



# 大豆活性成分研究进展

孙明明<sup>1,2</sup>, 王 萍<sup>1</sup>, 李智媛<sup>1</sup>, 吕世翔<sup>1</sup>, 王 冠<sup>1</sup>, 韩英鹏<sup>2</sup>, 李文滨<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 信息中心, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 东北农业大学 大豆生物学教育部重点实验室/农业部东北大豆生物学与遗传学重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:**大豆是中国重要的经济作物和油料作物, 含有蛋白、多肽、异黄酮、低聚糖、皂苷、磷脂、亚精胺、植酸、维生素 E 等多种活性成分, 具有平衡人体氨基酸、增强机体免疫力、抗癌、抗氧化、降血压、降血脂、预防心脑血管疾病、调整雌激素水平等生理活性, 在食品、保健品、药品及化妆品等行业具有较好的应用前景。本文对大豆活性成分在生理功能、提取方法、种质筛选、分子生物学机制、综合应用等方面的研究进展进行了综述, 并对充分开发大豆活性成分的生理功能, 选育专用型品种对于促进中国大豆产业发展的重要意义进行展望, 旨在提高对大豆活性成分重要价值的认识, 充分开发利用大豆产品, 为发展大豆产业提供参考。

**关键词:**大豆; 活性成分; 蛋白; 多肽; 异黄酮; 低聚糖; 生理功能; 提取方法

## Research Progress of Soybean Active Ingredients

SUN Ming-ming<sup>1,2</sup>, WANG Ping<sup>1</sup>, LI Zhi-yuan<sup>1</sup>, LYU Shi-xiang<sup>1</sup>, WANG Guan<sup>1</sup>, HAN Ying-peng<sup>2</sup>, LI Wen-bin<sup>2</sup>

(1. Information Center of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Key Laboratory of Soybean Biology in Chinese Ministry of Education/Key Laboratory of Soybean Biology and Breeding(Genetics) of Chinese Agriculture Ministry, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Soybean is an important cash crop and oil crop in China. It contains protein, polypeptide, isoflavone, oligosaccharide, saponin, phospholipid, spermidine, phytic acid, vitamin E and other active ingredients. It balances human amino acids, enhances immunity, anticancer, antioxidant, lowers blood pressure, lowers blood lipid and prevents cardiovascular and cerebrovascular diseases. It has a good application prospect in food, health care products, pharmaceuticals and cosmetics industries. In this paper, the research progress of soybean active ingredients in physiological function, extraction method, germplasm screening, molecular biological mechanism and comprehensive application was reviewed. The significance of fully exploiting the physiological function of soybean active ingredients and breeding special varieties for promoting the development of soybean industry in China was prospected. The purpose is to improve the understanding of the important value of soybean active ingredients, fully develop and utilize soybean products, and provide a reference for the development of soybean industry.

**Keywords:** Soybean; Active ingredient; Protein; Polypeptide; Isoflavone; Oligosaccharide; Physiological function; Extraction method

大豆[*Glycine max* (Linn.) Merri.]原产于中国, 具有5 000多年的栽培历史, 在中国各地均有种植。大豆中富含大豆蛋白、活性肽、异黄酮、低聚糖、磷脂及皂苷等生物活性成分, 随着人们对膳食平衡和健康生活追求的不提高, 对大豆活性成分的研究也不断深入。大豆含有丰富的优质蛋白, 含有人体所必需的氨基酸, 与联合国粮农组织和世界卫生组织推荐的食用氨基酸组成基本相符, 一直是中国人传统优质食用蛋白的主要来源<sup>[1]</sup>; 大豆活性肽具有抗氧化、抗癌、降血压和血脂的功效<sup>[2]</sup>; 大豆

异黄酮可以较好地调节女性雌激素水平, 对于缓解女性更年期综合征、预防乳腺癌和前列腺癌等疾病有较好的效果<sup>[3]</sup>; 大豆低聚糖可以促进肠道内营养物质的生成和吸收<sup>[4]</sup>; 大豆磷脂、皂苷、植酸、甾醇等活性物质对人体均具有较好的保健作用。近些年, 随着分子生物学研究手段的不断发展, 科研工作者在大豆活性成分育种方向取得了较大的进展, 进行了大量资源的筛选和代谢机制的研究, 定位并克隆到了与活性成分代谢途径相关的位点和基因, 为高活性成分优质大豆品种的选育奠定了基

收稿日期: 2018-07-18

基金项目: 国家科技重大专项和重点研发项目(课题) 省级资助项目(GX17B002)。

第一作者简介: 孙明明(1983-), 女, 博士, 农艺师, 主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: soybeansmm1@126.com。

通讯作者: 韩英鹏(1978-), 男, 教授, 博导, 主要从事大豆遗传育种及分子生物技术研究。E-mail: hyp234286@aliyun.com;

李文滨(1958-), 男, 教授, 博导, 主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: wenbinli@neau.edu.cn。

础<sup>[5-7]</sup>。充分了解大豆活性成分的结构、功能及在不同领域的应用及发展现状对于充分发展大豆产业具有重要意义,因此,本文对大豆蛋白、活性肽、异黄酮、低聚糖、亚精胺等活性成分的研究进展进行了系统的总结,并对大豆活性成分的研究及发展方向进行了展望,旨在为大豆活性成分的有效利用奠定理论基础。

1 大豆的主要活性成分

1.1 大豆蛋白

大豆籽粒中的蛋白质含量为 35% ~ 40%,富含赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸等人体必需氨基酸,因此大豆蛋白是人类和动物主要的优质蛋白质来源。大豆蛋白的主要成分是贮藏蛋白,约占总蛋白质含量的 70% 以上,储藏蛋白根据沉降系数不同可以分为 2S、7S、11S 和 15S 4 种球蛋白,其中 7S 和 11S 球蛋白占 70% 左右,研究最为广泛。7S、11S 球蛋白的相对含量及组成比例直接影响大豆的营养功能及加工特性<sup>[8]</sup>。

