

饲料添加剂在奶牛饲养中的应用（2）

中国农业大学动物科技学院 孟庆翔

2.2 缓冲剂

反刍动物具有一套复杂的酸-碱平衡调节系统，借助这一系统可将瘤胃 pH 维持在 5.5~7 之间。瘤胃 pH 与瘤胃微生物降解有机物产生的挥发酸浓度、瘤胃中水的流量、瘤胃食糜流速、唾液分泌量以及饲料酸度有直接关系。如果瘤胃 pH 不适当，饲料干物质进食量下降，酸中毒发生，微生物蛋白质产量和能量产生量下降。在饲料中加入缓冲剂可以有效地控制瘤胃 pH，有助于提高采食量、增加产奶量和维持正常的乳成分（表 5）。

表 5 在不同粗饲料结构条件下产奶牛日粮中添加缓冲剂的生产性能比较 a

缓冲剂	试验次数	与对照相比的变化幅度				
		产奶量/kg	乳脂率/%	乳蛋白/%	瘤胃 pH	DM 进食/kg
小苏打						
高粗料	55	+0.2	+0.10	-0.04	+0.05	+0.2
低粗料	14	+0.2	+0.28	+0.06	+0.22	-0.1
玉米青贮	17	+0.6	+0.16	-0.02	+0.07	+0.5
苜蓿干草	8	-0.1	+0.03	NA ^b	-0.07	-0.1
苜蓿/禾本科草青贮	3	0	-0.03	+0.01	+0.04	+0.2
苜蓿青贮/玉米青贮	8	+0.3	+0.10	+0.04	NA	+0.2
碳酸钾	3	+0.3	+0.40	-0.01	+0.16	+1.3
碳酸氢钾	6	+0.6	+0.45	+0.04	+0.95	-0.1
氧化镁						
高粗料	11	+0.1	+0.16	-0.02	+0.05	-0.1
低粗料	9	-1.1	+0.35	-0.06	+0.15	-1.8

a 资料来源：J. Dairy Sci. 1988, 71: 3246 ；

b NA: 未进行分析。

2.2.1 不同种类缓冲剂的比较

缓冲剂是奶牛业中应用范围最广的添加剂。在化学性质上，缓冲剂由弱酸和

盐化合而成，其水溶液呈弱碱性，这种化合物能够抵抗瘤胃 pH 或氢离子浓度的改变。为了发挥功能，缓冲剂必须具有较好的水溶性（碳酸钙除外），而且平衡常数（pKa）必须接近瘤胃的生理 pH。小苏打的 pKa 为 6.25，是真正的缓冲剂。其他碱性或中性试剂如氧化镁，也具有提高瘤胃 pH 的功能。美国市场上几种常用缓冲剂的化学成分和性质见表 6。

表 6 美国市场上几种常用缓冲剂的成分和性质

项目	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃	倍半碳酸钠	粗碱	MgO
NaHCO ₃ 含量/%	100	37	34.8	33.6	-
Na ₂ CO ₃ 含量/%	-	47	43.8	42.2	-
水合度/%	-	16.0	14.9	14.0	-
惰性物质/%	-	-	6.1	10.0	-
钠/%	27.4	30.4	28.5	26.0	-
镁/%	-	-	-	-	54
pKa 值	6.25	6.25	6.25	6.25	无
		10.25	10.25	10.25	无
溶解度/(g/100mL)	7	13	13	13	可变
酸耗/(mEq/kg)	12	13	13	11	50

小苏打为白色晶体，其中 NaHCO₃ 含量 99%以上，是安全的饲料添加剂。1%小苏打水溶液 pH 为 8.4，在瘤胃 pH 为 6.2 时发挥有效的缓冲功能。小苏打是目前研究最清楚的缓冲剂之一，其作用包括提高瘤胃 pH 和渗透压，维持理想的瘤胃发酵环境和增加瘤胃液外流速度。

倍半碳酸钠（sodium sesquicarbonate）是美国 FMC 农业化学集团生产的含有碳酸氢钠和碳酸钠两种成分的混合物，其物理形态为白色针状晶体，1%水溶液的 pH 为 9.9，也是公认安全的缓冲剂。据国外报道，使用倍半碳酸钠饲喂产奶牛，与对照相比，产奶量平均增加 1.6kg，乳脂率提高 0.23%。由于倍半碳酸钠的价格低于小苏打，因此其市场前景看好。粗碱的主要成分也是倍半碳酸钠，但含有 10%惰性物质，如白云岩、页岩、泥岩等物质。有关粗碱作为缓冲剂方面的研究还很有限，而且这些惰性物质是否影响奶牛的生产性能和健康，也值得进一步研究。

氧化镁是一种碱性物质，不仅可以补充饲料中镁的不足（含镁 54%），而且能够调节瘤胃发酵，并增加乳腺对乳脂合成前体物的吸收。氧化镁的溶解度、饲料的热处理和颗粒度大小，直接影响到氧化镁的作用效果。

