

水蜜桃采后防腐、保鲜与贮藏研究进展

杜小龙¹, 李建龙^{1*}, 刘影¹, 周卫红¹, 刚成诚¹, 李卉¹, 王亦佳¹, 崔志宽¹,
李阳¹, 赵心语¹, 钱伟东², 俞忠², 何正岳³, 潘斌³, 罗斌³

(1. 南京大学生命科学学院生态学系, 南京 210093; 2. 张家港市作物栽培技术指导站, 张家港 215600;
3. 张家港市凤凰镇农业服务中心, 张家港 215600)

摘 要: 水蜜桃鲜果味美色佳, 营养丰富, 受到市场与消费者广泛认可, 由于本身为跃变呼吸型核果且生产存在较强季节性, 容易在采后迅速腐烂变质, 造成巨大经济损失。随着农业产业及社会经济不断发展, 在逐步深入了解果蔬腐烂机理后, 国内外通过检测相关重要生理指标(失重率、硬度、可溶性固形物含量、相对电导率、呼吸强度、丙二醛含量、多酚氧化酶含量及腐烂指数等), 对水蜜桃保鲜技术进行了多方位探索, 形成部分可初步应用于实际生产的保鲜方法, 依据技术原理主要分为3类, 即物理保鲜方法(温控、气调、吸附材料、紫外辐照与超声波等)、化学保鲜方法(钙调剂、杀菌剂、涂膜技术与生长调节剂等)与生物保鲜方法(植物源中草药保鲜剂、微生物拮抗菌及生物酶制剂等), 在有效性、安全性和经济性上各具特点。在此基础上整合优化形成了少量复合保鲜方法, 具有明显优势, 成为水蜜桃未来防腐保鲜重要研究趋势。本文主要对目前国内水蜜桃防腐保鲜的研究现状、分析方法、实用技术和效果评估进行了概述, 为不断提升果品采后储运品质与效益, 提供科学依据。

关键词: 水蜜桃; 贮藏; 采后防腐与保鲜; 物理保鲜; 化学保鲜; 生物保鲜; 复合保鲜

Research progress of antisepsis, preservation and storage of postharvest juicy peach

DU Xiao-Long¹, LI Jian-Long^{1*}, LIU Ying¹, ZHOU Wei-Hong¹, GANG Cheng-Cheng¹,
LI Hui¹, WANG Yi-Jia¹, CUI Zhi-Kuan¹, LI Yang¹, ZHAO Xin-Yu¹, QIAN Wei-Dong²,
YU Zhong², HE Zheng-Yue³, PAN Bin³, LUO Bin³

(1. Department of Ecology, School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Zhangjiagang City Crop Cultivation Technical Guidance Station, Zhangjiagang, 215600, China; 3. Agriculture Service Center of Fenghuang Town, Zhangjiagang City, Zhangjiagang 215600, China)

ABSTRACT: The fresh fruit of juicy peach is famous for its admirable taste and rich nutrient, which is widely recognized by the market and consumers. Because of its own respiratory peak and the production of strong seasonal, it is liable to decay with the rapid deterioration, resulting in huge economic losses. As the continuous development of agricultural industry and social economy, the peach preservation technology for multi-directional ways have been

基金项目: 苏州市科技计划项目[科技支撑计划-农业项目(SNG201447)、江苏省农业三新工程项目(SXGC[2014]287)、张家港市凤凰水蜜桃营养生理、腐烂机理及保鲜综合技术研究(ZKN1002)、APN 全球变化项目(ARCP2015-03CMY-Li)

Fund: Supported by the Suzhou Science and Technology Project of China (SNG201447), the Jiangsu Province Agricultural Three Renovations Project of China (SXGC [2014]287), the Nutrition Physiology, Decay Mechanism and Comprehensive Preservation Research of Fenghuang Juicy Peach in Zhangjiagang City (ZKN1002) and the APN Global Change Fund Project (ARCP2015-03CMY-Li)

***通讯作者:** 李建龙, 国家长江学者特聘教授, 主要研究方向之一为食品保鲜与加工。E-mail: jlli2008@nju.edu.cn

***Corresponding author:** LI Jian-Long, National Yangtze River Scholar Professor, Department of Ecology, School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China. E-mail: jlli2008@nju.edu.cn

explored through the detection of important physiological indicators (weight loss, hardness, soluble solids content, relative conductivity, respiratory strength, malonaldehyde content, polyphenol oxidase content and decay index, *etc.*) with a gradual understanding of the mechanism of fruit and vegetable decay, which has formed some practical methods in the actual production. Those methods are divided into three categories according to technical principles, which are named physical preservation methods (temperature control, air conditioning, adsorption materials, ultraviolet radiation and ultrasound, *etc.*), chemical preservation methods (calcium regulator, fungicide, coating technology and growth regulators, *etc.*) and biological preservation methods (plant-source Chinese herbal medicine, microbial antagonism bacteria and biological enzyme preparations, *etc.*), which have their own characteristics in the effectiveness, safety and economy. On this basis, the combined preservation methods have been investigated and developed after integration and optimization, which have obvious advantages, and are becoming the important future research trends of antisepsis and preservation of peaches. In this paper, the status quo, analysis methods, practical techniques and effect evaluation of domestic juicy peach preservation were summarized, which can provide scientific evidences for continuously improving the postharvest storage and transportation quality and economic benefit of the fruit.

KEY WORDS: honey peach; storage; postharvest antisepsis and preservation; physical preservation; chemical preservation; biological preservation; combined preservation

1 引言

水蜜桃为食用鲜桃中的优良属种, 口感香甜、肉厚多汁, 深受市场欢迎, 目前主要产于我国华东地区。其营养丰富, 每 100 g 鲜果肉营养成分包括: 水分 87.5 g, 蛋白质 0.8 g, 脂肪 0.1 g, 碳水化合物 10.7 g, 钙 8 mg, 磷 20.0 mg, 铁 1.2 mg, 维生素 B₃(尼克酸) 0.7 mg, 维生素 C(抗坏血酸) 6.0 mg, 维生素 A 原(胡萝卜素) 60 μg, 维生素 B₁(硫胺素) 30 μg 和维生素 B₂(核黄素) 20 μg, 含多种维生素、苹果酸、柠檬酸等, 还含有多种人体必须氨基酸^[1], 其药用、食用及营养价值较高, 蕴藏巨大的农业及商业价值。

