

微波真空膨化山楂片工艺参数优化研究

姚园, 刘素稳, 李聪, 常学东*, 胡全

(河北科技师范学院食品科技学院, 河北秦皇岛 066604)

摘要:为确定膨化山楂片的最佳工艺,在单因素实验的基础上,采用响应面法(RSM)优化膨化山楂片的工艺。分析了初始含水量、真空压力、微波强度三个因素对膨化山楂片的膨化度、感官评分两个指标的影响;测定膨化过程中山楂片的营养成分变化和物理特性变化,得出微波膨化山楂片最佳工艺。结果表明,在初始含水量 $35\% \pm 0.5\%$ 、真空压力 -74 kPa、微波强度 31 W/g 时,膨化度为 1.663 ± 0.235 ,感官评分为 6.382 ± 0.521 ;研究发现,膨化过程中山楂片的活性成分 V_c 、黄酮、花色苷均有不同程度的降低,硬度和咀嚼性增加,弹性和粘附性降低;扫描电镜图片显示膨化过程中山楂组织结构由致密变为疏松。

关键词:山楂片, 响应面, 真空微波膨化, 活性成分

Optimization of fermentation conditions for vacuum microwave puffing hawthorn piece

YAO Yuan, LIU Su-wen, LI Cong, CHANG Xue-dong*, HU Quan

(Department of Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066604, China)

Abstract: To determine the optimum process of puffed hawthorn tablets, on the basis of single factor experiments, response surface method (RSM) was applied to optimize the process of vacuum microwave puffing hawthorn piece. This article analyzed the influence of three factors, such as initial water content, vacuum pressure, microwave intensity, on the expansion degree and the sensory. Determination of the changes of the nutritional composition and physical characteristics of the Hawthorn slices in the process of expanding, the optimum technology of microwave expanded Hawthorn slice was obtained. Results showed that under the condition of initial water content to $35\% \pm 0.5\%$, vacuum pressure to -74 kPa, microwave intensity to 31 W/g, puffing degree and sensory scores were respectively 1.663 ± 0.18 and 6.382 ± 0.213 . Nutrients V_c , flavonoids, anthocyanin of hawthorn piece decreased in expanded process. Hardness and chewing ability increased, and elasticity and adhesion decreased. The change of the structure of Hawthorn in the expansion process was demonstrated by the electron microscope. Scanning electron microscopy (SEM) images showed puffed haw in the process of organizational structure changed from dense to loose.

Key words: puffing hawthorn piece; response surface methodology; microwave vacuum; active ingredient

中图分类号: TS201.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2016)14-0227-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.14.038

山楂 (*Crataegus* spp.) 属于蔷薇科 (Rosaceae) 苹果亚科山楂属, 起源于我国的特产果树。山楂在我国种植范围广、产量丰富。果实富含维生素 C、钙、碳水化合物、山楂酸及人体必需的各种矿质营养元素, 具有较高的营养价值, 可消食健胃; 此外, 山楂果实中富含黄酮、儿茶酚、三萜皂苷、低聚原花青素等物质, 对高血压、高血脂、冠状动脉硬化和冠心病等具有替代性治疗作用^[1]。山楂酸性较高, 加工品种较少, 限制了山楂产业的发展。因此, 研究新型山楂制品成为促进山楂产业发展的关键。膨化食品具有酥脆和美味的特点使其被广大消费者喜爱^[2]。微波真空膨化技术结合

了微波加热的瞬时性和真空干燥的低温特性, 在微波作用下, 食品内水分在低温下汽化, 水蒸气在组织内部膨胀, 形成多孔的结构, 出现了膨化现象^[3]。该技术具有快速、低温、高效等特点, 能较好地保留食品原有的色、香、味和维生素等, 热敏性营养成分或具有生物活性功能成份的损失大为减少, 可以克服传统油炸膨化的含油量高^[4], 能耗大的缺点^[5]。目前, 国内外使用微波真空工艺膨化的产品有蓝靛果脆片^[3,6-7]、苹果脆片^[8]、马铃薯脆片^[9]、草莓^[10]等^[11-13]。Clary 等用微波真空方法干燥葡萄, 结果表明微波真空干燥生产的葡萄干比日晒的更有利于贮存, 所含 V_c 、 V_B 的含量比日

收稿日期: 2015-11-27

作者简介: 姚园 (1991-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1871087664@qq.com。

