

温度激化处理对采后果蔬贮藏品质影响的研究进展

朱赛赛, 张敏*

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 综述了温度激化处理对采后果蔬贮藏品质影响及冷害的研究进展, 主要涉及热激处理和冷激处理两种温度激化处理, 并分别从果蔬品质与果实生理生化两大方面的影响具体论述, 并对温度激化处理的发展方向进行了展望。适宜的温度激化处理有助果蔬硬度保持, 较好地保证果实口感与风味并为人们所接受, 抑制绿色果蔬叶绿素分解与黄化, 果实失重率降低; 降低果实呼吸速率, 减少或抑制乙烯的释放并抑制相关酶的活性, 控制并抑制多酚氧化酶与过氧化物酶等酶的活性升高, 经高温或低温胁迫诱导产生诱导蛋白并合成新的蛋白保护细胞并具有抵御力, 以及延缓细胞膜透性的增加和降低丙二醛的产生。

关键词: 采后果蔬; 热激处理; 冷激处理; 贮藏品质; 冷害

Advances in the Study of the Effect of Temperature Shock Treatments on Storage Quality of Postharvest Fruits and Vegetables

ZHU Saisai, ZHANG Min*

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This article reviews recent advances in the research on the effect of temperature shock treatments (heat and cold) on the storage quality and chilling injury of postharvest fruits and vegetables with respect to quality attributes and physiological and biochemical characteristics. The future development direction of temperature shock treatment is also proposed. The suitable temperature shock treatments help maintain the hardness of fruits and vegetables, improve the taste and flavor for consumer acceptance, inhibit the decomposition of chlorophyll and yellowing, decrease weight loss rate, lower respiration rate, alleviate or suppress the release of ethylene by inhibiting the related enzyme activities, prevent the increase of PPO and POD activities, induce the synthesis of new proteins, enhance cell resistance to environmental stress, postpone the increase of cell membrane permeability, and result in a decline in MDA generation.

Key words: postharvest fruits and vegetables; heat shock treatment; cold shock treatment; storage quality; chilling injury

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201605041

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)05-0230-09

引文格式:

朱赛赛, 张敏. 温度激化处理对采后果蔬贮藏品质影响的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(5): 230-238. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201605041. <http://www.spkx.net.cn>

ZHU Saisai, ZHANG Min. Advances in the study of the effect of temperature shock treatments on storage quality of postharvest fruits and vegetables[J]. Food Science, 2016, 37(5): 230-238. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201605041. <http://www.spkx.net.cn>

果蔬采后仍然是一个活体, 不断地进行着旺盛的生命代谢, 而呼吸作用是维持各种代谢过程的主导, 其代价是消耗自身组织贮存物。低温贮藏是果蔬贮藏保鲜应用最普遍又最有效的方法, 可以降低果实生理代谢从而减少营养成分的损失、抑制病虫害侵染、抑制采后果蔬后熟、推迟呼吸高峰、延缓组织衰老进程, 从而延长贮藏期与货架期。然而, 低温贮藏对于一些原产自热带

及亚热带的冷敏性果蔬而言, 低温温度实非愈低愈佳, 因为在不适宜低温下的保鲜与贮藏会伴随着冷害出现。冷害是果蔬在其组织冰点以上遭受到不适宜低温的生理伤害, 是对于冷敏性植物而言的在低温胁迫下的不良反应。冷害使果蔬生理活动受到障碍, 甚至果实组织遭致破坏^[1]。

果蔬的感官品质(外观、风味等)对消费者的购买

收稿日期: 2015-07-09

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(31371526)

作者简介: 朱赛赛(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬低温贮藏保鲜。E-mail: zssquanquan@sina.com

*通信作者: 张敏(1969—), 女, 教授, 博士, 研究方向为果蔬贮藏保鲜及食品热物性。E-mail: zhangm@shou.edu.cn

心理起着至关重要的作用,采后果蔬除了要避免不必要的意外机械损伤外,采取正确、合理、有效的处理方式来提高采后果蔬贮藏品质显得尤为重要。果蔬采后进行温度激化处理可以提高贮藏过程中的贮藏品质、延缓并抑制冷害的发生、延长果蔬贮藏期与货架期,从而提高商业价值。激化处理分为热激处理和冷激处理两种处理方式。果蔬的冷、热激处理是指对采后果蔬进行不致冷害发生或者高温热损伤的短时间温度逆境胁迫处理,该处理方式具有无毒、无污染、无残留、贮藏保鲜效果显著等优点^[2]。目前国内外研究领域中,温度激化处理对果蔬采后品质影响不论是在理论实验还是实际商业化应用方面都日趋成熟,尤其是起步较快的热激处理。因此,本文以热激处理为主、冷激处理为辅对温度激化处理应用于果蔬贮藏保鲜上的基础理论和累积的研究成果进行综合总结与系统论述,旨在为该领域的深入研究提供基础参考。

1 热激处理

果蔬采后热激处理(heat shock treatment, HST)是指将果蔬短时间置于非致死的高温中进行采后处理的一种物理保鲜方法。HST的温度通常在30~55℃,HST的时间在几秒到几小时之间不等^[3]。HST作为物理处理的一种,其无毒无害、无化学污染和残留、安全性高又操作简便等优点受到了国内外专家学者的广泛认可。从现今研究出的成果方面,HST降低或减缓冷害的处理方式有:热空气、热蒸汽、热水浸泡和红外线或微波处理等。而被普遍应用的是热空气和热水浸泡这两种。前者在密闭的室内进行处理,有效温度为43~54℃,处理时间为10~60 min;后者在热水中进行,有效温度为45~60℃,时间为0.5~10 min。HST在实际的应用中,还可结合其他保鲜方法来进行综合,从而进一步提高和延长果蔬的抗冷性及贮藏期^[4]。

1.1 HST对果实感官品质的影响

1.1.1 对果实硬度的影响

果实硬度是果实品质的重要保证。对果蔬进行适宜的HST能够有效地保持果实的硬度。研究表明,果实硬度影响主要由于细胞壁物质成分及细胞壁水解酶活性的变化^[5],HST使果实细胞壁水解酶活性升高,从而引起细胞壁物质的降解,进而破坏细胞壁架构,最终导致果实质地软化。因此细胞壁结构完整与功能稳定对果实硬度的维持至关重要,由此才能保证果实良好的质地品质。‘里约红’葡萄柚^[6]经50℃热水浸泡5 min,抑制了果实细胞壁的降解,降低了水溶性果胶和离子型果胶含量,从而有效防止硬度的下降,保证了果实的贮藏品质。Amnuaysin等^[7]用50℃热水处理香蕉10 min,与对照组相比果实硬度的下降时间延长了,其中果皮

