

王 远, 刘春菊, 刘春泉, 等. 冻结方式对莲藕片品质及微观结构的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 924-928.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.04.034

冻结方式对莲藕片品质及微观结构的影响

王 远^{1,2}, 刘春菊^{1,2}, 刘春泉^{1,2}, 宋江峰², 李大婧²

(1. 南京农业大学食品科学技术学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为了研究速冻莲藕片冻结方式对其质地和品质的影响, 本研究通过液氮、超低温冰箱和普通冰箱 3 种冻结方式处理, 分析莲藕片质构、自由液滴、维生素 C、色泽和微观结构的变化。结果表明: 液氮和超低温冰箱冻结属部分玻璃态冻结, 普通冰箱冻结为橡胶态冻结。液氮和超低温冰箱冻结的莲藕片细胞结构完整, 细胞排列整齐, 但速冻仍使部分细胞受损; 普通冰箱冻结的莲藕片细胞结构破坏严重, 细胞被压扁变形, 细胞质溶出, 细胞壁降解收缩。超低温冰箱冻结莲藕片品质最佳, 莲藕片质构、自由液滴和维生素 C 损失较少; 液氮冻结莲藕片色泽最佳, 但会出现冻裂现象; 普通冰箱冻结莲藕片汁液流失、品质下降最为严重。表明超低温冰箱冻结是速冻莲藕最佳的冻结方式。

关键词: 冻结方式; 莲藕片; 品质; 微观结构

中图分类号: S645.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2015)04-0924-05

Effect of different freezing methods on the quality and microstructure of lotus root slices

WANG Yuan^{1,2}, LIU Chun-ju^{1,2}, LIU Chun-quan^{1,2}, SONG Jiang-feng², LI Da-jing²

(1. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: To study the effect of freezing methods on texture and quality of lotus root slices, texture profile, free titer, vitamin C, color and microstructure of lotus root slices by liquid nitrogen freezing, ultra-low temperature freezer freezing and general fridge freezing were analyzed. Liquid nitrogen and ultra-low temperature freezer were partial glassy freezing, while the general fridge was rubbery freezing. Frozen lotus root slices by ultra-low temperature freezer showed less losses of texture, free titer and vitamin C. The color of lotus root slices by liquid nitrogen freezing was the best, but frost occurred. The loss of juice and quality declining was the most severe by general fridge freezing. Cells of frozen lotus root slices by liquid nitrogen and ultra-low temperature freezer were structural integrated and lined up, however, some were impacted. Cell structure of lotus root slices by general fridge was damaged seriously; cells were squashed, cytoplasm was dissolved, and cell wall degraded. In conclusion, ultra-low temperature freezer was the best way to cryopreserve lotus root slices.

Key words: freezing method; lotus root slice; quality; microstructure

收稿日期: 2015-01-30

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)4042]

作者简介: 王 远(1989-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事农产品加工与贮藏研究。(E-mail) wangyuan2013@126.com

通讯作者: 刘春泉, (Tel) 13905174027; (E-mail) liuchunquan2009@163.com

莲藕(*Nelumbo nucifera* Gaertn.) 属睡莲科, 其营养价值高, 含碳水化合物、蛋白质、维生素、矿物

质、鞣酸等多种营养元素^[1-2]。生藕性寒,可清热凉血、止血散瘀、生津止渴;熟藕性温,有益气健脾、通便止泻、养血生肌的功效。因此,莲藕集营养和药用价值于一体,是一种药食同源食品,具有独特保健功能^[3]。莲藕在中国种植面积已达到 $5 \times 10^5 \text{ hm}^2$,是中国一种重要而特有的水生蔬菜,也是中国蔬菜出口产量最大的蔬菜品种之一^[4]。目前,以莲藕为原材料加工而成的产品主要是藕汁饮料、藕粉、糖渍藕、盐渍藕及一些经初加工处理的鲜莲藕制品,国内主要以鲜食莲藕、藕粉为主要产品^[5-6],鲜食莲藕占绝大多数,但莲藕季节性强,不易贮藏,容易褐变氧化^[7-8]。莲藕出口产品主要是以糖渍藕、盐渍藕和速冻藕为主,出口量大,其中大部分属盐渍藕,色泽差、风味低,脱盐处理麻烦,因此速冻莲藕出口销售量逐年增加,越来越受消费者欢迎,速冻莲藕不仅营养价值高,且品质佳、卫生好、卖价高^[9]。

