

刘春菊,王海鸥,牛丽影,等. 不同种类糖对冷冻黄桃丁冻结曲线和热特性的影响[J].江苏农业学报,2017,33(5):1136-1142.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2017.05.027

## 不同种类糖对冷冻黄桃丁冻结曲线和热特性的影响

刘春菊<sup>1,2</sup>, 王海鸥<sup>3</sup>, 牛丽影<sup>1,2</sup>, 张钟元<sup>1,2</sup>, 江宁<sup>1,2</sup>, 李大婧<sup>1,2</sup>, 崔莉<sup>1,2</sup>, 刘春泉<sup>1,2</sup>

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所,江苏 南京 210014; 2.国家蔬菜加工技术研发专业分中心,江苏 南京 210014; 3.南京晓庄学院食品科学学院,江苏 南京 211171)

**摘要:** 为了研究不同浓度的单糖、二糖和多糖对黄桃丁冻结曲线及热力学特性的影响,采用差示扫描量热法,分析黄桃丁冻结特性、部分玻璃化转变温度( $T_g'$ )、冻结相变及熔融相变热特性的变化。研究发现,添加糖对黄桃丁冻结特性和热力学特性影响较大,随着糖添加量的增加,黄桃丁冰晶成核温度下降,成核时间和最大冰晶区通过时间逐渐延长,而黄桃丁的 $T_g'$ 逐渐增加,麦芽糊精处理对黄桃丁的 $T_g'$ 的增加幅度最大,葡萄糖处理的黄桃丁的 $T_g'$ 增加幅度最小,但黄桃丁的 $T_g'$ 并未随着糖浓度增加而呈倍数的增加;随着糖浓度的提高,黄桃丁冻结相变温度和熔融相变温度均逐渐向低温方向移动,冻结相变焓值和熔融相变焓值逐渐降低,熔融峰变小。本试验结果为冷冻黄桃丁预处理糖种类选择及加工品质控制提供技术和理论指导。

**关键词:** 黄桃; 糖类; 冻结曲线; 热特性

**中图分类号:** S662.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2017)05-1136-07

## Effects of different kinds of sugar on the freezing curve and thermal characteristics of frozen yellow peach

LIU Chun-ju<sup>1,2</sup>, WANG Hai-ou<sup>3</sup>, NIU Li-ying<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhong-yuan<sup>1,2</sup>, JIANG Ning<sup>1,2</sup>, LI Da-jing<sup>1,2</sup>, CUI Li<sup>1,2</sup>, LIU Chun-quan<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. National Vegetable Processing Technology R&D Sub-centers, Nanjing 210014, China; 3. College of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of different kinds of sugars on the freezing curve and thermal characteristics of yellow peach, the yellow peach was treated respectively with monosaccharides, disaccharides and polysaccharides, then was tested by differential scanning calorimetry to analyze the freezing characteristics, the partial glass transition temperature ( $T_g'$ ), the thermal characteristics on freezing phase transition and melting phase transition. The results showed that the addition of sugar had a significant effect on the freeze characteristics and thermal properties of the yellow peach. With the increase of the sugar content, the nucleation temperature decreased gradually, and the nucleation time and the maximum ice crystal zone time gradually extended, and the  $T_g'$  increased gradually. The yellow peach impregnated by maltodextrin and glucose caused the largest increase in  $T_g'$

and the smallest increase, respectively. However, the  $T_g'$  of yellow peach didn't show multiple increase with the increase of sugar concentration. With the increase of sugar concentration, the temperature of the freezing phase transition and melting phase transition of yellow peach were gradually shifted downward, and the freezing phase transition enthalpy and the melting phase transition enthalpy

收稿日期:2017-04-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201503142);江苏省现代农业研究开发示范类项目(BE2016363)

作者简介:刘春菊(1979-),女,辽宁鞍山人,硕士,副研究员,主要从事果蔬加工与质量控制研究。(Tel)025-84391570;(E-mail)cjliu0306@163.com

通讯作者:李大婧,(Tel)025-84391255;(E-mail)lidajing@163.com

gradually decreased, and the melting peak became smaller. The results of this experiment can provide technical and theoretical guidance for the quality control of processing on frozen yellow peach.

