基于模糊感官评价的大豆品种对豆浆加工品质影响分析

金雪花[1]，郭顺堂[1]，陈　辰[1]，栾晓燕[2]，张　惠[1,*]
（1.中国农业大学食品科学与营养工程学院，植物蛋白与谷物加工北京市重点实验室，北京　100083；
2.黑龙江省农业科学院大豆研究所，黑龙江 哈尔滨　150000）

摘　要：以黑龙江产区6 个大豆品种为原料，测定了大豆籽粒的百粒质量和粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷水平等理化指标以及加工制成豆浆的得率、理化品质，并基于模糊感官评价方法分析了不同品种大豆的豆浆感官品质，进一步分析了大豆籽粒与豆浆理化指标和感官品质之间的相关性。结果表明：6 个大豆品种中‘中龙606’制得的豆浆综合感官品质最佳，且具有甜度高、豆香味浓郁、色泽良好、豆腥味和涩感相对较弱的特点；在现有的品种中蛋白质量分数低于40%，且脂肪质量分数较高的品种更有利于加工高品质豆浆。

关键词：大豆；豆浆；理化指标；模糊感官评价

Soymilk Processing Properties of Soybean Varieties Based on Fuzzy Sensory Evaluation

JIN Xuehua[1], GUO Shuntang[1], CHEN Chen[1], LUAN Xiaoyan[2], ZHANG Hui[1,*]
(1. Beijing Key Laboratory of Plant Protein and Cereal Processing, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing　100083, China;
2. Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin　150000, China)

Abstract: Six soybean varieties from Heilongjiang province were selected to determine their own physicochemical characteristics (100-seed mass as well as protein, fat, calcium and phosphorus contents) and those of soymilk made from each of them (including yield). The sensory quality of soymilk was analyzed by fuzzy logic. Besides, the correlation between seed mass and soymilk sensory quality and soybean physicochemical indexes was analyzed. Soymilk made from ‘Zhonglong 606’ had the best sensory quality as demonstrated by its high sweetness, strong soybean-like flavor, good color, and weak beany odor and astringency. The varieties containing less than 40% protein content and higher oil content were more suitable to processing high-quality soymilk.

Keywords: soybean; soymilk; physicochemical indexes; fuzzy sensory evaluation
DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180805-042
中图分类号：TS214.2　　文献标志码：A　　文章编号：1002-6630（2019）17-0059-06
引文格式：
金雪花, 郭顺堂, 陈辰, 等. 基于模糊感官评价的大豆品种对豆浆加工品质影响分析[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 59-64. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180805-042.　http://www.spkx.net.cn
JIN Xuehua, GUO Shuntang, CHEN Chen, et al. Soymilk processing properties of soybean varieties based on fuzzy sensory evaluation[J]. Food Science, 2019, 40(17): 59-64. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180805-042. http://www.spkx.net.cn

豆浆是我国传统的植物蛋白饮料，它是大豆经浸泡、加水磨浆、过滤除渣和煮浆等过程制备的大豆水提物，是由蛋白质、脂肪、糖类、无机盐等构成的复杂胶体分散体系[1-2]。目前，生产加工中缺少能够全面反映豆浆质量特点优质品种的选择依据或规范，原料混杂造成产品品种稳定性差，缺乏市场竞争力，不能满足精深加

收稿日期：2018-08-05
基金项目：“十三五”国家重点研发计划项目（2016YFD0100201-25）；国家自然科学基金自由申请项目（31772004）
第一作者简介：金雪花（1995—）（ORCID: 0000-0002-2273-8941），女，硕士，研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: jinxh122@126.com
*通信作者简介：张惠（1963—）（ORCID: 0000-0002-8615-6131），女，副教授，硕士，研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: zhanghui@cau.edu.cn

工的需求。大豆的组成成分如蛋白质、脂肪及部分小分子物质是决定豆浆品质的重要因素，而大豆的各组成成分对于豆浆综合品质的影响非常复杂，不可依赖于单一或简单的指标来完整地判断加工产品的质量[3]。Poysa等[4]研究表明籽粒蛋白质含量是豆浆得率和总固形物含量的主要决定因素。李若姝等[5]研究表明，豆浆得率与百粒质量呈显著负相关，与总固形物转移率呈显著正相关；球蛋白11S/7S与蛋白质转移率呈显著正相关，与感官评分呈显著负相关。Ma Lei等[6]分析了70 种基因型大豆的品质特点对豆浆感官特性的影响，结果表明豆浆感官整体接受度与大豆可溶性固形物、油脂含量呈正相关，而与蛋白含量、大豆黄素含量呈负相关。Shi Xiaodi等[7]通过影响豆浆风味关键性理化指标的聚类分析，将67 个大豆品种分为3 类，并对风味特征物质进行主成分分析，得到了豆浆品质的预测判别和综合评价模型，该研究成果从豆浆风味角度为选择大豆原料提供了指导。

