

采后热处理影响果蔬贮藏品质机理的研究进展

李香玉, 张新华, 李富军, 姚永花

(山东理工大学 农业工程与食品科学学院 山东 淄博 255049)

摘要: 综述了热处理技术对果蔬采后贮藏品质、病害和冷害的影响及其作用机理, 简要介绍了热处理结合其它贮藏保鲜技术的研究进展, 指出了热处理技术潜在的重要意义, 旨在对果蔬采后热处理机理研究及其应用提供帮助。

关键词: 热处理; 果蔬; 贮藏; 综述

中图分类号: S 609⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2011)05-0204-05

果蔬采后热处理是指利用果蔬的热学和其它物理化学特性在贮藏前将果蔬置于热水、强力热空气、热蒸汽、热化学保鲜剂等热环境中处理一定的时间, 旨在抑制果蔬采后病虫害的发生, 调节果蔬生理生化机制, 降低腐烂率, 减轻果蔬冷害, 延缓果实衰老。通常使用 30~45℃处理数小时或者数天, 或用 40~60℃处理几分钟至几十分钟。果蔬采后热处理技术以低能耗, 低投入, 操作简便的特点在果蔬贮藏中具有良好的应用前景。

自 1922 年 Fawcett 首次报道用热处理防治柑橘炭疽病后, 热处理在果蔬贮藏中的应用至今已有 80 多年的历史。但是由于单一热处理实施难度大, 相对于化学杀菌剂来说效果不够显著, 因而其间被搁置了约 30 年。近年来, 随着人们生活水平的提高, 有机食品的兴起, 以及对化学保鲜产品食用安全的疑虑, 热处理以其无毒、无害、无化学残留的独特优势, 开始引起越来越多的关注。现就近年来热处理对果蔬贮藏品质的影响及其机理进行了综述, 以期热处理更好的应用于果蔬采后贮藏保鲜产业提供帮助。

1 热处理对果蔬贮藏品质的影响

1.1 热处理对果蔬硬度的影响

Vicente 等^[1]的研究发现, 热处理可有效延缓常温贮藏草莓果实硬度下降。54℃和 49℃分别处理猕猴桃果实 24 min 和 16 min 后, 加速了猕猴桃果实硬度的下降, 而 38℃处理 8 min 则保持了较高的硬度^[2]。表明, 适

宜的热处理技术能够有效的保持果蔬硬度, 同时热处理也表现出较强的温度和时间协同效应。进一步的研究表明, 热处理主要是通过改变果实细胞壁组分来影响果实硬度: 它可以有效抑制果实水溶性果胶含量的上升和非水溶性果胶含量的下降, 从而达到延缓果实软化的目的^[3]。邵兴锋和屠康^[4]的研究也发现, 热处理显著减少了嘎啦苹果水溶性果胶含量并维持较高的碳酸钠溶性果胶含量, 从而保持了果实硬度。Vicente 等^[5]发现, 用 45℃的热空气处理草莓 3 h 后, 抑制了草莓半乳糖醛酸酶(PG), β -半乳糖苷酶(β -Gal)活性, 提高了果胶甲酯酶(PE)活性, 使果实保持了较高的非水溶性果胶和低水溶性果胶, 从而有效地延缓了草莓果实硬度下降。这与 Martínez 等^[6]的研究结果一致。同时热处理抑制了编码内葡萄糖酶(*FaCel1*)、 β -木聚糖酶(*FaXyl1*)、PG(*FaPG1*)等基因的表达, 从而延缓了草莓果实的软化。Lurie 等^[7]也发现: 热处理可显著降低番茄果实 *ACOM-RNA*, *PEmRNA*, *PGmRNA* 水平, 有效保持果实硬度。

