

家禽用非药物饲料添加剂

MON-MEDICATED FEED ADDITIVES FOR POULTRY

Robert D. Rowland 博士

美国大豆协会，饲料和营养顾问

导言和背景

研究人员尚未发现某一种单个的饲料添加剂能够实现养禽业中以最低成本生产肉蛋的全部目标。但是，有很多饲料添加剂能够支持高效生产并减少或预防家禽生产中的问题。

使用任何饲料添加剂都必须经济上有效或有利可图。我们可以用以下的办法来评估禽用饲料添加剂的效益：

- (1) 找到家禽生产中的某个问题及其经济损失；
- (2) 消除产生问题的一切可能的原因，如管理；
- (3) 在饲料中按使用说明只加入一种新的饲料添加剂；
- (4) 每天观察禽群在采食新饲料添加剂后的变化；
- (5) 计算在使用新添加剂前后禽群的收入情况；
- (6) 计算健康收益的价值，如死亡率降低；
- (7) 如果可能，保持一个不喂新添加剂的对照群。

多数非药物饲料添加剂是来自微生物或发酵。在饲料添加剂的研究和开发中广泛地使用着应用微生物学的最新科技进展。本文不能对微生物和发酵技术作广泛的评述。本文的目的是为了在家禽饲养中为选择和使用非药物饲料添加剂提供资料。欧洲联盟（EC）最近的发展说明了对有效的非药物饲料添加剂的需要。在1995年，有11种药物饲料添加剂可以用于猪禽饲料。到1999年7月，上述饲料添加剂中只有4种仍可以在EC使用它们是：肥粒霉素(Avilamycin)、班伯霉素(Bambermycin)、莫能菌素(Monensin)和盐霉素(Salinomycin)。禁用的添加剂是：阿伏霉素(Avoparcin)、卡巴多(Carbadox)、喹乙醇(Olaquinox)、螺旋霉素(Spiramycin)、泰乐霉素(Tylosin)、弗吉尼亚霉素(Virginiamycin)和杆

菌肽锌。

欧盟国家在禁用药物饲料添加剂方面非常咄咄逼人。当饲料中不含抗生素类生长促进剂时，有害的肠道微生物可能产生的影响有：

- (1) 有益于饲料消化和吸收的微生物数量减少；
- (2) 肠壁增厚，从而妨碍饲料消化和营养物吸收；
- (3) 产生能够引起肠炎和湿粪、湿垫草的毒素；
- (4) 肉禽生长减慢，禽肉生产成本增加。

益生菌(Probiotics)：可以在家禽饲料中使用的 直接饲用微生物(Direct-fed microbials, DFMs)

在美国，益生菌（有益的微生物）这个名词大都被术语“直接饲用微生物（DFMs）”所代替。DFMs 和酶可以一起讨论，因为大多数 DFMs 也含有某些酶。我们将分别讨论 DFMs 和酶，因为我们要寻找有潜力替代促生长抗生素的 DFMs。在美国，所有的 DFMs 都属 FDA 管理。DFMs 的销售商不能宣称其产品有治疗作用或能建立有活力的肠道菌群。如果宣称一种 DFM 在促进生长和饲料转化率方面有效力，它就成了饲料添加剂。这样就要求作为动物新药申请，也就是要进行研究测试和饲养试验，以证明其功效和安全性。为此需花费数百万美元。因此，美国的 DFMs 在标签上的说明是：一种有活力天然微生物的来源。美国 FDA 管理条例的设计原则是防止进行没有数据支持的宣传。

FDA 和 AAFCO（美国饲料监督员协会）使用一张适用于畜禽饲料的微生物名单。表 1 是当前批准使用于美国饲料的 DFMs 名单。此表来自附于本文末的附件 A（条例）。

注意，只有 10 种细菌、酵母菌和霉菌被批准在美国作为 DFMs 使用。为了预期 DFMs 可能有的效能，我们需要了解每种微生物的概况。

曲霉是霉菌，在分类上属于真菌。这种微生物具有坚硬的细胞壁，无叶绿素，有植物性菌丝体，通过产生孢子而繁殖。它们可以是需氧菌，也可以是兼性厌氧菌，存在于土壤或植物上。曲霉可以用作 DFMs 和酶的来源。

杆菌是革兰氏阳性的直杆形细菌。杆菌的特点是可以形成对热和干燥具有抗性的内生孢子。它们可以是需氧菌或兼性厌氧菌，过氧化氢酶阳性。杆菌一般存在于土壤、食物和辛香料上。它们的主要代谢产物是乙酸盐，以及某些甲酸盐、乳酸

盐、琥珀酸盐和丙酸盐。杆菌广泛地用作 DFMs 和酶源。

表 1 适用于畜禽饲料的微生物

<i>Aspergillus niger</i> (黑曲霉)	<i>Aspergillus oryzae</i> (米曲霉)
<i>Bacillus coagulans</i> (凝结杆菌)	<i>Bacillus lentus</i> (迟缓杆菌)
<i>Bacillus licheniformis</i> (地衣杆菌)	<i>Bacillus pumilus</i> (短小杆菌)
<i>Bacillus subtilis</i> (枯草杆菌)	<i>Bacteroides amylophilus</i> (嗜淀粉拟杆菌)
<i>Bacteroides capillosus</i> (多毛拟杆菌)	<i>Bacteroides ruminicola</i> (栖瘤胃拟杆菌)
<i>Bacteroides suis</i> (猪拟杆菌)	<i>Bifidobacterium adolescentis</i> (青春双歧杆菌)
<i>Bifidobacterium animalis</i> (动物双歧杆菌)	<i>Bifidobacterium bifidum</i> (两歧双歧杆菌)
<i>Bifidobacterium infantis</i> (婴儿双歧杆菌)	<i>Bifidobacterium longum</i> (长双歧杆菌)
<i>Bifidobacterium thermophilum</i> (嗜热双歧杆菌)	<i>Lactobacillus acidiphilus</i> (嗜酸乳杆菌)
<i>Lactobacillus brevis</i> (短乳杆菌)	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> (保加利亚乳杆菌)
<i>Lactobacillus casei</i> (干酪乳杆菌)	<i>Lactobacillus cellobiosus</i> (纤维二糖乳杆菌)
<i>Lactobacillus curvatus</i> (弯曲乳杆菌)	<i>Lactobacillus delbruekii</i> (德氏乳杆菌)
<i>Lactobacillus fermentum</i> (发酵乳杆菌)	<i>Lactobacillus helveticus</i> (瑞士乳杆菌)
<i>Lactobacillus lactis</i> (乳酸乳杆菌)	<i>Lactobacillus plantarum</i> (植物乳杆菌)
<i>Lactobacillus reuterii</i> (卢氏乳杆菌)	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> (肠膜明串珠菌)
<i>Pediococcus acidilacticii</i> (乳酸片球菌)	<i>Pediococcus cerevisiae</i> (啤酒片球菌)
<i>Pediococcus pentosaceus</i> (戊糖片球菌)	<i>Propionibacterium-freudenreichii</i> (费氏丙酸)
<i>Propionibacterium shermanii</i> (谢氏丙酸菌)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (酿酒酵母)
* <i>Enterococcus cremoris</i> (乳脂肠球菌)	* <i>Enterococcus diacetylactis</i> (二乙酰乳酸肠球)
* <i>Enterococcus faecium</i> (粪肠球菌)	* <i>Enterococcus intermedius</i> (中间肠球菌)
* <i>Enterococcus lactis</i> (乳肠球菌)	* <i>Enterococcus thermophilus</i> (嗜热肠球菌)

