

渗透压脱水前处理对芒果冻藏中品质变化的影响

赵金红, 温馨, 彭郁, 孟歆昕, 康佳琪, 倪元颖

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 国家果蔬加工工程技术研究中心, 北京 100083)

摘要: 本文研究了渗透脱水前处理对芒果冷冻时间和品质的影响, 渗透脱水条件是: 分别采用不同浓度(30%、40%、50% (m/m)) 的混合溶液(蔗糖、葡萄糖、果糖质量比为 3.6:1:3) 作为渗透液、温度 30 °C, 时间 2 h; 冻藏条件为 -18 °C, 为期 6 个月。实验结果表明, 与直接冷冻相比, 渗透脱水联合冷冻能够缩短 6.3~13.8% 的芒果冷冻时间。并且, 在经过 6 个月的冻藏后, 渗透脱水联合冷冻使得芒果的总色差降低了 12.5~36.8%, 硬度提高了 35.8~65.5%, 汁液流失率减少了 11.3~44.5%, 维生素 C 含量提高了 21.2~134.8%。结果显示, 较高浓度的渗透脱水前处理能够较好地保持冻藏芒果的品质, 而 40% 的渗透液浓度是芒果冷冻保藏的最优条件。同时, 芒果阴面(较硬)比阳面(较软)更适合于冷冻保藏。随着冻藏时间延长, 渗透脱水前处理的冻藏芒果比直接冷冻的芒果品质下降缓慢。本文表明渗透脱水联合冷冻能够提高芒果的冷冻速率和品质。

关键词: 渗透脱水联合冷冻; 芒果; 品质

文章编号: 1673-9078(2014)5-225-231

Effects of Osmo-dehydration on Quality Attributes of Mangoes during Frozen Storage

ZHAO Jin-hong, WEN Xin, PENG Yu, MENG Xin-xin, KANG Jia-qi, NI Yuan-ying

(National Engineering Research Center for Fruit and Vegetable Processing, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The effects of osmotic dehydration pretreatment on the freezing time and the quality attributes of frozen mangoes were investigated. Mangoes were dehydrated in mixed osmotic solutions (sucrose: glucose: fructose, 3.6:1:3) at three concentrations (30%, 40%, and 50%, m/m) for 2 h at 30 °C, and then stored at -18 °C for six months. The results revealed that the freezing time of the osmo-dehydrofrozen samples was 6.3~13.8% lower than that of the conventional frozen samples. Moreover, osmotic dehydration pretreatment improved the quality attributes of frozen mango in terms of color (total color difference reducing by 12.5~36.8%), hardness (increasing by 35.8~65.5%), drip loss (reducing by 11.3~44.5%) and vitamin C content (increasing by 21.2~134.8%) compared to the untreated ones after six months of frozen storage. Pretreatment with higher solution concentration showed smaller alterations in the quality attributes of samples. Through comprehensive analysis, dehydration in osmotic solution of 40% concentration was considered as the optimum pretreatment condition for frozen storage. In addition, the quality was better maintained in shaded side (firmer) of mangoes than the sun-exposed side (softer). With progression of storage time, mangoes pretreated by osmotic dehydration showed less reduction than the untreated ones. The current study indicates osmotic dehydration enhances both freezing rate and quality attributes of frozen mango.

Key words: osmo-dehydrofreezing; mango; quality attributes

芒果素有“热带果王”之称, 是全球最重要的水果之一; 富含类胡萝卜素、维生素 C、酚类化合物以及其他营养物质^[1]。我国是芒果主要生产国, 根据 2011 年 FAO 报道, 世界芒果产量大约 3890 万 t, 其中中国芒果产量大约 450 万 t^[2]。新鲜芒果由于含有大量水

收稿日期: 2013-11-19

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目 (2011BAD39B00)

作者介绍: 赵金红 (1982-), 女, 博士生, 研究方向: 低温果蔬加工

通讯作者: 倪元颖, 女, 教授, 博士生导师, 主要研究果蔬加工、天然产物提取与功能食品开发

分和糖分, 采后极易发生腐烂变质, 造成浪费。目前, 国内外通常采用冷冻技术保藏芒果。然而, 由于芒果水分含量偏高, 使用传统冷冻(直接冷冻)技术形成的冰晶较大, 从而对芒果细胞结构的破坏相对严重, 导致解冻后芒果的色泽变差、风味损失、品质下降。因此, 应用冷冻新技术提高芒果的品质, 对于芒果冷冻保藏有重要意义。

渗透脱水联合冷冻作为一种冷冻新技术, 是对食品先进行脱水以达到理想的水分含量后, 再进行冷冻加工^[3]。与直接冷冻技术相比, 渗透脱水联合冷冻有

很多优点:包括减缓果蔬色泽变化、改善质地、减少细胞结构破坏和汁液流失率等^[4]。渗透脱水联合冷冻具有如此优点的原因在于:渗透脱水本身不仅能够减少被冷冻的水分,而且能够减轻对果蔬品质的影响。在生产中,渗透脱水经常作为一种果蔬加工的前处理方式,与果蔬干燥、冷冻、杀菌、罐藏等方法联合使用^[3]。据报道,采用渗透脱水联合冷冻加工的果蔬有:草莓、苹果、梨、番茄、猕猴桃和青豆等^[4,5]。目前对于芒果,有关研究主要集中在渗透脱水本身以及水和溶质的质量传递方面,而采用渗透脱水和冷冻联合应用加工芒果的研究甚少^[4,6],尤其是该技术对芒果冻结速率影响方面,国内外至今未见相关成果。