1.2 热处理对果蔬可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

50℃, 30 min 热处理后的芒果在贮藏 9 d 后可溶性固形物含量(SSC)有所上升, 但可滴定酸含量变化不明显^[8]。而 Ketsa 等^[9]将新鲜的芒果用 38℃热处理 3 d 后在 4℃下放置 3 周, 结果发现热处理果实保持了较高的酸度(TA), SSC 也明显升高。刘延娟等^[2]则发现 38℃热水处理可维持猕猴桃贮藏期间较高的 TA 和 SSC。因此, 热处理对果蔬贮藏期间 SSC 和 TA 影响可能因果蔬种类有所差别。

1.3 热处理对果蔬失重率的影响

Lydaki 等^[10]的研究表明, 52.5℃或 55℃处理无核鲜食葡萄 18~27 min 不会影响其贮藏期间的失重, 而高温(58℃)和长时间处理(55℃, 30 min)则显著加速果实失重。在红橙果实贮藏过程中, 热处理加快了失重现象^[11], 但在板栗中研究发现, 50℃热处理 40、60 min 后,

第一作者简介: 李香玉(1987-), 女, 山东高密人, 在读硕士, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。

通讯作者: 李富军(1977-), 男, 山东安丘人, 博士, 副教授, 现主要从事果蔬采后生理与贮藏保鲜技术研究工作。E-mail: lifujun@sdu.edu.cn

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(Y2008D01)。

收稿日期: 2010-12-27

果实失重率显著降低^[12]。因此,热处理可能会减缓或加快果实水重的速率,这取决于果实的种类、热处理的时间和温度。

1.4 热处理对果蔬色泽的影响

适当的热处理可以改善果实的外观色泽。经 52℃处理 2 min 或 55℃处理 1 min 后的温州蜜桔,其果皮色泽变得更加光洁红润^[13]。Zoran 等^[14]发现 48~56℃热处理均可明显延缓番茄果实颜色的变化,其中 56℃、15 s 的效果最佳。陈莉等^[15]发现热处理的草莓果实在货架期 4 d 后仍保持较高的色调角值,表明热处理对果实红色起到了一定的抑制作用,但对草莓亮度影响不明显。因此,热处理可抑制果实贮藏期间颜色的转变,其机理仍值得深入研究。

1.5 热处理对 VC 含量的影响

研究发现,50℃热水处理板栗 60 min,可降低果实 VC 含量^[12],在猕猴桃^[2]的试验上也得到类似结果。也有研究发现热处理能够减缓番茄果实贮藏过程中 VC 降解的速率^[16]。因此,热水处理多数情况下会降低果实中贮藏过程中 VC 含量,这可能与长时间热处理破坏了 VC 结构有关,但不排除果蔬种类的差异。因此用热水处理果蔬时要把握好时间的控制,有关热处理后 VC 降解的程度值得注意。

2 热处理影响果蔬品质的机理

2.1 热处理对果蔬乙烯释放的影响

热处理可以降低果实的乙烯生成量。肖红梅和周光红^[17]发现,38℃热水处理番茄果实 60 min 后在(1±1)℃冷藏 2 d,果实乙烯产生速率便大幅下降,乙烯合成关键酶 ACC 合成酶(ACS)的下降幅度是对照果实的 5 倍;40℃或者 45℃处理 5 min 可有效降低轻度加工芦笋的乙烯释放量,但 50℃会对竹笋产生热伤害,于贮藏不利^[18];殷晓军^[19]发现,35℃热处理使脱涩后的火柿乙烯生成量降低,乙烯峰出现的时间推迟;杜正顺等^[20]发现,45℃热水处理草莓果实 15 min 可以明显抑制贮藏期间草莓果实 ACS、ACO 和乙烯受体(ETR1 和 ERS1)基因的表达。贺立红等^[21]研究也发现 38℃热处理 3 d 通过抑制香蕉果皮中 *Ma-ETR1* 表达 提高了果实采后耐冷性。因此,热处理有可能通过抑制果蔬贮藏过程中乙烯合成和信号传递,降低了乙烯释放水平,抑制了乙烯诱导的生理过程,从而实现推迟果实成熟进程、延长果实贮藏品质的作用。

