

间歇热处理对柑橘冷害调控研究

陈晓彤¹, 叶先明², 潘艳芳¹, 郑桂霞², 李惠¹, 李悦明³, 李喜宏¹

(1.天津科技大学 食品工程与生物技术学院天津科技大学省部共建食品营养与安全国家重点实验室, 天津 300457; 2.衢州市柯城区柴家柑桔专业合作社, 浙江 衢州 310000; 3.长融汇通食品科技研发有限公司, 天津 300457)

摘要:目的 针对柑橘低温贮藏易冷害问题, 研究间歇热处理对柑橘冷害的调控效果。方法 以浙江省衢州市沃柑品种为实验材料, 采用连续热处理(50℃下热水处理180s)和间歇热处理(50℃下热水处理60s—20℃常温下回温10min—50℃下热水处理60s—20℃常温下回温10min—50℃下热水处理60s—20℃常温下回温10min)等2种方式处理柑橘。结果 与对照组相比, 热处理能够降低柑橘的冷害指数, 抑制相对电导率和丙二醛(MDA)含量的上升, 提高柑橘的过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性, 且间歇热处理组柑橘的抗冷效果显著优于连续热处理组($P<0.05$)。贮藏50d后, 间歇热处理组的冷害指数比对照组低19.32%, MDA质量摩尔浓度分别比对照组和连续热处理组低0.91 μmol/g和0.37 μmol/g, POD活性分别较对照组和连续热处理组增加了0.72倍和0.19倍, SOD活性分别比对照组和连续热处理组增加5.231 U/g和1.776 U/g。结论 热处理能够延缓柑橘冷害, 且间歇热处理对沃柑的保鲜效果优于连续热处理。

关键词: 柑橘; 连续热处理; 间歇热处理; 冷害; 贮藏

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)17-0008-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.17.002

Regulation of Cold Damage of Citrus by Intermittent Heat Treatment

CHEN Xiao-tong¹, YE Xian-ming², PAN Yan-fang¹, ZHENG Gui-xia², LI Hui¹,
LI Yue-ming³, LI Xi-hong¹

(1.College of Food Engineering and Biotechnology, State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2.Quzhou Kecheng District Chai Family Citrus Professional Cooperative, Quzhou 310000, China; 3.Changrong Huitong Food Science and Technology Research and Development Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

ABSTRACT: The work aims to study the regulation effect of intermittent heat treatment on the citrus cold damage aiming at the problem of cold damage in the low temperature storage of citrus. The Quzhou bergamot varieties in Zhejiang Province were used as experimental materials. Continuous heat treatment (50℃ hot water treatment for 180 s) and intermittent heat treatment (50℃ hot water treatment for 60 s—temperature returning at 20℃ room temperature for 10 min—50℃ hot water treatment for 60 s—temperature returning at 20℃ room temperature for 10 min—50℃ hot water treatment for 60 s—temperature returning at 20℃ room temperature for 10 min) were used to treat citrus. Compared with the control group,

收稿日期: 2019-05-10

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0401305); 衢州市科技项目(2016J164)

作者简介: 陈晓彤(1995—), 女, 天津科技大学硕士生, 主攻农产品物流保鲜与加工。

通信作者: 李喜宏(1960—), 男, 博士, 天津科技大学教授, 主要研究方向为农产品保鲜生物学与技术、食品保鲜材料与食品安全等。

heat treatment could reduce the cold damage index of citrus, inhibit the increase of relative conductivity and malondialdehyde (MDA) content, and increase the activity of citrus peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD), and the cold resistance effect of citrus subject to the intermittent heat treatment was significantly better than that of continuous heat treatment ($P<0.05$). After 50 days of storage, the cold damage index of intermittent heat treatment was reduced by 19.32% compared with the control group, and the MDA content respectively decreased 0.91 $\mu\text{mol/g}$ and 0.37 $\mu\text{mol/g}$ compared with the control group and continuous heat treatment. POD activity increased by 0.72 times and 0.19 times compared with control group and continuous heat treatment, and SOD activity was higher than that of control group and continuous heat treatment by 5.231 U/g and 1.776 U/g, respectively. Heat treatment can delay the cold damage of citrus, and the fresh-keeping effect of intermittent heat treatment on the bergamot is better than continuous heat treatment.