* 过去叫 *Streptococcus* (链球菌)。

拟杆菌是革兰氏阴性的杆状专性厌氧菌，存在于牛羊的瘤胃中。它们主要的代谢产物有琥珀酸盐、乙酸盐、乳酸盐、甲酸盐和丙酸盐。拟杆菌在美国很少用作 DFMs。

双歧杆菌是革兰氏阳性的杆状专性厌氧菌。它们与乳杆菌有密切关系，过氧化氢酶阴性，能够产生乳酸盐和乙酸盐。双歧杆菌可以很容易地从哺乳的幼小动物的肠道中分离而得。美国广泛地用双歧杆菌作为 DFMs。

乳杆菌是革兰氏阳性的杆状细菌，可以是同型发酵菌或异型发酵菌。它们是过氧化氢酶阴性的兼性厌氧菌。主要的代谢产物是乳酸盐，但是异型发酵乳杆菌也可以产生乙酸盐、乙醇、甲酸盐和琥珀酸盐。乳杆菌高度耐酸，存在于酸菜、泡菜、青贮、乳制品和动物的肠道中。乳杆菌在美国广泛地用作 DFMs 和青贮剂。

明串珠菌是革兰氏阳性的球形细菌，过氧化氢酶阴性，兼性厌氧。它将糖发酵成乙酸盐和乳酸盐（异型发酵）。明串珠菌存在于植物上，在美国用作青贮剂。

片球菌是革兰氏阳性的球形细菌，兼性厌氧。它们被认为是乳酸菌，因为它们主要是将糖变成乳酸盐（同型发酵）。它们存在于植物上和啤酒中，被用作青贮剂。

丙酸菌是革兰氏阳性的杆状细菌，兼性厌氧。它们为过氧化氢酶阳性，产生乙酸盐、丙酸盐和二氧化碳。它们存在于乳制品和青贮料中。丙酸菌在美国用作 DFMs 和青贮剂。

酿酒酵母在分类上属于真菌，是卵圆形的单细胞生物，出芽繁殖。酵母可以是需氧菌或兼性厌氧菌。酵母菌可以用于制造面包、啤酒、酒精、酶、维生素和单细胞蛋白。酵母菌也能用作 DFMs 或青贮剂。

链球菌（也叫肠球菌）是革兰氏阳性的卵圆形细菌，兼性厌氧，过氧化氢酶阴性。正常的代谢产物是乙酸盐、乳酸盐和酶。它们比其他的产乳酸细菌耐热。肠球菌存在于动物肠道、生奶中和饲草上。在美国，肠球菌被用作 DFMs 和青贮剂。在美国的家禽饲料中最常用作 DFMs 的微生物是杆菌和乳杆菌。这些也是我过去在家禽饲养试验中所用的 DFM 来源。因此，我们将讨论的一些 DFMs 试验例子是用杆菌和乳杆菌做的。对于一种成功的 DFM，最重要的要求是：

- (1) 加到家禽饲料中的活细胞数量；
- (2) 饲料中 DFM 细胞的耐热和耐干燥能力。

在美国，乳杆菌和杆菌 DFMs 的一个主要供应商是在威斯康星州 Milwaukee 的克里斯·汉森生物系统公司 (ChrisHansen's BioSystems)。在 1999 年的《直接饲用微生物、酶和饲草添加剂纲要》中列举了该公司生产的 6 种禽用微生物产品。

没有一种产品宣称能够改善结果，但是在所有产品的标签上都写明：“含有活的天然微生物来源”。

(1)Biomate 2 浓缩料：地衣杆菌和枯草杆菌，每磅的总杆菌数不少于 5.65 亿菌落形成单位（CFU）。

(2)Biomate FG 浓缩料：嗜酸乳杆菌、乳酸乳杆菌、枯草杆菌和地衣杆菌。每克的总细胞数为 3.3 亿 CFU。

(3)Biomate LA-20：嗜酸乳杆菌，每克含有 200 亿 CFU。

(4)Biomate MC-20 浓缩料：嗜酸乳杆菌、乳酸乳杆菌、干酪乳杆菌、二乙酰乳酸乳杆菌和两歧双歧杆菌。每克乳酸菌含有 200 亿 CFU。

(5)Biomate SF-20：粪肠球菌，每克含有 200 亿 CFU。

(6)Biomate Yeast Plus：酿酒酵母、蛋白酶和脂肪酶。每克总酵母含有 90 亿细胞；每克活酵母含有 50 亿 CFU；每磅含有 5 万蛋白酶单位、5 万淀粉酶单位和 4000 脂肪酶单位。

上列第 6 种产品既保证微生物数量（CFU），又保证酶含量。产品标签说明可以用于家禽饲料和所有动物的饲料。在高于 80℃制粒的肉仔鸡饲料中一切酶活性全被破坏，因为酶对于热是敏感的。我们将在后面谈到，为了维持酶活性，往颗粒饲料中加酶应在制粒后进行。

《美国 DFM 纲要》列举了 400 多种可用于畜禽饲料、青贮剂、液体饲料和畜禽饮水添加剂的细菌、酵母和酶制剂。

问题是我们如何选择能够改进家禽的肉蛋生产性能效率的 DFM？我们必须依照一些指导原则：

- (1)选择一种可以减少肠道中有害微生物，如大肠杆菌的 DFM 微生物；
- (2)使用一种能够在每克家禽饲料中加入 100 万 CFU 的 DFM 产品；
- (3)要求提供一种能够检测家禽饲料中 DFM 微生物数量的实验室方法；
- (4)检测家禽饲料中的 DFM 产品并与你现用的饲料进行比较。

选择一种能够减少肠道中有害细菌（如大肠杆菌）的 DFM 微生物是一个综合了科学、逻辑学和测试的过程。为了减少大肠杆菌这种革兰氏阴性细菌，我们应该选择杆菌或乳杆菌等革兰氏阳性细菌来排挤它们。

为什么我们采用的标准是在每克家禽饲料中加入 100 万 CFU？在微生物世界中，每公斤饲料含有 100 万 CFU 是无效的。多数禽病专家和家禽营养学家使用 DFM 时是在每克家禽饲料中至少加入 100 万 CFU。

