

蒸煮方式对红豆全豆豆沙品质的影响

罗佳燕¹, 徐菲菲^{2,3}, 刘飞^{2,3}, 夏熠珣^{2,3}, 陈茂深^{*2,3}, 钟芳^{2,3}

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122; 2. 江南大学未来食品科学中心, 江苏无锡 214122; 3. 江南大学江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏无锡 214122)

摘要: 洗沙是豆沙加工中的传统步骤, 会造成资源浪费与污染等问题。作者测定了常压煮制、高压煮制、常压蒸制、高压蒸制等不同蒸煮方式对红豆营养成分、硬度、吸水率、糊化度以及豆沙的粒径分布、流变特性、质构、感官评价、消费者接受度的影响。结果表明: 4种不同处理后, 单宁和皂苷质量分数分别下降 27.32%~53.01% 和 26.45%~51.21%, 其中高压煮制的活性成分流失最严重。高压煮制使红豆快速糊化, 而高压蒸制受低吸水率(5.74±0.53)% 的影响糊化度变化缓慢。4种豆沙中常压蒸制豆沙平均粒径最大, 为(230.00±16.09) μm。由质构与感官评价结果可知, 蒸制豆沙的黏附性较小, 为-665.42~-657.30 g·s; 咀嚼性较强, 为 819.64~822.03; 豆沙颗粒感更明显, 为 6.75~6.88。高压煮制豆沙喜好度得分为(6.32±0.80)分, 消费者认为其口感细腻, 黏度和硬度适中。因此全豆豆沙研发可行且高压煮制更适合于全豆豆沙加工。

关键词: 红豆; 豆沙; 蒸煮特性

中图分类号: TS 210.4 文章编号: 1673-1689(2024)06-0011-10 DOI: 10.12441/spyswjs.20221026002

Effect of Cooking Methods on the Quality of Whole Adzuki Bean Paste

LUO Jiayan¹, XU Feifei^{2,3}, LIU Fei^{2,3}, XIA Yixun^{2,3}, CHEN Maoshen^{*2,3}, ZHONG Fang^{2,3},

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Science Center for Future Foods, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Sand washing is a traditional step in bean paste processing, resulting in resource waste and pollution. The author determined the impact of different cooking methods, including conventional pressure cooking, high-pressure cooking, conventional pressure steaming, and high-pressure steaming on the nutritional components, hardness, water absorption rate and gelatinization degree of the adzuki bean, as well as on the particle size distribution, rheological properties, texture, sensory analysis, and consumer acceptability of the bean paste. The results showed that after treated with 4 different cooking methods, mass fractions of tannin and saponin decreased by 27.32%~53.01% and 26.45%~51.21%, respectively, with the most severe loss of active ingredients occurring in high-pressure cooking. High-pressure cooking caused rapid gelatinization of adzuki beans, while high-pressure steaming resulted in a slower change in gelatinization degree due

收稿日期: 2022-10-26 修回日期: 2022-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(32272470, 32072153)。

* 通信作者: 陈茂深(1986—), 男, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事食品胶体研究。E-mail: chenmaoshen@jiangnan.edu.cn

to the low water absorption rate of $(5.74 \pm 0.53)\%$. The average particle size of conventional pressure steamed bean paste was the largest, reaching $(230.00 \pm 16.09) \mu\text{m}$. Texture and sensory evaluation results showed that the steamed bean paste exhibited smaller adhesiveness $(-665.42 \sim -657.30 \text{ g} \cdot \text{s})$, stronger chewiness $(819.64 \sim 822.03)$, and more pronounced bean particle graininess $(6.75 \sim 6.88)$. The high-pressure-cooked bean paste scored (6.32 ± 0.80) points in the preference rating, and the consumers considered it as delicate in texture and moderate in viscosity and hardness. Therefore, the development of whole bean paste is feasible, and high-pressure cooking is more suitable for whole bean paste processing.

Keywords: adzuki beans, bean paste, cooking characteristics

红豆是中国、日本、韩国等亚洲国家最常食用的杂粮之一,蛋白质含量高、脂肪含量低,含有丰富的生物活性物质,常制成豆沙用于甜点制作^[1-4]。为获得细腻的口感,传统工艺常采用洗沙去除红豆的豆皮,再进行脱水。该工艺不仅浪费物料,还会产生大量污水,因此,开发具有优良品质的全豆豆沙具有重要的意义。

热加工是豆类的主要加工方式。在热加工过程中,豆皮表皮软化,淀粉颗粒吸水膨胀,并不完全黏结在一起,形成良好的口感,风味与适口性增加^[5-6]。目前,国内的豆沙研究主要聚焦于豆沙的配方开发与贮藏^[7-9],缺少从红豆热加工到制成豆沙这一完整加工过程的研究和全豆豆沙品质的研究。

作者考察了常压蒸制、常压煮制、高压蒸制、高压煮制等4种不同热加工方式对红豆的蒸煮特性、营养成分、糊化特性及全豆豆沙品质的影响,以期对红豆热加工、全豆豆沙加工工艺改良提供参考,同时为豆沙评价体系的建立提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红豆:淘宝“十月稻田”官方旗舰店;无水乙醇、Folin-Ciocalteu 试剂、石油醚(30~60 °C)、碘化钾、碘、氢氧化钠、硫酸铜、酒石酸钾钠、葡萄糖、甲基红、没食子酸、硫酸、氯化铝、硝酸钠、硼酸、次甲基蓝、溴甲酚绿、氢氧化钠、钨酸钠、甲醇、香草醛等(均为分析纯):中国国药集团上海化学试剂公司;儿茶素标准品、齐墩果酸标准品、淀粉葡萄糖苷酶、葡萄糖试剂盒:南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