KEY WORDS: citrus; continuous heat treatment; intermittent heat treatment; cold damage; storage

柑橘因其口感酸甜,富含维生素C、蛋白质和有机酸等30多种人体所需营养物质,深受群众喜爱^[1-2]。然而,因其属低温敏感性水果,在低温贮藏下,易遭受冷害、果面凹陷,形成褐色斑块,进而果肉出现苦味^[3]。此外,柑橘内部活性氧清除酶、防御酶的活性降低,自由基活跃^[4],膜脂过氧化加剧,其相对电导率和丙二醛含量升高,细胞膜受损,进而细胞完整性受到破坏^[5]。严重时会引起腐烂,造成贮藏保鲜难的问题。

目前,针对预防果蔬低温冷害、延长果蔬贮藏期等,已经报道了多种果蔬保鲜方法。相较于涂膜保鲜、化学药剂熏蒸或浸泡等容易造成化学残留,进而对人体健康造成危害的化学处理方法,高效、绿色、无残留的物理处理方法深受研究者的关注^[7-8]。其中,热处理方法处理果蔬能够提高果蔬体内抗氧化酶(如POD或SOD)活性,降低细胞膜相对电导率和MDA含量,缓解自由基(如 O_2^- , OH^- , H_2O_2)对其细胞带来的伤害,达到减轻冷害、延长果蔬贮藏期的目的^[6,9-10]。已有研究表明,热处理可提高草莓^[11]、葡萄柚^[12]、石榴^[13]、青椒^[14]、番茄^[15]和南瓜^[16]等果蔬抗冷性。当然,适宜的热处理才能对采后果蔬起到较好的抗冷效果。热处理时间过长会引发热伤害,导致果蔬表面变色、果实软化^[17-19]。短时间的交替间歇热处理,能够积累果蔬体内热激效应,也能够中断热效应,避免热伤害,同时提高防御酶系活性。

此实验采用间歇热处理沃柑,对柑橘进行短时间热激,并结合多次回温处理,以期避免发生热伤害。测定柑橘相关生理生化指标,研究其生理变化,为柑橘低温抗冷保鲜提供理论依据以及数据支撑。

1 实验

1.1 材料与处理

供试柑橘采收于浙江省衢州市柯城区柴家柑桔合作社,运回当日分选大小、色泽均匀,无机械损伤,无软烂霉腐的果实,将其清洗干净,随后均分为3份,

每份150个果实。预实验选择45, 50, 55℃热水处理柑橘180s,确定出最佳热水处理条件为50℃热水处理180s,因此实验在此基础上进行如下处理。

1) 连续热处理组。50℃热水处理180s。

2) 间歇热处理组。50℃热水处理60s—20℃常温回温10min—50℃热水处理60s—20℃常温回温10min—50℃热水处理60s—20℃常温回温10min。

3) 对照组。不做任何处理。

处理结束后,室温条件下通风晾干,随后预冷24h。用PE打孔袋分装,扎口。在温度为 (2 ± 0.5) ℃、相对湿度为80%~85%的微型温度梯度箱中贮藏。每隔10d随机取1袋,进行各项指标测定。

1.2 主要仪器设备与试剂

设备主要有AUY120型电子天平,安捷伦科技有限公司;SY-2-6恒温水浴锅,天津市欧诺仪器仪表有限公司;5804R高速冷冻离心机,德国Eppendorf公司;UV-2550PC型紫外-可见分光光度计,岛津企业管理(中国)有限公司。

试剂主要有三氯乙酸、硫代巴比妥酸、氢氧化钠、愈创木酚、 H_2O_2 、冰醋酸、无水醋酸钠、PEG6000、聚乙烯吡咯烷酮、EDTA、PVP、盐酸、酚酞等,均为分析纯。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 质量损失率