目前，用于豆浆感官品质评价的方法大多是传统的感官评分法，但此种方法易受到感官评价者主观因素的干扰，结果易出现离散度较大的情况，且样品较多时，易出现评价指标的平均值相同、难以较好地区分样品排名等情况，而通过模糊数学可以构建影响食品感官质量的多因素与评价指标的数学关系来建立较为理想化的评价模型，从而实现对感官品质的定量，进而实现评价指标等级的综合评定，可减少评价主体间的主观误差[8-12]。

本实验以6 个品种大豆为原料，测定了大豆籽粒的百粒质量和蛋白质、脂肪、钙、磷含量等理化指标以及加工制成豆浆的得率、理化品质等，并利用模糊感官评价方法分析了不同品种大豆的豆浆感官品质，明确了6 种大豆中豆浆感官品质最优品种以及大豆籽粒和豆浆的理化指标对豆浆感官品质的影响，进而为大豆品种选育、豆浆品质评价技术以及豆浆加工业选购大豆等方面提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

共选取了黑龙江产区产量较高、品质优良的6 种大豆品种：‘黑农48’、‘黑农69’、‘黑农83’、‘黑农84’、‘黑农87’和‘中龙606’，由黑龙江省农业科学院提供，均为2017年秋季收获，于－18 ℃冰柜中保存备用。

氢氧化钠、盐酸、硼酸、浓硫酸、石英砂、硫酸铜、硫酸钾等　北京化学试剂公司；消泡剂　常州三蜂食品添加剂有限公司；所有化学试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

JYL-350A打浆机　山东九阳小家电有限公司；GF-300千分之一电子天平　日本A&D公司；AY220万分之一电子天平　日本岛津公司；K1100全自动凯氏定氮仪　济南海能仪器股份有限公司；250mL索氏脂肪提取器　北京博诺欣科技有限公司；BHG-9140A恒温干燥箱　上海一恒科技有限公司；R/S+流变仪　美国博勒飞公司；IH-P10电磁炉　南海市富士宝家用电器有限公司；SX4-10马弗炉　北京科伟永兴仪器有限公司；SHI-III循环水真空泵　上海亚荣生化仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 大豆籽粒理化成分的测定

百粒质量：参照GB/T 5519—2018《谷物与豆类　千粒重的测定》中的方法。每个品种随机选取100 粒大豆，称质量，实验重复进行3 次，结果取平均值。

灰分质量分数：参照GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的方法进行。

粗蛋白质量分数：参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的方法进行。

粗脂肪质量分数：参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的方法进行。

钙含量和磷含量：参照GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中的方法进行。

1.3.2 豆浆品质的测定

1.3.2.1 豆浆的制备

原料大豆去除残次品、泥土和石粒，自来水清洗3 次除去杂质、尘土，再用去离子水漂洗2 次，以大豆干质量与去离子水体积比为1∶3在4 ℃下浸泡15 h，使大豆充分溶胀，以大豆干质量与离子水体积比为1∶7打浆，打20 s停10 s，共3 min。加少量复合消泡剂，静置5 min，在铺有1 层脱脂棉和1 层尼龙网的布氏漏斗中真空抽滤收集备用。将以上方法制备的豆浆水浴搅拌加热，至豆浆内部温度上升至95 ℃后保持5 min，置于冷水浴中冷却至室温，备用[13]。

1.3.2.2 豆浆质量得率

准确称取约50 g大豆并记录其质量m_1，采用1.3.2.1节的方法制备豆浆，所得质量记为m_2，豆浆的质量得率按式（1）计算，结果以100 g大豆得到的豆浆质量计。

$$豆浆质量得率/（g/100\ g）=\frac{m_2}{m_1}\times 100 \quad （1）$$

1.3.2.3 豆浆蛋白质量浓度

按照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中规定的方法测定。

1.3.2.4 豆浆总固形物质量分数

称取约2 g石英砂于称量瓶中，放入105 ℃烘箱中烘至恒质量，并称质量记为m_0。称取一定质量制备好的豆

浆（m_1）加入烘至恒质量的称量瓶中，摇晃均匀后，放入105 ℃烘箱中烘至恒质量，放入干燥器中冷却至室温后，称质量记为m_2。豆浆总固形物质量分数按式（2）计算。

$$豆浆总固形物质量分数/\%=\frac{m_2-m_0}{m_1}\times 100 \quad (2)$$

1.3.2.5 豆浆黏度

参照李菊芳等[14]的方法，采用博勒飞R/S＋流变仪（扭矩0.05～50.00 mN・m，扭矩分辨率0.01 mN・m）进行流变性的测定。用同轴同柱体系测试系统中DG转子（黏度范围1.0～1.9×10^4 mPa•s，剪切率0～5 039 s^{-1}）测定样品。剪切率范围为0～2 000 s^{-1}，测定时间60 s，每隔1 s记录黏度。该仪器扭矩分辨率为0.01 mN・m，即剪切扭矩大于0.1%时数值真实可信；且在检测开始4 s内，样品黏度变化有一个明显的突增和突降趋势。为避免这一变化给所有检测结果带来的影响，本实验结果中所有黏度数据选取剪切扭矩大于0.1%和剪切时间4 s之后的检测数值。

