

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.08.031

1-MCP 及结构相似物对冷藏苹果乙烯合成的影响^{*}

程顺昌¹ 魏宝东¹ 任小林² 冷俊颖¹ 冯叙桥¹

(1. 沈阳农业大学食品学院, 沈阳 110866; 2. 西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为了研究不同支链长度的 3 种环丙烯类乙烯作用抑制剂对寒富苹果冷藏后乙烯生物合成及果实衰老的影响, 分别采用 0.75 μL/L 的 1-MCP(1-甲基环丙烯)、2 μL/L 的 1-PentCP(1-戊基环丙烯)和 0.5 μL/L 的 1-OCP(1-辛基环丙烯)在常温(20 ± 1)℃条件下, 以不处理为对照, 采用熏蒸处理寒富苹果 20 h, 然后装入 0.02 mm 厚度保鲜袋于低温(0 ± 0.5)℃下贮藏。结果表明: 与对照相比, 1-MCP 及其结构相似物处理均不同程度抑制了苹果冷藏期间的呼吸强度和乙烯释放量, 推迟了呼吸峰和乙烯释放峰值出现的时间大约 30 d; 虽然 1-MCP 及其结构相似物处理在贮藏前期均促进了寒富苹果果实中 ACS 酶活性, 导致处理果实在整个冷藏过程中 ACC 含量高于对照果实, 但由于较好地抑制了 ACO 酶的活性, 从而抑制了寒富苹果冷藏中乙烯的释放量; 此外, 3 个处理还延缓了果实中 MDA 含量和细胞膜透性增大的速率。因此, 1-MCP 及其结构相似物处理能延缓冷藏中寒富苹果果实的成熟衰老进程, 但 1-MCP 及其结构相似物处理间无显著差异。

关键词: 苹果 1-MCP 结构相似物 冷藏 乙烯合成

中图分类号: S609.3; S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)08-0185-05

Effect of Treatment with 1-MCP or Its Structural Analogues on Ethylene Synthesis of Apple during Cold Storage

Cheng Shunchang¹ Wei Baodong¹ Ren Xiaolin² Leng Junying¹ Feng Xuqiao¹

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

2. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Effect of treatment with 1-MCP or its structural analogues on ethylene synthesis and senescence of ‘Hanfu’ apple during cold storage was investigated. After being fumigated for 20 h with 0.75 μL/L 1-MCP (1-methylcyclopropene), 2 μL/L 1-PentCP (1-pentylcyclopropene) or 0.5 μL/L 1-OCP (1-octylcyclopropene) respectively, the apple fruits were packed with 0.02 mm thick plastic bags and then stored at (0 ± 0.5)℃. The results showed that treatment with 1-MCP or its structural analogues reduced ethylene production and respiration rate, delayed the respiration and ethylene peak by 30 d compared with control fruits. The content of ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) in treated fruits exhibited higher level than untreated control fruits throughout the whole cold storage, because treatment with 1-MCP or its structural analogues promoted the activity of ACS (ACC synthetase). All the treatments inhibited the activity of ACO (ACC oxidase), therefore, ethylene production of the treated fruits was suppressed during the cold storage. In addition, 1-MCP and its structural analogue also deferred the increase in MDA content and membrane permeability, decreased respiration rate and ethylene production, and delayed senescence of ‘Hanfu’ apple. However, there existed no significant differences between treatments with 1-MCP or its structural analogues.

