

潘婷婷, 韦智, 李佳钰, 等. 浸泡时间对豆浆品质的影响及相关性分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(9): 45-53. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030076

PAN Tingting, WEI Zhi, LI Jiayu, et al. Effect of Soaking Time on the Quality of Soymilk and Their Correlation Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(9): 45-53. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030076

· 研究与探讨 ·

浸泡时间对豆浆品质的影响及相关性分析

潘婷婷¹, 韦智¹, 李佳钰¹, 赵进龙¹, 翟爱华^{1,2,*}

(1.黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江大庆 163000;

2.国家杂粮技术工程研究中心, 黑龙江大庆 163000)

摘要: 研究大豆浸泡时间 (6、8、10、12、14、16 h) 对豆浆理化特性和感官品质的影响, 为大豆浸泡时间的选择提供理论支撑。实验以大豆水分含量及分布、可溶性蛋白质含量、固形物含量、粒径、黏度、稳定性及感官评分作为考察指标, 分析浸泡时间对豆浆品质的影响并确定大豆适宜的浸泡时长; 采用 Pearson 相关系数对浸泡时间、大豆水分组成与豆浆品质的关系进行分析。低场核磁共振结果表明, T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 信号值随着浸泡时间延长而升高, 大豆吸附水的占比增加, 大豆浸泡 12 h 后水分达到饱和状态。豆浆的品质研究结果表明, 随着浸泡时间的延长, 豆浆的蛋白质转移率、体积平均粒径、黏度均呈现先升高后降低的趋势, 总固形物含量显著降低 ($P<0.05$), 豆浆稳定性先降低后升高; 豆浆的感官评分值随着大豆浸泡时间的增加先增加后降低, 8 h 豆浆的感官综合评价值最高为 1.0466, 其次是 10 h 的豆浆。基于以上结果, 优选大豆浸泡时间为 8 h, 虽然该时间的豆浆黏度低, 口感浓度评分低, 亮度值低; 但是其可溶性蛋白质含量最高, 为 0.905 g/100 g, 蛋白转移率可达到 16.61%; 总固形物含量仅次于 6 h 的豆浆, 含量为 3.185 g/100 g; 而且色差 b 值最低, 感官综合评价值最高。相关性分析结果表明: 浸泡时间与大豆结合水占比、自由水占比呈显著负相关, 与吸附水占比呈显著正相关 ($r=-0.9638$ 、 -0.8241 、 0.9391); 豆浆的品质指标受到浸泡时间影响, 其中浸泡时间与豆浆可溶性蛋白质、总固形物含量、 L 值呈显著负相关, 与 a 值呈显著正相关关系 ($r=-0.9122$ 、 -0.9726 、 -0.8238 、 0.9385)。

关键词: 豆浆品质, 大豆浸泡时间, 豆浆粒径, 稳定性, 感官评价, 相关性

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)09-0045-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030076

本文网刊:



Effect of Soaking Time on the Quality of Soymilk and Their Correlation Analysis

PAN Tingting¹, WEI Zhi¹, LI Jiayu¹, ZHAO Jinlong¹, ZHAI Aihua^{1,2,*}

(1.College of Food, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163000, China;

2.National Coarse Cereals Technology Engineering Research Center, Daqing 163000, China)

Abstract: The effects of soybean soaking time (6, 8, 10, 12, 14, 16 h) on the physicochemical properties and sensory quality of soymilk were studied, which provided theoretical support for the selection of soybean soaking time. Soybean moisture content and distribution, soluble protein content, solid content, particle size, viscosity, stability and sensory score were used as indicators to analyze the influence of soaking time on the quality of soymilk and determine the optimal soaking time of soybean. The relationships between soaking time, soybean moisture composition and soymilk quality were analyzed by using the Pearson's correlation method. The results of low-field NMR showed that with the increase of soaking time, the signal values of T_{21} , T_{22} and T_{23} increased, and the proportion of adsorbed water increased. The soybean moisture reached saturation after 12 h soaking. The results of the quality study showed that with the increase of soaking time, the protein transfer rate, the average particle size at volume and viscosity of soymilk had a trend of increasing first and then decreasing. The total solids content decreased significantly ($P<0.05$), and soymilk stability decreased first and then increased. The

收稿日期: 2023-03-07

基金项目: 黑龙江八一农垦大学“三纵”科研计划项目 (ZRCPY202209)。

作者简介: 潘婷婷 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 粮食、油脂及植物蛋白工程, E-mail: 1356454926@qq.com。

* 通信作者: 翟爱华 (1970-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 粮食、油脂及植物蛋白工程, E-mail: 420680832@qq.com。

sensory comprehensive score first increased and then decreased, with the highest score of 1.0466 after 8 h soaking, followed by 10 h soaking. Based on the above results, 8 h was chosen as the best soaking time for soybeans to make soymilk. Despite the viscosity, the taste score and the brightness value were low after 8 h soaking, the soluble protein content was the highest, which was 0.905 g/100 g, and the protein transfer rate reached 16.61%. The total solids content was 3.185 g/100 g after 8 h soaking, which was second only to 6 h of soaking. Meanwhile, *b* value was the lowest, and the sensory comprehensive evaluation value was the highest after 8 h soaking. The correlation analysis results showed that the soaking time was significantly negatively correlated with the proportion of soybean bound water and free water, and significantly positively correlated with the proportion of adsorbed water ($r=-0.9638, -0.8241, 0.9391$). The quality index of soymilk was affected by the soaking time, which was significantly negatively correlated with the soluble protein, the total solids content and the *L* value, and significantly positively correlated with *a* value ($r=-0.9122, -0.9726, -0.8238, 0.9385$).

Key words: soymilk quality; soybean soaking time; soymilk particle size; stability; sensory evaluation; correlation

大豆经过浸泡、磨浆、过滤、煮制后,大豆的蛋白质颗粒、脂质颗粒和其他可溶性物质悬浮在提取液中,形成一种复杂的胶体体系——豆浆^[1-2]。浸泡工艺是豆浆生产中的一个重要环节,影响大豆吸水程度、软硬度和豆浆、豆腐等豆制品的品质^[3]。浸泡过程中,大豆发生结构和营养物质上的变化,其吸水程度直接影响大豆质地和加工过程中的研磨特性^[4]。大豆浸泡是缓慢的过程,浸泡时间一般是春夏 5~8 h,秋冬 12~15 h^[5]。浸泡决定豆浆的色泽、颗粒大小等品质^[3,6],合适的浸泡时间,有利于大豆组织结构软化^[4],磨浆时生产细腻的乳液,提升豆浆的品质。

豆浆的可溶性蛋白质含量、可溶性固形物含量、固形物含量、稳定性、感官评分等是衡量豆浆品质的重要指标^[7]。浸泡过程中,随着大豆吸水量的增大,大豆种皮结构变得松散,大豆籽粒空隙增大^[8],这有利于磨浆过程中蛋白体的破碎及蛋白质的充分溶出,提高豆浆的蛋白质利用率及豆浆得率^[5]。但是可溶性蛋白质、水溶性色素、糖类会在浓度差的作用下释放到浸泡液中^[3],过长的浸泡时间会导致豆浆中可溶性物质的损失^[9];长时间的浸泡还容易引起细菌滋生。崔亚丽等^[10]研究表明浸泡处理后制作的豆浆粒径小于干豆豆浆,且能提高蛋白含量和蛋白回收率。豆浆的稳定性是豆浆品质的重要评价指标^[11],它同样影响着豆浆的营养品质,对豆浆的口感品质、储藏能力也有一定的影响^[12]。

