

干法制浆工艺对豆浆品质的影响

Effect of dry-pulping technology on quality of soymilk

李琳¹ 王宸之¹ 赵赓九¹ 许静珂¹

LI Lin¹ WANG Chen-zhi¹ ZHAO Geng-jiu¹ XU Jing-ke¹

秦文¹ 杨文钰² 张清^{1,2}

QIN Wen¹ YANG Wen-yu² ZHANG Qing^{1,2}

(1. 四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014; 2. 四川省作物带状复合种植工程技术研究中心, 四川 成都 611130)

(1. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2. Sichuan Engineering Research Center for Crop Strip Intercropping System, Chengdu, Sichuan 611130, China)

摘要:采用高速粉碎机对大豆进行干法粉碎制取豆粉,以豆粉为原料分别制作熟浆豆浆和全豆豆浆,省去传统豆浆制作过程中的大豆浸泡工序。以豆浆平均粒径和稳定性为质量指标,通过单因素试验和正交试验,优化了豆浆制作工艺参数。结果表明:熟浆豆浆的最佳工艺参数为大豆粉碎时间120 s、料水比1:11(g/mL)、保温时间30 min;全豆豆浆的最佳工艺参数为大豆粉碎时间120 s、料水比1:12(g/mL)、保温时间15 min。与传统全豆豆浆相比,干法全豆豆浆的平均粒径降低了66.43%,可溶性固形物以及可溶性蛋白质含量分别提高14.41%和16.57%;与传统熟浆豆浆相比,干法熟浆豆浆的平均粒径提高78.03%,可溶性固形物含量以及可溶性蛋白质含量分别提高42.36%和42.76%。干法工艺所制得的豆浆与传统豆浆相比在感官评价上无显著差异($P<0.05$)。

关键词:高速粉碎技术;干法制浆;熟浆豆浆;全豆豆浆

Abstract: Soybean seeds were ground by high-speed grinder to produce soy flour, and the slurry-cooked soymilk and whole soybean soymilk were performed by the obtained soy flour. dry-pulping technology omitted the soaking process. Based on the average particle and stability of soymilk, single factor and orthogonal experiments were carried out to enhance the parameters of soymilk. Optimum grinding time, material-to-water ratio, and heat preservation time for making of slurry-cooked soymilk were 120 s, 1:11(g/mL), and 30 min, respectively. Optimum grinding time, material-to-water ratio, and heat preservation time for making of whole soybean soymilk were 120 s, 1:12(g/mL), and 15 min, respectively. Compared

with traditional whole soybean soymilk, the average particle size of dry-pulping whole soybean soymilk decreased 66.43%, the content of total soluble solid (TSS) and soluble protein increased 14.41% and 16.57%, respectively. In addition, compared with traditional slurry-cooked technics, the average particle size of dry-pulping slurry-cooked soymilk increased 78.03%, and the content of TSS and soluble protein increased 42.36% and 42.76%, respectively. Finally, there was no significant difference in sensory evaluation between traditional soymilk and dry-pulping soymilk ($P<0.05$).

Keywords: high-speed grinding technology; dry pulping; slurry-cooked soymilk; whole soybean soymilk

作为一种传统的植物蛋白饮料,豆浆的食用历史可追溯至汉朝^[1]。因其富含蛋白质、氨基酸、矿物质、维生素和异黄酮等多种易被人体吸收的营养物质而受到人们的广泛喜爱^[2]。

豆浆的制作过程包含多道工序,以中国传统豆浆制作工艺为例,大豆需要经过浸泡、磨浆、过滤、加热等工序后制成豆浆。由于豆浆制作周期长、工序多,因此在加工过程中极易变质。刘丽莎等^[3]的研究表明:在大豆长时间的浸泡过程中(约8~12 h),微生物会迅速繁殖,使豆浆在放置过程中易出现发臭、发黏等现象,影响豆浆感官及稳定性。同时,泡豆过程易使大豆中的水溶性营养物质流失,降低豆浆的营养品质^[4]。另外,以传统工艺制得的豆浆还表现出口感粗糙,豆腥味严重,品质不稳定等问题^[5]。以上缺陷使得传统豆浆越来越不能满足现代消费者的需求。为了改善传统豆浆的品质,多位国内外学者进行了研究。孙晓欢等^[4]将大豆清洗后直接置于豆浆机内煮豆打浆,一体化的技术省去了泡豆程序,方便快捷。崔亚丽^[6]以不同粒径的脱皮豆粉为原料,利用豆浆机制作豆浆,在简化豆浆制作工序的同时显著提高豆

