

# 大豆异黄酮的制备技术与功能活性进展研究

张月洁<sup>1</sup>, 兰 韬<sup>2</sup>, 初 侨<sup>2</sup>, 董凯璇<sup>1</sup>, 王慎苓<sup>1</sup>, 张 岩<sup>3</sup>, 郑振佳<sup>1\*</sup>

(1. 山东农业大学食品科学与工程学院, 山东省高校食品加工技术与质量控制重点实验室, 泰安 271018;  
2. 中国标准化研究院, 北京 100191; 3. 烟台龙大食品有限公司, 烟台 265200)

**摘 要:** 黄酮类化合物普遍存在于人类膳食中, 为多种食材的重要次生代谢产物, 对癌症、糖尿病、心血管疾病和神经退行性疾病等具有良好的预防和治疗效果, 受到越来越多的关注。大豆异黄酮是大豆中的重要功能活性成分, 该类成分具有抗氧化、抗癌、预防老年痴呆、改善骨质疏松、降血脂等作用, 在保健食品中应用广泛。本文系统总结了大豆异黄酮的主要种类、制备技术与主要功能活性, 为大豆功能制品的开发与异黄酮功能成分的深入利用提供参考依据。

**关键词:** 大豆; 异黄酮; 提取; 制备; 功能活性

## Progress in preparation technology and functional activity of soybean isoflavones

ZHANG Yue-Jie<sup>1</sup>, LAN Tao<sup>2</sup>, CHU Qiao<sup>2</sup>, DONG Kai-Xuan<sup>1</sup>, WANG Shen-Ling<sup>1</sup>,  
ZHANG Yan<sup>3</sup>, ZHENG Zhen-Jia<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Food Processing Technology and Quality Control in Shandong Province, College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2. China National Institute of Standardization, Beijing 100191, China; 3. Yantai Longda Food Co., Ltd, Yantai 265200, China)

**ABSTRACT:** Flavonoids are widely found in human diet and are important secondary metabolites of various food ingredients. They have attracted more and more attention for good preventive and therapeutic effects on cancer, diabetes, cardiovascular diseases and neurodegenerative diseases, etc... Soybean isoflavones are important physiological active ingredients in soybean, which have antioxidant, anticancer, prevention of senile dementia, improvement of osteoporosis, lowering blood lipid and other effects, and are widely used in health food. The main types, preparation techniques and functional activities of soybean isoflavones were systematically summarized in this paper, which provided references for the development of soybean functional products and the in-depth utilization of isoflavones.

**KEY WORDS:** soybean; isoflavones; extraction; preparation; functional activity

**基金项目:** 国家重点研发计划(2017YFF0211000)、中央级公益性科研院所基本科研业务费(562018Y-5950)、山东省高等学校食品安全与营养健康创新团队发展计划、烟台市重点研发计划(2018ZDCX014)、莱阳市新旧动能转换科技创新计划

**Fund:** Supported by the National Key R&D Program (2017YFF0211000), Basic Research Service Fees for Central Public Welfare Research Institutes (562018Y-5950), Development Plan for Food Safety, Nutrition and Health Innovation Team of Shandong Higher Education Institutions, Yantai City Key Research and Development Plan (2018ZDCX014), and Laiyang City New and Old Kinetic Energy Conversion Technology Innovation Plan

\***通讯作者:** 郑振佳, 博士, 副教授, 主要研究方向为天然产物化学。E-mail: zhengzhenjia@sdau.edu.cn

\***Corresponding author:** ZHENG Zhen-Jia, Ph.D, Associate Professor, School of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China. E-mail: zhengzhenjia@sdau.edu.cn

## 1 引言

大豆异黄酮(soybean isoflavones, SI)是一类主要存在于大豆子叶、胚轴以及多种植物中的多酚类次生代谢产物,属于一种天然的雌激素,在自然界中多以结合型糖苷和游离型糖苷配基即苷元 2 种形式存在<sup>[1]</sup>。大豆异黄酮具有抗氧化、抗癌、降血脂等生理活性,在医学、药学、畜牧业生产方面应用广泛<sup>[2]</sup>。目前从大豆中分离出的大豆异黄酮有 12 种,其中苷元 3 种,糖苷 9 种。苷元有黄豆苷元、染料木苷元、大豆苷元,糖苷有黄豆苷、染料木苷、大豆苷、丙二酰黄豆苷、丙二酰染料木苷、丙二酰大豆苷、乙酰黄豆苷、乙酰染料木苷、乙酰大豆苷<sup>[3,4]</sup>。游离型大豆异黄酮和糖苷型大豆异黄酮的化学结构式分别见图 1 中 A 和 B, 12 种大豆异黄酮对应的 R 基结构见表 1。

## 2 大豆异黄酮制备技术的研究

### 2.1 提取技术

#### 2.1.1 浸提法

浸提法是目前最普遍的制备方法,水提效率和综合效益低,弱碱溶液中大量碱液会对环境造成污染且成本较高,乙醇浸提法应用最为广泛;提取过程中通常考察乙醇浓度、料液比、样品粗细度、温度、提取时间、提取次数等因素的影响,进行最佳的工艺参数优化。阮洪生等<sup>[9]</sup>以豆粕为研究对象,探究了乙醇浓度、乙醇用量、提取温度和提取时间 4 个因素对大豆异黄酮提取过程的影响,确定最佳提取条件为 14 倍体积的 70%乙醇在 70 °C 时提取 1 h,

大豆苷元与染料木素得率分别为 1.260%、1.375%。马桂芝等<sup>[10]</sup>进行单因素试验和正交试验,确定的浸提参数为 80%乙醇、料液比 1:16、温度 80 °C、提取时间 1.5 h,此条件下提取物中大豆苷元含量 580.096 g/g,染料木素含量 911.328 g/g。此法工艺简单,应用范围广,但是溶剂易残留,回收率较低,纯度不高,通常需要采用一定的辅助手段共同提取。

