

酶制剂在 饲料工业中的应用

● 冯定远 主编

APPLICATION OF ENZYMES
IN THE FEED INDUSTRY

中国农业科学技术出版社

编委会

主 编

冯定远

副主编

左建军 詹志春

编 委 (按姓氏笔画为序)

于旭华	王 恬	王修启	冯定远	左建军
付五兵	何四旺	汪 傲	吕于明	沈水宝
沈建新	周响艳	贺建华	黄志毅	黄燕华
管武太	詹志春	谭会泽		

前 言

我国饲料工业和养殖业发展已取得了巨大的成就，同时也面临着新的重大挑战，其中饲料安全、饲料资源短缺和养殖业环境污染等三大问题尤为突出。因此，寻找解决这些问题的新型饲料添加剂产品备受关注。酶制剂作为一种安全高效的生物活性催化剂可以提高畜禽和水产动物的生产性能，正如欧洲的专家所指出的那样：“欧盟最先颁布了饲料中禁止使用某些抗生素作为促生长剂这个决定，迫使饲料生产企业努力寻找替代品，添加酶制剂成为首选的措施。”酶制剂的第二个作用是通过消除饲料中抗营养因子，能够提高饲料原料特别是非常规饲料原料的利用率，开发新的饲料资源，对缓解饲料资源短缺显示了很大的潜力。同时，酶制剂通过提高营养物质特别是氮和磷的消化利用，可以有效地减少饲料成分大量排放造成的养殖业环境污染，这是酶制剂使用的第三方面的好处。除酶制剂外，还没有哪一类饲料添加剂同时具有这三方面的功用。因此，酶制剂在饲料工业中的有效应用，使得饲料工业和养殖业安全、高效、环保和可持续发展成为可能。

近年来，饲料酶制剂一直是国内外动物营养研究的热点之一，也是生物技术在饲料工业和养殖业应用最活跃的领域。不管是在研究的学术层面，还是在应用的技术层面，都取得了瞩目的结果，积累了不少的经验，研究和应用报道很多。饲料酶制剂领域发展很快，过去几年的热点是木聚糖酶和植酸酶，这两种酶在提高日粮的整体的消化利用方面的作用已经得到肯定。长期以来，一直认为典型的玉米-豆粕型日粮不存在消化的问题，但最近的研究表明，这类日粮通过特殊的酶制剂仍然有改善利用效率的空间， α -半乳糖苷酶就是一种提高玉米-豆粕型日粮利用并被越来越多人关注的新型酶制剂。这说明酶制剂的研究和推广应用在不断深入，同时一些新型的、有特色的专用酶制剂也受到重视。

饲料酶制剂的研究开发和推广应用存在不少的误区和混乱，也面临一系列的问题。越来越多的证据表明，饲用酶制剂的应用，对

传统的动物营养学说提出了挑战。例如，现有的饲料原料数据库和动物营养需要参数可能不完全适合使用酶制剂的日粮配方设计，酶制剂对饲料原料营养价值的全面提高将直接影响饲料原料的选择和营养成分配比，是否可以建立一套新的加酶营养体系值得重视。此外，饲料酶制剂研究与应用还要注意下面八个方面问题：(1) 酶制剂之间的互作效应；(2) 酶制剂在饲料调质加工过程中是否能产生作用；(3) 酶制剂在动物消化道是否能降低热增耗和基础代谢；(4) 不同酶制剂酶活检测结果的比较；(5) 全价饲料中酶制剂的酶活检测；(6) 酶制剂在温度相对比较低的水产动物消化道内是否能发挥作用；(7) 如何确定酶制剂最适用量；(8) 酶制剂实验室耐温试验是否反映实际饲料加工耐温情况。

有鉴于此，有必要及时总结和交流，探讨酶制剂的作用机理、酶制剂在畜禽和水产饲料中应用的效果及酶制剂使用的影响因素等学术问题以及饲料酶制剂产品的开发等有关技术问题。本书内容分为饲料酶制剂应用概述、复合酶制剂、木聚糖酶、纤维素酶、植酸酶、其他酶制剂和酶制剂生产与质量控制等七个部分。酶制剂在饲料工业中的应用既有重要的理论性，又有很强的实用性，是动物营养学、动物生理学、动物生物化学、微生物学、生物工程学和酶工程学等多学科的交叉学科，涌现了不少新理论、新观点、新技术和新方法。本书旨在给同行提供一本专业参考材料，以此推动饲料酶制剂研究和推广的进一步发展。

本书在编辑出版过程中，得到了国内外同行的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。为了力求内容的系统性、体例一致，对部分文章作了适当删节、修改和文字加工。由于学识水平和时间所限，错误之处在所难免，敬请同行专家批评指正。

冯定远

2005年10月6日于广州

目 录

饲料酶制剂应用概述

饲料酶制剂理论与实践的新理念

- 加酶日粮 ENIV 系统的建立和应用 冯定远, 沈水宝 (1)
- 饲用复合酶应用的回顾与展望 汪 傲 (14)
- 酶制剂的适当选择与高效使用 禹于明, 彭玉麟 (30)

复合酶制剂

- 饲料中抗营养因子及复合酶制剂的应用效果 计 成, 杨久仙 (38)
- Feed Enzymes in Poultry and Swine Nutrition Francisco Puchal, Josep Mascarell (44)
- 外源酶对仔猪消化道发育及消化系统酶活性的影响 沈水宝, 冯定远 (55)
- 酶制剂对饲料配方设计的潜在影响 许 毅, 周岩民, 王 恬 (65)
- 酶制剂及其底物的研究进展 刘 涛 (71)
- 饲料酶制剂的潜在营养价值 李 祥, 段红伟, 于 锋 (81)
- 饲料中黏性多糖及多糖酶的应用研究进展 钱利纯, 许梓荣, 孙建义 (87)
- 影响饲用酶制剂应用效果的一些探讨 邓君明, 张 曦, 郭荣富 (93)
- 酶制剂在畜禽业中应用的必要性及存在的问题 谭会泽, 冯定远 (100)
- 影响非淀粉多糖酶在畜禽日粮中应用的因素 于旭华, 冯定远, 左建军 (105)

