

# 外源酶在反刍动物营养中的应用

## Exogenous Enzyme Application in Ruminant Nutrition

汪 傲 中国农业科学院畜牧研究所

**Wang, Jing IAS, CAAS**

# 1. 历史 History

## ■ 反刍动物日粮中需不需要加酶？

反刍动物瘤胃微生物产生的纤维分解酶活性很高，需不需要加酶？  
外源酶能不能耐受瘤胃或小肠中的蛋白酶水解？

## ■ 20世纪60年代：

许多研究发现酶对反刍动物具有正效果。

但：效果不稳定

作用机理不清楚

酶十分昂贵

## ■ 20世纪90年代中期以后：

具有正效果的研究报告愈来愈多，作用机制的研究日渐增多  
外源酶的价格日渐便宜、酶活种类更多、设计更合理  
发现外源酶对瘤胃或小肠中的蛋白酶比较稳定

## 2. 反刍动物用酶的种类

### Sort of Enzymes for Ruminant

- 降解植物细胞壁的酶：
  - 纤维素酶 cellulase
  - 木聚糖酶 xylanase
  - $\beta$ -葡聚糖酶  $\beta$ -glucanase
  - 果胶酶 pectinase
  - 等 etc.
- 消化酶：
  - 蛋白酶 protease
  - 等 etc.

### **3. 外源酶对反刍动物生产性能的影响**

## **Production Responses to Exogenous Enzymes**

# A. 外源酶对肉牛生产性能的影响

## Beef Cattle

- 大量研究证明酶提高了肉牛的生产性能  
(Burroughs *et. al.*, 1960; Nelson and Damon, 1960; Rovics and Ely 1962; Krause *et. al.*, 1989; Boyles *et. al.* 1992; Beauchemin *et. al.*, 1995; Lewis *et. al.*, 1995; Stokes *et. al.*, 1995; Beauchemin and Rode, 1996; Treacher *et. al.*, 1996; Feng *et. al.* 1996; Weichenthal *et. al.*, 1996; Michal *et. al.*, 1996; Pritchard *et. al.*, 1996; Beauchemin *et. al.*, 1997; Hristov *et. al.*, 1997; McAllister *et. al.*, 1999 etc.)。
- 据文献不完全统计, ADG提高的幅度从6.8%—36%, FCR改善的幅度从6.0—21.2%。

## B. 外源酶对奶牛生产性能的影响

### Dairy Cattle

- 90年代中期后开展的大量试验（李新胜等，2001；唐新仁等，1999；Beauchemin *et. al.*, 1999；Kung, 1996；Lewis *et. al.*, 1995；Lewis *et. al.*, 1999；Rode *et. al.*, 1999；Sanchez *et. al.*, Schingoethe, 1999；Stokes等，1995；Yang *et. al.*, 1996；1999；Yang *et. al.*, 1999 etc.），说明添加奶牛酶制剂可显著增加产奶量。
- 产奶量 (milk production) 的幅度从4%-25%，乳脂率和乳蛋白含量也有不同程度的提高。

## C. 外源酶对羊生产性能的影响 Lambs

- 有报道绵羊精料中添加外源酶，**ADG** 提高 **42.2%**，**FCR**改善**29.7%**（韩增祥等，**2003**）。

## D. 外源酶对鹿生产性能的影响

### Deer

- 用压块时经酶处理的苜蓿和狗尾草饲喂鹿，鹿的FI提高10%，ADG提高30%  
(Beauchemin *et al.*,1995)。



# 4. 外源酶对饲料消化率消化率的影响

## Effects of exogenous enzyme on nutrient digestibility

酶对牛全消化道养分消化率的影响

Effects of exogenous enzyme on nutrient digestibility in total tract

序号 Number	动物 Animal	DM	NDF	ADF	CP	文献 Literature
1	奶牛 Dairy cattle	12%	20%	32%	13%	Rode <i>et. al.</i> ,1999
2	奶牛 Dairy cattle	65.7%- 66.6%				Yang <i>et. al.</i> ,2000
3	舍饲肉牛 Feedlot cattle			28%		Krause <i>et.al.</i> ,1998

