



大豆加工特性及品质评价的研究进展

孙璐, 汪芳, 孟骏, 沈新春

(南京财经大学 食品科学与工程学院/江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心/江苏高校粮油质量安全控制及深加工重点实验室, 江苏 南京 210023)

摘要:大豆品质的优劣是衡量不同大豆制品好坏的重要依据,明确的品质评价方法和品质评价标准是确定大豆加工适宜性的可靠指标,且能够为后续筛选出大豆加工专用品种奠定基础。本文综述了大豆加工特性以及品质评价指标的研究进展,主要归纳了大豆在制取蛋白、制油以及其它生物活性物质加工利用的加工特性,并从感官品质、理化营养品质、加工品质 3 方面总结了大豆的品质评价指标,整理我国现有的大豆品质评价标准,分析我国大豆品质评价研究中存在的问题与不足,并对其今后的研究方向和目标进行展望。

关键词:大豆;品质;加工特性;评价指标;评价标准

Advances in Soybean Processing Characteristics and Quality Evaluation Research

SUN Lu, WANG Fang, MENG Jun, SHEN Xin-chun

(Food Science and Engineering College/Collaborative Innovation Center of Modern Grain Circulation and Security of Jiangsu Province/Key Laboratory of Grain and Oil Quality and Safety Control and Deep Processing of Universities in Jiangsu Province, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China)

Abstract: The quality of soybean is a crucial factor for evaluating the quality of different varieties of soybean derived products. Establishment of quality assessment methods and evaluation standards are necessary for the suitability of soybean processing and also are fundamental guidelines for the subsequent screening of specific varieties of soybean for corresponding products. This comprehensive review summarized recent researches in soybean processing characteristics and quality evaluation indexes, which mainly focused on the processing characteristics of soybean in protein production, oil extraction, biological active substances identification and utilization. The current soybean quality assessment indexes were summarized from three aspects: Sensory quality, physicochemical and nutritional quality, and processing quality. In addition, the current evaluation standards for soybean quality in China were outlined. Furthermore the article discussed the deficiencies and potential problems in the evaluation of soybean quality in China, and proposed the future research directions and goals.

Keywords: Soybean; Quality; Processing characteristics; Evaluation indexes; Evaluation standard

大豆[*Glycine max* (L.) Merrill.], 温带物种, 属豆科、蝶形花亚科、大豆属, 古代称“菽”。关于大豆起源, 目前有几种不同的来源假说, 如黄河中下游假说、多起源假说、南方起源假说等^[1]。大豆在我国已有五千多年的栽培史, 是我国主要的粮食油料作物。中国栽培的大豆品种可划分为 7 个型 480 个群, 根据播种期分北方春大豆、黄淮夏大豆、黄淮春大豆、长江夏大豆、长江春大豆、南方春大豆、南方秋大豆和南方冬大豆^[2]。大豆品种生态地理分布规律明显, 长江流域生育期长、类型繁多, 大豆蛋白含量较其它地区高, 东北适宜极迟熟的短日性品种, 主产大豆含油量较高, 但蛋白含量大多低于

40%^[3]。我国大豆品种丰富, 至今为止资源库中已保有 30 000 多个大豆品种, 大豆富含优质蛋白, 其含量受栽培条件与大豆品种的影响, 为 27% ~ 56%, 高于芝麻、花生和油菜的蛋白含量。大豆蛋白由球蛋白和白蛋白组成, 易溶球蛋白占 59% ~ 80%, 难溶球蛋白占 3% ~ 7%, 白蛋白占 8% ~ 25%, 其中的人体必需氨基酸含量与肉类相近, 是理想的肉类替代品^[4], 素有“田中之肉”的美称。除此之外, 大豆也是我国食用油来源之一, 大豆油脂含量高且脂肪酸组成模式较好, 以多不饱和脂肪酸为主。人体必需脂肪酸含量是衡量油脂营养价值的标准之一, 大豆油脂中的人体必需脂肪酸丰富, 如

收稿日期: 2018-08-29

基金项目: 国家重点研发计划(2016YDF0400201); 国家自然科学基金(21476103, 31800280); 江苏省自然科学基金(BK20180817); 江苏省研究生科研与实践创新计划(KYCX18_1436)。

