



大豆贮藏化合物

合成代谢及其遗传改良

◎ 岳爱琴 编著

中国农业科学技术出版社

大豆贮藏化合物

合成代谢及其遗传改良

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大豆贮藏化合物合成代谢及其遗传改良/岳爱琴编著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2009

ISBN 978 - 7 - 80233 - 799 - 2

I. 大… II. 岳… III. ①大豆 - 种子 - 化合物 - 合成代谢②大豆 - 遗传育种 IV. S565.103.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020972 号

责任编辑 张孝安 赵 赟

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 42 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109708 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)

(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82109709

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京华正印刷有限公司

开 本 850 mm × 1 168 mm 1/32

印 张 5.375

字 数 150 千字

版 次 2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —



前 言

大豆，俗称黄豆，几千年来一直是中国人民的主要食品之一。它含有丰富的营养物质，可制作多种脍炙人口的美味佳肴，对中华民族的繁衍生存、中华民族的体魄强健起到了相当大的作用。

大豆是一种含有丰富营养物质的植物种子，其中的蛋白质不仅含量高而且质量好，是最优质的植物蛋白。大豆中的脂肪富含多种不饱和脂肪酸，为人类健康提供了最基本的营养保障。自古以来，家庭餐桌上既少不了利用大豆制作的菜肴，也少不了烹调用豆油，人类充分利用大豆中的蛋白质和脂肪。

近年的科学研究发现，大豆除含有优质蛋白质和优质植物脂肪外，还有很多鲜为人知的、对人体健康有益的，而且具有各种生理功能的物质，它们是大豆异黄酮、大豆皂苷、大豆低聚糖、大豆磷脂、大豆活性肽和维生素E等。越来越多的研究证明，上述物质虽然在大豆中含量很少，甚至极微量，但是却具有不可估量的生物活性。有关大豆生物活性物质新的研究



成果及其新产品的不断涌现,对提高人类健康水平起到了不可估量的作用。

随着经济发展和人们消费观念的转变,对大豆的品质提出了更高的要求,大豆品质育种受到从未有过的重视。中国是大豆的原产国,有着悠久的大豆种植历史,丰富的种质资源。大豆品质方面的研究在国内外都已经取得了较好的进展,初步明确了品质性状的遗传规律,育成了许多品质优良的品种,基因工程在品质育种与改良中也得到了广泛的应用。

本书对大豆种子中的贮藏化合物进行了概述;对大豆种子中对人类具有重要营养价值和生物活性的贮藏化合物蛋白质、脂肪、异黄酮的组成、分布和遗传规律及其育种技术进行了介绍;并对蛋白质、脂肪和异黄酮的合成代谢途径及其基因工程改良进行了阐述。

此外,在本书撰写过程中结合了编著者曾经参加的“大豆异黄酮遗传规律的研究”(山西省青年科技研究基金项目,20051039)、“大豆异黄酮高效提取工艺的研究”(山西省高校科技研究开发项目,20041233)和正在主持的“山西大豆异黄酮组成遗传多样性及相关基因克隆的研究”(山西省青年科技研究基金项目,2007021036)等项目的研究工作总结,同时也参阅了该学科大量的国内外研究资料。

本书虽然经过比较细致的修改和校对,但难免有疏漏和不当之处,恳请读者和同行提出宝贵意见。

编著者

2008年12月



目 录

第一章 大豆中营养物质与生物活性物质概述	(1)
第一节 大豆中的营养物质	(2)
第二节 大豆中的生物活性物质	(4)
第二章 大豆贮藏蛋白合成代谢及其遗传改良	(18)
第一节 大豆蛋白质概述	(19)
第二节 大豆蛋白质的积累	(26)
第三节 大豆蛋白质的遗传	(49)
第四节 大豆蛋白质含量与品质育种	(56)
第五节 基因工程改良大豆蛋白质	(66)
第三章 大豆脂肪酸合成代谢及其遗传改良	(70)
第一节 大豆脂肪酸的类型及其对人类的作用	(72)
第二节 不同大豆品种脂肪酸含量积累的变化	(74)
第三节 大豆油分含量和脂肪酸含量的遗传	(77)
第四节 提高油分含量及其品质育种	(85)
第五节 大豆的代谢工程育种	(90)



第四章 大豆异黄酮合成代谢及其遗传改良	(108)
第一节 大豆异黄酮的组成、分布和影响因素	(110)
第二节 大豆异黄酮含量的影响因素	(115)
第三节 大豆异黄酮的遗传	(123)
第四节 大豆异黄酮育种	(125)
第五节 大豆异黄酮的基因工程育种	(131)
参考文献	(144)



