

超声波辅助渗透脱水处理及其对西兰花冻结品质的影响

陈童^{1,3}, 张慇^{*1}, 陈晶晶²

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 海通食品集团有限公司, 浙江 宁波 315300; 3. 扬州冶春食品生产配送股份有限公司, 江苏 扬州 412026)

摘要: 以西兰花为试材, 在单因素试验的基础上, 以水分流失和西兰花冻结-解冻后硬度为考察指标, 通过正交试验优化西兰花冷冻前超声波辅助渗透脱水工艺条件。结果表明, 渗透脱水最佳工艺条件为: 超声波功率 240 W, 超声时间 30 min, 渗透液质量分数 50%, 在此工艺条件下, 西兰花的水分流失为 1.26, 硬度为 39.59 N。在此工艺条件的基础上, 对比了普通渗透脱水(OD)和超声波辅助渗透脱水(UOD)对西兰花冻结效率和品质的影响。结果表明: UOD 可以在短时间内达到 OD 较长时间的渗透效果, 提高西兰花的冷冻效率, 减少西兰花冻藏期的汁液流失, 抑制抗坏血酸含量的减少以及色泽的变化。

关键词: 西兰花; 超声波; 渗透脱水; 水分流失; 硬度; 冷冻

中图分类号: TS 213.2 文章编号: 1673-1689(2020)04-0033-08 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.04.005

Optimization of Ultrasonic-Assisted Osmotic Dehydration and the Influence on the Quality of Frozen Broccoli

CHEN Tong^{1,3}, ZHANG Min^{*1}, CHEN Jingjing²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Haitong Food Group Co., Ltd., Ningbo 315300, China; 3. Yangzhou Yechun Food Production and Distribution Co. Ltd., Yangzhou 412026, China)

Abstract: According to the measurement of water loss and hardness of frozen broccoli, the processing parameters of ultrasound-assisted osmotic dehydration on broccoli with trehalose solution before freezing were optimized by single factor and orthogonal experiments. The results showed that the optimal osmotic conditions were as followed, ultrasonic power of 240 W, osmotic time of 30 min, and osmotic concentration of 50%. Under these conditions, the water loss of broccoli was 1.26, and the hardness of frozen broccoli was 39.59 N. The results also indicated that ultrasound-assisted osmotic dehydration improved the efficiency of freezing, reduced the drop loss, and prevented the loss of ascorbic acid and the change in color of broccoli during frozen storage.

Keywords: broccoli, ultrasonic, osmotic treatment, water loss, hardness, frozen

收稿日期: 2018-03-12

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2017YFD0400501); 扬州市农业重点研发项目(YZ2019034)。

* 通信作者: 张慇(1962—), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事农产品加工与贮藏研究。E-mail: min@jiangnan.edu.cn

西兰花属于十字花科植物,人们主要食用花蕾的嫩茎,含有丰富的蛋白质、维生素以及矿物质等营养成分^[1,2]。研究表明,西兰花具有增强机体免疫力等功效^[3]。新鲜西兰花的保藏期较短,而冷冻是维持果蔬品质的重要技术,能够使果蔬在较长时间里不变质^[4]。但是果蔬含水量比较多,冷冻时会产生大量冰晶,对细胞组织造成严重的破坏,致使果蔬解冻后汁液流失增多、色泽变差、硬度降低以及营养品质的变化。

为保证冷冻产品的质量,可以对物料先脱去一部分水分然后再进行冷冻,这样不仅能降低水分含量,物料的组织结构在冻结过程中遭受的冰晶体破坏也减小,进而减缓理化品质的下降。目前,脱水冷冻技术以应用于黄瓜、芒果、猕猴桃、胡萝卜、番茄等果蔬中,并且可以有效改善冷冻果蔬的品质。渗透脱水是其中一种脱水方法,即将样品放入高渗透压的盐或者糖溶液中,在细胞膜两侧压力差的推动下,使得物质转移,除去物料中的水分^[5,6]。并且渗入的高渗物质也是冷冻保护剂,可以改善物料在冻藏期间的品质。但是渗透脱水是以分子自由扩散为基础,脱水速率较慢,比较耗时,过程中会伴随着色素、维生素、矿物质等天然成分的损失,所以需要采取一定的技术提高脱水的速率。

近些年来,超声波技术在食品加工过程中得到迅速的发展,在固-液体系渗透脱水过程中,超声波能够产生空穴效应、微射流效应、海绵效应和声波扰动等,进而加快渗透过程中的质量传递^[7]。作者选取西兰花为研究对象,通过单因素和正交试验得到超声波辅助渗透脱水的最佳条件,并研究了渗透脱水对物料冷冻效率和冻藏品质的影响,为提高冷冻果蔬的品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜的西兰花:购于无锡市滨湖区欧尚超市。