在美国，哪些家禽饲料含有 DFMs？它们是：

- (1) 用于生产有机肉仔鸡的肉仔鸡饲料（饲料中不含化学品或药物）；
- (2) 用于生产有机蛋的蛋禽饲料；
- (3) 用抗生素处理了饮水或饲料后使用的肉仔鸡或蛋鸡饲料；
- (4) 想用来在肠道中建立有益微生物群体的肉仔鸡和蛋鸡饲料。

禽用的竞争性排除培养物(Competitive Exclusion Cultures)和寡糖

现今的公共卫生关注肉蛋中沙门氏菌、弯曲杆菌、大肠杆菌和李氏杆菌的污染问题，这促进了科学家研究开发能够降低鸡肠道中人类病原菌数量的产品。“竞争性排除(CE)产品”是能够大大降低鸡肠道中人类病原菌数量的微生物培养物。FDA 只批准过一种 CE 产品可以在美国使用。它含有多种来自鸡盲肠的微生物。把它喷在孵化后的小鸡上可很好地降低病原菌数量，但是病原菌并不能被消灭。

用可溶性糖饲喂家禽：据发现，乳糖、D-甘露糖、阿拉伯糖、甲基- γ -D-甘露糖苷或半乳糖可以减少伤寒沙门氏菌在鸡肠道上皮细胞的附着，其机理可能是阻止了某些沙门氏菌附着在肠道中。但是，我们必须记住，降低沙门氏菌在肠道中的附着不等于可以完全预防沙门氏菌问题。

寡糖（如，果寡糖和甘露寡糖）可以减少鸡肠道中的沙门氏菌群。同样，这也不意味着完全解决或预防禽肉和禽蛋中的沙门氏菌问题。

与反刍动物相比，对于鸡肠道中的微生物还知之甚少。我们知道，在管制肠道微生物从而减

少家禽健康问题方面有很大潜力。比如，美国最大的禽蛋公司中有一个就是借助益生菌（DFM）来减少笼养蛋鸡的大肠杆菌问题。但是，美国多数的家禽公司不在常规的肉仔鸡或蛋鸡饲料中使用益生菌或 DFMs。原因是：益生菌的作用不如药物来得快，而在美国有很多价格适宜的药物可用于家禽饲料。

酶在家禽饲料中的应用

近几年来，全世界在酶饲料添加剂方面的研究开发有所增加。1998 年，所有在标签上说明用于畜禽饲料的美国酶产品都要接受新的 FDA 条例所管理。美国饲料监督员协会 (AAFCO) 在 1998 年的 AAFCO 公报中发布了这个新的 FDA 条例。

本文的附件 A 详细讨论了美国《1999 年直接饲用微生物、酶和饲草添加剂

纲要》中 FDA 和 AAFCO 关于在畜禽饲料中使用 DFMs 和酶的管理条例。这个非官方的指导文件由米勒出版社出版。该出版社还出版关于饲料工业的周刊《饲料》。

附件 A 的表 2 列出了 25 种酶的名称及其 82 个来源（发现酶的地方或产生酶的微生物）。这 25 种酶包括：15 种糖酶、1 种脂肪酶、6 种蛋白酶和 3 种氧化还原酶。按表底说明，此表是个参考材料，并未包括美国所有的饲用酶。但是，美国多数的酶已列入表中。未列入表 2 的任何酶产品都必须符合附件 A 中《AAFCO 酶的销售须知》（AAFCO 的管理条例）。

我们为什么要在家禽饲料中使用酶？酶是生物系统中化学反应的蛋白质催化剂。为了正确地选择所用的酶，必须了解所要催化的反应及其底物。就家禽饲料酶而言，我们需要知道底物和酶的浓度（通过实验室分析而测得）。

本文附件 B 是关于动物饲养中所用酶的详细讨论。该文作者 Henry Classen 博士是加拿大萨斯喀彻温大学著名的家禽学教授。酶的功能是：

- (1) 除去抗营养因子（如谷物中的 β - 葡聚糖）；
- (2) 提高饲料中营养素的可消化性（如植酸盐中的磷）；
- (3) 提高非淀粉多糖（NSP）的可消化性；
- (4) 为宿主（家禽）的内源（肠道中天然存在的）酶提供补充。

附件 B 的表 1 中，Classen 博士列举了植物性饲料中的抗营养因子。因为鱼和动物蛋白质的供应有限，家禽饲料中较多地使用谷物和植物性蛋白质，这就需要在家禽饲料中较多地使用酶。

家禽饲料中使用酶的限制性在于价格、稳定性和加入饲料的方法。稳定性和使用方法必须一起讨论，因为当在 $>80^{\circ}\text{C}$ 下制作颗粒饲料时大多数酶会受到破坏。在颗粒家禽饲料中加任何酶都应该用精确的设备在制粒后把酶喷到饲料上。为一个饲料厂配备计算机控制的自动化喷酶系统需花费 10 万美元。

非淀粉多糖（NSPs）的可消化性。家禽对 NSPs 的消化率很低，因为只在盲肠中有发酵过程。近年来的研究表明，在谷物的蛋白质饲料中加酶可以提高 NSPs 的消化率。在生长和产蛋量方面的改进可能不大，但是，湿粪问题可能减少。

美国家禽饲料中用得最多的是植酸酶。在美国，大约一半的蛋鸡饲料加在植酸酶，从而使蛋鸡可以利用植酸盐中的磷。这样可以少加矿物磷，降低饲料成本。于有效磷的标准可以降低多少，则取决于被替代磷的有效性、酶的活力和饲料的混合均匀度。在理想条件下，有可能将饲料有效磷水平（计算值）下降 0.2%。节省情况取决于磷的价格。

在美国，只有在下述情况下才在肉仔鸡饲料中使用植酸酶：政府部门要求使用植酸酶（如马里兰州）；环保或政府的管理条例对于作为肥料使用的粪便所能施入土地中的磷有数量上的限定。美国肉鸡业力图降低每吨产品的饲料成本，而添加植酸酶会提高每吨禽肉的饲料成本。但是，由于环境管理条例要求排放量，因此，美国肉鸡业中植酸酶的增加。

一些向蛋鸡场销售植酸酶的公司建议，在添加植酸酶后降低蛋白质、氨基酸和能量的水平。依我的意见，这是危险的做法。营养素含量和饲料原料质量上的变化可能降低蛋的大小和产蛋量。但是，降低肉仔鸡的营养素是可能的。只有在饲料营养素水平下降的情况下，添加酶才可能提高利润。

家禽饲养中使用酶的最新研究是在玉米或高粱日粮中加酶。这些酶是申请专利的保密产品。据称，主要的好处是提高饲料中半乳甘露聚糖在鸡肠道中的消化率。出于营销的企图，某些酶生产商估计，在含有 60%玉米和 30%豆粕的肉鸡饲料中加酶可使饲料转化率（FCR）改进 0.07。支持这些计算和宣传的数据列于表 2。