作者简介:李琳,女,四川农业大学在读本科生。

通信作者:张清(1986—),男,四川农业大学讲师,博士。

E-mail: zhangqing@sicau.edu.cn

收稿日期:2017-02-24

浆的蛋白质消化率。O'Toole^[7]将大豆粉碎后制成豆粉,与热水以一定比例混合,再经离心,抽滤,超高温瞬时加热工艺(154℃,30 s)制成豆浆,显著缩短了豆浆的制作周期。虽然上述研究有利于简化豆浆制作工艺以及提高豆浆的营养品质,但对于豆渣的利用率仍较低,且未见对于干法制浆工艺制作熟浆豆浆与全豆豆浆进行工艺优化及品质对比。

本研究以干法制浆工艺为基础,省去泡豆环节,直接将豆粉与水以特定比例混合,分别制作全豆豆浆(保留豆渣的豆浆)以及熟浆豆浆(将豆渣热过滤后制得的豆浆)并与传统工艺制作的豆浆进行对比,在探讨不同制浆工艺对豆浆营养品质影响的同时对豆浆的制作工艺参数进行进一步优化,为提高豆浆品种的多样性和食用品质提供技术支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

东北大豆:吉育 89,雅安市农贸市场;

过滤袋:200 目,成都倪氏永恒商贸有限公司;

考马斯亮蓝 G-250、3,5-二硝基水杨酸:分析纯,成都科龙化工;

单硬脂酸甘油酯:食品级,江苏卓云豆宝食品有限公司。

1.2 仪器与设备

高速中药粉碎机:HK-20B 型,广州市旭朗机械设备有限公司;

料理机:JYL-C16D 型,九阳机械科技有限公司;

胶体磨:JML-80 型,温州龙湾华威机械厂;

激光粒度分析仪:Rise-2006 型,济南润之科技有限公司;

紫外分光光度计:UV-6 型,上海元析仪器有限公司;

黏度计:NDJ-8S 型,上海衡平仪器仪表厂;

折光仪:WYT-4 型,成都光学厂;

色度计:NR10QC 型,深圳市三恩驰科技有限公司。

1.3 豆浆制作方法

1.3.1 干法豆浆 大豆经高速中药粉碎机粉碎 60 s 后制得豆粉,加入豆粉干重 0.3% 的消泡剂,将豆粉及消泡剂倒入料理机内,加入蒸馏水搅拌 2 min 后得到生豆浆[料水比为 1:10 (g/mL)]。将制得的生豆浆分为两部分,第一部分煮至 95℃ 后保温 10 min,冷却后即干法全豆豆浆。第二部分煮至 95℃ 并保温 10 min,以 200 目滤布热过滤后即干法熟浆豆浆。

1.3.2 传统豆浆 大豆以豆水比 1:3 (g/mL) 用蒸馏水常温浸泡 12 h。浸泡后的大豆滤去水分后按 1:10 (g/mL,以干重计)的料水比二次加水,置于胶体磨中连续研磨 3 min (转速为 3 000 r/min),往研磨后的生豆浆中加入大豆干重 0.3% 的消泡剂并搅拌均匀。制得的生豆浆分为两部分:一部分煮至 95℃ 并保温 10 min,冷却后即传统全豆豆浆;另一部分煮至 95℃ 并保温 10 min,以 200 目滤布滤去豆渣后即传统熟浆豆浆。

1.4 豆浆品质指标测定

1.4.1 粒径的测定 采用激光粒度分析仪。控制参数:分散

介质为蒸馏水,折射率实部为 1.76,虚部为 0.05,理想遮光比为 1~2,介质折射率为 1.33。

1.4.2 可溶性固形物含量的测定 采用 WYT-4 型手持折光仪直接测定。

1.4.3 黏度的测定 根据文献[8]修改如下:仪器校正介质为蒸馏水,测定温度为 25℃,转子型号为 1#,转速为 30 r/min,测定时间 30 s。

1.4.4 色差的测定 色差采用 NR10QC 型色度计直接测定。记录其 L^* 、 a^* 、 b^* 值,按式(1)计算总色差 ΔE_{ab}^* 。

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (1)$$

式中:

ΔE_{ab}^* ——总色差;

ΔL^* ——黑白差异($L_{\text{样品}}^* - L_{\text{标准}}^*$);

Δa^* ——红绿差异($a_{\text{样品}}^* - a_{\text{标准}}^*$);

