

低糖紫薯果脯微波真空渗糖工艺优化

Study on process of sugar permeation by microwave vacuum technology in preserved fruit making of low sugar purple sweet potato

王顺民 李勇 曹卫兵

WANG Shun-min LI Yong CAO Wei-bing

(安徽工程大学生物与化学工程学院, 安徽 芜湖 241000)

(College of Biological and Chemical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000, China)

摘要:以紫薯为试材研究微波渗糖过程中微波功率、微波处理时间、真空度、液料比和明胶添加量对低糖紫薯果脯渗糖效果的影响。以果脯中还原糖含量为指标,采用响应面法对微波真空渗糖工艺进行优化。结果表明:经冷冻预处理紫薯,以液料比 7:1(g/g)在混合糖液(糖液组成为质量分数 20%麦芽糖与 20%蔗糖,以 35:5 的质量比混合,明胶质量分数 1%)中进行微波渗糖,微波功率 560 W,渗糖时间 7 min 和真空度 0.05 MPa。在该条件下制得的紫薯果脯中还原糖含量达 3.60 mg/g,花色苷保留率达 93%,品质较好。

关键词:紫薯;果脯;微波;渗糖;还原糖

Abstract: Using purple sweet potato as material, the effects were evaluated, including microwave power, microwave treatment time, vacuum degree, ratio of liquid to solid and gelatin addition on sugar permeability of purple sweet potato under low concentration sugar condition. Response surface methodology was used to determine the five process parameters based on reducing sugar content in purple sweet potato preserved fruit. Results showed that the optimal process conditions were liquid-material ratio of 7:1(g/g) (the gelatin content of 1.0%, ratio of maltose sugar to sucrose of 35:5, and maltose sugar and sucrose concentration of 20%, respectively), microwave power of 560 W, microwave treatment time of 7 min, and vacuum degree of 0.05 MPa. At this optimum point, reducing sugar content and anthocyanin retention rate were found to be 3.60 mg/g and 93%, respectively, and the obtained reserved purple sweet potato had the best sensory quality.

Keywords: purple sweet potato; preserved fruit; microwave; sugar permeability; reducing sugar

紫薯中含有丰富的蛋白质、氨基酸、水溶性纤维素及花青素^[1]。紫薯果脯含有果酸、矿物质、V_c和转化糖,营养价值较高^[2]。传统蒸煮渗糖和真空渗糖技术耗时且果脯含糖、含硫量较高。而微波加热有速度快、效率高、无污染和不破坏食品的营养成分等特点^[3-4],已广泛应用于烫漂^[5]、干燥^[6]和渗糖^[7]等果蔬加工工艺。如微波渗糖已应用于猕猴桃果脯^[8]、苹果脯^[9]等果脯加工。研究表明,经质量分数 2%的盐水浸泡的猕猴桃果片^[8]和经预冻处理苹果片^[9]在 30%微波火力(240 W)下渗糖 40 min,其渗糖效果最好,产品晶莹透明、口感纯正;而蓝莓脯微波渗糖时间要比其省时 12.5%,且品质好^[10]。在功率 320 W 下微波处理 50 min 后制得的橙皮脯色泽透明、饱满和有光泽^[11]。经微波处理的果脯中 V_c保存效果次于食盐而优于热水漂烫处理,且果脯口感纯正^[12]。关于微波^[10, 13-14]或真空技术^[15]进行果脯渗糖的报道较多,但其均采用低微波功率多次间歇渗透方式^[10, 13],渗糖时间久,果脯色泽暗。目前尚无采用微波结合真空技术进行渗糖的研究报道。

本研究拟以紫薯为原料,采用微波真空渗糖工艺,对影响果脯渗糖效果的微波功率、微波处理时间、真空度、液料比和渗糖液的明胶含量等因素进行分析,优化低糖紫薯果脯微波渗糖工艺,以期对紫薯的深加工和果脯的新工艺开发提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验材料

新鲜紫薯:市售;

麦芽糖浆:麦芽糖质量分数 65%,桂林顺来食品有限公司;

果胶、明胶、柠檬酸、海藻酸钠、CMC-Na 和蔗糖:食品级,天津香精香料(上海)有限公司。

1.1.2 试验试剂

葡萄糖、氯化钠、无水氯化钙、绿原酸、磷酸氢二钠、丙三

基金项目:芜湖市科技局科技惠农基金重点计划(编号:2014hm24);
国家大学生创新创业计划(编号:201410363076);安徽省
国家大学生创新创业计划(编号:AH201410363076)