**Key words:** yellow peach; carbohydrate; freezing curve; thermal characteristics

黄桃色泽金黄,肉质细腻,酸甜适口,富含胡萝卜素、核黄素、尼克酸、钙、铁等多种维生素和营养素<sup>[1]</sup>,是桃果实的一个特殊类别。中国黄桃大多经过冷冻加工后出口到国外,作为罐头、果汁、果酱等加工产品的冷冻原料<sup>[2]</sup>。冻结成为影响黄桃加工产品品质的一个重要工序,提高冻结黄桃品质的问题亟待解决。

冻结食品的产品品质与冻结过程的热传递密切相关,研究热特性可为冷冻过程品质控制及设备设计提供理论依据<sup>[3]</sup>。但黄桃的水分含量较高,玻璃化转变温度较低,增加冷冻过程能耗,影响产品品质,目前研究者多采用加工冷冻前预处理来改变食品的冻结特性和热特性,进而提高冻结产品品质。邵颖等<sup>[4]</sup>研究发现添加食盐可使鲈鱼冰点下降,肌球蛋白变性温度向低温方向移动,峰高逐渐降低,变性热焓下降,肌动蛋白峰消失;刘欣等<sup>[5]</sup>发现添加海藻糖、乳酸钠使鳙鱼鱼糜具有较高的凝胶能力,抑制了表面疏水性的产生,肌球蛋白更加稳定,表现出较好的冻藏稳定性;钱旻等<sup>[6]</sup>发现添加氯化钠使莲藕片的冰点下降,融程变宽,相变潜热较小,玻璃化转变温度提高,改善了冷冻莲藕片的质构和色泽。本研究以黄桃丁为研究对象,冻结前分别添加单糖、二糖和多糖,研究不同种类的糖对黄桃丁冻结曲线的改变,及对部分玻璃化转变温度、冻结相变和熔融相变的影响,旨在为提高冷冻黄桃产品品质提供一定的技术和理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

黄桃品种为金童8号,于2014年7月采自江苏省农业科学院国家果蔬种质桃资源圃。葡萄糖、蔗糖、麦芽糊精均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

DSC 8000 差示扫描量热仪(美国 Perkin-Elmer 公司生产),该设备温度校正采用钢的熔融转变温度(156.60℃)和环癸烷的熔融转变温度(-29.66℃),进行两点标定,热流校正采用钢的熔融焓(28.45 J/g),冷却方式为机械制冷,样品冲洗气体

为高纯度氦气(纯度>99.999%)。样品皿为 PE 标准铝皿(美国 Perkin-Elmer 公司生产),样品量为 3~10 mg,精确到 0.01 mg。BT125D 型电子分析天平(北京赛多利斯科学仪器公司生产)。MCT-200 型低温温度计(成都明萱电子科技有限公司生产)。

### 1.3 黄桃丁真空浸渍

新鲜黄桃洗净后沥干水分,用去皮器削掉外皮,切成1 cm×1 cm×1 cm 的黄桃丁,称取 100 g 黄桃丁,沸水中烫漂 40 s,按料液比1:1(质量比)分别加入 5%、10%、15%浓度的单糖(葡萄糖)、二糖(蔗糖)和多糖(麦芽糊精)溶液,真空浸渍 30 min 后取出,黄桃丁沥干后置于(4±1)℃冰箱中贮藏待测。

### 1.4 试验方法

1.4.1 黄桃丁冻结曲线绘制 将低温温度计的探针插入黄桃丁的中心位置,然后将黄桃丁放置于-35℃冰箱中冷冻,低温温度计每 5 s 记录 1 次温度,待样品中心温度降到-20℃时停止测定,绘制各样品的冻结曲线。

1.4.2 黄桃丁部分玻璃化转变温度( $T_g'$ )测定 利用 DSC 8000 差示扫描量热仪对糖渍黄桃丁进行测定,样品量为 3~10 mg,精确到±0.01 mg。本试验测量的温度范围为-65~50℃,设置的温度程序为:初温 25℃恒温 2 min,以 20℃/min降至-65℃,恒温 5 min;以 10℃/min升温至 15℃,恒温 2 min;再以 10℃/min降至-20℃,恒温 30 min;以 5℃/min降至-65℃,恒温 2 min;以 3℃/min升至 50℃。

1.4.3 黄桃丁相变区热特性参数测定 利用 DSC 8000 差示扫描量热仪对糖渍黄桃丁进行扫描,样品量为 3~10 mg,精确到±0.01 mg。本试验测量的温度范围为-60~25℃,设置的温度程序为:初温以 25℃恒温 2 min,以 20℃/min降至-60℃,再恒温 2 min;以 10℃/min升温至-20℃;于-20℃恒温 30 min;再以 10℃/min降至-60℃,恒温 2 min;由-60℃升至 25℃,升温速率为 2℃/min。