2.2 热处理对果蔬呼吸速率的影响

呼吸速率和呼吸高峰出现时间是果实成熟衰老的标志之一,抑制果实呼吸速率、推迟果实呼吸高峰的出现,都将延缓果蔬成熟衰老进程。热处理研究表明,35℃热水处理刺激了脱涩火柿早期的呼吸速率,但抑制

了后期的呼吸速率^[19]。但是 Djoua 等^[8]和 Hasbulah 等^[23]发现热处理并没有改变芒果果实的呼吸进程。蒋农辉等^[12]发现 50℃处理板栗 60 min 后有利于抑制贮藏期间,特别是贮藏前期果实呼吸强度的升高。热处理竹笋^[18]、黄瓜^[24]也有类似的发现,这可能热处理抑制了呼吸代谢相关酶,延缓呼吸代谢进程有关。然而有研究发现,50、55、60℃热水处理都可以加快哈密瓜呼吸高峰的到来。这可能与热处理刺激果实短时间内呼吸速率的上升有关^[25]。因此,热处理对果实呼吸速率的影响因果实性质差异而有所不同。

2.3 热处理对果蔬体内抗氧化系统的影响

MDA 是膜脂过氧化的最终产物,也是膜脂过氧化程度的重要指标。有研究发现,热处理可减少膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)的积累,抑制了细胞膜透性的升高,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等果蔬体内酶学抗氧化体系也受到热处理的影响。陈发河等^[26]发现,38℃热处理 15 min 降低了枇杷果实贮藏过程中 POD 的活性,也有效抑制了枇杷果实 SOD、CAT 活性的降低及多酚氧化酶(PPO)活性的升高,使超氧阴离子生成量和过氧化氢(H₂O₂)含量维持在较低水平。说明热处理可通过调节抗氧化酶的活性,抑制活性氧的产生,延缓果蔬组织及细胞膜脂过氧化的进程,保持果蔬品质。

3 热处理对果蔬采后病害的影响

60℃、30~60 s 的热水浸泡处理能显著地降低加利福尼亚桃、油桃、李子等坚果腐烂率以及褐斑病发生率^[27]。Bai 等^[28]研究还发现,热处理可有效的抑制苹果、梨果实贮藏过程中病虫害及腐烂的发生;赵艺泽和屠康^[29]也发现,热处理可以有效的抑制苹果青霉病和灰霉病的发生发展,减少贮藏期病害,使苹果在长期的低温冷藏过程中仍然保持较好的贮藏品质。Conway 等^[30]的研究也有同样的结论。目前对热处理防腐效果机理的解释主要从热处理本身提高果实抗病性和对孢子的抑制作用两方面进行,庞学群等^[31]将香蕉果实进行热处理后恢复至室温,再接种外源炭疽菌孢子,结果发现热处理果实的病斑直径明显小于对照果实的,直接说明热处理抗病性的提高来自于果实本身;杨梅经 36~60℃的热空气处理(HAT)1~3 h 后可以有效的抑制孢子的萌发以及真菌类引起的腐败^[32]。因此,热处理可能通过提高果蔬对病原菌的抵抗能力和抑制果蔬体内外真菌孢子活力,而起到了减轻果蔬采后贮藏期间病虫害、减少果蔬腐烂发生的效果。