酶制剂在饲料工业中的应用

APPLICATION OF ENZYMES IN THE FEED INDUSTRY

不同仔猪酶制剂对仔猪生产性能的影响	何四旺, 左建军 (113)
复合酶制剂对仔猪血液生理生化指标的影响	管武太, 刘朝亮 (119)
复合酶制剂在仔猪玉米-豆粕日粮中应用效果的研究	周利芬, 付五兵, 沈建新 (127)
外源酶对仔猪消化系统淀粉酶活性的影响	沈水宝, 冯定远 (134)
不同能量水平小麦日粮添加 NSP 酶制剂对肉鸡生产性能的影响	曾容愚, 张莉莉, 王 恬 (142)
液态复合酶对黄羽肉鸡生产性能的影响	周利芬 (149)
复合酶制剂对肉鸡生产性能及小肠酶活的影响	习海波, 姚军虎, 陈新科 (154)
厌氧真菌粗酶制剂对肉鸡肠道微生物及食糜黏度的影响	周利芬, 毛盛勇, 朱伟云 (160)
复合酶对产蛋鸡日粮潜在营养价值的研究	袁 玫, 姚军虎, 陈新科 (166)
复合酶制剂对内蒙古半细毛羯羊瘤胃发酵功能的影响	瞿明仁, 唐志强, 卢德勋等 (171)
反刍动物酶制剂适宜配比及添加量的研究	瞿明仁, 唐志强, 卢德勋等 (176)
复合酶制剂对草鱼鱼种生长性能及肠道酶活的影响	黄 峰, 施培松, 文 华等 (182)
酶解大豆抗原蛋白及其对仔猪生产性能影响的研究	王之盛, 况应谷, 周安国等 (192)

木聚糖酶

木聚糖酶的理化特性、作用机理及其功能	詹志春, 苏纯阳 (199)
新一代的饲用酶制剂——细菌性木聚糖酶	詹志春, 程学慧, 苏纯阳 (205)
细菌来源和真菌来源阿拉伯木聚糖酶的酶学性质	于旭华, 冯定远, 黄志毅 (214)
木聚糖酶的研究和工业生产及其在饲料中的应用	侯炳炎 (220)
木聚糖酶作用的分子营养及内分泌机理初探	王修启 (226)
真菌性和细菌性木聚糖酶对小麦型日粮营养物质体外消化率的影响	于旭华, 冯定远 (236)
丝状真菌木聚糖酶的组成和性质研究	吴 克, 蔡敬民, 潘仁瑞等 (243)
中性木聚糖酶产生菌 <i>Bacillus subtilis</i> T15 的产酶诱导条件研究	胡叶碧, 付五兵, 欧明阳等 (248)

纤维素酶

不同来源纤维素酶的酶活最适条件研究	黄燕华, 冯定远 (252)
-------------------------	----------------

黑曲霉液体发酵分泌纤维素酶系特性的研究	戴四发, 贺淹才, 谢德镛等 (260)
饲用纤维素酶及其应用研究进展	吕东海, 周岩民, 李如治 (266)
纤维素酶的酶学特性	黄燕华, 冯定远 (272)
纤维素酶在奶牛营养中的应用	方俊, 卢向阳, 蒋红梅等 (279)
纤维素酶生产的研究进展	陈清华, 冯钦龙, 周辉 (284)
纤维素酶在家禽日粮中的应用机理及影响应用效果的因素	黄燕华, 冯定远, 黄志毅 (292)

植酸酶

植酸酶的生产及应用研究进展	李路胜, 冯定远, 左建军 (299)
饲用植酸酶蛋白质工程研究进展	詹志春, 卢玉发 (310)
中性植酸酶在水产养殖中的应用及其基因工程研究进展	付石军, 孙建义, 陈艳 (315)
不同植酸酶对仔猪生产性能的影响	何四旺, 左建军 (322)
低磷日粮添加植酸酶对生长猪生产性能和血液指标的影响	胡晓飞, 林东康, 李春群等 (328)
植酸酶及其在水产养殖中的应用研究	訾乃涛, 孙建义, 常巧玲 (333)
植酸酶对鸡生产性能和养分利用影响的研究进展	计成, 何欣 (339)
低磷日粮中添加植酸酶对肉鸡骨骼质量的影响	冯定远, Clementine Camara, 颜惜玲 (348)
低磷日粮中添加植酸酶对肉鸡生产性能的影响	颜惜玲, Clementine Camara, 冯定远 (354)

其他酶制剂

α -半乳糖苷酶在饲料中的应用	成廷水, 吕于明, 冯定远 (363)
Evaluation of the Effective Optimal Dose of α -galactosidase in Corn and Soya-Based Diets for Growing-Finishing Pigs	F. Baucells, J. Morales, J. F. Pérez, et al (374)
α -半乳糖苷酶 (速美肥 SB) 对饲喂玉米-豆粕型日粮生长猪生产性能的影响	冒高伟, 冯定远 (380)
β -葡聚糖酶及其在畜牧生产中的应用研究	周灿, 陈清华, 冯钦龙 (386)
β -甘露聚糖酶在饲料中的应用研究	周响艳, 冯定远, 谭会泽 (395)
果胶酶在养殖业上的应用	许毅, 周岩民, 王恬 (401)

酶制剂生产与质量控制

微生物饲料酶的开发和应用	赵德英, 茆亚青, 任德胜 (406)
固态发酵复合酶最佳工艺条件的研究	刘德海, 安明理, 王红云等 (412)
非淀粉多糖酶在饲料加工过程中的作用	周利芬, 付五兵, 刘宝龙 (418)
饲料加工工艺对酶制剂活性的影响	许 毅, 周岩民, 王 恬 (425)
评价饲料酶质量的几种指标	陆文清 (431)
体外酶解法评定酶制剂应用效果的研究	王前光, 贺建华, 刘朝干 (436)

饲料酶制剂理论与实践的新理念

——加酶日粮 ENIV 系统的建立和应用

冯定远，沈水宝*

(华南农业大学动物科学学院，广州 510642)

