fig Fruits

ZHANG Xue-dan¹, AN Miao¹, ZHANG Qian¹, MENG Yan-ling², XIN Li¹

(1. Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271000, China; 2. Weihai Academy of Agricultural Sciences, Weihai 264200, China)

Abstract: The fig fruits have high nutritional value and medicinal value and are perishable climacteric fruits due to the difficulty in postharvest storage and preservation. Along with deep understanding of its nutritional value, the demand for high-quality figs is growing. Postharvest physiology and storage of figs are critical for the fig-processing industry. The current progress of storage physiology, pathophysiology and storage of postharvest figs is reviewed in this paper. The major technologies currently available for postharvest storage and preservation of figs include 1-MCP treatment, modified atmosphere packaging, SO₂ or ClO₂ treatment, and so on. This review will hopefully provide references for future development and utilization of figs.

Key words: fig fruit; postharvest; physiology; disease; preservation

中图分类号: S663.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)23-0363-07

doi:10.7506/spkx1002-6630-201323072

无花果(*Ficus carica* L.)属桑科(Moraceae)无花果属(*Ficus* L.)植物, 原产于亚洲西南部和地中海东部地区, 现在广泛种植于地中海的大多数国家和美国的加利福尼亚^[1-2]。大约在1000多年前传入我国, 现主要在新疆南部和山东威海等地栽培。根据联合国粮农组织(FAO)统计, 至2010年底世界无花果年产量约106万t, 我国的总产量1万t左右, 栽培面积约2100hm²。

无花果富含维生素、矿物质、脂肪等营养元素, 是钙和纤维素含量最高的果品之一^[3]。另外, 无花果还富含黄酮、多糖、超氧化物歧化酶(SOD)等具有防治心血管疾病和老年性痴呆症的生理活性物质和具有抗癌功效的呋喃香豆素内酯等物质^[4]。研究表明, 无花果不仅具有抗氧化、抗病毒、抗菌、防癌等作用, 还具有降血糖、降低血胆固醇和抗蠕虫的功效^[5-7]。

随着人们对无花果营养价值认识的不断深入, 社会

需求也越来越多, 无花果国内消费市场前景广阔, 故发展无花果种植业潜力巨大。但无花果鲜果成熟衰老快、易腐烂、保存性差, 贮藏、运输困难, 通常只能制成干果, 大大降低了果实的风味和营养价值, 因此研究无花果的贮藏保鲜技术具有重要的经济意义。本文就无花果采后的生理变化、病害及贮藏保鲜技术进行详细综述。

1 采后生理变化

1.1 呼吸作用

尽管无花果乙烯生成量和呼吸速率一直比较平稳, 没有呼吸跃变峰, 但国内外多数研究者仍将其归为呼吸跃变型果实, 这是因为无花果在20℃条件下乙烯生成量和呼吸速率处于中等水平, 乙烯生成量为1.0~10.0μL/(kg·h),

收稿日期: 2012-12-10

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系水果创新团队专项

作者简介: 张雪丹(1983—), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事农产品贮藏与加工研究。E-mail: xuedan0721@163.com

呼吸速率为 $10\sim 20\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})^{[8-10]}$ 。无花果采后其呼吸速率一直下降,且果实贮藏温度越低其呼吸速率越小^[2,10]。

1.2 乙烯生成

无花果采后对乙烯作用不敏感,主要表现在乙烯难以诱导果实的软化和腐烂^[10-11]。但当乙烯或乙烯诱导剂应用于无花果发育的特定阶段时会引发果实成熟和呼吸跃变期以及催化乙烯生成,随之会导致果实色泽、硬度和糖含量的变化^[8,12-13]。比如在无花果预计成熟前15d,使用植物油(橄榄油、菜籽油、豆油、芝麻油等)处理果顶部的果孔,可明显促进果实膨大,提早成熟7~10d,而使用 $100\sim 400\text{L/L}$ 的乙烯利处理,亦可获得同样的催熟效果^[14-15]。

常温下无花果采后2d内乙烯生成速率下降,随后保持稳定,而经冷藏($-0.5\sim 0^\circ\text{C}$)、气调($5\%\sim 10\%\text{ O}_2$, $15\%\sim 20\%\text{ CO}_2$)或远洋集装箱运输处理的果实其乙烯生成速率降低的幅度会更大^[10]。大多数的跃变型果实经乙烯抑制剂1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropane, 1-MCP)处理后乙烯生成速率会降低,但是1-MCP处理的无花果无论是在常温下还是低温下其乙烯生成速率均会增加,同时经橄榄油和1-MCP处理的果实其上升趋势会更加明显,这说明无花果缺乏乙烯生物合成的负反馈调节系统^[10,16-17]。研究者认为乙烯合成系统 I 即在此负反馈调节系统控制下,而乙烯可以负调控乙烯生物合成酶ACC合成酶(ACS)和ACC氧化酶(ACO)的活性及其基因表达^[17-19]。这种现象表明无花果的乙烯生物合成受自动抑制调控,同时缺乏跃变型果实自动催化乙烯生成的能力^[20]。