第一作者简介: 孙璐(1995-), 女, 硕士, 主要从事功能性食品与分子营养等研究。E-mail: youyououalterl@163.com。

通讯作者: 沈新春(1966-), 男, 博士, 教授, 主要从事功能性食品与分子营养等研究。E-mail: shenxinchun@nufe.edu.cn。

DHA、EPA 等。因此,大豆油脂是良好的食用油来源^[5]。

大豆除了作为优质蛋白和脂质的饮食来源,现代研究表明其中还含有多种生物活性物质,具有促进健康的营养功能,如异黄酮,皂苷,植酸,花青素,植物甾醇和膳食纤维等^[6-7]。据报道,大豆异黄酮具有抗氧化活性,会降低某些癌症、心血管疾病和骨质疏松症的发病率^[8-9]。大豆植物甾醇是一类特殊的天然活性物质,可以通过抑制胆固醇的吸收和影响胆固醇代谢,达到降低人体胆固醇的效果^[10]。大豆中的膳食纤维可以在肠道中发酵产生短链脂肪酸,如乙酸,丙酸和丁酸,从而改善肠道菌群的组成,提高人体的肠道功能^[11]。大豆的品质特性决定了大豆的加工类型,高蛋白、11S/7S 含量高的大豆适用于制豆腐;高油大豆适用于制油,国内进口转基因高油大豆大多用于制油;菜用大豆则应选择天冬氨酸与谷氨酸含量较高的品种;豆芽用大豆应选择小粒、发芽率高、脂肪含量低的品种;豆豉用大豆应选择持水性能好、蒸煮特性优良的品种;亚麻酸及脂肪氧化酶含量高的品种不适合制取豆浆,因为多不饱和脂肪酸会被催化加氧反应生成醛、酮、醇等不愉快气味,即豆腥味。因此,大豆被广泛应用于加工行业,大豆品质决定了大豆品种及豆制品的优劣,筛选出优质大豆品种可推动大豆加工行业的进步。

目前国内大豆消费形式主要有加工、食用、饲料、种子等,其中加工消费包括蛋白加工、油脂加工以及其它工业消费。用于传统大豆食品加工的大豆约为 550 万 t,其中豆腐、豆浆和其它豆制品用大豆消费各占 50%、10% 和 40%^[12]。不同用途的大豆对品质的要求不同,然而目前有关大豆品质加工适宜性的研究较少,还未筛选出加工制品的专用品种。大豆加工品质评价指标体系的不完善制约着大豆加工产业的快速发展。本文从感官品质、理化营养品质、加工品质 3 方面总结了大豆的加工特性和品质评价指标,整理我国现有大豆品质的评价标准,分析我国大豆品质评价研究中存在的问题与不足之处,并对其今后的研究方向和目标进行了展望,以期建立大豆加工品种的评价方法提供参考依据。

1 大豆加工特性

我国大豆品种繁多,不同品种大豆加工适用性不同,如高蛋白品种用于制备大豆蛋白,含油率高

的用于制油等。据统计,大豆制品已有上万种,其中包括传统豆制品和近些年发展起来的新兴豆制品,如大豆磷脂产品、大豆肽等^[13]。

1.1 大豆蛋白加工

大豆蛋白加工是大豆深加工中最具潜力的领域,其产品也大多属于高附加值产品。大豆蛋白制品主要有分离大豆蛋白、豆腐、豆奶、大豆发酵制品以及大豆多肽等。我国种植的非转基因大豆具有高蛋白的优势,可以直接食用或用于食品加工。据统计,我国大豆蛋白食品在国际市场上的份额正以 10% 的速度增长。目前,我国年产大豆分离蛋白 40 ~ 50 万 t,其中一半销往国外,出口全球 90 多个国家和地区,约占全球大豆蛋白贸易总量的 50%^[14]。

大豆中的优质蛋白是人体摄入植物蛋白的重要来源,南京农业大学对 408 份地方品种进行蛋白质含量测定,蛋白含量为 38.8% ~ 51.5%^[15]。其中含有的 20 种氨基酸能基本满足各类人群的日常需求,氨基酸组成中谷氨酸含量最高,胱氨酸、甲硫氨酸和色氨酸含量最低。谷氨酸属于酸性氨基酸,它易与血胺形成酰氨,能够解除代谢过程中氨的毒害作用^[16]。豆制品腐竹是大豆的二次加工制品,经过一系列工序处理后的腐竹中谷氨酸含量增加,能够起到健脑的作用。根据蛋白溶解性不同,分为溶于醇的醇溶蛋白(prolamine),溶于水的清蛋白(albumin),溶于盐溶液的球蛋白(globulin)和溶于酸或碱的谷蛋白(glufelin)^[17]。其中 90% 以上为大豆球蛋白,主要成分有 2S、7S、11S 和 15S 球蛋白。研究表明,大豆中的 7S 蛋白对抑制脂肪在 3T3-L1 细胞内的积累具有明显作用,且 7S 抑制率比 11S 高 10% ~ 22%,因此,大豆蛋白具有降血脂功效^[18]。传统豆制品豆浆、豆腐等都含有丰富的大豆蛋白,《中国居民膳食指南》建议每人每天应摄入相当于干豆 30 ~ 50 g 的大豆及制品以满足人们日常植物蛋白需求。除此之外,大豆蛋白对心血管疾病、乳腺疾病、Ⅱ型糖尿病、骨质疏松症等常见疾病的预防和治疗都具有较好的作用。因此,充分利用好大豆蛋白可促进我国食品、医疗制药等行业的发展,增强国际竞争力。

1.2 大豆油脂加工

我国豆油的产量增长迅速,近 10 年是我国植物油消费快速增长阶段,在所有植物油中,豆油消费所占比重达到 1/3 左右^[19],我国 2017 年豆油消费量达到了 1 490 万 t,并且由于其代替品菜籽油的减产,豆油的需求量将会持续增加^[14]。

常鑫^[20]对来自不同省份的主栽大豆进行了检测,结果显示,所测品种的脂肪含量为 179.1 ~ 251.3 g·kg⁻¹,平均为 214.6 g·kg⁻¹。大豆中脂肪主要由脂肪酸和甘油组成,大部分脂肪酸以复合脂质形式存在,包括饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸,少部分以游离脂肪酸形式存在。脂肪酸的组成决定了产品的品质,大豆中的不饱和脂肪酸主要为油酸、亚油酸和亚麻酸,占总脂肪酸的 84.5% (表 1)。饱和脂肪酸主要为软脂酸和硬脂酸,含量相对较低,