20 世纪 50 年代人们已经认识到酶制剂在饲料中添加的作用，80 年代开始在饲料工业中应用酶制剂。到了 20 世纪 90 年代中期，酶制剂在饲料工业中的应用得到了普遍认可。1996 年，在欧洲，80% 的肉鸡饲料（使用麦类等黏性谷物为能量来源）使用了相应的酶制剂，从此强化和加快了饲料产业对新技术的应用。从全球范围来看，大约 65% 的含有黏性谷物的家禽饲料中添加了饲料酶制剂，而在猪饲料中应用比例要低得多，不到 10%。10 多年来，尽管酶制剂在畜禽饲料中应用的这项技术已有了长足的发展，但迄今为止，全球所有单胃动物饲料仅有 10% 左右使用了酶制剂，总价值约 1.5 亿美元。所以 Sheppy (2004) 特别指出：“饲料酶产业界质疑：饲料酶的发展为什么不能更快些？尤其是那些已经显示出良好商业前景的饲料酶。由饲料业界给出的解释是：饲料酶在使用过程中受到如下薄弱环节的制约——标准化、公开有效的质量控制体系、良好的热稳定性、更加准确的液体应用系统、较为明确的技术信息公示，以及使生产性能反应更加一致的产品。显然，饲料酶应用技术发展的潜力巨大，任重道远”。本来，欧盟最先颁布了饲料中禁止使用某些抗生素作为促生长剂这个决定迫使饲料生产企业努力寻找替代品，添加酶制剂成为首选的措施，但实际情况并未如人们所期望的那样，特别是在猪饲料中使用酶制剂并不普遍。的确，其中的原因很多，但最重要的原因可能是添加酶制剂以后，原来的饲料数据库和动物营养需要参数并不适合实际情况。

1 饲料酶制剂应用提出的问题

越来越多的证据显示，饲用酶制剂的应用，对传统的动物营养学说提出了挑战，如饲料配方、原料选择和营养需要量等方面需要重新研究或修正 (Sheppy, 2004)。酶制剂作为一种功能复杂的生物活性成分，是一种高效、专一的生物催化剂，它既不直接提供营养成分（如维生素），又与营养成分的利用直接有关。原来的研究所得出的数据可能不一定反映出各种饲料原料在酶制剂催化以后的有效营养价值，现有的饲料原料数据库甚至饲养标准可能不完全适合使用酶制剂的日粮配方设计。这种不适应情况表现在如下几个方面：(1) 从理论上讲，不管是直接提高营养成分消化率的酶制剂（如蛋白酶和淀粉酶等），还是间接提高饲料营养消化利用的酶制剂（如木聚糖酶和 β -葡聚糖酶等），都不同程度提

* 现工作单位：四川新希望集团

高了消化道总的有效营养供应量，这与没有添加酶制剂的情况不同；(2) 在实践应用中，如果按照原来的营养参数设计日粮配方，营养水平已经偏高的情况下，供给有效营养总量已经足够，再使用酶制剂的意义就不大，生产中也有可能不显示出效果。营养水平较高的玉米-豆粕型日粮中添加酶制剂没有明显效果 (Charlton, 1996)。在 Borja vila (1999) 的试验中，当日粮中的大豆粕含量增高到 60% 时，其代谢能和未加酶组相比无差异。该结果与 Leske 等 (1993) 的报道相一致。这说明有必要调整饲养标准；(3) 某些情况下，使用了酶制剂以后，动物的采食量反而下降 (不少情况是提高采食量)，过去一直不理解这一现象，因为酶制剂本身是蛋白质，没有任何有害的作用。一种合理的解释是：使用酶制剂提高了可利用 (有效) 营养的供应，特别是可消化能或代谢能，有时候，动物能够根据营养水平 (如代谢能水平) 调节采食量，相应地，动物将减少饲料的摄入量；(4) 在酶制剂应用中，由于饲料原料价格上涨，一般认为添加酶制剂将造成整个配方成本提高，使用酶制剂没有多少空间。的确，如果没有一套合适的营养消化率或总有效营养的数据库，酶制剂不像氨基酸和维生素这类被认为是必不可少的营养性添加剂，添加可能会被认为可有可无，额外添加只能增加饲料配方的成本；(5) 目前，有关饲料酶制剂行业，不论是酶制剂产品开发还是酶制剂在日粮中应用，绝大部分都存在着盲目性，缺乏科学的依据，没有具体可以量化的指标或数据。特别是产品设计中酶的种类选择，酶活的比例确定，在具体日粮中的添加量等缺乏明确的根据。

大麦和小麦应用酶制剂是两个明显的例子。大麦是最早被重视使用酶制剂的谷物，经研究得出一个所谓“黄金定律”：“大麦 + β -葡聚糖酶 = 小麦”；而小麦是第二个研究对象，理论假设是：“小麦 + 阿拉伯木聚糖酶 = 玉米”。大麦营养价值如何等于小麦？而小麦又如何变成玉米？显然，大麦和小麦的潜在营养价值发掘以后，原来的营养价值体系并不适应添加酶的情况，需要建立另外一种系统。越来越多的人已经意识到酶制剂对有效营养的改善，并在应用时，调整日粮的饲养标准和降低营养水平。但是，这种调整的依据是什么？调整的幅度应是多少？是否可以在使用酶制剂时，它的效果可以预测和量化？

确定这部分额外的有效营养数量，是本系统提出和建立的出发点。当然，这里涉及到两个核心问题必须明确：第一是所使用的酶制剂必须有效，能发挥作用，而且有针对性；第二是由于额外有效营养的供应而降低日粮营养浓度，必须不影响饲料管理部门所设定的产品合格标准。换句话说，在有充分试验数据的基础上，涉及到加酶饲料的饲养标准有必要重新考虑甚至作出必要的修订；或者调整日粮的饲养标准和降低营养水平的饲料产品必须有产品标示和加注说明。

2 加酶日粮 ENIV 体系的概念

酶制剂对饲料原料营养价值的全面提高将直接影响饲料原料的选择和营养成分配比。因此，1992 年 Adams 就提出了酶制剂的“AEV” (表现能值) 的概念，然而这个概念并不全面，加上当时的研究数据有限，这一概念并没有形成一套有效的可操作的系统。酶制剂对饲料原料营养价值的提高首先最直接地反映在能量方面，尤其是非淀粉多糖酶的应用，但随着检测技术及代谢理论的进一步完善，酶制剂对其他营养成分如肽营养、矿物质和维生素营养等方面的作用亦可以用某种指标来表示。酶制剂的表现价值 (AV) 如能以一个固定的数值参与饲料配方设计，将使配方设计更灵活和更适合实际情况。目前，酶制剂对日粮整体价值的提高只能通过动物试验来确定，给予一定的系数来参与饲料配方的设计。

吕于明和彭玉麟 (2005) 也提到，如果酶制剂供应商能够在充分科学实验基础上提出某种酶制剂所能改进的饲料养分消化率的大小或相当的营养价值 (可以称作“营养改进值” (INV) 或“营养当量”