Δb^* ——黄蓝差异($b_{\text{样品}}^* - b_{\text{标准}}^*$)。

1.4.5 稳定性的测定 根据文献[9]修改如下:将 2 mL 豆浆样液用蒸馏水稀释至 50 mL,取 10 mL 稀释液离心 5 min (5 000 r/min),测定豆浆离心前后的吸光度(785 nm)。并按式(2)计算豆浆稳定性。

$$R = \frac{A_1}{A_2}, \quad (2)$$

式中:

R——稳定系数;

A_1 ——豆浆离心后上清液吸光度;

A_2 ——豆浆离心前样品吸光度。

1.4.6 得率的测定 采用曹玉姣^[10]的方法,按式(3)进行计算:

$$W = \frac{W_3}{W_1 + W_2} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

W——得率,%;

W_1 ——豆粉的质量,g;

W_2 ——加入水的质量,g;

W_3 ——豆浆的质量,g。

1.4.7 可溶性蛋白质的测定 采用考马斯亮蓝 G-250 法。以牛血清蛋白为标准品制作标准曲线,得到线性回归方程: $y = 0.611 3x + 0.006 5 (R^2 = 0.999 3)$ 。将 0.5 mL 豆浆用蒸馏水稀释至 100 mL,取 1 mL 稀释液于 10 mL 带刻度试管中,加入 5 mL 考马斯亮蓝试剂,摇匀后放置 2 min,在波长 595 nm 下测定其吸光值。按式(4)计算可溶性蛋白质含量。

$$C = \frac{X \times V}{V_1 \times V_{\text{样}}}, \quad (4)$$

式中:

C——可溶性蛋白质含量, $\mu\text{g/mL}$;

X——查标曲所得待测稀释样品液中可溶性蛋白含量, μg ;

$V_{\text{样}}$ ——样液体积,mL;

V——稀释后的样液总体积,mL;

V_1 ——待测样液的体积,mL。

1.4.8 还原糖含量的测定 采用 3,5-二硝基水杨酸比色法(DNS法)。以葡萄糖为标准品制作标准曲线,得到线性回归方程: $y=2.5508x-0.0411$ ($R^2=0.9979$)。取豆浆 30 mL 置于 100 mL 容量瓶中,向容量瓶中加入 5 mL 21.9%的乙酸锌以除去蛋白质等干扰成分,再加入 5 mL 10.6%的亚铁氰化钾溶液除去多余的锌离子,用蒸馏水定容摇匀。静置 30 min 后用滤纸过滤,取滤液 1 mL 于试管中,加入 1 mL DNS 试剂,试管沸水浴 5 min 后取出,冷却至室温后加入蒸馏水 8 mL 混匀,在波长 520 nm 下测定吸光度。按式(5)计算豆浆还原糖的含量。

$$C = \frac{X \times V}{V_1 \times V_2} \quad (5)$$

式中:

C——还原糖含量,mg/mL;

X——查标曲所得待测样液中还原糖含量,mg;

V_2 ——样液体积,mL;

V——稀释后的样液总体积,mL;

V_1 ——待测样液的体积,mL。

1.5 感官评价

挑选 16 位经过培训的专业人员组成感官评价小组,分别对 4 种豆浆进行独立感官评价。按照表 1 的评价标准分别从色泽、组织形态、气味、口感 4 个方面进行评分,其总分记为感官评分,再取平均值作为最终感官评价结果。

表 1 豆浆感官评价标准

Table 1 Standards for sensory evaluation of soymilk

评价指标	评价标准	评价得分
色泽	均匀分布的乳白色或淡黄色	20~25
	呈白色,略有光泽	11~20
	颜色灰白,无光泽	1~10
组织形态	均匀一致的乳浊液,无沉淀	20~25
	有少量沉淀和杂质	11~20
气味	有大量沉淀,浆液分层、结块	1~10
	豆香味浓郁,无豆腥味及其他异味	20~25
	豆香味平淡,略有豆腥味和焦糊味	11~20
口感	有严重的豆腥味和焦糊味	1~10
	口感浓厚、细腻顺滑,味佳而纯正,无异味	20~25
口感	口感较稀薄,略有苦涩味或其他异味	11~20
	口感很稀薄,有明显苦涩味及其他异味	1~10

1.6 单因素试验和正交试验

固定大豆粉碎时间、料水比以及豆浆保温时间中的任意两个,让另一个因素变动,测定豆浆平均粒径,探索各因素对评价指标的影响规律,确定各参数取值范围。各试验参数具体设计:

(1) 固定料水比为 1:10(g/mL)、豆浆保温时间 10 min,设定大豆粉碎时间分别为 40,50,60,70,80,120,160,200 s,研究不同大豆粉碎时间对豆浆平均粒径的影响。

