

引用格式:

郭红英, 闫小多, 王琰, 苏小军, 周祖辉, 王仁才, 王锋. 外源NO处理对藤上熟猕猴桃常温货架期及货架品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2026, 52(2): 45–53.

GUO H Y, YAN X D, WANG Y, SU X J, ZHOU Z H, WANG R C, WANG F. Effects of exogenous NO treatment on shelf life and quality of vine-ripened kiwifruit at room temperature[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2026, 52(2): 45–53.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



外源NO处理对藤上熟猕猴桃常温货架期及货架品质的影响

郭红英^{1,2}, 闫小多^{1,2}, 王琰³, 苏小军^{1,2}, 周祖辉⁴, 王仁才^{2,5}, 王锋^{1,2*}

- (1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南凤凰猕猴桃科技小院, 湖南 凤凰 416200;
3. 湖南生物机电职业技术学院经济贸易学院, 湖南 长沙 410127; 4. 湖南周生堂生物科技股份有限公司,
湖南 凤凰 416200; 5. 湖南农业大学园艺学院, 湖南 长沙 410128)

摘要:以硝普钠(SNP)为外源一氧化氮(NO)供体, 系统分析不同浓度(0.0、0.1、0.2、0.3 mmol/L)SNP溶液对藤上熟猕猴桃采后常温贮藏果实生理生化特性及货架期的调控作用。结果表明: 0.2 mmol/L SNP处理保鲜效果最优, 能显著维持果实硬度, 降低失重率及呼吸速率, 可将常温货架期由不使用SNP溶液的对照组(CK)的8 d延长至14 d, 提升了75%。0.2 mmol/L SNP处理通过多重协同机制延缓藤上熟猕猴桃的衰老进程: 1) 调控代谢, 减缓可滴定酸(贮藏8 d时可滴定酸含量降低速率较CK的减缓了10.90个百分点)、维生素C(贮藏8 d时维生素C损失率较CK的减少18.54个百分点)及干物质的消耗; 2) 抑制淀粉酶(淀粉酶活性峰值较CK的下降了18.48%)、纤维素酶(纤维素酶活性峰值仅为CK的60.6%)和多聚半乳糖醛酸酶的活性, 延缓淀粉降解及果胶-纤维素网络解聚, 维持藤上熟猕猴桃硬度; 3) 激活过氧化物酶(过氧化物酶活性峰值是CK的1.8倍), 降低膜脂过氧化水平, 维持细胞膜结构与功能。

关键词: 藤上熟猕猴桃; 一氧化氮(NO); 货架品质; 货架期

中图分类号: S663.4; TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2026)02-0045-09

Effects of exogenous NO treatment on shelf life and quality of vine-ripened kiwifruit at room temperature

GUO Hongying^{1,2}, YAN Xiaoduo^{1,2}, WANG Yan³, SU Xiaojun^{1,2}, ZHOU Zuhui⁴, WANG Rencai^{2,5}, WANG Feng^{1,2*}

- (1. School of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;
2. Hunan Fenghuang Kiwifruit Science and Technology Courtyard, Fenghuang, Hunan 416200, China; 3. School of Economics and Trade, Hunan Biological and Electromechanical Polytechnic, Changsha, Hunan 410127, China;
4. Hunan Zhoushengtang Biotechnology Co. Ltd., Fenghuang, Hunan 416200, China;
5. College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: Sodium nitroprusside(SNP) was used as an exogenous nitric oxide(NO) donor to systematically analyze the regulatory effects of different concentrations(0.0, 0.1, 0.2, 0.3 mmol/L) of SNP solutions on the physiological and biochemical characteristics and shelf life of vine-ripened kiwifruits stored at room temperature after harvest. The results showed that the 0.2 mmol/L SNP treatment had the best preservation effect. It could significantly maintain fruit firmness, reduce weight loss rate and respiration rate, and extend the room temperature shelf life from 8 days for the SNP-free control(CK) group to 14 days, representing a 75% increase. The 0.2 mmol/L SNP treatment delayed the senescence process of vine-ripened kiwifruits through multiple synergistic mechanisms: 1) regulated metabolism and slowing down the consumption of titratable acid(at 8 days of storage, the decrease rate of titratable acid content was slowed by 10.90 percentage points compared to CK), vitamin C(at 8 days of storage, the loss rate of vitamin C was reduced by 18.54

收稿日期: 2025-05-12

修回日期: 2025-07-02

基金项目: 湖南省重点研发计划项目(2023NK2042)

作者简介: 郭红英(1980—), 女, 河南周口人, 博士, 讲师, 主要从事园艺产品采后科学与技术研究, lily-ghy@hunau.edu.cn; *通信作者, 王锋, 博士, 教授, 主要从事果蔬保鲜与加工技术研究, wangfeng@hunau.edu.cn

percentage points compared to CK) and dry matter; 2) inhibited the activities of amylase(the peak amylase activity decreased by 18.48% compared to CK), cellulase(peak cellulase activity was only 60.6% of CK) and polygalacturonase, thereby delayed starch degradation and pectin-cellulose network depolymerization, and maintained the firmness of vine-ripened kiwifruit; 3) activated peroxidase(peak peroxidase activity was 1.8 times that of CK), reduced membrane lipid peroxidation levels, and maintained cell membrane structure and function.

