



博士后文库

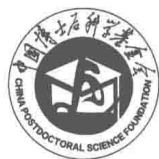
中国博士后科学基金资助出版

豆粕中抗营养因子的研究

王忠艳 等 编著



科学出版社



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

豆粕中抗营养因子的研究

王忠艳 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了豆粕中脲酶、胰蛋白酶抑制因子、大豆凝集素、植酸及大豆抗原等主要抗营养因子的结构、性质、抗营养机制及分析测定方法等,同时全面分析了豆粕中致甲状腺肿素产生的机制及其对动物的抗营养作用与大豆中不同提取异黄酮的工艺对其产生的影响;系统地论述了豆粕中主要抗营养因子的灭活方法;重点介绍了对豆粕进行系列干热和湿热处理后脲酶活性、胰蛋白酶抑制因子、大豆凝集素、噻唑烷硫酮等抗营养因子的灭活及蛋白质溶解度的变化情况,从中找到了豆粕的最佳处理方法,为豆粕及提取异黄酮豆粕的科学合理应用提供基础研究数据。同时,通过对主要抗营养因子系列分析方法的研究,利用 Excel 实现了用简单实用的抗营养因子分析方法对标准测定方法所得数据的估测;通过系列试验分析了从大豆提取异黄酮过程中抗营养因子噻唑烷硫酮的产生及蛋白质溶解度的变化规律,优化出抗营养因子产生量最少的提取异黄酮生产工艺。最后介绍了对用优化出的抗营养因子最佳灭活方法所得样本进行动物试验,展示了其优良的生产性能。

本书适合于从事动物饲料行业、动物生产领域及食品加工行业人员用书,也可作为上述相关学科的本科生及研究生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

豆粕中抗营养因子的研究/王忠艳等编著. —北京:科学出版社, 2017.1
(博士后文库)

ISBN 978-7-03-050196-7

I. ①豆… II. ①王… III. ①大豆—食品营养—研究 IV. ①R151.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 246321 号

责任编辑:张会格 岳漫宇 / 责任校对:李 影

责任印制:张 伟 / 封面设计:刘新新

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 1 月第一次印刷 印张: 12

字数: 242 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《博士后文库》编委会名单

主 任 陈宜瑜

副主任 詹文龙 李 扬

秘书长 邱春雷

编 委（按姓氏汉语拼音排序）

付小兵 傅伯杰 郭坤宇 胡 滨 贾国柱 刘 伟

卢秉恒 毛大立 权良柱 任南琪 万国华 王光谦

吴硕贤 杨宝峰 印遇龙 喻树迅 张文栋 赵 路

赵晓哲 钟登华 周宪梁

《豆粕中抗营养因子的研究》编著者名单

主要编著者 王忠艳

参与编著人员 展 昕 卢晓凌 郭宏雷

《博士后文库》序言

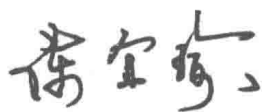
博士后制度已有一百多年的历史。世界上普遍认为，博士后研究经历不仅是博士们在取得博士学位后找到理想工作前的过渡阶段，而且也被看成是未来科学家职业生涯中必要的准备阶段。中国的博士后制度虽然起步晚，但已形成独具特色和相对独立、完善的人才培养和使用机制，成为造就高水平人才的重要途径，它已经并将继续为推进中国的科技教育事业和经济发展发挥越来越重要的作用。

中国博士后制度实施之初，国家就设立了博士后科学基金，专门资助博士后研究人员开展创新探索。与其他基金主要资助“项目”不同，博士后科学基金的资助目标是“人”，也就是通过评价博士后研究人员的创新能力给予基金资助。博士后科学基金针对博士后研究人员处于科研创新“黄金时期”的成长特点，通过竞争申请、独立使用基金，使博士后研究人员树立科研自信心，塑造独立科研人格。经过 30 年的发展，截至 2015 年年底，博士后科学基金资助总额约 26.5 亿元人民币，资助博士后研究人员五万三千余人，约占博士后招收人数的 1/3。截至 2014 年年底，在我国具有博士后经历的院士中，博士后科学基金资助获得者占 72.5%。博士后科学基金已成为激发博士后研究人员成才的一颗“金种子”。

在博士后科学基金的资助下，博士后研究人员取得了众多前沿的科研成果。将这些科研成果出版成书，既是对博士后研究人员创新能力的肯定，也可以激发在站博士后研究人员开展创新研究的热情，同时也可以使博士后科研成果在更广范围内传播，更好地为社会所利用，进一步提高博士后科学基金的资助效益。

