

1-甲基环丙烯结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理对水晶葡萄保鲜效果的影响

田竹希, 龙明秀, 李咏富*, 何扬波, 梁倩, 石彬, 罗其琪

(贵州省农业科学院现代农业发展研究所, 贵阳 550006)

摘要: 目的 探究 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理对水晶葡萄的保鲜效果。**方法** 以水晶葡萄为实验材料, 以烂果率、落粒率、失重率、可滴定酸含量、可溶性固形物含量(total soluble solid, TSS)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量和质构特性为测定指标, 研究 1-MCP 处理和 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理对水晶葡萄保鲜效果的影响。**结果** 与 1-MCP 单独处理和对照组相比, 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理能够更好地抑制贮藏期内水晶葡萄烂果率、落粒率及失重率的上升, 延缓水晶葡萄可滴定酸含量、可溶性固形物含量和硬度、弹性、胶黏性及咀嚼性的下降, 并维持更好的内聚性, 且水晶葡萄在贮藏 28 d 时烂果率和落粒率分别仅为 7.52%和 0.82%, 但 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理对抑制 MDA 上升的效果稍弱于单一的 1-MCP 处理。**结论** 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理的保鲜效果好于 1-MCP 单独处理, 可以显著延缓水晶葡萄的衰老进程, 可为水晶葡萄的贮藏保鲜提供新思路 and 参考依据。

关键词: 水晶葡萄; $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照; 1-甲基环丙烯; 保鲜

Effects of 1-methylcyclopropene combined with $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation treatment on preservation of crystal grape

TIAN Zhu-Xi, LONG Ming-Xiu, LI Yong-Fu*, HE Yang-Bo, LIANG Qian, SHI Bin, LUO Qi-Qi

(Institute of Integrated Agricultural Development, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) combined with $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation treatment on preservation of crystal grape. **Methods** Crystal grapes were used as test materials, the rotten fruit rate, grain dropping rate, weight loss rate, titratable acid content, total soluble solid (TSS) content, malondialdehyde (MDA) content and texture characteristics were used as the measurement indexes, and the effects of 1-MCP treatment and 1-MCP combined with $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation treatment on the preservation of crystal grapes were studied. **Results** Compared with single 1-MCP treatment and control group, 1-MCP combined with $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation treatment could inhibit the increase of rotten fruit rate, grain dropping rate and weight loss rate, delay the decrease of titratable acid content, TSS content and firmness, springiness, stickiness and chewiness of crystal grape, and maintain better cohesion.

基金项目: 贵州省基础研究计划项目(重点项目)(黔科合基础[2018]1420)、贵州省农业科学院青年科技基金项目(黔农科院青年基金[2018]21号)

Fund: Supported by the Guizhou Provincial Basic Research Plan Project (Key Project) (Qiankehe Foundation [2018] 1420), and the Youth Science and Technology Fund Project of Guizhou Academy of Agricultural Sciences (Youth Fund of Guizhou Academy of Agricultural Sciences [2018] No.21)

*通信作者: 李咏富, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量与食品安全。E-mail: liyongfu1985@163.com

*Corresponding author: LI Yong-Fu, Ph.D, Associate Professor, Institute of Integrated Agricultural Development, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China. E-mail: liyongfu1985@163.com

Among them, the rotten fruit rate and dropping rate of crystal grapes were only 7.52% and 0.82% at 28 days of storage, respectively. However, the effects of 1-MCP combined with ^{60}Co - γ irradiation treatment were slightly weaker than that of single 1-MCP treatment on inhibiting the increase of MDA. **Conclusion** The preservation effect of 1-MCP combined with ^{60}Co - γ irradiation treatment is better than that of single 1-MCP treatment, which can significantly delay the aging process of crystal grape, and provide new ideas and reference basis for the storage and preservation of crystal grape.

KEY WORDS: crystal grape; ^{60}Co - γ irradiation; 1-methylcyclopropene; preservation

0 引言

水晶葡萄原产于美洲, 成熟后呈黄绿色, 具有肉厚多汁、含糖量高、适口性好及可溶性固形物(total soluble solid, TSS)较高等特点, 有较高的营养价值^[1]。但由于其皮薄、果肉易分离, 极易腐烂, 致使采摘过程中易收机械损伤、贮藏及流通过程中易受微生物侵染, 进而产生褐变及腐烂等问题, 严重影响水晶葡萄的口感及市场销售期^[2-3]。因此, 如何通过不同的保鲜工艺及方法来改善水晶葡萄贮藏期间的保鲜效果具有重要的研究价值。

针对葡萄的保鲜工艺, 最常用的方法为通过 SO_2 保鲜剂来抑制葡萄果实的腐烂及褐变, 但 SO_2 浓度控制有较高要求, 过多的 SO_2 残留物会威胁人类身体健康, 且保鲜后葡萄会伴随一定的异味^[4-7]。1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种乙烯受体抑制剂, 研究表明, 1-MCP 在猕猴桃^[8-11]、枇杷^[12]、蓝莓^[13]、仙人掌果实^[14]等水果的保鲜贮藏上有良好的效果。葡萄使用 $1\ \mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理后, 能显著抑制葡萄的抗氧化衰老^[15]、失重率^[16]、延迟果梗的褐变及叶绿素降解^[17]。1-MCP 能够有效地延缓果实衰老, 但其防腐抑菌效果较弱。 ^{60}Co - γ 射线辐照是一种典型的冷杀菌保鲜技术, 通过利用 ^{60}Co 放射源产生一定剂量的 γ 射线处理果蔬, 使其微生物发生一系列物理、化学反应, 从而达到减少腐败菌生长、抑制果蔬腐败、延长贮藏时间的目的^[18-21]。已有研究表明, 1-MCP 结合 ^{60}Co - γ 辐照处理具有良好的保鲜效果, 可延缓枇杷的腐烂指数和木质素含量上升, 降低果实呼吸强度、乙烯生成速率和相对电导率^[22], 同时能够抑制蓝莓果实腐烂率的上升和风味指数的下降, 延缓果实生理代谢, 更好地保持果实的营养品质和酶活性^[23]。

