



# 野生大豆营养成分及生物活性因子的研究进展

荆常亮<sup>1</sup>, 周金辉<sup>1,2</sup>, 张成省<sup>1</sup>, 周 三<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院 烟草研究所, 山东 青岛 266101; 2. 青岛大学 药学院, 山东 青岛 266021)

**摘 要:**野生大豆在我国黄河三角洲地区种植面积较大,其含有丰富的氨基酸、矿物质元素等营养物质,还富含大豆异黄酮、皂苷、花青素、不饱和脂肪酸等功能成分,在食品及医药领域具有十分重要的应用前景。为了明确野生大豆中主要营养成分和生物活性因子的种类和具体功效,进一步促进野生大豆的开发利用,综述了野生大豆中各种营养成分和功能因子的研究进展,为野生大豆的合理开发利用提供一定的依据,并对其发展应用前景进行了展望。

**关键词:**野生大豆;功能性营养成分;生物活性

## Research Process in Nutrients Ingredients and Biological Activities of *Glycine soja* Seeds

JING Chang-liang<sup>1</sup>, ZHOU Jin-hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Cheng-sheng<sup>1</sup>, ZHOU San<sup>2</sup>

(1. Tobacco Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, China; 2. School of Pharmacy, Qingdao University, Qingdao 266021, China)

**Abstract:** *Glycine soja* has a very important application prospect in the field of food and medicine owing to the rich functional nutrients including amino acid, mineral and some biological ingredients, such as soybean isoflavone, saponin, anthocyanin and unsaturated fatty acid. In order to identify the main nutrients and bioactive factors in wild soybean species and specific efficacy to further promote the development and utilization of wild soybean. This paper reviews the progress of various nutrients and functional factors in *Glycine soja*, which provides a theoretical basis for the rational development and utilization of *Glycine soja*, and prospects its application prospect.

**Keywords:** *Glycine soja*; Functional nutrient ingredient; Biological activities

野生大豆(*Glycine soja* Sieb. EtZucc),又名马料豆、乌豆、鹿藿、饿马黄等,是豆科蝶形花亚科,菜豆族,大豆属,一年生缠绕草本,其羽状三出复叶,小叶薄纸质,分为卵形、椭圆形或披针形,总状花序腋生,具有多荚多粒的特性,易炸裂,果实多为黑色或褐色,被认为是栽培大豆的近缘野生种,是我国的国家二级保护植物,在我国黄河三角洲地区生长面积较大,具有抗旱、耐旱、耐盐碱及抗寒性特性,广泛分布于我国滩涂地区。其含有丰富的氨基酸、矿物质元素等营养物质,还富含大豆异黄酮、皂苷、花青素、不饱和脂肪酸等功能成分,在食品及医药领域具有十分重要的应用前景。野生大豆通身是宝,全株可入药,具有广泛的药用价值<sup>[1]</sup>。据李时珍《本草纲目》记载“大豆有黑、白、黄、褐、青、斑数色,黑者入药”。再如《本草蒙筌》记载:“大豆黑白种殊,惟取黑者入药;大小粒异,须求小粒入药方效”。所以,按照古人的标准,细小黑豆,即野生大豆,是极佳的药用类型,具有较好的研究利用价值和开发潜力。目前在黄河三角洲滩涂湿地已经开始人工规模化种植,但尚缺乏系统深入合理化开发利用研

究。鉴于此,本文对野生大豆中基本营养成分及其生物活性成分的国内外研究进展进行综述,以期对野生大豆的深入研究及合理化开发利用提供参考。

### 1 野生大豆的主要营养成分及其活性

#### 1.1 蛋白质

蛋白质是大豆的主要营养成分和重要品质性状,长期以来一直是种质资源研究的热点。野生大豆中蕴含许多优异的蛋白质,国内外研究者对不同区域内的栽培大豆和野生大豆的贮藏蛋白质进行了深入系统的研究。早在90年代,李福山<sup>[2]</sup>对来自全国5 200份野生大豆种子中蛋白质含量进行分析,发现各地区所产野生大豆含量差别较大,以N30.00°~34.59°的江淮之间和N40°以北的松辽平原地区最高,蛋白质平均含量分别为45.9%和46.5%,含量最低的为N25.00°~29.59°的福建地区和N35.00°~39.59°的华北地区和西北地区,蛋白质平均含量分别为42.7%和42.4%。然而刘顺湖等<sup>[3]</sup>通过对全国生态区的野生大豆138份进行蛋

