

离子载体在反刍动物日粮中可能节约能量

Ionophores in ruminant diets may spare energy

作者: R.K. McGuffey

译自: Feedstuff, October 1, 2007

译者: 孙志军

早在1960年, Wolin就描述了能量物质在瘤胃发酵的特点 (Wolin, 1960)。Wolin计算发现瘤胃内己糖发酵生成丙酸比生成乙酸和丁酸的发酵过程在能量方面更为高效。Hungate利用Wolin的计算阐述了瘤胃发酵生成高浓度丙酸的好处 (Hungate, 1966)。该计算和能量产物可归纳如下:

1 己糖(673 千卡)+2 水→ 2 乙酸(418.8 千卡)+2 二氧化碳+4 氢气

1 己糖(673 千卡)+2 氢气→ 2 丙酸(734.4 千卡)+2 水

1 己糖(673 千卡)→ 1 丁酸(524.3 千卡)+2 二氧化碳+2 氢气

每摩尔葡萄糖燃烧的能量是673千卡。同样, 每摩尔乙酸燃烧的能量是209.4千卡, 丙酸是367.2千卡, 丁酸是524.3千卡, 甲烷是210.8千卡。因此, 葡萄糖在乙酸发酵保存的能量是62.2%, 在丙酸发酵保存的能量是109.1%, 在丁酸发酵保存的能量是77.9%。

1965年开始, Elanco动物健康公司的Raun为瘤胃发酵的改良产品的发现、研发和最终的推广设计了一个蓝图。利用Wolin和Hungate的发现, Raun设计了一种体内的瘤胃试验方法, 它能快速测试很多物质增加丙酸生成的能力。

在1970年12月, 一个与Richardson一起工作的技术人员在色谱图上注意到一个丙酸的波峰, 其比以前试验的任何物质都高, 实际上几乎“超出可测量的界限。”注意到这个重大发现后, 该技术人员立即拿着图谱(还没有计算丙酸生成的比率)去找Ruan, Charles Jordon博士和Jean Downing博士。这时, Richardson也从另外一个会议回到办公桌旁, 桌上一个便条告诉他立即计算该物质的生产价值, 并准备足够的该种物质尽早在牛身上进行瘘管试验。

这个物质就是莫能菌素钠, 它能变成瘤胃素, 在1975年12月被美国食品药品监督管理局批准使用。

到2007年, 经过30年的市场推广, 离子载体-莫能菌素钠(瘤胃素, Elanco), 拉沙里菌素钠 (Bovatec, Alpharma), 莱特洛霉素丙酸钾 (Cattlyst, Alpharma) 的销售总值已经超过30亿美元, 在畜牧业节省的自然资源超过100亿美元。

瘤胃微生物

对动物的益处来自离子载体对目标动物胃肠道微生物的作用。离子载体的作用方式相同, 但对阳离子的特异性和获得有效瘤胃浓度的能力有所不同 (Pressman, 1976; Chow等, 1974)。

这种作用方式以附着在细菌和纤毛虫 (Fitzgerald和Mansfield, 1973; Chow等, 1994), 可能还有瘤胃真菌 (Habib和Leng, 1987) 上为开始。离子载体的附着能

促进阳离子转移通过细胞膜，一个单价阳离子交换一个质子（莫能菌素、莱特洛霉素丙酸盐、拉沙里菌素）或一个二价阳离子交换两个质子（拉沙里菌素、Pressman, 1976）。

瘤胃内的微生物可归类为离子载体敏感型或离子载体对抗型。通常，革兰氏阳性细菌对离子载体的作用敏感，而革兰氏阴性细菌对其有抗性。

抗性是由包裹在细菌周围的外膜产生的。革兰氏阴性细菌的外膜就像一个大小过滤网，允许小于600道尔顿的分子通过。例如，莫能菌素分子量为692道尔顿，就不能通过。革兰氏阳性细菌没有这种外膜，所以对离子载体的作用敏感。

离子载体对微生物的作用可分为几个步骤或几个反应。但最终的效果是降低细胞内的钾离子浓度，降低细胞内的pH值，增加细胞内的钠离子浓度（Russel和Strobel, 1989）。

细胞内的这种环境促使细胞转运系统驱逐细胞内的氢离子和钠离子。革兰氏阳性细菌试图启动质子-ATP酶和钠-ATP酶泵来恢复平衡。这些泵允许微生物逐出氢离子，但一个质子消耗该细胞一个三磷酸腺苷（ATP）。该细胞的能量储备减少，导致细胞的分裂能力降低。