目前人们多选择感官评价、营养物质含量作为评价标准^[3,13-14],考虑大豆浸泡的时间、温度、pH 等因素对豆浆品质的影响,以此来选择最佳品质的豆浆。Li 等^[3]已研究发现虽然高温可以减少大豆浸泡时间,但不利于脂肪、蛋白质和固体物的提取,对豆浆的白度值和粒径等也有不利影响。杨蕊莲^[15]以稳定性、蛋白质含量、感官评价为指标确定了豆浆最佳制作工艺:浸泡豆水比 1:3、浸泡 10 h、磨浆豆水比 1:9、煮浆温度 95 ℃ 维持 9 min。但对于大豆超过 6 h 后的浸泡时间对豆浆营养成分、理化特性的内在规律影响及关系仍然未被解答。因此本实验在研究 6~16 h 浸泡过程中豆浆的可溶性蛋白质、固形物含量、蛋白质转移率、稳定性、黏度、粒径、色差等指标的基础上,探讨大豆不同浸泡时间对豆浆理化特性和

感官品质的影响,揭示大豆浸泡时间与理化特性和感官品质之间的关系,为豆浆加工中浸泡时间的合理选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大豆 九研 13,蛋白质含量 43.7%(干基)、脂肪含量 10.13%(干基)、水分含量 16.4%(干基),黑河市嫩江县建边农场种子公司;考马斯亮蓝 G250 Biosharp 生物公司;石油醚(60~80 ℃) 辽宁泉瑞试剂有限公司。

GHP-9160 隔水式恒温培养箱 上海一恒科学仪器有限公司;普通 150 型单相多功能电动磨浆机 沧州铁狮磨浆机械有限公司;DK-98-II A 电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司;SP-722E 型可见分光光度计 上海嘉鹏科技有限公司;NMI20-Analyst 低场核磁共振分析仪 苏州(上海)纽迈电子科技有限公司;L-420 型低速台式离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;2WJ 阿贝折射仪 上海申光仪器仪表有限公司;DGG-9140 电热恒温鼓风干燥箱 上海森信实验仪器有限公司;Brookfield DV-III 流变仪黏度计 美国 Brookfield 公司;Bettersize 2000 激光粒度分布仪 丹东市百特仪器有限公司;CR-410 色差计 Konica Minolta 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大豆的浸泡及 T_2 弛豫时间测定 清洗原料大豆后,以 1:3(m:m)的豆水比于 25 ℃ 下浸泡处理。取 6、8、10、12、14、16 h 浸泡后的大豆擦干并用防水纸包裹,存于 4 ℃ 冰箱在 4 h 内完成测定。

使用 LF-NMR 进行质子弛豫时间测量,观察大豆浸泡过程中的水分迁移。将包好的样品置于磁体中心位置,使用 CPMG 脉冲序列测定横向弛豫时间(T_2),参数设置:中心频率 SF=19 MHz,90°脉冲宽度 P1=20 μs,180°脉冲宽度 P2=30 μs,频率宽度 SW=100 kHz,信号采样数 TD=164996,重复扫描次数 NS=16,回波个数 NECH=5000。待扫描结束后,利用反演软件对采集的信号进行拟合得到 T_2 谱图^[16],对每个特征峰的弛豫时间以及对应峰面积进行分析计算。

1.2.2 豆浆的制作 准确称取浸泡后的大豆 50.00 g, 以 1:9 的豆水比磨浆 2 min, 使用 100 目尼龙网袋过滤, 95 ℃ 煮浆 20 min。迅速冷却至室温, 于 4 ℃ 保存。

1.2.3 豆浆营养成分的测定

1.2.3.1 豆浆可溶性蛋白质含量的测定 使用考马斯亮蓝染色法^[17]进行测定。蛋白质转移率^[6]计算如下:

$$\text{豆浆蛋白质转移率(\%)} = \frac{V \times X_1}{M \times X_2} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

式中: V 为豆浆体积, mL; X_1 为豆浆可溶性蛋白质含量, g/100 mL; M 为原料大豆质量, g; X_2 为原料大豆蛋白质含量, g/100 g。

1.2.3.2 可溶性固形物含量的测定 使用数显折射仪^[18]进行测定。

1.2.3.3 总固形物含量的测定 总固形物含量使用冻干法^[19]进行测定, 冻干时间为 24 h。

1.2.4 豆浆理化特性的测定

1.2.4.1 颗粒粒径分布 使用激光粒度仪进行测定, 参数控制见文献^[11,20]: 分散剂去离子水的折射率为 1.333, 分散相豆浆的折射率为 1.560, 加样过程及测定过程使用超声进行样品的分散处理, 并且测定过程前进行 1 min 的超声处理。遮光度达到 10% 后进行测定。

1.2.4.2 黏度 使用黏度计^[21]测定。Brookfield 黏度计使用 61 号转子, 转速为 100 r/min, 测定温度为 25 ℃。测定时间为 3 min, 每 30 s 测定一次, 测定三次取平均值。

1.2.4.3 稳定性 采用稳定性系数法测定, 取 2 mL 豆浆稀释至 50 mL, 于 4000 r/min 离心 5 min 后取上清液。在 785 nm 下分别测定样品离心前后的吸光值。计算如下: R 值越大表明豆浆稳定性越好^[18]。

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

式中: R 为稳定性系数; A_1 为离心前吸光值; A_2 为离心后吸光值。

1.2.4.4 色差 豆浆于 250 mL 的透明塑料瓶中测定色差值(L: 明亮度, +白, -黑; a: 红绿值, +红, -绿; b: 黄蓝值, +黄, -蓝)。测定前使用白色参考板和黑色参考板较零, 每组样品测定三次。

1.2.5 感官评价 感官评价小组由 10 名食品专业研究生组成, 对豆浆具有一定的辨识度及记忆力。豆浆样品从 4 ℃ 冰箱取出后, 30 ℃ 水浴 30 min 后进行感官评价。豆浆的色泽、香气、润滑度、口感浓度、滋味作为感官评价指标, 感官评分的计算参考陈聪^[22]的方法。采用组合赋权法确定五项指标的权重值, 归一化处理专家评分的平均值为主观权重值; 归一化处理评分的变异系数平均值为客观权重值; 两个方法乘积结果归一化处理后得到最终权重值。采用线性综合法、几何综合法和混合综合法计算豆浆的综合评

分, 用均值法对各指标无量纲化, 计算各指标的线性综合值(权重值和无量纲值的乘积的和)、几何综合值(无量纲值积分的乘积)和综合评分值(50% 线性综合值和 50% 几何综合值的和)。每位专家对样品所有指标的评分标准偏差都在 0.02(<0.02)范围内。