收稿日期:2019-01-08

基金项目:中国农业科学院创新工程(ASTIP-TRIC07)。

第一作者简介:荆常亮(1987-),男,博士,助理研究员,主要从事滩涂植物资源开发与利用研究。E-mail:jingchangliang@caas.cn。

通讯作者:张成省(1976-),男,硕士,副研究员,主要从事滩涂资源高值化利用研究。E-mail:zhangchengsheng@caas.cn。

白质含量分析,未发现野生大豆蛋白质含量与来源地维度相关,而栽培大豆中蛋白质的含量与地理纬度出现显著负相关。前人的研究结果说明野生大豆处于不同自然环境下,其蛋白质的变异范围可能与生长环境密切相关。

大豆蛋白因其在食品中的重要作用而备受食品科学家的重视,2S、7S、11S 和 15S 是大豆提取蛋白的主要组分,不同组分的比例会影响大豆制品的品质<sup>[4]</sup>。胡超等<sup>[5]</sup>报道大豆蛋白中 7S 和 11S 的比例会影响大豆蛋白乳化性、凝胶透明性和发泡性,11S/7S 比例越低,乳化活性越高。刘顺湖等<sup>[6]</sup>对全国野生大豆 138 份进行蛋白组成分析,发现野生大豆 11S 相对含量平均分别为 54.7%,变幅为 28.8%~82.6%,7S 相对含量平均分别为 44.7%,变幅为 20.6%~71.2%。野生大豆具有较高的 11S 组分,说明野生大豆蛋白具有更好的乳化性能,可以开发高乳化性大豆蛋白产品。

此外,研究者们为了研究不同蛋白亚基对豆腐品质的影响,对大豆球蛋白亚基展开了研究,结果表明不同大豆品种间 7S 球蛋白及其亚基的含量差异显著,7S 组分包含  $\alpha$  和  $\beta$  亚基,其中  $\alpha$  亚基与豆腐硬度呈极显著负相关, $\beta$  亚基与豆腐硬度、弹性、黏聚性呈极显著负相关<sup>[7]</sup>。Natarajan 等<sup>[8]</sup>用蛋白质组学技术对野生大豆和栽培大豆中的大豆球蛋白进行对比,结果得出,野生大豆的大豆球蛋白中  $\beta$

- 亚基含有更少的蛋白质斑点,而栽培大豆大豆球蛋白中  $\alpha$  - 亚基含有更少的蛋白质斑点。以上研究表明,野生大豆具有较少的  $\beta$  - 亚基,因此野生大豆豆腐会有较好的硬度、弹性和黏聚性。

1.2 氨基酸

氨基酸是维系人体生命活动的重要物质,野生大豆作为一种豆类食物资源,其蛋白质中必需氨基酸含量以及所占比例是决定其营养及食用价值的重要因素。表 1 总结了几种不同产地来源的野生大豆中氨基酸种类及含量。野生大豆中必需氨基酸含量较高,含有人体需要的 9 种必需氨基酸:异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、苯丙氨酸(Phe)、酪氨酸(Tyr)、胱氨酸(Cys)和赖氨酸(Lys)。从氨基酸总量来看,野生大豆中氨基酸含量为 33.58%,高于栽培大豆 29.37%,其中,4 种不同产地来源的野生大豆均含有较高的谷氨酸和天门冬氨酸。谷氨酸和天门冬氨酸具有甜味和营养源的双重功能<sup>[9-10]</sup>,已被广泛应用于调味品中,所以野生大豆是鲜味调味品较好的氨基酸来源。此外,谷氨酸可在人体内合成谷氨酰胺,能够防止肠粘膜萎缩,增强机体免疫功能<sup>[11]</sup>,天门冬氨酸在医药和食品方面有着广泛的用途。因此野生大豆的高谷氨酸和天门冬氨酸含量特点使其在食品和医药开发领域可以作为营养补充剂、保鲜增味剂原料进行综合开发利用。

表 1 不同来源野生大豆氨基酸含量分析  
Table 1 Amino acid composition of different resources (g·kg<sup>-1</sup>)