* 通讯作者: 常学东 (1967-), 男, 教授, 研究方向: 农副产品深加工工程及资源开发, E-mail: cxdsgx@163.com。

基金项目: 河北省科技研发平台建设专项 (159676221D); 秦皇岛市科技支撑计划 (201402B022); 秦皇岛市农业科学研究院项目 (2014-10)。

晒葡萄干的更高,且含有 V_A ,但日晒葡萄干未检测到^[13]。韩清华等人以苹果脆片为原料,对膨化条件(微波功率、真空压力、物料厚度和初始含水量)与产品的干燥特性、膨化率的关系进行了实验研究^[8,14]。本次实验以山楂为原料,研究其微波真空膨化工艺,以期得到理想的膨化山楂片产品。

本文利用微波真空膨化设备,在单因素实验的基础上,通过 Central Composite 实验设计,利用 Design Expert 8.0.6 统计分析软件对主要影响因素进行了响应面分析,建立微波真空膨化数学模型,确定最适宜的微波真空膨化工艺条件,期望对山楂片的膨化加工有所借鉴和指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

山楂 市售大金星鲜山楂,购于农贸市场,要求新鲜、完整、结构紧凑,无损伤,无腐烂,成熟度和大小均匀,山楂直径在 3 cm 左右,鲜山楂含水率为 75% ± 2%;**小米** 无虫蛀,颗粒大小均匀。

cNWB-3ZK 型微波设备 频率 2450 MHz ± 50 Hz,3 kW,广州万程微波设备有限公司;**KYKY-2800 型扫描电子显微镜** 北京中科科仪技术发展责任有限公司;**TMS-PRO 型质构仪** 美国 FT 公司;**101-2 型电热鼓风干燥箱** 上海市实验仪器厂;**SK-1.5B 型真空泵** 2.2 kW; **JYC-21CS16A 型电磁炉** 山东九阳小家电有限公司; **BS110S 型分析天平** 北京赛多利斯天平有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 山楂的真空膨化 挑选新鲜山楂果,经过清洗、沥干、去核,切成厚度在 3~7 mm 的均匀切片。取一定质量的山楂果片经鼓风干燥箱 60 °C 干燥,进行水分调制,使得山楂片的初始含水量在 15%~40% 之间。将经过水分调制的山楂片单层均匀平展在玻璃皿上,放入微波真空干燥箱的旋转篮中进行膨化。膨化过程真空度范围为 (-50 ± 2.5) ~ (-70 ± 2.5) kPa,微波强度:7.5~37.5 W/g。

1.2.2 响应面法优化实验 在前期单因素实验的基础上,根据 Central Composite 实验设计原理,综合单因素实验结果,选取影响膨化山楂脆片的主要因素:真空压力 (X_1)、微波强度 (X_2)、初始含水量 (X_3),山楂片厚度为 7 mm;以感官得分和膨化度为响应值,进行 3 因素 5 水平响应面分析实验,寻找膨化山楂脆片的最佳工艺。实验因素水平见表 1。

表 1 实验因子编码表

Table 1 Experimental range and levels of independent process variables

因素	水平				
	-1.682	-1	0	1	1.68
X_1 真空压力(kPa)	53.2	60	70	80	86.8
X_2 微波强度(W/g)	2.4	7.5	15	22.5	27.6
X_3 初始含水量(%)	21.6	25	30	35	38.4

在响应面优化实验所确定的最优工艺条件下,为研究膨化过程中各项指标的变化情况,分别以 0、40、80、120、160 s 为条件膨化得到相应膨化产品,进而分析各项指标的变化情况。

1.2.3 膨化度的测定 膨化山楂片体积测定采用小米置换法^[15]。小米粒度 0.9~1.1 mm,具体测试方法为:在量筒底部加入小米,然后放入待测的直径约 3 cm 厚约 8 mm 的圆形山楂片 10 个,同时继续加入小米,将果片之间填实,直到果片被完全覆盖为止,然后轻轻摇晃至量筒的刻度线不再变化,山楂片膨化度按如下公式计算:

$$W = m_1 / m_0 \quad \text{式(1)}$$

式中, W - 膨化度; m_0 - 膨化前排出小米的质量, g; m_1 - 膨化后排出小米的质量, g。

1.2.4 感官评价方法 采用专家模糊评判法,品评内容包括脆片的外观、质地和风味三项指标,采用 7 分制评分标准。依据成品性状给出相应评分。本实验邀请 28 人作为脆片感官指标的评审员,最后以 28 人总分数的平均值作为感官评价结果。评审员包括实验室工作人员 10 人,男女各半,年龄在 35~45 周岁之间;学生 18 人,男女各半,年龄在 22~25 岁之间,每项指标得分相加除以 4 为最后的感官得分^[15]。