1.3 数据处理

实验均重复三次, 计算其平均值。采用 Excel 2010、SPSS 22、Origin Pro 2021 进行数据分析及图表绘制。相关性分析使用 Origin Pro 2021 中的 Correlation Plot 进行绘图, 分析相关类型为 Person 相关。

2 结果与分析

2.1 浸泡过程大豆水分的变化

如图 1 所示, 大豆经过不同浸泡时间处理后 T_2 弛豫曲线均有三个峰, 通过弛豫时间的不同将其分为: T_{21} (0~10 ms) 为结合水, T_{22} (10~100 ms) 为吸附水, T_{23} (100~1000 ms) 为自由水^[23]。随着浸泡时间的延长, 曲线整体向右移动, 表明大豆种子内水分自由度增加, 流动性增强。 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 信号值都随着浸泡时间延长而增高, 其中 T_{22} 信号值增加最明显, 表明在 25 ℃ 环境的浸泡过程中, 大豆种子内水分含量的增加主要是吸附水含量增加导致的^[16]。 T_{21} 、 T_{22} 峰顶点时间随着浸泡时间延长出现右移趋势, 表明大豆在 25 ℃ 浸泡过程中水分自由度逐渐增大, 水的流动性增强, 水与大分子物质的结合能力逐渐减弱^[24]。浸泡时间超过 10 h 后, T_{21} 峰顶点时间变化范围小, 表明大豆内部结合水的波动范围小, 呈稳定状态。

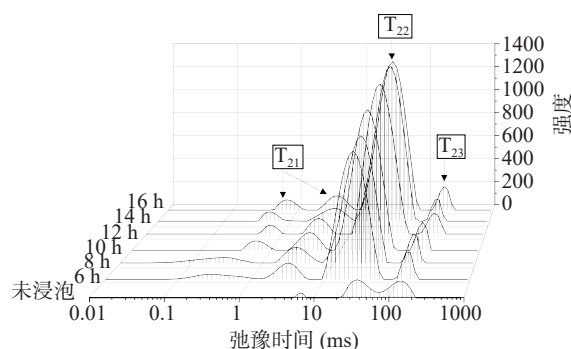


图 1 浸泡过程大豆的核磁共振 T_2 谱特征
Fig.1 NMR T_2 characteristics of soybeans during soaking

如表 1 所示, M_{21} 、 M_{22} 、 M_{23} 分别表示 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 所占的比例。浸泡时间 6 h 时, M_{22} 已达到 80% 以上, 说明浸泡 6 h 时的大豆中的水主要以吸附水为主(未浸泡处理的大豆中结合水、吸附水、自由水所占比例分别为: 4.62%、50.76%、43.85%)。滕文静^[23]研究 1~6 h 浸泡过程大豆的 T_2 弛豫曲线, 发现刚开始浸泡时大豆以结合水居多, 随着时间的增加, 吸附水逐步变多, 然后由吸附水转向自由水。12、14、16 h 的峰面积比例 M_{21} 、 M_{22} 、 M_{23} 之间显著性差异不显著($P>0.05$), 表明 25 ℃ 浸泡 12 h 的大豆内部水分

接近饱和,水分子与大豆内部大分子之间的质子转换达到相对稳定的状态。Lima 等^[17]发现在 25 ℃ 下浸泡 7 h 大豆能够达到水分含量 120%(以干基计),这是大豆研磨过程之前建议的最低水分含量,超过 7 h 后硬度的变化不会受到浸泡时间的影响。Li 等^[3]研究发现大豆浸泡可达到的最大吸水率为 130%(以干基计),在 25 ℃ 下浸泡 12 h 左右已达到最大吸水率,且与 Peleg 预测模型一致。因此可以确定 25 ℃ 环境下 12 h 的浸泡时间,大豆吸水达到饱和。

表 1 浸泡过程大豆各类水分组成的峰面积占比

Table 1 Proportion of peak area of various water components during soybean soaking

浸泡时间(h)	M ₂₁ (%)	M ₂₂ (%)	M ₂₃ (%)
6	12.00±0.55 ^a	81.78±0.93 ^c	6.22±0.59 ^{ab}
8	10.88±1.46 ^{ab}	82.52±1.47 ^{bc}	6.60±0.47 ^a
10	10.53±1.17 ^{bc}	84.11±1.65 ^b	5.33±0.83 ^{bc}
12	9.54±1.28 ^{bcd}	86.05±1.20 ^a	4.41±1.31 ^c
14	9.02±0.59 ^{cd}	86.34±0.45 ^a	4.64±0.84 ^c
16	9.08±0.45 ^d	86.09±0.83 ^a	4.83±0.46 ^c

注:表中同一列不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$),表2同。

2.2 大豆浸泡时间对豆浆可溶性蛋白质含量的影响

可溶性蛋白质是大豆蛋白质亚基的单体或寡聚体^[25],豆浆中可溶性蛋白质来源于磨浆时的蛋白质和从大豆蛋白体中新解离的可溶性蛋白质,因此可溶性蛋白质的含量可以表征豆浆对原料蛋白质利用程度。由图 2 可知,可溶性蛋白质含量排序为:8 h>10 h>6 h>12 h>14 h>16 h;随着浸泡时间的延长,蛋白质转移率呈现先升高后降低的趋势。6 h 豆浆可溶性蛋白质含量低于 8 和 10 h 豆浆,且其蛋白质转移率显著低于其他豆浆($P<0.05$),说明 6 h 的浸泡处理大豆的蛋白质利用率低,蛋白质损失在豆渣中,因此大豆浸泡 6 h 不建议作为制作豆浆前的浸泡时间。大豆浸泡时间超过 10 h 后可溶性蛋白质含量显著降低($P<0.05$),原因是随着浸泡时间增长大豆组织细胞间

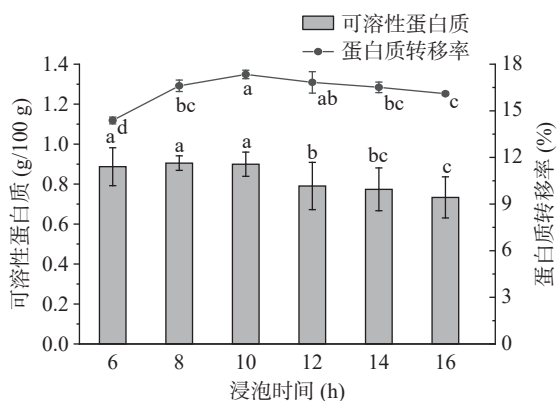


图 2 大豆浸泡时间对豆浆可溶性蛋白质含量、蛋白质转移率的影响

Fig.2 Effect of soybean soaking time on soluble protein content and protein transfer rate of soymilk

注:同一指标不同小写字母表示具有显著性差异, $P<0.05$;图 3、图 5~图 7 同。

空隙增大,浸泡液中 7S 蛋白和 11S 蛋白因浓度差的作用释放,且浸泡时间越长蛋白质损失越多^[3];另一方面,浸泡时间越长,大豆含水量越高^[26],可溶性蛋白质含量越低,因此豆浆中提取的可溶性蛋白质含量越低,这也是 10 h 后蛋白质转移率缓慢降低的原因。