根据相图理论,在固-液相变过程中,当固体达到最低共熔点时,固体即开始融解成饱和溶液,然后冰开始融化成水,体现在 DSC 曲线上就是曲线从较低的温度就开始缓慢上升偏离基线。由于 Onset 温

度是吸热峰的最大斜率与基线相交的温度,所以 Onset 温度事实上并非起始融解温度,因为所有水溶液的起始融解温度均为其最低共熔点,但在最低共熔点附近,黄桃丁样品并未大量吸热,只有在 Onset 温度之后才开始大量吸热,因此把 Onset 温度作为熔融起始温度<sup>[7]</sup>。同样,熔融结束温度为 End 温度。熔融相变前后吸热峰的最大斜率和基线与吸热峰所围成的面积与样品质量之比即为试样的相变焓值( $\Delta H$ )<sup>[8-9]</sup>。黄桃丁冻结相变起始温度、终止温度及相变焓值采用与熔融相变相同的计算方法。

### 1.5 数据分析

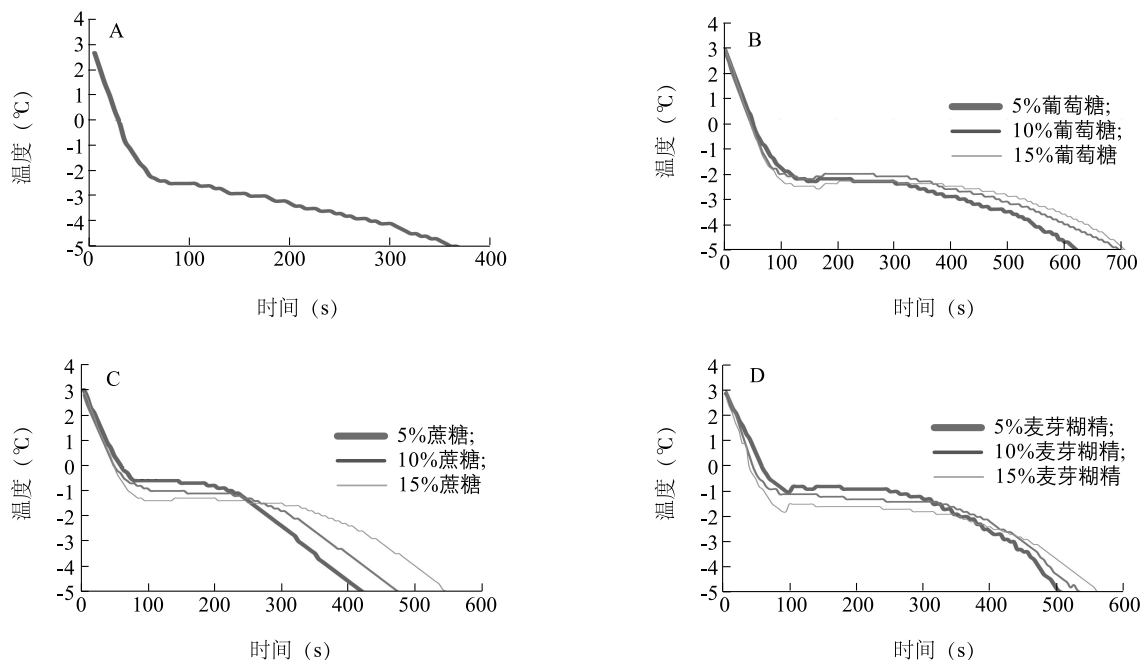
所有的热流信号都从 DSC 曲线上读出,数据分析采用热分析软件 Proteus 和 Microsoft Excel。

## 2 结果与分析

### 2.1 单糖、二糖、多糖对黄桃丁冷冻成核特性的影响

单糖、二糖和多糖浸渍黄桃丁冻结曲线如图 1 所示,可以看出各条曲线均有明显的冻结三阶段,符合典型的冻结曲线特点。从未浸渍黄桃丁冻结曲线(图 1A)可以看出,未浸渍黄桃丁冰晶成核温度为 $-2.5^{\circ}\text{C}$ ,冻结第二阶段比较短,迅速进入第三阶段,黄桃丁的中心温度直线下降,未浸渍黄桃丁通过最大冰晶生