产地 Place	氨基酸含量 Amino acid content								
	Thr	Cys	Val	Met	Ile	Leu	Phe	Lys	Tyr
五河 Wuhe	0.151	0.031	0.171	0.069	0.153	0.281	0.198	0.245	1.019
吉林 Jilin	0.170	0.060	0.284	0.103	0.206	0.347	0.227	0.275	0.170
即墨 Jimo	0.100	0.013	0.202	0.068	0.171	0.315	0.199	0.248	0.114
垦利 Kenli	0.160	0.043	0.171	0.064	0.162	0.292	0.189	0.256	0.986

1.3 脂肪酸

脂肪酸的组成与植物油及食品的品质和营养价值息息相关。大豆脂肪酸是世界植物油的主要原料之一,主要有 5 种组分:油酸、亚麻酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸,其中棕榈酸和硬脂酸为饱和脂肪酸,油酸、亚油酸和亚麻酸为不饱和脂肪酸<sup>[12]</sup>。王旻<sup>[13]</sup>对即墨野生大豆中脂肪酸进行分析,发现野生大豆中 4 种脂肪酸含量比栽培大豆中少,完全不含胆固醇,野生大豆中含量最高的是亚油酸(54.49%),其次是亚麻酸(15.04%)。亚油酸和亚麻酸是公认的不饱和必需脂肪酸,可以有效地预防高血脂、脂肪肝、心肌梗塞及高血压等疾病,整体提高人体自身免疫能力<sup>[14]</sup>。野生大豆中亚麻酸和亚

油酸含量分别比栽培大豆高 5.68% 和 8.78%,可以防止人体的基础代谢紊乱。由于野生大豆含有较高的不饱和必须脂肪酸,可以利用野生大豆高亚麻酸含量种质培育特用商业品种,发展亚麻酸产业。 $\alpha$  - 亚麻酸是人体必需脂肪酸之一,不能通过人体合成,必需通过食物摄入。 $\alpha$  - 亚麻酸具有很高的生物活性,大量科学研究证明其具有调节血脂、降低血液胆固醇、预防心血管疾病等作用<sup>[15]</sup>。Asekova 等<sup>[16]</sup>发现野生大豆油中富含  $\alpha$  - 亚麻酸(13.9%~15.2%),因此野生大豆也可作为  $\alpha$  - 亚麻酸资源加以开发。

1.4 矿物质

矿质元素是人体必需的七大营养元素之一,是

构成人体组织和维持正常生理功能所必需的各种元素的总称。在人体新陈代谢过程中,每天都有一定数量的矿物质通过粪便、尿液、汗液排出体外,因此必需通过饮食摄入。野生大豆是一类矿物质含量较高的豆类,其中富含钾、钠、钙、镁、磷、硫、氯和铁等,其矿质元素含量高出一般的豆类。Raboy等<sup>[17]</sup>报道,野生大豆中总磷、总锌和钙的含量比栽培大豆高30%。王旻<sup>[13]</sup>报道即墨野生大豆中钙和铁的含量分别为4161.7和101.74 mg·kg<sup>-1</sup>,均高于栽培大豆,此外 Zn/Cu 值为2.66,而栽培大豆为3.18,硒含量也高于栽培大豆。钙元素为人体必需元素,对儿童骨骼生长,防止老年人骨质疏松症等具有较好效果;铁元素具有参与体内氧的运输和组织呼吸过程、维持正常的造血功能、预防缺铁性贫血功能;Zn和Cu为人体必需微量元素,Zn/Cu比值过高,易患冠心病;硒元素是人体不可缺少的重要微量元素,具有清除自由基、有效抑制过氧化脂质的产生、增强免疫等生物学功能。基于以上分析,野生大豆作为一种预防缺铁性贫血和防治冠心病的优良豆类可以作为功能性保健食品应用开发。

