1-MCP 对采后果实贮藏品质影响的研究进展

孙志栋[1,2]，田雪冰[1,3]，倪穗[3]，陈惠云[1,2]，李共国[4]
（1.宁波市农业科学研究院，浙江宁波 315040）（2.宁波市农产品保鲜工程重点实验室，浙江宁波 315040）
（3.宁波大学海洋学院，浙江宁波 315211）（4.浙江万里学院生物与环境学院，浙江宁波 315100）

摘要： 1-甲基环丙烯(1-MCP)为一种新型乙烯受体抑制剂，具有延缓果实衰老作用。它通过与乙烯受体蛋白的不可逆的竞争结合，干扰乙烯与其受体上的金属离子正常结合而在激素水平上影响果实对乙烯的响应。本文就 1-MCP 处理分别对呼吸跃变型和非呼吸跃变型果实采后生理及品质的效应以及对贮藏病害的影响进行了综述，旨为 1-MCP 绿色安全果实保鲜剂的应用推广提供技术思路。1-MCP 对果实保鲜具有双向调节作用，1-MCP 对采后果实的贮藏品质影响与其使用浓度、处理时间、处理方法及不同种类果实、呼吸漂移类型、采收期、贮藏温度等多种因素密切相关。

关键词： 1-MCP；果实；采后生理；品质；病害

文章篇号： 1673-9078(2017)7-336-341 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.047

Research on the Effect of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on the Storage Quality of Postharvest Fruits

SUN Zhi-dong[1,2], TIAN Xue-bing[1,3], NI Sui[3], CHEN Hui-yun[1,2], LI Gong-guo[4]
(1.Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315040, China) (2.Ningbo Key Laboratory of Agricultural Products Preservation, Ningbo 315040, China) (3.Ocean College of Ningbo University, Ningbo 315211, China) (4.College of Biological & Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

Abstract: 1-Methylcyclopropene (1-MCP) is a newly discovered ethylene receptor inhibitor that delays the senescence of fruits and vegetables. It interferes with the normal binding of ethylene to metal ions on the ethylene receptor and affects the response of fruits to ethylene by binding to the ethylene receptor protein (irreversible competition). This review summarizes the effects of 1-MCP treatment on the postharvest physiology and quality of respiratory climacteric and nonrespiratory climacteric fruits, as well as storage diseases. The aim of this study was to provide technical ideas for the application of the green and safe preservative 1-MCP for fruits. 1- MCP has a bidirectional regulation effect on the preservation of fruits, and the effect of 1-MCP on the storage quality of postharvest fruits is closely related to many factors, such as treatment concentration, treatment time, treatment method, type of fruit, type of respiration drift, harvest time, and storage temperature.

Key words: 1-methylcyclopropene (1-MCP); fruits; postharvest physiology; storage quality; diseases

乙烯作为植物生长发育过程中的一种生长调节剂，它对植物的代谢调节贯穿于整个生命周期，可以调控果实生长发育，促进其成熟、衰老和脱落[1~3]。因此，在果实贮藏过程中使用一种可以有效抑制果实内源乙烯合成和外源乙烯活性的物质，使其在激素水平上抑制乙烯引发的果实后熟和采后病害[4]，均十分有意义。乙烯受体抑制剂 1-甲基环丙烯(1-MCP)可与乙烯受体上的金属离子结合，抑制乙烯-受体复合物的形成，阻断乙烯所诱导的信号传导，暂时延缓了乙烯的生理反应[5]。1-MCP 以其在常温下稳定，使用剂量低和安全、高效等优点而被广泛应用于呼吸跃变型[6,7]和非呼吸跃变型[8,9]果蔬采后贮藏保鲜。由于乙烯的合成也会影响一些与病害相关的蛋白的产生、细胞膜的通透性、影响活化酚类物质代谢以及活性氧的积累，近年来，越来越多的人开始研究乙烯与果蔬抗病防卫反应之间的关系[4]。

