

牡丹花脯超声渗糖工艺优化及其质构特性的对比分析

Optimization on ultrasonic sugar permeability process and comparative analysis of textural properties of peony preserves

李 宁 朱文学 白喜婷 马怡童

LI Ning ZHU Wen-xue BAI Xi-ting MA Yi-tong

(河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023)

(College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China)

摘要:以牡丹花为原料,利用超声波的强化传质特性制备牡丹花脯,优化超声渗糖的工艺条件,并对比分析不同渗糖方式对牡丹花脯质构特性的影响。结果表明,超声渗糖的最佳工艺条件为:超声功率 110 W、渗糖时间 40 min、蔗糖浓度 40%,渗糖后花脯含糖量为 32.96%,且花脯渗糖速率得到提高;采用超声渗糖法制备的牡丹花脯的硬度值为 16.069 N,凝聚性为 0.606,弹性为 0.876,胶着性为 9.738 N,咀嚼性为 8.530 mJ,且超声渗糖花脯的硬度、胶着性及咀嚼性与真空及常压渗糖花脯对比均有显著性差异,呈现出良好的质构特性。

关键词:牡丹;花脯;超声波;渗糖;质构

Abstract: In order to maximize the utilization of the peony resources, the fresh peony was used as the raw material, and the enhanced mass transfer characteristics of ultrasonic wave were used to prepare the peony preserves, then texture analysis was implemented to study the effect of ultrasound on the process of sugar permeability. Taking sugar content as the research index, the optimum process was as follows: ultrasonic power 110 W, time 40 min, sucrose concentration 40%, and sugar content of sugar cane was 32.96%. The rate of sugar permeation was increased. The results of texture profile analysis (TPA) showed that the hardness was 16.069 N, cohesive was 0.606, elasticity was 0.876, gumminess was 9.738 N, chewiness was 8.530 mJ. The hardness, adhesiveness and chewiness of ultrasonic permeation sugar preserved fruits were significantly different from those of vacuum and osmotic sugar.

Keywords: peony; preserved flower; ultrasonic; sugar permeability; texture

基金项目: 河南省高校科技创新团队支持计划资助(编号: 17IRTSTHN016)

作者简介: 李宁,女,河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者: 朱文学(1967—),男,河南科技大学教授,博士。

E-mail: zwx@haust.edu.cn

收稿日期: 2017-05-30

花卉作为一种重要食材,在中国有着悠久的食用历史。牡丹花瓣含有维生素、氨基酸等营养物质及紫云英苷等抗癌活性分子^[1-3],是理想的花卉食材之一。目前,中国牡丹加工技术相对成熟,干制花茶^[4]、浸液制粉^[5]等方法应用广泛,有效挖掘了牡丹的应用价值。但是,由于牡丹花期短、研发力度不够等原因,使牡丹的综合开发特别是在食品方面的研发成为难题。同时,牡丹食品制备方式的不完善加剧降低花瓣利用率,造成资源浪费。

目前常用的糖渍方法有常压渗糖^[6]及真空渗糖^[7]等,前者耗能虽低但耗时较长,后者正好相反,且两者糖渍后的产品质地均不太理想。超声波可产生空化效应^[8],其高穿透性可促进生物大分子渗透,提高传质效率^[9]。近年来,有很多研究表明超声技术在果蔬渗透脱水方面有重要作用。马空军等^[10]研究发现,传质界面边界层在超声作用下会减薄,渗糖速率得到提高;Nowack 等^[11]研究发现,果肉在超声波处理下能形成微小通道,促进糖液渗透。真空渗糖可有效减少产品营养损失,较好保持其品质^[12-13],为此,本课题组在前期进行了真空渗糖制备牡丹花脯试验,并对比常压渗糖,发现真空渗糖虽可减少耗时,但设备投资大,生产成本低,且产品质地和渗糖效果不佳。因此,本试验拟采用超声波来改善牡丹花瓣的渗糖效果,以期得到一种简单高效的牡丹花脯加工方法,同时使牡丹食材的力学性能、外观品质、储存条件得到明显改善,有效降低牡丹食材开发成本,为牡丹产业化发展提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

