



现代生物农业·畜牧

EXPLOITATION AND UTILIZATION OF FEED RESOURCE

饲料资源开发与利用

单安山/主编



科学出版社

现代生物农业·畜牧

饲料资源开发与利用

单安山 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书包括三个方面的内容：一是蛋白质饲料资源，主要阐述大豆、DDGS、动物血制品、羽毛粉、鱼粉、味精蛋白、豆渣、啤酒糟、酵母、玉米蛋白粉、棉籽粕、菜籽粕、花生粕、葵籽粕的加工处理及在动物生产中的应用；二是能量饲料资源，主要阐述大豆油、油脚、米糠、麦类、马铃薯渣、亚麻籽、南瓜茎叶的加工处理及在动物生产中的应用；三是添加剂类饲料资源，主要阐述中草药、抗菌肽、 β -防御素、赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、精氨酸、枯草芽孢杆菌、有益霉菌、NSP酶、乳铁蛋白、寡聚糖、大豆异黄酮与黄酮、谷氨酰胺、共轭亚油酸、非蛋白氮的加工处理及在动物生产中的应用，也阐述了饲料霉菌毒素污染与脱毒技术。

本书可作为动物科学专业、动物营养与饲料加工专业及相关专业本科生的参考书，也可作为研究生的教科书，同时可供饲料工业与动物养殖产业科技与管理工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

饲料资源开发与利用/单安山主编. —北京：科学出版社，2013.9

(现代生物农业·畜牧)

ISBN 978-7-03-038604-5

I. ①饲… II. ①单… III. ①饲料-资源开发②饲料-资源利用 IV. ①S816

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第217141号

责任编辑：李秀伟 孙 青/责任校对：李 影

责任印制：钱玉芬/封面设计：耕者设计工作室

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年9月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2013年9月第一次印刷 印张：34 3/4

字数：840 000

定价：150.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

《饲料资源开发与利用》编委会

主 编：单安山

副主编：石宝明 李建平

编 委：马清泉 李 锋 董 娜 郑燕斌 王佳丽 王连生
张圆圆 燕昌江 陈 鹏 单芝丹 董 茜 侯 磊
李文博 李远见 徐丽兰 王 亮 曹艳萍 单玉萍
高鹏飞 李耀华 刘 钢 刘天阳 王德彝 尹佳佳
张 影 张 超 周长路 吕银凤 胡婉宁 常启发
白会新 苏斌朝 方 微 谷 曜 孙雯宇 王 良
薛贝贝 陈秋石 付建超 尹淑彤 陈 麒

前 言

自 1978 年改革开放以来,中国畜牧业获得了长足的发展和进步,取得了举世瞩目的成就。畜牧业生产规模持续扩大,畜产品产量大幅增加,畜产品质量不断改善。联合国粮食及农业组织 2009 年公布的统计资料显示:我国生猪、绵羊和山羊存栏量分别占世界存栏量的 50.9%、18.72%和 25.14%,均居世界首位;牛等主要牲畜的存栏量也都居世界前列。特别是近些年,随着国家强农惠农政策的实施以及畜牧业生产方式的转变,畜牧业呈现出快速发展的势头。2011 年中国肉产量为 7950 万 t,蛋产量为 2775 万 t,奶产量为 3825 万 t。中国饲料总产量为 1.81 亿 t,其中工业商品饲料用粮占粮食总量的 31.7% (中国粮食产量为 5.71 亿 t),饲料产值和畜产品产值分别达到 6348 亿元、2.2 万亿元,处于历史新高。畜牧业产值占农业总产值的比例不断上升,在国民经济中的地位逐年提高。

饲料是发展畜牧业的物质基础,饲料业的发展依赖于粮食生产的增长。长期以来,国家建设用地需求不断增长,使耕地面积逐年缩减。我国粮食单产虽然年年提高,但总产量增幅不大。粮食缺口一直存在,目前主要通过进口来解决粮食缺口。2011 年中国大豆产量 1445 万 t,进口大豆 5600 万 t。国产大豆产量仅占大豆进口量的 1/4 左右。因此,畜牧业的发展实际上已经受到粮食产量的严重影响。而且,畜牧业的发展还导致人畜争粮问题十分突出,严重制约着畜牧业的可持续发展。因此,解决饲料资源短缺问题已经显得十分迫切。

