

红小豆沙加工工艺及其营养成分流向研究

Study on processing technology of red adzuki bean paste and flow distribution of nutritional and functional components

成楠¹ 秦礼康¹ 解春芝²

CHENG Nan¹ QIN Li-kang¹ XIE Chun-zhi²

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学生命科学学院, 贵州 贵阳 550025)

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. College of Life Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

摘要:采用红小豆为原料加工豆沙,以吸水率、出沙率(干基)为指标,对浸泡和蒸煮2个关键工序进行工艺优化,并跟踪其加工过程中主要营养与功能成分的动态变化。结果表明,水温45℃、浸泡12h时,红小豆吸水率最大,为(94.67±1.29)%;料液比1:2(g/mL)、温度110℃、蒸煮40min时,出沙率最高,为(65.69±0.68)%。制沙过程中,红小豆营养、功能成分显著降低($P<0.05$),黄酮、多酚、单宁等主要功能成分的损失率显著高于蛋白质、脂肪和灰分($P<0.05$),尤其黄酮在浸泡、蒸煮、制沙洗沙工序的损失率较大(分别为39.62%,48.42%,13.08%)。成品豆沙中蛋白质含量达21.48%(干基),而多酚和单宁则富集于豆渣中,含量(干基)分别为162.30,14.26 mg/100 g,具有一定增值利用潜力。

关键词:红小豆;豆沙;吸水率;出沙率;功能成分

Abstract: Based on water absorption and bean paste rate (dry matter), the soaking and cooking process of red adzuki bean were optimized. Then, the dynamic changes of main nutritional and functional components during the process were tracked. The results showed that the water absorption of red adzuki bean was the highest (94.67±1.29)% under the soaking temperature of 45℃ and soaking time of 12 h. The bean paste rate was the highest (65.69±0.68)% to be cooked at 110℃ for 40 min with a solid-to-solvent ratio (soaked red adzuki bean:water) of 1:2 (g/mL). The nutritional and functional components of red adzuki bean decreased significantly during the process of sand making ($P<0.05$). The loss rates of main functional components such as flavonoids, polyphenols and tannin were significantly higher than protein, fat and ash ($P<0.05$). In particular, the loss rate of flavonoids in soaking, cooking and sand

washing process was relatively high (39.62%, 48.42%, 13.08%). The content of protein in the finished red adzuki bean paste was 21.48% (dry matter), while the polyphenol and tannin were enriched in the bean dregs with the contents (dry matter) of 162.30 mg/100 g and 14.26 mg/100 g respectively, which is potential for value-added utilization.

Keywords: red adzuki bean; bean paste; water absorption; bean paste rate; functional components

红小豆(*Vigna umbellata*)为菜豆族豇豆属赤豆的种子,是一种高蛋白、低脂肪、富含黄酮、多酚、单宁、植酸、皂甙等多种生理活性物质^[1]、多营养的功能食品^[2]。

豆沙作为历史悠久的中式传统食品配料,富含多种营养素,广泛用于制作豆沙包、豆沙糕、冰激凌、豆沙月饼、豆沙春卷等多种食品^[3]。虽然食用豆种类很多,但以红小豆制作的红豆沙风味口感最佳^[1],同时关于豆沙加工工艺及营养与功能成分的研究少见文献报道,张雪路等^[4]虽对黑小豆沙的最佳加工工艺进行了研究,但未系统地对比红小豆沙加工工艺进行研究,且未对加工过程中红小豆沙营养与功能成分进行相关研究。因此,本研究以红小豆为原料,对浸泡和蒸煮2个关键工序进行工艺优化,并跟踪其加工过程中主要营养与功能成分的动态变化,以期对红小豆沙标准化生产和高值化利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红小豆:当年收获的新鲜籽粒,贵州义邦食品有限公司;
芦丁:分析纯,南京替斯艾中中药技术研究所;
没食子酸丙酯标准品:分析纯,天津市科密欧化学试剂开发中心;
单宁酸:分析纯,天津市致远化学试剂有限公司;
其他化学试剂均为分析纯。

基金项目:贵州省重点农业技术推广项目(编号:黔财农[2017]106号—黔农技发[2017]9号)