由于水蜜桃为多汁肉质核果, 后熟期十分短暂, 采摘后短期内即形成最佳品质; 加之水蜜桃是典型呼吸跃变型果实^[2], 采后营养及水分损失极快, 导致失水变褐, 不耐久藏; 实际生产中, 采运季节常遇湿热天气, 易受病虫害, 从最佳品质至腐烂变质不可食用一般仅为 2~3 d 左右。由此, 严重影响了水蜜桃的商业品质及经济效益, 也影响到农民种植积极性。据统计, 发达国家中由于保鲜技术欠缺导致的水蜜桃腐烂率占 20%~40%, 发展中国家则高达 40%~60%, 是国际上公认的技术难题^[3]。随着人民生活水平提高, 鲜果的品质与营养价值受到广大消费者极大重视。因此, 通过研究果实腐烂机理、发展保鲜技术以提升水蜜桃鲜果品质、延长货架期, 已成为重要的食品研究课题, 其中李建龙课题组完成了张家港市凤凰水蜜桃营养生理、腐烂机理及保鲜综合技术研究, 取得了大量研究成果。本文在课题组已取得成果的基础上, 对国内水蜜桃采后防腐、保鲜与贮藏研究进展综合分析总结, 为深入研发水蜜桃保鲜技术与产品提供一定参考。

2 研究背景及评价指标

在生产上存在多种内部与外部因素共同影响水蜜桃保鲜贮藏。首先, 在内部因素中, 品种本身特性即可造成保鲜时长的差异, 一般中熟及晚熟品种具有较好的耐贮性, 如‘白凤’、‘朝辉’、‘湖景蜜露’和‘白花’等; 而早熟品种则相对不耐贮藏, 如‘春蕾’、‘雪雨露’、‘早花露’和‘朝霞’等^[4,5]。其次, 内源激素的产生及作用在后熟过程中起到重要作用, 典型的包括吲哚乙酸(indole-3-acetic acid, IAA)、脱落酸(abscisic acid, ABA)及乙烯等, 它们大多产生于核仁, 释放至果肉中通过诱导产生活性功能酶对果实的衰老和种子的发育直接调控^[6]。这一类功能酶主要包括多酚氧化酶、过氧化物酶、脂氧合酶及纤维素酶等^[7,8]。在外部因素中, 外源致病菌对果实保鲜贮藏的危害极为明显, 结合本课题组多年研究及其他相关研究^[9-11], 以不同品种水蜜桃为试验材料, 对果实采前及采后病原菌进行分析, 结果表明造成腐烂的关键致病微生物主要为霉菌及酵母菌, 其中霉菌占有主要地位, 包括青霉属(*Penicillium*)、曲霉属(*Aspergillus*)和链格孢属(*Alternaria*)等^[12]。传统研究中, 环境温度和湿度对水蜜桃保鲜产生直观影响, 在不同的温度和湿度条件下水蜜桃果实呼吸强度及蒸腾作用差异显著, 释放产生的热量及水分不同。低温贮藏下的新鲜果品中各组成成分和化学反应受低温抑制减缓, 同时环境中微生物的生长繁殖也受到抑制, 所以保鲜效果较佳^[13]。但由于水溶剂的特殊性质, 果实在 2~5 °C 贮藏反而容易发生冷害^[14,15], 破坏水蜜桃的风味与口感; 同时, 水蜜桃采后贮藏过程中因呼吸作用和蒸腾作用, 营养物质不断消耗, 水分含量持续下降, 导致果实皱缩, 李新平等^[16]研究认为, 一定的相对湿度有

利于果实保鲜,在桃果实进行低温贮藏时,一般控制在 80%~90%的相对湿度^[4]。另一个对水蜜桃保鲜具有重要影响因素是环境中气体组分。孙志文等^[17]认为,贮藏环境中的 O₂/CO₂ 比越高,果实代谢水平越强,越不利于果蔬保鲜贮藏,加速营养物质消耗及果实软化。除此之外,采摘时期果实成熟度也对后期保鲜效果具有重要影响,为延缓呼吸高峰的到来,采收成熟度宜控制在 7~8 成^[18]。

研究水蜜桃防腐保鲜量化程度时,主要考察的重要生理特征指标如表 1 所示^[19]。失重率包含了干重及湿重,用于衡量果实衰老过程中营养与水分的流失程度;硬度是体现水果储运强度的重要指标,其降低的主要原为细胞壁破裂,果皮中纤维素、果胶等成分逐渐水解,继而导致腐烂变质^[20];可溶性固形物即所有溶于水的化合物总称,常指代可溶性糖,是衡量果实主要营养物质含量及成熟度的一个重要指标;维生素 C 在新鲜水蜜桃中大量积累,对果实抗氧化有一定作用^[1],其含量随果实腐烂而显著降低;大多数游离氨基酸在果实衰老过程中作为水解酶加速了物质代谢^[3],从而不利于保鲜;水蜜桃在贮藏过程中,随着细胞膜逐渐破损,细胞内电解质渗出,细胞膜通透性增大,以致果实提取液的电导率显著增高,故测定电导率可侧面反映果实的腐烂程度^[3];在细胞膜脂氧化过程中,丙二醛(malondialdehyde, MDA)的大量积累同样会导致膜通透性上升,造成整体膜系统严重损伤^[21],不利于果实保鲜贮藏;水果褐变中发挥主要作用的酶类即过氧化物酶(peroxidase, POD)与多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO),其氧化酚类物质形成泛醌并生成黑色素^[21],严重影响水蜜桃的外观、风味及营养价值;腐烂指数为感官上综合评价果实总体腐烂程度的一种量化标准,首先依据果实表面腐烂情况分为不同腐烂级别,再利用统计公式(1)进行总体腐烂指数计算,为统一并直观评判果实保鲜效果提供参考。

总体腐烂指数=[Σ(腐烂级数×对应果实数量)]/果实总数×最大腐烂级数

(1)

表 1 水蜜桃防腐保鲜程度主要量化考察指标	
Table 1 Main quantitative indexes in preservation of honey peach	
指标名称	涵义
失重率	果实呼吸及失水程度
硬度	果实耐储运程度
可溶性固形物含量	主要包含可溶性糖含量,体现果实营养含量及成熟度
维生素 C 含量	水蜜桃中大量存在,随果实衰老降低
游离氨基酸	大多为水解酶,加速果实衰老
丙二醛、电导率	细胞膜通透性
过氧化物酶、多酚氧化酶	果实褐变程度
腐烂指数	可对多个果实腐烂程度进行总体感官评估

3 水蜜桃各类保鲜方法及效果

目前,有关水蜜桃的保鲜方法主要可分为 3 类,即物理保鲜法、化学保鲜法和生物保鲜法,它们在有效性、经济性和安全性上各有特点。

3.1 物理保鲜法

3.1.1 温控保鲜法

在物理保鲜方法中,温控保鲜法最为常见,通常利用冰柜和冷库等设备进行水蜜桃低温贮藏,能在高温采摘季节有效延缓水蜜桃腐烂,但果实冷藏时容易出现风味和质地的改变,表现为果肉褐变、果皮革质化以及冻害等^[14,22]。除冷藏外,还衍生出冷激与热激等处理方法,即在果蔬贮藏前进行短时间低温或高温处理,从而达到增强保鲜效果的目的。总体来看,上述方法操作容易、无食用安全隐患,可适用于大规模工厂化生产,但不足的是低温设备采购成本较高,且需要持续电能供应。