1.2 仪器与设备

HH-S 型水浴锅: 郑州长城科技工贸有限公司产品;超声波辅助速冻机: 宁波新芝生物科技股份有限公司产品;UT325 型热电偶: 上海优利得电子有限公司产品;超低温冰箱: 海尔公司产品;Sigma-16PK 冷冻离心机: 上海安亭科学仪器厂产品;TA-XT2i 型质构仪: 英国 Stable Micro Systems 公司产

品;NMI120 低场核磁分析仪: 上海纽迈电子科技有限公司产品;CR-400 色差仪: 日本美能达公司产品。

1.3 试验方法

1.3.1 样品的处理 将西兰花清洗干净,切成大小一致的小花球,花蕾直径为 2 cm,花径长为 2.5 cm,并在 90℃下漂烫 3 min,料液质量体积比是 1 g:10 mL,漂烫结束后迅速冷却沥干。然后将西兰花浸泡在 30℃的海藻糖渗透液中进行渗透处理,料液质量体积比为 1 g:4 mL,渗透处理结束后,用蒸馏水冲洗,然后沥干放入-80℃超低温冰箱中进行速冻。用电偶记录样品的中心温度,当温度达到-18℃时结束速冻。然后用聚乙烯袋包装并贮藏,贮藏温度为-18℃,贮藏时间为 6 个月,每隔一个月将西兰花用 4℃冰箱解冻后测定其品质。

1.3.2 超声波辅助西兰花渗透脱水单因素试验 分别以超声波功率、超声波时间和渗透液浓度为变量,研究其对西兰花的水分流失和西兰花冻结-解冻后硬度影响规律,为后续正交试验设计做基础。

1.3.3 正交试验设计 在单因素试验的基础上,以超声波功率、超声波时间、渗透液浓度为主要影响因素,以西兰花水分流失和西兰花冻结-解冻后的硬度为考察指标,进行正交试验 $L_9(3^4)$,确定西兰花渗透脱水的最佳工艺条件,正交试验因素与水平见表 1。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素		
	A/W	B/min	C/%
1	180	20	30
2	240	30	40
3	300	40	50

1.3.4 普通渗透脱水试验 将烫漂后的西兰花放入盛有质量分数 50%海藻糖溶液中,渗透温度为 30℃,渗透时间为 4 h,每隔 1 小时取一次样品,然后计算西兰花的水分流失和冻结-解冻后的硬度。

1.3.5 水分流失的测定 西兰花渗透脱水后的水分流失具体公式如下:

$$WL = \frac{((M_0 - m_0) - (M - m))}{m_0} \times 100\%$$

式中:WL 为西兰花水分流失率, (%); M_0 为渗透脱水前样品质量 (g); M 为渗透脱水后样品质量 (g); m_0 为渗透脱水前样品干物质质量 (g); m 为渗透脱水后样品干物质质量 (g)。

1.3.6 硬度的测定 西兰花的硬度用 TA-XT2i 质构仪进行测定。将西兰花的花茎切成直径为 1 cm, 茎长 1 cm 的圆柱体, 然后选用 P/36R 探头测定, 测试模式选择“Measure force in compression”, 测试参数为: 测前速度为 2.00 mm/s, 测试速度为 1.00 mm/s, 测后速度是 3.00 mm/s, 压缩变形量是 50%, 触发力是 5.0 g, 以最大峰值作为西兰花的硬度, 每组样品重复测试 10 次。

1.3.7 水分状态的测定 采用 PQ001 型低场核磁共振仪(LF-NMR)对不同处理组样品水分状态的变化进行检测。称取大约 3 g 的西兰花花茎置于直径为 15 mm 的检测管中, 进行自旋自旋弛豫时间 T_2 的测定。采用低场核磁共振成像仪(LF-NMRI)对西兰花的水分分布进行成像。

1.3.8 冻结时间的测定 采用热电偶记录西兰花冻结过程中温度变化, 将探头插入样品的中心位置, 每隔 5 s 记录一次温度数值, 然后绘制西兰花的冻结曲线。从样品的初始温度 5℃ 下降到 -18℃ 所用的时间为总的冻结时间, 温度从 -1℃ 降低到 -5℃ 过程为最大冰晶生成区。

1.3.9 汁液流失的测定 汁液流失率通常用来表示冷冻样品的持水能力, 将冻结西兰花取出称重, 然后置于 4℃ 冰箱, 待其解冻后, 擦去表面的水分, 然后再称重。每组样品重复测定 5 次, 解冻汁液流失率计算方法如下:

$$DL = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: DL 为西兰花汁液流失率(%); W_1 为解冻前样品质量(g); W_2 为解冻后样品质量(g)。