第一章

大豆中营养物质 与生物活性物质概述

大豆原产我国，古称“菽”，属于豆科，蝶形花科，大豆属，一年生植物。中国早在 5 000 年前就开始栽培大豆，而且是作为食用油和蛋白质的主要来源。

大豆是指豆科植物 *Glycine max* (L.) Merr. 的成熟种子。在世界各国的饮食结构中占有重要地位。

大豆种子中的贮藏化合物不仅含有丰富、优质的蛋白质和脂肪，近年来发现还含有许多有益的生物活性物质，日益引起了人们的注意。



第一节 大豆中的营养物质

大豆中含有蛋白质、脂肪、碳水化合物、无机盐和微量元素以及维生素，但是含量和比例同其他粮食、豆类相比是有区别的。

一、大豆蛋白质

大豆是蛋白质含量最丰富的植物之一，含量为 40% 以上。大豆中的蛋白质含量不仅高，而且质量也好，即营养价值高。大豆蛋白质具有多种加工性能，如乳化性、吸油性、吸水性、持水性、凝胶性和发泡性等。

二、大豆脂肪

大豆脂肪是存在于种子之中的由脂肪酸与甘油所形成的脂类，含量为 20% 左右。构成大豆脂肪的脂肪酸种类虽然很多，但是多是不饱和脂肪酸，达 80% 以上，其中包括亚油酸（linolicacid）、亚麻油酸（leinolenicacind），在营养学上称这两种不饱和脂肪酸为必需脂肪酸（essential acid）。大豆脂肪不仅有较高的营养价值，而且对大豆的风味、口感等方面也有很大的影响，豆腐、豆乳中都必须含有一定量的脂肪，才能使口感滑润和细腻，有香气，否则会感到



粗糙和口涩。

三、大豆中的碳水化合物

大豆中的碳水化合物含量约为 25%，其组成比较复杂，主要成分为蔗糖、棉子糖、水苏糖、毛蕊花糖等低糖类和阿拉伯半乳聚糖等多糖类，成熟的大豆中淀粉很少，为 0.4% ~ 0.9%。

大豆中的碳水化合物除蔗糖和淀粉外，其余均不能被人体利用，因此认为大豆中的碳水化合物不能称为人体需要的主要营养物质。

四、大豆中的无机盐和维生素

大豆中的无机盐所占的比例为 4.0% ~ 4.5%，其中钙的含量较高，每 100g 样种含钙约为 376mg，其他如磷、钾、镁和铁等含量也较高。另外，还有钠、锰、锌、铝和铜等无机盐类。

但是，大豆中还含有植酸、能螯合钙和镁等金属离子，因此严重影响了人体对钙和镁的吸收。

大豆中的维生素含量很少，而且在加工中大部分被破坏掉，有意义的是大豆中含有的维生素 E，因为是脂溶性的，所以多随大豆脂肪一起被提取出来。



第二节 大豆中的生物活性物质

所谓生物活性物质是指食品或生物体内存在的同人体作用能产生生物效应的一类物质。近年来发现大豆中有许多对人体有益的生物活性物质，如大豆异黄酮、大豆皂苷、大豆磷脂、大豆低聚糖、大豆膳食纤维和大豆活性肽等。目前，大豆遗传育种领域研究较多的是大豆异黄酮和大豆皂苷。

一、大豆异黄酮

大豆异黄酮是具有二羟基或三羟基的黄酮类化合物，自然界中仅在大豆、葛根等少数植物中含有，因其结构与激素己二醇接近，而且具有雌激素作用，所以也称植物雌激素。生物活性有降血脂、抗动脉硬化、抗肿瘤和抗骨质疏松等作用，是极有应用前途的一类生物活性物质。

二、大豆皂苷

大豆皂苷属于五环三萜类齐墩果酸型化合物，是大豆中具有十分重要研究价值和广泛应用价值的生物活性物质，它广泛分布于植物界，是皂苷化合物的一种，也是引起大豆苦涩味的因子之一。



(一) 大豆皂苷的化学组成

皂苷是由皂苷元和糖、糖醛酸或其他有机酸组成。根据其化学结构可分为三萜皂苷和甾体皂苷两大类，三萜又可分为四环三萜和五环三萜，而以五环三萜为常见。大豆皂苷属于五环三萜类化合物，由三萜类同系物的羟基和糖分子的环状半缩醛上的羟基失水缩合而成，并且它还可以水解生成多种糖类和配糖体。日本学者按苷元的不同，将大豆皂苷分 A 类、B 类、E 类和 DDMP 类。A 类皂苷是以 Soyasapogenol A 为配基的双糖链皂苷；B 类和 E 类是以 Soyasapogenol B 和 Soyasapogenol E 为配基的单糖链皂苷；DDMP 类皂苷是以 Soyasapogenol B 为配基 C-22 位上结合有 2, 3-dihydro-2, 5-dihydroxy-6-methyl-4h-pyran-4-one (DDMP) 的单糖链皂苷。大豆皂苷糖链部分是由以下 6 种单糖组成： β -D-葡萄糖醛酸、 β -D-葡萄糖、 β -D-半乳糖、 β -D-木糖、 α -L-阿拉伯糖和 α -L-鼠糖。大豆皂苷糖链部分含量为 24% ~ 27%。