质量损失率=(实验前柑橘的质量-实验后柑橘的质量)/实验前柑橘的质量 $\times 100\%$ 。

1.3.2 冷害指数

参考杨虎清^[20]的方法,将冷害发生面积分为0级,无冷害发生;1级,冷害发生面积 $<25\%$;2级,冷害发生面积 $25\%\sim 50\%$;3级,冷害发生面积 $51\%\sim 75\%$;4级,冷害发生面积 $>75\%$ 。

1.3.3 相对电导率的测定

参考曹建康等^[21]方法测定电导率。

1.3.4 丙二醛 (MDA) 含量的测定

采用硫代巴比妥酸法^[21]测定其含量, 结果以 $\mu\text{mol/g}$ 表示。

1.3.5 过氧化物酶 (POD) 活性的测定

POD 活性采用愈创木酚法进行测定^[21], 结果以 $\Delta\text{OD}_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$ 表示, 即过氧化物酶能与愈创木酚生成 4-邻甲氧基苯酚, 成棕红色, 在波长 470 nm 处有最大吸收度, 每隔 1 min 测 1 次, 总共测 6 次, 最后取末值与初始值差值的平均值作为过氧化物酶活性值, 故单位为 $\Delta\text{OD}_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$ 。

1.3.6 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定

采用 NBT 还原法测定, 结果以 U/g 表示。

1.4 数据处理与分析

采用 Origin 9 分析数据计算标准偏差并制图; 采用 SPSS 19.0 软件进行差异显著性分析, $P < 0.05$ 为显著。

2 结果与分析

2.1 间歇热处理对柑橘果实质量损失率的影响

质量损失率是反映柑橘品质及商品价值的重要因素。在低温贮藏期间, 柑橘遭受逆境胁迫伤害, 导致代谢紊乱。此外, 在柑橘贮藏过程中, 水分会蒸发, 其呼吸作用也会消耗营养物质, 进而引起组织失水、失质量, 致使柑橘表面发生皱缩变质^[1]。间歇热处理对柑橘果实质量损失率的影响见图 1。由图 1 可知, 各处理组的质量损失率随着贮藏期的延长, 均成上升趋势。在贮藏 50 d 时, 间歇热处理组的质量损失率仅为 3.46%, 较对照组和连续热处理组分别降低了 33.46% ($P < 0.05$) 和 16.02%, 说明热处理可以降低柑橘质量损失率, 提高柑橘品质, 其中以间歇热处理为佳。

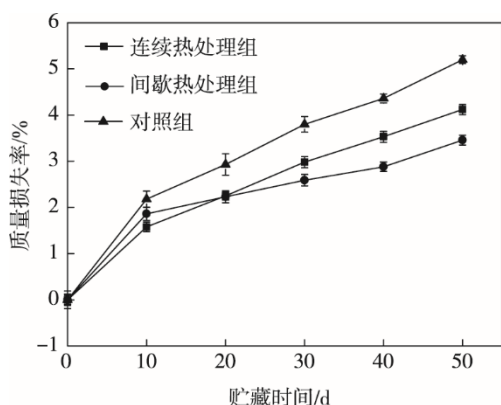


图 1 间歇热处理对柑橘果实质量损失率的影响

Fig.1 Effect of intermittent heat treatment on weight loss rate of citrus fruit

2.2 间歇热处理对柑橘果实冷害指数的影响

冷害指数是柑橘在低温贮藏期间反映其品质变化的重要指标。低温逆境条件下, 柑橘细胞内自由基产生和消除的水平动态平衡被破坏, 柑橘中的活性氧自由基 O_2^- , OH^- , H_2O_2 活性增强, 柑橘出现生理失调, 细胞氧化受损, 果皮表面出现斑点、失色, 组织出现水渍状, 严重时会造成细胞和组织死亡^[22-23]。间歇热处理对柑橘果实冷害指数的影响见图 2, 可知, 在贮藏 10 d 时, 3 个处理组均出现冷害, 对照组冷害指数为 23.31%; 与对照组相比, 连续热处理组和间歇热处理组均能显著延缓冷害 ($P < 0.05$); 在 50 d 时, 对照组冷害指数为 60.48%, 连续热处理和间歇热处理组分别比其低 7.25% 和 19.32%。由此可知, 热处理能够显著延缓冷害, 间歇热处理能够更好地减少冷害的发生。