碳酸钙（石粉）在瘤胃中所起的缓冲作用很小。但在高淀粉饲料条件下，碳酸钙通过提高小肠和大肠中淀粉消化率以及增强淀粉分解酶活性，可以提高粪便的 pH。饲料中添加石粉使钙达到 0.6%~0.8%时，碳酸钙可以提供少量缓冲酸的作用。

膨润土（也称皂土钠）是饲料制粒工艺中广泛使用的黏合剂。它是一种含有某些矿物质的黏土，具有缓冲剂的功能。膨润土通过改变瘤胃挥发酸比例，从而起到防止乳脂率降低的作用。膨润土在瘤胃中能够膨胀体积（5~20 倍）、吸附和交换矿物质及氨，便于瘤胃微生物的有效利用。

另外一些作为缓冲剂使用的添加剂还有碳酸钾、碳酸氢钾、碳酸镁和碳酸钠等。钾盐在热应激和低钾日粮中具有良好效果，但价格高，而且市面上供应品种少。二价碳酸盐的碱性较一价碳酸氢盐强，但通常适口性都很差。

表 7 产奶牛日粮中几种缓冲剂的建议添加量 g/d

缓冲剂	建议添加量
碳酸氢钠	110~225
倍半碳酸钠	160~340
氧化镁	50~90
膨润土	450~900
碳酸钠	115~180
碳酸钾	270~410

各种缓冲剂的建议添加量列于表 7。多数缓冲剂的适口性不好，因此，添加时必须格外注意用量，以免造成采食量的降低。

2.2.2 应用缓冲剂的条件

应用缓冲剂欲取得最佳经济效益，需要考虑以下 12 个基本条件：

2.2.2.1 高比例玉米青贮饲料

玉米青贮料含有较高的水分（60%~70%）、易发酵碳水化合物（>30%）和较低的 pH（3.9~4.2）。对于达到奶牛最大采食量来说，青贮饲料的最适 pH 应为 5.6。玉米青贮料在制作过程要求切得尽可能短以便压实，短的青贮颗粒由于本

身的湿润特性，动物采食时不需要太多的唾液分泌量，这时使用缓冲剂往往具有明显的效果。

2.2.2.2 湿度大的饲料

如果饲料水分含量超过 50%，且含水的部分又为发酵饲料，那么饲料总干物质进食量会降低 6%~9%。自然含水量一般不影响饲料干物质进食量，正如饲喂青绿牧草或青绿饲料作物一样。

2.2.2.3 低纤维饲料

日粮中酸性洗涤纤维（ADF）低于 19%会影响反刍，并导致瘤胃酸中毒。国外学者报道，ADF 在 14%以上每增加 1 个百分点会增加乳脂率 0.145 个百分点，而添加 108g 小苏打和 54g 氧化镁也可提高乳脂率 0.145 个百分点。

2.2.2.4 干草进食量低

干草具有刺激唾液分泌、延长咀嚼和反刍时间以及降低全日粮水分的功用。进食每千克中等质量干草会刺激动物产生 27.1L 唾液。干草进食不足，可导致瘤胃产酸量增加。

2.2.2.5 半干青贮饲料切得过细

进食每千克苜蓿半干青贮干物质会刺激产生 14.3L 唾液。但进食切得过细的半干青贮会引起动物反刍时间缩短、瘤胃食糜外流速度增加和纤维消化率下降。

2.2.2.6 高精料进食量

日粮中以精料代替粗饲料导致日粮纤维水平降低。国外研究者证实，饲喂 30%粗饲料日粮的产奶牛每天从唾液中分泌的碳酸氢钠当量较饲喂 70%粗饲料的动物少 199g。

2.2.2.7 一餐精饲料给量过大

一餐精料给量超过 3kg 会造成瘤胃“猛烈”发酵。这种发酵会降低瘤胃 pH，并延长瘤胃 pH 低于 6 以下的总时间。

2.2.2.8 精料颗粒度小

精饲料颗粒度小将造成易发酵碳水化合物的快速发酵和瘤胃食糜的快速外流，因而瘤胃产酸量增加。

2.2.2.9 高水分谷物饲料饲喂

高水分谷物饲料中的水分含量直接影响其中碳水化合物和氮素组分的溶解度，并降低进食量。这一问题在谷物饲料的含水量高于 30%以上时尤为突出。

2.2.2.10 高比例易发酵碳水化合物饲料

高比例易发酵碳水化合物饲料影响碳水化合物在瘤胃中降解的数量和降解速度、纤维消化率、瘤胃 pH 和挥发酸产生模式。

2.2.2.11 乳脂率过低

某些产奶牛个体乳脂率过低或变异较大,这些个体的乳脂率差异在大群乳脂率平均值中往往被掩盖。如果荷斯坦品种奶牛乳脂率测定值低于 2.5%或产奶牛乳蛋白率超过乳脂率 0.4 个百分点,就可以认为瘤胃挥发酸比例和 pH 值不正常。