中的果胶裂解酶(pectate lyase, PL)和 β -半乳糖苷酶(β -galactosidase, β -Gal)活性降低,多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)活性受到抑制,而果胶甲酯酶(pectin methylesterase, PME)和 β -1,3-葡聚糖酶(β -1,3-glucanase, Glu)活性无明显变化。同样地,在对苹果^[8]、木瓜^[9]、草莓^[10]等果实的HST中也有类似的结果。然而,HST对芒果^[11]、枇杷^[12]、桃子^[13]等果蔬反而提高了其细胞壁水解酶活性,致使细胞壁降解,最后刺激了果实的软化进程。因此,HST对果实硬度的影响在果蔬间的作用效果差异显著,然而主要都是与细胞壁总体结构的改变显著相关。

1.1.2 对果实风味的影响

果实风味是评价果实品质的一个重要因数,也是果实商业价值的重要决定因数。果实的风味由糖、酸、可溶性固形物含量及挥发性芳香物质等影响决定,分成人们以嘴和鼻可感知的滋味和气味。聂凌鸿等^[14]研究得45℃热空气处理10 min对草莓保鲜效果最佳,其果实的糖、酸含量的损失得到缓解,同时保持了草莓诱人的气味。HST还可有效保持鲜切鸡毛菜可溶性糖含量^[15],提高了椪柑^[16]的糖酸比从而提升了果实风味与品质。实验得出番茄^[17]和椪柑^[16]果实HST后的可溶性固形物含量升高了,而梨子^[18]和石榴^[19]的可溶性固形物含量无明显变化。Lu Jianbo等^[20]对番茄分别以14℃和20℃热空气处理4 d,其中总可溶性固体(total soluble solid, TSS)、可滴定酸(titratable acidity, TA)含量均呈现增大的趋势,而TSS/TA没有显著差异,表明与对照组的番茄风味近似。Su Yadong等^[21]发现对黄瓜进行适宜HST能有效保持其风味和脆度并且可溶性固形物高于对照组。经38℃HST的‘皖翠’弥核桃的可溶性固形物和VC含量能够得到高效维持并有利于低温贮藏^[22]。HST也会影响一些果实的风味如梨、鳄梨等。但是HST对果实风味的影响总体来说不大,可以较好地保持果实原先的口感与味道,因此HST对于果实风味的影响是可以被广泛接受的^[23]。

1.1.3 对果实颜色的影响

饱满的果蔬颜色和亮度能激起大众的消费心理并提高其商业价值。果蔬的颜色与其本身所含的色素成分紧密相关,HST可以改变果实中色素组分及色素相关酶活性,从而改变果实的颜色。红心火龙果主要色素为甜菜红素,HST使红心火龙果的色素稳定性变差,使得甜菜红素损失,果实颜色变淡^[24]。花青素保证了野生草莓鲜红的颜色^[25],HST对野生草莓的颜色保持具有积极作用。而绿色果蔬的色素以叶绿素为主。HST有显著延缓豇豆^[26]、鲜切鸡毛菜^[15]等叶绿素含量降低的作用,从而保证了本身的颜色,提高了外观品质。将黄瓜在40℃热水中热激40 min或者60 min,贮藏第3天起实验组黄瓜色差高于对照组,贮藏3 d后色差增加较快,其中热激

60 min的黄瓜色差表现出显著差异,视觉上明显变暗,并失去原有特征性绿色^[27]。尹海蛟等^[28]通过实验后认为HST对黄瓜颜色的影响除了与黄瓜的色素代谢有关外,还与黄瓜的表面亮度有关,具体表现为热处理后的黄瓜亮度降低及总色差增大,并随处理时间影响更显著,HST也会直接造成黄瓜汁的色变,而刚经过处理的黄瓜汁的颜色尚处于大众对新鲜黄瓜汁的接受范围。将猕猴桃浆HST,果浆的颜色实现了鲜绿色到浅黄绿色的逐步转变,绝大部分叶绿素降解为脱镁叶绿素,并随HST的时间延长叶绿素酶大幅下降^[29]。HST还可使香蕉的果皮颜色退绿变黄^[30],HST的香蕉在贮藏期间,有效维持了鲜切香蕉的亮度^[31]。

1.1.4 对果实失重的影响

果实的质量是确保其经济效益的有力依据。失重是果蔬器官的蒸腾失水和干物质损耗所致,蒸腾失水是组织蒸腾作用引起的器官水分流失,而干物质损耗是呼吸作用使细胞内物质消耗所致,其中失水是贮藏器官失重的主要因素^[32]。而组织结构又与果实失重关系密切^[33],不同果蔬器官的组织结构自然不同,同种果蔬又因品种差异其果皮或果肉细胞结构和细胞内物质成分不同。以此说来,HST对失重的影响从广义上讲是对不同果实器官和组织结构,从狭义上讲是对果实自身内部作用等,如呼吸作用。42℃热空气处理2 d的椪柑置于10℃条件下贮藏,与呈线性增长的对照组相比其失重率随时间增长程度更加显著,HST起了明显的促进作用^[16]。同样的结果在枇杷^[34]、草莓^[14]等果蔬可以得到证实。而袁莉等^[35]的实验结果表明经53℃热水浸泡3 min处理后的甜瓜果实在贮藏期间的失重率显著降低。可以说,对于不同的果蔬,HST对果实质量的影响也不同,具体由果蔬品种而定。

1.1.5 对果实冷害的影响

冷害使采后果蔬的贮藏品质变劣,造成了极大的采后损失与浪费。归根到底是由于细胞膜受到无法承受的损害才导致了冷害,根据权威性较高的膜脂相变理论所述,植物遭到低温胁迫后,生物膜脂结构发生相变,致使生物膜被破坏,膜透性增大而膜内物外渗,使细胞内外离子失衡,而当这一系列正常代谢打破至不可恢复程度时,冷害便随之发生^[36]。研究表明采后进行HST对冷害引起的细胞代谢失常有所改善,对有毒物质的代谢与挥发有促进作用,还可以诱导合成小分子质量的热激蛋白;降低某些氧化酶的活性,抑制组织褐变,改善贮藏品质,从而减轻甚至抑制冷害的发生^[37]。HST钝化了‘白玉’枇杷果实对低温的敏感程度,其中46℃热空气处理30 min缓解冷害发生程度显著,冷害指数低达8.75%^[34]。类似的,热水处理的樱桃番茄^[38]、番木瓜^[39]和脐橙^[40]的冷害也减轻。马秋诗等^[41-42]热水处理10 min的‘红阳’猕猴桃果实的实验结果发现:

(35±1)℃和(45±1)℃热水处理减缓了细胞膜的损伤,使膜损伤程度降低,从而维持了细胞膜的完整,表现为果实冷害率和冷害指数降低,而(55±1)℃热水处理的果实细胞膜结构受损严重,相对电导率和丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量急剧升高,表现为果实冷害率和冷害指数升高。因此,采取适当的HST才可以减轻或抑制冷害,提高果实的抗冷性,而前提是建立在保证细胞膜完整性的基础上。

1.2 HST对果实生理生化的影响

1.2.1 对呼吸速率的影响

果蔬采后虽脱离母体,仍然继续进行着旺盛的生命代谢,而这一过程通过呼吸作用消耗自身的有机物来实现。果蔬采后腐烂主要是由于呼吸高峰的出现,从而启动果蔬的成熟过程随后进入生理衰老期,大量有毒代谢物的积累使果实的抗病能力逐渐减弱,组织解体腐烂。特别是对芒果、香蕉及油桃等呼吸跃变型果蔬,延缓或抑制呼吸高峰的出现成为果蔬贮藏保鲜中值得深入研究的课题。呼吸速率(强度)可表征呼吸作用强弱的程度,若呼吸作用太强则会加速有机物消耗而促进果实的成熟与衰老,由此果蔬的品质便会下降。果实经热处理后,其呼吸速率迅速增加,但随后几天呈下降趋势^[43]。张焯等^[44]用35、45、55℃热水处理河套蜜瓜,发现35℃的呼吸速率变化趋势与对照组相近,而45℃和55℃处理后的呼吸速率较对照组下降显著,虽随贮藏时间延长有上升趋势并在第12天上升至峰值,但仍低于对照值,同时呼吸跃变的时间较对照延迟了6 d。对火龙果果实进行25℃热空气处理24 h后贮藏,结果显示果实的呼吸速率下降,H₂O₂和O₂含量下降^[45]。张娜等^[46]使用连续HST和间歇HST两种方式研究对黄瓜贮藏品质的影响,得出38℃条件下连续处理60 min的黄瓜果实受到热损伤并增强了果实的呼吸强度,与对照组相比,其呼吸强度在贮藏的6~12 d内无明显差异,但在贮藏至第15天时高于对照和间歇HST处理组;而间歇HST的呼吸强度峰最低,且随贮藏时间延长,其呼吸强度显著低于对照组,黄瓜的呼吸作用受到抑制。因此,HST刺激了果实的呼吸作用,从而影响了呼吸强度,并推迟了呼吸峰的出现,进而影响了呼吸代谢与生理,延缓了果实成熟进程,对贮藏品质的提高产生积极影响。

1.2.2 对乙烯及相关酶活性的影响

乙烯是植物体固有的引起果实成熟的内源植物激素,对果蔬呼吸作用影响重大,同时也是果实成熟与衰老的推动力。在果蔬的成熟过程中产生的乙烯会对外释放,而逐渐积累的乙烯又会对果实呼吸代谢产生反作用,从而刺激呼吸作用并引发一连串生理生化的变化、加速叶绿素的破坏、促进组织软化及多糖水解等,进而加剧了果实的成熟和衰老并影响果蔬的贮藏品质^[47],

可以说这是果实自身因乙烯的合成（内源乙烯）与释放（外源乙烯）实现的一种作用与反作用的过程。1-氨基环丙烷-1-羧酸合成酶（1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase, ACS）和1-氨基环丙烷-1-羧酸氧化酶（1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase, ACO）是控制乙烯合成的两种关键酶，而温度是影响乙烯释放的关键。HST能有效降低苹果^[48]、草莓^[49]、香蕉^[50]、番茄^[51]等果蔬的乙烯释放。王静等^[52]研究发现55℃条件下浸泡3 min后贮藏的哈密瓜果实的呼吸强度低于对照组，抑制了正常的乙烯释放。Luo Zisheng等^[53]在45℃条件下热激竹笋5 h，与对照组相比，HST后的乙烯合成量大大减少，贮藏至第6天时乙烯合成量减少了79%，且ACS活性在贮藏开始的6 d内受到抑制，而ACO的活性在贮藏前3 d显著低于对照组，但从第6天起开始增加，到第9天已明显高出对照组。因此，HST对乙烯释放的影响可以说是通过抑制乙烯的合成，抑制了相关酶的活性及有关信号表达，从而对乙烯的释放水平起到控制作用，干预并阻碍了乙烯诱导的系列生理生化过程，最后达到减缓果实成熟并提高贮藏品质的效果。

1.2.3 对其他酶活性的影响

热处理可以影响多聚半乳糖醛酸酶（polygalacturonase, PG）、多酚氧化酶（phenylalanine ammonia-lyase, PPO）、过氧化物酶（peroxidase, POD）、超氧化物歧化酶（superoxide dismutase, SOD）、过氧化氢酶（catalase, CAT）及抗坏血酸过氧化物酶（ascorbate peroxidase, APX）等酶的活性。其中PG的作用是水解果胶酸和含有少量甲氧基的果胶分子的糖苷键，使分子降解，从而影响果实硬度^[54]。PPO和POD的催化作用使酚类物质氧化还原为醌，进而经过一系列反应最终聚合成褐色物质，导致了果实的酶促褐变^[55]。王挥^[56]以芒果为研究对象，用热水法分别在50℃条件下处理10 min、60℃条件下处理1 min及70℃条件下处理5 s，实验表明自贮藏的第4天起PPO活性均显著低于对照组，至贮藏的第10天PPO活性分别为对照组的63.3%、53.2%和78.7%，POD活性在贮藏第6天开始明显低于对照组，其中50℃条件下处理10 min的效果最显著，为对照组的45%。然而44℃热空气处理樱桃番茄114 min，得出PG活性在贮藏期间被显著抑制，在贮藏结束时比对照组低了14.5%；SOD活性在第1天便迅速达到峰值并在整个贮藏期的活性均高于对照组；保护CAT和APX活性均高于对照组，延缓了CAT和APX活性的下降；PPO和POD活性均高于对照组，其中POD的活性增加得到大幅促进，贮藏至第5天时樱桃番茄的PPO和POD活性分别为对照组的20.5%和23.8%^[57]。黄锐等^[58]用50℃和55℃热水处理3 min的失富罗莎葡萄的POD、SOD和CAT活性提高，也均高于对照组。同样的结果在杨梅^[59]和枇杷^[60]果实中也有报道。