AL204 电子天平:梅特勒-托利多仪器上海有限公司;DHG-9003 电热鼓风干燥箱:上海一恒科学

仪器有限公司;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器:巩义市俞华仪器有限公司;HH-2 数显恒温水浴锅:江苏省金坛荣华仪器制造有限公司;TA-XT plus100 物性分析仪:英国 SMS 公司;5430 高速离心机:德国艾本德公司;M2 全波长酶标仪:美国分子仪器公司;Malvern 3000 激光散射粒度分析仪:英国马尔文帕纳科有限公司;DHR-3 旋转流变仪:美国沃特斯公司;KDN-08C 数显温控消化炉:上海新嘉电子有限公司;C21-WK2101 电磁炉:广东美的生活电器制造有限公司。

1.3 样品前处理

1.3.1 浸泡处理 取一定质量的红豆,以质量比1:3加入去离子水,置于25 °C恒温水浴锅中浸泡12 h后进行蒸煮处理。

1.3.2 蒸煮处理 常压煮制:煮锅中放入浸泡后的红豆,并按生豆与水质量比1:3加入去离子水,置于电磁炉上以固定功率进行煮制。高压煮制:高压锅中放入浸泡后的红豆,后续操作同常压煮制。常压蒸制:煮锅中加入足量去离子水,取适量浸泡后的红豆放入蒸盘中。煮锅置于电磁炉上以固定功率进行蒸制。高压蒸制:取适量浸泡后红豆于高压锅蒸盘中,后续操作同常压蒸制。

适时观察红豆的蒸煮状态,随机取出20粒红豆,当红豆全部可以碾碎且无硬芯则表明红豆蒸熟,记录蒸煮时间。通过预实验得到常压煮制、高压煮制、常压蒸制、高压蒸制的时间分别为1.0、0.5、3.0、1.5 h。

蒸煮过程中每10 min取适量红豆,用厨房纸轻轻吸掉红豆表面水分。蒸制时间超过1 h后,每30 min取一次样。取出的样品一部分用于测定;另一部分冷冻干燥后粉碎过60目筛,装入密封袋中并置于-20 °C冰箱中待测。

1.3.3 豆沙炒制 蒸煮至熟后的红豆置于破壁机中,补充适量去离子水至物料总质量为生豆质量的4倍。物料在固定档位下破碎30 s得到豆泥。不粘锅中倒入400 g的豆泥,置于电磁炉上用固定功率进行炒制,少量多次加入15 g食用油、100 g白砂糖,炒制12 min,此时豆沙抱团,表面没有硬壳,符合豆沙炒制要求。

1.3.4 红豆提取液制备 参考Lee等的方法^[9]稍加修改。1 g冻干样品加入10 mL体积分数75%的乙醇中,并超声处理1 h(温度25 ℃、功率250 W)后,混合物于13 000 r/min离心10 min,收集上清液。沉淀物与10 mL体积分数75%的乙醇溶液混合,同上操作进行二次提取。合并两次上清液,储存在-20 ℃冰箱中用于测定。每个样品平行提取3次。

1.4 蒸煮相关指标测定

1.4.1 基本成分测定 蛋白质的测定参照GB 5009.5—2016,脂肪的测定参照GB 5009.6—2016,灰分的测定参照GB 5009.4—2016,粗纤维的测定参照GB/T 5515—2008。

1.4.2 总酚测定 总酚的测定参照Folin-Ciocalteu法^[10]。将Folin-Ciocalteu试剂(100 μL)加到100 μL样品提取液中,在室温下反应3 min后加入100 μL质量分数2%的碳酸钠溶液,充分振荡后将混合物在室温下静置30 min。测定混合物在765 nm处的吸光度。以没食子酸(GAE)为标准品制作标准曲线,结果以每克冻干豆粉中没食子酸的质量表示,单位为mg/g。

1.4.3 总黄酮测定 总黄酮的测定参考Heimler等的方法^[11]并稍加修改。在2 mL样品提取液中加入1.25 mL去离子水、75 μL质量分数5%的NaNO₂溶液、150 μL质量分数10%的AlCl₃溶液混合均匀后静置反应6 min。加入0.5 mL浓度1 mol/L的NaOH溶液,涡旋混合后于495 nm处测定吸光度。以儿茶素(CAE)为标准品制作标准曲线,结果以每克冻干豆粉中儿茶素的质量表示,单位为mg/g。

1.4.4 单宁测定 将3 mL质量分数4%的甲醇-香草醛溶液和1.5 mL盐酸加入50 μL适当稀释的样品中。混合物静置15 min,在500 nm处测吸光度^[12]。以儿茶素(CAE)为标准品制作标准曲线,结果以每克冻干豆粉中儿茶素的质量表示,单位为mg/g。

1.4.5 总皂苷测定 总皂苷测定采用香草醛-高氯酸比色法^[13]。以齐墩果酸为标准品,制作标准曲线,

结果以每克冻干豆粉中齐墩果酸的质量表示,单位为mg/g。

1.4.6 吸水率测定 浸泡后的红豆吸干表面水分测定质量(m_1)。蒸煮一定时间后的红豆取出后用厨房纸吸干表面水分,冷却至室温并测定质量(m_2),直至红豆崩解停止吸水率的测定。吸水率的计算见式(1):

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: A 为吸水率,%; m_1 为浸泡后的初始质量,g; m_2 为蒸煮后的质量,g。

1.4.7 硬度测定 采用全质构(TPA)模式进行测定,探头为P/0.5。测试前速度为2.00 mm/s;测试速度为1.00 mm/s;测试后速度为2.00 mm/s;形变量为50%;两次压缩的时间间隔为5 s;距离触发力为0.20 N。随机测试30粒豆子,去掉3个最大值和3个最小值后取平均值。