牡丹花瓣:洛阳红,采于洛阳牡丹园;

蔗糖、食盐、柠檬酸、无水氯化钙、抗坏血酸:食品级,市售。

1.2 仪器与设备

质构仪:Instron 5544Q6427 型,美国英斯特朗公司;

超声波清洗器:KQ-200 型,昆山超声仪器有限公司;
电子分析天平:200S 型,北京塞多利斯科学仪器有限公司;
电热鼓风干燥箱:DHG-9240A 型,上海市一恒科学仪器公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

鲜牡丹花→预处理→烫漂→护色硬化→漂洗→渗糖→干燥→灭菌→冷却→成品

1.3.2 操作要点

- (1) 原料预处理:选择色泽自然,完好无损、无虫蛀和腐烂,大小一致且较厚的花瓣,放入 0.9 g/100 mL 的食盐水中,进行漂洗,沥干备用。
- (2) 烫漂与护色:将预处理过的花瓣置于 90~100 ℃ 的热水中烫漂 2 min,用冷水快速冷却,并置于 0.25%柠檬酸和 0.2%抗坏血酸混合液中,护色处理 30 min,备用。
- (3) 硬化:将护色后的花瓣置于浓度为 0.2%氯化钙溶液硬化 30 min 后洗净,沥干待用。
- (4) 渗糖。超声渗糖工艺:在 500 mL 水中放入一定量蔗糖,配制质量分数为 20%~60%的渗糖液,放入 50 g 硬化后的花瓣,在温度 25~45 ℃、超声波功率 80~120 W 的条件下分别渗糖 20~60 min;常压渗糖工艺:其他条件不变,将硬化后的花瓣置于室内,自然渗糖一定时间;真空渗糖工艺:其他条件不变,将硬化后的花瓣置于 0.09 MPa 的真空条件下渗糖一定时间。
- (5) 干燥:将渗糖后的花脯平铺于网筛上,置于 60 ℃ 的鼓风干燥箱内,干燥 4 h。
- (6) 杀菌、冷却:包装后的牡丹花脯采用 100 ℃ 沸水杀菌 15 min,在无菌箱中自然冷却。
- (7) 成品:成品牡丹花脯色泽均匀,软硬适中有嚼劲,表面透明而不粘手,组织饱满无明显皱缩,无蔗糖晶析现象,有淡淡牡丹花味,适口性强,含糖量 25%~35%,水分含量 15%~20%。

- 1.3.3 含糖量的测定 参照 GB/T 10782—2006 测定。
- 1.3.4 单因素试验设计 以糖含量为指标,固定考察超声渗糖温度(25,30,35,40,45 ℃)、超声渗糖时间(20,30,40,50,60 min)、超声功率(80,90,100,110,120 W)、蔗糖浓度(20%,30%,40%,50%,60%)对渗糖效果的影响。在进行某一单因素试验时,仅以该因素为变量,其余因素需固定在特定水平,各因素的固定水平分别为:渗糖温度 40 ℃,渗糖时间 40 min,超声功率 100 W,蔗糖浓度 30%。
- 1.3.5 超声渗糖牡丹花脯的响应面试验设计 在单因素试验基础上,以超声功率、渗糖时间和蔗糖浓度 3 个因素为自变量,以含糖量为响应值,采用 Box-Behnken 试验方法优化渗糖条件。
- 1.3.6 不同渗糖方式下牡丹花脯质构的对比分析 采用质构仪对不同样品的硬度、咀嚼性、凝聚性、回复性、二次咀嚼力等质构指标^[14-16]进行测定。将样品切成 8 mm×20 mm

的长条,厚度在 0.3 cm 左右,放置平台上测试,尽量保持其完整不破损^[17-18]。参数设置为:探头选用 P/50,预测试速率 1.0 mm/s;测试速率与返回速率均为 0.5 mm/s;两次压缩保持 5 s 间隔;压缩度为 60%;触发值为 5 g;每秒采集 10 个数据点。