经过广泛地查阅相关资料, 已有研究报道, ^{60}Co - γ 辐照结合 1-MCP 技术应用在果蔬贮藏保鲜的效果显著。然而, 关于 ^{60}Co - γ 辐照结合 1-MCP 处理对水晶葡萄果实贮藏品质影响的研究鲜见报道。结合预实验分析以及研究团队前期对精品水果辐照保鲜的研究发现^[24], 辐照剂量过高易导致水果产生氧化损伤, 辐照剂量过低则达不到杀菌效果, 故本研究选取 $1\ \mu\text{L/L}$ 浓度的 1-MCP 和 $0.75\ \text{kGy}$ 剂量的 ^{60}Co - γ 辐照为处理参数, 通过实验研究 1-MCP 结合 ^{60}Co - γ 辐照处理与单一的 1-MCP 处理对贵州水晶葡萄保鲜效果的影响, 以期延长水晶葡萄保鲜期, 为解决其采后不耐贮藏问题提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

水晶葡萄采摘于毕节市金沙县, 于冷链下 3 h 内运回实验室, 挑选果型大小一致、无病虫害、无机械损伤、无软烂的新鲜果实进行处理。

1.2 仪器与试剂

TMS-Pro 质构仪(美国 FTC 公司); UV-2800A 型紫外可见分光光度计(上海尤尼柯科学仪器有限公司); H1850R 离心机(长沙湘仪离心机仪器有限公司); PAL-1B1 手持式折光仪(PAL-1B1 手持式折光仪)。

1-MCP(质量分数为 0.14%, 美国陶氏益农公司); 氢氧化钠、酚酞试剂(分析纯, 上海阿拉丁试剂有限公司); MDA 试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 对照处理

将挑选好的水晶葡萄果实放入已消毒杀菌的保鲜袋中密封, 每袋质量控制在 $(1.5\pm 0.1)\ \text{kg}$, 于 $4\ ^\circ\text{C}$ 冷库贮藏。每 7 d 取样 1 次, 测定各项生理指标, 每个指标从不同袋中取样重复测定 3 次, 并将该组记为 A1 组。

1.3.2 1-MCP 处理

将挑选好的水晶葡萄果实放入 $0.45\ \text{m}^3$ 的塑料密闭花棚中, 用 $1\ \mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 进行熏蒸处理, 温度为 $(22\pm 2)\ ^\circ\text{C}$, 熏蒸时间为 24 h。熏蒸结束后将水晶葡萄果实放入已消毒杀菌的保鲜袋中密封, 每袋质量控制在 $(1.5\pm 0.1)\ \text{kg}$, 于 $4\ ^\circ\text{C}$ 冷库贮藏。每 7 d 取样 1 次, 测定各项生理指标, 每个指标从不同袋中取样重复测定 3 次, 并将该组记为 A2 组。

1.3.3 1-MCP 结合 ^{60}Co - γ 辐照处理

按 1.3.2 的方法对水晶葡萄果实进行 1-MCP 处理后, 于贵州金农辐照科技有限责任公司进行 ^{60}Co - γ 辐照处理, 辐照剂量为 $0.75\ \text{kGy}$, 辐照剂量通过重铬酸银剂量计进行剂量跟踪。辐照结束后, 于 $4\ ^\circ\text{C}$ 冷库贮藏。每 7 d 取样 1 次, 测定各项生理指标, 每个指标从不同袋中取样重复测定 3 次, 并将该组记为 A3 组。

1.4 指标测定

1.4.1 烂果率

以果实无损伤、无软烂、无凹斑、无长霉、具有商品性

和可食性为好果判定标准,随机抽取一定数量的水晶葡萄果实,记录水晶葡萄总果数和烂果数,按公式(1)计算烂果率:

$$\text{烂果率}/\%=(\text{烂果数}/\text{总果数})\times 100\% \quad (1)$$

1.4.2 失重率

1-MCP 处理、1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理和对照处理分别预留 3 袋固定作为失重率测定,采用称重法^[25]计算不同处理条件下水晶葡萄的失重率。按公式(2)进行计算:

$$\text{失重率}/\% = \frac{m-n}{m} \times 100\% \quad (2)$$

其中: m 为水晶葡萄初始质量, g ; n 为水晶葡萄第 n 天时的质量, g 。

1.4.3 落粒率

采用计数法^[26],随机抽取一定数量的水晶葡萄果实,用手抓住葡萄果柄将整串葡萄提起,记录空果蒂个数和总果蒂数,按公式(3)计算落粒率。

$$\text{落粒率}/\%=(\text{空果蒂数}/\text{总果蒂数})\times 100\% \quad (3)$$

1.4.4 质构特性

将水晶葡萄果实置于 2 cm 不锈钢探头下进行质构(texture profile analysis, TPA)测试。测试参数为:水果挤压模式,起始力为 0.038 N,形变量为 30%,测试速度为 30 mm/s,回程距离为 15 mm。每个处理分别随机选取 30 粒整果带皮测定,结果取平均值。测试指标包括硬度、胶黏性、咀嚼性、弹性和内聚性。

1.4.5 可溶性固形物含量测定

随机选取处理后的水晶葡萄果实 20 g,经打浆后,用 4 层纱布过滤浆液,吸取 0.3 mL 滤液,采用 PAL-1B1 手持式折光仪测定可溶性固形物含量,每个处理重复测定 3 次,取其平均值。

1.4.6 可滴定酸含量测定

采用氢氧化钠滴定法^[27]测定可滴定酸(titratable acids, TA)含量。称取水晶葡萄果实 10.0 g,研磨成匀浆后,定容于 100 mL 容量瓶中,静置 30 min 后过滤。吸取 20 mL 提取的滤液,转入三角瓶中,加入 2 滴 1% 酚酞指示剂,用已标定的氢氧化钠溶液进行滴定,滴定至溶液初显粉色并在 0.5 min 内不褪色时为终点,记录氢氧化钠滴定液用量,重复 3 次。

1.4.7 丙二醛含量测定

参照苏州科铭生物技术有限公司的 MDA 试剂盒使用说明测定丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量。

