

微波膨化人参果脆片的工艺优化

魏玉梅¹, 张帅中², 刘 华^{3*}, 梁 雪², 王 丽²¹西北民族大学实验中心; ²西北民族大学生命科学与工程学院;³西北民族大学数学与计算机学院, 兰州 730030

摘要:以人参果为原料,对预干燥后的人参果片进行微波膨化,探讨了微波膨化人参果脆片的最佳工艺。通过单因素实验分别探讨了切片厚度、水分含量以及微波时间等因素对膨化率的影响。在此基础上,以膨化率为指标,设计了 Box-Behnken 实验。通过统计和数学分析,得出微波膨化人参果脆片的最佳工艺参数为:新鲜原料质量 200 g,切片厚度 9 mm,预干燥采用热风干燥,温度 85 °C,预干燥结束时切片水分含量为 10.5%,选择微波功率 700 W、微波处理时间 65 s,在此优化条件下得到的人参果脆片膨化率为 43.7%。所得产品口感酥脆、具有浓郁的人参果香气。

关键词:人参果;微波膨化;膨化率;响应面法

中图分类号:R283;TS234+.2

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2018.4.025

Optimization of Microwave Puffing Technology of *Sozannmuiiatnm* ChipsWEI Yu-mei¹, ZHANG Shuai-zhong², LIU Hua^{3*}, LIANG Xue², WANG Li²

¹Center of Experiment, Northwest University for Nationality; ²College of Science and Engineering, Northwest University for Nationality; ³School of Mathematics and Computer Science, Northwest University for Nationality, Gansu Lanzhou, 730030, China

Abstract: The optimal microwave puffing technology was explored using *sozannmuiiatnm* as the raw material with the pre-dried red *sozannmuiiatnm* slices. Effects of slice thickness, moisture and microwave treatment time on expansion volume were studied by single factor experiments. Based on that, conditions of puffing were optimized by Box-Behnken design. According to statistics or mathematical analysis, the optimum puffing conditions were as follows: 200 g raw material was sliced into 9 mm thickness slice, dehydrated by hot air at 85 °C up to the moisture content as 10.5%. It was puffed for 65 s by 700 W microwave power. The expansion volume was 43.7% under the optimized conditions. The product was crisp and rich of fruit aroma of *sozannmuiiatnm*.

Key words: *sozannmuiiatnm*; microwave puffing; expansion rate; response surface methodology

人参果为多年生半木质化绿草本植物,加茄科(Solanaceae),茄属(*Solanum*),原产于中、南美洲^[1],又称安第斯茄、香艳梨等^[2]。肉质清香多汁,果肉呈淡黄色,无籽核,卵圆形或椭圆形,成熟后出现紫红色斑状花纹^[3]。人参果中蛋白质和必需氨基酸含量丰富,并且富含多种维生素及硒等多种微量元素^[4],被誉为“生命之果”^[2]。近年来,刘学军等^[5]研制出了人参果、山楂复合饮料,王治同等酿造出了人参果果酒、人参果果醋^[6]等,产品加工还

停留在较传统的工艺水平上,技术含量低,高档产品少,大多还只是用于鲜食,由于其收获期集中,易发生腐烂变质,从而造成资源的很大浪费。微波膨化是近年发展起来的一种新型果蔬干燥技术,所得产品绿色天然、营养丰富、食用方便并且加工时间短,极大地提高了生产效率,降低生产成本^[7],其原理利用微波能转换为热能,使果蔬原料内部水分快速蒸发产生较高的内部蒸汽压,促使果蔬原料膨化。微波膨化可用于苹果^[7]、南瓜^[8]、猕猴桃^[9]等果蔬脆片的加工,截止目前为止,未有利用微波膨化人参果脆片的报道。本研究采用微波膨化技术,将人参果加工为膨化脆片,为发展人参果产业,丰富市场食品类型提供新的途径。

收稿日期:2017-07-03 接受日期:2017-11-15

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(31920170072; 31920180116; 31920160056);西北民族大学2017年开放项目;国家民委中青年英才计划(2014-121)