2 结果与分析

2.1 渗糖时间对渗糖效果的影响

由图 1 可知,随渗糖时间延长,不同处理条件下牡丹花脯含糖量均呈上升趋势,由于随时间延长,渗入牡丹花脯的蔗糖分子逐渐增多使花脯含糖量增加;对比可发现,同一渗糖时间下,超声渗糖花脯含糖量始终高于其他 2 种渗糖方式,原因在于超声空化作用使传质面增大,提高了质量转移系数,从而加快渗糖速率,如真空渗糖 55 min 时花脯糖含量仅相当于超声渗糖 30 min 的效果;当渗糖时间达到 40 min 后,含糖量仍在增加,但速度放缓,原因可能是随渗糖时间的延长,物料质量浓度差逐渐减小,传质动力相应减弱,不足以提供蔗糖大分子穿透细胞膜的动力消耗,因此渗糖速率下降。

在相同条件下,超声渗糖效果优于真空及常压渗糖。综合考虑渗糖效率以及花脯组织结构完整性,选择渗糖时间为 40~60 min 进行后续试验。

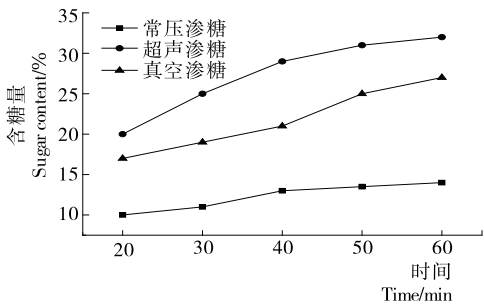


图 1 渗糖时间对渗糖效果的影响

Figure 1 The impact of times on the sugar permeability

2.2 渗糖温度对渗糖效果的影响

由图 2 可知,渗糖时间相同时,3 种产品糖含量均随着渗糖温度的升高而升高,可能是蔗糖分子和水分子的运动均随着温度的升高而加快,从而提高了蔗糖分子和水的内外传质速率;在同一温度下,超声渗糖产品含糖量始终高于真空及常压渗糖的,因为超声波在糖液中传播时会因衰减而产生热量,能使传质面局部升温,蔗糖分子动能提高,加之空化泡的产生能使传质面增大,这些均使得物料的扩散速率加快,从而使花脯含糖量处于较高水平;然而温度过高时,超声产热作用会导致糖液蒸汽压上升,空化核数量骤减,这样空化强度随着空化泡的破裂而下降^[19],传质速率下降,温度超过 40 ℃ 后,超声作用的花脯含糖量增速明显减缓。

与真空和常压渗糖相比,超声渗糖效果优势明显,且维持在较低温度下更好,在节约能源和提高产品质量方面更为有利。故选择渗糖温度为 40 ℃ 进行后续试验。

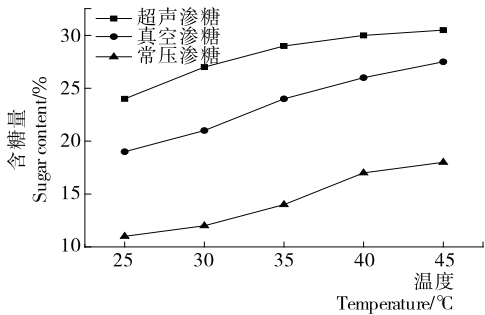


图 2 温度对渗糖效果的影响

Figure 2 Effect of temperatures on sugar permeability

2.3 超声功率对渗糖效果的影响

由图 3 可知,超声功率对渗糖效果有很大的影响。随着超声功率增加,产品含糖量明显增加;当功率达到 110 W 左右,产品含糖量达到峰值;当功率超过 110 W 后,产品含糖量随着功率增大反而降低。可能是超声波会产生“空穴”作用,空化气泡振动使细胞膜的双分子层也随之振动,当超声功率在合适范围内时,强烈震动会导致空化气泡破裂,其产生的冲击波可使细胞膜双分子层排列变得无序,同时释放的巨大能量可将大量糖分通过微孔道输送入细胞内,从而加快糖分扩散;但超声功率超过一定范围后,植物组织结构会因超声功率过大而被破坏,造成糖分流失,因此超声功率不能过高。故选取超声功率 90~110 W 进行后续试验。

