

不同冻结和解冻方法对金针菜品质及膜脂过氧化的影响

代瑞娟^{1,2}, 李志强^{2,3}, 朱月林^{1*}

(1. 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 南京 210014;

3. 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京 210014)

摘要:以“大乌嘴”金针菜为材料, 通过测定解冻时间、汁液流失率、可溶性固形物和叶绿素含量、脂氧合酶(LOX)活性、丙二醛(MDA)含量等指标, 研究不同冻结和解冻方法对金针菜品质和膜脂过氧化的影响。结果表明, 冻结处理中, P7和P8冻结方法明显地降低了汁液流失率、维持了较高的可溶性固形物和叶绿素含量, 延缓了速冻金针菜品质的下降; 解冻方法中, 微波解冻能够有效地减少金针菜解冻后品质的下降, 抑制LOX活性和MDA含量的升高, 减少冷冻对细胞膜完整性的破坏作用。综合分析, 微波解冻结合P7或P8冻结处理是解决速冻金针菜解冻后品质下降的理想方法。

关键词: 金针菜; 冻结; 解冻; 品质; 膜脂过氧化

中图分类号: S644.309.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2019)04-0713-05

Effects of freezing and thawing methods on quality and membrane lipid peroxidation of daylily flowers

DAI Ruijuan^{1,2}, LI Zhiqiang^{2,3}, ZHU Yuelin¹

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;

2. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014;

3. Jiangsu Key Laboratory for Horticulture Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014)

Abstract: “Dawuzui” daylily flowers were used as the material, to explore the effects of different freezing and thawing methods on postharvest quality, and membrane lipid peroxidation was studied by measuring the thawing time, drip loss rate, the contents of soluble solids and chlorophyll, lipoxigenase (LOX) activity and malondialdehyde (MDA) content. The results showed that the freezing methods of P7 and P8 significantly reduced the drip loss rate, maintained high contents of soluble solids and chlorophyll, so good quality of quick-frozen daylily flowers was maintained. In the thawing method, microwave thawing effectively reduced the decline of quality of daylily flowers after thawing, inhibited the increases of LOX activity and MDA content, and reduced the destructive effect of freezing on cell membrane integrity. Overall, it was concluded that microwave thawing combined with P7 or P8 freezing treatment is an ideal method to solve the quality loss of quick-frozen daylily flowers after thawing.

Key words: daylily flowers; freezing; thawing; quality; membrane lipid peroxide

金针菜 (*Hemerocallis citrina* Baroni) 又名黄花菜属百合科多年生宿根草本植物, 其食用部位是花蕾, 是我国的特色蔬菜品种之一^[1]。它富含多种营养成分, 如每 500 g 干金针菜含蛋白质 14.4 g、纤维素 7.4 g、脂肪 2.5 g、钙 362 mg、维生素 C 164 mg 和胡萝卜素 5.8 mg^[2], 这些营养素对人体生长发育

大有裨益。

金针菜因其采摘期在高温多雨的夏季, 采后呼吸旺盛, 代谢活跃导致其贮藏性能极差, 在常温下放置 2 d 就开始失绿、黄化, 第 3 天就全部褐变腐烂, 失去食用价值和商业价值^[3], 因此为长期保证金针菜品质, 可先将金针菜进行速冻处理, 在食用

收稿日期: 2019-02-21

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(16)1022]资助。

作者简介: 代瑞娟, 硕士研究生。E-mail: dairuijuan16@126.com

* 通信作者: 朱月林, 教授, 博士生导师。E-mail: ylzhu@njau.edu.cn

和进一步加工前再进行科学解冻处理^[4]。一方面, 冻结方式不同, 原料内部产生的晶体形状、大小和数量也不同, 对冻品的品质也会造成一定影响; 另一方面, 不同的解冻方法对冻品品质的影响同样十分显著。目前, 国内外关于果蔬解冻有诸多的报道^[5-7], 但对速冻金针菜解冻技术的研究却还鲜见。因此, 作者采用保鲜类的速冻技术(不经过漂烫)对金针菜进行处理, 通过测定相应的营养品质和膜脂过氧化指标, 研究其对金针菜品质的影响, 以期研发出适于金针菜的保鲜类速冻技术规程, 为上海等高端市场提供高品质的金针菜产品, 并为保鲜类速冻技术的研究提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

