doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.02.037

渗透脱水前处理对芒果冻结速率和品质的影响*

赵金红　胡　锐　刘　冰　倪元颖
(中国农业大学食品科学与营养工程学院，北京 100083)

摘要：为了提高冷冻芒果的品质，采用了渗透脱水前处理和冻结联合加工芒果。通过研究芒果渗透脱水的质量传递，确定了芒果进行渗透脱水的条件(质量分数 50% 葡萄糖溶液为渗透液，渗透温度 30℃，渗透时间 60 min)。实验结果证明，渗透脱水-冻结与传统冻结相比，冷冻时间减少、熔点下降、冷冻速率加快。渗透脱水-冻结在色泽、硬度、汁液流失率、维生素 C 含量和其他生理指标都优于未处理和漂烫组。渗透脱水-冻结可使新鲜芒果的 PPO 活性下降，POD 活性升高。

关键词：芒果　渗透脱水　冻结　质量传递　品质
中图分类号：TS255.3　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-1298(2014)02-0220-08

引言

芒果营养丰富，富含类胡萝卜素、抗坏血酸和酚类化合物等多种营养物质[1]。我国是芒果的主要生产国，但新鲜芒果含有大量水分和糖分，采后极易发生腐烂变质，造成浪费[2]。目前，国内外通常采用干燥或冷冻技术保藏芒果，但传统的干燥方法易使芒果出现褐变、质地粗糙、形状皱缩和营养成分损失等不良变化。传统的冷冻方法虽可延长芒果的货架期，但由于形成冰晶，造成芒果细胞结构破坏，致使解冻后品质下降，从而影响其经济价值[3]。所以，应用冷冻新技术提高芒果冻结速率和品质，对于芒果冷冻保藏有重要意义。

渗透脱水-冷冻是食品先通过渗透脱水，达到理想的含水率后，再进行冷冻加工[4]。与传统冷冻方法相比，渗透脱水-冷冻能更好地保藏水果和蔬菜，并具有降低冷冻负荷、节省能源、减少包装、销售和储藏成本等优点[5]。最近几年，采用渗透脱水-冷冻加工的果蔬有草莓、青豆、梨、苹果、番茄和猕猴桃等。研究已经证明渗透脱水-冷冻能够减少汁液流失率，改善产品质构和色泽。而且，渗透脱水样品还能降低冰点，提高冷冻速率[6]。

目前，渗透脱水技术用于芒果加工的研究较多，而渗透脱水和冷冻联合加工芒果的研究甚少[5,7]，尤其是该技术对芒果冻结参数影响方面，国内外至今未见报道。本文将渗透脱水前处理应用于芒果的冻结加工，研究未处理、漂烫和渗透脱水 3 种前处理对芒果冻结参数和品质的影响，以期为渗透脱水前处理应用于冷冻芒果的加工提供理论依据和技术支持。

1　材料与方法

1.1　原料与试剂

新鲜大台芒：市售，挑选成熟度一致(全熟期)无机械损伤的果实备用，品种为台农一号。

实验所用试剂：蔗糖、葡萄糖、氯化钙、氢氧化钠、邻苯二甲酸氢钾、酚酞、2,6-二氯靛酚、抗坏血酸、草酸、碳酸氢钠、邻苯二酚、愈创木酚和过氧化氢，以上试剂均为分析纯(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2　仪器与设备

Model 20205 FlashLink 电子数据记录仪，美国 DeltaTRAK 公司；TMS - Pro 型质构仪，美国 Food Technology Corporation 公司；DSC - 60 型差示热量扫描仪，岛津公司；SC - 80C 型全自动色差仪，北京康光仪器有限公司；T6 型紫外分光光度计，北京普析通用仪器有限责任公司；TGL - 16A 型台式高速冷冻离心机，长沙平凡仪器仪表有限公司；DK - S24 型电热恒温水浴锅，上海精密实验设备有限公司；海尔冰箱(-18℃)；WZ - 108 型手持糖量仪，北京万成北增精密仪器有限公司；pH 计，梅特勒-托利多公司；电热鼓风干燥箱，南京腾飞干燥设备有限公司。

收稿日期：2013-03-03　修回日期：2013-04-21
*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD39B00)
作者简介：赵金红，博士生，主要从事低温果蔬加工研究，E-mail：oriental123@126.com
通讯作者：倪元颖，教授，博士生导师，主要从事果蔬加工、天然产物提取与功能食品研究，E-mail：niyuany@163.com

1.3 实验方法

将新鲜芒果置于 4℃ 冰箱待用，实验前将其切割成 2 cm × 2 cm × 1 cm 的芒果丁，分别进行漂烫（80℃ 热水漂烫 1 min）和渗透脱水预处理。确定最佳渗透脱水条件后，分别将新鲜、漂烫和渗透脱水处理的芒果丁在 -18℃ 冰箱放置 2 d，取出后常温水浴解冻 2 h。其中，新鲜样品用 FR 表示，漂烫处理和渗透脱水处理分别用 BL 和 OD 表示，直接冻结（即传统冻结）新鲜样品用 TQ 表示，漂烫后冻结及渗透后冻结分别用 BLF 和 ODF 表示。