1.5 数据统计与分析

所得数据采用 Origin 2016 软件进行制图,用 SPSS 软件进行显著性方差分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同处理对贮藏期间水晶葡萄烂果率、落粒率及失重率的影响

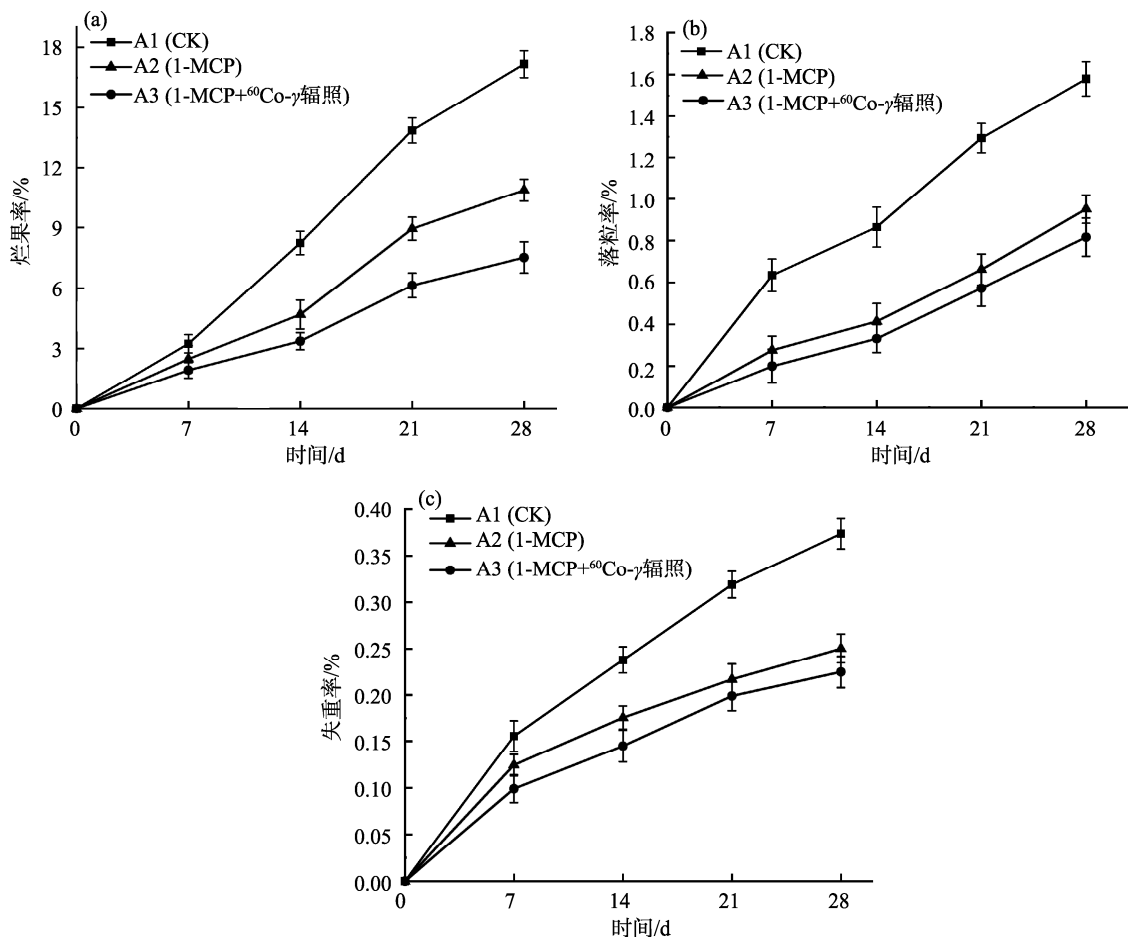
水晶葡萄由于皮薄、果肉易分离,在贮藏期间极易发

生损伤及腐烂变质,影响市场销售,因此烂果率可作为贮藏期间保鲜效果的直观判断标准。对比图 1(a)发现,各处理组的水晶葡萄烂果率随贮藏时间的延长呈上升趋势,贮藏 7 d 时, A1 组与 A3 组之间有显著差异($P < 0.05$),其余组无显著差异($P > 0.05$)。贮藏到第 14、21、28 d 时, A1、A2、A3 组 3 个处理组之间均存在显著性差异($P < 0.05$),其中在 28 d 时 A1 组烂果率(17.17%)上升趋势最为明显、A2 组(10.87%)次之、A3 组(7.52%)最低。因此, A3 组的 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理的效果最好,在整个贮藏期内能更有效地抑制果实腐烂。这是由于 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照具有较强的杀菌效果,可以降低水晶葡萄表面的微生物数量,从而达到较好的防腐效果。

水晶葡萄采摘后,由于采摘环节中产生的机械损伤、葡萄过熟、脱落酸分泌过多以及自身存在的发育不良、病害及穗轴较细等品质特性的原因,致使在贮藏期内葡萄会从果柄上脱落。由图 1(b)可知,在贮藏期内,各处理组的落粒率均呈上升趋势, A1 组始终保持最高且与 A2、A3 组之间存在显著差异($P < 0.05$), A2 组与 A3 组之间无显著差异($P > 0.05$)。在第 28 d 时, A1、A2、A3 组的落粒率分别为 1.58%、0.95% 和 0.82%。由此可见, 1-MCP 处理及 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理均能有效降低贮藏期内水晶葡萄的落粒率, 2 种方法差异不显著($P > 0.05$)。

水晶葡萄在长时间贮藏时,果实的失重主要包括由水分的蒸腾作用而产生的蒸腾失水损耗和呼吸作用产生的营养物质消耗 2 方面,其中前者约占总重的 80%,因此失重率主要反映贮藏期间内以水分为主的果穗质量损失变化。由图 1(c)可知,贮藏期内,各个处理组的失重率随时间的延长呈上升趋势,且 A1 组的失重率始终远高于 A2、A3 组($P < 0.05$)。贮藏中期(第 7 d 和第 14 d), 3 个处理组之间均存在显著性差异($P < 0.05$), A3 组失重率远低于其余 2 组。且 A1 组失重率最高, A2 组次之, A3 组最低。贮藏后期(第 21 d 和第 28 d), A1 组失重率始终最高($P < 0.05$),且上升速度较快, A2 组和 A3 组之间无显著差异($P > 0.05$)。贮藏到第 28 d 时, A1、A2、A3 组的失重率分别为 0.37%、0.25%、0.23%。由此可见,贮藏前期和中期 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照抑制水晶葡萄果实失重的效果明显优于单一的 1-MCP 处理,贮藏后期两者均能有效降低果实失重率。