Keywords: vine-ripened kiwifruit; nitric oxide(NO); shelf quality; shelf life

猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch.)是深受消费者青睐的特色浆果,果实富含氨基酸、蛋白质、矿物质、维生素C(VC)等人体必需的营养物质^[1]。然而作为典型的后熟型果实,猕猴桃在成熟过程中需经历呼吸跃变。在此期间,果实极易发生失水萎蔫、软化腐烂等现象,从而导致品质下降^[2]。因此,猕猴桃通常在成熟度尚未达到即食要求时提前采收上市,消费者购买这些早采果实后需放置数日,待果肉硬度降至适宜食用水平后方可食用,其风味、口感和营养品质远不及树上熟或藤上熟的果实。近年来,我国生鲜农产品电商模式的蓬勃发展和物流服务的高效保障,打通了树上熟或藤上熟水果的高效供给绿色通道,树上熟或藤上熟高品质水果的市场需求呈现出指数级增长的态势^[3]。因此,探究延长藤上熟猕猴桃货架期、维持其食用品质的有效途径,对猕猴桃产业发展及满足消费者需求均具有重要意义。

猕猴桃果实采后后熟衰老是一个复杂的生理生化过程,涉及乙烯合成、细胞壁降解、淀粉水解等^[4]。一氧化氮(NO)作为植物中一种普遍存在的信号分子^[5],通过增强抗氧化系统中相关保护酶活性、减缓呼吸代谢、激活细胞壁代谢和抑制乙烯生成等途径和机制延迟农产品的衰老^[6]。然而,气态NO的采后处理技术需要特殊的密闭空间布置,且高浓度暴露有可能造成缺氧,激活丙酮酸脱羧酶和乙醇脱氢酶介导的无氧呼吸代谢,加速乙醇积累及果实腐败^[7]。硝普钠(SNP)作为NO的高效供体,其水解释放动力学与气态NO处理等效,且因水溶性稳定、剂量可控及生物相容性佳,保鲜性能良好^[8]。研究表明,对于采后樱桃的保鲜,0.4 mmol/L SNP通过增强超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性,显著优于其他浓度的保鲜效果^[9]。外源NO处理可以明显延迟石榴^[10]、番茄^[11]、鳄梨^[12]和芒果^[13]等果实的后熟软化进程,抑制品质劣变并延长货架期,对果蔬保鲜有着积极作用。然而,已有的研究均集中在如何通过NO处理,

提高早采果实长期贮藏的保鲜效果,而对于树上熟或藤上熟果实的调控作用,却少见报道。本研究中,以藤上熟猕猴桃为原料,采用不同浓度的外源NO供体SNP进行处理,研究SNP对藤上熟猕猴桃常温存放期间品质及衰老进程的影响,筛选维持其常温货架品质的最佳SNP处理浓度,以期延长果实常温保鲜期,满足市场对高品质果实的消费需求。

1 材料与方法

1.1 材料

‘翠玉’猕猴桃通常于花后135 d进行商业采收,此时果实硬度约为7 kg/cm²,可溶性固形物质量分数约为6.5%。本研究中,以2024年10月25日(花后150 d)采收的‘翠玉’猕猴桃为材料,其可溶性固形物质量分数约为10.5%,硬度为(5.6±0.2) kg/cm²。所有供试果实均无病虫害与机械损伤,且大小、质量及果形基本一致。采收后果实置于阴凉处2 h,散去田间热后,运至湖南农业大学果蔬保鲜与加工实验室。

1.2 方法

1.2.1 样品处理

挑选大小均匀、无损伤的猕猴桃果实在20℃环境下进行外源NO处理。将果实分成4组,每组用果120个。分别称取1.49、2.98、4.47 g SNP溶于50 L蒸馏水中,配制0.1、0.2、0.3 mmol/L SNP溶液,以蒸馏水(0.0 mmol/L SNP溶液)为对照(CK)。用SNP溶液浸泡果实10 min,CK组用蒸馏水浸泡,快速吹干后置于20℃(模拟水果店陈列柜温度)下贮藏。每组分别固定20个果实用于测定呼吸速率,10个果实用于测定失重率。每隔1 d取样1次,测定品质指标(硬度及可溶性固形物、可滴定酸、干物质含量);同时另取适量果肉切块,经液氮速冻后于-80℃保存,用于VC、丙二醛、淀粉、果胶含量及多种酶活性的测定。所有试验均重复3次。

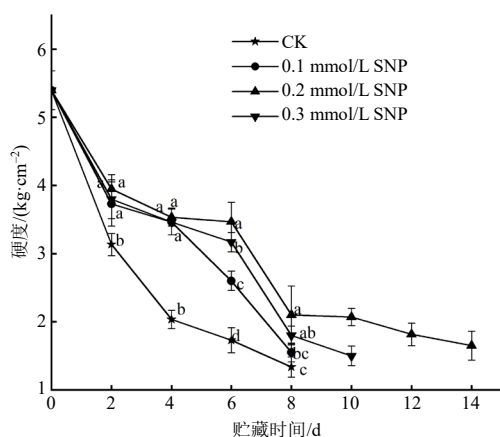
1.2.2 指标测定方法

参照文献[14],选择在果实赤道部位去皮,采用

GY-3硬度计测定硬度,测定面积为 1 cm^2 ,测定深度为 1 cm 。以果实硬度低于 1 kg/cm^2 为其失去商品性的临界点,据此确定猕猴桃果实货架期。

将果实两端去皮,取果肉混合挤出果汁,吸取 0.2 mL 样品放入折光仪中测定可溶性固形物含量。参照文献[15],采用滴定法测定可滴定酸和VC含量;采用静置法测定呼吸强度;采用酸水解法测定淀粉含量;采用咔唑比色法测定果胶含量。参照文献[16],采用烘干称质量法测定干物质含量。采用称质量法测定失重率。参照文献[17],采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛含量。

参照文献[18]的方法,测定淀粉酶活性。参照文献[15]的方法并略作修改,测定多聚半乳糖醛酸酶(PG)、纤维素酶(CX)和过氧化物酶(POD)活性。其中,淀粉酶活性测定以麦芽糖为标准品制作标准曲线,检查波长为 540 nm ,以单位时间单位质量果蔬样品中酶催化作用下产生的麦芽糖质量表示;PG和CX活性测定以葡萄糖为标准品制作标准曲线,采用3,5-二硝基水杨酸法,在 540 nm 波长处测定反应混合液的吸光度;POD活性检查波长为 470 nm ,以单位时间内吸光度变化表示POD活性。



