

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022758

引用格式:范柳,刘海宇,赵良忠,等.不同制浆工艺对豆浆品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(7):148-154. FAN Liu, LIU Haiyu, ZHAO Liangzhong, et al. Study on the influence of different pulping processes on the quality of soymilk[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(7):148-154.

不同制浆工艺对豆浆品质的影响

范柳^{1,2,3}, 刘海宇^{1,2,3}, 赵良忠^{1,2,3*}, 沈国祥^{1,2,3}, 邓雅欣^{1,2,3}, 谢春平^{1,2,3}, 吴江^{1,2,3}, 莫鑫^{1,2,3}

1(邵阳学院 食品与化学工程学院, 湖南 邵阳, 422000) 2(豆制品加工技术湖南省应用基础研究基地, 湖南 邵阳, 422000)

3(湖南省果蔬清洁加工工程技术研究中心, 湖南 邵阳, 422000)

摘 要 为探究不同制浆工艺对豆浆品质的影响, 分别对生浆工艺、一次浆渣共熟工艺、二次浆渣共熟工艺、热水淘浆工艺制得的豆浆的感官、营养指标及理化指标进行研究, 并对各指标进行相关性分析。豆浆感官评分最高的为二次浆渣共熟工艺, 得分为 87.7 分, 热水淘浆工艺得分为 87.3 分, 排名第二。二次浆渣共熟工艺制得的豆浆稳定系数为 94.9%、蛋白质质量分数为 3.890 g/100 g、脂肪质量分数为 1.814 g/100 g、总糖含量为 1.267 g/100 g, 其稳定性最好, 豆浆营养成分含量最高。4 种制浆工艺得到的豆浆粒径主要分布在 0.1~2 μm 之间, 二次熟浆工艺 D_{50} 、 $D_{[4,3]}$ 最大, 分别为 0.500 和 0.547 μm , 生浆工艺最小, 分别为 0.423 和 0.454 μm 。相关性分析表明: 豆浆蛋白质含量与黏度、豆浆稳定性、平均粒径、感官评分呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.968、0.843、0.979 和 0.975, 与沉降速度存极显著负相关, 相关系数为 -0.974。在相同的加工条件下, 二次浆渣共熟工艺更加适合高品质豆浆的加工。

关键词 制浆工艺; 感官; 物理指标; 粒径分布; 营养成分; 相关性分析

Study on the influence of different pulping processes on the quality of soymilk

FAN Liu^{1,2,3}, LIU Haiyu^{1,2,3}, ZHAO Liangzhong^{1,2,3*}, SHEN Guoxiang^{1,2,3},
DEND Yaxin^{1,2,3}, XIE Chunping^{1,2,3}, WU Jiang^{1,2,3}, MO Xin^{1,2,3}

1(College of Food Science and Chemical Engineering, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China)

2(Soybean Processing Techniques of the Application and Basic Research Base in Hunan Province, Shaoyang 422000, China)

3(Hunan Provincial Engineering Research Center for Fruits and Vegetables Cleaning Processing, Shaoyang 422000, China)

ABSTRACT In order to explore the effects of different pulping processes on the quality of soymilk, the organoleptic, nutritional, physicochemical indexes of soymilk produced by the uncooked process, single pulp & residue co-cooking process, double pulp & residue co-cooking process and the hot water extract process were evaluated. In addition, correlation analysis was carried out for each index. The highest sensory score of soymilk was double pulp and residue co-cooking process, with a score of 87.7. Hot water slurry process score of 87.3 points, ranked second. The soymilk from double pulp residue co-cooking process produces a soybean milk stability coefficient of 94.9%, a protein content of 3.890 g/100 g, a fat content of 1.814 g/100 g, and a total sugar content of 1.267 g/100 g, which has the best stability and highest content nutrients. The particle size of the soymilk obtained by the four pulping processes is mainly distributed between 0.1 μm and 2 μm . The maximum particle size of the

第一作者: 硕士研究生(赵良忠教授为通讯作者, E-mail: sys169@163.com)

基金项目: 湖南省创新型省份建设重点研发项目(2019SK2122); 制品加工技术湖南省应用基础研究基地项目(2013TP4067); 湖南省果蔬清洁加工工程技术研究中心项目(2015TP2022); 湖南省研究生科研创新项目(CX2018B817)

收稿日期: 2019-11-08, 改回日期: 2019-12-30

soymilk is secondary pulping process which D_{50} and $D_{[4,3]}$ is 0.500 μm and 0.547 μm respectively, and the particle size of the raw slurry process soymilk is minimum, which is 0.423 μm , 0.454 μm respectively. Correlation analysis indicated that there is a significant positive correlation between protein content and viscosity, soymilk stability, average particle size and sensory score ($P < 0.01$), and the correlation coefficients were 0.968, 0.843, 0.979, 0.975, respectively. Protein content is negatively correlated to sedimentation velocity significantly, the correlation is -0.974 . Under the same conditions, the secondary pulping process is more suitable for soymilk processing.