除此之外,饲料与畜产品安全、畜产品药物残留以及抗生素耐药性等问题日趋严峻。抗生素及相关药物在畜牧业中的广泛应用,起到了降低动物死亡率、缩短动物养殖周期和促进畜产品产量增长的作用。然而,少数养殖户在利益的驱使下违规违法使用抗生素等饲料添加剂,造成了畜产品中的药物残留问题,使得畜产品安全成为社会关注的重大问题。同时,由于抗生素的长期使用,使致病菌产生了耐药性,进而导致了大规模疫病的暴发和无药可用的局面。所以,寻找无残留的抗生素替代物就显得非常重要。

问题的解决办法一是开源,二是节流。开发更多食物资源,提高动物对饲料的消化利用效率。开发利用 DDGS、棉籽粕、菜籽粕、动物血粉、禽类羽毛粉等非粮型饲料资源来缓解人畜争粮的问题。通过开发应用抗菌肽、中草药、益生菌等物质替代饲用抗生素,从而解决抗生素残留等问题。

本书编者通过查阅大量的科研文献,归纳整理最新的饲料资源及加工处理技术,编撰出版本书,仅供广大畜牧工作者、饲料工作者以及相关专业大学师生参考。

由于畜牧业的快速发展及科研成果的不断更新,资料收集难以全面,论点阐述难以充分,疏漏和不足之处在所难免,恳请广大读者予以批评指正。

编者对所有提供参考资料的专家及被引用资料的作者表示由衷的感谢!

单安山

2013 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 大豆	1
1.1 大豆的生产和消费概况	1
1.2 大豆的营养特性与质量评定标准	2
1.3 消除大豆中抗营养因子的方法	3
1.4 大豆在饲料中的应用	5
1.5 注意事项	7
1.6 结语	7
参考文献.....	7
第 2 章 DDGS	9
2.1 燃料酒精的生产及其副产品	9
2.2 DDGS 在国内的研究进展	11
2.3 DDGS 在国外的研究进展	13
2.4 DDGS 的营养成分.....	14
2.5 DDGS 在猪生产中的应用.....	19
2.6 DDGS 在家禽生产中的应用.....	26
2.7 DDGS 在奶牛生产中的应用.....	35
2.8 DDGS 在肉牛生产中的应用.....	43
参考文献	45
第 3 章 动物血制品	51
3.1 背景.....	51
3.2 动物血制品的营养价值.....	51
3.3 动物血制品的加工处理.....	54
3.4 动物血制品在生产中的应用.....	57
3.5 注意事项.....	60
3.6 结语.....	62
参考文献	62
第 4 章 羽毛粉	65
4.1 背景.....	65
4.2 基本特征.....	66
4.3 羽毛粉的加工处理方法.....	68
4.4 羽毛粉在饲料中的应用及注意事项.....	70
参考文献	73

第 5 章 鱼粉	75
5.1 背景	75
5.2 鱼粉的特性	78
5.3 鱼粉的加工处理	78
5.4 鱼粉的应用	80
5.5 鱼粉使用时应注意的问题	81
5.6 鱼粉替代问题	86
参考文献	89
第 6 章 味精蛋白	92
6.1 背景	92
6.2 味精废液的利用价值	94
6.3 味精蛋白的营养特性	97
6.4 味精蛋白加工利用现状	98
6.5 味精菌体蛋白干燥设备的选用	101
6.6 味精菌体蛋白的开发利用状况及存在的问题	102
6.7 味精蛋白在动物生产中的应用	102
6.8 注意事项	103
6.9 结语	103
参考文献	103
第 7 章 豆渣	105
7.1 背景	105
7.2 豆渣的营养成分	105
7.3 豆渣在畜牧生产中的应用	107
7.4 豆渣在食品工业中的研究与应用	111
7.5 结语	113
参考文献	113
第 8 章 啤酒糟	115
8.1 背景	115
8.2 啤酒糟的基本特性	115
8.3 啤酒糟的处理方法	116
8.4 啤酒糟的应用	119
8.5 啤酒糟饲喂动物时的注意事项	120
8.6 结语	121
参考文献	121
第 9 章 啤酒酵母与糖蜜酵母	123
9.1 背景	123
9.2 啤酒酵母与糖蜜酵母的基本特征	124
9.3 啤酒酵母与糖蜜酵母的处理方法	126