热处理提高果蔬自身抗性的作用可从热处理后果蔬自身抗性物质活性改变中得到证实。热处理可以抑制枇杷 PPO 和脂氧合酶(LOX)活性,减轻果实的褐变,

延长贮藏期, 提高贮藏品质^[29]。HAT 处理后的杨梅果实几丁质酶、 β -1, 3-葡聚糖酶、POD 活性都显著提高^[32]。陈丽等^[33]用 52℃热水处理香蕉 3 min 后发现, 热水处理诱导了香蕉果皮几丁质酶和 β -1, 3-葡聚糖酶等病程相关蛋白酶活性的升高。庞学群等^[31]发现: 热水处理增加了香蕉的抗病性, 并认为这可能与提高了果实 PPO、POD、SOD 和 LOX 有关。Pavoncello 等^[34]发现 62℃热水处理 20 s 可以诱导葡萄柚果实几丁质酶和 β -1, 3-葡聚糖酶蛋白的积累以及青霉病的发生。张辉等^[35]的试验发现: 50℃、3 min 的热水处理可以有效的抑制甜瓜果实中多酚氧化酶的活性, 防止甜瓜腐烂变质, 延长其货架期。

4 热处理对果蔬采后冷害的影响

Yang 等^[36]发现, 绿熟期樱桃番茄果实经 40℃、15 min 热处理后, 冷害胁迫的耐受力增加, 电解质外渗程度降低, 表皮损伤程度较低。53℃热水处理辣椒 4 min 可以降低果实对冷害的敏感性并能有效的防治果实腐烂的发生^[21]。38℃持续 15 h 的热处理能够减轻枇杷低温冷藏期间冷害的发生, 热处理组的冷害指数和腐烂指数均低于对照组^[29]。因此, 贮前热激处理能够减缓采后低温贮藏时冷敏植物冷害的发生, 提高果蔬的抗冷性, 降低贮藏中的病虫害和腐烂的发生, 提高贮藏品质。但是由于果蔬的耐热能力和生理特性的差别, 不同的热处理温度对冷害的抑制作用差别很大, 如乔勇进等^[37]在 33~42℃范围内处理黄瓜 24 h 后发现: 热处理均可抑制黄瓜低温贮藏过程中冷害, 但 37℃效果最好。

热处理减轻果蔬贮藏期间冷害可能与热处理后果蔬体内多胺类物质含量变化有关。罗自生等^[38]发现, 热处理柿果内源多胺的含量显著高于对照, 冷害指数也明显低于对照, 表明热处理减轻柿果冷害是由于提高了柿果内源多胺含量的结果。Gonzalez-Aguilar 等^[21]也发现, 热水处理后的辣椒内源多胺含量迅速增加, 程顺昌^[39]在尖椒上的研究也证实了这一点。乔勇进等^[37]用热处理和多胺处理同时处理黄瓜发现, 二者均可减轻贮藏过程中的冷害发生率和冷害指数, 显著提高并维持了黄瓜果皮内的多胺含量, 其中腐胺(Put)高峰出现时间与黄瓜冷害发生时间基本一致, 多胺合成抑制剂二环己胺(DCHA)和 D-arg 均能消和弱化热处理对冷害的抑制效果。因此, 热处理增加了果蔬多胺含量, 可能是减轻处理后果实冷害的原因之一。

还有研究发现, 热处理可以提高膜系统的稳定性, 抑制膜脂过氧化, 提高对低温的亲和能力^[40]。如寇晓虹等^[41]发现热处理抑制黄瓜冷害是通过诱导抗氧化酶的活性, 抑制膜脂过氧化作用和维持细胞内膜系统的稳定性来实现的。Yang 等^[36]则发现贮前热处理有效减缓樱桃番茄冷害与热处理减缓了冷胁迫下的细胞结构的损