测量芒果冻结曲线与熔点以及一些生理指标：色差、质构、汁液流失率、多酚氧化酶（PPO）活性、过氧化物酶（POD）活性、pH 值、可滴定酸含量（TA）、含水率、可溶性固形物含量（TSS）和维生素 C 含量。

1.3.1 渗透脱水处理

渗透液使用质量分数为 50% 的葡萄糖和蔗糖溶液，并加入质量分数为 1.5% 的 $CaCl_2$，目的是增加果蔬硬度，防止其加工后变软[3]。渗透温度选择 20、30 和 40℃。料液比为 1∶5，这样可忽略渗透过程中渗透液质量分数的变化。渗透时间 3 h，每隔 15 min（时间为 0、15、30、45、60、75、90、105、120、135、150、165、180 min）取出样品，用清水冲去表面的糖分后，吸干表面水分称其质量作为渗透后质量。渗透结束后将样品放入恒温干燥箱中进行干燥，干燥条件为 110℃，24 h[8]，得到渗透后干物质质量。样品渗透处理后用聚乙烯包装袋密封，进行后续的冷冻实验。

1.3.2 质量传递计算

芒果渗透脱水过程中需要测量渗透液种类和温度对其质量传递的影响，参数包括失水率和增固率[9]。

失水率为

$$X_1 = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \tag{1}$$

式中　M_0——渗透脱水前新鲜芒果的初始质量，g

M——渗透 t 时刻后芒果的质量，g

m——渗透 t 时刻后芒果的绝干质量，g

m_0——新鲜芒果的初始绝干质量，g

增固率为

$$X_2 = \frac{m - m_0}{m_0} \tag{2}$$

1.3.3 芒果果实低温冻结曲线测定

将芒果丁（2 cm × 2 cm × 1 cm）分为未处理、漂烫、渗透脱水 3 组，分别在（-18 ± 2）℃ 条件下进行冻结实验。将 Flash Link 温度记录仪的探头插入中心位置，初始温度为（28 ± 2）℃，每隔 3 s 自动记录温度数据，绘制冻结过程中的温度变化曲线。

1.3.4 芒果熔点测量

采用 DSC-60 型差示热量扫描仪测量芒果熔点。首先通过铟和蒸馏水来校正仪器的温度和热量，由于分析样品时用到液氮进行冷却，因此需要使用 N_2（300 mL/min）通入“干燥（dry）”入口。样品（5 ~ 10 mg）使用密封铝盘进行压样。程序为：所有样品从室温降到 -50℃，保持 3 min，然后以5℃/min 的速度再升温至室温[10]。

1.3.5 色差测量

应用色差仪在反射模式下测定芒果的 L^*、a^* 和 b^* 值[11]。CIE-$L^*a^*b^*$ 表色系统（亦称 $L^*a^*b^*$ 表色系），L^* 为明度指数，$L^* = 0$ 表示黑色，$L^* = 100$ 表示白色；a^*、b^* 为色品指数；$+a^*$ 方向表示红色增加，$-a^*$ 方向表示绿色增加；$+b^*$ 方向表示黄色增加，$-b^*$ 方向表示蓝色增加。以标准白板为对照，测定不同处理芒果的色差值。

1.3.6 质构测定

芒果丁置于 TMS-Pro 质构仪，最大量程 250 N，采用 P/38（直径 38 mm）的平板圆柱探头对试样进行 TPA 测试[12]。测试参数如下：检测速度10 mm/min，下压应变为 30%，起始力 0.5 N。由测试获得质地特征曲线，经 Texture Lab Pro 软件分析得到硬度。

1.3.7 汁液流失率测量

冷冻样品持水能力通常用解冻汁液流失率表示。

取不同冷冻处理的芒果，称量后常温水浴解冻 2 h 然后用滤纸拭去芒果表面的汁液，2 min 后滤纸吸干水分，计算汁液流失率[10]为

$$W = \frac{W_{bf} - W_{af}}{W_{bf}} \times 100\% \tag{3}$$

式中　W——汁液流失率，%

W_{bf}——样品解冻前质量，g

W_{af}——样品解冻后质量，g

1.3.8 多酚氧化酶（PPO）活性与过氧化物酶（POD）活性的测量

（1）多酚氧化酶（PPO）活性

测定参照 Lopez 等的方法并稍作修改[13]。称取 30 g 样品，置于预冷的研钵中，加入 pH 值为 6.8 的 0.2 mol/L 磷酸缓冲溶液 120 mL，研磨成匀浆，于 4℃、12 000 r/min，冷冻离心 30 min，收集上清液即为多酚氧化酶提取液，低温保存备用。吸取磷酸缓冲液 1 mL，加入 1 mL 0.02 mol/L 的邻二苯酚，先于 40℃ 保温 10 min，再加入 0.2 mL 酶提取液，同时立即开始计时。将反应混合液倒入比色杯中，置于分光光度计样品室，以蒸馏水为参比，每 30 s 测定并