1.4.8 糊化度测定 糊化度测定参考石磊等的方法^[14]并稍加修改。称取1 g样品(精确到0.001 g),先用50 mL石油醚分5次进行脱脂,再用约100 mL体积分数为85%的乙醇溶液多次洗去可溶性糖,然后在通风橱中风干约2 h,加入50 mL去离子水。取1 g生红豆粉重复以上操作后,置于沸水浴中加热1 h使其完全糊化,然后迅速冷却至室温。分别加入10 μL淀粉葡萄糖苷酶(33 U),37 ℃下保温2 h。保温结束后加入2 mL浓度为1 mol/L的盐酸溶液,并用葡萄糖试剂盒测定葡萄糖质量浓度。糊化度的计算见式(2):

$$G = \frac{X_2 - X_0}{X_1 - X_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: G 为糊化度,%; X_2 为全糊化样品葡萄糖质量浓度,mg/mL; X_1 为样品葡萄糖质量浓度,mg/mL; X_0 为空白葡萄糖质量浓度,mg/mL。

1.5 豆沙相关指标测定

1.5.1 粒径分布 使用纳米粒度仪进行粒径测定。取5 g豆沙,分散在100 mL去离子水中,遮光系数为10。

1.5.2 流变特性 使用流变仪进行黏度测定。具体测定程序如下:选用40 mm的平板,设置间隙值为2 500 μm,在25 ℃下松弛300 s,剪切速率为0.1~100 s⁻¹,表观黏度即为剪切速率10 s⁻¹时所对应的黏度。

1.5.3 质构特性 将豆沙置于 25 mL 烧杯中,每次填装豆沙高度约 3 cm,填装过程少量多次以保证样品没有空隙且平整。采用全质构(TPA)模式测定,探头为 P/0.5。测试前速度为 2.00 mm/s;测试速度为 1.00 mm/s;测试后速度为 2.00 mm/s;形变量为

50%;两次压缩时间间隔为 5 s;距离触发力为 5 N。

1.5.4 感官评价 招募 8 名有感官评价经验的学生,成立感官评价小组。经过小组讨论确定了颜色、红豆味、硬度、黏度、粗糙感、紧密程度、吞咽残留、延展性共 8 种属性,属性的定义及评价标准见表 1。

表 1 豆沙感官、质构属性的定义及参照样品

Table 1 Definition of sensory and texture attributes of bean paste and reference samples

属性	属性定义	参照样品
颜色	观察豆沙表面颜色深浅,颜色越深则分数越高	安琪百钻牌豆沙(5分) 稻香村牌油豆沙(9.5分)
红豆味	取相同质量的样品,感受咀嚼过程中至吞咽前后样品的最浓红豆味,味道越浓则分数越高	大白兔牌红豆味奶糖(10分)
硬度	取相同质量的样品,放在白齿间压缩相同距离,评价压迫力的大小,硬度(压迫力)越大则分数越高	安琪百钻牌豆沙(3分) 稻香村牌油豆沙(10分)
黏度	取相同质量的样品,感受样品黏在牙齿上和口腔中的程度,黏度越大则分数越高	安琪百钻牌豆沙(10分) 稻香村牌油豆沙(7分)
粗糙感	取相同质量的样品,感受样品的颗粒感,颗粒感越强则分数越高	电磁炉 800 W 功率煮 10 min 的水煮蛋蛋黄(2分) 红太阳牌咸蛋黄(12分)
紧密程度	取相同质量的样品,放在白齿间咀嚼相同次数感受样品在口中的松散程度,越分散则分数越低	安琪百钻牌豆沙(3分) 稻香村牌油豆沙(7分)
吞咽残留	取相同质量的样品,感受咀嚼吞咽后口中残留的碎渣总量,残留越多则分数越高	安琪百钻牌豆沙(5分) 稻香村牌油豆沙(9分)
延展性	取相同质量的样品,用舌头和上颚推开豆沙,感受豆沙铺展开的难易程度,越容易推开则分数越高	电磁炉 800 W 功率煮 10 min 的水煮蛋蛋黄(2分) 电磁炉 800 W 功率煮 30 min 的中等大小红薯(8分)

1.5.5 全豆豆沙消费者接受度调查 随机挑选测试人数共 30 名,采用 9 点喜好度标度对制备的全豆豆沙进行消费者喜好度测试,并要求说明喜欢与不喜欢的理由。在测试期间,依次向消费者呈递样品,并向消费者提供纯净水和苏打饼干清口。所有实验均在江南大学感官实验室进行,实验期间的温度为 25 ℃。

1.6 数据处理与分析

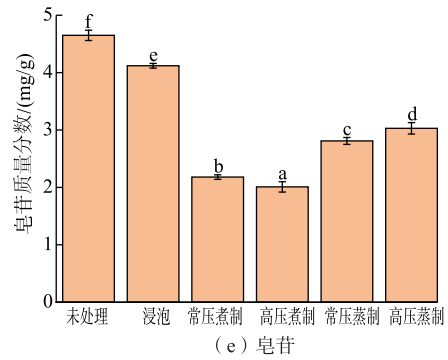
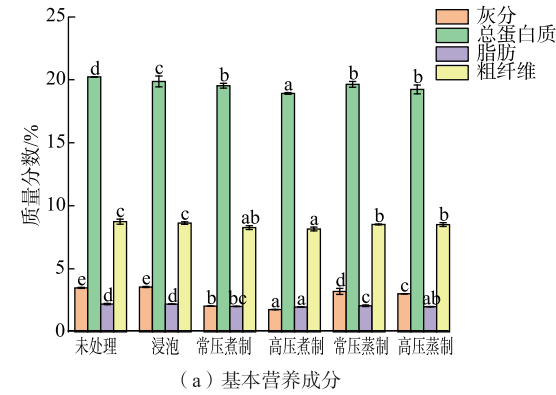
使用 IBM SPSS Statistics Version 22.0 软件对数据进行单因素方差分析(ANOVA),以 Duncan 检验法($P < 0.05$)进行显著性分析。数据用平均值±标准差表示,所有实验至少重复 3 次。采用 Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同蒸煮方式对红豆营养成分的影响