本文将渗透脱水前处理应用于芒果冷冻加工,研究了使用不同浓度(30%、40%和50%)的混合糖液(蔗糖、葡萄糖、果糖三种糖,质量比为3.6:1:3)渗透脱水前处理,对芒果冷冻时间以及6个月冻藏期内品质的影响。以期渗透脱水联合冷冻技术应用于芒果冻藏,提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

新鲜芒果:市售,挑选全熟期无机械损伤的果实备用,品种为台农一号。

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。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; SC-80 型全自动色差仪,美国 HunterLab 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。

1.3 实验方法

由于整个芒果成熟度并不一致,将其前、后 2 cm 处切掉只留果肉中间部分。并且,由于日照时间不同,芒果两面成熟度也不相同。因此,采用中心点穿刺实验,将芒果两面分为阳面(较软)和阴面(较硬)。如选取的芒果成熟度合格,则阴面为 12~15 N 范围内,

阳面一般小于阴面 0~2 N 范围内。穿刺实验采用 TMS-Pro 型质构仪,平板圆柱探头直径为 10 mm,实验前速度 50 mm/min,实验速度 20 mm/min,起始力 0.5 N,测试距离 5 mm。

将新鲜芒果置于 4℃ 冰箱待用(24 h 之内)。实验前,将芒果切割、区分阳面和阴面,并只留中间部分,再将其切成 2 cm×2 cm×1 cm 的芒果丁,然后进行渗透脱水前处理。渗透脱水条件是温度 30℃,时间 2 h,浓度分别为 30%、40%和 50% (m/m)。根据台农一号芒果中 3 种主要糖(蔗糖、葡萄糖、果糖)的质量比(即配比为 3.6:1:3)^[1],混合配制成渗透液;并加入 1.5%的 CaCl₂ (m/m),目的是增加芒果硬度,防止加工后变软^[4]。实验的料液比为 1:5,可忽略在渗透过程中渗透液浓度的变化。样品渗透处理后用聚乙烯包装袋密封,然后将芒果丁置于(-18±2)℃冰箱冻藏 6 个月。每隔 1 个月取出样品,常温水浴解冻 2 h,并测定一些生理指标。其中,阳面芒果在浓度 0% (未处理即对照组)、30%、40%和 50%的混合液中进行渗透脱水前处理再冷冻联合加工,分别用 R0、R30、R40 和 R50 表示;阴面芒果在浓度 0% (未处理即对照组)、30%、40%和 50%的混合液中进行渗透脱水前处理再冷冻联合加工,分别用 Y0、Y30、Y40 和 Y50 表示。

上述需测量芒果的冷冻时间,以及一些生理指标包括:色差、质构、汁液流失率、维生素 C 含量、可滴定酸(TA)、pH 值和可溶性固形物(TSS)。

1.3.1 冷冻时间测定

将新鲜和渗透脱水前处理的芒果丁放在(-18±2)℃条件下进行冻结实验。初始温度为(27±2)℃,用 FlashLink 温度记录仪的探头插入中心位置,每隔 3 s 自动记录温度数据,测量冷冻时间。冷冻时间是指果蔬的“最大冰晶生成带”的时间,即温度从-1℃降低到-5℃所需的时间^[4]。

1.3.2 色差测量

使用色差仪在反射模式下测定芒果的 L*、a*、b* 值和总色差(ΔE)。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。其中ΔE 的计算公式如下:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

注:L*为处理样品的亮度,L₀*为对照样品的亮度;a*为处理样品的红色,a₀*为对照样品的红色;b*为处理样品的黄色;b₀*为对照样品的黄色。

1.3.3 质构的测定

芒果丁置于TMS-Pro质地分析仪,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。测试参数如下:检测速度10 mm/min,压缩程度为30%,起始力0.5 N。经测试获得质地特征曲线,利用Texture Lab Pro软件分析得到硬度值。

1.3.4 汁液流失率的测量

冷冻样品的持水能力通常用解冻汁液流失率表示。

取出芒果称重,然后通过常温水浴解冻2 h,再用滤纸拭去样品表面的汁液,等滤纸吸干水分,称重计算汁液流失率^[7]。

$$\text{汁液流失率}/\% = \frac{\text{解冻前重} - \text{解冻后重}}{\text{解冻前重}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.5 维生素C含量、可滴定酸、pH值、可溶性固形物和水分含量的测量

使用2,6-二氯酚溶液滴定法测量维生素C含量,以每100 g新鲜样品中含有抗坏血酸mg的量(mg/100 g FW)表示^[8]。可滴定酸,用0.1 mol/L的NaOH溶液滴定至pH值8.2;计算的可滴定酸(TA),以每100 g新鲜样品中含有苹果酸的量(g苹果酸/100 g FW)表示^[1]。用pH计测定果汁的pH值。果实榨汁,用手持糖量仪测定可溶性固形物(TSS)。水分含量采用直接干燥法,在110℃下干燥24 h至恒重,表达为g水/100 g初始湿基。