记录波长 410 nm 处吸光度,连续测定并获取至少 10 个点的数据。酶活力以每分钟吸光度值变化 0.001 为一个单位[14]。

(2) 过氧化物酶(POD)活性

取一支试管加入 2 mL 质量分数为 1.5% 的愈创木酚溶液(溶剂体积分数为 50% 乙醇)和 0.2 mL PPO 活性测定中提取的酶液(吸光值过大可以适当稀释酶液),再加入 200 μL 质量分数为 0.5% H_2O_2 溶液,混合启动反应,同时开始计时,将反应混合液倒入比色杯中,置于分光光度计样品室,以蒸馏水为参比,每 30 s 测定并记录波长 470 nm 处吸光度,连续测定并获取至少 10 个点的数据。酶活力以每分钟吸光度值变化 0.001 为一个单位。

1.3.9 含水率、总可溶性固形物、pH 值、可滴定酸含量和维生素 C 含量测量

含水率采用直接干燥法,在 110℃下干燥 24 h 至恒质量。果实榨汁,用手持糖量仪测定总可溶性固形物含量(TSS)。用 pH 计测定果汁的 pH 值。可滴定酸含量(TA)用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液滴定至 pH 值 8.2,以每 100 g 果肉中含有苹果酸的量表示[1]。用 2,6-二氯靛酚溶液滴定法测量维生素 C 含量[3]。

1.3.10 数据处理

所有指标重复 3 次测定,数据为测定的平均值。采用 SPSS 17.0 统计软件对不同处理方式进行 Duncan multiple range test ($P = 0.05$)方差分析,比较差异显著性。

2 结果分析与讨论

2.1 渗透脱水前处理

从图 1 可以看出,芒果渗透脱水失水率和增固率随时间增长而逐渐变大,在前 60 min 失水速率和固形物增加速率较快,之后逐渐趋于平缓。原因在于,开始渗透时,浓度差较大,有利于脱水和固形物的增加;随着渗透的进行,浓度差逐渐减小,质量传递也逐渐趋于动态平衡。这与 Spiazzi、Zhiming 等的实验结果相似[9,15-16]。因此,为提高效率,渗透时间选择 60 min,再进行后续冷冻加工。

随着渗透液温度的提高,芒果的失水率和增固率相应增大,在 40℃时失水率和增固率达到最大值。温度的增加可以提高失水率和增固率,这可能是由于高浓度溶液温度增加时,会降低渗透液的粘度,从而提高水和溶质的扩散速率。Kaymak-Ertekin 等研究了温度对渗透脱水动力学的影响,本文与其实验结论相似[17]。但是,在温度 40℃时,芒果经渗透处理后发生明显皱缩现象,感官品质变差,并不适宜再进行冷冻加工。在果蔬加工中,温度过高是导致果蔬组织和细胞完整性遭到破坏的原因之一。因此,本研究选用 30℃作为渗透脱水的温度。

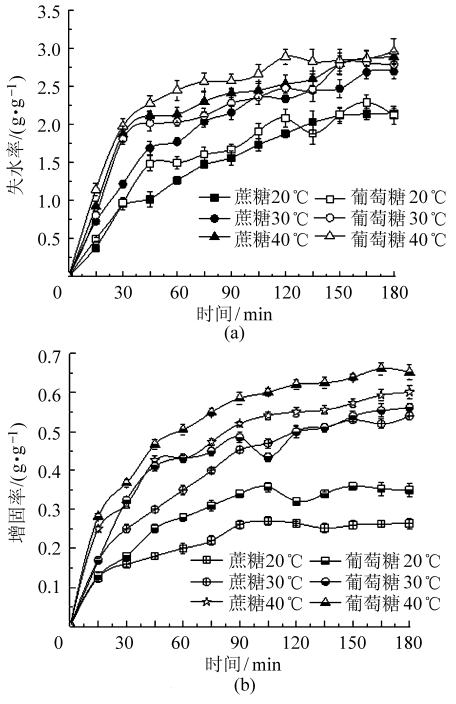

图 1 芒果(2 cm × 2 cm × 1 cm)在不同温度下质量分数为 50% 的蔗糖溶液和葡萄糖溶液中渗透脱水失水率和增固率曲线

Fig. 1 Water loss and solid gain as a function of time for dehydration of mango(2 cm × 2 cm × 1 cm) in glucose solution and sucrose solution of concentration 50% under different temperature conditions