Key words soymilk preparation methods; sensory; physical index; particle size distribution; nutrient content; correlation analysis

大豆 (*Glycine max*, soybean), 原产于中国, 古代称之为“菽”, 在中国农作物中占有独特的地位^[1-2]。大豆中蛋白质含量高达 40%^[3], 其品质可与高质量的鱼、肉相媲美, 因此大豆也有“豆中之王”、“田中之肉”、“优质蛋白质的仓库”的美誉^[4, 5]。豆浆是指利用大豆, 经过泡浸、制浆、过滤除去豆渣得到的浆汁^[6], 豆浆中不仅含有丰富的蛋白质、脂肪, 而且是维生素 B_1 、 B_2 和矿物质元素铁、镁、磷等的优良来源^[7-8]。豆浆中含有很多功能性的因子, 如大豆异黄酮、大豆皂苷、大豆低聚糖等, 具有良好的抗氧化、防“三高”、改善肠道菌群等功效^[8-12]。无论从营养上还是文化上, 豆浆都具有较高的价值, 所以豆浆被冠以“中华食品之瑰宝, 世界食林之精华”的称号^[13]。

目前, 湿法豆浆加工工艺根据制浆时过滤与加热的先后次序, 分为生浆法、熟浆法^[14], 而熟浆法又分为一次浆渣共熟工艺、二次浆渣共熟工艺^[15]和热水淘浆工艺^[16]。不同制浆工艺生产出的豆浆及其大豆制品品质存在差异。本文通过研究 4 种制浆工艺生产出来豆浆的粒径分布、理化指标以及营养成分, 比较不同制浆工艺的差异性, 为豆浆生产提供工艺依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

加拿大非转基因豆, 岳阳市万越进出口贸易有限公司; 去离子水, 由豆制品加工技术湖南省应用基础研究基地提供; 其他试剂均为分析纯。

WJL-628 型粒径分析仪, 上海仪电物理光学仪器有限公司; UV-1780 型紫外可见分光光度计, 日本岛津公司; NDJ-5S 旋转式黏度计, 上海平轩科学仪器有限公司; ATC 型阿贝折射仪, 上海淋誉贸易有限公司; SJJ-20 型煮磨浆机制浆机, 北京康得利机械设备有限公司; UDK139 型凯氏定氮仪, 意大利 VELP 公司; VELOCITY18R 型台式冷冻离心机, 澳大利亚达

卡米公司, DJ-3002 型电子天平, 福州华志科学仪器有限公司; GZX-9140MBE 型电热鼓风干燥箱, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 制浆

1.2.1 生浆工艺^[16]

1.2.1.1 工艺流程

大豆→清洗→浸泡→磨浆→浆渣分离→煮浆→过滤→定容→豆浆

1.2.1.2 工艺要点

(1) 浸泡: 清洗大豆 2 遍后, 按照 1:3 的豆水质量比, 将 5 kg 干豆在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下浸泡 8 h, 浸泡完成后湿豆质量约为 10~11 kg。

(2) 磨浆: 将浸泡好的大豆与水按 1:5.5 的质量比进行磨浆。

(3) 煮浆: 将分离好的豆浆加热至 104 $^{\circ}\text{C}$, 保温、保压 5 min。

(4) 过滤: 使用 200 目网带进行过滤。

(5) 定容: 将得到的豆浆加入温水, 定容到 45 L。

1.2.2 一次浆渣共熟工艺^[16]

1.2.2.1 工艺流程

大豆→清洗→浸泡→磨浆→煮浆→浆渣分离→过滤→定容→豆浆

1.2.2.2 工艺要点

(1) 浸泡: 清洗大豆 2 遍后, 按照 1:3 的豆水质量比, 将 5 kg 干豆在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下浸泡 8 h, 浸泡完成后湿豆质量约为 10~11 kg。