由于其没有双键结构,不易被人体消化吸收,摄入过多饱和脂肪酸会造成肥胖和心血管疾病。不饱和脂肪酸具有较好的生理功能,油酸可降低人体血液中胆固醇的含量,油酸含量多少决定了油脂的食用品质。亚油酸、亚麻酸属于人体的必需脂肪酸,占总脂肪酸的 60%,其中亚油酸具有抑制癌症、防治动脉硬化、防治高血压等作用^[21]。所以,大豆制油是我国大豆的主要用途之一。

表 1 几种植物油脂脂肪酸组成比较
Table 1 comparison of fatty acid composition of several vegetable oils (%)

脂肪酸 Fatty acid	玉米油 Corn oil	豆油 Soybean oil	花生油 Peanut oil	棉籽油 Cottonseed oil	菜籽油 Colza oil	棕榈油 Palm oil
软脂酸 Palmitic acid	12.5	11.5	11.5	26.0	15.5	-
硬脂酸 Stearic acid	2.5	4.0	3.0	3.0	2.0	4.0
油酸 Oleic acid	29.0	24.5	53.0	7.5	66.5	-
亚油酸 Linoleic oil	55.0	53.0	26.0	51.5	14.2	9.0
亚麻酸 Linolenic acid	0.5	7.0	-	-	-	-

数据引自文献^[22]。
Data are cited from literature ^[22].

1.3 其它加工形式

除了蛋白质和脂肪之外,大豆中还含有约 35% 的碳水化合物,主要分为非结构性与结构性碳水化合物。非结构性碳水化合物包括单糖、低聚糖和贮藏性多糖,结构性碳水化合物主要为细胞壁多糖,包括纤维素、半纤维素、果胶和大豆可溶性多糖。大豆低聚糖由于其良好的生理功能,可作为饲料添加剂添加入饲料,能够控制沙门菌感染,提高动物免疫能力。大豆富含微量营养素,包括 12 种维生素和 22 种矿物质元素,其中 Vc、维生素 B5、维生素 A、泛酸、钾、磷、钙、镁、铁等微量营养素含量丰富,其所含微量营养素总量约占大豆总重的 4.5% ~ 5.0%^[23]。此外,大豆中还富含生物活性物质,包括蛋白酶抑制因子、皂甙、大豆异黄酮和植酸等,其中大豆异黄酮是一种令人瞩目的生物活性成分,它类似于雌激素的功能,可有效延缓女性衰老、预防心血管疾病等,且是酪氨酸蛋白激酶(PTK)的抑制剂,可抑制 PTK 活性增加,从而抑制某些细胞有丝分裂和肿瘤转移^[24]。目前,大豆异黄酮主要作为饲料添加剂应用于畜牧生产中,能够提高动物蛋白质的合成效率,改善畜禽胴体瘦肉率。近年来,随着我国科技的不断发展,大豆异黄酮的提取和合成工艺不断完善,大豆异黄酮作为新型饲料添加剂的应用越来越广泛^[25]。豆渣作为加工豆浆、豆腐的副产物,可用于制取膳食纤维,或发酵生产核黄素。因

此,大豆中成分功能各异,加工用途也不尽相同,为筛选出合适的品种以应用于加工需对各品种大豆进行品质评价。

2 大豆品质评价指标

我国大豆品种资源丰富,目前对其品质评价是通过色泽、籽粒大小、外观性状等指标来反映大豆的感官品性,通过粗蛋白、脂肪、氨基酸组成及含量等指标来反映大豆的理化营养品质,通过蛋白亚基比例、油脂贮藏性来反映大豆的加工品质。不同的加工产品选取的评价指标不尽相同,目前还未建立系统的专用品种评价指标体系。所以,采用合适的评价体系筛选出适合制蛋白、制油以及用于豆制品加工的专用品种将会实现大豆精准加工、大豆制品优质化,促进大豆产业的发展。

2.1 感官品质

感官品质是衡量菜用大豆商品品质的重要指标之一,大豆的感官品质主要通过籽粒大小、色泽、百粒重、气味等指标来反映。韩立德等^[26]将菜用大豆的感官性状分为两级,一级感官性状为:①熟食口味;②粒色;③生样可剥性;④生食口感;⑤熟食香味;⑥粒荚外观。二级感官性状为:①甜味;②鲜味;③豆腥味;④粘性;⑤硬度。并对感官品质与一级感官性状间的相关性进行分析,结果表明一级感官性状与感官品质综合评定有极显著的相关性,且

一级感官性状间两两相关极显著,尤其是生食口感与熟食口味的相关系数达到了 0.797,说明一级感官性状是相互影响的。一级感官性状与二级感官性状间除了生食口感与熟食口味外,其它均未发现有显著相关。对于菜用大豆来说,感官品质直接影响大豆在市场上的品质与价值。宋江峰等^[27]采用主成分分析与聚类分析对 18 种菜用大豆进行综合评价,百粒重、色度等外观性状间相关性达到了较高水平。与韩立德等^[26]结果一致,且不同品种间的差异性显著。大豆的感官品质对大豆加工制品也有影响,张玉静等^[28]研究不同品种大豆原料制作豆腐的适用性,结果显示百粒重与豆腐弹性呈显著负相关,与豆腐回复力呈显著正相关。李若姝等^[29]研究了籽粒品质对豆浆加工特性的影响,发现百粒重与籽粒中脂肪含量呈极显著正相关($r = 0.51$),与蛋白含量呈显著负相关($r = -0.34$)。大豆感官品质差异较大,但目前仪器分析方法发展迅速,这将减少劳动力投入,并能保证我国的大豆消费质量。