(NE)), 在制作配方时应用这些 INV 或 NE 对经典的饲养营养参数进行调整后再进行计算, 就可以达到较高的精准度, 实现真正的优化。这一概念的构思很有理论和实践应用价值, 但没有具体明确 INV 或 NE 的内涵, 只是提出了一种思路, 这说明了已关注到酶制剂应用的核心问题。

我们也曾思考这一问题 (冯定远, 2004), 初步提出了 DIF (Digestive Improvement Factor “消化改善因子”) 的概念, 并在实践中作了探讨, 取得一定的效果, 特别是在配方设计时, 在有效地降低成本方面得到饲料生产企业的认可。经过一段时间的实践和探讨, DIF 的概念并不完全准确, 原因是消化改进只是酶制剂作用的表现现象, 更重要的是能提供的额外有效营养量 (如代谢能)。

在原来概念和思路的基础上, 我们提出 “有效营养改进值” (Effective Nutrients Improvement Value, ENIV) 的概念, 并期望进一步完善而成为一种可应用、可操作的理论系统。在这一概念提出的过程中, 得到西班牙巴塞罗那自治大学饲料酶制剂研究专家 Puchal 教授的建议和所提供的数据资料的支持。

ENIV 系统是在总结国内外有关酶制剂研究基础上提出的, 同时我们的实验室也进行了大量的研究, 4 篇博士论文和 7 篇硕士论文研究酶制剂: 沈水宝的博士论文针对复合酶的应用 (沈水宝, 2002); 于旭华的博士论文针对木聚糖酶的应用 (于旭华, 2004); 黄燕华的博士论文针对纤维素酶的应用 (黄燕华, 2004); 左建军的博士论文针对有效磷和植酸酶的应用 (左建军, 2005); 杨彬的硕士论文针对纤维素酶的应用 (杨彬, 2004); 廖细古的硕士论文针对木聚糖酶在肉鸭日粮中的应用 (廖细古, 2005); 冒高伟的硕士论文针对 α -半乳糖苷酶的应用 (冒高伟, 2005); 克雷玛蒂尼的硕士论文针对植酸酶的应用 (克雷玛蒂尼, 1999); 于旭华、邹胜龙和黄俊文的硕士论文针对复合酶的应用 (于旭华, 2001; 邹胜龙, 2001; 黄俊文, 1998), 从不同角度进行了试验研究。冯定远等 (1997, 2000) 就木聚糖酶和阿拉伯呋喃糖苷酶对亚麻籽日粮作用效果进行了报道。同时也进行了许多综述分析和讨论 (冯定远和吴新连, 2001; 沈水宝和冯定远, 2001; 于旭华和冯定远, 2001; 冯定远和汪傲, 2004)。这些研究报道和综述讨论在一定程度上为 ENIV 系统的建立提供了思路和直接的依据。

3 加酶日粮 ENIV 系统建立的理论基础和试验根据

若不把日粮营养水平下降至常规饲养标准条件下的所谓 “理想营养水平” 以下, 外源酶使营养利用率的提高均不能反映动物真实情况。Schang 等 (1997) 和 Spring 等 (1998) 在营养浓度低于推荐标准的配合日粮中添加酶制剂, 其营养物质利用率显著提高, 而营养水平超过饲养标准时, 则营养物质利用率变化不显著。也就是说, 在使用有效酶制剂的情况下, 原来饲料原料的营养价值不适合实际情况, 有必要建立另外的营养价值体系, 而这种新的营养价值体系又是和原来的体系有关联的, 它只是相对地额外增加了有效营养供给量, 而绝对的营养量并没有改变, 这就是 ENIV 系统建立的基础。

在常规情况下, 任何饲料都不会被完全消化, 猪对饲料原料消化率为 75% ~ 85%。在动物饲料中添加酶制剂以提高消化率可以看作是动物消化过程的延伸。过去动物营养学界认为玉米是饲料原料的 “黄金标准” (Sheppy, 2004), 不存在消化不良性, 但是 Noy 和 Sklan (1994) 发现, 在理想状态下, 4 ~ 12 日龄肉鸡日粮中淀粉的回肠末端消化率很少超过 85%, 添加淀粉酶可以使淀粉在小肠中得到更快的降解。断奶仔猪添加淀粉酶及一些其他酶, 可以改善营养物质消化吸收。

添加外源酶制剂降解了单胃动物本来不能利用的一些多糖, 从而提高日粮的代谢能值, Vila (2000)、McNab 等 (1993)、Silversides (1999)、Zanella 等 (1999) 的试验中, 酶制剂对日粮代谢能有不同程度的提高, 提高幅度与具体提供日粮成分和酶制剂配比及浓度有关。添加外源酶制剂不仅有利于提高日粮中多糖的消化率, 而且也有利于提高蛋白质的消化率。Puchal (2002)、Pack 等 (1997)、Michael (1999) 等的试验中酶制剂对日粮粗蛋白消化率有不同程度的提高, 而且对低氨基酸水平日粮

的作用显著高于高氨基酸水平的日粮。

麦类日粮是添加酶制剂改善其营养价值研究最多的日粮,这主要是由于麦类日粮含有抗营养因子如阿拉伯木聚糖或 β -葡聚糖等水溶性非淀粉多糖,水溶性非淀粉多糖可以降低饲料的表观代谢能(AME)。在麦类日粮中添加非淀粉多糖酶则可以提高它的代谢能值,小麦主要含有阿拉伯木聚糖,大麦主要含有 β -葡聚糖,相应分别添加阿拉伯木聚糖酶和 β -葡聚糖酶则可以提高它的代谢能值。Bedford等(1992)在对肠道中食糜黏性的检测中发现,食糜黏性同日粮类型和阿拉伯木聚糖酶的添加量之间存在着较强的互作关系,麦类添加量的增加,黏度也增加,而木聚糖酶则降低食糜的黏度,饲料转化率同黏度的回归关系为: $FCR = 1.507 + 0.0075X$ 。Annison和Choct(1991)研究表明,小麦中的可溶性非淀粉多糖与日粮表观代谢能量呈现最显著线性相关。汪傲等(1997)报道,小麦或次粉日粮中添加0.1%以木聚糖酶和 β -葡聚糖酶为主的酶制剂提高了日粮的表观代谢能值(AME),小麦AME值提高6.6%,次粉日粮AME值提高1.5%。小麦日粮中添加以木聚糖酶为主的复合酶可以提高鸡的表观代谢能(AME)和养分消化率,降低食糜黏度(Klis等,1995;Sanna Steinfeldt等,1998)。代谢试验研究表明,木聚糖酶提高小麦基础日粮肉鸡生产性能,关键是提高了日粮的AME。Choct等(1995)向饲喂含低代谢能的小麦日粮添加木聚糖酶制剂,肉仔鸡日粮AME增加24%,FCR改善25%。代谢能随日粮中戊聚糖含量的增加而降低,而这种ME值降低在补充木聚糖酶后而显著改善(Danicke,1999)。Choct等(1993)建立了一种方法来区分AME含量很低和普通AME含量的小麦浸提物的黏度,此后很多研究证实了这种方法对预测家禽日粮营养价值的有效性。