作者简介:王顺民(1975—),男,安徽工程大学副教授,博士。

E-mail:wangshunmin@126.com

收稿日期:2016-02-09

醇、无水乙醇、硫酸和苯酚;分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器设备

电子分析天平:DZF-FA1004型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

可见分光光度计:723N型,上海菁华科技仪器有限公司;

离心机:TDZ5-WS型,湘南湘仪有限公司;

微波真空加热设备:JHFWB-1.0S型,南京金海丰微波科技有限公司;

色差仪:CR-400型,日本美能达有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

选料与清洗、切块→护色硬化→渗糖促进液处理→沥干→微波渗糖→成品

1.3.2 原料预处理 原料护色硬化处理参考祝美云等^[16]的方法改进,护色硬化液组成:质量分数为1.0% CaCl₂+0.6% 绿原酸+0.05% 柠檬酸+1.0% V_c。紫薯清洗去皮,切成4 mm厚薄片,经冷冻预处理后,按照质量比1:5(紫薯:护色液),浸入复合护色液护色,硬化处理1 h,捞出、沥干,按照质量比1:5(紫薯:渗糖液),浸入微波渗糖促进液中浸泡1 h。渗糖促进液配方参考祝美云等^[8]的方法改进,渗糖促进液组成:质量分数为0.03% 柠檬酸钙+0.5% MgCl₂+0.4% 甘油+1.0% 乳酸钙。

1.3.3 单因素试验设计

(1) 糖液组成与配比的确定:称取预处理后的紫薯100 g,按照质量比1:5(紫薯:护色液)浸入500 g的复合护色液中护色硬化1 h,捞出、沥干,后浸入500 g的微波渗糖促进液中浸泡1 h,清洗沥干,再分别浸入由麦芽糖和蔗糖按照质量比为15:25,20:20,25:15,30:10,35:5,40:5组成的糖液中渗糖(糖液中蔗糖质量浓度为20%,麦芽糖浆为20%),其中糖液与紫薯的液料质量比为5:1。在500 W功率下分别渗糖5 min,后沥干。测定果脯中还原糖含量,研究糖液组成与配比对果脯渗糖效果的影响。

(2) 微波时间的确定:紫薯由渗糖促进液中捞出,清洗沥干,后浸入由麦芽糖和蔗糖按照质量比为25:15组成的500 mL糖液中渗糖(糖液组成同上),其中糖液与紫薯的液料质量比为5:1。在微波功率500 W下分别微波渗糖4,5,6,7 min,后冷却沥干,测定果脯中还原糖含量,研究微波时间对渗糖效果的影响。其它条件同1.3.3(1)。

(3) 微波功率的确定:紫薯由渗糖促进液中捞出,清洗沥干,后进行微波渗糖。分别采用微波功率为300,400,500,600 W,处理5 min,后冷却沥干,测定果脯中还原糖含量,研究微波功率对渗糖效果的影响。其它条件同1.3.3(2)。

(4) 真空度的确定:紫薯由渗糖促进液中捞出、沥干,后进行微波渗糖。采用微波功率为500 W,分别在真空度0.00,0.02,0.03,0.04,0.05 MPa,处理5 min,后冷却沥干,测定果脯中还原糖含量,研究真空度对渗糖效果的影响。其它条件同1.3.3(3)。

(5) 液料比的确定:紫薯由渗糖促进液中捞出、沥干,后分别按照糖液与紫薯的液料质量比为4:1,5:1,6:1,7:1(g/g)浸入糖液,进行微波渗糖,采用功率500 W处理5 min,后冷却沥干,测定果脯中还原糖含量,研究紫薯与糖液的液料比对渗糖效果的影响。其它条件同1.3.3(4)。

(6) 凝胶剂种类的确定:紫薯由渗糖促进液中捞出、沥干,后浸入糖液,糖液中分别添加质量分数0.5%的海藻酸钠,0.3% CMC-Na,1.0%明胶和1.0%果胶。在微波功率500 W下渗糖5 min。后冷却沥干,测定果脯中还原糖含量,研究凝胶剂种类对渗糖效果的影响。其它条件同1.3.3(5)。

1.3.4 响应面试验 在单因素试验基础上,以Design-Expert 8.05软件设计Box-Behnken响应面试验。以微波功率、微波时间和液料比为自变量,还原糖含量为响应值(Y),进行微波渗糖最佳工艺优化。