1.3.6 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 结果与讨论

2.1 冷冻时间

表1为新鲜芒果和渗透脱水后样品的水分含量和冷冻时间,从表1中可以看出,不同浓度的渗透液对样品冷冻时间的影响。随着渗透液浓度的增大,水分含量逐渐显著减少(P<0.05)。同时,冷冻时间也相应减少。芒果阴面与阳面相比,水分含量稍大,且冷冻时间稍长,但没有显著性差异。其中,50%浓度的渗透样品冷冻时间最短,与水分含量一致。这与Ramallo等研究脱水冷冻处理菠萝的实验结果相似^[5]。由于渗透后,可溶性固形物含量增加,水分减少,因此冷冻时间缩短,冷冻速率加快;这可能与水分含量越少,所释放的热量越少有关^[4,9]。一般可以认为,当冷冻速率较快时,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。这是由于在速冻下,有更多的冰核位置开始活化,因此生成的冰晶数量增加,粒径减小^[4]。由于在渗透液浓度为50%时,芒果经渗透处理后发生明显皱缩现象,感官品质变差,因此并不适宜再进行后续冷冻加工。

表1 不同浓度的渗透脱水对样品冷冻时间的影响

Table 1 Effect of different osmotic concentrations on sample freezing time

渗透液	水分含量/%	冷冻时间(温度从-1降低到-5℃所需的时间)/min
R 0	85.65±0.19 ^a	60.85±4.74 ^a
R30	79.20±0.36 ^b	56.85±0.21 ^b
R40	77.80±0.23 ^c	53.40±0.57 ^c
R50	73.75±0.35 ^d	52.45±0.49 ^c
Y 0	85.91±0.20 ^a	61.02±2.84 ^a
Y30	79.33±0.27 ^b	57.17±0.52 ^b
Y40	78.11±0.43 ^c	53.48±0.74 ^c
Y50	74.42±0.32 ^d	52.62±0.43 ^c

注:不同小写字母(a-d)表示同一列之间有显著性差异(P<0.05)。

2.2 色差

表2为在冻藏期内,不同处理的芒果块,其L*值随时间变化的情况。从表2中可以看出,在冻藏期的不同时间,与对照组相比,渗透前处理使得样品的L*值增大。这是因为渗透处理后,样品水分含量减少,从而可降低酶促褐变反应的发生。另一方面,渗透脱水后水分含量减少,可增加冷冻速率,减少冰晶对细胞结构的破坏,因此可提高冷冻样品的色泽^[4]。其中,当渗透液浓度为30%和40%时,冷冻样品的L*值较大,这可较好的保持芒果的表面色泽,减缓褐变的发生。从表2中还可以看出,在相同的冻藏时间下,样品阴面比阳面的L*值较大。这是由于芒果的阴面接触日照时间少,色泽较白,L*值较高。随着冻藏时间的延长,对照和不同浓度的样品L*值逐渐变小,即样品逐渐变黑。这可能是由于冻结后,冰晶对芒果结构造成伤害,在冻藏过程中逐渐发生褐变反应^[8]。

从表3中可以看出,在冻藏的不同时间,渗透前处理比对照组芒果块的ΔE值小,总色差减小,表明渗透前处理能够较好的保持冷冻芒果的色泽。这可能是因为渗透后,溶液中的糖分子进入芒果组织内部,起到色泽保护的作用^[10]。其中,浓度为30%和40%的样品ΔE值较小,与L*值一致,主要因为渗透液浓度较低,在渗透过程中,进入样品组织内部的糖分子较少,因此冷冻后对其色泽影响相应较小。样品阴面比阳面

的 ΔE 值小,这可能由于芒果阴面硬度值较大,在冷冻过程中,冰晶对其破坏较少,从而使得样品阴面的色差变化较小。随时间延长, ΔE 值逐渐变大,这表明冻

藏时间越长,对芒果的色泽影响越大。其中,经过渗透脱水前处理的冻藏芒果比对照组的芒果色泽变化缓慢。

表2 不同浓度的渗透脱水前处理对样品冻藏(-18℃)期内L*值的影响

Table 2 Effect of different osmotic concentrations on L* values of samples during frozen storage (-18℃)

指标	渗透液	0个月	1个月	2个月	3个月	4个月	5个月	6个月
L*	R0	49.22±3.32 ^{Ad}	43.90±1.73 ^{Bb}	43.77±2.55 ^{Bb}	41.36±1.28 ^{BCd}	40.44±1.20 ^{BCc}	39.21±1.67 ^{Cc}	38.12±1.29 ^{Cc}
	R30	51.43±3.36 ^{Ac}	46.78±1.87 ^{BCab}	47.42±2.10 ^{Bab}	46.09±2.14 ^{BCbc}	43.19±1.17 ^{CDabc}	41.75±0.90 ^{Dabc}	40.64±1.98 ^{Dabc}
	R40	56.56±1.95 ^{Aab}	46.04±0.40 ^{Bb}	44.87±1.03 ^{BCab}	45.59±2.05 ^{BCbc}	44.10±0.25 ^{BCDabc}	43.36±0.94 ^{CDab}	42.33±1.06 ^{Da}
	R50	59.20±0.54 ^{Aa}	45.05±3.70 ^{Bb}	43.88±0.89 ^{BCb}	42.18±0.78 ^{BCd}	41.74±2.02 ^{BCbc}	41.27±2.55 ^{BCabc}	40.48±1.38 ^{Cabc}
	Y0	51.68±2.65 ^{Abcd}	44.71±2.96 ^{BCb}	45.28±0.59 ^{Bab}	43.47±1.08 ^{BCDcd}	41.96±1.68 ^{CDEbc}	40.74±0.46 ^{DEbc}	39.68±0.94 ^{Ebc}
	Y30	55.71±3.00 ^{Aabc}	50.48±1.75 ^{Ba}	48.56±2.60 ^{Ba}	48.89±1.82 ^{Ba}	46.63±0.77 ^{Ba}	42.34±1.94 ^{Cab}	42.20±1.65 ^{Cab}
	Y40	55.69±2.94 ^{Aabc}	47.29±1.46 ^{Bab}	47.01±2.24 ^{BCab}	46.65±1.44 ^{BCab}	44.56±4.25 ^{BCab}	43.66±0.32 ^{BCa}	42.77±0.88 ^{Ca}
	Y50	59.53±2.43 ^{Aa}	46.37±1.01 ^{Bb}	45.57±2.37 ^{BCab}	43.81±0.26 ^{BCDcd}	43.00±0.94 ^{CDabc}	41.25±0.72 ^{Dabc}	41.50±1.35 ^{Dab}