7S 球蛋白分子量约为 150 kD,由  $\beta$ -伴大豆球蛋白、 $\gamma$ -伴大豆球蛋白和碱性 7S 球蛋白组成。 $\beta$ -伴大豆球蛋白由  $\alpha'$ -亚基、 $\alpha$ -亚基和  $\beta$ -亚基组成,是大豆的主要致敏源,能够造成部分人群对大豆制品的过敏性反应,影响对大豆蛋白营养的消化和吸收,为解决这一问题,研究人员展开了大量针对 7S 蛋白亚基缺失的研究。Patil 等<sup>[9]</sup>利用分子标记辅助回交获得了一个可以导致  $\beta$ -伴球蛋白  $\alpha$ -亚基缺失的 *CGY-2* 等位基因;Ladin 等<sup>[10]</sup>研究表明  $\alpha'$ -亚基是由大豆 10 号染色体 7S 球蛋白基因家族 C 区的 *Cgy-1* 基因编码的;宋波<sup>[5]</sup>以东农 47 位遗传背景创制了致敏蛋白  $\alpha$ -亚基缺失型单基因近等基因系,为低致敏大豆的分子育种提供了材料。虽然 7S 蛋白含量增加了大豆的致敏性,但其对大豆的加工特性产生有益影响,7S 球蛋白含量增加时,大豆的分散性<sup>[11]</sup>和乳化性<sup>[8]</sup>增加,可以提升大豆蛋白的加工特性。此外近年来有研究表明  $\beta$ -伴大豆球蛋白可以降低动物体内甘油三酯水平,改善更年期妇女高血脂征,有效预防心脑血管疾病<sup>[11]</sup>。为充分利用 7S 蛋白的保健功能,育种家们逐步开始高 7S 低 11S 亚基大豆的育种研究,日本学者矢ヶ崎等<sup>[12]</sup>已经育成 11S 球蛋白 I、II a、II b 3 个亚基同时缺失的高 7S 球蛋白含量的大豆新品种 Nanahomare,并且以此为加工原料,开发出了可降低肥胖症候群的内脏脂肪、血脂及血糖含量的保健食品。

11S 球蛋白由酸性亚基(A)和碱性亚基(B)构成,根据各亚基序列分为两组,第一组为 A1aB2, A1bB1b 和 A2B1a,第二组为 A3B4 和 A5A4B3<sup>[13]</sup>,其中 A5A4B3 亚基与大豆蛋白凝胶形成速度和凝胶透明性密切相关,A3B4 与大豆蛋白凝胶的硬度有密切的关系<sup>[14]</sup>。11S 球蛋白有利于提高大豆的凝胶特性,因此 11S 球蛋白既可以直接作为食品的成分,提高食品营养价值,也可以作为食品添加剂,改善食品的质构特性及口感。此外 11S 蛋白中含有大量的二硫键和巯基,其含硫氨基酸的含量高于 7S 蛋白,利于人体充分吸收和利用更多自身无法合成的蛋氨酸,满足人体氨基酸平衡的需求<sup>[8]</sup>。

研究表明 11S 与 7S 球蛋白含量呈显著负相关,因此可以通过调整二者比例来满足不同加工特性的需求。11S/7S 球蛋白比值与大豆蛋白的乳化性、发泡性、凝胶透明性都呈线性关系,11S/7S 球蛋白比值越小,大豆蛋白的乳化性和发泡性越好,而 11S/7S 球蛋白比值越大时,则大豆蛋白的凝胶透明性越好<sup>[15]</sup>。

近年来,国内外学者们进行了大量针对 7S 和 11S 组分及亚基含量的资源筛选研究。

Kitamura 等<sup>[16]</sup>从 1 700 份大豆品种中,筛选出  $\alpha$  与  $\beta$  亚基含量降低的 Mo-shi-dou 和  $\alpha'$ 亚基缺失的 Keburi 共 2 份材料。刘春等<sup>[17]</sup>从 650 份南农 493-1 的 EMS 诱变体中分别筛选出  $\alpha'$ 低含量、 $\beta$ 亚基低含量、7S 缺失和 11S 低含量的材料。麻浩等<sup>[18]</sup>分别测定了 706 大豆资源的 7S 和 11S 组分及亚基的相对含量,筛选获得了 63 份 7S、11S 组分或亚基含量变异种质;姜振峰等<sup>[19]</sup>测定了 422 份大豆资源的 7S 和 11S 球蛋白含量、7S 球蛋白  $\alpha'$ 、 $\alpha$  和  $\beta$  亚基的含量变化,结果表明品种间相同亚基含量差异较大,并获得了 1 份  $\alpha'$ 亚基缺失的品种;张明俊等<sup>[20]</sup>测定了 610 份大豆资源的各蛋白亚基的相对含量及 11S/7S 值,结果表明不同亚基的变异系数差异极显著,筛选出亚基明显变异的材料 6 份,11S/7S 比值大于 3 的材料 10 份。这些材料的获得为大豆蛋白质品质改良育种及相关基因的挖掘提供了重要基础。

1.2 大豆多肽

大豆多肽属于生物活性肽,是以大豆蛋白为主要原料,经过提取分离、纯化并精制而成的低聚肽的混合物(蛋白质水解物),通常以由 3 ~ 6 个氨基酸组成的小分子肽为主,还含有少量游离氨基酸、糖类、水分和无机盐等<sup>[21]</sup>。大豆多肽具有很高的营

养价值,其氨基酸组成与大豆蛋白完全相同,小分子肽更利于人体消化吸收,此外与大豆蛋白相比,大豆多肽具有优异的理化性质。首先大豆肽具有较高的溶解性且不受 pH 的限制,在所有 pH 条件下都可以溶解<sup>[22]</sup>;多肽的吸水性也非常稳定,不受 pH 变化影响;多肽的相对分子量较低,浓度增大时仍能保持较低的粘性和高流动性<sup>[23]</sup>;大豆蛋白的致敏性是限制大豆制品广泛推广的重要因素,研究表明大豆多肽的抗原性低于大豆蛋白,大豆多肽的相对分子量在 1 000 kD,不会产生致敏反应<sup>[21,24]</sup>;且大豆肽的渗透压低于氨基酸,更易于肠道的吸收,服用后不会产生不适感<sup>[21]</sup>;大豆多肽还可以与金属离子和微量元素形成可溶性络合物,在提高蛋白吸收量的同时,促进人体对 Fe、Zn、Ca 等金属离子及微量元素的吸收,满足对营养元素的全面需求<sup>[25]</sup>。