1.3.5 还原糖含量的测定 参照文献^[17]。绘制葡萄糖标准曲线得样品吸光度OD值(y)与葡萄糖含量(x)的线性方程为 $y=1.2598x-0.0292$,相关系数 $R^2=0.9982$ 。

1.3.6 花色苷含量测定 称取干样2 g(新鲜紫薯3 g),粉碎后,加入100 mL(新鲜50 mL)95%酸性乙醇—1.5 mol/L HCl(85 mL:15 mL),50℃、超声波240 W功率下,提取60 min后,提取液离心15 min(4 000 r/min),收集上层清液,定容、稀释一定倍数后,在535 nm波长处测定吸光度,按式(1)计算花色苷含量(干基)^[18]。

$$Y = \frac{A_{535} \times V \times N}{W \times 98.2}, \quad (1)$$

式中:

Y——花色苷含量(干基),mg;

A₅₃₅——波长535 nm处吸光度;

V——花色苷溶液定容体积,mL;

N——稀释倍数;

W——提取物干质量,g;

98.2——花色苷色素的平均消光系数。

1.3.7 色泽测定 采用色差计测定。以仪器白板色泽为标准,依CIELAB表色系统测量样品的L*、a*和b*值^[19]。以新鲜紫薯作为参照,测定鲜样与样品的色值。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 糖液配比组成对微波渗糖的影响 由图1可知,麦芽糖比蔗糖更容易在微波作用下渗入紫薯中。果脯中还原糖含量随着麦芽糖含量的增加而增加,且高于新鲜紫薯。但还原糖含量达到一定程度时,产品在高温和潮湿季节易吸潮,出现流糖现象。故本试验糖液配比选择35:5。因为本试验选择甜度较低的麦芽糖取代部分蔗糖,一方面可以控制甜度,满足风味上的要求,同时可以控制返砂和流糖的现象。

2.1.2 微波处理时间对渗糖效果的影响 由图2可知,果脯中还原糖含量随微波渗糖时间的增加而增加,说明延长微波渗糖时间有助于渗糖,但当渗糖时间到5 min后还原糖含量增加不显著(P>0.05),可能紫薯与渗糖液中的糖趋于平衡。

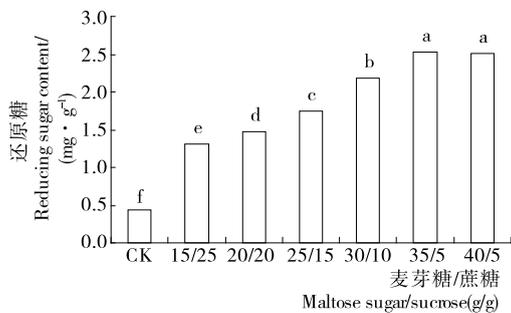


图 1 不同糖液配比下紫薯果脯中还原糖含量的变化

Figure 1 Change of different the ratio of maltose sugar and sucrose condition on reducing sugar content of purple sweet potato preserved fruit

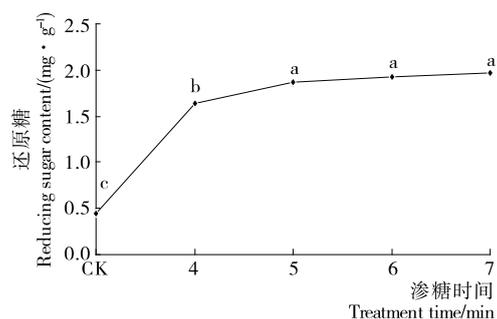


图 2 不同处理时间下紫薯果脯中还原糖含量的变化

Figure 2 Change of different treatment time condition on reducing sugar content of purple sweet potato preserved fruit

若继续增加时间,紫薯中糖浓度增加缓慢 ($P>0.05$),但渗糖液温度会显著升高,使紫薯内部分子结构遭到破坏,产品品质劣化,成分损失。有报道,微波 240 W 下,经盐水浸泡的猕猴桃果片^[8]和经预冻处理苹果果片^[9]渗糖 40 min,经冷冻处理的蓝莓渗糖 35 min,均有最好的渗糖效果^[10]。与之相比,微波真空渗糖显著缩短时间。因为微波真空渗糖中,微波提供热源,克服了常规热传导速率慢的缺点,真空可使水分在较低温度蒸发和加速原料中空气排出,而促进糖液渗入和还原糖转化。

