

“十一五”国家重点图书出版规划项目



服务三农·农产品深加工技术丛书

发酵饲料生产与应用技术

陆文清/主编



中国轻工业出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

农业部“十二五”重点推广农业实用技术项目



发酵饲料生产与应用技术

张明军 主编

中国农业大学出版社

“十一五”国家重点图书出版规划项目
服务三农·农产品深加工技术丛书

发酵饲料生产与 应用技术

陆文清 主编
王春林 王翔 郭小华 参编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

发酵饲料生产与应用技术/陆文清主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2011. 5

“十一五”国家重点图书出版规划项目

(服务三农·农产品深加工技术丛书)

ISBN 978-7-5019-8140-3

I. ①发… II. ①陆… III. ①发酵饲料 IV. ①S816.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 053179 号

责任编辑: 涂润林

策划编辑: 涂润林

责任终审: 滕炎福

封面设计: 锋尚设计

版式设计: 宋振全

责任校对: 吴大鹏

责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 河北高碑店市德裕顺印刷有限责任公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2011 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 850 × 1168 1/32 印张: 4.5

字 数: 126 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-8140-3 定价: 12.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

061136K1X101ZBW

序 言

发酵饲料的生产与应用技术是近年来饲料工业和养殖业最热门的话题。随着人民生活水平的不断提高和环境的日益恶化，利用农副产品和轻工业副产物生产高质量、无污染的微生物发酵饲料已成为缓解饲料资源短缺，提高畜禽产品品质的重要手段。

“回归自然，倡导绿色”是未来畜牧业发展的必然趋势。自2006年1月开始，欧盟全面禁止在畜禽饲料中添加抗生素。几乎同时，日本和韩国等发达国家也制定了相应条例。我国是一个农业大国，畜牧业和饲料工业的产值居世界第二位，生猪饲养量居世界第一位。但是由于生产环境、投资规模和管理水平等因素的限制，我国的畜禽产品品质普遍较差，药物残留高，基本不能出口。

早在2000年左右，我国的畜牧科研工作者就开始了绿色饲料和生态养殖的研究。毫不夸张地说，2000年至2009年，国家有关畜牧业的科研项目，90%以上都与绿色生态有关。广大科研工作者花费了大量精力，研究开发出了酶制剂、微生物制剂和植物提取物等众多的绿色饲料添加剂和抗生素替代品，但是在我国特定的畜禽饲养环境下，用这些产品完全取代抗生素都遇到了很多实际困难，很难推广应用，绝大多数产品不是理论上错误，也不是技术上不可行，而是经济上不可行。分析我国目前的实际情况发现，养殖户关心的重点还是饲养成本。

本书作者是农业部饲料工业中心微生物发酵饲料课题组（以下简称“课题组”）的核心成员。从2000年6月开始，本书作者是在李德发教授的带领下，经过四年多的艰苦努力，终于在2004年12月取得了技术突破。课题组采用新型的移动发酵技术，大幅度降低了微生物发酵饲料的生产成本，实现了在不增加饲养成本的前提下进行生猪无抗生素饲养，猪肉品质达到欧盟安全肉要求。2006

年8月，核心技术——“高活菌无抗生素饲养用饲料呼吸膜固态发酵新技术研究”通过了农业部组织的成果鉴定，并获得了专家组的高度好评。研究成果具有创新性，技术实用性强，操作简便可控，产品质量稳定，可以广泛利用多种农副产品和轻工业副产物作为生产原料生产高活菌含量的发酵饲料，特别适合在我国广大农村推广使用。目前，该项技术已经在我国近20家饲料生产企业和数百家规模化养猪场得到了推广应用，并取得了很好的经济效益和社会效益。

本书作者以服务社会为宗旨，实事求是地叙述了该课题组的大量试验结果和分析过程，书中涉及的研究成果绝大多数是首次公开发表，不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2011年1月于中国农业大学