供试金针菜品种为大乌嘴, 采摘于江苏省农业科学院宿迁市金针菜产业研发中心的生产基地。采摘时选择生长期为 6 d (2 d 后即开花)、大小相对一致、无病虫、无机械伤害的花蕾。当天用冷藏车将材料运到江苏省农业科学院农产品加工所实验室后, 立即将金针菜平铺在大托盘里放入低温试验箱中进行 -20°C 、 -40°C 、 -60°C 和 -80°C 冷冻处理 5 h^[8] (预实验的结果显示 5 h 能够使所有试验处理充分冻结), 并且冻结期间采用电阻温度计进行实时监测, 然后将每个冷冻处理温度分 2 份, 每份约 500 g, 分别放于 -20°C 和 -80°C 两个温度下贮藏 8 个月后进行解冻, 并测定其品质、酶活性及相关物质的含量。按冷冻和贮藏温度共分 8 个组合: P1: $-20^{\circ}\text{C}+ -20^{\circ}\text{C}$; P2: $-40^{\circ}\text{C}+ -20^{\circ}\text{C}$; P3: $-60^{\circ}\text{C}+ -20^{\circ}\text{C}$; P4: $-80^{\circ}\text{C}+ -20^{\circ}\text{C}$; P5: $-20^{\circ}\text{C}+ -80^{\circ}\text{C}$; P6: $-40^{\circ}\text{C}+ -80^{\circ}\text{C}$; P7: $-60^{\circ}\text{C}+ -80^{\circ}\text{C}$; P8: $-80^{\circ}\text{C}+ -80^{\circ}\text{C}$ 。贮藏 8 个月后进行解冻处理。

解冻处理: ①温水解冻。将处理好的样品从冰箱中取出, 带包装平放于 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 的恒温水浴锅中解冻, 用热电偶实时监测金针菜中心温度, 当金针菜中心温度达到 0°C , 停止解冻, 记录解冻时间并测定各项指标。

②常温空气解冻。将处理好的样品从冰箱中取出, 带包装平放于温度控制在 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 环境中进行空气解冻, 后续处理同温水解冻。

③微波解冻。将处理好的样品从冰箱中取出, 带包装平放于微波炉中, 将旋钮调节到解冻状态解冻, 并用热电偶实时监测金针菜中心温度, 后续处理同温水解冻。

④ 0.04% 柠檬酸解冻。(试验前先进行预试验,

设置 0.01%、0.05% 和 0.1% 3 个浓度梯度, 结果效果最好的是 0.05% 的柠檬酸溶液; 接下来将浓度梯度缩小, 设置 0.04%、0.05% 和 0.06% 3 个浓度梯度, 结果 0.04% 和 0.05% 两个浓度效果一样, 本着节约原则故选择 0.04% 的柠檬酸溶液进行解冻处理。)将处理好的样品从冰箱中取出, 去掉包装后放入 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 的 0.04% 柠檬酸溶液中解冻, 后续处理同温水解冻。

1.2 主要仪器与设备

TU-1810 紫外可见分光光度计 (北京谱析通用仪器); A626544 糖度计 (日本 ATAGO); 三洋低温恒温培养箱; 天平 (METTLER TOLEDO PL202-L); 高速冷冻离心机 (Sigma 3K15); pH 计, 梅特勒-托利多仪器 (中国) 有限公司; TP-01 型热电偶 (苏州泰世电子有限公司); 低温试验箱 (南京泰斯特试验设备有限公司); 电阻温度计 (台湾路昌电子企业有限公司, 主机 TM-917, 白金电阻探头 TP-100)。

1.3 指标测定

1.3.1 品质指标测定 可溶性固形物含量的测定采用 A626544 糖度计; 解冻时间参照袁春新等^[9]的方法测定; 汁液流失率的测定参照王夷秀等^[10]的方法; 叶绿素含量的测定参照高建晓等^[11]的方法测定。