成区时间为 320 s;从葡萄糖浸渍黄桃丁冻结曲线(图 1B)可以看出,3 条曲线都出现了过冷点,随着葡萄糖浓度增加冰晶成核温度逐渐下降,从糖浓度 5% 时成核温度为 $-2.2^{\circ}\text{C}$ 至糖浓度 15% 时的 $-2.6^{\circ}\text{C}$ ,成核时间逐渐延长,随着葡萄糖浓度的增加最大冰晶生成区通过时间逐渐延长,从糖浓度 5% 时的 350 s 增加至糖浓度 15% 时的 435 s;从蔗糖浸渍黄桃丁冻结曲线(图 1C)可以看出,随着蔗糖浓度的升高,冰晶成核温度明显下降,从糖浓度 5% 时的 $-0.6^{\circ}\text{C}$ 下降至糖浓度 15% 时的 $-1.4^{\circ}\text{C}$ ,且曲线随着蔗糖浓度增加依次向前延伸,最大冰晶生成区通过时间也逐渐增加,从糖浓度 5% 时的 365 s 增加至糖浓度 15% 时的 450 s;从麦芽糊精浸渍黄桃丁冻结曲线(图 1D)可以看出,随着麦芽糊精浓度的增加冰晶成核温度逐渐降低,从糖浓度 5% 时成核温度为 $-0.8^{\circ}\text{C}$ 至糖浓度 15% 时的 $-1.8^{\circ}\text{C}$ ,成核时间逐渐延长,随着麦芽糊精浓度的增加最大冰晶生成区通过时间逐渐延长,从糖浓度 5% 时的 410 s 增加至糖浓度 15% 时的 495 s。这种现象可能与糖溶液的凝固点随浓度增大而降低有关,如当蔗糖溶液浓度为 5% 时,其凝固点为 $-2^{\circ}\text{C}$ ,但当浓度升高到 10% 时,凝固点降低到了 $-4^{\circ}\text{C}$ <sup>[10]</sup>,随着糖浓度的增加浸渍物料通过最大冰晶生成区将需要更长的时间。