众所周知，呼吸跃变型及非呼吸跃变型果实在发育期间都产生微量的乙烯。然而在完熟期内，跃变型果实所产生的内源乙烯的量多且在跃变前后变化幅度大，而非跃变型果实的内源乙烯一直维持在很低的水平，没有产生上升现象。另外，对跃变型果实来说，外源乙烯只在跃变前期处理才有作用，可引起呼吸强度上升和内源乙烯的自身催化，这种反应是不可逆的，即使停止处理也不能使呼吸强度回复到处理前的状

收稿日期：2016-10-25
基金项目："十二五"国家科技支撑计划课题（2015BAD16B03）
作者简介：孙志栋（1962-），男，教授级高工，研究方向：食品与生物工程；李共国（1964-），男，教授，研究方向：农产品贮藏加工

态。而对非跃变型果实来说，任何时段施用外源乙烯都可对果实发生反应，但将外源乙烯除去，呼吸强度又会恢复至未处理时的水平。因此分类研究 1-MCP 处理对呼吸跃变型果实及非呼吸跃变型果实的效应十分有必要。本文就 1-MCP 处理分别对呼吸跃变型和非呼吸跃变型果实采后生理及品质的效应，以及 1-MCP 分别对两种果实的病害影响进行了综述。

1 1-MCP 对呼吸跃变型果实的影响

1.1 1-MCP 对呼吸跃变型果实采后生理及品质的影响

呼吸跃变型果实有一个后熟阶段，在果实的后熟阶段中会发生一系列不可逆的生理生化反应，如总酸含量的下降、可溶性固形物含量的增高、果实的变软和色素的转变等，而且会伴随出现乙烯释放高峰和呼吸强度峰值，据研究，1-MCP 处理可显著减缓香蕉[10]、苹果[11]、番木瓜[12]、梨[13]、猕猴桃[7]和壶瓶枣[14]等呼吸跃变型果实的后熟和软化进程，抑制跃变型果实乙烯的合成，阻止或延缓乙烯作用的发挥，果实采收后施用 1-MCP 能明显减缓跃变型果实呼吸速率的上升，推迟呼吸高峰的到来并降低呼吸速率的峰值，从而延缓果实的成熟衰老，大大地提高贮藏品质。然而，现在也有些研究员和经销商认为经过 1-MCP 处理的果实感官评价和消费者满意程度都会降低。如 Deng 等发现 1-MCP 处理组虽然可以提高猕猴桃的货架期，但同时也会降低猕猴桃的口感[7]，主要表现为过酸，而不是因使用 1-MCP 后的硬度或可溶性固形物浓度。还有 1-MCP 处理桃果后果肉容易出现絮状干化或木质化现象，出汁率、甜度均降低[15]等。Widodo 等分别在早期采收香蕉和后熟期采收香蕉施用 1-MCP，发现在早期进行 1-MCP 处理比后熟期时处理货架期加长、硬度增加[16]，说明在早期施用 1-MCP 会延缓果蔬后熟阶段的到来，贮藏保鲜效果会显著提高。Lee 等发现 1-MCP 可以显著降低苹果在贮藏期间的呼吸速率，相对于空白对照，甲醇和酯类代谢也会发生较大改变[11]。Xie 等发现 1-MCP 可以推迟梨在贮藏过程中乙烯合成量和呼吸强度峰值的出现并大大降低其乙烯合成量和呼吸强度，而且也可以使梨的总酸含量显著提高[13]。Siddiq 等在研究 1-MCP 对完整苹果的营养质量影响时发现，处理组比空白组的苹果硬度更大，总酸含量更高[17]。Zhang 等发现“jujub”枣采后贮藏过程中，1-MCP 处理组比空白组的乙烯释放量和呼吸强度明显降低，总酸含量、可溶性固形物含量和硬度明显增加[14]。Rahman 等用 1-MCP 保鲜香蕉时发现，处理组香蕉的呼吸高峰期由采后第 21 d 推迟到了第 35 d[10]。