1.3.2 酶活性和 MDA 含量测定 MDA 含量的测定参照黄宇斐等^[12]的硫代巴比妥酸法测定; LOX 活性参照罗淑芬等^[13]的方法测定。

1.4 数据处理与分析

每个指标 3 次重复。用 Microsoft Excel 作图, 并用 SPSS17.0 软件进行显著性分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

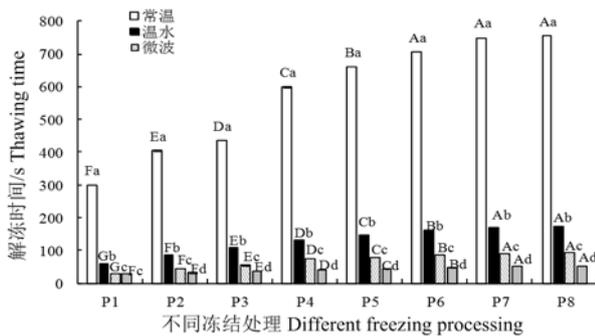
2.1 解冻时间的测定

由图 1 可知, 每个冻结处理中, 除 P1 中微波和柠檬酸 2 种解冻时间无差异 ($P > 0.05$) 外, 4 种解冻方式的解冻时间间存在着显著差异 ($P < 0.05$), 按解冻时间大小, 柠檬酸解 $<$ 微波解冻 $<$ 温水解冻 $<$ 常温解冻, 常温解冻时间最长, 用时是其他解冻方式的 3 倍以上, 柠檬酸和微波 2 种解冻时间比较接近。比较不同冻结方法时间可知, 按 P1—P8 顺序, 冻结和冻藏温度依次降低, 解冻时间呈递增趋势。

2.2 汁液流失率的测定

金针菜解冻后汁液流失率在 4.00% 以下, 流失率最高的是 P5 冻结处理中的温水解冻方式, 流失率为 3.42%, 汁液流失率最低的是 P8 中的微波解冻

方式, 流失率为 0.04% (见图 2)。图 2 中 P1-P4 的贮藏温度为 -20°C , 冷冻温度依次降低过程中, 温水解冻的汁液流失率呈递增趋势, 且差异显著 ($P<0.05$), 其他解冻方式没有明显的规律性, 其中以 P1 中微波解冻的汁液流失率最低 (0.06%)。P5—P8 贮藏温度为 -80°C , 冷冻温度依次降低过程中, 不同的解冻方式中汁液流失率呈递减趋势, 以微波解冻的流失率最低, 且 P6—P8 处理间无显著差异 ($P>0.05$)。每个冷冻处理, 不同解冻方式中的汁液流失率差异都显著 ($P<0.05$), 且以微波解冻的效果最好。



A-H 表示冻结处理间 $P=0.05$ 水平差异性; a-h 表示解冻方式间 $P=0.05$ 水平差异性。下同

Note: A-H indicate significant difference between frozen treatments at the 0.05 level; a-h indicate significant difference between thawing modes at the 0.05 level. The same below

图 1 不同冻结与解冻方式对金针菜解冻时间的影响

Figure 1 Effects of freezing and thawing modes on the time of daylily flowers

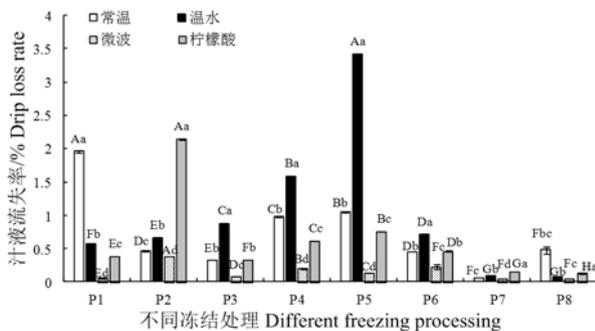


图 2 不同冻结与解冻方法对金针菜汁液流失率的影响

Figure 2 Effects of freezing and thawing modes on the drip loss of daylily flowers

2.3 可溶性固形物含量的测定

由图 3 可知, 同一个冷冻处理, 微波解冻方式的可溶性固形物含量最高, 并与其他解冻方式的可溶性固形物含量呈显著差异 ($P<0.05$)。通过微波对不同冷冻处理进行解冻, 除 P7 和 P8 处理间可溶性固形物含量间差异不明显外, 其他存在显著差异