Key words: Apple 1-methylcyclopropene Structural analogues Cold storage Ethylene synthesis

收稿日期: 2012-08-22 修回日期: 2012-09-25
^{*} 国家自然科学基金资助项目(30972064)、国家现代苹果产业技术体系建设资助项目(nycytx08-05-02)、沈阳农业大学青年教师基金资助项目(20112010)和沈阳市大型仪器共享项目(F11-253-4-00)
作者简介: 程顺昌, 博士生, 主要从事果蔬采后生物学研究, E-mail: Sailor_ch@163.com
通讯作者: 冯叙桥, 教授, 博士生导师, 主要从事果蔬质量控制与安全生产研究, E-mail: feng_xq@hotmail.com

引言

寒富苹果是由富士与东光杂交的抗寒性极强的优质苹果新品种,果大、果型端正、颜色鲜艳,酥脆多汁具有香气,含酸量较高,适宜鲜食与加工^[1~2]。目前对寒富苹果的研究多集中在品种选育、栽培技术及生长特性等方面^[3~4],而对其采后贮藏特性及贮藏技术研究较少,随着寒富苹果栽培面积的迅速扩大,贮藏技术的研究将成为该品种能否发展的重要因素,因此研究寒富苹果的贮藏保鲜具有重要的理论和实践价值。

1-MCP(1-methylecyclopropene)具有抑制乙烯效应的作用,在果蔬采后贮藏保鲜中已进行了广泛研究,证实 1-MCP 是一种有效的乙烯效应抑制剂^[5~7]。近年来研究发现 1-MCP 的结构相似物也有类似的作用^[8~11]。

本文用环丙稀类乙烯抑制剂中相互间分子差异最大的 3 种化合物 1-MCP、1-PentCP(1-pentylcyclopropene,1-戊基环丙烯)和 1-OCP(1-octylcyclopropene,1-辛基环丙烯)处理寒富苹果,对其在冷藏中对果实中乙烯的生物合成情况进行研究,并比较侧链长度对环丙烯类乙烯作用抑制剂作用效果的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

试验用寒富苹果采自沈阳市东陵区深井子街道金德胜村一长势良好的果园,于 2010 年 10 月 2 日采收。手工采摘后装入纸箱立即运回沈阳农业大学食品学院实验室。挑选无病虫害、机械伤,大小、色泽和成熟度均匀一致的果实进行试验处理。

1.1.2 试剂

1-MCP 粉剂由中国农科院(兴城)果树所提供(质量分数为 3.4%)。

1-PentCP 和 1-OCP 参照 Dulauumi^[12~13]的方法,在沈阳农业大学食品学院实验室合成,质量分数为 30%,样品被分装成 0.5 mL 的小包装,保存于 -80℃ 超低温冰箱中备用,使用前用乙醚稀释至 50 mL。

1.2 试验处理

将挑选的果实随机分为 4 组,每组 50 个果实,分别放入 1 m³的塑料大帐内,进行以下处理:

(1)1-MCP 处理

1-MCP 处理参照孙希生的方法^[14],称取质量分数为 3.4%的 1-MCP 粉剂,放入开放的培养皿中,按

照质量比为 1:16 加入 40℃ 温水,迅速封闭塑料帐,1-MCP 体积比为 0.75 μL/L。

(2)1-PentCP 处理

取 1-PentCP 的乙醚溶液 1.13 mL 滴于滤纸上,置于塑料大帐内,迅速封闭塑料帐,1-PentCP 体积比为 0.5 μL/L。

(3)1-OCP 处理

取 1-OCP 的乙醚溶液 3.3 mL 滴于滤纸上,置于塑料大帐内,迅速封闭塑料帐,1-OCP 体积比为 2 μL/L。

(4)对照(CK)

果实不采用任何处理,密封于塑料帐内。各处理在 20℃ 下密封 20 h 后,装入 0.02 mm 保鲜袋中于 (0±0.5)℃ 下贮藏,每处理 10 袋,每袋 5 个果实,每隔 30 d 测定相关指标。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 乙烯释放量和呼吸强度

取 5 个果实称量后置于 4.6 L 的真空干燥器内,20℃ 密闭 1 h 后,用注射器取样气,抽取 1 mL 样气用气相色谱(CP-3800 型,Varian,美国)测定乙烯释放量,色谱条件:FID 检测器,柱温 60℃,检测器温度 270℃;N₂ 流速 4.0 mL/min,每处理重复 3 次,取平均值。外标法定量,以 μL/(kg·h)表示乙烯释放量。