1.2 1-MCP 对呼吸跃变型果实采后病害的影响

1.2.1 1-MCP 对呼吸跃变型果实生理性病害的影响

对于跃变型果实来说，1-MCP 对果实生理性病害的影响不能确定，已经证实 1-MCP 可以减少柿[18]、猕猴桃[19]冷害的增加，可以降低柿的果实褐变[18]，降低苹果虎皮病的发病几率。但有些研究却证实 1-MCP 会使果实更加容易遭受冷害，如蕃茄[20]和桃果[15]。吴小华等在其实验中得出了 1-MCP 处理可以有效抑制花牛苹果虎皮病发生，冷藏 8 个月后模拟货架 10 d，两种不同品种的 1-MCP 处理组苹果果实的虎皮病发病率较对照组分别降低了 3.0%和 47.0%，病情指数较对照组分别降低 25.9%和 68%[21]。邵毅等在研究 1-MCP 对黑宝石李的冷害影响时发现，于 0 ℃低温贮藏时，1-MCP 处理组冷害和褐变情况较对照组轻微，但于 3 ℃低温贮藏时，处理组冷害和褐变情况反比对照组果实严重[22]，所以邵毅等认为，1-MCP 可抑制李果实乙烯的生成，李果实在不同的贮藏温度下要维持正常的生理代谢可能需不同数量的乙烯，乙烯的数量不同会造成李果生理代谢紊乱情况不同，因此发生不同程度的褐变腐烂和冷害。

本文认为，对于跃变型果实来说，生理性病害与其内源乙烯的浓度大小息息相关，内源乙烯浓度太高或太低都会使跃变型果实的代谢紊乱，即 1-MCP 的应用浓度过大或应用时间过长或与之相反都引起跃变型果实的生理性病害。而大量文献证明了这一点，解静以绿熟期番茄为材料，分别用 1、3 和 5 μL/L 的 1-MCP 对刚采摘的绿熟期的番茄进行熏蒸 6 h，以未经 1-MCP 处理的番茄为对照，发现此时 1-MCP 对番茄冷害有促进作用，会加重番茄病害[23]；而陈鑫瑶等研究结果也表明经 0.02%和 0.08%的乙烯利处理的番茄发生冷害的几率较 0.04%处理组番茄大[24]，从另一方面证明了此结论。夏源苑发现不同品种猕猴桃果实软化与 1-MCP 浓度之间有依赖反应，但对于“红阳”果实，1 μL/L 及其以上的高浓度或以极低浓度的 1-MCP 处理果实均会加重冷害，且冷害程度与浓度成正比[25]。

1.2.2 1-MCP 对呼吸跃变型果实侵染性病害的影响

对于跃变型果实来说，1-MCP 对其侵染性病害的影响还没有统一的说法。有人认为，1-MCP 可以降低

跃变型果实发生侵染性病害的几率，李俊俊等在1-MCP对香蕉、芒果和番木瓜果实贮藏品质影响的比较研究中得出结论：1-MCP处理的果实其病情指数显著低于对照果实，且1-MCP对不同种类果实病情的抑制效果存在差异，芒果果实病情指数上升的最快，番木瓜果实病情指数上升的最慢[26]。李辉等发现1-MCP可以显著提高‘油木奈’李果实对病原菌的抗病性，减轻其腐败情况[27]。张帆等以富士苹果为材料，用1-MCP 熏蒸处理后，再分别接种灰霉病菌和炭疽病菌，然后放置在常温下，来研究1-MCP对富士苹果采后贮藏期间侵染性病害的影响，得出结论，经1-MCP处理并接种病菌后的果实，在贮藏过程中呼吸速率、乙烯释放量显著低于对照，但在腐烂程度上，接种不同病菌表现不同。接种灰霉病菌以0.25、0.5、0.75 μL/L 1-MCP处理的果实腐烂程度显著低于对照果实。接种炭疽病菌的果实，以0.5 μL/L 1-MCP处理果实的腐烂程度显著低于对照，而1.0 μL/L 1-MCP处理果实的腐烂程度与对照无明显差异[28]。然而，1-MCP对苹果牛眼果腐病菌 *Neofabraea perennans* 无作用效果[29]。