蔗糖和葡萄糖是台农一号芒果中最主要的两种糖,质量比为 3.6∶1[1],因此采用这两种糖溶液作为渗透液,并进行质量传递的动力学比较。在 60 min 时,30℃葡萄糖溶液的失水率为 2.04 g/g,增固率为 0.43 g/g,比相同条件下的蔗糖溶液失水率 1.77 g/g 和增固率 0.35 g/g 要高。这是因为葡萄糖分子量为 180,蔗糖分子量为 342,在渗透脱水过程中,低分子量的溶液具有更高的渗透压,有利于分子通过细胞膜进行质量传递[18]。这与 Panagiotou 等的实验结果相似,其发现在苹果、香蕉和猕猴桃渗透脱水时,葡萄糖溶液比蔗糖溶液的失水率和增固率要大[19]。

因此,最后选用 30℃质量分数为 50% 的葡萄糖溶液,渗透时间 60 min,作为芒果渗透脱水前处理的条件。

2.2 冻结规律

图 2 为芒果在 -18 ℃下不同处理方式的冻结曲线。从图中可以看出,OD 组的冻结速率最快。在冷冻过程中,生物组织细胞结构的破坏与冷冻速

率密切相关。当冷冻速率较快时，一般可以认为其对果蔬组织的伤害较小，从而能够较好地保持冷冻食品的品质。在速冻下，由于初始冰晶的繁殖生长并不能赶上热量散失的速率，因此会出现过冷现象，并增加成核速率，结果是将有更多的冰核位置开始活化，从而使得冰晶生成的数量增加，冰晶粒径减小；相反，如果冷冻速率较慢，冰晶生长能够与热量散失同步，这将导致冰核活化数量减少，因此会生成较大冰晶[20-21]。

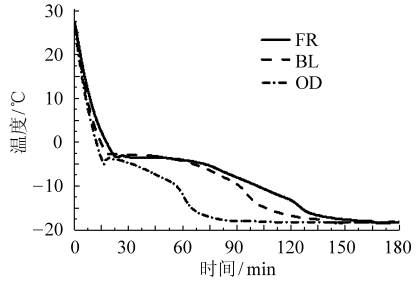

图 2　芒果在 -18℃下不同处理方式的冻结曲线

Fig. 2　Freezing curves of mango at temperature of -18 ℃ with different treatments

一般采用最大冰晶生成带的时间来描述冷冻速率，果蔬的最大冰晶生成带指温度从 -1℃降低到 -5℃的范围[5]。FR、BL 和 OD 组的冷冻速率分别为 40.00、50.15 和 24.80 min（图 2），只有渗透后通过最大冰晶生成带的时间减少到 30 min 之内，达到速冻的要求，并且出现明显的过冷点。这与 Wu 研究真空-脱水冷冻处理鲜切茄子的实验结果相似[6]。

2.3　熔点

图 3 为芒果不同处理方式的 DSC 热流图。通过图 4 吸热峰的外推起始温度法（即峰的前沿最大斜率处的切线与前基线延长线的交点）来确定熔点。从图 3 可以看出，OD 组熔点最低，BL 组熔点最高。实验表明，渗透脱水后熔点降低，而漂烫后熔点升高（FR、BL 和 OD 组的熔点分别为 -5.81℃、-3.39℃和 -10.44℃），熔点随着含水率的增大而增大（FR、BL 和 OD 组的含水率分别为 86.54%、89.20%和 75.56%），这也与上述最大冰晶生成带的时间结果趋势一致。

由于渗透后，可溶性固形物含量增加，水分减少，有利于冰晶的形成，可使冷冻时间缩短，冷冻速率加快，熔点降低，这可能与含水率越小，所释放的热量越小有关[5]。同理，漂烫后含水率最大，冻结参数结果正相反。

2.4　色差

图 5 为芒果在不同加工条件下的色泽。由图 5 可知，ODF 组的 L^* 和 b^* 值与 FR 组最接近，没有显

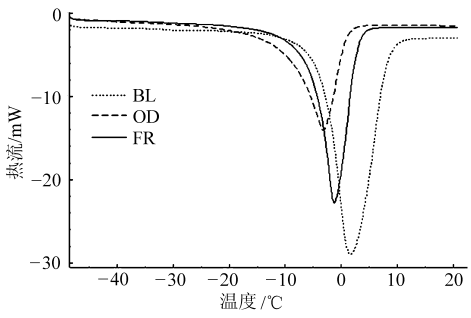

图 3　芒果不同处理方式的 DSC 热流曲线

Fig. 3　DSC thermogram of mango with different treatments

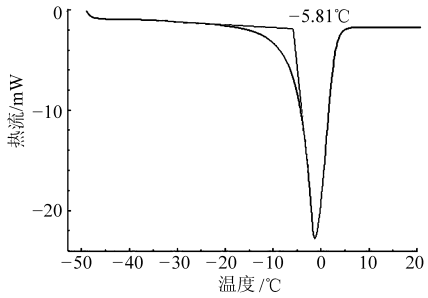

图 4　新鲜芒果熔点测量的 DSC 热流曲线

Fig. 4　Melting point determination of mango on DSC thermogram (FR)