Choct等(1990)在比较其中包括小麦、黑麦、小黑麦、大麦、高粱、大米和玉米7种日粮的AME时发现,各种饲料原料的AME与其中阿拉伯木聚糖含量之间存在着强的负相关关系,相关系数为-0.95。随后的分析发现,各种饲料原料的AME与其中总的非淀粉多糖(阿拉伯木聚糖和 β -葡聚糖之和)含量之间也存在着强的负相关关系,相关系数为-0.97。Annison(1991)在高粱-豆粕日粮中添加5、10、20和40 g/kg的小麦木聚糖提取物后,3周龄肉仔鸡饲料AME从15.05 MJ/kg分别下降到15.0、14.7、13.3和12.48 MJ/kg,日粮中小麦木聚糖提取物的含量与饲料的AME之间具有明显的线性关系,小麦和小黑麦中的代谢能与其中所含的阿拉伯木聚糖呈负相关。阿拉伯木聚糖对肉鸡饲料AME的降低主要是由于其中可溶性的部分造成的。Flores等(1994)的试验证明,8个小黑麦品种的氮校正真代谢能与其中水溶性非淀粉多糖(NSP)之间有 $TME_n = 15.6 - 0.016 \times NSP$ 的关系。Austin等(1999)在对12种英国小麦的调研后发现,小麦代谢能与小麦中的可溶性的非淀粉多糖等3个指标相关。添加外源酶制剂不仅有利于提高日粮的能量消化率,而且还有利于提高蛋白质的消化率。在王修启(2005)的研究中,通过分子营养的方法,探讨了酶制剂提高表观代谢能的机理,说明了酶制剂可提高可利用营养(有效能、可消化蛋白或真可消化氨基酸等)的总量。木聚糖酶显著增加肠系膜静脉对葡萄糖的吸收,肠系膜静脉血清中葡萄糖的含量提高5.56% ($P < 0.05$),在葡萄糖的吸收转运过程中,起主导作用的是SGLT1,葡萄糖吸收的增加与SGLT1表达的增加密切相关。

玉米-豆粕型日粮历来被看作是典型日粮或标准日粮,一般认为添加酶制剂效果不明显,使用酶制剂意义不大。尽管研究开发玉米-豆粕型日粮酶制剂不像麦类日粮酶制剂那么顺利而耗费很多,然而,越来越多的证据表明这种所谓“黄金日粮”也可以通过酶制剂而改善其营养价值,1996年开始成功应用玉米-豆粕型日粮酶制剂(Sheppy,2004)。由于酶制剂在玉米-豆粕型日粮应用效果不如麦类日粮明显,专门的玉米-豆粕型日粮酶制剂成本等因素使得玉米-豆粕型日粮加酶并不十分普遍,肉鸡饲料仅为5%左右。尽管如此,这说明了玉米-豆粕型日粮添加酶制剂还是有潜力的。

一般认为,含非淀粉多糖低的玉米对一般的非淀粉多糖酶不敏感,然而,Pack和Bedford(1997)以及Pack等(1998)的研究表明,含有淀粉酶、木聚糖酶和蛋白酶的复合酶制剂对玉米-豆粕型日粮营

养价值有一定作用,可提高其中玉米的可利用能2%~5%。Schang等(1997)研究复合酶制剂(蛋白酶、纤维素酶、戊聚糖酶、 α -半乳糖苷酶和淀粉酶组成)在肉仔鸡玉米-豆粕型日粮和玉米-全脂大豆粉日粮中的效果,结果表明,对高营养浓度日粮不显著,而低营养浓度显著提高增重。Spring等(1998)也显示低营养水平显著改善仔猪饲料效果。另外一种提高玉米营养价值的方法是使用植酸酶。

大豆饼粕中仅70%左右的总能可被家禽利用,而仅55%左右的大豆总能可被雏鸡所利用,其中大豆寡糖(主要是 α -半乳糖苷寡糖如棉子糖和水苏糖)是导致大豆饼粕能量利用率下降的主要原因之一。在以豆粕为基础的肉鸡日粮中添加 α -半乳糖苷酶,可以明显提高代谢能和氮的消化率。用加酶豆粕代替常规豆粕进行日粮配方时,代谢能和可利用氨基酸的利用率至少可以提高5%~10%(Puchal, 2000)。Pack等(1997)和Zanella等(1999)在玉米-豆粕型日粮中添加酶制剂使蛋白质消化率分别提高了2.2%和3.6%。Michael(1999)发现低氨基酸水平日粮对酶的添加有很大反应,表明酶提高了氨基酸的利用。Veldman等(1993)研究发现玉米-豆粕型日粮添加 α -半乳糖苷酶后, α -半乳糖苷的消化率从57%上升到93%。Baucells等(2000)报道,含豆粕的生长猪日粮中添加 α -1,6-半乳糖苷酶(0.08 U/kg),肉料比改善6%;而在含豆粕的肥育猪日粮中添加相同的酶增重提高16%,肉料比改善9%,干物质和蛋白质的消化率分别改善2.8%和12.5%。研究还证明,猪日粮添加 α -半乳糖苷酶可以降低食糜黏度、改善营养物质的消化(Rackis, 1975)。