2.3 大豆浸泡时间对豆浆固形物含量的影响

可溶性固形物含量表示还原糖的含量^[27]。如图 3 所示,可溶性固形物含量随着浸泡时间的增加无显著性差异($P>0.05$),陈修红等^[28]也得到此结果。14 h 的豆浆可溶性固形物含量最高,陈修红等^[28]研究发现 12 h 时豆浆的可溶性固形物含量最高,结果不一致的原因可能是制作豆浆的工艺不同(本文使用生浆法,其使用熟浆法)。豆浆的总固形物含量随着浸泡时间的延长呈现下降趋势,大豆浸泡处理 6 h 的豆浆总固形物含量最高。这是由随着浸泡时间的延长,大豆吸水率增大^[17],大豆的含水量变高,其干物质含量降低导致的。可溶性固形物多于总固形物的原因是测定总固形物含量的过程中,氨基酸、糖类、糖醇等豆浆溶液中的溶质在长时间的干燥过程中随水升华散失^[29],因此总固形物含量的结果与实际值相比偏小。

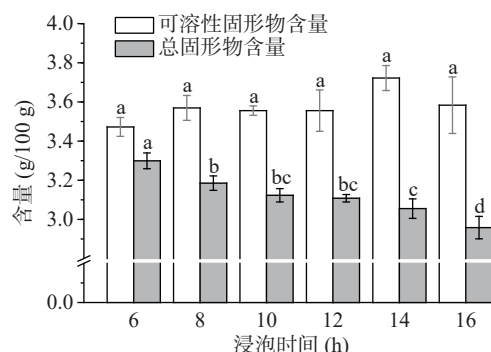


图 3 大豆浸泡时间对豆浆固形物含量的影响

Fig.3 Effect of soybean soaking time on solids content of soymilk

2.4 大豆浸泡时间对豆浆粒径分布的影响

由图 4 可知,6 个时间的豆浆粒径分布趋势大致相同,均分布在 0.1~250 μm 之间,豆浆粒径大都集中在 0.1~1 μm 范围处,且在 0.01~1、1~10、10~100 μm 出现峰值。随着浸泡时间的延长,豆浆粒径在 0.01~1 μm 区间内的体积分布逐渐增加,此区间内浸泡时间 6 h 的豆浆粒径体积累计量最小为 53.46%,浸泡时间 16 h 的豆浆粒径体积累计量最大达到 88.16%。

由表 2 可知,豆浆的粒径存在着较大差异,豆浆体积平均粒径^[4,3]呈现先增大后减小的趋势,10 h 的豆浆体积平均粒径^[4,3]最大,12 h 的豆浆次之,16 h 的豆浆最小。原因是随着浸泡时间的延长大豆组织逐渐软化,提高了细胞在磨浆过程中的破碎程度,蛋白质、脂肪等物质的提取率增高,导致豆浆的体积平均粒径^[4,3]增大;但是在 12、14 h 的豆浆中,由于 1~10 μm 的脂肪-蛋白复合体或者脂肪聚集体^[11]

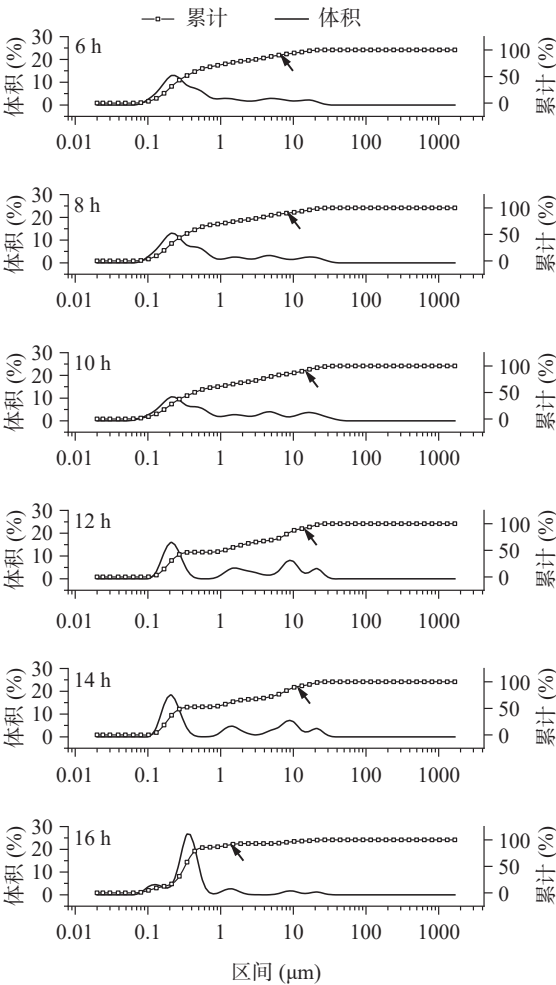


图 4 大豆不同浸泡时间豆浆的粒径分布

Fig.4 Particle size distribution of soymilk with different soybean soaking time

增多,导致体积平均粒径 [4,3] 降低;16 h 的豆浆主要由 0.1~1 μm 的颗粒组成(图 4),其粒径体积累计量在 1 μm 附近已达到 90%,且豆浆总固体物含量显著低于其他时间($P<0.05$),因此其体积平均粒径 [4,3] 最低。而且可溶性蛋白质颗粒大小在 0~40 nm,过长时间的浸泡导致浸泡液中可溶性蛋白质含量损失增加^[3],不利于大豆在磨浆时蛋白质与脂肪的充分乳化,其含量的降低导致体积平均粒径 [4,3] 减小。8、10、12 h 的豆浆体积平均粒径 [4,3] 显著高于 14、16 h 的豆浆($P<0.05$)。说明 8~12 h 的浸泡时间利于磨浆时大豆中营养物质的溶出,豆浆粒径分布均匀。

表 2 大豆不同浸泡时间豆浆的粒径分析

Table 2 Particle size analysis of soymilk with different soybean soaking time

浸泡时间 (h)	面积平均径 [3,2](μm)	体积平均径 [4,3](μm)	中位径(D50) (μm)
6	0.38±0.02 ^{bc}	3.50±1.04 ^{ab}	0.43±0.03 ^b
8	0.39±0.02 ^{bc}	4.34±1.60 ^a	0.48±0.06 ^b
10	0.41±0.01 ^{ab}	5.17±0.87 ^a	0.57±0.01 ^b
12	0.49±0.07 ^a	4.87±0.65 ^a	1.13±0.37 ^a
14	0.31±0.10 ^c	1.69±2.44 ^b	0.31±0.06 ^b
16	0.33±0.03 ^{bc}	0.98±0.46 ^b	0.40±0.03 ^b

