

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.23.002

6-苄氨基嘌呤处理对‘苏翠1号’梨货架期品质的影响

张怡^{1,2}, 黄雯³, 张映瞳², 凌军², 李鹏霞², 程顺昌¹, 杨青松^{4*}, 周宏胜^{1,2,5*}

(1. 沈阳农业大学 食品学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 江苏省农业科学院, 农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室, 江苏 南京 210014; 3. 南京市蔬菜科学研究所, 江苏 南京 210042; 4. 江苏省农业科学院 果树研究所, 江苏 南京 210014; 5. 江苏大学 食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 为明确采后 6-苄氨基嘌呤(6-benzaminopurine, 6-BA)处理对梨货架期的保鲜效果, 以‘苏翠1号’梨为试材, 以清水处理为对照, 探究 0.1 g/L 6-BA 浸泡处理 10 min 对‘苏翠1号’梨常温[(24±2) °C]货架期品质的影响。结果表明, 与对照组相比, 6-BA 处理有效地延缓货架期梨果皮叶绿素含量、果肉硬度、果肉可溶性糖含量、可滴定酸含量和维生素 C 含量等品质指标的下降, 还可以抑制果实失重率的增加。6-BA 处理可以有效地降低‘苏翠1号’梨在整个货架期的呼吸速率和乙烯释放速率, 使梨果实保持相对较高的超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶等抗氧化酶活性和较低的丙二醛含量, 这可能是 6-BA 处理减轻梨果实细胞膜氧化性损伤、延缓梨品质下降和衰老发生的原因。该研究证明 6-BA 处理对‘苏翠1号’梨具有明显的保鲜效果, 可有效地延缓货架期品质的下降。

关键词: 6-苄氨基嘌呤; ‘苏翠1号’梨; 货架期; 品质; 抗氧化酶

Effects of 6-Benzylaminopurine Treatment on Quality of ‘Sucui 1’ Pears during Shelf-Life Storage

ZHANG Yi^{1,2}, HUANG Wen³, ZHANG Yingtong², LING Jun², LI Pengxia², CHENG Shunchang¹,
YANG Qingsong^{4*}, ZHOU Hongsheng^{1,2,5*}

(1. Department of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, Liaoning, China; 2. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agricultural Products Cold Chain Logistics Technology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, Jiangsu, China; 3. Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042, Jiangsu, China; 4. Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu, China; 5. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China)

Abstract: In order to determine the effect of postharvest 6-benzaminopurine (6-BA) treatment on the preservation of pears during shelf-life storage, the effect of 0.1 g/L 6-BA immersion treatment for 10 min on the quality of ‘Sucui 1’ pears during shelf life at room temperature [(24±2) °C] was investigated, and the water treatment was set as the control group. The results showed that compared with the control group, 6-BA treatment could effectively delay the decline of chlorophyll content of peel, flesh hardness, soluble sugar content, titrable acid content, and vitamin C content during shelf life and inhibit the increase in weight loss. 6-BA treatment could effectively reduce the respiration rate and ethylene release rate of ‘Sucui 1’ pear during shelf life and maintain relatively high antioxidant enzyme activities such as superoxide dismutase, peroxidase, and catalase and lower malondialdehyde content of the pear. These may be the possible reasons that 6-BA treatment could reduce the oxidative damage of cell membranes and delay the senescence and degeneration of pears during their shelf life. This research indicated that 6-BA treatment had an obvious fresh-keeping effect on ‘Sucui 1’ pears and could effectively delay the quality decline during shelf life.

Key words: 6-benzaminopurine; ‘Sucui 1’ pears; shelf life; quality; antioxidant enzyme

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2100600); 国家自然科学基金资助项目(31901746)

作者简介: 张怡(1995—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 果蔬保鲜。

*通信作者: 杨青松(1984—), 男(汉), 副研究员, 本科, 研究方向: 梨育种与栽培; 周宏胜(1986—), 男(满), 副研究员, 博士, 研究方向: 果蔬加工与贮藏。

引文格式:

张怡,黄雯,张映瞳,等.6-苄氨基嘌呤处理对‘苏翠1号’梨货架期品质的影响[J].食品研究与开发,2024,45(23):9-17.
ZHANG Yi, HUANG Wen, ZHANG Yingtong, et al. Effects of 6-Benzylaminopurine Treatment on Quality of ‘Sucui 1’ Pears during Shelf-Life Storage[J]. Food Research and Development, 2024, 45(23): 9-17.

‘苏翠1号’梨是由江苏省农业科学院选育而成的砂梨新品种,因其早熟、汁多味甜、肉质细胞等特点深受消费者的喜爱^[1]。早熟砂梨果实采收时正值夏季高温高湿天气,采后生理代谢旺盛,通常不耐贮藏、货架期短。‘苏翠1号’梨常温货架销售中也常会发生果皮变黄、风味变淡、肉质变软、失水萎蔫等问题,直接影响其货架期和商品价值,造成重大的经济损失^[2]。因此,研发适合其货架期的保鲜技术,对‘苏翠1号’梨货架期的延长和新品种的推广意义重大。

6-苄氨基嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BA)是一种人工合成的能够促进细胞分裂的生长调节剂,可有效调节植物的生长发育,在种子萌发、光合作用、叶片衰老和防御反应等方面发挥着重要的作用^[3-4]。美国环境保护署已认证6-BA为可以在农业中使用的一种无毒的植物生长调节剂,且豁免6-BA的最大残留量检测^[4-5]。近年来,6-BA在果蔬采后保鲜领域中的作用及其应用也备受关注^[3-4,6]。Zhang等^[4]采用0.2 g/L的6-BA处理可延缓芒果果实的成熟和衰老;Zhang等^[6]研究发现0.1 g/L 6-BA处理可通过抑制褐变在荔枝果实保鲜中发挥作用;Xu等^[7]研究表明0.2 g/L的6-BA处理可抑制西兰花叶绿素的降解,增强其抗氧化能力和延缓衰老。

虽然植物激素对植物发育、衰老的调控,特别是在果蔬保鲜中的作用逐渐引起人们的关注,6-BA在芒果、荔枝和西兰花等多种果蔬中的保鲜作用已得到验证,但其对砂梨保鲜的效果仍缺少相关研究。‘苏翠1号’梨是近几年育成的早熟绿皮砂梨新品种,但货架期果皮黄化、果肉软化、风味变淡等问题严重影响其销售品质,其货架期保鲜技术仍很缺乏。本研究以‘苏翠1号’梨为原料,研究6-BA处理对‘苏翠1号’梨的货架期品质和相关生理指标的影响,以期为6-BA在梨贮运保鲜中的应用和与其他保鲜技术的联合应用提供一定的技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘苏翠1号’梨果实于2022年7月12日采收于江苏省泰州市商业化梨园,采收当日运回江苏省农业科学院,预冷后挑选大小均匀、成熟度一致、无病虫害和表面无机械损伤的梨果实为试验材料。