大豆多肽的生理结构决定了它在抗氧化、降血压、抗癌、降胆固醇、提高免疫力等方面的生理功能。焦宝利<sup>[26]</sup>的研究表明,超滤大豆肽的各级分均具有抗氧化活性,且随着分子量的降低,抗氧化活性增强,3 kD 以下的大豆肽抗氧化活性最高,大豆肽还可以与维生素 C 和维生素 E 等发挥协同抗氧化作用;张莉莉等<sup>[27]</sup>的研究表明 2~6 个氨基酸残基的大豆多肽对自由基的清除率最高,达到 80.13%;荣建华<sup>[28]</sup>系统研究了大豆多肽的抗氧化作用,结果表明大豆多肽对脂质体系、非脂质体系、酶系统、非酶系统、体外试验均有显著的抗氧化作用。大豆多肽可以通过抑制血管紧张素转换酶(ACE)活性,起到降压的作用<sup>[29]</sup>,碱性蛋白酶水解得到的大豆肽对 ACE 的抑制率较高<sup>[30]</sup>,大豆多肽无毒、无副作用,是健康、安全的活性降压物质<sup>[31]</sup>。研究人员在研究过程中发现了不同类型的具有抗癌活性的大豆肽,Hellerstein<sup>[32]</sup>从大豆中定性了一个抗有丝分裂肽,对抑制肿瘤细胞分裂具有重要意义。露那辛是在大豆中分离得到的一种可以破坏细胞有丝分裂并引起染色体破裂和细胞凋亡的活性肽,在临床上具有很高的应用前景<sup>[33]</sup>。大豆多肽可以通过促进甲状腺激素的分泌,使胆固醇的胆汁酸化,使粪便中的胆固醇排泄量增加;还可以通过阻止肠道中胆固醇的重吸收并将其排除体外,这都促进了体内胆固醇的排出,起到降低胆固醇的作用,而且大豆多肽在降低胆固醇时具有选择性,不会降低人体内有有益的高密度脂蛋白胆固醇(HDL C)<sup>[34]</sup>。大豆多肽还具有免疫调节<sup>[35-36]</sup>、促进脂肪代谢<sup>[37]</sup>、调节血糖、抗疲劳<sup>[38]</sup>等特性。

制备、分离和纯化高纯度的大豆多肽,是生产大豆肽食品和药品、进一步明确大豆肽生理功能的基础,大豆多肽的分离主要采用酶水解法和微生物发酵法,前者在工业生产上应用较为广泛,现有的研究在蛋白酶种类、酶解工艺参数等方面取得了较大的进展,生产应用的蛋白酶主要有植物蛋白酶、动物蛋白酶和微生物蛋白酶,其中枯草杆菌 1389、放线菌 166、栖土曲霉 3942、黑曲霉 3350 和地衣型芽孢杆菌 2709 等微生物蛋白酶应用较为广泛<sup>[39]</sup>。针对加酶量、酶解温度、时间、料液比及 pH 等酶解参数进行了大量的研究,得到的优化条件提高了大豆肽得率<sup>[40-43]</sup>,但针对不同生产条件的具体工艺参数仍需进行具体调整,以提高大豆肽生产效率。微生物发酵法主要是利用微生物菌株在生长代谢过程中分泌产生的蛋白酶进行大豆肽制备,分为固态发酵法和液态发酵法,研究人员采用不同微生物菌株进行了大量的研究<sup>[44-45]</sup>。酶解法制得的大豆肽产生的苦味大,口感较差;而发酵法制得的大豆肽,虽然口感有所改善,但是发酵时间较长,成本难控制,不利于大规模生产。廖斌<sup>[46]</sup>对酶解—发酵复合法制备大豆肽的方法进行了研究。

为提高大豆肽的精度和纯度,需要对初步制备的多肽进行进一步的分离和纯化,主要有膜分离法、色谱法、毛细管电泳法和复合联用法等。其中膜分离法包括:超滤<sup>[47]</sup>、微滤<sup>[48]</sup>、纳滤技术<sup>[49]</sup>;色谱法包括反相高效液相色谱<sup>[50]</sup>、凝胶过滤色谱<sup>[51]</sup>、离子交换色谱<sup>[52]</sup>。

大豆多肽因其特有的结构特性和生理功能在食品和保健品领域得到青睐,随着对其研究的不断深入将会有更加广泛的应用前景。

### 1.3 大豆异黄酮

大豆异黄酮是大豆在生长发育过程中形成的一类次生代谢产物,主要集中在大豆种子的子叶和胚轴中,大豆中异黄酮的含量为 1.0%~1.5%。研究表明异黄酮具有类雌激素、抗肿瘤等多种生理功能,但异黄酮资源来源非常有限,仅限于豆科蝶形花亚科的极少数植物中,且大豆是唯一在营养学上有意义的食物资源,因此对大豆异黄酮的研究具有重要意义。

目前针对大豆异黄酮的提取和生理功能研究已经取得了较大的进展。异黄酮提取方法主要有溶剂萃取、超声辅助萃取、微波辅助萃取、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取、高压浸提等。溶剂萃取主要是指采取有机溶剂浸提获得异黄酮的方法,常用有溶剂有乙

醇、丙酮、乙酸乙酯和弱碱性水溶液等<sup>[53-55]</sup>,使用乙醇在提取过程中需要注意蛋白变性问题,以免影响后续提取效果。超声波辅助萃取是利用超声波作用过程中产生的强烈空化效应、机械振动、扰动效应、高加速度、乳化、扩散、击碎和搅拌作用等多级效应,增大物质分子运动频率和速度,增加溶剂穿透力,从而加速目标分子进入溶剂,促进提取的进行<sup>[56]</sup>。研究表明超声波辅助提取可以有效提高大豆异黄酮的提取率,增大提取纯度<sup>[57-58]</sup>,采用超声波对样品进行预处理可以促进物质分解,同时避免了高温对成分的破坏作用,但是在作用过程中可能会对活性成分的化学键产生影响,应予以注意。微波辅助萃取利用微波的高频性、波动性、热特性和非热特性辅助有机溶剂进行生物活性物质的萃取,以提高提取效率<sup>[59]</sup>;超临界 CO<sub>2</sub> 萃取是在临界状态下有选择性的将特性不同的物质分离的一种技术,具有提取效率高、纯度优良、低残留等优点<sup>[60]</sup>。不同提取方法在操作特点、提取率、产品纯度上均存在差别,应结合具体条件进行选择。

针对大豆异黄酮的生理功能的研究已经取得了较大的进展,首先大豆异黄酮具有类雌激素样作用,被称为“植物性雌激素”,并且大豆异黄酮具有对雌激素的双向调节作用,体内高雌激素条件下显示抗雌激素作用,反之在体内低雌激素条件下则表现为拟雌激素作用,因此大豆异黄酮可以有效缓解雌激素分泌失衡引发的症状<sup>[61]</sup>。研究表明大豆异黄酮对于乳腺癌、前列腺癌、肝癌、肠癌等一系列癌细胞的生长和增殖均具有抑制作用<sup>[62]</sup>,其抗癌特性的主要作用机制与大豆异黄酮的雌激素平衡调节、抗氧化、调节细胞生命周期、诱导肿瘤细胞死亡、抑制肿瘤新生血管形成有关。近年来的研究显示大豆异黄酮的弱雌激素作用可以有效地预防由雌激素缺乏所造成骨质疏松<sup>[63]</sup>;延缓动脉粥样硬化发生,预防心脑血管疾病<sup>[64]</sup>;随着对大豆异黄酮生理功能研究的不断深入,大豆异黄酮的抗辐射、抗氧化、抗菌消炎、神经保护、抗神经退化及提高记忆力等功能相继被报道<sup>[65-66]</sup>,为新型保健品和药品的开发奠定了基础。