1.2.4 对蛋白质合成及基因表达的影响

果蔬受到高温胁迫时，果实会诱导产生的一组特定的蛋白称为热激蛋白（heat shock protein, HSP），这是植物组织应对环境变化做出的基因表达，高温一般为35℃以上。植物诱导合成HSP的最适温度因种类不同而有差异，通常诱导的理想温度要比正常生长温度高出10~15℃左右时，HSP可以得到快速合成，而合成的HSP兼有保护细胞作用^[61]。汪开拓等^[59]从贮藏期间果肉细胞中HSP70免疫检测信号强度高于对照组果实分析，得出热空气处理能够有效诱导杨梅果实中HSP的合成。39℃条件下处理3 d的桃果实软化过程中伴随着与细胞壁有关的6个基因（*PpARF1XYL*、*Ppb-Gal*、*PpExp1*、*PpExp3*、*PpPG1*和*PpPG2*）的增加和2个基因（*PpEG4*和*PpPME2*）的减少，从而达到抑制果实软化的效果^[62]。HST增强了HSP基因表达从而促进了果实在成熟生长过程中的防御机制^[63]。Sevillano等^[64]报道55℃热空气处理5 h可减轻番荔枝果实冷害，而这与诱导HSP基因的表达有关。38℃热空气处理3 d缓解了香蕉果实的冷害，同时HST期间果皮和果肉的HSP蛋白均增加，并且认为HST通过刺激果实HSP基因的表达来抵御冷害的发生^[65]。Dotto等^[66]进行热空气处理草莓的实验，发现推迟草莓软化的一系列有关的基因表达是不同的，*FaEXP1*、*FaEXP2*和*FaEXP6*的基因表达低于对照组并被认为是推迟果实软化的主导。Zhang Li等^[67]研究热处理的桃子，得出热处理诱导产生的HSP能增强自身抵御能力，保证果实品质。

1.2.5 对电解质渗出率及细胞膜的影响

细胞膜是细胞进行内外交流的媒介，细胞结构与各项功能的完整性，可以说是细胞膜结构与各项功能的完整性在一定程度上的直接体现。果蔬采后易受到逆境影响导致组织细胞膜透性增加和电解质外渗，从而引起膜脂过氧化产物MDA含量的增加^[68]。HST通过影响果蔬相关膜蛋白的活性而改变细胞膜透性，影响了果蔬的电解质渗出率和MDA含量。郑鄢燕等^[69]对黄瓜42℃热空气处理25 min，得到果实贮藏过程中细胞膜渗透率明显低于对照组，从而有效减少细胞膜脂的过氧化并且减轻低温对细胞膜造成的伤害。而吴建生等^[70]分别对芒果以52℃和80℃热水分别处理10 min和15 s，得到在贮藏期间细胞膜渗透率大于对照组，显示HST促进了细胞膜的渗漏。马秋诗等^[41]对‘红阳’猕猴桃热水处理10 min，温度分别为35、45、55℃，其中35℃和45℃处理的果实相对细胞膜渗透率始终低于对照组并随贮藏时间增大了与对照组差异，减轻了因冷害引起的膜损伤，而55℃处理的果实相对细胞膜渗透率一直高于对照组；MDA含量结果与之类似，55℃条件下处理的MDA含量一直处于高于对照组MDA含量的最高值，而35℃和45℃处理组MDA含量低于对照组并保持较低水平，对细胞膜

的完整性保持有成效。樱桃番茄果实于40℃及45℃条件下热水处理5 min和15 min, 其中40℃条件下处理15 min的果实电解质渗出率较低, 为43.5%, 且冷害指数最低, 为20%, 有效减轻细胞膜损伤、缓解果实冷害并保证了贮藏品质^[38]。Ummarat等^[71]用50℃热水处理香蕉10 min, 在贮藏期间果实的MDA含量较对照组显著降低, 且抑制了MDA含量升高, 确保了细胞膜的完整, 且未观察到明显冷害迹象。HST对细胞膜的影响在葡萄的研究中亦有类似报道^[72]。

总的来说, HST对采后果蔬贮藏品质影响具有积极作用。HST通过对果蔬内部复杂的生理生化产生的积极影响, 提升了果蔬的感官品质, 保证了以新鲜果蔬产品的质量、果蔬业的持续性发展并带来了巨大的经济利益。然而, 合理采用适宜的HST方式与适当的HST时间对保持与提升果实贮藏品质有着至关重要的意义。HST也是目前果蔬贮藏前处理中较为成熟的处理方法。

2 冷激处理

冷激处理是对采后果实做不致发生冷害和冻害的极短时间的低温处理。研究人员发现用0℃的冰水混合物短时处理杏果实时发现此种处理方法能够延缓果实的采后衰老, 并首次将这种低温逆境胁迫处理定义为冷激处理(cold shock treatment, CST)^[2]。CST因具有无毒、无污染、操作简单等优点而受到国内外研究者的日益关注。CST一般采用冷空气和冷水进行处理, 温度通常为0℃。目前, 相对HST, CST研究在国内外的相关报道都较少, 果蔬采后CST研究还不够成熟, 而主要和典型的研究放在少数果蔬上, 以番茄、青椒、菠菜为代表^[73]。因此, 对于冷激方面的研究与进展在今后的几年将是一个可观的突破。

2.1 CST对果实感官品质的影响

2.1.1 对果实硬度的影响

陈爱强等^[74]将黄瓜在0℃冰水混合物中分别冷激20、40、60 min后贮藏, 与对照组相比发现CST有效抑制了黄瓜的硬度下降, 其中冷激60 min效果最好。同样地, 在郑存娜^[75]研究中也得到CST对苦瓜硬度的下降有明显抑制作用。CST对绿熟期番茄的实验中显示, 番茄的软化速率能有效降低, 番茄果实的软化速率与PG活性大致成正相关^[76]。

2.1.2 对果实风味的影响

郑亚琴^[77]将沂州木瓜于0℃冰水混合物冷激1 h, 其果实可滴定酸含量下降的速率低于对照组, 从而更好地保持了果实的品质与风味。类似地, 庞凌云等^[78]使用0℃冰水混合物处理的圣女果与对照组相比, 果实可滴定酸含量下降缓慢, 说明CST可以抑制可滴定酸的减少, 较好地