作者简介:成楠,女,贵州大学在读硕士研究生。

通信作者:秦礼康(1965—),男,贵州大学教授,博士。

E-mail:likangqin@126.com

收稿日期:2017-10-07

1.2 仪器与设备

电子分析天平:AR224CN型,奥豪斯仪器(常州)有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-2型,常州奥华仪器有限公司;

立式压力蒸汽灭菌器:LDZX-50KBS型,上海申安医疗器械厂;

台式高速离心机:H2-16KR型,湖南可成仪器设备有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:101-0AB型,天津市泰斯特仪器有限公司;

皇城高速多功能粉碎机:HC-300T2型,永康市绿可食品机械有限公司;

冷冻干燥机:SCIENTZ-18N型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

超声波清洗机:SB-800DT型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

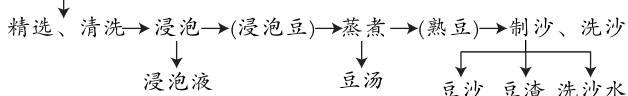
台式恒温振荡器:TH2-92C型,上海浦东物理光学仪器厂;

紫外可见分光光度计:L5S型,上海仪电分析仪器有限公司。

1.3 豆沙制备

1.3.1 工艺流程

红小豆原料



1.3.2 工艺要点

(1) 清洗:将红小豆籽粒放入清水中,除去上浮的杂质及不饱满的籽粒。

(2) 浸泡:在料液比1:3.0(g/mL)的条件下,于30~50℃下恒温浸泡2~14 h。

(3) 蒸煮:以最佳浸泡条件下得到的浸泡红小豆为原料,按一定的料液比,在适宜温度下蒸煮一定时间。

(4) 制沙、洗沙:将煮熟的红小豆倒入60目筛,滚揉破碎后加充足制沙用水将细沙完全滤入筛网下的容器中,洗沙沉淀时间不少于30 min,离心(10 000 r/min,10 min),去除上清液,即得豆沙。

1.3.3 红小豆浸泡工艺的优化 取20 g红小豆,在料液比1:3.0(g/mL)的条件下,分别在30,35,40,45,50℃下恒温浸泡2,4,6,8,10,12,14 h;取出,沥干红小豆表面水分,称重,平行试验3次,根据式(1)计算红小豆的吸水率^[4]。

$$X = \frac{m_1 - m_0}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X——吸水率,%;

m_0 ——浸泡前红小豆质量,g;

m_1 ——浸泡后红小豆质量,g。

1.3.4 红小豆蒸煮工艺单因素试验 以最佳浸泡条件下得到的浸泡红小豆为原料,进行蒸煮工艺条件研究。

(1) 蒸煮温度:在料液比1:2.0(g/mL),蒸煮时间

30 min的条件下,分别考察蒸煮温度(100,105,110,115,120℃)对红小豆沙出沙率的影响,重复3次,取平均值。

(2) 蒸煮时间:在料液比1:2.0(g/mL),蒸煮温度105℃的条件下,分别考察蒸煮时间(10,20,30,40,50 min)对红小豆沙出沙率的影响,重复3次,取平均值。

(3) 料液比:在蒸煮温度105℃,蒸煮时间30 min的条件下,分别考察料液比[1:1.0,1:1.5,1:2.0,1:2.5,1:3.0(g/mL)]对红小豆沙出沙率的影响,重复3次,取平均值。

1.3.5 红小豆蒸煮工艺的优化 根据单因素试验结果,以蒸煮温度、蒸煮时间、料液比为因素,进行 $L_9(3^3)$ 正交试验设计,确定红小豆蒸煮过程的最佳工艺条件。

1.3.6 出沙率的测定 参照文献[4],出沙率按式(2)计算:

$$Y = \frac{w}{m_0(1-X)} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

Y——出沙率,%;

w——干燥恒重后豆沙质量,g;

m_0 ——供试红小豆质量,g;

