

## 从农业到生物医学:大豆育种研究的新方向

钱贻崧,程浩,喻德跃

(南京农业大学 大豆研究所/国家大豆改良中心/作物遗传与种质创新国家重点实验室,江苏 南京 210095)

**摘要:**大豆富含多种具有独特生理功能的活性成分,包括大豆异黄酮、大豆多肽、大豆磷脂、大豆低聚糖、大豆皂甙等,具有抗肿瘤、降血脂、预防心血管疾病等作用,在保健食品和医学领域有着极高的潜在应用价值。基于大豆的保健和药用价值,文章综述了大豆活性成分与人体健康的关系、大豆生物医学性状改良以及评估方法,以期鼓励农业与生物医学的密切结合和不断发展。

**关键词:**大豆;育种;生物医学

**中图分类号:**S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2011)04-0683-06

## From Agriculture to Biomedicine: Novel Trends for Soybean Breeding

QIAN Yi-song, CHENG Hao, YU De-yue

(Soybean Research Institute/National Center for Soybean Improvement/National Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

**Abstract:** Soybeans are rich with various components with unique physiological functions, including isoflavone, polypeptides, polypeptides, phospholipids, oligo saccharides and saponins. These components exhibit potent effects of anti-tumor, regulation of blood fat, and prevention of cardiovascular diseases, thus eliciting high potential values in the field of health and medicine. This paper reviewed the application of bioactive compounds from soybean in human health, and the soybean improvement and evaluation with biomedical traits, to encourage close collaboration between agricultural and biomedicine.

**Key words:** Soybean; Breeding; Biomedicine

多年来,植物育种工作者的目标一方面集中于提高作物的品质,如抗虫性、耐旱性和产量等<sup>[1]</sup>,以此来提供更多更好的食品。另一方面则考虑增加作物的营养,如增加铁、锌和维生素等<sup>[2]</sup>。但由于在世界范围内频繁的出现肥胖、饥饿和营养不良等现象,而这些现象恰恰是慢性病的诱因,使人们逐渐认识到提高作物健康价值的重要性。

生物医学和其它自然学科的飞速发展提升人类健康提供了前所未有的机遇。由于目前很多疾病的发病机理还不清楚,使得生物医学和作物改良很少有机会联系起来。这一现状阻碍了通过作物改良改变人类健康这一设想的实现。在很多发达国家和发展中国家,癌症、心血管病、糖尿病和肥胖症已成为主要的健康问题。虽然这些疾病在症状上截然不同,但随着对疾病发生和发展过程认识的不断发展,发现这些慢性疾病在机理上有很多相似之处,如葡萄糖转化利用障碍、慢性炎症、细胞氧化和慢性内毒素等。有研究表明,通过改变生活方式,如饮食的数量和类型(特别是来源于植物的食

品),被认为是预防和缓解这些疾病的有效途径。饮食选择甚至有可能造成基因组水平的影响,即疾病相关基因下调,而保护性基因上调<sup>[3]</sup>。慢性疾病对社会的影响和粮食作物在减少疾病方面的重要潜能,为农业和生物医学的结合提供了良机,以此来控制慢性病的蔓延。因此,这就要求作物改良将一些重点放在减少这些慢性病的发生上。

大豆是中国的传统作物,是我国人民主要的食物蛋白质和脂肪来源。它不仅富含营养物质,还含有多种具有独特生理功能的活性成分<sup>[4]</sup>。近年来,许多研究表明,大豆活性成分在保健食品和医药领域有着极高的潜在应用价值。基于大豆的保健和药用价值,该文对大豆生物医学相关性状相关研究进行综述,以期鼓励农业与生物医学密切结合和不断发展。