大豆异黄酮含量受大豆品种特性影响较大,为选育高大豆异黄酮含量的品种,近年来针对资源筛选<sup>[67]</sup>、大豆异黄酮合成途径相关基因定位、克隆<sup>[68]</sup>及表达分析<sup>[69]</sup>展开了大量的研究,获得的高异黄酮含量的大豆种质及关键基因,对于加快高异黄酮含量大豆品种的选育,满足市场需求意义重大。

1.4 大豆低聚糖

大豆低聚糖是大豆籽粒中可溶性糖的总称,存在于大豆乳清中,主要由水苏糖、棉籽糖和蔗糖组成,还含有葡萄糖、果糖等,具有良好的热稳定性和酸稳定性,不会被胃酸和酶降解,具有改善肠道菌群、调节免疫力、降血压、降血脂、抗癌等生理功能,是一种功能性低聚糖。

大豆低聚糖主要从工业上生产大豆分离蛋白的副产品乳清中提取,主要有超滤法<sup>[70]</sup>、碱液提取法<sup>[71]</sup>、膜集成法<sup>[72]</sup>、酸沉淀法<sup>[73]</sup>、超声提取和微波提取<sup>[74]</sup>等分离和纯化方法。大豆低聚糖具有调节肠道菌群,促进胃肠蠕动的功能,肠道中的双歧杆菌和乳酸菌等可以利用棉子糖和水苏糖,促进菌群繁殖,起到平衡肠内菌群平衡,抑制致病菌等功效,从而有效防止便秘;同时双歧杆菌的大量增殖,会刺激肠道免疫细胞,提高肠道免疫球蛋白 A 的产生能力,双歧杆菌还可以诱导促细胞分裂剂和干扰素的产生,增强机体免疫力;此外大豆低聚糖具有抗癌防癌、护肝、抗衰老、促进营养物质生成和吸收、抑制病原菌以预防和治疗腹泻的功能<sup>[75-76]</sup>,这些功能都与大豆低聚糖促进双歧杆菌的增殖关系密切。大豆低聚糖还可以直接作用于脾淋巴细胞,促进脾淋巴细胞的转化,提高机体免疫力。试验表明,大豆低聚糖可以降低血清总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)的含量,提高高密度脂蛋白(HDL)和 HDL-C/TC 含量<sup>[77]</sup>,减少丙二醛(MDA)含量、增强抗脂质过氧化和促进粪胆酸的排泄<sup>[78]</sup>,对于防止高血脂症和心脑血管疾病具有重要意义。

大豆种质资源的低聚糖含量存在差异,国内外学者进行大量资源的筛选研究,获得多份特异性资源<sup>[79-81]</sup>,为高低聚糖含量品种选育提供了材料。随着分子生物学技术的发展,近年来陆续定位到大量的与低聚糖基因相关的 QTL 位点<sup>[82-84]</sup>。对低聚糖代谢途径及相关酶基因的研究也取得了一定进展,研究表明 肌醇-1-磷酸合酶(myoinositol-1-phosphate synthase, MIPS)基因是低聚糖合成的关键酶基因<sup>[85-86]</sup>。关于大豆低聚糖种质筛选和遗传机制的研究,国外研究报道较多,国内尚缺乏该方面系统的研究。

2 大豆其它活性成分

2.1 大豆皂苷

大豆皂苷是大豆生长过程中形成的一类重要的次生代谢产物,根据其苷元不同分为 A 类、B 类、

E 类和 DDMP 类,大豆皂苷分子极性较大,易溶于热水、含水稀醇、热甲醇和热乙醇中,难溶于乙醚、苯等极性小的有机溶剂。大豆皂苷属于酸性皂苷,在其水溶液中加入硫酸铵、醋酸铅或其它中性盐类即生成沉淀,利用这一性质可以对其进行分离和提取。20 世纪 70 年代,对大豆皂苷的研究主要局限于抗营养因子及不良风味因子等方面,认为在大豆的加工过程中应将其除去。进入 20 世纪 80 年代以来,许多学者发现大豆皂苷具有降低胆固醇、抗血栓等功效。近年来,国内外大量研究表明:大豆皂苷不仅毒副作用很小,而且具有增强免疫调节、抗肿瘤、抗氧化、抗病毒、抗血栓、抗糖尿病、降脂减肥等功能<sup>[87]</sup>。大豆皂苷是强极性酸性皂苷,化学成分较为复杂,且在大豆中的含量较低,仅为 0.6%,因此分离提取比较困难。目前关于大豆皂苷提取比较可行的方法有 3 种:正丁醇萃取法、大孔树脂吸附法和铅盐沉淀法。随着大豆皂苷生理活性功能研究的不断深入,其应用前景日趋广泛,在食品、医药品和化妆品领域都已应用。

2.2 大豆磷脂

磷脂是指含磷酸的脂类,在植物中以大豆中磷脂含量最高,大豆磷脂中主要包括卵磷脂、脑磷脂、肌醇磷脂、磷脂酰丝氨酸、磷脂酸和其它磷脂。大豆磷脂具有乳化性、分散性、渗透性和增溶性等特性,但粗磷脂容易氧化和发生霉变,限制了应用,因此多对磷脂进行改性以优化其特性,满足生产加工需求。磷脂改性主要有物理和化学两种方法。物理改性法包括:超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法、溶剂萃取法、柱层析法、复配改性、双氧水脱色法、连续真空浓缩法、无机盐复合沉淀法、微胶巧法和酶催化精制法等。化学改性法包括酰化、羟化、氢化、羟氢化、硫化和水解等。大豆磷脂经过不同的改性工艺,得到的改性大豆磷脂具有各种独特的性质,实际应用范围极大拓宽,已知的改性大豆磷脂主要应用于食品饮料、化妆品、皮革、医药、饲料、涂料工业、乳化炸药等行业<sup>[88]</sup>。

2.3 大豆亚精胺

亚精胺是大豆体内的一种多胺成分,具有调节植物生长发育,提高抗性等多种生理功能。研究表明施用外源亚精胺可以提高大豆的耐盐性、叶片抗衰老、抗旱性等。此外,亚精胺在番茄、生姜、玉米和燕麦等作物上均表现为可提高机体抗逆性的特征。近年来的研究表明大豆亚精胺具有特殊的营养保健作用,亚精胺可以激活细胞自噬过程,从而