*通信作者 E-mail:weijy1980@126.com

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

人参果、小米 市售;WD700 家用微波炉 LG 电子电器有限公司;DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱上海一恒科学仪器有限公司;PL-203 型电子分析天平瑞士梅特勒-托力多公司;0~150 mm 数显卡尺哈尔滨量具刃具集团有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程

人参果果实选择→去皮→切片→预干燥→水分均衡→微波膨化→二次干燥→人参果脆片。

1.2.2 人参果脆片的制备

选择新鲜、无病虫害的八成熟人参果,用流水清洗干净,用不锈钢刀削皮,去籽,横向切片,要求厚度均匀,切片迅速,并用数显卡尺测量果片厚度。于电

热恒温鼓风干燥箱中先进行预干燥至一定水分含量,取出密封水分均衡 2h 后,采用微波炉膨化,之后进行二次干燥即得成品。

1.2.3 干燥温度的选择^[10]

实验中测得新鲜人参果果肉的平均水分含量为 94.20%,若直接以新鲜人参果片进行微波膨化,果片表面会产生较多气泡,产品塌陷回缩,膨化率低,酥脆性差,达不到理想效果,故需先进行预干燥脱去人参果部分水分,再进行微波膨化。将 6 mm 厚的 200 g 新鲜人参果片平摊在不锈钢盘中,分别在 55、65、75、85、95 ℃ 下热风干燥,各温度条件下干燥至水分含量为 15% 所需的时间、干燥后色泽及外形的变化见表 1。由表 1 综合比较人参果片干燥后的色泽、外形以及干燥时间,85 ℃ 是最适干燥温度,在此温度下干燥后所得人参果片色泽、外形良好且干燥时间短。

表 1 热风干燥最佳温度的确定

Table 1 Determination of optimum temperature of hot air drying

温度 Temperature(℃)	时间 Time (min)	色泽 Colour	平整性 Smoothness
55	195	橙黄 Orange	果片中部平整,边角略有卷曲 The fruit slices are smooth in the middle and slightly curled at the corners
65	150	橙黄 Orange	果片中部平整,边角略有卷曲 The fruit slices are smooth in the middle and slightly curled at the corners
75	110	金黄 Golden	果片中部平整,边角略有卷曲 The fruit slices are smooth in the middle and slightly curled at the corners
85	75	金黄 Golden	果片中部平整,边角略有卷曲 The fruit slices are smooth in the middle and slightly curled at the corners
95	70	金黄,局部焦黑 Golden, local black	果片中部平整,边角卷曲严重 The fruit slices are smooth in the middle and seriously curled at the corners

1.2.4 单因素实验设计

分别改变人参果片的水分含量、切片厚度与微波时间,通过单因素实验并以膨化率为评价指标,确定各因素的较佳条件。每种处理新鲜原料质量 200 g。

水分含量对膨化率的影响 固定切片厚度为 6 mm,微波时间 60 s,考察不同水分含量对膨化率的影响。

切片厚度对膨化率的影响 固定水分含量为 10%,微波时间为 60 s,考察不同切片厚度对膨化率的影响。

微波时间对膨化率的影响 固定水分含量为 10%、切片厚度为 9 mm,考察不同微波时间对膨化率的影响。

1.2.5 微波膨化人参果脆片工艺参数的优化

在单因素实验的基础上,以脆片的膨化率为指标,运用 Box-Behnken 模型,以切片厚度、水分含量、微波时间为主要考察因素,进行响应面实验优化膨化工艺参数。实验因素水平编码见表 2。

1.2.6 水分含量的测定

采用直接干燥法,含水量 = (干燥前物料量 - 恒重时物料量) / 干燥前物料量^[7]。

1.2.7 膨化率的测定^[9]