1.3.10 抗坏血酸质量分数的测定 采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定抗坏血酸质量分数。称 10 g 西兰花置于研钵中, 加入质量浓度为 20 g/L 的草酸溶液, 采用冰浴研磨, 磨成浆状后转移到 100 mL 容量瓶中定容, 过滤。准确吸取 10 mL 的滤液, 用 2,6-二氯酚靛酚进行滴定, 直到溶液出现粉红色, 且 15 s 内不褪色, 另取 10 mL 草酸溶液做空白试验。计算方法如下:

$$\frac{V \times (V_1 - V_2)}{V_s} \times 100 \quad (2)$$

式中: X 为抗坏血酸质量分数, (mg/hg); V 为样品提取液总体积 (mL); V_1 为样品消耗染料的体积(mL); V_0 为空白消耗染料的体积(mL); ρ 为每毫升的染料相

当于抗坏血酸的质量 (mg/mL); V_s 为滴定时所取样品溶液的体积(mL); m 为样品质量(g)。

1.3.11 色泽的测定 将解冻后的西兰花花头上的小花蕊剪下, 平铺在底部贴有黑色纸的培养皿中, 然后用色差计测定样品色泽, 测定时选培养皿 6 个不同的位置, 记录测定结果 a^* 。 a^* 表示样品的红绿色度, 正值越大代表样品越偏向红色, 负值越小代表样品越偏向绿色。

1.3.12 数据分析 采用 SPSS 中 ANOVA 及 Duncan's 测试, 对不同处理组之间的差异进行统计分析, 图和表中不同字母表示差异显著, 记为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 超声波的功率对西兰花渗透脱水以及冻结品质的影响 不同超声波功率对西兰花水分流失以及西兰花冻结-解冻后硬度如图 1 所示, 从图中可以看出, 随着超声波功率的增加, 水分流失也增加, 这可能是超声波的空穴效应引起的, 大量的空化气泡瞬间破裂, 产生较大的气压, 加快了细胞内外物质的扩散, 超声波产生的微孔道也可以促进水分的散失和固形物的增加^[8]。但是当超声波的功率为 360 W 时, 水分流失略有下降, 但是差异不显著 ($P > 0.05$)。质构是评价果蔬品质最重要的指标之一, 渗透脱水预处理在一定程度可以抑制样品解冻后硬度的下降。因为渗透脱水可以减少样品中的水分, 加快冷冻速率, 减缓冰晶对细胞结构的损伤, 提高样品解冻后的质地^[9]。随超声波功率的增大, 西兰花冻结-解冻后的硬度也逐渐增加, 当功率为 240 W 时, 硬度出现最大值。当功率大于 240 W 时, 西兰

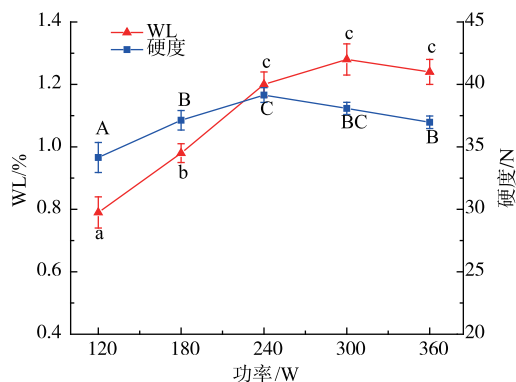


图 1 超声波的功率对西兰花渗透脱水及冻结品质的影响
Fig. 1 Effect of ultrasonic power on osmotic dehydration and quality of frozen broccoli

花的硬度出现下降趋势,这可能是因为高功率的超声波能引起细胞结构的坍塌,进而导致西兰花硬度的下降。考虑到失水率以及西兰花冻结-解冻后的质地,超声波的功率范围选择 180~300 W 较好。

2.1.2 超声波的时间对西兰花渗透脱水以及冻结品质的影响 如图 2 所示,西兰花的水分流失随着超声时间的延长而增多,这是因为超声时间越长,强化传质的时间越长,水分流失就越多^[10]。但是当超声时间超过 40 min 以后,水分流失趋于平缓。并且长时间的超声波处理会对细胞组织产生不可逆的破坏,造成西兰花细胞中的一些物质流失到渗透液中,导致西兰花冷冻-解冻后的质地变软,影响感官品质,综合考虑,超声处理时间以 20~40 min 为宜。

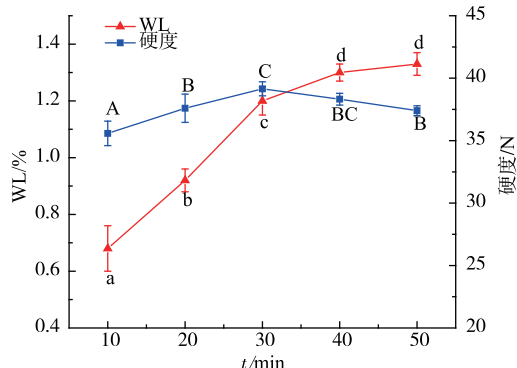


图 2 超声波的时间对西兰花渗透脱水及冻结品质的影响
Fig. 2 Effect of ultrasonic treatment time on osmotic dehydration and quality of frozen broccoli

