

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20231215004

3 种减菌处理对采后百香果果实常温贮藏品质的影响

杨秀群¹, 谢国芳^{2*}, 宋 易³, 宋常美⁴

(1. 贵阳学院材料科学与工程学院, 贵阳 550005; 2. 贵州大学酿酒与食品工程学院/贵州省农畜产品贮藏与加工重点实验室, 贵阳 550025; 3. 贵阳学院食品科学与工程学院, 贵阳 550005; 4. 贵阳学院生物与环境工程学院, 贵阳 550005)

摘 要: **目的** 研究 3 种减菌处理对采后百香果果实常温贮藏品质的影响。**方法** 以贵州省平塘县的紫皮百香果为试材, 分别用 2%次氯酸钠、3%二氧化氯和 3%过氧化氢溶液进行减菌处理, 分析其对百香果果实常温贮藏期间理化特性、食用品质以及细胞壁代谢的影响。**结果** 3 种减菌处理抑制了百香果果实的呼吸作用和乙烯释放速率, 延缓果实失重率和凹陷率上升, 影响脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性, 从而影响百香果果实的风味和出汁及渗出率; 3%二氧化氯和 2%次氯酸钠通过降低百香果果实的多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)和 β -半乳糖苷酶(β -galactosidase, β -Gal)活性或使高峰推迟, 以维持细胞壁正常的结构和功能, 增强其抗病性而控制腐烂; 3%过氧化氢可加速有机酸流失, 促使百香果果实的 PG 和 β -Gal 活性增大或使高峰提前, 导致硬度下降和腐烂; 3%二氧化氯和 2%次氯酸钠使总酚高峰提前或增加含量, 使木质素含量减小且高峰提前以增强其抗氧化和抗病能力而控制腐烂。二者均使苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia lyase, PAL)和过氧化物酶(peroxidase, POD)活性降低或使其高峰推迟以缓解木质化进程而延缓衰老; 3%过氧化氢促使 PAL 和 POD 活性高峰提前或增加, 使木质素化进程过快而导致百香果果实有机酸流失、出汁率降低和腐败加速。**结论** 3 种减菌处理可不同程度维持百香果果实采后常温贮藏的品质, 可作为百香果果实的减菌保鲜方法。

关键词: 减菌处理; 百香果; 贮藏; 品质

Effects of 3 kinds of subtracted bacteria treatment on normal temperature storage quality of the harvested *Passiflora edulis* Sims

YANG Xiu-Qun¹, XIE Guo-Fang^{2*}, SONG Yi³, SONG Chang-Mei⁴

(1. School of Materials Science and Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, China; 2. School of Liquor and Food Engineering/Guizhou Key Laboratory of Storage and Processing of Agricultural and Livestock Products, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. College of Food Science and Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, China; 4. College of Biological and Environmental Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of 3 kinds of subtracted bacteria treatment on the normal-temperature storage quality of the harvested *Passiflora edulis* Sims. **Methods** Purple skin *Passiflora edulis* Sims in Pingtang

基金项目: 贵州省教育厅特色领域项目(黔教合 KY 字[2019]077)、贵州省教育厅拔尖人才计划项目(黔教合 KY 字[2019]066)

Fund: Supported by the Characteristic Field Project of Education Department of Guizhou Province (Qian Jiaohe KY[2019]077), and the Top Talent Program Project of Education Department of Guizhou Province (Qian Jiaohe KY[2019]066)

*通信作者: 谢国芳, 博士, 教授, 主要研究方向为特色果蔬资源品质形成及调控、功能发掘及产品开发、采后生物学及品质维持。
E-mail: gfxie@gzu.edu.cn

*Corresponding author: XIE Guo-Fang, Ph.D, Professor, School of Liquor and Food Engineering/Guizhou Key Laboratory of Storage and Processing of Agricultural and Livestock Products, Guizhou University, Guiyang 550025, China. E-mail: fxie@gzu.edu.cn

County, Guizhou Province (experimental material) were treated with the 2% sodium hypochlorite, 3% chlorine dioxide and 3% hydrogen peroxide solution and the effects on physical and chemical characteristics, food quality and cell wall metabolism during normal temperature storage were analyzed. **Results** The experimental results showed that 3 kinds of subtraction treatments inhibited the respiration and ethylene release rate of *Passiflora edulis* Sims, delayed the increase of weight loss and shrinkage rate, and affected the activity of lipoxygenase (LOX) thus affected the flavor and the rate of juice and exudate *Passiflora edulis* Sims. The 3% chlorine dioxide and 2% sodium hypochlorite controled decay by reducing the activity or delaying the peak of polygalacturonase (PG) and β -galactosidase (β -Gal) of *Passiflora edulis* Sims, so as to maintain the normal structure and function of the cell wall and enhance its disease resistance; the 3% hydrogen peroxide could accelerate the loss of organic acid, promoted the PG and β -Gal activities of the *Passiflora edulis* Sims or advanced the peak, leading to decreased hardness and decay; the 3% chlorine dioxide and 2% sodium hypochlorite advanced or increased the peak of total phenols, reduced the lignin content and advanced the peak to enhanced their oxidation and diseased resistance and controled decay. Both reduced the activity of phenylalanine ammonia lyase (PAL) and peroxidase (POD) or delayed their peak to alleviate the lignification process and delayed aging. The 3% hydrogen peroxide promoted the advance or increased peaks of PAL and POD activity, which made the lignitination process too fast and leaded to the loss of organic acid, reduced juice rate and accelerated spoilage of *Passiflora edulis* Sims. **Conclusion** The 3 kinds of subtracted bacteria treatment maintain the storage quality of *Passiflora edulis* Sims at normal temperature. It can be used as a method of subtracted bacteria on *Passiflora edulis* Sims.

KEY WORDS: subtracted bacteria treatment; *Passiflora edulis* Sims; storage; quality

0 引言

百香果(*Passiflora edulis* Sims), 属热带、亚热带水果。果汁散发出多种水果的香味, 果肉含有人体所需的多种营养物质及活性成分^[1-3]。百香果具有化痰止咳、利尿、杀菌、镇痛、抗成瘾、抗抑郁、降血压、降血脂、缓解心血管疾病等多种药用功效^[2-4], 深受消费者喜爱。百香果果实(以下均简称百香果)是一种典型的呼吸跃变型水果, 对环境温度非常敏感。加之生长、采收季节高温高湿, 采收后蒸腾、呼吸作用、乙烯促进后熟, 导致采后极易发生失重、凹陷、变色等品质下降。另外, 因果实发生炭疽病、疫病、果腐病等^[5], 导致果皮褐变、果实变软凹陷、果肉液化、腐败变臭等品质劣变, 极大地缩短了贮藏时间, 影响其销售品质。因此, 研究百香果采后贮藏保鲜对其产业的发展具有重要意义。国内外主要从抑制其采后呼吸作用、蒸腾作用, 控制乙烯释放, 减少病原菌侵染, 调控果实内部酶的活性以及抗氧化能力等方面开展贮藏保鲜研究。目前贮藏保鲜方法主要有物理保鲜技术(采收成熟度^[6]、低温贮藏^[7]、热处理^[8]、气调包装^[9]等)、化学保鲜技术(化学、生物保鲜剂^[2,5], 涂膜^[10-11], 1-甲基环丙烯^[12-13])以及复合处理^[13-14]等。

次氯酸钠和二氧化氯都是含氯强氧化剂, 是世界卫生组织(World Health Organization, WHO)和联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)向国际