9.4 啤酒酵母与糖蜜酵母的应用	127
9.5 注意事项	130
9.6 结语	131
参考文献	131
第 10 章 玉米蛋白粉	133
10.1 背景	133
10.2 玉米蛋白粉的营养特性与饲用价值	133
10.3 玉米蛋白粉的组成	134
10.4 玉米蛋白粉的提取工艺及后加工	135
10.5 玉米蛋白粉在饲料中的应用	135
10.6 玉米蛋白粉的识别	137
参考文献	138
第 11 章 棉籽粕	140
11.1 背景	140
11.2 棉籽饼粕营养特性	141
11.3 棉籽(仁)饼粕中的毒素及其危害	142
11.4 棉籽粕的脱毒处理	144
11.5 棉籽粕的应用及注意事项	147
参考文献	149
第 12 章 菜籽粕	151
12.1 背景	151
12.2 菜籽粕饲用现状	151
12.3 菜籽粕及其营养特点	152
12.4 菜籽粕加工工艺	155
12.5 菜籽粕饲用改良技术研究现状	156
12.6 菜籽粕的品质鉴定与掺假识别	158
12.7 应用及注意事项	160
参考文献	161
第 13 章 花生粕	163
13.1 背景	163
13.2 花生粕的基本特性	163
13.3 花生粕的处理方法	165
13.4 花生粕的营养价值	166
13.5 花生饼粕的应用	166
13.6 注意事项	168
13.7 结语	169
参考文献	169

第 14 章 葵籽粕	170
14.1 背景.....	170
14.2 葵籽粕的基本特征.....	171
14.3 葵籽粕的改良技术.....	173
14.4 葵籽粕在畜牧业中的应用.....	174
参考文献.....	176
第 15 章 大豆油	178
15.1 背景.....	178
15.2 大豆油的组成及结构.....	178
15.3 大豆油的生产工艺和影响其质量的因素.....	179
15.4 大豆油在饲料中的营养与功用.....	180
15.5 大豆油在各种动物中的研究与应用.....	181
15.6 饲料中使用大豆油的注意事项.....	182
参考文献.....	182
第 16 章 油脚	184
16.1 背景.....	184
16.2 概述.....	184
16.3 油脚在饲料生产中的加工处理技术.....	185
16.4 油脚的营养价值.....	187
16.5 油脚在动物生产中的应用研究.....	188
16.6 油脚应用中的注意事项.....	188
参考文献.....	189
第 17 章 米糠	190
17.1 背景.....	190
17.2 米糠的营养及功能性成分.....	196
17.3 米糠处理改良技术与副产品工艺.....	198
17.4 米糠在畜禽生产中的应用.....	204
17.5 结语.....	210
参考文献.....	210
第 18 章 麦类	213
18.1 小麦.....	213
18.2 大麦.....	215
18.3 燕麦.....	218
18.4 荞麦.....	219
18.5 小麦麸.....	220
参考文献.....	220
第 19 章 马铃薯渣	221
19.1 背景.....	221

19.2	马铃薯渣的营养特性·····	221
19.3	马铃薯渣的加工利用现状·····	221
19.4	马铃薯渣在动物生产中的应用·····	225
	参考文献·····	226
第 20 章	亚麻籽 ·····	228
20.1	亚麻籽的性状及饲用价值·····	228
20.2	亚麻籽的保健、药用功效·····	231
20.3	亚麻籽的饲用方式·····	234
20.4	亚麻籽在动物饲料中的应用·····	235
20.5	结语·····	239
	参考文献·····	239
第 21 章	南瓜茎叶 ·····	242
21.1	背景·····	242
21.2	南瓜茎叶的营养价值·····	242
21.3	南瓜茎叶在畜牧生产中的应用·····	244
21.4	结语·····	244
	参考文献·····	244
第 22 章	中草药 ·····	246
22.1	背景·····	246
22.2	中草药饲料添加剂的基本特征·····	247
22.3	中草药饲料添加剂的质量改善技术和研究方向·····	250
22.4	中草药饲料添加剂在畜牧业中的应用·····	251
	参考文献·····	255
第 23 章	抗菌肽 ·····	257
23.1	抗菌肽的来源与分布·····	258
23.2	抗菌肽的生物学作用·····	259
23.3	抗菌肽的结构特征·····	260
23.4	抗菌肽的分类·····	263
23.5	抗菌肽的作用机制·····	265
23.6	抗菌肽的理化和结构参数·····	271
23.7	几种典型抗菌肽的简介·····	274
23.8	抗菌肽的基因工程研究·····	279
23.9	抗菌肽的应用前景·····	283
	参考文献·····	284
第 24 章	β-防御素 ·····	293
24.1	β -防御素的来源及分布·····	293
24.2	β -防御素的分子结构·····	294
24.3	β -防御素的生物学活性·····	295