实现细胞组分的降解和循环,具有延长单核细胞的寿命及生存率,提高人体记忆力、降低神经变性的功能;对大鼠和小鼠补充亚精胺,结果显示亚精胺改善了心脏功能,延缓心肌增厚,预防心力衰竭,有效延缓寿命。此外亚精胺还有降血压、降低心脑血管疾病发病率的功效。亚精胺在特殊生理功能预示着它在保健品和药剂开发方面将有广阔的应用前景<sup>[89]</sup>。

2.4 其它

大豆还含有其它多种活性成分,如甾醇、植酸、膳食纤维、维生素 E、植物血凝素、细胞色素 C 及胰蛋白抑制剂等。针对其生理功能、提取方法、改性、遗传改良及在食品、保健品、药品及加工行业的应用,已经取得了广泛的进展,为大豆产品的综合开发利用奠定了良好的基础。

3 展 望

大豆在中国具有悠久的栽培历史,但由于国内大豆单产较低、品种专一性不强等原因,国产大豆受到进口大豆的严重冲击,如何发展中国大豆产业成为重要课题。大豆含有的多种生物活性成分,具有抗衰老、抗癌、降血压、降血脂等功效,对大豆中这些活性成分的研发和利用可以满足人们对于优质蛋白质、优质保健品和药品的需求。大豆起源于中国,拥有丰富的野生和栽培大豆资源,科研人员应当充分利用资源优势,加大对于大豆活性功能的研发力度,选育优质的专用型大豆品种,生产加工企业应提高产品的生产加工水平,根据市场需要提升产品纯度和精度,增加中国大豆的国际市场竞争力,满足市场多元化需求,促进中国大豆产业发展。

参考文献

[1] 刘新旗,涂丛慧,张连慧,等. 大豆蛋白的营养保健功能研究现状[J]. 北京工商大学学报(自然科学版),2012,30(2):1-6. (Liu X Q, Tu C H, Zhang L H, et al. Research on nutrition and health benefits of soy protein [J]. Journal of Beijing Technology and Business University(Natural Science Edition), 2012,30(2): 1-6. )

[2] 王立博,陈复生. 大豆活性肽生理保健功能研究进展[J]. 食品与机械,2016,32(2):198-201. ( Wang L B, Chen F S. Research progress on physiological and health functions of soybean bioactive peptides [J]. Food & Machinery, 2016, 32(2): 198-201. )

[3] 杨茂区,陈伟,冯磊. 大豆异黄酮的生理功能研究进展[J]. 大豆科学,2006,25(3):320-324. ( Yang M Q, Chen W, Feng L. Research progress on biological functions of soybean isoflavone

- [J]. Soybean Science, 2006, 25(3): 320-324. )
- [4] 蔡琨, 苏东海, 陈静, 等. 大豆低聚糖的生理功能研究进展[J]. 中国食品与营养, 2012, 18(12): 56-61. (Cai K, Su D H, Chen J, et al. Research advancement of the physiological functions of stachyose and raffinose in soybeans[J]. Food and Nutrition in China, 2012, 18(12): 56-61. )
- [5] 宋波. 大豆 7S 致敏蛋白  $\alpha$ -亚基缺失型近等基因系的近等基因系的近等性评价与应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017. (Song B. Evaluation and application of near-isogenic lines for allergenic  $\alpha$ -subunit deficiency of 7S globulin in soybean (*Glycine max* L. Merrill) [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017. )
- [6] Kim E H, Ro H M, Kim S L, et al. Analysis of isoflavone, phenolic, soyasapogenol, and tocopherol compounds in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] germplasms of different seed weights and origins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(23): 6045-6055.
- [7] Jang E K, Piao X M, Hwang T Y, et al. Variation of saponin content in Korean native soybean landraces reintroduced from USA to Korea, Korean [J]. Journal of Crop Science, 2012, 57(3): 286-295.
- [8] 刘岷, 赵晓燕, 符力丹. 大豆蛋白中 7S 与 11S 球蛋白的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(17): 201-204. (Liu D, Zhao X Y, Fu L D. Study of 7S and 11S globulins from soy protein[J]. Food Research and Development, 2016, 37(17): 201-204. )
- [9] Patil G, Mian R, Vuong T, et al. Molecular mapping and genomics of soybean seed protein: A review and perspective for the future [J]. Theoretical and Applied Genetic, 2017, 130: 1975-1991.
- [10] Ladin B F, Doyle J J, Beachy R N. Molecular characterization of a deletion mutation affecting the  $\alpha$ '-subunit of beta-conglyinin of soybean [J]. Journal of Molecular and Applied Genetics, 1984, 4: 372-380.
- [11] 王磊, 王慧中, 藕冉, 等. 大豆主要贮藏蛋白组分遗传改良研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(4): 608-612. (Wang L, Wang H Z, OU R, et al. Recent advances in genetic improvement of soybean seed main storage proteins[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(4): 608-612. )
- [12] 矢ヶ崎和弘, 坂本秀彦, 関功介, ほか. ダイズ新品種「ななほまれ」の育成[J]. 北陸作物学会報, 2010, 45: 61-64. (Kazuhiro Y, Hidehiko S, Kosuke S, et al. Breeding of a new soybean variety 'Nanahomare' [J]. Hokuriku Crop Science Bulletin, 2010, 45: 61-64. )
- [13] Nielsen N C. The structure and complexity of the 11S polypeptides in soybean [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 1985, 62: 1680-1686.
- [14] Fukushima D. Structures of plant storage proteins and their functions[J]. Food Reviews International, 1991, 7(3): 353-379.
- [15] 黄丽华. 大豆种质贮藏蛋白 11S 和 7S 组分的变异以及功能性关系的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2003. (Huang L H. Variations of the 11S and 7S fractions of soybean seed storage protein, and relationships between 11S/7S ratios and protein functional properties [J]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2003. )
- [16] Kitamura K, Kaizuma N. Mutant strains with low level of subunits of 7S globulin in soybean (*Glycine max* L.) seed [J]. Japanese Journal of Breeding, 2008, 31(4): 353-359.
- [17] 刘春, 王显生, 张占琴, 等. 大豆种子贮藏蛋白亚基含量变异种质的筛选与创制[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2008, 34(3): 249-255. (Liu C, Wang X S, Zhang Z Q, et al. Screening and creation of content variations of soybean seed storage protein subunits [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2008, 34(3): 249-255. )
- [18] 麻浩, 王显生, 刘春, 等. 706 份中国大豆种质贮藏蛋白 7S 和 11S 组分及其亚基相对含量的研究[J]. 大豆科学, 2006, 25(1): 11-17. (Ma H, Wang X S, Liu C, et al. The content variation of 7S, 11S globulins and their subunits of seed storage protein of 706 Chinese soybean germplasm [J]. Soybean Science, 2006, 25(1): 11-17. )
- [19] 姜振峰, 赫汪, 汪洋, 等. 大豆种子 7S、11S 球蛋白及 7S 球蛋白亚基的研究[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(2): 32-35. (Jiang Z F, He W, Wang Y, et al. Study on 7S, 11S globulin and subunits of 7S globulin of soybean seed [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2007, 29(2): 32-35. )
- [20] 张明俊, 李忠峰, 于莉莉, 等. 大豆子粒蛋白亚基变异种质的鉴定与筛选[J]. 作物杂志, 2018(3): 44-50. (Zhang M J, Li Z F, Yu L L, et al. Identification and screening of protein subunit variation germplasm from both mutants and natural population in soybean [J]. Crops, 2018(3): 44-50. )
- [21] 段娜娜, 陈复生, 刘伯业, 等. 大豆多肽的功能特性及其在食品中的应用[J]. 农业机械, 2011(1): 133-136. (Duan N N, Chen F S, Liu B Y, et al. Functional properties of soybean peptides and their application in food [J]. Farm Machinery, 2011(1): 133-136. )
- [22] 江志伟, 沈蓓英, 潘秋琴. 蛋白质加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 93. (Jiang Z W, Shen B Y, Pan Q Q. Protein processing technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 93. )
- [23] 曲永询. 大豆肽的特性及其应用[J]. 中国油脂, 1996(2): 3-5. (Qu Y X. Characteristics of soybean and its application [J]. China Oil and Fats, 1996(2): 3-5. )
- [24] 石彦国, 马永强, 赵毅. 大豆蛋白水解物物化特性的研究[J]. 中国粮油学报, 2001, 16(1): 59-63. (Shi Y G, Ma Y Q, Zhao Y. A study on physical and chemical properties of soy protein hydrolysates [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2001, 16(1): 59-63. )
- [25] 杨华, 赵薇, 林顺毅, 等. 大豆多肽亚铁螯合物的螯合条件优化[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(9): 2197-2200, 2205. (Yang H, Zhao W, Lin S Y, et al. Optimization of chelating condition of polypeptide ferrous chelate of soybean [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(9): 2197-2200, 2205. )
- [26] 焦宝利. 大豆肽抗氧化性及其协同作用研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015. (Jiao B L. Antioxidant properties and synergistic effect of soybean peptides [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015. )