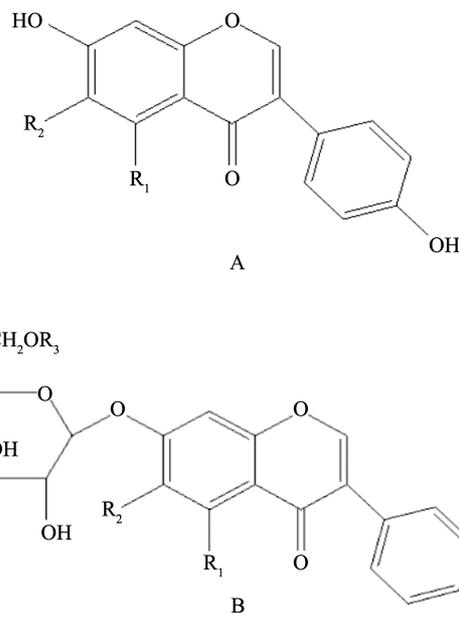


图 1 大豆异黄酮的化学结构式

Fig.1 Chemical formula of soybean isoflavones

表 1 12 种大豆异黄酮的 R 基结构

Table 1 R-based structure of 12 soybean isoflavones

异黄酮化合物	简写	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	文献出处
大豆苷	D	H	H	H	[1]
染料木苷	G	OH	H	H	[1]
黄豆黄苷	GL	H	OCH <sub>3</sub>	H	[5]
丙二酰大豆苷	MD	H	H	COCH <sub>2</sub> COOH	[6]
丙二酰染料木苷	MG	OH	H	COCH <sub>2</sub> COOH	[6]
丙二酰黄豆黄苷	MGL	H	OCH <sub>3</sub>	COCH <sub>2</sub> COOH	[1]
乙酰大豆苷	AD	H	H	COCH <sub>3</sub>	[1]
乙酰染料木苷	AG	OH	H	COCH <sub>3</sub>	[1]
乙酰黄豆黄苷	AGL	H	OCH <sub>3</sub>	COCH <sub>3</sub>	[1]
大豆苷元	De	H	H	—	[7]
染料木素	Ge	OH	H	—	[8]
黄豆黄素	Gle	H	OCH <sub>3</sub>	—	[5]

### 2.1.2 超声波辅助提取法

超声波辅助提取法是在溶剂提取时同轴超声振动,可加速大豆异黄酮溶出细胞进入溶剂。汤逊尤等<sup>[11]</sup>建立野葛叶中大豆异黄酮的最佳超声提取工艺为 80% 甲醇、温度 60 °C、提取时间 38 min、料液比 1:25 g/mL、颗粒度 50 目,最优条件下大豆异黄酮的提取率为 0.117%。王丽娟等<sup>[12]</sup>提取大豆酱渣饼中大豆异黄酮,通过单因素及正交试验得到的超声提取工艺为乙醇体积分数 50%,提取温度 70 °C,提取时间 40 min,液固比 25:1,超声功率 350 W,在此条件下大豆异黄酮的提取率为 0.41%。周泉城<sup>[13]</sup>以挤压后的大豆为试验材料,经响应曲面试验优化,确定超声最佳提取条件为提取液 H<sup>+</sup>浓度 1.26 mol/L,温度 69 °C,时间 51 min,功率 250 W,乙醇浓度为 80%,料液比为 1:30,浸置时间为 40 min,得率 0.48%。此法提取快速、工艺简单,原料有效成分的提取率高,但回收率较低,可作为一种辅助手段对原料进行提取。

### 2.1.3 微波辅助提取法

微波辅助提取是利用微波射线的辐射作用使细胞内部的有效成分流出并溶解于萃取溶剂中的方法,为常用提取技术,此法耗时短,提取率高,但是能耗高,未实现工业化。Rostagno 等<sup>[14]</sup>对研磨后的大豆进行微波辅助提取,优化后的最佳工艺确定为样品 0.5 g,乙醇浓度 50%,温度 50 °C,微波处理 20 min,微波功率 500 W,在此条件下 75% 的大豆异黄酮可在 10 min 之内被提取出来。熊海涛<sup>[15]</sup>以新鲜水豆腐为研究对象,确定的最佳工艺为乙醇浓度 70%,提取温度 50 °C,微波萃取 30 min,固液比 1:12,在此条件下,大豆异黄酮的提取率为 0.207%。刘中华等<sup>[16]</sup>研究了微波辅助提取豆粕中大豆异黄酮的最佳工艺,为乙醇浓度 50%,微波火力为中高火,料液比 1:20,微波处理 3 min,提取率为 1.2432%。这些实验结果表明,适当的微波处理可以提高大豆异黄酮的溶出率与溶出速率,是一种有效的处理方法。

### 2.1.4 超高压提取法

超高压提取技术具有低温、高效、低能耗、安全、应用范围广等特点,是近年来功能成分提取的重要食品加工技术。林执绚<sup>[17]</sup>在液固比 60:1、300 Mpa 压力提取条件下比较了超高压提取法和浸提法 2 种方式对葛根粉末中大豆异黄酮的提取效率,得率分别为 5.810% 和 5.952%,超高压提取法比浸提法节约时间 180 min,证明了超高压提取技术的高效性。但是此法对设备要求较高,且高压条件具有一定的危险性,并未普及使用。

### 2.1.5 联合提取法

多种提取方法联合应用能够得到高纯度的大豆异黄酮,有效提高提取效率,逐渐成为现代食品加工业中提取功能性成分的新趋势。王明等<sup>[18]</sup>采用微波-超声波协同提取法提取酱油渣中的大豆异黄酮,单因素试验及正交试验得

