

蓝莓渣复合粳米膨化工艺优化及抗氧化活性研究

Optimization of puffing process of blueberry residue composite indica rice and its antioxidant activity

张新振 杨 涛 蒋依婷 琚飞龙

ZHANG Xin-zhen YANG Tao JIANG Yi-ting JU Fei-long

高 洋 孙 玥 李雪玲 梁 进

GAO Yang SUN Yue LI Xue-ling LIANG Jin

(安徽农业大学安徽省农产品加工工程实验室, 安徽 合肥 230036)

(Anhui Engineering Laboratory for Agro-products Processing, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

摘要:目的: 研发膨化型蓝莓渣粳米果类休闲食品。方法: 以粳米粉、蓝莓渣粉为原料, 选取物料水分含量、挤压温度、螺杆转速 3 个试验因素, 以膨化度、花色苷含量及感官评分作为综合指标, 通过单因素及正交试验对膨化工艺进行优化, 并对获得的膨化产品进行抗氧化活性研究。结果: 蓝莓渣复合粳米的最佳膨化工艺参数为物料水分含量 16%, 挤压膨化四区温度分别为 50—80—110—130 ℃, 螺杆转速 160 r/min, 该工艺条件下获得的蓝莓渣粳米果综合得分最高为 62.30 ± 0.51 。体外抗氧化试验结果表明, 相较于膨化粳米果, 蓝莓渣粳米果对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除率分别提高了 60.19%, 73.67%。结论: 最优工艺参数下获得的蓝莓渣粳米果具有良好的抗氧化特性。

关键词: 蓝莓渣; 粳米粉; 米果; 花色苷; 抗氧化

Abstract: Objective: This study aimed to research and develop puffed blueberry dregs indica rice and fruit snack food. Methods: Using indica rice flour and blueberry residue powder as raw materials, three experimental factors including moisture content, extrusion temperature and screw speed were selected, and the expansion degree, anthocyanin content and sensory score were taken as comprehensive indexes. The expansion process was optimized by single factor and orthogonal test, and the antioxidant

activity of the expanded products was studied. Results: The optimum process parameters were as follows: the moisture content of the material was 16%, the temperature of the four extrusion zones were 50—80—110—130 ℃ and the screw speed was 160 r/min. The indica rice fruit with blueberry residue obtained under this process has the highest comprehensive score of 62.30 ± 0.51 . The results of antioxidant test in vitro showed that compared with puffed indica rice fruit, the scavenging rates of DPPH and ABTS by blueberry residue indica rice fruit increased by 60.19% and 73.67% respectively. Conclusion: the optimal processing parameters of indica rice fruit with blueberry residue were obtained, and the product also showed good antioxidant properties.

Keywords: blueberry residue; indica rice flour; rice fruit; anthocyanin; antioxidant

大米加工过程中通常会产生许多碎米, 其营养成分和整米相近, 但价格相对低廉, 因此可对碎米开展增值化利用^[1]。蓝莓可以鲜食, 也可加工成果汁或果酒, 蓝莓加工后的余渣中仍富含酚类等活性物质^[2-4]。焦妍津^[5]研究发现, 蓝莓果渣中的花青素和黄酮醇含量分别为 2.551, 1.677 mg/g, 且均高于蓝莓鲜果中的。目前, 有关蓝莓果渣类食品有蓝莓渣发酵产品^[6]、蓝莓渣膳食纤维蛋糕^[7]、蓝莓渣曲奇饼干^[8]、蓝莓果渣挂面^[9]、蓝莓果渣混合果酱^[10]等。然而, 以蓝莓果渣复合粳米粉为原料制备膨化米果类休闲食品的相关研究尚未见报道。研究拟对蓝莓渣复合粳米的膨化工艺进行优化, 并探究蓝莓渣粳米果对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除率, 旨在为膨化型蓝莓渣粳米果类休闲食品的产业化开发利用提供依据。

基金项目: 安徽省自然科学基金面上项目 (编号: 2108085MC122); 安徽省教育厅项目 (编号: KJ2020A0136); 安徽省中央引导地方科技发展专项 (编号: 202107d06020015)

作者简介: 张新振, 男, 安徽农业大学在读硕士研究生。

通信作者: 梁进 (1979—), 男, 安徽农业大学副教授, 博士。

E-mail: liangjin@ahau.edu.cn

收稿日期: 2022-05-26 **改回日期:** 2022-08-29

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

籼米粉:安徽省皖瑶湖食品有限公司;

蓝莓果渣:安徽独秀山蓝莓科技有限公司;