A: 未浸渍; B: 葡萄糖; C: 蔗糖; D: 麦芽糊精。

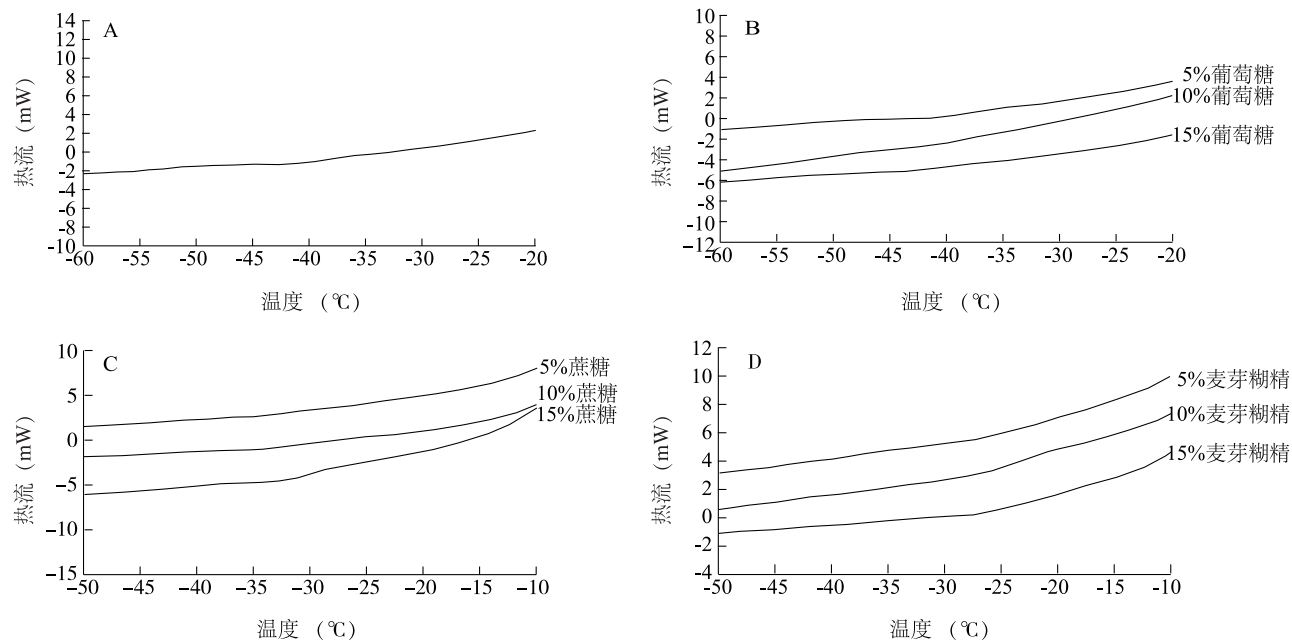
图 1 单糖、二糖和多糖浸渍黄桃丁冻结特性

Fig.1 Effect of different kinds of sugar on the freezing curve of yellow peach

## 2.2 单糖、二糖、多糖对黄桃丁部分玻璃化转变温度的影响

食品的物理化学变化是受其体系中分子流动性的大小控制。在冻结过程中食品体系随着温度的下降,其无定形区会在某一温度下由橡胶态转变为玻璃态,在解冻过程中随着温度的上升,又发生由玻璃态向橡胶态的转变,该温度即为玻璃化转变温度( $T_g$ )<sup>[11]</sup>。当体系温度等于 $T_g$ 时,一切受扩散控制的松弛过程将极大地被抑制,此时分子的运动能量很低,分子链处于“冻结”状态,只有较小的运动单元才能运动,其体系黏度很高,使整个分子扩散速率变得很小,导致一切化学反应和受扩散控制食品品质劣变速率变得十分缓慢,甚至停止,因此食品体系相对稳定,不易发生劣变,可以长久保存<sup>[12]</sup>。因此测定 $T_g$ 是控制食品质量和稳定性的一个关键点。根据玻璃化转变理论,对于高水分食品降温速率不可能达到很高,一般不能实现完全玻璃化,而是最佳冻结浓缩溶液发生玻璃化转变时的温度<sup>[13]</sup>,称为部分玻璃化转变温度( $T_g'$ )。

单糖、二糖和多糖浸渍黄桃丁 $T_g'$ 变化如图2



A: 未浸渍; B: 葡萄糖; C: 蔗糖; D: 麦芽糊精。

图2 单糖、二糖和多糖浸渍黄桃丁 $T_g'$ 的变化

Fig.2 Effect of different kinds of sugar on  $T_g'$  of yellow peach

## 2.3 单糖、二糖、多糖对黄桃丁部分玻璃化转变温度增加量的影响

由图3可以看出经过浓度5%、10%、15%葡萄

糖浸渍黄桃丁的 $T_g'$ 仅增加了0.64 °C、1.38 °C和2.29 °C,经过浓度5%、10%、15%蔗糖浸渍黄桃丁的 $T_g'$ 增加了6.10 °C、6.39 °C和8.54 °C,经过浓度

糖浸渍黄桃丁的 $T_g'$ 仅增加了0.64 °C、1.38 °C和2.29 °C,经过浓度5%、10%、15%蔗糖浸渍黄桃丁的 $T_g'$ 增加了6.10 °C、6.39 °C和8.54 °C,经过浓度



5%、10%、15% 麦芽糊精浸渍黄桃丁的  $T_g'$  增加了 14.72 °C、15.53 °C 和 16.86 °C。这是由于单糖、二糖和多糖的  $T_g'$  存在差异,糖的  $T_g'$  主要受其相对分子质量大小和聚合度影响,低分子量的单糖和二糖的  $T_g'$  较低,多糖的分子量较大,分子间氢键越多,分子链间缠绕越紧密,分子间运动越困难,  $T_g'$  越高<sup>[15]</sup>。对于葡萄糖、蔗糖和麦芽糊精 3 种糖的  $T_g'$  大小为葡萄糖<蔗糖<麦芽糊精<sup>[16-17]</sup>,因此经过麦芽糊精浸渍后黄桃丁的上升幅度最大,葡萄糖上升幅度最小。每增加 5% 浓度葡萄糖黄桃丁的  $T_g'$  分别增加了 0.64 °C、0.74 °C、0.91 °C,每增加 5% 浓度蔗糖黄桃丁的  $T_g'$  分别增加了 6.10 °C、0.29 °C、2.15 °C,每增加 5% 浓度麦芽糊精黄桃丁的  $T_g'$  分别增加了 14.72 °C、0.81 °C、1.33 °C,可以发现随着蔗糖和麦芽糊精浓度的增加,黄桃丁  $T_g'$  并未呈倍数增加,这与钱旻等<sup>[6]</sup>的研究结果一致。