2.1.3 微波功率对渗糖效果的影响 由图 3 可知,还原糖含量随微波功率的增加而增加,但 400 W 后增加不显著 ($P>0.05$)。说明一定的微波功率有助于紫薯渗糖,但功率过大后糖液温度过高,使糖液焦化导致紫薯中还原糖和花色苷均损失。本试验选择 400~500 W 进行下一步工艺优化。

2.1.4 真空度对微波渗糖效果的影响 由图 4 可知,果脯中还原糖含量随真空度的增加而显著增加 ($P<0.05$)。说明升高真空度会促使果实组织内部的空气排出,有利于微波渗糖量增加^[20]。但当空气排出量达最大时,继续增大负压对渗糖效果影响减少 ($P>0.05$)。常规单一真空渗糖耗时长,且真空度过大会使紫薯片皱缩效应增大,结构致密,糖不易渗入^[21]。微波真空渗糖中糖液升温快,促进糖的渗入,从而缩短渗糖时间,并有较高的还原糖含量。为提高渗透效率,故本试验采用真空度为 0.05 MPa 进行渗糖。

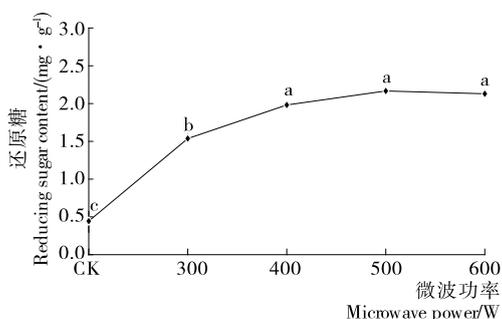


图 3 不同功率下紫薯果脯中还原糖含量的变化

Figure 3 Change of different microwave power condition on reducing sugar content of purple sweet potato preserved fruit

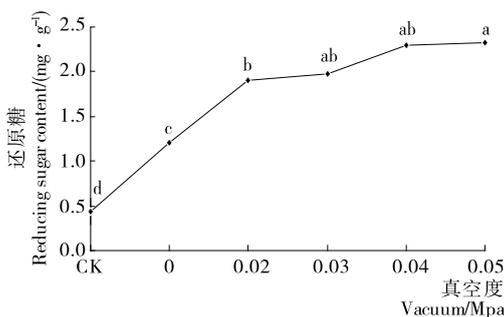


图 4 不同真空度下紫薯果脯中还原糖含量的变化

Figure 4 Change of different microwave vacuum degree condition on reducing sugar content of purple sweet potato preserved fruit

2.1.5 液料比对微波渗糖效果的影响 由图 5 可知,随着液料比的不断增加,果脯中还原糖含量显著增加。因为液料比的增加使紫薯单位面积糖液浓度升高,果脯的还原糖含量就越高。但当液料比增加到 6:1 (g/g) 后,增加效果不明显 ($P>0.05$)。可能此时糖液中渗糖压达最大,渗糖作用减弱趋于平衡。为了提高渗透效率,故本试验选择液料比为 5:1~7:1 (g/g) 进行后期工艺优化。

2.1.6 凝胶添加量对微波渗糖效果的影响 由图 6 可知,明胶和果胶对微波渗糖效果显著,但 1% 的明胶渗糖后的果脯品质较好,这可能与微波渗糖特性及胶体性质有关。明胶溶于水后相互吸引、交织并形成网状结构将糖封闭在凝胶空隙

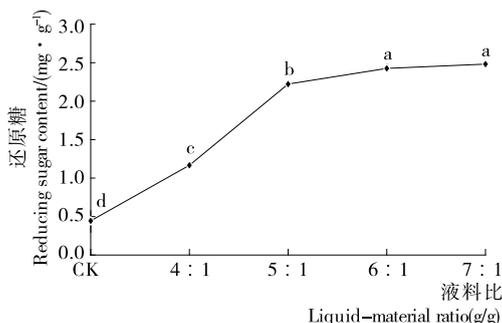


图 5 不同液料比下紫薯果脯中还原糖含量的变化

Figure 5 Change of different liquid-material ratio condition on reducing sugar content of purple sweet potato preserved fruit

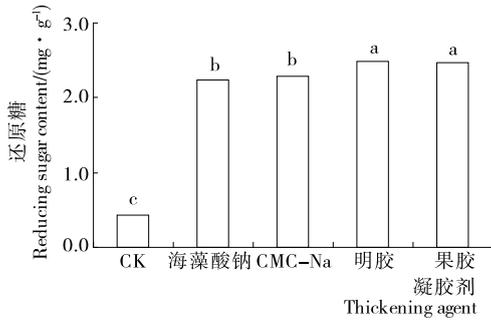


图6 不同凝胶添加量下紫薯果脯中还原糖含量的变化

Figure 6 Change of different thickening agent condition on reducing sugar content of purple sweet potato preserved fruit