2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐 (ABTS)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH): 纯度 > 98%,阿拉丁试剂(上海)有限公司;

其他试剂:国产分析纯;

水分测定仪:HE83/02 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

高速多功能粉碎机:SS-1022 型,永康市铂欧五金制品有限公司;

双螺杆实验机:DSE32-1 型,济南盛润膨化机械有限公司;

电热鼓风干燥箱:GZX-9146MBE 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

电子天平:JM-A1002 型,诸暨市超则衡器设备有限公司;

台式低速离心机:TD4A 型,长沙英泰仪器有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-2 型,金坛市杰瑞尔电器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV9000 型,上海元析有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 单因素试验

(1) 物料水分含量:设定挤压膨化温度(挤压机一区、二区、三区与四区温度)为 50—80—120—140 °C,螺杆转速 120 r/min,考察物料水分含量(12%, 14%, 16%, 18%, 20%)对蓝莓渣籼米果综合得分的影响。

(2) 膨化温度:设定物料水分含量 16%,螺杆转速 120 r/min,考察挤压膨化温度(50—80—100—120, 50—80—110—130, 50—80—120—140, 50—80—130—150, 50—80—140—160 °C)对蓝莓渣籼米果综合得分的影响。

(3) 螺杆转速:设定挤压膨化温度 50—80—120—140 °C,物料水分含量 16%,考察螺杆转速(120, 140, 160, 180, 200 r/min)对蓝莓渣籼米果综合得分的影响。

1.2.2 正交试验 在单因素试验基础上,以物料水分含量、挤压膨化温度和螺杆转速为影响因素,以蓝莓渣籼米果综合得分为响应值,采用三因素三水平的正交试验优化蓝莓渣籼米果的膨化工艺。

1.2.3 膨化度测定 采用径向膨化度^[11],按式(1)进行计算。

$$D = \frac{d}{d_0}, \quad (1)$$

式中:

D ——径向膨化度;

d ——10 个随机样品横截面直径的平均值,mm;

d_0 ——模具口直径,取 4.2 mm。

1.2.4 花色苷含量测定 参照胡秋丽等^[12]的方法提取蓝莓渣花色苷,参照于泽源等^[13]的方法测定花色苷含量,并按式(2)和式(3)进行计算。花色苷含量表示为每克样品中含有矢车菊-3-葡萄糖苷(C3G)的质量(mg C3G/g)。

$$A = (A_{520 \text{ nm}, \text{pH } 1.0} - A_{700 \text{ nm}, \text{pH } 1.0}) - (A_{520 \text{ nm}, \text{pH } 4.5} - A_{700 \text{ nm}, \text{pH } 4.5}), \quad (2)$$

$$c = \frac{A \times D_F \times M_w \times 1\,000}{M_a \times L \times m}, \quad (3)$$

式中:

c ——样品中花色苷含量,mg C3G/g;

A ——样品液的吸光值;

$A_{520 \text{ nm}}$ 、 $A_{700 \text{ nm}}$ ——样品液在 520, 700 nm 处的吸光值;

D_F ——稀释倍数;

M_w ——矢车菊素-3-葡萄糖苷的相对分子质量, 449.2;

M_a ——矢车菊素-3-葡萄糖苷的消光系数, 26 900 L/(mol · cm);

L ——比色皿光程,1 cm;

m ——样品质量,g。

花色苷含量评分采用线性插值法^[14],按式(4)进行换算。

$$S_H = \frac{9 \times (Y - Y_{\min})}{(Y_{\max} - Y_{\min})} + 1, \quad (4)$$

式中:

S_H ——花色苷含量得分;

$Y_{\max}$ ——花色苷含量最大值,mg C3G/g;

Y ——花色苷含量值,mg C3G/g;

$Y_{\min}$ ——花色苷含量最小值,mg C3G/g。

1.2.5 感官评分 根据 GB 17401—2014 并稍加修改。由 10 名食品专业的人员组成评价员,按表 1 进行感官评分。

1.2.6 综合评分 分别以膨化度(F_1)、花色苷含量(F_2)、感官评分(F_3)为评价指标,并对各指标赋予不同的权重系数,按式(5)进行多指标综合评分(F)^[15]。

$$F = 0.3F_1 + 0.3F_2 + 0.4F_3. \quad (5)$$

1.2.7 体外抗氧化分析

(1) 样品液制备:根据 Qiu 等^[16]的方法并稍加调整。用粉碎机将膨化籼米果以及膨化蓝莓渣籼米果粉碎,取 2 g 样品粉加入体积分数为 80% 的甲醇溶液 40 mL 提取 2 次,200 r/min、37 °C 水浴振荡 1 h,4 000 r/min 离心 5 min,合并上清液于冰箱待用。