上推荐的高效、安全、广谱的化学消毒剂, 是目前世界上公认的效果较好、性能优良的食品保鲜剂^[15]。次氯酸钠用于菠萝^[15]和番茄^[16]保鲜能有效防止菠萝果肉的褐变和控制番茄腐烂及提高其品质; 二氧化氯使蛋白质变性从而降解酶活性, 故能杀灭各种致腐微生物^[17], 被 WHO 列为 AI 级消毒剂, 被广泛应用于果蔬保鲜^[15,18-23]。二氧化氯通过杀死致腐微生物而控制腐烂, 能去除菠萝果肉^[15]、樱桃^[18]、葡萄^[19]、浆果^[20]、蓝莓^[21]等果实表面的多种细菌, 增加香梨果实的过氧化物酶(peroxidase, POD)活性而增强其抗逆和抗病能力^[22], 还能抑制蛋氨酸生成乙烯或破坏乙烯, 抑制苹果的呼吸作用和乙烯的释放^[23], 从而延缓其后熟与腐败; 过氧化氢也是一种氧化剂, 能破坏组成细菌的蛋白质, 具有触杀作用, 还是诱导果实产生抗性的信号分子^[24-25], 不会产生二次污染, 被广泛用于板栗^[24]、梨^[25]、哈密瓜^[26]等食品保鲜。3 种减菌剂在百香果的保鲜尚未见报道, 因此本研究采用 2%次氯酸钠、3%二氧化氯和 3%过氧化氢溶液处理百香果, 分析对其常温贮藏期间理化特性、食用品质的影响, 从细胞壁代谢方面探讨其保鲜作用效应, 以期百香果采后贮藏技术研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

以贵州省平塘县的‘台龙一号’百香果为试材。采收后于阴凉处散去田间热, 运回贵州省果品加工工程技术研究

中心研究室,挑选成熟度、大小一致,无病虫害、腐烂、损伤的果实进行实验。

氢氧化钠(分析纯,广州市刺水科技有限公司);乙酸(分析纯,重庆川东化工有限公司);乙酸钠(分析纯,成都金山化学试剂有限公司);福林酚、无水碳酸钠(分析纯,上海麦坤化工有限公司);无水乙醇(分析纯,天津市武清区大良镇工业园)。

1.2 仪器与设备

YGA2100 型 O₂ 和 CO₂ 分析仪、ES100 型乙烯分析仪(意大利 FCE 公司);PAL-BX 手持型糖酸一体机(日本 Atago 公司);TAXT plus 质构仪(英国 Stable Micro Systems 公司);UV-2550 紫外分光光度计(日本岛津公司);TCL-16A 型台式高速冷冻离心机(长沙平凡仪器仪表有限公司);ML104 型电子天平[精度 0.1 mg,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];MJ-BL1036A 型破壁机(美的集团股份有限公司);PEN 3.5 型电子鼻(德国 Airsense 公司);DW-86L486 型超低温保存冰箱(海尔集团)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

将选好的百香果随机分为 4 组(每组 150 个),3 种减菌剂的浓度通过预实验确定。分别处理如下:分别用蒸馏水、2%次氯酸钠溶液、3%二氧化氯溶液和 3%过氧化氢溶液浸泡百香果 3 min,风干,分别记为 CK、2%次氯酸钠、3%二氧化氯和 3%过氧化氢。之后每组各分装在 15 个保鲜袋中(每袋 10 个果实);然后将 4 组样品于温度(25±0.5)℃、湿度(90±5)%的条件下贮藏 25 d,分别在 0、5、10、15、20、25 d 各测一次指标。每组设 3 个重复样品,用于理化特性、食用品质和细胞壁代谢指标分析,然后液氮冷冻、打浆,于-80℃冰箱保存,用于细胞壁代谢物质分析。

1.3.2 指标测定方法

(1)理化特性指标测定

腐烂率、凹陷率参照杨雪莲等^[2]的计数法测定;呼吸速率、乙烯释放速率和失重率均参照陈洪彬等^[10]的方法测定;硬度参照 REN 等^[27]的穿刺法测定。

(2)食用品质测定

总可溶性固形物(total soluble solid, TSS)和有机酸均参照刘娜等^[28]的方法,取百香果果肉破碎处理后于离心机(常温,转速 10000 r/min,离心 8 min)离心,上清液于手持型糖酸一体机测定;渗出率和出汁率:实验中均为精确称量(±0.1 mg),取百香果称重,计为 m ,切开果实,在不施加外力的情况下将汁液倒出,称汁液重量,计为 m_1 。用勺子将百香果的果瓢取出,与之前倒出的汁液混合,称重,计为 m_2 。捣烂后,于离心机(常温,转速 5000 r/min,离心 10 min)离心,称量上清液,计为 m_3 ,渗出率: m_1/m_2 ;出汁率: m_3/m 。

(3)香气及其酶测定

挥发性香气测定参照周葵等^[29]的电子鼻分析方法,电子鼻不同化学传感器的响应类型见表 1;脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)采用比色法^[30]测定。

表 1 电子鼻不同化学传感器的响应类型
Table 1 Response types of different chemical sensors for electronic noses

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香型化合物
2	W1S	甲烷类物质
3	W1W	无机硫化物、萜类物质
4	W2W	芳香族化合物、有机硫化物
5	W3C	氨类、芳香族化合物
6	W3S	烷烃物质
7	W5C	烷烃芳香成分
8	W5S	氧氮化合物
9	W6S	氢类物质
10	W2S	醇类和部分芳香族化合物

(4)细胞壁代谢及相关酶指标测定

细胞壁含量参照 REN 等^[27]的方法测定;总酚含量参照谢国芳等^[31]的方法测定;木质素参照 LI 等^[32]的方法测定;多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)活性参照 FAN 等^[33]的方法测定; β -半乳糖苷酶(β -galactosidase, β -Gal)活性参照 LIN 等^[34]的方法测定;苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia lyase, PAL)活性和 POD 活性均参照高志强等^[35]的方法测定。

1.4 数据处理

采用 Office 2010 Excel 软件对所有实验数据进行统计处理,再用 GraphPad Prism 7.00 软件对相关指标进行作图并对各指标进行显著性分析($P<0.05$ 表示差异显著)。

2 结果与分析

2.1 减菌处理对百香果采后理化特性的影响

百香果采后生理代谢活动仍然旺盛,极易受病原菌侵染,常温放置 2~3 d 其固有的抗病性和耐贮性会显著降低^[2,10]。腐烂率和凹陷率与果实营养及商品价值密切相关,是评价果实外观品质的直观指标^[2]。CK 组百香果采后腐烂率呈上升趋势,第 10 d 检测到腐烂果实。2%次氯酸钠和 3%二氧化氯组分别比 CK 组延迟 10 d 和 15 d 检测到腐烂果实,3%二氧化氯还显著降低了腐烂率($P<0.05$)。3%过氧化氢处理没有延迟果实腐烂且各贮藏期均显著提高了腐烂率(图 1A)。2%次氯酸钠和 3%二氧化氯的防腐作用与其对番茄^[16]、樱桃^[18]、葡萄^[19]及苹果^[23]的效果相似;CK 组百香果采后凹陷率也呈上升趋势,除 2%次氯酸钠在末

期没有影响外,其他时间3种减菌处理均显著降低百香果的凹陷率($P<0.05$)(图1B)。故2%次氯酸钠和3%二氧化氯能较好地控制百香果的腐烂,3种减菌处理均能控制百香果的凹陷。