王亦佳等^[23]发现对凤凰水蜜桃‘白花’品种(*Prunus persica* cv ‘Bahua’)冷激处理的延缓保鲜效果取决于不同的时长。在 0 ℃下冷激 10 min 可以有效抑制水蜜桃果实呼吸强度、减少丙二醛产生、保持果实硬度并减缓微生物繁殖,从而降低果实的软化和腐烂程度。周涛等^[24]通过对无锡阳山水蜜桃 40 ℃热激处理 24 h,可有效保持果实的硬度、抑制果核中乙烯释放、抑制果皮中纤维素降解并推迟呼吸高峰到来。吴剑等^[25]以‘湖景蜜露’水蜜桃为试验原料,使用热激-冷藏复合保鲜技术,建模分析得出热激温度为 65.1 ℃、热激时间为 13.9 min 和冷藏温度为 4.2 ℃时,可在低温下延缓水蜜桃保鲜期 1~2 周。刚成诚等^[26]以凤凰‘白花’水蜜桃为试验材料,在冷藏条件下,研究了冷激(0 ℃)与热激(40 ℃)处理的保鲜效果差异,发现冷激和热激处理均在水蜜桃保鲜中发挥积极作用,冷激处理更有利于保持果实硬度和抑制氧化酶活性,热激处理则有效降低可溶性固形物流失。

3.1.2 气调包装及可吸附材料

气调包装处理即利用具有气体阻隔性能的包装材料包装鲜果,包含真空包装等技术,被广泛用于水果保鲜中。此法可根据水蜜桃呼吸特性,自主调整各类气体的含量及比例,使果实呼吸和外源微生物繁殖得到抑制,从而达到延缓保鲜时间的效果。在此基础上,为了减缓果实后期自主产生的乙烯气体,推迟呼吸高峰的到来,可适当添加乙烯吸附材料提高保鲜效果,常用活性炭这类纯天然多孔性物质,其具有良好吸附性,能够吸收果实产生的乙烯气体,同时也可吸收水分,保证果实贮藏运输环境相对干燥,抑制致病菌生长。相比传统真空包装无氧环境,特定气体组分环境下,更易遏制果实呼吸作用。

安建申等^[27]采用不同厚度薄膜包装水蜜桃,试验结果表明 0.015 mm 厚度低密度聚乙烯薄膜在 O₂ 为 3%, CO₂

为5%时可显著降低果实失重率。王金花等^[28]以‘湖景蜜露’品种水蜜桃为材料,对果实100%N₂处理6h后进行气调包装,结果显示经N₂预处理的水蜜桃后熟速度明显减缓,对保持膜的完整性具有促进作用;刚成诚等^[29]研究了在冷藏和室温条件下用自发气调包装和乙烯吸收剂处理果实的保鲜效果,无论是在冷藏还是常温条件下,经气调包装和乙烯吸收剂处理的水蜜桃各项指标均优于对照组。李卉等^[30]证实活性炭处理水蜜桃可有效维持果实硬度和抑制丙二醛积累,结合预冷(3℃)处理,常温下可有效推迟呼吸高峰至6d。王亦佳等^[31]将上述气调包装结合乙烯吸附剂的保鲜方法同真空保鲜方法进行比较,结果证实其在各类保鲜参数上更具优势,适合常温下保鲜。除此之外,肖幼年等^[32]还研究了内涂保鲜剂纸板包装盒的保鲜效果,通过常温下(25℃)在宁波奉化水蜜桃的试验及示范,发现纸板内层施用白硅石粉作乙烯吸收剂的基础上,添加0.8%乳酸链球菌素和0.5%纳他霉素溶液涂层可进一步增强水蜜桃保鲜效果。

3.1.3 紫外线杀菌及超声波处理保鲜

紫外短波紫外线(ultraviolet C, UV-C)由于其良好的杀菌消毒作用,成为近年来迅速发展的一种新型保鲜措施,已被证实可有效地提升果实采后抗病性及抑制储藏期间腐烂和病害发生^[33,34]。李卉等^[30]采用0.25 kJ/m²短波紫外线照射水蜜桃3min后,发现处理组在降低失重率和呼吸速率上表现突出,有利于维持细胞膜结构;陈奕兆等^[35]研究发现,1.5 kJ/m²强度紫外辐照对低温下水蜜桃保鲜具有最佳效果;崔志宽等^[36]采用0.25 kJ/m²的UV-C对采后果实进行3min预处理,配合气调包装在常温贮藏下具有明显保持果实硬度和延缓呼吸高峰到来的效果,处理7d后好果率可达80%;张艳珍等^[37]采用1 kJ/m²的紫外线照射3min,之后结合其他生物材料复合涂膜处理果实并于常温下检测各项指标,结果显示紫外照射后结合抗坏血酸、海藻酸钠和溶菌酶的复合涂膜保鲜效果最佳,呼吸高峰可推迟5d。

超声波除能对果蔬进行机械清洗除尘外,其通过电子转移形成空化作用继而产生局部的高压和高温并生成自由基,形成过氧化氢以杀灭致病微生物^[38]。赵心语等^[39]和李卉等^[30]利用25 Hz超声波在40℃温水中处理10min,相比于未处理的对照组,可进一步协助提升各自保鲜方法效果。

3.2 化学保鲜法

3.2.1 钙调保鲜剂

无机钙和有机钙离子可抑制细胞水解酶活性,从而稳定细胞膜结构并影响膜上的调节蛋白,与钙调素一起诱导细胞内一系列生化反应并参与基因表达的调节发挥作用^[40]。李正国等^[41]通过对‘白凤’水蜜桃施用氯化钙溶液,发现能显著抑制果实乙烯合成,从而推迟果实呼吸高峰的出

现。曹永庆等^[42]研究发现对‘白凤’桃树冠喷施硝酸钙可使桃采后硬度提升7.8%,推迟呼吸高峰1d。钙类保鲜剂不仅可适用于水蜜桃采后保鲜,同时也可用于采前的营养补充,提高单果重,增强果实采摘品质^[43],喷剂本身无毒性且成本低廉。