注:不同小写字母(a-d)表示同一列之间有显著性差异(P<0.05),不同大写字母(A-E)表示同一行之间有显著性差异(P<0.05)。

表3 不同浓度的渗透脱水前处理对样品冻藏(-18℃)期内总色差的影响

Table 3 Effect of different osmotic concentrations on total color difference of samples during frozen storage (-18℃)

指标	渗透液	0个月	1个月	2个月	3个月	4个月	5个月	6个月
ΔE	R0	0.00±0.00 ^{Ef}	17.20±1.25 ^{Da}	18.40±1.08 ^{Da}	18.24±1.68 ^{Da}	20.72±1.46 ^{Ca}	22.28±0.49 ^{Ba}	25.30±1.00 ^{Aa}
	R30	8.27±0.15 ^{Dc}	8.13±1.82 ^{Dd}	10.27±1.63 ^{Cc}	14.17±2.14 ^{Bb}	14.28±0.33 ^{Bd}	15.61±0.54 ^{ABd}	16.59±0.61 ^{Ad}
	R40	10.97±0.67 ^{Db}	9.53±0.08 ^{Ec}	10.07±0.69 ^{DEc}	13.53±0.10 ^{Cb}	17.04±0.76 ^{Bc}	17.55±0.32 ^{Bc}	20.20±1.51 ^{Ac}
	R50	16.57±0.07 ^{Ca}	14.35±0.23 ^{Db}	15.92±1.92 ^{Cb}	16.86±1.56 ^{Ca}	19.40±0.43 ^{Bb}	20.04±0.54 ^{Bb}	22.15±0.11 ^{Ab}
	Y0	0.00±0.00 ^{Ff}	7.80±0.06 ^{Ede}	10.91±0.07 ^{Dc}	13.58±1.50 ^{Cb}	14.19±1.38 ^{Cd}	18.81±0.00 ^{Bbc}	22.22±0.91 ^{Ab}
	Y30	4.20±0.35 ^{EFe}	3.62±0.54 ^{Ff}	4.82±1.54 ^{DEc}	5.90±1.12 ^{CDd}	6.73±0.09 ^{Cf}	10.18±1.10 ^{Bg}	14.79±0.46 ^{Ae}
	Y40	6.62±1.88 ^{Dd}	6.77±0.86 ^{De}	6.33±0.83 ^{Dd}	8.85±1.74 ^{Cc}	11.80±1.14 ^{Be}	12.16±2.50 ^{Bf}	14.05±0.24 ^{Ae}
	Y50	11.98±1.77 ^{Cb}	6.99±1.34 ^{Ede}	7.64±0.37 ^{Ed}	9.59±0.34 ^{Dc}	12.57±0.05 ^{BCe}	14.03±0.61 ^{Be}	17.86±2.47 ^{Ad}

注:不同小写字母(a-g)表示同一列之间有显著性差异(P<0.05),不同大写字母(A-F)表示同一行之间有显著性差异(P<0.05)。

表4 不同浓度的渗透脱水前处理对样品冻藏(-18℃)期内硬度的影响

Table 4 Effect of different osmotic concentrations on hardness of samples during frozen storage (-18℃)