中国博士后科学基金会从 2013 年起实施博士后优秀学术专著出版资助工作。经专家评审，评选出博士后优秀学术著作，中国博士后科学基金会资助出版费用。专著由科学出版社出版，统一命名为《博士后文库》。

资助出版工作是中国博士后科学基金会“十二五”期间进行基金资助改革的一项重要举措，虽然刚刚起步，但是我们对它寄予厚望。希望通过这项工作，使博士后研究人员的创新成果能够更好地服务于国家创新驱动发展战略，服务于创新型国家的建设，也希望更多的博士后研究人员借助这颗“金种子”迅速成长为国家需要的创新型、复合型、战略型人才。



中国博士后科学基金会理事长

前 言

当我们在历史的长河中回眸那久远的风霜，映入眼帘的或许就是那远古的大豆。中国是大豆的故乡，大豆是中国的特产，早在新石器时代中国就开始栽培，古时称大豆为“菽”，它由我国勤劳而智慧的先人以野生大豆经过漫长驯化而成，我国种植大豆已有四五千年的历史。大约 2500 年前大豆从中国传入朝鲜，2000 年前传入日本，300 年前于亚洲普及，在 1739 年传入法国，继而在欧洲种植，美国于 1804 年开始种植大豆。我国辽阔而富饶的松嫩平原和三江平原为大豆的主产区。我有幸生长在这片黑土地上，并为能为豆粕的合理使用尽绵薄之力感到非常自豪。我国虽为大豆古国，可令人感到悲哀的是我国逐渐由大豆出口国变为大豆进口国，主要是由于我国长久以来一直种植优质的传统大豆，而其与美国转基因大豆相比，不仅产油率低，而且生产成本较高，因此在国际市场上我们的传统大豆不再具有优势，特别是国内还有部分不法商贩为牟取暴利，直接将进口大豆用作食品豆，而大豆播种面积逐年缩减更是雪上加霜！

大豆营养丰富，素有“豆中之王”之称，被称为“植物肉”、“绿色奶”。大豆是我们人类的优质食品，因此其在世界上许多国家和地区的饮食结构中占有重要的地位。大豆的蛋白质含量居五谷之首，且各种必需氨基酸齐全、比例合适，同时富含亚油酸，可促进儿童神经发育，特别是对降低人类血液中胆固醇具有重要作用。因此，常食大豆可预防高血压、冠心病及冠状动脉硬化，另外大豆也含有钙、磷、铁等矿物质及各种维生素。除营养物质外，大豆中还富含大豆异黄酮、大豆甾醇、大豆磷脂、皂苷、低聚糖、多肽等生物活性物质，如大豆多肽就是人们非常关注的一种极具开发潜力的功能性食品基料，将成为 21 世纪人类的健康食品；广泛应用于医疗和食品工业中的大豆核酸也具有较好的抗病能力；大豆皂苷具有抗高血压和抗肿瘤等活性。因此，大豆以其健脑益智、养颜护肤、高效抗癌、降三高、预防心脑血管疾病、抗氧化、防衰老、预防骨质疏松、缓解更年期综合征及调整大肠微生物种群助消化等方面功效卓著而被国人所喜食。祖国传统医学认为：大豆味甘，性平，具有润燥生津、清热解毒及益脾养中之效，更是夏季消暑清热之佳品。服食黄豆可令人长肌肤、益颜色、填精髓、增力气、补虚开胃，是适宜者使用的补益食品，具有益气养血，健脾宽中，健身宁心，下利大肠，润燥消水的功效。有益于疳积泻痢、腹胀、羸瘦、妊娠中毒、疮疖肿毒、外伤出血等的治疗。

豆粕为大豆取油后的副产品，也称脱脂大豆，是动物最重要的植物性蛋白质

饲料原料，而脱脂大豆更是人类优质的健康食物。在国内外大豆总产量中，取油为大豆最为主要的使用形式，而豆粕为大豆最主要的副产品，因此合理使用豆粕具有十分重要的意义。

但事物都是一分为二的，当我们盛赞大豆优点时，也不应回避其缺陷，这便是大豆中的抗营养因子。抗营养因子伴随着营养因子一直就存在着，只是我们对其认识时间较短而已，但抗营养因子对植物来说是一种保护。你可以想象在生物界的生存斗争中，处于食物链顶端的食肉动物有强健的爪、齿等捕食利器，食草动物有敏锐的感官而能迅速避敌，那么植物如何在自然界中得以生存呢？那就是其所含有的抗营养因子，是众多的抗营养因子使其抗倒伏、抗病虫害，甚至是抵抗动物及人类的蚕食而使其种族得以延续。同样，除豆粕外其他的饲料原料、人类食品也都存在着这样或那样的抗营养因子，尽管在这方面我们研究得较少，认识不全面，但其实仅从祖先留给我们的如食物的不宜、禁忌及食物之间的相克等饮食经验便可感知其中有些就是由抗营养因子的存在、抗营养因子的生成所致，只不过当时我们还不认识，也不知道抗营养因子的存在，只知现象而不知其本质而已。