2 野生大豆中生物活性成分

2.1 黄酮类

大豆异黄酮是大豆合成的一种次级代谢产物,属于植物雌激素,具有雌激素和抗雌激素双重生物活性,对于缓解更年期综合征、预防骨质疏松、抗炎、抗菌、抗氧化等具有生物活性<sup>[18]</sup>。野生大豆中黄酮类结构类型有黄豆苷类、染料木苷类和黄豆黄素苷类3大类,每类又有苷元型、葡萄糖苷型、乙酰基葡萄糖苷型和丙二酰葡萄糖苷型4种。与栽培大豆相比,野生大豆中具有更多的异黄酮种类和含量。周三等<sup>[19]</sup>分别测定了野生大豆和当年同期收获的栽培大豆中异黄酮总含量,结果表明野生大豆种子中异黄酮的总含量为7065 μg·g<sup>-1</sup>,而栽培大豆种子中异黄酮总含量仅为1222 μg·g<sup>-1</sup>。同时,周三等<sup>[20]</sup>也对野生大豆、黑豆和大豆中的异黄酮类成分进行了比较,结果表明,同样种植条件下的野生大豆异黄酮含量最高,黑豆次之,其中野生大豆和黑豆中黄豆苷和染料木苷含量特别突出。而且其相应的苷元含量较高,远远高于大豆,而染料木苷是大豆异黄酮中主要活性组分之一。此外,刘广阳等<sup>[21]</sup>对黑龙江省556份野生和栽培大豆的检测分析肯定了野生大豆异黄酮含量高于栽培大豆。

研究表明野生大豆中异黄酮组分具有增强机体免疫、抗氧化、抗癌、抗虫、抗真菌等生理活性。Choi等<sup>[22]</sup>测定了几十种药用植物提取物对脂多糖

刺激的RAW264.7细胞NO的影响及其细胞活性,并对其抗氧化效果做了评价,结果表明野生大豆提取物对NO抑制率为79.2%和2.1%,其对细胞活度的影响为57.3%和60.8%,同时野生大豆醇提物对DPPH的清除率为13.0%,总还原能力为206.9%。Zhou等<sup>[23]</sup>分析野生大豆中的次级代谢产物与其抗害虫的关系,从野生大豆的地上部分分离出13种化合物,其中7种大豆异黄酮、1种环多醇、2种缇酮衍生物、3种三萜类化合物,并对含量较高的黄豆苷元进行抗斜纹夜蛾的试验,结果表明喂食第3天黄豆苷元具有显著的抑制斜纹夜蛾虫生长活性的作用。Zhou等<sup>[24]</sup>报道从野生大豆种皮中也分离得到3种多酚黄酮类:表儿茶素、花青色素3-O葡萄糖苷与飞燕草色素3-O葡萄糖苷,并报道表儿茶素的多酚类与种皮的硬度有关,而表儿茶素具有广泛的生物活性。Turchetti等<sup>[25]</sup>报道野生大豆中富含大豆苷元和染料木黄酮,其对酵母其类酵母菌物无抗真菌效果。Fogarasi等<sup>[26]</sup>用少孢根霉对野生大豆进行发酵,分别发酵2,4,6和8d,结果发现发酵第6天时,发酵产物中总酚和黄酮含量最高,且对人宫颈癌细胞和淋巴瘤细胞具有显著的细胞毒性,3d就可以抑制其生长。由此可见,野大豆是大豆异黄酮的良好来源,利用野生大豆积极开发大豆异黄酮的医药制品和保健食品能够提高原料中异黄酮含量、促进大豆异黄酮产业的发展。

2.2 皂苷类

皂苷又称为皂素、皂角苷,是一类普遍存在于植物体内具有重要生物活性的天然次级代谢产物,其主要物理特性是当与水混合并搅拌后产生稳定的泡沫。大豆皂苷是大豆种子生长过程中形成的主要次级代谢产物之一,主要分为A类、DDMP(2,3-dihydro-2,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one)类、B类和E类皂苷。A类皂苷末端糖基乙酰化导致大豆及其制品具有苦味和涩味,而DDMP类、B类和E类皂苷具有降低胆固醇、抑制结肠癌细胞的增殖、抗血脂氧化、抗炎等多种对人体有益的生理功能<sup>[27-28]</sup>。岳爱琴等<sup>[29]</sup>采用高效液相色谱-电喷雾离子化串联质谱联用(HPLC-ESI-MS/MS)对野生、半野生和栽培大豆材料子叶和胚中的大豆皂苷进行分析,发现野生和半野生大豆中B类和E类大豆皂苷含量显著高于栽培大豆,野生大豆子叶中总皂苷、DDMP类皂苷含量平均值分别高达18.81和12.21 mg·g<sup>-1</sup>,显著高于半野生和栽培大豆。此外,张倩等<sup>[30]</sup>利用索氏提取器以甲醇回流提取野生大豆中的皂苷,通过薄层层析的方法测定皂苷含量,测得野生大豆脱脂粕皂苷含量为1.91%,远远高于