到最佳工艺为体积分数 60% 的乙醇提取溶液、料液比 1:35、超声波功率 500 W、提取时间 100 s,在相同提取条件下对比超声波、微波单独作用时大豆异黄酮的提取率,发现采用微波-超声波协同法时提取率为 0.652%,高于单一超声波提取法的提取率 0.411% 和单一微波提取法的提取率 0.506%。以上研究表明,多种提取方法联合使用时提取效率更高,在提取大豆异黄酮方面具有广阔的发展前景。

### 2.1.6 其他方法

传统有机溶剂提取大豆异黄酮因用量多,耗时长,成本高而逐渐受到关注,因此新型绿色溶剂替代传统有机溶剂进行提取的工艺研究成为近年来的研究热点。潘利华等<sup>[19]</sup>得到超临界流体萃取大豆异黄酮的最佳工艺条件为:CO<sub>2</sub> 流量 8 L/h,静萃取 120 min,动萃取 60 min,每克脱脂豆粕的乙醇用量 3 mL,萃取温度 55 °C,萃取压力 30 Mpa,在此条件下染料木苷的萃取量为 794.5 μg/g。Bajkacz 等<sup>[20]</sup>研究了 17 个天然低共熔溶剂系统用于提取大豆异黄酮,确定的最佳工艺为低共熔溶剂系统的组成为氯化胆碱与柠檬酸摩尔比 1:1、固液比 1:3、提取时间 60 min、提取温度 60 °C、超声波功率 616 W,目标物回收率可达 64.7%~99.2%,该方法具有天然无毒可降解等特性且成本较低等特点,可以弥补传统提取溶剂效率低下的缺点。Magiera 等<sup>[21]</sup>研究了基于离子液体的超声辅助提取法,得到最优参数为离子液体溶剂[C6MIM]Br、固液比 1:10、提取时间 40 min,与甲醇、水作为提取剂对比发现提取效率有所提高。不断探索新的切实可行的提取方法,能够为大豆异黄酮产业化生产提供理论基础。

## 2.2 大豆异黄酮的富集与纯化技术

### 2.2.1 柱层析法

柱层析法是目前从植物粗提物中分离纯化黄酮类化合物的主要方法,常用的填料为硅胶、大孔树脂和 C<sub>18</sub> 反相填料等。康少华等<sup>[22]</sup>以硅胶柱层析法分离出大豆异黄酮中的苷元单体,分离得到的染料木素、大豆素、黄豆黄素 3 种苷元异构体,纯度均超过 90%。郭文勇等<sup>[23]</sup>比较了 D-101、DM-301、DA-201、905、1300、AB-8 和 ZTC-1 等 7 种大孔树脂的吸附性能,筛选出 905 为最佳填料并优化淡豆豉中大豆苷元的最佳提取工艺为酸性条件下、温度 10~15 °C、50% 乙醇,大豆苷元得率大于 8%。全吉淑等<sup>[24]</sup>利用 C<sub>18</sub> 反相柱层析法分离大豆胚轴提取粉中的糖苷型大豆异黄酮,经 1.5 L 30% 甲醇溶液洗脱后,提取物中含大豆苷 3.70%,染料木苷 1.97%,黄豆黄苷 2.56%,丙二酰大豆苷 17.60%,丙二酰染料木苷 4.61%,丙二酰黄豆黄苷 8.43%,乙酰大豆苷 0.81%。此法已广泛的应用于大豆异黄酮的分离纯化中,是一种简单有效且成本低廉的方法。

### 2.2.2 高速逆流色谱法

高速逆流色谱是一种液-液分离色谱技术,具有溶剂消耗少、分离时间短、样品装载能力强等独特优势,是近

年来高效分离方法开发研究的重点方向之一。钱俊青等<sup>[25]</sup>和江和源等<sup>[26]</sup>均采用高速逆流色谱法分离纯化大豆苷和染料木苷, 体系为 V(乙酸乙酯):V(醋酸):V(水)=5:1:10, 转速 800~850 r/min, 流速 1.5 mL/min, 大豆苷和染料木苷纯度分别为 91.65%和 92.97%、98.2%和 99.2%。可见, 高速逆流色谱法在天然产物活性成分的分离纯化领域具有广泛的应用潜力。

### 2.2.3 其他方法

樊定艳等<sup>[27]</sup>通过金纳米通道膜分离技术进行染料木素与黄豆黄素分离, 以聚碳酸酯滤膜为模板, 将 Au 沉积到膜孔道内制备金纳米通道, 在通道内自组装对巯基苯胺, 利用带正电荷的通道对染料木素与铝形成的正电荷螯合物的排斥作用, 使染料木素不易通过金纳米通道, 达到有效分离染料木素和黄豆黄素 2 种单体的目的, 在纳米通道孔径 10 nm、pH 4.5 的最佳条件下分离度可以达到 6.91, 有效实现染料木素和黄豆黄素 2 种大豆异黄酮的分离。此法为大豆异黄酮的分离纯化提供了一种新的方法。

## 3 功能活性

### 3.1 抗癌活性与机理

已有研究表明, 大豆异黄酮对肿瘤细胞的增殖、生长具有抑制作用。Ward 等<sup>[28]</sup>发现植物雌激素类中的大豆异黄酮大豆苷元和染料木素能够降低男性前列腺癌和女性结肠癌的发病率。Mishra 等<sup>[29]</sup>发现大豆苷元对青春期前雌性大鼠的乳腺肿瘤具有治疗作用, 在二甲苯丙萘的致癌大鼠模型中, 饲喂 3 d 剂量为 500 g/g 的大豆苷元的发病率比对照组动物的癌症病发病率减少 37.4%。高明春等<sup>[30]</sup>研究发现 25 mol/L 的大豆异黄酮和姜黄素共同作用于胰腺癌 BxPc-3 细胞时, 细胞生存率比大豆异黄酮单独作用时低 37.6%, 仅为空白对照的 35.2%, 说明大豆异黄酮和姜黄素的联合可对胰腺癌 BxPc-3 细胞的抑制生长和促进凋亡起到协同作用。