西班牙 Barcelona Autonomia 大学用肉仔鸡研究了 α -半乳糖苷酶的两个添加水平对玉米-豆粕型日粮的能量、粗蛋白及其他营养物质利用率的影响,结果表明添加酶制剂使日粮的代谢能提高了5%,氮的存留率提高了10%以上(Vila等, 2000)。王春林(2005)的研究表明玉米-豆粕型日粮添加 α -半乳糖苷酶显著提高肉仔鸡的 TME_n 以及Met和Cys的真消化率,以及DM、OM、Ca和P的表观消化率,其结果与Brenes等(1993)的研究结果一致。Ao等(2004)研究发现豆粕中添加 α -半乳糖苷酶可以增加单糖的释放(in vitro),增加肉仔鸡NDF消化率和日粮 AME_n 。Ghazi等(1997a, b)所做的两次试验都表明, α -半乳糖苷酶提高了肉鸡豆粕的氮存留和TME值。Knap等(1996)研究表明, α -半乳糖苷酶显著提高了去皮豆粕 TME_n 。Slominski等(1992)通过体内外试验证明, α -半乳糖苷酶与转化酶(蔗糖酶)协同水解棉子糖和水苏糖的效果比单一酶好。以 α -半乳糖苷酶为主的复合酶,用于肉鸡商品玉米-豆粕型日粮,可以提高饲料效率1%~10%,研究结果表明 α -半乳糖苷酶制剂提高了营养素的分配效率,有节省蛋白质和合成氨基酸的作用。1998年,巴塞罗那兽医学院动物生产系用含 α -半乳糖苷酶的复合酶制剂Caposozyme SB在肉仔鸡试验,加酶组在配制日粮时将豆粕的代谢能和可消化氨基酸的水平分别提高5%、10%和15%。由此可见,由于 α -半乳糖苷酶的添加提高了豆粕中 α -半乳糖苷的消化,从而改善能量和蛋白的利用。Kim等(2001)在含豆粕的乳仔猪日粮中添加含 α -半乳糖苷酶的复合酶制剂,总能消化率改善7%,赖氨酸、苏氨酸和色氨酸的消化率提高3%,饲料效率提高11%。

其他饲料原料方面,棉籽、葵花籽和菜籽中含有较高水平的 α -半乳糖苷(2%~9%)以及非淀粉多糖(特别是木聚糖),这类籽实及其副产品日粮使用含有阿拉伯木聚糖酶和 α -半乳糖苷酶的复合酶制剂,从理论上讲,均可提高营养的利用。菜籽粕中含有大豆寡糖,棉子糖和水苏糖的含量在2.5%左右(Slominski和Campbell, 1991)。Slominski等(1994)用产蛋鸡和成年公鸡做试验,发现低寡糖的双低菜籽粕非淀粉多糖的消化率显著高于普通双低菜籽粕。Bedford和Morgam(1995)研究了双低菜籽粕(Canola meal)单独添加木聚糖酶,提高肉鸡的生产性能。Gdala等(1997a, b)报道在羽扇豆日粮中添加 α -半乳糖苷酶使 α -半乳糖苷类寡糖的猪回肠末端消化率从80%提高到97%,效果显著,同时酶的添加也明显提高了干物质、能量和大部分氨基酸的回肠末端表观消化率。Annison等(1996)研究含有木聚糖酶的复合酶制剂能显著提高羽扇豆的表观代谢能(AME)。Stanley等(1996)使用含有蛋白酶、阿拉伯木聚糖酶、纤维素酶、 β -半乳糖苷酶和淀粉酶组成的复合酶均可明显提高肉鸡棉粕日粮的饲料转

化效率,棉粕用量分别为7.5%、15%和30%。冯定远等(2000)就木聚糖酶和阿拉伯呋喃糖苷酶对亚麻籽日粮作用效果进行了报道。总的来说,豆粕以外的饼粕类日粮使用酶制剂的报道不多,特别是添加酶制剂改善这类非常规饲料原料的营养价值的资料较少,有关这类饲料原料的加酶 ENIV 值更多是一种估计,需要进一步研究进行修正。

4 常见植物饲料原料 ENIV 值的估计

影响酶制剂使用效果的因素有很多,主要有:(1)酶制剂的种类和活性比例;(2)饲料原料的营养和抗营养特性;(3)动物的种类和生理阶段。我们根据这些因素作为饲料原料 ENIV 值的确定的条件。

4.1 估计 ENIV 值考虑的酶制剂种类

有关不同日粮所使用的酶制剂的种类的研究很多,酶制剂的种类决定了所提高的有效营养量,根据大量的研究报道,常见植物饲料原料使用的酶制剂的综合情况如下:①玉米型的酶制剂:由淀粉酶、阿拉伯木聚糖酶、蛋白酶和纤维素酶组成的复合酶;②豆粕型的酶制剂:以 α -半乳糖苷酶为主,同时含有阿拉伯木聚糖酶及其他酶的 α -半乳糖苷酶单酶或复合酶;③小麦型的酶制剂:以阿拉伯木聚糖酶为主,同时含有纤维素酶及其他酶的阿拉伯木聚糖酶单酶或复合酶;④小麦麸和次粉型的酶制剂:以阿拉伯木聚糖酶和纤维素酶为主,同时含有其他酶的复合酶;⑤大麦型的酶制剂:以 β -葡聚糖酶为主,同时含有阿拉伯木聚糖酶和纤维素酶及其他酶的 β -葡聚糖酶单酶或复合酶;⑥菜籽粕型的酶制剂:以阿拉伯木聚糖酶和纤维素酶为主,同时含有其他酶的复合酶。⑦棉籽粕型的酶制剂:以纤维素酶和阿拉伯木聚糖酶为主,同时含有其他酶的复合酶;⑧稻谷型的酶制剂:以阿拉伯木聚糖酶和纤维素酶为主,同时含有其他酶的复合酶;⑨米糠型的酶制剂:以阿拉伯木聚糖酶和纤维素酶为主,同时含有其他酶的复合酶;⑩花生粕型的酶制剂:以纤维素酶和阿拉伯木聚糖酶为主,同时含有其他酶的复合酶;⑪向日葵粕型的酶制剂:以纤维素酶和阿拉伯木聚糖酶为主,同时含有其他酶的复合酶。另外,所有植物饲料原料同时或单独添加植酸酶都有一定的改善有效营养价值的效果。

4.2 估计 ENIV 值考虑的饲料原料的营养和抗营养特性

饲料原料的营养和抗营养特性方面,目前营养方面考虑最多的是蛋白质、淀粉和粗纤维含量和种类(见表1),而抗营养因子主要考虑非淀粉多糖(见表2)和特别的寡糖,例如,谷物的戊聚糖(主要是阿拉伯木聚糖)和 β -葡聚糖等多聚糖以及 α -半乳糖苷寡糖。前面已讨论了通过抗营养因子可以预测添加酶制剂提高有效营养的数值,这也是估计使用相应酶制剂的饲料 ENIV 值的理论基础。当然,根据原料或日粮抗营养因子含量估计使用相应酶制剂的饲料 ENIV 值不可能这么简单。例如,根据原料或日粮 NSP 含量预测添加 NSP 酶改善 AME 的程度的实用性仍有很大争议。正如 Choct (2004)所指出的那样,日粮 NSP 含量,可能用于预测日粮需要添加的酶制剂量。