2.1.3 渗透液的质量分数对西兰花渗透脱水以及冻结品质的影响 图 3 显示不同渗透液质量分数对西兰花水分流失以及西兰花冻结-解冻后硬度影响,在 20%~50% 范围内,随着渗透液质量分数的提高,西兰花水分流失逐渐增多。因为溶液的浓度梯度决定了渗透过程的扩散速率,浓度梯度越大,扩散速率越快,水分流失也越多。但当渗透液质量分数超过 50% 时,西兰花水分流失增加不显著 ($P>0.05$),可能是渗透液质量分数过高导致粘度增加,在物料表面形成阻力,进而导致水分渗出减少^[11]。西兰花冻结-解冻后的硬度值随着溶液浓度的增大而增大,这是因为海藻糖通过细胞膜进入西兰花组织中,可以作为一种冷冻保护剂,加强组织结构完整性,提高西兰花的硬度。当渗透液质量分数为 60% 时,会出现明显皱缩现象,细胞失水,随之产生细胞膜变形瓦解以及硬度的下降。综合考虑,渗透液海藻糖的质量分数选择 30%~50% 适宜。

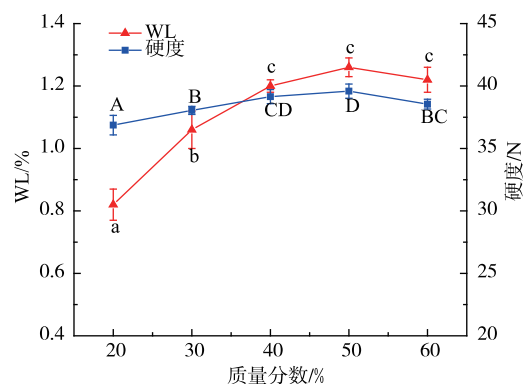


图 3 渗透液质量分数对西兰花渗透脱水以及冻结品质的影响
Fig. 3 Effect of sugar concentration on osmotic dehydration and quality of frozen broccoli

2.2 正交优化试验

根据单因素试验的结果,采用正交试验对西兰花渗透脱水工艺进一步优化,考察 A (超声波功率)、B (超声波时间) 以及 C (渗透液的质量分数) 对西兰花渗透效果的影响,设计正交试验。试验结果见表 2。由表可知,以西兰花的水分流失为指标的极差分析结果表明,各因素的影响顺序为: $B>A>C$,即超声波的时间>超声波功率>渗透液的质量分数。以西兰花冻结-解冻后的硬度为指标的极差分析结果表明,各因素的影响顺序为: $A>B>C$,即超声波的功率>超声波的时间>渗透液的量分数。考虑到西兰花解冻

表 2 正交试验结果及极差分析

Table 2 Orthogonal experiment results and analysis of range

序号	A	B	C	水分流失/(g/g)	硬度/N
1	1	1	1	0.72	34.69
2	1	2	2	0.98	36.73
3	1	3	3	1.14	38.02
4	2	1	2	0.92	37.19
5	2	2	3	1.26	39.59
6	2	3	1	1.18	38.35
7	3	1	3	1.05	34.73
8	3	2	1	1.08	35.59
9	3	3	2	1.22	34.12
K_1	0.943	0.897	0.993		
K_2	1.120	1.107	1.040		
K_3	1.117	1.180	1.150		
R	0.173	0.283	0.157		
K_1	36.48	35.537	36.210		
K_2	38.38	37.307	36.013		
K_3	34.813	36.830	36.933		
R	3.567	1.770	1.437		

后质地口感,超声波辅助渗透脱水最佳工艺条件为 $A_2B_2C_3$,即超声波功率为 240 W,时间为 30 min,渗透液量分数为 50%,在此工艺条件下,西兰花水分流失为 1.26,冻结-解冻后硬度为 39.59 N。然后在此工艺条件的基础上,后期探究超声波辅助渗透脱水对西兰花冻结品质的影响。