保持了果实的风味与品质。冷激油桃对其可溶性固形物和可滴定酸含量无明显影响, 即可保持稳定的固酸比, 延长了油桃的酸甜适口风味, 较好地维持果实品质^[79]。

2.1.3 对果实颜色的影响

对黄瓜的研究中发现冷激黄瓜的色差低于对照组^[74]。Zhang Haiyan等^[80]用CST成熟的绿皮‘巴西’香蕉的实验表明: CST显著地抑制了果皮由绿色转为黄色, 延缓了香蕉果皮色度的变化。CST的番茄可延缓果实着色、延缓番茄红素的合成, 抑制叶绿素的降解^[81]。迪力夏提·卡迪尔^[82]研究显示CST对杏果色泽转黄有很大的抑制效果。将西兰花置于0℃冰水中分别冷激30 min和1 h后于20℃贮藏发现, 贮藏过程中西兰花的黄化程度得到缓解, 而冷激1 h组的效果更好^[83]。

2.1.4 对果实失重的影响

郑亚琴^[77]以沂州木瓜为试材, 0℃冰水混合物处理1 h的果实失重率减小显著。陈爱强等^[74]在0℃冰水冷激黄瓜20、40、60 min的结果显示, 随着贮藏时间的延长, 40 min处理组的黄瓜失重率下降程度明显缓解, 为对照组的74.6%, 而20 min和60 min处理组分别为对照组的85.6%和79.7%。同样地, 在张娜等^[84]对黄瓜的CST研究中, 果实的失重率也出现降低。

2.1.5 对果实冷害的影响

0℃冰水处理2 h显著降低苦瓜在6℃条件下贮藏的冷害发生率^[75]。CST后贮藏的柠檬果实的冷害得到极大缓解, 且其抗冷性也相对提高^[85]。裴倩如等^[86]用冰水浸泡黄瓜4 h后分别置于4℃和7℃环境中贮藏, 与对照组相比, CST组黄瓜的冷害指数和冷害发生率均大幅降低, 由于贮藏温度的不同, 冷激对黄瓜的冷害影响程度存在差异。

2.2 CST对果实生理生化的影响

2.2.1 对呼吸速率的影响

刚成诚等^[87]对水蜜桃进行0℃冰水处理60 min, 得出CST能有效抑制果实呼吸, 呼吸强度显著降低, 且始终低于对照组。魏明等^[88]以‘丰香’草莓为实验对象, 0℃冰水混合物处理1 h可降低其呼吸速率。庞凌云等^[78]对圣女果用0℃的冰水混合物分别处理1.0、1.5、2.0 h, 后于8℃条件下贮藏, 结果表明, CST可在一定程度上降低呼吸速率。

2.2.2 对乙烯及相关酶活性的影响

CST能有效减少香蕉^[80]、苹果^[89]、西葫芦^[90]等果实中乙烯的生产。0℃冷空气处理油桃果实的乙烯释放量比对照组降低了8.8%, 并延迟了乙烯高峰的出现^[79]。邵志鹏等^[81]研究绿熟樱桃番茄, 将其完全浸入0℃的冰水中处理1~3 h, ACS和ACO同乙烯释放量之间成显著正相关关系, 推迟了ACO和ACS活性高峰的出现, 从而推迟乙烯跃变。

2.2.3 对其他酶活性的影响

CST的芒果可显著提高了苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)、POD在低温贮藏期间的活性,其中PPO活性在贮藏期间变化不大。低温贮藏期间,CST显著提高了芒果果实SOD、CAT、APX的活性,其中0℃冷激4h延缓了谷胱甘肽还原酶(glutathione, GR)活性的下降以及果肉中抗坏血酸、还原性谷胱甘肽和酚类物质的水平,显著抑制了芒果低温贮藏期间LOX的活性^[91]。0℃冷风处理4h的辣椒,其SOD、CAT和POD的活性提高^[92]。小白杏在-3℃条件下处理3h,对果实的SOD、CAT及POD含量有一定刺激作用,同时有利于保持CAT、POD、SOD的活性^[82]。

2.2.4 对蛋白质合成及基因表达的影响

低温胁迫能致使生物的基因表达发生改变,从而合成新的蛋白质并参与抗寒性的发育过程。在低温诱导下表达的蛋白质被称为冷诱导蛋白,其种类多样,其中冷激蛋白是广泛存在于生物体中的一种应激蛋白,低温胁迫后细胞会迅速累积冷激蛋白。冷激蛋白是一类高度保守的核酸结合蛋白,其通过RNA分子伴侣活性参与转录、翻译、生长发育及逆境胁迫应答等细胞生理活动^[92]。可溶性蛋白和总蛋白的含量与植物抗冷性成正相关关系。火龙果在-5℃冷库处理1h和-10℃冷库处理20min,贮藏到第15天时,可溶性蛋白含量开始上升,并在第25天达到峰值,而对对照组在这段时间内并无明显增长^[93]。谷会等^[94]研究发现,0℃冷空气处理4h的辣椒中可溶性总蛋白含量和热稳定蛋白含量在整个贮藏期间均高于对照组。

2.2.5 对电解质渗出率及膜透性的影响

植物遭受不适宜低温迫害后,细胞膜结构相变,由液晶态转为凝胶态,致使膜结合酶活性降低和膜透性的增大。MDA积累到一定程度时,膜内物开始外渗、膜透性提高、电解质渗出率升高、细胞膜系统遭受严重破坏^[91]。郑艺梅等^[95]将琯溪蜜柚置于0℃冰水混合物中分别冷激30、60、90、120min,在贮藏过程中蜜柚的MDA含量均低于对照组,其中冷激60min组最低,其次是30min组,分别为对照组MDA含量的0.81、0.83倍,因此蜜柚的膜脂过氧化程度得到缓解,减小了对细胞膜的损伤。同样地,甘蓝、洋葱和胡萝卜经适宜CST后在贮藏期间的MDA含量上升被抑制^[96]。

总体而言,CST在采后果蔬贮藏品质方面的影响亦是积极可观的,但是也要讲究处理方法与时间。

3 结 语

综上所述,适宜的HST和CST对果蔬感官品质与生理生化都有正面效果影响,可减缓果蔬衰老进程,从而保持良好的贮藏品质。不同生理生化特征的果蔬对于贮藏保鲜的热激与CST的要求与条件也不同,激化处理的温度与时间也不同,不适宜的温度激化处理更会加速果实成熟和衰老以及品质劣变。不论是HST还是CST对采后果蔬贮藏品质的积极效果均必须建立在适当的处理条件上,而在实际应用中,还要具体考虑不同品种果蔬间的差异,同种果蔬不同品种间的差异,采收成熟度的差异,不同贮藏环境的差异等因素的影响,而如何针对个性差异来进行最大限度地保证果蔬的贮藏,还有待进一步系统地进行更细致深入的研究。