异黄酮类物质抗癌活性的实现主要依赖的机制包括: 激素样作用<sup>[31]</sup>、调节细胞周期与诱导细胞凋亡<sup>[32]</sup>、相关信号传导通路调节<sup>[33]</sup>。由于大豆异黄酮具有和雌二醇高度相似的化学分子结构, 当动物体内的异黄酮浓度高至雌激素的 102~103 倍时, 异黄酮与雌激素竞争受体, 从而在一定程度上抑制雌激素的促细胞增殖作用, 降低与雌激素相关的癌症的发病率<sup>[34]</sup>。染料木素可以引起 MCF-7 细胞凋亡的原因是染料木素可以促进 MCF-7 细胞中 Bax 蛋白的表达, Bax 蛋白和 B 淋巴细胞瘤-2 基因蛋白形成二聚体, 抑制 B 淋巴细胞瘤-2 基因蛋白的功能, 这表明大豆异黄酮可以通过调控相关蛋白的表达诱导癌症细胞的凋亡, 发挥抗癌的功能作用<sup>[35]</sup>。

以上研究表明大豆中的异黄酮具有良好的抗癌效果, 在抗肿瘤应用方面具有广阔的应用前景。

### 3.2 抗氧化活性与机理

大豆异黄酮作为一类具有清除自由基作用的天然活性成分, 有显著的抗氧化活性。梁纪伟等<sup>[36]</sup>用不同剂量的大豆异黄酮灌胃雌性小鼠, 测定抗氧化指标发现大豆异黄酮可提高小鼠的抗氧化能力且高剂量组的抗氧化作用最明显, 60 mg/kg 大豆异黄酮灌胃 4 周后小鼠脑组织超氧化物歧化酶活力提高了 1.81 nmol/mL, 血清谷胱甘肽过氧化酶活力提高了 2.13 U。徐梦蕾等<sup>[37]</sup>研究发现染料木素、大豆苷元的两者的混合溶液对提高大鼠类神经细胞 PC12 细胞的抗氧化活性效果更佳, 混合溶液处理的 PC12 细胞中乙酰胆碱的含量显著高于单一组分。Mishra 等<sup>[38]</sup>研究并比较了大豆在有乳酸杆菌发酵下产品的抗氧化活性, 测得在乳酸杆菌作用下不同储存期内抗氧化活性为 55.60%~99.14%, 高于空白约 16%, 说明发酵大豆制品与乳酸杆菌培养物结合可以被认为是制备富含大豆糖苷配基的抗氧化功能性食品的有效方法。

大豆异黄酮发挥抗氧化活性的机理主要有 2 种途径: 一是增加抗氧化酶如过氧化氢酶、超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化酶等酶的活性, 抑制促氧化酶如还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶的活性, 从而起到对机体的抗氧化作用<sup>[39]</sup>; 二是人体在代谢过程中会产生自由基, 当体内的抗氧化物质不足以抑制过多的自由基时, 就会诱发多种疾病, 引发机体衰老, 大豆异黄酮可通过清除自由基或抑制自由基链式反应从而减少过氧化物的生成来发挥延缓衰老作用<sup>[40]</sup>。因此, 适当服用大豆异黄酮成为抗氧化、延缓衰老的有效方法。

以上可以看出大豆异黄酮对多种途径引起的氧化过程均有良好的抑制作用, 表现出优良的抗氧化活性, 在研发抗氧化功能性食品方面具有良好的发展前景。

### 3.3 改善骨质疏松活性与机理

大豆异黄酮作为一类植物型雌激素, 具有促进骨形成、抑制骨吸收的功能。郑世存等<sup>[41]</sup>发现大豆异黄酮治疗组骨质疏松症患者的椎体和股骨颈骨密度均显著提高, 总有效率可达 82.22%, 将含大豆苷元的提取物配成溶液, 200 mg/kg 的高剂量组效果最佳, 比去卵巢模型组中血清雌二醇含量提高 4.29 pg/mL, 骨钙素含量提高 0.35 pg/mL。周沁等<sup>[42]</sup>以雄性大鼠为研究对象, 观察大豆异黄酮对其骨质疏松性骨折愈合的影响, 80 mg/kg/d 的高剂量组中大鼠形成的骨小梁面积比空白组大  $10.87 \times 106 \text{ m}^2$ , 表明大豆异黄酮对促进骨折愈合具有促进作用。郁桦等<sup>[43]</sup>将牛初乳冻干粉、鲜骨粉与大豆异黄酮结合制成一种复合制剂, 发现不同剂量复合制剂组的钙含量、股骨中点骨密度、远心端骨密度均有显著提高, 高剂量组 467 mg/kg 效果最明显, 比模型组的全量分别提高了 11.6%、10.9%、9.4%。

异黄酮防治骨质疏松的机理主要在于大豆异黄酮可

上调去卵巢大鼠骨组织中骨保护素的 mRNA 表达,下调巨噬细胞集落刺激因子的 mRNA 表达,从而使骨组织中骨保护素蛋白表达水平增加,核因子- $\kappa$ B 受体活化因子配体的含量降低,促进成骨细胞的形成,对调节骨代谢具有积极作用<sup>[44]</sup>。