人参果片的体积测定采用置换法,以小米为置换介质,选择小米的粒度范围在 0.9~1.1 mm 内。人参果片的膨化率按照下式计算 P:

$$P(\%) = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100$$

表 2 因素水平表

Table 2 The design table of factors and levels

因素 Factors	水平 Levels		
	-1	0	1
A 切片厚度 Slice thickness(mm)	6	9	12
B 水分含量 Water content (%)	4	10	16
C 微波膨化时间 Microwave treatment time(s)	60	90	120

式中: V_1 为人参果片膨化前的体积; V_2 为膨化后的体积。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果与分析

2.1.1 切片厚度对膨化率的影响

切片厚度对人参果片膨化率的影响如图 1A 所示。当切片厚度为 9 mm 时膨化率最高, 低于或高于 9 mm 时膨化率都较低。厚度过低时, 人参果片预干燥后发生干缩, 内部水蒸气迁移困难, 难以膨化。厚度过高时, 微波不宜穿透果片内部, 导致膨化效果降低。故切片厚度宜选择 9 mm 较好。

2.1.2 水分含量对膨化率的影响

脆片达到最大膨化率和较高酥脆性的关键因素之一就是水分含量的大小^[9]。水分含量对人参果

片膨化率的影响如图 1B 所示。在预干燥后人参果片水分含量 4% ~ 28% 范围内, 随着水分含量的增加, 膨化率先上升后下降。当水分含量低于 10% 时, 膨化率随水分含量的增加而增加; 当水分含量高于 10% 时, 膨化率随水分含量的增加而减少, 当水分含量控制在 10% 时, 人参果片的膨化率最高。

2.1.3 微波时间对膨化率的影响

采用 700 W 的微波功率膨化时, 微波时间对人参果片膨化率的影响如图 1C 所示。随着时间的延长, 膨化率有着先上升后下降的趋势, 微波 90 s 时膨化率最高。实验中发现, 采用更低或更高的微波功率膨化时, 膨化率都低于本条件, 并且选择功率过高产品容易出现焦化现象。因此, 采用 700 W 微波功率膨化 90 s 效果较好。

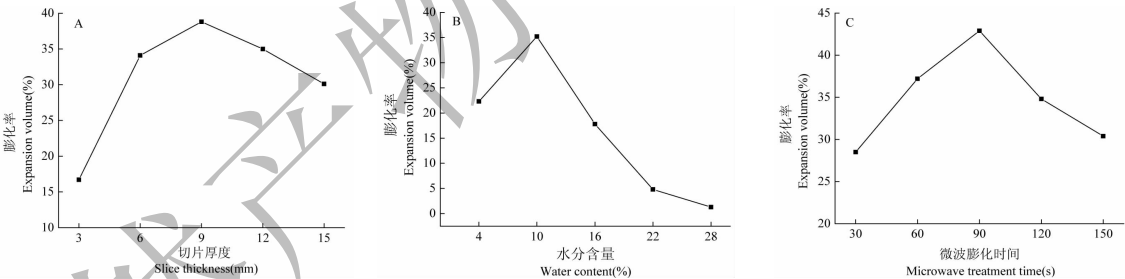


图 1 切片厚度 (A)、水分含量 (B)、微波膨化时间 (C) 对人参果片膨化率的影响

Fig. 1 Effects of slice thickness (A), water content (B), microwave treatment time (C) in Sozammuiatnm chips on expansion volume

2.2 响应面法优化人参果片膨化工艺参数

2.2.1 二次方程数学模型的建立及响应面分析

根据单因素实验结果, 以膨化率为指标, 采用响应面实验设计对人参果片的微波膨化工艺参数进行优化, 实验设计与结果见表 3。利用 Design Expert V8.0.6 统计软件对表 3 中的实验数据进行分析, 得到二次多项式回归模型的各项系数, 回归方程为

$$P = 42.30 - 0.52A + 1.04B + 1.79C - 0.83AB - 0.18AC - 0.85BC - 8.73A^2 - 5.35B^2 - 4.95C^2.$$

模型方差分析结果见表 4, F 模型 = 17.72, $p =$

$0.0005 < 0.01$, 表明回归模型具有高度的显著性。F 失拟 = 1.39, $P = 0.3672 > 0.05$, 表明失拟项不具有显著性, 相关系数 R^2 为 0.9579, 说明回归模型的拟合度良好, 预测值与实验值高度吻合, 故可用此模型来分析和预测人参果片膨化率的大小。