24.4	β -防御素的抗菌机理	295
24.5	β -防御素的基因工程研究进展	296
24.6	结语	297
	参考文献	298
第 25 章	赖氨酸	301
25.1	背景	301
25.2	赖氨酸简介	302
25.3	赖氨酸的合成、工业生产	304
25.4	在畜牧业中的应用	307
	参考文献	314
第 26 章	蛋氨酸	317
26.1	背景	317
26.2	蛋氨酸及其类似物的基本特征	319
26.3	蛋氨酸的生产工艺	321
26.4	蛋氨酸毒性与解毒机制	327
26.5	蛋氨酸在畜牧业生产中的应用研究	327
	参考文献	335
第 27 章	苏氨酸	340
27.1	基本特征	340
27.2	苏氨酸的生产工艺及特性	344
27.3	生产工艺中的影响因素	346
27.4	添加苏氨酸应注意的问题	347
27.5	苏氨酸在养猪生产中的应用	348
27.6	苏氨酸在养禽生产中的应用	352
	参考文献	355
第 28 章	精氨酸	358
28.1	精氨酸简介	358
28.2	精氨酸的生物学功能	359
28.3	精氨酸在不同生长阶段猪营养中的应用	361
28.4	精氨酸的过量使用	376
	参考文献	377
第 29 章	枯草芽孢杆菌	382
29.1	枯草芽孢杆菌的特性	382
29.2	枯草芽孢杆菌的作用机理	382
29.3	枯草芽孢杆菌活菌制剂的生产工艺	383
29.4	枯草芽孢杆菌在畜禽生产上的应用	383
29.5	枯草芽孢杆菌使用的展望	384
	参考文献	385

第 30 章 有益霉菌	386
30.1 背景	386
30.2 基本特征	386
30.3 常见霉菌的加工生产工艺及特性	388
30.4 改良技术	400
30.5 在畜牧业中的利用	404
参考文献	405
第 31 章 饲料霉菌毒素污染与脱毒技术	411
31.1 霉菌毒素的污染情况	411
31.2 霉菌毒素的产生及危害	412
31.3 限量标准	418
31.4 粮食和饲料中霉菌毒素的控制	419
31.5 霉菌毒素的检测	423
31.6 结语	424
参考文献	424
第 32 章 NSP 酶	427
32.1 NSP 简介	428
32.2 NSP 酶概述	430
32.3 NSP 酶的生产加工处理	433
32.4 NSP 酶的应用情况	437
32.5 影响 NSP 酶制剂应用效果的因素	440
32.6 结语	442
参考文献	442
第 33 章 乳铁蛋白	446
33.1 背景	446
33.2 乳铁蛋白的分布及含量	447
33.3 乳铁蛋白的常规性质	449
33.4 乳铁蛋白的分子结构	450
33.5 乳铁蛋白的衍生肽	453
33.6 乳铁蛋白的抑菌机理	455
33.7 乳铁蛋白的生物学功能	457
33.8 乳铁蛋白的表达研究进展	463
33.9 乳铁蛋白的应用	467
参考文献	470
第 34 章 寡聚糖	478
34.1 背景	478
34.2 寡聚糖的基本特征	480
34.3 寡聚糖在畜牧业中的利用	485