在本研究中,单独 1-MCP 能够抑制水晶葡萄烂果率、落粒率及失重率的上升,这与贾艳萍等^[15]、唐怡等^[16]关于 1-MCP 保鲜葡萄的研究结论相一致。另一方面,本研究发现水晶葡萄经 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理后,抑制果实腐烂、落果和失重的效果要优于单独使用 1-MCP 处理。这可能是由于 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照具有较强的穿透力,能够杀灭水晶葡萄果实中的微生物,并抑制果实生理代谢,从而起到延缓水晶葡萄果实衰老腐败的作用,并与 1-MCP 相结合产生协同增效作用^[22]。这与曹森等^[23]研究使用 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照在蓝莓贮藏品质的影响中的结论相一致,但两者结合对于水晶葡萄保鲜的作用机制有待进一步研究。



注: (a)烂果率; (b)落粒率; (c)失重率。

图 1 不同处理对贮藏期间水晶葡萄烂果率、落粒率和失重率的影响

Fig.1 Effects of different treatments on rotten fruit rates, threshing rates and the weight loss rates of crystal grape during storage

2.2 不同处理对贮藏期间水晶葡萄可溶性固形物含量的影响

TSS 含量是判断果实成熟度的重要指标。由图 2 可知, 整个贮藏期间, 各处理组均不存在显著性差异($P>0.05$), 最终 TSS 含量均未低于 13%。这说明 1-MCP 单独处理以及 1-MCP 结合 ⁶⁰Co-γ 辐照处理对水晶葡萄果实 TSS 含量没有显著影响($P>0.05$)。本研究中, 可溶性固形物含量呈先上升后下降的趋势, 这可能是由于采摘后的水晶葡萄还未完全成熟, 在贮藏前期水晶葡萄后熟而导致可溶性固形物含量增加, 而后期随着葡萄的代谢及呼吸作用的消耗, 导致其逐渐降低, 与孙思胜等^[25]利用 1-MCP 结合自发气调包装以及王康飞等^[3]利用微孔膜包装对葡萄保鲜效果的研究相一致。曹森等^[22]研究表明, 贮藏 20 d 内, 经 1-MCP 处理、1-MCP 结合 ⁶⁰Co-γ 辐照处理后的蓝莓果实可溶性固形物含量不存在显著差异。类似地, 贮藏 10 d 内, 经 1-MCP 处理、1-MCP 结合 ⁶⁰Co-γ 辐照处理后的枇杷果实可溶性固形物含量也不存在显著差异^[23]。本研究也发现, 整个贮藏期间, 各处理组的可溶性固形物含量均不存在显著性差异($P>0.05$)。

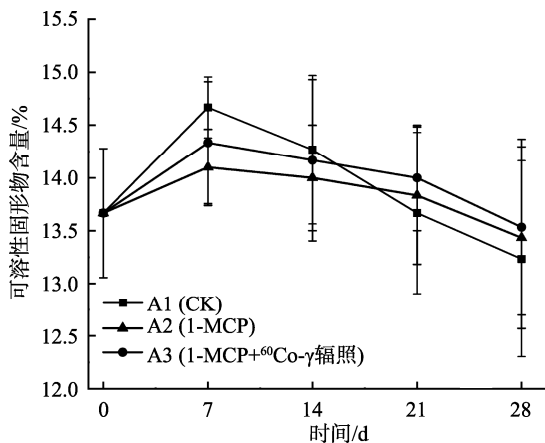


图 2 不同处理对贮藏期间水晶葡萄可溶性固形物含量的影响

Fig.2 Effects of different treatments on the total soluble solid content of crystal grape during storage

2.3 不同处理对贮藏期间水晶葡萄可滴定酸含量的影响

TA 含量直接影响果实的口感、风味及耐贮性。由图

3 可知, 整个 TA 含量随着时间的延长呈下降趋势, 这是由于水晶葡萄果实内的有机酸通过代谢而转化成其他物质。在 0~7 d 中, A1、A2、A3 组 3 个处理组之间均无显著性差异 ($P>0.05$)。贮藏中期(14 d 和 21 d), A3 组与 A1、A2 组之间存在显著性差异 ($P<0.05$)。贮藏到第 28 d 时, A1 组 TA 含量显著低于 A2 组和 A3 组 ($P<0.05$), 但 A2 组与 A3 组之间无显著差异 ($P>0.05$), 此时 3 个处理组的水晶葡萄内的 TA 含量分别为 0.69%、0.72%、0.73%。由此可见, 在贮藏前期, 水晶葡萄 TA 含量均不受 1-MCP 单独处理以及 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理的影响; 贮藏中后期, 两者均能显著延缓 TA 含量下降, 且 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理效果更好。这与 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理在蓝莓^[23]、枇杷^[22]中的研究一致。

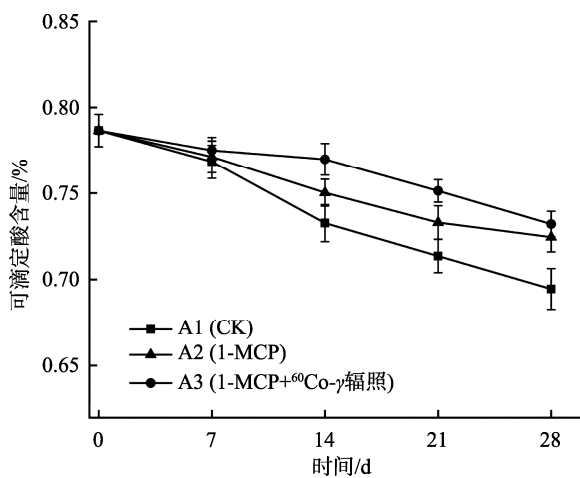


图 3 不同处理对贮藏期间水晶葡萄可滴定酸含量的影响
Fig.3 Effects of different treatments on TA content of crystal grapes during storage