6-苄氨基嘌呤、酚酞(均为分析纯):上海源叶生物

科技有限公司;三氯乙酸、硫代巴比妥酸、氢氧化钠(均为分析纯):上海麦克林生化科技有限公司;乙醇、对氨基苯磺酸、盐酸(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司;乙二胺四乙酸二钠、盐酸羟胺(均为分析纯):西陇科学股份有限公司;愈创木酚、 α -萘胺、2,6-二氯酚(均为分析纯):上海阿拉丁试剂有限公司。

CR-400色差仪:日本柯尼卡美能达公司;GY-1手持硬度计:北京阳光亿事达科技有限公司;UV-1102型紫外-可见分光光度计:上海天美科学仪器有限公司;Epoch酶标仪:美国Bioteke公司;BSA124S电子天平:赛多利斯科学仪器有限公司;7820A气相色谱仪:美国Agilent公司;3K-15离心机:德国SIGMA公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理

将300个‘苏翠1号’梨果实随机平均分为2组,分别进行6-BA和对照处理。6-BA组:将梨果实置于0.1 g/L(基于预试验浓度筛选)的6-BA溶液中浸泡处理10 min后自然晾干;对照组:将梨果实置于清水中浸泡10 min后自然晾干。

将2组梨果实分别置于打孔透气的保鲜盒内,置于常温 $[(24\pm 2)^\circ\text{C}]$ 下进行贮藏25 d模拟货架期,每隔5 d取样,每次随机选取10个果实用于拍照(用Canon相机在小型补光摄影棚中拍摄)并测定相关生理指标,每个处理均重复3次,其中0 d的样本为处理前的梨果实。

1.2.2 果皮颜色和叶绿素含量的测定

果皮颜色使用色差仪测定。叶绿素含量测定参照韦友欢等^[8]的方法,略作改动。称取0.5 g样品,加入95%的乙醇溶液10 mL,避光浸提12 h,测定上清液在642、665 nm处的吸光度(A_{642} 、 A_{665})。重复测定3次,计算公式如下。

$$a = \frac{C_a \times V}{m}$$
$$b = \frac{C_b \times V}{m}$$
$$c = a + b$$

式中: a 为叶绿素a含量,mg/g; b 为叶绿素b含量,mg/g; c 为总叶绿素含量,mg/g; C_a 为叶绿素a的浓度,mg/L; C_b 为叶绿素b的浓度,mg/L; V 为提取液总体积,L; m 为样品质量,g。

1.2.3 硬度测定

硬度测定参照魏宝东等^[9]的方法,略作改动。在梨果实最大横径处对角位置切去1 cm²的果皮,在去

皮处用手持硬度计匀速垂直插入果肉中,读取硬度计上的数值,每个处理测定10个果实。

1.2.4 失重率测定

选定10个梨果实进行标号,用电子天平称量每个样品贮藏前的质量,每5d测定其单果质量。失重率计算公式如下。

$$w = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$$

式中: w 为失重率,%; M_0 为初始质量,g; M_1 为后期质量,g。

1.2.5 可滴定酸含量的测定

可滴定酸含量测定采用酸碱滴定法^[10]。称取1g样品,加入20mL水,浸提10min后10000r/min离心10min提取上清液。取上清液15mL于锥形瓶中,加入一定量的酚酞指示剂,用标定过的NaOH进行滴定,溶液初显粉色并在30s内不褪色即为滴定终点,记录NaOH滴定液的用量。做空白试验。重复测定3次,取平均值。可滴定酸含量计算公式如下。

$$T_A = \frac{C \times V \times V_1 \times F \times 0.001}{m \times V_2} \times 100$$

式中: T_A 为可滴定酸含量,%; C 为氢氧化钠的浓度,mol/L; V 为提取液总体积,mL; V_1 为滴定样液时所消耗氢氧化钠溶液的体积,mL; F 为折算系数,0.067g/mmol; V_2 为滴定时所取样品溶液的体积,mL; m 为样品的质量,g。

1.2.6 可溶性糖含量的测定

可溶性糖含量测定采用蒽酮法^[11]。称取0.5g样品,加入2.5mL80%的乙醇溶液,80℃水浴浸提10min,冷却后10000r/min离心10min。取0.1mL上清液,加0.9mL体积分数为80%的乙醇,再加入5mL蒽酮,100℃水浴中反应10min,测定620nm处吸光度。重复测定3次,取平均值。可溶性糖含量计算公式如下。

$$S = \frac{C \times V \times N}{m \times V_1}$$

式中: S 为可溶性糖含量,mg/g; V 为样品提取液总体积,mL; C 为从标准曲线中查得的葡萄糖含量,mg; N 为提取液的稀释倍数; V_1 为测定时所用样品提取液的体积,mL; m 为样品质量,g。

1.2.7 抗坏血酸含量的测定

抗坏血酸含量测定采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[12],称取1g样品,加入2.5mL草酸溶液,混匀后以10000r/min离心10min提取上清液。取2mL上清液于锥形瓶中,用已标定的2,6-二氯酚靛酚溶液进行滴定,溶液出现微红色并在15s不褪色即滴定终点。重复3次,取平均值。抗坏血酸含量计算公式如下。

$$V_C = \frac{V \times (V_1 - V_0) \times C \times 100}{m \times V_S}$$

式中: V_C 为抗坏血酸含量,mg/100g; V 为样品提取液的总体积,mL; V_1 为滴定样液时消耗染料的体积,mL; V_0 为空白滴定消耗染料的体积,mL; C 为1mL染料溶液相当于抗坏血酸的量,mg/mL; V_S 为滴定时所取样品溶液的体积,mL; m 为样品质量,g。

1.2.8 丙二醛(malondialdehyde,MDA)含量的测定

MDA含量测定采用硫代巴比妥酸法^[13]。取1g样品,加5%的三氯乙酸溶液2.5mL,10000r/min离心10min后提取上清液。取上清液2mL,加0.67%的硫代巴比妥酸2mL,沸水浴中加热20min,冷却后10000r/min离心10min,分别测定450、532nm和600nm波长处的吸光度(A_{450} 、 A_{532} 、 A_{600})。重复测定3次,取平均值。丙二醛含量计算公式如下。

$$M = \frac{[6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450}] \times V}{m \times V_1}$$