34.4	发展前景	493
	参考文献	494
第 35 章	大豆异黄酮与黄酮	496
35.1	背景	496
35.2	大豆异黄酮与黄酮的基本特征	496
35.3	大豆异黄酮的提取方法及工艺	500
35.4	大豆异黄酮与黄酮在畜牧生产中的应用	501
35.5	安全问题	503
	参考文献	504
第 36 章	谷氨酰胺	506
36.1	背景	506
36.2	谷氨酰胺的基本特征	506
36.3	谷氨酰胺的加工生产工艺及特性	507
36.4	谷氨酰胺的改良技术	510
36.5	L-谷氨酰胺在畜牧业中的利用	510
36.6	结语	515
	参考文献	515
第 37 章	共轭亚油酸	518
37.1	CLA 简介	518
37.2	CLA 的生物学功能	519
37.3	CLA 在养猪生产中的应用效果	520
37.4	应用前景	522
	参考文献	522
第 38 章	非蛋白氮	525
38.1	非蛋白氮的定义及种类	525
38.2	国内外的研究应用概况	526
38.3	反刍动物对非蛋白氮的利用机理	527
38.4	非蛋白氮的处理	529
38.5	尿素的各種利用形式	529
38.6	非蛋白氮对畜禽的饲喂效果	533
38.7	非蛋白氮的毒性及中毒机理	534
38.8	影响尿素利用的因素	535
38.9	非蛋白氮的检验	537
38.10	使用非蛋白氮的注意事项及其使用指南	538
	参考文献	541

第 1 章 大 豆

1.1 大豆的生产和消费概况

1.1.1 大豆在世界上的生产概况

大豆既是油料作物，又是植物蛋白的主要来源。大豆生产在 20 世纪 50 年代以后迅速发展，成为世界性的重要作物。1949 年全世界大豆面积只有 1278.8 万 hm^2 ，总产 1400.6 万 t，2009 年全世界大豆面积达到了 9632 万 hm^2 ，总产 21 177 万 t。世界上没有哪一种作物的发展速度像大豆这样快。

大豆生产发展快的国家，也是目前世界上大豆的主产国，即美国、巴西和阿根廷。美国农业部海外农业局（FAS）2011 年 10 月 8 日公布的 10 月全球大豆产量报告显示，美国是世界大豆生产第一大国，2010/2011 年 10 月的产量达 9276 万 t，巴西是世界第二大的大豆生产国，2010/2011 年 10 月的产量达 6700 万 t，阿根廷排第三，2010/2011 年 10 月的产量为 5000 万 t，如图 1-1 所示。

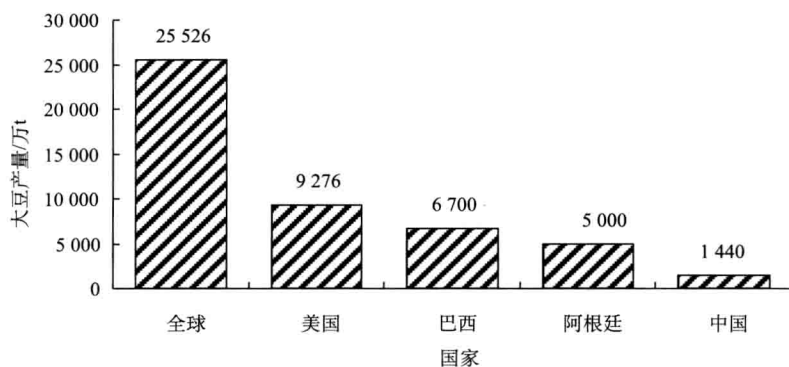


图 1-1 2010/2011 年 10 月世界各大豆主要生产国及我国大豆产量

1.1.2 大豆在我国的生产概况

大豆原产中国，其种植历史悠久，1954 年前我国大豆生产居世界第一位，以后相继被美国、巴西和阿根廷超过。美国农业部发布的最新信息显示，2007/2008 年我国大豆总产量为 1400 万 t，2008/2009 年我国大豆总产量约达 1554 万 t。

大豆在我国的生产虽然有所发展，但远远满足不了需求，我国从 1996 年开始进口大豆，当年进口大豆 111 万 t。如今，中国已是世界上进口大豆最多的国家，根据国家粮油信息中心发布的报告，中国 2010 年一季度进口大豆 1200 万 t。

1.1.3 大豆在我国的消费概况

我国大豆需求主要为植物油压榨、加工豆制品、种用、工业深加工和少量的出口。榨油消费是大豆需求中最主要的组成部分，占大豆消费总量的65%左右。其次是食用消费，大豆行业内人士俗称这部分大豆为食用豆，主要是制作豆制品，如豆腐、大豆粉、豆酱等。食用豆占大豆消费总量的30%左右。种用的大豆基本上是按每亩^①耗用5~7.5kg计算的，每年的种子用量在90万t左右。工业方面消费少量大豆进行深加工，如提取大豆卵磷脂、蛋白肽、起酥油和人造奶油、硬脂酸等。