著性差异，而 TQ 组与 BLF 组的 L^* 和 b^* 值大于 FR 组，这表明传统冻结和漂烫-冻结使得芒果的白色和黄色加深。从图 5 还可看出，除了 TQ 组的 a^* 值最低，其余 3 组没有显著性差异，结果说明传统冻结使得芒果红色变浅，绿色增加，这是一种不良的色泽变化；而漂烫-冻结和渗透脱水-冻结对芒果的红色影响不大。对于冷冻和渗透脱水过程中的色泽变化有一种假设的机理：该理论认为果蔬细胞内部的液体流出而进入细胞间隙，即细胞破坏或水分流出后，将导致细胞和周围环境之间折射率的差异减小，从而产生色泽变化[3]。

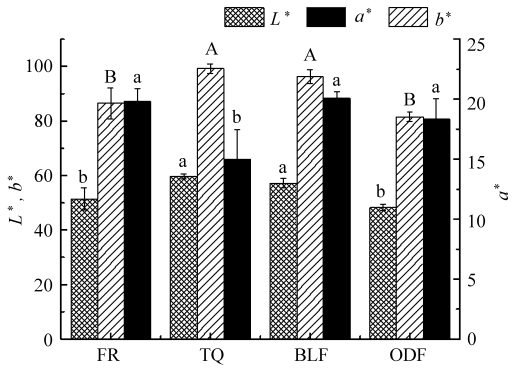

图 5　芒果在不同加工条件下 L^*、a^* 和 b^* 值

Fig. 5　L^*, a^* and b^* of mango processed under different conditions

总之，渗透脱水处理与另两种处理相比，对冻结芒果的色泽影响最小，这可能是因为渗透后，葡萄糖分子进入芒果组织内部，起到色泽保护的作用[22]。

2.5 硬度和汁液流失率

图 6 为芒果在不同加工条件下的硬度和汁液流失率。由图 6 可知,冻结后芒果的硬度都有不同程度的下降。在 3 种冻结方式之中,BLF 组硬度最低。漂烫后芒果的质地明显变软,严重影响其感官特性。相反,ODF 组的硬度高于 TQ 和 BLF 组,显示其优势。这是因为渗透脱水-冻结在三者之中,冷冻速率最快,生成的冰晶尺寸较小,从而降低了冰晶对芒果组织的机械损伤;另一方面,由于渗透液中含有质量分数 1.5% 的 $CaCl_2$,可与果胶类物质反应增加硬度[23]。

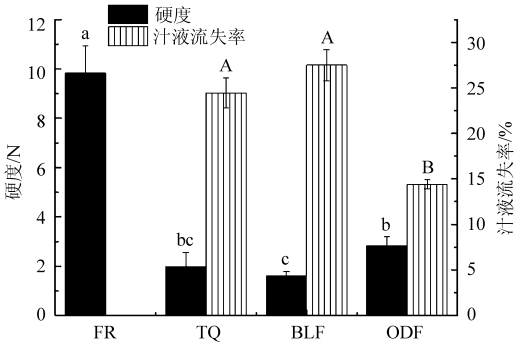

图 6 芒果在不同加工条件下硬度和汁液流失率

Fig. 6 Hardness and drip loss of mango processed under different conditions

芒果在 -18℃冻结后,ODF 组与 TQ 组相比,汁液流失率减少 41.08%。这是由于渗透脱水过程中,溶液中的一部分葡萄分子通过细胞膜进入芒果组织内部,糖是较好的冷冻保护剂[24],能够减小冰晶大小及增强果蔬的持水力,因此汁液流失率降低、硬度增加。然而,漂烫-冻结后汁液流失率最高,这与硬度的趋势一致。

2.6 酶活

多酚氧化酶(PPO)能催化内源性多酚物质氧化成醌,再聚合成黑色素,从而使果蔬发生褐变[25]。漂烫可钝化酶的活性,使酶受热变性而失活。如图 7 所示,不同方式的冻结加工后,PPO 活性均相应降低,其中 ODF 组的 PPO 活性要高于其余两组。过氧化物酶(POD)与冷冻果蔬的风味流失有直接关系,POD 具有比其他酶更高的耐热性,当 POD 失活时其他酶也受到破坏[26]。与 FR 组相比,BLF 组芒果的 POD 活性显著降低,其余两种冻结方式处理后 POD 活性反而增加。

在冻结过程中,可溶性 PPO 和 POD 的活性由两方面因素决定:一是部分结合态的 PPO 和 POD 转变成可溶性 PPO 和 POD;二是冰晶本身会使部分可溶性 PPO 和 POD 在冻结过程中失活,实际测定的酶活是两种作用的平衡结果[27]。TQ 和 ODF 组中新鲜