式中: M 为MDA含量, μ mol/g; V 为样品提取液总体积,mL; V_1 为测定时所用样品提取液的体积,mL; m 为样品质量,g。

1.2.9 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,SOD)活性测定

SOD活性测定参照Dhindsa等^[14]的方法,略有改动。称取1g样品,加0.1mol/L的磷酸缓冲溶液2mL,混匀后10000r/min离心10min提取粗酶液。分别设置样品管、对照管和空白管。在样品管中加入粗酶液0.5mL,依次加入0.3mL甲硫氨酸、0.3mL氮蓝四唑、0.3mL核黄素和0.3mL乙二胺四乙酸二钠;以磷酸缓冲溶液替换粗酶液作为对照管和空白管,对照管与样品管照光,空白管用黑色遮光布遮盖不照光。将以上所有试管同时置于光强为4000lx的日光灯下反应20min,反应结束后用黑色遮光布遮盖以终止反应,在波长560nm处测定吸光度,重复3次,SOD活性计算公式如下。

$$S = \frac{(A_C - A_B) \times V}{(A_C - A_S) \times V_1 \times m \times 0.5 \times t}$$

式中: S 为SOD活性,U/g; A_C 为对照管反应混合液的吸光度; A_B 为样品管反应混合液的吸光度; A_S 为空白管反应混合液的吸光度; V 为样品提取液的总体积,mL; V_1 为测定时所用样品提取液的体积,mL; m 为样品质量,g; t 为光照反应时间,min。

1.2.10 过氧化物酶(peroxidase,POD)活性测定

POD活性测定采用愈创木酚法^[15]。称取1g样品,加入0.1mol/L的磷酸缓冲溶液2mL,10000r/min离心10min提取粗酶液。取0.5mL粗酶液,加入0.05mol/L的愈创木酚溶液2mL,在30℃水浴中平衡5min,加入0.2%的H₂O₂溶液1mL,以每分钟470nm处吸光度(A_{470})变化0.01时为1个酶活性单位(U)。重复3次,POD活性计算公式如下。

$$P = \frac{A_{470} \times V}{0.01 \times V_1 \times t \times m}$$

式中: P 为POD活性,U/g; V 为样品提取液的总体积,mL; V_1 为测定时所用样品提取液的体积,mL; m 为样品质量,g; t 为光照反应时间,min。

1.2.11 过氧化氢酶(catalase, CAT)活性测定

CAT活性测定采用过氧化氢法^[16]。称取1g样品,加入0.1 mol/L的磷酸缓冲溶液2 mL,混匀后10 000 r/min离心10 min提取粗酶液。取0.5 mL粗酶液,加入0.05 mol/L的磷酸缓冲溶液2 mL,25 °C水浴预热5 min,加入0.2%的H₂O₂溶液1 mL,以每分钟240 nm(A₂₄₀)处吸光度变化0.01时为1个酶活性单位(U)。重复3次,CAT活性计算公式如下。

$$C = \frac{A_{240} \times V}{0.01 \times V_1 \times t \times m}$$

式中: C 为CAT活性,U/g; V 为样品提取液的总体积,mL; V_1 为测定时所用样品提取液的体积,mL; m 为

样品质量,g; t 为光照反应时间,min。

1.2.12 呼吸速率和乙烯释放速率的测定

呼吸速率和乙烯释放速率的测定参照Li等^[17]的方法,略作改动。货架期间每5 d取样1次。将待检测样本称量后常温[(24±2) °C]放置在4.5 L密封罐中密闭4 h,抽取10 mL气样,采用气相色谱法测定呼吸速率和乙烯释放速率,重复3次,外标法定量。

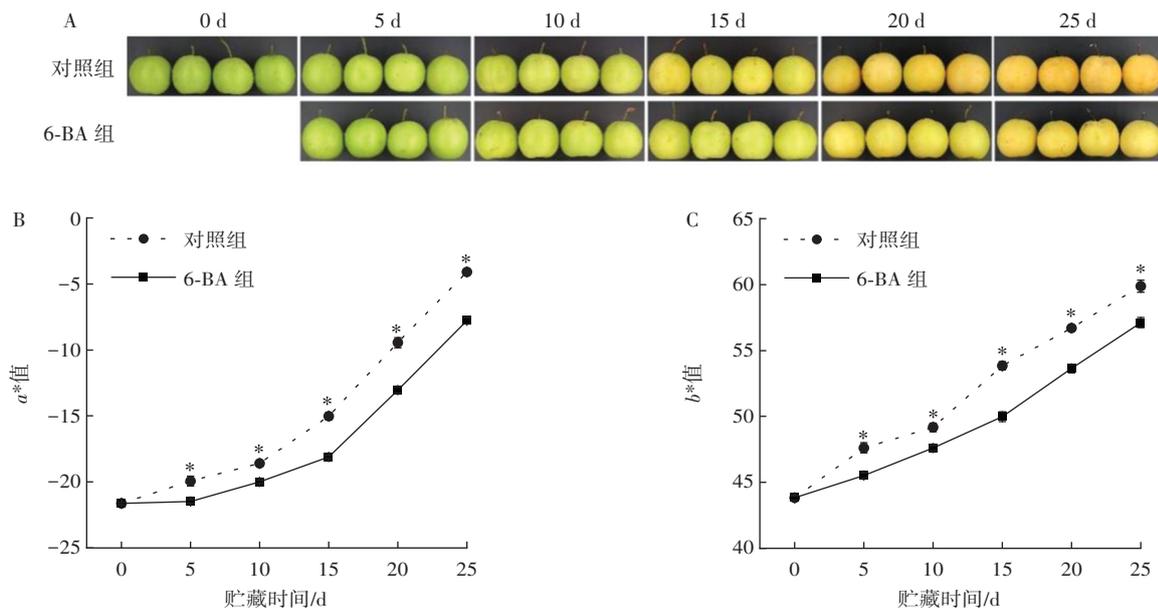
1.3 数据处理

所有试验数据为3个平行样品测定结果的平均值±标准差。显著性采用SPSS 22.0软件进行 t -test检验($P < 0.05$ 为差异显著),Origin 2021作图。

2 结果与分析

2.1 6-BA处理对‘苏翠1号’梨外观品质的影响

6-BA处理对‘苏翠1号’梨果实外观、果皮 a^* 值和 b^* 值影响如图1所示。



A. 果实外观;B. 果皮 a^* 值;C. 果皮 b^* 值。*表示组内差异显著($P < 0.05$)。

图1 6-BA处理对‘苏翠1号’梨果实外观、果皮 a^* 值和 b^* 值影响

Fig.1 Effect of 6-BA treatment on appearance, a^* value, and b^* value of ‘Sucui 1’ pears