表 2 Hemicell 酶肉仔鸡试验总结

试验数	肉鸡总数(万)	农场数	增重(克)	FCR 改进成	活率提高(%)
1	48	10	34	0.03	0.37
2	510	126	7	0.04	0.85
3	2000	550	79	0.03	0.31
4	1400	360	62	0.06	0.26
5	140	75	39	0.06	2.33
6	200	79	36	0.02	0.00
7	550	184	30	0.03	0.02
8	1000	252	-22	0.03	1.11
所有肉鸡试验总结			33	0.04	0.68

注：1) 试验 8 中喂酶肉鸡的年龄比对照组小 0.3 天；

2) Hemicell 由马里兰州 Gaithersburg 的 ChemGen 公司生产，此产品由北京的一个进出口公司在中国销售。

上述材料由 ChemGen 公司提供，这是一家著名的美国饲料酶公司。以上结果是有意思的，但经济效益不详。美国的肉鸡公司认为，饲料转化率改进 0.01 的价值约相当于每吨饲料增收 1 美元。成活率提高 0.7% 也有显著的经济效益。总的加酶成本包括酶的价值和加酶的费用。如果这个酶的价格是每吨肉鸡料花费 3 美元，则在肉鸡料中使用这种酶有薄利可图。

在家禽饲料中使用酶时，在配方计算上可以有两种做法：

- (1) 在原有配方不动的基础上加酶；
- (2) 减少日粮中的能量和蛋白质，但氨基酸保持不变。

下面以玉米或高粱日粮为例进行计算。

在下述蛋鸡饲料试验中使用著名的 FinnFeeds 国际公司销售的酶制品 Avizyme 1500。

表 3 用 Avizyme 1500 进行的蛋鸡试验：代谢能 (ME) 从 2780 降到 2760

原料和营养成分	中等能量	较低能量
玉米	66.33%	65.18%
豆粕 (47% 蛋白质)	22.63%	23.56%
石灰	8.94%	9.12%
磷酸二钙	1.54%	1.57%
预混料和其他	0.56%	0.57%
Avizyme 1500	无或 0.075%	无或 0.075%
ME, 千卡/公斤	2780	2760
蛋白质	17.0%	17.0%
赖氨酸	0.86%	0.86%
蛋氨酸+胱氨酸	0.69%	0.69%
钙	4.00%	4.00%
有效磷	0.38%	0.38%

表 4 结果：喂蛋鸡：降低饲料中的 ME

结果：40—52 周	ME=2780	ME=2760	P 值*
鸡日产量，%	87.4 ^a	89.0 ^b	0.056
蛋重，克	55.6	55.7	0.827
蛋量，克/天	48.6 ^a	49.6 ^b	0.089
采食量，克/天	97.4	97.0	0.671
FCR，克饲料/克蛋	2.01 ^a	1.96 ^b	0.030
蛋中白蛋白，DM 的%	32.7	33.6	0.641
蛋黄，DM 的%	14.9	14.7	0.734
比重	1.083	1.083	0.110

* 系对 Avizyme 主要作用的 P 值。无互作。

产蛋鸡试验在美国内布拉斯加大学进行，用 40—52 周龄的巴布可克 B—300 和海兰 W—36 蛋鸡。在这个高峰期过后的试验中比较了中能（2780 ME）和低能（2760ME）饲料，加或不加酶。饲料配方和营养成分见表 3。此蛋鸡试验有 4 种日粮：2 种对照日粮；2 种不同能量水平的加酶日粮。试验期 3 个月，结果见表 4。统计分析：能量和酶之间无互相作用，只有酶的主要作用得到了表现。

表 5 饲喂 Avizyme 1500 的蛋鸡试验：高 ME 或中 ME 加酶

原料和营养成分	高 ME	中 ME
玉米	56.72%	58.12
豆粕（47%蛋白质）	27.79%	27.61%
牛油	3.36%	3.00%
玉米油	1.05%	无
石灰	7.25%	7.19%
磷酸二钙	1.83%	1.93%
贝壳	1.50%	1.50%
预混料和其他	0.06%	0.65%
Avizyme 1500	无或 0.075%	无或 0.075%

续表 5

原料和营养成分	高 ME	中 ME
ME, 千卡/公斤	2890	2805 (-3%ME)
蛋白质	17.0%	17.0%
赖氨酸	0.95%	0.95%
蛋氨酸 + 胱氨酸	0.66%	0.66%
钙	3.80%	3.80%
有效磷	0.44%	0.44%

第二个蛋鸡试验也在美国内布拉斯加大学进行, 用 25—52 周龄的海兰和巴布可克笼养蛋鸡。高 ME 蛋鸡料的价格是每美吨 156.45 美元; 代谢能低 3%但加有酶的蛋鸡料的价格为每美吨 153.45 美元。两种 ME 水平的饲料在试验中都有加酶或不加酶两种处理。在 25—52 周的产蛋高峰期中, 4 种饲料的结果并无差异。价格较低的中等 ME 饲料的结果与高 ME 的一样。表 5 是 40—52 周龄饲料的配方和营养成分。表 6 是饲喂 3 种日粮的蛋鸡在 40—52 周的产蛋性能。表 6 的数据表明, 高 ME 饲料和中 ME+Avizyme 1500 饲料的结果是一样的。中 ME 饲料加酶后, FCR 改进 3 个点, 这意味着可以少用 1.5%的中 ME 饲料。通过计算可以知道节省 1.5%蛋鸡料的价值。如果通过加酶而节省的饲料的价值高于酶的价格, 利润就会增加。

表 6 Avizyme 喂蛋鸡试验结果: 高或低 ME+ 酶

	对照, 无酶		中 ME+ 酶
	高 ME	中 ME	
鸡日产蛋率, %	89.7	89.5	90.0
平均蛋重, 克	59.7	58.8	58.7
产蛋量, 克/天	53.3	52.6	52.9
采食量, 克/天	99.8	100.8	99.9
FCR, 克饲料/克蛋	1.87	1.92	1.89

表 7Avizyme 1500 喂褐壳蛋鸡试验：2750 ME 或 2650 ME+Avizyme

产蛋鸡结果	2750ME	2650ME+Avizyme1500
日采食量, 克	109.9	112.7
鸡日产蛋率, %	90.6	92.5
平均蛋重, 克	61.4	61.5
日产蛋量, 克	55.6	56.9
FCR, 克饲料/克蛋	1.977	1.981
相对饲料价格/公斤饲料	100%	98.5%

在意大利的一个褐壳蛋鸡试验中，73000 只蛋鸡喂对照饲料，29000 只蛋鸡喂能量较低（每公斤饲料少 100ME）的加 0.075%Avizyme 1500 的饲料。两种饲料都含有植酸酶。饲料原料是玉米、豆粕、动物脂肪、肉骨粉和向日葵粕。22—34 周龄的试验结果见表 7。