(2) 总黄酮含量测定:根据 Wu 等^[17]的方法稍加修改,取 2 mL 样品和 0.5 mL 质量分数为 5% 的亚硝酸钠溶液,混匀,静置 6 min,加入 0.5 mL 质量分数为 10% 的硝

表 1 蓝莓渣籼米果评分标准
Table 1 Scoring standard of blueberry residue
indica rice fruit

指标	评分标准	得分
颜色	紫色分布均匀	11~15
	紫色分布基本均匀	6~10
	浅灰色或深黑色	1~5
外观形态	呈米棍形,表面平整,粗细均匀	11~15
	基本呈米棍形,表面较平整,粗细较均匀	6~10
	不呈米棍形,表面粗糙,粗细不均匀	1~5
气味	蓝莓香浓郁,无不良气味	14~20
	蓝莓香稍浓,无不良气味	7~13
	蓝莓香过淡,有糊味	0~6
组织结构	横截面空隙均匀,无大空洞,膨化度良好	14~20
	横截面空隙较均匀,有少量大空洞,膨化度好	7~13
	横截面空隙不均匀,有许多大空洞,膨化度差	0~6
口感	蓝莓酸味适中,口感松脆,不粘牙,无异味	21~30
	蓝莓酸味较浓,口感稍松脆,不粘牙,无异味	11~20
	蓝莓酸味过浓,口感硬,粘牙,有异味	1~10

酸铝溶液,混匀,静置 6 min,加入 2 mL 质量分数为 4% 的氢氧化钠溶液,混匀,静置 15 min。测定 510 nm 处混合溶液的吸光度。以芦丁作为标准溶液绘制校准曲线(0.2~1.0 μg/mL, $R^2=0.9977$)。

(3) DPPH 自由基清除率测定:根据文献[18—19]并修改。用无水甲醇将 DPPH 配置成 0.06 mmol/L 的溶液,取 1 mL 提取液与 4 mL DPPH 溶液混合,避光反应 30 min。使用无水甲醇作为空白,测定 517 nm 处吸光度值,并按式(6)计算 DPPH 自由基清除率。

$$R = \left(1 - \frac{A_2 - A_1}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (6)$$

式中:

R ——自由基清除率,%;

A_0 ——空白组吸光度值;

A_1 ——对照组吸光度值;

A_2 ——样品组吸光度值。

(4) ABTS 自由基清除率测定:根据文献[20—21]并修改。将 5 mL 7.4 mmol/L ABTS 溶液与 5 mL 2.6 mmol/L 过硫酸钾溶液混匀,避光静置 15 h。用无水甲醇将混合液稀释至吸光度值为 0.70 ± 0.02 。避光条件下,吸取 0.2 mL 样品溶液,加入 4 mL ABTS 混合液,反应 6 min,测定 734 nm 处吸光度值,并按式(6)计算 ABTS 自由基清除率。

1.3 数据处理

使用 Office 软件计算花色苷浓度和综合得分,SPSS

26.0 软件处理正交试验数据,Origin 2019 软件制图。

2 结果与分析

2.1 混合原料粉比例的确定

在物料水分含量为 16%,挤压膨化温度为 50—80—120—140 ℃,螺杆转速为 160 r/min 的条件下,将不同复配比的蓝莓渣粉和籼米粉进行膨化加工。当蓝莓渣粉添加量为 12% 时,膨化米果中花色苷含量较高为 0.167 5 mg C3G/g,膨化度适中,有蓝莓的酸甜味,蓝莓和米粉的味道均可被尝出,同时色泽较好。因此,确定混合原料粉的适宜配比为 $m_{\text{蓝莓渣粉}} : m_{\text{籼米粉}}$ 为 12 : 88。

2.2 单因素试验

2.2.1 物料水分含量对蓝莓渣籼米果品质的影响 由图 1 可知,蓝莓渣籼米果的膨化度随物料水分含量的增加先增大后减小,可能是由于物料水分含量太少,水分汽化程度较低,机筒内外压差不明显,导致膨胀度减小,与文献[22]的趋势一致。蓝莓渣籼米果的花色苷含量随物料水分含量的升高而增加,可能是由于随着物料水分含量的升高,物料中的水分吸收机腔内大量的汽化潜热,导致物料的升温速率下降,从而使得花色苷的损失减少^[23]。蓝莓渣籼米果的感官评分随物料水分含量的升高先升高后降低,可能是由于物料水分含量较低时,挤压过程中易出现模口堵塞现象,致使膨化产品严重焦化;而物料水分含量较高时,膨化产品的含水量会随之增加,致使产品成型和口感变差^[24]。