2.5 大豆浸泡时间对豆浆黏度的影响

黏度的变化反映了蛋白质分子间作用力的变化,蛋白质属于豆浆溶液中的高分子,豆浆的黏度越高说明蛋白质分子吸引力越强,分子摩擦力越强^[30-31]。如图 5 所示,随着浸泡时间的延长,豆浆黏度呈现先升高后降低的趋势,在大豆浸泡时间为 10 h 的豆浆黏度最高,黏度为 3.42±0.04 cP。王君立等^[21]研究表明蛋白质含量高且蛋白颗粒大的豆浆黏度高。10 h 的可溶性蛋白质含量仅次于 8 h 豆浆,分布于蛋白质粒子表面的酸性多肽与 7S 的 α、α'亚基增加,提高了蛋白质粒子的亲水性,这可能是豆浆黏度增高的一个重要原因^[18]。而且浸泡时间为 6、8、10 h 时豆浆的粒径分布均匀,但是与 6、8 h 豆浆相比,其中 10 h 的体积平均径最大,在 10 μm 后其体积累计量达到 90%(图 4),说明豆浆中粒径大的颗粒占比高,所以转子转动时受到的阻力最大,导致 10 h 的豆浆黏度高。

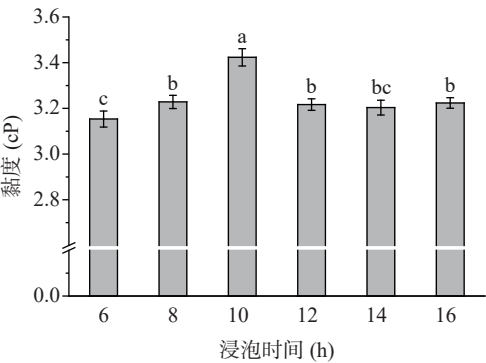


图 5 大豆浸泡时间对豆浆黏度的影响

Fig.5 Effect of soybean soaking time on viscosity of soymilk

2.6 大豆浸泡时间对豆浆稳定性的影响

Jin 等^[1]、李笑梅等^[6]、李若姝等^[32]对豆浆品质提出要求:在满足蛋白质利用率高、风味浓厚、口感细腻的基础上,豆浆应具有一定稳定性。稳定性测定结果如图 6 所示,豆浆稳定性随着浸泡时间的延长呈现先降低后升高的趋势,在大豆浸泡时间为 10 h 的豆浆稳定性显著低于其他时间($P<0.05$)。豆浆的稳定性与颗粒大小有关^[33],豆浆的体积平均粒径随着

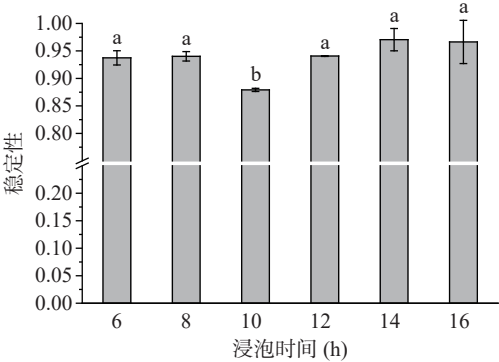


图 6 大豆浸泡时间对豆浆稳定性的影响

Fig.6 Effect of soybean soaking time on stability of soymilk

浸泡时间的延长呈先增大后降低的趋势(表2), 10 h的豆浆体积平均粒径最大, 根据斯托克斯法则^[18], 在一定的黏度和密度下, 粒子的直径越大, 沉降速度也就越大, 稳定性变小, 所以10 h的豆浆稳定性最差。比较6、8和10 h的粒径分布发现大豆浸泡6和8 h得到的豆浆在10 μm 前已达到90%的累计分布, 且10 h的稳定性(0.88)显著低于6和8 h的稳定性(0.94)($P < 0.05$), 因此从豆浆颗粒的粒径分布角度考虑, 6和8 h的豆浆较好, 粒径分布区间小, 同时乳液体系稳定性好。

2.7 大豆浸泡时间对豆浆色差的影响

豆浆呈现的是有光泽的淡黄色或者乳白色, 色差是评判豆浆品质的重要指标之一。如图7所示, 大豆在6~16 h浸泡后的豆浆亮度值 L 分布范围在40.47~42.27, 大豆浸泡时间6 h的豆浆 L 值最高, 其次是10 h的豆浆。 a 值的分布范围-0.96~-0.76为负值, 因此豆浆颜色呈偏微弱的绿色^[22], 随着浸泡时间的延长豆浆 a 值增加, 说明浸泡使豆浆绿色程度减小, 逐渐偏向暖色调红色。这是浸泡时间的增加,

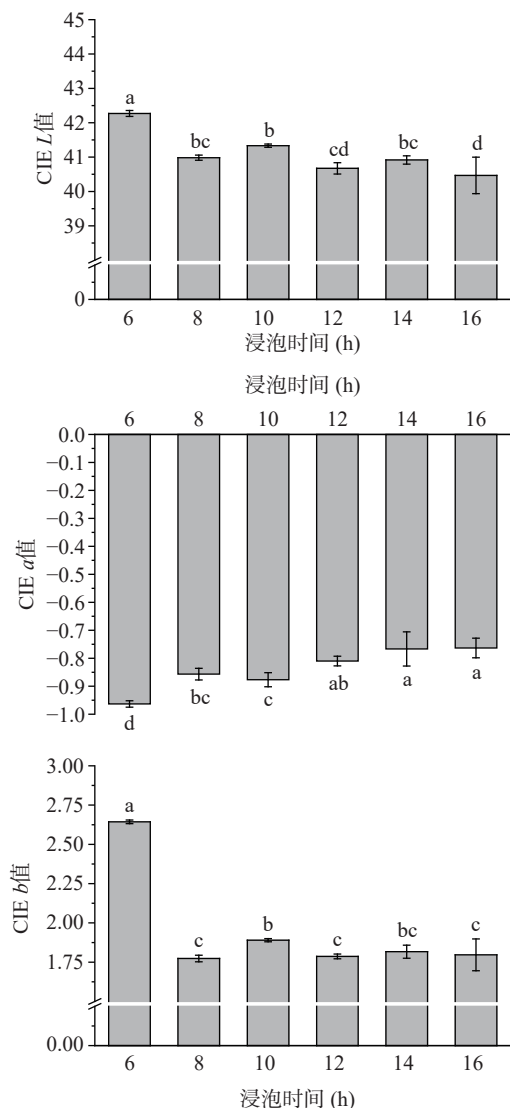


图7 大豆浸泡时间对豆浆色差的影响

Fig.7 Effect of soybean soaking time on soymilk color

豆浆中提取的绿色色素浓度降低导致的^[7]。 b 值的分布范围1.77~2.64为正, 大豆浸泡时间8 h的豆浆 b 值最低, 其次是12 h的豆浆。8 h的豆浆的黄色最浅, 可接受度高, 但是与6 h相比其亮度低, 这可能是8 h的蛋白质含量和可溶性固形物含量高, 豆浆加热过程中发生美拉德反应引起较明显的褐变导致的^[30]。

根据以上结果可知, 6 h豆浆的总固形物含量高, 但其蛋白质转移率低, 亮度值高但颜色偏黄; 8 h豆浆的蛋白质含量最高, 总固形物含量仅次于6 h的豆浆, 颜色呈浅黄色, 亮度却最低; 10 h豆浆的体积平均粒径最大, 黏度最高, 但其稳定性差; 超过10 h后豆浆的可溶性蛋白质含量、蛋白质转移率、总固形物含量、体积平均粒径均呈现降低趋势, 且12、14、16 h的豆浆的黏度和稳定性均与8 h的豆浆并无显著差异($P > 0.05$)。可以判断出浸泡8 h制得的豆浆理化品质相对较好。