1.3.2.6 豆浆酸度

参考GB 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》中的第一法进行测定。将豆浆摇匀后准确称取10 g置于150 mL锥形瓶中，加20 mL去离子水，混匀，加入2.0 mL酚酞指示液，混匀后用0.1 mol/L氢氧化钠标准溶液滴定，边滴加边转动烧瓶，直到颜色与参比溶液的颜色相似（粉红色），且5 s内不消退。整个滴定过程应在45 s内完成。参比溶液：将3 g七水硫酸钴溶解于水中，并定容至100 mL。酸度以100 g样品所消耗的0.1 mol/L氢氧化钠体积计，即mL/100 g。

1.3.3 豆浆感官评价及模糊数学分析方法

感官评定人员由10 名食品专业研究生组成，分别对6 个大豆品种豆浆的滋味、外观、气味、口感4 个指标进行感官评价。滋味指标中包括甜度、苦味和涩感，外观指标为色泽，气味指标中包括豆香味和豆腥味，口感指标中包括浓厚感和润滑度。所有指标分为“好”、“较好”和“差”3 个等级，感官评价标准如表1所示。所有样品均采用统一的容器盛装并采用3 位数字随机编号，感官鉴评人员要求身体健康，嗅觉、味觉等正常，对豆浆无过敏症状且在检验开始前1 h内禁烟，避免吃浓香食物、糖果、口香糖等引起后味拖延的食物。

本研究以豆浆的滋味（U_1）、外观（U_2）、气味（U_3）、口感（U_4）为感官评价指标，因此得到豆浆模糊感官分析的因素集为$U=\{U_1, U_2, U_3, U_4\}$。评语集是被评对象所属质量级别的集合。经过评定小组讨论，确定豆浆评价等级为“好”（V_1）、“较好”（V_2）、“差”（V_3），得到豆浆的评语集$V=\{V_1, V_2, V_3\}=\{90, 70, 50\}$；确定豆浆感官指标的权重集为$R=\{R_1, R_2, R_3, R_4\}=\{0.4, 0.1, 0.3, 0.2\}$，即滋味占0.4、外观占0.1、气味占0.3、口感占0.2。模糊数学综合评定为$Y=R\times \boldsymbol{y}$，其中R为权重集，$\boldsymbol{y}$为模糊数学矩阵；其中$\boldsymbol{y}$为各因素每一种评语的人数除以总评定人数。

表 1 豆浆感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of soymilk

指标（分值）		评价标准（分值）		
		好（90）	较好（70）	差（50）
滋味（40）	甜度（15）	具有豆浆固有的甜味（11～15）	甜味较淡（6～10）	无甜味（1～5）
	苦味（10）	无苦味（7～10）	稍有苦味（4～6）	苦味重（1～3）
	涩感（15）	无涩感（11～15）	稍有涩感（6～10）	涩感重（1～5）
外观（10）	色泽（10）	均匀一致乳白色或淡黄色（7～10）	较均一的乳白色或淡黄色（4～6）	呈灰暗或其他异色（1～3）
气味（30）	豆香味（15）	豆浆固有的纯正香气较为浓厚（11～15）	豆香味平淡（6～10）	无香气（1～5）
	豆腥味（15）	无豆腥味（11～15）	略有焦糊味和豆腥味（6～10）	浓重的焦糊味或豆腥味（1～5）
口感（20）	浓厚感（10）	口感浓厚（7～10）	口感较稀薄（4～6）	口感稀薄（1～3）
	润滑度（10）	入口细腻，无颗粒感（7～10）	入口略有颗粒感（4～6）	入口颗粒感明显，粗糙（1～3）

1.4 数据处理

所有实验重复3 次，记录所得数据。采用Excel 2010软件进行数据统计和分析，采用SPSS 22.0软件进行单因素方差分析，$P<0.05$表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 大豆籽粒中理化成分及含量

表 2 大豆籽粒基础理化成分

Table 2 Physicochemical indexes of soybean varieties

品种	百粒质量/g	灰分质量分数/%	粗蛋白质量分数/%	粗脂肪质量分数/%	磷含量/（mg/100 g）	钙含量/（mg/100 g）
黑农48	22.33±1.24^{abc}	4.89±0.04^{b}	42.15±0.11^{a}	20.56±0.06^{c}	611.70±15.41^{b}	156.30±0.71^{d}
黑农69	20.81±0.51^{c}	4.80±0.04^{c}	42.31±0.10^{a}	20.70±0.07^{c}	600.45±1.77^{bc}	221.25±7.00^{a}
黑农83	23.73±0.60^{a}	4.62±0.01^{d}	39.51±0.25^{b}	20.81±0.06^{c}	589.55±3.32^{c}	139.50±1.41^{e}
黑农84	21.28±0.10^{bc}	5.04±0.03^{a}	39.58±0.36^{b}	20.92±0.11^{c}	645.05±0.92^{a}	166.75±2.62^{c}
黑农87	22.75±0.40^{ab}	4.59±0.01^{d}	36.01±0.75^{d}	24.45±0.54^{a}	555.80±2.69^{d}	181.35±1.06^{b}
中龙606	22.21±0.88^{abc}	4.47±0.00^{e}	37.19±0.34^{c}	22.78±0.09^{b}	542.40±6.51^{d}	145.85±1.20^{e}