由图 1 所示,煮制比蒸制基本营养成分流出率

更高且高压处理会增加流出,其中高压煮制造成的各成分损失率最大。红豆的总蛋白质、脂肪、粗纤维质量分数变化较小,而灰分与功能成分质量分数变化显著。常压煮制、高压煮制、常压蒸制、高压蒸制后灰分质量分数分别下降了 42.69%、50.28%、9.83%、15.16%。一般认为具有颜色的豆类种皮有高质量分数的多酚、单宁、黄酮等化合物,一般的烹饪工序会影响其质量分数^[15-16]。浸泡后总酚和黄酮质量分数大幅下降,损失率达到 38.23%、39.51%,与报道趋势一致^[17-18]。浸泡后单宁与皂苷质量分数分别下降了 16.81%、11.40%,且单宁和皂苷主要在热加工中大量损失,4 种不同处理后单宁质量分数下降 27.32%~53.01%,皂苷质量分数下降 26.45%~51.21%。这些差异主要是由于煮制时红豆与水充分接触,加之水沸腾带来的冲击力使豆粒不再完整,加速了各物质流出。而蒸豆损失的固形物少,能更好保持豆类外观和质地的完整性及功能成分。



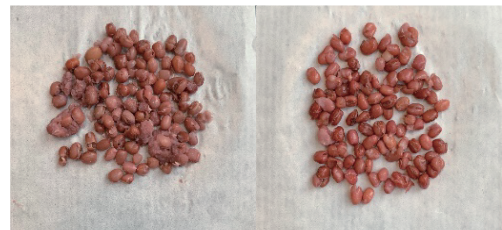
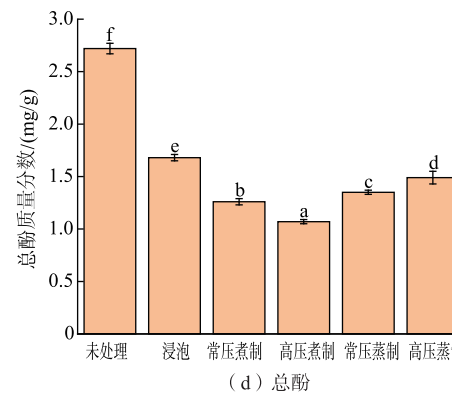
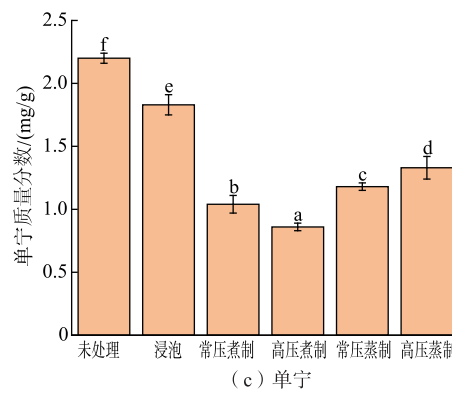
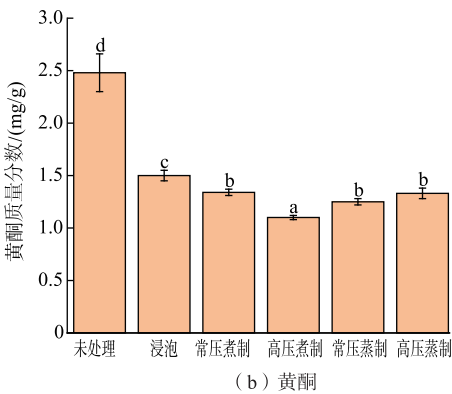
不同字母表示不同处理组之间显著差异 ($P < 0.05$)。

图 1 不同蒸煮方式对红豆营养成分的影响

Fig. 1 Effect of different cooking methods on the nutritional components of adzuki bean

2.2 不同蒸煮方式对吸水率与硬度的影响

豆类烹饪时间以及烹饪后的质地、外观等是重要的烹饪质量特征,其中硬度或柔软度是确定加工豆类可接受性的最重要标准之一^[19-20]。常压煮制、高压煮制、常压蒸制、高压蒸制所需蒸煮时间分别为 60、30、180、90 min, 高压蒸制的烹饪效率远高于其他烹饪方式。烹饪后的红豆见图 2, 煮制的红豆崩解情况严重, 固形物大量损失于豆汤中, 而蒸制的红豆豆皮略有裂痕但仍保持完整的籽粒形状。



(a) 常压煮制60 min (b) 高压煮制30 min



(c) 常压蒸制180 min (d) 高压蒸制90 min

图 2 不同蒸煮方式处理后的红豆

Fig. 2 Adzuki beans treated with different cooking methods

由表 2 可知, 煮制时红豆充分与水接触, 吸水率随时间增加而上升。常压煮制 40 min 后红豆吸水率达 16.39%, 此时豆子崩解、固形物流出。高温高压促进水由表及里扩散, 使红豆吸水速率和吸水量增

大^[21],因此高压煮制的红豆仅加热 10 min 吸水率就达13.74%。蒸制豆吸水率远小于煮制豆,吸水率缓慢增加并随煮制时间延长而趋于稳定,终点吸水率仅 5.74%~6.93%。其中高压蒸制红豆的吸水率平衡后有略微下降的趋势。