2.3 普通渗透脱水对西兰花渗透脱水以及冻结品质的影响

从图 4 中可以看出,在渗透初期(2 h 以内),西兰花的水分流失随着渗透时间的延长而增加,2 h 以后,渗透效果有所减缓。这可能是初期渗透液与

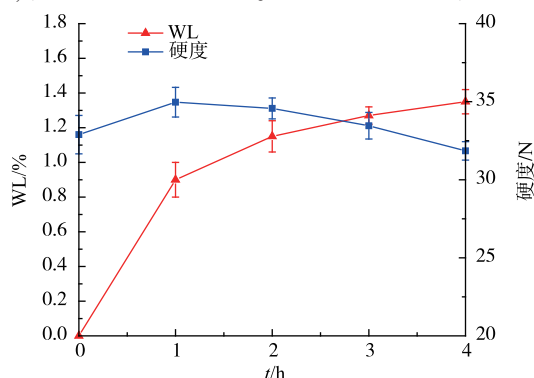


图 4 普通渗透脱水对西兰花渗透脱水以及冻结品质的影响

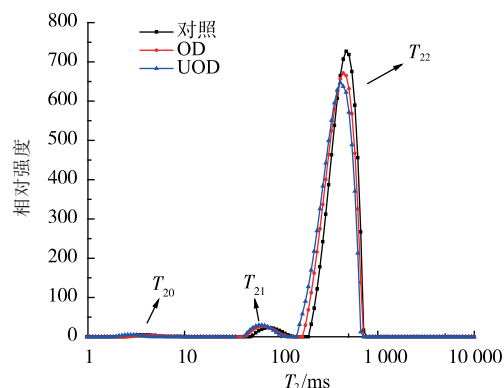
Fig. 4 Effect of osmotic dehydration on osmotic dehydration and quality of frozen broccol

西兰花之间的渗透压差比较大,使得水分流失速率快。但是随着时间的延长,渗透液很容易在西兰花的表面富集或者在西兰花的毛细管内填充,增加了渗透的阻力,使得水分难以渗出。并且长时间的渗透会导致西兰花冻结-解冻后的硬度下降,所以综合考虑,普通渗透脱水处理 2 h(OD)的渗透效果较好,以此作为后期研究的对照,来探究超声波辅助渗透脱水对西兰花冻结品质的影响。

2.4 超声波辅助渗透脱水对西兰花水分分布的影响

为了更加直观的观察渗透脱水前后样品水分状态的变化,采用低场核磁技术对西兰花的横向弛豫时间(T_2)进行测定。根据横向弛豫时间的不同,可

以分为 3 个区域, T_{20} 代表的是细胞壁中的水分,与细胞壁中的多糖类物质结合紧密,流动性非常弱; T_{21} 代表的是细胞质中的水分,能够和细胞质中的酶、蛋白质和细胞骨架物质等相结合; T_{22} 代表的是液泡中的水分,能够和糖类及小分子物质相结合,流动性最强。从图 5 中可以看出,西兰花体系中的水分可以分为 T_{20} (1~20 ms), T_{21} (20~200 ms), T_{22} (200~800 ms)。表 3 显示了不同样品的横向弛豫时间 T_{20} , T_{21} , T_{22} 以及相对应的峰面积。结果显示,渗透处理可以明显的缩短 T_{21} 和 T_{22} 的弛豫时间,这是因为渗透脱水增加了液泡中的溶质以及生物聚合物的含量,增加了体系粘度,因此水的流动性减弱,弛豫时间缩短^[12]。 T_{21} 的水分比例增加,而 T_{22} 的水分比例降低,这可能是因为渗透压的作用使细胞内的水分重新分布,液泡中具有较强流动性的 T_{22} 水进入粘度较高的细胞质中,变为流动性较弱的 T_{21} 水。与 OD 相比,UOD 可以更明显的缩短 T_{21} 的弛豫时间,增加 T_{21} 的水分比例,即 UOD 可以在 30 min 中内达到 OD 在较长时间内的渗透效果,降低西兰花的水分流动性。



对照: 未经处理的西兰花;OD: 普通渗透脱水的西兰花;UOD: 超声波辅助渗透脱水的西兰花

图 5 不同处理组西兰花的横向弛豫时间分布

Fig. 5 Transverse relaxation spectra of samples with different treatments

表 3 不同处理组西兰花的横向弛豫时间(T_2)和相对峰面积(M_2)

Table 3 Proton transverse relaxation times (T_2) and relative areas in samples with different treatments

处理方式	T_2			M_2		
	T_{20}	T_{21}	T_{22}	M_{20}	M_{21}	M_{22}
对照	4.95 ± 0.23^b	62.95 ± 2.27^b	505.26 ± 9.78^c	1.51 ± 0.21^a	3.42 ± 0.46^a	95.07 ± 1.63^b
OD	4.8 ± 0.15^b	58.72 ± 1.99^{ab}	471.37 ± 10.35^b	1.25 ± 0.17^a	5.83 ± 1.07^b	92.82 ± 1.05^{ab}
UOD	4.19 ± 0.34^a	54.78 ± 2.34^a	439.76 ± 8.62^a	1.49 ± 0.15^a	7.67 ± 0.76^c	90.84 ± 1.47^a

核磁共振成像成像是一种无损、高效的检测技术,通过任意层面成像以及多参数成像可以更加直观的检测到物料内部的水分分布和变化情况。物料体系内的水分质量分数与核磁共振成像图谱上信号强度成比例关系,水分质量分数越高,信号越强,图像越亮,反之,水分质量分数越低,信号越弱,图像越暗^[13]。