2.2 理化营养品质

采用化学方法测定大豆的理化指标是评价大豆品质的重要途径,主要包括脂肪、蛋白质、氨基酸、脂肪酸、碳水化合物、钙、磷、植酸、异黄酮等影响大豆物理化学性质及营养价值的成分与含量,现基本采用国标、行标或现行通用方法进行测定。

大豆理化营养品质众多,各品质之间差异较大。有研究显示,大豆蛋白质含量与脂肪含量,油酸与亚油酸、亚麻酸,以及大多数的氨基酸与蛋白质之间有显著的相关性,如脂肪与蛋白质含量呈负相关等。为了进一步研究大豆各品质之间及其与制品之间的相关性,现很多研究者通过相关性分析法、聚类分析等方法分析了大豆理化营养品质,并将不同品种的大豆进行初步归类。宋江峰等^[30]考察 18 个菜用大豆品种的品质,分别测定了物理化学指标,统计发现可以通过 7 个主成分(累计贡献率 92.33%)来反映大豆质量,最终以 8 个质量指标(叶片重量、叶绿素、VC、可溶性糖、粗脂肪、异黄酮、硬度和色度)简化评价指标体系。

2.3 加工品质

大豆的加工品质主要通过蛋白溶解度、7S 与 11S 比例、出油率、油脂贮藏性等与加工有关的原料性质来反映,因此加工品质与制品品质有很大的相关性。

2.3.1 蛋白加工相关品质 大豆蛋白具有较好的凝胶性、溶解性、起泡性和乳化性,这些与加工有关

的原料性质影响着大豆蛋白制品的品质^[31]。大豆蛋白的溶解度影响着很多加工制品的质量,特别是高蛋白饮料($>4.2\%$)^[32]。凝胶性是指蛋白质形成胶体结构的能力,影响蛋白凝胶性因素众多,如 pH、蛋白质溶胶浓度等。溶解度和凝胶性目前对大豆蛋白的溶解性和凝胶性的研究较多,Gao^[33]采用米曲霉蛋白酶酶解大豆分离蛋白以提高其溶解性,对酶解过程进行了系统的优化。优化酶解条件后大豆分离蛋白的溶解度达到 97.20%,比未经处理的大豆分离蛋白对照组提高了 32.93%。采用碱溶酸沉法提取大豆分离蛋白时,对不同阶段进行不同 pH 处理后发现,升高碱溶阶段的 pH,其凝胶强度增大。研究表明不溶性膳食纤维对大豆蛋白凝胶强度有破坏作用,而大豆多糖有益于大豆蛋白凝胶的形成^[34]。另有研究表明,EDTAD 改性大豆蛋白与戊二醛交联合成具有较高溶胀比的改性大豆蛋白凝胶的溶胀率增加,凝胶对 pH 敏感,具有形状记忆功能^[35]。Cabodevila 等^[36]研究表明,在葡萄糖内酯木糖存在的情况下凝胶形成,pH 从中性降到 5.5,主要取决于美拉德反应。温度对大豆蛋白凝胶性也有较大影响,连喜军等^[37]研究发现浓度为 16%,pH 为 7.0 的大豆分离蛋白在 55℃ 时不会形成凝胶,升高温度,凝胶特性增强。

植物蛋白是由多种氨基酸组成的具有一定空间结构的高分子聚合物,其亚基组成及含量与功能性质有很大的相关性。不同品种大豆蛋白亚基的组成和含量不同,对应的功能性质差异也较大。大豆蛋白中主要亚基组成为 7S 和 11S^[38],7S 凝胶的 δ 值较低,11S 凝胶具有较高的 G' 值并能形成较硬的凝胶^[39],这两者的理化性质很大程度上决定了大豆蛋白的功能性质。研究发现木瓜蛋白酶能够影响 7S 和 11S 凝胶的流变特性,随着酶解速度的增加,凝胶形成得越快,从而诱导大豆分离蛋白的凝聚。James 等^[40]研究发现大豆球蛋白亚基组成影响豆腐品质,其中 11S 的 A_4 亚基缺失及种子大小与豆腐硬度和持水能力呈正相关。美国农业部鉴定出了 8 个适合加工豆腐的大豆品系,结果表明, A_3 亚基可能是预测豆腐硬度的指标,它的含量与豆腐硬度之间相关性显著^[41]。因此,不同品种大豆蛋白亚基组成及含量对大豆蛋白功能性质的影响还需进一步研究。