随着人们越来越注重身体健康与食品质量,温度激化处理这种无毒、无化学污染与残留,又操作简单的物理处理方法受到了更多的关注,同时也日益成为果蔬贮藏保鲜领域炙手可热的研究。然而需要注意的是,温度激化处理这种物理处理方法具有潜在破坏性,一旦使用不恰当,不仅会加重果蔬的失水与变色,还有可能导致果蔬不可恢复性的冷害或高温热损伤,降低抗病虫害能力,加速衰老与腐烂,如何协调各种不确定因素是值得深入研究的课题。此外,操作成本相对较高,不利于批量化、工厂化处理,同时由于果蔬间差异性,需找出同类型或同功能性果蔬间相同的处理方法来促进大批量的处理也值得深入研究,因而在此处涉及方面都将直接影响温度激化处理的普及与应用前景。然而,在真正投入到实际商业应用中时,温度激化处理往往结合其他优质效果的处理方式来进行综合处理,从而深入强化及提升果蔬品质,例如,HST与钙盐处理结合可改善甜瓜等果蔬的品质^[97];0℃冷激结合1.5%壳聚糖溶液涂膜处理对黄瓜在低温条件下保鲜效果良好^[98]等,从而进一步改善和优化温度激化处理的方法,并且又能简化操作、降低成本等,如此才能有利提高此项技术被广泛地应用到现今的商品化行业中。

参考文献:

- [1] 张亚波,郭志军,权伍荣. 果蔬贮藏保鲜技术的研究现状和发展趋势[J]. 延边大学农学报, 2009, 31(1): 71-76. DOI:10.3969/j.issn.1004-7999.2009.01.015.
- [2] 尹海蛟. 果蔬采后温度激化处理的理论与试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2012: 9-11.
- [3] STEWARD F C. Plant physiology 10: a treatise: growth and development[M]. London: Academic Press, 2012: 5-14.
- [4] 王利斌,刘升,冯双庆,等. 采后热处理降低果蔬贮藏冷害研究进展[J]. 农产品加工·学刊, 2011(4): 38-42. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.04.010.
- [5] 袁树枝,丁薪源,王姣,等. 采后果实组织结构抗病性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(7): 206-210. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201507038.

- [6] 邓佳, 刘惠民, 张南新, 等. 采后钙及热处理对葡萄柚果实贮藏期细胞壁物质代谢的影响[J]. 北方园艺, 2013(2): 123-129.
- [7] AMNUAYSIN N, JONES M L, SERAYPHEAP K. Changes in activities and gene expression of enzymes associated with cell wall modification in peels of hot water treated bananas[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 142: 98-104.
- [8] WEI J M, MA F W, SHI S G, et al. Changes and postharvest regulation of activity and gene expression of enzymes related to cell wall degradation in ripening apple fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56(2): 147-154.
- [9] LIX P, ZHU X Y, ZHAO N, et al. Effects of hot water treatment on anthracnose disease in papaya fruit and its possible mechanism[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86: 437-446.
- [10] FIGUEROA C R, ROSLI H G, CIVELLO P M, et al. Changes in cell wall polysaccharides and cell wall degrading enzymes during ripening of *Fragaria chiloensis* and *Fragaria × ananassa* fruits[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 124(4): 454-462.
- [11] DJIOUA 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.
- [12] CAO S F, ZHENG Y H, WANG K T, et al. Effect of 1-methylcyclopropane treatment on chilling injury, fatty acid and cell wall polysaccharide composition in loquat fruit[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(18): 8439-8443.
- [13] BUSTAMANTE C A, BUDDE C O, BORSANI J, et al. Heat treatment of peach fruit: modifications in the extracellular compartment and identification of novel extracellular proteins[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2012, 60: 35-45. DOI:10.1016/j.plaphy.2012.07.021.
- [14] 聂凌鸿, 吴林林. 热处理与贮藏温度对草莓果实保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2013, 37(12): 18-23.
- [15] 闫帅, 梁颖, 文梦莹, 等. 热处理对鲜切鸡毛菜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 341-343. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.12.066.
- [16] CHEN M, JIANG Q, YIN X R, et al. Effect of hot air treatment on organic acid-and sugar-metabolism in Ponkan(*Citrus reticulata*) fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 147: 118-125. DOI:10.1016/j.scienta.2012.09.011.
- [17] COPOLOVICI L, KÄNNASTE A, PAZOUKI L, et al. Emissions of green leaf volatiles and terpenoids from *Solanum lycopersicum* are quantitatively related to the severity of cold and heat shock treatments[J]. Journal of Plant Physiology, 2012, 169(7): 664-672. DOI:10.1016/j.jplph.2011.12.019.
- [18] LIU J, SUI Y, WISNIEWSKI M, et al. Effect of heat treatment on inhibition of *Monilinia fructicola* and induction of disease resistance in peach fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 65: 61-68. DOI:10.1016/j.postharvbio.2011.11.022.
- [19] PEÑA-ESTÉVEZ M E, GÓMEZ P A, ARTÉS F, et al. Quality changes of fresh-cut pomegranate arils during shelf life as affected by deficit irrigation and postharvest vapour treatments[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(11): 2325-2336. DOI:10.1002/jsfa.6954.
- [20] LU J B, CHARLES M T, VIGNEAULT C, et al. Effect of heat treatment uniformity on tomato ripening and chilling injury[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56(2): 155-162. DOI:10.1016/j.postharvbio.2010.01.055.
- [21] SU Y D, WANG Q G, CHEN Y Z, et al. Effects of heat-shock treatments on storage of fresh-cut cucumbers[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(3): 381-387. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.3.069.
- [22] 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. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2010.16.130.
- [23] 生吉萍, 申琳. 果蔬安全保鲜新技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 52-54.
- [24] 胡坤, 邢锐伟, 黎景恒, 等. 热处理对红肉火龙果色素稳定性及其清除羟基自由基能力的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(8): 945-948.
- [25] 邵晓庆, 俞建民, 艾对元, 等. 野生草莓果实品质性状的研究进展[J]. 中国酿造, 2014, 33(4): 19-22. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2014.04.005.
- [26] 赵宇璞, 刘乐承. 热空气处理对豇豆贮藏品质的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2015, 12(15): 63-66. DOI:10.3969/j.issn.1673-1409.2015.08.017.
- [27] 陈健华, 张敏, 车贞花, 等. 不同贮藏温度及时间对黄瓜果实冷害发生的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 394-397.
- [28] 尹海蛟, 杨昭, 陈爱强, 等. 冷热激黄瓜的保鲜效果对比及生物传热分析[J]. 天津大学学报, 2011, 44(6): 516-521. DOI:10.3969/j.issn.0493-2137.2011.06.008.
- [29] 张丽华. 猕猴桃果实制浆中叶绿素降解机理及其护绿方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 58-61.
- [30] 王海波, 龚家建, 苏新国, 等. MaCaM在采后香蕉果实温度胁迫及后熟中的作用[J]. 中国农业科学, 2015, 48(12): 2401-2407. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2015.12.013.
- [31] 袁明芬, 刘程惠, 胡文忠, 等. 热处理对抑制鲜切香蕉褐变的效果的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 332-335. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.07.061.
- [32] 胡青霞, 张丽婷, 李洪涛, 等. 石榴果实贮藏期生理变化与采后保鲜技术研究进展[J]. 河南农业科学, 2014, 43(3): 5-11.
- [33] 杨玲, 张彩霞, 康国栋, 等. ‘华红’苹果果肉的流变特性及其主成分分析[J]. 中国农业科学, 2015, 48(12): 2417-2427. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2015.12.015.
- [34] 周慧娟, 叶正文, 张学英, 等. 热空气处理对‘白玉’枇杷品质及冷害的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(34): 192-196.
- [35] 袁莉, 毕阳, 葛永红, 等. 采后热处理对厚皮甜瓜贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 421-424.
- [36] 杨杨, 范蓓, 申琳, 等. 芒果采后冷害发生及控制技术进展[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 292-297. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201407057.
- [37] ATKINSON C J, BRENNAN R M, JONES H G. Declining chilling and its impact on temperate perennial crops[J]. Environmental and Experimental Botany, 2013, 91(3): 48-62.
- [38] 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.
- [39] SHADMANI N, AHMAD S H, SAARI N, et al. Chilling injury incidence and antioxidant enzyme activities of *Carica papaya* L. ‘Frangi’ as influenced by postharvest hot water treatment and storage temperature[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 99: 114-119.
- [40] BASSAL M, EL-HAMAHMY M. Hot water dip and preconditioning treatments to reduce chilling injury and maintain postharvest quality of Navel and Valencia oranges during cold quarantine[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60(3): 186-191.
- [41] 马秋诗, 饶景萍, 李秀芳, 等. 贮前热水处理对‘红阳’猕猴桃果实冷害的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 256-261. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201414049.
- [42] MAQ S, SUO J P, HUBER D J, et al. Effect of hot water treatments on chilling injury and expression of a new C-repeat binding factor (CBF) in ‘Hongyang’ kiwifruit during low temperature storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 97: 102-110.