对于速冻莲藕来说,冻结方式和冻结速率都影响莲藕的品质。食品快速冻结的目的是尽量保持食品原有的品质,实现食品的部分玻璃态冻结并使其处于部分玻璃态下,能最大限度保持其色、香、味、形及营养成分。冻结过程中产生大冰晶会对食品细胞造成不可逆转的损伤,因此选择合适的冻结方式和速率对食品后期品质至关重要。本研究通过分析液氮、超低温冰箱和普通冰箱 3 种冻结处理后莲藕片各理化指标的变化,探讨不同冻结方式对莲藕片质构、自由滴度、色泽、维生素 C(V_C)和微观结构的影响,旨在为莲藕速冻加工冻结方式的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试莲藕品种 3735,购于江苏省南京市孝陵卫农贸市场。

2,6-二氯酚靛酚、草酸、碳酸氢钠、抗坏血酸、乙醇、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠等为国产分析纯,EM 级戊二醛由 SPI 公司生产。

1.2 主要仪器与设备

BS-224-S 万分之一天平由赛多利斯科学仪器(北京)有限公司生产,DW-86L286 立式超低温保存箱为青岛海尔特种电器有限公司产品,BC/BD-429H 海尔电冰柜为青岛海尔股份有限公司产品,液

氮罐由新乡市新亚低温容器责任有限公司生产,MCT-200 精密温度计由北京市宇时技术开发公司生产,TA.XT Plus 质构仪由英国 Stable Micro System 公司生产,FEI Quanta 200 环境扫描电子显微镜由荷兰 FEI 公司生产,EMITECH K750 临界点干燥仪由英国 Quorum 公司生产,WSC-S 型色差仪由上海精密科学仪器有限公司生产。

1.3 不同冻结方式处理

将预处理的莲藕片分别用液氮、超低温冰箱($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$)和普通冰柜($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$)速冻,待中心温度降至 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$,完全冻结后继续冻结 30 min,再在超低温冰箱($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$)中各放 1 d, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 自然解冻后,测定各指标。

1.4 测定方法

1.4.1 质构 取解冻后莲藕 6~10 片,于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下解冻后用 TA.XT Plus 质构仪测定,探头为 P/5N 平底圆柱型探头,操作模式为 TPA 模式,测前速度 2 mm/s ,测试速度 0.5 mm/s ,下压距离 4 mm ,测后速度 2 mm/s ,记录硬度、脆度和咀嚼度,每个样品重复测定 6 次,取平均值。

1.4.2 自由滴度 采用解冻自由滴度法^[10]测定。取 40~50 g 速冻莲藕片,称质量后立即放入铺有滤纸的培养皿内,加盖后放入 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中解冻后取出。用滤纸拭去莲藕片表面汁液再称质量,计算减少的质量占原有质量的百分比,即为自由滴度的值^[11]。

自由滴度($\%$) = (样品原质量 - 解冻后质量) / 样品原质量 $\times 100\%$ (1)

1.4.3 V_C 含量 采用 2,6-二氯酚靛法^[12]测定。称取 10 g $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 解冻的莲藕放在研钵中加入 2% 草酸溶液研磨成浆,定容至 100 ml,摇匀,提取 1 h,7 500 r/min 离心 30 min,取 10 ml 上清液用已标定的 2,6-二氯酚靛酚溶液滴定至粉红色,30 s 内不褪色为终点,记下染料的用量,每个样品平行测定 3 次,取平均值,计算 V_C 含量。

$$W = [(V_1 - V_0) \times A \times V] / (m \times X) \quad (2)$$

式中: W 为样品中抗坏血酸含量(mg/g); V_0 为空白滴定所用染料量(ml); V_1 为样品滴定所用染料量(ml); m 为取样量(g); X 为样品滴定吸取溶液体积(ml); V 为样品溶液定容后的总体积(ml); A 为 1 ml 染料溶液相当于抗坏血酸的毫克数。