注：同列小写字母不同表示差异显著（$P<0.05$）。下同。

如表2所示，6 种大豆的百粒质量范围为20.81～23.73 g，灰分质量分数为4.47%～5.04%，粗蛋白质量分数为36.01%～42.31%，粗脂肪质量分数为20.56%～24.45%，磷含量为542.00～645.05 mg/100 g，钙含量为145.85～221.25 mg/100 g。6 种大豆籽粒的百粒质量均大于20 g，根据NY/T 1933—2010《大豆等级规格》中的规定，实验大豆属于中大粒大豆。在大豆食品工业先进成熟的日本市场，人们普遍认为制备豆浆用大豆品种应具有粒大且圆，中高蛋白质和糖分含量高、亚麻酸成分低等品质[15]。‘黑农48’和‘黑农69’的粗蛋白质

量分数大于40%，按照GB 1352—2009《大豆》中的规定，这2 种大豆属于高蛋白品种。一般来说，蛋白含量高的大豆制得的豆浆蛋白含量也较高[16]。6 种大豆品种的脂肪质量分数均大于20%，属于高油品种，符合东北产区大豆含油量较高的特性，且脂肪质量分数与粗蛋白质量分数之间呈极显著负相关（r＝－0.896，P＜0.01）。大豆中的磷主要是以植酸-磷的形式存在，磷含量与大豆植酸的含量几乎呈线性相关（磷含量＝0.141＋0.273×植酸含量）[17]。植酸与蛋白的竞争性结合使7S球蛋白的α/α'亚基及11S球蛋白的酸性多肽和碱性多肽的结合量减少，蛋白粒径变小，大粒径聚合体总量降低，粒子表面电位增强，从而改善豆浆的稳定性[18]。6 种大豆中磷含量最高的品种为‘黑农84’，可推测该品种豆浆具有较好的稳定性。唐文义[19]的研究表明大豆籽粒中的钙含量与豆浆中的钙含量呈极显著正相关，因此挑选钙含量较高品种更有利于高钙豆浆的开发。按照我国《预包装食品营养标签通则》规定，每100 g固体食品中钙含量≥240 mg时可标为高钙食品，所测6 种大豆品种中‘黑农69’的钙含量最高，较接近规定的数值。

2.2 豆浆品质分析结果

表 3 大豆豆浆基础理化指标

Table 3 Physicochemical parameters of soymilks made from different soybean varieties

品种	质量得率/（g/100 g）	蛋白质量浓度/（g/100 mL）	总固形物质量分数/%	黏度/（mPa•s）	酸度/（mL/100 g）
黑农48	763.07±1.51^{a}	4.17±0.07^{a}	8.35±0.04^{a}	4.03±0.04^{ab}	10.41±0.67^{a}
黑农69	734.67±8.36^{b}	4.09±0.10^{ab}	8.28±0.03^{bc}	3.84±0.07^{bc}	9.90±0.29^{ab}
黑农83	761.93±5.74^{a}	3.98±0.01^{b}	8.16±0.00^{de}	3.51±0.07^{d}	8.80±0.49^{cd}
黑农84	770.60±13.21^{a}	4.00±0.02^{b}	8.22±0.04^{cd}	4.10±0.02^{a}	9.13±0.49^{bc}
黑农87	732.87±5.10^{b}	3.78±0.06^{c}	8.14±0.02^{e}	3.65±0.17^{cd}	8.23±0.06^{d}
中龙606	753.53±14.96^{a}	3.61±0.01^{d}	8.32±0.04^{ab}	3.91±0.19^{ab}	7.97±0.48^{d}