2.4 不同处理对贮藏期间水晶葡萄丙二醛含量的影响

MDA 是反应果实遭受自由基伤害程度和膜脂过氧化程度的重要标志, MDA 含量的升高会加速水晶葡萄的果实组织衰老。由图 4 可知, 各处理组在贮藏期内 MDA 含量呈逐渐上升趋势。第 7 d 时, 3 个组处理组之间均无显著先差异 ($P>0.05$)。贮藏中期(14 d 和 21 d), A2 组 MDA 含量始终显著低于 A1 和 A3 组。第 28 d 时, A1 组 MDA 含量明显高于 A2 组和 A3 组 ($P<0.05$), 而 A2 组与 A3 组之间无显著差异 ($P>0.05$)。由此可见, 与对照组相比, 单一的 1-MCP 处理能更有效延缓水晶葡萄果实 MDA 含量上升, 并且效果优于 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照复合处理。陈浩等^[28]和李江阔等^[29]的研究显示, 用 1-MCP 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 复合处理“红提”葡萄、用 1-MCP 结合 ClO_2 复合处理“红提”葡萄抑制 MDA 含量上升效果明显好于 1-MCP 单独处理, 这与本研究的结论有一定区别。主要是因为 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理会对果实细胞膜系统造成

一定损伤, 导致 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理对抑制 MDA 含量上升的效果稍弱于单一的 1-MCP 处理。

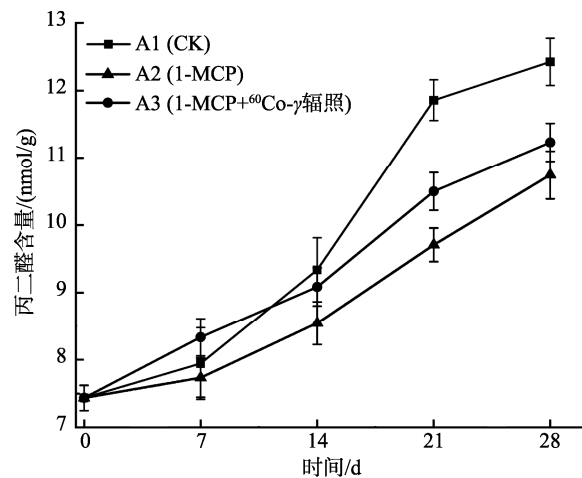


图 4 不同处理对贮藏期间水晶葡萄丙二醛含量的影响
Fig.4 Effects of different treatments on MDA content of crystal grapes during storage

2.5 不同处理对贮藏期间水晶葡萄质构参数的影响

本研究测定了 3 种处理对水晶葡萄质构参数的影响, 包括硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性及内聚性等。

(1)硬度: 由图 5(a)可知, 水晶葡萄的果实硬度在贮藏期内随着时间的延长呈逐渐下降的趋势。贮藏前期和中期(7~14 d), A3 组水晶葡萄硬度显著高于 A1 组, 保持硬度效果明显好于 A2 组 ($P<0.05$), A2 组与其他 2 组处理之间无显著性差异 ($P>0.05$)。贮藏中后期(21~28 d), A2 组和 A3 组的果实硬度之间无明显差异, 但两者均显著高于 A1 组 ($P<0.05$)。其中 21 d 时, A1 组的硬度急剧下降至 6.75 N/cm^2 , 远低于 1-MCP 处理的 A2 组及 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理的 A3 组。整个贮藏期内, 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理的水晶葡萄果实硬度下降最缓慢, 均高于其他组, 贮藏至 28 d 时硬度仍可保持 7.11 N/cm^2 。

(2)弹性: 弹性反映了贮藏过程中果实受外力作用后恢复形变的能力^[30]。贮藏期间, 弹性明显增大或减少均对果实口感和品质不利, 以保持原有水平、变化波动较小为宜^[24]。由图 5(b)可知, 水晶葡萄果实弹性随贮藏时间的延长整体呈下降趋势。贮藏中后期(21~28 d), 3 个处理组的果实弹性均显著低于第 0 d 的新鲜果实弹性 ($P<0.05$)。整个贮藏期内弹性大小表现为: 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照>1-MCP 处理>对照组, 差异不显著 ($P>0.05$)。贮藏至 28 d 时, 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理的水晶葡萄果实弹性为 2.25 mm。