栽培大豆中皂苷的含量。综上所述,野大豆中是较好的皂苷来源,其 B 类和 E 类大豆皂苷含量较高,其具有多种对人体有益的生理功能。

此外,国外学者也对不同产地野生大豆中的特异性皂苷成分进行分析。Krishnamurthy 等<sup>[31]</sup>通过薄层色谱法对来源于中国、韩国、日本和俄国远东地区的 1 198 份野生大豆中的皂苷种类进行鉴定,鉴定出 8 种不同的皂素表型: Aa、Ab、AaBc、AbBc、Aa +  $\alpha$ 、Ab +  $\alpha$ 、AaBc +  $\alpha$ 、AbBc +  $\alpha$ , 其中来源于中国的野生大豆中全部含有这 8 种表型,而来源于日本和俄罗斯的野生大豆缺少 Aa +  $\alpha$ 、Ab +  $\alpha$ 、AaBc +  $\alpha$ 、AbBc +  $\alpha$  这 4 种新表型,韩国的野生大豆缺少 Aa +  $\alpha$  表型。通过 LC-PDA/MS/MS 对 +  $\alpha$  型的分析得到 6 种新的三萜皂苷,并命名为 Sg-6 基因型,包括 H- $\alpha$ g、H- $\alpha$ a、I- $\alpha$ g、I- $\alpha$ a、J- $\alpha$ g 和 J- $\alpha$ a 基因型。Takahashi 等<sup>[32]</sup>通过薄层色谱法对来源于中国的 3 795 份野生大豆中的皂苷多样性进行研究,共得到 23 种皂苷成分,其中 4 种新的大豆皂苷,分别为 K- $\alpha$ g [29-乙酰-H- $\alpha$ g]、Hab- $\alpha$ g [29-羟基-Ab]、A- $\alpha$ g [3-O-(Glc-Gal-GlcUA)-大豆皂醇 A] 和 KA- $\alpha$ g [29-O-乙酰基 A- $\alpha$ g]。以上研究结果表明,不同产地野生大豆具有独特的皂苷成分,其特异性组分生理活性有待于进一步评价。

### 2.3 花青素类

野生大豆黑色种皮色素提取物具有较强的抗氧化活性。野生大豆中的色素属花色素类色素主要成分为飞燕草素-3-葡萄糖苷和矢车菊素-3-葡萄糖苷,具有抗氧化作用<sup>[33]</sup>。田萍等<sup>[34]</sup>分别采用 DPPH 和 FRAP 法测定野生大豆黑色种皮色素提取物的自由基清除能力和总抗氧化能力,并与栽培黑豆品种的黑色中皮提取物和维生素 C 做比较,结果表明,3 个生态型的野生大豆(孤岛生态型、即墨生态型和微山湖生态型)提取物的自由基清除能力和总抗氧化能力皆优于栽培黑大豆提取物,它们的自由基清除能力分别相当于维生素 C 的 30.48%、40.80% 和 44.81%,总抗氧化能力分别相当于维生素 C 的 27.65%、29.45% 和 30.12%。该特性也决定了野生大豆具有重要的抗氧化功能。此外,Kwon 等<sup>[35]</sup>报道野生大豆其黑色种皮提取物可以降低肥胖型大鼠的血脂程度、减少大鼠体重,起到减肥的效果。

### 2.4 抗营养因子

野生大豆同其它豆科植物一样均含有抗营养因子,其中活性较强的为蛋白酶抑制剂。蛋白酶抑制剂分为两类: Kunitz 类蛋白酶抑制剂和 Bowman-Birk 类蛋白酶抑制因子。Kunitz 类抑制因子主要是

抑制胰蛋白酶的活性,而 Bowman-Birk 类抑制因子可以预防口腔病、肝癌和肠道癌的发生<sup>[36-38]</sup>。Deshimaru 等<sup>[39]</sup>通过硫酸盐分级分离和 SP-Toyopearl 650 M, Sephacryl S-200SF 和 DEAE-Toyopearl 650 S 柱依次纯化,最后用反向 HPLC 法得到 9 种不同的蛋白酶抑制剂,其中分子量为 20 000 的有 WST-VIIIb 和 WST-VIII,属于 Kunitz 蛋白,而其余蛋白酶抑制剂的分子量为 8 000,属于 Bowman-Birk 类蛋白酶抑制剂。以上研究表明,野生大豆可以作为一种 Bowman-Birk 类抑制因子的食物来源,用于治疗口腔病,防治肝癌和肠癌的发生。