2.2.2 挤压膨化温度对蓝莓渣籼米果品质的影响 由图 2 可知,蓝莓渣籼米果的膨化度随挤压膨化温度的升高先增大后减小,可能是由于温度的升高,水分子的热运动随之加快,淀粉逐渐发生降解且糊化的程度也逐渐增大,从而使得膨化度提高;而温度较高会导致产品中的气泡过早破裂,膨化度降低^[25]。蓝莓渣籼米果的花色苷含量随挤压膨化温度的升高而降低,可能是由于花色苷是一种热敏性活性物质,不耐热,温度升高会使花色苷分

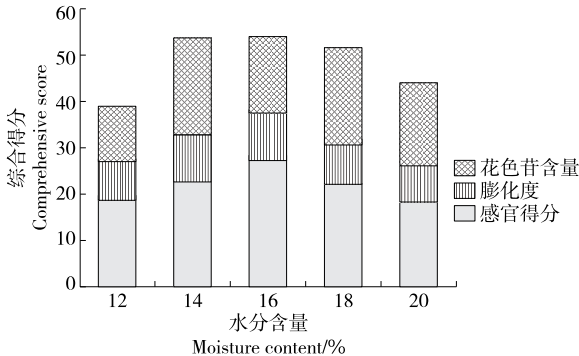


图 1 物料水分含量对综合得分的影响

Figure 1 Effects of moisture content of material on comprehensive score

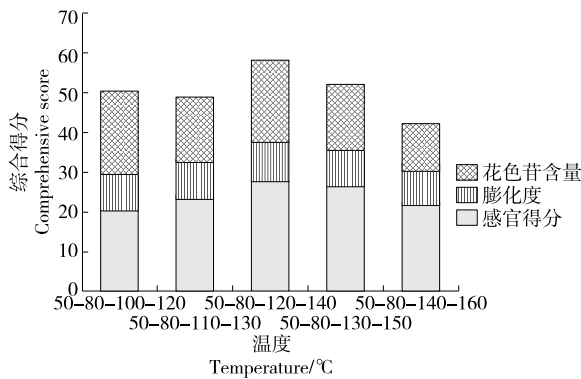


图2 挤压膨化温度对综合得分的影响
Figure 2 Effect of extrusion inflation temperature on comprehensive score

解^[26]。蓝莓渣糯米果的感官评分随挤压膨化温度的升高先升高后降低,可能是由于温度较低时,淀粉糊化度较低,导致膨化产品的感官较差;而温度较高时,膨化产品会过度焦糊化,致使产品口感变差,感官评分降低^[5]。

2.2.3 螺杆转速对蓝莓渣糯米果品质的影响 由图3可知,蓝莓渣糯米果的膨化度和感官评分均随螺杆转速的升高先升高后降低,可能是由于螺杆转速较低时,物料所受剪切力小,不利于产品膨化,导致感官较差;随着螺杆转速的升高,物料受到的剪切力随之升高,淀粉分子间氢键被破坏,从而增加了分子的结构空间,有利于水分子的均匀渗入并发生溶胀,膨化度提高;而过高的螺杆转速会使物料在机筒内的停留时间缩短,使得物料吸收热量不足,水分不能充分汽化,淀粉糊化程度较低,从而导致了膨化度和感官评分的降低^[27-28]。蓝莓渣糯米果的花色苷含量随螺杆转速的升高先升高后降低再升高,当螺杆转速为140 r/min时,产品花色苷含量最高,可能是由于螺杆转速较低时,机筒内物料吸热不充分,升温速度慢,导致花色苷含量升高;当螺杆转速>140 r/min时,物料在机筒内的停留时间缩短,但物料所受剪切力随之增大,温度随之上升,导致花色苷含量减少;当螺杆转速为200 r/min时,虽然物料所受剪切力增大,但物料在机筒内的停留时间过短,温度还未上升,因此花色苷含量上升。