3.2.2 杀菌类保鲜剂

水蜜桃在采后贮藏中,除本身果实的生理变化,外源的致病菌繁殖与侵害成为主要的腐烂原因,通过对采后水蜜桃施用具有抗菌及杀菌作用的保鲜剂,可有效降低水蜜桃的腐烂程度。常见的有弱酸碱类杀菌剂,刚成诚等^[44]将‘白花’水蜜桃浸入质量分数为0.3 g/L的水杨酸溶液15min,发现处理后水蜜桃各类指标均优于对照组,尤其是可溶性糖含量和抑制呼吸强度方面;李卉等^[45]通过在保鲜纸上喷洒抗坏血酸(vitamin C, Vc),结合1%海藻酸钠(sodium alginate, SAA)制备出复合保鲜纸,在常温下对采后‘白花’水蜜桃具有良好的保鲜效果。张小琴等^[46]利用0.1%柠檬酸与1.5%Vc制备可食性膜,可有效维持其良好的理化指标,保持较高的感官品质并使货架期延长至7d。特克多是一种苯并咪唑类杀菌剂,低毒无刺激性,通过与真菌细胞的β-微管蛋白结合影响纺锤体形成,继而抑制真菌增殖,可适用于果蔬保鲜^[47],经1000 μg/mL特克多处理的水蜜桃,低温3℃下储藏4~5周仍可食用,好果率达60%,效果显著,常温25℃贮藏可延长果品货架期至4d左右,具有一定推广价值^[30]。除此之外,臭氧和次氯酸钙因其氧化性也可用于水蜜桃杀菌保鲜,王新颖等^[48]对水蜜桃采用上述溶液清洗使果实表面微生物数量比清洗前明显降低,细菌与真菌总数可减少98.7%、98.4%,该技术可以有效杀灭致病微生物,减缓水蜜桃贮藏中病害形成与蔓延。

3.2.3 涂膜保鲜技术

涂膜保鲜技术就是在果实表面涂上一层高分子液态材料,干燥形成均匀的膜,从而隔离外界气体交换,降低果实呼吸、营养流失和微生物繁殖,达到延缓果实货架期效果。陈奕兆等^[49]利用壳寡糖(chitosan oligosaccharide, COS)和聚乙烯吡咯烷酮(polyvinyl pyrrolidone, PVP)组合复配,得出2 g/100 mL COS与0.1 g/100 mL PVP组合处理凤凰‘白花’水蜜桃保鲜效果最佳,抑制丙二醛产生,对细胞壁、细胞膜的保护效果显著。在此基础上,对不同浓度PVP和壳聚糖(chitosan, CTS)组合保鲜试剂在冷藏(3±1)℃和常温(26±2)℃进行了效果比较,结果显示1%CTS与0.1%PVP涂膜在低温贮藏下应用具有最佳效果^[50]。康若祎等^[51]同样以1%CTS与0.1%PVP涂膜应用于高海拔‘大久保’品种水蜜桃,也使果实货架期在低温贮藏下延长至35d。普鲁兰为一类溶性粘质多糖,可塑性、粘性均较强^[52],崔志宽等^[53]研究证实,2%质量分数的普鲁兰多糖涂膜处理能有效地降低果实的失重率,延缓果实的呼吸高峰,提升果实硬度,提高好果率。周然等^[54]利用壳聚糖材料,结合微酸性电解水处理水蜜桃,发现冷藏下对照组果肉颜色的

L^* 值、 H^* 值、 C^* 值分别是处理组的85%~91%、85%~93%和114%~122%,显著延缓了果肉的变色,有利于水蜜桃风味的保持。

3.2.4 生长调节剂类保鲜剂

生长调节剂即对调节植物及果实等器官发育和后熟等作用的试剂,除直接从植物中提取得到,也存在大量人工合成的化学激素。刚成诚等^[44]对采后凤凰‘白花’水蜜桃施用0.5 g/L赤霉素处理后发现果实各指标均好于对照组;1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)常温下为气体,无毒性,是一类非常有效的乙烯抑制剂,在冷藏条件下,使用1 μ L/L 1-MCP处理水蜜桃24~48 h,能够有效保持果实硬度和可溶性固形物含量,降低腐烂率^[55]。同样,千春录等^[56]使用同样浓度1-MCP处理‘艳红’水蜜桃,也获得了良好效果。但值得注意的是,常温下长期置放于1-MCP环境中的果实呼吸作用显著增强,保鲜效果反而不佳。

3.3 生物保鲜法

3.3.1 植物源中草药保鲜剂

中草药来源广泛、成分天然,作为我国特有的传统医药药材已有几千年的历史,多数中草药中包含活性生物碱物质,对致病菌具有抑制作用,生物碱(alkaloids)是主要存在于植物中的一类含氮的碱性有机化合物,有显著的生物活性。大量抗菌试验结果显示,其对多种病原菌和致腐微生物等具有明显抑制作用^[31,44,57],通过现代工程技术的提取和纯化,制造生产的植物源杀菌剂具有高效、低毒、易降解和环境友好等优点,已成为传统化学杀菌剂的替代品,具有极大开发应用价值。王亦佳等^[58]研究了姜汁对凤凰水蜜桃保鲜的影响,其中,以榨取的新鲜姜汁制备成0.03 g/mL浓度,浸果1 h后能有效控制果实软化与变质。在此基础上对比了姜汁和冷藏保鲜方法^[57],常温下,姜汁浸果处理在短期内保持果实质量和色泽上具有明显优势,在冷藏下适合长期保存。不仅如此,中草药成分也能抑制致病菌生长繁殖,岳秀娟等^[59]利用500 mg/L丙硫唑中药材复配药剂涂抹‘思州’成熟初期水蜜桃果实与果柄,使采摘后果实有效减少腐烂和病害;冯晓元等^[60]发现虎杖、黄柏、厚朴、松萝等中草药提取物对桃褐腐菌有显著抑制作用。相比于传统化学试剂,植物源天然生物保鲜材料的开发及可持续利用对产业及社会具有重要的经济及生态效益。

3.3.2 微生物拮抗菌保鲜

水蜜桃采摘后各类腐烂及病症本质上主要由真菌和细菌感染造成^[3],但也存在对果实保鲜有益的拮抗生防菌,往往同样来自果蔬表面或内源共生,利用微生物间的拮抗作用抑制病原菌生长,可实现“以菌抗菌”的目的。李阳等^[61]和李卉等^[9]在采后‘白花’水蜜桃上分别定植了 5×10^8 CFU/mL的罗伦隐球酵母(*Cryptococcus laurentii*)、季也蒙假丝酵母(*Candida guilliermondii*)和丝孢酵母(*Trichosporon aquatile*),常温下(28~30 $^{\circ}$ C)保存24 h后发现均获得了良好

的保鲜效果,以罗伦隐球酵母保鲜效果为最优,可延缓货架期至7 d左右;王亦佳等^[62]比较了罗伦隐球酵母和枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)配合2%NaHCO₃溶液施用采后水蜜桃的保鲜品质,结果证明上述拮抗菌单独施用效果更佳。对水蜜桃而言,这类工程菌在实际生产中相对安全,几乎不受杀菌剂影响,具有广谱性,是未来生物保鲜的发展趋势。