(二) 大豆皂苷含量的分布及理化性质

大豆皂苷主要集中在大豆胚轴，是子叶中皂苷含量的 8 ~ 15 倍。此外，大豆皂苷的含量还与大豆品种、生长期和环境因素有关，含量一般在 0.62% ~ 6.12% 之间。大豆皂苷的分子量为 1 000 左右，分子极性较大，不易结晶，呈无色或乳白色粉末，易溶于水，易潮解，具有吸湿性，常熔融前就分解，



具有苦涩味与较强表面活性，还具有两亲性（亲水和亲油）、发泡性与乳化作用等。大豆皂苷属酸性皂苷，其水溶液中加入硫酸酐、醋酸铅或其他盐类物质可形成沉淀并呈现颜色变化。

（三）大豆皂苷的生理功能

1. 降血脂的作用

国内外学者的研究表明，大豆皂苷可以抑制血清中脂类的氧化，抑制过氧化脂质 LPO 的形成及过氧化脂质对肝细胞的损伤，并能降低血中胆固醇和甘油三酯的含量。

2. 抗氧化、抗自由基的作用

研究发现，大豆皂苷能通过增加 SOD 超氧化物歧化酶的含量，降低 LPO，清除自由基，减轻自由基的损害作用，促进修复。

3. 抗肿瘤的作用

国外有学者报道，大豆皂苷的抑癌机制可能表现在以下 4 方面：①直接的细胞毒作用；②免疫调节作用；③胆汁酸结合作用；④促使致癌物引起的细胞扩散转为正常。

国内也有不少学者对此进行了研究，结果发现大豆皂苷对 S180 细胞和 YAC21 细胞的 DNA 合成有明显的抑制作用，并对 K562 细胞和 YAC-1 细胞等有明显的细胞毒作用。大豆皂苷还能促进 T 细胞产生淋巴因子，增加诱导杀伤性 T 细胞和 NK 细胞分化及提高 LAK 细胞活性，从而杀伤肿瘤细胞。



4. 抗凝血、抗血栓及抗糖尿病的作用

大豆皂苷的抗凝血作用很早就被人们发现,通过对白鼠的试验发现,大豆皂苷可以抑制血小板凝聚,并使血纤维蛋白减少,还可以抑制由体内毒素引起的纤维蛋白的凝聚作用,并可以抑制凝血酶引起的血栓纤维蛋白的形成,这表明大豆皂苷具有抗血栓作用。

5. 增强免疫调节功能的作用

关于大豆皂苷增强免疫调节功能的作用机理,大豆皂苷对 T 细胞具有增强作用,特别是 T 细胞功能的增强,可以使 L-2 (白介素) 的分泌提高,而 L-2 的功能可以保护 T 细胞的存活与繁殖,促进 T 细胞产生淋巴因子,增强诱杀性细胞 NK (自然杀伤性细胞) 的分化,提高 LAK (淋巴因子激活的杀伤性细胞) 的活性,从而生物体表现出较强的免疫功能。

6. 抗 HIV 的作用

研究发现大豆皂苷复合物具有明显的抗 SIV 的作用。通过对大豆皂苷抑制 HIV 作用的研究,认为大豆皂苷在大于 0.5g/L 的浓度下,能完全抑制 HIV 诱导的细胞病变及病毒特异的抗原表达,它是通过阻止 HIV 同 T4 细胞的接触而起作用的。

三、大豆磷脂

(一) 大豆磷脂的组成和分布

大豆磷脂的结构可以看作是三甘油脂的一个脂肪酸被磷



酸所取代生成的磷酸酯，然后再被其他基团所酯化，因此大豆磷脂是由结构相近的物质组成的。大豆磷脂中以磷脂酰胆碱（PC）、磷脂酰乙醇胺（PE）和磷脂酰肌醇（PI）为主，结构如图 1-1 所示：