但在目前的条件下,通过抗营养因子预测和估计添加酶制剂提高有效营养的数值(ENIV 值)仍然为酶制剂应用提供了一种方法和手段,初步建立的 ENIV 系统和所制定的饲料原料 ENIV 值,可以通过不断的研究试验和实际应用效果的检验而得以修改、补充和完善。这也是 ENIV 系统的提出和建立的出发点。

表 1 主要植物性原料营养成分及抗营养成分含量 (%)

成分	玉米	小麦	小麦麸	次粉	米糠	豆粕	去皮豆粕	菜籽粕	棉籽粕
蛋白质	8	11	16	16	12	42	48	36	38
淀粉	64	56	20~40	10~20	16~23	1	1	7	3
粗纤维	2.5	4.5	8	11	9	6	4	11	10
细胞壁成分	6.9	16.4	27.4	38.6	20.5	27.5	22	34	32
β -葡聚糖	—	4	14	20	10	1.4	1.2	—	—
阿拉伯木聚糖	4.4	6.5	8	11	6	6	4	4	9
纤维素	2	3.9	3.5	5.8	4.5	10.3	6	8	12
木质素	0.5	2	—	—	—	1	—	11	7
果胶	—	—	—	—	—	11.5	11	11	4

表 2 主要谷物及豆类中非淀粉多糖 (NSP) 的类型及含量 (% , DM)

原料	总 NSP	不溶性 NSP	可溶性 NSP	主要的 NSP
小麦	11.4	9.0	2.4	戊聚糖
大麦	16.7	12.2	4.5	β -葡聚糖
黑小麦	16.3	14.6	1.7	戊聚糖
玉米	8.1	8.0	0.1	纤维素等
高粱	4.8	4.6	0.2	果胶、戊聚糖
豆粕	19.2	16.5	2.7	半乳糖、果胶
菜籽粕	46.1	34.8	11.3	果胶、戊聚糖
豌豆	34.7	32.2	2.5	果胶、戊聚糖

4.3 估计 ENIV 值应考虑动物的种类和生理阶段

尽管近年来有关反刍动物和水产动物使用酶制剂的报道增多,对反刍动物和水产动物使用酶制剂的效果和经济效益的看法很不一致,相对猪与禽的效果不太明显,特别是水生动物方面,作为变温动物,水产动物消化道温度一般比较低,甚至有人质疑外源酶是否能发挥作用。而反刍动物瘤胃微生物能产生各种酶,一般不需要额外添加酶制剂。当然,在集约化、高采食量和某些应激条件下,高产奶牛使用一些酶如纤维素酶和阿拉伯木聚糖酶等可能是有益的。目前一般多考虑猪与禽使用酶制剂的情况,同样,这两种动物使用酶制剂的效果也很不相同。一般认为,家禽使用酶制剂的效果更明显,在肉鸡饲料中添加酶的产出投入比例超过 2:1 (Sheppy, 2004)。相对地,猪日粮中使用酶制剂的情况比较复杂,这部分与它们的消化生理有关,因为外源酶的最佳 pH 值不同,肉鸡的嗉囊使得一些酶在进入 pH 值低的肌胃以前,首先在相对高的 pH 值环境 (pH 值约 6.0) 中表现较高的活性和发挥了作用。

酶制剂使用另外一个考虑的因素是动物的年龄和生理阶段。一般地,幼年动物更需要补充内源酶的不足,也就是说,所使用的复合酶一般含有蛋白酶、淀粉酶甚至脂肪酶;而成年动物更多的考虑是纤维素酶和阿拉伯木聚糖酶这一类的非淀粉多糖酶组成的复合酶,甚至直接使用单酶。

根据以上因素,在综合有关报道的基础上,建立了常见植物能量和蛋白质饲料原料使用相应酶制剂的 ENIV 值 (见表 3 和表 4)。其中代谢能值和粗蛋白值是根据中国饲料成分及营养价值表 2004 年第 15 版的原料数据库,代谢能 ENIV 值和蛋白质 ENIV 值为估测值。

表 3 常见植物能量饲料原料使用相应酶制剂的 ENIV 值

原料		营养指标					
		代谢能 (kcal/kg)			粗蛋白 (%)		
		代谢能值 *	加酶改善程度 (%)	代谢能 ENIV 值 **	粗蛋白值 *	加酶改善程度	蛋白质 ENIV 值 **
玉米	鸡	3 220	1.0 ~ 2.3	30 ~ 75	7.8	8 ~ 15	0.6 ~ 1.2
	猪	3 200	1.1 ~ 2.8	35 ~ 90			
小麦	鸡	3 040	4.0 ~ 6.3	120 ~ 190	13.9	9.5 ~ 18.2	1.3 ~ 2.5
	猪	3 160	3.0 ~ 4.7	90 ~ 150			
小麦麸	鸡	1 630	5.0 ~ 7.4	80 ~ 120	15.7	9 ~ 15	1.4 ~ 2.4
	猪	2 080	3.4 ~ 4.8	70 ~ 100			
次粉	鸡	2 990	3.0 ~ 4.5	90 ~ 135	13.6	9 ~ 15	1.2 ~ 2.0
	猪	2 990	3.0 ~ 3.7	90 ~ 110			
大麦	鸡	2 680	4.1 ~ 6.9	110 ~ 185	13.0	7.5 ~ 13.8	1.0 ~ 1.8
	猪	3 030	4.2 ~ 6.6	130 ~ 200			
稻谷	鸡	2 630	1.9 ~ 4.2	50 ~ 110	7.8	3.8 ~ 9.2	0.3 ~ 0.7
	猪	2 540	2.4 ~ 3.7	60 ~ 95			
米糠	鸡	2 680	3.3 ~ 5.2	90 ~ 140	12.8	7.5 ~ 12.3	0.9 ~ 1.6
	猪	2 820	2.6 ~ 4.2	75 ~ 120			