1.3 果实品质

1.3.1 果实硬度

与大多数呼吸跃变型果实不同,无花果生长的最后阶段果实成熟的同时体积也在膨大。因此,在无花果成熟过程中会伴随着果实成熟和软化细胞壁的分解^[21]。无花果细胞壁的果胶由水溶性果胶(PFW)、酸溶性果胶(PFO)和碱溶性果胶(PFA)组成,虽然PFO是主要成分,但它的含量并不随成熟度的变化而变化,PFW和PFA的含量则随着成熟度的增加而逐渐降低,PFW和PFA的凝胶强度也逐渐降低,因此无花果采后的果实硬度逐渐下降^[22]。另外,无花果果实硬度降低的同时,果实花托和果囊部位的果胶和半纤维素多糖也在发生质和量的变化^[23]。

研究发现,无花果采后放置在较高的贮藏温度下能加速蔗糖和细胞壁水不溶性果胶物质的降解,加速果实的软化^[24],即低温处理能减缓果实硬度的下降速度:果实常温下放置6d后其硬度由 8.9N 下降至 0.5N 左右,而 0°C 条件下冷藏19d后其硬度由 5.5N 降至 1.5N ^[10]。另外,无花果采收的成熟度也大大影响着果实硬度的变化,未成熟果实采收时的硬度较高,但采后硬度快速降低,冷藏6周后果实的硬度与成熟果的硬度相差不大^[10,25]。

1.3.2 固形物和糖含量

影响无花果固形物含量(TSS)的因素很多,即使相同品种的无花果产地不同其含量也有差异,如Ezzat等^[26]发现Sultani果实的TSS为 $11.4\%\sim 15.3\%$,但Amen^[27]检测的Sultani果实的TSS为 $17.8\%\sim 19.1\%$ 。无花果采后TSS逐渐增加,即使对果实进行各种采前或采后处理,也无法阻止TSS升高的趋势,但可以减缓TSS升高的程度。不做任何处理的“无花果”,放置4d后其TSS由 18.02% 增至 21.71% ,而在采前喷施 CaCl_2 和激动素、采后浸泡多菌灵的果实相同条件下TSS含量由 17.82% 上升至 20.12% ^[28]。

总糖含量和其组成成分是判断果实品质的重要因素。生长期时无花果成熟度越高其总糖含量越高,但采收后果实的总糖含量不再增加,因此,若无花果在未成熟时采收将不会达到其最佳风味^[29]。Ersoy等^[30]认为果糖和半乳糖是其主要成分,其次是葡萄糖和蔗糖,而Aljane等^[31]对突尼斯的部分无花果检测发现葡萄糖和果糖是主要的糖物质,其中葡萄糖含量为 $5.05\%\sim 9.62\%$,果糖含量为 $4.7\%\sim 8.29\%$ 。果实采收后蔗糖含量降低,且贮藏温度越高,蔗糖含量以及蔗糖占总糖含量的百分比的下降速度越快^[24]。

1.3.3 果实色泽

色泽和硬度是辨识无花果果实品质的最主要的依据^[20]。无花果果实色泽的变化是由乙烯诱导产生的,这是因为乙烯产生的同时伴随着花青素的合成以及叶绿素和类胡萝卜素的降解^[23]。研究发现,花青素含量的增加呈线性变化,合成色素量取决于光强度和持续时间。果实成熟时,不仅叶绿素a和叶绿素b快速降解, β -胡萝卜素、叶黄素、紫黄素和新黄素等的含量也快速下降,只是其降解速率各不相同。值得注意的是,诱导乙烯生成虽然能提高花青素的生成率,但却不会增加果实色素的总生成量^[32]。

研究发现,无花果果实质量、硬度、色泽、溶性固形物含量、糖、可滴定酸等均受果实栽培品种、成熟度及其两者相互作用的影响,但无花果的呼吸强度不受上述因素的影响。同时,乙烯生成量仅受果实栽培品种和成熟度的单线影响,两者的相互作用并不影响无花果的乙烯生成^[33]。

2 采后病害

无花果在室温下易变质,快速衰老、发酵和腐烂等限制了果实的贮藏期和货架期^[34]。影响无花果果实的五大病害是黑粉病(smud,由黑曲霉及相似霉菌在无花果干果上引起)、黑斑病(alternaria rot,由链格孢霉及其他链格孢属菌引起的并经常与其他真菌如多主枝孢和黑细基格孢等共同作用)、灰霉病(gray mold or Botrytis rot,由灰葡

萄孢菌引起)、无花果内腐病(fig endosepsis, 由串珠镰刀菌和其他镰刀菌属引起)和酸腐病(sour rot or souring, 由汉生酵母属、酵母属、毕赤酵母属或芽孢杆菌属等的各种细菌和酵母菌引起)^[35-37]。其中, 黑斑病和灰霉病是无花果采后的两大主要病害^[38], 黑斑病是成熟无花果果实的主要问题, 特别是雨后采收的果实, 因此建议无花果在果实完全成熟前采收^[37]。灰霉菌可以通过伤害无花果果皮感染果实, 但它也被认为是引起无创伤的无花果腐烂的最重要的病原体之一, 另外, 此病菌也可引起灰霉病肢体枯萎病的扩散, 而灰枯病是引起枯枝的重要原因^[37,39]。