### 1 大豆生物医学相关性状的化学成分和健康价值

植物的重要特性是在光合作用过程中可以利

收稿日期:2011-05-23

基金项目:转基因生物新品种培育重大科技专项资助项目(2008ZX08004-003)。

第一作者简介:钱贻崧(1984-),女,在读博士,研究方向为大豆遗传育种。E-mail:qianyisong@gmail.com

通讯作者:喻德跃(1965-),男,教授,博士生导师,主要从事植物分子遗传与生物技术研究。E-mail:dyu@njau.edu.cn。

用大气中的二氧化碳,产生一系列的有机物。这些有机物可分为初级代谢产物(primary metabolite)和次级代谢产物(secondary metabolite)二类。其中初级代谢产物包括核酸、糖类、脂肪和蛋白质,后三者被认为是营养物质且与慢性病的发生有关。现在越来越多的研究证据表明,植物次级代谢物不仅在植物生命活动的许多方面起着重要作用,而且对于人类疾病的调节较初级代谢产物可能具有更显著和广泛的活性。次级代谢产物可归为14大类<sup>[5]</sup>,超过30万种化学物质<sup>[6]</sup>。根据其生物合成的起始分子不同,次级代谢产物可分为萜类、生物碱类、苯丙烷类及其衍生物等3个主要类型<sup>[7]</sup>。这些食物中非营养成分的药理作用和生物活性功能在生物医学领域受到广泛关注。

大豆富含蛋白质,必需氨基酸营养全面,并且维生素、矿物质的含量均较高,饱和脂肪酸含量则较低,对人类的膳食营养均衡和健康具有重要意义。研究表明,大豆除了提供质优价廉的植物蛋白质外,还含有许多对人体健康具有良好功能作用的化学成分,包括大豆异黄酮、大豆多肽、大豆低聚糖、大豆皂甙、大豆磷脂、大豆植酸等多种具有独特生理功能的活性成分<sup>[8]</sup>。流行病学调查发现,以大豆及其制品为食品的东南亚人群中,肿瘤和心血管疾病的发病率远远低于西方国家。因此,大豆中能够防治疾病的生物活性物质一直受到研究者的普遍关注。有一些活性成分和单一化合物已在医药领域不断被发掘和研究,它们的药理活性和医疗价值受到越来越广泛的关注。一项2005~2006年调查估计,美国社区居住的人口49%为57~85岁的老人,定期应用膳食补充剂。超过85岁的美国人数(580万)将在2050年超过现在的3倍以上

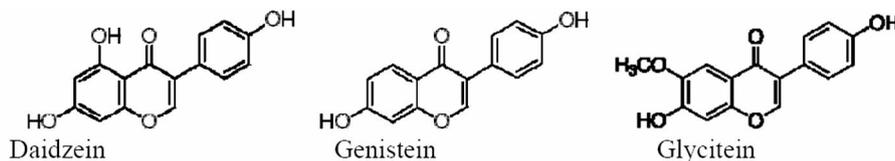


图1 大豆异黄酮苷元化学结构图

Fig.1 Molecular structure of Daidzein, Genistein and Glycitein

## 1.2 大豆多肽(Soybean Polypeptides)

大豆多肽是大豆蛋白质经微生物发酵间接处理或蛋白酶直接作用后,再经过分离和精制等处理得到的低聚肽混合物。通常由3~10个氨基酸组成,其中还包括一些游离氨基酸、少量糖类、水分和无机盐等。大豆多肽具有良好的营养特性,易消化吸收,尤其是某些低分子的肽类,不仅能迅速提供机体能量,同时还具有降低胆固醇、降血压和促进脂肪代谢、抗疲劳、增强人体免疫力、调节人体生理

(1930万),其中将有800万预计可能发生老年痴呆<sup>[9-10]</sup>。这一结果提示,发展和维护老年人认知功能的方法显得尤为重要。最近的证据表明,黄酮类化合物能显著减轻动物模型认知功能减退<sup>[11]</sup>。因此,植物来源的药物作为食物添加剂可能有助于维持认知功能,在提高生活质量的同时保持健康。

## 1.1 大豆异黄酮(Soybean Isoflavone)

黄酮类化合物是广泛存在于豆科植物中的苯丙类代谢产物,在结构上,它们主要包括黄酮类和异黄酮类两类。黄酮类化合物在植物生物学方面具有重要的功能,如作为授粉和共生的媒介、作为遮光剂防止紫外线照射以及抗虫和抗微生物等功能。目前,黄酮类化合物已被证实对人类和动物健康产生积极的影响,并列入重要的疾病治疗和化学预防植物药物<sup>[12]</sup>。