基于大豆异黄酮可以改善骨质疏松的优良活性,可考虑将大豆异黄酮提取物与其他保健产品复配使用,以期对骨质疏松症有更好的改善作用。

### 3.4 降血脂活性与机理

大豆蛋白质能显著降低血清总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)和低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)水平,食用大豆异黄酮可以调节血脂实现降低心血管疾病的患病风险。李国莉等<sup>[45]</sup>发现给大鼠加喂 300 mg/kg 的大豆异黄酮,大鼠血清中的 TG 含量降低 39.2%、TC 含量降低 24.8%、LDL-C 含量降低 27.4%、HDL-C 含量升高 56.8%,脂蛋白脂酶活性提高 28.4%,证明了大豆异黄酮的血脂调节作用。蒋敏等<sup>[46]</sup>发现高血脂绝经期妇女服用大豆异黄酮胶囊 2 年后,血浆中 TC 含量降低 1.09 mmol/L、TG 含量降低 0.42 mmol/L、LDL-C 含量降低 1.47 mmol/L、HDL-C 含量升高 1.1 mmol/L,心血管疾病的危害风险显著降低。

目前对大豆异黄酮降血脂机制进行研究得出的结论主要与载脂蛋白及其对相关蛋白活性的调控有关。载脂蛋白 AI 和 B100 分别是高密度脂蛋白和低密度脂蛋白的主要成分,血浆中载脂蛋白 AI 浓度升高能促使 HDL 含量上升,载脂蛋白 B100 含量的下降会引起 LDL 含量下降,大豆异黄酮可通过改变载脂蛋白的含量调节血脂水平<sup>[47]</sup>。大豆异黄酮可以下调固醇调节元件结合蛋白的表达,从而抑制硬脂酰辅酶 A 去饱和酶-1、甘油-3-磷酸甘油酰基转移酶等成脂基因的表达,降低肝组织中脂肪酸的合成,起到降低血脂的作用<sup>[48]</sup>。

以上研究表明大豆异黄酮具有优良的降血脂作用,可以为降血脂药物的研发提供一种新思路。

### 3.5 抗炎活性与机理

李伟等<sup>[49]</sup>发现大豆异黄酮苷元能够抑制炎症介质 NO 及促炎症因子的产生,100 g/mL 苷元组对 NO 的抑制率为 80.65%,对肿瘤坏死因子- $\alpha$ 、白细胞介素-1 $\beta$ 、白细胞介素-6 的抑制率分别为 75.94%、78.52%和 85.84%。Norisa 等<sup>[50]</sup>发现鹰嘴豆中异黄酮为 0.5 mg/mL 时对 NO 的抑制率最高可达 72%并证明大豆异黄酮可在肠道发挥抗炎作用,有助于预防肠炎性疾病。

异黄酮类化合物实现抗炎活性的途径主要为:调节相关蛋白及酶的表达、调节 NF-B 通路以减轻炎症损伤。Chinta 等<sup>[51]</sup>发现大豆苷元能够下调一氧化氮合酶基因的表达,使一氧化氮合酶含量显著下降,并抑制血管内皮生长

因子诱导的环氧化酶-2 的合成,发挥抗炎作用。染料木素可通过抑制 TLR4/NF-B 级联反应阻断 NF-B 通路的激活,抑制细胞炎症因子的产生,发挥抗炎效果<sup>[52]</sup>。此外, Yang 等<sup>[53]</sup>发现大豆异黄酮能够在 mRNA 水平和蛋白质水平抑制脂多糖诱导的外周血单核细胞中 C 反应蛋白的表达,有效缓解人体局部或全身的炎症反应。

以上研究表明大豆异黄酮对许多炎症均有良好的保护与抵抗作用,表现出优良的抗炎活性。

## 4 展 望

大豆异黄酮作为大豆中的主要活性成分,是多种保健食品的重要组分,在功能食品开发及临床医学等方面发挥着重要作用。该系列化合物的多种功能活性正在被深入发掘并加以利用,成为当前食品营养学研究的重点。大豆异黄酮水溶性较低,生物利用度不高,目前国内对提高其生物利用率的技术方法研究还不理想,从而限制了其在体内发挥应有的生物学活性。如何通过结构修饰、高效包埋和增加装载等技术有效提高大豆异黄酮的生物利用度是今后研究的重要方向。大豆异黄酮具有弱雌激素活性,其不同组分之间活性的代谢调节差异、协同或者拮抗作用有待以进一步研究。同时,不同人群的代谢影响、最大摄入量以及最佳摄入量也需要深入开展研究。大豆异黄酮在体内进行代谢,特别是在肠道内通过微生物的作用进行包括还原、开环、去酮基等反应,进而被人体吸收发挥效应,其代谢通路和调控因子还有待于进一步深入研究。

### 参考文献

- [1] 瞿德敬,王俊英,王俊平,等. HPLC-ESI-MSn 法鉴定大豆中 12 种大豆异黄酮的结构[J]. 现代食品科技, 2013, 29(4): 863-866, 897.  
Qu DJ, Wang JY, Wang JP, *et al.* Identification of 12 soybean isoflavones in soybean by HPLC-ESI-MSn method [J]. Mod Food Sci Technol, 2013, 29(4): 863-866, 897.
- [2] Simental-Mendia LE, Gotto AM, Atkin SL, *et al.* Effect of soy isoflavone supplementation on plasma lipoprotein(a) concentrations: A meta-analysis [J]. J Clin Lipidol, 2018, 12(1): 16-24.
- [3] Shao SQ, Duncan AM, Yang R, *et al.* Systematic evaluation of pre-HPLC sample processing methods on total and individual isoflavones in soybeans and soy products [J]. Food Res Int (Ottawa, Ont), 2011, 44(8): 2425-2434.
- [4] Szymczak G, Wójciak-Kosior M, Sowa I, *et al.* Evaluation of isoflavone content and antioxidant activity of selected soy taxa [J]. J Food Compos Anal, 2017, 57: 40-48.
- [5] 李文红,王丹阳,曹津津,等. 黄豆黄素与黄豆黄苷吸收光谱和荧光光谱的比较研究[J]. 高等学校化学学报, 2019, 40(1): 47-54.  
Li WH, Wang DY, Cao JJ, *et al.* Comparative study on absorption and fluorescence spectra of daidzein and daidzein [J]. Chem J Chin Univ, 2019, 40(1): 47-54.
- [6] 张爱武,张永忠,钱丽丽,等. 弱碱水解丙二酰基型大豆异黄酮的研究[J]. 中国食品工业, 2006, (12): 52-53.  
Zhang AW, Zhang YZ, Qian LL, *et al.* Study on weak base hydrolysis of