1.4.4 色泽 取 $5\text{ g } 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 解冻后的莲藕打碎,采用 WSC-S 型色差仪测定莲藕 L^* 、 a^* 和 b^* 值。CIE(国

际标准照明委员会)表色系中的 L^* 为明度,反映样品的亮度和白度; a^* 反映样品红绿度,正数代表红色,负数代表绿色; b^* 反映样品黄蓝度,正数代表黄色,负数代表蓝色。

1.4.5 微观结构 取解冻莲藕片切成 4 mm^3 大小的组织块,用 2.5% 戊二醛 (0.2 mol/L 磷酸缓冲液, pH 7.2) $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下固定 24 h,再用体积分数为 20% ~ 100% 乙醇梯度脱水,临界点干燥,离子溅射喷金,扫描电镜观察,以未经冻结的莲藕鲜样为对照,每个样品平行测定 3 次。

1.5 数据分析

利用 SAS 软件进行单因素方差分析及 Duncan 氏多重比较法检验组间差异。

2 结果与分析

2.1 冻结速率与莲藕片冻结状态

采用液氮、 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 普通冰箱 3 种冻结方式进行对比试验,莲藕片厚度 $4\sim 6\text{ mm}$ 、直径 $6\sim 7\text{ cm}$,在 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中莲藕片通过最大冰晶生成区的平均冻结速率大约为 $2.04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 普通冰箱中莲藕片通过最大冰晶生成区的平均冻结速率大约为 $0.61\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。液氮 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为超速冻结^[13],超低温冰箱终温为 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此经液氮和超低温冰箱冻结后莲藕片处于部分玻璃态,可以认为液氮和超低温冰箱冻结是部分玻璃态冻结,普通冰箱冻结为橡胶态冻结。

2.2 不同冻结方式对莲藕片质构的影响

由图 1 可以看出,不同冻结方式对莲藕片质构有不同程度的影响,其中液氮和超低温冰箱冻结的莲藕片脆度、硬度和咀嚼度下降率分别为 15%、10% 和 10% 左右,两者差异不显著 ($P>0.05$),而经普通冰箱冻结的莲藕片脆度、硬度和咀嚼度的下降率是液氮和超低温冰箱的 2 倍左右,说明部分玻璃态冻结在很大程度上保持了莲藕片原有的质构特性。冻结过程造成质构下降的主要原因是快速降温体积不均匀收缩,细胞水分外渗引起脱水损伤,以及水结成冰体积膨胀对细胞造成机械损伤。莲藕片水分含量高、质地脆嫩,液氮和超低温冰箱快速冻结有利于形成大量均匀、细小的冰晶,水快速结成冰,细胞水分不外渗,内外渗透压差小,对细胞造成的损伤小,所以对莲藕片质构破坏较小,但液氮超快速冻结