2.2.2.12 热应激环境

高温、高湿、辐射和空气流通不畅都会降低饲料干物质进食量,改变饲料消耗模式,并影响血液矿物质平衡。这些问题都有赖于通过补充缓冲剂来实现。

2.2.3 缓冲剂应用的效果

国内有关使用缓冲剂效果方面的确切统计资料不多。根据美国对 1975-1985 年间 2 087 头产奶牛的调查资料,使用缓冲剂(主要是小苏打,每天每头产奶牛喂 150g,或占混合精料的 1.43%)每天平均增加 3.5%乳脂率的奶量 1kg,经济投入:产出比为 1:2.3。同一时期由 DHI 对美国中西部 9 个州 2 684 个奶牛业主的调查结果显示,54.5%的牛场一直使用缓冲剂,与未使用缓冲剂的牛群相比,平均每年提高产奶量 571kg。

3 维生素添加剂

维生素分为脂溶性(维生素 A、D、E、K)和水溶性(B 族维生素和 VC)两大类。维生素是奶牛保证正常生产性能的发挥和健康所必需。维生素 A、D、E 是在奶牛饲料中必须添加的维生素。许多研究认为,在干奶期给母牛饲喂高水平 VE(1000IU/d),有助于降低母牛产犊后奶中体细胞的数量和乳房炎的发病率,并提高初乳中 VE 的含量。奶牛天然饲料中含有的和瘤胃微生物合成的 VK 和 B 族维生素数量一般可以满足产奶需要,但在高产奶牛中,烟酸、胆碱和硫胺素等的合成量可能不足,需要补加。

3.1 烟酸

烟酸的主要生物学功能是在 NAD⁺/NADP⁺辅酶系统中发挥作用。动物体内碳水化合物、脂类和蛋白质代谢、ATP 合成以及酶调节过程中多于 40 种生物学反应需要通过烟酸参与的辅酶系统传递氢。

3.1.1 对产奶量的影响

20 世纪 90 年代以前国外进行过系统研究,证明添加烟酸对产奶量和乳成分具有明显影响(表 8)。目前推荐烟酸的添加水平为产犊前 2 周每头 6g/d,连续饲喂到采食量达到高峰(产后 80~120d)。欧洲的研究人员发现添加 3g 即可有效,但生产中的推荐量为 10~12g/d。美国的试验结果表明,以提高产奶量作为评价指标,添加烟酸的投入产出比为 1:6(每头牛每日 6g 烟酸的投入为\$0.06,提高产奶量的产出为\$0.39)。

表 8 奶牛日粮中添加烟酸对生产性能的影响

饲料种类	试验数量	与对照相比改变的幅度		
		产奶量/kg	乳脂/%	乳蛋白/%
常规饲料	19	+0.76	+0.156	+0.06
添加脂肪饲料	5	-0.36	-0.044	+0.10

3.1.2 生产中适宜添加烟酸的条件

3.1.2.1 以下几种泌乳牛添加烟酸在经济上往往是有效的：产奶量在 8000kg 以上的牛群，能量负平衡、易患酮病、干奶期体重超重以及泌乳早期干物质进食量低的牛。对这几种能量为负平衡的泌乳牛来说，使用烟酸可以改善脂类代谢，产生积极效果。

3.1.2.2 体重超重的干奶牛添加烟酸对体况评分为 3、4 或 5 的干奶牛有效，而对瘦牛的效果不明显。由于在生产条件下根据体况评分将接近干奶期的牛分开饲喂是不现实的，所以只要牛群中适于使用烟酸的牛数量达到一定比例，就要全群饲喂。

3.1.2.3 为了保证产犊时母牛血浆中有较高的烟酸浓度和最少的脂肪肝形成，添加烟酸应该在产犊前 1~2 周开始，并持续到产后 10~12 周。血液和乳汁中烟酸浓度表明，产后 2~6 周期间奶牛对添加烟酸具有明显的反应。烟酸的添加量以每日 6~8g 为宜。尼克酸和尼克酰胺作为烟酸来源对奶牛具有相同的生物学效价。

3.2 胆碱

胆碱通常被归类于 B 族维生素，但它的作用绝不局限于传统的维生素。在奶牛营养中胆碱的作用包括将脂肪肝的发病率降至最低、改善神经传导和作为甲基的供体等。

由于广泛的瘤胃降解作用，饲料中添加的胆碱有 85%~95% 没有发挥应有作用。据报导，从瘤胃后给奶牛灌注胆碱，日产奶量提高 1kg，乳脂率提高 0.17%，校正奶产量提高 1.5kg。

胆碱在产奶牛中有效的机制是，当游离脂肪酸在泌乳早期从脂肪组织动员出来形成脂蛋白时，胆碱在甘油从肝脏的转移过程发挥作用，因为这一过程需要含有胆碱的磷脂的参与。添加胆碱还具有节省蛋氨酸的作用，10g 胆碱可以提供 44g 蛋氨酸所具有的甲基当量。

使用低蛋氨酸日粮可以通过补加 30g 瘤胃保护的胆碱得到纠正。胆碱的过瘤胃保护问题比氨基酸要困难得多，因为胆碱的吸湿性极强。