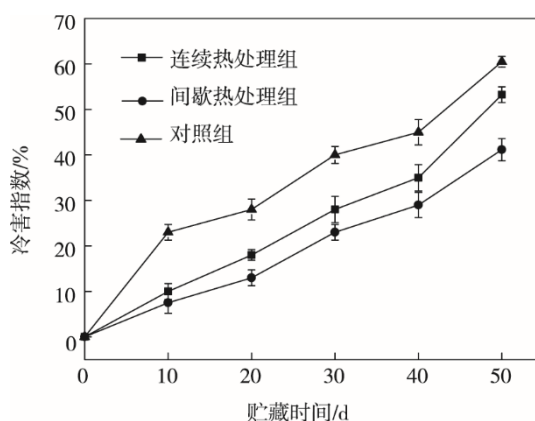


图 2 间歇热处理对柑橘果实冷害指数的影响

Fig.2 Effect of intermittent heat treatment on cold damage index of citrus fruit

2.3 间歇热处理对柑橘相对电导率和 MDA 含量的影响

相对电导率和 MDA 直接反应柑橘果皮细胞膜的破坏程度。作为感知冷害最敏感的部位, 在柑橘遭受低温胁迫时, 自由基含量增加, 导致自由基清除系统遭到破坏, 过多的自由基会加速活性氧对细胞膜的破坏, 进而加速细胞衰老^[4,22]。

间歇热处理对柑橘相对电导率的影响见图 3。由图 3 可知, 前期各处理组的相对电导率均有所下降, 这可能与低温抑制了柑橘果皮膜过氧化程度有关。在 10 d 后, 各处理组相对电导率上升趋势明显, 其中间歇热处理组相对电导率显著低于对照组 ($P < 0.05$), 且低于连续热处理组。间歇热处理对柑橘 MDA 含量的影响见图 4。由图 4 可知, 各组 MDA 含量均呈上升趋势, 这可能与柑橘遭受低温逆境, 细胞膜透性增加, 脂质自由基进一步诱发膜脂过氧化作用相关。在贮藏前 10 d, MDA 的质量摩尔浓度上升缓慢。在贮藏 10 d 时, 连续热处理组、间歇热处理组和对照组的

质量摩尔浓度分别为 0.59, 0.57, 0.64 $\mu\text{mol/g}$ 。贮藏 10 d 后,MDA 含量的上升速度加快。在贮藏第 50 天,对照组 MDA 质量摩尔浓度达到 2.41 $\mu\text{mol/g}$,显著高于连续热和间歇热处理组 ($P<0.05$)。可见,热处理可以抑制柑橘果皮细胞膜受损和柑橘果实 MDA 含量的升高,其中间歇热处理对相对电导率和 MDA 含量上升抑制更显著。

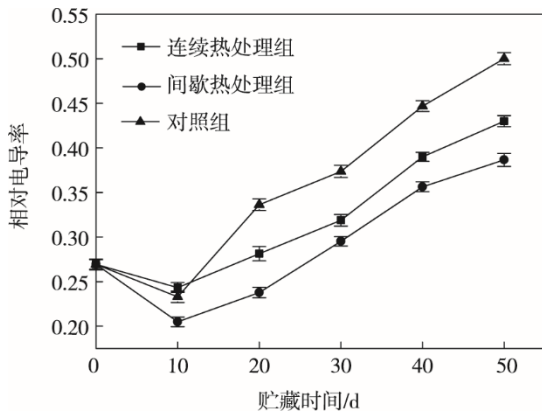


图 3 间歇热处理对柑橘相对电导率的影响
Fig.3 Effect of intermittent heat treatment on relative conductivity of citrus