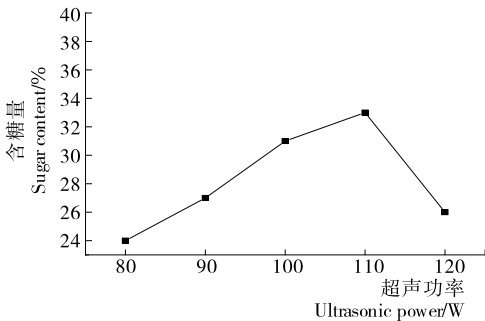


图 3 超声功率对渗糖效果的影响

Figure 3 Effect of ultrasonic power on sugar permeability

2.4 蔗糖浓度对渗糖效果的影响

由图 4 可知,随着蔗糖质量分数的增加,3 种渗糖方式产品含糖量均逐渐增高,当蔗糖浓度达到 40% 以上时,增势相对减缓。可能是渗糖过程本质上就是蔗糖分子和水分子各自的扩散过程,其速率与分子浓度差呈正比,即浓度差越大,渗透速率越大,含糖量随即升高。但渗糖液浓度过高时,糖液黏度相应变大,外部传质阻力增大,水分和蔗糖分子的均匀置换进程被阻碍,扩散速率随之降低,从而含糖量增加逐渐趋于平衡。同时,超声引起的空化效应可产生宏观湍动,液固界面边界层被削弱,双扩散的外部传质阻力减小,传质速率增大;另外,超声震荡会使物料内部产生微毛细管,使其内的物质扩散得到加强,超声渗糖效果明显优于真空及常压渗糖。综合考虑选取蔗糖浓度 30%~50% 进行后续试验。

2.5 牡丹花脯加工的工艺优化结果分析

2.5.1 响应面试验结果及模型建立与检验 根据单因素试

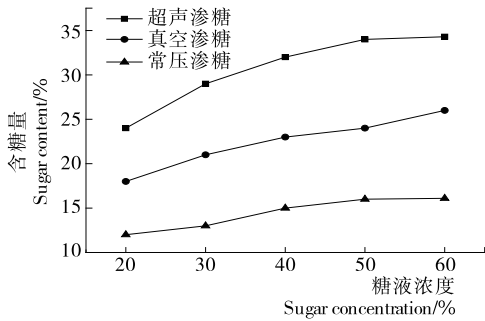


图 4 糖液浓度对渗糖效果的影响

Figure 4 Effects of sugar concentration on sugar permeability

验结果,确定超声温度为 40 ℃,超声功率、超声时间和蔗糖浓度的因素水平取值范围见表 1。响应面设计方案及试验结果见表 2。回归方程系数显著性检验见表 3。

采用 Design-Expert(version 8.05)软件对表 2 中的数据 进行多元回归拟合,得到数学模型为:

$$Y=32.88+3.08X_1+0.68X_2+0.24X_3-0.28X_1X_2-0.047X_1X_3+0.015X_2X_3-1.06X_1^2-1.23X_2^2-0.79X_3^2。(1)$$

表 1 响应面试验因素水平表

Table 1 Factors and levels for response surface analysis

水平	X ₁ 超声 功率/W	X ₂ 超声渗糖 时间/min	X ₃ 蔗糖 浓度/%
−1	90	40	30
0	100	50	40
1	110	60	50

表 2 响应面试验设计及试验结果

Table 2 Experimental design and result used in response surface analysis

试验号	X ₁	X ₂	X ₃	含糖量/%
1	−1	−1	0	26.85
2	1	−1	0	33.21
3	−1	1	0	28.53
4	1	1	0	33.77
5	−1	0	−1	27.55
6	1	0	−1	34.15
7	−1	0	1	28.01
8	1	0	1	34.42
9	0	−1	−1	29.78
10	0	1	−1	31.33
11	0	−1	1	30.35
12	0	1	1	31.96
13	0	0	0	33.12
14	0	0	0	32.83
15	0	0	0	32.67
16	0	0	0	33.24
17	0	0	0	32.42