($P<0.05$), 含量较高的为 P7 和 P8 处理, 其次为 P1; 总体上看, 冻结处理间, 冷冻和冻藏温度越低, 可溶性固形物含量越高。

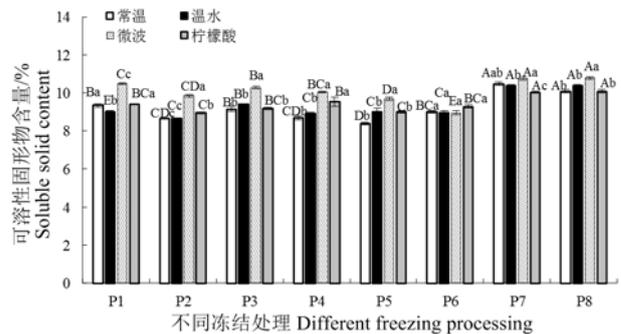


图 3 不同冻结与解冻方法对金针菜可溶性固形物含量的影响

Figure 3 Effects of freezing and thawing modes on the soluble solid contents in daylily flowers

2.4 叶绿素含量的测定

由图 4 可知, P2、P3 和 P4 中常温和温水解冻以及 P1 中微波和柠檬酸解冻处理间叶绿素含量没有显著差异 ($P>0.05$), 其他的冷冻处理中 4 种解冻方式间叶绿素含量差异显著 ($P<0.05$), 其中微波解冻的叶绿素含量在每个冻结处理中叶绿素含量最高。在不同解冻处理中, 按照 P1-P8 顺序, 微波解冻叶绿素含量呈递增趋势, 除 P6 和 P7 外, 其他处理间差异显著 ($P<0.05$)。

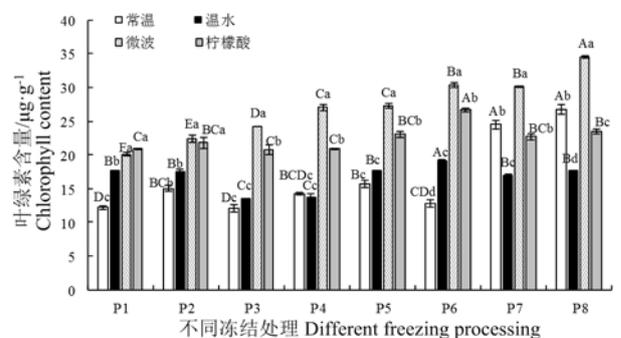


图 4 不同冻结与解冻方法对金针菜叶绿素含量的影响

Figure 4 Effects of freezing and thawing modes on the chlorophyll contents of daylily flowers

2.5 LOX 活性的测定

LOX 作为果蔬膜脂化的关键酶, 其活性变化直接显现果蔬采后膜的完整性程度。图 5 显示, 每个冻结处理中, 微波和柠檬酸解冻方式的 LOX 活性明显低于另 2 种解冻方式, 其中微波解冻的 LOX 活性更低 ($P<0.05$)。冻结处理间, 随着冻结温度的降低, P1-P7 处理的微波解冻 LOX 活性差异不显著 ($P>0.05$), 只有 P8 处理的 LOX 活性明显低于前 5

个处理 ($P < 0.05$), 与 P6 和 P7 的 LOX 活性接近。常温和温水解冻方法的 LOX 活性变化规律性不明显。可见冻结方法对金针菜膜完整性的破坏作用因解冻方式而异。

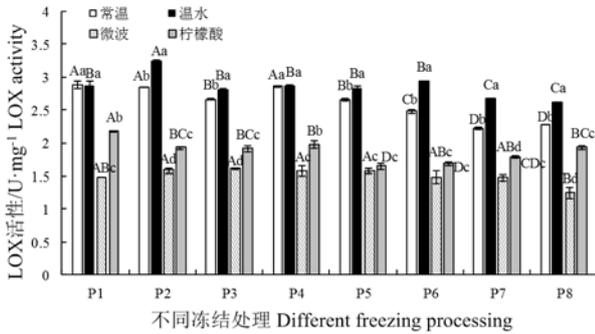


图 5 不同冻结与解冻方法对金针菜 LOX 活性的影响
Figure 5 Effects of freezing and thawing modes on the LOX activities of daylily flowers