图上不同字母表示同一贮藏时间不同处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图1 SNP处理后藤上熟猕猴桃的硬度和常温货架期

Fig. 1 Firmness and shelf life at room temperature of vine-ripened kiwifruit after SNP treatment

2.2 外源NO处理对藤上熟猕猴桃采后食用品质的影响

从图2可知,在常温货架期内,随着贮藏时间的延长,各组藤上熟猕猴桃的可溶性固形物质量分数呈逐渐增高的态势;贮藏8 d时,对照组和0.1、0.2、0.3 mmol/L SNP处理组的果实可溶性固形物质量分

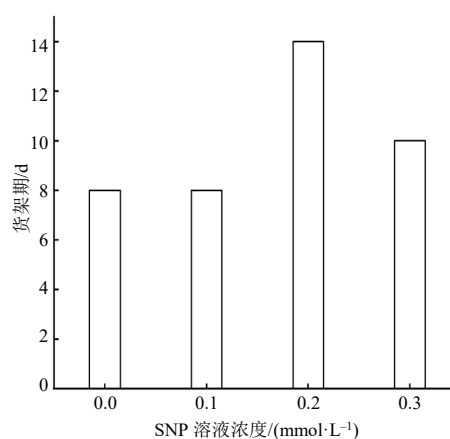
1.3 数据处理

运用SPSS 25.0,对猕猴桃生理生化指标进行显著性分析(one-way ANOVA),选用Duncan法进行多重比较;采用Origin 2021进行Pearson相关性分析及绘图。