2.3.2 豆油加工相关品质 豆油的耐贮性是大豆生产企业及消费者最关心的问题,豆油中的氧化及抗氧化物质的含量是影响豆油稳定性的主要因素。

脂肪酸组成可以预测植物油在氧化早期阶段的氧化稳定性^[42]。氧化稳定性受不饱和脂肪酸影响较大,大豆的不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸含量的84.5%,氧化稳定性低,不利于储藏^[22,43-44]。另外,储藏温度越高,豆油中溶出的金属元素越多,研究表明金属离子 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 等对原油的氧化稳定性有显著性的影响,某种程度上,金属元素可催化油脂的氧化进程,加速油脂的氧化酸败,从而影响油脂品质^[45]。植物甾醇抗氧化作用明显,研究表明,当甾醇添加量 $\leq 0.1\%$,增加甾醇浓度,豆油抗氧化能力显著增大^[46]。大豆磷脂含量对豆油的氧化酸败作用并不大,但磷脂含量越高的大豆油在氧化酸败过程中过氧化值(PV)和茴香胺值(p-AV)增长速度相对较慢,说明磷脂在某种程度上有抑制油脂氧化的作用,但有研究显示,添加磷脂的豆油在储藏过程中会产生鱼腥味^[47-48]。

根据大豆的感官品质、理化营养品质及加工品质,通过相关性分析、主成分分析等方法进行解析,得知大豆各品质指标之间关系密切,且可按照不同功能特性进行分类,如蛋白用、油用等加工特性。不同地域、不同品种对大豆品质的影响很大,但目前缺乏系统的方法将大豆进行分类,筛选出适合油用、蛋白用的大豆专用品种。

3 大豆品质评价标准

3.1 感官品质评价标准

根据皮色,大豆分为黄大豆、黑大豆、青大豆以及其它大豆。其中黄大豆定义是种皮为黄色、淡黄色,脐为黄褐、淡褐或深褐色的籽粒不低于95%的大豆,青大豆是种皮为绿色的籽粒不低于95%的大豆,黑大豆是种皮为黑色的籽粒不低于95%的大豆,其它大豆为种皮褐色、棕色、赤色等单一颜色或双色的大豆。按照我国要求(GB 1352-2009 大豆),将大豆分为5个等级,完整粒率 $\geq 95\%$ 为一级大豆,每隔5%为一个等级标准,其中损伤粒率分别为 $\leq 1.0\%$ 、 $\leq 2.0\%$ 、 $\leq 3.0\%$ 、 $\leq 5.0\%$ 、 $\leq 8.0\%$,并规定了杂质含量 $< 1.0\%$,水分含量 $< 13\%$,且气味、色泽正常^[49]。NYT1933-2010依据百粒重将大豆分为6个规格,百粒重 $\leq 10.0\text{ g}$ 为小粒、 $10.1 \sim 15.0\text{ g}$ 为中小粒、 $15.1 \sim 20.0\text{ g}$ 为中粒、 $20.1 \sim 25.0\text{ g}$ 为中粒、 $25.1 \sim 30.0\text{ g}$ 为大粒、 $> 30\text{ g}$ 为特大粒^[50]。同时还有一些地方标准对菜用大豆进行了规定,DB 3302/T 095-2010规定菜用大豆感官质量标准为新鲜、豆粒饱满、成熟度适中、豆荚形态良好且无锈

斑、虫蛀、严重损伤或破裂、豆仁发育不良的豆荚。我国高油大豆质量标准中要求完整粒率 $\geq 85\%$,大豆杂质含量 $\leq 1.0\%$,水分含量 $\leq 13.0\%$,损伤粒率 $\leq 3.0\%$,高蛋白大豆质量指标中,完整粒率 $\geq 90\%$,损伤粒率 $\leq 2.0\%$,杂质含量 $\leq 1.0\%$,水分含量 $\leq 13.0\%$,且均要求气味、色泽正常^[51]。

3.2 理化营养品质评价标准

大豆理化营养品质是评价大豆品质的重要指标,不同用途的大豆理化营养品质差异较大。如蛋白用大豆以蛋白含量为主要指标,油用大豆以脂肪含量为主要指标,同时也要考虑脂肪酸组成,饱和脂肪酸含量高的油脂氧化酸败速度较慢,不饱和脂肪酸含量高的油脂营养品质越好。我国GB 1352-2009将高蛋白质大豆划分为3个等级,粗蛋白含量 $\geq 44.0\%$ (干基)为一级高蛋白大豆,每隔2%为一个等级标准,并规定了完整粒率 $\geq 90\%$,损伤粒率 $\leq 2.0\%$,杂质含量 $\leq 1.0\%$,水分含量 $\leq 13.0\%$;将高油大豆也划分为3个指标,脂肪含量 $\geq 22.0\%$ 为一级高油大豆,每隔1%为一个等级标准,并规定了完整粒率 $\geq 85\%$,损伤粒率 $\leq 3.0\%$,杂质含量 $\leq 1.0\%$,水分含量 $\leq 13.0\%$ ^[50]。GB 2762-2017规定食用大豆中铅和镉的含量不得超过 $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,铬含量不得超过 $1.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[52]。

3.3 加工品质评价标准

大豆的加工品质是衡量大豆制品品质的重要指标,大豆油脂加工品质可通过大豆油的理化指标来反映,而目前我国对大豆加工品质评价标准很少,根据GB 1535-2003,针对原油要求酸值 $\leq 4.0\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,过氧化值 $\leq 7.5\text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$,针对大豆成品油划分为4个等级,酸值 $\leq 0.2\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,过氧化值 $\leq 5.0\text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为一级油;酸值 $\leq 0.3\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,过氧化值 $\leq 5.0\text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为二级油;酸值 $\leq 1.0\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,过氧化值 $\leq 6.0\text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为三级油;酸值 $\leq 3.0\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,过氧化值 $\leq 6.0\text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为四级油^[53]。根据GB 20371-2016,针对大豆蛋白的加工,蛋白质以干基计,提出粗提蛋白的含量应为 $400 \sim 650\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,浓缩蛋白含量应为 $650 \sim 900\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,分离蛋白含量大于 $900\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,水分要求 $\leq 100\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[54]。国外针对加工豆腐豆浆制品制定了相关标准,美国将豆腐分为4个种类,要求软豆腐蛋白含量不低于6%,硬豆腐蛋白含量不低于10.6%,要求豆浆蛋白含量不低于3.0%。日本要求豆浆蛋白含量不低于3.8%,新加坡要求不低于2%。