真菌导致的无花果腐烂可使种植者损失极大^[40]。对真菌最敏感的部位是无花果果目, 它既可作为真菌病原体到达果实内腔的通道, 也可作为无花果榕小蜂、露尾虫、牧草虫等昆虫携带真菌孢子至果实内部的通道。另外, 繁殖的各种真菌可以达到果实表皮并对果皮造成潜伏感染或成为孢子聚集地。果目内存有浸泡或喷洒的水溶液的残留水时, 这些残留水可以诱导孢子病原体的萌发, 并在货架期引起果实品质的显著下降。因此, 无花果消毒的最为有效的方式是通过化学药品的熏蒸或雾化来减少真菌接种水平^[39,41]。

3 采后贮藏保鲜技术

3.1 冷藏

无花果对低温不敏感, 不易产生冷害, 最低冷藏温度可达 -2.4°C ^[10]。Claypool 等^[42]认为无花果放置在 5°C 以下的环境中是其保鲜的有效方式, 此时可降低果实的新陈代谢活性。另外, 无花果果实的乙醇和乙醛含量随贮藏温度的变化而不同, 5°C 条件下贮藏的果实乙醇和乙醛含量高于 0°C 条件下贮藏的果实^[43], 且当无花果放置在 5°C 以上的环境时果实对乙烯的敏感性增加^[10], 因此无花果冷藏的适宜温度应控制在 $-2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。许多研究者发现无花果贮藏在 0°C 时可有 $7\sim 10\text{d}$ 的保鲜期^[44-46]。无花果对低温的不敏感可能与其高脂肪氧合酶(LOX)活性或较强的LOX基因表达密切相关, 因为LOX代谢途径产生的超过氧化氢和羟自由基等活性氧物质参与了信号转导, 在抵御低温胁迫过程中具有重要作用^[47-49]。

3.2 1-MCP处理

1-MCP是一种新型的乙烯作用抑制剂, 为含双键的环状碳氢化合物, 以气体状态存在, 具有无味、无毒、生理效应明显等特点^[50]。1-MCP可与果实组织中的乙烯受体发生不可逆性的结合而阻断乙烯与受体的结合, 抑制乙烯诱导的果实成熟与衰老, 因而延缓果实的成熟软化和植物叶片、花芽器官的成熟与衰老^[50-51], 近年已在柿、苹果、鳄梨、梨、香蕉、桃、李、杏和芒果等多种果品上进行广泛研究^[16,52]。

Gözlekçi等^[53]在 20°C 条件下用 10nL/L 的1-MCP处理无花果 12h , 发现1-MCP具有推迟无花果软化的作用。 20°C 条件下 400nL/L 的1-MCP处理无花果“Bianca” 24h , 果实腐烂率下降, 但失重率和可溶性固形物含量略有上升^[54]。 25°C 条件下对无花果“Brown Turkey”进行不同浓度的1-MCP处理, 发现 500nL/L 和 $5\mu\text{L/L}$ 的1-MCP处理果比未进行1-MCP处理和 250nL/L 的1-MCP处理果的乙烯量和呼吸强度高, 但软化速度却变慢^[10]。由此可知, 1-MCP的有效使用浓度根据无花果品种、1-MCP处理温度 and 作用时间等的不同而变化。与其他跃变型果实如苹果、猕猴桃、鳄梨等相比, 1-MCP延缓无花果软化和后熟的作用有限, 贮藏温度对无花果果实硬度和腐烂的影响比使用1-MCP的影响作用更大^[10-11,55-56]。

3.3 气调贮藏

气调贮藏保鲜是当今果蔬贮藏的主要方式之一, 它是将冷藏与气调贮藏相结合, 既能控制果蔬贮藏室的温度, 又能控制气体组成。利用气调包装贮藏保鲜无花果主要有高 CO_2 低 O_2 和高 N_2 低 O_2 两种方法, 研究重点主要集中在气体成分比例和气调包装对贮藏过程中无花果的品质影响。当然, 气调包装最好结合低温冷藏处理, 气调包装的无花果贮藏温度越接近 0°C 果实品质越好^[2]。

Harvey等^[57]研究表明, 高 CO_2 和低 O_2 均能抑制乙烯生成和果实的呼吸作用, 降低果实纤维素酶、多酚氧化酶和过氧化物酶的活力, 保持果实硬度, 从而延缓果实的衰老, 延长货架期。Mathooko等^[38]和Aquino等^[58]均发现当 CO_2 气体增加至 60% 以上时可抑制无花果乙烯的产生和霉菌的生长, 对室温下短期保鲜的无花果品质起到良好的保护作用。

但也并非 CO_2 体积分数越高、 O_2 体积分数越低越有利于无花果的气调贮藏, 多数研究者认为无花果在低于 2% 的 O_2 和(或)高于 25% 的 CO_2 的气体环境里会失去无花果的香气^[59]。Forney等^[60]也指出, 气调贮藏时提高 CO_2 体积分数虽然有利于降低腐烂率, 但是高体积分数的 CO_2 会使果实产生异味的同时引起果实的软化。无花果气调贮藏期间袋内 CO_2 越接近 20% 越好, 当 CO_2 体积分数大于 20% 时则易产生异味^[61-62]。Colelli等^[2,43]认为气调包装袋内的气体成分控制在 $5\%\sim 10\% \text{O}_2$ 和 $15\%\sim 20\% \text{CO}_2$ 时最有利于无花果的贮藏保鲜, 最长可贮藏 $3\sim 4$ 周。