- malonyl soybean isoflavones [J]. *Chin Food Ind*, 2006, (12): 52–53.
- [7] 邓颖慧, 苏丽娜, 庞艳华, 等. 大豆苷元与氨基修饰  $\beta$ -环糊精包合物的制备、表征及水溶性[J]. *分析化学*, 2017, 45(5): 648–653.  
Deng YH, Su LN, Pang YH, *et al.* Preparation, characterization and water solubility of  $\beta$ -cyclodextrin inclusion complex modified by daidzein and amino group [J]. *Chin J Anal Chem*, 2017, 45(5): 648–653.
- [8] 黄龙江, 丁静. 染料木素的结构修饰及活性研究进展[J]. *精细化工*, 2018, 35(9): 1441–1448, 1465.  
Huang LJ, Ding J. Research progress on the structure modification and activity of genistein [J]. *Fine Chem*, 2018, 35(9): 1441–1448, 1465.
- [9] 阮洪生, 毛越, 王海燕, 等. 豆粕中大豆异黄酮的醇提工艺[J]. *粮油食品科技*, 2007, (3): 35–36.  
Ruan HS, Mao Y, Wang HY, *et al.* Alcohol extraction process of soybean isoflavone in soybean meal [J]. *Sci Technol Cere Oils Foods*, 2007, (3): 35–36.
- [10] 马桂芝, 云琦, 高晓黎. 大豆中大豆异黄酮提取工艺的研究[J]. *中成药*, 2002, (11): 6–9.  
Ma GZ, Yun Q, Gao XL. Study on the extraction technology of soy isoflavones from soybeans [J]. *Chin Pat Med*, 2002, (11): 6–9.
- [11] 汤逊尤, 王李平, 林晨, 等. 葛叶中大豆异黄酮提取工艺优化[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(2): 49–55.  
Tang XY, Wang LP, Lin C, *et al.* Optimization of extraction process of soybean isoflavones in pueraria lobata [J]. *Chin Food Addit*, 2019, 30(2): 49–55.
- [12] 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 LJ, Zhang YZ, Zhang LL. Ultrasonic-assisted extraction of soybean isoflavones in soybean paste residue cake [J]. *China Oils Fats*, 2009, 34(5): 52–55.
- [13] 周泉城. 响应曲面分析法优化大豆异黄酮超声波辅助提取模型[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(4): 37–41.  
Zhou QC. Optimization of ultrasound-assisted extraction model of soybean isoflavones by response surface analysis [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2009, 24(4): 37–41.
- [14] Rostagno MA, Palma M, Barroso CG. Microwave assisted extraction of soy isoflavones [J]. *Anal Chim Acta*, 2007, 588(2): 274–282.
- [15] 熊海涛. 微波萃取法提取水豆腐中大豆异黄酮工艺研究[J]. *广东化工*, 2013, 40(24): 41–42.  
Xiong HT. Study on the technology of extracting soybean isoflavone from water tofu by microwave extraction [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2013, 40(24): 41–42.
- [16] 刘中华, 赵锦慧, 梁少君. 微波辅助提取豆粕中大豆异黄酮[J]. *大豆科学*, 2012, 31(6): 993–995.  
Liu ZH, Zhao JH, Liang SJ. Microwave-assisted extraction of soybean isoflavones from soybean meal [J]. *Soybean Sci*, 2012, 31(6): 993–995.
- [17] 林执绚. 超高压提取技术对葛根异黄酮提取率的影响[J]. *化学工程与装备*, 2009, (2): 36–37.  
Lin ZX. Effect of ultra high pressure extraction technology on extraction rate of isoflavones in pueraria lobata [J]. *Chem Eng Equip*, 2009, (2): 36–37.
- [18] 王明, 李文, 王陶. 大豆异黄酮的微波-超声波协同提取及其抗氧化活性[J]. *食品工业*, 2014, 35(2): 71–75.  
Wang M, Li W, Wang T. Microwave-ultrasonic extraction of soybean isoflavone and its antioxidant activity [J]. *Food Ind*, 2014, 35(2): 71–75.
- [19] 潘利华, 罗建平. 大豆异黄酮超临界流体萃取工艺与动力学模型[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(6): 137–141.  
Pan LH, Luo JP. Soy isoflavone supercritical fluid extraction process and kinetic model [J]. *J Agric Mach*, 2010, 41(6): 137–141.