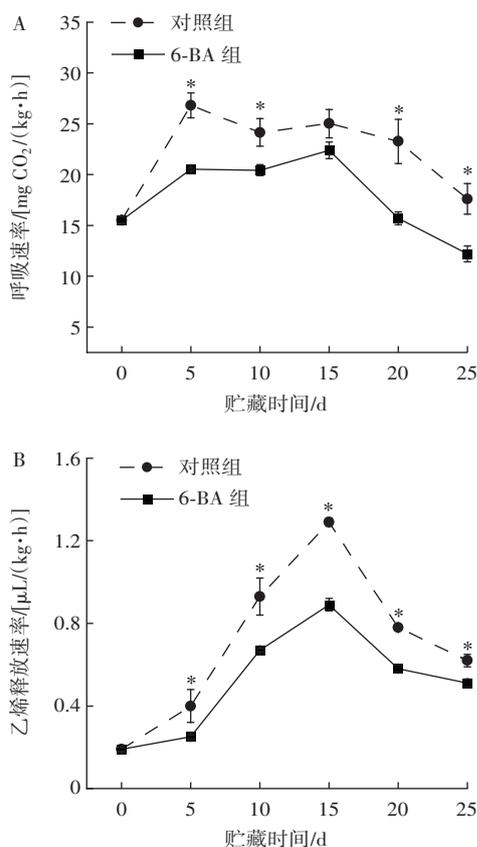
由图1A可知,‘苏翠1号’梨在常温货架期间外观品质逐渐发生变化。对照组梨果皮在货架第10天时已经开始发生黄化现象;货架第15天时,果皮明显黄化,果梗出现干枯;货架第20天时,果皮已严重黄化,果梗明显干枯。与对照组相比,6-BA处理明显地延缓了‘苏翠1号’梨外观品质劣变的发生:货架第15天时,6-BA组果皮开始出现黄化,但其黄化程度明显弱于对照组,且果梗新鲜程度也明显优于对照组;货架第25天时,6-BA组果皮的黄化程度仍明显低于对照组。

为更客观反映货架期梨果皮颜色的变化,进一步采用色差仪对果皮的色差值进行测定。其中 a^* 值表示梨果皮的红绿度,其负值绝对值越大越偏向绿色。 b^* 值表示梨果皮的黄蓝度,其正值越大越偏向黄色^[18]。由图1B可知,在货架期间,两组梨果皮的 a^* 值均为负值且呈上升趋势,6-BA处理组梨果皮的 a^* 值显著低于对照组($P < 0.05$),说明6-BA处理组的梨果皮颜色比对照组的绿。图1C中,随着货架期的延长,两组梨果皮的 b^* 值均呈逐渐上升趋势,其中对照组梨果皮的 b^* 值显著高于6-BA处理组($P < 0.05$),表明对照组梨果皮

的颜色最黄。在本研究中发现采用 0.1 g/L 的 6-BA 处理可以有效地保持‘苏翠 1 号’梨果实的外观品质,护绿效果明显,证明了其在梨保鲜中的作用。6-BA 在多种果蔬采后保鲜中的作用也逐渐被发现,现已在西兰花^[3]、芒果^[4]、荔枝^[6]、香蕉^[19]、青菜^[20]等果蔬中发现其可以有效地保持其外观品质和延长货架期,说明 6-BA 在多种果蔬采后保鲜中均具有较大的应用前景。

2.2 6-BA 处理对‘苏翠 1 号’梨呼吸强度和乙烯释放速率的影响

6-BA 处理对‘苏翠 1 号’梨呼吸速率和乙烯释放速率的影响如图 2 所示。



A. 呼吸速率; B. 乙烯释放速率。*表示组内差异显著($P < 0.05$)。

图 2 6-BA 处理对‘苏翠 1 号’梨呼吸速率和乙烯释放速率的影响

Fig.2 Effect of 6-BA treatment on respiration rate and ethylene release rate of ‘Sucui 1’ pears

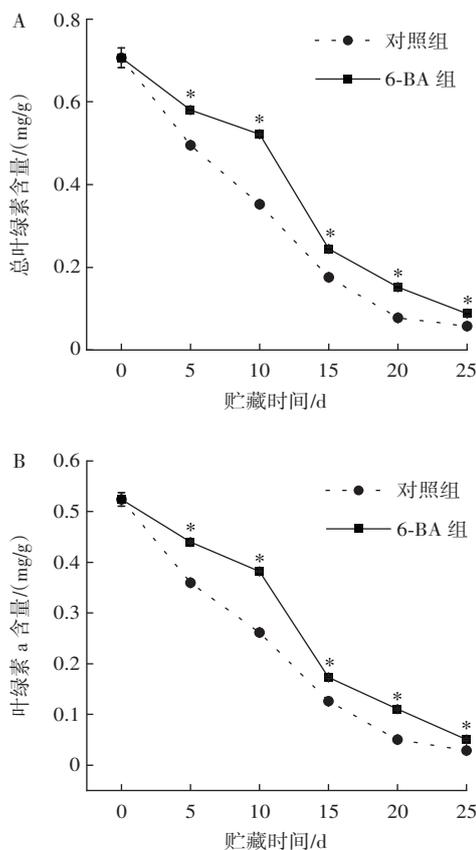
由图 2A 可知,‘苏翠 1 号’梨果实的呼吸速率在整个货架期呈现整体先上升后略有下降的趋势。与对照组相比,6-BA 处理组可以有效地抑制果实的呼吸速率的上升,在第 5、10、20、25 天时均显著低于对照组。由图 2B 可以看出,采后‘苏翠 1 号’梨的乙烯释放速率随贮藏时间的延长整体呈先逐渐上升后逐渐下降的趋势。6-BA 处理显著降低了‘苏翠 1 号’梨果实的乙烯释放速率($P < 0.05$)。货架第 15 天时,两组梨果实的乙烯释放速率均达到峰值,但 6-BA 处理组乙烯释放

速率是对照组的 68.87%,显著低于对照组。梨果实采后呼吸速率和乙烯释放速率和其成熟和衰老紧密相关^[21]。6-BA 处理组梨果实的呼吸速率和乙烯释放速率均低于对照组,说明 6-BA 处理可能通过抑制‘苏翠 1 号’梨果实的呼吸速率和乙烯释放速率延缓衰老。与本研究类似,细胞分裂素可抑制鲜切花的乙烯生成,降低花瓣对乙烯的反应因而延迟花的衰老^[22];6-BA 也可通过抑制乙烯的生物合成、活性氧的产生和膜脂代谢而延缓芒果果实的成熟^[4]。