由表3可知，6 种大豆豆浆的质量得率、蛋白质量浓度、总固形物质量分数、黏度、酸度等指标的变化范围分别为732.87～770.60 g/100 g、3.61～4.17 g/100 mL、8.14%～8.35%、3.51～4.10 mPa•s、7.97～10.41 mL/100 g。其中，豆浆质量得率较高的品种为‘黑农48’、‘黑农83’、‘黑农84’，其蛋白质量分数浓度也达到4 g/100 mL以上，若用于工业化生产，可达到节约成本的目的。豆浆蛋白质量浓度与籽粒粗蛋白质量分数呈显著正相关（r＝0.895，P＜0.05）。罗祎等[20]的研究表明，豆浆中的蛋白质含量直接影响豆浆的浓厚感，豆浆中的蛋白质含量越高，豆浆的浓厚感就越重。6 个品种豆浆的总固形物质量分数、黏度差异不大，而豆浆酸度的差异较大。滴定酸度表示能与强碱发生中和作用的物质的总量，包括无机酸、有机酸、强酸弱碱盐等，酸度的高低与豆浆的凝聚速率有关，有研究表明滴定酸度与豆浆凝聚速率呈负相关[21]，这可能是因为豆浆中的有机酸易与钙离子结合，释放出质子，从而促进了豆浆的凝固。6 个大豆品种中酸度最高的品种是‘黑农48’，最低的是‘中龙606’。

2.3 感官分析结果

2.3.1 建立模糊评判矩阵

10 名感官评定人员对6 种大豆品种豆浆进行感官评价，结果见表4。以‘黑农48’的滋味指标为例，滋味总分40 分中，评分结果在27～40 分范围内的人数为3 人，评分结果在14～26 分范围内的人数为6 人，评分结果在1～13 分范围内的人数仅为1 人，即样品的滋味指标各等级人数各占3、6 人和1 人。

表 4 不同品种大豆豆浆模糊感官评价结果

Table 4 Sensory evaluation results of soymilks from different soybean varieties

人数

品种	滋味（40 分）			外观（10 分）			气味（30 分）			口感（20 分）		
	好（27～40 分）	较好（14～26 分）	差（1～13 分）	好（7～10 分）	较好（4～6 分）	差（1～3 分）	好（21～30 分）	较好（11～20 分）	差（1～10 分）	好（14～20 分）	较好（7～13 分）	差（1～6 分）
黑农48	3	6	1	6	4	0	3	7	0	5	5	0
黑农69	3	7	0	6	4	0	4	6	0	5	5	0
黑农83	3	7	0	8	2	0	5	5	0	6	4	0
黑农84	2	8	0	7	3	0	9	1	0	3	7	0
黑农87	4	4	2	8	2	0	7	3	0	4	6	0
中龙606	3	7	0	10	0	0	7	3	0	4	6	0

以‘黑农48’为例，将豆浆感官评价指标各等级评价人数分别除以总评价人数，建立滋味、外观、气味、口感4 个单因素的模糊评价矩阵分别为：U_1＝[0.3，0.6，0.1]；U_2＝[0.6，0.4，0.0]；U_3＝[0.3，0.7，0.0]；U_4＝[0.5，0.5，0.0]，则6 个品种豆浆样品的四因素模糊矩阵可表示为$\boldsymbol{y}_1$、$\boldsymbol{y}_2$、$\boldsymbol{y}_3$、$\boldsymbol{y}_4$、$\boldsymbol{y}_5$、$\boldsymbol{y}_6$：

$$\boldsymbol{y}_1=\begin{bmatrix}0.3&0.6&0.1\\0.6&0.4&0.0\\0.3&0.7&0.0\\0.5&0.5&0.0\end{bmatrix}\quad \boldsymbol{y}_2=\begin{bmatrix}0.3&0.7&0.0\\0.6&0.4&0.0\\0.4&0.6&0.0\\0.5&0.5&0.0\end{bmatrix}\quad \boldsymbol{y}_3=\begin{bmatrix}0.3&0.7&0.1\\0.8&0.2&0.0\\0.5&0.5&0.0\\0.6&0.4&0.0\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{y}_4=\begin{bmatrix}0.2&0.8&0.0\\0.7&0.3&0.0\\0.9&0.1&0.0\\0.3&0.7&0.0\end{bmatrix}\quad \boldsymbol{y}_5=\begin{bmatrix}0.4&0.4&0.2\\0.8&0.2&0.0\\0.7&0.3&0.0\\0.4&0.6&0.0\end{bmatrix}\quad \boldsymbol{y}_6=\begin{bmatrix}0.3&0.7&0.1\\1.0&0.0&0.0\\0.7&0.3&0.0\\0.4&0.6&0.0\end{bmatrix}$$

2.3.2 豆浆感官品质模糊综合评分的计算

模糊数学综合评定为$Y=R\times\boldsymbol{y}$，以‘黑农48’为例，

$$Y_1=R\times\boldsymbol{y}_1=[0.4，0.1，0.3，0.2]\times\begin{bmatrix}0.3&0.6&0.1\\0.6&0.4&0.0\\0.3&0.7&0.0\\0.5&0.5&0.0\end{bmatrix}=[0.37，0.59，0.04]$$

同理，可得到其他品种豆浆样品的模糊评价结果，再分别乘以评语集$V=\{V_1，V_2，V_3\}=\{90，70，50\}$，得到不同品种豆浆的感官综合评分，如表5所示。6 种大豆品种豆浆的综合品质均介于“好”与“较好”之间，其中‘中龙606’的综合评分最高，更偏向于“好”，说明‘中龙606’制得的豆浆感官品质最佳。与表6中细分化