X——供试红小豆含水量,%。

1.4 主要营养与功能成分分析

1.4.1 营养成分含量测定 样品冷冻干燥48 h后,用高速多功能粉碎机将样品粉碎过40目筛备用。

(1) 水分:按GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》执行。

(2) 蛋白质:按GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》执行。

(3) 脂肪:按GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》执行。

(4) 灰分:按GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》执行。

(5) 碳水化合物:采用差值法^[5],按式(3)计算碳水化合物含量。

$$Y = 1 - (X_1 + X_2 + X_3 + X_4), \quad (3)$$

式中:

Y——碳水化合物含量,%;

X_1 ——水分含量,%;

X_2 ——蛋白质含量,%;

X_3 ——脂肪含量,%;

X_4 ——灰分含量,%。

1.4.2 功能成分含量测定

(1) 黄酮:精密称量样品粉末2.500 g于三角瓶中,加入10倍样品量的60%乙醇,在60℃水浴中超声提取30 min,10 000 r/min离心10 min,收集上清液,用溶剂定溶于25 mL容量瓶,即得总黄酮提取液。吸取1 mL提取液于25 mL容量瓶内,采用硝酸铝—亚硝酸钠比色法^[6-7],在510 nm处以芦丁为标准品做标准曲线测定总黄酮含量。以芦丁含量为横坐标(X,mg/mL),吸光度为纵坐标(Y)绘制标准曲线,其回归方程为 $Y = 11.707X - 0.0048$ ($R^2 = 0.9981$)。

(2) 多酚:精密称量样品粉末1.000 g于50 mL塑料离心

管中,加入 20 倍样品量的 70% 酸性乙醇(盐酸调节 pH 值 1.5),加盖,在 50 ℃ 水浴中震荡提取 2 h,10 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,再加溶剂于残渣,继续提取,重复 3 次,最后混合上清液,用溶剂定溶于 100 mL 容量瓶,即得多酚提取液。吸取 1 mL 提取液于 25 mL 容量瓶内,参照 Folin-Ciocalteu 法^[8-9],在 540 nm 处以没食子酸丙酯为标准品做标准曲线测定多酚含量。以没食子酸丙酯含量为横坐标(X , mg/mL),吸光度为纵坐标(Y)绘制标准曲线,其回归方程为 $Y = 7.5848X + 0.0003$ ($R^2 = 0.9991$)。

(3) 单宁:精密称量样品粉末 1.000 g 于 50 mL 塑料离心管中,加入 20 倍样品量的 70% 酸性乙醇(盐酸调节 pH 值 1.5),加盖,在 50 ℃ 水浴中震荡提取 2 h,10 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,再加溶剂于残渣,继续提取,重复 3 次,最后混合上清液,用溶剂定溶于 100 mL 容量瓶,即得单宁提取液。吸取 1 mL 提取液于 50 mL 容量瓶内,采用钨酸钠—磷钼酸比色法^[8,10],在 760 nm 处以单宁酸为标准品做标准曲线测定单宁含量。以单宁酸含量为横坐标(X , mg/mL),吸光度为纵坐标(Y)绘制标准曲线,其回归方程为 $Y = 34.924X - 0.0009$ ($R^2 = 0.998$)。

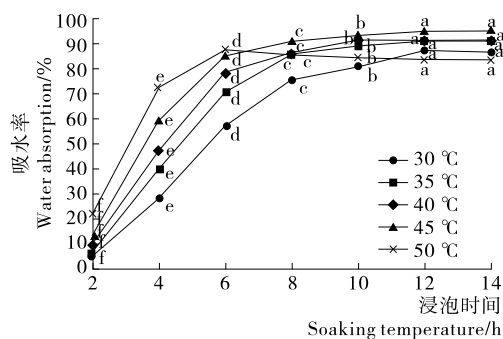
1.5 统计分析

数据采用 Excel、SPSS 20.0 统计学软件进行差异性分析。所有试验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 红小豆浸泡参数优化