在这个为期 12 周的短试验中产蛋率提高了 2 个百分点是值得注意的。应该进行时间较长的试验以了解饲喂 Avizyme 的长期效益。通过将每公斤饲料的代谢能下降 100 千卡而使饲料成本降低 2.5%也是值得注意的。根据这两个白壳蛋鸡和褐壳蛋鸡试验，Avizyme 似乎可以提高产蛋鸡对饲料原料中能量的利用率。

酶对肉仔鸡和蛋鸡的经济价值在不同的家禽公司是不一样的。我们必须通过饲养试验和经济学分析才能知道使用酶后肉蛋生产的利润是否增加了。

甜菜碱在家禽饲料中的应用

甜菜碱作为一种饲料原料应用已有许多年了。近年来很多研究证明，甜菜碱是好的甲基来源，可以替代家禽饲料中的部分胆碱或蛋氨酸。在美国，我们有价格适宜的胆碱和蛋氨酸的供应源，所以不用甜菜碱来替代胆碱或蛋氨酸。

但是，在肉仔鸡和火鸡饲料中经常用甜菜碱来调节肠道组织中的水平衡，用以减少湿粪问题。在有球虫病、非特异性肠炎和未知因子引起的禽腹泻的情况下，使用甜菜碱可以减少湿粪问题。一个小规模试验就可以告诉你，甜菜碱是否能改进家禽生产效果。

使用甜菜碱时的一个注意事项就和使用所有饲料添加剂一样，应该了解其效力，知道测定产品的效力、纯度和浓度的方法。表 8 告诉我们如何计算甜菜碱产品中甜菜碱的含量。

表 8 用于家禽饲料的甜菜碱产品的甜菜碱含量

甜菜碱产品	纯度×甜菜碱%	产品的甜菜碱
无水甜菜碱, 97%	$0.97 \times 100\%$	97.0%
一水甜菜碱, 98%	$0.98 \times 87.7\%$	85.9%
甜菜碱盐酸盐, 98%	$0.98 \times 76.3\%$	74.8%
甜菜碱液体产品	变异很大	变异很大

很多公司宣传用甜菜碱可以替代家禽饲料中的部分蛋氨酸。只有在以下情况下使用甜菜碱才能改进家禽生产结果:

- (1) 由于病原菌进攻而提高了对蛋氨酸的需要量;
- (2) 当半胱氨酸是第一限制性氨基酸时, 蛋氨酸的需要量增加。因为高半胱氨酸只能转化为半胱氨酸而不是蛋氨酸。

制霉剂在家禽饲料中的应用

制霉剂(有机酸)在美国家禽饲料中的应用已经下降。当今的禽群规模很大, 喂的饲料来自大型散装饲料罐, 多数饲料可以在一周内被吃完。美国大型家禽场用的商品饲料已经不再用袋包装。但是, 小型禽群用的饲料仍旧用袋装, 经常加入酸性制霉剂。美国最通用的制霉剂是丙酸。供应形式可以是液体的, 也可以是吸附在干载体上的。干产品的丙酸含量为 50%或 60% (按重量计)。液体产品的丙酸含量为 50%—70%。中和丙酸是丙酸加氢氧化铵, 据称是对金属无腐蚀性的一种产品, 其丙酸含量为 50%或 70%, 取决于水的含量。

生产液体中和丙酸的工艺十分关键。当丙酸和氢氧化铵在反应釜中混合时会产生热。为了能够生成丙酸铵, 反应液的温度必须保持在 100℃以下, 否则将主要生成无水丙酸盐, 这是一种差的制霉剂。

如果家禽饲料要在袋中贮藏较长的时间(一个月以上), 应加入丙酸制霉剂, 以预防袋内饲料长霉。每吨饲料中加制霉剂的数量取决于制霉剂的质量和饲料的水分。某些销售制霉剂的公司宣称, 多种有机酸的混合物有更好的制霉效果。据我观

察，丙酸是好的家禽饲料制霉剂。

霉菌毒素吸附剂在家禽饲料中的应用

霉菌毒素吸附剂和霉菌毒素中和剂是一类复杂的产品。我们可以举办一个专题讨论会来谈霉菌毒素和据称能控制或中和霉菌毒素的产品。我们应该记住的有两点：

- (1) 已经发现并命名的霉菌毒素已超过 100 种；
- (2) 控制霉菌毒素的产品在结构和功能上是多种多样的。

有些霉菌毒素吸附剂的功能据称是通过化学反应或酶反应，我们将不在此讨论。我们将讨论的是矿物性霉菌毒素吸附剂，它们价格便宜，可以从很多国家的采矿场购得。矿物产品的价格较低，是通过吸附（物理吸附或电子吸附）而起作用。可以用物理化学来解释矿物霉菌毒素吸附剂的作用机理。

矿物霉菌毒素吸附剂来自黏土、沸石或膨润土。膨润土是一种加水后会膨胀的黏土。黏土系由物理和化学键连接一起的矿化聚合物岩席所构成。这些平行的岩席含有大量的二氧化硅和铝以及其他阳离子。黏土颗粒中的矿物质决定了黏土颗粒的电荷。有些黏土颗粒能够吸附水而膨胀（膨润土），但其他的干黏土则不能。这种差异是由黏土的物理化学和其阳离子成分所造成的。有些物理化学键较弱，允许水在岩席之间通过；而强的氢键则能把岩席连接在一起。

矿物霉菌毒素吸附剂是怎样吸附霉菌毒素的？为使黏土颗粒能够吸附到霉菌毒素（大的有机分子）上，必须有一个相反的电荷来吸引霉菌毒素。比如，据家禽研究文献记载，膨润土可以吸附黄曲霉毒素。膨润土有负电荷，黄曲霉毒素则有正电荷。现在还不清楚的是为什么膨润土只吸附黄曲霉毒素。家禽研究表明，硅酸铝是一种能够吸附黄曲霉毒素和其他一些霉菌毒素的黏土。像膨润土一样，有钙、钠和混合硅酸铝。为什么硅酸铝能够吸附黄曲霉毒素和其他霉菌毒素也不清楚。

可以用来评估吸附能力的一种方法是测定矿物吸附剂的阳离子交换能力。这是一种常用的土壤测定方法，叫做“阳离子交换能力”（CEC）。CEC 是测定物质表面上可以与其他阳离子相交换的阳离子。具有 CEC 值 40 到 50 的黏土是好的霉菌毒素吸附剂。矿物霉菌毒素吸附剂的 CEC 范围是从 20 到 100。

阳离子交换能力测量的是黏土颗粒上的负电荷。这种土壤测定方法叫做每 100 克黏土的密耳当量（mlequivalents）。负电荷数值高时很可能还能吸附肠道中以阳离子形式存在的基本营养素，如锌。