伤有关。

细胞中大量热激蛋白(HSP)的合成也可能是热处理减轻果实冷害的一个重要原因, 热激蛋白是植物受到热胁迫后作为防御反应的一种产物。作为一种诱导蛋白, 其主要功能是参与新生肽的折叠以及蛋白质变性后的复性降解, 维持胞内环境的稳定性, 提高植物对逆境的抵抗能力。赵春梅等^[42]将 CaMV 35S 启动子的内质网小分子热激蛋白基因导入番茄后发现, 冷胁迫下转基因番茄的冷害症状轻, 体内积累的 MDA 含量少, 具有较高的净光和速率和最大光化学效率, 并且易于恢复由低温引起的光抑制, 表明转基因番茄有较强的冷胁迫耐性。在柑橘中, 热处理提高柑橘果实对低温的耐受力与热处理引起热激蛋白在柑橘外皮的积累^[43]以及果实中 Na^+/H^+ 对向传输基因 cNhX1 表达的增强^[44]有关。Sun 等^[45]发现: 经高温处理后的李果实在低温冷藏条件下, HSP 仍然在高效表达, 果实的耐冷性也相应的增加, 这也说明 HSP 的表达和植物抗冷性有关。

HSP 产生效果表现出很强的温度和时间效应。水稻幼苗在 40~43℃时诱导合成最强; 在 0~10 h 的不同区间, HSP 出现随热激时间而变化的多级调控现象, 其中在热激 0~4.5 h 区间内, 水稻幼苗 HSP 合成最强^[46]。郭时印等^[47]也发现, 热激处理可以诱导李果实产生热激蛋白, 相同温度(44℃)不同处理时间诱导产生的热激蛋白有差异, 长时间的比短时间的种类多, 且热激处理均有效地抑制了果实冷害的发生。因此, 热处理减轻果蔬冷害效果的强弱, 既与热激蛋白的含量有关, 还与热激蛋白的种类密切相关。

可见, 关于热激处理抑制作物冷害的机制目前还没有统一的定论, 而且是多因素共同作用的结果, 进一步探明热处理对果蔬冷害的作用机制, 应是今后研究的重点。

5 热处理与其它保鲜技术的联合应用

目前, 在果蔬采后病虫害的防治方面, 最常用、最有效方法还是化学杀菌剂, 但其农药残留问题严重威胁着人类健康, 所以众多新型无公害的杀菌方法, 如生物拮抗剂、热处理等受到越来越多学者们的关注。可热处理的方法虽然操作简便、绿色环保, 但是单一热处理往往难以达到理想的保鲜效果。将热处理与其它保鲜方法结合将是一条值得考虑的、可行的技术措施。目前常与热处理结合使用的方式有热处理与钙、热处理与化学杀菌剂、热处理与辐照和气调(CA)贮藏等。热水加钙处理较单一热水处理能进一步的抑制货架期间相对电导率、MDA、褐变指数的上升, 抑制多 PPO 活性, 延缓呼吸速率的上升。早在 1991 年 Lurie 和 Klein^[7]用热水加钙处理苹果发现可延缓苹果硬度下降。李丽梅等^[48]也发现

45℃+1% CaCl₂ 溶液浸泡草莓 20 min 后, 可以保持草莓果实的硬度和较高的原果胶含量, 抑制花色苷的形成, 有效的延缓果实衰老。有研究证明: 热水处理与苯莱特、特克多和抑霉唑等化学杀菌剂结合, 比单一的热水处理能更加有效的抑制桃、李、苹果、荔枝等果实的采后腐烂^[49]。用 41℃ 的噻苯咪唑和碳酸氢钠混合溶液浸泡柑橘果实后, 能够使对噻苯咪唑有较高抗性的绿霉得到显著控制^[50]。热处理后再使用 1-甲基环丙烯处理, 则可以有效地抑制苹果腐烂^[51-52]。此外, 热处理结合 CA 贮藏果蔬, 将会在延缓果实衰老的同时, 大大减少果蔬真菌病害的滋生和扩展^[28]。