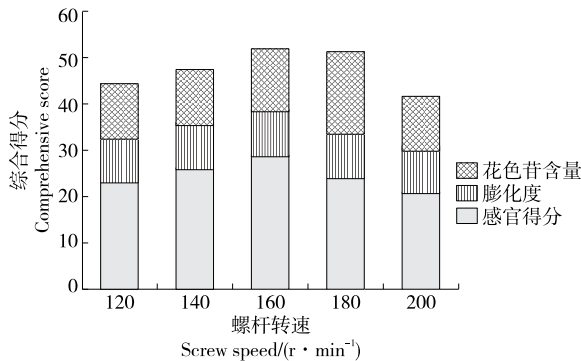


图3 螺杆转速对综合得分的影响
Figure 3 Effect of the screw speed on comprehensive score

2.3 正交试验

在单因素试验基础上,以物料水分含量、挤压膨化温度和螺杆转速为因素,以综合得分为响应值,采用三因素三水平正交试验优化蓝莓渣糯米果的膨化工艺。正交试验因素水平见表2,正交试验设计及结果见表3。

由表3可知,影响蓝莓渣糯米果品质的因素主次顺序为B>A>C,蓝莓渣糯米果的最优工艺组合为A₂B₁C₂,即物料水分含量为16%,挤压膨化温度为50-80-110-130 °C,螺杆转速为160 r/min。由表4可知,物料水分含量以及挤压膨化温度对蓝莓渣糯米果品质的影响显著(P<0.05)。

进一步对最优配方进行验证实验,即在物料水分含

表2 正交试验设计表

Table 2 Orthogonal experimental design table			
水平	A 物料水分 含量/%	B 挤压膨化 温度/°C	C 螺杆转速/ (r·min ⁻¹)
1	14	50-80-110-130	140
2	16	50-80-120-140	160
3	18	50-80-130-150	180

表3 正交试验设计及结果

Table 3 Orthogonal experimental design and results				
试验号	A	B	C	综合得分
1	1	1	1	59.77
2	1	2	2	59.58
3	1	3	3	46.65
4	2	1	2	62.30
5	2	2	3	57.60
6	2	3	1	51.04
7	3	1	3	50.99
8	3	2	1	49.14
9	3	3	2	41.85
k ₁	55.33	57.69	53.32	
k ₂	56.98	55.44	54.58	
k ₃	47.33	46.51	51.75	
R	9.65	11.18	2.83	

表4 正交试验方差分析表[†]

Table 4 Variance analyses of orthogonal test					
因素	偏差平方和	自由度	均方	F 值	显著性
A	160.005	2	80.003	74.308	*
B	209.576	2	104.788	97.329	*
C	12.061	2	6.031	5.601	
误差	2.153	2	1.077		

[†] * 差异显著(P<0.05)。

量为 16%，挤压膨化温度为 50—80—110—130℃，螺杆转速为 160 r/min 时重复实验 3 次，所得蓝莓渣籼米果的综合平均得分为 62.23，色泽呈紫色且口感酥脆。由独立样本检验表(表 5)可知， $F=9.750$ ，显著性 P 为 $0.035<0.05$ ，所以不假定等方差；而 Sig.(双尾)为 $0.841>0.05$ ，故两组数据无显著性差异，说明在正交试验的最优条件下制得的蓝莓渣籼米果品质最好。

2.4 体外抗氧化活性

2.4.1 总黄酮含量 由图 4 可知，膨化籼米果的总黄酮

含量相对于膨化蓝莓渣籼米果的较低，可能是因为在挤压重组的高温高压过程中其黄酮类物质遭到破坏导致的结果。而样品的总黄酮含量显著上升，可能是因为在样品中加入的蓝莓渣粉中含有一定量的黄酮类物质^[29]。

2.4.2 DPPH 自由基清除率 由图 5 可知，膨化籼米果对 DPPH 自由基具有一定的清除能力，可能是由于籼米粉在挤压加工过程中发生了美拉德反应，而美拉德反应产物具有一定的抗氧化能力^[30]。与膨化籼米果相比，经优化后的膨化蓝莓渣籼米果对 DPPH 自由基的清除能力

表 5 独立样本检验表

Table 5 Testing table of independent samples

因变量	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F 值	P 值	t	自由度	Sig. (双尾)	平均值 差值	标准误差 差值	95% 置信区间	
								下限	上限
假定等方差	9.750	0.035	0.226	4	0.832	0.362 51	1.603 34	-4.089 08	4.814 10
不假定等方差			0.226	2.141	0.841	0.362 51	1.603 34	-6.117 37	6.842 40