目 录

第一章 发酵饲料的基本原理	1
第一节 概述	1
一、发酵饲料的定义	1
二、发酵饲料的历史概述	2
第二节 发酵饲料的生产菌种	3
一、乳酸菌	3
二、芽孢菌	5
三、酵母菌	5
四、霉菌	6
五、选用生产菌种的基本原则	6
第三节 发酵饲料生产菌种之间的相互关系	7
一、中性共生	8
二、同住	8
三、互惠共生	8
四、共生	9
五、竞争	9
六、拮抗	10
七、寄生	10
第四节 发酵饲料的生产工艺	10
一、青储饲料	11
二、有机废水生产单细胞蛋白或蛋白原料	11
三、固态好氧发酵生产饲料蛋白原料	12
四、固态厌氧发酵高活性生物饲料	12
五、液态发酵饲料	14

第二章 发酵饲料生产技术	18
第一节 发酵饲料用乳酸菌的分离筛选	18
一、样品的采集	18
二、乳酸菌的分离纯化	19
三、发酵力和耐酸稳定性分析	20
第二节 发酵饲料用芽孢杆菌的分离筛选和安全性评价	22
一、样品的采集和初筛	22
二、菌种的复筛	23
三、芽孢杆菌的抗逆性试验	25
四、芽孢杆菌的鉴定	26
五、芽孢杆菌的安全性评价	29
六、抗生素敏感性试验	30
第三节 发酵饲料生产菌种的制备和保存	31
一、乳酸菌的培养	32
二、乳酸菌培养液的脱水干燥	33
三、酵母菌粉的制备	36
四、芽孢菌粉的制备	38
五、发酵饲料的接种	40
六、发酵原料的组成	40
七、发酵物料含水量的选择	42
第四节 生物饲料的袋装厌氧发酵	42
一、发酵袋的作用	43
二、复合材料的选择	44
三、试验过程分析	45
四、厌氧条件分析	48
第五节 控制生物饲料厚层固态发酵温度的方法	49
一、工艺流程	50
二、工艺的理论分析	51
三、生产实例	53

第三章 发酵饲料饲养生猪及肉品分析	65
第一节 发酵饲料对猪生长性能的影响	65
一、科研养殖环境下的试验	66
二、大型养殖场的饲养试验	72
三、普通养殖户的饲养试验	74
四、可移动式袋装发酵饲料应用进展	77
第二节 发酵饲料对猪肉品质的影响	78
一、肉品的物理化学性质分析	78
二、肉品的抗生素残留分析	82
三、肉品的营养成分分析	83
第四章 发酵饲料技术疑难问题解析	89
第一节 发酵饲料的优势	89
1. 抗生素对细菌的作用原理是什么?	89
2. 长期使用抗生素导致细菌产生抗药性的机理是什么?	90
3. 目前用于减少畜禽产品中抗生素残留的主要方法 有哪些?	91
4. 畜禽产品中残留抗生素对人体存在哪些潜在的危害?	92
5. 抗生素对环境的影响有哪些?	93
6. 抗生素在国内外限制或禁止使用情况如何?	93
第二节 袋装发酵饲料生产技术	94
7. 什么是发酵饲料生产技术?	94
8. 袋装发酵饲料生产技术与传统饲料发酵技术相比攻克了 哪些技术难题?	95
9. 袋装发酵饲料生产技术对人、畜是否存在潜在 安全隐患?	96
第三节 袋装发酵饲料技术的应用前景	96
10. 如何正确认识袋装发酵饲料技术?	96
11. 袋装发酵饲料技术应用前景如何?	97
12. 国内袋装发酵饲料技术研究现状如何?	97
13. 农业部饲料工业中心发酵饲料项目组何时成立? 目前进展	