(2) 磨浆: 将浸泡好的大豆与水 1:5.5 的质量比进行磨浆。

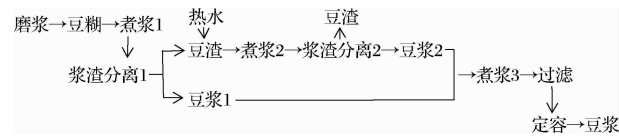
(3) 煮浆: 将分离好的豆浆加热至 104 $^{\circ}\text{C}$, 保温、保压 5 min。

(4) 过滤: 使用 200 目网带进行过滤。

(5) 定容: 将得到的豆浆加入温水定容到 45 L。

1.2.3 二次浆渣共熟工艺^[17]

1.2.3.1 工艺流程

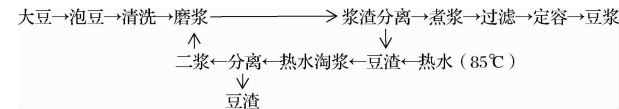


1.2.3.2 工艺要点

- (1)浸泡:清洗大豆 2 遍后,按照 1:3 的豆水质量比,将 5 kg 干豆在 25 ℃下浸泡 8 h,浸泡完成后湿豆重量约为 10 ~ 11 kg。
- (2)磨浆:将浸泡好的大豆与水 1:3.5 的质量比进行磨浆。
- (3)煮浆 1:将分离好的豆浆进行加热至 90 ℃,保温 2 min。
- (4)洗渣:加入 2 倍 65 ℃的水洗涤豆渣。
- (5)煮浆 2:将洗渣水与豆渣共同加热至 90 ℃,保温 2 min。
- (6)煮浆 3:浆豆浆 1 与豆浆 2 混合后共同加热至 104 ℃,保温、保压 5 min。
- (7)过滤:使用 200 目网带进行过滤。
- (8)定容:将得到的豆浆加入温水定容到 45 L。

1.2.4 热水淘浆工艺^[16]

1.2.4.1 工艺流程



1.2.4.2 工艺要点

- (1)浸泡:清洗大豆 2 遍后,按照 1:3 的豆水质量比,将 5 kg 干豆在 25 ℃下浸泡 8 h,浸泡完成后湿豆重量约为 10 ~ 11 kg。
- (2)磨浆:将浸泡好的大豆与二浆以 1:5.5 的质量比进行磨浆。
- (3)煮浆:将分离好的豆浆进行加热至 104 ℃,保温、保压 5 min。
- (4)热水淘浆:淘浆温度为 85 ℃,时间为 5 min。
- (5)过滤:使用 200 目网带进行过滤。
- (6)定容:将得到的豆浆加入温水定容到 45 L。

1.3 感官评价

挑选 10 位经过培训的专业研究生组成感官评价小组,分别对 4 种不同制浆工艺生产出来的豆浆进行独立感官评价。按照表 1 的评价标准分别从色泽、气味、滋味、稳定性 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。

表 1 豆浆品质感官评分表
Table 1 Soymilk quality sensory score

项目	评分标准	
色泽(20 分) 乳白色,淡乳黄色(16 ~ 20)	淡黄色(12 ~ 15)	颜色太深,异常色(< 12)
气味(30 分) 豆香味醇厚,无豆腥味等不良气味(26 ~ 30)	香气稍淡,稍有豆腥味(20 ~ 25)	豆腥味浓,有不良气味(< 20)
滋味(30 分) 具有豆浆应有的味,顺滑饱满,稍有涩味,无异味(26 ~ 30)	滋味稍差(20 ~ 25)	涩味重,有不纯滋味,异味(< 20)
稳定性(20 分) 浆液均匀稳定,无脂肪上浮,无沉淀(16 ~ 20)	稍差、有少量脂肪上浮和沉淀(12 ~ 15)	有渣感,有较多沉淀(< 12)

1.4 物理指标检测

1.4.1 豆浆稳定性^[18]

取适量豆浆稀释 40 倍,4 000 r/min 离心 5 min,于 785 nm 波长处测定样品离心前后的吸光度,并按公式(1)计算:

$$R = \frac{A_2}{A_1} \tag{1}$$

式中: R ,稳定性系数; A_2 ,离心后上清液吸光度; A_1 ,离心前吸光度。其中 $R \leq 1.00$, R 值越大表明豆浆体系越稳定。

1.4.2 豆浆离心沉淀率^[18]