- [20] Bajkacz S, Adamek J. Evaluation of new natural deep eutectic solvents for the extraction of isoflavones from soy products [J]. *Talanta*, 2017, 168: 329–335.
- [21] Magiera S, Sobik A. Ionic liquid-based ultrasound-assisted extraction coupled with liquid chromatography to determine isoflavones in soy foods [J]. *J Food Comp Anal*, 2017, 57: 94–101.
- [22] 康少华, 芦明春. 硅胶柱层析法分离大豆异黄酮苷元的研究[J]. *中国酿造*, 2009, (1): 29–32.  
Kang SH, Lu MC. Study on the separation of soybean isoflavone aglycone by silica gel column chromatography [J]. *China Brew*, 2009, (1): 29–32.
- [23] 郭文勇, 刘彬果, 钟蕾, 等. 大孔树脂吸附层析法提取淡豆豉中总异黄酮的研究[J]. *第二军医大学学报*, 2004, 25(9): 1033–1034.  
Guo WY, Liu BG, Zhong L, *et al.* Study on the extraction of total isoflavones from douchi by macroporous resin adsorption chromatography [J]. *J Second Milit Med Univ*, 2004, 25(9): 1033–1034.
- [24] 全吉淑, 尹学哲, 工藤重光. C18 柱层析法提取大豆胚轴中异黄酮苷元[J]. *食品科学*, 2004, (4): 136–138.  
Quan JS, Yin XZ, Kudo C. Extraction of isoflavone aglycones from soybean hypocotyls by C18 column chromatography [J]. *Food Sci*, 2004, (4): 136–138.
- [25] 钱俊青, 张江柳, 张铮. 高速逆流色谱法分离大豆异黄酮中的大豆苷和染料木苷[J]. *浙江工业大学学报*, 2012, 40(5): 493–496, 517.  
Qian JQ, Zhang JL, Zhang Z. Separation of daidzein and genistein in soybean isoflavones by high-speed countercurrent chromatography [J]. *J Zhejiang Univ Technol*, 2012, 40(5): 493–496, 517.
- [26] 江和源, 台建祥, 吕飞杰. 高速逆流色谱法分离制备大豆异黄酮中的大豆苷和染料木苷[J]. *食品科学*, 2004, 25(1): 85–88.  
Jiang HY, Tai JX, Lu FJ. Separation and preparation of daidzein and genistein from soybean isoflavones by high-speed countercurrent chromatography [J]. *Food Sci*, 2004, 25(1): 85–88.
- [27] 樊定艳, 彭斌, 李平, 等. 基于 Au 纳米通道膜分离大豆异黄酮单体的研究[J]. *上海师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 41(5): 496–501.  
Fan DY, Peng B, Li P, *et al.* Study on separation of soybean isoflavone monomers based on Au nanochannel membrane [J]. *J Shanghai Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2012, 41(5): 496–501.
- [28] Ward HA, Kuhnle GG, Mulligan AA, *et al.* Breast, colorectal, and prostate cancer risk in the European prospective investigation into cancer and nutrition–norfolk in relation to phytoestrogen intake derived from an improved database [J]. *Am J Clin Nutr*, 2010, 91(2): 440–448.
- [29] Mishra P, Kar A, Kale RK. Prevention of chemically induced mammary tumorigenesis by daidzein in pre-pubertal rats: the role of peroxidative damage and antioxidative enzymes [J]. *Molecul Cell Biochem*, 2009, 325(1–2): 149–157.
- [30] 高明春, 高志玲, 刘岱琳. 姜黄素联合大豆异黄酮对胰腺癌 BxPc-3 细胞增殖及凋亡的影响[J]. *中国免疫学杂志*, 2013, 29(4): 400–402, 406.  
Gao MC, Gao ZL, Liu DL. Effect of curcumin combined with soybean isoflavone on proliferation and apoptosis of pancreatic cancer BxPc-3 cells [J]. *Chin J Immunol*, 2013, 29(4): 400–402, 406.
- [31] 陶利, 李禾. 大豆异黄酮的药理作用[J]. *解放军药学报*, 2011, 27(4): 360–362.  
Tao L, Li H. Pharmacological effects of soybean isoflavones [J]. *Pharm J Chin People's Liberat Army*, 2011, 27(4): 360–362.
- [32] 巫波, 郭辉, 王宗岭, 等. 大豆异黄酮的抗肿瘤作用研究进展[J]. *四川解剖学杂志*, 2019, 27(3): 184–187.  
Wu B, Guo H, Wang ZL, *et al.* Research progress in anti-tumor effects of soybean isoflavones [J]. *Sichuan J Anato*, 2019, 27(3): 184–187.