由图 1 可知,当浸泡温度低于 45 ℃ 时,红小豆吸水缓慢,需较长时间达到最大吸水率。当温度高于 45 ℃ 时,虽然可以加速红小豆吸水速率,但过高的温度可导致豆粒酶系失活和结构的破坏,最终导致内容物快速溶出,造成营养成分的流失^[11],同时吸水率下降。与李积华等^[11]的研究结果一致。当浸泡时间低于 12 h 时,红小豆的吸水率随着浸泡时间的延长而增加;当浸泡时间超过 12 h 后,趋于平缓,吸水率差异不显著($P > 0.05$),是由于浸泡时间过短时,豆粒无法充分吸水膨胀,不利于后期蒸煮时淀粉的糊化,而浸泡时间过长则导致豆皮中色素和豆粒中内容物的溶出,造成营养成分流失^[4]。因此,红小豆的最佳浸泡温度为 45 ℃,最佳浸泡时间为 12 h。



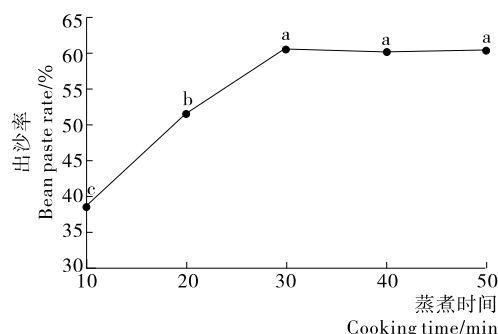
不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

图 1 浸泡温度和浸泡时间对吸水率的影响

Figure 1 Effect of soaking temperature and time on water absorption

2.2 蒸煮工艺优化

2.2.1 蒸煮时间对出沙率的影响 由图 2 可知,当蒸煮时间 < 30 min 时,出沙率逐渐上升,蒸煮 30 min 时出沙率达到 60.47%,30 min 后趋于平缓。蒸煮 20 min 与 30 min 时差异显著($P < 0.05$),30 min 后的出沙率差异不显著($P > 0.05$)。这是由于随着蒸煮时间的延长,豆粒内部淀粉颗粒吸水溶胀,结构松弛,淀粉 α 化程度增大,糊化度迅速上升;持续一段时间后,体系方可完成糊化过程^{[1]20-21},30 min 时淀粉完全糊化后,糊化度逐渐趋于平缓并保持不变,糊化度达到 100%。因此,红小豆最佳蒸煮时间为 30 min。



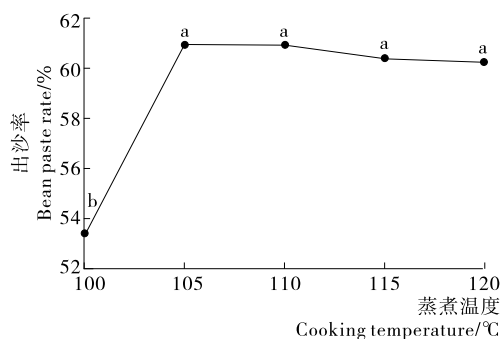
不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

图 2 蒸煮时间对出沙率的影响

Figure 2 Effect of cooking time on red adzuki bean paste rate

2.2.2 蒸煮温度对出沙率的影响 由图 3 可知,当蒸煮温度 < 105 ℃ 时,出沙率逐渐上升,蒸煮温度 105 ℃ 时出沙率达到 60.91%,105 ℃ 后趋于平缓。蒸煮温度 100 ℃ 与 105 ℃ 时差异显著($P < 0.05$),105 ℃ 后的出沙率差异不显著($P > 0.05$)。这是由于随着蒸煮温度的升高,淀粉颗粒对水分的吸附加剧,吸水速率和数量均有大幅度提高,淀粉颗粒急剧膨胀,淀粉糊化程度增大^[12],105 ℃ 时淀粉糊化完全。因此,红小豆最佳蒸煮温度为 105 ℃。

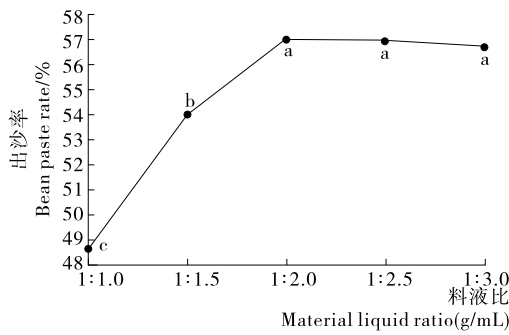
2.2.3 料液比对出沙率的影响 由图 4 可知,随溶剂的增加出沙率逐渐上升,当料液比为 1:2.0 (g/mL) 时出沙率达到 56.96%,之后趋于平缓。料液比 1:1.5 (g/mL) 与 1:2.0 (g/mL) 时差异显著($P < 0.05$),1:2.0 (g/mL) 后的出沙率差异不显著($P > 0.05$)。这是由于红小豆在蒸煮过程中,溶