### 2.5 多糖

Hou 等<sup>[40]</sup>对野生大豆中的多糖进行提取和鉴定,最后得到野生型大豆中具有较高的水苏糖。水苏糖属于棉子糖半乳糖苷类非还原性功能低聚糖,被誉为“超强双歧因子”。水苏糖能够增殖双歧杆菌,调节肠内菌群,改善排便功能,防治便秘,促进肠道内营养物质生成。其在食品和医药方面具有广泛的应用,因此野生大豆作为一种水苏糖较好的豆类来源,在食品和医药开发应用方面具有较好的开发前景。

### 2.6 其它

Gofur 等<sup>[41]</sup>研究野生大豆提取物对高胆固醇雄鼠生殖能力的影响,分别对高胆固醇雄鼠灌胃 30 d 200, 400 和 800 mg·kg<sup>-1</sup> 的野生大豆提取物,发现野生大豆提取物能够显著增加睾酮水平,并且增加精子的密度和活力。Ngai 等<sup>[42]</sup>从野生大豆中分离出一种抗真菌蛋白,此蛋白为单分子蛋白,分子量为 25 kDa,对尖孢镰刀菌和褐斑病菌具有较强的抗真菌效果。以上两项研究表明,野大豆提取物可被用做提高精子质量的保健品,也可以作为一种植物杀菌素进行开发利用。

## 3 展 望

随着社会经济水平的提高,人们对健康的要求越来越高。人们面临各种各样的疾病,例如高血糖、糖尿病、心血管疾病和肥胖等,人类对健康食品的需求越来越大,所以健康食品或功能性食品被誉为是 21 世纪的食品。野生大豆作为黄河三角洲滩涂重要的作物资源,其富含多种氨基酸,大豆异黄酮、皂苷、花青素和矿物质等营养物质,可能具有多方面的开发利用价值。虽然目前对野生大豆中的化学成分及功能研究有了一定的积累,但为了后续更有效的开发利用该资源,仍需要深入研究以下几个方面:

(1) 野生大豆中的功能成分十分丰富,其独特

的生理环境使其具有独特的成分结构,因此野生大豆中各特异成分的结构——活性关系仍待进一步研究阐明。

(2)明确野生大豆特异性功能成分在动物体内的代谢过程、在人体内的代谢过程及对人体的保健作用的研究仍较缺乏,亟需进一步补充。

(3)植物在滩涂生境下往往具有独特的代谢途径,进而产生特殊的代谢产物,探索滩涂环境对野生大豆中化学成分积累的作用,研究相关功能基因,获得生产和科研所需的优质、高产的野生大豆品种,并对其进行规模化人工种植将有利于确保野生大豆资源的可持续性。

参考文献

[1] 董英山, 杨光宇. 中国野生大豆资源的研究与利用[M]. 上海:上海科技教育出版社, 2015: 12-17. ( Dong Y S, Yang G Y. Research and utilization of wild soybean resources in China [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2015: 12-17. )

[2] 李福山. 中国野生大豆资源的地理分布生态分化研究[J]. 中国农业科学, 1993,26(2):47-55. ( Li F S. Ecological differentiation of wild soybean resources in China[J]. China Agricultural Science, 1993,26(2): 47-55. )

[3] 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 protein and oil content of wild and cultivated soybean in China [J]. Soybean Science, 2009, 28(4):566-573. )

[4] Saio K, Watanabe T. Differences in functional properties of 7S and 11S soybean proteins [J]. Journal of Texture Studies, 2007, 9(1-2): 135-157.

[5] 胡超, 黄丽华, 李文哲. 大豆球蛋白 11S/7S 比值对大豆蛋白功能性的影响[J]. 中国粮油学报, 2004,19(1): 40-42. ( Hu C, Huang L H, Li W Z. Effect of soybean globulin ratio 11S/7S on soybean protein function[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2004, 19(1): 40-42. )

[6] 刘顺湖, 周瑞宝, 盖钧镒. 中国野生和栽培大豆 11S 及 7S 蛋白质相对含量的比较分析[J]. 大豆科学, 2009,28(5): 759-767. ( Liu S H, Zhou R B, Gai J Y. Comparative analysis of protein content of wild and cultivated soybean 11S and 7S in China [J]. Soybean Science, 2009,28(5): 759-767. )

[7] 石彦国, 刘琳琳. 大豆蛋白与豆腐品质相关性研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2018,36(6): 1-7. ( Shi Y G, Liu L L. Research progress on correlation between soybean protein and tofu quality [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018,36(6): 1-7. )

[8] Natarajan S S, Xu C, Bae H, et al. Characterization of storage proteins in wild (*Glycine soja*) and cultivated (*Glycine max*) soybean seeds using proteomic analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(8): 3114-3120.