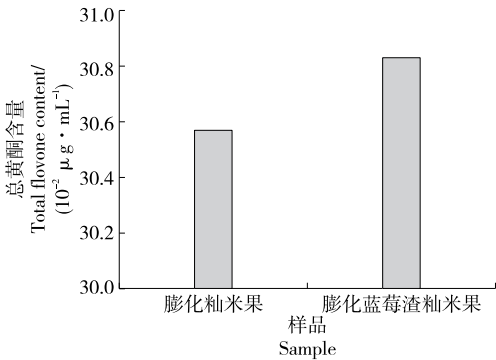


图 4 膨化籼米果和膨化蓝莓渣籼米果的总黄酮含量
Figure 4 Contents of total flavonoids in puffed indica rice fruit and puffed blueberry residue indica rice fruit

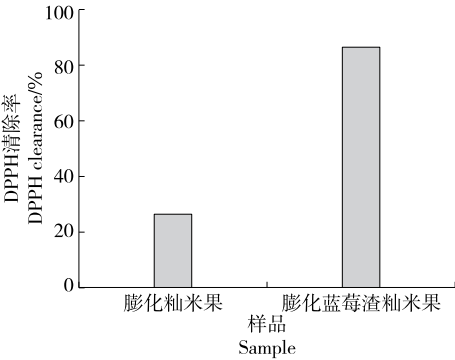


图 5 膨化籼米果和膨化蓝莓渣籼米果对 DPPH 自由基清除率的影响
Figure 5 Effects of puffed indica rice fruit and puffed blueberry residue on DPPH free radical clearance

显著提高，可能是因为蓝莓渣粉中含有花色苷，而花色苷具有较强的抗氧化能力^[31]。

2.4.3 ABTS 自由基清除率 由图 6 可知，膨化籼米果对 ABTS 自由基具有一定的清除能力，可能是由于籼米粉中含有维生素 E 及维生素 B 等抗氧化物质^[32]，且籼米粉在挤压加工过程中可能发生了美拉德反应。与膨化籼米果相比，经优化后的膨化蓝莓渣籼米果对 ABTS 自由基的清除能力显著提高，可能是加入的蓝莓渣粉中含有花色苷和黄酮醇^[33]等抗氧化物质。

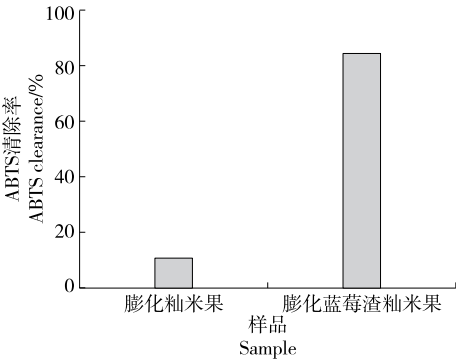


图 6 膨化籼米果和膨化蓝莓渣籼米果对 ABTS 自由基清除率的影响
Figure 6 Effects of puffed indica rice fruit and puffed blueberry residue on ABTS radical clearance

3 结论

蓝莓渣复合籼米的最佳膨化工艺为蓝莓渣粉添加量 12%，物料水分含量 16%，挤压膨化四区温度 50—80—110—130℃，螺杆转速 160 r/min。相对于膨化籼米果，蓝莓渣籼米果对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除率