2.3 6-BA 处理对‘苏翠 1 号’梨叶绿素含量的影响

果皮变黄是梨果成熟和衰老过程中重要的色素生理代谢过程,其主要原因是梨果皮中叶绿素的降解^[23]。6-BA 处理对‘苏翠 1 号’梨果实总叶绿素、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量的影响如图 3 所示。

由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,‘苏翠 1 号’梨果皮叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均呈逐渐降低的趋势。由图 3A 可知,6-BA 处理可以有效地延缓梨果皮总叶绿素含量的下降,6-BA 组梨果皮总叶绿素含量在整个货架期均显著高于对照组($P < 0.05$)。货架第 10 天和第 15 天时,6-BA 处理组梨果皮总叶绿素含量分别为对照组的 1.48 倍和 1.39 倍。由图 3B 可知,6-BA 处理组中梨果皮叶绿素 a 含量在整个货架期均显著高于对照组($P < 0.05$)。货架 10~20 d,6-BA 处理组中梨果皮叶绿素 b 含量显著高于对照组($P < 0.05$)



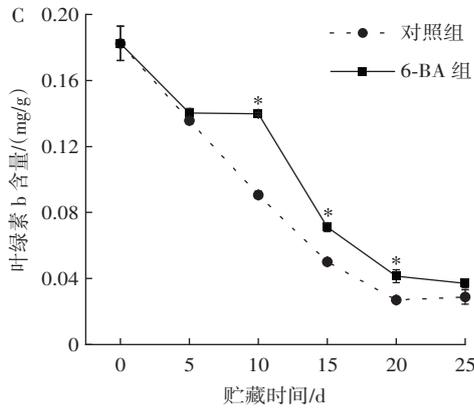


图3 6-BA处理对‘苏翠1号’梨果实总叶绿素、叶绿素a和叶绿素b含量的影响。*表示组内差异显著($P<0.05$)。

图3 6-BA处理对‘苏翠1号’梨果实总叶绿素、叶绿素a和叶绿素b含量的影响

Fig.3 Effect of 6-BA treatment on total chlorophyll, chlorophyll a, and chlorophyll b content of ‘Sucui 1’ pears

(图3C)。本研究发现6-BA处理可以显著延缓‘苏翠1号’梨果皮总叶绿素、叶绿素a和叶绿素b含量的下降,且明显地推迟了梨果皮的黄化进程。6-BA在梨果皮的叶绿素保持和护绿中发挥着重要的作用,原因可能是抑制了叶绿素的降解并促进其合成^[22]。与本研究结果类似,Xu等^[7]研究发现0.2 g/L 6-BA可以通过抑制叶绿素降解相关酶的活性,维持西兰花叶绿素含量和延缓黄化;高建晓等^[20]也证明6-BA处理可以有效地减缓采后青菜的黄化和感官品质的下降;细胞分裂素类生长调节剂也被发现可以延缓青花菜^[24]和不结球白菜^[25]的黄化进程。

2.4 6-BA处理对‘苏翠1号’梨果实失重率和硬度的影响

‘苏翠1号’梨属酥脆型梨品种,果实失重率和果肉硬度会直接影响其口感。6-BA处理对‘苏翠1号’梨果实失重率和硬度的影响如图4所示。

由图4A可知,随着货架期的延长,‘苏翠1号’梨的失重率整体呈逐渐上升的趋势。与对照组相比,6-BA

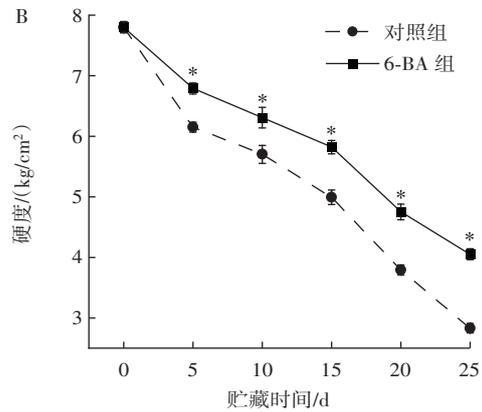
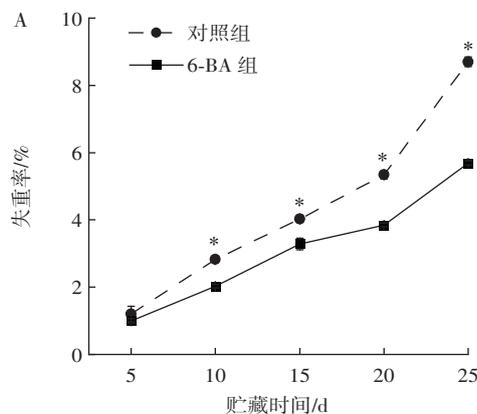


图4 6-BA处理对‘苏翠1号’梨果实失重率和硬度的影响。*表示组内差异显著($P<0.05$)。

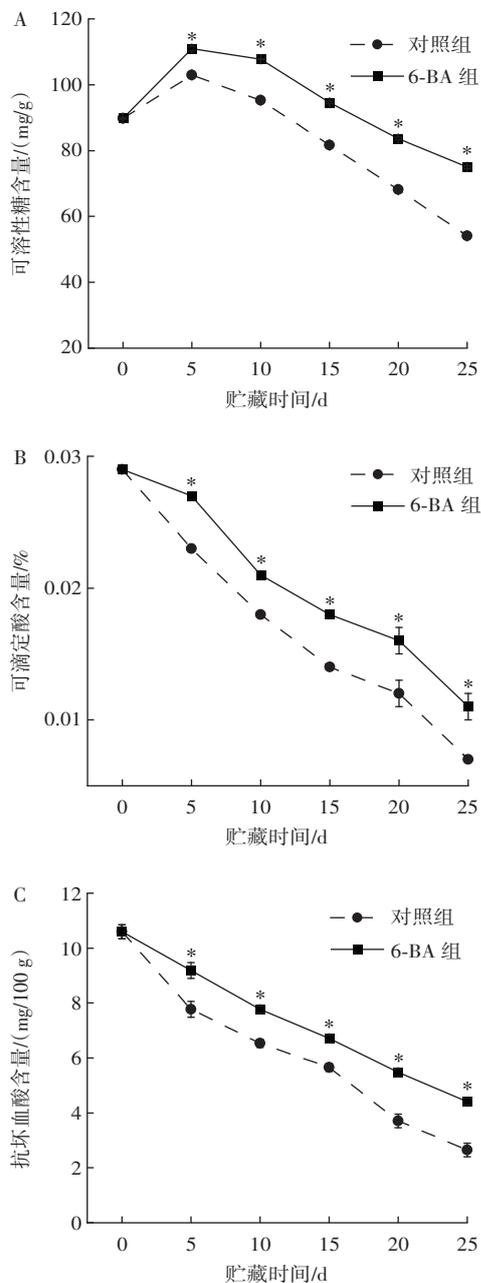
图4 6-BA处理对‘苏翠1号’梨果实失重率和硬度的影响
Fig.4 Effect of 6-BA treatment on weight loss rate and hardness of ‘Sucui 1’ pears