呼吸强度测定与乙烯测定同时进行,分别在果实放进干燥器开始和放置 1 h 后测定干燥器中的 CO₂ 含量,用 O₂/CO₂ 测定仪测定(PBI Dansensor CheckPoint O₂/CO₂测定仪,丹麦),以 mg/(kg·h)表示呼吸强度。

1.3.2 ACC 合成酶(ACS)活性

ACS 的提取及活性测定按照吴有梅等^[15]的方法,加入 ACS 提取液后,以反应体系生成的乙烯量 μL/(kg·h)表示 ACS 活性。

1.3.3 ACC 氧化酶(ACO)活性

ACO 的提取及活性测定按照 Nadeau 等^[16]的方法,加入 ACO 提取液后,以反应体系生成的乙烯量 μL/(kg·h)表示 ACO 活性。

1.3.4 ACC 含量

ACC 提取按照阮晓等^[17]的方法,测定按董建国^[18]等的方法,单位为 nmol/g。

1.3.5 丙二醛(MDA)含量

MDA 含量参照郝再彬^[19]的方法,采用硫代巴比妥酸比色法测定,单位为 μmol/g。

1.3.6 细胞膜电导率

细胞膜透性参照曹建康等^[20]的方法,分别测定果实圆片沸水浴前后的电导率,用相对电导率表示

细胞膜透性(%)。

1.4 统计分析

试验数据采用 Excel 进行数据计算和作图, SPSS one-way ANOVA 进行显著性分析。 $p < 0.05$ 表示差异显著, $p < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 呼吸强度和乙烯释放量

2.1.1 呼吸强度

如图 1 所示, 1-MCP 及其结构相似物处理能明显降低果实的呼吸强度, 延迟呼吸峰值的出现, 与对照相比推迟了 30 d, 贮藏到 90 d 时才出现峰值, 而对照果实从 30 d 开始就有明显的上升趋势, 到 60 d 达到高峰。对照苹果中的呼吸强度一直高于 1-MCP 及其结构相似物。1-MCP 及其结构相似物处理中以 1-MCP 处理效果最明显, 1-OCP 处理效果不明显。结果说明, 1-MCP 及其结构相似物处理能明显降低果实的呼吸强度, 延迟果实呼吸高峰出现。

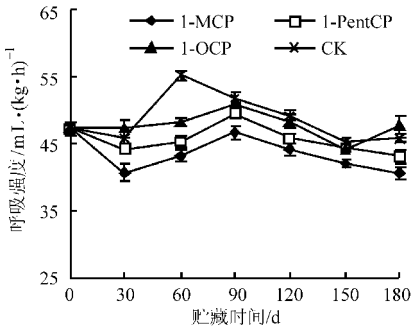


图 1 不同处理对寒富苹果呼吸强度的影响
Fig.1 Effects of different treatments on respiration intensity of ‘Hanfu’ apple fruits

2.1.2 乙烯释放量

如图 2 所示, 对照和处理果实的乙烯释放量均呈现先升高后降低的趋势, 对照果实在贮藏 60 d 出现乙烯释放高峰, 为 $20.4 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。1-MCP 及其结构相似物处理在贮藏 60 d 时极显著降低了冷藏中苹果果实的乙烯释放量($p < 0.01$), 而且推迟了乙烯释放高峰出现的时间。3 个处理果实在贮藏 90 d 时达到乙烯释放高峰, 推迟乙烯释放高峰 30 d, 其中以 1-MCP 处理效果最明显, 峰值为 $10.8 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 仅是对照果实乙烯峰值的 52.94%, 3 个处理间差异不显著。

2.2 乙烯生物合成

2.2.1 ACS 和 ACO 活性

ACS 和 ACO 是乙烯合成途径中的两个关键酶, 其活性决定了乙烯的产量。从图 3 可以看出, 处理和对照果实 ACS 活性呈现先上升后下降的趋势。1-MCP 及其结构相似物在贮藏前期对果实 ACS 活性有一定的促进作用, 较对照果实先出现呼吸高峰,