指标	渗透液	0个月	1个月	2个月	3个月	4个月	5个月	6个月
硬度(N)	R0	3.81±0.23 ^{Ac}	1.35±0.14 ^{Bd}	1.29±0.15 ^{Bc}	1.33±0.02 ^{Bc}	1.37±0.21 ^{Bc}	1.12±0.14 ^{Bd}	1.19±0.29 ^{Bb}
	R30	3.45±0.25 ^{Ade}	1.60±0.34 ^{Bcd}	1.90±0.19 ^{Bab}	1.78±0.08 ^{Bb}	1.72±0.15 ^{Babc}	1.65±0.08 ^{Bbc}	1.78±0.14 ^{Ba}
	R40	3.66±0.36 ^{Ac}	2.01±0.10 ^{Bb}	1.90±0.29 ^{Bab}	1.88±0.15 ^{Bb}	1.59±0.35 ^{Bbc}	1.89±0.25 ^{Bb}	1.82±0.02 ^{Ba}
	R50	3.01±0.43 ^{Ae}	2.24±0.25 ^{Bab}	2.13±0.15 ^{Ba}	2.22±0.13 ^{Ba}	2.19±0.12 ^{Bab}	2.08±0.11 ^{Ba}	1.97±0.28 ^{Ba}
	Y0	5.30±0.06 ^{Aa}	1.50±0.08 ^{BCd}	1.49±0.04 ^{BCbc}	1.40±0.17 ^{Cc}	1.60±0.16 ^{Bbc}	1.39±0.04 ^{Ccd}	1.34±0.04 ^{Cb}
	Y30	4.62±0.46 ^{Ab}	1.98±0.38 ^{Bbc}	1.53±0.21 ^{Bbc}	1.83±0.19 ^{Bb}	1.91±0.09 ^{Babc}	1.52±0.23 ^{Bc}	1.82±0.06 ^{Ba}
	Y40	5.26±0.46 ^{Aa}	2.54±0.15 ^{Ba}	2.32±0.08 ^{BCa}	1.93±0.10 ^{BCb}	2.24±0.72 ^{BCa}	1.90±0.15 ^{BCb}	1.84±0.08 ^{Ca}
	Y50	4.22±0.02 ^{Abc}	2.59±0.10 ^{Ba}	2.20±0.49 ^{BCa}	2.03±0.21 ^{Cab}	1.98±0.21 ^{Cab}	2.09±0.23 ^{Ca}	1.88±0.13 ^{Ca}

注:不同小写字母(a-d)表示同一列之间有显著性差异(P<0.05),不同大写字母(A-C)表示同一行之间有显著性差异(P<0.05)。

2.3 硬度

表4为冻藏期内不同样品的硬度值。从表4可以看出,在未冻结前,渗透脱水使得硬度值降低。这可能是由于渗透脱水过程中,水分子不断从芒果内部转移到渗透液中,使得样品水分含量减少,影响了芒果的

质地,从而降低了硬度值。其中,在浓度为50%时,由于浓度较高,芒果表面发生明显的皱缩现象,不适宜进行后续的冷冻加工。在冻藏过程中,经过渗透脱水前处理的样品比对照组样品的硬度值显著增大(p<0.05)。这是因为渗透脱水联合冷冻的冷冻速率较快,生成的冰晶尺寸较小,从而降低了冰晶对芒果细

胞结构的损伤;另一方面,由于渗透液中含有1.5%的CaCl₂,可与果胶类物质反应增加硬度^[11]。在渗透脱水联合冷冻组中,浓度为30%的样品硬度值较小。因此,对于冷冻芒果的硬度值,浓度为40%的渗透前处理是最优条件。样品的阴面硬度值相对较大,这是因为芒果越成熟,质地就越软^[12]。随冻藏时间延长,芒果的硬度值有所减小。相比之下,不同处理的样品,其阳面比阴面的硬度值随时间降低的程度较小,这表明芒果阳面受冻藏时间的影响较小。

2.4 汁液流失率

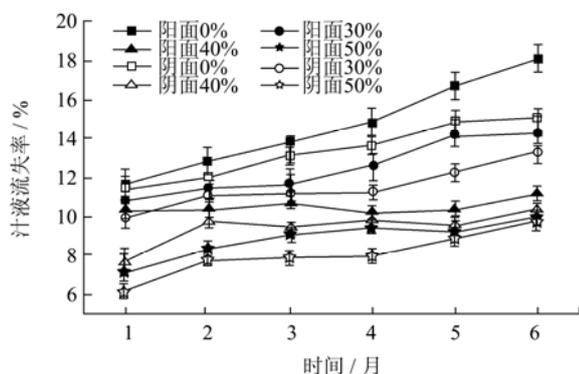


图1 不同渗透前处理后样品的汁液流失率在冻藏(-18 °C)期内的变化

Fig.1 Drip loss of frozen samples with different osmotic pretreatments during frozen storage (-18 °C)

图1为冻藏期内不同处理的芒果,其汁液流失率随时间的变化。从图中可以看出,与对照组相比,经过渗透前处理后样品的汁液流失率显著降低($p<0.05$)。这是由于渗透脱水过程中,溶液中的一部分糖分子通过细胞膜进入芒果细胞内部。糖是较好的冷冻保护剂^[13],能够减小冰晶大小及增强果蔬的持水力,从而降低汁液流失率、增加硬度。随浓度逐渐增大,样品的汁液流失率逐渐减小。这是由于芒果在渗透脱水过程中,随着浓度增大,质量传递速率增快,失水率增大,样品的水分含量也随之减少,导致汁液流失率相应降低。由于在渗透前处理浓度为50%时,芒果发生皱缩现象,应该避免。因此,对于冷冻芒果的汁液流失率,浓度为40%是最优条件。随着冻藏时间延长,芒果的汁液流失率逐渐增大。这可能是由于在冻藏过程中,冰晶发生重结晶现象,使得冰晶尺寸增大,从而造成芒果细胞结构破坏更为严重。其中,随着时间延长,经过渗透脱水前处理的冻藏芒果阳面比对照组阳面的汁液流失率增大缓慢。