表 3 回归方程系数显著性检验表[†]

Table 3 Significance test of regression equation model

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	95.46	9	10.61	89.32	<0.000 1	* *
X ₁	75.71	1	75.71	637.56	<0.000 1	* *
X ₂	3.64	1	3.64	30.70	0.000 9	* *
X ₃	0.47	1	0.47	3.92	0.088 2	
X ₁ X ₂	0.31	1	0.31	2.64	0.048 2	*
X ₁ X ₃	9.03×10 ⁻³	1	9.03×10 ⁻³	0.08	0.790 7	
X ₂ X ₃	9.00×10 ⁻⁴	1	9.00×10 ⁻⁴	7.58×10 ⁻³	0.933 1	
X ₁ ²	4.71	1	4.71	39.64	0.000 4	* *
X ₂ ²	6.42	1	6.42	54.06	0.000 2	* *
X ₃ ²	2.64	1	2.64	22.26	0.002 2	* *
残差	0.83	7	0.12			
失拟项	0.38	3	0.13	1.13	0.436 0	不显著
净误差	0.45	4	0.11			
总离差	96.29	16				

[†] * *. 差异极显著(P<0.01); *. 差异显著(P<0.05); R²为 0.991 4, R²_{Adj}为 0.980 3。

由表 3 可知,各因素影响主次顺序:超声功率>渗糖时间>蔗糖浓度。对含糖量影响极显著的有 X₁、X₂、X₁²、X₂²、X₃²。回归方程模型极为显著(P<0.000 1);失拟项无显著差异(P>0.05),说明该回归方程能较好地预测响应值;R²_{Adj}=0.980 3,表明模型可以解释 98.03%的响应值的变化,模型拟合度好。

2.5.2 交互作用对响应值影响分析 选取交互作用显著的因素,并采用 Design-Expert 8.06 软件绘制响应面和等高线图。由图 5 可知,当渗糖时间一定时,超声功率越大牡丹花脯含糖量越高;超声功率一定时,渗糖时间的改变对花脯含糖量的影响较小。

2.5.3 超声渗糖条件的优化 通过对模型进行优化,得到牡丹花脯最佳超声渗糖条件:超声功率 110.46 W、渗糖时间 40.39 min、蔗糖浓度 40.33%。此条件下产品含糖量的理论预测值为 34.58%。为方便试验,将最优条件调整为:超声功率 110 W、渗糖时间 40 min、蔗糖浓度 40%,在此条件下,进行 3 次重复实验。得到牡丹花脯含糖量平均值为 32.96%,接近理论预测值。说明模型是可靠的。

2.6 不同渗糖方式下牡丹花脯质构的对比分析

质地是衡量牡丹花脯品质的重要指标之一,TPA 测试可以对产品质地进行分析,图 6 为不同渗糖条件下牡丹花脯的 TPA 测试结果。

硬度反映的是产品坚实度。由表 4 可知,超声条件下的牡丹花脯硬度与其他 2 种渗糖方式存在显著差异(P<0.05),可能是超声产生“空穴作用”,引起的冲击波可瞬间击穿植物细胞细胞膜,产生微观通道加快糖分扩散,使其填充在细胞间隙,提高组织紧实度;凝聚性反映的是细胞间结合力的大小^[20],不同渗糖方式对产品的凝聚性影响不大;弹性表示在外力作用下产品恢复原来形状的能力,而渗糖方式的差异对产品的弹性几乎没有影响;胶着性代表咀嚼食物所需的能量^[21],超声波渗糖与真空、常压渗糖制备牡丹花脯的胶