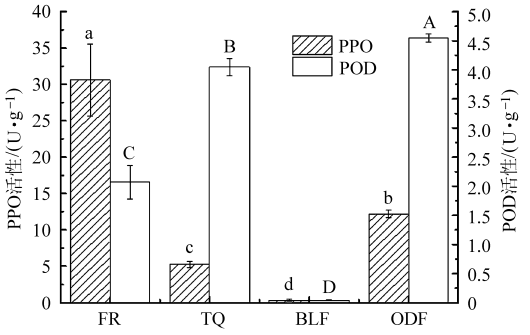

图 7 芒果在不同加工条件下 PPO 和 POD 活性

Fig. 7 Polyphenol oxidase and peroxidase activity of mango processed under different conditions

芒果的 PPO 活性降低,POD 活性上升,这与 PPO 和 POD 在细胞中分布及其对低温的敏感性不同有关。在冷冻速率较慢时(实验温度为 -18℃),可能由于大冰晶对细胞壁的破坏更严重,而结合态的 POD 主要位于细胞壁上,从而会加剧结合态的 POD 转变为可溶性的 POD;相反,位于线粒体和叶绿体内结合态的 PPO 的结合能力所受影响较小[27]。另一方面,可能 PPO 对低温更敏感,冷冻中的冰晶使得可溶性 PPO 部分失活或被抑制,而 POD 可能抗冰晶的能力更强一些。最终,这些综合作用使得可溶性 POD 活性上升,PPO 活性下降。

从实验结果来看,ODF 组比另外两种冻结方式的 PPO 和 POD 活性要高,其原因可能是 ODF 组的冷冻速率稍快些,冻结中胞内液体向胞外渗透量较少,胞内未冻液高离子强度较低,这对可溶性 PPO 和 POD 的活性影响较小[27]。酶是一种具有催化作用的蛋白质,渗透脱水相比漂烫的温度较低,没使酶变性失活,因此 ODF 组的活性较高。

虽然 BLF 组能抑制 PPO 和 POD 的活性,但还应全面考虑漂烫前处理冻结是否适合芒果的加工。总之,这 3 种冻结方式都能抑制新鲜芒果的 PPO 活性。

2.7 其他品质指标

从表 1 可以明显看出,ODF 组的 pH 值与其他冻结方式相比显著降低,TQ 组使得 pH 值显著升高。芒果中 pH 值变化,可能是由于细胞在调节胞内 pH 值。在环境压力下,细胞可能会发生由有机酸的合成或降解调节的细胞质酸化作用,这是一种被称作质子系统的安全机制[28]。

ODF 组的可滴定酸含量(TA)高于另两种冻结方式,与 pH 值变化相对应,这可能是由于渗透后脱去水分的量大于固形物增加的量,使得有机酸的浓度相应提高,TA 增大,从而使得 ODF 组的值也相应较大;这与 Rincon 等渗透处理全熟期芒果后,10°Brix和 20°Brix 组的 TA 高于未处理组的实验结

表 1　芒果在不同加工条件下其他品质指标

Tab.1　Other physical properties of mango processed under different conditions

参数	处理方式			
	FR	TQ	BLF	ODF
pH 值	3.82 ± 0.01[b]	3.95 ± 0.01[a]	3.79 ± 0.01[c]	3.50 ± 0.01[d]
可滴定酸含量/(g·(100 g)$^{-1}$)	0.410 ± 0[a]	0.204 ± 0.010[c]	0.172 ± 0.006[d]	0.339 ± 0.006[b]
含水率/%	86.54 ± 0.24[c]	89.66 ± 0.27[a]	88.63 ± 0.17[b]	78.76 ± 0.64[d]
可溶性固形物含量/%	10.50 ± 0[b]	9.00 ± 0[d]	9.50 ± 0.50[c]	20.07 ± 0.03[a]
维生素 C 含量/(mg·(100 g)$^{-1}$)	19.04 ± 0.48[a]	0.74 ± 0[d]	10.11 ± 0.17[c]	10.74 ± 0.15[b]

注：不同小写字母表示同一行之间有显著性差异(P < 0.05)。

果相似[3]；而 BLF 组的值低于 TQ 组，这是因为漂烫后，芒果组织遭到破坏，有机酸随汁液流出而降低。

芒果渗透之后可溶性固形物含量(TSS)显著增加，含水率相应减少，这是因为渗透脱水过程中，水分从芒果组织内部通过细胞膜流出到葡萄糖溶液中，而葡萄糖分子从渗透液流入芒果细胞内，使得 TSS 增加，含水率减少。再经 -18℃冻结后，ODF 组的 TSS 仍然最高，含水率最低。解冻后在一些食品加工中，需要增加芒果含糖量，比如糕点、糖果、冰淇淋、冰冻甜点、芒果沙拉、芒果奶酪以及芒果酱等[22]，含糖量的适当增加会赋予芒果更浓郁的香味。相反，TQ 和 BLF 组使得芒果 TSS 降低、含水率升高。由于冷冻速率较慢，冰晶对芒果品质影响较大，细胞破坏、汁液流出，从而 TSS 降低。