1.2.5 黄酮得率的测定

1.2.5.1 标准曲线的制作 精密取芦丁对照品 20 mg 溶于 50 mL 95% 乙醇溶液中,加入 50% 乙醇定容至 100 mL 容量瓶中。准确吸取标准溶液 0.0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 mL 分别至 50 mL 容量瓶中,精密加入 5% 亚硝酸钠溶液 0.6 mL,摇匀,放置 6 min,再加入 10% 硝酸铝溶液 0.6 mL,放置 6 min,再加入 1 mol/L 氢氧化钠溶液 8 mL,然后分别用 50% 的乙醇稀释至刻度,摇匀,放置 15 min,在 510 nm 处测定吸光值,以第一号为空白,记录各吸光度,以黄酮含量为横坐标,吸光度值为纵坐标绘制标准曲线。得出标准曲线的回归方程: $y = 0.1898x + 0.0130 (R^2 = 0.9962)$ 。

表 2 感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard

指标	得分	3	4	5	6	7
外观	膨化程度	体积缩小	未膨化	略有膨化	膨化较好	膨化完全
	表面状况	表面极不平整,焦糊明显	表面不平整,部分焦糊	表面较平整,略有焦糊	表面较平整,无焦糊	表面平整,无焦糊
质地		组织绵软或过硬,不酥脆	组织较软或较硬,不酥脆	组织偏软或偏硬,略感酥脆	组织略软或略硬,较酥脆	组织不软不硬,口感酥脆
风味		无山楂独特香味,糊味明显,或有其他异味	无山楂香味,有糊味或其他异味	山楂香味较淡,略有或没有糊味	山楂香味明显,无糊味	山楂香味浓郁,无糊味

1.2.5.2 黄酮得率的计算 将膨化山楂磨粉与70%乙醇按1:18的料液比,于65℃,超声功率60W条件下超声提取40min。制得膨化山楂片的黄酮提取液备用。然后,精密吸取2mL样品,按照上述方法测定吸光度,并计算山楂片中黄酮得率(以芦丁计)^[16-17]。

山楂黄酮得率(%) = 提取液黄酮含量/山楂的重量 × 100 式(2)

1.2.6 花色苷的测定 采用pH示差法测量膨化山楂片中花色苷含量。pH为1时,花色苷以红色的2-苯基苯并吡喃的形式存在。pH为4.5时,花色苷以无色的甲醇假碱的形式存在。称取膨化的山楂片10g,研碎与50mL60%(V/V,含有0.01% HCl)乙醇混合,室温下超声提取20min,混合液5000r/min离心15min,取上清液备用。取待测液1.00mL,分别用pH1.0和pH4.5的缓冲溶液定容至10.00mL并测定两种溶液在700、510nm波长处的吸光值,每个样品(甲醇室温提取)平行三次,取平均值^[19-20]。

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{510} - A_{700})_{pH4.5} \quad \text{式(3)}$$

再根据如下公式计算出山楂片粗提取物中花色苷含量与矢车菊-3-葡萄糖苷的含量当量:

$$\text{花色苷含量(mg/mL)} = (A \times MW \times DF \times 1000) / (B \times L) \quad \text{式(4)}$$

式中,A为稀释后样品的吸光值;MW=449.2,矢车菊-3-葡萄糖苷的分子质量;DF为稀释倍数为10;B=26900,矢车菊-3-葡萄糖苷的消光系数;L为比色皿光程(1cm)。

1.2.7 V_c含量的测定 采用2,6-二氯喹酚法。准确称取20mg抗坏血酸,溶于1%的草酸中,并稀释至100mL,置于冰箱中保存。用时取出5mL,置于50mL容量瓶中,用1%草酸定容,配成0.02mg/mL的抗坏血酸标准溶液。称取2,6-二氯喹酚溶液50mg,溶于200mL含有52mg碳酸氢钠的热水中,待冷,置于冰箱中保存。20g样品与少许2%草酸溶液在研钵中研碎,注入100mL容量瓶中,草酸溶液洗涤研钵,加2%草酸稀释到刻度,过滤备用。