很多霉菌毒素吸附剂被宣传能吸附霉菌毒素是根据实验室或体外测定。这些实

实验室测定结果仅仅表示一种吸附剂在吃了霉菌毒素的家禽的肠道中应该有效。应该用带有霉菌毒素的劣质谷物在少量青年家禽上进行饲养试验，以评估一种霉菌毒素吸附剂的效力。

美国主要的霉菌毒素实验室曾用体外测定法分析了相似的一些硅酸铝霉菌毒素吸附剂。结果表明，这些产品在结合纯霉菌毒素的能力上有很大的差异。使用了一种叫“H. P. L. C. -T. L. C. 法”的技术。样本中每种硅酸铝的添加量是 0.25%。表 9 是用此实验室方法对 4 种硅酸铝进行比较的结果。

表 9 四种硅酸铝在体外吸附霉菌毒素的能力

霉菌毒素	水平 (ppm)	T-B	N-S	D-B	M-S
玉米赤霉醇 (Zeralenone)	10	43%	无	40%	40%
赭毒素 (Ochratoxin)	10	72%	无	27%	无
呕吐毒素 (Vomitoxin, DON)	10	84%	8%	4%	8%
T-2 毒素	10	76%	无	无	无
桔霉素 (Citrinin)	10	97%	无	无	无
黄曲霉毒素 B-1	10	93%	62%	无	无
Fumonisin B-1	10	26%	67%	21%	99%
Fumonisin B-1	5	70%	无	无	无

目前尚无关于在美国使用霉菌毒素吸附剂的 FDA 或 AAFCO 管理条例。也未制订可以测定在畜禽饲料中有霉菌毒素吸附能力的测试程序。AAFCO 将多数霉菌毒素吸附剂作为可接受的抗结块剂 (acceptable anticaking agents)。有些美国家禽公司在谷物质量差或家禽表现严重的霉菌毒素中毒症状时使用霉菌毒素吸附剂。最受霉菌毒素影响的是种禽。

在每吨饲料中应该加多少矿物霉菌毒素吸附剂？一般说来，硅酸铝的用量要低于膨润土。饲料中霉菌毒素多时也需多加吸附剂。饲料中霉菌毒素少时，加 0.25% 硅酸铝或 0.5% 膨润土。饲料中霉菌毒素多时则加 0.5% 硅酸铝或 1.0% 膨润土。

矿物霉菌毒素吸附剂的颗粒大小。为了取得好的结果，吸附剂应磨得越细越好，好像焙烤用的面粉。霉菌毒素吸附剂的表面面积越大，越能有效地在鸡的肠道中吸附霉菌毒素。应 90% 以上的霉菌毒素吸附剂粉末能够通过每平方英寸 200 孔的筛子。

注意：霉菌毒素吸附剂已经引起过家禽饲料问题：

- (1) 有些膨润土已知能够吸附饲料中的药物；
- (2) 硅酸铝能够吸附某些营养素，如锌、磷和核黄素。

营养再分配剂(增加瘦肉)在家禽中的应用

β -兴奋剂是能在猪和牛中增加肌肉、减少脂肪的营养再分配剂，其机理是：改变营养素的用途，在刺激肌肉积累的同时减少动物的脂肪组织。但是，给家禽饲喂 β -兴奋剂并不能增加瘦肉、减少脂肪。

最近日本对 β -兴奋剂 Clenbuterol 的研究发现，在注射 Clenbuterol 的同时注射硫胺可以提高 Clenbuterol 的降脂肪作用。据报告，其机理是增加了肝脏对氧的消耗和提高了血浆中游离脂肪酸的含量。但是，肉仔鸡的胸肌并未增多。该研究报告发表于 1999 年的英国家禽科学（见参考文献）。

螯合矿物质在家禽饲料中的应用

螯合矿物质和无机矿物质有很大不同。螯合矿物质也可以叫有机矿物质，因为其中的矿物质离子和有机配体（如氨基酸、小肽和有机酸）相结合（螯合）。家禽饲养中理想的螯合物应该和无机矿物质有相同的价格。在美国，螯合物的销售价格是无机矿物质的 5—10 倍。研究表明，螯合物的生物有效性是无机矿物质的 150%—200%。螯合物的高价位妨碍了它们在家禽饲料中的常规使用。

最好的螯合物在鸡肠道中不会离子化，能够非常有效地被作为螯合物而吸收。最好的饲用螯合物应该：

- (1) 不在肠道中离子化（在蒸馏水中做离子化试验）；
- (2) 分子量小（小到能够被完整地吸收）。

注意：在水中的溶解性并不与离子化或吸收效率相关联。

什么时候在家禽饲料中使用螯合矿物质才有经济效益？如果健康问题限制了家禽的肉蛋生产性能，而螯合物能够解决或减少家禽健康问题，就可以使用这种产品。

- (1) 螯合锌可以促进皮肤愈合，改进肉仔鸡的皮肤强度；
- (2) 螯合锰可以减少肉仔鸡的弱腿问题；
- (3) 螯合的锌、锰和铜可以改进老龄蛋鸡的蛋壳质量。

螯合物并无魔力。螯合物饲喂家禽的好处可以从化学和代谢反应来解释：

(1) 不离子化的螯合物在肠道中不会引起化学反应；

(2) 螯合物能够提高组织中必需矿物质的含量从而改进生产性能：锌在皮肤中的功能是产生胶原，增强皮肤组织；在蛋白质基质中的锰可以增强蛋壳和腿部；蛋壳腺酶中的锌和铜可以改进蛋禽的蛋壳质量。

由于螯合物的价格高昂，所以只有在需要改进肉仔鸡皮肤或蛋禽的蛋壳质量时才使用它们。在家禽饲料中加螯合物是对无机矿物质的补充。有可能不加无机微量元素，而是用螯合矿物质按无机微量元素一半的 ppm 水平来替代。但是如果螯合物的质量差，这种做法是危险的，可能引起矿物质缺乏。而且，即使是无机矿物质 ppm 的一半用量，螯合物的价格仍然较贵。使用螯合物的最好结果是减少家禽生产中的问题。

家禽饲料添加剂计划和饲料添加剂的配伍

肉仔鸡饲养计划。美国有 50 多个大型的肉鸡公司。每个公司有不同的饲料添加剂计划，而且还经常改变这些计划。肉鸡饲料添加剂计划由制球虫剂和生长促进剂组成。肉鸡公司趋向于在初期饲料和生长期饲料中使用不同的制球虫剂和生长促进剂。这种做法的意图是控制肠道微生物，使肉鸡有机会生长并带着肠道微生物而生存。表 10 是一个大型肉鸡公司的饲料添加剂计划。

生产 3 公斤肉仔鸡需要 4 公斤肉鸡料。为整鸡市场生产体重 2 公斤时屠宰的肉仔鸡需要用 3 种饲料。该公司在一年中更换制球虫剂 1—2 次，以免产生有耐药性的球虫系。当出现非特异性肠炎问题时，他们更换生长促进剂。该公司在饲料中添加中和丙酸，不加酶。他们计划在管理条例要求使用植酸酶时再添加这种产品。