6 问题与展望

热处理技术以其无污染、无化学残留、操作简便有效的特点, 已越来越多应用于果蔬采后贮藏的研究和应用中。但热处理技术对果蔬也具有潜在的破坏性, 使用不当便会导致失水、变色、腐烂、对病原物再次侵染抵抗能力下降等不良后果, 而且影响热处理效果的因素有很多, 目前热处理果蔬的方法大多还处在试验阶段, 对热处理方式和条件的研究还缺乏系统性和深入性。因此, 热处理技术应用于果蔬贮藏保鲜中时仍应注意以下问题: (1) 果蔬种类: 果蔬种类不同, 热处理后的效果也有所差异, 如 50℃ 热处理抑制了板栗^[12] 的呼吸强度却促进了哈密瓜^[24] 呼吸高峰的到来; (2) 热处理温度和强度的协同效果研究: 根据不同果蔬的性质, 要选择合适的热处理时间和温度, 才能起到良好的贮藏效果, 如 40 或 45℃ 热处理 5 min 可以改善轻度加工竹笋的品质, 但 50℃ 热水处理 5 min 反而对贮藏不利^[18]; (3) 要将热处理更好的应用于实践生产中, 必须深入揭示其作用果蔬的影响及其作用机理。目前对于热处理影响果蔬呼吸代谢、乙烯代谢、抗氧化酶活性、抗冷、抗病性的生理和分子生物学的机理还没有统一的定论, 这应成为下一步研究的重点。 (4) 前文已述及, 热处理可以与钙、化学杀菌剂、CA 等进行结合处理。然而, 由于热处理改变了果蔬部分生理过程, 热处理结合其它技术措施贮藏果蔬时应注意结合处理技术参数的重新评价与选择。此外, 随着热处理技术的深入发展, 单一的热处理方式也日渐被淘汰, 取而代之的将是各种有效的复合处理方法。除目前应用较广泛的综合热处理方式外, 一些新型的热处理技术(如热水喷淋技术(HWB), 射频加热技术(RF))也引起了国内外学者的关注。解决好上述问题, 阐明热处理改善果蔬贮藏品质的生理机制, 将对下一步热处理在果蔬贮藏产业中更为广泛、系统地应用具有重要的指导意义。

参考文献

[1] Vicente I A R, Martinez G A, Civello P M, et al. Quality of heat-treated fruit during refrigerated storage[J]. Postharvest Biology and Technology,

2002, 25(1): 59-71.

- [2] 刘延娟, 董明, 王强, 等. 热处理对“皖翠”猕猴桃贮藏生理及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 8636-8638.
- [3] Lara I, Garcia P, Vendrell M. Post-harvest heat treatments modify cell wall composition of strawberry (*Fragaria* × *ananas* Duch.) fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2006, 109(1): 48-53.
- [4] Shao X F, Tu K. Effect and mechanism of hot air treatment on the fruit texture of Gala apple cultivar[J]. Journal of Food Science, 2009, 26(1): 13-18.
- [5] Vicente A, Costa M L, Martinez G A, et al. Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 38(3): 213-222.
- [6] Martinez G A, Civello P M. Effect of heat treatments on gene expression and enzyme activities associated to cell wall degradation in strawberry fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(1): 38-45.
- [7] Lurie S, Klein J D. Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress[J]. American Society for Horticultural Science, 1991, 116(6): 1007-1012.
- [8] Djoua T, Charles F, Lopez-Lauri F, et al. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(2): 221-226.
- [9] Ketsa S, Chidragool S, Lurie S. Prestorage heat treatment and post-storage quality of mango fruit[J]. HortScience, 2000, 35(2): 247-249.
- [10] Lydakis D, Aked J. Vapour heat treatment of Sultanina table grapes. II. Effects on postharvest quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 27(2): 117-126.
- [11] Schirra M, Mulas M, Fadda A, et al. Cold quarantine responses of blood oranges to postharvest hot water and hot air treatments[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(2): 191-200.
- [12] 蒋依辉, 陈金印, 钟云. 热处理对板栗果实生理及贮藏效果的影响[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(1): 23-26.
- [13] Hong S I, Lee H H, Kim D. Effects of hot water treatment on the storage stability of Satsuma mandarin as a postharvest decay control[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43(2): 271-279.
- [14] Zoran I, Yulia P, Sharon A T, et al. A short prestorage hot water rinse and brushing reduces decay development in tomato while maintaining its quality[J]. Tropical Agricultural Research and Extension, 2001, 4(1): 1-5.
- [15] 陈莉. 采后热处理对草莓果实货架品质的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(9): 187-191.
- [16] 郝浩永, 陈莉, 张伟峰. 采后热处理对番茄保鲜效果的影响[J]. 农业与技术, 2009, 29(1): 17-30.
- [17] 肖红梅, 周光宏. 贮藏前热处理对番茄采后生理的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(8): 184-187.
- [18] 罗自生, 徐晓玲, 严碧芳. 热处理对轻度加工竹笋品质和生理的影响[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 64-67.
- [19] 殷晓军, 姜秋红, 张继封. 热处理对脱涩后火柿生理生化变化的影响[J]. 西北植物学报, 2001, 21(6): 1152-1156.
- [20] 杨正顺, 巩慧芳, 王荣华, 等. 热水处理对草莓果实的保鲜效应及其乙烯相关基因表达的关系[J]. 园艺学报, 2009, 36(5): 647-654.
- [21] 贺立红, 陈建业, 于伟民, 等. 香蕉果实乙烯受体基因克隆及其表达特性[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1359-1364.
- [22] Gonzalez-Aguilar G A, Gayosso L, Cruz R. Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 18(1): 19-26.
- [23] Hasbullan R, Kawasaki S, Kojima T, et al. Effect of Heat Treatments on Respiration and Quality of Irwin Mango[J]. Journal of the Society of Ag-