感官指标评分比较，可发现‘中龙606’豆浆的甜度最高，豆香味最浓郁，色泽也最为良好，另外其豆腥味和涩感也相对较弱；而综合评分最低的‘黑农48’豆浆甜度最低，相比其他豆浆而言豆香味不足，苦味较重。可知，这些指标综合决定了豆浆的感官品质综合评分，也能证明模糊感官分析中权重集的选择具有一定的科学性。

表5 不同品种大豆豆浆感官综合评价结果

Table 5 Comprehensive sensory evaluation of soymilks from different soybean varieties

品种	Y_i评价结果集	综合评分	排名
黑农48	Y_1={0.37，0.59，0.04}	76.6	6
黑农69	Y_2={0.40，0.60，0.00}	78.0	5
黑农83	Y_3={0.47，0.53，0.00}	79.4	3
黑农84	Y_4={0.37，0.63，0.00}	79.6	2
黑农87	Y_5={0.46，0.42，0.12}	79.0	4
中龙606	Y_6={0.44，0.56，0.00}	80.2	1

表6 不同品种大豆豆浆细分化感官指标评分

Table 6 Sensory parameters of soymilks from different soybean varieties

品种	甜度	苦味	涩感	色泽	豆香味	豆腥味	浓厚感	润滑度
黑农48	8.30	5.85	7.60	8.00	10.95	9.00	6.20	8.10
黑农69	8.80	6.15	7.50	7.70	10.50	9.10	5.90	8.10
黑农83	9.10	6.10	7.35	8.80	11.40	8.70	5.80	8.20
黑农84	9.05	6.00	6.95	8.20	13.20	9.30	5.85	7.40
黑农87	9.05	5.00	8.10	8.40	11.25	10.50	5.10	7.60
中龙606	9.80	6.05	7.60	9.60	12.90	10.20	5.50	7.70

2.3.3 大豆品质与豆浆感官特性相关性分析

不同品种大豆所得豆浆感官品质的影响因素很多，包括产地、降雨量、温度、土壤质量、阳光等，这些都显著影响大豆成分的变化[22]。但研究表明大豆的基因型在豆浆感官特性中起着最重要的作用，且可从大豆籽粒和豆浆的理化品质来间接评价豆浆的感官品质[6]。由表2可知，豆浆感官综合评价值最高的‘中龙606’与其他品种相比，具有百粒质量较高、灰分质量分数低、粗蛋白质量分数低、粗脂肪质量分数较高、磷含量和钙含量较低的特点；由表3可知，‘中龙606’豆浆具有质量得率适中、蛋白质量浓度较低、总固形物质量分数较高、黏度适中、酸度较低的特点。

表7 大豆品质与豆浆感官特性相关性分析

Table 7 Correlation between soybean quality and soymilk sensory characteristics

指标	综合评分	甜度	苦味	涩感	色泽	豆香味	豆腥味	浓厚感	润滑度
百粒质量	0.164	0.128	−0.282	0.317	0.491	−0.090	−0.001	−0.265	0.292
灰分质量分数	−0.437	−0.644	0.239	−0.633	−0.735	0.049	−0.531	0.658	−0.138
粗蛋白质量分数	−0.720	−0.715	0.610	−0.440	−0.674	−0.463	−0.831*	0.924**	0.613
粗脂肪质量分数	0.410	0.487	−0.810	0.746	0.422	0.140	0.945**	−0.951**	−0.522
磷含量	−0.253	−0.502	0.428	−0.811	−0.630	0.128	−0.665	0.680	−0.075
钙含量	−0.332	−0.318	−0.075	0.136	−0.710	−0.488	0.022	0.000	0.028
豆浆得率	0.085	−0.057	0.489	−0.748	0.181	0.557	−0.500	0.568	−0.074
豆浆蛋白质量浓度	−0.776	−0.901*	0.306	−0.372	−0.837*	−0.533	−0.826*	0.817*	0.517
总固形物质量分数	−0.441	-0.170	0.484	−0.115	−0.019	0.010	-0.150	0.586	0.225
黏度	−0.231	−0.190	0.270	−0.433	−0.227	0.426	−0.028	0.468	−0.407
酸度	−0.882*	−0.891*	0.335	−0.267	−0.800	−0.536	−0.711	0.860*	0.517