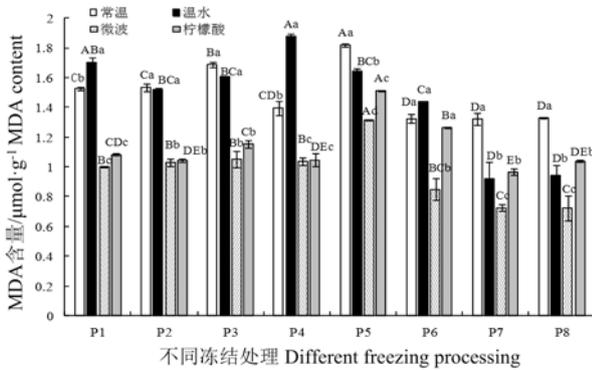


图 6 不同冻结与解冻方法对金针菜 MDA 含量的影响
Figure 6 Effects of freezing and thawing modes on the MDA contents of daylily flowers

2.6 MDA 含量的测定

MDA 是果蔬膜脂过氧化作用的产物, 其含量的高低反映细胞膜脂过氧化程度。由图 6 可知, P1—P4 的贮藏温度为 -20°C , 冷冻温度依次降低过程中, 微波解冻的 MDA 含量间差异不显著 ($P > 0.05$), 4 个冻结处理中, 柠檬酸解冻处理的 MDA 含量与微波解冻的接近, 另 2 个处理的 MDA 含量显著高于微波处理; P5—P8 贮藏温度为 -80°C , 冷冻温度依次降低过程中, 微波解冻的 MDA 含量逐渐降低, 除 P5 外, 其他的明显地低于 P1—P4 的含量。其中 P8 的 MDA 含量最低, 但与 P7 的没有显著差异 ($P > 0.05$), 可见这两种冻结方法结合微波解冻能够有效降低冷冻对膜完整性的破坏程度。

3 讨论与结论

汁液流失率、可溶性固形物和叶绿素含量是评价金针菜品质的重要指标, 3 个指标的高低与解冻

时间和解冻的介质等密切相关。解冻时间越长, 品质越差。柠檬酸解冻是将速冻金针菜与柠檬酸溶液充分接触, 利用柠檬酸溶液与金针菜之间进行热量传递, 随着热量由表面逐渐向里面传递, 金针菜外部先解冻, 然后内部解冻^[14]。微波解冻是依靠物料的介电性, 使速冻金针菜内部和外部同时加热, 从而达到里外同步解冻^[15]。我们在金针菜上的研究结果显示: 每个冻结方法中, 微波解冻汁液流失率低, 叶绿素含量高, 这与刘雪梅等^[4]在速冻草莓的实验结果一致; 可溶性固形物含量高可能是因为速冻对膜结构破坏作用较小导致细胞内容物流失少^[16], 这些都有利于保持金针菜的品质 (图 1—图 3)。冻结处理间金针菜品质与解冻时间没有明显关系, 主要在超低温冷冻和冷藏温度下 (P5—P8), 其品质随着冷冻温度的降低而提高, 在微波解冻方法中尤为明显, 可见速冻结合超低温冷藏有利于延缓金针菜品质的下降。此外, 实验中柠檬酸解冻时间少于微波解冻可能跟材料和解冻介质有关, 具体原因有待下一步更深入的研究。

果蔬冻结速度的快慢对细胞结构有很大影响。冻结速度快, 细胞内外的水分同时形成很多细小且分布均匀的冰晶体, 不会挤压细胞膜和细胞壁, 蔬菜组织结构不会遭到过多破坏, 解冻后仍可恢复最初新鲜的状态^[17]。慢冻会在细胞间隙形成大冰晶对细胞结构造成严重破坏, 且使细胞内没有形成晶体的水分外流, 细胞失水, 严重时导致细胞失活, 解冻后汁液流失严重^[18]。Taira 等^[19]研究冻结速度对柿子质构的影响, 通过显微镜观察发现, 慢速冻结比快速冻结对柿子的细胞结构造成的伤害更严重, 使细胞壁产生很多缺口断片, 同时也使细胞膜结构变得疏松。而细胞膜的降解是果蔬衰老的一个基本特征^[20], 从 LOX 活性和 MDA 含量变化规律可知, 微波解冻方法能够有效地抑制 LOX 活性的升高, 从而抑制膜脂不饱和脂肪酸的降解和饱和脂肪酸含量的上升而引起膜系统完整受损, 且冻结方法对其活性影响很小 (图 5), 可能在低温下 LOX 活性受温度的影响不大。从 MDA 含量变化上进一步验证了这个结果, 且微波解冻方法结合 -60°C 以下的低温冷冻更有利于降低金针菜解冻后的膜完整性的破坏程度。