中,使组织能保持稳定,富有弹性、韧性和透明感^[14]。微波渗糖时,糖液中胶体可渗入果脯组织,从而明显改善果脯饱满度和透明度。但胶体的添加也会阻碍微波渗糖。

2.2 响应面分析及结果分析

在单因素试验基础上,以微波功率、微波时间和料液比3个因素为自变量,以还原糖含量为响应值(Y)。以 Design-Expert 8.05 软件进行 Box-Behnken 响应面分析,分析得微波渗糖最佳工艺条件。响应面分析因素与水平设计见表1。

微波渗糖的响应面分析方案与结果见表2。

由表3可知,该回归方程模型显著。模型的一次项微波功率极其显著,微波时间和液料比显著。二次项微波时间与液料比交互作用显著。模型复相关系数 $R^2 = 0.9743$, 失拟项不显著。说明相关性较好,可用此模型对紫薯微波渗糖技术工艺参数进行分析和预测。

采用 Design-Expert 8.05 对响应值与各因素进行回归拟合后,得到回归方程:

$$Y = -7.97334 + 0.035A + 0.006B + 0.373C - 0.0002AB - 0.0002AC + 0.111BC - 0.00003A^2 - 0.038B^2 - 0.062C^2 \quad (2)$$

根据 Design-Expert 8.05 软件对微波渗糖工艺参数回归方程拟合优化,为便于实际操作,优化后的参数取整数,得出微波渗糖的最佳工艺为微波功率560 W、渗糖时间7 min和液料比7:1(g/g)。在此条件下果脯中还原糖含量的预测值达3.62 mg/g。经3次实验验证,在该条件下渗透后紫薯果脯中还原糖含量平均达3.60 mg/g。微波真空渗糖工艺中,微波加热是依靠物料中介电物质吸收微波能并将其转换成热能,从而使物料本身整体升温。渗糖开始时,浸入糖液的

表1 响应面分析因素与水平

Table 1 Factors and levels of box-behnken response surface test

水平	A 微波功率/W	B 微波处理时间/min	C 液料比(g/g)
-1	400	5	5:1
0	500	6	6:1
1	600	7	7:1

表2 紫薯果脯微波渗糖试验方案与试验结果

Table 2 Experimental design and results of microwave permeation of purple sweet potato preserved fruit

序号	A	B	C	还原糖/(mg·g ⁻¹)
1	0	1	1	3.571
2	-1	1	0	2.911
3	-1	-1	0	2.668
4	1	0	1	3.408
5	0	0	0	3.390
6	0	0	0	3.270
7	0	0	0	3.315
8	1	0	-1	3.044
9	0	-1	1	3.124
10	1	1	0	3.254
11	0	0	0	3.322
12	-1	0	-1	2.458
13	0	0	0	3.300
14	1	-1	0	3.100
15	0	1	-1	3.094
16	-1	0	1	2.927
17	0	-1	-1	3.090

表3 微波渗糖回归方程系数显著性检验表[†]

Table 3 Significance test for regression coefficient of microwave permeation of purple sweet potato preserved fruit

方程来源	自由度	方差和	均差	F值	P值	显著性
模型	9	1.2100	0.1300	29.54	<0.0001	**
A	1	0.4200	0.4200	93.32	<0.0001	**
B	1	0.0900	0.0900	19.78	0.0030	**
C	1	0.2300	0.2300	49.64	0.0002	**
AB	1	0.0020	0.0020	0.43	0.5306	
AC	1	0.0027	0.0027	0.60	0.4624	
BC	1	0.0490	0.0490	10.87	0.0132	*
A ₂	1	0.3700	0.3700	82.48	<0.0001	**
B ₂	1	0.0061	0.0061	1.33	0.2859	
C ₂	1	0.0160	0.0160	3.53	0.1021	
残差	7	0.0320	0.0045			
失拟	3	0.0240	0.0080	4.02	0.1060	
纯误差	4	0.0079	0.0020			

[†] **表示差异极显著, P<0.01; *表示差异显著, P<0.05; R²为0.9743, R_{adj}²为0.9414, 变异系数为0.6817。

果蔬组织内部即被加热,气体迅速排除,产生渗透压,周围环境中的糖分快速渗透到果蔬组织中,有效提高了渗糖效果,因此微波真空渗糖比微波渗糖^[12]显著缩短渗糖时间。本研究中,在微波功率560 W下,微波真空渗糖比单一的微波渗糖缩短时间80%以上,并能较好地保存原料中营养成分及改