在 10 mL 离心管中加入样品,用离心机以 5 000 r/min 离心 10 min,弃去上层液体,倒扣试管沥干称重,平行测定 3 次,并按公式(2)计算:

$$w_1 = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100 \tag{2}$$

式中: w_1 ,离心沉淀率,%; m_0 ,样品质量,mg; m_1 ,离心管质量,mg; m_2 ,离心弃上清液后离心管质量,mg。

1.4.3 豆浆黏度

使用 NDJ-5S 黏度计测定豆浆黏度,黏度计使用 0 号转子,转速为 60 r/min,测量温度为 25 ℃。

1.4.4 豆浆粒径测定

使用 WJL-628 型激光粒径仪测定豆浆粒径分布范围及其平均粒径,参数控制: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。

1.4.5 豆浆粒子密度测定

豆浆体系由介质水以及除水以外的所有粒子组成,使用差值法可计算出豆浆粒子密度。按公式(3)计算:

$$\rho_{\text{粒子}} = \frac{m_{\text{豆浆}} - m_{\text{水}}}{V_{\text{豆浆}} - V_{\text{水}}} \tag{3}$$

$\rho_{\text{粒子}}$, 豆浆粒子密度, g/cm^3 ; $m_{\text{豆浆}}$, 豆浆质量, g ; $m_{\text{水}}$, 水的质量, g ; $V_{\text{豆浆}}$, 豆浆体积, mL ; $V_{\text{水}}$, 水的体积, mL 。

1.4.4.6 豆浆沉降速度测定^[19]

豆浆的沉降速度与豆浆稳定性密切相关,使用激光粒径仪测量豆浆粒径,使用黏度仪测量豆浆的黏度,根据斯托克斯定律(Stokes Law)中,粒子受到的向下的重力为沉降介质的浮力与摩擦阻力二者之和,即公式(4)如下:

$$v = \frac{g(\rho_1 - \rho_2)d^2}{18\eta} \quad (Re < 0.4)$$
 (4)

式中: v , 沉降速度, cm/s ; d , 粒子平均直径, cm ; η , 介质黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; ρ_1 , 粒子密度, g/cm^3 (豆浆体系中除水以外的所有粒子密度); ρ_2 , 介质密度, g/cm^3 (水是豆浆体系中的介质)。

1.5 营养成分测定

1.5.1 豆浆蛋白质含量测定

按 GB 5009.5—2016 规定的分光光度法测定,蛋白质的换算系数为 6.25。

1.5.2 豆浆脂肪含量测定

按 GB 5009.6—2016 规定的索氏提取法测定,使用的提取剂为石油醚。

1.5.3 豆浆中水分含量测定

按 GB 5009.3—2016 规定的直接干燥法测定。

1.5.4 豆浆中灰分含量测定

按 GB 5009.4—2016 规定的直接干燥法测定。

1.6 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 22 进行分析。

2 结果与分析

2.1 豆浆感官评价结果分析

由图 1 可知,对不同制浆工艺得到豆浆进行感官评分,熟浆工艺感官评价平均得分为 86.0 分,明显高于生浆工艺得分 74.8 分。这可能是因为生浆工艺采

用先浆渣分离再煮浆的工艺顺序,导致豆糊暴露在空气中的时间过长,油体蛋白被巯基蛋白酶水解、磷脂被磷脂酶水解使受体中甘油三酯暴露出来,被脂肪氧化酶催化,产生正乙醇、乙醛等不和谐风味物质,影响豆浆感官评价^[20]。且在煮浆过程中,部分分子质量较小的大豆纤维素发生膨化,给豆浆带来粗糙口感。在 3 种熟浆制浆工艺中,感官评价得分二次熟浆法为 87.8 分,热水淘浆法 87.3 分,一次熟浆法 82.9 分,显然,二次熟浆法和热水淘浆法制浆差异较小且都高于一次熟浆法,可能是由于二次熟浆法与热水淘浆法分别采用多次加热共熟、热水磨浆得到的豆浆中大豆低聚糖含量高,使豆浆口感更佳饱和、细腻,且豆浆中不良风味物质、抗营养因子含量少,豆浆风味更加和谐。

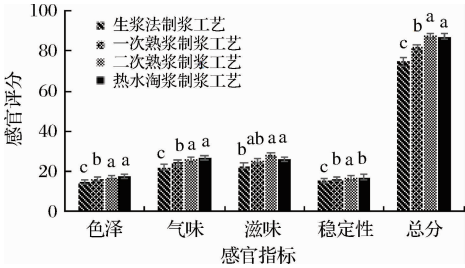


图 1 不同制浆工艺对豆浆感官指标的影响

Fig.1 Effect of different preparation methods on sensory indexes of soymilk

注:同一指标不同小写字母表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)