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

图 3 蒸煮温度对出沙率的影响

Figure 3 Effect of cooking temperature on red adzuki bean paste rate



不同字母表示差异显著(P<0.05)

图4 料液比对出沙率的影响

Figure 4 Effect of material liquid ratio on red adzuki bean paste rate

剂过小时,豆粒内部淀粉颗粒无法充分吸水溶胀,淀粉糊化程度较低;随着溶剂的增加,豆粒内部淀粉颗粒充分吸水溶胀,淀粉糊化完全。因此,红小豆最佳料液比为1:2.0(g/mL)。

2.2.4 正交试验结果 在单因素试验基础上,设计正交试验因素水平见表1,以出沙率作为评价指标,利用正交试验筛选出红小豆沙的最佳蒸煮工艺参数,试验结果见表2。

由表2可知,红小豆蒸煮过程中的最佳工艺参数为A₃B₃C₂;正交试验方差分析结果(表3)显示,修正模型的P<0.05,说明正交试验方差分析模型是适用的。蒸煮温度、蒸煮时间、料液比3个因素的P<0.05,对红小豆豆沙出沙率的影响均达到显著水平,且蒸煮温度的P<0.01,对红小豆豆沙出沙率的影响达到了极显著水平。综合表2、3结果,3因素对红小豆沙出沙率影响的顺序为蒸煮温度>蒸煮时间>料液比;蒸煮过程中最佳工艺参数为:蒸煮温度110℃,蒸煮时间40min,料液比1:2.0(g/mL)。

2.3 主要营养与功能成分流向分布

2.3.1 红小豆浸泡损失 由表4、5可知,浸泡加工过程中,主要营养与功能成分显著降低(P<0.05)。其中,多酚损失

表1 因素水平设计表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test design

水平	A 蒸煮温度/℃	B 蒸煮时间/min	C 料液比(g/mL)
1	100	20	1:1.5
2	105	30	1:2.0
3	110	40	1:2.5

表4 红小豆沙加工中各组分主要营养与功能成分含量(以干基计)[†]

Table 4 Contents of main nutritional and functional components in red adzuki bean paste and various by-products (dry matter)

产品组分	蛋白质/%	脂肪/%	灰分/%	碳水化合物/%	黄酮/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	多酚/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	单宁/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)
原料豆	23.34±0.07 ^a	0.57±0.02 ^b	3.42±0.01 ^b	72.67±0.08 ^e	17.82±0.04 ^a	229.90±0.31 ^a	20.97±0.02 ^a
浸泡豆	23.06±0.00 ^b	0.47±0.01 ^c	3.24±0.01 ^c	73.23±0.001 ^d	10.76±0.06 ^b	217.10±0.29 ^b	15.34±0.02 ^b
熟豆	19.28±0.00 ^d	0.43±0.01 ^d	2.90±0.03 ^d	77.39±0.03 ^b	5.55±0.04 ^c	130.26±0.12 ^d	8.56±0.02 ^d
豆沙	21.48±0.09 ^c	0.30±0.00 ^e	2.50±0.02 ^e	75.72±0.09 ^c	5.31±0.02 ^d	107.90±0.05 ^e	4.43±0.01 ^e
豆渣	14.62±0.09 ^e	0.60±0.00 ^a	3.50±0.00 ^a	81.28±0.07 ^a	3.88±0.02 ^e	162.30±0.37 ^c	14.26±0.01 ^c