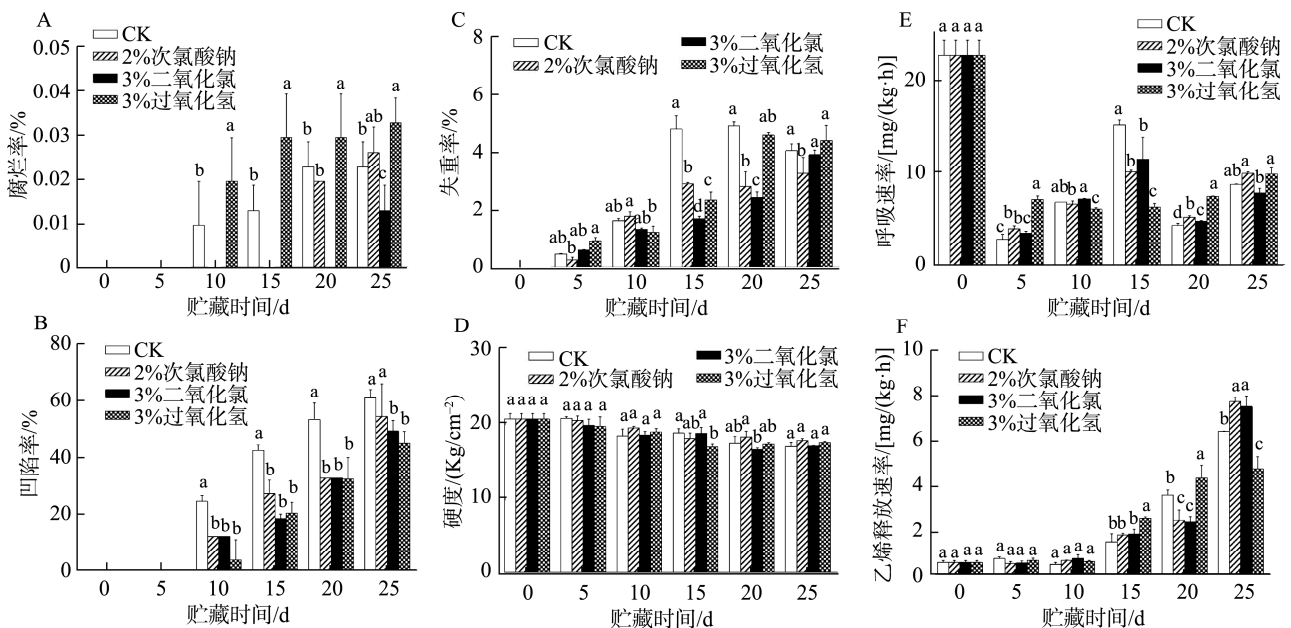
果蔬失重直接影响其商品性^[10],失水过多则导致果蔬新陈代谢紊乱。CK组百香果采后失重率呈上升-下降趋势,5~15 d增长速度较快,3%过氧化氢处理也呈上升-下降趋势,15~20 d时增长速度才较快。2%次氯酸钠和3%二氧化氯处理基本呈缓慢上升趋势(图1C)。可见,3种减菌处理均不同程度降低其失重率,特别是2%次氯酸钠和3%二氧化氯,与其影响菠萝^[15]、香梨^[22]的失重率相似;硬度指果实抗压力的强弱,是衡量果实感官品质的关键指标^[12,27]。硬度与细胞壁组成物质及其降解酶的活性相关,可作为判断果实软化后熟程度的标准^[2,12]。CK组百香果的硬度整体上呈下降趋势。2%次氯酸钠缓解了硬度下降的速度,3种减菌处理末期维持硬度高于CK组,但效果不明显(图1D)。

百香果为典型的呼吸跃变型水果,呼吸跃变一旦发生,意味着果实成熟和衰老^[5]。因此,延缓百香果后熟和衰老的关键之一是控制呼吸作用^[12]。百香果因采收时田间热,其呼吸速率明显高于贮藏期其他时间,随后显著降低。CK组百香果的呼吸速率大致呈“W”形变化趋势,在第5 d和20 d出现“峰谷”,第15 d出现“峰高”。除了3%过氧化氢处理第5 d没有出现“峰谷”,其他组与CK组的变化趋势一致。3种减菌处理均显著降低了呼吸“峰高”值($P<0.05$),但未延缓呼吸“峰高”出现(图1E),二氧化氯的影响与苹果^[23]

一致。百香果的呼吸速率影响其失重率,5~15 d时呼吸速率增长速度与失重率一致,呼吸跃变高峰时(第15 d)失重也最快,但失重是非可逆过程,不会因呼吸作用减弱而立即减少失重(图1C);乙烯能加速果蔬成熟和衰老,尤其对呼吸跃变型水果作用明显^[12,36]。乙烯通过诱导木质素合成基因表达,提高PAL、POD等酶活性,加快木质化进程^[31],使果蔬产生抗病防御反应^[5,28]。同时可诱导PG及 β -Gal等基因表达进而调控果实的软化^[33]。乙烯影响果蔬的硬度、色泽、风味等品质,其高峰的出现意味着果蔬成熟。因此,调控乙烯释放可延长百香果的保鲜期^[36]。CK组百香果的乙烯释放速率呈上升趋势,贮藏期内未出现高峰。3%二氧化氯和2%次氯酸钠处理在20 d显著降低了乙烯的释放速率($P<0.05$),使乙烯的大量释放推迟5 d,不过效果不如苹果^[23]明显。3%过氧化氢处理末期显著降低乙烯的释放量($P<0.05$)(图1F)。可见,3种减菌处理均一定程度抑制了百香果的呼吸作用和乙烯的释放,整体上,3%过氧化氢处理效果最佳,这对延缓百香果的后熟有利。

2.2 减菌处理对百香果采后食用品质的影响

果蔬的生理代谢活动消耗其糖类、TSS、有机酸等营养物质,降低其新鲜度和耐储性。TSS和有机酸决定果肉的口感和风味,可作为判断水果成熟和衰老的标志^[2,28]。CK组百香果的TSS呈“W”形变化趋势,升降幅度很小。3种减菌处理也无较大影响(图2A);CK组百香果的有机酸含量呈下降-上升趋势。2%次氯酸钠和3%二氧化氯处理的均呈下降-上升-下降趋势,3%过氧化氢处理则



注:将贮藏期分为5个时期,贮藏初期(0 d<d≤5 d)、前期(5 d<d≤10 d)、中期(10 d<d≤15 d)、后期(15 d<d≤20 d)、末期(20 d<d≤25 d);不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

图1 减菌处理对百香果采后理化特性的影响

Fig.1 Effects of subtraction treatment on physicochemical characteristics of the harvested *Passiflora edulis* Sims fruit

呈“M”形变化趋势,对有机酸含量影响较大,贮藏第 5 d 显著提高,15 d 显著降低了有机酸含量($P<0.05$)(图 2B)。所有组的 TSS 和有机酸含量在贮藏初期大于末期,且大小变化基本在呼吸速率起伏变化之前(图 1E),说明 TSS 和有机酸作为呼吸作用的底物被消耗。