善果脯品质。响应面结果见图 7~9。由图 7 可知,微波功率和微波时间对果脯中还原糖的含量的影响不显著($P > 0.05$)。还原糖含量随微波功率和渗糖时间的增加而先增加后降低,微波功率和渗糖时间对果脯中还原糖含量的影响有交互作用。渗糖时间对其影响作用较小,6 min 后还原糖含量增加不显著,可能是紫薯中糖含量与渗糖液中糖的含量趋于平衡。若继续增加时间,果脯中糖浓度增加缓慢,而糖液温度会升高而导致果脯品质劣化。由图 8 可知,随微波功率和液料比的增加,还原糖含量先增加后降低。液料比对果脯中还原糖的含量的影响不显著($P > 0.05$)。由图 9 可知,微波渗糖时间和和液料比对还原糖含量的影响显著($P < 0.05$),还原糖含量随微波时间和液料比的增加先增加后降低。

2.3 不同渗糖处理对紫薯色泽、花色苷和还原糖含量的影响

由表 4 可知,紫薯经过常规的蒸煮渗糖处理和微波渗糖处理后,紫薯果脯(半成品)的色泽有显著变化,其中 L^* 值大小顺序为:新鲜紫薯 > 微波渗糖 > 蒸煮渗糖,而 a^* 和 b^* 值

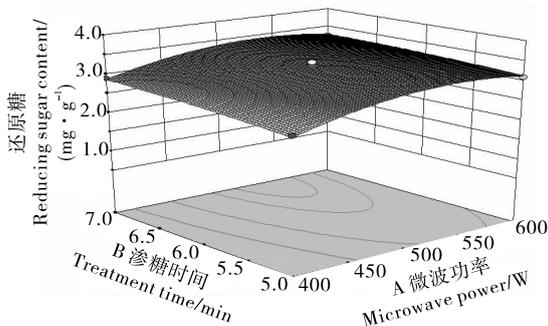


图 7 微波功率和时间对渗糖的影响的响应面图

Figure 7 Response surface of the effect of microwave power and treatment time on reducing suger content

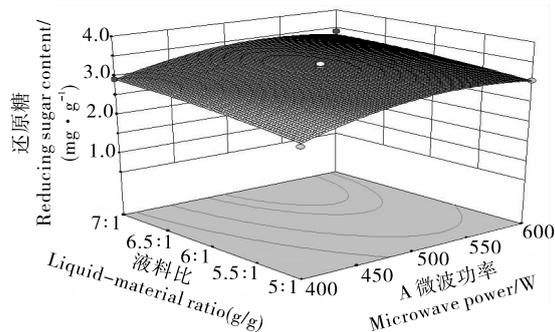


图 8 微波功率和液料比对渗糖的影响的响应面图

Figure 8 Response surface of the effect of microwave power and liquid-material ratio on reducing suger content

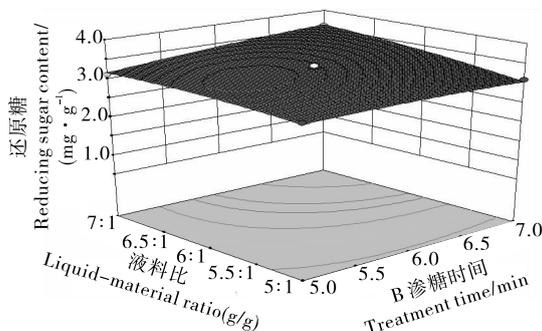


图 9 微波渗糖时间和液料比对渗糖的影响的响应面图

Figure 9 Response surface of the effect of microwave treatment time and liquid-material ratio on reducing suger content

表 4 不同渗糖处理下紫薯果脯色泽、花色苷和还原糖含量的变化[†]

Table 4 Change of different methods on colour, anthocyanin and reducing sugar content of purple sweet potato preserved fruit

处理方法	色泽			花色苷/ 液料比 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	花色苷 保留率/%	还原糖/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
	L^*	a^*	b^*			
新鲜紫薯	32.84 ± 0.87^a	28.24 ± 0.63^a	-5.14 ± 0.21^a	1.79 ± 0.02^a	—	0.44 ± 0.15^c
蒸煮渗糖(85 °C, 60 min)	15.28 ± 0.10^c	9.15 ± 0.34^c	-0.10 ± 0.15^c	1.32 ± 0.06^c	73.74	2.54 ± 0.37^b
微波渗糖(560 W, 7 min)	18.32 ± 1.73^b	12.09 ± 2.50^b	-1.12 ± 0.06^b	1.67 ± 0.03^b	93.30	3.62 ± 0.23^a