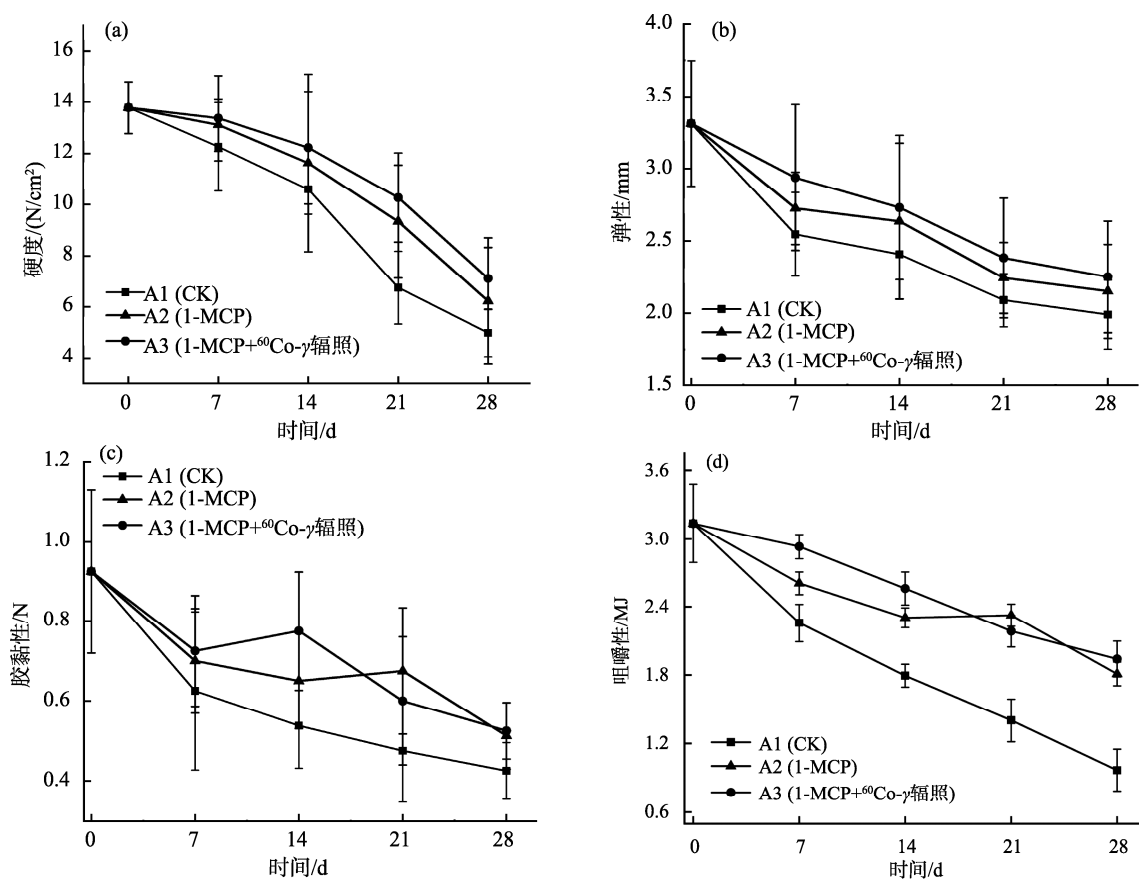
(3)胶黏性: 果实胶黏性反映果肉细胞间的黏着作用^[30]。与弹性一样, 贮藏期间胶黏性明显增大或减少均对果实口感和品质不利, 以保持原有水平、变化波动较小为宜^[24]。由图 5(c)可知, 贮藏 7 d 时, 水晶葡萄的胶黏性急剧

下降, A1、A2、A3 组 3 个处理组之间均无显著性差异 ($P>0.05$), A1 组下降的最快(0.63 N), A3 组的胶黏性值最高(0.73 N)。贮藏至 14 d 时, A3 组的胶黏性逐渐上升, 达到 0.78 N, A1 组与 A2 组呈下降趋势, A1 组与 A3 组之间存在显著性差异 ($P<0.05$)。贮藏至 21 d 时, A2 组胶黏性相较于第 14 d 略有上升, 达到 0.68 N, A3 组下降趋势最为明显, 但仍高于 A1 组, A1 组与 A2 组之间存在显著性差异 ($P<0.05$)。从第 21~28 d 内, 胶黏性呈下降趋势, A2 组下降的最快; 贮藏至 28 d 时, 与对照组相比, 1-MCP 结合 ^{60}Co - γ 辐照处理和 1-MCP 处理均能较好保持果实胶黏性, 两者之间无显著性差异 ($P>0.05$)。

(4)咀嚼性: 果实咀嚼性综合反映了果实对咀嚼的持续抵抗作用^[30]。与弹性一样, 贮藏期间咀嚼性明显增大或减少均对果实口感和品质不利, 以保持原有水平、变化波动较小为宜^[24]。由图 5(d)可知, 整个贮藏期内, 水晶葡萄果实的咀嚼性整体呈下降趋势, 且 A1 组咀嚼性始终低于 A2 组和 A3 组 ($P<0.05$), A3 组的咀嚼性整体最高, 贮藏至 28 d 时仍为 1.94 MJ。贮藏前期和中期(7~14 d), A1、A2、

A3 组 3 个处理组之间存在显著性差异 ($P<0.05$), 表现为: 1-MCP 结合 ^{60}Co - γ 辐照处理>1-MCP 处理>对照组。贮藏中后期(21~28 d), A2 组和 A3 组的果实咀嚼性均高于 A1 组, 但两者之间效果差异不明显 ($P>0.05$)。

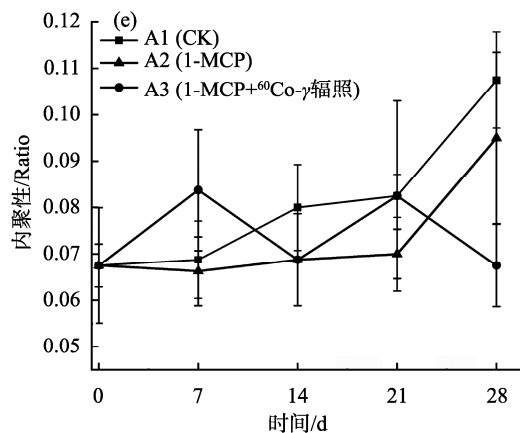
(5)内聚性: 内聚性指果肉抵抗牙齿咀嚼破坏而产生的内部收缩力^[31]。与弹性一样, 贮藏期间内聚性明显增大或减少均对果实口感和品质不利, 以保持原有水平、变化波动较小为宜^[24]。由图 5(e)可知, 贮藏期内水晶葡萄的内聚性 A1、A2 组呈上升趋势, A3 组呈锯齿形起伏变化趋势。整个贮藏期内, 单独 1-MCP 处理在前期和中期(0~21 d)变化十分平缓, 维持果实内聚性的效果非常显著, 但贮藏后期(28 d)突然急剧上升, 这种变化趋势与果实硬度、弹性不断下降相矛盾, 可能是贮藏期间果肉失去自由水, 果肉致密程度增大, 内部压力增加所导致^[32]。1-MCP 结合 ^{60}Co - γ 辐照处理的内聚性在 0.068~0.084 Ratio 之间波动, 贮藏至第 28 d 时的内聚性与第 0 d 时无显著性差异 ($P>0.05$), 说明 1-MCP 结合 ^{60}Co - γ 辐照处理保持内聚性的效果好于单独 1-MCP 处理和对照组。



注: (a)硬度; (b)弹性; (c)胶黏性; (d)咀嚼性。

图 5 不同处理对贮藏期间水晶葡萄质构参数的影响

Fig.5 Effects of different treatments on texture parameters of crystal grapes during storage