表 2 不同蒸煮方式对红豆吸水率和硬度的影响

Table 2 Effect of different cooking methods on water absorption rate and hardness of adzuki beans

处理方式	蒸煮时间/min	吸水率/%	硬度/g
浸泡	—	—	4 299.59±359.51
常压煮制	10	6.56±1.28 ^a	1 619.76±132.44
	20	11.65±1.51 ^b	1 061.64±104.80
	30	14.35±1.06 ^c	754.04±121.81
	40	16.39±0.83 ^c	344.33±102.94
	50	—	254.16±51.68
	60	—	198.14±57.05
高压煮制	10	13.74±2.04	1 158.73±124.71
	20	—	161.97±29.43
	30	—	122.22±37.47
常压蒸制	10	0.39±0.22 ^a	2 082.32±108.31
	20	0.68±0.13 ^a	1 667.87±174.59
	30	1.77±0.41 ^b	1 371.56±94.47
	40	2.10±0.75 ^b	1 211.35±87.82
	50	3.66±0.70 ^c	1 018.71±87.21
	60	5.72±0.82 ^d	645.46±124.15
	90	6.97±0.55 ^c	478.37±91.54
	120	7.40±0.59 ^c	426.44±78.54
	150	7.07±0.62 ^c	372.80±116.20
高压蒸制	10	3.80±0.90 ^a	1 849.73±98.31
	20	3.60±0.64 ^a	1 219.28±435.34
	30	5.15±0.79 ^b	1 166.24±90.15
	40	7.31±1.04 ^c	959.78±101.70
	50	7.24±0.54 ^c	893.01±67.39
	60	7.97±0.04 ^c	533.54±69.45
	90	5.74±0.53 ^b	456.61±96.70

注:常压煮制、常压蒸制、高压蒸制吸水率数据的角标字母不同表示其组内数据之间存在显著差异($P < 0.05$);—表示未检出。

随着蒸煮时间与吸水率增加,红豆质地发生变化。烹饪前 10 min 红豆硬度大幅度下降,为 52%~73%,之后硬度下降速率逐渐减小并趋于平缓。煮制豆受热均匀、热传导快,硬度迅速下降,适口性大有提高。而蒸制豆因为与水分接触有限,硬度下降速率缓慢,且完整的豆皮进一步阻碍红豆吸热变软。值得注意的是,高压蒸制的样品终点硬度高于常压蒸制的样品,继续延长烹饪时间硬度下降趋势不明显。有报道指出,低吸水性导致煮熟的米饭硬度高^[22-24],随着蒸煮时间延长高压蒸制的红豆含水量减少,豆子变干硬。

2.3 不同蒸煮方式对糊化度的影响

淀粉在水中加热时,经历吸水膨胀、解开双螺旋、改变结晶区域的从有序到无序的转变过程称为糊化。淀粉糊化程度影响淀粉类食品的物理、化学和感官特性等^[23-24]。由图 3 可知,糊化度随煮制时间延长而增加并趋于稳定,与硬度变化趋势一致。过量水分条件下,煮制豆快速吸水传热,淀粉颗粒快速溶胀;高压使红豆受热更均匀、热传递更迅速;故高压煮制红豆仅加热 10 min 后糊化度就达到 70.8%,远高于其他处理。蒸制红豆缺少充足的水分、热效率低,糊化度变化缓慢,常压蒸制 2 h 后才接近常压煮制 40~60 min 的糊化度水平。4 种处理的终点糊化度为 86.8%~92.9%。

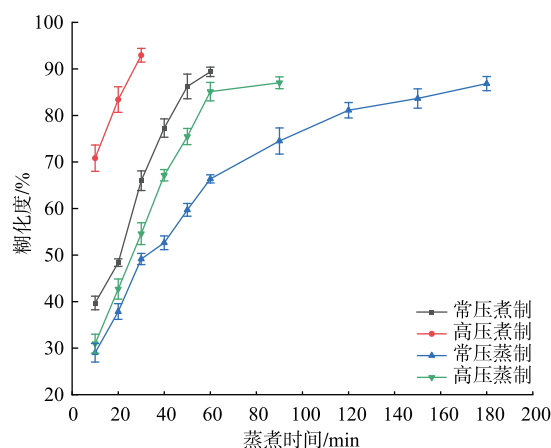


图 3 不同蒸煮方式处理对红豆糊化度的影响

Fig. 3 Effect of different cooking methods on the gelatinization degree of adzuki beans

2.4 不同蒸煮方式对豆沙粒径的影响

红豆蛋白质由质量分数 20%左右的水溶性蛋白质和80%左右的球蛋白组成。豆粒煮熟过程中,在淀粉糊化之前,由于热凝固作用,蛋白质包裹着淀

粉粒形成豆沙粒,提高了豆沙的物理强度,形成了“入口化沙”的主要口感特征。豆沙颗粒的大小直接影响豆沙细腻程度,进而影响消费者喜爱度^[25-26]。传统豆沙为提高细腻程度往往采取洗沙工艺去除豆皮,造成资源浪费和水污染。因此全豆豆沙的研制十分必要,不同蒸煮工艺对全豆粉碎效果与豆沙品质好坏有直接影响。

由图4可知,豆沙粒径主要分布在100 μm左右,与文献一致^[26]。豆皮因结构致密故粉碎效果差,粒径分布在100~1 000 μm。由表3、图4可知,煮制红豆豆皮粉碎效果优于蒸制红豆,蒸制豆沙平均粒径大于200 μm,其中常压蒸制豆沙平均粒径最大,为(230.00±16.09) μm,这可能与豆皮含水量及硬度有关。不同处理对粒径影响不大,主要是蒸煮效率的差异。综上,不同处理导致豆皮的粉碎效果不同从而导致口感不同,即蒸制豆沙的口感比煮制豆沙更粗糙。