2.2 豆浆物理指标分析

由表 2 可以看出,二次熟浆工艺 (94.9%) 与热水淘浆工艺 (93.7%) 的稳定性显著高于一次熟浆法 (85.3%) 与生浆工艺 (84.4%),可能是由于二次熟浆与热水淘浆工艺对蛋白质、多糖、磷脂等提取率高,有利于通过氢键形成“蛋白质 + 磷脂 + 脂肪”的稳定结构,有效地阻碍了脂肪聚合形成大油体上浮,也防止蛋白质粒子聚沉形成蛋白质沉淀,所以得到豆浆稳定性高。

表 2 不同制浆工艺豆浆理化指标测定结果

Table 2 Determination of physical and chemical indicators in different soymilk preparation methods

制浆工艺	稳定性/%	离心沉淀率	黏度/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	沉降速度/($\text{nm} \cdot \text{s}^{-1}$)
生浆工艺	84.445 ± 0.809^c	0.886 ± 0.007^b	3.313 ± 0.025^d	0.321 ± 0.003^d
一次浆渣共熟	85.368 ± 0.829^c	0.861 ± 0.013^b	4.621 ± 0.010^c	0.304 ± 0.005^c
二次浆渣共熟	94.951 ± 1.016^a	0.965 ± 0.043^a	5.820 ± 0.030^a	0.264 ± 0.007^a
热水淘浆法	93.700 ± 0.571^b	0.974 ± 0.035^a	5.431 ± 0.040^b	0.281 ± 0.004^b

注:同一列不同小写字母表示具有显著性差异 ($P < 0.05$) (下同)

生浆工艺与一次熟浆工艺豆浆中的营养物质大多是以游离形态存在,没有形成稳定的结构,导致豆

浆的稳定性较差,离心沉淀率也较低。通过分析豆浆沉降速度的变化,可以推测产品的稳定性趋势,从而

及时发现生产中引起产品不稳定的环节^[21]。在特定的植物蛋白饮料中,粒子的密度与介质的密度变化不大,可约等于常量,豆浆黏度与豆浆粒子大小成为一项沉降速度的2个主要因素。二次熟浆工艺与热水淘浆工艺中可溶性固形物溶出率高,增加豆浆体系黏度;多次加热也提高酸性多肽与7s的 α 、 α' 亚基分布于蛋白质粒子表面,提高蛋白质粒子表面的亲水性也可能是豆浆黏度增高的一个重要原因^[22]。所以沉降速度最小的为二次熟浆工艺(0.264 nm/s),热水淘浆工艺次之(0.281 nm/s),生浆工艺(0.321 nm/s)与一次熟浆工艺(0.304 nm/s)较大。

2.3 豆浆粒径测定结果分析

如图2、3所示,4种制浆工艺得到的豆浆粒径主要分布在0.1~2.8 μm 之间,生浆制浆工艺、一次熟浆工艺、热水淘浆工艺、二次浆渣共熟工艺分别在0.429、0.469、0.514以及0.562 μm 占比最高,占比分别为7.70%、7.64%、7.00%以及5.50%;生浆工艺最大粒径为2.174 μm ,一次熟浆工艺最大粒径为2.379 μm ,二次熟浆工艺最大粒径为2.603 μm ,热水淘浆工艺最大粒径为2.849 μm 。初步估计当豆浆粒径分布在0.01~0.2 μm 时,主要以单个流离的油体粒子、蛋白质粒子、多糖、磷脂等形式存在;当豆浆粒径分布在0.2~0.6 μm 之间时,主要以蛋白质+多糖、蛋白质+磷脂+脂肪、蛋白质+多糖+蛋白质、油脂+油脂+油脂+磷脂+蛋白质等形式存在;当豆浆粒径分布在0.6~2.8 μm 时,主要是以蛋白质凝聚物、大分子油体以及小分子纤维素等形式存在。

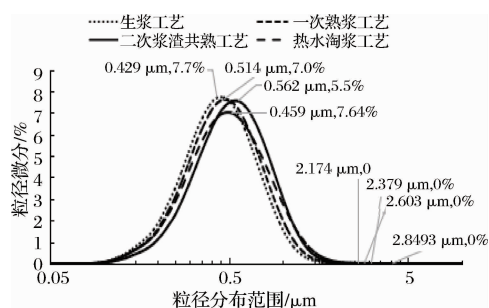


图2 不同制浆工艺粒径分布范围

Fig. 2 Particle size distribution range of different soymilk preparation methods

4种不同制浆工艺中,二次熟浆工艺 D_{50} (中位粒径)以及 $D_{[4,3]}$ (平均粒径)最大,分别为0.500、0.547 μm ;热水淘浆法次之,分别为0.469、0.527 μm ;一次熟浆工艺第三,分别为0.446、0.502 μm ;生浆工艺最小,分别为0.423、0.454 μm 。3种熟浆工艺豆浆的