从以上的分析可知, 微波解冻结合 P7 或 P8 的冻结处理能缩短解冻时间, 减少汁液流失率, 保持较高的可溶性固形物和叶绿素含量, 抑制 MDA 含量和 LOX 活性上升, 是保持速冻金针菜品质和降低冷冻对膜完整性破坏程度的理想方法, 为金针菜

速冻保鲜技术的研究提供参考。

参考文献:

- [1] 杨大伟, 湛奎, 原松梅. 单一香辛料浸提液预处理黄花菜保质效果[J]. 食品科技, 2012, 37(10): 39-42.
- [2] 高俊德, 徐鹏. 食品营养及其计算[M]. 北京: 中国食品出版社, 1987.
- [3] 许国宁, 张卫明, 吴素玲, 等. 不同的贮藏方式对黄花菜品质的影响[J]. 中国野生植物资源, 2012, 31(3): 13-16.
- [4] 刘雪梅, 孟宪军, 李斌, 等. 不同解冻方法对速冻草莓品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 276-281.
- [5] 刘春泉, 卓成龙, 李大婧, 等. 不同冻结与解冻方法对毛豆仁品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(1): 176-180.
- [6] CHENG X F, ZHANG M, ADHIKARI B. Effects of ultrasound-assisted thawing on the quality of edamames [*Glycine max* (L.) Merrill] frozen using different freezing methods[J]. Food Sci Biotechnol, 2014, 23(4): 1095-1102.
- [7] LI T, LEE J, LUO L, et al. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on the quality preservation of *Pleurotus eryngii*[J]. Appl Biol Chem, 2018, 61(3): 257-265.
- [8] 牛红霞. 不同冻结和解冻方式对沙棘果实品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [9] 袁春新, 唐明霞, 王彪, 等. 解冻方法对冷藏部分玻璃态西兰花品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(3): 660-664.
- [10] 王夷秀, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 不同解冻方法对速冻桑葚汁液流失率、理化品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(7): 149-154.
- [11] 高建晓, 古荣鑫, 胡花丽, 等. 不同薄膜包装对黄花菜贮藏品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(2): 255-259.
- [12] 黄宇斐, 乔勇进, 刘晨霞, 等. 减压贮藏对西兰花保鲜效果的研究[J]. 上海农业学报, 2018, 34(2): 109-114.
- [13] 罗淑芬, 马雪梅, 胡花丽, 等. 不同颜色包装袋对核桃仁脂肪酸氧化的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 205-212.
- [14] 李修渠. 食品解冻技术[J]. 食品科技, 2002, 27(2): 27-31.
- [15] 文静, 梁显菊. 食品的冻结及解冻技术研究进展[J]. 肉类研究, 2008(7): 76-80.
- [16] 邵远志, 李雪萍, 李琴, 等. 不同预处理方法对速冻菠萝贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 195-198.
- [17] 罗云波, 蔡同一. 园艺产品贮藏加工学(加工篇) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010.
- [18] LIANG D W, LIN F Y, YANG G M, et al. Advantages of immersion freezing for quality preservation of *Litchi* fruit during frozen storage[J]. LWT - Food Sci Technol, 2015, 60(2): 948-956.
- [19] TAIRA S, ONO M, OTSUKI M. Effects of freezing rate on astringency reduction in persimmon during and after thawing[J]. Postharvest Biol Technol, 1998, 14(3): 317-324.
- [20] 陈莲, 王璐璐, 林河通, 等. 1-MCP 对采后台湾青枣果实膜脂代谢的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(10): 202-210.