# **5. 外源酶的作用机制**

## **Modes of Action**

## A. 外源酶对日粮前处理的影响

### Pre-consumption Effects

- 饲料加酶或青贮加酶后放置一段时间，可降解饲料中的**NDF**和**ADF**，释放出可溶性寡糖或单糖，可供反刍动物利用。
- 部分除去细胞壁中结构多糖形成的结构屏障，有利于饲料进入瘤胃后被消化。

## B. 外源酶在瘤胃中作用

### Effects in Rumen

- **直接水解作用(Direct Hydrolysis):** 外源木聚糖酶和纤维素酶的直接水解作用, 促进瘤胃内纤维素、半纤维素的消化。
- **协同水解作用(Synergism Hydrolysis):** 植物细胞壁多糖至少需要**21**种不同的酶来水解, 外源酶可协同瘤胃微生物消化饲料。阿拉伯木聚糖中的阿魏酸(**feruloyl**)和羟苯基丙烯酸基(**p-coumaryl**)紧密的交联结构中的酯键使植物细胞壁难以降解, 外源酯酶可协同瘤胃微生物酶断裂阿拉伯木聚糖中酯键形成的交联结构。
- **pH:** 瘤胃纤维素分解菌在低于**pH6.2**生长被抑制, 纤维素消化严重受影响。霉菌纤维素酶最适**pH**为**4.0-6.0**。由于奶牛和舍饲肉牛瘤胃有相当一段时间**pH**低于**6.0**, 补充外源纤维素酶就能提高瘤胃纤维素的消化。
- **非酶成分(Non-enzymatic Factors):** 粗酶制剂中的某些非酶成分可能和瘤胃微生物有协同作用。

## C. 外源酶对后瘤胃消化的影响

### Post-Ruminal Effects

- 有相当数量的外源酶能耐受瘤胃蛋白酶的消化而进入肠道，并在肠道中充分发挥作用其作用。
- 木聚糖酶可降低小肠食糜的粘性**1.2%-1.5%**，从而增加总消化道**DM**消化率。
- 外源酶也可能和大肠的微生物具有协同作用。

## 6. 影响反刍动物酶作用效果的因素 Factors Effecting Responses of Exogenous Enzyme

- 有多种因素影响酶对反刍动物的作用效果。这些因素可以影响到加酶**效果显著**、**效果不显著**或**无效**。

# A. 外源酶中酶的种类、活性和比例

## Sort, Activities and Proportion in Exogenous Enzyme

- 种类 (Sort)
- 活性 (Activities)
- 比例 (Proportion)

木聚糖酶酶活水平比纤维素酶酶活水平高时，肉牛的日增重提高**6%**，日采食量提高**11%**；反之，对肉牛的日增重和日采食量没有影响（**Beauchemin *et al.*, 1996**）。

## B. 酶添加剂量 Dose of Enzymes

酶添加剂量对生产性能的影响

Effects of Dose of Enzymes on Performance of Ruminant

添加剂量 Dose	产奶量 Milk Production	乳蛋白含量 Milk Protein	文献 Literature
2.0L/t	提高 (Increase) 6.8%	提高 (Increase) 7.8%	Sancher <i>et. al.</i> ,1996
5.0L/t	降低 (Decrease)		Sancher <i>et. al.</i> , 1996



## C. 酶加入饲料的时间

### Time When Enzymes are added to Feeds

- 酶加入饲料**2h**后饲喂，青贮玉米的消化率及**VFA**的产量最高。喂前用酶处理苜蓿**3-24h**，可提高瘤胃培养中的细菌数和离体**DM**消失率。
- 但大多数研究报道，酶加入饲料后立即饲喂，不仅使用方便，同时也能取得很好的效果。