大豆异黄酮是黄酮类化合物中的一种,是大豆生长过程中形成的一种次生代谢产物。主要存在于豆科植物的荚豆中,尤以大豆中含量较高,主要分布在子叶和胚轴中。现已发现3种异黄酮苷元(Daidzein、Genistein、Glycitein,图1)和它们的9种葡萄糖苷。从分子结构中可以看出,大豆异黄酮富含酚羟基,极易脱氢而发挥还原效应,因而可以认为是一类天然的抗氧化剂,可以对抗自由基,终止自由基的连锁反应,从而可以阻止人体内自由基氧化损伤导致的疾病,例如癌症,心血管疾病等<sup>[13-14]</sup>。此外,由于大豆异黄酮与雌激素在母核结构上的相似性,在动物体内可与雌激素受体结合,表现为类雌激素样作用和抗雌激素活性。这一性质使得异黄酮具有抑制激素依赖性癌症(如乳腺癌、前列腺癌)以及预防绝经后妇女骨质疏松症发生的作用<sup>[15]</sup>。

机能功效等优势<sup>[16]</sup>。

大豆多肽中富含多种生物活性肽,具有良好的保健功能。它可通过抑制血管紧张素转换酶发挥降低血压的作用;还能与机体中的胆酸结合,促进胆固醇的胆汁酸化,使胆固醇排泄增加,从而降低人体血清胆固醇。因此,大豆多肽可以用来生产降低胆固醇、血压及预防其它心血管系统疾病的保健食品。另外,大豆多肽类对胆汁分泌和亚油酸代谢有显著影响。大豆长期以来一直作为肥胖者的优

选食物,可以通过减少饥饿感、增加代谢率以及促进减重而降低人类肥胖的发病率。大豆多肽不仅能阻碍脂肪的吸收,同时阻止脂肪在体内沉淀,并促进脂质代谢。因此,平时在保证足够大豆多肽摄入的基础上,将其它能量组分降至最低,便达到减肥的目的。另一方面,肽的添加还可以减轻肌蛋白降解,维持体内正常蛋白质合成,减轻或延缓由运动引发的其它生理方面的改变,保证减肥者的体质。因此已在医药保健品领域中显示出了很好的开发应用前景<sup>[17]</sup>。

### 1.3 大豆磷脂(Soybean Phospholipids)

大豆磷脂,简称磷脂,是指分子结构中含有磷酸酯基团的脂肪类物质。磷脂广泛存在于动植物机体中,在脑、神经系统、肺、肝、肾、血液及微生物、蛋黄、各种蔬菜、大部分植物种子如菜籽、大豆、向日葵及某些谷物中,甚至几乎所有的生物细胞中均含有磷脂,最有实用价值的是大豆和蛋黄,含磷脂1%~3%。磷脂在大豆中是多元醇与脂肪酸及其衍生物酯化而形成的弱极性化合物,包括卵磷脂(磷脂酰胆碱,约含34.2%)、脑磷脂(磷脂酰乙醇胺,约含19.7%)、肌醇磷脂(磷脂酰肌醇,约含16.0%)、磷脂酰丝氨酸(约含15.8%)、磷脂酸(约含3.6%)、其它磷脂(约10.7%)。

磷脂是构成生物膜的重要组成成分,广泛存在于细胞膜和各种细胞器中,同时也是脑神经传递信息的活性物质。磷脂具有促进脂质代谢,降低血清胆固醇,改善血液循环,预防心血管疾病,防衰抗老的作用,磷脂可改善人的精神状态和具有健脑功能,还可以降血脂、抗脂肪肝,而且还能促进肝细胞再生,恢复肝功能<sup>[18]</sup>。

磷脂还具有抗衰老的作用,据生理学家研究表明,老化的原因是体内过氧化的脂质与蛋白质结合在脑、心、睾丸、内脏等处沉积而使部分细胞萎缩死亡的结果。由于磷脂具有乳化性和分散性,所特有的界面物质特性可以溶解和清除某些过氧化脂质,从而活化脑细胞,调节改善内分泌体系,进而延缓衰老的过程<sup>[19]</sup>。