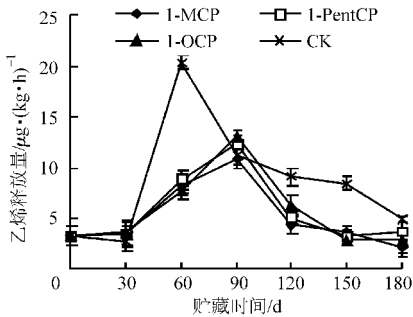


图 2 不同处理对寒富苹果乙烯释放量的影响
Fig.2 Effects of different treatments on ethylene production of ‘Hanfu’ apple fruits

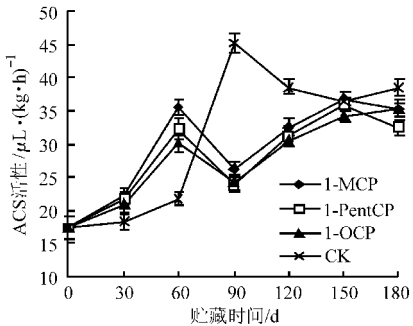


图 3 不同处理对寒富苹果果实中 ACS 活性的影响
Fig.3 Effect of different treatments on ACC synthetase (ACS) activity of ‘Hanfu’ apple fruits

随后 ACS 活性迅速下降, 之后一直低于对照果实。ACO 是影响果实成熟衰老进程的限速酶。如图 4 所示, 1-MCP 及其结构相似物处理并没有抑制果实 ACO 的最终活性, 只是延迟了其活性的升高速率和峰值出现的时间(延缓约 30 d)。对照果实在 60 d 时测定出 ACO 活性峰值为 $235.2 \mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 处理果实则在贮藏 90 d 时测定出峰值, 各个处理之间差异不显著。1-MCP 及其结构相似物处理可能通过延缓 ACO 活性的升高, 从而抑制了果实的乙烯释放量。

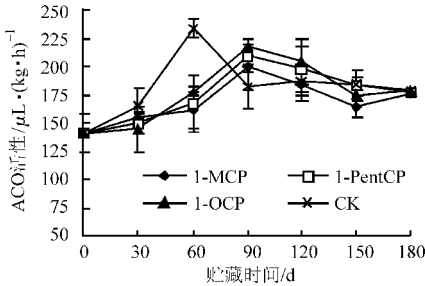


图 4 不同处理对寒富苹果果实中 ACO 活性的影响
Fig.4 Effect of different treatments on ACC oxidase(ACO) activity of ‘Hanfu’ apple fruits

2.2.2 ACC 含量

ACC 是果实乙烯合成的直接前体物质, 其含量与 ACS 和 ACO 的活性密切相关, 并决定着果实中的乙烯生成量。如图 5 所示, 在整个贮藏过程中, 对照和处理果实中 ACC 含量均呈现先升高后下降的

趋势。1-MCP 及其结构相似物处理果实中 ACC 含量一直高于对照果实,尤其是在 60 d 时,3 个处理果实中 ACC 含量均极显著高于对照果实($p < 0.01$),这可能与前述的 1-MCP 及其结构相似物处理在果实贮藏前期促进 ACS 活性抑制 ACO 活性相关(图 3、4),从而导致 ACC 的积累。而 1-MCP 与其相似物处理间差异不显著。因此 1-MCP 及其结构相似物处理能促进果实中 ACC 的合成和积累。

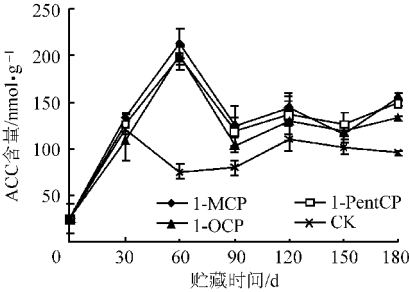


图 5 不同处理对寒富苹果果实中 ACC 含量的影响
Fig. 5 Effect of different treatments on ACC content of ‘Hanfu’ apple fruits