如何?	98
14. 发酵饲料课题组在实际生产中使用了哪些微生物?	99
15. 发酵中有益微生物对饲料有哪些作用?	99
16. 课题组目前是否解决了发酵饲料技术中所用微生物的 安全性问题?	99
17. 袋装发酵饲料生产技术如何平衡有氧、无氧 发酵条件?	100
18. 袋装发酵饲料生产过程中是否容易受到外界 杂菌污染?	100
19. 袋装发酵饲料与常规饲料相比有哪些优势?	101
20. 袋装发酵饲料生产技术与传统发酵饲料生产技术相比有 哪些优势?	101
21. 与国内外同类技术比较, 袋装发酵饲料有哪些独特 优势?	101
22. 发酵饲料适口性如何?	102
23. 发酵饲料对动物采食量是否存在负面影响?	102
24. 动物对发酵饲料消化率如何?	102
25. 发酵饲料对畜禽生产性能的影响如何?	103
26. 发酵饲料对肉品、蛋品品质影响如何?	103
27. 发酵饲料在哪些动物、哪些阶段使用效果最好?	103
28. 使用发酵饲料对动物健康有何影响?	104
29. 发酵饲料对动物生存及养殖场环境是否有改善作用? ...	104
30. 发酵饲料技术是否影响配合饲料生产成本及养殖 效益?	104
第四节 袋装发酵饲料生产工艺和设备	105
31. 袋装发酵饲料生产工艺流程如何?	105
32. 袋装发酵饲料生产工艺与传统发酵饲料有哪些差异? ...	105
33. 袋装发酵饲料生产的设备有什么特点?	106
34. 生产发酵饲料的原料有哪些?	106
35. 对生产发酵饲料的原料质量有什么特殊要求? 其质量标准	

如何?	107
36. 利用发酵饲料技术后, 是否可加大非常规饲料原料的 使用量?	107
37. 生产发酵饲料对原料的处理与常规饲料生产有何 不同?	108
第五节 袋装发酵饲料生产配方	108
38. 袋装发酵饲料配方与传统饲料配方有何不同? 如何调整 原有饲料配方?	108
39. 应用袋装发酵饲料技术后, 怎样评估饲料配方营养 水平?	109
40. 应用袋装发酵饲料技术后, 怎样更好地利用现有饲养标准 和饲料营养价值数据?	109
41. 应用袋装发酵饲料技术后, 矿物质和维生素要 做何调整?	110
第六节 袋装发酵饲料生产质量控制	110
42. 如何控制袋装发酵饲料质量? 控制关键点有哪些?	110
43. 发酵饲料质量控制有哪些方面?	111
44. 发酵饲料质量控制指标检测方法与技术有哪些?	112
45. 生产发酵饲料是否需要专门技术人员?	112
第七节 袋装发酵饲料包装、贮存、运输技术	112
46. 袋装发酵饲料包装与传统饲料包装有什么不同?	112
47. 袋装发酵饲料贮存、运输条件和方法有何特殊要求? ...	113
第八节 袋装发酵饲料适用范围与方法	113
48. 袋装发酵饲料可在哪些地区使用, 在四季温差大的 地方使用是否受到影响?	113
49. 在四季温差较大的地方, 如何正确使用袋装发酵 饲料?	113
50. 乳仔猪可用袋装发酵饲料作为教槽料吗? 应该如何 使用?	114
51. 生长育肥猪如何饲喂袋装发酵饲料?	114

52. 后备母猪如何饲喂袋装发酵饲料?	115
53. 妊娠母猪如何饲喂袋装发酵饲料?	115
54. 哺乳母猪如何饲喂袋装发酵饲料?	115
55. 肉禽如何饲喂袋装发酵饲料?	115
56. 蛋禽如何饲喂袋装发酵饲料?	115
第九节 使用袋装发酵饲料技术后养殖效益的变化	116
57. 使用袋装发酵饲料后畜禽养殖成本有什么变化?	116
58. 使用袋装发酵饲料对养殖户的收益有无改善?	116
59. 袋装发酵饲料生产企业的利益如何分析?	117
第十节 袋装发酵饲料的存放方法	118
60. 养殖户应当如何存放袋装发酵饲料?	118
61. 袋装发酵饲料堆放过程中是否会发热, 热量累积后是否 有饲料自燃的可能?	118
第十一节 无抗养殖及其发展前景	118
62. 什么是无抗安全猪肉?	118
63. 什么是生猪无抗饲养?	120
64. 国际无抗安全肉的发展情况如何?	121
65. 国内无抗安全肉的发展情况如何?	121
66. 用袋装发酵饲料就能生产出无抗畜禽产品吗?	123
67. 无抗畜禽产品的安全性体现在何处?	123
68. 无抗养殖中乳仔猪的饲养管理与传统养殖有何不同? ...	123
69. 无抗养殖中生长育肥猪的饲养管理与传统养殖 有何不同?	124
70. 无抗养殖中妊娠母猪的饲养管理与传统养殖 有何不同?	124
71. 无抗养殖中哺乳母猪的饲养管理与传统养殖 有何不同?	125
72. 无抗养殖中肉鸡的饲养管理与传统养殖有何不同?	125
73. 无抗养殖中蛋鸡的饲养管理与传统养殖有何不同?	125
74. 无抗畜禽产品的品质、风味与传统养殖畜禽产品相比	