### 1.4 大豆低聚糖(Soybean Oligo Saccharides)

大豆低聚糖是大豆中可溶性糖的总称。主要成分是水苏糖、棉籽糖和蔗糖,占大豆总碳水化合物的7%~10%。大豆低聚糖具有重要的生理保健功能,由于人体缺乏 $\alpha$ -半乳糖苷酶,大豆低聚糖所含的水苏糖、棉子糖不会被人体的消化酶分解,人体不能直接利用大豆低聚糖,但它可以被肠道内的双歧杆菌充分利用,而其它细菌几乎不能利用低聚糖,因而,其能促进双歧杆菌的增殖,抑制外源性病

菌与肠道内的有害细菌的生长和代谢,从而可以减少有毒代谢产物的形成,降低血清胆固醇,降低血压,增强免疫力并可有效预防癌症的发生<sup>[20]</sup>。

### 1.5 大豆皂甙(Soybean Saponins)

大豆皂苷是由三萜类同系物(皂苷原)与糖(或糖酸)缩合形成的一类化合物,目前已知大豆皂甙主要有5种。现研究表明大豆皂甙具有许多有益的生理功能,可增加SOD的含量,清除自由基,抗氧化和降低过氧化脂质;并可降低血清中胆固醇和甘油三酯的含量,抑制血清中脂类的氧化;抑制血小板减小和凝血酶引起的血栓纤维蛋白形成,起抗血栓作用<sup>[21]</sup>。同时,大豆皂甙对人类免疫缺损病毒HIV以及其它病毒的感染具有抑制作用,对被病毒感染的细胞具有很强的保护作用。大豆皂甙同样具有抗肿瘤活性,可抑制DNA的合成,抑制肿瘤的发展,也能直接杀伤肿瘤细胞。其抑癌机理可能还包括增强免疫调节作用,破坏肿瘤细胞膜的结构。

由于其分子结构中具有亲水与亲脂两部分,因而表现出较高的表面活性和较强的生物活性。这些生物学功能包括:降脂减肥作用;抗凝血、抗血栓及抗糖尿病作用;抗氧化作用;抗病毒作用(甚至认为大豆皂苷对艾滋病病毒有一定的抑制作用);免疫调节作用;抗癌、抗突变作用等。

### 1.6 其它生物活性物质

大豆中还含有大量具有生理活性的成分。大豆中植物甾醇的含量也十分丰富。植物甾醇是一类三萜化合物,在结构上与动物胆固醇相类似,可抑制胆固醇的吸收。据估计,植物甾醇与皂甙同样具有抑制结肠癌的作用<sup>[22]</sup>。

维生素E是一种强有效的自由基清除剂,能保护机体细胞及生命大分子免遭自由基侵害,可延缓衰老,防治心血管疾病和肿瘤,是一种重要的生物活性物质。大豆中维生素E含量较高,因而具有抵抗老化性疾病、防治癌症的作用<sup>[23]</sup>。

大豆中植酸含量约为1.0%~2.3%。研究发现,大豆中含有的植酸是一种抗肿瘤抑制物,比纤维素能更好地抑制结肠癌的发生<sup>[24]</sup>。

大豆膳食纤维是由生产豆腐的下脚料经一系列工序加工而制成,虽然它不参与人体代谢,但是它有促进肠蠕动、改进胃肠消化状况等作用,可用于减肥、抗糖尿病、预防消化道癌等<sup>[25]</sup>。

## 2 大豆生物医学相关性状改良

在作物生物医学相关性状的改良方面,现在已提出许多观点和建议。在农业中,需要通过常规育种对成千上万变种进行筛选。因而育种家如何快

速准确的筛选出作物的食品健康性状成为亟需解决的关键问题。由于食品中成分太多,而无法确定其产生的生物效应。因此在生物医学领域,主张进一步鉴定食品中重要的营养物质,作为最小的研究对象,并明确它们的功能。一些技术方法,如基因与环境的互作、性状筛选模型系统的建立、次级代谢产物的测定、各种组学等也逐渐被提出,用于评价针对生物医学相关性状的作物改良。对于复杂的生物活性分子不断增长的需求,推动了在微生物和植物中新生物合成途径工程学的不断发展。将代谢工程和分子育种方法如基因移植、催化功能修饰等相结合可在大肠杆菌中创造新的代谢途径,生物合成天然产物,可能实现在简单的实验有机体中生产天然或化学合成无法获得的新化合物。