目前我国针对大豆加工品质相关标准发行较

少,但加工品质评价标准的重要性不容小觑,所以需要不断完善补充这方面的标准,增加我国大豆的国际市场竞争力。

4 存在的问题与展望

4.1 存在的问题

我国大豆品种丰富,但针对不同大豆品种的加工特性研究还不够深入,不同品种间差异很大,由于缺乏原料品质与豆制品品质间的评价体系,难以筛选出适合制油,制取蛋白的大豆专用品种。

对于大豆蛋白和大豆油的理化性质已有较深入的研究,但目前还未见揭示大豆加工适宜性分子机制的报道。大豆油中富含 VE、脂肪酸以及甾醇等抗氧化活性物质,而目前也未见针对这些指标对大豆油整体氧化稳定性影响的报道。

大豆加工品质评价对加工产业体系具有指导作用,然而至今为止还未建立起系统的大豆加工品质评价指标体系。目前,国内对加工评价技术研究较少,仅停留在感官品质、理化品质的相关性分析和通过数据分析方法确定某一品质的评价指标上,缺少系统的大豆品质评价体系,这也是我国大豆加工行业发展缓慢的重要因素之一。

4.2 展望

筛选出优质的大豆品种、对大豆品种进行恰当的分类将使大豆的加工利用更加充分、精准。将不同品种大豆的理化指标建立指纹图谱,最后建立一个系统的大豆专用品种数据库,将会为大豆加工企业提供一个良好的理论指导,为此有关大豆加工品质评价的研究重点可以从以下几个方面入手:系统研究大豆原料的物质基础特性,构建不同品种大豆原料中特征组分含量、结构指纹图谱;深入研究蛋白组分对蛋白制品品质功能的影响,并明确影响品质功能的主要因素,研究甘油三酯 sn-2 脂肪酸组成对油脂品质的影响,为筛选出溶解、凝胶性能好的大豆蛋白以及高品质大豆油的专用品种提供理论依据;收集我国主裁地区的主栽大豆品种,系统分析大豆油、大豆蛋白等制品的品质功能与其原料中特征组分含量、组成及结构的相关关系;通过数据分析方法建立特征组分关键结构与其品质功能的相关关系,揭示大豆原料加工适宜性分子机制,明确大豆加工原料物质基础;将不同品种大豆数据建立数据库,筛选出大豆加工专用品种,并实现资源共享。这将有助于进一步完善大豆品质评价标准,利于实现大豆的精准加工,增强我国大豆的国际竞

争力,缩小国际差距。

参考文献

[1] 陈雪香, 马方青, 张涛. 尺寸与成分: 考古材料揭示黄河中下游地区大豆起源与驯化历程[J]. 中国农史, 2017, 38(3): 18-25. (Chen X X, Ma F Q, Zhang T. Size and composition: Archaeological materials reveal the origin and domestication of soybean in the middle and lower reaches of the Yellow River [J]. Chinese Agricultural History, 2017, 38(3): 18-25.)

[2] 王述民, 李立会, 黎裕, 等. 中国粮食和农业植物遗传资源状况报告(II) [J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(2): 167-177. (Wang S M, Li L H, Li Y, et al. China's food and agricultural plant genetic resources status reports (II) [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(2): 167-177.)

[3] Jia H, Jiang B, Wu C, et al. Maturity group classification and maturity locus genotyping of early-maturing soybean varieties from high-latitude cold regions [J]. Plos One, 2014, 9(4): 1-9.

[4] Valliyodan B, Dan Q, Patil G, et al. Landscape of genomic diversity and trait discovery in soybean [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 23598.

[5] Mohanty B P, Ganguly S, Mahanty A, et al. DHA and EPA content and fatty acid profile of 39 food fishes from India [J]. BioMed Research International, 2016: 4027437.

[6] Zhao X, Zhang X, Liu H, et al. Functional, nutritional and flavor characteristic of soybean proteins obtained through reverse micelles [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 74: 358-366.

[7] Zhang Y Q, Xiang L U, Li Q T, et al. Recent advances in identification and functional analysis of genes responsible for soybean nutritional quality [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(22): 4229-4309.

[8] Mayo B, Guadamuro L, Flórez A B, et al. Soy and soy products, isoflavones, equol, and health[M]// Exploring the Nutrition and Health Benefits of Functional Foods. USA: IGI Global Publishing, 2017: 1-31.

[9] Lee H, Choue R, Lim H. Effect of soy isoflavones supplement on climacteric symptoms, bone biomarkers, and quality of life in Korean postmenopausal women: A randomized clinical trial [J]. Nutrition Research & Practice, 2017, 11(3): 223-231.