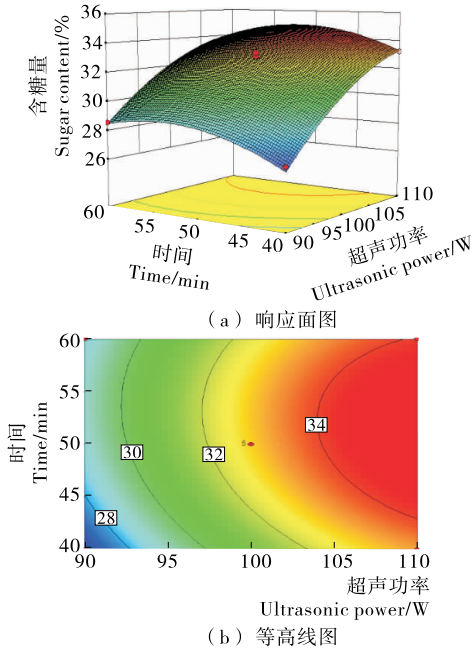


图 5 超声功率和渗糖时间对产品含糖量影响的响应面及等高线图

Figure 5 Response surface and contour map of ultrasonic power and penetration time on product sugar content

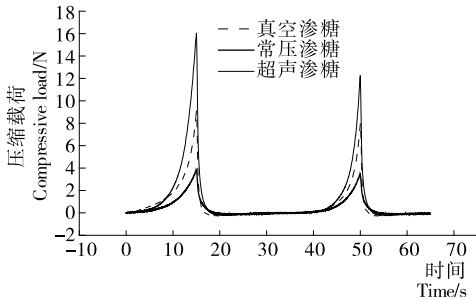


图 6 不同样品 TPA 测试结果的对比分析

Figure 6 Comparison and analysis of TPA test results of different samples

表 4 渗糖方式对牡丹花脯质地的影响

Table 4 Effects of different sugar permeability on the texture of peony preserves					
渗糖方式	硬度/N	凝聚性	胶着性/N	弹性	咀嚼性/mJ
超声	16.069±1.086 ^a	0.606±0.175 ^a	9.738±0.838 ^a	0.876±0.175 ^a	8.530±1.220 ^a
真空	9.189±1.192 ^b	0.629±0.214 ^a	5.779±0.979 ^b	0.808±0.098 ^a	4.670±1.450 ^b
常压	3.853±0.852 ^c	0.770±0.280 ^a	2.970±0.960 ^c	0.850±0.250 ^a	2.520±0.930 ^c

† 同列不同字母表示在 P<0.05 水平上差异显著。

着性有显著性差异(P<0.05);咀嚼性参数反映了食品对咀嚼的持续抵抗性^[22],超声渗糖制备的花脯咀嚼性耗能最大,体现出一定的咀嚼强度和韧性,而真空渗糖制备的花脯耗能较少,常压自然渗糖制备的花脯耗能最少,其耐咀嚼性较差。综上可知,超声渗糖牡丹花脯的质构指标优于真空及常压渗糖的。

3 结论

本研究先进行了单因素试验,在此基础上,用 Box-Behnken 试验方法对牡丹花脯制作工艺进行响应面优化,以含糖量为指标得出优化工艺条件为:超声功率 110 W、渗糖时间 40 min、蔗糖浓度 40%。此条件下产品含糖量为 25%~35%,水分含量 15%~20%,牡丹花脯色泽均匀,软硬适中有嚼劲,表面透明不粘手,组织饱满无明显皱缩,无蔗糖晶析现象,有淡淡的牡丹花味,适口性强,且加工效率高于真空及常压渗糖的。同时,TPA 试验结果表明,采用超声渗糖法制备的牡丹花脯的硬度值 16.069 N,凝聚性 0.606,弹性0.876,胶着性 9.738 N,咀嚼性 8.530 mJ,与真空及常压下渗糖的牡丹花脯对比,超声渗糖牡丹花脯的质构指标优于真空及常压渗糖的。