2.3 MDA 含量和细胞膜透性

果实衰老与细胞膜透性的上升有关,丙二醛(MDA)是细胞膜脂过氧化作用的产物,其含量可反映膜脂过氧化的程度。从图 6 可以看出,寒富苹果采后冷藏过程中随着贮藏时间的延长,MDA 含量逐渐升高。与对照处理相比,1-MCP 及 1-PentCP 处理可降低寒富苹果果实中 MDA 含量升高的速度,而 1-OCP 处理后果实中 MDA 含量则在整个贮藏过程中高于对照果实。上述结果表明,1-MCP 及其结构相似物处理对寒富苹果果实膜脂过氧化作用具有一定的差异,其中 1-MCP 及 1-PentCP 处理可抑制 MDA 含量的增加。

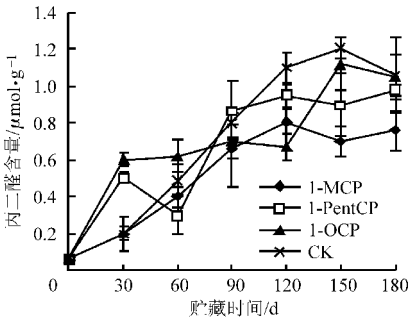


图 6 不同处理对寒富苹果果实中 MDA 含量的影响
Fig. 6 Effect of different treatments on MDA content of ‘Hanfu’ apple fruits

果实相对膜透性的增大标志着膜结构完整性遭到破坏,最终导致果实细胞结构解体。由图 7 可以看出,随着贮藏时间的延长,果实细胞膜电导率总体呈上升趋势。而 1-MCP 及其结构相似物处理的果实细胞膜电导率始终低于对照果实,但是各个处理

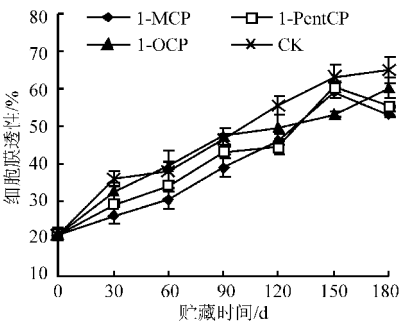


图 7 不同处理对寒富苹果果实细胞膜透性的影响
Fig. 7 Effect of different treatments on membrane permeability of ‘Hanfu’ apple fruits

间差异不显著。

3 讨论

1-MCP 可以抑制苹果、南果梨和磨盘柿等果实采后成熟和衰老进程,其抑制作用在具有呼吸高峰的果实上表现更为明显,抑制果实的呼吸强度和乙烯合成,推迟呼吸峰和乙烯峰的出现^[21~24]。本试验获得了类似结果,1-MCP 处理延缓了寒富苹果采后呼吸高峰和乙烯释放高峰出现的时间(推迟 30 d),而 1-MCP 及其结构相似物处理间差异不显著。

Feng 等的研究结果表明 1-MCP 及其结构相似物主要通过竞争性结合乙烯受体,使乙烯无法完成正常的生理效应^[8~11,25]。这种结合受乙烯受体和环丙烯类化合物的空间位置、诱导效应、双键与甲基位置等因素的影响。1-MCP 具有处理浓度低、保护时间长和结构稳定等特点,而成为应用最为广泛的乙烯效应抑制剂。本研究所选的 3 种相似物分别是具有 1、5、8 个碳原子支链的环丙烯类物质。试验结果说明不同环丙烯类抑制剂处理后对果实乙烯生成和呼吸强度具有明显的抑制作用,有利于延缓果实成熟衰老进程。其中以 1-MCP 和 1-PentCP 的效果较好。而 Sisler 等对香蕉的研究中发现随着 1-位碳链长度的增长有利于提高环丙烯类化合物抑制乙烯的效应,支链长度在 5 个碳以上的环丙烯类抑制剂,其最小抑制浓度也较小,随着支链碳链长度的延长,其化合物在香蕉常温贮藏中表现出了更好的保鲜效果^[26]。1-OCP 处理效果不明显的主要原因可能是由于其处理体积比较低(0.5 μL/L),Sisler 等研究发现 1-OCP 处理香蕉和康乃馨花的保鲜效果比 1-MCP 和 1-PentCP 处理效果好的前提是 1-OCP 浓度和 1-MCP 处理的浓度相同或更低^[8,26]。