[9] Halpern B P. Glutamate and the flavor of foods [J]. Journal of Nutrition, 2000, 130(4): 910S-914S.

[10] Kato H, Rhue T M R. Nishimura. Role of free amino acids and peptides in food taste [J]. ACS Symposium Series-American Chemical Society ( USA ), 1989, 158-174.

[11] Melis G C, Wengel N T, Boelens P G, et al. Glutamine: Recent developments in research on the clinical significance of glutamine [J]. Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care, 2004, 7(1): 59-70.

[12] Grela E R, Günter K D. Fatty acid composition and tocopherol content of some legume seeds[J]. Animal Feed Science & Technology, 1995, 52(3): 325-331.

[13] 王旻. 即墨野生大豆的营养评价及其胰蛋白酶抑制剂的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013:20-30. ( Wang M. Nutritional evaluation of wild soybean (*Glycine soja* sieb. et Zucc) and its trypsin inhibitor [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 20-30. )

[14] Farvid M S, Ding M, Pan A, et al. Dietary linoleic acid and risk of coronary heart disease: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies [J]. Circulation, 2014, 130 ( 18 ): 1568-1578.

[15] Stark A H, Reifsnider R, Crawford M A. Past and present insights on alpha linolenic acid and the omega-3 fatty acid family [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2015, 56(14): 2261.

[16] Asekova S, Chae J H, Ha B K, et al. Stability of elevated  $\alpha$ -linolenic acid derived from wild soybean (*Glycine soja* Sieb. et Zucc. ) across environments [J]. Euphytica, 2014, 195(3): 409-418.

[17] Raboy V, Dickinson D B, Below F E. Variation in seed total phosphorus, phytic acid, zinc, calcium, magnesium, and protein among lines of *Glycine max* and *G. soja*[J]. Crop Science, 1984, 24(3): 431-434.

[18] Setchell K D, Brown N M, Desai P, et al. Bioavailability of pure isoflavones in healthy humans and analysis of commercial soy isoflavone supplements [J]. Journal of Nutrition, 2001, 131(4): 1362S-1375S.

[19] 周三, 周明, 张硕, 等. 盐生野大豆的异黄酮积累及其生态学意义[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 930-936. ( Zhou S, Zhou M, Zhang S, et al. Isoflavone accumulation and its ecological significance in wild soybean [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2007, 31(5): 930-936. )

[20] 周三, 岳旺, 泽聪子, 等. 野生大豆, 黑豆和大豆的异黄酮类成分比较[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 315-319. ( Zhou S, Yue W, Ze C Z, et al. Comparison of isoflavones in wild soybean, black bean and soybean [J]. Soybean Science, 2008, 27(2): 315-319. )

[21] 刘广阳, 齐宁, 林红, 等. 黑龙江省野生和栽培大豆异黄酮与其组分相关性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(3): 378-380. ( Liu G Y, Qi N, Lin H, et al. Correlation analysis of isoflavones and their components in wild and cultivated soybean in Heilongjiang province [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2008, 9(3):378-380. )

[22] Choi E M, Hwang J K. Screening of indonesian medicinal plants for inhibitor activity on nitric oxide production of RAW264.7 cells and antioxidant activity [J]. Fitoterapia, 2005, 76(2):194-203.

[23] Zhou Y Y, Luo S H, Yi T S, et al. Secondary metabolites from *Glycine soja* and their growth inhibitory effect against *Spodoptera litura*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59

(11): 6004-6010.

[24] Zhou S, Sekizaki H, Yang Z, et al. Phenolics in the seed coat of wild soybean (*Glycine soja*) and their significance for seed hardness and seed germination[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(20): 10972-10978.

[25] Turchetti B P, Pinelli P, Buzzini P, et al. *In vitro* antimycotic activity of some plant extracts towards yeast and yeast-like strains [J]. Phytotherapy Research, 2005, 19(1): 44-49.