2.8 大豆浸泡时间对豆浆感官评价的影响

一般认为, 如果评分小组成员对豆浆某一指标的评价结果差异不大, 则该指标对区分豆浆质量的能力较弱, 反之就偏强; 因此可由变异系数计算豆浆的客观权重值, 综合主观、客观得到的权重更加让人信服^[22]。色泽、香气、润滑度、口感浓度、滋味的权重值由所有豆浆的感官评分来确定。由图8可知, 在豆浆的五项感官指标中, 色泽的主观权重值最高, 客观权重值最低, 分别为0.2219和0.1074; 说明外观颜色对于豆浆的选择非常重要, 同时也是小组成员对豆浆产品的颜色较为满意, 造成了总体评分偏高; 口感浓度在客观权重值中最高, 在主观权重值中最低, 分别为0.3039和0.1794。综合权重值由高到低依次为口感浓度、滋味、香气、润滑度、色泽, 这与陈聪^[22]得到的结果相似。

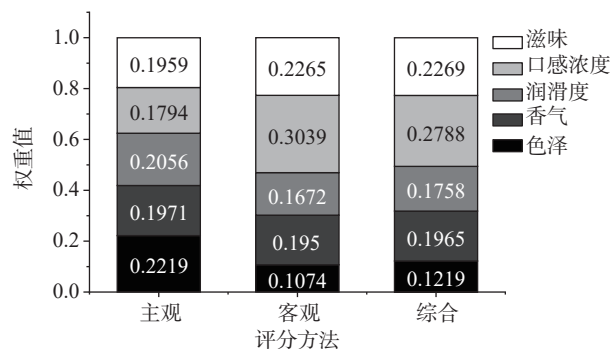


图8 归一化处理后5个感官评价指标的权重值

Fig.8 Weight values of five sensory evaluation indexes after normalization

将指标正向化、无量纲化后, 计算不同浸泡时间的豆浆质量优异情况如图9所示。随着大豆浸泡时间的延长豆浆的感官评分值降低, 8和10 h的豆浆评分优于其他时间的豆浆, 其中8 h的豆浆滋味、香气、色泽突出, 10 h的豆浆润滑度和口感浓度突出。8 h豆浆的色泽得分最高, 且色差 b 值最低(见图7),

说明黄色越浅的豆浆更受到专家的喜欢。10 h 的豆浆黏度高(见图 5), 豆浆易黏附在口腔壁上, 停留时间长^[12], 口感醇厚, 因此其口感浓度得分高。

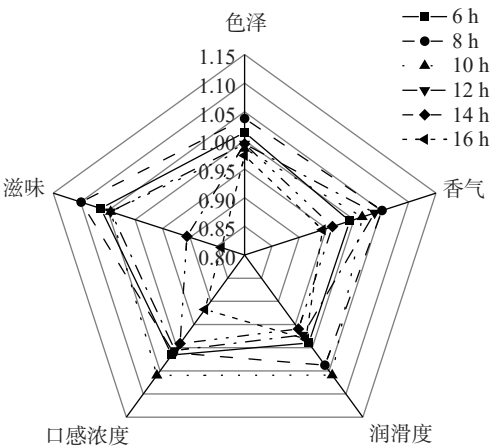


图 9 大豆不同浸泡时间豆浆的感官评分雷达图
Fig.9 Sensory score radar charts of soymilk with different soybean soaking time

采用线性综合法、几何综合法和混合综合法^[22]对不同豆浆的感官评分计算结果见表 3。由表 3 可知, 8 h 浸泡处理的豆浆评价值最高, 其次是 10 h 浸泡处理的豆浆。大豆浸泡 12 h 后吸水达到平衡^[17], 但是随着浸泡时间的延长, 感官评分值却降低, 主要是滋味和口感浓度降低, 这是因为 14、16 h 浸泡处理的豆浆总固形物含量显著低于其他样品($P<0.05$)。根据感官评分结果, 选择 8 h 浸泡大豆作为制作豆浆

的最佳处理时间, 与豆浆理化特性判断的结果一致。

表 3 大豆不同浸泡时间豆浆的综合评分值及排序
Table 3 Comprehensive score and ranking of soymilk with different soybean soaking time

浸泡时间 (h)	线性综合值	排序	几何综合值	排序	综合评分值	最终排序
6	1.0171	3	1.0167	3	1.0169	3
8	1.0468	1	1.0464	1	1.0466	1
10	1.0385	2	1.0382	2	1.0384	2
12	1.0137	4	1.0133	4	1.0135	4
14	0.9604	5	0.9599	5	0.9602	5
16	0.9234	6	0.9220	6	0.9227	6

2.9 大豆水分组成与豆浆理化特性和感官评价之间的相关性分析

由图 10 可知, 浸泡时间与大豆水分组成比例存在显著相关性: 浸泡时间与大豆结合水占比、自由水占比达到显著负相关水平($r=-0.9638^{**}$ 、 -0.8241^{*}), 与吸附水占比达到显著正相关水平($r=0.9391^{**}$)。浸泡时间与豆浆可溶性蛋白质达到显著相关水平($r=-0.9122^{*}$); 与豆浆总固形物含量达到极显著相关水平($r=-0.9726^{**}$); 与豆浆色差 L 、 a 分别呈显著相关 -0.8238^{*} 、 0.9385^{**} , 表明浸泡时间影响豆浆品质, 研究浸泡时间对豆浆品质的影响具有意义。大豆水分组成比例与豆浆理化特性存在显著相关性: 大豆结合水占比与可溶性蛋白质含量呈显著正相关($r=0.8634^{*}$), 与总固形物含量呈极显著正相关($r=0.9334^{**}$); 大豆吸附水占比与可溶性蛋白质含量呈显著负相关