取5mL样液置于50mL三角瓶中,快速加入2,6-二氯喹酚溶液滴定,直到红色不能立即褪去,而后再尽快地一滴一滴的加入,以呈现的粉红色在15s内不消失为终点,记录消耗的2,6-二氯喹酚标准溶液的体积V,同时做空白记录体积V₀^[20]。

$$X = (V - V_0) \times T \times 100 \div m \quad \text{式(5)}$$

式中:X-样品中抗坏血酸含量,mg/100g;T-1mL染料溶液相当于抗坏血酸标准溶液的量,mg/mL;V-滴定样液时消耗染料的体积,mL;V₀-滴定空白时消耗染料的体积,mL;m-滴定时所取样液中含有样品的质量,g。

1.2.8 质构特性测定 用TMS-PRO型质构仪测定三种方法膨化样品的硬度、脆性和咀嚼性,每组样品测定三次取平均值。参数设置为:圆柱挤压检测探头;参数的设定:测试速度60mm/min,触发力0.1N,形变量70%。周期持续时间2.000s。每个试样在边缘、中心不同部位测定3次,取其平均值。经仪器分

析,可以得到脆片的硬度、弹性、咀嚼性及粘附性4个特性指标检测结果。

1.2.9 扫描电子显微镜观察 从膨化后的山楂脆片边缘、中心以及两者之间取样,样品切成2mm厚度薄片,每组选取三小片贴到扫描样品台上,先镀金,将试样放入扫描电子显微镜的观察室中,关闭观察室,再通过扫描电子显微镜以200倍进行扫描观察样品横切面^[21]。

1.3 数据处理

每批实验进行3次重复,取其结果的算术平均值及标准偏差为实验数据。数据用SPSS软件系统中One-Way ANOVA方法进行分析。根据分析结果进行响应面实验,响应面实验设计及结果分析采用Design Expert 8.0.6软件。

2 结果与分析

2.1 响应面优化实验结果分析

利用Design Expert 8.0.6软件分析得到实验设计方案,结果见表3。对数据进行多元回归拟合,获得膨化度(Y₁)对影响山楂片膨化的关键因子真空压力(X₁)、微波强度(X₂)和初始含水量(X₃)的二次多项式回归模型为:

$$Y_1 = 1.55 + 0.13X_1 - 0.018X_2 + 0.18X_3 + 0.15X_1X_2 + 0.035X_1X_3 + 0.057X_2X_3 - 0.02X_1^2 - 0.19X_2^2 - 0.094X_3^2$$

感官评价(Y₂)对影响山楂片膨化的关键因子真空压力(X₁)、微波强度(X₂)和初始含水量(X₃)的二次多项式回归模型为:

$$Y_2 = 6.32 + 0.059X_1 + 0.015X_2 + 0.18X_3 + 0.25X_1X_2 + 0.84X_1X_3 + 6.250E - 003X_2X_3 - 0.30X_1^2 - 0.27X_2^2 - 0.10X_3^2$$

表3 实验设计及结果

实验号	X ₁	X ₂	X ₃	响应值	
				Y ₁ 膨化度	Y ₂ 感官
1	1	-1	-1	0.925	5.39
2	-1	1	-1	0.610	5.26
3	0	0	0	1.511	6.31
4	0	1.68	0	0.981	5.58
5	0	0	1.68	1.213	6.09
6	0	0	0	1.375	6.16
7	-1	-1	-1	1.023	5.82
8	-1	-1	1	1.290	6.13
9	0	0	0	1.508	6.27
10	0	0	0	1.726	6.51
11	0	-1.68	0	0.574	5.20
12	1.68	0	0	0.743	5.35
13	1	1	-1	0.983	5.71
14	0	0	0	1.493	6.22
15	1	-1	1	1.204	5.91
16	-1	1	1	0.976	5.47
17	0	0	-1.68	1.007	5.64
18	0	0	0	1.684	6.48
19	-1.68	0	0	0.690	5.29
20	1	1	1	1.618	6.38