我们可以坚信，畅游在知识的海洋中，既可以感受到顺风顺水的助力，又有感到茫然不知所措、困顿无助的时候，这就是我们人类认知的过程，并且这个过程是永无休止的，因此没有哪种知识是我们认识的终点，也没有哪个结论是最终的结论，人类历史没有结束，认识如何可以结束！在苍茫大海中一个水滴太微不足道，同样一个水滴的力量更是不足以托起哪怕是最小的一叶小舟，可是若每滴水都积极参与形成大海的过程，便可形成气势磅礴的潮起潮落，托起巨轮抵达彼岸。我便愿为那滴水，不一定能起到多大的助力，但我愿积极参与，更愿奋不顾身地奉献！

在此非常感谢中国博士后科学基金会资助本书出版！也非常感谢科学出版社人员的真诚奉献和无私付出！感谢本书引用和参考资料的作者，他们的劳动成果是本项目的研究基础和前提！

在本项目的开展过程中，由于受到研究者知识水平、操作能力及项目研究时间所限，以及在本书编写过程中作者水平所限，书中难免会有欠妥、疏漏及偏颇之处，敬请广大读者及同仁提出批评和修改意见，以便再版时加以修正。

王忠艳

2016年2月

目 录

第一部分 大豆营养及抗营养概论

1 绪论	3
1.1 大豆中抗营养因子与食品和饲料安全的关系	3
1.2 大豆中主要的生物活性物质	5
1.2.1 大豆异黄酮	5
1.2.2 大豆低聚糖	6
1.2.3 大豆皂苷	7
1.2.4 大豆磷脂	8
1.3 大豆中主要的抗营养因子	9
1.3.1 脲酶	9
1.3.2 胰蛋白酶抑制因子	9
1.3.3 大豆凝集素	9
1.3.4 致甲状腺肿素	10
1.3.5 植酸	10
1.3.6 大豆抗原	10
1.4 大豆抗营养因子的灭活	11
1.4.1 物理方法处理	11
1.4.2 化学方法处理	13
1.4.3 生物学方法处理	13
2 大豆中脲酶、胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素的研究进展	16
2.1 脲酶的研究进展	16
2.1.1 脲酶的来源	16
2.1.2 脲酶的结构	17
2.1.3 脲酶的基本性质	18
2.1.4 脲酶对动物的影响	18
2.1.5 脲酶活性测定的研究	19
2.2 胰蛋白酶抑制因子的研究进展	20
2.2.1 胰蛋白酶抑制因子的来源	21
2.2.2 胰蛋白酶抑制因子的性质	23

2.2.3	胰蛋白酶抑制因子对动物的影响	24
2.2.4	胰蛋白酶抑制因子活性测定的研究	24
2.3	大豆凝集素的研究进展	26
2.3.1	大豆凝集素的来源及分类	27
2.3.2	大豆凝集素的结构	28
2.3.3	大豆凝集素的性质	29
2.3.4	大豆凝集素对动物的影响	31
2.3.5	大豆凝集素活性测定的研究	33
3	大豆提取异黄酮过程中的抗营养因子	35
3.1	大豆副产品饲料	35
3.2	提取异黄酮的方法	36
3.3	致甲状腺肿素	37
3.3.1	概述	38
3.3.2	致甲状腺肿素产生的机制	39
3.3.3	硫苷的结构、分类及化学组成	41
3.3.4	硫苷的降解产物及影响其降解的因素	41
3.3.5	去除硫代葡萄糖苷的方法	44
3.4	不同取油工艺对致甲状腺肿素去除的影响	44
3.4.1	浸出法取油工艺对致甲状腺肿素去除的影响	44
3.4.2	压榨法取油工艺对致甲状腺肿素去除的影响	45
3.5	各种提取异黄酮工艺的优缺点及实用性	45
3.5.1	有机溶剂萃取法	46
3.5.2	微波预处理再经乙醇提取法	47
3.5.3	超声波辅助提取法	47
3.5.4	高速逆流色谱技术	48
3.5.5	大孔吸附树脂法	48
3.5.6	高速离心分离技术	49
3.5.7	超临界萃取技术	49
3.5.8	高压浸提法	49
3.5.9	热水浸提法	50
3.5.10	酸解法、酶解法	50
3.6	研究大豆中抗营养因子的目的	50
3.7	研究大豆中抗营养因子的意义	52