# D. 酶添加方式的影响

## Method of Application

### 一 酶溶液喷洒到精料上 Spraying onto the Concentrate

酶添加方式的影响对奶产量和消化率的影响

#### Effects of Application Method on Milk Production and Digestibility

饲料 Feed	奶产量 Milk Production	全消化道消化率 Digestibility in Total Tract
全混合日粮 (TMR)	<b>100 %</b>	100 %
精料 (大麦为基础) <b>Concentrate (Barley)</b>	<b>106.25%</b>	101.4%

(Lewis *et. al.*,1996)

酶添加吸附到精料表面上，并不立即作用于精料，而是食入后增加了酶在瘤胃停留的时间，在瘤胃饲料中缓慢地释放出来，加强瘤胃中纤维分解酶的活性。

## — 酶溶液喷洒在干草上 Spraying onto the Hay

- 酶溶液喷洒在干草上能提高产奶量以及**DM**和**NDF**的消化率，而喷洒于**TMR**上、鲜草上或瘤胃内均无效。其原因可能是酶喷洒在干草上和底物的结合形成一种酶—饲料底物复合物，增加了外源酶对反刍动物内源蛋白酶水解的抵抗。

# — 饲料青贮时加入酶 Adding in Silage

青贮酶对奶产量和青贮中NDF和ADF含量的影响

Effects of Silage Enzyme on Milk Production and NDF and ADF in Silage

青贮类型 Type of Silage	奶产量提高 Milk Production Increase	NDF 降低 Decrease	ADF 降低 Decrease	文献 Literature
全株高粱青贮 Sorghum	10.2%			李新胜等 (2001)
玉米青贮 Maize		2.8%	2.2%	刘文奇等 (1998)
玉米青贮 Maize		7.0%	4.8%	史占全等 (1998)

## E. 日粮中饲料的种类和比例

# Feed Sort and Proportion in Diet

### ■ TMD日粮（DM）中饲料的种类：

精料：大麦、高粱、玉米、棉籽.....

干草：苜蓿.....

青贮：燕麦青贮、玉米青贮、大麦青贮、高粱青贮.....

### ■ 精料、干草、青贮三者数量及比例

## **F. 反刍动物的种类**

### **Sort of Ruminant**

- 牛对酶的反应比鹿敏感。

## G. 动物的生理阶段

# Physiological Stage of Ruminant

- 在奶牛早期泌乳阶段，能量处于负平衡，加酶生产性能改善最大，可显著提高能量利用率、养分消化率和奶产量。

# 7. 改进酶对反刍动物应用效果的途径

## Improving Exogenous Enzymes for Ruminants



# A. 恰当的酶的种类、活性、比例、剂量和添加方式

## Proper Sort, Activity, Proportion and Application Method of Enzymes

- 酶的种类、活性、比例、剂量和添加方式将显著将影响酶制剂的效果。
- 微生物发酵生产的酶是各种酶的混合物，其主酶为纤维素酶和木聚糖酶，还有一些辅酶，这些辅酶也可能对效果有影响。

## B. 日粮和酶的恰当配合

# Matching the Enzyme to Diets

- 日粮和外源酶必需恰当配合。如精料为大麦，添加木聚糖酶和纤维素酶可使**FCR**提高**11%**，饲料消化率也有所提高；而精料为玉米则无影响（**Beauchemin *et al.*, 1997**）。
- 角质酶(**cutinase**)、阿魏酸酯酶（**ferulic acid esterase**）、乙酰木聚糖酯酶（**acetylxyylan esterase**），阿拉伯呋喃糖苷酶（**arbinofuranosidase**）等都可能是降解植物细胞壁交联结构的重要的酶，有待研究开发。

## C. 深入了解外源酶的作用机制

# Studying Mechanisms and Modes of Action Further

- 反刍动物的消化道复杂的微生物区系，产生众多不同的内源酶，使反刍动物外源酶的作用机制变得非常复杂。还需要进一步阐明酶提高反刍动物生长性能的作用机制。



谢谢静听，  
敬请指正！