2.5 维生素C含量

维生素C是芒果具有代表性的营养物质之一。表

5为冻藏过程中,不同处理的芒果的维生素C含量随时间的变化。在未冻之前,渗透脱水使得芒果的维生素C含量显著降低($p<0.05$),这与Forni等^[14]的实验结果相似。并且维生素C含量随着渗透液浓度的增大而减少。这可能是因为渗透过程中,浓度越大,样品的失水率越大,维生素C随着水分子从芒果细胞内部而转移到渗透液中。从表中可以看出,在冻藏的不同时间,维生素C都发生了降解,其中直接冷冻(对照组)的维生素C含量最低($p<0.05$),这是由于与渗透脱水联合冷冻相比,直接冷冻速率较慢^[4],冰晶对芒果细胞破坏程度较严重,解冻后维生素C和其它矿物质随汁液流失量大,从而造成维生素C含量低。在经过渗透脱水前处理的冻藏芒果中,当浓度为30%和40%时,芒果维生素C含量较高。芒果阴面的维生素C含量稍高于阳面,这与芒果的成熟度有关(阳面较成熟),据报道维生素C含量随着芒果成熟度的增大而降低^[12]。随着冻藏期的延长,维生素C含量减少。这与汁液流失率随时间延长而增大相一致,因此导致在冻藏和解冻过程中,会有更多的维生素C和其他矿物质随汁液流失。芒果经过6个月的冻藏之后,可以看出经过渗透脱水前处理比对照组的芒果维生素C损失缓慢。

2.6 可滴定酸

表6为冻藏期内,不同处理芒果的可滴定酸含量(TA)随时间的变化。在冻结之前,渗透脱水后TA有所降低,这可能是因为渗透脱水过程中,有机酸随水分子流出而损失。但是,在冻藏过程中,经过渗透脱水前处理的芒果TA显著高于对照组($p<0.05$)。这是因为与直接冷冻相比,渗透脱水联合冷冻的冷冻速率较快,生成的冰晶对细胞破坏程度较小,从而有机酸随汁液流失量较少。在冻藏期内不同浓度处理条件下,芒果阴面的TA都要高于阳面。这是因为芒果发育至成熟,酸度(苹果酸)下降,pH值上升^[12]。因此,芒果阴面的TA相对较高。随着冻藏期时间延长,样品的TA有所降低。这表明在冻藏过程中,细胞内仍有一部分有机酸会由于发生扩散现象而流失。

2.7 pH值

表7是冻藏期内,不同处理芒果的pH值的变化。与对照组相比,经过渗透脱水前处理的冻藏芒果pH值显著下降($p<0.05$),这与可滴定酸含量较大一致。芒果阴面pH值较低,这与水果成熟度有关。随着冻藏时间延长,pH值有所减小。从实验结果可以看出,芒果的可滴定酸含量与pH值的变化不总是一一对应

的关系。芒果的 pH 值变化,可能是由于细胞在调节溶液中的各种溶质会出现结晶和(或)沉淀现象,这也会导致冷冻过程中 pH 值的变化^[8]。

表 5 不同浓度的渗透脱水前处理对样品冻藏(-18 °C)期内维生素 C 的影响

Table 5 Effect of different osmotic concentrations on vitamin C of samples during frozen storage (-18 °C)

指标	渗透液	0 天	1 个月	2 个月	3 个月	4 个月	5 个月	6 个月
维生素 C (mg/100 g FW)	R0	18.76±0.08 ^{Ab}	1.91±0.08 ^{Bg}	1.77±0.00 ^{Bf}	1.20±0.26 ^{Df}	1.44±0.00 ^{Cg}	1.08±0.13 ^{De}	0.66±0.07 ^{Ef}
	R30	16.84±0.00 ^{Ac}	4.39±0.13 ^{Bc}	4.19±0.23 ^{Ba}	4.27±0.00 ^{Ba}	3.69±0.25 ^{Ca}	3.24±0.07 ^{Da}	1.15±0.22 ^{Ed}
	R40	14.50±0.19 ^{Ae}	4.90±0.15 ^{Bb}	2.34±0.09 ^{Ccd}	2.18±0.00 ^{Cc}	1.73±0.07 ^{Def}	1.46±0.25 ^{Ed}	1.37±0.00 ^{Ec}
	R50	11.50±0.06 ^{Ag}	3.58±0.00 ^{Bd}	1.98±0.16 ^{Ce}	1.88±0.09 ^{Ce}	1.56±0.00 ^{Dfg}	1.15±0.31 ^{Ee}	0.80±0.17 ^{Fef}
	Y0	19.74±0.32 ^{Aa}	2.94±0.19 ^{Bf}	2.02±0.17 ^{Ce}	1.98±0.08 ^{Cde}	1.83±0.16 ^{CDde}	1.67±0.07 ^{Dcd}	0.89±0.13 ^{Ee}
	Y30	16.78±0.00 ^{Ac}	4.38±0.08 ^{Bc}	2.91±0.07 ^{Cb}	2.93±0.21 ^{Cb}	2.75±0.20 ^{Cb}	2.44±0.07 ^{Db}	2.09±0.21 ^{Ea}
	Y40	15.72±0.14 ^{Ad}	5.07±0.18 ^{Ba}	2.48±0.08 ^{Dc}	2.86±0.07 ^{Cb}	2.43±0.06 ^{Dc}	2.46±0.07 ^{Db}	1.73±0.00 ^{Eb}
	Y50	13.21±0.20 ^{Af}	3.13±0.00 ^{Be}	2.27±0.17 ^{Cd}	2.08±0.09 ^{Dcd}	1.91±0.13 ^{DEd}	1.83±0.20 ^{Efc}	1.67±0.14 ^{Fb}

注:不同小写字母(a-g)表示同一列之间有显著性差异(P<0.05),不同大写字母(A-F)表示同一行之间有显著性差异(P<0.05)