1.2 大豆的营养特性与质量评定标准

1.2.1 大豆的营养特性

大豆籽实属于蛋白质含量和脂肪含量都高的蛋白质饲料，如黄豆和黑豆的粗蛋白含量分别为37%和36.1%，粗脂肪含量分别为16.2%和14.5%。而且大豆的蛋白质品质好，主要表现在植物蛋白中，限制性氨基酸之一的赖氨酸含量较高，如黄豆和黑豆的赖氨酸含量分别为2.30%和2.18%，唯一的缺点是蛋氨酸类的含硫氨基酸不足。大豆脂肪含不饱和脂肪酸较多，其中必需脂肪酸——亚油酸可占55%，因属于不饱和脂肪酸，故易氧化，应注意温度、湿度等贮存条件。脂肪中还含有1%的不皂化物，由植物固醇、色素、维生素等组成。另外还含有1.8%~3.2%的磷脂类，磷脂类具有乳化作用。

大豆中碳水化合物含量不高，其中蔗糖占27%、水苏糖占16%、阿戊糖占18%、半乳糖占22%、纤维素占18%。阿戊糖、半乳糖和半乳糖酸相结合而形成黏性的半纤维素，存在于大豆细胞膜中，有碍消化。淀粉在大豆中含量甚微，为0.4%~0.9%。

大豆中矿物质以钾、磷、钠居多，其中磷约有60%属于植酸磷，钙的含量高于谷实类，但是仍低于磷。大豆的维生素含量与谷实类相似，但维生素B₁和维生素B₂的含量略高于谷实类。

1.2.2 大豆中的抗营养因子

生大豆含有一些有害物质或抗营养成分，如胰蛋白酶抑制因子、血细胞凝集素、致甲状腺肿物质、抗维生素、皂苷、雌激素、胀气因子等，它们影响饲料的适口性、消化性与动物的一些生理过程。但是这些有害成分除了后三种较为耐热外，其他均不耐热，经湿热处理可使其丧失活性（徐春梅和杨俊权，2008；游金明和李德发，2006）。

1.2.3 大豆类饲料质量的评定

目前评价大豆类饲料的指标有水溶性氮指数、尿素酶活性、维生素B₁含量、抗胰

^① 1亩≈667m²，下同。

蛋白酶活性、蛋白质溶解度等，其中较为常见的是前两种。

大豆蛋白的溶解性随着加热温度的增高和加热时间的延长而降低。一般在常压下加热 10min 后，其溶解性可由原来的 80% 降到 20%~25%。所以通常可以用测定水溶性氮指数的方法来测定蛋白质受热后的变性情况。其计算公式如下：水溶性氮指数 (NSI) = 水溶性氮 / 总氮 × 100%。

尿素酶活性是反映胰蛋白酶抑制因子活性的一个间接指标，饲用豆粕的尿素酶含量为 0.02~0.45mg/(g·min) 时，其加工程度最佳，氨基酸破坏较轻，且抗营养因子含量低。

大量的研究表明大豆产品中的尿素酶活性 (pH 增加值) 为 0.03~0.4 时饲喂动物的效果最佳，大豆胰蛋白酶抑制因子灭活率达 75%~85% 或大豆胰蛋白酶抑制因子的含量为 4~5mg/kg 时，大豆蛋白的营养效价最高。

1.3 消除大豆中抗营养因子的方法

1.3.1 物理方法

1. 膨化法

膨化处理是在专门的膨化机内进行的，其原理是通过螺旋轴转动而对原料施加很高的压力，使原料发热并从喷嘴喷出，并在喷出时因压力瞬间下降而发生膨化，抗营养因子也因之失活。对全脂大豆及其副产品进行膨化，可降低其所含胰蛋白酶抑制因子的活性；还会改善其所含蛋白质的品质，提高其消化、吸收和利用率，有利于预防仔猪腹泻。

膨化大豆的加工流程是首先对大豆进行筛选、磁选，初清后进入待粉碎仓，最后入粉碎机粉碎，入传送带将达到粒度要求的大豆粉送入膨化工段的喂料仓，经过调质后，经膨化机挤压成型，再经冷却后得到膨化大豆产品。