[†] 同列中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

3 结论

本试验以质量比为 35:5 的 20% 麦芽糖和 20% 蔗糖的混合糖液(添加 1% 明胶)为渗透液,采用响应面法对其微波渗糖工艺进行优化,得出最佳工艺为:在真空度 -0.05 MPa 下,微波功率 560 W、渗糖时间 7 min 和液料比 7:1(g/g)。经实验验证,在此条件下获得的紫薯果脯中还原糖含量达 3.60 mg/g ,花色苷保留率达 93%,品质较好。由此证明,该试验模式合理,可获得最优工艺参数。但该工艺是在真空条件下进行的,故对微波设备的要求较高。因此,采用该工艺进行工业化连续生产尚需一定的时间。

参考文献

- [1] 刘阳, 廖卢艳, 傅亚平, 等. 变温压差膨化干燥法制备紫薯生全粉研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 149-153, 214.
- [2] 李小艳, 李高阳, 任国谱. 响应面联合因子设计优化提取紫薯花色苷[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 194-197, 201.
- [3] 张熙, 王瑞. 果蔬微波联合干燥技术研究进展[J]. 干燥技术与设备, 2005, 3(3): 107-110.
- [4] ZHANG MIN, TANG JIAN, MUJUMDAR AS, et al. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables [J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(10): 524-534.
- [5] LATORRE M E, BONELLI P R, ROJAS A M, et al. Micro-

- wave inactivation of red beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) peroxidase and polyphenoloxidase and the effect of radiation on vegetable tissue quality [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 109(4): 676-684.
- [6] ZIELINSKA M, SADOWSKI P, BLASZCZAK W. Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) [J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2015, 61(1): 555-563.
- [7] WRAY D, RAMASWAMY H S. Microwave-osmotic dehydration of cranberries under continuous flow medium spray conditions [J]. *International Journal of Microwave Science and Technology*, 2013, DOI: 10.1155/2013/207308.
- [8] 祝美云, 魏征, 郭晓晖. 低糖猕猴桃果脯微波渗糖工艺研究[J]. *食品与机械*, 2010, 26(3): 134-137.
- [9] 魏征, 祝美云, 邵建峰. 低糖苹果果脯微波渗糖工艺影响因素研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(18): 37-40.
- [10] 马艳弘, 周剑忠, 王英, 等. 低糖蓝莓果脯的微波渗糖工艺[J]. *食品科学*, 2013, 34(10): 50-54.
- [11] 王愈, 马世敏. 微波渗糖加工低糖橙皮果脯的工艺研究[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(1): 91-97.
- [12] 祝美云, 魏征, 高峰. 不同微波渗糖工艺对低糖果脯维生素C保存的影响[J]. *果树学报*, 2010, 27(2): 299-302.
- [13] 赵希艳, 许瑞, 李润丰, 等. 微波姜脯渗糖工艺的研究[J]. *食品工业*, 2013, 34(1): 60-62.
- [14] 祝美云, 魏征, 郭祥永. 可食性胶体添加对低糖猕猴桃果脯微波渗糖效果的影响[J]. *果树学报*, 2011, 28(4): 635-640.
- [15] 谭红军, 杨勇, 吴振, 等. 枇杷果脯真空渗糖和微波真空干燥工艺参数优化[J]. *安徽农业科学*, 2013(5): 2 254-2 256.
- [16] 祝美云, 魏征, 陈广起. 低糖果脯生产工艺中护色与硬化效果的研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(4): 81-84.
- [17] 朱海霞, 石瑛, 张庆娜, 等. 3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定马铃薯还原糖含量的研究[J]. *中国马铃薯*, 2005, 19(5): 14-17.
- [18] 韩永斌. 紫甘薯花色苷提取工艺与组分分析及其稳定性和抗氧化性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007: 42.
- [19] 张建威, 卢千慧, 祝美云. 低糖雪莲果果脯微波烫漂护色和渗糖工艺优化[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(8): 249-252.
- [20] 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, 30(4): 220-223.
- [21] 艾启俊, 郭洋. 苹果脯真空渗糖技术影响因素的研究[J]. *北京农学院学报*, 2004, 19(1): 42-44, 57.