表4 回归模型方差分析

Table 4 Analysis of variance (ANOVA) for the regression model

变异来源	自由度	平方和		均方		F 值		p		R ²	
		膨化度	感官得分	膨化度	感官得分	膨化度	感官得分	膨化度	感官得分	膨化度	感官得分
模型	9	1.92	3.21	0.21	0.36	17.59	7.25	<0.0001 **	0.0024 **		
残差	10	0.12	0.49	0.012	0.049						
失拟项	5	0.035	0.39	7.08E-03	0.078	0.41	3.93	0.8242	0.0796	0.9406	0.867
纯误差	5	0.086	0.100	0.017	0.020						
总和	19	2.04	3.7								

注: ** 表示极显著水平($p < 0.01$)。

表5 回归模型系数的显著性检验

Table 5 Regression coefficients and their significance

模型系数	自由度	平方和		均方		F 值		p 值	
		膨化度	感官得分	膨化度	感官得分	膨化度	感官得分	膨化度	感官得分
X ₁	1	0.23	0.048	0.23	0.048	18.69	0.98	0.0015 **	0.3459
X ₂	1	4.33E-03	3.20E-03	4.33E-03	3.20E-03	0.36	0.065	0.5637	0.8038
X ₃	1	0.42	0.45	0.42	0.45	34.66	9.06	0.0002 **	0.0131 *
X ₁ X ₂	1	0.18	0.51	0.18	0.51	14.79	10.26	0.0032 **	0.0094 **
X ₁ X ₃	1	9.87E-03	0.056	9.87E-03	0.056	0.81	1.14	0.3886	0.3107
X ₂ X ₃	1	0.026	3.13E-04	0.026	3.13E-04	2.13	6.35E-03	0.1751	0.9381
X ₁ ²	1	0.056	1.26	0.056	1.26	46.37	25.62	<0.0001 **	0.0005 **
X ₂ ²	1	0.054	1.06	0.054	1.06	44.57	21.51	<0.0001 **	0.0009 **
X ₃ ²	1	0.13	0.15	0.13	0.15	10.47	3.11	0.0089 **	0.1082

注: ** 表示极显著水平($p < 0.01$), * 表示显著水平($p < 0.05$)。

对模型进行方差分析和回归系数显著性检验结果见表4和表5。

由表4 方差分析可知,模型的膨化度和感官评分两项指标 p 均小于 0.01,表明该模型具有统计学意义。失拟项 p 分别为 $0.824 > 0.05$, $0.079 > 0.05$,失拟不显著,说明残差由随机误差引起,该模型是稳定的,能够较好的描述各因素与响应值之间的真实关系。复相关系数 $R_1 = 0.969$, $R_2 = 0.931$,表明实测值和预测值高度相关;决定系数 $R_1^2 = 0.940$, $R_2^2 = 0.867$,拟合度 $> 90\%$,说明模型能够反映响应值变化,实验误差小,可用此模型对山楂膨化度和感官评分进行分析和预测。

由表5 可知,山楂膨化度模型的一次项 X₁ (真空压力, kPa) 与 X₃ (初始含水量%) 影响极显著,而 X₂ (微波强度 W/g) 的影响不显著;山楂感官评分模型的一次项 X₃ (初始含水量) 影响显著,而 X₁ (真空压力)、X₂ (微波强度) 的影响不显著,由 p 可知三个因素对山楂膨化度及感官评分的影响由大到小的顺序为: X₃ > X₁ > X₂,即初始含水量 > 真空压力 > 微波强度。交互项中 X₁X₂ 影响极显著 ($p < 0.01$),而 X₁X₃ 与 X₂X₃ 影响不显著。此结果表明真空压力与初始含水量对山楂片膨化特性及口感效应明显,并且真空压力与微波强度有交互作用的影响。

2.2 真空压力与微波强度交互项的解析

图1、2 分别为膨化度和感官评分两响应值下真空压力及微波强度的交互作用三维图。由于其他因素间交互作用不显著,因此不做分析。由图可知在一定范围内随着微波强度和真空压力增加响应值膨

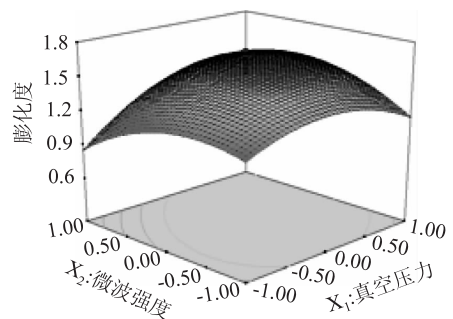


图1 真空压力(A)与微波强度(B)对膨化度的交互影响
Fig.1 Effect of interaction by vacuum pressure (A) and intensity of microwave (B) on puffing degree