注: (e)内聚性。

图5(续) 不同处理对贮藏期间水晶葡萄质构参数的影响

Fig.5 Effects of different treatments on texture parameters of crystal grapes during storage

3 结论

本研究对比了1-MCP处理及1-MCP结合⁶⁰Co-γ辐照处理2种方式对贵州水晶葡萄保鲜效果的影响。研究结果表明,与单独使用1-MCP处理相比,1-MCP结合⁶⁰Co-γ辐照处理具有更好的保鲜效果。1-MCP结合⁶⁰Co-γ辐照处理能够更好地抑制贮藏期内水晶葡萄烂果率、落粒率及失重率的上升,延缓水晶葡萄可滴定酸含量、可溶性固形物含量和硬度、弹性、胶黏性及咀嚼性的下降,维持水晶葡萄更好的内聚性。但1-MCP结合⁶⁰Co-γ辐照复合处理对抑制MDA上升的效果稍弱于单一的1-MCP处理。总体而言,1-MCP与⁶⁰Co-γ辐照复合处理能够显著延缓水晶葡萄的衰老进程及延长贮藏时间,保持较高的贮藏品质,为水晶葡萄的贮藏保鲜提供了新思路及参考依据。

参考文献

- [1] 谢国芳, 吴颖, 王新华, 等. 1-MCP结合CT-2对水晶葡萄低温贮藏品质的影响[J]. 中国南方果树, 2017, 46(4): 112-116.
XIE GF, WU Y, WANG XH, *et al.* Effect of 1-MCP combined with CT-2 on low temperature storage quality of crystal grape [J]. South China Fruits, 2017, 46(4): 112-116.
- [2] LICHTER A. Rachis browning in tablegrapes [J]. Aust J Grape Wine, 2016, 22(2): 161-168.
- [3] 王康飞, 王桂英, 王德铮. 不同保鲜方式对葡萄保鲜效果影响的对比研究[J]. 包装工程, 2020, 41(15): 19-24.
WANG KF, WANG GY, WANG DZ. Comparative study on the effects of different preservation methods on grape preservation [J]. Packag Eng, 2020, 41(15): 19-24.
- [4] 集贤, 张平, 朱志强, 等. SO₂不同保鲜处理对醉金香葡萄贮藏效果的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(7): 1-9.
JI X, ZHANG P, ZHU ZQ, *et al.* Effects of different SO₂ preservation treatments on "Zuijinxiang" grape during storage [J]. Packag Eng, 2020, 41(7): 1-9.
- [5] 高海燕, 张华云, 王善广, 等. 不同用量SO₂处理对两类葡萄冷藏中抗氧化性能的影响[J]. 农业工程学报, 2006, (9): 210-214.
GAO HY, ZHANG HY, WANG SG, *et al.* Effects of different SO₂ dosages on the antioxidation of two kinds of grape during cold storage [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2006, 22(9): 210-214.
- [6] YAN J, SONG Y, LI J, *et al.* Forced-air precooling treatment enhanced antioxidant capacities of apricots [J]. J Food Process Pres, 2017, (3): E13320.
- [7] 王宁, 邓冰, 李珍, 等. 低温贮藏结合SO₂保鲜剂对无核白葡萄保鲜效果研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 330-334, 345.
WANG N, DENG B, LI Z, *et al.* Study on low temperature storage and SO₂ preservative on preservation of thompson seedless grape [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(6): 330-334, 345.
- [8] 曹森, 马超, 吉宁, 等. 乙烯吸附剂耦合1-MCP对“贵长”猕猴桃保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 186-193.
CAO S, MA C, JI N, *et al.* Effects of ethylene adsorbent coupling with 1-MCP on preservation effect of "Gui Chang" kiwifruit [J]. Food Ferment Ind, 2018, 44(3): 186-193.
- [9] 颜廷才, 刘振通, 李江阔, 等. 箱式气调结合1-MCP对软枣猕猴桃冷藏期品质及风味物质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 253-260.
YAN TC, LIU ZT, LI JK, *et al.* Effect of box-type modified atmosphere packaging combined with 1-MCP on quality and flavor compounds of actinidia arguta during cold storage [J]. Food Sci, 2016, 37(20): 253-260.
- [10] SOOYEON L, SEUNG HH, JEONGYITN K, *et al.* Inhibition of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) ripening by 1-methylcyclopropene during cold storage and anticancer properties of the fruit extract [J]. Food Chem, 2016, (190): 150-157.
- [11] HUANG H, GUO L, WANG L, *et al.* 1-methylcyclopropene (1-MCP) slows ripening of kiwifruit and affects energy status, membrane fatty acid contents and cell membrane integrity [J]. Postharvest Biol Technol, 2019, 156: 110941.
- [12] 马佳佳, 隋思瑶, 黄桂丽, 等. 1-MCP处理对早晚熟枇杷鲜果采后生理效应的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(1): 7-14.
MA JJ, SUI SY, HUANG GL, *et al.* Effects of 1-MCP treatment on postharvest physiology of the early and late-maturing varieties of loquat fruits [J]. Packag Eng, 2019, 40(1): 7-14.
- [13] 曹森, 马超, 龙晓波, 等. 1-MCP结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 265-271.