分别提高了 60.19%, 73.67%, 具有良好的抗氧化特性。后续可通过一些技术手段对蓝莓渣籼米果的抗氧化机理进行研究。

参考文献

- [1] 张明星. 碎米的利用现状及展望[J]. 民营科技, 2017(11): 23.
ZHANG M X. Utilization status and prospect of broken rice[J]. Private Technology, 2017(11): 23.
- [2] HE B, ZHANG L L, YUE X Y, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace [J]. Food Chemistry, 2016, 204: 70-76.
- [3] CHENG Y, WU T, CHU X, et al. Fermented blueberry pomace with antioxidant properties improves fecal microbiota community structure and short chain fatty acids production in an in vitro mode[J]. LWT, 2020, 125: 109260.
- [4] ANDRETTA R, LUCHESE C L, TESSARO I C, et al. Development and characterization of pH-indicator films based on cassava starch and blueberry residue by thermocompression[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 93: 317-324.
- [5] 焦妍津. 利用蓝莓果渣生产挤压膨化食品的工艺研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015: 14-20.
JIAO Y J. Study on the technology of producing extruded food from blueberry residue[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015: 14-20.
- [6] RAI P, MEHROTRA S, PRIYA S, et al. Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers [J]. Bioresource Technology, 2021, 325: 124739.
- [7] 张雅娜, 郭丽, 柴云雷, 等. 蓝莓渣膳食纤维蛋糕的配方优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 222-226, 233.
ZHANG Y N, GUO L, CHAI Y L, et al. Formula optimization of blueberry residue dietary fiber cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(24): 222-226, 233.
- [8] CURUTCHET A, COZZANO S, TÁRREGA A, et al. Blueberry pomace as a source of antioxidant fibre in cookies: Consumer's expectations and critical attributes for developing a new product[J]. Food Science and Technology International, 2019, 25(8): 642-648.
- [9] 蔡易辉, 孙超, 郭元新, 等. 蓝莓果渣挂面工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(11): 44-47.
CAI Y H, SUN Z, GUO Y X, et al. Study on the technology of dried noodles with blueberry residue[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(11): 44-47.
- [10] 夏其乐, 邢建荣, 陆胜民, 等. 杨梅、蓝莓果渣混合果酱加工工艺[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 139-141.
XIA Q L, XING J R, LU S M, et al. Processing technology of mixed jam of red bayberry and blueberry residue[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2017, 45(12): 139-141.
- [11] 刘超. 双螺杆挤压膨化方便粥配方及工艺参数优化[D]. 重庆: 西南大学, 2020: 13-14.
- LIU C. Optimization of formula and process parameters of twin screw extrusion instant porridge[D]. Chongqing: Southwest University, 2020: 13-14.
- [12] 胡秋丽, 李亚东, 孙海悦, 等. 响应面法优化蓝莓果实活性物质提取工艺研究[J]. 中国果树, 2017(3): 16-21.
HU Q L, LI Y D, SUN H Y, et al. Optimization of extraction process of active substances from blueberry fruit by response surface methodology[J]. China Fruits, 2017(3): 16-21.
- [13] 于泽源, 赵剑辉, 李兴国, 等. 大孔树脂—中压柱层析联用分离纯化蓝莓花色苷[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 118-123.
YU Z Y, ZHANG J H, LI X G, et al. Separation and purification of blueberry anthocyanins by macroporous resin medium pressure column chromatography[J]. Food Science, 2018, 39(1): 118-123.
- [14] 王洁洁, 邵子晗, 韩晶, 等. 挤压重组紫薯米工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 137-142, 150.
WANG J J, SHAO Z H, HAN J, et al. Process optimization and antioxidant activity of extruded recombinant purple potato rice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 137-142, 150.
- [15] 方浩标, 郑经绍, 许立益, 等. 紫糙米粉挤压工艺优化及其理化性质分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 195-202.
FANG H B, ZHENG J S, XU L Y, et al. Optimization of extrusion process and analysis of physical and chemical properties of purple brown rice flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 195-202.
- [16] QIU Y, LIU Q, BETA T. Antioxidant properties of commercial wild rice and analysis of soluble and insoluble phenolic acids[J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 140-147.
- [17] WU Y, XU L, LIU X, et al. Effect of thermosonication treatment on blueberry juice quality: Total phenolics, flavonoids, anthocyanin, and antioxidant activity[J]. LWT, 2021, 150: 112021.
- [18] SHARMA O P, BHAT T K. DPPH antioxidant assay revisited[J]. Food Chemistry, 2008, 113(4): 1 202-1 205.
- [19] DONLAO N, OGAWA Y. Impacts of processing conditions on digestive recovery of polyphenolic compounds and stability of the antioxidant activity of green tea infusion during in vitro gastrointestinal digestion[J]. LWT, 2018, 89: 648-656.
- [20] JANG H H, KIM H W, KIM S Y, et al. In vitro and in vivo hypoglycemic effects of cyanidin 3-caffeoyl-p-hydroxybenzoylsophoroside-5-glucoside, an anthocyanin isolated from purple-fleshed sweet potato[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 688-693.
- [21] FANG Z, ZHANG Y, LU Y, et al. Phenolic compounds and antioxidant capacities of bayberry juices[J]. Food Chemistry, 2009, 113(4): 884-888.
- [22] 陈子意. 槟榔芋全粉挤压膨化特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015: 9-18.
CHEN Z Y. Study on extrusion characteristics of areca taro powder[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015: 9-18.
- [23] HIRTH M, LEITER A, BECK S M, et al. Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in