利用高体积分数 N_2 气调处理也可减少无花果表面霉菌引起的腐烂, 如 100% 的 N_2 处理无花果后将其置于 15°C 下贮藏 5d , 果实的腐烂率为 30% , 而其他处理的果实腐烂率为 55% ^[58,63]。 N_2 气调处理还可以降低乙烯释放量, 延缓果实成熟^[38]。无花果经高体积分数 N_2 处理后在货架期变化最大的是失重率增加, 此处理可使果实具有良好的外观且不会产生异味^[63]。

3.4 二氧化硫(SO₂)处理

当前国内外主要将SO₂制剂用于葡萄的防腐保鲜,研究发现SO₂气体不仅对葡萄贮藏中常见的真菌有较强的抑制作用,而且可以降低葡萄的呼吸强度,有利于保持果实的营养和风味^[64]。近年来也有将SO₂应用于香蕉、柠檬、荔枝和木莓等果品中控制果实采后腐烂、贮藏保鲜的研究^[65-68]。

Cantín等^[39]用SO₂熏蒸或结合SO₂释放片双重处理无花果,研究SO₂处理对无花果采后腐烂及品质保持的作用效果。结果显示,25(μL·h)/L SO₂处理在兼顾病害控制与果实伤害方面表现最好,此处理可降低常温果实表面的交链孢霉菌和根霉菌的菌落生长速度,同时还可以降低葡萄孢菌和青霉菌对果实的伤害。de la Plaza室温下对“Melar”无花果进行不高于1.5μL/L的SO₂处理4d,然后-0.5℃贮藏,发现56d后仍能控制果实灰霉病的发生^[69]。

相同条件下,无花果采后致病真菌、酵母菌和细菌等病原菌在20℃的SO₂气体中处理,其存活率要低于0℃处理,因此SO₂处理最好于20℃的温度环境下进行。另外,虽然SO₂熏蒸和SO₂缓释片处理均能降低无花果果实腐烂率、延长果实的货架期,但是在某些条件下,SO₂释放片会增加果皮漂白的发生率^[39]。同臭氧、乙烯吸收剂和高二氧化碳处理相比,二氧化硫处理的无花果果实品质更好^[69]。

3.5 二氧化氯(ClO₂)处理

ClO₂是一种强氧化剂,具有广谱的抗菌性,其氧化能力是氯气的2.5倍^[70]。另外,它不会与含氮化合物或氨反应形成有毒的氯胺化合物。从1998年起FDA允许二氧化氯水溶液用于清洗水果和蔬菜^[71]。

Karabulut等^[34]利用雾化的ClO₂控制黑皮无花果“Bursa Siyahi”的采后病害,300~1000μL/L ClO₂雾化处理无花果60min可显著降低果实的腐烂率,且多是灰霉菌引起的腐烂。研究发现,ClO₂体积分数越高此效果越显著,但500μL/L与1000μL/L的ClO₂作用效果相当。ClO₂处理的无花果无论是在低温下直接贮藏还是再进行气调包装贮藏,不仅果实上的微生物、真菌和细菌总数均显著降低,空气中的微生物数量也显著下降,同时无花果的外观品质和风味品质也得到了很好的保持。

3.6 热激处理和冷激处理

人们在草莓等易腐水果的保鲜研究中发现,热水处理和短时冷激处理均具有延缓果实后熟、延长贮藏寿命的作用^[72-74]。适度的冷激处理或热激处理,能降低无花果果实中部分降解酶的合成速度,从而降低呼吸作用、抑制乙烯释放量,进而抑制丙二醛(MDA)的合成,有效防止膜结构的破坏,延缓果实的成熟衰老^[75-76]。

欧高政等^[75]发现果实完全浸入冰水混合物中冷激处理1.5h能较为有效地降低无花果果实的腐烂指数,抑制无

花果可溶性固形物、可滴定酸及VC含量,贮藏保鲜效果较好。热激处理可减少果实乙烯释放量,可能是因为热激处理抑制了乙烯合成酶(EFE)的活性,由此降低乙烯释放量、推迟乙烯峰的发生、减缓果皮色泽的加深并保持较高的SOD活性,从而减缓果实衰老速度,使其在贮藏期中保持较高的抗病力^[76]。研究发现,热激处理抑制无花果腐烂的效果优于冷激处理,60℃热激处理结合0.5%碳酸钠处理无花果能较好的减少“Niedda Longa”无花果腐烂的发生,贮藏1周后果实腐烂率由对照的26%降为0%,贮藏2周后由对照的50%降为14%^[77]。

作者认为,热激处理和冷激处理虽能在一定程度上减少无花果的腐烂率,延缓果实的成熟衰老,但操作费时费力,适用于实验室研究而不适合无花果大量的贮藏保鲜。另外,若处理后无花果表面未完全晾干、果肉内存有水渍,则易引起腐烂而不利于保存,故不推荐此操作应用于无花果的商业贮藏保鲜。