表 6 不同浓度的渗透脱水前处理对样品冻藏(-18 °C)期内可滴定酸的影响

Table 6 Effect of different osmotic concentrations on titratable acidity of samples during frozen storage (-18 °C)

指标	渗透液	0 个月	1 个月	2 个月	3 个月	4 个月	5 个月	6 个月
可滴定酸/ (g 苹果酸/100 g FW)	R0	0.74±0.00 ^{Ac}	0.38±0.00 ^{Bf}	0.37±0.01 ^{Bg}	0.34±0.00 ^{Dg}	0.36±0.00 ^{Cg}	0.26±0.00 ^{Fg}	0.29±0.01 ^{Eg}
	R30	0.65±0.00 ^{Bd}	0.56±0.00 ^{Ce}	0.73±0.00 ^{Aa}	0.43±0.00 ^{De}	0.40±0.00 ^{Ee}	0.37±0.00 ^{Fe}	0.30±0.00 ^{Gf}
	R40	0.50±0.00 ^{Cf}	0.67±0.00 ^{Ac}	0.64±0.00 ^{Bc}	0.51±0.00 ^{Cc}	0.38±0.00 ^{Ef}	0.47±0.02 ^{Dc}	0.36±0.00 ^{Fd}
	R50	0.46±0.00 ^{Dg}	0.68±0.00 ^{Ac}	0.54±0.00 ^{Be}	0.41±0.00 ^{Ef}	0.51±0.00 ^{Cb}	0.31±0.02 ^{Gf}	0.34±0.00 ^{Fe}
	Y0	0.82±0.00 ^{Aa}	0.55±0.00 ^{Bc}	0.44±0.01 ^{Df}	0.47±0.01 ^{Cd}	0.35±0.00 ^{Eh}	0.32±0.00 ^{Ff}	0.29±0.00 ^{Gg}
	Y30	0.59±0.00 ^{Ce}	0.60±0.01 ^{Bd}	0.61±0.00 ^{Ad}	0.51±0.00 ^{Dc}	0.46±0.01 ^{Fc}	0.49±0.00 ^{Eb}	0.44±0.00 ^{Ga}
	Y40	0.59±0.01 ^{De}	0.71±0.00 ^{Ab}	0.68±0.00 ^{Bb}	0.62±0.00 ^{Cb}	0.42±0.00 ^{Ed}	0.40±0.00 ^{Fd}	0.37±0.01 ^{Gc}
	Y50	0.78±0.01 ^{Ab}	0.76±0.00 ^{Ba}	0.68±0.00 ^{Db}	0.68±0.01 ^{Da}	0.70±0.00 ^{Ca}	0.53±0.01 ^{Ea}	0.40±0.00 ^{Fb}

注:不同小写字母(a-h)表示同一列之间有显著性差异(P<0.05),不同大写字母(A-G)表示同一行之间有显著性差异(P<0.05)

表 7 不同浓度的渗透脱水前处理对样品冻藏(-18 °C)期内 pH 值的影响

Table 7 Effect of different osmotic concentrations on pH values of samples during frozen storage (-18 °C)

部位	渗透液	0 个月	1 个月	2 个月	3 个月	4 个月	5 个月	6 个月
pH	R0	4.42±0.01 ^{Aa}	4.34±0.00 ^{Ba}	4.26±0.01 ^{Ca}	4.13±0.01 ^{Da}	4.13±0.01 ^{Da}	4.00±0.01 ^{Fa}	4.01±0.01 ^{Ea}
	R30	4.02±0.01 ^{Ad}	3.76±0.00 ^{BCg}	3.75±0.01 ^{Cd}	3.77±0.01 ^{Bb}	3.69±0.01 ^{De}	3.61±0.00 ^{Ef}	3.61±0.01 ^{Ec}
	R40	3.80±0.01 ^{Bg}	3.83±0.01 ^{Ad}	3.76±0.00 ^{Cd}	3.72±0.01 ^{Dcd}	3.65±0.01 ^{Eg}	3.61±0.01 ^{Ff}	3.42±0.02 ^{Gf}
	R50	4.11±0.01 ^{Ac}	4.00±0.01 ^{Bc}	3.89±0.02 ^{Cc}	3.71±0.01 ^{Fd}	3.76±0.01 ^{Ec}	3.83±0.00 ^{Dc}	3.53±0.01 ^{Gd}
	Y0	4.26±0.01 ^{Ab}	4.24±0.01 ^{Bb}	4.17±0.01 ^{Cb}	4.12±0.01 ^{Da}	4.04±0.01 ^{Eb}	3.93±0.01 ^{Fb}	3.89±0.01 ^{Gb}
	Y30	3.99±0.01 ^{Ae}	3.72±0.01 ^{Dh}	3.89±0.01 ^{Bc}	3.76±0.00 ^{Cb}	3.70±0.01 ^{Ed}	3.50±0.01 ^{Fg}	3.35±0.02 ^{Gg}
	Y40	3.90±0.01 ^{Af}	3.79±0.01 ^{Bf}	3.70±0.00 ^{De}	3.73±0.01 ^{Cc}	3.67±0.01 ^{Ef}	3.67±0.01 ^{Ee}	3.45±0.01 ^{Fe}
	Y50	4.00±0.01 ^{Ae}	3.81±0.01 ^{Be}	3.71±0.00 ^{De}	3.62±0.01 ^{Fe}	3.66±0.01 ^{Efg}	3.73±0.01 ^{Cd}	3.52±0.01 ^{Gd}