使莲藕片产生内外温差,形成大量冰晶,体积急剧膨胀,使部分莲藕片产生冻裂现象^[11,14]。

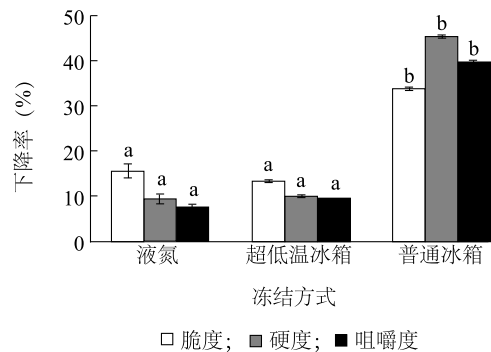


图1 冻结方式对莲藕片质构的影响

Fig. 1 Effects of different freezing methods on textures of lotus root slices

2.3 不同冻结方式对莲藕片自由滴度的影响

自由滴度反映了样品的持水能力,自由滴度越大,样品的持水能力越差。由图 2 可以看出,冻结速率快有利于保持莲藕片的持水能力,防止解冻后的汁液过度流失。但液氮超速冻结后莲藕片被冻裂,细胞被挤压损伤,水分外渗、汁液易流失,因此其自由滴度高于超低温冰箱冻结的莲藕片。

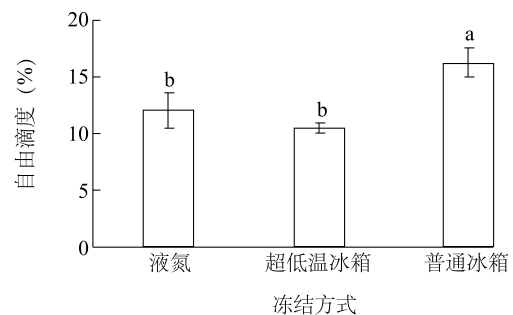


图2 冻结方式对莲藕片自由滴度的影响

Fig. 2 Effects of different freezing methods on free titer of lotus root slices

2.4 不同冻结方式对莲藕片 V_C 含量的影响

如图 3 所示,经液氮和 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱冻结, V_C 损失 10% 左右, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 普通冰箱冻结的 V_C 损失 20%。 V_C 是果蔬加工中最易被破坏的维生素,尽管莲藕片处于低温下,仍有氧气和部分酶活性存在,致使 V_C 可能被部分氧化损失^[15]。冰晶分布与液态水

分布影响解冻时细胞吸收水分的能力,冰晶细小对细胞壁的损伤程度就小,解冻时冰晶融化的水分就能迅速被细胞吸收而不发生汁液流失,从而减少 V_c 损失,达到果蔬品质的可逆性^[16]。液氮和 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱冻结的莲藕片冰晶分布均匀、细小,对细胞的损伤小,因此 V_c 损失相对较小,但液氮超速冻结使莲藕片产生断裂,故 V_c 损失较 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱冻结大,但差异不显著。普通冰箱的冻结速度慢,晶核缓慢形成,使得生成的冰晶大小和分布不均匀,细胞破坏程度大,解冻时汁液流失严重, V_c 损失相对较大^[16]。

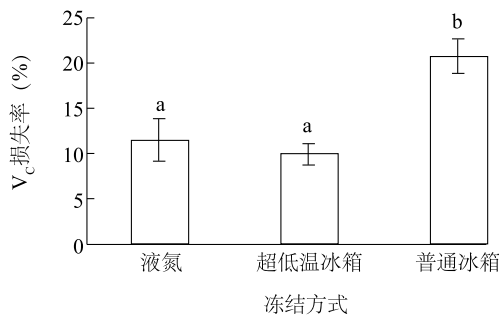


图3 冻结方式对莲藕片 V_c 含量的影响

Fig. 3 Effects of different freezing methods on V_c content of lotus root slices

2.5 不同冻结方式对莲藕片色泽的影响

冻结方式对莲藕片色泽的影响如图4所示,经冻结后,莲藕片 L^* 基本不受影响;冻结速率越慢,莲藕片 a^* 越大,颜色发红,不同冻结方式对 a^* 影响差异显著 ($P<0.05$); b^* 随冻结速率的减小而变大,莲藕片颜色发黄,特别在冻结速率较慢时明显变黄。从整体色泽看,液氮和 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱冻结后莲藕片颜色基本保持不变, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 普通冰箱冻结的莲藕片颜色暗黄。