[†] n=3;同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表2 正交试验结果与分析

Table 2 Orthogonal test result and analysis

试验号	A	B	C	出沙率/%
1	1	1	1	23.22
2	1	2	2	40.75
3	1	3	3	43.03
4	2	1	2	48.09
5	2	2	3	57.60
6	2	3	1	51.22
7	3	1	3	53.46
8	3	2	1	50.19
9	3	3	2	65.69
$\bar{K}_1$	35.67	41.59	41.54	
$\bar{K}_2$	52.30	49.51	51.51	
$\bar{K}_3$	56.45	53.31	51.36	
极差R	20.78	11.72	9.82	

表3 正交试验方差分析表

Table 3 Orthogonal test analysis of variance

来源	III型平方和	自由度	均方	F值	P值
校正模型	1136.198	6	189.366	75.443	0.013
截距	20856.174	1	20856.174	8309.085	0.000
A	725.754	2	362.877	144.570	0.007
B	214.656	2	107.328	42.759	0.023
C	195.788	2	97.894	39.001	0.025
误差	5.020	2	2.510		
合计	21997.392	9			
修正总数	1141.218	8			

量最大(12.8mg/100g),损失率为5.57%。蔡亭等^[13]研究了不同浸泡时间对绿豆浸泡液中多酚含量的影响,结果表明浸泡时间12h后,绿豆浸泡液多酚含量为13.11mg/100g。Xu等^[14]也进行了相关研究,发现浸泡过程显著降低食用豆类中多酚含量,损失率为2%~12%。黄酮损失率最大,为39.62%,与Siah等^[15]的研究结果基本一致;其次为单宁,损失率为26.85%;蛋白质损失率最低,为1.20%。Okudu等^[16]研究结果同样证实浸泡过程显著降低班巴拉族花生种子中蛋白质含量,损失量为0.3%。这是由于红小豆在浸泡

表 5 红小豆浸泡、蒸煮、洗沙加工过程中
主要营养与功能成分损失率[†]

Table 5 Loss rate of main nutritional and functional components in red adzuki bean during processing of soaking, cooking and sand washing %

加工过程	蛋白质	脂肪	灰分	黄酮	多酚	单宁
浸泡	1.20 ^b	17.54 ^a	5.26 ^b	39.62 ^b	5.57 ^b	26.85 ^b
蒸煮	16.39 ^a	8.51 ^b	10.49 ^a	48.42 ^a	40.00 ^a	44.20 ^a
制沙洗沙	0.69 ^c	6.51 ^c	2.07 ^c	13.08 ^c	2.97 ^c	9.20 ^c

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

过程中吸收水分,体积膨胀,含水量增加,质地变软,同时可溶性成分溶出,导致营养功能成分流失。

2.3.2 红小豆蒸煮损失 由表 4、5 可知,蒸煮加工过程中,主要营养与功能成分显著降低(P<0.05),且破坏程度最大。其中,黄酮、多酚、单宁损失率显著高于蛋白质、脂肪和灰分(P<0.05),其损失率分别为 48.42%,40.00%,44.20%。Mamiro 等^[17]研究发现蒸煮过程显著降低坦桑尼亚地区豆类中单宁含量,损失率为 51.7%。在蒸煮过程中黄酮、多酚、单宁含量降低,是由于水煮加热增加了其向外渗透的速率^[18]。其次为蛋白质,损失率为 16.39%,与 Khalil 等^[20]的研究报道基本一致。这是由于在蒸煮过程中,温度升高到 100℃时,可溶性蛋白质减少,可溶性氮量增加,但蛋白质态氮反而下降^[19]。脂肪损失率最低,为 8.51%。

2.3.3 红小豆制沙洗沙损失 由表 4、5 可知,洗沙加工过程中,主要营养与功能成分显著降低(P<0.05)。其破坏程度显著小于浸泡工序,这是因为制沙洗沙过程中也会损失部分可溶性成分,导致营养功能成分流失,但时间远小于浸泡工序,营养流失少。蛋白质主要集中在豆沙中,含量为 21.48%。功能性成分多酚和单宁主要富集于豆渣中,含量分别为 162.30、14.26 mg/100 g,可作为多酚和单宁提取的原料,具有良好的高值化开发前景。