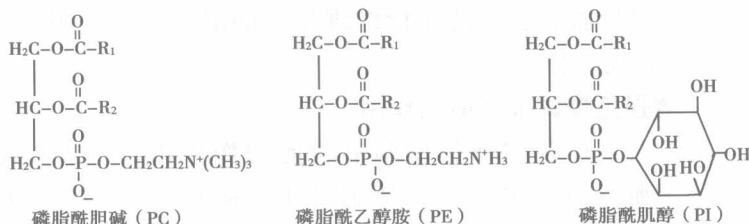


图 1-1 磷脂酰胆碱（PC）磷脂酰乙醇胺（PE）
和磷脂酰肌醇（PI）结构示意图

其中， R_1 与 R_2 为 C_{15-17} 碳氢链。

大豆磷脂中还含有其他各种低含量组分，包括磷脂酸、色素、半乳糖甘油脂、各种糖脂、磷脂酰丝氨酸、碳水化合物和甾醇及生育酚等。

植物界中主要存在于种子和坚果及谷物中。虽然磷脂的分布较广，但是在实际生产中能用于磷脂生产的动物和植物来源并不很多，在动物来源中首先以蛋黄含量最高，磷脂含量为 8% ~ 10%，其次为牛脑约含有 6% 磷脂；植物界中主要以大豆为主，其磷脂含量全豆为 1.6% ~ 2.0%，油脂含量为 2.7% ~ 3.2%；其次为棉籽，全籽为 0.7% ~ 1.2%，棉籽油为 1.7% ~ 1.9%。

现在市场上的磷脂产品主要以植物尤其是油料植物为原料，其他几种植物，如花生为 0.44% ~ 0.62%、油菜籽为



0.9% ~ 1.2%、葵花籽为 0.61% ~ 0.68%、芝麻为 0.56%、大麻籽为 0.86% 和亚麻籽为 0.81% 等制油时，也可分离出磷脂。但是，因为磷脂含量低或原料资源不足等原因的限制目前均未实现工业化。工业化生产的植物原料主要是大豆；动物来源主要是蛋黄。蛋黄磷脂产品在医药、化妆品等行业有重要应用，而大豆磷脂产品则广泛应用于焙烤食品、巧克力、糖果、浆料、纺织、杀虫剂、涂料、医药、化妆品和磁带等行业，这主要是由于其价格因素影响。

（二）大豆磷脂的理化性质

1. 物理性质

大豆磷脂是一种淡黄色至棕色、无嗅或略带有气味的粘稠状或粉末状物质。从其结构上看，它是一种表面活性剂，两个脂肪酸链为疏水基，磷酸及胆碱等基团为亲水基，因此具有一系列界面性质和胶体性质。大豆磷脂不溶于水，易溶于多种有机溶剂，易形成反胶团，即疏水基在外，亲水基在内。乳化性是磷脂的重要特性，在大豆磷脂中醇溶的（富集了卵磷脂）易形成 O/W 型乳液，而醇不溶的（富集了脑磷脂）易形成 W/O 型乳液。由于大豆磷脂分子中存在大量不饱和脂肪酸，很容易被空气氧化，而温度的升高不仅加快此种氧化的发生，而且使其颜色逐渐加深。因此，在使用或保存大豆磷脂时，应注意控制温度或加入适当的抗氧化剂。大豆磷脂也能形成液晶，包括热致液晶和溶致液晶。



2. 化学性质

大豆磷脂的化学性质主要表现在它的酯键、脂肪酸链和磷脂的 X 取代基上。大豆磷脂在酸性或碱性条件下,加热或煮沸时,可发生完全水解反应,生成游离脂肪酸、甘油、肌醇和磷酸等小分子产物。在特殊的磷脂酶作用下,大豆磷脂可发生部分水解,如蛇卵磷脂酶,能专一作用于磷脂的不饱和脂肪酸酯键,使其分解。由于大豆磷脂分子中含有不饱和脂肪酸,故其中的不饱和键可以发生各种加成反应。在乳酸等有机酸存在下,大豆磷脂与过氧化氢反应,使其不饱和键部分羟基化。在镍等催化剂存在下,大豆磷脂可与氢气发生加成反应,生成饱和磷脂。在一定条件下,大豆磷脂可与卤素、氢卤酸等进行加成,生产卤代产物。磷脂酰乙醇胺分子中的胺基,可与酸酐等酰化试剂反应,生成酰化产物。

(三) 大豆磷脂的生理功能及其应用

大豆磷脂是机体细胞壁的组成部分,代谢过程的积极参与者,它们在人体生命活动中发挥了重要作用。

磷脂是生物膜的主要组成成分,磷脂代谢过程中释放的乙酰胆碱可增强大脑的活力、促进大脑发育、高记忆力和智力。在食品中添加磷脂可增强膜的结构、改善血管壁细胞膜的渗透性,并具有修复组织的免疫功能和自我修复能力。磷脂能改善细胞细胞膜、改善血管弹性、降低血压和预防脉管硬化功能。由于磷脂具有修复线粒体功能,可预防脂肪肝液中过多的脂质,能防止高脂血症的发生。