2.6 不同冻结方式对莲藕片微观结构的影响

利用扫描电子显微镜观察不同冻结方式对莲藕片微观结构的影响,结果如图5所示。可以看出莲藕片鲜样的细胞壁和细胞结构完整,细胞质饱满,但组织切口处细胞壁断裂,细胞膜受损,部分与细胞壁分离,可能是样品前处理对莲藕样品组织造成的影响。液氮和超低温冰箱冻结的莲藕片细胞结构完整,细胞排列整齐,但速冻仍使细胞膜受损,细胞间隙改变,胞内汁液部分流失^[17]。普通冰箱冻结莲藕

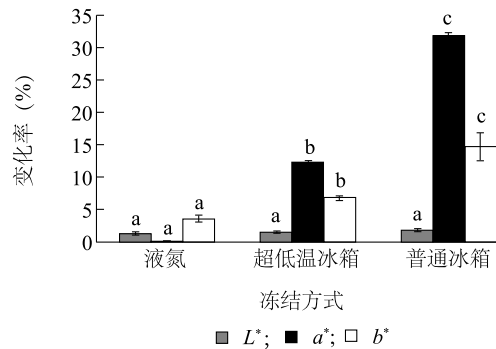


图4 冻结方式对莲藕片色泽的影响

Fig. 4 Effects of different freezing methods on color of lotus root slices

片细胞结构破坏严重,细胞被压扁变形,细胞质溶出,细胞壁降解收缩。主要原因是冻结速率较慢,莲藕片中心与表面温差小,冰晶首先在细胞组织外产生,细胞组织内部的水分仍以液相形式存在,在压差作用下,细胞组织内部水分外渗,使大部分水冻结于细胞间隙,形成分布不均匀的大冰晶,大冰晶对细胞壁形成挤压,使细胞变形压扁破裂,细胞质溶出,导致组织结构明显损伤。细胞壁和组织结构完整性对果蔬的质地起主导作用^[18]。综上所述冻结过程对莲藕片的质地影响最大,冻结速率较慢时,细胞结构和细胞壁受损严重,细胞质溶出导致质地下降,营养成分流失。

3 结论

比较3种不同冻结方式对莲藕片质构、自由滴度、 V_c 、色泽和微观结构的影响,发现冻结速率越快对莲藕片的品质影响越小,特别是对质构、色泽的影响,液氮和超低温冰箱冻结属于部分玻璃态冻结,与普通冰箱相比有明显的优势,超低温冰箱冻结后莲藕片的质构、自由滴度、 V_c 保持最好,液氮速冻的莲藕片色泽最佳,但液氮的超快速冻结使莲藕片产生冻裂现象,普通冰箱冻结后的莲藕片汁液流失最为严重,色泽下降最大。

液氮和超低温冰箱冻结的莲藕片细胞结构完整,细胞排列整齐;普通冰箱冻结莲藕片细胞结构破坏严重,细胞被压扁变形,细胞质溶出,细胞壁降解收缩。冻结速率较慢会导致细胞结构和细胞壁严重受损,细胞质溶出,质地下降,营养成分流失,因此冻结过程对莲藕片的质地影响较大。