3 结论

以红小豆为原料加工豆沙,其浸泡和蒸煮最优工艺参数为:浸泡温度 45℃、浸泡时间 12 h、料液比 1:2.0(g/mL)、蒸煮温度 110℃、蒸煮时间 40 min。红小豆豆沙加工过程中,浸泡、蒸煮、洗沙工序均导致红小豆营养、功能成分显著降低(P<0.05),黄酮、多酚、单宁等主要功能成分的损失率显著高于蛋白质、脂肪和灰分(P<0.05),蛋白质、脂肪、灰分、碳水化合物、黄酮、多酚和单宁在成品豆沙中的保留率分别为 60.74%,34.74%,48.25%,68.77%,19.67%,30.98%,13.94%,尤其黄酮在浸泡、蒸煮、制沙洗沙工序的损失率较大(分别为 39.62%,48.42%,13.08%),但成品豆沙中,蛋白质含量达 21.48%(干基),而豆渣中则富集多酚和单宁,含量(干基)分别为 162.30、14.26 mg/100 g。因此,浸泡液、豆汤、洗沙水、豆渣中含有较多的营养功能活性成分,具有一定增值利用潜力。另外,可进一步探讨控制浸泡用水量、采用豆汤制沙洗沙或高压无水蒸煮,研发兼顾营养与工

艺的豆沙加工新工艺。

参考文献

[1] 姚鑫森. 红豆粒馅加工特性、品质及工艺研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.

[2] AMAROWICZ R, ESTRELLA I, HERNANDEZ T, et al. Antioxidant activity of extract of adzuki bean and its fractions[J]. Journal of Food Lipids, 2008, 15(1): 119-136.

[3] 惠丽娟. 荞麦杂豆蛋糕的加工技术及影响其品质的因素的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 15-16.

[4] 张雪路, 阮长青, 孙记涛, 等. 黑小豆沙加工工艺研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 202-205.

[5] SHIMELIS E A, RAKSHIT S K. Proximate composition and physicochemical properties of improved dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Ethiopia[J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(4): 331-338.

[6] 杜若源, 谢晶, 王婷, 等. 超声波辅助提取银杏叶中总黄酮的工艺优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 167-170.

[7] 康永锋, 李艳, 段吴平, 等. 超声波辅助提取赤豆中总黄酮的工艺研究[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(7): 1 695-1 697.

[8] 周威, 王璐, 范志红. 小粒黑大豆和红小豆提取物的体外抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2008, 33(9): 145-148.

[9] 张铁英. 红豆中多酚类物质的提取及其含量测定的研究[J]. 食品添加剂, 2004(5): 99-100.

[10] 潘娟, 商军, 黄士新. 钨酸钠-磷酸钨比色分光光度法测定饲料中的单宁[J]. 饲料工业, 2012, 33(7): 51-55.

[11] 李积华, 黄茂芳, 钟业俊. 绿豆浸泡过程研究[J]. 食品科技, 2008, 33(11): 161-165.

[12] 赵鹏. 红芸豆淀粉提取及其抗老化研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2014: 6-10.

[13] 蔡亭, 汪丽萍, 刘明, 等. 浸泡时间对绿豆浸泡液中多酚及抗氧化活性的影响[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(5): 9-12.

[14] XU Bao-jun, CHANG S K. Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes[J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 1-13.

[15] SIAH S, WOOD J A, AGBOOLA S, et al. Effects of soaking, boiling and autoclaving on the phenolic contents and antioxidant activities of faba beans (*Vicia faba* L.) differing in seed coat colours[J]. Food Chemistry, 2014, 142(1): 461-468.

[16] OKUDU H O, OJINNAKA M C. Effect of soaking time on the nutrient and antinutrient composition of bambara groundnut seeds (*Vigna Subterranean*) [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 8(2): 25-29.

[17] MAMIRO P S, MWANRI A W, MONGI R J, et al. Effect of cooking on tannin and phytate content in different bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties grown in Tanzania[J]. African Journal of Biotechnology, 2017, 16(20): 1 186-1 191.

[18] 商珊, 秦礼康, 杨先龙, 等. 分段热加工对薏米营养与功能成分的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 81-84.

[19] KHALIL A H, MANSOUR E H. The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of Faba beans [J]. Food Chemistry, 1995, 54(2): 177-182.