3.3.3 生物酶制剂保鲜

酶具有高度催化活性,降低反应活化能,促进生命体生理反应进行,也可通过调节特定生理活动以抑制致病微生物繁殖,在果蔬保鲜中,常使用溶菌酶进行抗菌处理。溶菌酶又称N-乙酰胞壁质聚糖水解酶,可水解细菌细胞壁肽聚糖,导致细菌自溶死亡,具有良好杀菌效果,可用于果蔬保鲜防腐。李卉等^[63]在夏季高温条件(30 $\pm$ 5) $^{\circ}$ C下,使用溶菌酶及植酸处理凤凰水蜜桃,结果证实溶菌酶在降低呼吸速率、维持果实硬度等方面均显著优于对照组,可有效提高水蜜桃的耐贮性;张艳珍等^[37]在此基础上采用1 kJ/m²紫外辐照预处理3 min,使溶菌酶在后续杀菌作用中提升了效果,减轻了果实腐败程度。其大规模工业生产容易实现,应用前景十分广阔。

4 总论

水蜜桃防腐保鲜研究是目前果蔬生产领域中难点之一,在夏季高温条件下(35 $\pm$ 5) $^{\circ}$ C,3 d内即达到最高呼吸高峰,形成腐烂并造成大量经济损失,严重影响我国水蜜桃产业发展。目前,应用在水蜜桃保鲜贮藏上的方法技术还不够成熟,遵从高效、无毒、低成本且环保的原则,本文对不同类别(物理、化学与生物)的主流实用保鲜方法进行了分析与总结。在物理方法中,最成熟有效的方法即为温控法,在不考虑果实低温下冻害及风味损失时,此法可最大程度减缓果实呼吸及病菌滋生,使贮藏期达到6周,但需消耗大量能源。此外,综合实验结果证实预冷处理对常温下果实呼吸高峰出现具有抑制作用,特别是早熟品种;气调包装本身在水蜜桃保鲜中效果次于传统化学保鲜法及某些生物保鲜法,但由于成本低廉、简便易行,且结合乙烯吸收剂(活性炭等)能获得较好效果,成本估算仅为400~500元/亩,具有广泛推广的价值,适用大规模工业生产;紫外线与超声波处理为比较新颖的保鲜方法,对致病菌繁殖有一定抑制作用,但单独使用效果具有局限性,在生产中可配合其他处理方法,增强总体保鲜效果。化学保鲜方法效果仅次于冷藏保鲜,各类试剂选择可根据实际成本考虑,虽然使用药品均为食品级,但依旧存在安全问题,各类添加剂使用也使消费者产生抗拒心理,部分保鲜剂使用后果实表面有斑痕,影响果实品相,且激素类试剂容易对生态环境造成影响。相比之下,涂膜保鲜材料近几年来研究较为深入,多采用可食用的粘性材料,安全无毒,具

表 2 部分水蜜桃复合保鲜方法
Table 2 Some combined preservation methods used in honey peach

复合保鲜方法	优点	缺点	备注
低温+气调	有效延缓果实衰老,推迟呼吸高峰到来并抑制致病菌繁殖,使贮藏期达到 6 周以上	低温造成的冻害影响果实风味,冷藏及气调设备成本较高且需持续能源供应	目前市场上最为成熟的保鲜手段,存在大量服务于生鲜果蔬的冷藏及气调库房
紫外线+超声波	工艺简单,能用于大规模工厂化处理	效果不太明显,可配合其他处理方法	相关设备容易获得,具体参数需依据实际测验决定
气调+活性炭	成本低廉、简便易行	不适用于高成熟度果实	均为物理保鲜,在果实采后初期能有效抑制乙烯生成
植物源保鲜剂+保鲜纸/保鲜膜	材料容易获得,成本相对较低,且植物源保鲜剂对环境相对友好	因植物源保鲜提取物多具有浓烈气味,影响水蜜桃风味	目前有关保鲜纸及涂膜的相关研究较多,具有一定基础;植物源保鲜剂制备工艺尚需完善
钙调试剂+特克多	杀菌效果良好,试剂均易获得	钙调试剂处理后果实表面产生斑痕;特克多为杀菌剂,限制使用	相关试剂研发相对成熟,但需考虑安全性
拮抗菌+生物酶制剂	安全有效,相关材料均能被生物降解,不会造成二次污染	拮抗菌筛选、培育、改良和定殖等存在技术难题。	相关研究还包括次生代谢产物、多糖类物质和抗菌肽等

有一定发展潜力。生物保鲜是 21 世纪初提倡的环境友好型新方法,旨在利用生物特性及环境互作关系,从本质上克制致病菌繁殖并增强水蜜桃果实耐贮性,是未来发展的主流趋势,但缺点在于以目前的技术水平,成本难以控制,制备拮抗菌种需大量操作设备,菌种容易退化,一些次级代谢产物的提纯方法也存在技术壁垒,需进一步完善深入相关研究。大量文献表明,结合 2 种及多种保鲜方法产生的综合保鲜措施具有普遍优势,不仅能利用各技术的优点,同时也弥补了部分短板,本文对部分实用复合保鲜方法也进行了总结和归纳,各自特点如表 2 所示。

除此之外,在果实成熟与采摘不同阶段,系统标准化管控水蜜桃品种选育、种植栽培与病虫害防治等过程,使水蜜桃果品保鲜遵从“内治外防,综合互补”的原则,减少流通过程中不必要环节,从而实现农户、经销企业与消费者间“短链对接,互利共赢”的格局。

参考文献

[1] 王光亚. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2009.
Wang GY. Chinese food ingredients [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2009.

[2] 周慧娟, 叶正文, 乔勇进. 不同成熟度水蜜桃果实软化的影响因素[J]. 经济林研究, 2012, 30(1): 67–72.
Zhou HJ, Ye ZW, Qiao YJ. Related factors of soften of honey peach at different maturity [J]. Nonwood Forest Res, 2012, 30(1): 67–72.

[3] Tworowski TJ, Glenn DM. The peach: botany, production and uses [M]. Elsevier: CABI Publishing, 2008.

[4] 颜志梅, 盛宝龙, 赵江涛, 等. 影响桃贮藏保鲜的因素及其综合保鲜技术[J]. 江苏农业科学, 2002, (6): 76–78.
Yan ZM, Sheng BL, Zhao JT, *et al.* Factors affecting the storage and fresh-keeping of peach and its comprehensive fresh-kept techniques [J].

Jiangsu Agric Sci, 2002, (6): 76–78.

[5] 张鑫, 熊彩珍, 顾立明, 等. 不同中晚熟水蜜桃品种的品质性状评价[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(5): 551–556.
Zhang X, Xiong CZ, Gu LM, *et al.* Quality evaluation of different middle and late maturity honey peach cultivars [J]. J Zhejiang Univ (Agric Life Sci), 2011, 37(5): 551–556.

[6] 郭健, 曹珂, 朱更瑞, 等. 蟠桃与圆桃果实 4 种内源激素含量差异分析[J]. 江苏农业科学, 2016, (3): 196–199.
Guo J, Cao K, Zhu GR, *et al.* Analysis of 4 kinds of endogenous hormones in peach fruits [J]. Jiangsu Agric Sci, 2016, (3): 196–199.