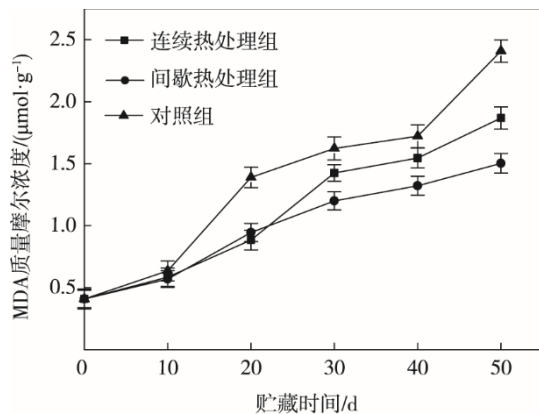


图 4 间歇热处理对柑橘 MDA 含量的影响
Fig.4 Effect of intermittent heat treatment on MDA content in citrus

2.4 间歇热处理对柑橘果实 POD 和 SOD 活性的影响

低温胁迫使柑橘果实内部活性氧自由基的产生与清除平衡被打破,造成活性氧自由基含量积累,柑橘果实产生调节代谢的应激保护性反应,激活了抗氧化酶 POD 和 SOD 活性,增强了清除活性氧自由基能力,进而保护了细胞膜系统,减少了冷害的发生^[7,10,23]。

间歇热处理对柑橘果实 POD 活性的影响见图 5。由图 5 可知,各组 POD 活性呈先升后降趋势,其中,对照组在 20 d 时,先达到峰值 2.55 $\Delta\text{OD}_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$;连续热处理组和间歇热处理组在 30 d 时达到峰值,分别比对照组峰值提高了 22.34%和 39.34%,且后期

的 POD 活性均高于对照组,较对照组差异显著 ($P<0.05$)。间歇热处理对柑橘果实 SOD 活性的影响见图 6。由图 6 可知,各组 SOD 活性变化趋势与 POD 相似,这与前期柑橘遭受冷害,自由基代谢平衡被破坏,进而使机体活性氧自由基防御系统的酶系 POD, SOD 产生保护性反应,激发了其清除活性氧自由基的活性,导致柑橘果实抗寒性提高有关。随着贮藏期的延长,各组 POD, SOD 活性呈下降趋势,这可能是因为在长时间的低温条件下,柑橘果实体内与酶相关的蛋白失活。对照组、连续热处理组和间歇热处理组 SOD 活性分别在 20, 30, 30 d 时达到峰值,分别是 10.56, 11.09, 11.36 U/g。其中,间歇热处理组 SOD 活性显著高于连续热处理组和对照组 ($P<0.05$)。贮藏 50 d 后,间歇热处理组和连续热处理组的 SOD 活性分别比对照组高 5.231, 1.776 U/g。综上所述,热处理能够激发 POD, SOD 活性,间歇热处理作用效果最为显著。

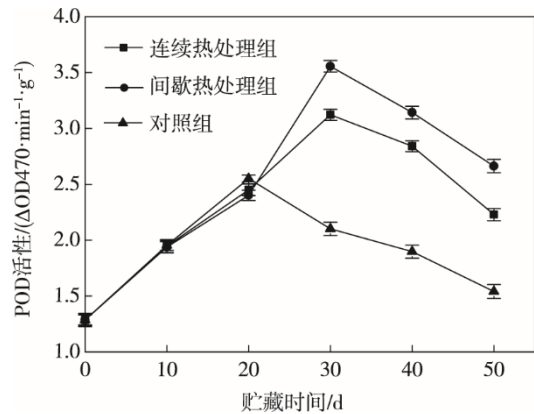


图 5 间歇热处理对柑橘果实 POD 活性的影响
Fig.5 Effect of intermittent heat treatment on POD activity of citrus fruit

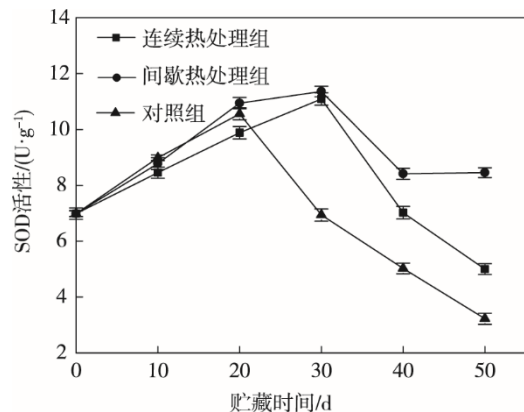


图 6 间歇热处理对柑橘果实 SOD 活性的影响
Fig.6 Effect of intermittent heat treatment on SOD activity of citrus fruit