注：*.相关性显著（$P<0.05$）；**.相关性极显著（$P<0.01$）。

由表7可知，通过将大豆籽粒和豆浆的理化品质指标与感官指标进行相关性分析，发现籽粒粗蛋白质量分数与豆浆的浓厚感具有极显著正相关性（$P<0.01$），这与前人研究结果[20]相同。籽粒粗蛋白质量分数与豆浆的感官综合评价值呈负相关，虽然相关性不显著，但此趋势与Ma Lei等[6]的研究中籽粒粗蛋白含量与豆浆总体可接受性之间具有显著负相关性的结果相似，表明籽粒高蛋白含量可能不利于豆浆良好的感官品质。另外，豆浆蛋白质量分数与豆浆的甜度和色泽具有显著的负相关性（$P<0.05$）。甜度和色泽的影响因素除蛋白含量之外还可能是不同品种之间大豆异黄酮、大豆皂苷的含量差异。有研究表明，较高含量的大豆异黄酮和大豆皂苷会使豆制品的苦味较重、色泽较深[23-24]。粗蛋白质量分数与豆浆豆腥味评分呈显著负相关性（$P<0.05$），即蛋白含量越高，豆腥味越浓郁。西方国家难以接受的豆浆挥发性异味主要表现为豆腥味、青草味和油脂氧化味，主要是由脂肪氧化酶作用或不饱和脂肪酸的氧化酸败产生[25-26]。有研究表明，大豆中的蛋白质含量与生、熟豆浆中己醛的含量及风味物质总量均呈显著正相关，这可能是由于蛋白质能与醛类、酮类等风味物质发生疏水结合导致的[27-29]。除了蛋白含量，大豆脂肪含量在豆浆风味形成中同样发挥重要的作用。籽粒粗脂肪质量分数与豆浆感官综合评分具有正相关性，且与豆腥味评分具有极显著正相关性（$P<0.01$），即脂肪含量越高，豆浆的豆腥味越淡，可能是因为油脂能够吸收并溶解脂溶性的风味物质，导致此类物质挥发浓度的变化[30]。由于多数豆浆风味物质都是由大豆中的亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸经脂肪氧化酶和脂肪酸氢过氧化物裂解酶催化后生成的短链化合物，蛋白质和脂肪含量影响豆浆风味的原因还需结合脂肪酸含量和脂肪氧化酶指标的数据作进一步的分析[31]。由表5可知，6 种大豆品种中蛋白含量最高、脂肪含量最低的2 个品种——‘黑农48’和‘黑农69’的豆浆感官综合评分最低。综合可知，在现有品种里蛋白质量分数低于40%且脂肪质量分数较高的大豆品种更有利于加工高品质豆浆。可见，‘中龙606’的良好豆浆加工品质是由其籽粒较低的蛋白含量和较高的脂肪含量共同作用的结果。

3 结 论

6 种大豆品种均属于中大粒大豆和高油大豆，其中‘黑农48’和‘黑农69’属于高蛋白大豆。6 种大豆品种制得的豆浆中质量得率较高的品种为‘黑农48’、‘黑农83’、‘黑农84’，粗蛋白质量分数均达到4%以上，若用于工业化生产，可达到节约成本的目的。6 个品种豆浆的总固形物质量分数、黏度差异不大，而豆浆酸度的差异较大。通过模糊感官评价分析得知，‘中龙606’制得的豆浆综合评分最高，感官品质最佳，且具有甜度

高、豆香味浓郁、色泽良好、豆腥味和涩感相对较弱的特点。通过将大豆籽粒和豆浆的理化品质指标与感官指标进行相关性分析，发现籽粒粗蛋白质量分数与豆浆的感官综合评价值具有负相关性，与豆浆的浓厚感具有极显著正相关性（$P<0.01$），与豆腥味评分具有显著负相关性（$P<0.05$），说明高蛋白含量可能不利于豆浆良好的感官品质。此外，还发现籽粒粗脂肪质量分数与豆浆感官综合评分具有正相关性，且与豆腥味评分具有极显著正相关性（$P<0.01$），即脂肪含量越高，豆浆的豆腥味越淡。综合可知，在现有品种里蛋白质量分数低于40%且脂肪质量分数较高的大豆品种，更有利于加工高品质豆浆。可见，‘中龙606’良好的豆浆加工品质是籽粒较低的蛋白含量和较高的脂肪含量共同作用的结果。以上结果可用于大豆品种选择的参考，以满足豆浆加工的特殊需求。

参考文献：

[1] FRIEDMAN M, BRANDON D L. Nutritional and health benefits of soy proteins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(3): 1069-1086. DOI:10.1021/jf0009246.

[2] GIRI S K, MANGARAJ S. Processing influences on composition and quality attributes of soymilk and its powder[J]. Food Engineering Reviews, 2012, 4(3): 149-164. DOI:10.1007/s12393-012-9053-0.

[3] CHEN C, GUO S, LI J, et al. Analysis on quality of soymilk processed from different soybean cultivars and evaluation model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(8): 291-302. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2018.08.038.

[4] POYSA V, WOODROW L. Stability of soybean seed composition and its effect on soymilk and tofu yield and quality[J]. Food Research International, 2002, 35(4): 337-345. DOI:10.1016/s0963-9969(01)00125-9.

[5] 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. DOI:10.16423/j.cnki.1003-8701.2017.01.014.

[6] MA Lei, LI Bin, HAN Fenxia, 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. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.10.096.