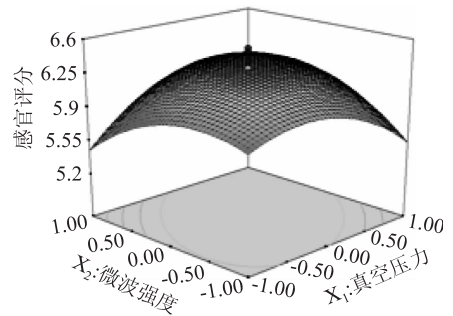


图2 真空压力(A)与微波强度(B)对感官的交互影响
Fig.2 Effect of interaction by vacuum pressure (A) and intensity of microwave (B) on sensory evaluation

化度和感官评分呈现递增趋势;实验范围内,膨化率与感官评分有最大值——曲面峰值。通过控制微波强度 31 W/g 和真空压力 -74 kPa 可使得膨化率和感

表7 山楂片膨化过程质构变化

Table 7 Structure change of hawthorn piece in puffing process

时间(s)	硬度	弹性	粘附性	咀嚼性
0	0.315 ± 0.026	0.904 ± 0.017	1.213 ± 0.011	1.320 ± 0.061
40	0.673 ± 0.014	0.661 ± 0.012	1.090 ± 0.023	1.670 ± 0.058
80	1.270 ± 0.056	0.349 ± 0.028	0.941 ± 0.016	2.090 ± 0.108
120	1.522 ± 0.123	0.390 ± 0.016	0.876 ± 0.019	2.710 ± 0.121
160	1.712 ± 0.093	0.224 ± 0.047	0.655 ± 0.021	4.360 ± 0.189

官评分达到最大值^[5,21]。

2.3 验证实验结果分析

基于 Design Expert 软件的优化功能获得膨化山楂片的最优条件,膨化度和感官评分理论值分别为 1.677 和 6.416,此时 3 个关键因子的取值为:真空压力-74.206 kPa,微波强度 31.250 W/g,初始含水量 35.370%。

为进一步验证微波真空膨化山楂片实验的可靠性和合理性,对优选工艺条件进行验证实验,实验条件为:真空压力-74 kPa、微波强度 31 W/g、初始含水量 35%。结果山楂片实际膨化度为 1.663 ± 0.235,感官评分为 6.382 ± 0.521。山楂片膨化度、感官评价值的实测值与预测值相近,相对误差均在 2% 以下,证明响应面优化实验的关键因子是可行的。

2.4 膨化过程指标分析

2.4.1 活性成分指标结果 由表 6 可知,随着膨化时间的延长山楂脆片的各营养物质含量逐渐减少($p < 0.05$),黄酮损失最大,剩余 51.5%,花色苷为 53.7%,而 V_c 保存较好为 91.5%。原因在于,这些营养物质均为热敏性物质,随着膨化时间延长,脆片吸收微波能越多,温度越高,所以各营养物质均有一定损失。营养物质较好地保留证明:微波真空膨化山楂脆片能够较好的保存山楂的原有营养物质。

表 6 各活性指标检测结果

Table 6 Each activity index results

膨化时间(s)	黄酮得率(% DW)	花色苷含量(mg/100 g DW)	V_c 含量(mg/100 g DW)
0	2.97 ± 0.164	223.71 ± 9.03	333.86 ± 5.67
40	2.04 ± 0.123	198.65 ± 10.68	329.77 ± 3.89
80	1.75 ± 0.098	154.29 ± 12.56	323.31 ± 5.23
120	1.62 ± 0.085	126.40 ± 9.45	319.54 ± 6.15
160	1.44 ± 0.153	103.56 ± 7.52	305.67 ± 3.83

2.4.2 质构分析 由表 7 可知随着膨化时间的延长,膨化山楂片的硬度、咀嚼性逐渐增加,弹性、粘附性逐渐下降。膨化时间短时,由于内部水分汽化形成的压强梯度小,不足以支持脆片膨化,脆片体积膨化小,粘附性、咀嚼性大,硬度、弹性小。随着膨化时间增加,脆片吸收利用的微波能增多,脆片的膨化度增大,脆片内部的孔隙增多,组织结构疏松,弹性、粘附性降低,硬度、咀嚼性增大。