gricultural Structures, 2001, 32(2): 59-67.

- [24] 乔勇进, 冯双庆, 赵玉梅. 热处理对黄瓜贮藏冷害及生理生化的影响[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(1): 71-74.
- [25] 毛晓英, 吴庆智, 李宝坤, 等. 热处理对新疆哈密瓜采后贮藏特性的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 491-493.
- [26] 陈发河, 张晓勇, 吴光斌. 热处理诱导枇杷果实抗冷性与组织保护酶系变化的关系[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 29-33.
- [27] Karabulut O A, Smilanick J L, Crisosto C H, et al. Control of brown rot of stone fruits by brief heated water immersion treatment[J]. Crop Protection, 2010, 29(8): 903-906.
- [28] Bai J, Mielke E A, Chen P M, et al. Effect of high-pressure hot water washing treatment on fruit quality, insects and disease in apples and pears[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(3): 207-215.
- [29] 赵艺泽, 屠康. 采后热处理对苹果贮藏性影响及病虫害控制的研究进展[J]. 果树学报, 2004, 21(3): 264-268.
- [30] Conway W S, Sams C E, Wang C Y, et al. Additive effects of postharvest calcium and heat on reducing decay and maintaining quality in apples[J]. American Society for Horticultural Science, 1994, 118(5): 326-327.
- [31] 庞学群, 黄雪梅, 李军, 等. 热水处理诱导香蕉采后抗病性及其对相关酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 221-225.
- [32] Wang K, Cao S, Jin P, et al. Effect of hot air treatment on postharvest mould decay in Chinese bayberry fruit and the possible mechanisms[J]. International Journal Food Microbiology, 2010, 30(1-2): 11-16.
- [33] 陈丽, 朱世江, 朱虹, 等. 热水处理减轻采后香蕉病害的效果及其机理探讨[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 224-229.
- [34] Pavoncello D, Lurie S, Drobny S, et al. A hot water treatment induces resistance to *Penicillium digitatum* and promotes the accumulation of heat shock and pathogenesis-related proteins in grapefruit flavedo[J]. Physiology Plantarum, 2001, 111(1): 17-22.
- [35] 张辉, 耿守东, 李瑾瑜. 热处理对采后甜瓜多酚氧化酶和果胶酶活性的影响[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(6): 1095-1101.
- [36] Yang J, Fu M R, Zhao Y Y, et al. Reduction of chilling injury and ultrastructural damage in cherry tomato fruits after hot water treatment[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(3): 304-310.
- [37] 乔勇进, 冯双庆, 赵玉梅. 热处理对黄瓜贮藏冷害及生理生化的影响[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(1): 71-74.
- [38] 罗自生, 席屿芳, 楼健. 热处理减轻柿果冷害与内源多胺的关系[J]. 中国农业科学, 2003, 36(4): 429-432.