处理显著降低了梨果实的失重率,在整个货架期均显著低于对照组($P<0.05$)。货架第25天时,对照组梨果实的失重率已高达8.70%,为6-BA处理组果实的1.53倍,表明6-BA处理可延缓梨果实的失重率的增加。由图4B可知,‘苏翠1号’梨果实的硬度在货架期呈现先缓慢降低后迅速降低的趋势。与采收时相比,货架第15天时,对照组果实的硬度下降了56.26%,6-BA组果实的硬度仅下降了25.37%,6-BA组果实的硬度在整个货架期均显著高于对照组($P<0.05$),表明6-BA处理可以延缓梨果实硬度的下降。果实失重率和硬度是评价‘苏翠1号’梨保鲜效果的一个主要指标。本研究发现6-BA处理可以有效地抑制常温货架期果实失重率的增加和硬度的下降,有利于梨口感的保持,这可能与6-BA处理组较低的呼吸速率和乙烯释放速率相关。与本研究结果一致,Jia等^[26]的研究也表明采用6-BA处理可以有效降低香葱在贮藏后期的失重率;Zhang等^[4]研究发现6-BA处理可以有效地保持贮藏期芒果果实的硬度。

2.5 6-BA处理对‘苏翠1号’梨可溶性糖、可滴定酸和抗坏血酸含量的影响

可溶性糖含量、可滴定酸和维生素C含量是梨果实的重要品质指标^[11]。6-BA处理对‘苏翠1号’梨可溶性糖、可滴定酸和抗坏血酸含量的影响如图5所示。

由图5A可知,‘苏翠1号’梨的可溶性糖含量在货架期呈先上升后下降的趋势;贮藏第5天时,果实可溶性糖含量与采收时相比略有增加,之后逐渐降低。6-BA处理组梨果实的可溶性糖含量在整个货架期均显著高于对照组;贮藏第15天时,6-BA处理组梨的可溶性糖含量是对照组的1.16倍,说明6-BA处理组可较好地延缓‘苏翠1号’梨可溶性糖含量的下降。随着贮藏时间的延长,‘苏翠1号’梨的可滴定酸含量呈逐



A. 可溶性糖含量; B. 可滴定酸含量; C. 抗坏血酸含量。*表示组内差异显著($P<0.05$)。

图5 6-BA处理对‘苏翠1号’梨可溶性糖、可滴定酸和抗坏血酸含量的影响

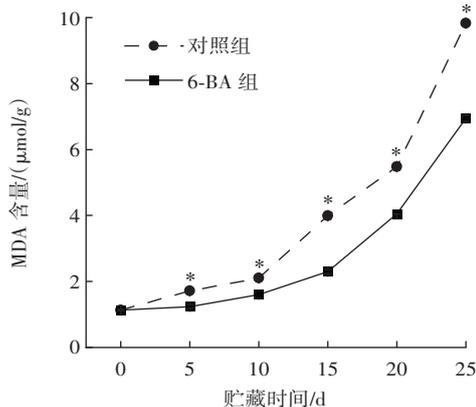
Fig.5 Effect of 6-BA treatment on soluble sugar, titratable acid, and ascorbic acid content of ‘Sucui 1’ pears

渐下降的趋势(图5B),但6-BA处理组梨果肉的可滴定酸含量显著高于对照组($P<0.05$),表明6-BA处理组也可有效减缓果实可滴定酸含量的下降。由图5C可知,‘苏翠1号’梨果实抗坏血酸含量的变化趋势与可滴定酸含量的变化趋势一致,也呈逐渐下降的趋势,且6-BA处理组梨果肉的抗坏血酸含量也始终高于对照组($P<0.05$)。与本研究的结果类似,阚超楠等^[11]发现

1-甲基环丙烯处理可使贮藏过程中梨果实可溶性糖含量、可滴定酸含量和维生素C含量维持在较高的水平;Zhang等^[4]发现6-BA处理后可以有效地抑制芒果可溶性固形物含量和可滴定酸含量的下降。梨果实贮藏过程中由成熟向衰老转变时通常伴随着营养物质的转化与消耗^[11],研究发现6-BA处理可以有效地抑制‘苏翠1号’梨果实的可溶性糖含量、可滴定酸含量和维生素C含量的下降,这可能是6-BA处理延缓梨果实衰老导致的。