第二部分 豆粕中抗营养因子系列研究及试验

4 豆粕中主要抗营养因子的灭活方法	57
4.1 试验材料和试验方法	57
4.1.1 试验材料	57
4.1.2 试验方法与试验设计	57
4.1.3 试验统计分析方法	59
4.2 经干热及湿热处理后蛋白质溶解度变化和脲酶灭活情况	59
4.2.1 蛋白质溶解度的测定	59
4.2.2 脲酶活性的测定方法	60
4.2.3 生豆粕经干热处理后蛋白质溶解度和脲酶活性变化	61
4.2.4 生豆粕经湿热处理后蛋白质溶解度和脲酶活性的变化	68
4.2.5 提异黄酮豆粕经干热处理后蛋白质溶解度和脲酶活性的变化	75
4.2.6 提异黄酮豆粕经湿热处理后蛋白质溶解度和脲酶活性的变化	83
4.3 经干热及湿热处理后胰蛋白酶抑制因子灭活情况	91
4.3.1 胰蛋白酶抑制因子活性的测定方法	91
4.3.2 生豆粕经干热处理后胰蛋白酶抑制因子活性的变化	93
4.3.3 生豆粕经湿热处理后胰蛋白酶抑制因子活性的变化	97
4.3.4 提异黄酮豆粕经干热处理后胰蛋白酶抑制因子活性的变化	99
4.3.5 提异黄酮豆粕经湿热处理后胰蛋白酶抑制因子活性的变化	100
4.4 经干热及湿热处理后大豆凝集素的灭活情况	102
4.4.1 大豆凝集素活性的测定方法	103
4.4.2 生豆粕经干热处理后大豆凝集素活性的变化	103
4.4.3 生豆粕经湿热处理后大豆凝集素活性的变化	107
4.4.4 提异黄酮豆粕经干热处理后大豆凝集素活性的变化	110
4.4.5 提异黄酮豆粕经湿热处理后大豆凝集素活性的变化	113
4.5 市售普通豆粕及提异黄酮豆粕的蛋白质溶解度及抗营养因子	116
4.5.1 市售普通豆粕的蛋白质溶解度及抗营养因子	116
4.5.2 市售提异黄酮豆粕的蛋白质溶解度及抗营养因子	117
4.6 抗营养因子最佳灭活方法研究的体会	117
4.7 本章小结	118
4.7.1 用干热法对生豆粕进行最佳处理的条件	118
4.7.2 用湿热法对生豆粕进行最佳处理的条件	118
4.7.3 用干热法对提异黄酮豆粕进行最佳处理的条件	119
4.7.4 用湿热法对提异黄酮豆粕进行最佳处理的条件	119
4.7.5 市售豆粕的合理使用	119

5 大豆中主要抗营养因子分析方法	120
5.1 试验材料及设备	120
5.1.1 试验材料	120
5.1.2 试验仪器	120
5.1.3 试验试剂	121
5.1.4 试验方法与试验设计	121
5.2 脲酶活性的分析测定方法	122
5.2.1 常用的脲酶活性分析方法	122
5.2.2 脲酶活性的测定结果与分析	128
5.2.3 脲酶活性分析方法小结	137
5.3 胰蛋白酶抑制因子活性的分析测定方法	139
5.3.1 常用的胰蛋白酶抑制因子活性分析方法	139
5.3.2 脲酶代换法与分光光度法测定结果	140
5.3.3 胰蛋白酶抑制因子活性分析方法小结	144
5.4 试验方法的合理性验证	145
5.5 本章小结	145
5.5.1 用测定脲酶活性的 pH 增值法对滴定法进行估测	145
5.5.2 用测定脲酶活性的分光光度法对滴定法进行估测	146
5.5.3 用测定胰蛋白酶抑制因子活性的脲酶代换法对分光光度法进行估测	146
6 不同提异黄酮工艺产豆粕中抗营养因子	147
6.1 试验材料及处理方法	147
6.1.1 试验材料	147
6.1.2 试验仪器	147
6.1.3 试验试剂	147
6.1.4 试验方法与试验设计	148
6.2 噁唑烷硫酮含量测定方法	148
6.2.1 分析测定原理	148
6.2.2 酶源制备	148
6.2.3 试样制备	149
6.2.4 测定步骤	149
6.2.5 结果计算	150
6.3 优化提取异黄酮工艺研究结果与分析	150
6.3.1 干热处理大豆后可酶解硫代葡萄糖苷含量及蛋白质溶解度的变化	150
6.3.2 干热处理豆粕后可酶解硫代葡萄糖苷含量及蛋白质溶解度的变化	152