(2) 固定大豆粉碎时间为 60 s、豆浆保温时间 10 min,设

定料水比分别为 1:8,1:9,1:10,1:11,1:12,1:13(g/mL),研究不同料水比对豆浆平均粒径的影响。

(3) 固定大豆粉碎时间为 60 s、料水比为 1:10(g/mL),设定豆浆保温时间分别为 0,5,10,15,20,25,30 min,研究不同豆浆保温时间对豆浆平均粒径的影响。

选取大豆粉碎时间、料水比、豆浆保温时间为主要影响因素,以豆浆稳定性为评价指标,进行三因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交试验。

1.7 数据处理

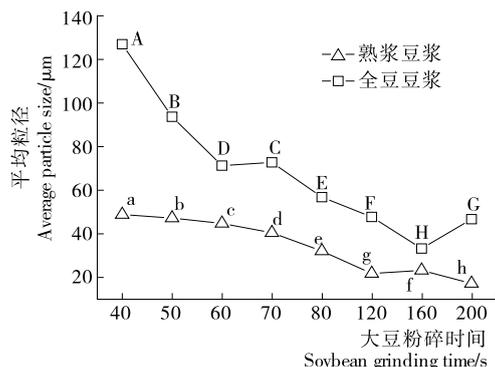
所有指标均平行测定 3 次,数据采用 Excel 2013 进行处理,采用 Origin 7.5 作图,采用 SPSS Statistics 19 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果及分析

2.1.1 大豆粉碎时间对豆浆平均粒径的影响 在豆浆的制作过程中,豆浆平均粒径对于豆浆的稳定性影响较大;而加工过程中诸多处理会对平均粒径产生影响。由图 1 可知,随着粉碎时间的延长,干法熟浆豆浆的平均粒径逐渐减小,在 200 s 时达到最低,而干法全豆豆浆的平均粒径则呈现先减小后增大的趋势,在 160 s 时达到最低;超过 160 s 时,干法全豆豆浆的粒径逐渐增大。这是由于大豆在长时间剪切力的作用下,部分蛋白质变性,蛋白质表面疏水基团增多,导致豆粉颗粒间的聚集能力加强,从而降低豆粉在水中的溶解度,使得豆浆粒径逐渐增大^[11]。另外,过滤处理滤去了干法熟浆豆浆中的不溶膳食纤维,使得其粒径小于全豆豆浆粒径。综上所述,选择粉碎时间 120,160,200 s 为正交因素水平。

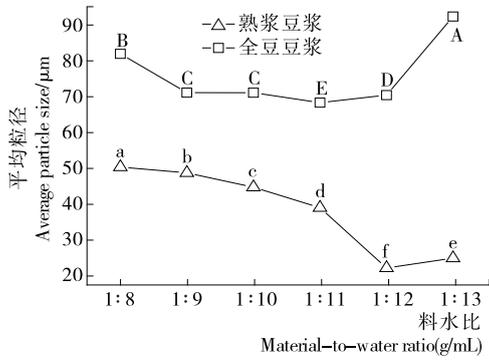
2.1.2 料水比对豆浆平均粒径的影响 由图 2 可知,随着料水比的增加,干法全豆与熟浆豆浆粒径均呈现先减小后增大的趋势。分别在料水比为 1:11,1:12(g/mL)时最小。这是由于豆浆连同豆渣一起煮浆,随着加水量的增多,豆浆中可溶性物质溶解的更加充分,豆浆粒径减小,但随着加水量的进一步增多,豆渣中的纤维素吸水溶胀,导致全豆豆浆的平均粒径逐渐增大。综上所述,选择料水比 1:10,1:11,



不同大写或小写字母表示差异性显著, $P<0.05$

图 1 粉碎时间对豆浆平均粒径的影响

Figure 1 Effect of different optimum grinding time on the average particle size of soymilk



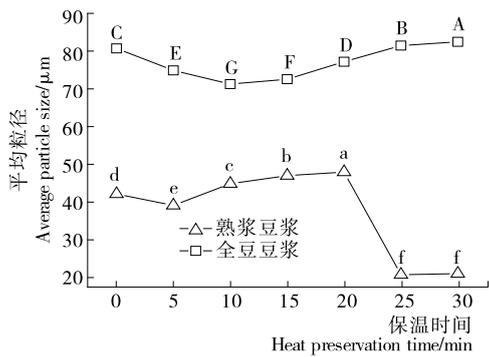
不同大写或小写字母表示差异性显著, $P < 0.05$

图2 料水比对豆浆平均粒径的影响

Figure 2 Effect of different material-to-water ratio on the average particle size of soymilk