3.7 涂膜保鲜

相同成熟度的无花果,失水和干瘪是果实腐烂的首要特征^[78],涂膜保鲜在一定程度上可以减少此类腐烂变质的发生率。国内外开发利用较好的涂膜保鲜剂主要是壳聚糖,它可在果蔬表面形成半透膜,减少水分蒸发,同时可以调节果蔬内外的气体交换,使果实内形成一个低O₂高CO₂体积分数环境,抑制采后果蔬的呼吸代谢。壳聚糖还可以堵塞果皮皮孔减少真菌侵染并杀死一些致病菌^[79]。

李月等^[80]将采后无花果浸泡在质量浓度为1.0、1.5g/100mL的壳聚糖溶液进行涂膜2min,发现用1.5g/100mL的壳聚糖溶液处理放置3℃条件下冷藏的无花果果实保鲜效果最好,可有效延长无花果保质期,经过此处理的无花果贮藏12d后,腐烂率仍为0。

3.8 辐射处理

Hamanaka等^[81-82]研究发现红外辐射(IR)可以有效抑制高耐热的微生物孢子(如枯草芽孢杆菌、黑曲霉)的活性,且当IR直接照射至细菌孢子上可使其快速灭亡。当IR结合紫外线照射(UV)时其杀伤性明显加快^[83]。Hamanaka等^[84]认为IR和UV结合处理是去除无花果表面微生物的有效方式,其杀灭真菌的效果要好于IR或UV的单独处理。红外辐射30s后再进行30s的紫外线照射,无花果的腐烂率会大大降低,此处理也不会影响贮藏期间的无花果果实颜色、硬度、呼吸强度等。IR或UV单独处理并不会抑制无花果胶红酵母的活性,但两者结合处理却可以抑制其活性,这可能是因为IR辐射产生的热能量会使此微生物产生亚致死状态,但因IR辐射产生的热能达不到胶红酵母的致死量,但随后的UV照射会破坏它的DNA并抑制其修复致死死亡。

近年来,研究人员为保持无花果采后的果实品质、延长果实贮藏期进行了各方面的探索研究,如采用乙烯

吸收剂 KMnO_4 处理、 CaCl_2 浸泡处理、 NaHCO_3 和 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ 浸泡处理等^[85-88]。也有关于对无花果进行采前处理来提高果实品质、延长贮藏期的报道,如采前喷施 CaCl_2 、萘乙酸、 CaO 等^[89-90]。

总之,无花果采后的贮藏期长短是生理和病理因素共同作用的结果。根据其采后处理方法、贮藏的环境条件(主要是温度)、果实成熟度、品种特性等的不同,果实的良好品质可以保持1~2d至4~6周。

4 结 语

国外现在对无花果采后贮藏保鲜的研究主要集中在贮藏保鲜方法的选择应用与贮藏过程中的硬度、固形物含量、糖等营养成分变化和抑制腐烂效果的研究上,关于无花果采后的呼吸强度、酶活性、细胞壁结构等生理变化的研究较少,对果实的基因表达、调控等方面的研究刚刚开始。

我国对无花果的研究多集中在功能成分的提取和栽培技术的发展方面,采后生理及贮藏保鲜技术研究也稍有涉猎,但与国外同行相比差距较大。笔者认为,只有广泛深入研究无花果采后生理生化的变化规律,并重视采后分子生物学的研究,不断开发新的保鲜贮藏设备和探索新的采后处理措施,才能彻底解决无花果贮藏期短、易腐烂的问题,更好的服务于生产。

综上所述,目前无花果采后保鲜相关研究较少,无花果的贮藏保鲜问题尚未得到根本解决,现在的采前或采后处理措施仅停留在探索的阶段,且各种处理方法均有一定的局限性或缺点,因此,寻找安全、经济、高效的防腐保鲜产品或技术手段仍然是广大无花果保鲜研究者的工作重点。

参考文献:

- [1] DUEÑAS M, ALONSO J J P, BUELGA C S, et al. Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2008, 21: 107-115.
- [2] COLELLI G, MITCHELL F G, KADER A A. Extension of postharvest life of 'mission' figs by CO_2 -enriched atmospheres[J]. Hort Science, 1991, 26(9): 1193-1195.
- [3] JOSEPH B, RAJ S J. Pharmacognostic and phytochemical properties of *Ficus carica* Linn: an overview[J]. International Journal of PharmTech Research, 2011, 3(1): 8-12.
- [4] 余希成, 卢俊, 曹为民. 水溶性无花果多糖的微波提取技术[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(9): 19-23.
- [5] 王桂亭, 王嗒, 宋艳艳, 等. 无花果叶抗单纯疱疹病毒的实验研究[J]. 中药材, 2004, 27: 754-756.
- [6] SOLOMON A, GOLUBOWICZ S, YABLOWICZ Z, et al. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54: 7717-7723.
- [7] JEONG M R, CHA J D, LEE Y E. Antibacterial activity of Korean fig (*Ficus carica* L.) against food poisoning bacteria[J]. Korean Journal of Society of Food and Cookery Science, 2005, 21: 84-93.
- [8] MAREI N, CRANE J C. Growth and respiratory response of fig (*Ficus carica* L. cv. Mission) fruits to ethylene[J]. Plant Physiology, 1971, 48: 249-254.
- [9] KADER A A. Postharvest technology of horticulture crops[M]. California: University of California Division of Agriculture and Natural Resources Publication, 1992: 39-47.
- [10] SOZZI G O, ABRAJÁN V M A, TRINCHERO G D, et al. Postharvest response of 'Brown Turkey' figs (*Ficus carica* L.) to the inhibition of ethylene perception[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85: 2503-2508.
- [11] BLANKENSHIP S M, DOLE J M. 1-Methylcyclopropene: a review[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28: 1-25.
- [12] MAXIE E C, CRANE J C. Effect of ethylene on growth and maturation of the fig (*Ficus carica* L.) fruit[J]. American Society for Horticultural Science, 1968, 92: 255-267.
- [13] MAREI N, ROMANI R. Ethylene stimulated synthesis of ribosomes, ribonucleic acid, and protein in developing fig fruits[J]. Plant Physiology, 1971, 48: 806-808.
- [14] 龙兴桂. 现代中国果树栽培-落叶果树卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 707.
- [15] 董启凤. 中国果树实用新技术大全-落叶果树卷[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 603-617.
- [16] WATKINS C B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables[J]. Biotechnology Advances, 2006, 24: 389-409.
- [17] OWINO W O, MANABE Y, MATHOOKO F M, et al. Regulatory mechanisms of ethylene biosynthesis in response to various stimuli during maturation and ripening in fig fruit (*Ficus carica* L.)[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2006, 44: 335-342.
- [18] DONG J G, FERNANDEZ M J C, YANG S F. Purification and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase from apple fruit[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1992, 89(20): 9789-9793.
- [19] KIM J H, KIM W T, KANG B G. IAA and N (6)-benzyladenine inhibit ethylene-regulated expression of ACC oxidase and ACC synthase genes in mungbean hypocotyls[J]. Plant Cell Physiology, 2001, 42: 1056-1061.
- [20] JULES J. Horticultural reviews, 34[M]. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2008: 150.
- [21] OWINO W O, NAKANO R, KUBO Y, et al. Coordinated expression patterns of genes encoding cell wall modifying enzymes during ripening in distinct anatomical tissue regions of the fig (*Ficus carica* L.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32: 253-261.
- [22] LEVAJ B, BUNIC N, UZELAC V D, et al. Gel strength and sensory attributes of fig (*Ficus carica*) jams and preserves as influenced by ripeness[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(2): 120-124.
- [23] OWINO W O, NAKANO R, KUBO Y, et al. Alterations in cell wall polysaccharides during ripening in distinct anatomical tissue regions of the fig (*Ficus carica* L.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32: 67-77.
- [24] DAIJIRO Y, HITOSHI N. Changes in sugar and polyuronide contents in fig syconia during storage[J]. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology, 2000, 47(4): 333-337.
- [25] TURK R. Effects of harvest time and precooling on fruit quality and cold storage of figs (*F. carica* L. cv. "Bursa Siyahi") [J]. Acta Hort (ISHS), 1982, 58: 279-286.
- [26] EZZAT A H, ABDEL M M N, ELHAM A E M, et al. Effect of irrigation water on growth and fruiting of Sultani fig trees in arid