4 结束语

1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理能较好地抑制寒富苹果贮藏期间的呼吸强度和乙烯释放量,但

3 个处理间差异不显著。1-MCP 及其结构相似物在贮藏初期(前 30 d)可能是通过促进 ACC 合成酶(ACS)活性,进而导致在整个贮藏过程中 3 个处理果实 ACC 含量均高于对照果实,1-MCP 及其结构相似物处理可以抑制 ACO 活性,从而抑制了乙烯的释放量。1-MCP 及其结构相似物处理还抑制了 MDA 含量的增加,延缓了果实膜透性速率的增加。

参 考 文 献

1 高月菊,佟海恩,宣景宏. 对我省发展寒富苹果的建议[J]. 北方果树, 2002, 23(3): 34.

2 王宏,徐贵轩,宋哲,等. 康平县寒富苹果生产现状、存在的问题及解决对策[J]. 辽宁农业科学,2008,41(1):44~45.

3 王宁,曹后男,宗成文,等. 寒富苹果优良授粉品种的选择[J]. 延边大学农学学报,2010,32(3):191~195.
Wang Ning, Cao Hounan, Zong Chengwen, et al. Selection of the fittest pollinizer of Hanfu apple[J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2010, 32(3): 191~195. (in Chinese)

4 赵德英. ‘寒富’苹果光合生理及碳素物质代谢研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2009.
Zhao Deying. Studies on photosynthetic physiology and carbon substance metabolism in ‘Hanfu’ apple[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009. (in Chinese)

5 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 Yunbo, Chen Anjun, 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. (in Chinese)

6 梁皓,张明晶,王宝刚,等. 1-MCP 负压渗透处理对鲜枣常温贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊2):405~409.
Liang Hao, Zhang Mingjing, Wang Baogang, et al. Effects of 1-MCP and negative pressure osmosis treatment on storage quality of jujube fruits[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Supp. 2): 405~409. (in Chinese)

7 郭香凤,梁华,赵胜娟,等. 1-MCP 对杏果实采后贮藏品质的影响[J]. 农业机械学报,2006,37(8):107~110.
Guo Xiangfeng, Liang Hua, Zhao Shengjuan, et al. Effects of 1-MCP on post-harvest storage quality of katy apricot fruits[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 107~110. (in Chinese)

8 Apelbaum A, Sisler E C, Feng Xuqiao, et al. Assessment of the potency of 1-substituted cyclopropenes to counteract ethylene-induced processes in plants[J]. Plant Growth Regulation, 2008, 55(2): 101~113.

9 Feng Xuqiao, Apelbaum A, Sisler E C, et al. Control of ethylene activity in various plant systems by structural analogues of 1-methylcyclopropene [J]. Plant Growth Regulation, 2004, 42(1): 29~38.

10 Sisler E C. The discovery and development of compounds counteracting ethylene at the receptor level [J]. Biotechnology Advances, 2006, 24(4): 357~367.

11 Michael C P, Anthony B B, Yoshihisa Inoue, et al. Ethylene receptor antagonists: strained alkenes are necessary but not sufficient[J]. Chemistry & Biology, 2008, 15(4): 313~321.

12 Al Dulauumi J R, Baird M S, Simpson M J, et al. Structure based interference with insect behaviour cyclopropenes analogs of heromones containing α -Alkenes[J]. Tetrahedron, 1996, 52(38): 12 509~12 520.