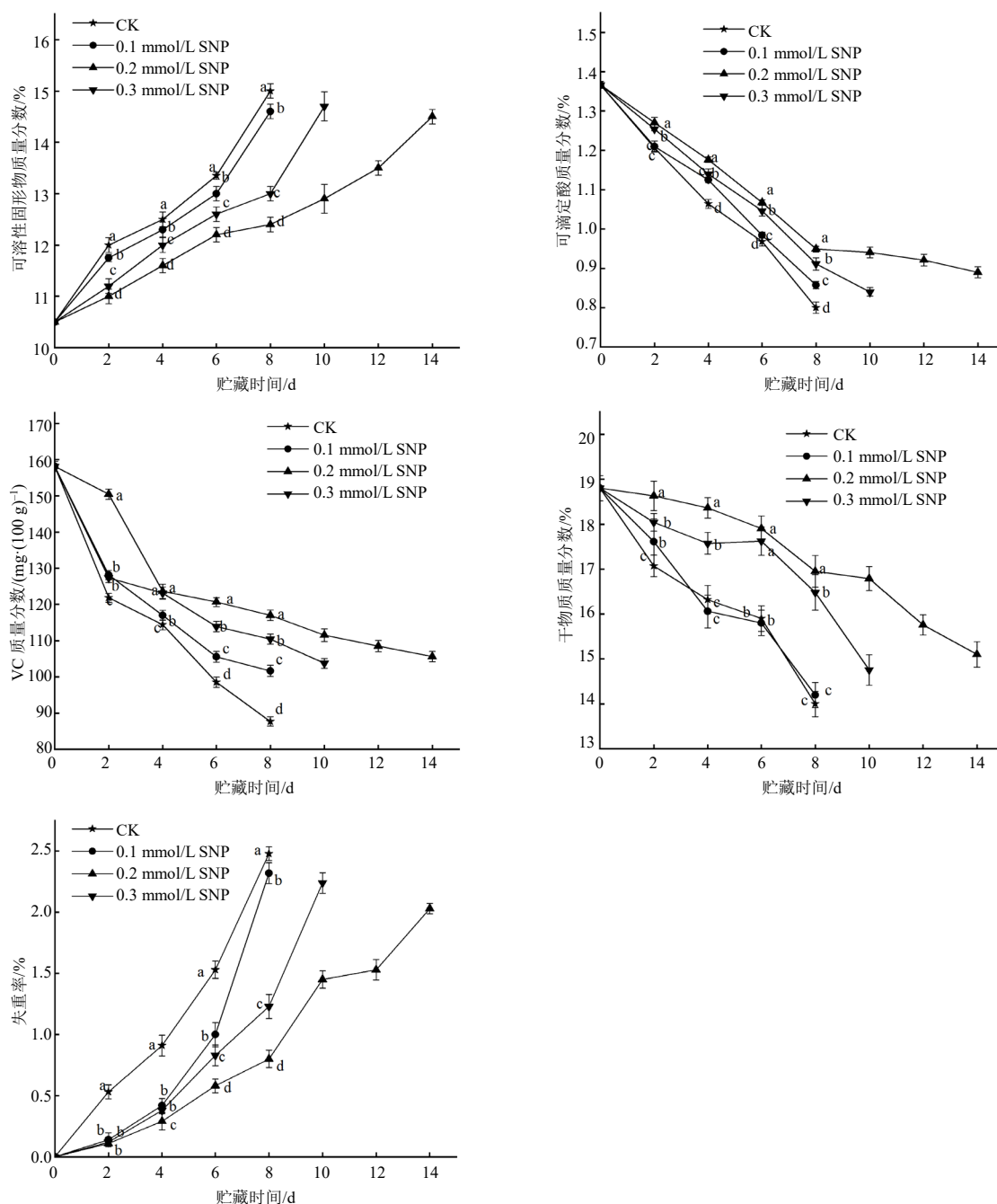
2 结果与分析

2.1 外源NO处理对藤上熟猕猴桃硬度和常温货架期的影响

由图1可见,随着贮藏时间的延长,各组藤上熟猕猴桃在常温货架期间的硬度均呈持续下降趋势,其中对照组的下降幅度最大。贮藏2~8 d时,各处理组果实硬度均显著高于对照组的(贮藏8 d时0.1 mmol/L SNP处理除外),其中0.2 mmol/L SNP处理组效果最好,其果实硬度在整个货架期内始终高于其他组的。对照组藤上熟猕猴桃的常温货架期为8 d,贮藏终止时硬度下降至 $(1.34 \pm 0.15)\text{ kg/cm}^2$,商品性几近丧失^[14];0.2 mmol/L SNP处理组藤上熟猕猴桃常温贮藏14 d时,硬度为 $(1.65 \pm 0.21)\text{ kg/cm}^2$,其常温货架期为14 d,相比于对照组延长了75%。这说明SNP处理可有效延缓藤上熟猕猴桃软化进程,且具有剂量效应。



数较初始值(10.5%)分别增加了42.86%、39.05%、18.10%、23.81%,各SNP处理组的增幅显著低于对照组的,其中0.2 mmol/L SNP处理组可溶性固形物质量分数增幅最小,较对照组的减小了24.76个百分点,这表明外源NO处理能有效减缓可溶性固形物的产生和累积,该结果与硬度的变化规律基本一致。



图上不同字母表示同一贮藏时间不同处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图2 SNP处理后藤上熟猕猴桃的食用品质

Fig. 2 Eating quality of vine-ripened kiwifruit after SNP treatment

由图2可知,藤上熟猕猴桃果实中的可滴定酸质量分数随贮藏时间延长而降低;贮藏8 d时,对照和0.1、0.2、0.3 mmol/L SNP处理组的果实可滴定酸质量分数较初始值分别降低了41.48%、37.31%、30.58%、33.36%,各SNP处理组的降幅始终低于对照组的,其中0.2 mmol/L SNP处理组效果最佳,其降低速率较对照组的减缓了10.90个百分点,这表明外源NO处理有效抑制了藤上熟猕猴桃常温代谢,进而降低了货架期内有机酸的消耗。

常温货架期内藤上熟猕猴桃果实中VC质量分

数呈缓慢下降趋势(图2);贮藏8 d时,对照和0.1、0.2、0.3 mmol/L SNP处理组的果实VC质量分数较初始值((158.2±1.4) mg/100 g)分别下降了44.54%、35.72%、26.00%、30.17%,SNP处理组的降幅显著低于对照组的,其中0.2 mmol/L SNP处理组的VC质量分数始终高于其他组的,较对照组的VC损失率减少了18.54个百分点。由此可见,外源NO处理能有效减缓藤上熟猕猴桃常温货架期内VC的损失,且具有剂量效应。