[7] Gong DD, Cao SF, Sheng T, *et al.* Effect of blue light on ethylene biosynthesis, signaling and fruit ripening in postharvest peaches [J]. Sci Horti-Amsterdam, 2015, 197: 657–665.

[8] 张雪, 刘志民, 陈华君, 等. 桃果实缝合线软化过程中内源激素的变化[J]. 果树学报, 2008, 25(2): 172–177, 288.
Zhang X, Liu ZM, Chen HJ, *et al.* Changes of endogenous hormones during suture softening of peach fruit [J]. J Fruit Sci, 2008, 25(2): 172–177, 288.

[9] Li H, Li JL, Wang YJ, *et al.* Effects and mechanism compositions of microbiological treatments of antagonists on preservation quality of FengHuang honey peach fruit: A study from a multi-year experiment [J]. Afr J Food Sci Technol, 2016, 3: 42–50.

[10] Usall J, Ippolito A, Sisquella, M, *et al.* Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables [J]. Postharv Biol Technol, 2016, 122: 30–41.

[11] Wisniewski M, Droby S, Norelli, J, *et al.* Alternative management technologies for postharvest disease control: The journey from simplicity to complexity [J]. Postharv Biol Technol, 2016, 122: 3–11.

[12] Bautista B, Silvia. Postharvest decay: control strategies [M]. Burlington: Academic Press, 2014.

[13] 周然, 谢晶. 水蜜桃低温保鲜技术研究进展[J]. 山西农业科学, 2011, 39(6): 622–623, 628.

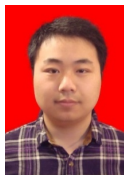
- Zhou R, Xie J. Current preserving technologies of post-harvest peaches under cold storage [J]. J Shanxi Agric Sci, 2011, 39(6): 622–623, 628.
- [14] Lurie S, Crisosto CH. Chnillg injury in peach and nectarine [J]. Postharv Biol Technol, 2005, 37: 195–208.
- [15] 孟雪雁, 岑涛. 桃低温贮藏中生理变化与冷害发的关系[J]. 山西农业大学学报, 2001, 21(3): 268–270.
- Meng XY, Cen T. Relationship between physiological variations and chilling injury in peach at low-temperature [J]. J Shanxi Agric Sci, 2001, 21(3): 268–270.
- [16] 李新平, 严丽. 水果保鲜方法及瓦楞纸箱简述[J]. 包装工程, 2007, 28(1): 116–118.
- Li XP, Yan L. Introduction on fruit preservation methods and fresh-keeping corrugated box [J]. Packag Eng, 2007, 28(1): 116–118.
- [17] 孙志文, 吕凤艳, 郭衍银, 等. 气调中CO₂对西兰花叶绿素降解及保鲜作用[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 313–317.
- Sun ZW, Lv FY, Guo YY, *et al.* Effect of CO₂ concentration in O₂/CO₂ controlled atmosphere on chlorophyll degradation and quality preservation in chilled broccoli [J]. Food Sci, 2016, 37(18): 313–317.
- [18] 宫明波, 位绍文, 于道功, 等. 影响桃保鲜因素及其最佳组合的研究[J]. 中国农学通报, 1998, 14(5): 53–54.
- Gong MB, Wei SW, Yu DG, *et al.* Study on factors affecting peach freshness and its optimal combination [J]. Chin Agric Sci Bull, 1998, 14(5): 53–54.
- [19] Drogoudi P, Pantelidis GE, Goulas V. The appraisal of qualitative parameters and antioxidant contents during postharvest peach fruit ripening underlines the genotype significance [J]. Postharv Biol Technol, 2016, (115): 142–151.
- [20] Hande K, Kazim K, Fath Ü, *et al.* Determining the factors affecting fruit hardness of different peach types with meta analysis [J]. Turkish Sci Tech, 2014, (1): 10–18.
- [21] 程双, 胡文忠, 马跃, 等. 鲜切果蔬酶促褐变发生机理的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 74–77, 80.
- Cheng S, Hu WZ, Ma Y, *et al.* Study on the enzymatic browning mechanism of fresh-cut fruits and vegetables [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 31(1): 74–77, 80.
- [22] 赵心语, 李阳, 李建龙, 等. 不同低温处理对张家港凤凰水蜜桃贮藏效果的对比研究[J]. 天津农业科学, 2014, 20(10): 19–24.
- Zhao XY, Li Y, Li JL, *et al.* Comparative study on the effects of different low-temperature treatments on the fenghuang peach during storage [J]. J Tianjin Agric Sci, 2014, 20(10): 19–24.
- [23] 王亦佳, 刚成诚, 陈奕兆, 等. 不同冷激处理对凤凰水蜜桃保鲜效果的研究[J]. 天津农业科学, 2012, 18(3): 33–38.
- Wang YJ, Gang CC, Chen YZ, *et al.* Study on preservation of Fenghuang juicy peach (*Prunus persica*.cv 'baihua') fruits by cold shock treatment [J]. J Tianjin Agric Sci, 2012, 18(3): 33–38.
- [24] 周涛, 许时婴, 王璋, 等. 热激处理及贮藏温度对水蜜桃果实生理生化变化的影响[J]. 中国南方果树, 2003, 32(2): 39–44.
- Zhou T, Xu SY, Wang Z, *et al.* Effects of hot treatment and storage temperature on the physio-logical and biochemical changes of peach fruits [J]. South China Fruits, 2003, 32(2): 39–44.
- [25] 吴剑, 任芳, 褚伟雄. 热激-冷藏联合处理对水蜜桃保鲜品质的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 176–179, 183.
- Wu J, Ren F, Chu WX. Effect of heat treatment and cold storage on the preservation quality of peach [J]. Food Mach, 2014, 30(5): 176–179, 183.
- [26] 刚成诚, 李建龙, 王亦佳, 等. 利用不同物理方法处理水蜜桃保鲜效果的对比研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 204–207.
- Gang CC, Li JL, Wang YJ, *et al.* A comparative study on the effect of different physical methods on the preservation of juicy peach [J]. Jiangsu Agric Sci, 2012, 40(2): 204–207.
- [27] 安建中, 张慈, 陆起瑞, 等. 不同厚度薄膜气调包装对水蜜桃贮藏品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(3): 76–79.
- An JS, Zhang, Lu QR, *et al.* Effect of different thickness films on the quality of modified atmosphere packaging honey peaches during the storage [J]. J Food Sci Biotechnol, 2005, 24(3): 76–79.
- [28] 王金花, 王杰, 陈文烜, 等. N₂预处理结合MAP复合保鲜处理对水蜜桃贮藏品质、活性氧代谢及能量状态的影响[J]. 中国园艺文摘, 2016, 32(6): 229–230.
- Wang JH, Wang J, Chen WX, *et al.* Effects of N₂ pretreatment combined with map compound preservation on storage quality, active oxygen metabolism and energy status of juicy peach [J]. Chin Horticul Abstracts, 2016, 32(6): 229–230.
- [29] 刚成诚, 李建龙, 王亦佳, 等. 自发气调包装和乙烯吸收剂对水蜜桃贮藏品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 229–232.
- Gang CC, Li JL, Wang YJ, *et al.* Effects of spontaneous atmosphere packaging and ethylene absorbent on storage quality of juicy peach [J]. Jiangsu Agric Sci, 2012, 40(3): 229–232.
- [30] 李卉, 孙政国, 李阳, 等. 新型组合物理方法对凤凰水蜜桃的保鲜效果[J]. 天津农业科学, 2014, 20(4): 31–36.
- Li H, Sun ZG, Li Y, *et al.* Preservation effects of new combination of different physical treatments on fenghuang honey peach quality [J]. J Tianjin Agric Sci, 2014, 20(4): 31–36.
- [31] 王亦佳, 刚成诚, 陈奕兆, 等. 不同处理方法对水蜜桃保鲜效果的综合性研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(4): 249–252.
- Wang YJ, Gang CC, Chen YZ, *et al.* A comprehensive study on the preservation effect of different processing methods on juicy peach [J]. Jiangsu Agric Sci, 2012, 40(4): 249–252.
- [32] 肖功年, 沙力争, 严玲燕, 等. 内层涂保鲜剂纸板包装盒对水蜜桃的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 274–277.
- Xiao GN, Sha LZ, Yan LY, *et al.* Effect of paperboard packaging inner coated with preservation agents on fresh-keeping of honey peach [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(6): 274–277.
- [33] 厉维江, 厉超阳, 谢亚利, 等. 采后UV-C处理对葡萄抗病性和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(9): 5351–5353.
- Li WJ, Li CY, Xia YL, *et al.* Effects on disease resistance and quality in harvested grape by UV-C treatment [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(9): 5351–5353.
- [34] Pan J, Vicente AR, Martlnez GA. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit [J]. J Sci Food Agric, 2004, 84(14): 1831–1838.
- [35] 陈奕兆, 刚成诚, 王亦佳, 等. UV-C处理对水蜜桃常温保鲜效果的研究[J]. 天津农业科学, 2012, 18(4): 11–14.
- Chen YZ, Gang CC, Wang YJ, *et al.* Effects of UV-C treatment on preservation quality of juicy peach fruit at normal temperature [J]. J Tianjin Agric Sci, 2012, 18(4): 11–14.
- [36] 崔志宽, 李阳, 李建龙, 等. UV-C预处理加真空包装组合处理对凤凰水蜜桃保鲜效果的影响[J]. 天津农业科学, 2013, 19(3): 22–27.