在饲料中的使用水平，离子载体介导的反应最终使微生物失去能维持机体正常发酵所必需的细胞分裂速度（Russel和Strobel, 1989）。细胞死亡可能来自细胞质的酸化（Guffanti等, 1979）。

很多离子载体对瘤胃发酵的影响解释为：革兰氏阴性菌取代了革兰氏阳性菌（Dawson和Boling, 1984; Russell, 1987）。然而，很重要的一部分作用，如加强丙酸的生成来自革兰氏阴性菌群离子载体介导的代谢变化（Bergen和Bates, 1984; Stahl等, 1988; Morehead和Dawson, 1992）。

尽管数据很少，且比细菌更有争议，瘤胃生态系统除细菌之外的其它微生物也受到补充离子载体的影响。瘤胃纤毛虫曾被报道体内试验对离子载体敏感（Richardson等, 1978; Habib和Leng, 1986），但敏感程度在品种之间或许有差异。

正如对真菌，离子载体对纤毛虫的影响表现出日粮依赖性。离子载体出现时纤毛虫修改它们的发酵模式（Hino, 1981）。通常，如果单位体积内的纤毛虫数量被细菌所替代，任何纤毛虫数量的降低实际上可能是有益的（Klopfenstein等, 1966）。

纤毛虫的好处很大程度被局限在当日粮突然由高纤维转变为高淀粉的阶段。在这种情况下，瘤胃纤毛虫吞噬淀粉颗粒并粘附在产乳酸的细菌上，可能降低乳酸快速生成可利用的底物量（Dennis等, 1981; Nagaraja等, 1986）。

在纯培养研究，瘤胃真菌也对离子载体敏感，敏感程度依赖于所测试的生物体（Elliott等, 1987）。体内实验，不同品种和菌株之间敏感性有差异。敏感性的差异也依赖于瘤胃真菌所处的底物（饲料）（Bernalier等, 1989）。

对于采食粗饲料的牛，特别是低质量的粗饲料，任何对厌氧真菌有负面影响的离子载体可能降低瘤胃纤维的消化。因为瘤胃真菌生长的很慢，当日粮通过瘤

胃的速率很高时，如通常用来饲喂奶牛的日粮，它们对日粮的消化贡献很小。

瘤胃的代谢

挥发性脂肪酸 增加丙酸的生成代表离子载体在反刍动物上经典的和研究较多的影响。Richardson等(1976)报道当每天补充200mg莫能菌素，饲喂精料和草场放牧的牛的瘤胃丙酸盐的摩尔比例分别增加54%和36%。

同位素稀释研究(Prange等, 1978; Van Maanen等, 1978; Rogers和Davis, 1982)表明莫能菌素引起的丙酸盐摩尔比例的变化是由于丙酸盐的生成增加。日粮70%是干草时瘤胃丙酸盐的生成增加45-50%，当日粮20%是干草时瘤胃丙酸盐的生成增加76%(Prange等, 1978; Van Maanen等, 1978)。

增加的丙酸生成导致更多挥发性脂肪酸的能量回收(Rogers和Davis, 1982)。与对照组相比，在荷斯坦阉牛50%玉米青贮50%精料的日粮中添加莫能菌素，每公斤干物质采食量(DMI)生成的挥发性脂肪酸的总摩尔数更多，乙酸和丙酸的摩尔数也更多。这些变化导致添加莫能菌素时来自挥发性脂肪酸的能量增加33%。

甲烷 瘤胃厌氧性发酵决定了底物的氧化必须与反应的减少紧密关联。正如以前的反应，挥发性脂肪酸和甲烷是氢的最终受体。发酵平衡要求丙酸生成的增加必然伴随着甲烷的减少(Chalupa, 1977)。

Van Nevel和Demeyer(1977)表述了这种关系，他们报道当混合瘤胃微生物在体外添加莫能菌素培养时甲烷生成减少而丙酸生成增加。Chen和Wolin(1979)观察到少至2.5?g/ml的莫能菌素或拉沙里菌素就能抑制一些瘤胃细菌的生长，而其它一些瘤胃细菌在离子载体浓度达到40?g/ml也能生长。部分生成甲烷的细菌对媒介浓度的离子载体敏感，而其它的细菌在离子载体浓度40?g/ml时也不敏感。