- starch based food[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 125: 139-146.
- [24] 林莹. 低能量挤压食品生产工艺研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012: 29-33.
- LIN Y. Research on production technology of low energy extruded food[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2012: 29-33.
- [25] 王章桃. 挤压膨化与微生物发酵联用技术对改善冲调米糊品质的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019: 10-12.
- WANG Z T. Study on improving the quality of prepared rice paste by extrusion and microbial fermentation[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019: 10-12.
- [26] 邱婷婷, 熊华, 朱雪梅, 等. 滚筒干燥和挤压膨化对黑色谷物理化性质及储藏稳定性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 73-83.
- QIU T T, XIONG H, ZHU X M, et al. Effects of drum drying and extrusion on physicochemical properties and storage stability of black grain[J]. Food Science, 2020, 41(21): 73-83.
- [27] 贺也. 挤压膨化制备方便杂粮粉的工艺研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016: 21-26.
- HE Y. Study on the preparation of convenient coarse grain flour by extrusion [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016: 21-26.
- [28] 张颖, 姜启兴, 许艳顺, 等. 挤压加工对谷物早餐粉膳食纤维成分和物理性质的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 19-24.
- ZHANG Y, JIANG Q X, XU Y S, et al. Effect of extrusion physical properties and functional ingredients of high fiber cereal breakfast powder[J]. Food & Machinery, 2014, 30(3): 19-24.
- [29] 周笑琴, 杜斌, 周艳, 等. 蓝莓皮渣花色苷粗提物的抗氧化性[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 181-186.
- ZHOU X L, TU B, ZHOU Y, et al. Study on antioxidant activity of anthocyanins from crude extract of blueberry pomace[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(6): 181-186.
- [30] 段云龙, 梁毅, 李冰, 等. 茶多酚对面包品质及面包酚类物质抗氧化能力的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 137-142.
- DUAN Y L, LIANG Y, LI B, et al. Effect of tea polyphenols on the bread quality and polyphenols antioxidant activity [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(8): 137-142.
- [31] 金永学, 冯建国, 郑淘, 等. 蓝莓的功能成分, 保健作用及其开发利用[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 231-236.
- JIN Y X, FENG J G, ZHENG T, et al. Functional components, health function and utilization of blueberry[J]. Food & Machinery, 2020, 36(5): 231-236.
- [32] 雷良波, 周剑丽, 黄叶强, 等. 蓝莓果渣花色苷提取工艺优化及抗氧化活性比较研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 178-184.
- LEI L B, ZHOU J L, HUANG Y Q, et al. Optimization of extraction conditions of anthocyanin from blueberry pomace and its antioxidant activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 178-184.
- [33] 张盼盼, 王丽, 时志军, 等. 蓝莓果渣花青素的超声辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 152-157.
- ZHANG P P, WANG L, SHI Z J, et al. Optimization of extraction process for anthocyanins from blueberry pomace by response surface methodology[J]. Food & Machinery, 2017, 33(2): 152-157.
-
- (上接第 86 页)
- [7] 王爱军. 气相色谱串联三重四级杆质谱测定焦糖色中 4-甲基咪唑[J]. 食品工业, 2019, 40(7): 321-323.
- WANG A J. Determination of 4-methylimidazole in caramel color by capillary gas chromatography-tandem mass spectrometry[J]. The Food Industry, 2019, 40(7): 321-323.
- [8] 阚宇航, 黄璐瑶, 余晓琴, 等. 超高效液相色谱—串联质谱法测定酱卤肉制品中 1-甲基咪唑, 2-甲基咪唑及 4-甲基咪唑[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 261-266.
- MIN Y H, HUANG L Y, YU X Q, et al. Simultaneous determination of 1-methylimidazole, 2-methylimidazole and 4-methylimidazole in sauced meat products by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 261-266.
- [9] WANG J Y, SCHUUTE W C. Simultaneous quantitation of 2-acetyl-4-tetrahydroxybutylimidazole, 2-and 4-methylimidazoles, and 5-hydroxymethylfurfural in beverages by ultrahigh-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60: 917-921.
- [10] 李锦清, 蔡艳, 郦明浩, 等. 固相萃取—高效液相色谱—串联质谱法测定酱油中 4-甲基咪唑[J]. 中国调味品, 2016, 41(1), 132-142.
- LI J Q, QI Y, LI M H, et al. Determination of 4-methylimidazole in soy sauce using solid-phase extraction and high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. China Condiment, 2016, 41(1): 132-142.
- [11] 张丽华, 邵瑞婷, 杨丽梅, 等. 超高效液相色谱串联质谱法测定蚝油中 3 种甲基咪唑类物质[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 229-233.
- ZHANG L H, SHAO R T, YANG L M, et al. Determination of three methylimidazoles in oyster sauce using ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(24): 229-233.
- [12] 王颖, 黄璐瑶, 余晓琴, 等. 高效液相色谱—串联质谱法测定豆制品中 3 种甲基咪唑类化合物[J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 28(4): 415-418.
- WANG Y, HUANG L Y, YU X Q, et al. Simultaneous determination of 3 methylimidazoles in bean product by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Health Lab Tec, 2018, 28(4): 415-418.