D_{50} 、 $D_{[4,3]}$ 均比生浆工艺大,实验结果与KYOKO等^[23]在从豆渣中提取的成分对豆浆和豆腐质地理化性质的影响中结论一致。3种熟浆工艺中二次熟浆工艺最大、热水淘浆次之、一次熟浆工艺最小,主要是二次熟浆工艺采用“2提3煮”,得到的豆浆中小颗粒蛋白质、多糖、 K^+ 、 Na^+ 等物质含量高,这些小颗粒蛋白质以S-S结合,蛋白质、脂肪、多糖之间以氢键连接形成大颗粒物质,导致二次熟浆工艺粒径最大。一次熟浆法工艺比较简单,只通过1次洗渣,1次煮浆,得到豆浆中营养物质相对较少,所以豆浆粒径为熟浆工艺中最小。

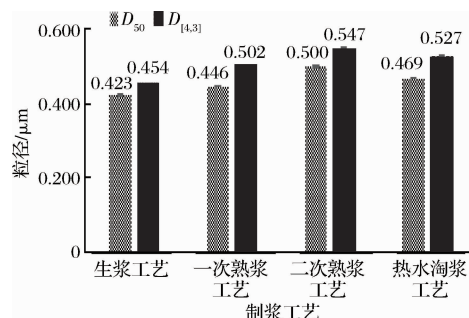


图3 不同制浆工艺对豆浆粒径 D_{50} 、 $D_{[4,3]}$ 的影响

Fig. 3 Effect of different soymilk preparation methods on the particle size D_{50} and $D_{[4,3]}$ of soymilk

2.4 豆浆营养成分含量分析

由表3可知,生浆工艺蛋白质、脂肪、总糖、灰分含量处于4种制浆工艺中最低,可能是由于大豆中营养成分在磨浆之后没有完全浸提到豆浆中,就将豆浆、豆渣进行分离,大量营养物质随着豆渣被分离,造成豆浆中营养成分低于其他3种熟浆工艺。二次熟浆工艺豆渣被二次加热洗提豆浆,豆浆历经3次加热,最大地减少进入豆渣中营养成分的含量,使更多的蛋白质、脂肪、多糖等营养物质溶出至豆浆中,所以二次熟浆工艺营养成分含量最高。热水淘浆法营养成分含量次之,热水淘浆法将第一次浆渣分离的豆渣通过热水洗浆、分离得到的第二道浆再次作为下一次磨浆水,热水磨浆提高了大豆中营养成分溶出率的同时有效减少豆渣中营养成分含量。总体而言,二次熟浆工艺营养成分提取率最高(蛋白为3.89 g/100 g、脂肪为1.814 g/100 g、总糖为1.267 g/100 g),热水淘浆工艺次之(蛋白质为3.823 g/100 g、脂肪为1.790 g/100 g、总糖为1.146 g/100 g),一次熟浆法第三(蛋白质为3.688 g/100 g、脂肪为1.623 g/100 g、总糖为0.954 g/100 g),生浆工艺营养成分提取率最低(蛋白质为3.571 g/100 g、脂肪为1.608 g/100

g、总糖为 0.87 g/100 g)。

表 3 不同制浆工艺豆浆营养成分含量

单位:g/100 g

Table 3 Different nutrient content of soybean milk in different soymilk preparation methods

制浆工艺	蛋白质	脂肪	总糖	水分	灰分
生浆工艺	3.571 ± 0.036 ^d	1.608 ± 0.049 ^b	0.87 ± 0.006 ^d	93.585 ± 1.560 ^a	0.197 ± 0.014 ^c
一次浆渣共熟	3.688 ± 0.022 ^c	1.623 ± 0.030 ^b	0.954 ± 0.005 ^c	92.765 ± 1.865 ^b	0.260 ± 0.007 ^b
二次浆渣共熟	3.890 ± 0.019 ^a	1.814 ± 0.016 ^a	1.267 ± 0.010 ^a	91.285 ± 1.388 ^d	0.283 ± 0.010 ^a
热水淘浆法	3.823 ± 0.027 ^b	1.790 ± 0.019 ^a	1.146 ± 0.012 ^b	91.746 ± 1.066 ^{bc}	0.276 ± 0.005 ^{ab}