- [27] 张莉莉,严群芳,王恬. 大豆生物活性肽的分离及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学,2007,28(5):208-210. (Zhang L L, Yan Q F, Wang T. Study on isolation and antioxidant activity of soybean bioactive peptides[J]. Food Science, 2007, 28(5): 208-210. )
- [28] 荣建华. 大豆多肽及其生物活性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学,2001. (Rong J H. Study on soybean peptides and their bioactivities[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2001. )
- [29] 孙强,黄纪念,卢鑫,等. 大豆多肽的降压活性及其相对分子质量分布研究[J]. 中国食物与营养,2012,18(9): 36-39. (Sun Q, Huang J N, Lu X, et al. Study on antihypertensive activity and molecular weight distribution of soybean peptides[J]. Food and Nutrition in China, 2012, 18(9): 36-39. )
- [30] 范远景,姬莹莹,张炎. 大豆蛋白酶解肽的分子量分布及抑制ACE活性关系研究[J]. 食品科学,2007,28(10): 57-61. (Fan Y J, Ji Y Y, Zhang Y. Study on molecular weight composition of peptides from hydrolyzed soybean proteins by protease and their activities of inhibiting ACE[J]. 2007, 28(10): 57-61. )
- [31] 陈丽花,王跃,朱锦爵. 大豆蛋白抗氧化活性肽的制备工艺研究[J]. 食品工业,2011(3): 31-33. (Chen L H, Wang Y, Zhu J J. Preparation of soybean anti-oxidation polypeptides[J]. The Food Industry, 2011(3): 31-33. )
- [32] Hellerstein M H. Antimitotic peptide characterized from soybean; Role in protection from cancer[J]. Nutrition Reviews, 2010, 57(11): 359-361.
- [33] 陈琛. 抗肿瘤肽露那辛研究进展[J]. 中国生化药物杂志, 2010, 31(4): 281-284. (Chen C. Research advances of anticancer peptide Lunasin[J]. Chinese Journal of Biochemical Pharmaceutics, 2010, 31(4): 281-284. )
- [34] Nagaoka S, Awano R, Nagata N, et al. Serum cholesterol reduction and cholesterol absorption inhibition in Caco-2 cells by a soy protein peptic hydrolyzate[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1997, 61(2): 354-356.
- [35] 国明明. 大豆肽的制备及其免疫调节作用的研究[D]. 无锡: 江南大学,2007. (Guo M M. Study on preparation and immunological regulation of soy peptides[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007. )
- [36] Yoshikawa M, Takahashi M. Immunomodulating peptide derived from soybean protein[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1993, 685(1): 375-376. )
- [37] Ishihara K, Matsumoto K, Uohashi R, et al. Effects of soybean peptide on suppression of body fat accumulation during endurance swimming in mice[J]. Report of the Soy Protein Research Committee Japan, 1996, 17: 94-97. )
- [38] 王启荣,李肃反,杨则宜,等. 补充大豆多肽对中长跑运动员训练期生化指标的影响[J]. 中国运动医学杂志,2004(1): 33-37. (Wang Q R, Li S F, Yang Z Y, et al. The effects of soybean peptides supplementation on serum biomarkers in distance runners[J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2004(1): 33-37. )
- [39] 刘艳秋. 大豆多肽生产工艺的优化及其生物活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2004. (Liu Y Q. Research on the optimization of production techniques of soybean polypeptides and its bio-activity[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2004. )
- [40] 修立颖,单春乔,李晶晶,等. 酶法制备大豆肽的研究[J]. 饲料工业,2015,36(18): 44-47. (Xiu L Y, Shan C Q, Li J J, et al. Research of enzymatic preparation of soybean peptide[J]. Feed Industry, 2015, 36(18): 44-47. )
- [41] 柯涛,黄亚男,庞振凌,等. 双酶法制备大豆肽工艺优化研究[J]. 食品研究与开发,2016,37(2): 93-96. (Ke T, Huang Y N, Pang Z L, et al. Studies on increased soluble dietary fiber in carrot residues by extrusion spray processing and properties of treated carrot residues[J]. Food Research and Development, 2016, 37(2): 93-96. )
- [42] 段志强. 大豆肽的制备及其在食品中的应用[D]. 上海: 华东师范大学,2015. (Duan Z Q. Preparation of soybean peptide and its application in food[D]. Shanghai: East China Normal University, 2015. )
- [43] 吴非,于胜男,葛锡娟,等. 木瓜蛋白酶制备大豆抗癌活性肽的条件优化[J]. 食品科学,2012,33(7): 148-152. (Wu F, Yu S N, Ge X J, et al. Optimization of preparation conditions for soybean anticancer peptides by papain hydrolysis[J]. Food Science, 2012, 33(7): 148-152. )
- [44] 李慧娟,孙云鹏,丁鹏程,等. 混合菌固态发酵豆粕制备大豆活性肽[J]. 食品与发酵工业,2014,40(11): 121-126. (Li H J, Sun Y P, Ding P C, et al. Preparation of soybean peptides by solid-state fermentation with mixed strains[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(11): 121-126.
- [45] 廖斌,贾佳,李鑫,等. 液体发酵制备大豆肽工艺研究[J]. 中国酿造,2012,31(2): 121-124. (Liao B, Jia J, Li X, et al. Preparation technology of soybean peptides by liquid fermentation[J]. China Brewing, 2012, 31(2): 121-124. )
- [46] 廖斌. 酶解-发酵复合法制备大豆肽的研究[J]. 南昌: 南昌大学,2012. (Liao B. Study on the preparation of soybean peptide by enzymatic and fermentation[J]. Nanchang: Nanchang University, 2012. )
- [47] Rao A, Shallo H E, Ericson A P, et al. Characterization of soy protein concentrate produced by membrane ultrafiltration[J]. Journal of Food Science, 2002(4): 1412-1418. )
- [48] 杨万根,马美湖. 微/超滤技术浓缩猪血红蛋白水解液[J]. 食品科学,2009,30(24): 26-29. (Yang W G, Ma M H. Condensation of porcine hemoglobin hydrolysates by microfiltration-ultrafiltration technology[J]. Food Science, 2009, 30(24): 26-29. )
- [49] Butylina S, Luque S, Nystrom M. Fractionation of whey-derived peptides using a combination of ultrafiltration and nanofiltration[J]. Journal of Membrane Science, 2006(1): 418-426. )
- [50] Krusa M, Torre M, Marin M L. A reversed-phase high-performance liquid chromatographic method for the determination of soya bean proteins in bovine milks[J]. Analytical Chemistry, 2000(8): 1814-1818. )
- [51] Kim S E, Kim H H, Kim J Y, et al. Anticancer activity of hydrophobic peptides from soy proteins[J]. Biofactors, 2000(1-4): 151-155.
- [52] Wu D, Walters R R. Effects of stationary phase lig and density on high-performance ion-exchange chromatography of proteins[J].