表 10 某肉鸡公司使用饲料添加剂的计划

饲料	制球虫剂	生长促进剂	制霉剂
初始期饲料	110 克莫能菌素/吨	15 克 Stafac/吨	0.250%65%中和丙酸
生长期饲料	72 克那宁素/吨	50 克 BMD/吨	0.20%65%中和丙酸
肥育期饲料	无	20 克 Stafac/吨	0.20%65%中和丙酸
停药期饲料	无	15 克 Stafac/吨	无

表 11 某大型禽蛋公司采用的蛋鸡饲料添加剂

蛋鸡饲料	加药	不加药
初始期饲料	氨丙啉	无
生长期饲料	无	无
高峰前蛋鸡料	25 克 BMD/吨	乳杆菌
高峰期蛋鸡料	无	无
高峰后蛋鸡料	无	无

美国的蛋鸡公司比肉鸡公司少使用饲料添加剂。一般说来，只有在处理疾病或健康问题时才添加药物饲料添加剂。美国某大型禽蛋公司的饲料计划和家禽保健部经理采用的简单计划如表 11 所示。

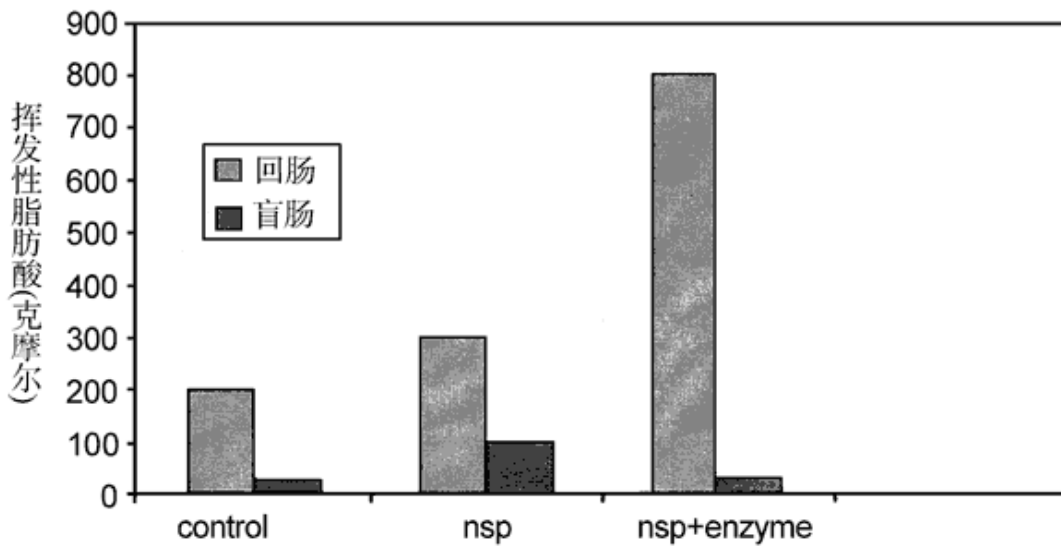


图 1 饲喂富含非淀粉多糖 (NPS) 类加酶与不加酶日粮的肉仔鸡肠道内挥发性脂肪酸 (VFA) 水平 (克摩尔)

该蛋鸡公司出于经济原因在使用药物饲料添加剂方面非常保守。他们发现，大剂量的乳杆菌加柠檬酸可以有效地预防蛋鸡的大肠杆菌问题。在大型蛋鸡场中，每个鸡舍养 10 万只蛋鸡，一个鸡场养 100 万只蛋鸡或更多。经理们面临的是“鸡笼—蛋鸡综合症”健康问题，其中包括不能建立正常的免疫体系和细菌感染。有的经理发现，益生菌（直接饲用微生物，DFMs）有助于克服这些问题。

总 结

由于政府的管理条例禁止使用很多药物饲料添加剂,非药物饲料添加剂的使用正变得多起来。禁用药物饲料添加剂的理由是出于对人类健康的关注。关于人类健康安全性的争论将增加并持续下去。新的药物饲料添加剂的研究和开发工作已经减少。预期,新的禽用药物饲料添加剂将非常少。

选择能够提高家禽饲养利润的非药物饲料添加剂是非常困难的。很多非药物饲料添加剂并不能得到研究和现场试验的支持。缺乏可靠试验数据的产品不可能带来利润。为了确认某饲料添加剂在具体一种家禽饲料中的价值,应该就地做现场试验。不存在简单而最佳的饲料添加剂配伍方案。

在家禽饲料中添加药物添加剂或非药物添加剂意味着在每吨饲料中增加大量开支。首先,应测试饲料添加剂对提高肉蛋生产效益的作用。然后,通过经济分析,计算饲喂饲料添加剂能够增加多少利润。在关于家禽饲料中使用何种饲料添加剂的决策过程中必须采用经济学的方法。

(周鼎年 翻译)

参 考 文 献

Direct-fed Microbial, Enzyme & Forage Additive Compendium, 1998-1999
Circulation Dept, 191 South Gary Avenue, Carol Stream, IL, 60188, USA.

AAFCO Official Publication, 1999. Association of American Feed Control
Officials, Incorporated 欲购此出版物者请通过传真联系: 763-385-1029

Y. Hammano, S. Okada and T. Tanaka, 1999 Akita Prefectural College of Agriculture;
Ohgata, Japan British Poultry Science 40: 127-130 Injecting
Clenbuterol or Clenbuterol Plus Thiamine and Broiler Results

附录

A1

净重见包装袋说明

蓝鸟牌直接饲用产品

含有有活性的天然微生物来源

保证分析值：乳酸菌……2000 亿 CFU/磅(按优势次列出每种菌)或嗜酸乳杆菌……100 亿 CFU/磅。

成分：(每种成分的特定名称必须符合 AAFCO 采用的名称和定义。需要之处可以用 AAFCO 批准的集合名词)

使用说明：(使用说明和保证分析值必须采用相同的单位)

生产者

公司名

地址

A2

蓝鸟牌酶制品

含有(酶活性)的来源，此酶活性具有(功能和/或关于当前有证据的用途说明)(如果符合 AAFCO 的总体商标规则，可以加上菌种名称)。

保证分析值： α -淀粉酶(*Bsubtilis*)，不少 13500BAU/磅(菌种来源按优势次序排列)。

(解说词句应清楚确切。选用的单位应与使用说明或分析方法相一致)

成分：(按数量次序开列，每种成分的特定名称必须符合 AAFCO 采用的名称和定义。需要处可使用 AAFCO 批准的集合名词。以酶成分为例，可写为“液体的 *Bacillus subtilis* 发酵产品”。在成分部分不用列出酶活。)

使用说明：(罗列为消费者正确使用该产品所需的一切资料)

注意事项/安全须知——视需要而定

有效期——(由公司按需要而定)