以江苏牧羊集团 TPH200 系列膨化机为例，研究表明含水量 11.2% 的大豆先经过 3.0mm 的筛网粉碎机粉碎，在 130~140℃ 的膨化温度、7%~8% 的蒸汽添加量且压力环的直径选择为 195cm 的条件下，制得的膨化大豆中尿素酶活性较为理想，pH 增加值为 0.28~0.15。如果在挤压膨化过程中，温度达不到要求，可在膨化机筒体夹套中通入饱和蒸汽，也可以适当增加大豆粉料的喂入量，或者提高主电机的转速 (刘福柱等，2001)。

2. 机械脱壳法

去皮豆粕是大豆浸提加工的副产物。经热脱皮、破碎、挤压膨化、低温脱溶、闪蒸脱溶和后干燥技术等工艺后，使所得去皮豆粕的抗营养因子含量降低。去皮豆粕商业化生产始于 20 世纪 90 年代初期，2000 年美国去皮豆粕产量达到 3400 万 t 左右。巴西和阿根廷也有相当大的生产量。我国于 90 年代后期开始引入去皮浸提工艺，东海粮油工业 (张家港) 有限公司、吉林德大有限公司成为国内较大的去皮豆粕生产企业，辽宁省

锦州六陆油脂有限公司也有生产。越来越多的大型制油企业已经建立或准备采用国际先进的去皮浸提工艺。

1.3.2 化学法

化学法是在生豆粕中加入一定量的某种化学物质，并在一定条件下处理，使豆粕抗营养因子失活或活性降低，达到钝化的目的，此方法的优点是成本低、操作简便。研究表明，用5%尿素处理生豆饼，加水20%，装入塑料袋密封30d，到时开启晾干，效果最好，胰蛋白酶抑制因子失活率达78.55%。

1.3.3 生物学方法

1. 微生物发酵处理生豆粕

微生物发酵法处理生豆粕，相对其他处理方法具有成本低、无化学残留、应用较安全、对饲料营养成分的影响较小，且能使营养物质更易被动物吸收等优点（邝哲师等，2007；姚晓红等，2005）。

研究发现，利用微生物发酵法去除生豆粕中胰蛋白酶抑制因子的最佳工艺为：基质豆粕，通气量为60g干料/500mL广口瓶，料水比为1:1，接种量为酵母菌y-021 4%、y-028 2%、乳酸菌2%，起始pH为自然pH，起始温度为30℃，发酵72h后豆粕中胰蛋白酶抑制因子被完全分解。

2. 生物发酵生产大豆多肽蛋白粉

大豆多肽饲料是豆粕在特定的环境条件下，经过多种益生菌组合发酵降解大豆蛋白所得。大豆多肽饲料中的寡肽（2~10个氨基酸残基组成的寡肽）具有多种生理功能，如能直接通过动物肠道黏膜吸收，有效促进动物对饲料中氨基酸的平衡吸收并显著提高饲料中矿物质元素的吸收与利用率。此外，大豆寡肽还可促进消化道中双歧杆菌和乳酸菌的增殖，具有抗氧化的功能，并能显著提高动物免疫功能。

生物发酵生产大豆多肽蛋白粉方法的特征在于，它采用固态发酵形式，其技术工艺包括以下几个步骤：①取新鲜大豆，除杂、清洗后常温下浸泡3~5h，使吸水后大豆含水量达40%~50%；②将浸泡后的大豆在0.05~0.15MPa蒸汽压力下蒸45~60min；③加压蒸熟后的大豆，由绞龙输入通风曲箱，开始接种进行制曲培养，温度控制在25~35℃，培养6~8d后，得大豆初醅；④取步骤③所得大豆初醅，在常温下经洗曲机洗涤、沥水；⑤取步骤④所得大豆初醅加水，使大豆本身含水量达45%~50%，进入控温发酵池中发酵，温度控制在30~45℃，发酵酶解15~30d后，得酶解大豆粗品；⑥取步骤⑤所得酶解大豆粗品，加水磨浆榨滤，用180~200目的滤膜过滤得到滤饼和滤液，滤液再通过浓缩、干燥、粉碎可得大豆多肽蛋白粉。

3. 生物育种法

通过生物育种手段培育出低胰蛋白酶抑制剂、低寡糖和低植酸等低抗营养因子的新