[10] Olkkonen V M, Gylling H, Ikonen E. Plant sterols, cholesterol precursors and oxysterols: Minute concentrations-major physiological effects [J]. Journal of Steroid Biochemistry & Molecular Biology, 2017, 169(1): 4-9.

[11] 阚丽娇. 不同豆类营养成分及抗氧化组分研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2017. (Kan L J. Research on different nutritional components and antioxidant components of beans [D]. Nanchang: Nanchang University, 2017.)

[12] 王德亮, 蒋红鑫, 王继亮, 等. 豆浆用大豆品种的筛选[J]. 大豆科技, 2013(3): 25-30. (Wang D L, Jiang H X, Wang J L, et al. Selection of soybean varieties for soybean milk [J]. Soybean Technology, 2013(3): 25-30.)

[13] Li Y, Zhao L, Yun T, et al. Analysis of water-soluble bioactive

- substances in soybean products [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science & Technology, 2016, 16(2):258-265.
- [14] 郭天宝. 中国大豆生产困境与出路研究[D]. 沈阳: 吉林农业大学, 2017. (Guo T B. Study on the plight and outlet of Chinese soybean production [D]. Shenyang: Jilin Agricultural University, 2017.)
- [15] 刘顺湖, 周瑞宝, 盖钧镒. 中国野生和栽培大豆蛋白质及油脂含量的比较分析[J]. 大豆科学, 2009, 28(4):566-573. (Liu S H, Zhou R B, Gai J Y. Comparative analysis of Chinese wild and cultivated soybean protein and oil content [J]. Soybean Science, 2009, 28(4): 556-573.)
- [16] Cooper A J L, Jeitner T M. Central role of glutamate metabolism in the maintenance of nitrogen homeostasis in normal and hyperammonemic brain [J]. Biomolecules, 2016, 6(2):1-33.
- [17] Sun Y, Muze L I, Jie L I, et al. Extraction of triangle beans protein and classification of osborn [J]. Journal of Chengdu University, 2017,36(2):135-137.
- [18] Martinezvillaluenga C, Bringe N A, Berhow M A, et al. Beta-conglycinin embeds active peptides that inhibit lipid accumulation in 3T3-L1 adipocytes *in vitro* [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2014, 56(22):10533-10543.
- [19] 李亚玲, 易福金, 熊博. 中国食物消费结构变化对植物油市场的影响[J]. 农业技术经济, 2017(11):115-128. (Li Y L, Yi F J, Xiong B. Effects of changes in China's food consumption structure on the vegetable oil market [J]. Agricultural Technical Economy, 2017(11):115-128.)
- [20] 常鑫. 不同品种大豆的品质检测及大豆数据库的建立[D]. 沈阳: 吉林农业大学, 2013. (Chang X. Quality testing of soybean varieties and establishment of soybean database [D]. Shenyang: Jilin Agricultural University, 2013.)
- [21] Yang F, Oyeyinka S A, Xu W, et al. *In vitro*, bioaccessibility and physicochemical properties of phytosterol linoleic ester synthesized from soybean sterol and linoleic acid [J]. Food Science and Technology, 2018, 92:265-271.
- [22] 王丽, 王强, 刘红芝, 等. 花生加工特性与品质评价研究进展[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(10):122-128. (Wang L, Wang Q, Liu H Z, et al. Peanut processing characteristics and quality evaluation research progress [J]. Journal of China Grain and Oil, 2011, 26(10): 122-128.)
- [23] Vargas R L D, Schuch L O B, Barros W S, et al. Macronutrients and micronutrients variability in soybean seeds [J]. Journal of Agricultural Science, 2018, 10(4):209-222.
- [24] Wu T, Yao Y, Sun S, et al. Temporospatial characterization of nutritional and bioactive components of soybean cultivars in China [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2016, 93(12):1-18.
- [25] 裴小萍, 郭晓红. 大豆异黄酮在畜禽养殖中的应用及研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2011(12):54-55. (Pei X P, Guo X H. Application and research of soybean isoflavones in livestock and poultry breeding [J]. Science of Animal Husbandry and Feed, 2011(12):54-55.)
- [26] 韩立德, 盖钧镒, 邱家驹, 等. 菜用大豆感官品质性状遗传变异及品质育种目标性状分析[J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(1):16-20. (Han L D, Gai J Y, Qiu J X, et al. Analysis of genetic variation of sensory quality traits and quality breeding target traits of soybean for vegetable use [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2003, 4(1):16-20.)
- [27] 宋江峰, 刘春泉, 姜晓青, 等. 基于主成分与聚类分析的菜用大豆品质综合评价[J]. 食品科学, 2015, 36(13):12-17. (Song J F, Liu C Q, Jiang X Q, et al. Comprehensive evaluation of soybean quality for vegetable based on principal components and cluster analysis [J]. Food Science, 2015, 36(13):12-17.)
- [28] 张玉静. 不同大豆原料制作豆腐的适用性评价[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2016. (Zhang Y J. Evaluation of the suitability of tofu made from different soybean materials [D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2016.)
- [29] 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(1):50-55. (Li R S, Liu X Y, Tian Z G, et al. Effects of grain quality of soybean varieties on processing characteristics of soybean milk [J]. Northeast Agricultural Science, 2017(1):50-55.)
- [30] Song J, Liu C, Jiang X, et al. Comprehensive evaluation of vegetable soybean quality by principal component analysis and cluster analysis [J]. Food Science, 2015, 24(3):114-28.
- [31] Yang H, Li X, Gao J, et al. Germination-assisted enzymatic hydrolysis can improve the quality of soybean protein [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(2):1814-1819.
- [32] Lee J. Soy protein hydrolysate; solubility, thermal stability, bioactivity, and sensory acceptability in a tea beverage[D]. USA: University of Minnesota-Twin Cities, 2011.
- [33] Gao Y. Technics to improve solubility of soybean protein isolate using aspergillus oryzae protease modification by optimization of response surface methodology [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science & Technology, 2010.
- [34] 张海瑞. 提高大豆蛋白凝胶性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012. (Zhang H R. Study on improving gel properties of soybean protein [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.)
- [35] Wang F D, Yan X B, Xi H X, et al. Preparation and properties of a modified soy protein gel with EDTAD [J]. Science & Technology of Food Industry, 2009, 30(6):83-84.
- [36] Cabodevila O, Hill S E, Armstrong H J, et al. Gelation enhancement of soy protein isolate using the Maillard reaction and high temperatures [J]. Journal of Food Science, 1994, 59(4):872-875.
- [37] 连喜军, 鲁晓翔, 韩澄, 等. 大豆分离蛋白浓度和温度对凝胶形成的影响[J]. 粮油食品科技, 2007, 15(3):45-47. (Lian X J, Lu X X, Han C, et al. Effects of soy protein isolate concentration and temperature on gel formation [J]. Science and Technology of Cereals, 2007, 15(3):45-47.)
- [38] Maruyama N, Matsuoka Y, Yokoyama K, et al. A vacuolar sorting receptor-independent sorting mechanism for storage vacuoles in soybean seeds [J]. Scientific Reports, 2018, 8(1):1-9.
- [39] Yang X. Coagulation of soybean protein isolate induced by papain--Effect of 7S/11S ratio on coagulation character [J]. Journal of