注:不同小写字母(a-h)表示同一列之间有显著性差异(P<0.05),不同大写字母(A-G)表示同一行之间有显著性差异(P<0.05)

2.8 可溶性固形物

图 2 是冻藏期内,不同处理后芒果可溶性固形物(TSS)的变化。一般来说渗透液浓度越高,冷冻芒果的 TSS 越高。这是因为随着渗透液浓度的增大,水分含量逐渐减少,并且同时有更多的糖从渗透液中转

移到细胞中,从而使得 TSS 逐渐增大^[10]。再经-18 °C 冻藏后,TSS 仍然较高。阳面芒果的 TSS 比阴面较高,这是因为芒果越成熟,TSS 越高^[12]。随着冻藏时间延长,TSS 逐渐增大。这可能由于贮藏淀粉产生了可溶性固形物,以及周围环境中的固形物进入到芒果细胞中,从而增加了 TSS^[15]。并且,冷冻后细胞结构被破

坏,这会导致细胞的渗透性增强,从而将有更多的糖分子能够转移到芒果组织中,因此 TSS 增加^[15]。

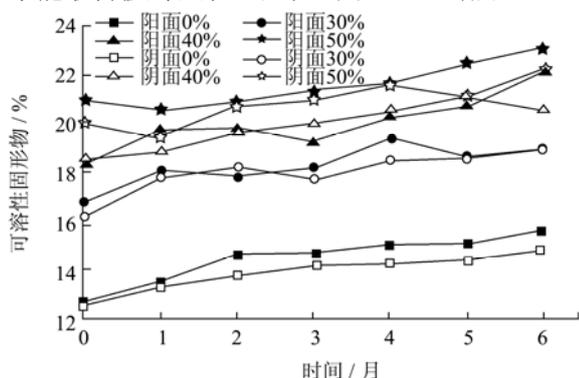


图2 不同渗透前处理后样品的可溶性固形物在冻藏(-18 °C) 期内的变化

Fig.2 Total soluble solids of frozen samples with different osmotic pretreatments during frozen storage (-18 °C)

3 结论

3.1 本文研究了不同浓度下渗透脱水前处理对冻藏过程中芒果品质的影响,实验结果表明在色泽、硬度、汁液流失率、维生素 C 含量、TA、pH 值和 TSS 方面,渗透脱水联合冷冻与直接冷冻相比,可以提高冻藏芒果的品质。

3.2 经过上述比较、分析得到,浓度较高时可以较好的保持芒果的品质,但由于渗透脱水浓度为 50%时,发生皱缩现象,不利于后续冷冻加工。因此,40%的渗透脱水前处理浓度是芒果最优冻藏条件。在此条件下,芒果的硬度值较大、汁液流失率较小,并能够较好的保持色泽和维生素 C 含量。芒果的阴面比阳面更适合于冷冻保藏,因为阴面冻藏芒果的品质要优于阳面。

3.3 随着渗透液浓度逐渐增大,芒果的冷冻时间相应减少。

3.4 随着冻藏时间延长,芒果的各项生理指标都有所变化,而经过渗透脱水前处理的冻藏芒果相对于直接冻藏的芒果指标变化更为缓慢。

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] FAO (2012). FaoStat Database. Available from <http://faostat.fao.org>.

[3] 赵金红,胡锐,刘冰,等.几种冷冻新技术对食品冻结过程中冰晶形成的影响[J].食品与机械,2012,28(6):241-245

ZHAO Jin-hong, HU Rui, LIU Bing, et al. Effect of novel freezing technologies on ice crystals during food freezing [J]. Food & Machinery, 2012, 28(6): 241-245

- [4] 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
- [5] Ramallo L A, Mascheroni R H. Dehydrofreezing of pineapple [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99(3): 269-275
- [6] Chiralt A, Martínez-Navarrete N, Martínez-Monzó J, et al. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes: cryoprotectant effect [J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49(2-3): 129-135
- [7] 胡锐.速冻哈密瓜预处理及玻璃化贮藏工艺研究[D].北京:中国农业大学食品科学与营养工程学院,2013
- Hu Rui. The study of pretreatment and glassy state storage on quick-frozen Hami Melon [D]. Beijing: China Agricultural University, 2013
- [8] 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
- [9] 林婉玲,杨贤庆,侯彩玲,等.直接浸渍冷冻过程中溶质在对虾中渗透规律的研究[J].现代食品科技,2013,29(8): 1820-1825
- LIN Wan-ling, YANG Xian-qing, HOU Cai-ling, et al. Solute penetration of shrimp during immersion chilling and freezing process [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(8): 1820-1825
- [10] Rastogi N K, Raghavarao K S M S, Niranjana K, et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer [J]. Trends in Food science & technology, 2002, 13(2):48-59
- [11] 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
- [13] 郑小林,田世平,李博强,等.外源草酸延缓采后芒果成熟及其生理基础的研究[J].中国农业科学,2007,40(8):1767-1773
- ZHENG Xiao-lin, TIAN Shi-ping, LI Bo-qiang, et al. Physiological roles of exogenous oxalic acid in delaying ripening of mango fruit during storage [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(8): 1767-1773
- [14] 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

[15] 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

[16] Torregiani D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing [J]. Food Research International, 1993, 26(1): 59-68