[26] Fogarasi A L, Kun S, Tankó G, et al. A comparative assessment of antioxidant properties, total phenolic content of einkorn, wheat, barley and their malts[J]. Food Chemistry, 2015, 167: 1-6.

[27] Ellington A A, Berhow K M, Singletary W. Induction of macroautophagy in human colon cancer cells by soybean B-group triterpenoid saponins[J]. Carcinogenesis, 2005, 26(1): 159-167.

[28] Zha L Y, Mao L M, Lu X C, et al. Anti-inflammatory effect of soyasaponins through suppressing nitric oxide production in LPS-stimulated RAW 264.7 cells by attenuation of NF- $\kappa$ B-mediated nitric oxide synthase expression [J]. Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters, 2011, 21(8): 2415-2418.

[29] 岳爱琴, 王卫东, 徐海军, 等. 不同大豆品种大豆皂苷组成成分分析[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(5): 38-42. (Yue A Q, Wang W D, Xu H J, et al. Analysis of soyasaponin compounds in different soybean varieties [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(5): 38-42.)

[30] 张倩, 刘代成. 野生大豆皂苷的提取与薄层色谱分析[J]. 大豆科学, 2011, 30(5): 857-860. (Zhang Q, Liu D C. Extraction and TLC analysis of wild soybean saponins[J]. Soybean Science, 2011, 30(5): 857-860.)

[31] Krishnamurthy P, Tsukamoto C, Singh R J, et al. The Sg-6 saponins, new components in wild soybean (*Glycine soja* Sieb. and Zucc.): Polymorphism, geographical distribution and inheritance [J]. Euphytica, 2014, 198(3): 413-424.

[32] Takahashi Y, Li X H, Tsukamoto C, et al. Categories and components of soyasaponin in the Chinese wild soybean (*Glycine soja*) genetic resource collection [J]. Genetic Resources Crop Evolution, 2017, 64(8): 2161-2171.

[33] Jhan J K, Chung Y C, Chen G H, et al. Anthocyanin contents in the seed coat of black soya bean and their anti-human tyrosinase activity and antioxidative activity[J]. International Journal of Cosmetic Science, 2016, 38(3): 319-324.

[34] 田萍, 周三, 倪睿, 等. 野生大豆黑色种皮色素提取物抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(12): 178-180. (Tian P, Zhou S, Ni R, et al. Antioxidant activity of pigment extract from wild soybean seed black[J]. Food Research and Development, 2008, 29(12): 178-180.)

[35] Kwon S H, Ahn I S, Kim S O, et al. Anti-obesity and hypolipidemic effects of black soybean anthocyanins[J]. Journal of Medicinal Food, 2007, 10(3): 552-556.

[36] Norioka N, Hara S, Ikenaka T, et al. Distribution of the kunitz and the Bowman - birk family proteinase inhibitors in leguminous seeds[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1988, 52(5): 1245-1252.

[37] Safavi F, Li Z C, Wang L M, et al. Bowman birk protease inhibitor suppresses GM-CSF, Th17 cells and CNS autoimmune inflammatory demyelination[J]. Journal of Immunology, 2016: 196.

[38] Cruz-Huerta E S, Fernandez-Tome M, Arques M C, et al. The protective role of the Bowman-Birk protease inhibitor in soybean lunasin digestion: The effect of released peptides on colon cancer growth[J]. Food and Function, 2015, 6(8): 2626-2635.

[39] Deshimaru M R, Hanamoto C, Kusano C, et al. Purification and characterization of proteinase inhibitors from wild soja (*Glycine soja*) seeds[J]. Bioscience Biotechnology Biochemistry, 2014, 66(9): 1897-1903.

[40] Hou A, Chen P, Shi A, et al. Sugar variation in soybean seed assessed with a rapid extraction and quantification method[J]. International Journal of Agronomy, 2009: 484-571.

[41] Gofur A, Lestari S R. Effect of black soybean natto extract (*Glycine soja*) on reproduction system of hypercholesterolemia male mice[J]. Asian Pacific Journal of Reproduction, 2016, 5(5): 387-390.

[42] Ngai P H, Ng T. Purification of glysojanin, an antifungal protein, from the black soybean *Glycine soja* [J]. Biochemistry and cell biology, 2003, 81(6): 387-394.