目前,黄酮类化合物代谢工程已实现三大战略<sup>[12]</sup>:(1)转录因子或关键代谢酶的表达,以增加内源性黄酮途径的流量;(2)非内源性黄酮修饰酶表达,以直接形成的新型黄酮类;(3)在酵母或大肠杆菌内重组天然和非天然黄酮类化合物。

查儿酮异构酶(chalcone isomerase, CHI)是黄酮生物合成途径的关键酶,过量表达 CHI 基因可有效的提高植物中黄酮含量。异黄酮是豆科植物中由一种细胞色素氧化酶(P450),异黄酮合成酶(isoflavone synthase, IFS)催化合成,通过在拟南芥、烟草、玉米等中过量表达 IFS,可在这些本身不具有合成异黄酮能力的植物中产生异黄酮。

相对于过量表达代谢途径中的单个基因,利用转录因子调控一系列基因的表达显得更加有效。例如:异位表达特异性 MYB 转录因子可产生大量花青素。这一技术使作物增加了对健康有益的植物营养素水平,而消除不需要的副产品。但利用转录因子改造黄酮类代谢途径必须建立在对其调控的整个线路及效果了解清楚的基础上,否则过量表达转录因子并不能实现预期效果。

黄酮类化合物的微生物生产取决于菌株表达合成途径中特定的酶类。如通过表达黄酮合酶、黄酮 3- $\beta$ -羟化酶、IFS 等,产生相应的黄酮化合物。这种系统对常见的黄酮类生产可能不具经济利益,但对于新化合物的生物合成可能具有很好的前景。

### 3 大豆生物医学相关性状评估

对植物中活性物质的探究需要选择适当的模型和方法,以提高评价的准确性和效率。早期利用动物模型筛选作物的生物医学相关性状提供了很多有价值的信息,而分子生物学技术和各种组学等新方法的不断涌现使我们有更多选择来对评价系

统进行改良和发展。

对黄酮类化合物医学价值的研究始于对其在植物和动物体内代谢相似性的比较<sup>[26-27]</sup>。植物和动物通过甲基化和糖基化修饰黄酮,然后跨膜运输本来的和/或修饰后的化合物。植物治疗物质的肠吸收机制与其生物利用度和临床反应密切相关。这些机制差异很大,取决于结构特点。在黄酮类化合物中,异黄酮、儿茶素、黄酮苷和槲皮素在人体的吸收最好;最不易吸收的黄酮是鞣红和花青素。这些化合物不同的代谢动力学特征对于设计和解释植物药物干预治疗作用非常有用。动物血脑屏障通透性也会影响化合物的局部生物利用度。黄酮必须穿越血脑屏障被生物利用,才能在中枢神经系统发挥作用,且必须与特定的脑细胞接触或在细胞间隙流动,以体现其应有的效用。目前关于黄酮在植物中的运输了解较多,而动物中很可能涉及类似的转运机制,有待于进一步研究。