the Chinese Cereals & Oils Association, 2006, 21(2):96-100.

[40] James A T, Yang A. Interactions of protein content and globulin subunit composition of soybean proteins in relation to tofu gel properties [J]. Food Chemistry, 2016, 194:284-289.

[41] Meng S, Chang S, Gillen A M, et al. Protein and quality analyses of accessions from the USDA soybean germplasm collection for tofu production [J]. Food Chemistry, 2016, 213:31-39.

[42] Yun J M, Surh J. Fatty acid composition as a predictor for the oxidation stability of Korean vegetable oils with or without induced oxidative stress [J]. Preventive Nutrition & Food Science, 2012, 17(2):158-165.

[43] Wang Q L, Cui C L, Jiang L Z, et al. Oil bodies extracted from high-fat and low-fat soybeans: Stability and composition during storage [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(6):1319-1325.

[44] Hasiewicz-Derkacz K, Kulma A, Czuj T, et al. Natural phenolics greatly increase flax (*Linum usitatissimum*) oil stability [J]. BMC Biotechnology, 2015, 15(1):1-14.

[45] 唐瑞丽. 大豆油储藏稳定性与预测研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2016. (Tang R L. Stability and prediction of soybean oil storage [D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2016.)

[46] Wewer V, Dombink I, Dorp K V, et al. Quantification of sterol lipids in plants by quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. Journal of Lipid Research, 2011, 52(5):1039-1054.

[47] 王玉, 孙博, 陈晓慧, 等. 磷脂含量对大豆油贮藏稳定性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(9):122-125. (Wang Y, Sun B, Chen X H, et al. Effect of phospholipid content on storage stability of soybean oil [J]. Food Science, 2011, 32(9):122-125.)

[48] Jiang X, Jin Q, Wu S, et al. Contribution of phospholipids to the formation of fishy off-odor and oxidative stability of soybean oil [J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2016, 118(4):603-611.

[49] 中华人民共和国农业部. 大豆等级规格: NYT 1933-2010[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2010:1-5. (Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Soybean grade specification: NYT 1933-2010[S]. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2010: 1-5.)

[50] 中华人民共和国商业部粮食储运局检验处. GB 1352-2009 大豆[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009:1-7. (Inspection Office of Grain Storage and Transportation Bureau, Ministry of Commerce of the People's Republic of China. GB 1352-2009 Soybean[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009: 1-7.)

[51] 宁波市质量技术监督局. 无公害菜用大豆 生产技术规程: DB 3302/T 095-2010 [S]. 宁波: 宁波市农业标准化技术委员会, 2011:1-7. (Ningbo Bureau of Quality and Technical Supervision. Technical regulations for soybean production of pollution-free vegetables; DB 3302/T 095-2010 [S]. Ningbo: Ningbo Technical Committee for Standardization (TCST) 2011: 1-7.)

[52] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017:1-17. (Ministry of Health of the PRC. Limits of contaminants in food safety national standards: GB 2762-2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 1-17.)

[53] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 大豆油: GB/T 1535-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017:1-10. (General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Management Committee of China. Soybean oil: GB/T 1535-2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 1-10.)

[54] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品加工用植物蛋白: GB 20371-2016 [S]. 北京: 国家食品药品监督管理局, 2016:1-7. (State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, General Administration of Food and Drug Administration. National food safety food processing plant protein: GB 20371-2016 [S]. Beijing: China Food and Drug Administration, 2016: 1-7.)