2 1-MCP对非呼吸跃变型果蔬的影响

2.1 1-MCP 对非呼吸跃变型果实采后生理及品质的影响

对于非呼吸跃变型果实来说，产生乙烯反应的乙烯临界浓度是0.005 μL/L，远低于跃变型果实的乙烯临界浓度0.1 μL/L，更容易受到乙烯诱导而导致衰老腐烂[30]。由于跃变型和非跃变型果实乙烯合成作用系统不同，1-MCP 处理对非跃变型果实的作用相对复杂，会随着品种和处理方式的不同而呈现不同的作用，在相关的报道研究中甚至会存在对立的观点。Zoran等发现 1-MCP 处理可以在青椒采后保鲜中显著抑制变黄速率、抑制胡萝卜素含量的增多、延迟腐败及降低软化速率[31]。Cao 等研究了 1 ℃贮藏下枇杷果实1-MCP 处理组的营养质量和功能特性，相比于对照组，处理组在贮藏期可以显著抑制腐败，增加可溶性固形物、总酸、和糖类的含量，并能维持更好的风味[32]。而Rodoni等认为施用1-MCP不仅不能减少非跃变果实在采后贮藏过程中的乙烯释放量，反而会增加其释放量[33]。Lado等认为1-MCP可以显著减少采后贮藏中葡萄柚的乙烯释放量[34]。Chiabrando 和Giacalone研究结果表明，1-MCP可以使蓝莓的可溶性固形物含量更低，却对总酸含量没有显著影响[35]。

2.2 1-MCP 对非呼吸跃变型果蔬采后病害的影响

2.2.1 1-MCP 对非呼吸跃变型果蔬生理性病害的影响

迄今为止，1-MCP对非跃变型果实的生理性病害的影响同样没有确切的答案。由于其在采后贮藏期间内源乙烯产生量一直处于一个低水平，外源乙烯起到的作用会大大增加，因此对于非跃变型果实来说，生理性病害与乙烯的关系更加复杂难解，更加不能判定1-MCP对其生理性病害的影响。范林林等认为采用10 μL/L 1-MCP处理可以延缓西葫芦冷害的发生时间，减轻西葫芦冷害程度[36]。Edagi 等的研究结果表明，1-MCP可以降低枇杷冷害的发病率，延迟枇杷冷害的发病时间[37]。同样，孙旭科发现 1-MCP 可以缓解枇杷果实细胞壁的异常代谢，从而缓解其果实的冷害[38]，可能是通过诱导几丁质酶和 β-1,3-葡聚糖酶等抗病相关酶的活性及延缓果实的衰老，从而保持了较高的抗病害性能。然而，Porat等人却发现用0~100 nL/L之间不同浓度的 1-MCP 处理柑橘可以加重其冷害症状(果蒂的腐烂以及异味物质的挥发)和腐败状况[39]。

2.2.2 1-MCP 对非呼吸跃变型果实侵染性病害的影响

对于非跃变型果实来说，有研究结果表明，1-MCP可以抑制非跃变型果实侵染性病害的发生，但其具体机理还有待进一步的研究探索。Lu等研究表明，乙烯和1-MCP不影响柑橘果实的重量和硬度，但是乙烯能减少由霉菌引起的腐烂，少量内源乙烯有助于柑橘保持对环境或者病原胁迫的抵抗性[40]。路来风[41]也发现，高浓度1-MCP处理柑橘阻断乙烯信号受体感应过程中，对拮抗酵母 *Rhodosporidium paludigenum* 诱导果实采后抗病能力同样具有显著的抑制作用，显著降低了拮抗酵母对柑橘果实中乙烯响应因子(ERFs)基因和抗性相关基因表达的诱导作用，导致果实绿霉病发生率与平均病斑直径高于对照处理组。Porat等在研究shamouti 柑橘后发现，单独用 10 μL/L 的乙烯处理可降低由霉菌引起的腐烂；(50~100) nL/L 的1-MCP处理虽有效地阻止乙烯引起的果皮褪绿，但对抵消贮藏中乙烯的消极作用无益，与未处理相比，甚至还会加速冷害和腐烂症状的发生[39]，也从反方向证明了一定浓度的乙烯可以减少由霉菌引起的腐败。