1:12 (g/mL)为全豆豆浆正交因素水平,料水比 1:11,1:12,1:13 (g/mL)为熟浆豆浆正交因素水平。

2.1.3 豆浆保温时间对豆浆平均粒径的影响 由图3可知,随着保温时间的增加,干法全豆豆浆粒径呈现先减小后增大的趋势,在10 min时达到最低,而干法熟浆豆浆粒径呈现相反的趋势。这是由于短暂的热处理可以促使豆浆中的可溶性物质溶出,使得全豆豆浆粒径减小,但随着热处理时间的延长,大豆蛋白分子中的巯基受热逐渐转换为二硫键,引起蛋白质亚基间的相互结合,使得蛋白胶粒聚合,增大了全豆豆浆的粒径^{[12]39}。综上所述,选择保温时间 20,25,30 min 为干法熟浆豆浆因素水平;保温时间 5,10,15 min 为干法全豆豆浆的因素水平。



不同大写或小写字母表示差异性显著, $P < 0.05$

图3 保温时间对豆浆平均粒径的影响

Figure 3 Effect of different heat preservation time on the average particle size of soymilk

2.2 正交试验结果及分析

根据上述单因素试验结果,设计正交试验见表2。以豆浆的稳定性为评价指标,正交试验结果见表3。

由表3可知,影响干法熟浆豆浆稳定性的因素主次顺序为粉碎时间>料水比>保温时间,通过极差分析得到熟浆豆浆稳定性优化的水平组合为 A₁B₁C₃。影响干法全豆豆浆稳定性的因素主次顺序为粉碎时间>保温时间>料水比,通过极差分析得到全豆豆浆稳定性优化的水平组合为 A₁C₃B₃。

表2 正交试验因素水平表

Table 2 Table of factors and levels of orthogonal experiment

水平	A 粉碎时间/s		B 料水比(g/mL)		C 保温时间/min	
	熟浆	全豆	熟浆	全豆	熟浆	全豆
1	120	120	1:11	1:10	20	5
2	160	160	1:12	1:11	25	10
3	200	200	1:13	1:12	30	15

表3 干法豆浆正交试验结果分析表

Table 3 Orthogonal experiment results of the dry-pulping soymilk

试验号	A	B	C	稳定性	
				熟浆	全豆
1	1	1	1	0.560	0.545
2	1	2	2	0.495	0.506
3	1	3	3	0.564	0.655
4	2	1	2	0.479	0.456
5	2	2	3	0.354	0.473
6	2	3	1	0.388	0.367
7	3	1	3	0.406	0.459
8	3	2	1	0.329	0.460
9	3	3	2	0.318	0.482
k_1	0.540	0.482	0.426		
熟浆 k_2	0.407	0.393	0.431		
熟浆 k_3	0.351	0.423	0.441		
R	0.189	0.089	0.015		
k_1	0.569	0.487	0.457		
全豆 k_2	0.432	0.480	0.481		
全豆 k_3	0.467	0.501	0.529		
R	0.137	0.021	0.072		

2.3 豆浆的品质分析

2.3.1 平均粒径与稳定性分析 由图4可知,不同制浆工艺所制得豆浆的平均粒径存在显著性差异($P < 0.05$)。传统熟浆豆浆的平均粒径最小,干法熟浆、全豆豆浆次之,传统全豆豆浆的平均粒径最大。这是由于豆粉的相对表面积更大,煮浆时更易溶解,有效降低了干法全豆豆浆的平均粒径。而传统浸泡大豆在研磨时,豆渣的高膨化性以及滞水性使得传统全豆豆浆的粒径最大^[13-14]。值得一提的是,过滤处理主要对体系较大粒径颗粒物有影响,对于小粒径颗粒物几乎没有作用^[15]。干法全豆豆浆平均粒径为 51.395 μm ,相对偏小,过滤时大部分颗粒物质均能通过滤布,因此干法熟浆豆浆的平均粒径与干法全豆豆浆相差不大。传统全豆豆浆平均粒径较大(153.108 μm),过滤时豆浆中大部分不溶性颗粒被截留,大幅度降低了传统熟浆豆浆的平均粒径。