2.6 6-BA处理对‘苏翠1号’梨丙二醛含量的影响

丙二醛是膜脂过氧化的产物之一,其含量的高低可指示植物衰老与脂质过氧化程度^[25,27]。6-BA处理对‘苏翠1号’梨丙二醛含量的影响如图6所示。



*表示组内差异显著($P<0.05$)。

图6 6-BA处理对‘苏翠1号’梨丙二醛含量的影响

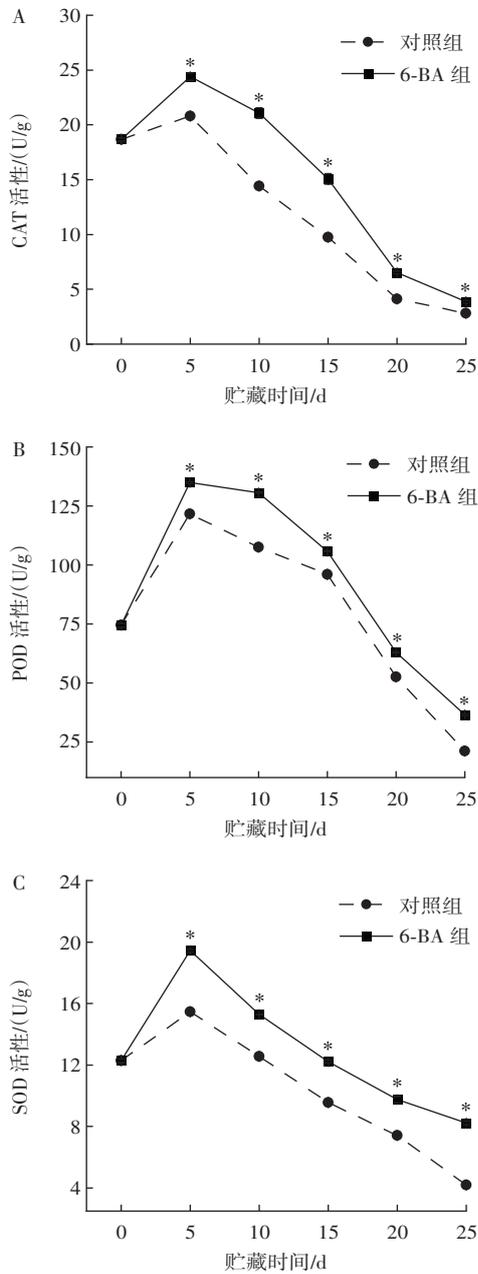
Fig.6 Effect of 6-BA treatment on MDA content of ‘Sucui 1’ pears

由图6可知,随着常温贮藏时间的延长,‘苏翠1号’梨果肉MDA含量呈逐渐上升的趋势。贮藏前期,梨果实MDA含量缓慢地上升,货架第15天后,MDA含量开始急剧地上升。货架第15天和第25天时,6-BA处理组果实的MDA含量分别是对照组的56.31%和70.61%。在整个货架期,‘苏翠1号’梨的MDA含量均随贮藏时间的延长逐渐上升,但6-BA处理组的MDA含量在整个货架期均低于对照组($P<0.05$),说明6-BA处理显著地抑制了梨果实丙二醛含量的增加,表明6-BA处理延缓了‘苏翠1号’梨果实的衰老和膜损伤的发生。

2.7 6-BA处理对‘苏翠1号’梨抗氧化酶活性的影响

6-BA处理对‘苏翠1号’梨CAT、POD和SOD活性的影响如图7所示。

由图7A可知,梨果实CAT活性在贮藏前期略有上升,之后迅速下降。在整个货架期,6-BA处理组果实的CAT活性始终高于对照组($P<0.05$)。由图7B可知,梨果实POD活性在整个货架期呈先上升后下降的



A. CAT 活性; B. POD 活性; C. SOD 活性。*表示组内差异显著 ($P < 0.05$)。

图7 6-BA处理对‘苏翠1号’梨CAT、POD和SOD抗氧化酶活性的影响

Fig.7 Effect of 6-BA treatment on CAT, POD, and SOD activity of ‘Sucui 1’ pears

趋势,6-BA处理显著延缓了POD活性的下降。贮藏第10天时,6-BA处理组果实的POD活性是对照组的1.21倍。梨果实SOD活性的变化趋势与CAT和POD活性的变化趋势类似,也呈先上升后下降的趋势(图7C)。两组处理梨果实SOD活性均在贮藏第5天时达到峰值,但6-BA处理组SOD活性是对照组的1.26倍。6-BA处理显著延缓了货架期SOD活性的下降,6-BA

处理组酶活性显著高于对照组($P < 0.05$)。Zhang等^[6]证实了6-BA处理可以通过提升荔枝果实SOD、CAT活性和减少活性氧(reactive oxygen species, ROS)的积累而改善采后荔枝的品质;Xu等^[7]也发现6-BA处理提升了采后西兰花SOD和CAT活性,延缓其衰老。果蔬衰老过程中活性氧(ROS)含量的增加是细胞膜损伤的重要原因^[25,28-29],CAT、POD和SOD是主要的抗氧化酶,其构成的抗氧化系统可降低ROS的积累和延缓MDA含量的升高^[28,30]。研究发现6-BA处理组梨果实在整个货架期均维持着相对较高的CAT、POD和SOD活性,这可能是6-BA处理延缓果实衰老和抑制MDA积累的重要原因。

3 结论

本研究结果表明采后6-BA处理可以有效地抑制‘苏翠1号’梨果实货架期品质的下降,对果皮的护绿效果显著。6-BA处理延缓了‘苏翠1号’梨果皮叶绿素、果肉硬度、果肉抗坏血酸、可溶性糖和可滴定酸含量等品质指标的下降。6-BA处理可能通过抑制梨果实呼吸速率和乙烯释放速率的上升和延缓SOD、POD和CAT等抗氧化酶活性的下降,从而延缓‘苏翠1号’梨的衰老。6-BA处理是一种有效延长‘苏翠1号’梨货架期的方法,其与涂膜处理、1-甲基环丙烯处理等联合可能会产生更好的保鲜效果。

参考文献:

- 王宏,杨王莉,蔺经,等.早熟砂梨‘苏翠1号’与其亲本‘翠冠’‘华酥’成熟果实差异代谢产物及差异基因比较分析[J].园艺学报,2022,49(3):493-508.
WANG Hong, YANG Wangli, LIN Jing, et al. Comparative metabolic and transcriptomic analysis of ripening fruit in pear cultivars of ‘Sucui 1’ ‘Cuiguan’ and ‘Huasu’[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2022, 49(3): 493-508.
- 周宏胜,胡花丽,罗淑芬,等.‘苏翠1号’梨在不同温度下的贮藏特性研究[J].保鲜与加工,2018,18(6):13-19,24.
ZHOU Hongsheng, HU Huali, LUO Shufen, et al. The storage characteristics of ‘Sucui 1’ pear during storage at different temperatures[J]. Storage and Process, 2018, 18(6): 13-19, 24.
- 罗淑芬,郭峰,孙莹,等.6-苄氨基嘌呤处理对鲜切西兰花硫代葡萄糖苷代谢的影响[J].农业工程学报,2022,38(13):295-304.
LUO Shufen, GUO Feng, SUN Ying, et al. Effects of 6-benzylaminopurine treatments on the glucosinolate metabolism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(13): 295-304.
- ZHANG Y X, GAO Z Y, HU M J, et al. Delay of ripening and senescence in mango fruit by 6-benzylaminopurine is associated with inhibition of ethylene biosynthesis and membrane lipid catabolism[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 185: 111797.
- XIANG W J, WANG H W, SUN D W. Phytohormones in postharvest storage of fruit and vegetables: Mechanisms and applications[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 61(18): 2969-2983.