- [43] SHARMA R R, SINGH D, SINGH R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: a review[J]. *Biological Control*, 2009, 50(3): 205-221.
- [44] 张焯, 韩育梅, 付艳茹. 采后热处理对河套蜜瓜贮藏品质的影响[J]. *食品工业*, 2015, 36(5): 136-138.
- [45] NARVÁEZ-CUENCA C E, ESPINAL-RUIZ M, RESTREPO-SÁNCHEZ L U Z P. Heat shock reduces both chilling injury and the overproduction of reactive oxygen species in yellow pitaya (*Hylocereus megalanthus*) fruits[J]. *Journal of Food Quality*, 2011, 34(5): 327-332. DOI:10.1111/j.1745-4557.2011.00398.x.
- [46] 张娜, 杨昭, 陈爱强, 等. 间歇热处理抑制热伤害提高黄瓜贮藏品质[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(9): 256-261. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.09.032.
- [47] 张丽艳, 严翔, 方贻文, 等. 果蔬成熟乙烯生物合成与调控研究进展[J]. *现代园艺*, 2014(22): 12-15. DOI:10.3969/j.issn.1006-4958.2014.22.006.
- [48] 张春云, 周会玲, 张维, 等. 热处理对红富士苹果虎皮病和贮藏效果的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(6): 117-123.
- [49] 常皓, 赵宏强. 草莓保鲜专利技术发展[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(12): 222-224.
- [50] 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. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2009.04.028.
- [51] BELOVIĆ M, KEVREŠAN Ž, PESTORIĆ M, et al. The influence of hot air treatment and UV irradiation on the quality of two tomato varieties after storage[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2015, 5: 63-67. DOI:10.1016/j.foodpack.2015.06.022.
- [52] 王静, 李学文, 廖新福, 等. 热处理结合壳聚糖对哈密瓜生理活性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(16): 107-111. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2013.16.031.
- [53] LUO Z S, FENG S M, PANG J, et al. Effect of heat treatment on lignification of postharvest bamboo shoots (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*) [J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(4): 2182-2187.
- [54] WU F W, ZHANG D D, ZHANG H Y, et al. Physiological and biochemical response of harvested plum fruit to oxalic acid during ripening or shelf-life[J]. *Food Research International*, 2011, 44(5): 1299-1305.
- [55] 张海新, 宁久丽, 及华. 果实褐变研究现状及发展方向[J]. *保鲜与加工*, 2010, 10(1): 7-10.
- [56] 王挥. 采后热处理对芒果贮藏特性影响及机理的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012: 39-40.
- [57] WANG L, JIN P, WANG J, et al. Hot air treatment induces resistance against blue mold decay caused by *Penicillium expansum* in sweet cherry (*Prunus cerasus* L.) fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 189: 74-80. DOI:10.1016/j.scienta.2015.03.039.
- [58] 黄锐, 安力, 王强, 等. 热处理对葡萄品质及保护性酶的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(8): 300-302.
- [59] 汪开拓, 郑永华. 热空气处理对杨梅果实采后活性氧代谢和HSP合成的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(8): 291-295.
- [60] 芮怀瑾, 尚海涛, 汪开拓, 等. 热处理对冷藏枇杷果实活性氧代谢和木质化的影响[J]. *食品科学*, 2009, 30(14): 304-308. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.14.068.
- [61] AGHDAM M S, SEVILLANO L, FLORES F B, et al. Heat shock proteins as biochemical markers for postharvest chilling stress in fruits and vegetables[J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 160: 54-64.
- [62] BUSTAMANTE C A, BUDDÉ C O, BORSANI J, et al. Heat treatment of peach fruit: modifications in the extracellular compartment and identification of novel extracellular proteins[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2012, 60: 35-45. DOI:10.1016/j.plaphy.2012.07.021.
- [63] ZHANG C F, TIAN S P. Peach fruit acquired tolerance to low temperature stress by accumulation of linolenic acid and *N*-acylphosphatidylethanolamine in plasma membrane[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(3): 864-872. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.11.029.
- [64] SEVILLANO L, SOLA M M, VARGAS A M. Induction of small heat-shock proteins in mesocarp of cherimoya fruit (*Annona cherimola* Mill.) produces chilling tolerance[J]. *Food Biochemistry*, 2010, 34: 625-638. DOI:10.1111/j.1745-4514.2009.00304.x.
- [65] HEL H, CHEN J Y, KUANG J F, et al. Expression of three *sHSP* genes involved in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92(9): 1924-1930. DOI:10.1002/jsfa.5562.
- [66] DOTTO M C, POMBO M A, MARTÍNEZ G A, et al. Heat treatments and expansin gene expression in strawberry fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130(4): 775-780. DOI:10.1016/j.scienta.2011.09.002.
- [67] ZHANG L, YU Z F, JIANG L, et al. Effect of post-harvest heat treatment on proteome change of peach fruit during ripening[J]. *Journal of Proteomics*, 2011, 74(7): 1135-1149. DOI:10.1016/j.jpro.2011.04.012.
- [68] 李香玉, 张新华, 李富军, 等. 采后热处理影响果蔬贮藏品质机理的研究进展[J]. *北方园艺*, 2011(5): 204-208.
- [69] 郑娜燕, 代晓霞, 生吉萍, 等. 热处理与内源H₂O₂对黄瓜抗冷性和抗氧化酶活性的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(22): 314-318.
- [70] 吴建生, 姚勇芳, 于新. 芒果热激及 UV-C诱抗作用与机理探讨[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(7): 67-73. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2011.07.012.
- [71] UMMARAT N, MATSUMOTO T K, WALL M M, et al. Changes in antioxidants and fruit quality in hot water-treated 'Hom Thong' banana fruit during storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130(4): 801-807.
- [72] 曹明明, 阎瑞香, 冯叙桥, 等. 热处理对鲜切玫瑰香葡萄抗氧化活性及生理生化品质的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(8): 279-284.
- [73] 刘东杰. 冰温处理对三种蔬菜抗冷性诱导的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013: 9-11.
- [74] 陈爱强, 杨昭, 尹海蛟, 等. 冷激黄瓜贮藏品质及冷激过程传热特性分析[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(11): 349-353. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.11.065.
- [75] 郑存娜. 苦瓜冷藏保鲜及冷激处理技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013: 30-31.
- [76] RUGKONG A, ROSE J K C, LEE S J, et al. Cell wall metabolism in cold-stored tomato fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 57(2): 106-113. DOI:10.1016/j.postharvbio.2010.03.004.
- [77] 郑亚琴. 冷激处理时间对沂州木瓜贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2009, 30(24): 436-438. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.24.100.
- [78] 庞凌云, 詹丽娟, 李瑜, 等. 冷激处理对圣女果贮藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2012, 28(4): 172-174. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2012.04.047.
- [79] 熊兴淼. 冷激处理对油桃冷藏保鲜及其生理生化变化的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006: 24-35.
- [80] ZHANG H Y, YANG S Y, JOYCE D C, et al. Physiology and quality response of harvested banana fruit to cold shock[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 55(3): 154-159.
- [81] 邵志鹏, 应铁进, 王阳光. 番茄果实采后冷激处理的生理研究[J]. *南京农业大学学报*, 2002, 25(2): 97-100. DOI:10.3321/j.issn:1000-2030.2002.02.023.
- [82] 迪力夏提·卡迪尔. 冷激处理对小白杏贮藏品质及生理效应的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013: 52-53.