出汁率能反映水果采收后水分散失的情况,是评价果实加工特性的重要品质指标。出汁率降低(枯水)则能衡量果实木质化劣变的程度^[37]。百香果的出汁率大致呈“M”形变化趋势,但变化幅度较小。2%次氯酸钠处理在贮藏中、后期显著促进出汁($P<0.05$)。3%过氧化氢和 3%二氧化氯处理分别在第 10 d 和 20 d 显著抑制出汁($P<0.05$)(图 2C);随着贮藏期延长,百香果果肉发生液化即果汁自然渗出,导致其口感品质降低,CK 组百香果果肉渗出率呈“N”形趋势,第 10 d 达到渗出率“高峰”。2%次氯酸钠和 3%过氧化氢显著降低“高峰”值($P<0.05$),3%过氧化氢处理还延迟“高峰”出现。3%二氧化氯处理在贮藏后期显著降低渗出率($P<0.05$)(图 2D)。可见,2%次氯酸钠处理促进出汁,抑制渗出。3%二氧化氯和 3%过氧化氢处理均抑制出汁和渗出。

2.3 减菌处理对百香果及果汁采后香气及其酶的影响

香气物质是一类重要的植物次生代谢产物,是水果最典型的特征之一^[3]。其种类、含量、阈值等决定水果的

风味,可作为评价水果品质的重要指标。香气物质的种类和含量会因生长发育和采后贮藏条件而变化,成熟期达到最大值,可衡量水果的货架寿命^[3,30]。百香果的主要香气物质为酯类化合物,其次为醇类和酮类,烯类、醛类、酸类、烷类等含量较低^[1,3,30]。酯类和醇类分别赋予百香果果香和清香^[30]。百香果和果汁的 W1W、W5S、W1S 和 W2W 这 4 个传感器(见表 1)响应值较大,特别是 W1W 和 W5S,与周葵等^[29]的检测结果相似,说明含硫化化合物、萜类、氮氧杂环化合物、芳香族化合物和甲基化合物是百香果的主要香气成分,赋予其热带水果的香味。

百香果的 4 类主香气物质基本呈“W”形变化趋势,但升降幅度较小,释放“高峰”在第 10 d 或 15 d 出现。2%次氯酸钠处理在 15 d 时显著促进 W5S 释放($P<0.05$)。3%过氧化氢处理末期均显著抑制 4 类主香气物质释放($P<0.05$)(图 3A~D);百香果果汁的 4 类主香气物质释放量也大致呈“W”形变化趋势,但升降幅度较大,释放“高峰”也基本出现在第 10 d 或 15 d。3 种减菌处理均显著降低了 W1S 的释放“高峰”($P<0.05$),2%次氯酸钠处理中期显著抑制 W2W 的释放($P<0.05$)(图 3E~H)。可见,2%次氯酸钠处理促进百香果 W5S 的释放,抑制果汁 W1S 和 W2W 的释放;3%二氧化氯处理抑制果汁 W1S 的释放;3%过氧化氢处理一定程度抑制果实 4 类主香气物质和果汁 W1S 香气的释放。因此,3 种减菌处理可能不同程度降低了百香果产生脂肪味(棕榈酸)、

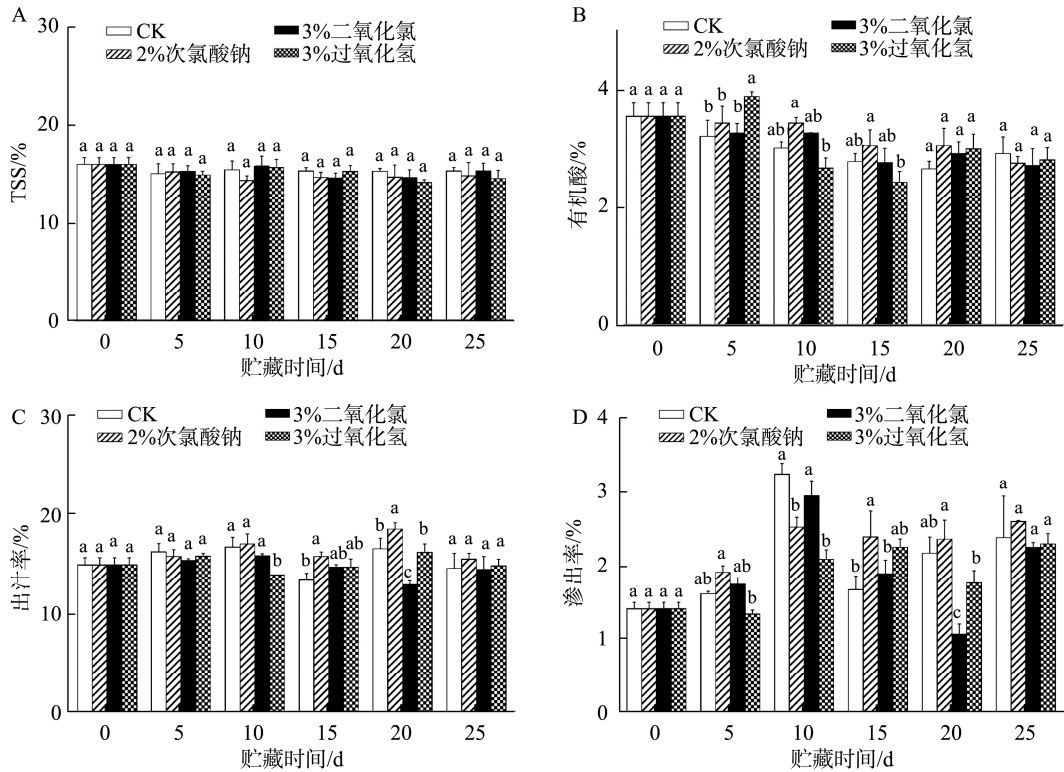


图 2 减菌处理对百香果采后食用品质的影响
Fig.2 Effects of subtraction treatment on the food quality of the harvested *Passiflora edulis* Sims fruit