3 结语

沃柑在遭受低温逆境条件下,其内部生理代谢紊

乱, 活性氧自由基活性增强, 抗氧化酶系活性降低, 导致组织细胞、细胞膜受到破坏, 进而诱发 MDA 含量升高, 且 POD 活性和 SOD 活性受到抑制, 最终引发冷害, 造成品质下降。间歇热处理能够在不造成热伤害的条件下, 使柑橘体内发生多次温差变化, 产生热激效应, 使得柑橘进行自我修复, 刺激柑橘体内活性氧自由基, 使其清除能力提高, 增强抗氧化酶系的活性, 进而提高 SOD 和 POD 活性, 减轻柑橘细胞的破坏程度。综上, 热处理可以延缓柑橘采后冷害, 保持柑橘品质, 其中, 间歇热处理效果最佳。

参考文献:

- [1] 陈瑶. 热处理对柑橘果实采后保鲜效果的研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2014.
CHEN Yao. Effect of Heat Treatment on Postharvest Preservation of Citrus Fruits[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2014.
- [2] 乔勇进, 钟敏增, 陈冰洁, 等. 上海地产柑橘采后贮藏保鲜技术[J]. 上海农业科技, 2018(1): 58—69.
QIAO Yong-jin, ZHONG Min-zeng, CHEN Bing-jie, et al. Postharvest Storage and Preservation Technology of Citrus in Shanghai Real Estate[J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2018(1): 58—69.
- [3] 耿红兰, 刘亚平, 王晓闻, 等. 壳聚糖涂膜处理对冷藏砂糖橘冷害和品质影响[J]. 核农学报, 2016, 30(10): 1952—1958.
GENG Hong-lan, LIU Ya-ping, WANG Xiao-wen, et al. Effects of Chitosan Coating on Cold Injury and Quality of Chilled Tangerine[J]. Journal of Nuclear Agronomy, 2016, 30(10): 1952—1958.
- [4] 王海波, 张昭其, 邓鸿铃, 等. 热处理提高采后果蔬抗冷性的机理分析[J]. 广东农业科学, 2015, 42(15): 57—64.
WANG Hai-bo, ZHANG Zhao-qi, DENG Hong-ling, et al. Mechanism Analysis of Heat Treatment Improving Cold Resistance of Fruits and Vegetables after Harvest[J]. Guangdong Agricultural Science, 2015, 42(15): 57—64.
- [5] 周先艳, 龚琪, 李菊湘, 等. 柑橘采后生理及病害研究进展[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(1): 91—96.
ZHOU Xian-yan, GONG Qi, LI Ju-xiang, et al. Research Progress on Postharvest Physiology and Diseases of Citrus[J]. Preservation and Processing, 2016, 16(1): 91—96.
- [6] 栾福磊, 张奎. 采后果蔬低温贮藏冷害、发生机理及控制研究进展[J]. 家电科技, 2018(1): 38—42.
LUAN Fu-lei, ZHANG Kui. Research Progress on Chilling Injury, Occurrence Mechanism and Control of Postharvest Fruits and Vegetables during Cryopreservation[J]. Home Appliance Technology, 2018(1): 38—42.
- [7] 刘欢. 柑橘采后常用的贮藏与处理方法探究[J]. 产业与科技论坛, 2015, 14(23): 61—62.
LIU Huan. Research on Storage and Treatment Methods Commonly Used in Postharvest Citrus[J]. Industry and Technology BBS, 2015, 14(23): 61—62.
- [8] 赵赛楠, 马艺超, 高若婉, 等. 国内外马铃薯贮藏保鲜技术研究现状[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(1): 153—158.
ZHAO Sai-nan, MA Yi-chao, GAO Ruo-wan, et al. Research Status of Potato Storage and Preservation Technology at Home and Abroad[J]. Preservation and Processing, 2019, 19(1): 153—158.
- [9] 张丽华, 李顺峰, 李珍珠, 等. 热处理对鲜切果蔬品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 290—295.
ZHANG Li-hua, LI Shun-feng, LI Zhen-zhu, et al. Research Progress on the Effect of Heat Treatment on the Quality of Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(7): 290—295.
- [10] 周颖军. 热处理技术在果蔬贮藏中的应用研讨[J]. 黑龙江科学, 2017, 8(19): 24—25.
ZHOU Ying-jun. Research on the Application of Heat Treatment Technology in Fruit and Vegetable Storage[J]. Heilongjiang Science, 2017, 8(19): 24—25.
- [11] LANGER S E, OVIDEO N C, MARINA M, et al. Effects of Heat Treatment on Enzyme Activity and Expression of Key Genes Controlling Cell Wall Remodeling in Strawberry Fruit[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 130, 334—344.
- [12] SAPITNITSKAYA M. Postharvest Heat and Conditioning Treatments Activate Different Molecular Responses and Reduce Chilling Injuries in Grapefruit[J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(12): 2943—2953.
- [13] MIRDEHGHAN S H, RAHEMI M, MARTINEZ-ROMERO D, et al. Reduction of Pomegranate Chilling Injury during Storage after Heat Treatment: Role of Polyamines[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44(1): 19—25.
- [14] 王慧. 热激处理诱导采后青椒抗冷性的机理研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
WANG Hui. Research on Mechanism of Cold Resistance Induced by Heat Shock Treatment in Postharvest Green Pepper[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [15] ZHANG X, SHEN L, LI F, et al. Arginase Induction by Heat Treatment Contributes to Amelioration of Chilling Injury and Activation of Antioxidant Enzymes in Tomato Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 79: 1—8.
- [16] ZHANG M, LIU W, LI C, et al. Postharvest Hot Water Dipping and Hot Water Forced Convection Treatments Alleviate Chilling Injury for Zucchini Fruit during Cold Storage[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 249: 219—227.
- [17] 程瑜, 刘娟, 魏亚东, 等. 柑橘采后热处理技术研究进展[J]. 天津农业科学, 2016, 22(3): 86—91.
CHENG Yu, LIU Juan, WEI Ya-dong, et al. Research