维生素 C 是芒果具有代表性的营养物质之一。维生素 C 经过漂烫处理后含量达到最小值(FR、BL 和 OD 组的维生素 C 含量分别为 19.04、10.60 和 18.73 mg/(100 g)，减少了 44.33%，因为维生素 C 是果蔬中最不耐热的水溶性营养成分，漂烫后会受热分解，并且会随着漂烫溶解于水而流失[29]。渗透后维生素 C 含量稍有减少，这与 Forn、Rincon 等的实验结果相似[30, 3]。经过不同冻结方式，维生素 C 都会发生降解，其中 ODF 组的含量最高(表 1)。这表明渗透脱水-冻结与传统冻结相比，能够阻止维生素 C 的降解。相反，TQ 组的维生素 C 含量最低，这是由于 TQ 组是缓冻，冰晶对芒果细胞破坏程度较严重，使得维生素 C 更易发生氧化还原反应；加之解冻后维生素 C 和其他矿物质随汁液流失量大，从而造成维生素 C 含量低。

3　结论

(1) 确定了质量分数为 50% 葡萄糖溶液为渗透液，温度 30℃、时间 60 min 为渗透脱水条件。

(2) 研究了未处理、漂烫和渗透脱水前处理对芒果冻结参数和品质的影响，表明渗透脱水-冻结要优于传统冻结加工。渗透脱水-冻结的冷冻速率更快，并能使芒果色泽得到较好地保持；同时，还能提高芒果硬度、减少汁液流失率，并能增加维生素 C 含量、TA 和 TSS。虽然渗透脱水-冻结比传统冻结的 PPO 和 POD 活性要高，但其能够抑制新鲜芒果的 PPO 活性。

(3) 渗透脱水-冻结作为一种冷冻新技术，能够提高芒果的冷冻速率和品质。

参　考　文　献

1　Liu F X, Fu S F, Chen F, et al. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China[J]. Food Chemistry, 2013,138(1): 396 - 405.

2　尹国胜，任艳芳，何俊瑜，等. NO 对延长芒果货架期的影响研究[J]. 中国农学通报，2011,27(26):114 - 118.
Yin Guosheng, Ren Yanfang, He Junyu, et al. Effect of nitric oxide treatment on extending the postharvest life of *Mangifera indica* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011,27(26): 114 - 118. (in Chinese)

3　Rincon A, Kerr W L. Influence of osmotic dehydration, ripeness and frozen storage on physicochemical properties of mango[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2010,34(5): 887 - 903.

4　邓云，张庆钢，Zhao Yanyun. 脉冲真空和超声波对苹果渗透动力学和品质的影响[J]. 农业机械学报，2008,39(8):89 - 93.
Deng Yun, Zhang Qinggang, Zhao Yanyun. Effects of pulsed vacuum and ultrasound on mass transfer and quality of apples during osmodehydration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(8): 89 - 93. (in Chinese)

5　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.

6　Wu L, Orikasa T, Tokuyasu K, et al. Application of vacuum-dehydrofreezing technique for the long-term preservation of fresh-cut eggplant: effects of process condition conditions on the quality attributes of the samples[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(4): 560 - 565.

7 Giraldo G, Talens P, Fito P, et al. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango[J]. Journal of Food Engineering, 2003,58(1): 33 - 43.

8 Dermesonlouoglou E K, Pourgouri S, Taoukis P S. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008,9(4): 542 - 549.

9 Spiazzi E, Mascheroni R. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables— Ⅰ development of the simulation model[J]. Journal of Food Engineering, 1997,34(4): 387 - 410.

10 Chottanom P, Srisa-ard M. Osmotic dehydration as a factor in freezing of tomato[J]. American Journal of Food Technology, 2011,6(6):483 - 491.

11 闫师杰,梁丽雅,胡小松,等. 不同处理对鸭梨采后颜色变化的影响[J]. 农业机械学报,2009,40(6):120 - 123,163.
Yan Shijie, Liang Liya, Hu Xiaosong, et al. Effects of different treatments on the color changes of Yali Pear after harvest [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(6): 120 - 123,163. (in Chinese)

12 孙钟雷,孙永海,李宇,等. 仿生食品质构仪设计与试验[J]. 农业机械学报,2012,43(1):230 - 234.
Sun Zhonglei, Sun Yonghai, Li Yu, et al. Design and experiment of bionic food texture analyzer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(1): 230 - 234. (in Chinese)

13 Lopez P, Sala F J, Fuente J L, et al. Inactivation of peroxidase, lipoxygenase, and polyphenol oxidase by manothermosonication [J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1994,42(2): 252 - 256.