综上所述，对于某些少许种类的果实，保持适当浓度的内源乙烯有利于维持果实正常的生理代谢，一

定浓度的外源乙烯也可减少由病原菌引起的腐败。而对于大多数果实，通过 1-MCP 抑制乙烯受体可延缓果实衰老、增强对生理性或侵染性病害的抵御能力，还因果实种类、贮藏条件和侵染病原等的不同，1-MCP 的浓度阀值及其有效性与否均存在极大的差异。由于 1-MCP 处理有的起到正作用，有的却起到负作用，如还会引起个别果实的各种口感下降，故将来还需要进一步评价 1-MCP 对果实食用品质的影响。

3 展望

目前应用 1-MCP 保鲜果实的研究，大多数集中在 1-MCP 抑制乙烯受体延缓果实衰老与减轻采后果实病害作用的关系上，从对 1-MCP 研究整体上来说还处于起步阶段，仍存在许多问题亟待解决和探究，比如 1-MCP 影响果实乙烯代谢的机理、影响果实各类病害的因素与途径、1-MCP 的施用方法普适性、1-MCP 与其他保鲜措施联用等。其中最主要的是其对乙烯拮抗效应的确切机制还有待进一步的探索研究。此外，1-MCP 在采后果实上应用后有时会出现一些负面效应，如色泽转化不均匀、风味物质的产生会受到抑制甚至会改变其组成(酯类减少)、部分果实施用药物后导致抗病性下降、口感下降以及相关生理性与侵染性病害的增加等。最后，虽然 1-MCP 具有良好的保鲜效果，但发挥其最佳效能却与多种因素有关，比如处理时间和浓度的不同、处理果蔬的采收期不同，如何研究探索出 1-MCP 处理的最佳优化组合技术参数，或者和其他保鲜措施联用的、一种具有广谱性的保鲜方法，则是以后 1-MCP 在采后果实的贮藏保鲜上应用推广的关键所在。所有这些都有待进一步的研究并解决。

参考文献

[1] F B Abeles, P W Morgan, M E Saltveit. Ethylene in plant biology [M]. Academic Press, 2012

[2] 胡位荣,刘顺枝.1-甲基环丙烯在果蔬采后生理与保鲜上的研究[J].嘉应大学学报,2002,20(3):88-92
HU Wei-rong, LIU Shun-zhi. Advances and application of 1-methylcycloprogene in postharvest and preservation in fruit and vegetable [J]. Journal of Jiaying University (Natural Science), 2002, 20(3): 88-92

[3] 穆师洋,胡文忠,姜爱丽,等.乙烯的信号分子作用及其在采后果蔬生理代谢调控的研究进展[J].食品工业科技,2015, 36(3):375-378
MU Shi-yang, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Research progress in the role of ethylene as signal molecule and regulation of physiological metabolism in postharvest fruits and vegetables [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(3): 375-378

[4] 王璐璐,林河通,林艺芬,等.1-MCP 对果蔬采后抗病性的诱导及机理[J].包装与食品机械,2013,31(2):37-41
WANG Lu-lu, LIN He-tong, LIN Yi-fen, et al. A review of resistance of harvested fruits and vegetables to diseases induced by 1-MCP and its mechanism [J]. Packaging and Food Machinery, 2013, 31(2): 37-41