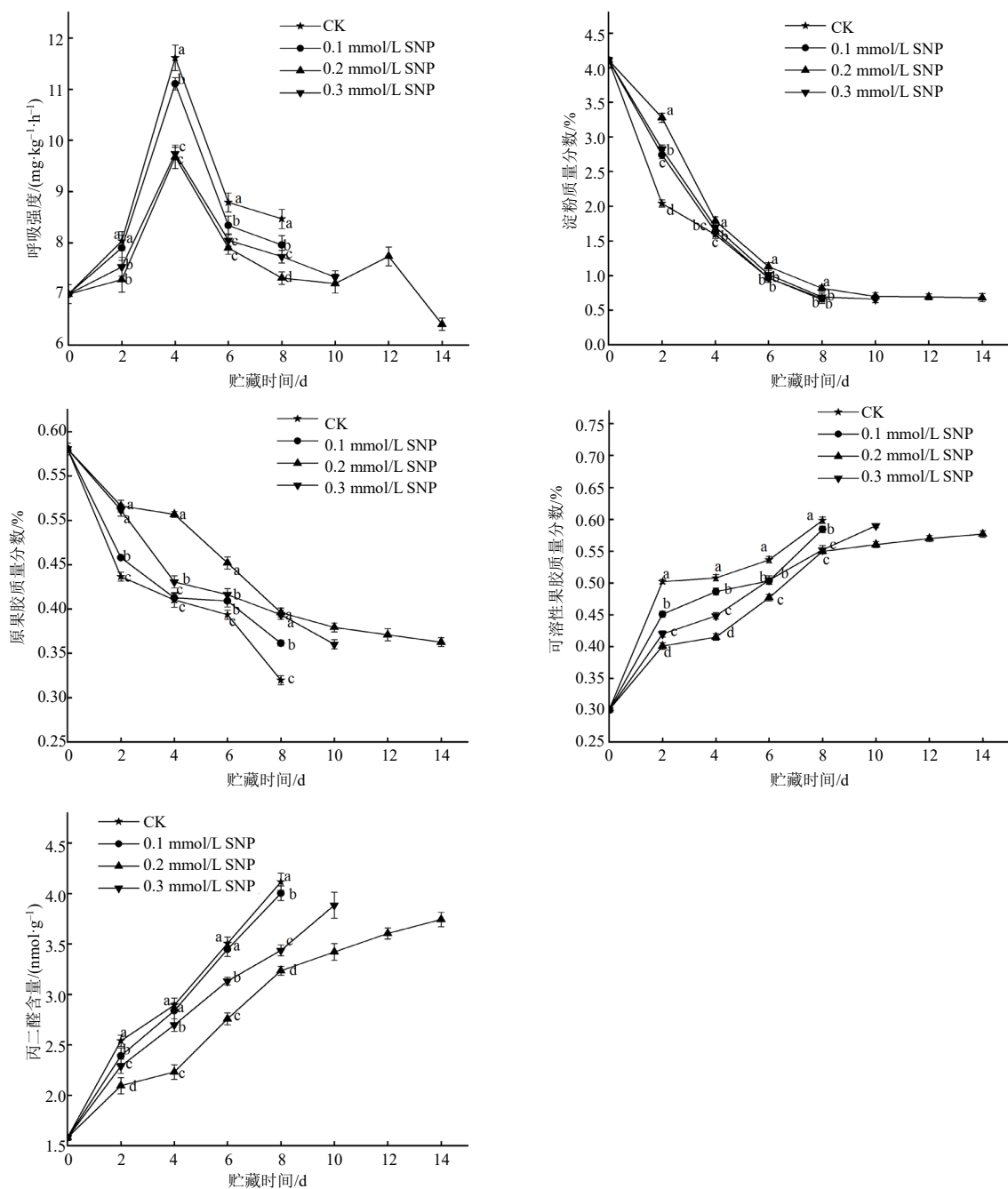
由图2还可知,0.2、0.3 mmol/L SNP处理组的

果实干物质质量分数显著高于对照组的; 各SNP处理组的果实失重率显著低于对照组的, 这表明外源NO处理能减缓干物质的消耗、水分丢失、质量减少, 进而延缓失重率的上升。

2.3 外源NO处理对藤上熟猕猴桃采后贮藏特性的影响

由图3可知, 在常温货架期内, 果实的呼吸强度均呈先上升后下降的趋势, 呼吸强度曲线符合呼吸

跃变型果实成熟期和衰老期的典型特征; 所有果实均在4 d时达到呼吸高峰, SNP处理组果实的呼吸峰值显著低于对照组的, 0.2 mmol/L SNP处理组的呼吸峰值较对照组的降低了16.7%。由此可见, 外源NO处理明显降低了果实的呼吸强度和呼吸峰值, 但不改变其呼吸峰值的出现时间, 这表明外源NO处理对藤上熟猕猴桃的呼吸速率具有明显的抑制作用。



图上不同字母表示同一贮藏时间不同处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图3 SNP处理后藤上熟猕猴桃的贮藏品质

Fig. 3 Storage quality of vine-ripened kiwifruit after SNP treatment

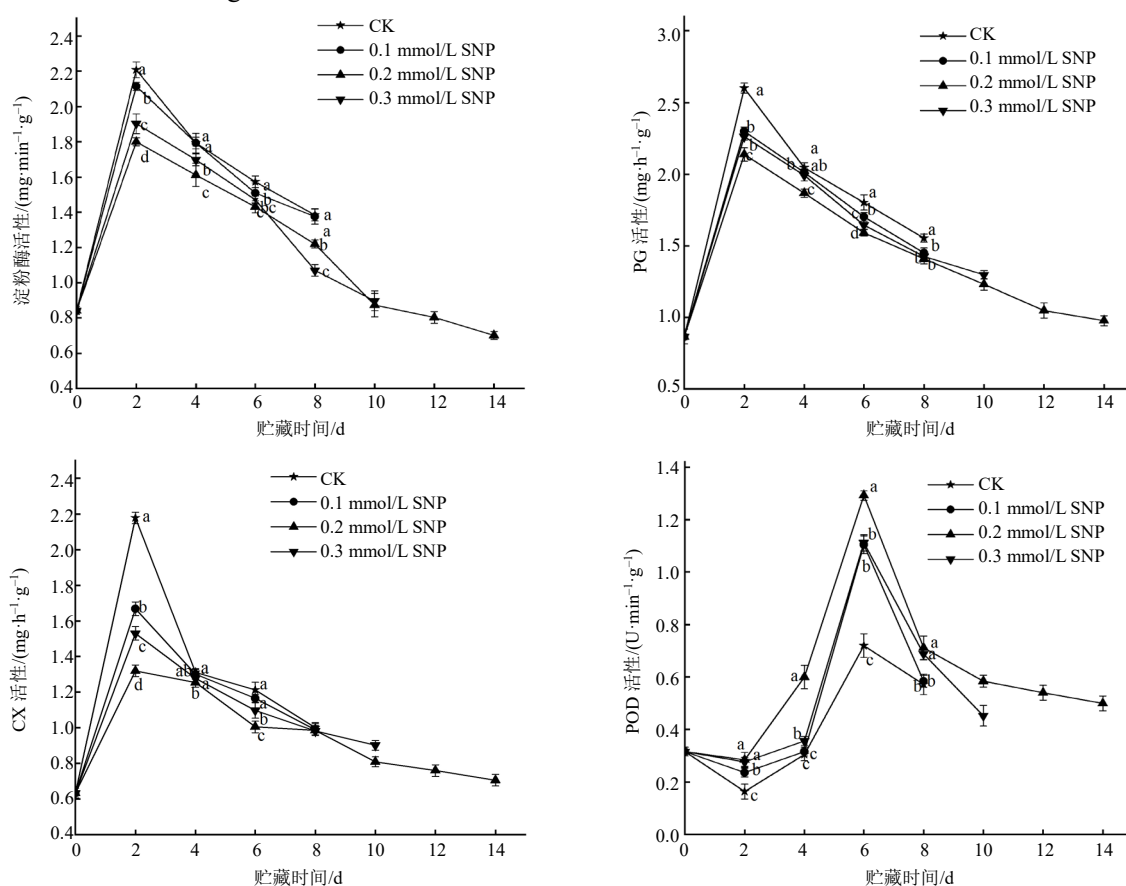
由图3可知,随着猕猴桃的成熟,其淀粉、原果胶质量分数逐渐下降,可溶性果胶质量分数逐渐上升;贮藏2~8 d时,0.2、0.3 mmol/L SNP处理组的果实淀粉(贮藏6、8 d时0.3 mmol/L SNP处理组除外)、原果胶质量分数均显著高于对照组的,可溶性果胶质量分数均显著低于对照组的。这说明外源NO处理对藤上熟猕猴桃常温货架期内淀粉及原果胶的降解具有明显延缓作用,有利于保持果实原有的坚挺度。