2.4.3 微观结构观察 电镜扫描图片可以直观呈现细胞微观结构。图 3 是不同膨化时间山楂片的微观结构电子显微镜照片,由图可看出随着膨化时间的延长,脆片的结构越疏松。在膨化 40 s 时,由于水分

蒸发体积收缩,还没有膨化作用因而脆片表面光滑平整;膨化 80 s 时,脆片表面出现颗粒,逐渐呈现膨化特性;当膨化达到 160 s 时,脆片结构有断裂痕迹,膨化特性明显,达到较好膨化效果^[8,21]。

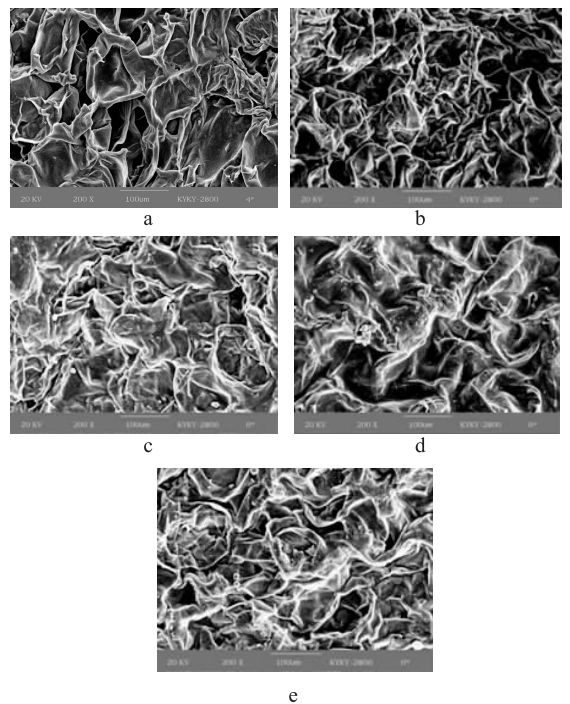


图 3 不同膨化时间下样品的扫描电镜照片

Fig.3 Scanning electron microscopy photos of the sample under different swelling time

注:上图中 abcde 分别表示膨化 0、40、80、120、160 s 样品的电镜照片,放大倍数为 200 倍。

膨化条件:真空压力-74 kPa、微波强度 31 W/g、初始含水量 35% ± 0.5%、厚度 7 mm。

3 结论

对山楂果片微波真空膨化工艺及品质进行了研究。采用响应面法确定出微波强度、真空压强、厚度和初始含水量等因素对山楂果片膨化度和感官评分的影响规律,得出微波真空膨化山楂片的最佳配方:真空压力-74 kPa、微波强度 31 W/g、初始含水量 35% ± 0.5%。最终膨化率达到 1.663,感官评分达到 6.382。由此工艺得到的产品山楂香味明显,表面平整,酥脆可口,作为休闲食品可泡水和即食。

通过对比不同膨化时间山楂脆片的膨化特性品质及营养物质含量变化,发现随着膨化时间的延长山楂脆片的各营养物质含量逐渐减少($p < 0.05$),到膨化终点时黄酮和花色苷保留率仅为一半左右,提

示干燥和加热对这些组分影响较大。对产品进行微观结构观察表明了产品的膨化过程及微波膨化工艺生产山楂果片的效果。本文为开发利用山楂及提高产品品质提供了有益参考。

参考文献

- [1] 柳唐镜,张棵,刘国英,等.中国山楂属植物资源研究和利用现状[J].南方农业学报,2011,42(8):847-852.
- [2] Liu Chenghai, Zheng Xianzhe. Comparison of Puffing Characteristics for Blackcurrant Slice Obtained by Microwave and Microwave-vacuum Method[J].农业机械学报,2011,42(S1):194-198.
- [3] 刘成海,霍俊伟,郑先哲,等.应用微波真空方法膨化蓝靛果脆片的研究[J].东北农业大学学报,2009,40(11):116-120.
- [4] 张黎黎,张文,吕珍珍,等.响应面法优化酒糟微波间歇干燥工艺[J].农业工程学报,2009,27(3):369-374.
- [5] 张军伟,傅大放,彭奇均,等.响应面法优化酸水解稻秆制木糖的工艺参数[J].农业工程学报,2009,25(11):253-257.
- [6] Liu Chenghai, Zheng Xianzhe, Jia Shuhua, et al. Comparative Experiment on Hot-Air and Microwave-Vacuum Drying and Puffing of Blue Honeysuckle Snack [J]. International Journal of Food Engineering 2009, 5(4):64-67.
- [7] Liu Chenghai, Zheng Xianzhe, Shi John. Optimising microwave vacuum puffing for blue honeysuckle snacks [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010(45):506-511.
- [8] 韩清华,李树君,马季威,等.微波真空干燥膨化苹果片的能耗与品质分析[J].农业机械学报,2008,39(1):74-77.
- [9] 李远志,郑素霞,罗树灿,等.真空微波加工马铃薯脆片的工艺特性[J].食品与发酵工业,2003,29(8):40-44.
- [10] Mario Krulis, Stephan K'uhnert, Matthias Leiker. Influence of energy input and initial moisture on physical properties of microwave-vacuum dried strawberries [J]. Eur Food Res Technol, 2005(221):803-808.
- [11] Liu Chenghai, Zheng Xianzhe. Comparison of Puffing