稳定性是评价豆浆质量的重要指标,保持豆浆的稳定性是豆浆制作过程中的关键环节^[16]。豆浆的稳定性主要与豆浆中固形物颗粒粒径分布有关,豆浆粒径越小,豆浆的稳定

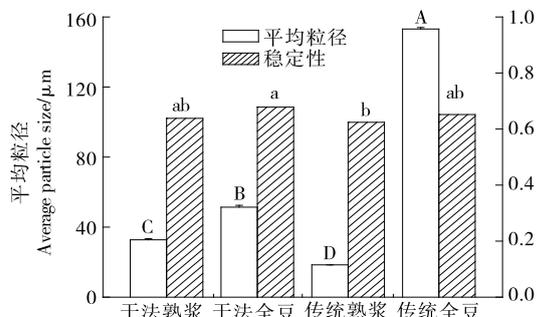


图 4 不同豆浆的平均粒径和稳定性

Figure 4 Average particle sizes and stability properties of the four types of soymilk

性越高^[17]。由图 4 还可知,4 种豆浆的稳定性由高到低依次为干法全豆、干法熟浆、传统全豆、传统熟浆。干法工艺能有效降低豆浆的平均粒径,使豆浆的胶体体系更稳定。对于传统豆浆,浸泡大豆的纤维韧性更大,在研磨过程中不易完全破碎,使得豆浆的粒径分布不均匀,胶体体系不稳定。

2.3.2 可溶性固形物与可溶性蛋白质含量分析 可溶性固形物指的是流体或液体食品中能够溶于水的所有物质的总称,包括糖、矿物质和蛋白质等^[18];在食品饮料工业中,可溶性固形物含量是衡量产品品质的重要评价参数^[19]。由图 5 可知,干法全豆以及干法熟浆豆浆的可溶性固形物含量和可溶性蛋白质含量均显著高于传统豆浆 ($P < 0.05$),且可溶性固形物含量的变化趋势与可溶性蛋白一致,是因为豆浆中的主要可溶性固形物是蛋白质^[9]。在传统豆浆的制作过程中,浸泡工序使得大豆中的部分可溶性营养物质流失,而干法工艺则省去了泡豆环节,豆粉具有更大的比表面积和良好的溶解性^[20],有利于可溶性物质的溶出,在煮浆时干法豆浆加热时间更长,营养物质的溶出更充分,可溶性物质含量更高。

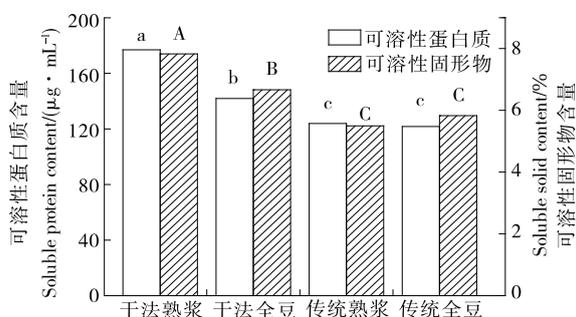


图 5 不同豆浆的可溶性固形物和可溶性蛋白质含量

Figure 5 Soluble solid contents and soluble protein contents of the four types of soymilk

2.3.3 还原糖含量分析 由图 6 可知,干法熟浆、干法全豆、传统熟浆、传统全豆豆浆的还原糖含量依次显著降低 ($P < 0.05$)。这是因为浆液和豆渣共同在高温下煮制会使豆浆中的还原糖不断的溶出^[12]^[35],同时,热效应导致淀粉分子链部分断裂^[21],致使豆浆中的还原糖含量有所上升,这两者均与加热时间呈正相关。在 4 种制浆工艺中,干法熟浆豆浆的保

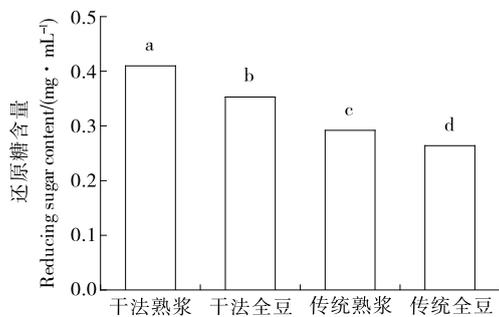


图 6 不同豆浆的还原糖含量

Figure 6 Reducing sugar contents of the four types of soymilk

温时间最长 (30 min),热效应影响程度最大,因此其还原糖含量最高。同时泡豆使得大豆中的部分糖类物质进入浸泡液,造成物质流失,降低了传统豆浆中还原糖的含量。

2.3.4 色差分析 豆浆的色泽是消费者能直接感受到的一个指标,会影响到人们对豆浆的接受程度。由表 4 可知,不同工艺制得豆浆的色泽差异显著 ($P < 0.05$)。以传统熟浆豆浆为参照,不同豆浆之间的总色差均有显著性差异 ($P < 0.05$)。这是因为豆浆在加热过程中会发生美拉德反应,引起豆浆色泽变化,且加热时间越长,温度越高,美拉德反应越剧烈^[22-23]。干法制浆工艺保温时间更长,使得豆浆色泽偏黄,亮度较低。相比之下,传统豆浆色泽偏亮,颜色较好。