2.5 豆浆品质指标相关性分析

使用 SPSS 22 对豆浆营养指标(蛋白质、脂肪、水分、总糖)、物理指标(黏度、稳定性、沉淀率、平均粒径)与感官评分进行 Pearson 相关性分析,结果表明:蛋白质与脂肪、总糖、黏度、稳定性、平均粒径、感官评价呈极显著正相关关系(r 分别为:0.930、0.914、0.968、0.843、0.979、0.975),与稳定性存在显著性相关关系($r = 0.6$),与沉降速度呈负相关关系($r = -0.974$)。蛋白质含量与总糖、脂肪存在极显著相关关系,可能与大豆在磨浆、洗渣、煮浆工艺过程中提取率相关,蛋白质提取率升高,总糖、脂肪等含量也会随之升高;蛋白质、脂肪、总糖含量升高,豆浆中蛋白

质、脂肪、多糖含量升高,豆浆中会形成大分子稳定结构,提高豆浆体系的稳定性、黏度以及平均粒径;当豆浆总糖、脂肪、多糖含量增高、豆浆体系更加稳定豆浆的感官评价也会随之升高。

豆浆沉降速度与豆浆稳定性、黏度呈负极显著相关关系(r 分别为: -0.968 、 -0.953),与豆浆粒径呈负极显著相关关系($r = -0.902$),主要是因为斯托克斯公式中规定当测定粒子与介质密度相对稳定时,粒子的沉降速度与粒子粒径呈正相关关系,与介质黏度呈负相关相关^[24],当粒子沉降速度越慢时,体系稳定性越好,所以豆浆沉降速度与豆浆稳定性呈负极显著关系。

表 4 豆浆品质指标相关性分析表

Table 4 Correlation analysis table of soymilk quality indicators

相关系数	蛋白质	脂肪	水分	总糖	黏度	稳定性	沉淀率	平均粒径	沉降速度	感官评分
蛋白质	1									
脂肪	0.930**	1								
水分	-0.462	-0.422	1							
总糖	0.914**	0.874**	-0.441	1						
黏度	0.968**	0.869**	-0.568	0.868**	1					
稳定性	0.843**	0.938**	-0.440	0.933**	0.897**	1				
沉淀率	0.661*	0.949**	-0.594*	0.673*	0.881**	0.972**	1			
平均粒径	0.979**	0.884**	-0.538	0.891**	0.997**	0.638*	0.866**	1		
沉降速度	-0.974**	-0.833**	0.386	-0.947**	-0.953**	-0.968**	-0.458	-0.902**	1	
感官评分	0.975**	0.914**	-0.583*	0.722**	0.989**	0.981**	0.531	0.844**	-0.958**	1

注: $N = 12$, $df = 10$, $M = 2^*$ 在 0.05 水平上(双侧)显著相关,** 在 0.01 水平上(双侧)极显著相关

3 结论

4 种制浆工艺中,二次熟浆工艺感官评价最高、热水淘浆工艺次之、一次熟浆工艺第三、生浆工艺最低,具体分数分别为:87.8、87.3、82.9、74.8 分。其中二次熟浆工艺与热水淘浆工艺制得豆浆滋味顺滑、饱满,豆香味醇厚、浆体均匀,最受品评者喜欢。

4 种制浆工艺中,物理稳定性最好的为二次熟浆工艺(稳定性 94.95%、黏度 5.82 mPa · s、沉降速度 0.264 nm/s),热水淘浆工艺次之(稳定性 93.70%、黏度 5.43 mPa · s、沉降速度 0.281 nm/s),一次熟浆

工艺第三(稳定性 85.36%、黏度 4.62 mPa · s、沉降速度 0.304 nm/s),物理稳定性最差为生浆工艺(稳定性 84.44%、黏度 3.131 mPa · s、沉降速度 0.321 nm/s)。

4 种制浆工艺中,二次熟浆工艺 D_{50} 、 $D_{[4,3]}$ 最大,为 0.500、0.547 μm ;热水淘浆法次之,为 0.469、0.527 μm ;一次熟浆法第三,为 0.446、0.502 μm ;生浆工艺最小,为 0.423、0.454 μm 。

二次熟浆工艺营养成分提取率最高(蛋白质为 3.89 g/100 g、脂肪为 1.814 g/100 g、总糖为 1.267 g/100 g),热水淘浆工艺次之(蛋白质为 3.823 g/100 g、