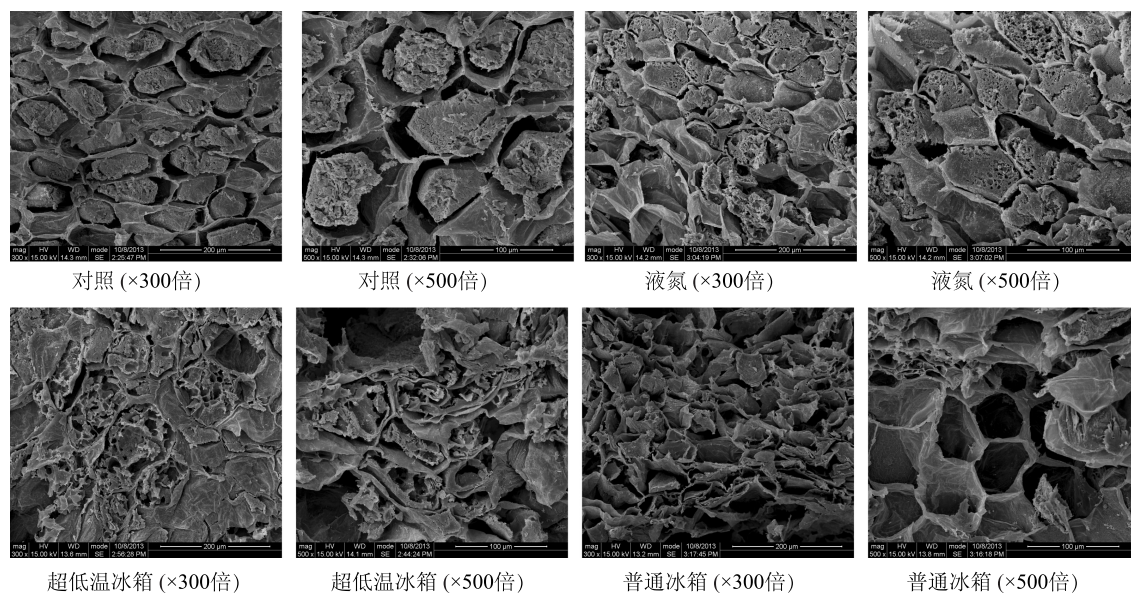


图5 冻结方式对莲藕片微观结构的影响

Fig. 5 Effects of different freezing methods on microstructure of lotus root slices

参考文献:

- [1] 张长贵,董加宝,王桢旭,等. 莲藕的营养保健功能及其开发利用[J]. 中国食物与营养, 2006(1): 22-24.
- [2] 王毓宁,李鹏霞,胡花丽,等. 风味莲藕泡菜的加工工艺[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 279-283.
- [3] 张福平,陈蔚辉,黄泽虹,等. 莲藕的营养保健功能[J]. 中国果菜, 2002(6): 42.
- [4] 夏文水,姜启兴,张家骊. 莲藕方便食品加工技术的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(1): 139-142.
- [5] 朱定和,夏文水. 莲藕食品的加工现状与发展[J]. 食品工业科技, 2002, 23(8): 99-100.
- [6] 陈胜阳,陈和平. 藕制品的种类及其加工工艺[J]. 江苏农业科学, 2004(2): 87-88.
- [7] DU J, FU Y, WANG N. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on browning of fresh-cut lotus root[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(2): 654-659.
- [8] XING Y, LI X, XU Q, et al. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth.) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 684-689.
- [9] 何国庆,刘翔. 我国速冻蔬菜发展现状与研究方向[J]. 保鲜与加工, 2004, 4(4): 1-2.
- [10] 沈月新. 食品冷冻工艺学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 1995: 23-25.
- [11] 袁春新,唐明霞,王彪,等. 预处理和部分玻璃态冻结对西兰花品质影响的实验研究[J]. 新农村, 2010(5): 18-22.
- [12] G B T 6195-86 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法(2, 6-二氯酚酚滴定法)[S].
- [13] 谢晶. 食品冷藏链技术与装置[M]. 北京:机械工业出版社, 2010: 156.
- [14] 张素文. 玻璃态下冻结、冻藏及其后续解冻对西兰花品质的影响研究[D]. 无锡:江南大学, 2007.
- [15] 黄文书,徐芹,常雪花,等. 哈密瓜冻结规律及其品质变化的研究[J]. 食品科技, 2010(9): 52-54.
- [16] 朱萍,邹永生,张丽英,等. 不同冻结方式对速冻金耳品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(4): 98-101.
- [17] 晏绍庆,彭海柱. 预处理和速冻贮藏对马铃薯片质构特性的影响[J]. 上海理工大学学报, 2000, 22(3): 202-206.
- [18] NUNES C, SANTOS C, PINTO G, et al. Effect of candying on microstructure and texture of plums (*Prunus domestica* L.) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1776-1783.

(责任编辑:陈海霞)