表 4 不同豆浆的色差分析[†]

Table 4 The analysis of chromatism in different types of soymilk

豆浆品种	L^*	a^*	b^*	ΔE_{ab}
干法熟浆豆浆	62.06 ± 1.31 ^c	-0.45 ± 0.14 ^b	8.89 ± 0.39 ^a	13.30 ± 1.33 ^b
干法全豆豆浆	58.31 ± 0.11 ^d	-1.28 ± 0.14 ^c	6.92 ± 0.31 ^c	17.05 ± 0.12 ^a
传统熟浆豆浆	75.29 ± 1.21 ^a	0.09 ± 0.17 ^a	7.61 ± 0.31 ^b	0.00 ± 0.00 ^d
传统全豆豆浆	67.18 ± 1.16 ^b	-1.61 ± 0.05 ^d	6.90 ± 0.08 ^c	8.32 ± 1.14 ^c

† 同列不同小写字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。

2.3.5 黏度和得率分析 由图 7 可知,传统熟浆黏度最小,其次是干法熟浆和传统全豆豆浆,干法全豆豆浆的黏度最大。一般来说,豆浆的黏度与其浓度有关^[24],干法制浆增大了豆浆中的固形物含量,导致豆浆浓度提高,进而增加了干法全豆豆浆的黏度。而熟浆经热过滤除去豆渣等颗粒物后浓度降低,使得其黏度也有所降低,但干法熟浆中豆渣残存率高于传统熟浆豆浆,所以黏度较传统熟浆豆浆高。

由图 7 还可知,干法全豆与传统全豆豆浆得率差异显著 ($P < 0.05$),干法熟浆与传统熟浆豆浆得率差异显著 ($P < 0.05$),且干法豆浆得率较传统豆浆高。干法制浆是直接以豆粉煮浆,利于营养物质的溶出,增大了豆浆中可溶性物质的含量,且该工艺加水量多于传统制浆工艺,进一步提高了干法豆浆得率。同时干法制浆免去浸泡环节,减少了大豆中可溶性物质的损失,另外豆渣的低含水量也会提高干法熟浆的得率^[25]。

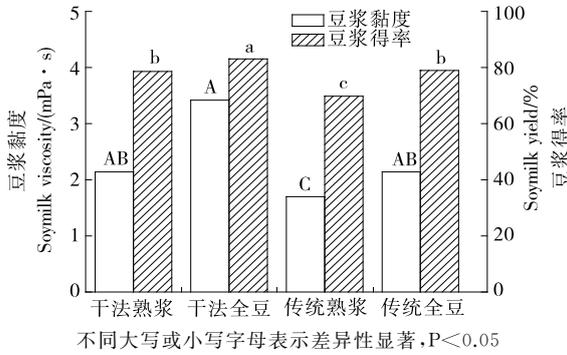


图7 不同豆浆的黏度和得率

Figure 7 Viscosities and yields of the four types of soymilk

2.3.6 感官分析 由图8可知,干法豆浆感官评分稍高于传统豆浆,但差异不显著($P < 0.05$)。传统豆浆豆渣粗大,有颗粒感和刺喉感,且有明显的豆腥味。过滤虽能除去豆渣,降低颗粒感,但在口感上仍较稀薄。豆粉在煮浆时更有利于营养物质的溶出,也使得豆渣粒径减小,因此制得的豆浆口感细腻且豆香味浓郁,再经过滤制得熟浆豆浆,沉淀少且无颗粒感,感官评分最高。