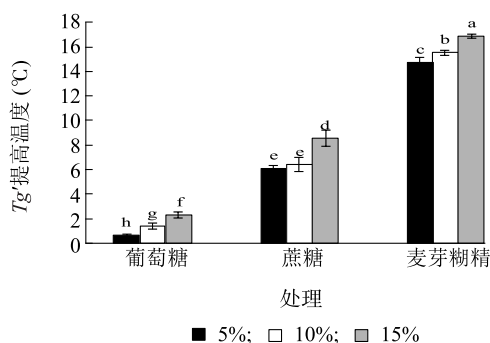


图3 单糖、二糖和多糖浸渍黄桃丁  $T_g'$  增加量的变化

Fig.3 Effect of different kinds of sugar on the increase of  $T_g'$  of yellow peach

#### 2.4 单糖、二糖、多糖对黄桃丁冻结相变热特性的影响

冻结相变过程是冰的结晶过程,为放热过程<sup>[18]</sup>。由表 1 可知,未添加糖时,黄桃丁的冻结温区为-16.78~-25.38 °C,冻结相变焓为187.99 J/g。单糖(葡萄糖)组,添加5%~15%葡萄糖后,黄桃丁的冻结相变温区从-18.27~-25.98 °C降低到了-22.79~-29.77 °C,起始温度由-18.27 °C下降到了-22.79 °C,结晶放出的相变焓从140.81 J/g下降到了116.43 J/g;二糖(蔗糖)组,添加5%~15%蔗糖后,黄桃丁的冻结相变温区从-18.31~-26.13 °C降低到了-20.12~-26.85 °C,起始温度由-18.31 °C下降到了-20.12 °C,结晶放出的相变焓从130.90

J/g下降到了123.84 J/g,又升高到了136.98 J/g;多糖组,添加5%~15%麦芽糊精后,黄桃丁的冻结相变温区从-17.41~-23.72 °C降低到了-18.57~-25.98 °C,起始温度由-17.41 °C下降到了-18.57 °C,结晶放出的相变焓从170.38 J/g下降到了124.41 J/g,又升高到了126.19 J/g。可以看出随着糖含量的增加,黄桃丁的冻结相变温区向低温方向移动,焓变逐渐降低,这是由于黄桃丁经过糖浸渍后,可溶性固形物含量增加,水分含量减小,使可冻结水含量降低,相变潜热随之减少<sup>[19-20]</sup>,另一方面添加糖后,改变了黄桃丁中水的结合状态,组织中的自由水在氢键作用过程中转化为结合水,使可熔融的自由水含量减少,相变潜热随之降低,导致冻结相变温区随糖含量的增加向低温区偏移<sup>[21]</sup>。而二糖组和多糖组中出现了相变焓先下降后升高的现象,这与甘承露研究发现随着蔗糖添加量的增加,脆肉鲩肌肉冻结相变焓先下降后上升的现象一致<sup>[3]</sup>。

#### 2.5 单糖、二糖、多糖对黄桃丁熔融相变热特性的影响

熔融相变过程是一个吸热的过程,并不是冻结的逆过程,吸热过程中热流通过外面先融化的液体层传递到组织内部的冻结层,熔融过程热控制要比冻结过程更困难<sup>[21]</sup>。由表 2 可知,未添加糖时,黄桃丁的熔融相变温区为-1.30~9.52 °C,熔融相变焓为213.85 J/g。单糖(葡萄糖)组,添加5%~15%葡萄糖后,黄桃丁的熔融相变温区从-3.11~8.68 °C降低到了-8.26~3.76 °C,起始温度由-3.11 °C下降到了-8.26 °C,吸收的相变焓从208.24 J/g下降到了158.19 J/g;二糖(蔗糖)组,添加5%~15%蔗糖后,黄桃丁的熔融相变温区从-1.83~9.18 °C降低到了-3.62~8.23 °C,起始温度由-1.83 °C下降到了-3.62 °C,吸收的相变焓从208.37 J/g下降到了178.69 J/g;多糖组(麦芽糊精),添加5%~15%麦芽糊精后,黄桃丁的熔融相变温区从-1.62~12.70 °C降低到了-3.51~8.64 °C,起始温度由-1.62 °C下降到了-3.51 °C,吸收的相变焓从193.80 J/g下降到了136.16 J/g。可以看出随着糖浓度的增加,黄桃丁熔融相变温区逐渐向低温区移动,熔融峰变小,吸热相变焓值降低,这是因为糖改变了细胞组分比例,糖分子替代了一部分水分子,可熔融水分减少,冰点下降,熔融相变焓减小<sup>[22]</sup>。相同糖浓度,添加麦芽糊精黄桃丁的熔融相变焓小于葡萄糖和蔗