- areas[J]. The Egyptian Journal of Agricultural Research, 1975, 53(3): 12-15.
- [27] AMEN K I A. Effect of planting density and applications of certain growth regulators on fruit quality and storage ability of Sultani fig cultivars: 1- fruit quality[J]. Assiut Journal of Agricultural Science, 1987, 18 (4): 155-165.
- [28] KUMAR A R. Studies on integrated nutrient and postharvest management of fig (*Ficus carica* L.)[D]. Dharwad: Dharwad University of Agricultural Sciences, 2007: 12.
- [29] RODOV V, PERCELAN J, HOREV B, et al. Development of dark figs for export: I. Optimal picking criteria for the 'Brazilian' variety[J]. Alon-Hanotea, 2002, 56: 372-376.
- [30] ERSOY N, GÖZLEKÇİ S, KAYNAK L. Changes in sugar contents of fig fruit (*Ficus carica* L. Cv. *Bursa siyahı*) during development[J]. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2007, 2(2): 22-26.
- [31] ALJANE F, FERCHICHI A. Postharvest chemical properties and mineral contents of some fig (*Ficus carica* L.) cultivars in Tunisia[J]. Journal of Food Agriculture and Environment, 2009, 7(2): 209-212.
- [32] PUECH A E, REBEIZ C A, CRANE J C. Pigment changes associated with application of ethephon [(2-chloroethyl) phosphonic acid] to fig (*Ficus carica* L.) fruits[J]. Plant Physiology, 1976, 57: 504-509.
- [33] CARLOS H C, VANESSA B, LOUISE F, et al. Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages[J]. Hort Science, 2010, 45(4): 707-710.
- [34] KARABULUT O A, ILHAN K, ARSLAN U, et al. Evaluation of the use of chlorine dioxide by fogging for decreasing postharvest decay of fig[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52: 313-315.
- [35] DOSTER M A, MICHAILIDES T J, MORGAN D P. Aspergillus species and mycotoxins in figs from California orchards[J]. Plant Disease, 1996, 80: 484-489.
- [36] DOSTER M A, MICHAILIDES T J. Fungal decay of first-crop and main-crop figs[J]. Plant Disease, 2007, 91: 1657-1662.
- [37] COVIELLO R, BENTLEY W, MICHAILIDES T, et al. Pest management guidelines: fig[M]. California: UC Statewide Integrated Pest Management Program, Publication, 2009: 10-15
- [38] MATHOOKO F M, SOTOKAWA T, KUBO Y, et al. Retention of freshness in fig fruit by CO₂-enriched atmosphere treatment of modified atmosphere packaging under ambient-temperature[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1993, 62: 661-667.
- [39] CANTÍN C M, PALOU L, BREMER V, et al. Evaluation of the use of sulfur dioxide to reduce postharvest losses on dark and green figs[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59: 150-158.
- [40] MICHAILIDES T J, MORGAN D P, FELTS D, et al. Control of decay in Caprifigs and Calimyrna figs with fungicides[J]. Acta Horticulturae, 2008, 798: 269-275.
- [41] KARABULUT O A, GABLER F M, MANSOUR M, et al. Postharvest ethanol and hot water treatments of table grapes to control gray mold[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 34: 169-177.
- [42] CLAYPOOL L L, OZBEK S. Some influences of temperature and carbon dioxide on the respiration and storage life of the Mission fig[J]. Proceedings of the American Society of Horticultural Science, 1952, 60: 226-230.
- [43] CORELLI G, KADER A A. CO₂-enriched atmospheres reduce postharvest decay and maintain good quality in highly perishable fruits[C]. Brussels, Belgium: Commission of the European Communities, 1994: 137-148.
- [44] CONDIT I J. The fig[M]. New York: Chronica Botanica Co., Waltham, Mass, 1947: 121-127.
- [45] HARDENBURG R E, WATADA A E, WANG C Y. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks[M]. Washington, USA, U.S: Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service, 1986: 40.
- [46] RYALL A L, PENTZER W T. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables 2: fruits and tree nuts[M]. New York: AVI Publishing, Westport, Conn., 1982: 5-30.
- [47] PORTA H, SOSA R M. Plant lipoxygenases: physiological and molecular features[J]. Plant Physiology, 2002, 130: 15-21.
- [48] BLOKHINA O, VIROLAINEN E, FRGERSTEDT K V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review[J]. Annals of Botany, 2003, 91: 179-194.
- [49] LEE S H, AHN S J, IM Y J, et al. Differential impact of low temperature on fatty acid unsaturation and lipoxygenase activity in figleaf gourd and cucumber roots[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2005, 330: 1194-1198.
- [50] SISLER E C, SEREK M. Inhibitors of ethylene responses in plant at the receptor level: recent developments[J]. Physiologia Plantarum, 1997, 100(3): 577-582.
- [51] SISLER E C, SEREK M. Compounds controlling the ethylene receptor[J]. Botanical bulletin of Academia Sinica, 1999, 40: 1-7.
- [52] WATKINS C B. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops[J]. Hort Science, 2008, 43(1): 86-94.
- [53] GÖZLEKÇİ S, ERKAN M, KARAŞAHİN I, et al. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fig (*Ficus carica* CV. Bardaklı) storage[J]. Acta Horticulturae, 2008, 798: 325-330.
- [54] AQUINO S D', PALMA A, DORE A, et al. Non conventional treatments to reduce figs decay[J]. Acta Horticulturae, 2003, 604: 817-821.
- [55] BOQUETE E J, TRINCHERO G D, FRASCHINA A A, et al. Ripening of 'Hayward' kiwifruit treated with 1-methylcyclopropene after cold storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32: 57-65.
- [56] JEONG J, HUBER D J, SARGENT S A. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropene and wax treatments[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28: 248-257.
- [57] HARVEY J M, PENTZER W T. Market diseases of grapes and other small fruits [M]// U.S. DeP Agriculture Handbook: U.S. Department of Agriculture, 2000: 37-39.
- [58] AQUINO S D', PIGA A, MOLINU M G, et al. Maintaining quality attributes of "craxiou de porcu" fresh fig fruit in simulated marketing conditions by modified atmosphere[J]. Acta Horticulturae, 1998, 480: 289-294.
- [59] WATKINS C B. Responses of horticultural commodities to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging[J]. Hort, Technology, 2000, 10(3): 501-506.
- [60] FORNEY C F, KUMUDINI U K G N, JORDAN M A. Effects of postharvest storage condition on firmness of 'Burlington' blueberry fruit[C]. Proceedings 8th North American blueberry Research and Extension Workers Conference, 1998: 227-232.
- [61] 姬长新, 马骏, 关文强, 等. 无花果贮藏保鲜技术[J]. 保鲜与加工, 2007(6): 53.
- [62] 马骏, 陈丽, 关文强, 等. 一种适用于无花果贮藏保鲜的包装及在贮藏保鲜中的应用, 中国: CN201010538807.2[P]. 2010-11-10.
- [63] PIGA A, AQUINO S D, AGABBIO M, et al. Short-term nitrogen atmosphere exposure extends shelf-life of fresh "niedda longa" fig fruits[J]. Acta Horticulturae, 1998, 480: 295-300.
- [64] 袁军伟, 赵建建, 魏建梅, 等. 葡萄采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 河北农业科学, 2009, 13(4): 80-83.
- [65] WILLIAMS O J, RAGHAVAN G S V, GOLDEN K D, et al.