图 6 是检测的不同处理条件下西兰花花茎的低场核磁成像图,图片上的色度条从下到上呈现了不同的颜色,代表的是水分含量逐渐增加。不同处理组西兰花的颜色分布有显著的区别,新鲜的西兰花样品图像比较明亮,色度值高,说明水分质量分数比较多,尤其是边缘部位,信号最强,呈现一条明亮的水带,说明花径的外侧部分的含水量比内部高。经过渗透脱水的样品四周也有水带,但是水带比较细,整体视野也比较暗,说明西兰花花茎中心的水分由于渗透压的存在逐渐向外侧转移。相比普通渗透脱水,超声波辅助渗透脱水样品的水带变细

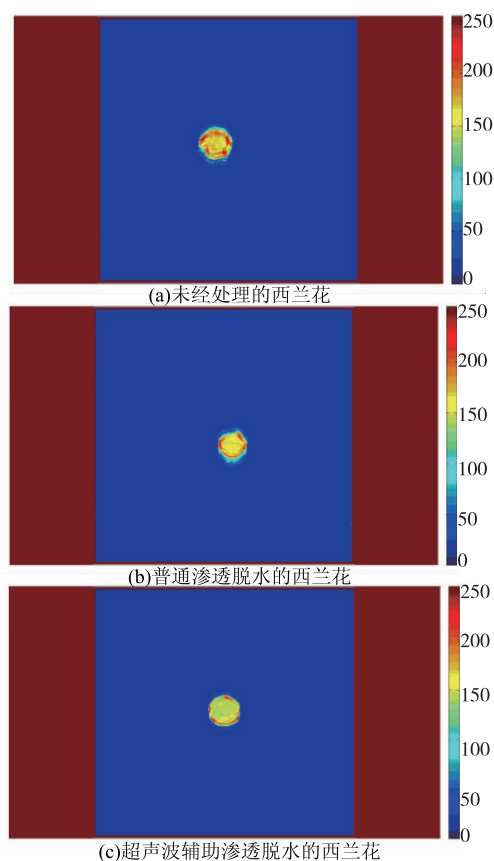


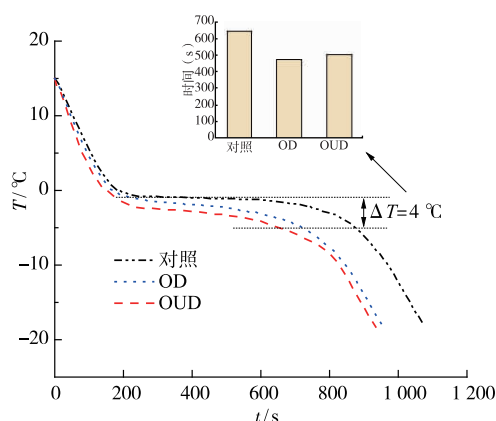
图 6 不同处理组西兰花的低场核磁成像图

Fig. 6 LF-NMR images of samples with different treatments

变短,视野更暗,说明水分质量分数更低。

2.5 超声波辅助渗透脱水对西兰花冷冻时间的影响

图 7 为不同处理组样品的冻结曲线,可以看出,渗透脱水前处理能显著样品缩短冻结时间,这是因为经过渗透脱水,样品水分质量分数减少,可冻结的水分降低,进而释放的热量减少,因此使得整个冻结过程缩短。当温度从 -1°C 下降到 -5°C 为“最大冰晶生成带”,一般用通过该温度区域所用的时间来表示冷冻速率,冷冻速率关系着冷冻食品的品质。经过“最大冰晶生成带”的时间越短,冷冻速率越快,物料内形成的冰晶粒径越小,对西兰花的品质破坏越小。相反,时间越长,速率越慢,在物料内形成的冰晶体就比较大,进而对细胞组织结构造成一定的破坏,影响西兰花的品质。与未经过渗透脱水的西兰花相比,UOD 和 OD 处理组样品的冷冻速率分别提高了 21%和 26%,这与李娟等人研究结果一致,他们发现经过渗透脱水处理的样品具有更短的冷冻时间和更快的冷冻速率^[14]。



对照:未经处理的西兰花;OD:普通渗透脱水的西兰花;UOD:超声波辅助渗透脱水的西兰花。

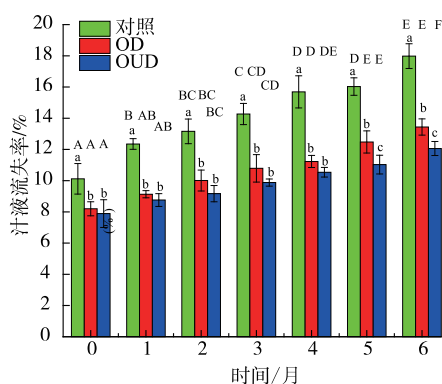
图 7 不同处理组西兰花的冻结曲线

Fig. 7 Freezing curves of samples with different treatments

2.6 超声波辅助渗透脱水对冻藏期西兰花汁液流失率的影响

不同处理组的西兰花在贮藏过程中的汁液流失率如图 8 所示,可以看出未经过渗透脱水西兰花冷冻-解冻后的汁液流失率显著高于经过渗透脱水冻结西兰花的汁液流失率($P<0.05$),这是因为未处理的西兰花含水量高,冻结过程中会在组织内形成大的冰晶体,导致细胞组织的破坏和塌陷,细胞的