在确定植物中活性成分疗效方面最大挑战之一是要证明其作用的分子机制。例如:现在已知槲皮素等黄酮类化合物可与哺乳动物的肌动蛋白结合,但目前尚不清楚这种结合是否与其生物活性有关<sup>[28]</sup>。目前对于大豆异黄酮生物学活性的分子机理已经提出很多观点,如对 Genistein 抗癌机制的研究现已提出了几种可能的机制,包括性激素调节作用,抑制酪氨酸蛋白激酶活性,抑制拓扑异构酶 II 活性、抗氧化作用、诱发癌细胞凋亡及增加药效等机制<sup>[29]</sup>。对于黄酮物质在动物体内潜在的结合位点的研究,也可进一步应用于植物,以确定这些植物特异性代谢产物在植物中是否也有类似的目标结合位点。传统方法确定富含大豆异黄酮饮食对动脉粥样硬化的影响时,一般采用饮食诱导的肥胖动物模型,使其产生胰岛素抵抗,发展成为高胆固醇血症<sup>[30]</sup>。这些病理变化可能需要几个月时间才能形成。短期测定中,给予能够导致动物肥胖的饮食标准,然后用在食物中添加受试作物,以确定其是否可以减轻体重或缓解高胆固醇血症导致的胰岛素抵抗。随着基因工程技术在动物模型中的应用,近年来基因缺陷动物模型得以大规模使用。例如采用基因工程技术将编码载脂蛋白 E (apolipoprotein E) 或低密度脂蛋白受体 (low density lipoprotein receptor, LDLR) 的特定基因敲除,并使其稳定遗传,动物可出现严重的动脉粥样硬化病变,成为疾病研究领域的强有力的工具。这些小鼠采用常规饮食饲养,病变类型与人类相近并具有延展性,形成病变的时间较短,与饮食诱导的疾病模型相比具有显著的优点<sup>[31-32]</sup>。

生物医学相关性状鉴定的方法之一是筛选和收集这一特定作物的生物多样性<sup>[33]</sup>。利用基因工程可以将控制健康相关性状的基因导入植物中,从而从栽培种和野生种中筛选种质。也可利用组学技术进行筛选。目前已经收集到很多筛选获得的种质资源,接下来是要在特定的动物模型中鉴别出这些种质的基因型,并进一步通过转基因手段将感兴趣的基因转入植物中。

大豆异黄酮的生物活性是丰富的,在组织和细胞水平的作用靶点也是广泛的,这也增加了研究的复杂性。因此,挖掘它的生物活性价值,阐明具体的作用机制的研究潜力是巨大的。然而,在研究大豆异黄酮与人类健康时也存在很多问题,如细胞培养、动物实验、人体试验、流行病学研究和营养学调查的研究结果有许多相互矛盾之处。分析其原因可能一方面是受试物多采用植物提取物,成分复杂,不能确定真正有效成分;另一方面是人体试验有许多难于控制的因素。因此,对大豆异黄酮活性研究的手段和方法仍然需要进一步改进和创新。

#### 4 展 望

许多人往往认为在医学上的突破是通过新的药物或高科技外科手术的发展,而往往忽略了我们日常生活中简单的选择,例如饮食。新兴的大规模的全基因组关联研究将会提供关于健康和慢性疾病遗传基础的前所未有的理解。但这一快速发展的基因组学往往没有考虑到学科间的交互与渗透,例如植物衍生物对人类健康的影响。营养科学与遗传评估结合可提供“个性化医疗”的办法,这将允许根据某一个人的特定需求,提供疾病的植物药物治疗。对特定代谢感兴趣的植物学家与生物医学研究者和临床医师密切合作,将有可能使个性化医疗成为现实。

食品作为生物医学农业科学的一个重要载体,每天提供给人体很多化学物质,同时也降低了慢性病患病风险。但是没有一种单一的化学物质可以预防慢性病。农业和生物医学家的工作不是平行的,而是交互的。在交叉领域的不断探索将为生物医学农业这一新兴学科的发展打下基础,也将为人类提供更好更健康的食物。

#### 参考文献

[1] Nestel P, Bouis H E, Meenakshi J V, et al. Biofortification of staple food crops[J]. *Journal of Nutrition*, 2006, 136:1064-1067.  
 [2] Gilani G S, Nasim A. Impact of foods nutritionally enhanced through