由图3还可知,在整个货架期,猕猴桃丙二醛含量逐渐增加,且0.2、0.3 mmol/L SNP处理组的丙二醛含量均显著低于对照组的;贮藏8 d时,对照组的丙二醛含量达4.12 nmol/g,而0.2 mmol/L SNP处理

组的为3.23 nmol/g;贮藏14 d时,0.2 mmol/L SNP处理组的丙二醛含量为3.74 nmol/g。这表明外源NO处理能显著抑制常温货架期内藤上熟猕猴桃细胞膜脂的过氧化,延缓细胞膜损伤,维持果实的坚挺度。

2.4 外源NO处理对藤上熟猕猴桃采后酶活性的影响

从图4可知,各组果实的淀粉酶活性均先升后降,贮藏2 d时达到峰值,且SNP处理组的显著低于对照组的,其中0.2 mmol/L SNP处理组的淀粉酶活性较对照组的下降了18.48%。这表明外源NO能够通过调控藤上熟猕猴桃的淀粉酶活性,维持其果实硬度和食用品质。



图上不同字母表示同一贮藏时间不同处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图4 SNP处理后藤上熟猕猴桃采后酶活性

Fig. 4 Enzyme activities of postharvest vine-ripened kiwifruit after SNP treatment.

由图4可知,各组果实PG活性先急剧增加,贮藏2 d之后逐渐下降,其中,同一贮藏时间下各SNP处理组果实的PG活性始终低于对照组的,且0.2、0.3 mmol/L SNP处理组果实的PG活性显著低于对照组的;贮藏2~6 d时,0.2 mmol/L SNP处理组的果实PG活性显著低于其他处理组的。货架期内,各组藤上熟猕猴桃的CX活性呈先升后降趋势,贮藏2 d时

达到峰值,SNP处理组的峰值显著低于对照组的,其中0.2 mmol/L SNP处理组峰值最低,CX活性为1.32 mg/(h·g),仅为对照组果实的60.6%。由此可见,外源NO处理可抑制藤上熟猕猴桃常温货架期间的PG、CX活性,延缓细胞壁结构解体,从而达到较好的保鲜效果。

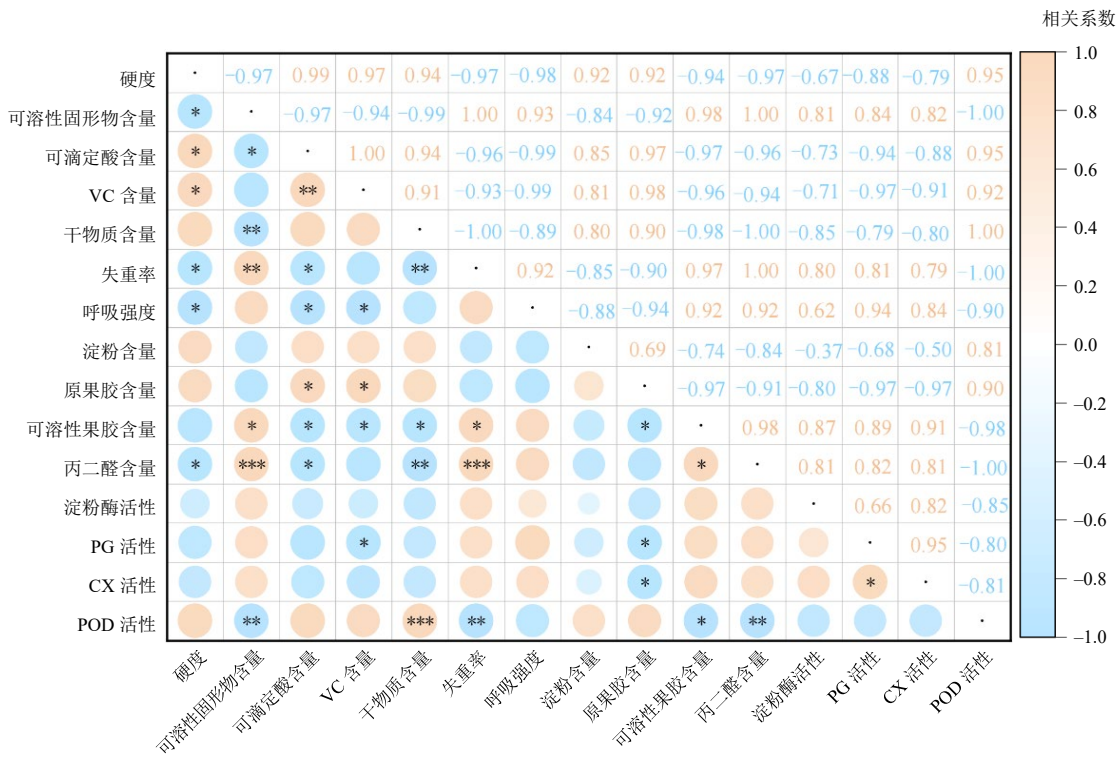
由图4还可知,货架期内,各组果实的POD活性

均呈先略降再升又降的趋势，贮藏6 d时达到峰值，且SNP处理组的峰值均显著高于对照组的，其中0.2 mmol/L SNP处理组的POD活性相当于对照组的1.8倍，这表明SNP处理在清除活性氧、减轻细胞膜氧化损伤、维持细胞壁结构和功能等生理过程中可发挥核心保护作用，达到较好的保鲜效果。