6.3.3 干热处理提异黄酮豆粕后可酶解硫代葡萄糖苷含量及蛋白质溶解度的变化	154
6.3.4 湿热处理大豆后可酶解硫代葡萄糖苷含量的变化	156
6.3.5 大豆经不同溶剂萃取后噻唑烷硫酮含量的变化	157
6.3.6 不同提取异黄酮工艺生产的豆粕中噻唑烷硫酮含量的变化	158
6.4 本章小结	159
7 动物饲养试验	161
7.1 试验材料及处理	161
7.1.1 试验材料	161
7.1.2 试验设计	161
7.2 粪样和料样分析方法	162
7.2.1 基本原理	162
7.2.2 基本方法	162
7.3 试验结果与分析	162
7.3.1 经不同处理豆粕对鸡体增重的影响	162
7.3.2 经不同处理豆粕对鸡体增重与风干料重之比的影响	163
7.3.3 经不同处理豆粕对鸡干物质采食量的影响	164
7.3.4 经不同处理豆粕对鸡干物质代谢率的影响	165
7.4 本章小结	167
参考文献	168

第一部分 大豆营养及抗营养概论

1 绪 论

大豆 [*Glycine max* (L.)] 是豆科 (Fabaceae)、蝶形花亚科 (Faboideae)、大豆属 (*Glycine*) 植物。我国是大豆 (soybean) 的故乡, 早在我国古书籍《黄帝内经》中就有大豆的记载, 古时称大豆为“菽”, 它曾经是我国传统的农作物之一, 而当今大豆与小麦、水稻及玉米一起成为世界四大支柱农作物, 大豆被广泛地栽培到世界各地。在已有农作物中, 大豆因其较高的蛋白质含量、较好的蛋白质品质而被人们所喜爱。因为蛋白质是人及动物维持生命及生长发育所需的重要营养素之一, 它不仅是机体重要的组成成分, 还是机体所需活性物质及机体组织修复所需养分, 在特别情况下也是机体重要的能量来源, 所以, 大豆及其副产品是重要的蛋白质饲料原料, 同时也是饲料组分中较昂贵的成分之一。

在成熟的大豆籽粒中, 平均蛋白质含量在 40% 左右, 具体含量常因种植品种的不同及栽培条件的不同而在 27%~50% 波动, 其中蛋白质含量最高达 56% 以上, 这样的大豆其营养价值可与牛肉、猪瘦肉及鸡肉等媲美。不仅蛋白质含量高, 大豆中蛋白质还含有人体所需各种必需氨基酸, 且其含量和比例与人类需要相吻合。因此, 其营养价值远高于其他豆类及常规油料作物, 大豆中除半胱氨酸和蛋氨酸等含硫氨基酸较少外, 其他各种营养均衡, 且易于被人体所吸收。我们知道大豆中的脂肪为黄色液体, 是一种半干性油, 人及动物对豆油的可消化性与葵花籽油相近, 消化率都较高。豆油中脂肪酸甘油酯占 95% 左右, 其中 80%~90% 为不饱和脂肪酸, 并且大豆油中基本没有胆固醇。大豆中富含人体所需的多种矿物质, 矿物质总量占 4.5%~6.8%, 常见的矿物质有钙、镁、磷、硫、钾、钠及铁、硒等。其中, 硒可有效防止致癌物质与细胞中脱氧核糖核酸相结合, 从而起到防癌作用。大豆品种不同其所含有的维生素种类不同, 其中以水溶性维生素为主, 而脂溶性维生素含量较少, 主要含有胡萝卜素、维生素 B₁、维生素 B₂、烟酸、泛酸、维生素 B₆、维生素 C、维生素 E 及肌醇等。大豆中仅含有 22%~35% 的碳水化合物, 且碳水化合物组成复杂, 既含有我们称为膳食纤维的不溶性碳水化合物, 又包括可溶性的碳水化合物, 如棉籽糖和水苏糖等低聚糖类, 也有像阿拉伯半乳糖等多糖类。

1.1 大豆中抗营养因子与食品和饲料安全的关系

抗营养因子 (anti-nutritional factor, ANF) 广泛存在于植物界中, 它们是植物