糖,这可能是由于麦芽糊精的分子量大,促使样品分子量增大,从而影响了黄桃丁的热特性<sup>[23]</sup>。

表1 糖类对黄桃丁冻结相变热特性的影响

Table 1 Effect of different kinds of sugar on thermal characteristics of freezing phase transition of yellow peach

糖类	浓度(%)	起始温度(℃)	峰值温度(℃)	终止温度(℃)	相变焓(J/g)
葡萄糖	0	-16.78±0.41a	-22.93±0.06a	-25.38±0.14a	187.99±1.21c
	5	-18.27±0.52b	-22.77±0.21a	-25.98±0.06b	140.81±1.42b
	10	-20.52±0.23c	-25.57±0.36b	-27.83±0.02c	117.44±2.04a
	15	-22.79±0.20d	-26.68±0.22c	-29.77±0.11d	116.43±1.36a
蔗糖	0	-16.78±0.41a	-22.93±0.06a	-25.38±0.14a	187.99±1.21d
	5	-18.31±0.11b	-24.03±0.08b	-26.13±0.12b	130.90±0.68b
	10	-19.55±0.37c	-23.88±0.06b	-26.10±0.05b	123.84±0.44a
	15	-20.12±0.06d	-24.13±0.24b	-26.85±0.04c	136.98±1.56c
麦芽糊精	0	-16.78±0.41a	-22.93±0.06b	-25.38±0.14b	187.99±1.21c
	5	-17.41±0.15b	-21.46±0.13a	-23.72±0.15a	170.38±2.47b
	10	-17.58±0.10b	-21.62±0.05a	-23.83±0.04a	124.41±2.11a
	15	-18.57±0.03c	-23.83±0.22c	-25.98±0.27c	126.19±1.07a

同一列数据后同一种糖不同小写字母表示不同浓度处理间差异显著( $P<0.05$ )。

表2 糖类对黄桃丁熔融相变热特性的影响

Table 2 Effect of different kinds of sugar on thermal characteristics of melting phase transition of yellow peach

糖类	浓度(%)	起始温度(℃)	峰值温度(℃)	终止温度(℃)	相变焓(J/g)
葡萄糖	0	-1.30±0.02a	1.42±0.26b	9.52±0.12a	213.85±2.36a
	5	-3.11±0.58b	3.43±0.01a	8.68±0.05a	208.24±3.24b
	10	-4.75±0.13c	1.70±0.36b	8.65±0.01a	195.30±1.96c
	15	-8.26±0.11d	-0.45±0.05c	3.76±0.06b	158.19±1.65d
蔗糖	0	-1.30±0.02a	1.42±0.26c	9.52±0.12a	213.85±2.36a
	5	-1.83±0.05b	3.69±0.22a	9.18±0.08b	208.37±2.33b
	10	-3.01±0.04c	2.49±0.46b	9.05±0.06b	191.07±2.51c
	15	-3.62±0.46d	2.22±0.08b	8.23±0.24c	178.69±1.06d
麦芽糊精	0	-1.30±0.02a	1.42±0.26c	9.52±0.12b	213.85±2.36a
	5	-1.62±0.25b	8.21±0.56a	12.70±0.06a	193.80±0.09b
	10	-2.02±0.22c	5.32±0.24b	9.55±0.36b	150.47±1.12c
	15	-3.51±0.02d	4.49±0.89b	8.64±0.06c	136.16±2.14d

同一列数据后同一种糖不同小写字母表示不同浓度处理间差异显著( $P<0.05$ )。

### 3 结论

单糖、二糖和多糖对黄桃丁的冻结曲线、 $T_g'$ 、冻结相变和熔融相变均有影响。随着糖浓度的增加,冰晶成核温度逐渐下降,成核时间和最大冰晶区通过时间逐渐延长;经过糖浸渍后黄桃丁的 $T_g'$ 逐渐增加,麦芽糊精提高黄桃丁的 $T_g'$ 幅度最大,葡萄糖