(上接第71页)

- [4] 姜朝军. 我国贝类加工产业存在的主要问题与发展对策[J]. *渔业信息与战略*, 2012, 27(2): 87-93.
- [5] 徐文其, 沈建. 中国贝类前处理加工技术研究进展[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(2): 76-80.
- [6] VAN L L, HART A J, SLOCUM A H, et al. Suspended heated silicon platform for rapid thermal control of surface reactions with application to carbon nanotube synthesis[J]. *Review of Scientific Instruments*, 2007, 78(8): 1-9.
- [7] 陆彭飞, 黄华, 周福昌, 等. 基于CFD仿真的洗衣机波轮设计方法[C]//王统帅. 2013年中国清洁器具技术论坛论文集. 北京: 家电科技, 2013: 141-144.
- [8] XU Guang-ming, GU Xing-wen, REN Guo-feng, et al. Centrifuging for penetration of ellipse suction bucket of breakwater into clay ground[C]// *Advances in Soil Dynamics and Foundation Engineering*, 2014 Geo-shanghai International Congress, May, 26-28, 2014, Shanghai, China. Shanghai: [s. n.], 2014: 291-300.
- [9] 尚久浩. 自动机械设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 17-23.
- [10] 苏妍颖. 螺母旋转驱动型滚珠丝杠副热特性分析[D]. 济南: 山东大学, 2012: 2-4.
- [11] 卢政. 立式蒸饭机出饭机构设计方案[J]. *食品与机械*, 2001(2): 37-38.
- [12] LIMARENKO G N. Synthesis of gear-rack transmissions for linear drives in machine tools [J]. *Russian Engineering Research*, 2010, 30(7): 725-727.
- [13] 朱蓓薇. 海珍品加工理论与技术的研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 187-188.
- [14] 肖桂华, 朱蓓薇, 董秀萍, 等. 鲍鱼腹足不同部位的质构特性及组织结构研究[J]. *食品科技*, 2010, 35(11): 155-159.

(上接第116页)

- [18] 武运, 李远, 王冰峰, 等. 新疆酸驼乳中细菌素乳酸菌的筛选及其抑菌性[J]. *食品与机械*, 2011, 27(3): 25-28, 62.
- [19] 刘书亮, 张艾青, 田刚, 等. 植物乳杆菌P158的生长曲线及其细菌素的特性[J]. *核农学报*, 2009, 23(6): 1 021-1 025, 1 035.
- [20] 曹珂珂, 王娣, 李妍. 1株产广谱细菌素乳酸菌的筛选及其抑菌物质的特性[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(11): 88-91.
- [21] 熊涛, 宋苏华, 黄涛, 等. 植物乳杆菌NCU116抑菌性能的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(6): 97-101.
- [22] 郭颖, 杨相宜, 单艺, 等. 一株植物乳杆菌的鉴定及其抑菌特性研究[J]. *中国乳品工业*, 2013, 41(8): 12-16.
- [23] MOTTA A S, BRANDELLI A. Influence of growth conditions on bacteriocin product on by *Brevibacterium linens*[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2003, 62(2): 163-167.
- [24] 苏日娜, 双全. 戊糖乳杆菌S1-4产抑菌物质发酵条件的优化及其抑菌谱[J]. *食品科学*, 2016, 37(3): 109-116.
- [25] 张国强, 师俊玲, 杨自文. 乳酸杆菌SD-22产类细菌素发酵条件的优化[J]. *中国食品学报*, 2009, 9(1): 137-142.
- [26] NEL H A, BAUER R, VANDAMME E J, et al. Growth optimization of *Pediococcus damnosus* NCFB1832 and the influence of pH and nutrients on the production of pediocin PD-1[J]. *Applied Microbiology*, 2001, 91(6): 1 131-1 138.
- [27] 谢英, 覃倩倩, 张京声, 等. 植物乳杆菌LB-B1产细菌素发酵条件的优化[J]. *中国酿造*, 2010(10): 22-25.
- [28] 柴明艳. 乳酸菌发酵液在豆浆保鲜中的应用研究[J]. *食品科技*, 2014, 39(10): 284-288.
- [29] 滕志利, 钱方, 姜淑娟, 等. 产广谱细菌素乳酸菌的筛选及分类鉴定[J]. *食品与机械*, 2013, 29(6): 45-48.
- [30] 吴玲, 张敏. 发酵产品中乳酸菌抑菌效果研究[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(11): 181-182.