两组研究团队都得出结论，生成甲烷的底物(氢和甲酸盐)的生产受到抑制能部分解释观察到的离子载体出现时甲烷生成减少。

消化率 Spears(1990)总结了文献中20个试验，拉沙里菌素(3个)和莫能菌素(17个)对牛日粮中能量表观消化率的影响。两种离子载体对能量消化率的提高平均为2个百分点，但由于莫能菌素的试验变化很大(变化范围从-0.9%到9.1%)，拉沙里菌素的影响就很重要。

饲喂离子载体改变日粮碳水化合物部分的消化位点。淀粉在瘤胃的消化可能减少，但过瘤胃后淀粉消化增加以致总消化道的消化率没有变化(Allen和Harrison, 1979)。瘤胃球虫数量的减少可能被对离子载体不敏感的水解纤维的生物体增加的数量所抵消，如产琥珀酸丝状杆菌(*Fibrobacteria Succinogenes*)。

另外，离子载体导致的瘤胃停留时间延长，可能有助维持正常的纤维消化(Lemenager等, 1978)

Ali Haimoud等(1995)报道泌乳奶牛饲喂莫能菌素降低瘤胃有机物质、酸洗纤维和淀粉的消化率。这些物质总消化道的消化率在对照组与莫能菌素日粮间没有差异。Plazier等(2000)报道分娩前三周接受莫能菌素缓释胶囊的奶牛泌乳

早期干物质和有机物质的表观消化率增加。能量消化率的提高是纤维消化率提高的结果。Knowlton 等 (1996) 报道当奶牛饲喂拉沙里菌素, 干物质、中洗纤维、淀粉的总消化道消化率与对照组没有差异。

益处

肉牛 Raun 等 (1975) 总结了牛饲喂莫能菌素的早期研究。添加莫能菌素 11mg/kg 时增重可提高多至 5.2%, 但添加 44mg/kg 时增重降至对照组水平。饲料采食量从添加 11mg/kg 时降低 3.5% 到添加 33mg/kg 时降低 13.1%。在所有的试验剂量范围, 饲料效率提高 10%-17%。后来, 七个田间效果试验 (导致莫能菌素在屠宰牛上得到批准使用) 表明莫能菌素添加 30g/吨饲料效率改善 8.6% (Raun, 1991)。

拉沙里菌素 (1981) 和莱特洛霉素丙酸盐 (1994) 也将在所指明的年份得到 FDA 的获准在肉牛上使用。莱特洛霉素丙酸盐的四个田间效果试验结果如表 1。

表 1 肉牛饲喂莱特洛霉素丙酸盐的四个研究的总结

项目	-莱特洛霉素丙酸盐, mg/kg 干物质基础-			
	0	6	9	12
干物质采食量, kg/日	10.55 ^{ab}	10.72 ^a	10.54 ^{ab}	10.34 ^b
平均日增重, kg	1.20 ^b	1.31 ^b	1.28 ^b	1.31 ^b
饲料: 增重	9.02 ^c	8.31 ^{ab}	8.37 ^b	8.00 ^a

注: a,b,c 表示相同行没有相同标记者有差异 (P<0.05), Spires 等, 1990。

研究本身暗示离子载体增加或维持增重时伴随着干物质采食量的降低。瘤胃丙酸增加、甲烷减少、干物质消化率改善使单位饲料采食量的表现得到加强, 这说明动物的能量利用得到了改善。

Byers (1980) 报道莫能菌素能改善 5.7% 的维持能利用的表观效率, 但对生长能没有影响。

Delfino 等 (1988) 报道牛饲喂拉沙里菌素能改善日粮可代谢能 7%。Garrett 等 (1980) 报道对照组和莫能菌素饲喂牛快速热量的产生分别为 83.5 千卡/Wkg0.75 和 79.5 千卡/Wkg0.75。《肉牛营养需要》(NRC, 1996) 建议日粮维持净能增加了 12%。

离子载体帮助肉牛饲养场转向高精料日粮。尽管这样做, 饲料效率的反应会下降, 但离子载体的价值因为好几个原因并没有消失。离子载体降低了肉牛饲养场因消化原因导致的死亡率 (Black 和 McQuiliken, 1980; Stock 等, 1995)。当肉牛快速适应突然采用含更高精料的日粮, 莫能菌素能减少饲料采食量的变化范围 (Burrin 等, 1988)。离子载体降低了瘤胃鼓气 (Bartley 等, 1983) 和乳酸酸中毒 (Nagaraja 等, 1982) 的发生。