Characteristics for Blackcurrant Slice Obtained by Microwave-vacuum Method [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2011, 11(42):194-198.

- [12] Zhang Jun, Zhang Min, Shan Liang. Microwave-vacuum heating parameters for processing savory crisp bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) slices [J]. Journal of Food Engineering, 2007(79):885-891.
- [13] Clary C D, M Jia, S wang, et al. Improving grape quality using microwave vacuum drying associated with temperature control [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(1):23-28.
- [14] 韩清华,李树君,马季威,等.微波真空干燥膨化苹果片的研究[C].中国农业机械协会,2006年学术年会论文集,2006:1231-1234.
- [15] 刘成海,郑先哲.黑加仑果片微波真空膨化工艺及品质研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2010.
- [16] 乔聚林,潘广彦,朱传合,等.超声波辅助提取山楂籽总黄酮工艺研究[J].中国食品学报,2010,10(6):22-28.
- [17] 豆亚静,张晓龙,常丽新,等.响应面优化超声波法提取黑豆异黄酮的工艺研究[J].食品工业科技,2013,34(5):259-263.
- [18] 吴晓敏,韩利文,王希敏,等.不同产地新鲜紫色马铃薯中花色苷及总酚的含量测定[J].中国食物与营养,2014,20(5):24-26.
- [19] Liu JianLi, Yuan JiangFeng, Zhang ZhiQi. Microwave-assisted extraction optimised with response surface methodology and antioxidant activity of polyphenols from hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.) fruit [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45:2400-2406.
- [20] 食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,286.
- [21] Liu Suwen, Liu Lijie, Shi Pengbao et al. Optimising pulsed microwave-vacuum puffing for Shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) caps and comparison of characteristics obtained using three puffing methods [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49(9):2111-2119.

(上接第222页)

- [17] 蒋云升.温度对盐水鹅微生物菌系和品质的影响[J].中国烹饪研究,1996,13(2):40-44.
- [18] 刑华铭,杜海涛,张黎黎,等.PCR-DGGE与Biolog技术在土壤微生物多样性研究中的比较[J].农业开发与装备,2013(10):48-49.

(上接第226页)

- controlled release of polyelectrolyte complex of poly(L-malic acid-co-D,L-lactic acid) and chitosan [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2014, 115:275-279.
- [11] Law John H, Slepecky Ralph A. Assay of poly- β -hydroxybutyric acid [J]. Journal of Bacteriology, 1961, 82:33-36.
- [12] 沈萍,陈向东.微生物学实验[M].第4版.北京:高等教育出版社,2007:111-117.

- [19] 孙富艳,卢洪洲.成团泛菌感染的研究近况[J].中国感染与化疗杂志,2009,9(5):389-391.
- [20] Cruz A T, Cazacu AC, Allen CH. Pantoea agglomerans, a plant pathogen causing human disease [J]. J Clin Microbiol, 2007, 45(6):1989-1992.

- [13] 邴和生,张春元,张伟,等.生产聚羟基丁酸酯(PHB)的菌种选育及发酵条件[J].石化技术,1997,4(4):212-215.
- [14] 东秀珠,蔡妙英.常见细菌系统鉴定手册[M].北京:科学出版社,2001:138.
- [15] 布坎南 RE,吉本斯 NE 编.中国科学院微生物研究所《伯杰细菌鉴定手册》翻译组译.伯杰氏细菌鉴定手册[M].北京:科学出版社,1984:325-329.