- [83] ZHANG Z, NAKANO K, MAEZAWA S. Comparison of the antioxidant enzymes of broccoli after cold or heat shock treatment at different storage temperatures[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 54(2): 101-105. DOI:10.1016/j.postharvbio.2009.05.006.
- [84] 张娜, 杨昭, 陈爱强, 等. 双温冷激处理对黄瓜品质和生理的影响及传热特性分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(1): 259-264. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.01.034.
- [85] SIBOZA X I, BERTLING I, ODINDO A O. Salicylic acid and methyl jasmonate improve chilling tolerance in cold-stored lemon fruit (*Citrus limon*)[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2014, 171(18): 1722-1731. DOI:10.1016/j.jplph.2014.05.012.
- [86] 裴倩如, 朱本忠, 田慧琴, 等. 冷激处理对黄瓜低温贮藏中冷害的影响[J]. *北方园艺*, 2014(1): 127-130.
- [87] 刚成诚, 李建龙, 王亦佳, 等. 利用不同物理方法处理水蜜桃保鲜效果的对比研究[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(2): 204-207. DOI:10.3969/j.issn.1002-1302.2012.02.084.
- [88] 魏明, 赵博. 不同强度的冷激处理对草莓保鲜效果的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(2): 415-418. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2008.02.093.
- [89] TATSUKI M, HAYAMA H, YOSHIOKA H, et al. Cold pre-treatment is effective for 1-MCP efficacy in 'Tsugaru' apple fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 62(3): 282-287. DOI:10.1016/j.postharvbio.2011.07.005.
- [90] MEGÍAS Z, MARTÍNEZ C, MANZANO S, et al. Cold-induced ethylene in relation to chilling injury and chilling sensitivity in the non-climacteric fruit of zucchini (*Cucurbita pepo* L.)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 57(1): 194-199. DOI:10.1016/j.lwt.2013.12.044.
- [91] 赵志磊, 顾玉红, 赵玉梅, 等. 冷激处理对芒果贮藏冷害及相关酶的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2007, 30(4): 27-30. DOI:10.3969/j.issn.1000-1573.2007.04.007.
- [92] JANMOHAMMADI M, ZOLLA L, RINALDUCCI S. Low temperature tolerance in plants: changes at the protein level[J]. *Phytochemistry*, 2015, 117: 76-89. DOI:10.1016/j.phytochem.2015.06.003.
- [93] 连龙浩. 火龙果最适贮藏条件及其冷害发生机制研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014: 44-45.
- [94] 谷会, 弓德强, 朱世江, 等. 冷激处理对辣椒冷害及抗氧化防御体系的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(12): 2523-2530. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2011.12.014.
- [95] 郑艺梅, 张小希, 曾萍萍, 等. 冷激对琯溪蜜柚室温贮藏效果的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(22): 496-499.
- [96] 刘洪竹, 陈双颖, 李进才. 冷热激处理对不同鲜切蔬菜衰老生理机能的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(12): 316-321.
- [97] SILVEIRA A C, AGUAYO E, CHISARI M, et al. Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut 'Galia' melon[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 62(1): 77-84. DOI:10.1016/j.postharvbio.2011.04.009.
- [98] 刁春英, 高秀瑞, 李婷. 冷激结合壳聚糖涂膜处理对黄瓜低温保鲜的效果[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(12): 296-299.