- CAO S, MA C, LONG XB, *et al.* Effect of 1-MCP coupling with ethylene adsorbent treatment on storage quality and physiological of blueberry [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(19): 265–271.
- [14] LI L, KASHASH Y, GOLDENBERG L, *et al.* Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest storage performance and the transcriptome of cactus pear fruit [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2017, 52(8): 1801–1809.
- [15] 贾艳萍, 张鹏, 曹森, 等. 1-MCP 处理对葡萄保鲜的影响[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(12): 185–192.
- JIA YP, ZHANG P, CAO S, *et al.* Effects of 1-mcp treatment on grapes preservation [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2016, 16(12): 185–192.
- [16] 唐怡, 杨红, 李文婷, 等. 1-MCP 对木纳格葡萄的保鲜效果[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(5): 301–306.
- TANG Y, YANG H, LI WT, *et al.* The preservation effect of 1-MCP on munage grape fruit [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(5): 301–306.
- [17] 李具鹏, 傅茂润, 杨晓颖. 1-MCP 处理对采后葡萄果梗褐变及叶绿素降解相关基因的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(20): 268–273, 285.
- LI JP, FU MR, YANG XY. Effect of 1-MCP treatment on postharvest browning and chlorophyll breakdown pathway related genes in grape rachis [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(20): 268–273, 285.
- [18] 曹琳, 李少华, 周树波, 等. 臭氧水处理对葡萄品质和表面微生物的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(8): 40–44.
- CAO L, LI SH, ZHOU SB, *et al.* Effect of ozone water on quality and surface microorganisms of grapes [J]. *Food Sci Technol*, 2017, 42(8): 40–44.
- [19] 齐馨, 何玲, 郭宇欢, 等. 臭氧处理对“红地球”葡萄的防腐效果[J]. *陕西农业科学*, 2017, 63(3): 25–30.
- QI X, HE L, GUO YH, *et al.* Antiseptic effect of ozone treatment on red globe grape [J]. *Shaanxi J Agric Sci*, 2017, 63(3): 25–30.
- [20] 李珍, 王宁, 邓冰, 等. 冰温结合臭氧对销地红提葡萄保鲜效果研究[J]. *核农学报*, 2016, 30(2): 275–281.
- LI Z, WANG N, DENG B, *et al.* The study of ice-temperature combined with ozone on storage effect of red globe grapes in sales market [J]. *Acta Agric Nucl Sci*, 2016, 30(2): 275–281.
- [21] 武杰, 朱飞. 臭氧处理对不同成熟度葡萄保鲜效果[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(11): 359–362.
- WU J, ZHU F. Effect of ozone treatment on the preservation of grapes with different maturity [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(11): 359–362.
- [22] 吉宁, 王瑞, 曹森, 等. 1-MCP 结合臭氧处理对水晶葡萄采后贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2021, 42(9): 56–63.
- JI N, WANG R, CAO S, *et al.* Effects of 1-MCP combined with ozone treat on postharvest storage quality of crystal grapes [J]. *Packag Eng*, 2021, 42(9): 56–63.
- [23] WANG L, LUO Z, LI J, *et al.* Morphological and quality characterization of grape berry and rachis in response to postharvest 1-methylcyclopropene and elevated oxygen and carbon dioxide atmospheres [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2019, 153: 107–117.
- [24] 田竹希, 龙明秀, 李咏富, 等. 短波紫外线照射和 ^{60}Co - γ 辐照处理对大樱桃贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(23): 269–276.
- TIAN ZX, LONG MX, LI YF, *et al.* Effects of short-wave ultraviolet (UV-C) light and ^{60}Co - γ irradiation on the storage quality of cherry fruits [J]. *Food Sci*, 2019, 40(23): 269–276.
- [25] WANI AM, HUSSAIN PR, MEENA RS, *et al.* Effect of gamma-irradiation and refrigerated storage on the improvement of quality and shelf life of pear (*Pyrus communis* L. Cv. Bartlett/William) [J]. *Radiat Phys Chem*, 2008, 77(8): 983–989.
- [26] 王琛. ^{60}Co - γ 辐照处理对蓝莓保鲜效应及其细胞壁降解机理的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- WANG C. ^{60}Co - γ Study on the effect of irradiation on the fresh keeping of blueberry and the mechanism of cell wall degradation [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [27] 龙明秀, 吴凤玉, 田竹希, 等. ^{60}Co - γ 辐照处理对蓝莓保鲜效果的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(11): 2165–2176.
- LONG MX, WU FY, TIAN ZX, *et al.* Effect of ^{60}Co - γ irradiation treatment on preservation effects of blueberry [J]. *Acta Agric Nucl Sci*, 2019, 33(11): 2165–2176.
- [28] 陈浩, 张润光, 付露莹, 等. 1-MCP 与 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 复合保鲜剂对‘红提’葡萄采后生理及贮藏品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(7): 1192–1204.
- CHEN H, ZHANG RG, FU LY, *et al.* Effects of 1-MCP and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ composite preservative on postharvest physiology and storage quality of red globe grapes [J]. *Sci Agric Sin*, 2019, 52(7): 1192–1204.
- [29] 李江阔, 张鹏, 关筱歆, 等. 1-MCP 结合 ClO_2 处理对冰温贮藏红提葡萄生理品质的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(22): 302–307.
- LI JK, ZHANG P, GUAN XX, *et al.* Effect of 1-MCP treatment coupled with ClO_2 on postharvest quality and physiology of red globe grapes during freezing-point storage [J]. *Food Sci*, 2012, 33(22): 302–307.
- [30] 曹森, 耿方静, 巴良杰, 等. 1-MCP 和 ^{60}Co - γ 辐照处理对自发气调包装大五星枇杷贮藏品质的影响[J]. *核农学报*, 2021, 35(01): 103–110.
- CAO S, GENG FJ, BA LJ, *et al.* Effects of combined treatment of 1-mcp and ^{60}Co - γ irradiation with modified atmosphere package on postharvest quality of loquat fruits [J]. *Acta Agric Nucl Sci*, 2021, 35(1): 103–110.
- [31] 曹森, 李江阔, 马超, 等. ^{60}Co - γ 辐照结合 1-MCP 处理对蓝莓贮藏品质的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(8): 1519–1526.
- CAO S, LI JK, MA C, *et al.* Effects of ^{60}Co - γ irradiation combined with 1-MCP on storage quality of blueberry [J]. *Acta Agric Nucl Sci*, 2019, 33(8): 1519–1526.
- [32] 赵芳芳, 魏佳, 陈燕, 等. 二氧化硫(SO_2)对葡萄果实采后质构和果皮蜡质损伤的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(14): 258–263.
- ZHAO FF, WEI J, CHEN Y, *et al.* Effects of sulfur dioxide SO_2 on the texture and wax injury of peel in grape berries [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(14): 258–263.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



田竹希, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品加工与贮藏保鲜。
E-mail: zoetzx@163.com



李咏富, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量与食品安全。
E-mail: liyongfu1985@163.com