14 迟海,李学英,杨宪时,等. 红酒提取物对南极磷虾贮藏过程中抗氧化效果的影响[J]. 农业机械学报,2013,44(2):153 - 158,187.
Chi Hai, Li Xueying Yang Xianshi, et al. Influences of wine extracted on antioxidant of Antarctic krill during storage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(2): 153 - 158,187. (in Chinese)

15 赵金红. 果蔬渗透脱水过程动力学研究[D]. 北京:中国农业大学,2007.
Zhao Jinhong. Osmotic dehydration dynamics during fruits and vegetables pre-drying treatment[D]. Beijing: China Agricultural University,2007. (in Chinese)

16 Zhiming Y, Maguer M L. Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration process. part Ⅰ: conceptual and mathematical models[J]. Journal of Food Engineering, 1996,29(3 - 4): 349 - 360.

17 Kaymak-Ertekin F, Sultanoglu M. Modeling of mass transfer during osmotic dehydration of apples[J]. Journal of Food Engineering, 2000,46(4): 243 - 250.

18 Saurel R, Raoult-Wack A L, Riosand G, et al. Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple Ⅰ. fresh plant tissue[J]. International Journal of Food Science & Technology, 1994,29(5): 531 - 542.

19 Panagiotou N M, Karathanos V T, Maroulis Z. Effect of osmotic agents on osmotic dehydration of fruits[J]. Drying Technology, 1999,17(1 - 2): 175 - 189.

20 George R M. Freezing processes used in the food industry[J]. Trends in Food Science and Technology, 1993,4(5): 134 - 138.

21 崔清亮,郭玉明,程正伟. 冷冻干燥物料共晶点和共熔点的电阻法测量[J]. 农业机械学报,2008,39(5):65 - 69,90.
Cui Qingliang, Guo Yuming, Cheng Zhengwei. Measurement of the eutectic point and melting point of the freeze-dried materials based on electric resistance method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(5): 65 - 69, 90. (in Chinese)

22 Rastogi N K, Raghavarao K S M S, Niranjan K, et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer[J]. Trends in Food Science & Technology, 2002,13(2):48 - 59.

23 Gras M L, Vidal D, Betoret N, et al. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation: interactions with cellular matrix [J]. Journal of Food Engineering, 2003,56(2 - 3): 279 - 284.

24 Dit-udom-po S, Pittarate C. Mass transfer during osmotic dehydration of tomato using sucrose, sorbitol and maltitol[J]. Journal of Agricultural Science, 2007,38(6): 115 - 118.

25 宋莲军,唐贵芳,赵秋艳,等. 富士苹果多酚氧化酶的提取及特性的研究[J]. 浙江农业科学,2009(4):789 - 793.

26 王璋编. 食品酶学[M]. 北京: 中国轻工业出版社,1990: 42.

27 晏绍庆,刘宝林,华泽钊,等. 冻结速率对苹果片多酚氧化酶和过氧化物酶活性影响的研究[J]. 食品工业科技,2000,20(2):8 - 10.

28 Sakano K. Revision of biochemical pH-stat: Involvement of alternative pathway metabolism[J]. Plant and Cell Physiology, 1998, 39(5): 467 - 473.

29 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.
Zhang Suwen. The study of the influence of freezing, storage and thaw on the quality of glassy broccoli[D]. Wuxi: Jiangnan University,2007. (in Chinese)

30 Forni E, Torregiani D, Crivelli G, et al. Influence of osmosis time on the quality of dehydrofrozen kiwi fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1990, 282: 425 - 434.

Effect of Osmotic Dehydration Pre-treatment on Freezing Rate and Quality Attributes of Frozen Mango

Zhao Jinhong　Hu Rui　Liu Bing　Ni Yuanying

(*College of Food Science and Nutritional Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The objectives of this study were to use the combining osmotic dehydration pre-treatment with freezing technique to improve the quality of frozen mangos. Based on mass transfer of mangos during osmotic dehydration, glucose was chosen as the osmotic agent and mangoes were osmosed in glucose solution at 30℃ for 60 min prior to freezing. The experiments indicated that the osmo-dehydrofrozen samples obtained much better results than that of the conventionally frozen samples with shorter freezing time, lower melting point and higher freezing rate. The quality assessment showed that the osmotic dehydration pretreatment significantly improved the quality attributes of frozen mango in terms of color, hardness, drip loss, vitamin C content and other physical properties compared to the untreated or the blanched ones. In addition, the osmo-dehydrofreezing could inhibit the polyphenol oxidase activity and improve the peroxidase activity.

Key words: Mango　Osmotic dehydration　Freezing　Mass transfer　Quality