- [6] ZHANG D D, XU X F, ZHANG Z K, et al. 6-Benzylaminopurine improves the quality of harvested litchi fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 143: 137-142.
- [7] XU F, YANG Z F, CHEN X H, et al. 6-Benzylaminopurine delays senescence and enhances health-promoting compounds of harvested broccoli[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(1): 234-240.
- [8] 韦友欢, 黄秋婵, 王慧珏, 等. 阴生植物与阳生植物色素含量的比较分析[J]. *湖北农业科学*, 2010, 49(5): 1126-1129.
WEI Youhuan, HUANG Qiuchan, WANG Huijue, et al. Comparative analysis on pigment content of sun plants and shade plants[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, 49(5): 1126-1129.
- [9] 魏宝东, 马岩松, 纪淑娟, 等. 1-MCP对南果梨常温货架保鲜效果的影响[J]. *保鲜与加工*, 2008, 8(1): 12-15.
WEI Baodong, MA Yansong, JI Shujuan, et al. Effect of 1-MCP on Nanguo pear's shelf-life during normal temperature storage[J]. *Storage and Process*, 2008, 8(1): 12-15.
- [10] SAQUET A A, ALMEIDA D P F. Ripening physiology and biochemistry of 'Rocha' pear as affected by ethylene inhibition[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2017, 125: 161-167.
- [11] 阚超楠, 高阳, 陈明, 等. 不同采收处理对翠冠梨果实品质的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(3): 518-529.
KAN Chaonan, GAO Yang, CHEN Ming, et al. Effect of different postharvest treatments on the quality of Cuiguang pear[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(3): 518-529.
- [12] 杨丽, 麦振龙, 朱良, 等. 果蔬中维生素C含量的测定方法比较与优化[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(22): 232-233, 236.
YANG Li, MAI Zhenlong, ZHU Liang, et al. Comparison and optimization of determination methods of vitamin C content in fruits and vegetables[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(22): 232-233, 236.
- [13] 张秋萍, 吴霞红, 郑剑恒, 等. 生物样本中丙二醛测定方法的研究进展[J]. *理化检验-化学分册*, 2016, 52(8): 979-985.
ZHANG Qiuping, WU Xiaohong, ZHENG Jianheng, et al. Progress of researches on methods for determination of malondialdehyde in biological samples[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis(Part B: Chemical Analysis)*, 2016, 52(8): 979-985.
- [14] DHINDSA R S, PLUMB-DHINDSA P, THORPE T A. Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase[J]. *Journal of Experimental Botany*, 1981, 32(1): 93-101.
- [15] 袁楚珊, 黄余年, 董欣瑞, 等. 不同贮藏温度对黄桃采后品质和抗氧化能力的影响[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(3): 356-364.
YUAN Chushan, HUANG Yunian, DONG Xinrui, et al. Effect of different storage temperatures on postharvest quality and antioxidant capacity of yellow-fleshed peach[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(3): 356-364.
- [16] PAULS K P, THOMPSON J E. Evidence for the accumulation of peroxidized lipids in membranes of senescing cotyledons[J]. *Plant Physiology*, 1984, 75(4): 1152-1157.
- [17] LI P X, HU H L, LUO S F, et al. Shelf life extension of fresh lotus pods and seeds (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) in response to treatments with 1-MCP and lacquer wax[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2017, 125: 140-149.
- [18] 周鑫, 张璇, 周倩, 等. 保鲜膜包装对西兰花采后花蕾黄化的影响[J]. *包装工程*, 2021, 42(13): 67-74.
ZHOU Xin, ZHANG Xuan, ZHOU Qian, et al. Effect of three preservative film packaging on postharvest broccoli yellowing[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(13): 67-74.
- [19] AL-QURASHI A D, AWAD M A. Postharvest gibberellic acid, 6-benzylaminopurine and calcium chloride dipping affect quality, antioxidant compounds, radical scavenging capacity and enzymes activities of 'Grand Nain' bananas during shelf life[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 253: 187-194.
- [20] 高建晓, 刘丹, 古荣鑫, 等. 6-苄氨基嘌呤处理对上海青贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(4): 247-253.
GAO Jianxiao, LIU Dan, GU Rongxin, et al. 6-Benzyl aminopurine treatment delays the quality deterioration of pakchoi (*Brassica chinensis* L.) during storage[J]. *Food Science*, 2015, 36(4): 247-253.
- [21] HIRA N, MITALO O W, OKADA R, et al. The effect of layer-by-layer edible coating on the shelf life and transcriptome of 'Kosui' Japanese pear fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2022, 185: 111787.
- [22] 王三根. 细胞分裂素在植物抗逆和延衰中的作用[J]. *植物学通报*, 2000(2): 121-126, 167.
WANG Sagen. Roles of cytokinin on stress-resistance and delaying senescence in plants[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000(2): 121-126, 167.
- [23] CHENG Y D, DONG Y, YAN H B, et al. Effects of 1-MCP on chlorophyll degradation pathway-associated genes expression and chloroplast ultrastructure during the peel yellowing of Chinese pear fruits in storage[J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(2): 415-422.
- [24] 王云莉, 王成荣, 王然, 等. 细胞分裂素类生长调节剂对青花菜采后衰老的影响[J]. *园艺学报*, 2009, 36(11): 1619-1626.
WANG Yunli, WANG Chengrong, WANG Ran, et al. Effects of cytokinin growth regulators on senescence of harvested broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) florets[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2009, 36(11): 1619-1626.
- [25] LI F J, HUANG H, DING X C, et al. Effect of CPPU on postharvest attributes of Chinese flowering cabbage during storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 174: 111438.
- [26] JIA L, LIU S, DUAN X M, et al. 6-Benzylaminopurine treatment maintains the quality of Chinese chive (*Allium tuberosum* Rottler ex Spreng.) by enhancing antioxidant enzyme activity[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(9): 1968-1977.
- [27] ZHANG Y Y, HUBER D J, HU M J, et al. Delay of postharvest browning in litchi fruit by melatonin via the enhancing of antioxidative processes and oxidation repair[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(28): 7475-7484.
- [28] XU D Y, ZUO J H, FANG Y L, et al. Effect of folic acid on the postharvest physiology of broccoli during storage[J]. *Food Chemistry*, 2021, 339: 127981.
- [29] ZHOU H S, TIAN M Y, HUANG W, et al. Physiological and transcriptomic analysis of 'Whangkeumbae' pear core browning during low-temperature storage[J]. *Gene Expression Patterns*, 2020, 36: 119113.
- [30] SUN J Z, LIN H T, ZHANG S, et al. The roles of ROS production-scavenging system in *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl.-induced pericarp browning and disease development of harvested Longan fruit[J]. *Food Chemistry*, 2018, 247: 16-22.