biotechnology in alleviating malnutrition in developing countries [J]. *Journal of Aoac International*, 2007, 90:1440-1444.  
 [3] Ornish D, Magbanua M J, Weidner G, et al. Changes in prostate gene expression in men undergoing an intensive nutrition and lifestyle intervention[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008, 105:8369-8374.  
 [4] 潘廖明,姚开,贾冬英. 大豆活性成分及其生理功能[J]. *中国食品工业*, 2002, 9(1):26-28. (Pan L M, Yao K, Jia D Y. Active ingredients and the physiological properties of soybean [J]. *China Food Industry*, 2002, 9(1):26-28.)  
 [5] Wink M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective[J]. *Phytochemistry*, 2003, 64:3-19.  
 [6] Hartmann T, Kutchan T M, Strack D. Evolution of metabolic diversity[J]. *Phytochemistry*, 2005, 66:1198-1199.  
 [7] 王莉,史玲玲,张艳霞,等. 植物次生代谢物途径及其研究进展[J]. *武汉植物学研究*, 2007, 25(5):500-508. (Wang L, Shi L L, Zhang Y X, et al. Biosynthesis and regulation of the secondary metabolites in plants [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2007, 25(5):500-508.)  
 [8] 江和源,吕飞杰,郇建祥. 大豆中生物活性成分及其功能[J]. *大豆科学*, 2000, 19(2):160-164. (Jiang H Y, Lü F J, Tai J X. Bioactive components of soybean and their function [J]. *Soybean Science*, 2000, 19(2):160-164.)  
 [9] Qato D M, Alexander G C, Conti R M, et al. Use of prescription and over-the-counter medications and dietary supplements among older adults in the United States [J]. *Journal of the American Medical Association*, 2008, 300(24):2867-2878.  
 [10] Hebert L E, Beckett L A, Scherr P A, et al. Annual incidence of Alzheimer disease in the United States projected to the years 2000 through 2050 [J]. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, 2001, 15(4):169-173.  
 [11] Spencer J P. The impact of flavonoids on memory: physiological and molecular consideration [J]. *Chemical Society Reviews*, 2009, 38(4):1152-1161.  
 [12] Dixon R A, Pasinetti G M. Flavonoids and isoflavonoids: from plant biology to agriculture and neuroscience [J]. *Plant Physiology*, 2010, 154(2):453-457.  
 [13] Sánchez Y, Calle C, de Blasa E, et al. Modulation of arsenic trioxide-induced apoptosis by genistein and functionally related agents in U937 human leukaemia cells. Regulation by ROS and mitogen-activated protein kinases [J]. *Chemico-Biological Interactions*, 2009, 182(1):37-44.  
 [14] Gutierrez-Zepeda A, Santell R, Wu Z, et al. Soy isoflavone glycitein protects against beta amyloid-induced toxicity and oxidative stress in transgenic *Caenorhabditis elegans* [J]. *BMC Neuroscience*, 2005, 6:54.  
 [15] 高俊涛,赵春燕,宫丹. 大豆异黄酮的研究进展[J]. *第四军医大学吉林军医学院学报*, 2005, 26(1):56-58. (Gao J T, Zhao C Y, Gong D. Research advancement on soybean isoflavones [J]. *Journal of Jilin Military Medical College Fourth Military Medical University*, 2005, 26(1):56-58.)  
 [16] 郭玉华,李钰金,吴新颖. 大豆多肽的应用进展及前景生物功