2.5 藤上熟猕猴桃常温货架期内生理生化指标间的相关性分析结果

由图5可知，硬度、可滴定酸含量、VC含量、干物质含量、淀粉含量、原果胶含量及POD活性等指标

均与可溶性固形物含量、可溶性果胶含量、丙二醛含量、失重率、呼吸强度及淀粉酶、PG、CX活性等指标呈负相关性，其中，硬度与失重率、呼吸强度及可溶性固形物、丙二醛含量呈显著负相关，相关系数分别为-0.97、-0.98、-0.97和-0.97。可滴定酸和VC含量与硬度呈显著正相关，相关系数分别为0.99和0.97；与呼吸强度呈显著负相关，相关系数均为-0.99，这表明降低猕猴桃贮藏期间的呼吸强度，可以延缓猕猴桃硬度、可滴定酸和VC含量下降的速率。



*、**、***分别表示 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 、 $P<0.001$ 。

图5 藤上熟猕猴桃常温货架期内生理生化指标间的相关性

Fig. 5 Correlation among physiological and biochemical indicators of vine-ripened kiwifruit during room-temperature shelf life

3 结论与讨论

猕猴桃成熟时硬度会逐渐降低至可食用阶段，在达到可食用阶段后会逐渐软化衰老腐烂直至失去食用价值。呼吸作用通过消耗果蔬体内积累的有机养分，导致货架品质下降及贮藏性降低^[19-20]。猕猴桃果实进入成熟期后，细胞内的线粒体数量急剧增多，呼吸活性也随之急剧增强^[21]，呼吸强度达到峰值后开始下降，果实进入衰老期，品质逐渐劣变^[22]。淀粉是猕猴桃果实的细胞内容物之一，对维

持果实硬度、细胞膨压及增强果实坚挺度具有重要作用^[14]。果胶包括原果胶和可溶性果胶。随着果实的成熟，原果胶逐渐分解，水溶性果胶逐渐增加，导致果实硬度下降^[23]。但果实组织中的淀粉能在淀粉酶作用下转化为还原糖^[24]。果实内淀粉酶含量越高，淀粉降解越快。PG可将果实细胞壁中果胶分子降解为小分子物质，使细胞壁结构解体，导致果实软化^[25]。丙二醛是果蔬细胞膜脂过氧化的主要产物，其含量可反映细胞膜的损伤程度^[26-27]。POD可以过氧化氢为电子受体，以酚类物质为电子供体催

化氧化反应,在此过程中分解清除 H_2O_2 ,从而减缓膜质过氧化^[28]。因此,猕猴桃保鲜常通过降低呼吸代谢、抑制淀粉酶与细胞壁降解酶的活性、提高抗氧化酶的活性等途径来减缓其软化衰老进程。

本研究中,在藤上熟猕猴桃常温贮藏条件下,0.2 mmol/L SNP处理可通过多重协同机制发挥最佳保鲜效果,使常温货架期较对照组延长了75%。主要路径如下:①呼吸峰值降低16.7%,延缓有机酸(贮藏8 d时可滴定酸含量降低速率较对照组的减缓10.90个百分点)、VC(贮藏8 d时VC损失率较对照组的减少18.54个百分点)及干物质消耗;②延缓淀粉水解进程,抑制可溶性固形物的产生和累积(贮藏8 d时,可溶性固形物含量增幅较对照组的减小了24.76个百分点)。该结果与NO在南果梨^[29]、灰枣^[30]及杏果实^[31]中的品质调控机制形成互证,与董文娟等^[32]报道的N-乙酰-D-葡萄糖胺对‘红阳’猕猴桃后熟软化过程中食用品质的影响结果相似。

0.2 mmol/L SNP处理的外源NO通过调控细胞壁降解酶系及淀粉代谢维持果实硬度:①显著抑制淀粉酶(淀粉酶活性峰值较对照组的下降了18.48%)、CX(CX活性峰值仅为对照组的60.6%)和PG的活性,延缓淀粉、果胶及纤维素网络解聚;②提高POD活性(POD活性峰值为对照组的1.8倍),降低膜脂过氧化水平(丙二醛含量显著低于对照组的),减缓膜损伤。该结果与桃果实^[33]、茭白^[34]及梨果实^[35]中NO抑制细胞降解的研究结论一致^[36-37]。Pearson相关性热图分析结果表明,淀粉酶、PG、CX活性与果实硬度、VC含量、淀粉含量呈负相关,印证了外源NO可通过靶向调控糖代谢-细胞壁解耦联网络,延缓果实衰老软化进程的机制。

综上所述,通过SNP溶液处理的外源NO处理可显著延缓藤上熟猕猴桃的采后衰老进程,并有效维持其常温贮藏品质,0.2 mmol/L SNP溶液处理可使果实常温货架期由对照组的8 d延长至14 d,提升75%。其保鲜机制主要体现在三方面:①通过调控糖酵解关键节点,降低呼吸峰值,从而延缓有机酸、VC的代谢消耗,并维持干物质含量;②通过抑制淀粉酶、CX和PG活性,延缓淀粉、果胶及纤维素网络解聚,减缓可溶性固形物的产生;③通过激活POD

活性,降低膜脂过氧化水平,减少丙二醛产生,有效维持细胞膜结构与功能。

参考文献:

- [1] ZHANG Y, WANG K, XIAO X, et al. Effect of 1-MCP on the regulation processes involved in ascorbate metabolism in kiwifruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 179: 111563.
- [2] WANG J, VANGASK K, RAGHAVAN V. High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: effects on the ascorbic acid, total phenolics, flavonoids and antioxidant capacity[J]. *LWT: Food Science and Technology*, 2019, 107: 299-307.
- [3] 陈海燕. 城市生鲜农产品电商冷链物流配送模式及协同机制[J]. *中国储运*, 2024(12): 84-85.
- [4] 黄文俊, 钟彩虹. 猕猴桃果实采后生理研究进展[J]. *植物科学学报*, 2017, 35(4): 622-630.
- [5] ZHANG Z, XU J, CHEN Y, et al. Nitric oxide treatment maintains postharvest quality of table grapes by mitigation of oxidative damage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 152: 9-18.
- [6] 罗丽真, 邓雨正, 廖伟彪. 一氧化氮在延缓农产品采后衰老中的作用机制[J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2023, 39(7): 933-943.
- [7] 谢晶, 覃子倚, 潘家丽, 等. 基于主成分分析的硝普钠处理对采后荔枝活性氧代谢的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(9): 192-198.
- [8] 姚军, 郑贺云, 张翠环, 等. 外源硝普钠处理对甜瓜采后贮藏特性的影响[J]. *保鲜与加工*, 2023, 23(9): 1-5.
- [9] 刘涛, 潘娜, 周聪, 等. 硝普钠处理对先锋樱桃贮藏品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2024, 45(17): 1-7.
- [10] SAHU S K, BARMAN K, SINGH A K. Nitric oxide application for postharvest quality retention of guava fruits[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2020, 42(10): 156.
- [11] AHMADI SOLEIMANIE S, VAFAEE Y, KOUSHESH SABAM. Preharvest application of sodium nitroprusside improves tomato fruit quality and alleviates chilling injury during cold storage[J]. *International Journal of Vegetable Science*, 2020, 26(4): 364-378.
- [12] TRAN T K N, PHAN P H, TRAN T T, et al. Enhancing postharvest quality and extending storage life of Booth 7 avocado(*Persea americana* Mill.) fruit through sodium nitroprusside(SNP) application during low-temperature storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2024, 331: 113120.
- [13] 任艳芳, 薛宇豪, 田丹, 等. 水杨酸和硝普钠协同处理对芒果贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(9): 151-159.
- [14] 郑建梅. 乙烯+1-MCP处理对‘徐香’猕猴桃果实后熟特性的影响及机理研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2022.

- [15] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 28–101.
- [16] 赵萍, 巩慧玲, 赵瑛, 等. 不同品种马铃薯贮藏期间干物质与淀粉含量之间的关系[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 103–105.
- [17] 杨海燕, 吴文龙, 阎连飞. 干旱胁迫对蓝莓叶片生理特征的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(4): 131–133.
- [18] 余庭庭. 不同变温处理对‘徐香’猕猴桃后熟生理的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2023.
- [19] 江英, 王月, 毛惠娟, 等. 高湿度贮藏环境保持香梨表皮蜡质延缓衰老进程[J]. 农业工程学报, 2020, 36(3): 287–295.
- [20] 寇莉萍, 石雅茜, 朱璧合, 等. 电子束转靶X射线处理对石榴常温货架期品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(6): 71–77.
- [21] CROWHURST R N, GLEAVE A P, MACRAE E A, et al. Analysis of expressed sequence tags from *Actinidia*: applications of a cross species EST database for gene discovery in the areas of flavor, health, color and ripening[J]. BMC Genomics, 2008, 9: 351.
- [22] 苏金龙. 褪黑素对猕猴桃果实后熟衰老的调控及其生理机制研究[D]. 西安: 西北大学, 2021.
- [23] 邵远志, 高毫杰, 贾志伟, 等. 1-MCP和乙烯利处理对番木瓜果实软化生理的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(2): 143–148.
- [24] 王志华, 贾朝爽, 谭焕光, 等. 采收期结合1-MCP对苹果采后生理和贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(20): 293–300.
- [25] SHIL Q, LIU Q, QIAO Q H, et al. Exploring the effects of pectate and pectate lyase on the fruit softening and transcription profiling of *Solanum lycopersicum*[J]. Food Control, 2022, 133: 108636.
- [26] 江鸿, 卿东山, 陈浩杰, 等. 外源水杨酸对淹水胁迫下西瓜幼苗光合特性及抗氧化酶系统的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(3): 47–54.
- [27] 陈国刚, 郭璟瑜, 于译, 等. 1-MCP和壳聚糖处理保持红枣贮藏品质及其机理研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 338–344.
- [28] 来涌凯, 周宜洁, 陈中苏直, 等. 外源EGCG对采后龙眼果肉品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(5): 545–550.
- [29] 程园, 李灿婴, 侯佳宝, 等. 采后硝普钠处理对南果梨果实贮藏品质和细胞壁降解酶的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 252–257.
- [30] 陈燕, 张健, 魏佳, 等. 一氧化氮熏蒸抑制干制灰枣黑曲霉病及贮藏品质保持[J]. 农业工程学报, 2019, 35(12): 297–303.
- [31] 张洁仙, 刘雪艳, 单晴, 等. 一氧化氮处理对杏果实采后抗坏血酸–谷胱甘肽循环及贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(6): 184–191, 200.
- [32] 董文娟, 陈明, 向妙莲, 等. 猕猴桃果实后熟软化过程中己糖激酶基因的表达分析[J]. 食品科学, 2024, 45(9): 189–196.
- [33] SONG C C, ZHAO Y Y, LIA, et al. Postharvest nitric oxide treatment induced the alternative oxidase pathway to enhance antioxidant capacity and chilling tolerance in peach fruit[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2021, 167: 113–122.
- [34] QI X H, JI Z J, LIN C, et al. Nitric oxide alleviates lignification and softening of water bamboo(*Zizania latifolia*) shoots during postharvest storage[J]. Food Chemistry, 2020, 332: 127416.
- [35] ADHIKARY T, GILL P P S, JAWANDHA S K, et al. Efficacy of postharvest sodium nitroprusside application to extend storability by regulating physico-chemical quality of pear fruit[J]. Food Chemistry, 2021, 346: 128934.
- [36] JIAO C F. IP3 mediates NO-enhanced chilling tolerance in postharvest kiwifruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 176: 111463.
- [37] ZHENG X L, HU B, SONG L J, et al. Changes in quality and defense resistance of kiwifruit in response to nitric oxide treatment during storage at room temperature[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 222: 187–192.

责任编辑: 邹慧玲