有何不同?	126
附录 乳酸含量的测定——比色测定法.....	127
参考文献.....	129
致谢.....	130

第一章 发酵饲料的基本原理

在本章中，笔者根据自己的研究心得，重点叙述发酵饲料的生产菌种和发酵工艺。有关常规的操作过程及参数，读者可以参考相关专著。

第一节 概 述

一、发酵饲料的定义

有关发酵饲料的研究论文很多，但是目前还没有对发酵饲料形成一个比较统一的定义。农业部饲料工业中心发酵饲料课题组经过多年研究，对发酵饲料给出了如下定义：在人为可控制的条件下，以植物性农副产品为主要原料，通过微生物的代谢作用，降解部分多糖、蛋白质和脂肪等大分子物质，生成有机酸、可溶性多肽等小分子物质，形成营养丰富、适口性好、活菌含量高的生物饲料或饲料原料。

采用发酵技术生产的动物饲料或饲料原料，其特性主要是：

- (1) 含有大量的活性微生物；
- (2) 多数以厌氧发酵方式进行生产；
- (3) 未经干燥的物料含水量通常在 30% 以上；
- (4) 物料的酸性物质明显增加，营养组成更加合理；
- (5) 生产原料以植物性农副产品为主。

也有些发酵成品是经过干燥处理的，比较典型的有发酵豆粕和发酵棉粕。在发酵过程中有大量的活性乳酸菌和酵母菌发生代谢作用，经过干燥以后，乳酸菌基本都失活了，但是它们也属于发酵饲料。

二、发酵饲料的历史概述

发酵饲料的历史很长，形式很多，相关的文献报道也很多，特别是 20 世纪 90 年代以来，有关发酵饲料的研究报导和成果专利如大江流水，源源不断，但是其中绝大部分都不能在实际生产中推广应用。

据不完全统计，我国 2000 年前后至少出现过 300 家专业从事发酵饲料的生产企业，但是真正能稳定运转五年以上的不超过 10%，其主要原因是设备过于简陋，基础理论不扎实，操作过于粗放，导致产品质量差且不稳定。绝大多数生产工艺依靠经验，受环境温度和空气质量的影响较大。虽然研究论文和成果专利很多，但是系统性很差。除了郭维烈先生的 4320 蛋白饲料以外，其余的相关研究几乎都没有进行系统的分析，在实际生产过程中也是尽量简化，尽可能利用价格低廉的农副产品，以降低生产成本，这样的企业生产发酵饲料的主要目的不是为了提升动物饲料的营养价值和动物健康水平，而是降低饲料的生产成本和动物饲养成本。

发酵饲料的生产工艺都是以固态发酵的方式进行的，生产菌种以乳酸菌、芽孢杆菌和酵母菌为主，绝大多数采用厌氧或兼性厌氧发酵。发酵物料的含水量为 30% ~ 50%，发酵时间和温度受环境影响很大，基本不进行人为控制和调节。

在实际生产中也有采用好氧发酵方式进行的，生产菌种以霉菌和假丝酵母为主，生产用的蛋白原料主要是一些乳酸菌和酵母菌难以降解的杂粕和胶质蛋白。但是生产设备复杂，物料温度和湿度变化很大，控制极其困难。成品主要是作为饲料蛋白原料的替代物，能降低饲料生产成本，但基本不具备生物学活性和功能。

本节主要论述厌氧固态发酵工艺，通过这种生产工艺生产高活菌含量的动物饲料，并应用于动物饲养。

常规的发酵饲料生产流程如下：

原料——→消毒——→冷却接种——→培养——→干燥——→包装

工业化规模的微生物发酵过程基本上都是纯培养过程，原料需

要消毒，空气需要过滤等。这些操作都是为了确保在发酵产品生产和储存过程中不受杂菌的侵袭和干扰，但也正是这些常规操作使产品的生产成本居高不下，影响了微生物发酵产品在动物饲养中的大剂量使用。