- Cui ZK, Li Y, Li JL, *et al.* Effect of UV-C pretreat and vacuum packaging on preservation of fenghuang honey peach [J]. *J Tianjin Agric Sci*, 2013, 19(3): 22–27.
- [37] 张艳珍, 李建龙, 李卉, 等. UV-C 结合生物保鲜剂处理对水蜜桃常温保鲜与贮藏效果研究[J]. *华北农学报*, 2016, (6): 144–150.
- Zhang YZ, Li JL, Li H, *et al.* Effects of UV-C treatment combined with fresh-keeping agent on quality of normal temperature stored honey peach fruit [J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2016, (6): 144–150.
- [38] 赵树南, 张丽芬, 陈复生, 等. 超声波技术在采后果蔬贮藏保鲜中的应用研究[J]. *食品工业*, 2016, (11): 249–253.
- Zhao SN, Zhang LF, Chen FS, *et al.* Study on the application of ultrasonic technology in postharvest fruits and vegetables storage [J]. *Food Ind*, 2016, (11): 249–253.
- [39] 赵心语, 崔志宽, 李阳, 等. 不同结合方法对凤凰水蜜桃采后保鲜品质的研究[J]. *天津农业科学*, 2014, 20(5): 51–56.
- Zhao XY, Cui ZK, Li Y, *et al.* Effects of the new different combining methods on the peach postharvest during storage [J]. *J Tianjin Agric Sci*, 2014, 20(5): 51–56.
- [40] 缪颖, 毛节琦, 叶钢. 采前钙处理对水蜜桃(*Prunus persica* L.)果实软化过程中蛋白质代谢的影响[J]. *浙江农业大学学报*, 1992, (04): 38–42.
- Liao Y, Mao JQ, Ye G. Effect of preharvest calcium treatment on the metabolism of protein in peach fruits (*Prunus persica* L.) during softening [J]. *Agric Life Sci*, 1992, (04): 38–42.
- [41] 李正国, 罗爱民, 刘勤晋. 钙处理对水蜜桃果实成熟的影响[J]. *食品科学*, 2000, (7): 15–16.
- Li ZG, Luo AM, Liu QJ. Effects of calcium treatment on fruit maturation of juicy peach [J]. *Food Sci*, 2000, (7): 15–16.
- [42] 曹永庆, 曹艳平, 李壮, 等. 采前喷钙对溶质桃采后贮藏品质及后熟软化的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2008, 13 (6): 102–108.
- Cao YQ, Cao YP, Li Z, *et al.* Effect of pre-harvest calcium sprays on fruit quality and softening during storage of melting flesh peach [J]. *J China Agric Univ*, 2008, 13 (6): 102–108.
- [43] 李靖, 陈孝兰, 孙淑霞, 等. 外源钙对桃不同部位钙含量及果实品质的影响[J]. *北方园艺*, 2014, (17): 37–39.
- Li J, Chen XL, Sun SX, *et al.* Effect of exogenous calcium on calcium content of different tissues and fruit quality in peach [J]. *Northern Horticul*, 2014, (17): 37–39.
- [44] 刚成诚, 李建龙, 王亦佳, 等. 利用不同化学方法处理水蜜桃保鲜效果的对比研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(6): 269–273.
- Gang CC, Li JL, Wang YJ, *et al.* Effects of different chemical treatment methods on water peach preservation [J]. *Food Sci*, 2012, 33(6): 269–273.
- [45] 李卉, 张艳珍, 王海宏, 等. 海藻酸钠(SAA)复合 Vc 保鲜纸包装处理对采后水蜜桃保鲜效果的对比系统研究[J]. *华北农学报*, 2017, (A1): 195–200.
- Li H, Zhang YZ, Wang HH, *et al.* Comparison of sodium alginate and vc packaging effects on postharvest juicy peaches [J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2017, (A1): 195–200.
- [46] 张小琴, 石磊, 周家华, 等. 可食性膜对鲜切水蜜桃保鲜效果的研究[J]. *河南农业科学*, 2016, (5): 152–156.
- Zhang XQ, Shi L, Zhou JH, *et al.* Effect of edible film on preservative property of peaches [J]. *J Henan Agric Sci*, 2016, (5): 152–156.
- [47] 冯世宏, 杜慧玲, 曹丽云, 等. 果蔬保鲜剂特克多的合成[J]. *食品研究与开发杂志*, 2004, 25(6): 57–58.
- Feng SH, Du HL, Cao LY, *et al.* Fruit and vegetable preservative Tektronix synthesis [J]. *Food Res Dev*, 2004, 25(6): 57–58.
- [48] 王新颖, 江志伟, 方龙音, 等. 氯化物与臭氧水果保鲜方法及杀菌效果探究[J]. *食品工业*, 2014, 35(3): 1–4.
- Wang XY, Jiang ZW, Long FY, *et al.* Chloride and ozone fruit preservation methods and bactericidal effect exploration [J]. *Food Ind*, 2014, 35(3): 1–4.
- [49] 陈奕兆, 王亦佳, 刚成诚, 等. 壳寡糖、PVP 处理对冷藏水蜜桃的保鲜效果比较[J]. *食品科学*, 2013, 34(18): 332–336.
- Chen YZ, Wang YJ, Gang CC, *et al.* Comparison of effectiveness between chitosan oligosaccharide and PVP in preserving juicy peaches during refrigerated storage [J]. *Food Sci*, 2013, 34(18): 332–336.
- [50] 陈奕兆, 刚成诚, 王亦佳, 等. 不同温度条件下 PVP、CTS 涂膜对水蜜桃采后保鲜效果比较[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(5): 213–216.
- Chen YZ, Gang CC, Wang YJ, *et al.* Comparison of the effects of PVP and CTS on the fresh - keeping effect of juicy peach under different temperatures [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2012, 40(5): 213–216.
- [51] 康若玮, 郁志芳, 陆兆新, 等. PVP 对白花水蜜桃品质及贮藏效果的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2005, 28(3): 92–96.
- Kang RW, Yu ZF, Lu ZX, *et al.* Effect of polyvinylpyrrolidone on the quality and storage of Baihua honey peach fruits [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2005, 28(3): 92–96.
- [52] 陈奕兆, 孙政国, 李建龙. 水蜜桃涂膜保鲜技术开发利用的研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2010, 10(5): 48–50.
- Chen YZ, Sun ZG, Li JL. Advances in research of development and application of film preservatives on honey peaches [J]. *Stor Process*, 2010, 10(5): 48–50.
- [53] 崔志宽, 李阳, 李卉, 等. 常温下普鲁兰多糖涂膜处理对凤凰水蜜桃保鲜效果研究[J]. *天津农业科学*, 2013, 19(4): 6–10.
- Cui ZK, Li Y, Li H, *et al.* Study on preservation quality of pullulan on fenghuang juicy peach at normal temperature [J]. *J Tianjin Agric Sci*, 2013, 19(4): 6–10.
- [54] 周然, 谢晶, 高启耀, 等. 微酸性电解水结合壳聚糖对水蜜桃护色保鲜的效果[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(18): 281–286.
- Zhou R, Xie J, Gao QY, *et al.* Effects of slightly acidic electrolyzed water and carboxymethyl chitosan preservative on flesh discoloration of peaches [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2012, 28(18): 281–286.
- [55] 刚成诚, 王亦佳, 陈奕兆, 等. 不同 1-MCP 处理对水蜜桃采后生理及贮藏品质的影响[J]. *天津农业科学*, 2012, 18(3): 26–32.
- Gang CC, Wang YJ, Chen YZ, *et al.* Effect of different 1-mcp treatments on water peach postharvest physiology and quality during storage [J]. *J Tianjin Agric Sci*, 2012, 18(3): 26–32.
- [56] 千春录, 米红波, 何志平, 等. 1-MCP 对水蜜桃冷藏品质和氧化还原水平的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(12): 322–326.
- Qian CL, Mi HB, He ZP, *et al.* Effect of 1-MCP on cold storage quality and redox state of postharvest peach fruits [J]. *Food Sci*, 2013, 34(12): 322–326.
- [57] 王亦佳, 刚成诚, 陈奕兆, 等. 不同优化处理对凤凰水蜜桃保鲜效果的对比研究[J]. *天津农业科学*, 2012, 18(2): 35–41.
- Wang YJ, Gang CC, Chen YZ, *et al.* Comparative effects of different methods on preservation of fenghuang juicy peach fruits [J]. *J Tianjin Agric Sci*, 2012, 18(2): 35–41.
- [58] 王亦佳, 刚成诚, 陈奕兆, 等. 姜汁处理对凤凰水蜜桃保鲜效果的影响