[7] SHI Xiaodi, LI Jingyan, WANG Shuming, et al. Flavor characteristic analysis of soymilk prepared by different soybean cultivars and establishment of evaluation method of soybean cultivars suitable for soymilk processing[J]. Food Chemistry, 2015, 185: 422-429. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.04.011.

[8] 李玉珍, 肖怀秋. 模糊数学评价法在食品感官评价中的应用[J]. 中国酿造, 2016, 35(5): 16-19. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2016.05.004.

[9] 刘敏, 谭书明, 张洪礼, 等. 基于模糊感官评价对大米感官品质分析[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 247-251. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.21.049.

[10] 胡璇, 夏延斌. 基于模糊数学的剁椒感官综合评价方法[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 95-98.

[11] DEBJANI C, DAS S, DAS H. Aggregation of sensory data using fuzzy logic for sensory quality evaluation of food[J]. Journal of Food Science & Technology, 2013, 50(6): 1088-1096. DOI:10.1007/s13197-011-0433-x.

[12] 魏永义, 郭明月, 尹军杰, 等. 模糊数学综合感官评价调味料酒的应用研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(10): 52-54.

[13] GUO S T, TSUKAMOTO C, TAKAHASI K, et al. Incorporation of soy milk lipid into protein coagulum by addition of calcium chloride[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(3): 3215-3219. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb09568.x.

[14] 李菊芳, 吕莹, 徐婧婷, 等. 磷脂-大豆分离蛋白复合物溶液理化与流变特性[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 207-212.

[15] 李旻怡. 大豆食品行业呼唤 发展高品质专用化原料大豆[J]. 农产品加工, 2012(7): 6-7. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646-C.2012.07.003.

[16] CAI T D, CHANG K C, SHIH M C, et al. Comparison of bench and production scale methods for making soymilk and tofu from 13 soybean varieties[J]. Food Research International, 1997, 30(9): 659-668. DOI:10.1016/s0963-9969(98)00032-5.

[17] LOLAS G M, MARKAKIS P. Phytic acid and other phosphorus compounds of beans (*Phaseolus vulgaris* L.)[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1975, 23(1): 13-15. DOI:10.1021/jf60197a016.

[18] WANG R C, LIU J Y, GUO S T. Binding of phytate to soybean protein during the heat treatment of soymilk and its effect on protein aggregation[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 84: 368-378. DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.06.031.

[19] 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: 26-27.

[20] 罗祎, 李东, 赵晋府. 调配型酸性豆乳饮料工艺及稳定性影响因素的研究[J]. 食品工业科技, 2000, 21(5): 36-38. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2000.05.031.

[21] 张新艳, 王曙明, 王谦玉, 等. 不同大豆品种豆乳的凝聚特性研究[J]. 大豆科学, 2011, 30(4): 657-662. DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2011.04.0657.

[22] KEAST R S J, LAU J J. Culture-specific variation in the flavor profile of soymilks[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(8): S567-S572. DOI:10.1111/j.1750-3841.2006.00146.x.

[23] 马永香. 利用吸附、包埋及离子交换法制备大豆低聚糖浓缩糖浆的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 2-3.

[24] ALDIN E, REITMEIER H A, MURPHY P. Bitterness of soy extracts containing isoflavones and saponins[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(3): S211-S215. DOI:10.1111/j.1365-2621.2006.tb15643.x.

[25] LEE J Y, MIN S, CHOE E O, et al. Formation of volatile compounds in soy flour by singlet oxygen oxidation during storage under light[J]. Journal of Food Science, 2003, 68: 1933-1937. DOI:10.1111/j.1365-2621.2003.tb06996.x.

[26] YU H, LIU R, HU Y, et al. Flavor profiles of soymilk processed with four different processing technologies and 26 soybean cultivars grown in China[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(Suppl 3): S2887-S2898. DOI:10.1080/10942912.2017.1382507.

[27] YUAN S, CHANG S K. Selected odor compounds in soymilk as affected by chemical composition and lipoxygenases in five soybean materials[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(2): 426-431. DOI:10.1021/jf062274x.

[28] MIN S, YU Y, YOO S, et al. Effect of soybean varieties and growing locations on the flavor of soymilk[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1): C1-C11. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.tb09009.x.

[29] DAMODARAN S, ARORA A. Off-flavor precursors in soy protein isolate and novel strategies for their removal[J]. Annual Review of Food Science & Technology, 2013, 4(1): 327-346. DOI:10.4172/2157-7110.S1.001.

[30] HARRISON M, HILLS B P, BAKKER J, et al. Mathematical models of flavor release from liquid emulsions[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 653-664. DOI:10.1111/j.1365-2621.1997.tb15429.x.

[31] YANG A, SMYTH H, CHALIHA M, et al. Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipoxygenases[J]. Food Science & Nutrition, 2016, 4(2): 207-215. DOI:10.1002/fsn3.274.