大量试验证明，在不考虑动物饲养成本的前提下，大剂量（在配合饲料中添加 5.0% 以上）使用高活菌含量的微生物发酵饲料可以明显改善动物的生产性能，提高动物的健康水平，甚至可以进行无抗生素饲养。但是采用传统的生产工艺获得的高活菌产品其生产成本通常都在 10 元/kg 以上，如果以 10% 的比例使用在配合饲料中，每吨配合饲料的成本至少需要增加 800 元，这个增加值对传统的畜禽养殖业来说是难以接受的。

如何降低微生物发酵饲料的生产成本，对于发酵饲料的推广应用是很重要的，直接关系到生产技术是否具有生命力。事实上，很多关于绿色生态养殖的技术，从原理和本质上都是可行的，但是为什么都很难在大范围、长时间的生产实践中应用？其主要原因就是成本问题，也就是经济上不可行。

降低发酵饲料生产成本最直接的方式就是简化生产工艺，其中原料的蒸煮、消毒和干燥是最耗能的操作过程，是导致生产成本增加的主要步骤，也是导致生产设备投资增加的主要原因。如果能简化这两个操作，同时又能确保产品质量的安全稳定，就能使发酵饲料的生产和应用具备强大的市场竞争力。

第二节 发酵饲料的生产菌种

生产菌种是发酵过程的灵魂。发酵饲料的生产菌种很多，主要有以下四类：乳酸菌、芽孢菌、酵母菌和霉菌。

一、乳 酸 菌

目前生产中使用的乳酸菌至少有 30 多种。按乳酸代谢途径，大致可以归纳为四种类型：同型乳酸发酵、专性异型乳酸发酵、兼

性乳酸发酵和双歧杆菌异型乳酸发酵。

(一) 同型乳酸发酵



一分子葡萄糖分解成两分子乳酸，整个过程不产气，这种转化是很理想的，产物最合适，效率也最高。典型的生产菌种主要有：德氏乳杆菌 (*Lactobacillus delbruekii*)、嗜酸乳杆菌 (*Lactobacillus acidophilus*)、唾液乳杆菌 (*Lactobacillus salivarius*)、嗜热乳杆菌 (*Lactobacillus thermophilus*)、粪肠球菌 (*Enterococcus faecalis*)、乳酸乳球菌 (*Lactococcus lactics*)。

(二) 专性异型乳酸发酵

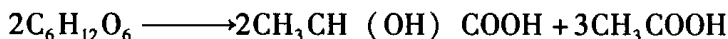


一分子葡萄糖转化成一分子乳酸和一分子乙酸，另外还释放一分子二氧化碳。相比同型乳酸发酵，这种发酵的转化效率要低得多，而且还有产气损失。典型的生产菌种主要有：发酵乳杆菌 (*Lactobacillus fermentum*)、高加索酸奶乳杆菌 (*Lactobacillus kefir*)、短乳杆菌 (*Lactobacillus brevis*)、巴氏乳杆菌 (*Lactobacillus pastorianus*)。

(三) 兼性乳酸发酵

兼性乳酸发酵能同时进行同型乳酸发酵和异型乳酸发酵，这两种代谢进行的程度和比例取决于菌种的性质和外界培养条件。典型的生产菌种有：植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*)、干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*)、鼠李糖乳杆菌 (*Lactobacillus rhamnosus*)、清酒乳杆菌 (*Lactobacillus sake*)。

(四) 双歧杆菌异型乳酸发酵



比较典型的生产用菌种是动物双歧杆菌 (*Bifidobacterium animal*)。双歧杆菌的培养要求很严格，对厌氧的要求极高，目前还很难在实际生产中应用。

乳酸菌分布广、种类多，有杆状和球形两大类。有单个、成对和链状排列的，基本上都是厌氧菌或微需氧菌。在饲料青储、发酵开始时就繁殖，到饲料因密封缺氧后仍然能增殖，只是增殖的速度