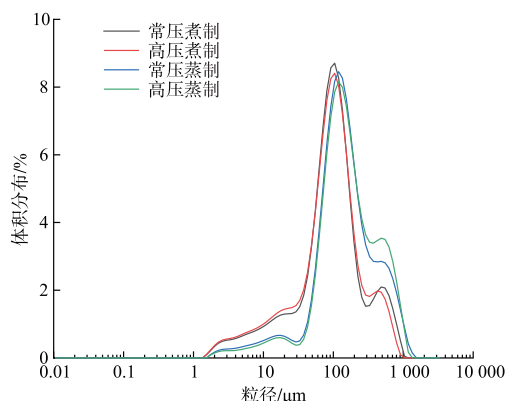


图4 不同蒸煮方式处理的全豆豆沙粒径分布

Fig. 4 Particle size distribution of whole bean paste treated with different cooking methods

2.5 不同蒸煮方式对豆沙质构的影响

《GB/T 21270—2007 食品馅料》中将豆沙划分为细蓉(沙)馅类,其质构评价标准为“口感好、无异味”,此标准过于模糊宽泛。采用仪器分析中的质地

表4 不同蒸煮方式处理后的全豆豆沙质构

Table 4 Texture of whole bean paste treated with different cooking methods

蒸煮方式	硬度/g	黏附性/(g·s)	凝聚性	胶黏性	咀嚼性
常压煮制	623.28±49.20 ^a	-780.92±63.97 ^a	0.65±0.05 ^a	699.15±72.42 ^a	727.72±74.14 ^a
高压煮制	637.63±80.52 ^a	-877.11±83.45 ^a	0.65±0.05 ^a	704.46±69.94 ^a	702.22±92.35 ^a
常压蒸制	632.29±60.92 ^a	-665.42±100.45 ^b	0.74±0.03 ^b	852.20±33.52 ^b	819.64±29.61 ^b
高压蒸制	705.01±75.39 ^a	-657.30±85.54 ^b	0.71±0.03 ^b	820.69±73.79 ^b	822.03±85.04 ^b

注:同一列数据的角标字母不同表示该列数据之间存在显著差异(P<0.05)。

表3 不同蒸煮方式处理后的全豆豆沙粒径

Table 3 Particle size of whole bean paste treated with different cooking methods

蒸煮方式	平均粒径/μm
常压煮制	133.75±10.67 ^a
高压煮制	154.67±11.50 ^b
常压蒸制	230.00±16.09 ^d
高压蒸制	214.25±9.00 ^c

注:数据的角标字母不同表示其组内数据之间存在显著差异(P<0.05)。

分析法(texture profile analysis, TPA)测定食品品质的方法已广为使用^[27-28]。TPA法在馅料食品中广泛使用,常用于测定馅料的质构指标并与感官评价指标建立联系等^[29-31]。

由表4可知,不同处理所得全豆豆沙的硬度基本没有差异,为623.28~705.01 g。蒸制豆沙的黏附性较小(-665.42~-657.30 g·s),咀嚼性较强(819.64~822.03)。这些差异主要是豆皮的含水量、硬度、粉碎效果带来的。此外豆皮碎片较大,蔗糖吸附量低,豆沙粒子之间黏结效果差,故蒸制豆沙在外力作用下更容易碎裂成块,在口中时组织松散,口感更为粗糙,咀嚼至可吞咽状态所需时间更长。

2.6 不同蒸煮方式对豆沙流变特性的影响

由图5可知,随剪切速率增加,分子间相互作用力减少,豆沙表观黏度下降,说明豆沙是剪切变稀的非牛顿流体。总体而言,常压煮制、高压煮制、常压蒸制、高压蒸制的豆沙剪切特性相似,剪切速率为10 s⁻¹时所对应的表观黏度分别为462、460、453、447 Pa·s,即蒸制豆沙的表观黏度略低于煮制豆沙的表观黏度。这可能是因为蒸制豆沙中豆皮颗粒较大,豆皮光滑使豆沙粒子间的缠绕黏结程度减轻,故蒸制豆沙黏度低于煮制豆沙。

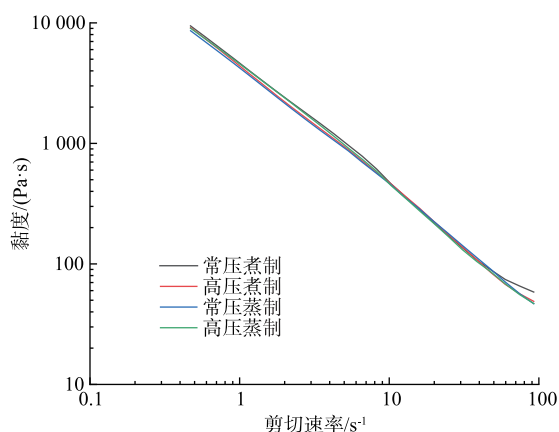


图 5 不同蒸煮方式处理的全豆豆沙流变特性

Fig. 5 Rheological properties of whole bean paste treated with different cooking methods

2.7 不同蒸煮方式对豆沙感官的影响

对 4 种豆沙进行感官评价,结果见图 6。蒸煮方式对豆沙感官评价指标的影响大于烹饪压力对感官评价指标的影响,4 种豆沙的差异主要体现在颜色、红豆味、粗糙感、紧密程度。与煮制豆沙相比,蒸制豆沙的颜色得分高 2.37~3.00 分、红豆味得分高 1.75 分,因为蒸制红豆能保留较多的色素及风味物质。此外由于蒸制豆沙的豆皮颗粒较大,蒸制豆沙的粗糙感比煮制豆沙的粗糙感高 1.50~1.88 分,蒸制豆沙粗糙感得分为 6.75~6.88。与煮制豆沙相比,蒸制豆沙的豆皮块较大,使豆沙在口中易分散成块不易化沙,紧密程度得分高。感官评定结果与质构分析结果相近。