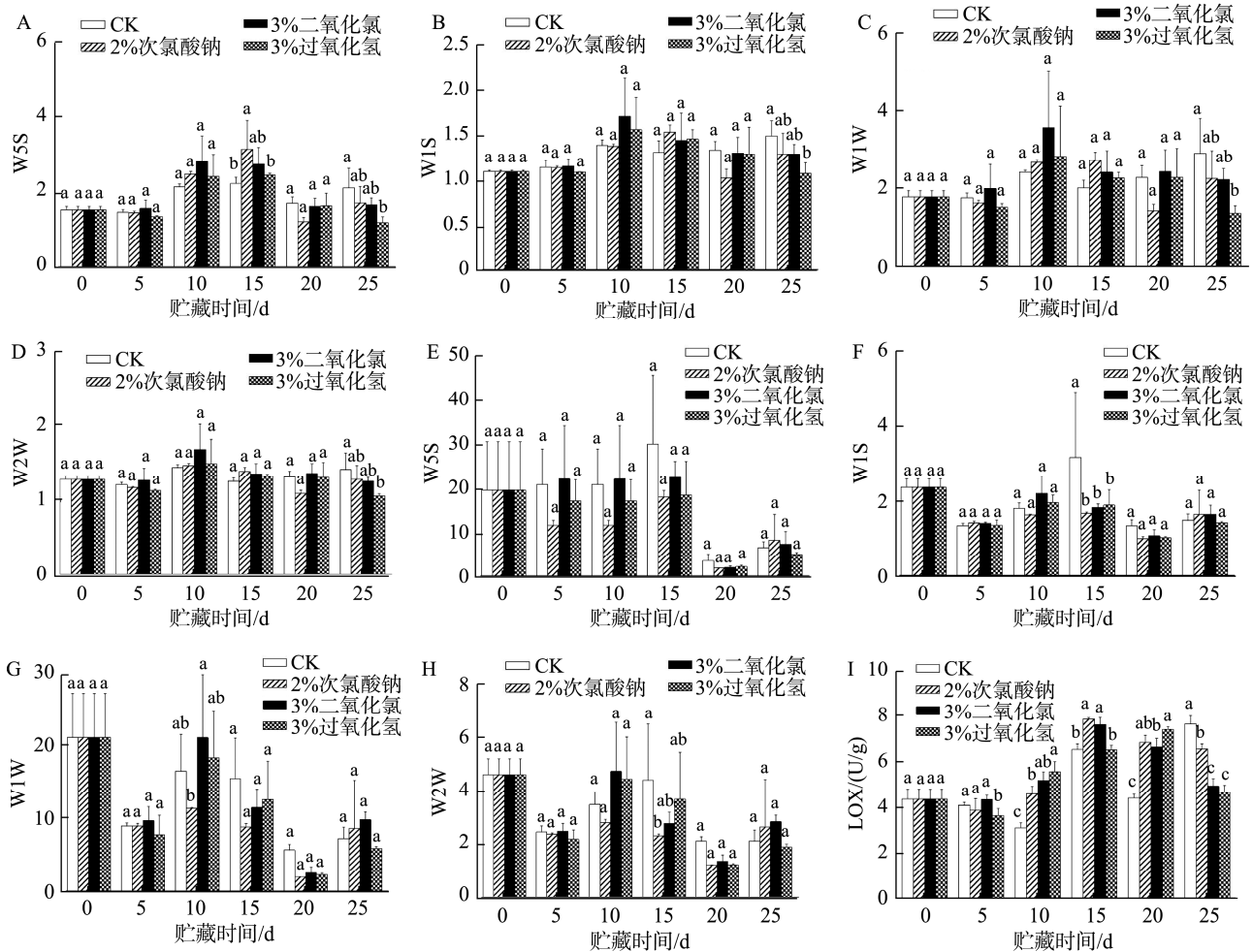


图3 减菌处理对采后百香果果实(A~E)和果汁(F~H)采后香气以及 LOX 酶(I)的影响

Fig 3 Effects of subtraction treatment on passion fruit (A-E) juice (F-H) and activities of LOX of the harvested *Passiflora edulis* Sims fruit

发霉味(甲基庚烯酮)、泥土味(氧化芳樟醇)等不良气味的风险^[1],整体上,3%过氧化氢处理效果最佳,不过该推测结果需通过进一步检测其具体的香气物质及感官评价来验证。另外,百香果及果汁的香气释放变化规律(图3A~H)与呼吸速率(图1E)的变化规律基本一致,减菌处理后仍显示出相似规律,是因为呼吸作用会伴随着大多数香气物质的释放。LOX 是脂肪酸代谢途径合成酯类的第一步关键酶,其活性影响水果酯类香气物质的释放^[30]。CK 组百香果的 LOX 活性呈“W”形变化趋势,第 15 d 出现第一“高峰”(图3I)。与 4 类主香气物质的释放规律基本一致(图3A~H)。2%次氯酸钠处理在 10~20 d 时均显著促进 LOX 活性($P<0.05$),故其促进百香果 W5S 的释放,3%过氧化氢处理末期显著抑制 LOX 活性($P<0.05$),故 3%过氧化氢处理末期均显著抑制百香果 4 类主香气物质释放($P<0.05$)。

2.4 减菌处理对百香果采后百香果细胞壁代谢及相关酶活性的影响

果实的细胞壁由外到内分为胞间层、初生壁和次生壁

3 部分组成。细胞壁具有坚韧的支撑性,可以维持细胞的结构和形态,细胞壁多糖的降解可导致果实软化^[27,34]。CK 组百香果细胞壁含量呈高低起伏变化趋势,0~5 d 急速升高,5~10 d 急速下降,10~15 d 急速上升后缓降缓升。3 种减菌处理的细胞壁含量 5 d 时也急速上升,但 10 d 时均没有下降,此后维持在较高水平内缓升缓降。2%次氯酸钠和 3%二氧化氯处理在 10 d 时均显著促进细胞壁形成($P<0.05$)(图4A)。细胞壁含量变化趋势与渗出率大小变化趋势大致相反(图2D),是因为细胞壁降解导致细胞膜透性增加有关。

总酚氧化交联、聚合能够增厚细胞壁,同时也是合成木质素的底物,影响木质化进程,可提高果蔬的抗病性^[5,31,38]。CK 组百香果总酚含量在贮藏期内呈“M”形变化,总酚含量“最高峰”在第 15 d 出现。3%二氧化氯处理的“最高峰”在第 5 d 出现,比 CK 组提前 10 d;2%次氯酸钠和 3%过氧化氢使“最高峰”分别在第 20 d 和 25 d 出现,比 CK 组推迟 5 d 和 10 d,但 3 种减菌处理均能不同程度增加总酚“最高峰”值(图4B)。

百香果的木质素含量贮藏期间呈“W”变化趋势,第 25 d 出现“最高峰”。3 种减菌处理均一定程度降低木质素含量“最高峰”峰值,但都使“最高峰”提前,3%过氧化氢、2%次氯酸钠和 3%二氧化氯处理木质素含量高峰分别出现在第 5、20 和 20 d,分别比对照组提前了 20、5 和 5 d(图 4C)。

可见,3 种减菌处理均能不同程度促进总酚含量,提高了百香果的抗氧化能力,也为木质素的合成提供了充分底物。所以百香果木质素的含量变化总是在总酚含量起伏变化之后,减菌处理后也显示出相似规律。3%二氧化氯处理使总酚“最高峰”提前出现,从而加快了百香果的木质化进度。2%次氯酸钠处理使总酚“最高峰”延迟,故使木质素“最高峰”推迟。3%过氧化氢虽使总酚“最高峰”延迟,但并未使木质素“最高峰”也延后,原因需进一步研究。3 种减菌处理后木质素含量“最高峰”较对照组提前出现,提前有利于百香果启动抗病反应而减少腐烂,但同时也标志着木质化进程加速,百香果木质化影响出汁率及有机酸的消耗,CK 组出汁率(图 2C)与木质素含量因变化趋势基本相反,3%过氧化氢和 3%二氧化氯处理因加快木质化进度,从而导致出汁率降低,3%过氧化氢处理还出现有机酸含量降低等衰老症状。

PAL 活性是影响木质素合成的主要因素,百香果 PAL 活性贮藏期内呈“M”形变化趋势,分别在第 5 d 和 20 d 出现活性“高峰”,与郭欣等^[5]的研究结果相似。2%次氯酸钠处理显著降低第一个活性“高峰”值($P<0.05$),使第二个“高峰”延后 5 d。3%二氧化氯处理显著降低了 2 个活性“高峰”值($P<0.05$)。3%过氧化氢处理则使第二个“高峰”提前 5 d(图 5A)。百香果 PAL 活性的变化与木质素含量(图 4C)变化刚好相反,也可以理解为木质素含量变化在 PAL 活性的起伏变化之后,结果与西番莲^[5]、猕猴桃^[38]相似。3 种减菌处理对 PAL 活性(图 5A)影响进而对木质素(图 4C)含量影响的变化规律与 CK 组基本一致。2%次氯酸钠和 3%二氧化氯处理延迟 PAL 活性“高峰”出现或降低其峰值从而延缓百香果的木质化进程,3%过氧化氢使 PAL 活性“高峰”提前