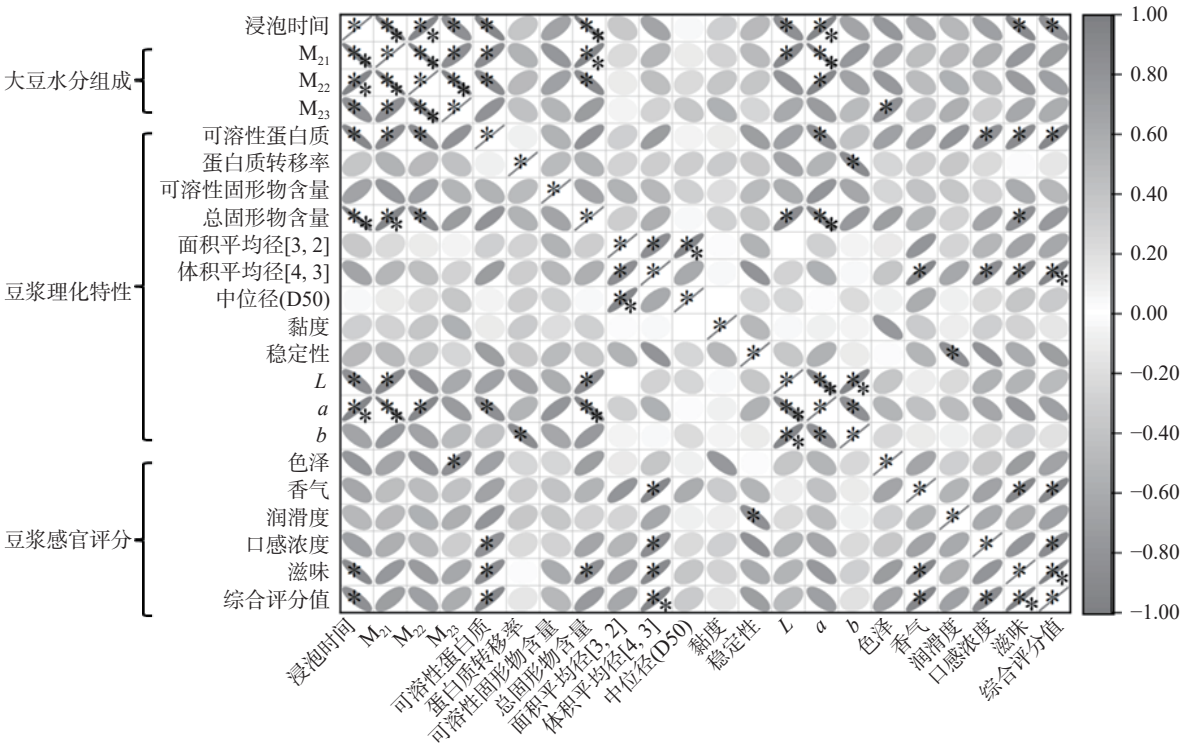


图 10 大豆浸泡时间与豆浆品质的相关性分析

Fig.10 Correlation analysis between soybean soaking time and soymilk quality

注: 图中椭圆“/”方向表示两个指标呈正相关, 椭圆“\”方向表示两个指标呈负相关; 颜色深浅表示相关系数的大小, 颜色越深, 相关系数的绝对值越大; **代表 $P<0.01$ 、*代表 $P<0.05$ 。

($r=-0.8758^*$),与总固形物含量呈显著负相关($r=-0.8799^*$),这是因为结合水与蛋白质、淀粉等大分子紧密结合;大豆吸附水以氢键方式与大分子结合,浸泡时间越长,吸附水占比增加,对蛋白质、多糖等大分子的束缚力增强而不易溶解在水中^[34],因此导致可溶性蛋白质、总固形物含量降低。大豆自由水不受大豆组织细胞内大分子的吸附,能够自由移动^[23],因此与可溶性蛋白质含量、总固形物含量相关性不显著($P>0.05$)。

豆浆的总固形物含量与浸泡时间达到极显著负相关水平($r=-0.9726^{**}$),与色差 L 、 a 值呈显著相关,相关系数分别为 0.8690^* 、 -0.9272^{**} ;与感官评价中色泽评分值呈正相关但并不显著($r=0.7308$),这说明缩短浸泡时间,有利于增加豆浆的总固形物提取率,提高豆浆亮度值,降低豆浆红蓝值,更容易让消费者接受^[22]。豆浆的面积平均粒径、体积平均粒径、中位粒径均与浸泡时间呈负相关,但相关性均不显著,相关性分别为 -0.3437 、 -0.6431 、 -0.0214 ,说明粒径的特征值并不能呈现整体的颗粒大小情况,需要结合粒径分布曲线判断豆浆的颗粒组成情况。豆浆感官评价的五项指标均与浸泡时间呈负相关,其中滋味评分值与浸泡时间呈显著负相关($r=-0.8860^*$),说明缩短浸泡时间有利于降低豆浆的涩味^[35],提升豆浆的滋味。豆浆的稳定性与润滑度呈显著负相关($r=-0.8265^*$);与可溶性蛋白质含量、总固形物含量、粒径和黏度均呈负相关,未达到显著相关水平,说明豆浆的稳定性不能仅从豆浆组成和颗粒间的相互作用进行判断,李笑梅等^[6]的研究也证明豆浆稳定性与其他品质指标的相关性不显著,不具有明显的规律。

3 结论

通过对大豆水分组成、豆浆理化特性及感官品质的变化研究发现:随浸泡时间的延长,吸附水的占比增加,结合水占比降低,种子内水分自由度增加,流动性增强。缩短浸泡时间提升了豆浆的总固体提取率,改善了豆浆亮度和滋味,有利于提高豆浆的品质。浸泡处理 8 h 制得的豆浆综合品质最好:豆浆滋味、香气、色泽突出,感官评分值最高;可溶性蛋白质含量 $0.905\text{ g}/100\text{ g}$,粒径分布均匀,乳液体系稳定性高于 0.90 ;豆浆呈浅黄色,消费者接受度高,但是因具有较低的黏度而口感评分低于 10 h 豆浆。

大豆水分组成、豆浆理化特性及感官品质之间存在着复杂相关关系,其中结合水占比、可溶性蛋白质含量、总固形物含量、色差 L 值存在显著性正相关关系($P<0.05$),感官评价、可溶性蛋白质含量、总固体物含量、豆浆体积平均粒径存在显著性正相关关系($P<0.05$),浸泡后大豆的结合水占比越高,吸附水占比越低,豆浆营养物质提取率越高,豆浆的感官得分越高,综合品质好。

License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] JIN X, CHEN C, GUO S, et al. Analysis on physicochemical and sensory qualities of soymilk prepared by various cultivars: Application of fuzzy logic technique[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(6): 1635–1641.
- [2] KAHARSO V C, MUHOZA B, KONG X, et al. Quality improvement of soymilk as influenced by anaerobic grinding method and calcium addition[J]. *Food Bioscience*, 2021, 42: 101210.
- [3] LI X, LIU X, HUA Y, et al. Effects of water absorption of soybean seed on the quality of soymilk and the release of flavor compounds[J]. *Royal Society of Chemistry*, 2019, 9(6): 2906–2918.
- [4] 郭晓菲, 郭琪琪, 林晓姿, 等. 脱皮大豆等温吸水模型与复水磨浆工艺参数优化[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(13): 207–211, 226. [GUO Xiaofei, GUO Qiqi, LIN Xiaozhi, et al. Isothermal water absorption model of peeled soybean and optimization of process parameters of rehydration[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(13): 207–211, 226.]
- [5] 董巧. 家用豆浆机制浆工艺优化及豆浆营养和感官品质评价体系的建立[D]. 扬州: 扬州大学, 2016. [DONG Qiao. Optimization of household soy milk machine pulp process and establishment of soy milk nutrition and sensory quality evaluation system[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016.]
- [6] 李笑梅, 邢竺静, 赵廉诚, 等. 基于主成分与聚类分析法的制备豆浆用大豆的品质指标综合评价[J]. *食品科学*, 2020, 41(15): 64–71. [LI Xiaomei, XING Zhuqing, ZHAO Liancheng, et al. Comprehensive evaluation of soybean milk dedicated soybean quality based on principal component and cluster analysis[J]. *Food Science*, 2020, 41(15): 64–71.]
- [7] XU L, CHEN L, SUN W. Effects of soaking and tempering temperature on microstructure and mechanical properties of 65Si2MnWE spring steel[J]. *Vacuum*, 2018, 154: 322–332.
- [8] 石彦国, 李刚, 胡春林, 等. 大豆浸泡过程质构变化及其对豆腐质量的影响[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 167–169. [SHI Yanguo, LI Gang, HU Chunlin, et al. Effect of soaking time on the quality of tofu[J]. *Food Science*, 2006, 27(12): 167–169.]
- [9] BABALOLA F, FAJOYE O. Temperature and time model for optimum nutritional contents in soymilk processing[J]. *European Journal of Biology and Biotechnology*, 2021, 2: 45–50.
- [10] 崔亚丽, 李莹莹, 栾广忠, 等. 豆浆粒径与豆浆品质的关系研究[J]. *大豆科学*, 2012, 31(1): 103–107. [CUI Yali, LI Yingying, LUAN Guangzhong, et al. Relationship between particle size and quality of soymilk[J]. *Soybean Science*, 2012, 31(1): 103–107.]
- [11] 陈军, 方锐琳, 梁亚桢, 等. 全豆豆浆的高压射流磨制备工艺及贮藏稳定性研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 173–181. [CHEN Jun, FANG Ruilin, LIANG Yazhen, et al. Study on preparation and storage stability of whole soybean milk by high-pressure microfluidizer[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(19): 173–181.]
- [12] 吕玉翠. 豆浆和大豆浓缩蛋白乳的热处理对其品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2013. [LÜ Yucui. Effect of thermal processes on the quality of soymilk and soy protein concentrate milk[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.]
- [13] 李惠纳. 种子内源性蛋白酶在大豆加工中的运用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021. [LI Huina. Study on the applications of seed endogenous proteases in soybean processing[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.]

