

## 反刍动物脂肪消化动力学—第一部分

Dynamics of ruminant fat digestion: Part 1

著者: L. Lock, K. J. Harvatine, I. Ipharraguerre, M. Van Amburgh, A. J. K. Drackley, and D. E. Bauman

译自: Feedstuff, Feb. 13, 2006

译者: 史清河、张颖

**【目前主要侧重于研究反刍动物脂肪消化的生物学和动力学,特别是小肠内各脂肪酸消化率的研究。】**

过去十年我们对反刍动物脂肪和脂肪酸消化和代谢的研究已取得显著进展,2003年康奈尔营养会议集中概述(Bauman等,2003)了这些进展。

特别是目前的研究表明日粮和瘤胃来源的脂肪酸均对反刍动物代谢和人类健康具有特殊和潜在的影响。而且,由于营养学家试图增加日粮的能量浓度以满足高产奶牛的需要,因而越来越多的奶牛日粮中添加脂肪,而且这种措施会持续增加。

上述变化促使人们在反刍动物消化模型中引入脂肪代谢(例如,Moate等,2004),这可能对日粮配方的确定、决策流程和建议添加量有潜在的帮助。

当前,脂肪酸消化的生物学和动力学是主要的研究领域。这主要是由于对小肠各脂肪酸消化率的研究结果存在争议引起的,特别是关于奶牛对硬脂酸消化率以及与其它脂肪酸消化率的差异程度方面存在分歧。

因此,对不同脂肪添加剂对脂肪消化率的影响也产生了争议。

在接下来的部分,我们将概述泌乳奶牛脂肪酸消化和吸收生物学,阐明反刍和非反刍动物间脂肪酸代谢的差异。我们也综述了文献所报道的关于泌乳奶牛对各脂肪酸的消化率。最后归纳了关于不同脂肪添加剂对脂肪消化率影响的研究结果。

### 吸收生物学

在以前的报告中,我们已详细的阐述了日粮来源的脂肪和脂肪酸在瘤胃中的代谢(Bauman等,2003)。简而言之,就是细菌性的酶将日粮来源的甘油酯水解和不饱和的游离脂肪酸氢化。因此,离开瘤胃的脂肪物质主要含有高度饱和的游离脂肪酸,这些脂肪酸中的三分之一是棕榈酸,三分之二是硬脂酸。

由于在瓣胃和皱胃中长链和中链脂肪酸的吸收和修饰不明显,因而小肠吸收的脂肪类物质与离开瘤胃的那些脂肪类物质相似(Moore和Christie,1984)。这些脂肪类物质大约有80-90%是由附在饲料颗粒的游离脂肪酸组成(Doreau和Chilliard,1997)。

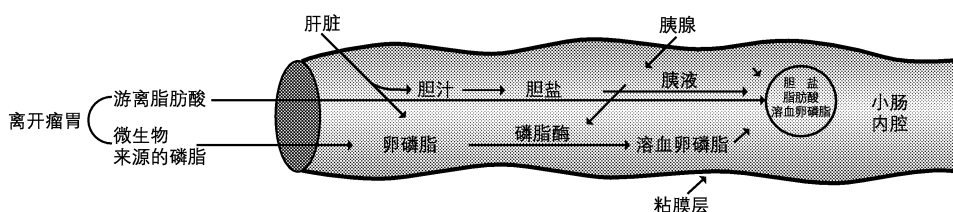
其余的脂肪类物质是微生物来源的磷脂和少量的来源于饲料中未被降解的甘油三酯和糖酯类。这些酯化的脂肪酸被小肠和胰腺的脂肪酶水解(Doreau和Ferlay,1994)。

脂肪酸吸收主要在小肠的空肠段进行。在到达空肠之前,食糜在十二指肠内与胆汁和胰液分泌物混合。因为食糜是持续不断的流入反刍动物的小肠,胆汁和胰液也持续不断的分泌,并且象非反刍动物一样不受大循环变化的影响(Noble,1981)。

脂肪酸吸收前，有必要被吸收至饲料颗粒内而后再溶于水性环境中。象所有动物一样，反刍动物脂肪微粒的形成是上述过程的关键，因此也是脂肪酸吸收是否高效的关键（Davis，1990）。

胶态溶液的重要生理特性就是通过将适当形状和带电荷的分子结合至胆盐分子的中心和外鞘形成胶态颗粒，从而溶解不溶于水的脂肪酸（Freeman，1984）。

对于反刍动物来说，胆汁和胰腺的分泌液对于此过程是必需的。胆汁提供胆盐和卵磷脂，胰液提供酶以将卵磷脂转化成溶血卵磷脂和碳酸氢盐来提高pH值。溶血卵磷脂和胆盐一起将饲料颗粒和细菌中的脂肪酸释放，从而形成脂肪微粒（图）。



溶血卵磷脂和胆盐在这个过程中的重要作用已经通过试验得到阐明。Moore和Christie（1984）研究表明，当胆汁分泌进入十二指肠受到阻碍时，绵羊几乎不能吸收脂肪酸。