提高幅度最小;随糖添加量的增加,黄桃丁冻结相变温区向低温方向移动,冻结相变焓值逐渐下降,熔融相变温区也逐渐向低温区移动,熔融峰变小,熔融相变焓值逐渐减小。可以看出单糖对黄桃丁的热特性影响最小,双糖次之,多糖影响最大,但由于添加多糖后,黄桃丁脱水严重,表面出现了皱缩现象,严重影响了冷冻黄桃丁的外观及组织结构。

## 参考文献:

- [1] 姚佳,孔民,胡小松,等.高静压杀菌对不同形状果块的黄桃罐头质地的影响[J].农业工程学报,2013,29(增刊1):275-285.
- [2] 赵君,张甫生,林晨,等.高静压处理对黄桃罐头微生物和质构的影响[J].食品工业科技,2011(3):96-99.
- [3] 甘承露.脆肉鲩肌肉特性及其贮藏稳定性的研究[D].武汉:华中农业大学,2010.
- [4] 邵颖,王小红,吴文锦,等.食盐添加量对预制鲈鱼冷藏保鲜及热加工特性的影响[J].农业工程学报,2016,32(12):280-286.
- [5] 刘欣,周爱梅,赵力超,等.海藻糖、乳酸钠对冻藏鳙鱼鱼糜蛋白抗冻效果的影响[J].食品与发酵工业,2007,33(8):60-64.
- [6] 钱旻,宋江峰,李大婧,等.真空渗盐对冷冻莲藕片品质及热特性的影响[J].食品科学,2014,35(17):114-117.
- [7] 刘振海.分析化学手册——热分析[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [8] AKKÖSE A, AKTAŞ N. Determination of glass transition temperature of beef and effects of various cryoprotective agents on some chemical changes[J]. Meat Science, 2008, 80(3): 875-878.
- [9] CAO X, LI J, YANG X, et al. Nonisothermal kinetic analysis of the effect of protein concentration on BSA aggregation at high concentration by DSC[J]. Thermochimica Acta, 2008, 467(1): 99-106.
- [10] 何建俊.关于凝固点降低实验的几点疑惑和探究[J].化学教与学,2011(10):64-65.
- [11] 周顺华,陶乐仁,刘宝林.玻璃化转变温度及其对干燥食品加工贮藏稳定性的影响[J].真空与低温,2002,8(1):46-50.
- [12] SIMPERLER A, KORNHERR A, CHOPRA R, et al. Glass transition temperature of glucose, sucrose, and trehalose: an experimental and in silico study[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2006, 110(39): 19678-19684.
- [13] 林莹,辛志平,古碧,等.不同变性淀粉对冷冻面团热力学特性的影响[J].食品工业科技,2012,33(5):59-62.
- [14] 苏鹏,王欣,刘宝林,等.水分含量及添加剂对面团玻璃化转变温度的影响[J].食品科学,2007,28(8):97-100.
- [15] 罗晓健.中药浸膏粉的玻璃化转变及其应用[J].中国中药杂志,2017,42(1):192-197.
- [16] OHKUMA C, KAWAI K, VIRIYARATTANASAK C, et al. Glass transition properties of frozen and freeze-dried surimi products: effects of sugar and moisture on the glass transition temperature[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(2): 255-262.
- [17] 王欣,陈庆华.浅述玻璃化转变温度与食品成分的关系[J].食品研究与开发,2006,12(5):32-34.
- [18] 鲁长新,赵思明,熊善柏.鲢鱼肉相变区间的热特性研究[J].农业工程学报,2007,23(6):39-43.
- [19] 赵金红.渗透脱水-冻结与玻璃化贮藏对芒果品质的影响及动力学模拟[D].北京:中国农业大学,2014.
- [20] LI B, SUN D W. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods - a review[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(3): 175-182.
- [21] 鲁长新.淡水鱼肌肉的热特性研究[D].武汉:华中农业大学,2007.
- [22] GIANGIACOMO R. Study of water-sugar interactions at increasing sugar concentration by NIR spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2006, 96(3): 371-379.
- [23] FABRA M J, MÁRQUEZ E, CASTRO D, et al. Effect of maltodextrins in the water-content-water activity-glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 103(1): 47-51.

(责任编辑:陈海霞)