从而加速木质化进程。

CK 组百香果 POD 活性贮藏期呈先增后降趋势,3 种减菌处理后则呈“M”形趋势,但变化幅度较小。3%二氧化氯和 2%次氯酸钠处理分别在贮藏中期和后期显著抑制 POD 活性($P<0.05$),利于缓解百香果的成熟和衰老^[39],与二者处理菠萝^[15]的结果一致。3%过氧化氢处理在贮藏中期显著抑制,后、末期则显著促进其 POD 活性($P<0.05$),因此加速了百香果衰老,与其处理梨^[10]的结果一致,但与其处理板栗^[24]的结果相反,其作用效果与品种有关(图 5B)。

PG 是一种多糖水解酶,主要水解多聚半乳糖醛酸中 1,4- α -D-半乳糖苷键使果胶发生裂解而使细胞壁结构解体^[27,33]。CK 组百香果的 PG 活性随贮藏期延长呈“峰”形变化趋势,第 10 d 达到活性“高峰”。3 种减菌处理的 PG 活性似 CK 组呈“峰”形变化后末期上升,2%次氯酸钠处理使 PG 活性“高峰”延迟了 5 d 出现。3%二氧化氯和 3%过氧化氢处理均使 PG 活性“高峰”提前了 5 d,但二者尤其是 3%二氧化氯处理明显降低了“高峰”。2%次氯酸钠和 3%二氧化氯处理在贮藏末期均使 PG 活性显著剧增($P<0.05$)(图 5C)。 β -Gal 是一种糖苷酶,主要水解半乳糖的 β -1,4-半乳糖键使其水解成葡萄糖,解聚和溶解果胶,破坏细胞壁结构^[34]。CK 组百香果的 β -Gal 活性在贮藏期内呈“W”形变化趋势, β -Gal 活性“高峰”第 10 d 到达。2%次氯酸钠和 3%二氧化氯处理均降低其活性“高峰”。3%过氧化氢处理使“高峰”增大且在第 5 d 出现,比对照组提前 5 d(图 5D)。

PG 和 β -Gal 水解果胶和纤维素等细胞壁成分,细胞壁含量变化规律(图 4A)与 PG 和 β -Gal 活性大致相反,其活性提高使细胞壁结构和功能遭破坏,导致百香果硬度下降(图 1D)。2%次氯酸钠和 3%二氧化氯除末期显著促进 PG 活性外,其他时间主要表现为延迟 PG 和 β -Gal 活性“高峰”出现或减小其值,一定时间内对维持百香果细胞壁正常的结构和功能有利。3%过氧化氢处理使 PG 活性和 β -Gal 活性“高峰”出现提前或增大其值,导致百香果在贮藏中期硬度就开始下降。

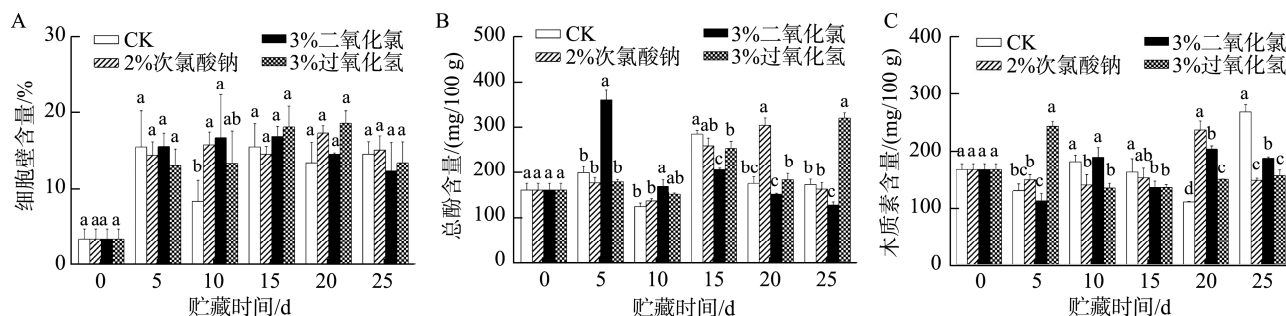


图 4 减菌处理对采后百香果细胞壁代谢的影响

Fig.4 Effects of subtraction treatment on reduced bacterial treatment on cell wall metabolism of the harvested *Passiflora edulis* Sims fruit

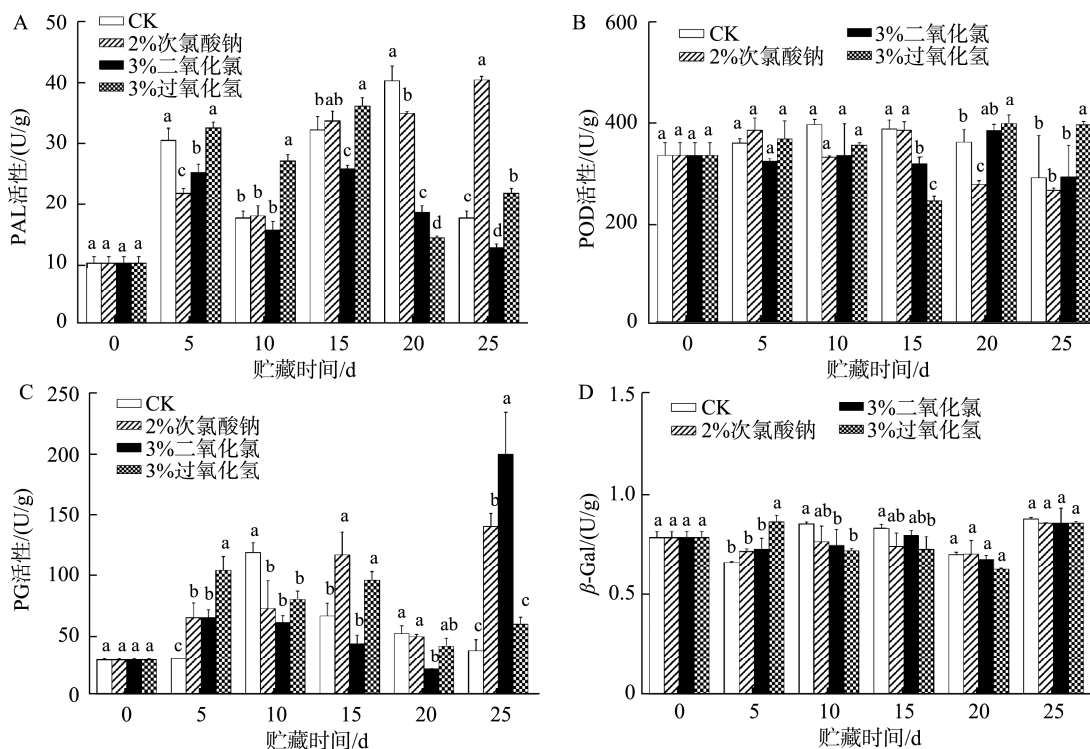


图 5 减菌处理对采后百香果细胞壁代谢相关酶的影响

Fig.5 Effects of subtraction treatment on enzymes involved in metabolism of passion fruit cell wall of the harvested *Passiflora edulis* Sims fruit