注：* 中国饲料成分及营养价值表 2004 年第 15 版（下表同）。

** 根据已有的研究报道，结合饲料原料 ENIV 值的确定条件提出的估测值（下表同）。

表 4 常见植物蛋白质饲料原料使用相应酶制剂的 ENIV 值

原料		营养指标					
		代谢能 (kcal/kg)			粗蛋白 (%)		
		代谢能值	加酶改善程度 (%)	代谢能 ENIV 值	粗蛋白值	加酶改善程度	蛋白质 ENIV 值
豆粕	鸡	2 350	2.1 ~ 3.4	50 ~ 80	44.0	8.2 ~ 11.0	3.6 ~ 4.8
	猪	2 970	1.3 ~ 2.4	40 ~ 70			
菜籽粕	鸡	1 770	6.8 ~ 9.6	120 ~ 170	38.6	9.0 ~ 13.5	3.5 ~ 5.2
	猪	2 230	4.5 ~ 6.0	100 ~ 135			
棉籽粕	鸡	1 860	3.2 ~ 4.8	60 ~ 90	47.0	8.5 ~ 10.5	4.0 ~ 5.0
	猪	1 950	3.6 ~ 4.6	70 ~ 90			
花生粕	鸡	2 600	1.9 ~ 5.8	50 ~ 150	47.8	6.5 ~ 9.0	3.1 ~ 4.3
	猪	2 560	2.3 ~ 4.9	60 ~ 125			
向日葵仁粕	鸡	2 030	3.2 ~ 4.2	65 ~ 85	33.6	6.5 ~ 9.5	2.2 ~ 3.2
	猪	2 220	2.7 ~ 4.1	60 ~ 90			

5 加酶日粮 ENIV 体系的应用和意义

ENIV 系统的核心是各种饲料原料在添加特定酶制剂的情况下，可提供额外有效营养量，即 ENIV 值，在目前阶段，初步考虑饲料的代谢能 ENIV 值和蛋白质 ENIV 值。实际上，使用饲料酶制剂，特别

是非淀粉多糖酶制剂（包括木聚糖酶、 β -葡聚糖酶和纤维素酶）以及植酸酶，不仅改善能量和蛋白质的利用效率，提供更多有效营养，同时也改善其他营养如氨基酸、微量元素等的利用效率。ENIV 值不仅可以建立加酶饲料原料数据库（在充分研究的基础上），ENIV 值更直接的作用是在配方设计时考虑更能显示出酶制剂添加的功效（营养水平高的情况下，酶制剂效果可能显示不出来）。加酶日粮 ENIV 体系的应用主要包括三个方面：

5.1 加酶畜禽日粮配方计算

加酶日粮 ENIV 体系应用的最重要方面是加酶畜禽日粮配方计算，通过使用饲料原料的 ENIV 值，可以直接进行配方的计算，使酶制剂应用可以操作，可以量化。

举一具体的计算方法的例子，某肉鸡日粮配方为：玉米 65%，豆粕 22%，菜籽粕 5%，小麦麸 4%，预混料 4%。不添加酶制剂的情况下，玉米、豆粕、菜籽粕和小麦麸的代谢能分别为 3 220、2 350、1 700 和 1 630 kcal/kg，即日粮配方的代谢能为 2 760 kcal/kg。

如果使用专门的酶制剂，玉米、豆粕、菜籽粕和小麦麸的代谢能 ENIV 值分别为 50、65、145 和 100 kcal/kg，即玉米、豆粕、菜籽粕和小麦麸的总代谢能（原来代谢能 + 代谢能 ENIV 值）分别为 3 270、2 415、1 845 和 1 730 kcal/kg。以这一总代谢能（原来代谢能 + 代谢能 ENIV 值）重新计算配方，可以得到一新的日粮配方：玉米 62%，豆粕 21%，菜籽粕 6%，小麦麸 7%，预混料 4%。新配方的总代谢能（原来代谢能 + 代谢能 ENIV 值）为 2 766 kcal/kg。新配方的玉米和豆粕比例降低，而菜籽粕和小麦麸的比例提高，使用了更多的非常规饲料原料，这样一般可以降低配方的成本。同样，也可以考虑蛋白质的 ENIV 值并用于日粮配方的设计和计算。

5.2 专用酶制剂产品设计

加酶日粮 ENIV 体系也可以用于设计专用酶制剂产品，如果大量的研究和应用已经得到一组饲料原料使用相应酶制剂的 ENIV 值，其他生产酶制剂产品的厂家设计新的酶制剂所选择单酶的种类及其活性单位时，可以根据 ENIV 值作为一个重要的参照指标确定酶谱及其有效活性。例如，所使用的酶应该使玉米的代谢能 ENIV 值在 30 kcal/kg 以上，豆粕的代谢能 ENIV 值在 50 kcal/kg 以上，等等。

5.3 饲料原料营养价值的评定

加酶日粮 ENIV 体系同样可以评定饲料原料营养价值，根据饲料原料的代谢能 ENIV 值和蛋白质 ENIV 值的大小，可以分析饲料原料的营养价值。当然，这是一种参考的评定方法，ENIV 值代表了一种营养价值的潜力或潜在营养当量，当在有合适的酶的作用下，这种营养当量可以转变为真正的有效的、可利用的营养。代谢能 + 代谢能 ENIV 值或者粗蛋白 + 蛋白质 ENIV 值越大，饲料营养价值越高。

加酶日粮 ENIV 体系的意义是酶制剂能从饲料原料中释放出额外的有效营养成分，提高了饲料原料的利用效率。如果在设计日粮配方时，将这部分的额外有效营养的量考虑进去，可以降低日粮本身的营养浓度。其意义有：第一，可以降低饲料成本，提高饲料生产的经济效益；第二，可以合理利用和节约饲料资源，可以计算，如果普遍应用 ENIV 系统，每年可以节约大量的饲料原料；第三，还可以生产低污染、环保型日粮，有利于减少动物排泄物的营养成分（特别是氮和磷）对环境的影响。加酶日粮 ENIV 体系另外且是重要的一个意义是打破了传统动物营养概念的局限，有效地考虑了饲料的营养潜力，同时，建立了一个初步的可以量化的系统，为动物营养研究提供了新的思路。

当然，由于研究的局限和材料的缺乏，目前这种体系是不完善的，还存在不少的问题和错误。第一，专门性酶制剂是否有针对性，是否有效，这是关键的一点；第二，所估计的 ENIV 值是否符合实际