[5] 关夏玉,陈清西.1-MCP采后处理在果实贮藏保鲜上应用的研究进展[J].中国农业科技导报,2006,8(4):46-49
GUAN Xia-yu, CHEN Qing-xi. Recent advances in study on application of 1-methylcyclopropene for storage and preservation of fruits [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2006, 8(4): 46-49

[6] N Pongprasert, V Srilaong. A novel technique using 1-MCP microbubbles for delaying postharvest ripening of banana fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 95(3): 42-45

[7] L Deng, C Z Jiang, W Mu, et al. Influence of 1-MCP treatments on eating quality and consumer preferences of 'Qinmei'kiwifruit during shelf life [J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 52(1): 335-342

[8] L Li, Z Ban, X Li, et al. Effect of 1-methylcyclopropene and calcium chloride treatments on quality maintenance of 'Lingwu Long'Jujube fruit [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(4): 700-707

[9] 郭峰,王毓宁,李鹏霞,等.1-MCP 处理对采后红椒质构性能的影响[J].食品科学,2015,36(16):272-277
GUO Feng, WANG Yu-ning, LI Peng-xia, et al. Effects of 1-methylcyclopropene treatments on texture properties of red pepper during post-harvest storage [J]. Food Science, 2015, 36(16): 272-277

[10] M A Rahman, M A Hossain, M M Begum, et al. Evaluating the effects of 1-methylcyclopropene concentration and immersion duration on ripening and quality of banana fruit [J]. Journal of Post-Harvest Technology, 2014, 2(1): 54-67

[11] J Lee, D R Rudell, P J Davies, et al. Metabolic changes in 1-methylcyclopropene (1-MCP)-treated 'Empire'apple fruit during storage [J]. Metabolomics, 2012, 8(4): 742-753

[12] JÁ Huerta-Ocampo, J A Osuna-Castro, G J Lino-López, et al. Proteomic analysis of differentially accumulated proteins during ripening and in response to 1-MCP in papaya fruit [J]. Journal of Proteomics, 2012, 75(7): 2160-2169

[13] X Xie, J Song, Y Wang, et al. Ethylene synthesis, ripening capacity, and superficial scald inhibition in 1-MCP treated

‘d’Anjou’pears are affected by storage temperature [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 97: 1-10

[14] Z Zhang, S Tian, Z Zhu, et al. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and resistance of jujube (*Zizyphus jujuba* cv. Huping) fruit against postharvest disease [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(1): 13-19

[15] 杨虎清,王允祥,庞林江,等.1-MCP 对不同成熟度白凤桃冷害发生的影响[J].果树学报,2008,25(1):111-114
YANG Hu-qing, WANG Yun-xiang, PANG Lin-jiang, et al. Effect of 1-MCP on the fruit chilling injury of Baifeng peach cultivar during storage [J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(1): 111-114

[16] S E Widodo, Zulferiyenni, Y C Ginting, et al Effects of 1-methylcyclopropene and chitosan on the fruit shelf-life and qualities of two different ripening stages of 'Cavendish' banana [J]. Journal of Food and Nutrition Sciences, 2015, 3(1-2): 54-59

[17] M Siddiq, J B Harte, R M Beaudry, et al. Physicochemical properties of whole fruit and sensory quality of fresh-cut apples pre-treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP) [J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17(5): 1081-1092

[18] 张雪丹,辛甜甜,李富军,等.1-甲基环丙烯在柿贮藏保鲜中的应用研究进展[J].园艺学报 2012,39(4):783-792
ZHANG Xue-dan, XIN Tian-tian, LI Fu-jun, et al. Progress in application research of 1-MCP for storage and fresh-keeping of persimmon fruits [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(4): 783-792

[19] 王玉萍,饶景萍,李萌,等.1-MCP 对‘徐香’猕猴桃冷藏期间冷害与果实品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(11):93-99
WANG Yu-ping, RAO Jing-ping, LI Meng, et al. Effects of 1-MCP on chilling injury and quality of ‘Xuxiang' kiwifruit during cold storage [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2013, 41(11): 93-99