由表 4 的回归系数的显著性检验可以看出, 微波时间对膨化率的线性效应影响显著 ($P < 0.05$), 而切片厚度和水分含量对其线性效应影响不显著 ($P > 0.05$); 微波膨化时间、切片厚度和水分含量三个因素对微波膨化人参果片的曲面效应影响极显著

($P < 0.01$); 而各两两因素的交互效应影响均不显著($P > 0.05$)。

表3 实验设计与结果

Table 3 Box-Behnken design with the observed responses

实验号 No.	A	B	C	膨化率 Expansion volume(%)
1	-1	0	1	29.8
2	0	1	-1	30.5
3	1	1	0	28.2
4	0	0	0	44.8
5	1	0	1	28.4
6	0	0	0	42.1
7	1	0	-1	27.8
8	0	0	0	39.8
9	-1	0	-1	28.5
10	0	1	-1	35
11	1	-1	0	27.2
12	-1	-1	0	26.6
13	0	0	0	41.6
14	0	-1	1	35.2
15	0	-1	-1	27.3
16	-1	1	0	30.9
17	0	0	0	43.2

表4 回归模型方差分析

Table 4 ANOVA for the regression model

变异来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean squares	F 值 F value	p 值 p value	显著性 Significance
模型	644.28	9	71.59	17.72	0.0005	**
A	2.21	1	2.21	0.55	0.4841	
B	8.61	1	8.61	2.13	0.1877	
C	25.56	1	25.56	6.33	0.0401	*
AB	2.72	1	2.72	0.67	0.4388	
AC	0.12	1	0.12	0.030	0.8667	
BC	2.89	1	2.89	0.72	0.4257	
A ²	320.53	1	320.53	79.33	< 0.0001	**
B ²	120.52	1	120.52	29.83	0.0009	**
C ²	103.17	1	103.17	25.53	0.0015	**
残差 Residual	28.28	7	4.04			
失拟项 Lack of fit	14.44	3	4.81	1.39	0.3672	
纯误差 Pure error	13.84	4	3.46			
总离差 Cor total	672.56	16				

注: * $P < 0.05$, 差异显著; ** $P < 0.01$, 差异极显著。 $R^2 = 0.9579$, $R^2_{Adj} = 0.9039$ 。

Note: * $P < 0.05$, indicated significant difference; ** $P < 0.01$, indicated extremely significant difference.

根据所得二次多项式回归方程以及水分含量、切片厚度以及微波时间对膨化率的影响绘制响应面图,如图2所示,分析水分含量、切片厚度以及微波时间对膨化率的影响及三者之间的交互作用。由图2可知,该结果与单因素实验结果一致。随着每个单因素的增大,膨化率逐渐增大,当膨化率增加到一定程度后,膨化率反而随着单因素的增大而减小。由水分含量-切片厚度图可以看出,微波时间一定的条件下,在一定的范围内,随着水分含量增高,膨化

率也增加,但水分过高时人参果片过湿,膨化比较困难,膨化率有所降低;由切片厚度-微波时间图可以看出,含水量一定的条件下,在一定的范围内,随着切片厚度增加,膨化率增加,但切片太厚时,人参果片难以膨化,膨化率会有所降低;由水分含量-微波时间图可知,切片厚度一定的条件下,在一定范围内随着微波时间的增加,膨化率增大。但是在实验过程中发现,微波时间过长,膨化的人参果片容易烤焦,膨化率反而降低。