13 Al Dulauumi A R, Al Dulauumi J R, Baird M S, et al. Simple four and five carbon cyclopropane and cyclopropenes synthetic intermediates[J]. Russian Journal of Organic Chemistry, 1997, 33(6): 798~816.

14 孙希生,王文辉,李志强,等. 1-MCP 对砀山酥梨保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2001, 21(6): 14~17.
Sun Xisheng, Wang Wenhui, Li Zhiqiang, et al. Effects of 1-MCP on cold storage of Dangshansuli pears [J]. Storage and Process, 2001, 21(6): 14~17. (in Chinese)

15 吴有梅,刘愚. 番茄果实成熟过程中钙调素含量变化及其与乙烯生成的关系[J]. 植物生理学报, 1990, 16(3): 245~250.
Wu Youmei, Liu Yu. Changes of calmodulin content in comato fruits during ripening and its relation to ethylene production[J]. Journal of Plant Physiology, 1990, 16(3):245~250. (in Chinese)

16 Nadeau J A, Zhang X S, Nair H, et al. Temporal and spatial regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase in the pollination-induced senescence of orchid flowers[J]. Plant Physiology, 1993, 103(1): 31~39.

17 阮晓,王强,王文全,等. 香梨果实发育、成熟期间乙烯、ACC、MACC 变化及相互关系[J]. 园艺学报, 2000, 27(3): 205~206.
Ruan Xiao, Wang Qiang, Wang Wenquan, et al. The changes in contents of ethylene, ACC and MACC of fragrant pear fruits during developing ripening and renes[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2000, 27(3): 205~206. (in Chinese)

18 董建国,李振国. 乙烯生物合成中间体-1-氨基环丙烷-1-羧酸及其丙二酸结合物的测定[J]. 植物生理学通讯, 1983(6): 46~48.

19 郝再彬. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004.

20 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.

21 吕天星,姜孝军,伊凯,等. 1-MCP 处理对‘岳帅’苹果贮藏性的影响[J]. 北方果树, 2008, 13(1): 7~9.

22 李倩倩,任小林,安慧珍,等. 1-MCP 和延迟预冷对‘蜜脆’苹果冷藏效果的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(3): 398~403.
Li Qianqian, Ren Xiaolin, An Huizhen, et al. Effects of 1-MCP and delayed pre-storage cooling on quality of ‘Honeycrisp’ apples during cold storage[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(3): 398~403. (in Chinese)

heat treatments [J]. Journal of Food Science, 1984,49(4):1 105 ~ 1 110.

10 Scuriatti M P, Tomas M C, Wagner J R. Influence of soybean protein isolates-phosphatidycholine interaction on the stability of oil-in-water emulsions [J]. Journal of the American Oil Chemists, 2003,80(11):1 093 ~ 1 100.

11 Comas D I, Wagner J R, Tomás M C. Creaming stability of oil in water (O/W) emulsions: influence of pH on soybean protein- lecithin interaction [J]. Food Hydrocolloids, 2006,20(7):990 ~ 996.

12 Le T T, EL-Bakry M, Neiryck N. Hydrophilic lecithins protect milk proteins against heat-induced aggregation [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2007,60(2):167 ~ 173.

13 贾娜,刘宁. 大豆磷脂对牛乳蛋白乳状液热稳定性的影响[J]. 中国乳品工业,2010,38(4):42 ~ 45.
Jia Na, Liu Ning. Effect of soybean phospholipid on the heat stability of milk protein emulsions [J]. China Dairy Industry,2010, 38(4):42 ~ 45. (in Chinese)

14 Sorgentini D A,Wagner J R, Añón M C. Effect of thermal treatment of soy protein isolate on the characteristics and structure- function relationship of soluble and insoluble fractions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995,43(9): 2 471 ~ 2 479.