- [39] 程顺昌, 任小林. 热处理对尖椒果实贮藏特性及冷害的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 255-259.
- [40] Ginzalez-Aguilar, Zacarias L, Mulas M. Temperature and duration of water dips influences chilling injury, decay and polyamine content in fortune mandarins[J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 12(1): 61-69.
- [41] 寇晓虹, 李玲, 韩娜, 等. 热处理减轻黄瓜冷害作用机理的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(11): 164-166.
- [42] 赵春梅, 王丽, 伊淑莹, 等. 番茄转 ER-SHSP 基因植株构建及抗冷性研究[J]. 园艺学报, 2006, 33(5): 989-994.
- [43] Rodov V, Ben-Yehoshua S, Albagli R. Reducing chilling injury and decay of stored citrus fruit by hot water dips[J]. Postharvest Biology and Technology, 1995, 5(1-2): 119-127.
- [44] Porat R, Pavoncello D, Ben-Hayyim G, et al. A heat treatment induced the expression of a Na⁺/H⁺ antiport gene (cNHX1) in citrus fruit[J]. Plant Science, 2002, 162(6): 957-963.
- [45] Sun J H, Chen J Y, Kuang J F, et al. Expression of sHSP genes as affected by heat shock and cold acclimation in relation to chilling tolerance in plum fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(2): 91-96.
- [46] 黄上志, 黄祥富, 林晓东, 等. 热激处理对水稻幼苗耐冷性及热激蛋白合成的诱导[J]. 植物生理与分子生物学报, 2004, 30(2): 189-194.
- [47] 郭时印, 谭兴和, 王峰, 等. 热激处理诱导奈李果实热激蛋白的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(10): 10-13.
- [48] 李丽梅, 关军锋, 及华, 等. 钙和热预处理对草莓保鲜的生理效应[J]. 食品科学, 2008, 29(3): 478-480.
- [49] 莫开菊. 热处理在果蔬贮藏保鲜方面的应用与机理[J]. 湖北民族学院学报, 1997, 15(6): 20-22.
- [50] Smilanick J L, Mansour M F, Sorenson D. Pre-and postharvest treatments to control green mold of citrus fruit during ethylene degreening[J]. Plant Disease, 2006, 90(1): 89-96.
- [51] Leverentz B, Conway W S, Janisiewicz W J, et al. Effect of combining MCP treatment, heat treatment, and biocontrol on the reduction of postharvest decay of 'Golden Delicious' apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 27(3): 221-233.
- [52] Janisiewicz W J, Leverentz B, Conway W S, et al. Control of bitter rot and blue mold of apples by integrating heat and antagonist treatments on 1-MCP treated fruit stored under controlled atmosphere conditions[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 29(2): 129-143.

Review on the Effects of Post-harvest Heat Treatment on the Fruit and Vegetable Storage Quality

LI Xiang-yu, ZHANG Xin-hua, LI Fu-jun, YAO Yong-hua

(School of Agricultural and Food Engineering Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049)

Abstract: This paper reviewed the mechanism and influence of heat-treatment technology on the storage quality, disease and the chilling injury of post-harvest fruits and vegetables, introduced the research development on the heat treatment combined with other fresh-keeping technology, point out the latent significance of the heat treatment technology. The main object of this paper is to provide help for the mechanism research and the application of heat-treatment technology on fruits and vegetables.

Key words: heat treatment; fruits and vegetables; storage quality; review