- Journal of Chromatography A,1992 (1):7-13.
- [53] 刘玉兰,王坡,田原. 醇洗大豆浓缩蛋白副产物糖蜜中提取大豆异黄酮的研究[J]. 中国油脂,2008,33(5):54-57. (Liu Y L, Wang P, Tian Y. Extraction of soybean isoflavone from soybean molasses[J]. China Oils and Fats,2008,33(5):54-57.)
- [54] 王丽娟,张永忠,杨薇薇. 从酱渣饼中提取大豆异黄酮的研究[J]. 食品工业科技,2008,29(10):167-170. (Wang L J, Zhang Y Z, Yang W W. Study on extraction of soybean isoflavone from soy sauce cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008,29(10):167-170.)
- [55] 袁建,鞠兴荣,王立峰,等. 水媒法提取大豆异黄酮的工艺优化研究[J]. 中国油脂,2006,31(12):52-55. (Yuan J, Ju X R, Wang L F, et al. Extraction optimization of soybean isoflavones with water[J]. China Oils and Fats,2006,31(12):52-55.)
- [56] 彭游,余盛禄. 大豆异黄酮提取研究最新进展[J]. 大豆科学,2012,31(2):320-323. (Peng Y, Yu S L. Advances in extraction of soy isoflavones[J]. Soybean Science,2012,31(2):320-323.)
- [57] 王丽娟,张永忠,张丽丽. 超声波辅助法提取大豆酱渣饼中大豆异黄酮[J]. 中国油脂,2009,34(5):52-55. (Wang L J, Zhang Y Z, Zhang L L. Ultrasound-assisted extraction isoflavone from soybean sauce cake[J]. China Oils and Fats,2009,34(5):52-55.)
- [58] 孟宪金,于国萍. 超声波辅助提取发酵豆奶种的游离大豆异黄酮[J]. 东北农业大学学报,2008,39(9):93-95. (Meng X J, Yu G P. Isoflavone- glycosidase extraction of fermentation soybean milk by ultrasonic wave[J]. Journal of Northeast Agricultural University,2008,39(9):93-95.)
- [59] 于海莲. 微波辅助乙醇提取大豆异黄酮的研究[J]. 大豆科学,2011,30(1):144-146. (Yu H L. Extraction of isoflavonoids from soybean by ethanol assisted microwave irradiation[J]. Soybean Science, 2011,30(1):144-146.)
- [60] 张凤清,解丛林,张松龄. 高压浸提法提取大豆异黄酮工艺[J]. 食品工业科技,2006,27(1):113-114. (Zhang F Q, Xie C L, Zhang S L. Extraction of soybean isoflavones by high pressure extraction[J]. Science and Technology of Food Industry,2006,27(1):113-114.)
- [61] Nagata C, Takatsuka N, Kawakami N, et al. Soy product intake and hot flashes in Japanese women: Results from a community based prospective study[J]. American Journal of Epidemiology, 2001,15, 153(8)790-793.
- [62] 刘寒强,王枫. 大豆异黄酮抗肿瘤作用机制研究进展[J]. 国外医学(卫生学分册),2005,32(6):329-332. (Liu H Q, Wang F. Research progress on mechanism of soybean isoflavones against tumor[J]. Foreign Medical Sciences (Hygiene Section),2005,32(6):329-332.
- [63] Ho S C, Woo J, Lam S, et al. Soy protein consumption and bone mass in early postmenopausal Chinese women[J]. Osteoporos International, 2003,14:835-842.
- [64] 杨科峰,蔡美琴. 异黄酮对心血管作用的研究进展[J]. 上海第二医科大学学报,2005(5):532-534. (Yang K F, Cai M Q. Effects of soy isoflavones on cardiovascular system[J]. Academic Journal of Shanghai Second Medical University,2005(5):532-534.)
- [65] File S E, Jarrett N, Fluck E, et al. Eating soya improves human memory[J]. Psychopharmacology,2001,157:430-436.
- [66] Guo T L, Mccay J A, Ling X, et al. Genistein modulates immune responses and increases host resistance to B16F10 tumor in adult female B6C3F1 mice[J]. Nurture, 2001, 131:3251-3258.
- [67] 崔艳伟,李喜焕,李文龙,等. 黄淮海大豆异黄酮含量分析与特异种质遴选[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(6):1167-1172. (Cui Y W, Li X H, Li W L, et al. Genetic variability analysis and elite germplasm selection of isoflavone content in soybean from Huang Huai Hai ecotype region[J]. Journal of Plant Genetic Resources,2013,14(6):1167-1172.)
- [68] 钱丹丹,龚德顺,焦丽,等. 大豆异黄酮合成关键酶基因的克隆及表达分析[J]. 大豆科学,2011,30(5):743-748. (Qian D D, Gong D S, Jiao L, et al. Cloning and expression analysis of key enzymes genes in biosynthesis of soybean isoflavones[J]. Soybean Science,2011,30(5):743-748.)
- [69] 练云,李海朝,王树峰,等. 大豆异黄酮生物合成途径中 IFS1 基因表达分析[J]. 华北农学报,2013,28(3):25-29. (Lian Y, Li H C, Wang S F, et al. Expression analysis of IFS1 gene in isoflavonoids pathway in soybean[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2013,28(3):25-29.)
- [70] 薛艳芳. 大豆乳清低聚糖的超滤提取及纯化研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2014. (Xue Y F. Ultrafiltration extraction and purification of oligosaccharides from soybean whey[D]. Harbin: Northeast Agricultural University,2014.)
- [71] 金丽华. 大豆低聚糖制取与纯化工艺的研究[J]. 郑州工程学报,2001(2):35-38. (Jin L H. Study on extraction and purification technology of soybean oligosacchride[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Technology,2001(2):35-38.)
- [72] 王炳南. 用膜集成技术分离大豆低聚糖[J]. 水处理技术,2005,31(1):72-74. (Wang B N. Separation of soybean oligose by integrated membrane technology[J]. Technology of Water Treatment,2005,31(1):72-74.)
- [73] 于治中,丁长河,李里特. 大豆低聚糖生产、生理功能及其应用[J]. 中国食品添加剂,2007(1):159-163. (Yu Z Z, Ding C H, Li L T. Production, physiological functions and applications of soybean oligosaccharide[J]. China Food Additives,2007(1):159-163.)
- [74] 刘立洋,金龙国,刘章雄,等. 微波和超声两种技术提取大豆低聚糖的效果[J]. 大豆科学,2008,27(5):838-844. (Liu L Y, Jin L G, Liu Z X, et al. Extraction of soybean oligosaccharides by microwave and ultrasonic technique[J]. Soybean Science,2008,27(5):838-844.)
- [75] 文姝,方芬,樊江杰,等. 大豆低聚糖对人胃癌细胞株 BGC-823 细胞的细胞凋亡和细胞周期的影响[J]. 中国微生态学杂志,2010,22(5):404-410. (Wen S, Fang F, Fan J J, et al. The effects of soybean oligosaccharide on the cell cycle and apoptosis of human gastric cancer cells BGC-823 *in vitro*[J]. Chinese Journal of Microecology,2010,22(5):404-410.)
- [76] Gruber C, Stuijvenberg M V, Mosca F, et al. Reduced occurrence of early atopic dermatitis because of immunoactive prebiotics among