生产者

公司名

地址

净重：50 磅(22.7 公斤)

如果是微生物酶，则必须产自非病原菌和无毒菌系

分类/名称	源头有机体	典型底物 ²	功能	当前有证据的用途
碳水化合物				
α-淀粉	酶动物胰腺组织		青贮玉米，	水解淀粉
	黑曲霉		玉米，玉米	
	米曲霉		面筋饲料，	
	解淀粉芽孢杆菌		豆粕，小麦，	
	迟缓芽孢杆菌		粗小麦，粉，	
	地衣芽孢杆菌		大麦，高粱，	
	嗜热脂肪芽孢杆菌 α-淀粉酶基		豌豆，燕麦，	
	因的地衣芽孢杆菌		木薯，大米，	
	嗜热脂肪芽孢杆菌		小米	
	淀粉酶基因的枯草芽孢杆菌			
	含嗜热脂肪芽孢杆菌 α-淀粉酶基			
	因的枯草芽孢杆菌			
	枯草芽孢杆菌			
	大麦芽			
雪白根霉				
米根霉				
产麦芽糖	含嗜热脂肪芽孢杆菌产麦芽糖 α-	同上	水解淀粉，	
α-淀粉酶	淀粉酶基因的枯草芽孢杆菌		产生麦芽糖	
β-淀粉酶	大麦芽	同上	同上	
纤维酶	黑曲霉		玉米，大麦，	分解纤维素
			小麦，麦麸，	
			黑麦	
α-半乳糖	黑曲霉		甜羽扇豆，	水解寡糖
苷酶	葡萄酒色被孢霉		豆粕	
	酵母菌			
β-葡聚糖酶	黑曲霉		小麦，大麦，	水解
	迟缓芽孢杆菌		β-葡聚菜籽粕，小麦	
	枯草芽孢杆菌		糖(一种非淀副产品，	
	腐质霉，H. insolens		碎燕 粉多糖) 麦，黑	
	木霉，T. longibrachiatum		麦，小黑麦，高粱	
				降低以大麦为基
				础的家禽日粮的
				消化粘稠度，
				减少消物中的可
				溶性非淀粉多糖

分类/名称	源头有机体	典型底物 ²	功能	当前有证据的用途
β -葡糖苷酶	黑曲霉	植物细胞壁成分, 同 α -淀粉酶	水解纤维粉至产生葡萄糖	
淀粉葡糖苷酶	黑曲霉 米曲霉 雪白根霉 米根霉	同 α -淀粉酶	水解淀粉至产生葡萄糖	
半纤维素酶	曲霉, <i>A. aculeatus</i> 黑曲霉 迟缓芽孢杆菌 枯草芽孢杆菌 腐质霉, <i>H. insolens</i> 木霉, <i>T. longibrachiatum</i>	玉米, 豆粕, 古尔(一种豆科植物), 大麦, 黑麦, 高粱, 小麦, 燕麦, 豌豆	分解半纤维素	降低喂古尔家禽的粪便粘稠度
转化酶	黑曲霉 酵母菌	含蔗糖的产品和副产品	水解蔗糖至葡萄糖和果糖	
乳酸酶	黑曲霉 米曲霉 伪热带拟酵母 马克斯克鲁维酵母 酵母菌	含乳糖的产品和副产品	水解乳糖至葡萄糖和半乳糖	
β -甘露聚糖酶	黑曲霉 迟缓芽孢杆菌 木霉, <i>T. longibrachiatum</i>	玉米, 豆粕, 古尔粕, 椰仁粕	水解 β -甘露聚糖(兰纤维素的成分)	
果胶酶	曲霉, <i>A. aculeatus</i> 黑曲霉 米根霉	玉米, 小麦	分解果胶	
支链淀粉酶	酸性解支链淀粉芽孢杆菌 含 <i>B. deramificans</i> 支链淀粉酶基因的地衣芽孢杆菌	同 α -淀粉酶	水解淀粉	
木糖酶	黑曲霉 迟缓芽孢杆菌 枯草芽孢杆菌 腐质霉, <i>H. insolens</i> 木霉, <i>T. longibrachiatum</i>	玉米, 大麦, 黑麦, 小麦, 高粱, 小黑麦成分, 燕麦	水解木糖(家禽日粮中半纤维产生的一种粘稠物质)	

分类/名称	源头有机体	典型底物 ²	功能	当前有证据的用途
脂肪酶				
脂肪酶	动物胰腺组织 黑曲霉 米曲霉 拟酵母, <i>Candida rugosa</i> 幼反 刍畜的可食前胃 <i>Rhizomucor</i> (<i>Mucor</i> -) <i>miehei</i> 米根霉	植物脂肪和动物 脂肪	水解甘油三酯	
蛋白酶				
菠萝蛋白酶	菠萝-茎, 果	动植物蛋白质	水解蛋白质	
无花果蛋白酶	无花果	同上	同上	
木瓜酶	木瓜	同上	同上	
胃蛋白酶	猪或其他动物的胃	同上	同上	
蛋白酶(一般)	黑曲霉 米曲霉 解淀粉芽孢杆菌 地衣芽孢杆菌 枯草芽孢杆菌 含解淀粉芽孢杆菌蛋白 酶基因的枯草芽孢杆菌	同上	同上	
胰蛋白酶	动物胰腺动植物	蛋白质	同上	
氧化还原酶				
过氧化氢酶	黑曲霉 溶壁微球菌	过氧化氢	从氢产生水和氧	
葡萄糖氧化酶	黑曲霉	葡萄糖	降解葡萄糖至过 氧化氢和葡萄糖 酸	
植酸酶	黑曲霉 米曲霉	玉米, 豆粕, 葵 籽粕, 玉米麸, 木薯, 植物副产 品	水解植酸盐	提高猪禽日粮中 植酸钙镁结合磷 的消化率

1 引自: AFFCO' S 1998 Official Publication;

2 仅供参考, 并非包括所有底物。

饲料	抗营养因子
谷物	
大麦, 燕麦, 黑麦, 小黑麦, 小麦)	NSP* (β -葡萄糖, 阿拉伯木糖 NSPE* (阿拉伯木糖, β -葡萄糖)
高粱	单宁
饼粕	
菜籽粕	葡糖苷, 芥子碱, 植酸盐
豆粕	蛋白酶抑制因子, 外源凝集素, 植酸盐, 脂肪氧化酶, α -半乳糖苷
棉籽粕	棉酚, 植酸盐, 变应原
麻籽粕	里哪苦苷, N-谷酰胺脯氨酸
葵籽粕	原氨酸, 植酸盐
其他	
蚕豆	蛋白酶抑制因子, 植物凝集素, 单宁, 巢菜核苷/康蚕豆辛
小扁豆	蛋白酶抑制因子, 单宁, 植物凝集素
豌豆	蛋白酶抑制因子, 植物凝集素, 植酸盐, 单宁, α -半乳糖苷

*非淀粉多糖。