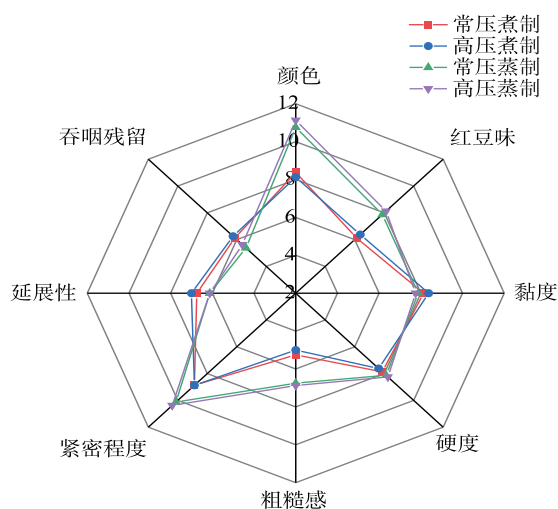


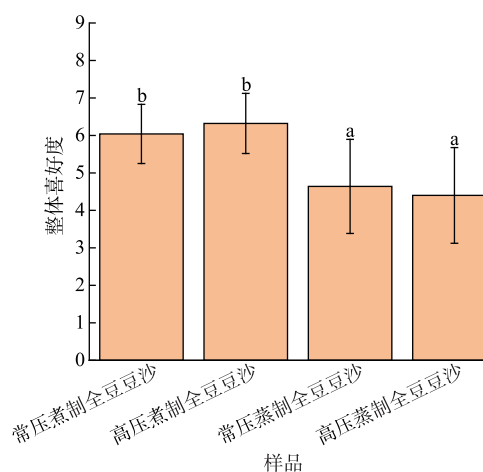
图 6 不同蒸煮方式处理的全豆豆沙感官评价

Fig. 6 Sensory evaluation of whole bean paste treated with different cooking methods

2.8 消费者接受度调查

通过 9 点喜好度来了解消费者对 4 种全豆豆沙的接受度。由图 7 可知,蒸制样品与煮制样品之间具有显著性差异,而同种蒸煮方式的高压、常压处理的样品之间没有明显差异。煮制豆沙的接受度为 6.04~6.32 分,蒸制豆为 4.40~4.64 分,其中高压煮制豆沙的接受度最高,为(6.32±0.80)分。

表 5 中整理了消费者喜欢/不喜欢样品的描述词及词频。消费者普遍认为煮制豆沙的口感细腻,硬度、黏度较为适中。而蒸制豆沙口感粗糙、咀嚼性强,缺少延展性,因此其接受度低于煮制豆沙。尽管蒸制豆沙的适口性低于煮制豆沙,还是有部分消费者因其拥有较浓的红豆味而喜爱该样品。



不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 7 整体喜好度

Fig. 7 Overall liking

表 5 消费者测试中对样品的描述词

Table 5 Descriptors of samples in consumer testing

样品	消费者喜欢/不喜欢理由(词频)
常压煮制全豆豆沙	口感细腻(10)、硬度适中(8)、黏度适中(7)、偏黏(2)
高压煮制全豆豆沙	口感细腻(11)、硬度适中(9)、黏度适中(7)、偏黏(3)
常压蒸制全豆豆沙	偏硬(6)、红豆味浓郁(6)、硬度适中(3)、咀嚼性强(2)、口感粗糙(3)
高压蒸制全豆豆沙	口感粗糙(6)、延展性差(7)、偏硬(7)、红豆味浓郁(8)、口感粗糙(5)、咀嚼性强(4)

3 结 语

作者探究了4种不同热加工方式即常压煮制、高压煮制、常压蒸制、高压蒸制对红豆蒸煮特性以及豆沙相关指标的影响。结果显示,不同的蒸煮条件所需的蒸煮时间差异大。蒸制豆沙用水节约,容易控制且损失的固形物少,能更好保持豆类外观和

质地完整性及生物活性成分。不同豆沙之间的差异主要是由于蒸制豆皮含水量少、硬度大,使豆沙粒径分布不均,故豆沙口感略粗糙,豆沙更易碎裂成块。豆沙接受度调查表明,煮制全豆豆沙因口感良好获得较高喜好度,蒸制豆沙因具有较浓的红豆味也获得了部分消费者的喜爱。本研究为优化全豆豆沙制作工艺提供了参考。

参考文献:

- [1] HONDA Y, SAITO Y, MISHIMA T, et al. Characterization of physicochemical and digestive properties of starches from various "dainagon" adzuki beans (*Vigna angularis*) cultivated in Japan[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2020, 148: 1021-1028.
- [2] BI S, WANG A, LAO F, et al. Effects of frying, roasting and boiling on aroma profiles of adzuki beans (*Vigna angularis*) and potential of adzuki bean and millet flours to improve flavor and sensory characteristics of biscuits[J]. **Food Chemistry**, 2021, 339: 127878.
- [3] DURAK A, BARANIAK B, JAKUBCZYK A, et al. Biologically active peptides obtained by enzymatic hydrolysis of adzuki bean seeds[J]. **Food Chemistry**, 2013, 141(3): 2177-2183.
- [4] MENG G. Thermal aggregation of globulin from an indigenous Chinese legume, *Phaseolus angularis* (red bean)[J]. **Food Chemistry**, 2002, 79(1): 93-103.
- [5] 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.
- [6] ZHANG B, DENG Z Y, TANG Y, et al. Effect of domestic cooking on carotenoids, tocopherols, fatty acids, phenolics, and antioxidant activities of lentils (*Lens culinaris*)[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2014, 62(52): 12585-12594.
- [7] 杨益叶. 豆沙配方优化及保藏研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2018.
- [8] 赵洪涛, 李明金, 王丽, 等. 清真低糖豆沙月饼馅料配方的研究[J]. **安徽农学通报**, 2017, 23(7): 133-136.
ZHAO H T, LI M J, WANG L, et al. Study on the filling formula of Muslim low-sugar bean paste moon cake[J]. **Anhui Agricultural Science Bulletin**, 2017, 23(7): 133-136. (in Chinese)
- [9] LEE K J, LEE J R, SHIN M J. Antioxidant and biological activity in the leaves of adzuki bean (*Vigna angularis* L.)[J]. **Korean Journal of Plant Resources**, 2018, 31(3): 237-253.
- [10] SLINKARD K, SINGLETON V L. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods[J]. **American Journal of Enology and Viticulture**, 1977, 28(1): 49-55.
- [11] HEIMLER D, VIGNOLINI P, DINI M G, et al. Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2005, 53(8): 3053-3056.
- [12] XU B J, CHANG S K C. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents[J]. **Journal of Food Science**, 2007, 72(2): 159-166.
- [13] SUN C W, WANG J W, DUAN J, et al. Association of fruit and seed traits of *Sapindus mukorossi* germplasm with environmental factors in southern China[J]. **Forests**, 2017, 8(12): 491.
- [14] 石磊. 颗粒度及糊化度对玉米面团理化性质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [15] SEGEV A, BADANI H, GALILI L, et al. Effects of baking, roasting and frying on total polyphenols and antioxidant activity in colored chickpea seeds[J]. **Food and Nutrition Sciences**, 2012, 3(3): 369-376.
- [16] BREND Y, GALILI L, BADANI H, et al. Total phenolic content and antioxidant activity of red and yellow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds as affected by baking and cooking conditions[J]. **Food and Nutrition Sciences**, 2012, 3(8): 1150-1155.
- [17] KUMARI S, KRISHNAN V, SACHDEV A. Impact of soaking and germination durations on antioxidants and anti-nutrients of black and yellow soybean (*Glycine max.* L.) varieties[J]. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, 2015, 24(3): 355-358.
- [18] XU B J, CHANG S K C. 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.
- [19] WANG N, DAUN J K. Determination of cooking times of pulses using an automated Mattson cooker apparatus[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2005, 85(10):1631-1635.
- [20] TAN B, TAN H Z, TIAN X H, et al. Eight underexploited broad beans from China: (II) effects of steaming methods on their quality and microstructure[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2011, 35(1):20-45.
- [21] AHROMRIT A, LEDWARD D A, NIRANJAN K. High pressure induced water uptake characteristics of Thai glutinous rice[J]. **Journal of Food Engineering**, 2006, 72(3):225-233.
- [22] YU Y, PAN F, RAMASWAMY H S, et al. Effect of soaking and single/two cycle high pressure treatment on water absorption, color, morphology and cooked texture of brown rice[J]. **Journal of Food Science and Technology**, 2017, 54(6):1655-1664.
- [23] LIU K S, LIU Q. Enzymatic determination of total starch and degree of starch gelatinization in various products[J]. **Food Hydrocolloids**, 2020, 103:105639.
- [24] REN X, CHEN J, MOLLA M M, et al. *In vitro* starch digestibility and *in vivo* glycemic response of foxtail millet and its products [J]. **Food & Function**, 2016, 7(1):372-379.
- [25] 金文林. 小豆品质性状研究进展[J]. 北京农学院学报, 1995, 10(2):94-105.
JIN W L. Research progress on quality traits of adzuki bean[J]. **Journal of Beijing University of Agriculture**, 1995, 10(2):94-105. (in Chinese)
- [26] BAIK B K, CZUCHAJOWSKA Z. Paste particle and bean size as related to sweetened azuki paste quality[J]. **Cereal Chemistry**, 1999, 76(1):122-128.
- [27] MARTINEZ O, SALMERÓN J, GUILLÉN M D, et al. Texture profile analysis of meat products treated with commercial liquid smoke flavourings[J]. **Food Control**, 2004, 15(6):457-461.
- [28] FARCUH M, COPEB B, LE-NAVENEC G, et al. Texture diversity in melon (*Cucumis melo* L.); sensory and physical assessments [J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2020, 159:111024.
- [29] 郝海, 关尚玮, 尼米策仁·娜琴, 等. 枣泥馅料质构参数与感官品质的相关性[J]. 现代食品科技, 2021, 37(6):244-250, 275.
HAO H, GUAN S W, NIMICEREN N, et al. Correlation between texture parameters of jujube paste and sensory quality [J]. **Modern Food Science and Technology**, 2021, 37(6):244-250, 275. (in Chinese)
- [30] 武晓娟, 薛文通, 王小东, 等. 豆沙质地特性的感官评定与仪器分析[J]. 食品科学, 2011, 32(9):87-90.
WU X J, XUE W T, WANG X D, et al. Sensory evaluation and instrumental analysis of texture characteristics of red bean paste [J]. **Food Science**, 2011, 32(9):87-90. (in Chinese)
- [31] AGUDELO A, VARELA P, SANZ T, et al. Formulating fruit fillings. Freezing and baking stability of a tapioca starch-pectin mixture model[J]. **Food Hydrocolloids**, 2014, 40:203-213.

(责任编辑:金文苑)