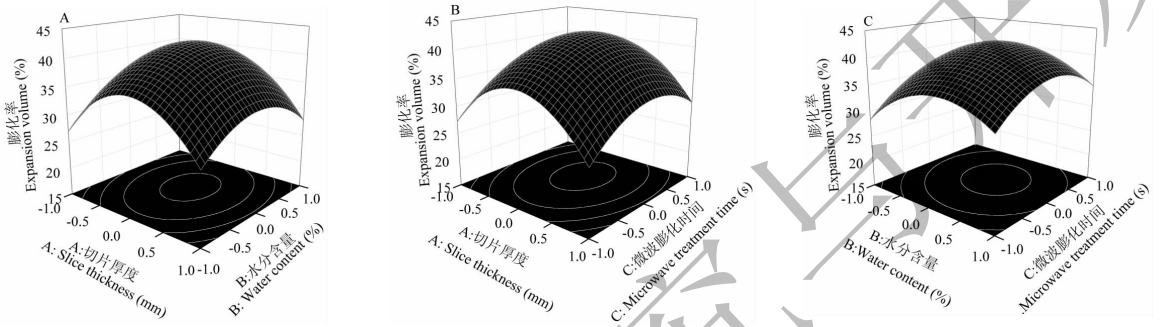


图2 交互作用对膨化率影响的响应面图

Fig. 2 Response surface showing interactive effects of factors

2.2.2 膨化人参果脆片工艺参数优化结果

根据上述所建立的数学模型,利用 Design Expert V8.0.6 统计软件对数据进行处理,得到人参果脆片微波膨化的最佳工艺条件为微波功率 700 W,新鲜原料质量 200 g,预干燥后水分含量为 10.51%,切片厚度为 8.89 mm,微波时间为 65.22 s,此时的膨化率预测值为 42.5%。为了便于操作,将实际工艺参数调整为预干燥后水分含量为 10.5%,切片厚度为 9 mm,微波时间为 65 s,在此最佳工艺条件下进行三组实验验证,测得人参果脆片的平均膨化率为 43.7%,与理论预测值相差不大,说明该模型可靠,可用来预测人参果脆片的微波膨化率。

3 结论

利用 Box-Behnken 实验设计和响应面分析,建立了微波膨化人参果脆片的二次多项式数学模型。经检验证明该模型可靠,能较好地预测微波膨化人参果脆片的膨化率。利用 Design Expert V8.0.6 统计软件对影响膨化率的各因素及其交互作用进行了分析。考虑到实际操作,将微波膨化人参果脆片的最佳工艺参数调整为:新鲜原料质量 200 g,微波功率 700 W,人参果片水分含量预干燥至 10.5%,切片厚度 9 mm,微波时间 65 s。此条件下人参果脆片膨化率可达 43.7%,并且所得产品口感酥脆,风味独

特,具有浓郁的人参果香味。以此工艺制得人参果脆片色泽良好,中间不需要进行护色处理,实验结果表明采用热烫的护色处理反而不如未进行任何处理得到的脆片色泽好,这可能是因为在热风干燥的温度条件下能够很好抑制人参果发生酶促褐变。微波膨化后,为了避免长时间放置回潮,可在热风干燥箱中以人参果片原预干燥温度 85 ℃ 的条件下进行二次干燥,使最终产品的水分含量在 3% ~ 4%。

参考文献

- 1 Wang ZT(王治同), Lin K(林柯), Gao Y(高远), et al. Study on ginseng fruit wine[J]. *Food Res Dev* (食品研究与开发), 2011, 32(12): 93-95.
- 2 Zhang Y(张彧), Zhu BW(朱蓓薇), Dong XP(董秀萍). Development of low-sugar pepino preserves and jam[J]. *Sci Tec Food Ind* (食品工业科技), 2001, 22(6): 54-56.
- 3 Su FX(苏凤贤), Cao XF(曹旭峰), Wang F(汪峰), et al. Study on the selection of saccharomyces cerevisiae for brewing pepino wine. *Food Ferment Ind* (食品与发酵工业), 2010, 36: 130-135.
- 4 Du K(杜琨), Su FX(苏凤贤). Fermentation technology of brewing alcoholic beverage of pepino fruit of Wuwei Ladder Mountain[J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2012, 24: 1646-1650.