low-atopy-risk infants[J]. Journal of Allergy and Clinical Immunology,2010,126(4):791-797. )

[77] 王素敏,刘福英,徐增年,等. 大豆低聚糖对大鼠血脂和抗氧化作用的影响[J]. 营养学报,1997,19(4):468-469. ( Wang S M, Liu F Y, Xu Z N, et al. Experimental studies on the antioxidation of soybean oligosaccharides in rats[J]. Acta Nutrimenta Sinica,1997,19(4):468-469. )

[78] 谢沙丽,石凯,石元刚. 大豆低聚糖和低聚肽对高脂血症大鼠抗氧化作用及粪胆汁酸代谢的影响[J]. 重庆医学,2009,38(8):922-927. ( Xie L S, Shi K, Shi Y G. Effects of soy oligosaccharides and peptides on vasoactive substances and apolipoprotein levels in hyperlipidemia rats[J]. Chongqing Medicine,2009,38(8):922-927. )

[79] Hymowitz T, Collins F I, Panczner J, et al. Relationship between the content of oil, protein, and sugar in soybean seed[J]. Agronomy Journal,1972,64:613-616.

[80] Neus J D, Fehr W R, Schnebly S R. Agronomic and seed characteristics of soybean with reduced raffinose and stachyose[J]. Crop Science,2005,45:589-592.

[81] 王曙明,胡明祥,胡传璞,等. 吉林省大豆品质资源低聚糖含量的初步分析[J]. 吉林农业科学,1990(1):92-94. ( Wang S M, Hu M X, Hu C P, et al. The initial analysis of the content of soybean oligosaccharides quality resources in Jilin province[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences,1990(1):92-94. )

[82] Maughan P J, Saghai M A, Buss G R. Identification of quantitative trait loci controlling sucrose content in soybean( *Glycine max* ) [J]. Molecular Breeding,2000,6(1):105-111.

[83] Kim H K, Kang S T, Cho J H, et al. Quantitative trait loci associated with oligosaccharide and sucrose content of *Glycine max* seeds [J]. Journal of Plant Biology,2005,48(1):106-112.

[84] 王跃强. 大豆低聚糖与白粉病遗传分析及相关基因的分子标记[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012. ( Wang Y Q. Study on genetic analysis and molecular markers' mapping of soybean oligosaccharides and powdery mildew[D]. Harbin: Northeast Agricultural University,2012. )

[85] Hitz W D, Carlson T J, Kerr P S, et al. Biochemical and molecular characterization of a mutation that confers a decreased raffinose and phytic acid phenotype on soybean seeds [J]. Plant Physiology,2002,128(2):650-660.

[86] Keller R, Brearley C A, Trethewey R N, et al. Reduced inositol content and altered morphology in transgenic potato plants inhibited for 1D-myo-inositol 3-phosphate synthase[J]. The Plant Journal,1998,16(4):403-410. )

[87] 唐传核, 杨晓宗, 彭志英. 大豆皂苷最新研究概况[J]. 大豆科学,2001,20(1):60-65. ( Tang C H, Yang X Z, Peng Z Y. Survey of recent researches on soyasaponin[J]. Soybean Science,2001,20(1):60-65. )

[88] 陈圳. 新型改性大豆磷脂的制备及性能研究[D]. 南京:南京理工大学,2016. ( Chen Z. Study on preparation and properties of novel modified soybean phospholipids[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology,2016. )

[89] 郑宇宏,范旭红,张云峰,等. 大豆新型营养因子亚精胺的研究进展[J]. 大豆科学,2017,36(4):645-650. ( Zheng Y H, Fan X H, Zhang Y F, et al. Progress on study of spermidine as a new trophic factor in soybean[J]. Soybean Science,2017,36(4):645-650. )