持水能力降低,因此汁液流失增加。渗透脱水处理降低了样品可冻结水的含量,提高了冻结速率,冰晶对细胞组织的破坏小,因此汁液流失率相对较低。另外,海藻糖是比较好的冷冻保护剂,能够增强对水的束缚性,使水分流动性降低,冰晶体的粒径减小,进而样品的汁液流失率下降。随着贮藏时间的增加,西兰花的汁液流失率都逐渐提高,可能是因为贮藏过程中,冰晶出现重结晶的现象,造成冰晶尺寸增大,进而对细胞结构造成更严重的破坏。但是,未经过渗透处理的西兰花样品的汁液流失率的增加程度显著高于经过渗透处理的西兰花样品($P<0.05$),这与赵金红等人的结论一致^[13]。



图中小写字母 a~c 代表同一贮藏时间不同处理组的显著性差异 ($P<0.05$); 大写字母 A~F 代表同一处理组不同贮藏时间之间的显著性差异 ($P<0.05$); 对照: 未处理的冷冻西兰花; OD: 普通渗透脱水的冷冻西兰花; UOD: 超声波辅助渗透脱水的冷冻西兰花

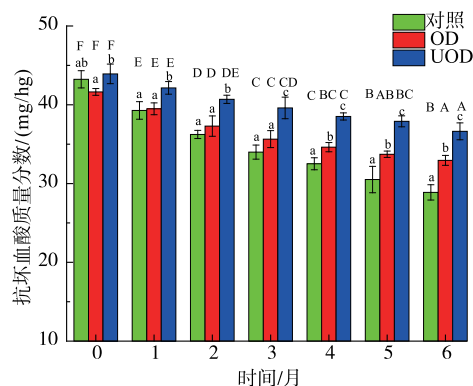
图 8 不同处理组西兰花在冻藏期间汁液流失率变化

Fig. 8 The drop loss of samples with different treatments during frozen storage

2.7 超声波辅助渗透脱水对冻藏期西兰花抗坏血酸质量分数的影响

图 9 显示了不同的处理方法对冷冻西兰花贮藏期间抗坏血酸质量分数的影响。由图可以看出,在贮藏过程中 UOD 处理组西兰花的抗坏血酸质量分数高于 OD 处理西兰花。这可能是因为渗透脱水过程中抗坏血酸会随水分子从细胞内部转移到渗透液中,而超声波能够提高渗透脱水的效率,进而缩短了西兰花与渗透液的接触时间,减少抗坏血酸的流失和氧化。虽然超声波的热效应、空穴效应会导致抗坏血酸发生降解,但是超声波对抗坏血酸的保留作用大于降解作用,因此 UOD 处理组样品解冻后抗坏血酸的质量分数更高。随着贮藏时间的

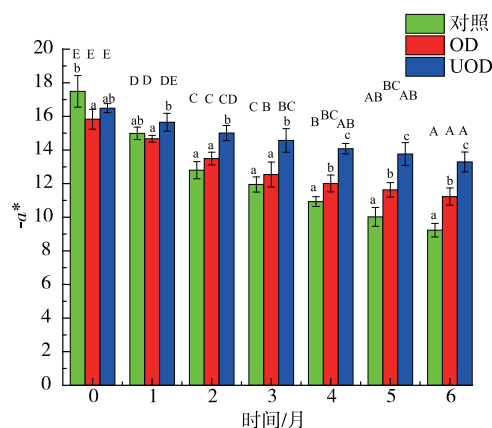
增加,抗坏血酸的含量都减少。但是渗透脱水冻结西兰花抗坏血酸的含量高于普通冻结西兰花样品,这可能是因为经过渗透脱水后,西兰花可冻结水的质量分数下降,冻结时间短,汁液流失率低,而抗坏血酸是一种水溶性维生素,易随水分流失,所以渗透脱水处理一定程度上提高了抗坏血酸保留率。到第 6 个月时,抗坏血酸的质量分数减少到原来的 68.27% 到 84.72%。



图中小写字母 a~c 代表同一贮藏时间不同处理组的显著性差异 ($P<0.05$); 大写字母 A~F 代表同一处理组不同贮藏时间之间的显著性差异 ($P<0.05$); Control: 未处理的冷冻西兰花; OD: 普通渗透脱水的冷冻西兰花; UOD: 超声波辅助渗透脱水的冷冻西兰花

图 9 不同处理组西兰花在冻藏期间抗坏血酸的变化

Fig. 9 Changes of ascorbic acid contents in samples with different treatments during frozen storage