[20] E W Hewett. Ripening delay caused by 1-MCP may increase tomato chilling sensitivity [J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2014, 42(2): 145-150

[21] 吴小华,颉敏华,赵波,等.1-MCP 处理对花牛苹果虎皮病发生机理及控制效应研究[J].食品工业科技,2015,36(15): 316-320,325
WU Xiao-hua, XIE Min-hua, ZHAO Bo, et al. Control and mechanism of superficial scald on ‘Huaniu’ apples with 1-methylcyclopropene treatment [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(15): 316-320, 325

[22] 邵毅,罗云波,陈安均,等.1-MCP 处理和贮藏温度对黑宝石李果肉褐变的影响[J].农业机械学报,2010,41(3):128-133
SHAO Yi, LUO Yun-bo, CHEN An-jun, et al. Effect of 1-MCP treatment and storage temperature on pulp browning of friar plum (*Prunus salicina Lindell. cv. Friar*) [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(3): 128-133

[23] 解静.1-MCP 对番茄冷害及机械损伤的影响[D].杭州:浙江大学,2010
JIE Jing. Effect of 1-MCP on tomato chilling injury and mechanical damage [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010

[24] 陈鑫瑶,生吉萍,胡朋,等.外源乙烯和 1-MCP 处理对番茄采后贮藏期抗冷性的影响[J].食品科学,2008,29(7):466-469
CHEN Xin-yao, SHENG Ji-ping, HU Peng, et al. Cold tolerance induced by exogenous ethylene and 1-MCP treatment during tomato storage [J]. Food Science, 2008, 29(7): 466-469

[25] 夏源苑.猕猴桃不同品种 1-MCP 处理浓度研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2011
XIA Yuan-yuan. Study on the treatment concentration of 1-MCP in different varieties of kiwi fruit [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2011

[26] 李俊俊,李文文,邵远志,等.1-MCP 对香蕉,芒果和番木瓜果实贮藏品质影响的比较研究[J].食品科技,2013,38(5):46-51
LI Jun-jun, LI Wen-wen, SHAO Yuan-zhi, et al. Comparison on effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage quality of banana, mango and papaya fruits [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(5): 46-51

[27] 李辉,林毅雄,林河通,等.1-甲基环丙烯控制采后‘油(木奈)’果实腐烂与抗病相关酶诱导的关系[J].热带作物学报,2015, 36(4):786-791
LI Hui, LIN Yi-xiong, LIN He-tong, et al. The relationship between inhibition of decay and induction of disease defense-related enzymes in harvested ‘Younai’ plum Fruit by 1-methylcyclopropene (1-MCP) [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(4): 786-791

[28] 张帆.1-MCP 处理对采后富士苹果灰霉病和炭疽病的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2008
ZHANG Fan. Effect of 1-MCP on gray mold and anthrax of 'Fuji' apple [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2008

[29] P Maxin, R W S Weber. Control of *Phacidiopycnis washingtonensis* storage rot of apples by hot-water treatments without the ethylene inhibitor 1-MCP [J]. Journal of Plant

Diseases and Protection, 2011, 118(6): 222-224

[30] 李雪枝.1-甲基环丙烯在番茄和草莓保鲜中的应用研究[D].南京:南京师范大学,2007
LI Xue-zhi. Studies on effects of 1-MCP on fresh-keeping of tomato and strawberry fruit [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007

[31] SI Zoran, T Radmila, P Yaacov, et al. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest storage quality in green bell pepper fruit [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(7): 2758-2767

[32] S Cao, Y Zheng, Z Yang. Effect of 1-MCP treatment on nutritive and functional properties of loquat fruit during cold storage [J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2011, 39(1): 61-70

[33] L M Rodoni, V Feuring, M J Zaro, et al. Ethylene responses and quality of antioxidant-rich stored barberry fruit (*Berberis microphylla*) [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 179: 233-238