泌乳奶牛 2004 年 11 月 FDA 批准莫能菌素可以用于奶牛。奶牛 (泌乳奶

牛和干奶牛) 饲喂干物质基础上每吨含有 11-22 克的莫能菌素的全混日粮可“增加牛奶的生产效率”。2005 年 12 月, 其使用和剂量扩大至: 在精粗料分开饲喂的情况下, 泌乳奶牛每头每天在最少 0.45 公斤的饲料中允许添加 185-660 毫克的莫能菌素, 或干奶牛每头每天 115-450 毫克的莫能菌素。

在 9 个田间效果试验中, 牛奶的生产效率增加 4% (Symanowski 等, 1999)。对单个试验进行评价显示, 奶牛饲喂莫能菌素的效率反应有三种结果。奶牛饲喂莫能菌素的结果与对照组比较可获得更多的乳脂和乳蛋白产量 (见表 2)。

(1) 三个研究: 奶牛饲喂莫能菌素与对照组比较, 相同的干物质采食量每天生产更多的牛奶, 更多的乳脂和更多的乳蛋白 (结果 1);

(2) 四个研究: 奶牛饲喂莫能菌素与对照组比较, 相同的干物质采食量每天生产更多的牛奶, 较少的乳脂和更多的乳蛋白 (结果 2);

(3) 三个研究: 奶牛饲喂莫能菌素与对照组比较, 相同的干物质采食量每天生产更多的牛奶, 较少的乳脂和较少的乳蛋白 (结果 3);

表2 奶牛饲喂莫能菌素的表现

	结果1		结果2		结果3	
	0	15	0	15	0	15
莫能菌素, 克/吨						
牛奶, 公斤/天	29	30.5	31.14	31.86	30.77	30.41
脂肪, %	3.73	3.67	3.67	3.45	3.63	3.47
脂肪, 公斤/天	1.08	1.12	1.14	1.11	1.12	1.06
蛋白, %	3.14	3.09	3.13	3.14	3.16	3.15
蛋白, 公斤/天	0.91	0.95	0.97	1.02	0.97	0.96
干物质采食量, %体重	3.29	3.33	3.29	3.24	3.23	3.09

为查明奶牛饲喂莫能菌素后各日粮成分的不同反应, 进行了跟踪调查。根据实验室分析和书本信息, 计算了各牛场所用的全混日粮中各饲料成分的营养价值和在全混日粮中的比例。将这些数据输入康乃尔净碳水化合物净蛋白模型 (CNCPS, 4.1 版), 根据该模型的结果来衡量各牛场的全混日粮的特性。

各试验牛群的日粮的化学成分见表 3。

日粮中的碳水化合物: 出现结果 1 的牛场与出现结果 2 和结果 3 的牛场相比, 按干物质百分比计算, 中洗纤维 (NDF) 较高 ($P < 0.05$), 非纤维碳水化合物 (NFC) 较低 ($P = 0.07$)。B1 在 CNCPS 中代表淀粉、胶质和 NFC 的主要组成成分。出现结果 1 的日粮与出现结果 2 和结果 3 的日粮相比, B1 部分也较低 ($P = 0.07$)。

其它 CNCPS 中的碳水化合物部分在各结果中没有差异。出现结果 2 的日粮消化的总碳水化合物较高 ($P < 0.05$), 出现结果 1 的日粮处在中间水平。CNCPS 中碳水化合物的消化遵循相同的模式—日粮 ($P < 0.07$), 细菌 ($P < 0.005$)。CNCPS 中的细菌产量是靠消化的细菌碳水化合物预测的, 结果 1 和结果 2 的日粮最大。

表3 不同产量牛群的日粮化学成分

结果	1	2	3
粗蛋白 (CP), %DM	17.9	17.9	18.6
细菌可代谢蛋白, %CP	34.1	34.1	32.7
过瘤胃蛋白, %CP	31.8	30.4	28.9
总可代谢蛋白, %CP	65.9 ^a	64.5 ^a	61.5 ^b
中洗纤维, %DM	32.9 ^a	29.8 ^b	28.4 ^b
非纤维碳水化合物, %DM	38.7	41.8	41.7
脂肪, %DM	5.6	5.3	6.0

注: a,b表示同行没有相同标记者有差异 (P<0.05)