- Progress of Postharvest Heat Treatment Technology for Citrus[J]. *Tianjin Agricultural Science*, 2016, 22(3): 86—91.
- [18] 张娜. 果蔬采后热处理的理论与试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2016.
ZHANG Na. Theoretical and Experimental Research on Post-harvest Heat Treatment of Fruits and Vegetables[D]. Tianjin: Tianjin University, 2016.
- [19] 程玉娇, 赵霞, 秦文霞, 等. 不同回温温度的间歇热处理对‘塔罗科’血橙的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2016, 37(18): 283—289.
CHENG Yu-jiao, ZHAO Xia, QIN Wen-xia, et al. Effects of Intermittent Heat Treatment at Different Temperatures on the Preservation of 'TAROKO' Blood Orange[J]. *Food Science*, 2016, 37(18): 283—289.
- [20] 杨虎清, 赵晓飞, 黄程前, 等. 不同处理方式对甘薯冷害和抗氧化代谢影响分析[J]. *核农学报*, 2014, 28(8): 1407—1412.
YANG Hu-qing, ZHAO Xiao-fei, HUANG Cheng-qian, et al. Effects of Different Treatments on Chilling Injury and Antioxidant Metabolism of Sweet Potato[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2014, 28(8): 1407—1412.
- [21] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导书[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables After Harvest[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [22] 李晓霞. 电生功能水热处理对柑橘冷害及贮藏效果的影响[D]. 太古: 山西农业大学, 2016.
LI Xiao-xia. Effect of Electrogenic Functional Water Heat Treatment on Citrus Chilling Injury and Storage Effect[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2016.
- [23] 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.
LI Xiang-yu, ZHANG Xin-hua, LI Fu-jun, et al. Research Progress on the Effect of Postharvest Heat Treatment on Fruit and Vegetable Storage Quality[J]. *Northern Horticulture*, 2011(5): 204—208.