- Postharvest storage of Giant Cavendish bananas using ethylene oxide and sulphur dioxide[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83: 180-186.
- [66] SMILANICK J L, MARGOSAN D A, HENSON D J. Evaluation of heated solutions of sulfur dioxide, ethanol, and hydrogen peroxide to control postharvest green mold of lemons[J]. Plant Disease, 1995, 79: 742-747.
- [67] LICHTER A, DVIR O, ROT I, et al. Hot water brushing: an alternative method to SO₂ fumigation for color retention of litchi fruits[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 18: 235-244.
- [68] SPAYD S E, NORTON R A, HAYRYNEN L D. Influence of sulfur dioxide generators on red raspberry quality during postharvest storage[J]. Journal of Food Science, 1984, 49: 1067-1069.
- [69] de la PLAZA J L D. Sulfur dioxide achieves the long term storage of fresh figs[J]. Acta Horticulturae, 2003, 605: 225-228.
- [70] BENARDE M A, ISRAEL B M, OLIVIERI V P, et al. Efficiency of chlorine dioxide as a bactericide[J]. Applied Microbiology, 1965, 13: 776-780.
- [71] Food and Drug Administration (FDA) Department of Health and Human Services Secondary Direct Food Additive For Human Consumption. 21 CFR. Part 173.300 chlorine dioxide[S]. US, Food and Drug Administration, 1998.
- [72] 杜正顺, 巩惠芳, 汪良驹, 等. 热水预处理对草莓室温贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2008, 8(1): 28-32.
- [73] LARA I, GARCIA P, VENDRELL M. Post-harvest heat treatments modify cell wall composition of stawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2006, 109: 48-53.
- [74] 段学武, 张昭其, 季作梁, 等. 冷激处理对香蕉保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2002, 23(5): 138-141.
- [75] 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; 19660.
- [76] 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.
- [77] MOLINU M, VENDITTI T, DORE A, et al. Postharvest decay reduction of fig fruit (*Ficus carica*) by hot water sodium carbonate solutions dip[J]. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 2006, 71(3): 923-928.
- [78] LIMA L C, DIAS M S C, CASTRO M V D, et al. Post-harvest conservation of unripe figs (*Ficus corica* L.) cv. "Roxo deValinhos" treated with sodium hypochlorite and stored under refrigeration in passive modified atmosphere[J]. Cienciae-Agrotecnologia, 2005, 29: 810-816.
- [79] 李鹏霞, 张兴. 生物源保鲜剂研究评述[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(3): 120-123.
- [80] 李月, 朱启忠, 张立霞, 等. 壳聚糖涂膜对无花果的保鲜效应研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(35): 15691-15692.
- [81] HAMANAKA D, UCHINO T, HU W, YASUNAGA E. Effects of infrared radiation on inactivation of *Bacillus subtilis* and *Aspergillus niger* spore[J]. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 2002, 64(6): 69-75.
- [82] HAMANAKA D, UCHINO T, HU W, et al. Effects of infrared radiation on inactivation and injury of *B. subtilis* and *B. pumilus* spores[J]. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology, 2003, 50: 51-56.
- [83] HAMANAKA D, ATUNGULU G G, TANAKA F, et al. Effect of combining infrared heating with ultraviolet irradiation on inactivation of mold spores[J]. Food Science and Technology Research, 2010, 16(4): 279-284.
- [84] HAMANAKA D, NORIMURA N, BABA N, et al. Surface decontamination of fig fruit by combination of infrared radiation heating with ultraviolet irradiation[J]. Food Control, 2011, 22: 375-380.
- [85] PLAZA J L D, ALIQUE R. Quality and shelf-life improvement of freh fig treated by ethylene absorber and ozone at the chilled state [C]. Morocco, The Fourth International Symposium on Fig Meknès, 2009.
- [86] ANTUNES M D C, OLIVEIRA R, MIGUEL M G, et al. The effect of calcium chloride and thermal postharvest treatments on storage ability and quality of fig fruit[J]. Acta Horticulturae, 2003, 604: 715-719.
- [87] ANTUNES M D C, COSTA P, MIGUEL M G, et al. The effect of postharvest treatments with sodium bicarbonate or acetic acid on storage ability and quality of fig fruit[J]. Acta Horticulturae, 2008, 798: 279-284.
- [88] 吉爱国, 宋淑亮. 无花果保鲜剂及其应用, 中国: CN201110044731.2 [P]. 2011-02-24.
- [89] ANTUNES M D C, MENDONÇA V, MIGUEL M G, et al. The effect of irrigation level and pre-harvest treatments with calcium oxide on storage ability of fig fruits (*Ficus carica* 'Lampa Preta' and 'Bebera Branca')[J]. Acta Horticulturae, 2008, 798: 335-339.
- [90] 黄鹏. 采前钙和苯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.