日粮蛋白: 结果1、2、3的日粮粗蛋白分别平均为17.9%、17.9%和18.6%。日粮总可代谢蛋白结果1日粮高于结果3日粮 (P<0.10)。结果2日粮处于中间水平。对于可代谢蛋白、细菌蛋白和非降解蛋白结果1日粮在数字上高于结果2日粮, 而结果2日粮高于结果3日粮。日粮中来自细菌的可代谢蛋白结果1和结果2都高于结果3(P<0.05)。来自 CNCPS 有关蛋白利用的其它项目各结果之间没有差异。

日粮脂肪: 各结果牛群之间日粮脂肪酸、脂肪比例或脂肪利用参数没有差异。结果3牛场的日粮中脂肪水平最高, 但亚油酸水平最低。这个发现表明奶牛日粮中可能经常含有足量的亚油酸, 而足量的亚油酸导致乳脂率的下降。正如Griinari等 (1998) 建议的改变瘤胃发酵的因子成为日粮的特性, 添加莫能菌素或其它有关因子时必须很好地管理以防止降低乳脂率。

其它营养素

蛋白 离子载体对瘤胃氮代谢有很重要的影响。离子载体的影响包括蛋白降解、氨的积累和微生物氮等的减少 (Van Nevel 和 Demeyer, 1977; Whetstone 等, 1981)。Alpha- 氨基氮和肽的积累表明, 离子载体对去氨基化比对蛋白水解有更大的影响。

对牛的不同日粮和氮源, 莫能菌素通常对到达真胃的总氮没有影响 (Poos等, 1979; Muntifering 等, 1980; Faulkner 等, 1985)。然而, 到达真胃的氮的形式有巨大的差别。当日粮中添加有莫能菌素时, 以日粮中的形式到达真胃的氮的比例增大。

瘤胃细菌蛋白的合成显著减少, 引起细菌氮的相对降低。瘤胃细菌蛋白合成的效率通常没有变化 (Poos 等, 1979; Muntifering 等, 1980)。当莫能菌素与预配制的蛋白一起饲喂时, 通过真胃的总的必需氨基酸和非必需氨基酸较多 (Poos 等, 1979; Faulkner 等, 1985)。当尿素是主要氮源时, 到达真胃的氨基酸的总量没有影响 (Poos 等, 1979)。

Goodrich 等 (1984) 估计饲喂离子载体时 245.5 公斤的阉牛每天增重 1 公斤

的日粮粗蛋白应该为 11.2%，而不是 NRC (1976) 建议的 11.6%。而且，肉牛含 11.2% 粗蛋白的日粮添加莫能菌素可使获得 45.4 公斤增重的饲料最优化。

Ali Haimoud 等 (1995) 报道泌乳奶牛添加莫能菌素能减少瘤胃氨和瘤胃破坏的蛋白量。添加莫能菌素时瘤胃蛋白合成的效率和到达小肠的细菌蛋白的数量没有变化。因为更多的日粮中的蛋白到达肠道后段，到达小肠的总的蛋白流量增多。结果，与对照组相比，添加莫能菌素的泌乳奶牛吸收的氨基酸的总量更多。

观察了到达真胃的瘤胃微生物蛋白减少这一现象，刺激 Russell 的研究团队在二十世纪八十年代去调查在瘤胃生态系统中莫能菌素对细菌利用蛋白作为能量来源的已知偏好的作用。添加莫能菌素引起总氮代谢的变化，在已知的瘤胃细菌活力的知识条件下不能定量说明。

例如，在瘤胃利用蛋白生产最多氨的细菌是革兰氏阴性细菌，其所产氨仅占瘤胃混合细菌所生产氨的 75-80%。

Russell 等 (1988) 提出假说瘤胃中必然存在能专门生产氨的未知菌株。使用经典的细菌分离技术，他们能分离到两种比以前所知道的瘤胃中生产氨的细菌的产氨能力高出 18-39 倍的新细菌。这些细菌被归为消化链球菌属和梭菌属。两种都是革兰氏阳性菌，生长需要氨基酸，对莫能菌素敏感。Paster 等 (1993) 详细描述了这两种细菌和另外一种梭菌的特征。

Spears 等 (1990) 总结了莫能菌素在牛上对氮的表观消化率的影响。在牛上氮的消化率平均提高约 3.5%。在多数研究中，添加莫能菌素时保留氮占摄入氮的比例或吸收氮的比例升高 (Poos 等, 1979; Muntifering 等, 1980)。因为植物蛋白较高的消化率，饲喂离子载体时相对微生物蛋白较高比例的植物蛋白到达真胃可能有助于氮的吸收和保留。