- 能研究进展[J]. 粮食加工, 2010, 35(5):60-63. (Guo Y H, Li Y J, Wu X Y. The progress of soybean polypeptides application and its prospects[J]. Grain Processing, 2010, 35(5):60-63.)
- [17] 隋晓楠, 江连洲, 李扬. 大豆多肽的功能特性及在食品工业中的应用[J]. 中国食物与营养, 2009(3):36-39. (Sui X N, Jiang L Z, Li Y. The nutritional properties and the physiological function of soybeans peptide and its application[J]. Food and Nutrition in China, 2009(3):36-39.)
- [18] 齐文娟, 岳红卫, 王伟. 大豆磷脂的理化特性及其开发与应用[J]. 中国油脂, 2005, 30(8):35-37. (Qi W J, Yue H W, Wang W. Physicochemical properties, development and application of soybean phospholipid[J]. China Oils and Fats, 2005, 30(8):35-37.)
- [19] 汪多仁. 大豆磷脂的开发与应用进展[J]. 中国食品添加剂, 2002(2):78-85. (Wang D R. Development and application of soybeans phospholipid[J]. China Food Additives, 2002(2):78-85.)
- [20] 田颖. 大豆低聚糖研究进展[J]. 饮料加工, 2008, 11(7):3-6. (Tian Y. Progress in study on soybean oligosaccharides[J]. The Beverage Industry, 2008, 11(7):3-6.)
- [21] 高荣海, 张春红, 赵秀红, 等. 大豆异黄酮研究进展[J]. 粮食与油脂, 2009(5):1-4. (Gao R H, Zhang C H, Zhao X H et al. Research progress on soybean isoflavone[J]. Cereals and Oils, 2009(5):1-4.)
- [22] 李博, 李满, 杨雪, 等. 植物甾醇的生理功能及在动物生产中的应用[J]. 饲料博览, 2011(1):42-45. (Li B, Li M, Yang X et al. The physiological function of phytosterols and its application in animal production[J]. Feed Review, 2011(1):42-45.)
- [23] 刘功权, 王立刚. 大豆维生素 E[J]. 大豆通报, 2004(5):34-35. (Liu G Q, Wang L G. Soybean vitamin E[J]. Soybean Bulletin, 2004(5):34-35.)
- [24] Graf E, Eaton J W. Dietary suppression of colonic cancer. fiber or phytate[J]. Cancer, 1985, 56(4):717-718.
- [25] Liener I E. Possible adverse effects of soybean anticarcinogens[J]. The Journal of Nutrition, 1995, 125(3):744-750.
- [26] Manach C, Williamson G, Morand C, et al. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2005, 81(1):230-242.
- [27] Williamson G, Manach C. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. II. Review of 93 intervention studies[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2005, 81(1):243-255.
- [28] Bohl M, Tietze S, Sokoll A, et al. Flavonoids affect actin functions in cytoplasm and nucleus[J]. Biophysical Journal, 2007, 93(8):2767-2780.
- [29] 阎祥华, 顾景范, 孙存善. 大豆异黄酮的抗癌作用机制研究进展[J]. 生理科学进展, 1997, 28(4):362-364. (Yan X H, Gu J F, Sun C P. Research advancement on the anti-cancer effects of soybean isoflavone[J]. Progress in Physiological Sciences, 1997, 28(4):362-364.)
- [30] Surwit R S, Kuhn C M, Cochrane C, et al. Diet-induced type II diabetes in C57BL/6J mice[J]. Diabetes, 1988, 37(9):1163-1167.
- [31] Plump A S, Smith J D, Hayek T, et al. Severe hypercholesterolemia and atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice created by homologous recombination in ES cells[J]. Cell, 1992, 71(2):343-353.
- [32] Ishibashi S, Brown M S, Goldstein J L, et al. Hypercholesterolemia in low density lipoprotein receptor knockout mice and its reversal by adenovirus-mediated gene delivery[J]. The Journal of Clinical Investigation, 1993, 92(2):883-893.
- [33] Gepts P, Papa R. Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives[J]. Environmental Biosafety Research, 2003, 2(2):89-103.

## 欢迎订阅 2012 年《中国生态农业学报》

《中国生态农业学报》由中国科学院遗传与发育生物学研究所和中国生态经济学会主办, 中国科学院主管, 科学出版社出版。

主要报道全球环境变化与农业、农业生态系统与生态农业理论基础、农田生态系统与农业资源、生态农业模式和技术体系、农业生态经济学、农业环境质量及环境保护、农业有害生物的综合防治等领域创新性研究成果。适于从事农业生态学、生态学、生态经济学以及环境保护等领域科技人员、高等院校有关专业师生, 农业及环境管理工作者和基层从事生态农业建设的技术人员阅读与投稿。

《中国生态农业学报》国内外公开发行人, 国内刊号 CN13-1315/S, 国际刊号 ISSN1671-3990。月刊, 国际标准大 16 开本, 128 页, 每期定价 35 元, 全年 420 元。邮发代号: 82-973, 全国各地邮局均可订阅。漏订者可直接汇款至编辑部补订(需另加邮资 50.00 元)。

地址: (050022) 河北省石家庄市槐中路 286 号 中科院遗传发育所农业资源中心《中国生态农业学报》编辑部

电话: (0311) 85818007 传真: (0311) 85815093

网址: <http://www.ecoagri.ac.cn> E-mail: [editor@sjziam.ac.cn](mailto:editor@sjziam.ac.cn)