一旦脂肪微粒形成，有利于转运不溶于水的脂肪通过空肠肠道上皮细胞，从而吸收脂肪酸和溶血卵磷脂。被吸收的脂肪酸酯化为甘油三酯后再进入乳糜微粒在血液中运输。

反刍动物脂肪在小肠食糜中出现的方式以及存在的环境明显不同于非反刍动物（Noble，1981）。

与非反刍动物相比，反刍动物中大多脂类物质以游离脂肪酸（约占80—90%）形式进入小肠，而非反刍动物则以酯化脂肪酸形式为主（>90%）。并且，酸性食糜经由反刍动物十二指肠时的中和程度明显低于非反刍动物，造成反刍动物胰腺碳酸氢盐分泌的浓度和速度低于非反刍动物（Moore和Christie，1984）。

反刍动物与非反刍动物消化道pH间的差异见表1。在综述现有的文献时，发现反刍动物脂肪酸吸收与非反刍动物明显不同，消化道低pH值使脂肪酸有效吸收成为可能。

**表1 反刍动物与非反刍动物消化道pH值间的差异（节选自Moore和Christie，1984）**

|        | 绵羊      | 猪   |
|--------|---------|-----|
| 皱胃/胃   | 2.0     | 2.4 |
| 十二指肠前段 | 2.5     | 6.1 |
| 十二指肠后段 | 3.5-6   | .8  |
| 空肠前段   | 3.6-4.2 | 7.4 |
| 空肠后段   | 4.7-7.6 | 7.4 |
| 回肠     | 8.0     | 7.5 |

首先,反刍动物胆汁中与牛磺酸结合的胆汁酸明显多于甘氨酸结合的胆汁酸。大多数食草动物与甘氨酸结合的胆汁酸较多,但成熟反刍动物中牛磺酸结合的胆汁酸远多于甘氨酸结合的胆汁酸,大约 3:1 (Noble, 1981)。

这是很明显的因为在反刍动物小肠前段的酸性条件下,牛磺酸结合的胆汁酸处于离子状态。因此,牛磺酸结合的胆汁酸主要呈胶粒状态,可影响脂肪酸的溶解 (Noble, 1981)。

即使 pH 在 2.5 时,牛磺酸结合的胆汁酸仍可溶解并部分离子化;但甘氨酸结合的胆汁酸在弱酸 (pH 为 4.5) 的环境下也不可溶,且不能影响脂肪酸的溶解性 (Moore 和 Christie, 1984)。

反刍动物和非反刍动物在脂肪微粒形成时最明显的差异是亲水脂分子或促进胶粒形成的“膨胀剂”的来源不同。在非反刍动物中,甘油单酯及胆汁盐与脂肪酸相互作用生成脂肪微粒,且胆汁盐/甘油单酯混合物起到胶粒稳定剂的作用 (Davis, 1990)。

甘油单酯、短链饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸和磷脂可渗入胆汁盐脂肪微粒,提高其大小 (膨胀),特别是可增强疏水核的容量。

很明显,非极性溶剂 (例如长链饱和脂肪酸) 具有非两亲性质,必需溶于脂肪微粒的疏水内部。因此,增加脂肪微粒疏水核能力可显著增强长链饱和脂肪酸的溶解性,从而促进其吸收 (Freeman, 1984)。

如前所述,与非反刍动物相比,反刍动物小肠 pH 值较低,且可生成胆汁盐/溶血卵磷脂复合物。Freeman (1969) 对极性脂肪溶质的两亲性质进行检测,发现溶血卵磷脂对硬脂酸脂肪微粒的溶解性具有明显的影响 (表 2)。

**表2 一些极性脂肪的两亲性质 (节选自Freeman, 1969和1984)**

| 两亲分子           | 两亲指数 <sup>1</sup> | 硬脂酸Km/o的增加或减少% <sup>2</sup> |
|----------------|-------------------|-----------------------------|
| 油酸             | 0.138             | -11                         |
| 甘油单酯(1-油酸单甘油酯) | 0.138             | +37                         |
| 亚油酸            | 0.154             | -                           |
| 月桂酸            | 0.164             | -                           |
| 溶血卵磷脂          | 0.280             | +115                        |

注: 1. 两亲指数是指每增加一单位两亲分子浓度胆汁盐溶液中硬脂酸溶解性的增加。  
2. 分布系数表示硬脂酸在微粒油相与胶粒相之间的分布; 正值 (+) 表示两亲分子增加了硬脂酸在胶粒相中的分布, 促进其吸收。

事实上,溶血卵磷脂增加硬脂酸溶解性的能力是其它两亲分子 (包括最近被证明以钙盐形式饲喂反刍动物时具有重要两亲性质的油酸 (Moate 等, 2004; Block 等, 2005)) 的两倍以上。而且,溶血卵磷脂被证明是唯一的可明显增加硬脂酸在胶粒相的分布并远离微粒相的两亲分子 (表 2)。

针对离开瘤胃进入小肠的大多脂肪酸是饱和的且能被吸收的多为硬脂酸,反刍动物进化形成的有关溶血卵磷脂溶解这种脂肪酸的高效系统看来就不足为奇了。