- [33] 任国峰. 大豆异黄酮抑制前列腺增生的作用及其机理研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.  
Ren GF. Study on the effect of soybean isoflavones in inhibiting prostate hyperplasia and its mechanism [D]. Changsha: Central South University, 2013.
- [34] 赵净洁, 俞鸣, 孟令章. 大豆异黄酮抗癌防癌机制研究进展[J]. 中国公共卫生, 2010, 26(11): 1390–1392.  
Zhao JJ, Yu M, Meng LZ. Research progress of anti-cancer mechanism of soybean isoflavones [J]. Chin Public Health, 2010, 26(11): 1390–1392.
- [35] 方庆伟, 刘颖, 宋丹凤, 等. 大豆异黄酮抑制人乳腺癌细胞生长及作用机制研究[J]. 卫生研究, 2002, 31(5): 367–369.  
Fang QW, Liu Y, Song DF, *et al.* Study on soybean isoflavones inhibiting the growth of human breast cancer cells and its mechanism [J]. J Hyg Res, 2002, 31(5): 367–369.
- [36] 梁纪伟, 田庆伟, 王永明, 等. 大豆异黄酮对 D-半乳糖致衰老模型小鼠抗氧化系统作用的实验研究[J]. 中国老年学杂志, 2004, 24(1): 42–43.  
Liang JW, Tian QW, Wang YM, *et al.* Experimental study on the effect of soybean isoflavones on the antioxidant system of D-galactose-induced aging model mice [J]. Chin J Gerontol, 2004, 24(1): 42–43.
- [37] 徐梦蕾, 高宇, 刘静波, 等. 基于抗氧化的大豆异黄酮对 PC12 细胞的神经保护作用[J]. 吉林大学学报(工学版), 2017, 47(1): 332–336.  
Xu ML, Gao Y, Liu JB, *et al.* Neuroprotective effect of antioxidant-based soybean isoflavone on PC12 cells [J]. J Jilin Univ (Eng Sci Ed), 2017, 47(1): 332–336.
- [38] Mishra BK, Hati S, Das S. Bio-nutritional aspects of Tungrymbai, an ethnic functional fermented soy food of Khasi Hills, Meghalaya, India [J]. Clin Nutr Exp, 2019, 26: 8–22.
- [39] Kampkötter A, Chovolou Y, Kulawik A, *et al.* Isoflavone daidzein possesses no antioxidant activities in cell-free assays but induces the antioxidant enzyme catalase [J]. Nutr Res, 2008, 28(9): 620–628.
- [40] 魏福华, 张永忠. 大豆芽中异黄酮抗氧化活性研究[J]. 食品工业, 2012, 33(10): 16–18.  
Wei FH, Zhang YZ. Study on antioxidant activity of isoflavones in soybean sprouts [J]. Food Ind, 2012, 33(10): 16–18.
- [41] 郑世存, 盛国良, 林潇, 等. 葛藤异黄酮提取物分散片对绝经后骨质疏松症的疗效观察及作用机理研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2012, 18(11): 1054–1057.  
Zheng SC, Sheng GL, Lin X, *et al.* Observation of curative effect and mechanism of postmenopausal osteoporosis with Geten isoflavone extract dispersible tablets [J]. Chin J Osteop, 2012, 18(11): 1054–1057.
- [42] 周沁, 潘晓梅, 万里洋, 等. 大豆异黄酮对雄性大鼠骨质疏松性骨折愈合的影响[J]. 广东医学, 2015, 36(9): 1352–1355.  
Zhou Q, Pan XM, Wan LY, *et al.* Effect of soybean isoflavones on the healing of osteoporotic fractures in male rats [J]. Guangdong Med J, 2015, 36(9): 1352–1355.
- [43] 郁桦, 常萍, 陈蓓蓓, 等. 大豆异黄酮和牛初乳复合制剂对去卵巢大鼠骨质疏松症的改善及抗氧化作用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(15): 284–291.  
Yu H, Chang P, Chen BY, *et al.* Improvement and antioxidant effect of soy isoflavone and bovine colostrum compound preparation on osteoporosis in ovariectomized rats [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(15): 284–291.
- [44] 王强, 王坤正, 王祥培. 大豆异黄酮抗绝经后骨质疏松骨丢失分子机制的初步研究[J]. 中药材, 2005, (10): 51–54.  
Wang Q, Wang KZ, Wang XP. Preliminary study on the molecular mechanism of soybean isoflavones against bone loss in postmenopausal osteoporosis [J]. Chin Med Mater, 2005, (10): 51–54.
- [45] 李国莉, 赵伟明, 杨建军, 等. 大豆异黄酮降血脂作用的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 528–531.  
Li GL, Zhao WM, Yang JJ, *et al.* Study on the hypolipidemic effect of soybean isoflavones [J]. Food Sci, 2006, 27(10): 528–531.
- [46] 蒋敏, 许玉芳, 苗竹林, 等. 大豆异黄酮对围绝经期妇女血脂水平的影响[J]. 中国实用医药, 2008, 3(17): 49–50.  
Jiang M, Xu YF, Miao ZL, *et al.* Effect of soybean isoflavones on blood lipid levels in perimenopausal women [J]. Chin Pract Med, 2008, 3(17): 49–50.
- [47] Tian L, Fu M. The relationship between high density lipoprotein subclass profile and apolipoprotein concentrations [J]. J Endocrinol Invest, 2011, 34(6): 461–472.
- [48] Shin ES, Lee HH, Cho SY, *et al.* Genistein down regulates SREBP-1 regulated gene expression by inhibiting site-1 protease expression in HepG2 cells [J]. J Nutrit, 2007, 137(5): 1127–1131.
- [49] 李伟, 杜洁, 张小英, 等. 不同来源酱油渣中大豆异黄酮苷元成分分析及抗炎活性研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(5): 52–58, 309.  
Li W, Du J, Zhang XY, *et al.* Analysis of soybean isoflavone aglycone composition and anti-inflammatory activity in soy sauce residues from different sources [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(5): 52–58, 309.
- [50] Norisa MKA, Uribea JAG, Santacruz A, *et al.* Peptides and isoflavones in gastrointestinal digests contribute to the anti-inflammatory potential of cooked or germinated desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) [J]. Food Chem, 2018, 268: 66–76.
- [51] Chinta SJ, Ganesan A, Rodrigues PR, *et al.* Anti-inflammatory role of the isoflavone diadzein in lipopolysaccharide-stimulated microglia: Implications for parkinson's disease [J]. Neurotox Res, 2013, 23(2): 145–153.
- [52] Dijsselbloem N, Berghe WV, Naeyer AD, *et al.* Soy isoflavone phyto-pharmaceuticals in interleukin-6 affections multi-purpose nutraceuticals at the crossroad of hormone replacement, anti-cancer and anti-inflammatory therapy [J]. Biochem Pharmacol, 2004, 68(6): 1171–1185.
- [53] Yang XJ, Hu WZ, Zhang Q, *et al.* Puerarin inhibits C-Reactive protein expression via suppression of nuclear factor  $\kappa$ B activation in lipopolysaccharide-induced peripheral blood mononuclear cells of patients with stable angina pectoris [J]. Bas Clin Pharmacol Toxicol, 2010, 107(2): 637–642.

(责任编辑: 于梦娇)

## 作者简介



张月洁, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: 15265565501@163.com



郑振佳, 副教授, 主要研究方向为天然产物化学。

E-mail: zhengzhenjia@sda.edu.cn