脂肪代谢 莫能菌素的出现于瘤胃中抑制了甘油三酯的水解和不饱和脂肪酸的生物氢化 (Van Nevel 和 Demeyer, 1995)。在瘤胃这个连续性发酵罐中，莫能菌素使亚油酸的生物氢化减少，反式十八 (碳) 烯酸异构体的生成增加 (Fellner 等, 1997)。

Jenkins 等 (2004) 报道当大麦作为主要淀粉来源与玉米比较，莫能菌素和豆油在瘤胃中生产更高浓度的反式-10-C18:1 脂肪酸。这个发现表明当饲喂莫能菌素和豆油时瘤胃降解更高比例的淀粉 (如大麦) 导致亚油酸更不完全的生物氢化。在这种情况下，莫能菌素就增加了乳脂下降的风险。

Grinaari 等 (1998) 提出牛乳脂下降在瘤胃中需要两个条件：日粮中有亚油酸和瘤胃环境改变。在高精日粮，乳脂下降常常推测与瘤胃中的乙酸：丙酸比例下降有关。离子载体能降低乙酸：丙酸比例，因此逻辑推断离子载体能引起乳脂下降。

亚油酸的生物氢化与丙酸盐竞争氢。在九个莫能菌素的田间效果试验中，乳脂下降并没有在含有 2% 的亚油酸并有充足 NDF 的日粮的情况下出现。饲喂过多的精料、能快速发酵的淀粉来源、或粗饲料粉碎太细等 (都能引起乙酸：丙酸比

例下降)日粮加工方法能为瘤胃创造一个有利于降低乳脂的环境,不论有没有离子载体。

绿色农业

消费者要求食品生产的过程更有责任性。离子载体通过改善饲料效率、减少甲烷排放、改善氮的利用等保护了环境,支持了消费者的要求。

Tedeschi等(2003)估计如果从所有日粮中撤走离子载体,肉牛生产所需要的玉米就要增加130-135万吨,或约占2007年所种9200万英亩玉米的0.4%。假如1公斤玉米生产0.447升的酒精(Roe等,2006),离子载体使肉牛生产所节省的玉米每年可以生产5.8亿升的酒精。

瘤胃发酵贡献了年甲烷总产量的11%左右(Moss,1993)。Van Nevel和Demeyer(1996)报道体内试验甲烷减少20%。研究报告各不一致,一些报道(Johnson等,1994;Sauer等,1998)称离子载体对甲烷的反应还不清楚,而其它一些(Richardson等,1976;Rogers等,1997)称添加离子载体有一个持续长久的丙酸反应能导致甲烷的减少。

很明显,不是所有的反刍动物都饲喂离子载体,但在美国由于牛饲喂离子载体而减少的甲烷排放是很显著的。

最后,因为氮对大气和水质的影响,对大气中排放氮的审查越来越严格。离子载体能减少瘤胃的氮。Russell等研究团队的研究建议由于补充离子载体植物蛋白通过瘤胃的比例提高。加上牛补充离子载体后蛋白消化率的改善,这为离子载体能改善日粮氮的效率提供了强有力的证据。如Goodrich等(1984)建议的,离子载体降低了牛对蛋白的需要。

Tedeschi等(2003)使用在肯萨斯州一个肉牛场使用玉米基础日粮对8624头牛饲喂了126天的真实数据说明了离子载体对氮利用的影响。使用CNCPS(5.0版)模型模拟评价了三种真实的日粮:含有莫能菌素和动物油脂(S1),含有莫能菌素而没有动物油脂(S2)和没有莫能菌素和动物油脂。与实际日增重1.79公斤相比,该模型预测S1日粮平均日增重为1.78公斤。饲喂莫能菌素(S2与S3相比)在126天的饲养期每头动物共减少排放氮378克。

如果在商业饲养场没有使用莫能菌素,氮的排放每年估计将增加9800吨。饲料采食量每头动物增加52.6公斤或每年138万吨。泌乳奶牛采食更多的日粮蛋白,这些有关氮的数字可用来比较说明泌乳奶牛的情况。

总结

离子载体对瘤胃发酵的几乎每个层面都有重要影响。这些效果通过改善生长、肥育、泌乳牛的饲料效率而得到体现。离子载体还通过减少动物生产所需要的土地、减少甲烷排放、减少对大气和水质中释放氮而对环境有明显好处。