15 Nakamura R,Mizutani R,Yano M, et al. Enhancement of emulsifying properties of protein by sonicating with egg yolk lecithin [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1988,36(4): 729 ~ 732.

16 Chen W S, Soucie W G. Modification of surface charges of soy protein by phospholipids [J]. Journal of the American Oil Chemists, 1985,62(12): 1 686 ~ 1 689.

17 Malhotra A, Coupland J N. The effect of surfactants on the solubility, Zeta potential, and viscosity of soy protein isolates [J]. Food Hydrocolloids, 2004,18(1):101 ~ 108.

18 Jorge R W, Delia A S, Maria C A. Effect of physical and chemical factors on rheological behavior of commercial soy protein isolates: protein concentration, water imbibing capacity, salt addition, and thermal treatment [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992,40(10): 1 930 ~ 1 937.

19 Arno C A, Mireille W, Els H A H, et al. Acid-induced cold gelation of globular proteins: effect of protein aggregate characteristics and disulfide bonding on rheological properties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004,52(3): 623 ~ 631.

20 Dreja M, Heine K, Tieke B, et al. Rheological study of the pH-dependence of interactions between gelatin and anionic surfactants: flow behavior and gelation [J]. Colloid and Polymer Science, 1996, 274(11): 1 044 ~ 1 053.

~~~~~

(上接第 189 页)

23 李江阔,纪淑娟,魏宝东,等. 1-MCP 对南果梨冷藏防褐保鲜作用的初探[J]. 保鲜与加工, 2007, 25(4): 7 ~ 11.  
Li Jiangkuo, Ji Shujuan, Wei Baodong, et al. Primary study of 1-MCP on browning-inhibiting and freshmen-keeping's mechanism of Nanguo pear during 0℃ storage[J]. Storage and Process, 2007, 25(4): 7 ~ 11. (in Chinese)

24 张鹏,李江阔,陈绍慧,等. 1-MCP 结合冰温贮藏磨盘柿的防褐保鲜效果[J]. 农业机械学报, 2012, 43(5): 108 ~ 113.  
Zhang Peng, Li Jiangkuo, Chen Shaohui, et al. Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on browning preventing and freshness-keeping of mopan persimmon[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(5): 108 ~ 113. (in Chinese)

25 Sisler E C, Alwan T, Goren R, et al. 1-substituted cyclopropenes: effective blocking agents for ethlene action in plants[J]. Plant Growth Regulation, 2003,40(3): 223 ~ 228.

26 Sisle E C, Serek M, Roh Kee-An, et al. The effect of chemical structure on the antagonism by cyclopropenes of ethylene responses in banana[J]. Plant Growth Regulation, 2001, 33(2): 107 ~ 110.

~~~~~

(上接第 201 页)

15 Virag T. Simulation of continuous drying processed by integral equations[J]. Chemical Engineering Science, 1989,44(7):1 529 ~ 1 538.

16 张德胜,施卫东,张华,等. 轴流泵叶轮端壁区流动特性数值模拟[J]. 农业机械学报, 2012, 43(3): 73 ~ 77.
Zhang Dsheng, Shi Weidong, Zhang Hua, et al. Numerical simulation of flow field characteristics in tip clearance region of axial-flow impeller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(3): 73 ~ 77. (in Chinese)

17 叶晓琰,田莹莹,丁压娜,等. 高剪切匀浆泵两相流动的数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(4): 407 ~ 411.
Ye Xiaoyan, Tian Yingying, Ding Ya'na, et al. Numerical simulation of two-phase flow in high shear pulp pump[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 30(4): 407 ~ 411. (in Chinese)

18 孙赞,刘兴静,张宏宇,等. 涡轮反应器气固两相流动反应 CFD 模型建立[J]. 农业机械学报,2013,44(6):194 ~ 200.
Sun Yun, Liu Xingjing, Zhang Hongyu, et al. Development of gas-solid two-phase flow-reaction CFD model for vortex reactor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(6): 194 ~ 200. (in Chinese)