- [14] 姜雷. 多重预处理工艺对豆浆抗营养因子与品质影响研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019. [JIANG Lei. Effect of multiple pretreatment processes on anti-nutritional factors and quality of soymilk[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2019.]
- [15] 杨蕊莲. 豆浆工艺优化及预处理对其品质影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016. [YANG Ruilian. Study on optimization of soymilk processing and effect of different pretreatment on the quality of soymilk[D]. Chongqing: Southwest University, 2016.]
- [16] 李鹏. 黑豆吸水模型及预熟化过程结构变化的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020. [LI Peng. Study on water absorption model and structural changes during precooking of black beans[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.]
- [17] LIMA F S D, KUROSZAWA L E, IDA E I. The effects of soybean soaking on grain properties and isoflavones loss[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 59: 1274–1282.
- [18] 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.]
- [19] KAMIZAKE N K K, SILVA L C P, PRUDENCIO S H. Effect of soybean aging on the quality of soymilk, firmness of tofu and optimum coagulant concentration[J]. *Food Chemistry*, 2016, 190: 90–96.
- [20] 李琪, 李云龙, 李红梅, 等. 苦荞浓浆饮料稳定性技术研究[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(3): 114–118. [LI Qi, LI Yunlong, LI Hongmei, et al. Study on the stability technology of tartary buckwheat thick beverage[J]. *Cereals and Oils*, 2023, 36(3): 114–118.]
- [21] 王君立, 唐传核, 周志红, 等. 微生物转谷氨酰胺酶促豆腐质构性质研究[J]. 粮食加工, 2006(3): 77–80. [WANG Junli, TANG Chuanhe, ZHOU Zhihong, et al. The study on the texture of microbial transglutaminase tofu[J]. *Grain Processing*, 2006(3): 77–80.]
- [22] 陈聪. 豆浆熟浆关键工艺及熟制过程美拉德反应的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013. [CHEN Cong. Study on the key technology of cooked-slurry soymilk and Maillard reaction during heating treatment[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.]
- [23] 滕文静. 大豆萌发对其营养成分及豆腐制品品质的影响研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019. [TENG Wenjing. Effects of soybean germination on nutritional components and quality of tofu products[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2019.]
- [24] 张瑞迪. 大豆储藏期间结露发生发展规律及对品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021. [ZHANG Ruidi. Law of occurrence and development of dew condensation during storage of soybean and its influence on quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021.]
- [25] PENG X, REN C, GUO S. Particle formation and gelation of soymilk: Effect of heat[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2016, 54: 138–147.
- [26] JOMDUANG S, BUNTHAWONG O. Optimal pre-treatment processes for microwavable puffed job's tears grains[J]. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 2019, 18(1): 107–121.
- [27] 李明, 赵良忠, 李新社, 等. 响应面法优化葛根酸豆奶配方[J]. 食品工业科技, 2017, 38(23): 151–158. [LI Ming, ZHAO Liangzhong, LI Xinshe, et al. Optimizing the formula for Puerarin radix fermented soymilk by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(23): 151–158.]
- [28] 陈修红, 赵镭, 董巧, 等. 响应面法优化家用豆浆机湿豆制浆工艺[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 197–201. [CHEN Xiuhong, ZHAO Lei, DONG Qiao, et al. Pulping process optimization of domestic soybean milk machine by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(1): 197–201.]
- [29] 秦贯丰, 丁中祥, 原姣姣, 等. 苹果汁冷冻浓缩与真空蒸发浓缩效果的对比[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 102–109. [QIN Guan-feng, DING Zhongxiang, YUAN Jiaojiao, et al. Comparative experimental study on freeze concentration and vacuum evaporation concentration of apple juice[J]. *Food Science*, 2020, 41(7): 102–109.]
- [30] WANG X B, CHI Y. Microwave-assisted phosphorylation of soybean protein isolates and their physicochemical properties[J]. *Czech Journal of Food Sciences*, 2018, 30: 99–107.
- [31] 李良, 田甜, 王冬梅, 等. 超声处理对豆浆流变学特性和微观结构的影响研究[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 110–115. [LI Liang, TIAN Tian, WANG Dongmei, et al. Effect of ultrasonic treatment on the rheological properties and microstructure of soybean milk[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(2): 110–115.]
- [32] 李若姝, 刘香英, 田志刚, 等. 大豆品种籽粒品质对豆浆加工特性的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(1): 50–55. [LI Ruoshu, LIU Xiangying, TIAN Zhigang, et al. Effect of soybean varieties quality characteristics on soymilk processing quality[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2017, 42(1): 50–55.]
- [33] 梁亚桢. 全豆豆浆及速溶全豆粉产品研发[D]. 南昌: 南昌大学, 2020. [LIANG Yazheng. Research and development of whole soybean milk and instant thole soymilk powder[D]. Nanchang: Nanchang University, 2020.]
- [34] 代伟长, 胡耀辉, 于寒松, 等. 基于低场核磁技术研究不同方法处理豆渣的水分分布[J]. 中国食品学报, 2018, 18(8): 260–266. [DAI Weichang, HU Yaohui, YU Hansong, et al. The water distribution in the bean dregs by different processing treatments based on low-field nuclear magnetic resonance[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(8): 260–266.]
- [35] 唐文义. 大豆品种及处理措施与豆浆品质关系研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014. [TANG Wenyi. Research on the relationship of soybean cultivars treatment and soybean milk quality[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014.]