- [J]. 食品科学, 2013, 34(2): 246–250.
- Wang YJ, Gang CC, Chen YZ, *et al.* Preservation of fenghuang juicy peach fruits by ginger juice treatment [J]. Food Sci, 2013, 34(2): 246–250.
- [59] 岳秀娟, 王锴剑, 何伟, 等. 丙硫唑及中药材提取物对水蜜桃的保鲜效果[J]. 农技服务, 2016, (3): 106.
- Yue XJ, Wang KJ, He W, *et al.* Effects of extracts from propoxazole and Chinese herbal medicines on preservation of juicy peach [J]. Agric Technol Service, 2016, (3): 106.
- [60] 冯晓元, 孔苗, 李文生, 等. 中草药提取物对桃褐腐菌抑制作用增效组合筛选[J]. 中国农学通报, 2005, 21(12): 292–294.
- Feng XY, Kong M, Li WS, *et al.* Screening of combined Chinese herb extracts for the fungitoxicity against *Monilinia fructicola* [J]. Chin Agric Sci Bull, 2005, 21(12): 292–294.
- [61] 李阳, 崔志宽, 李建龙, 等. 三种拮抗菌生物处理对凤凰水蜜桃保鲜效果的系统研究[J]. 天津农业科学, 2014, 20(4): 42–46.
- Li Y, Cui ZK, Li JL, *et al.* Using three antagonists on honey peach to retain its freshness during storage [J]. J Tianjin Agric Sci, 2014, 20 (4): 42–46.
- [62] 王亦佳, 李建龙, 刚诚成, 等. 利用拮抗菌常温保鲜凤凰水蜜桃效果系统研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 384–388.
- Wang YJ, Li JL, Gang CC, *et al.* Systematic study on antagonist application to the preservation of juicy peach fruits at room temperature [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(2): 384–388.
- [63] 李卉, 赵心语, 梁珂珂, 等. 生物酶制剂对水蜜桃贮藏品质的影响[J]. 天津农业科学, 2015, 21(4): 28–32.
- Li H, Zhao XY, Liang KK, *et al.* Effects of enzymes on the honey peach quality during storage [J]. J Tianjin Agric Sci, 2015, 21(4): 28–32.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



杜小龙, 博士生, 主要研究方向为植物生理生化与分子生物学。
E-mail: duxl0607@163.com



李建龙, 国家长江学者特聘教授, 主要研究方向之一为食品保鲜与加工。
E-mail: jlli2008@nju.edu.cn