[34] J Lado, M J Rodrigo, L Zacarías. Analysis of ethylene biosynthesis and perception during postharvest cold storage of marsh and star ruby grapefruits [J]. Food Science and Technology International, 2014, 21(7): 537-546

[35] V Chiabrando, G Giacalone. Shelf-life extension of high bush blueberry using 1-methylcyclopropene stored under air and controlled atmosphere [J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1812-1816

[36] 范林林,高元惠,高丽朴,等.1-MCP 处理对西葫芦冷害和品质的影响[J].食品工业科技,2015,36(17):330-334
FAN Lin-lin, GAO Yuan-hui, GAO Li-pu, et al. Effect of 1-MCP treatment on chilling injury and quality of *Zucchini* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 330-334

[37] F K Edagi, F F Sasaki, I Sestari, et al. 1-Methylcyclopropene and methyl salicylate reduce chilling injury of 'Fukuhara' loquat under cold storage [J]. Ciência Rural, 2011, 41(5): 910-916

[38] 孙旭科.枇杷果实冷藏过程中细胞壁代谢机理及生物保鲜剂的研究[D].金华:浙江师范大学,2013
SUN Xu-ke. Study on mechanism of cell wall metabolism and biological preservaton thchnology of cold storage loquat fruit [D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2013

[39] R Porat, B Weiss, L Cohen, et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of ‘*Shamouti*’oranges [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 15(2): 155-163

[40] L Lu, H Lu, C Wu, et al. *Rhodosporidium paludigenum* induces resistance and defense-related responses against *Penicillium digitatum* in citrus fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 85: 196-202

[41] 路来风.海洋拮抗酵母 *Rhodosporidium paludigenum* 对柑橘果实抗性的增强效应及其生物学机理研究[D].杭州:浙江大学,2015
LU Lai-feng. *Rhodosporidium paludigenum* induces disease resistance and defense-related mechanisms against decays in citrus fruit [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015

（上接第 335 页）

[53] 朱振标,沈慧,林之斌,等.补骨脂二氢黄酮对去卵巢大鼠骨质疏松症影响的实验研究[J].陕西中医,2015,8:1083-1084
ZHU Zhen-biao, SHEN Hui, LIN Zhi-bin, et al. Effect of psoralen dihydrogen flavone on osteoporosis in ovariectomized rats [J]. Shaanxi Journal of Traditional Chinese Medicine, 2015, 8: 1083-1084

[54] Al-Ghudani M K N, Hossain M A. Determination of total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of root crude extracts of *Adenium obesum*, traditionally used for the treatment of bone dislocations and rheumatism [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 2015, 5:S155-S158

[55] Agnieszka Strzelecka-Kiliszek, Saida Mebarek, M Roszkowska, et al. Functions of Rho family of small GTPases and Rho-associated coiled-coil kinases in bone cells during differentiation and mineralization [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2017: 1009-1023

[56] 许周媚,张雪,查旋,等.芹菜素对小鼠成骨细胞 MC3T3-E1 细胞增殖、分化和矿化的影响[J].广东医学院学报,2016, 34(2):109-112
XU Zhou-mei, ZHANG Xue, ZHA Xuan, et al. Effects of apigenin on proliferation, differentiation and mineralization of mouse osteoblasts MC3T3-E1 cells [J]. Journal of Guangdong Medical College, 2016, 34(2): 109-112

[57] 桂林源,刘世宇,邱新毓,等.黄芩小分子化合物对雌激素缺乏骨质疏松的预防和治疗作用[J].牙体牙髓牙周病学杂志, 2016,26(5):294-300
GUI Lin-yuan, LIU Shi-yu, QIU Xin-yu, et al. Preventive and therapeutic effects of small molecule compounds of *Scutellaria baicalensis* Georgi on estrogen deficiency osteoporosis [J]. Chinese Journal of Conservative Dentistry, 2016, 26(5): 294-300