图中小写字母 a~c 代表同一贮藏时间不同处理组的显著性差异 ($P<0.05$); 大写字母 A~E 代表同一处理组不同贮藏时间之间的显著性差异 ($P<0.05$); Control: 未处理的冷冻西兰花; OD: 普通渗透脱水的冷冻西兰花; UOD: 超声波辅助渗透脱水的冷冻西兰花

图 10 不同处理组西兰花在冻藏期间色泽的变化

Fig. 10 Changes of color coordinates a^* of samples with different treatments during frozen storage

2.8 超声波辅助渗透脱水对冻藏期西兰花色泽的影响

不同处理方式对西兰花贮藏期间色泽的影响如图 10 所示,西兰花经过漂烫处理之后 $-a^*$ 值为 17.49,比较鲜绿,这可能是漂烫处理驱除了体系中的空气,使样品的透光性增强。在加工和贮藏过程中,西兰花的色泽会从鲜绿色变为黄褐色,一方面可能是因为色素类物质的降解,另一方面就是由于解冻时产生汁液流失,色素类物质会随之流失,最终导致西兰花色泽的变化^[15]。由图可知,在贮藏期间,普通冻结西兰花的色泽变化程度要明显高于渗

透脱水冻结的西兰花,在贮藏末期,普通冻结西兰花的 $-a^*$ 值为 9.23,OD 和 UOD 处理的样品的 $-a^*$ 值分别为 11.23 和 13.29,说明渗透脱水处理可以较好得保持西兰花的色泽。

3 结 语

超声波辅助渗透脱水可以在短时间内达到普通渗透脱水长时间的效果,提高渗透脱水效率,有利于细胞结构的保持,并缩短了西兰花后期冻结时间,减少西兰花冻藏期间的汁液流失率,有利于抗坏血酸和色泽的保留。

参考文献:

- [1] MORENO D A,CARVAJAL M,LOPEZ C,et al. Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli[J]. **J Pharmaceut Biomed**,2006,41(5):1508-1522.
- [2] MA Haiyan,ZHAGN Min. The application study of ultrasonic-ozone combined treatments in quick -frozen broccoli [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2010,29(4):538-543.(in Chinese)
- [3] GAWLIK U,JEZYNA M,SWIECA M,et al. Effect of bioaccessibility of phenolic compounds on in vitro anticancer activity of broccoli sprouts[J]. **Food Res Int**,2012,49(1):469-476.
- [4] STINCO C M,FERNANDEZ R,HEREDIA F J,et al. Bioaccessibility,antioxidant activity and colour of carotenoids in ultrafrozen orange juices: Influence of thawing conditions[J]. **LWT-Food Sci Technol**,2013,53(2):458-463.
- [5] ZHANG Xiaomin,LAN Yanping,et al. Research progress on osmotic dehydration in fruit and vegetables [J]. **Food Research and Development**,2012,33(9):204-207.
- [6] ZHANG Chunhua,ZHANG Min,et al. Effect of pretreatment on dehydrated cabbage quality [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2006,25(5):35-39.(in Chinese)
- [7] DONG Hongxing,XIANG Yulin,et al. Transfer rule of osmotic dehydration of carrots under ultrasound treatment[J]. **Journal of Harbin Engineering University**,2008,29(2):189-193.(in Chinese)
- [8] REN Xiane,HE Ren,et al. Osmotic dehydration of pineapple enhanced by ultrasonic treatment [J]. **Food Science**,2010,31(22):279-282.(in Chinese)
- [9] ZHAO Jinhong,HU Rui,et al. Effect of osmotic dehydration pre-treatment on freezing rate and quality attributes of frozen mango [J]. **Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**,2014,45(2):220-227.(in Chinese)
- [10] ZHAO Caiqing,WANG Zhengfu. Effects of ultrasonic pretreatment on osmotic dehydration of cherry tomato [J]. **Science and Technology of Food Industry**,2008,29(3):149-150.(in Chinese)
- [11] CHEN Qinjin,MENG Qiquan. Study on osmotic dehydration process of cherry tomatoes [J]. **Anhui Agricultural Science Bulletin**,2016,22(23):125-128.(in Chinese)
- [12] VICENTE S,NIETO A B,HODARA K,et al. Changes in structure,rheology,and water mobility of apple tissue induced by osmotic dehydration with glucose or trehalose[J]. **Food & Bioprocess Technology**,2012,5(8):3075-3089.
- [13] ZHAO Jinhong,WEN Xin. Osmo-dehydrofreezing mango quality attributes [J]. **Modern Food Science and Technology**,2014,5):225-231.(in Chinese)
- [14] Li J,CHOTIKO A,KYEREH E. Development of a combined osmotic dehydration and cryogenic freezing process for minimizing quality changes during freezing with application to fruits and vegetables[J]. **J Food Process Pres**,2017,41(1):21-25.
- [15] JIANG Yu,CHENG Xinfeng,et al. Effect of different blanching methods on the quality of vegetable soybeans[J]. **Science and Technology of Food Industry**,2017,38(5):78-84.(in Chinese)