脂肪为 1.790 g/100 g、总糖为 1.146 g/100 g),一次熟浆法第三(蛋白质为 3.688 g/100 g、脂肪为 1.623 g/100 g、总糖为 0.954 g/100 g),生浆工艺营养成分提取率最低(蛋白质为 3.571g/100 g、脂肪为 1.608 g/100 g、总糖为 0.87 g/100 g)。

豆浆感官评价、物理指标以及营养指标存在着复杂相关关系,其中感官评价、稳定性、黏度、豆浆粒径存在显著性正相关关系,豆浆营养物质提取率越高,豆浆物理稳定性越好、豆浆感官得分越高。

参 考 文 献

- [1] LIY, GUAN R, LIU Z, et al. Genetic structure and diversity of cultivated soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) landraces in China[J]. Theoretical & Applied Genetics, 2008,117(6):857-871.
- [2] QIU L J, CHANG R Z, SINGH G. The origin and history of soybean. [J]. Soybean Botany Production & Uses, 2010;1-23.
- [3] 石彦国,刘琳琳. 大豆蛋白与豆腐品质相关性研究进展[J]. 食品科学技术学报,2018,36(6):1-8.
- [4] 王嘉宏. 浅谈大豆营养与大豆产量[J]. 黑龙江科技信息, 2013(11):253.
- [5] 大豆的消费现状与营养保健功能[J]. 中国食物与营养, 2001(6):54-55.
- [6] 吴彩珍,傅苏芳,戴晶晶,等. 不同制浆工艺豆浆品质分析[J]. 大豆科技, 2014(3):32-35.
- [7] 吴月芳. 我国豆浆行业的现状与展望[J]. 农产品加工, 2014(3):32-33.
- [8] 韩立德,盖钧镒,张文明. 大豆营养成分研究现状[J]. 种子, 2003(5):57-59.
- [9] RIVAS M, GARAY R P, ESCANERO J F, et al. Soy milk lowers blood pressure in men and women with mild to moderate essential hypertension[J]. Journal of Nutrition, 2002,132(7):1 900-1 902.
- [10] MITCHELL J H, COLLINS A R. Effects of a soy milk supplement on plasma cholesterol levels and oxidative DNA damage in men-a pilot study[J]. European Journal of Nutrition, 1999,38(3):138-143.
- [11] 梁晓丽,许钰麒,范志红. 豆浆对慢性病的预防与控制作用研究进展[J]. 中国食物与营养, 2010(11):73-76.
- [12] 李恒. 香飘千年的传统美食——鲜豆浆[J]. 养生大世界, 2004(10):26-27.
- [13] 霍达非. 花生短肽制备功能豆浆工艺的研究[J]. 辽宁农业科学, 2017(2):26-32.
- [14] 李景妍,郭顺堂,陈洋. 生浆法和熟浆法加工对豆浆香气及相应豆腐产品特征的差异[J]. 大豆科技, 2012(2):36-39;42.
- [15] 周娟,谢灵来,尹乐斌,等. 二次浆渣共熟制浆工艺优化研究[J]. 中国酿造, 2018,37(2):194-197.
- [16] 陈洋,林最其,徐丽,等. 豆浆制备工艺对豆腐品质的影响[J]. 大豆科学, 2011,30(5):838-842.
- [17] 谢灵来. 二次浆渣共熟制浆及豆清发酵液点浆技术研究[D]. 邵阳:邵阳学院, 2017.
- [18] 张碧堂,杨蕊莲,张静,等. 不同预处理方式对豆浆品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017,43(2):134-140.
- [19] 李娜. 干热预处理制备酶解全豆浆及其稳定性研究[D]. 天津:天津科技大学, 2018.
- [20] 闫尊浩. 豆浆制作过程中油体变化规律及其对豆腐性质的影响研究[D]. 无锡:江南大学, 2016.
- [21] 王英杰,陈贝莉,秦蕾,等. 粒径分析法研究乳化稳定剂对核桃乳稳定性的影响[J]. 食品工业科技, 2013,34(7):293-297.
- [22] 左锋,赵忠良,施小迪,等. 微压煮浆对豆乳蛋白粒子形成与豆乳加工特性的影响[J]. 农业机械学报, 2016,47(1):247-251.
- [23] KYOKO T, KYOKO C, TOMOTADA O. Effect of components extracted from okara on the physicochemical properties of soymilk and tofu texture[J]. Journal of Food Science, 2010,72(2):C108-C113.
- [24] 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.