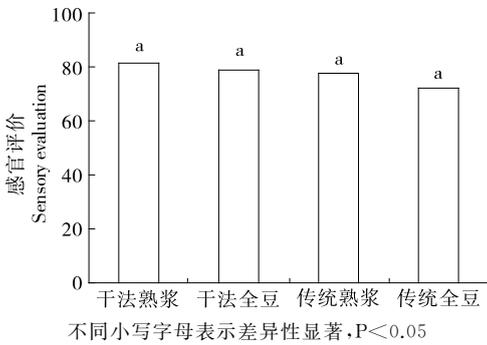


图8 不同豆浆感官得分

Figure 8 Sensory characteristics of the four types of soymilk

3 结论

本研究从营养品质方面比较了干法豆浆与传统豆浆之间的品质差异。通过单因素试验和正交试验,得到干法熟浆豆浆的最优制作工艺参数为粉碎时间 120 s、料水比 1 : 11 (g/mL)和保温时间 30 min;干法全豆豆浆的最优制作工艺参数为粉碎时间 120 s、料水比 1 : 12 (g/mL)和保温时间 15 min。干法豆浆在稳定性、黏度、可溶性蛋白质含量等方面均优于传统豆浆,同时干法全豆豆浆平均粒径较传统全豆豆浆显著降低,但在感官上与传统豆浆无显著差异。应用本工艺可省去泡豆环节,缩短制浆时间,提高豆浆营养品质,为豆浆的产品多样化发展和大豆的全豆加工利用开辟了新道路。

参考文献

[1] 谢怡斐, 田少君, 马燕, 等. 超微粉碎对豆渣功能性质的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 7-11.
 [2] 钱镭, 孙冰玉, 王秋华, 等. 酶法改性脱脂豆粉生产大豆冰淇淋的工艺研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 101-103, 137.

[3] 刘丽莎, 彭义交, 鲍鲁生, 等. 大豆浸泡过程中腐败微生物对豆浆品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 161-164.
 [4] 孙晓欢, 李佳勋, 荣建华, 等. 干豆和湿豆制作豆浆的营养评价[J]. 粮食与饲料工业, 2014(11): 17-20.
 [5] 陈聪, 赵建新, 范大明, 等. 熟浆工艺豆浆煮浆和分离环节的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 259-262.
 [6] 崔亚丽. 颗粒度对豆浆品质及蛋白质消化率的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 35.
 [7] O'TOOLE D K. Soybean | Soymilk, Tofu, and Okara[M]// Wrigley C W. Encyclopedia of Grain Science. Netherlands: Elsevier, 2004: 185-195.
 [8] 许琳, 刘馨予, 崔丽琴, 等. 超声波对低嘌呤脱脂豆浆溶解性、保水性及黏度的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(7): 104-110.
 [9] 杨道强, 邢建荣, 陆胜民. 大豆不同前处理方式对豆浆品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 69-73.
 [10] 曹玉姣. 豆浆机制浆工艺的优化及豆浆品质的分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 17.
 [11] 吴占威, 胡志和, 鲍洁. 超微粉碎及螺杆挤压对大豆豆渣粒度和加工性质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 133-138.
 [12] 陈聪. 豆浆熟浆关键工艺及熟制过程中美拉德反应的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
 [13] CORDOBA A, CAMACHO M, MARTINEZ-NAVARRETE N. Rheological behaviour of an insoluble lemon fibre as affected by stirring, temperature, time and storage[J]. Food Bioprocess Technology, 2012, 5: 1 083-1 092.
 [14] ACHOURI A, BOYE J I, ZAMANI Y. Soybean variety and storage effects on soymilk flavor and quality[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(1): 82-90.
 [15] 俞小良, 陈杰, 孟岳成. 豆浆前处理工艺对其粒径分布及感官品质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 131-134.
 [16] 王娜, 汪立平, 赵勇. 增稠剂和乳化剂对豆浆稳定性的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 341-345.
 [17] 郭明月. 植物蛋白饮料稳定性及其测定方法综述[J]. 饮料工业, 2014, 17(12): 34-37.
 [18] 董巧, 汪厚银, 邬克勤, 等. 干湿豆制浆模式下自制豆浆营养与感官品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(3): 1 109-1 115.
 [19] MA Lei, LI Bin, HAN Fen-xia, et al. Evaluation of the chemical quality traits of soybean seeds, as related to sensory attributes of soymilk[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 694-701.
 [20] 关二旗, 郭武汉, 卞科. 超微粉碎对小麦粉品质特性影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(11): 26-30.
 [21] 李怡林, 周继成, 赵思明. 热处理对小麦粉品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2008(12): 13-14, 19.
 [22] ODU N N, EGBO N N, OKONKO I O. Assessment of the effect of different preservatives on the shelf-life of soymilk stored at different temperatures[J]. Researcher, 2012, 4(6): 62-69.
 [23] 吴惠玲, 王志强, 韩春, 等. 影响美拉德反应的几种因素研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(5): 441-444.
 [24] 王丽丽. 冷冻处理对大豆质构及豆浆品质特性的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 39.
 [25] 李家勋, 荣建华, 翁文丰, 等. 制浆工艺对豆浆营养成分构成的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2016, 12(6): 21-24, 29.