在加工生产花脯等蜜饯时,渗糖速率至关重要,因为它制约着产品的质量、产量和生产周期。本试验对超声波在强化低糖花脯传质、提高产品品质方面做了有益的探讨,可以为牡丹产业化发展提供理论依据。同时本研究中也存在着一些不足,如没有在微观水平上研究超声波对花脯组织细胞产生的作用,也没有建立起花脯的感官评定与 TPA 测定参数的相关性,这些都有待进一步研究。

参考文献

[1] 刘萍,张少帅,丁义峰,等. 牡丹常见品种花瓣中主要营养成分与食用安全性分析[J]. 北方园艺, 2012(1): 86-88.

[2] WANG Liang-sheng, HASHIMOTO F, SHIRAISHI A, et al. Chemical taxonomy of the Xibei tree peony from China by floral pigmentation[J]. Journal of Plant Research, 2004, 117(1): 47-55.

[3] WANG Liang-sheng, HASHIMOTO F, SHIRAISHI A, et al. Phenetics in Tree Peony Species from China by Flower Pigment Cluster Analysis[J]. Journal of Plant Research, 2001, 114(3): 213-221.

[4] 田给林. 牡丹花茶的研制与开发[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(10): 172-175.

[5] 赵贵红. 牡丹花米醋面包的研制[J]. 粮食与食品工业, 2005, 12

(5): 18-19.

[6] 罗磊,刘云宏,朱文学,等. 低糖牡丹花脯加工工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 264-268.

[7] 邓茹月,曾海英,叶双全,等. 真空糖渍对刺梨果脯品质及风味的影响[J]. 食品与机械, 2014(4): 220-223.

[8] SORIA A C, VILLAMIEL M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(7): 323-331.

[9] GARCIAPEREZ J V, CARCEL J A, BENEDITO J, et al. Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying[J]. Food & Bioproducts Processing, 2007, 85(3): 247-254.

[10] 马空军,贾殿赠,包文忠,等. 超声场强化渗透脱水传质机理模型研究[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 94-101.

[11] NOWACKA M, TYLEWICZ U, LAGHI L, et al. Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration [J]. Food Chemistry, 2014, 144(2): 18-25.

[12] 何金兰,肖开恩,张艳红,等. 低糖南瓜果脯加工工艺研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(4): 143-146.

[13] 王岸娜,吴立根,王晓曦. 猕猴桃加工、研究现状[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 67-70.

[14] ALVAREZ M, CANET W, LÓPEZ M. Influence of deformation rate and degree of compression on textural parameters of potato and apple tissues in texture profile analysis[J]. European Food Research & Technology, 2002, 215(1): 13-20.

[15] MUSKOVICS G, FELFÖLDI J, KOVÁCS E, et al. Changes in physical properties during fruit ripening of Hungarian sweet cherry (Prunus avium, L.) cultivars[J]. Postharvest Biology & Technology, 2006, 40(1): 56-63.

[16] 姜松,王海鸥. TPA 质构分析及测试条件对苹果 TPA 质构分析的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 68-71.

[17] 胡亚云. 物性测试仪在葡萄品质评价中的应用[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(21): 123-127.

[18] 李自红,苏东民,苏东海,等. 物性测试仪研究休闲食品的特性[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 326-329.

[19] 任瑞雪,韦永梅,郑驰超,等. 低频超声促渗研究进展[J]. 中国医疗器械信息, 2015, 21(6): 6-10.

[20] 潘秀娟,屠康. 质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 166-170.

[21] 程学勋,林洁文,黄敏,等. 质构仪及其在食品研究中的应用简介[J]. 广东化工, 2012, 39(9): 164-165.

[22] 冯寅洁,应铁进. 雪菜茼蒿白软罐头加工工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2010(2): 132-136.