3 结 论

3 种减菌处理均能抑制百香果采后贮藏期间呼吸作用和乙烯释放速率, 延缓失重率和凹陷率的上升并防止果汁渗出, 2%次氯酸钠和 3%二氧化氯能有效控制百香果腐烂。因此, 3 种减菌处理能一定程度维持百香果的采后贮藏品质。3 种减菌处理促进百香果 LOX 活性影响其风味; 2%次氯酸钠延迟 PG 活性高峰出现和降低 β -Gal 活性高峰。3%二氧化氯降低 PG 和 β -Gal 活性高峰, 二者在一定时间内维持着百香果细胞壁正常的结构和功能进而保持其硬度。3%过氧化氢处理促使 PG 和 β -Gal 活性高峰提前, 还增大 β -Gal 活性, 故促进百香果硬度下降而加速软化; 2%次氯酸钠和 3%二氧化氯处理使总酚高峰增大或使其提前, 使木质素含量高峰降低且使高峰提前, 二者增强了抗病性和抗氧化能力, 故控制百香果腐烂的效果较好。2%次氯酸钠和 3%二氧化氯使 PAL 活性高峰推迟或降低其值, 二者在贮藏中或后期使 POD 活性降低从而缓解了木质化进程, 有利于减少果汁渗出, 但对延缓百香果 TSS、有机酸等营养物质的消耗并不明显。3%过氧化氢处理虽使总酚高峰增大但使高峰推迟, 抗氧化能力启动较慢; 使 PAL 活性和木质素含量高峰提前, 后、末期又促进其 POD 活性, 因木质化进程启动过快导致百香果腐烂和有机酸流失加速等果实劣变现象。3 种减菌处理通过调控百香果的 LOX 活性, 细

胞壁代谢及关键酶 PG、 β -Gal、PAL 和 POD 活性, 进而影响常温贮藏期间理化特性、食用品质, 但具体相关性分析及调控机制还有待进一步研究。可见, 3 种减菌处理可不同程度维持百香果采后常温贮藏的品质, 延长其货架期, 可作为百香果的减菌保鲜剂。

参考文献

- [1] 牛慧慧, 张慧云, 邹文惠, 等. 不同杀菌方式对百香果汁感官和营养品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(20): 145–151.
NIU HH, ZHANG HY, ZOU WH, *et al.* Effects of sterilization methods on the sensory related characteristics and nutritional quality of passion fruit juice [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(20): 145–151.
- [2] 杨雪莲, 李涵, 李斌奇, 等. 水杨酸处理对采后百香果品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(17): 206–212.
YANG XL, LI H, LI BG, *et al.* Effect of salicylic acid treatment on quality of postharvest passion fruit [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(17): 206–212.
- [3] PORTO-FIGUEIRA P, FREITAS A, CRUZ CJ, *et al.* Profiling of passion fruit volatiles: An effective tool to discriminate between species and varieties [J]. Food Res Int, 2015, 77: 408–418.
- [4] PRASERTSRI P, BOORANASUKSAKUL U, NARAVORATHAMK. Acute effects of passion fruit juice supplementation on cardiac autonomic function and blood glucose in healthy subjects [J]. Prev Nutr Food Sci, 2019, 24(3): 245–253.
- [5] 郭欣, 林育钊, 林河通, 等. 壳聚糖处理对西番莲果实感病指数、抗病

- 相关酶活性和抗病物质含量的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(15): 206–212.
- GUO X, LIN YZ, LIN HT, *et al.* Effect of chitosan treatment on disease index, disease resistant-related enzyme activities and disease resistance related substance contents in *Passiflora caerulea* L. fruit during storage [J]. Food Sci, 2021, 42(15): 206–212.
- [6] 张丽敏, 巴良杰, 吉宁, 等. 不同成熟度采收对百香果常温贮藏品质的影响[J]. 中国南方果树, 2021, 50(6): 74–78, 83.
- ZHANG LM, BA LJ, JI N, *et al.* The effect of harvesting at different maturity levels on the storage quality of passion fruit at room temperature [J]. Fruit Tree South China, 2021, 50(6): 74–78, 83.
- [7] 巴良杰, 张丽敏, 蔡国俊, 等. 低温对西番莲采后贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(15): 49–55.
- BA LJ, ZHANG LM, CAI GJ, *et al.* Effects of low-temperature on storage quality of passion fruit [J]. Packag Eng, 2021, 42(15): 49–55.
- [8] 滕峥, 杨翠凤, 黄丽珠, 等. 热处理对西番莲果实采后生理特性的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(8): 89–92.
- TENG Z, YANG CF, HUANG LZ, *et al.* Effects of heat treatment on physiological characteristics of fruits of passion fruit after harvest [J]. Hubei Agric Sci, 2020, 59(8): 89–92.
- [9] CERQUEIRA FOS, RESENDE ED, MARTINS DR, *et al.* Quality of yellow passion fruit stored under refrigeration and controlled atmosphere [J]. Ciênciae Technol Aliment, 2011, 31(2): 534–540.
- [10] 陈洪彬, 李书亮, 蒋璇靓, 等. 鱼皮明胶-壳聚糖复合涂膜对‘黄金’西番莲的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(18): 134–141.
- CHEN HB, LI SL, JIANG XJ, *et al.* Effects of fish skin gelatin-chitosan composite coating film on the preservation of passion (*Passiflora caerulea* L.) fruit [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(18): 134–141.
- [11] 余森彪, 卢珍兰, 邓雅诗, 等. 复合涂膜对百香果常温贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(2): 33–38.
- YU SY, LU ZL, DENG YS, *et al.* Effect of compound coating on storage quality of passion fruit at room temperature [J]. Food Sci Technol, 2021, 46(2): 33–38.
- [12] 滕峥, 杨翠凤, 甘善萍, 等. 1-MCP 对采后西番莲贮藏品质和生理的影响[J]. 中国南方果树, 2018, 47(4): 77–80.
- TENG Z, YANG CF, GAN SP, *et al.* Effects of 1-MCP on the storage quality and physiology of postharvest *Passiflora* [J]. Fruit Tree Southern China, 2018, 47(4): 77–80.
- [13] 帅良, 廖玲燕, 罗焘, 等. 1-MCP 处理对百香果贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 281–284.
- SHUAI L, LIAO LY, LUO T, *et al.* Effect of 1-MCP treatment on storage quality of passion fruit [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(15): 281–284.
- [14] 吉宁, 刘仁婵, 张妮, 等. 1-MCP 结合自发气调袋对百香果采后贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2023, 44(17): 18–24.
- JI N, LIU RC, ZHANG N, *et al.* Effect of 1-MCP combined with spontaneous modified atmosphere bag on postharvest storage quality of passion fruit [J]. Packag Eng, 2023, 44(17): 18–24.
- [15] 方宗壮, 谢辉, 段亩位, 等. 不同预处理方法对鲜切菠萝贮藏品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(1): 197–201.
- FANG ZZ, XIE H, DUAN ZW, *et al.* The effect of different pretreatment methods on the storage quality of fresh cut pineapple [J]. Jiangsu Agric Sci, 2019, 47(1): 197–201.
- [16] 李艳, 樊芳妃, 赵红星, 等. 不同消毒处理对番茄采后品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(9): 79–84.
- LI Y, FAN FF, ZHAO HX, *et al.* Different disinfection treatments affect postharvest tomato quality [J]. China Cucurb Veget, 2022, 35(9): 79–84.
- [17] OOI BG, BRANNING SA. Correlation of conformational changes and protein degradation with loss of lysozyme activity due to chlorine dioxide treatment [J]. Appl Biochem Biotechnol, 2017, 182(2): 1–10.
- [18] 金童, 傅茂润, 韩聪, 等. 二氧化氯与 1-甲基环丙烯联合处理对“萨米脱”樱桃低温贮藏效果的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(18): 4864–4869.
- JIN T, FU MR, HAN C, *et al.* Effect of the combination of chlorine dioxide and 1-methylcyclopropene treatments on low-temperature storage quality of cherry (*Cerasus pseudocerasus*) [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(18): 4864–4869.
- [19] 雷超, 吴明松, 魏雪宁, 等. 二氧化氯对巨峰葡萄的保鲜效果及品质影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(1): 184–188.
- LEI C, WU MS, WEI XN, *et al.* The effect of chlorine dioxide on the preservation and quality of Jufeng grapes [J]. Jiangsu Agric Sci, 2020, 48(1): 184–188.
- [20] ANNOUS BA, BUCKLEY DA, KINGSLEY DH. Efficacy of chlorine dioxide gas against hepatitis a virus on blueberries, blackberries, rasp-berries, and strawberries [J]. Food Environ Virol, 2021, 13: 241–247.
- [21] ANNOUS BA, BUCKLEY D, BURKE A. Evaluation of chlorine dioxide gas against four *Salmonella enterica* serovars artificially contaminated on whole blueberries [J]. J Food Protect, 2019, 83(3): 412–417.
- [22] 刘云飞, 纪海鹏, 陈存坤, 等. 二氧化氯对香梨贮藏后期品质保持效果的研究[J]. 包装工程, 2020, 41(5): 1–7.
- LIU YF, JI HP, CHEN CK, *et al.* Effect of chlorine dioxide treatment on quality maintenance of Korla pears in later storage period [J]. Packag Eng, 2020, 41(5): 1–7.
- [23] 赵明慧, 饶景萍, 辛付存, 等. 二氧化氯采前处理对红富士苹果的保鲜[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 352–356.
- ZHAO MH, RAO JP, XIN FC, *et al.* Fresh-keeping effect of pre-harvest chlorine dioxide treatment of red Fuji apple [J]. Food Sci, 2011, 32(16): 352–356.
- [24] 程锦潇, 潘娜, 李娇, 等. 高氧预处理协同过氧化氢对板栗仁褐变的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(17): 294–300.
- CHENG JX, PAN N, LI J, *et al.* Effects of high oxygen and hydrogen peroxide co-treatment on the browning of chestnut kernels [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(17): 294–300.
- [25] 刘佩, 徐欣欣, 刘同信, 等. 过氧化氢处理对采后‘黄冠’梨果皮褐变及果实品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38: 241–247.
- LIU P, XU XX, LIU TX, *et al.* Effects of H₂O₂ treatment on postharvest quality and skin browning of ‘Huangguan’ pears [J]. Food Sci, 2017, 38: 241–247.
- [26] ATTIA MM. Effect of calcium chloride, calcium lactate and hydrogen

- peroxide treatments on quality of fresh cut cantaloupe during cold storage [J]. Egypt J Agric Res, 2014, 92: 961–978.
- [27] REN YY, SUN PP, WANG XX, *et al.* Degradation of cell wall polysaccharides and change of related enzyme activities with fruit softening in *Annona squamosa* during storage [J]. Postharvest Biol Technol, 2020, 166(3): 111–203.
- [28] 刘娜, 龙君艳, 何汶灿, 等. 适宜后熟对猕猴桃果实冷藏后货架品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 27–32.
- LIU N, LONG JY, HE WC, *et al.* Effect of adequate postharvest ripening on the shelf quality of kiwifruits with cold storage treatment [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(4): 27–32.
- [29] 周葵, 滕建文, 韦保耀, 等. 热处理对西番莲果浆品质的影响研究[J]. 食品科技, 2015, 40(3): 90–95.
- ZHOU K, TENG JW, WEI BY, *et al.* Influence of heat treatment on the passion fruit pulp quality characteristic [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(3): 90–95.
- [30] 辛明, 李昌宝, 孙宇, 等. 百香果贮藏过程中香气成分及其相关酶活性的变化特征[J]. 热带作物学报, 2021, 42(5): 1472–1484.
- XIN M, LI CB, SUN Y, *et al.* Variation characteristics of aroma components and related enzyme activities during storage of passion fruit (*Passiflora caerulea* L.) [J]. China J Trop Crop, 2021, 42(5): 1472–1484.
- [31] 谢国芳, 费颖, 柴裕清, 等. 1-MCP 对 3 种鲜食菜豆采后木质纤维化的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(4): 206–214.
- XIE GF, FEI Y, CHAI YQ, *et al.* The effect of 1-MCP on postharvest woody fibrosis of three types of fresh kidney beans [J]. Chin J Food Sci, 2020, 20(4): 206–214.
- [32] LI H, SUO J, HAN Y, *et al.* The effect of 1-methylcyclopropene, methyl jasmonate and methyl salicylate on lignin accumulation and gene expression in postharvest ‘Xuxiang’ kiwifruit during cold storage [J]. Postharvest Biol Technol, 2017, 12(4): 107–118.
- [33] FAN XG, JIANG WB, GONG HS, *et al.* Cell wall polysaccharides degradation and ultrastructure modification of apricot during storage at a near freezing temperature [J]. Food Chem, 2019, 300: 125–134.
- [34] LIN YF, LIN YZ, LIN YX, *et al.* A novel chitosan alleviates pulp breakdown of harvested Longan fruit by suppressing disassembly of cell wall polysaccharides [J]. Carbohydr Polym, 2019, 217: 126–134.
- [35] 高志强, 郑江枫, 林育钊, 等. 纸片型 1-MCP 处理对‘朝霞’水蜜桃抗病物质代谢的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(16): 5329–5336.
- GAO ZQ, ZHENG JF, LIN YZ, *et al.* Effects of paper-containing 1-methylcyclopropene treatment on the disease resistance metabolism of harvested ‘Zhaoxia’ peach fruit [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(16): 5329–5336.
- [36] 姚苗苗. 乙烯对冷藏南果梨酯类香气合成影响的分子机理[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- YAO MM. Molecular mechanism of the effect of ethylene on aroma-related esters of cold storage Nanguo pears [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.
- [37] 汪妮娜, 黄宏明, 陈东奎, 等. 几个柚品种果实贮藏期的生理生化及粒化指数差异[J]. 中国南方果树, 2021, 50(2): 40–43.
- WANG NN, HUANG HM, CHEN DK, *et al.* Differences in physiological, biochemical, and granulation index of several pomelo varieties during storage [J]. Fruit Trees Southern China, 2021, 50(2): 40–43.
- [38] 李桦, 梁春强, 吕荭, 等. 草酸对冷藏‘华优’猕猴桃果实木质化及相关酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2017, 44(6): 1085–1093.
- LI H, LIANG CQ, LV J, *et al.* Effects of oxalic acid treatment on lignification and related enzymes activities in ‘Huayou’ kiwifruit during cold storage [J]. Acta Hort Sin, 2017, 44(6): 1085–1093.
- [39] 王斯彤, 王聪雅, 刘怡菲, 等. 不同保鲜处理对软枣猕猴桃贮藏及抗氧化性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2022, 53(3): 302–308.
- WANG ST, WANG CY, LIU YF, *et al.* Effects of different fresh-keeping treatments on storage and antioxidant activity of *Actinidia arguta* [J]. J Shenyang Agric Univ, 2022, 53(3): 302–308.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



杨秀群, 硕士, 高级实验师, 主要研究方向为食品营养成分分析及水果保鲜。
E-mail: 583186555@qq.com



谢国芳, 博士, 教授, 主要研究方向为特色果蔬资源品质形成及调控、功能发掘及产品开发、采后生物学及品质维持。
E-mail: gfxie@gzu.edu.cn