

# 饲料添加剂在奶牛饲养中的应用

中国农业大学动物科技学院 孟庆翔

饲料添加剂是指为了某种特殊需要向饲料中人工添加的具有不同生物活性的微量物质的总称。这些特殊需要通常包括强化日粮的营养价值、提高饲料利用效率、增进动物健康、促进动物生长发育、减少饲料贮存期间营养物质损失以及改进动物产品品质等。从功能上来分，饲料添加剂包括营养性和非营养性添加剂两类。营养性添加剂用来补充一般饲料中某种或某些营养素含量的不足，包括氨基酸、维生素与微量元素等；而非营养性添加剂通常包括生长促进剂、驱虫保健剂、动物产品品质改良剂、饲料保藏剂和饲料质量改进剂等。

随着国家“学生奶”计划的启动，奶牛业的发展已经成为畜牧业发展的一个亮点。奶牛饲料添加剂也理所当然地受到了人们的广泛重视。奶牛饲料添加剂受到重视的另外一个原因是，它对于提高产奶量、改善乳成分和减少产奶应激等具有明显作用。根据美国纽约 DHI (Dairy Herd Improvement, 牛群质量改进协会)于 1987 年所做的 1 项调查结果，当地受调查的 5700 个牛群中应用缓冲剂、离子载体、酵母、烟酸和异构酸添加剂的牛群比例分别为 67.6%、35.4%、17.2%、14.4%和 13%。

## 一、对反刍动物饲料添加剂应用效果的常用评价方法

评定饲料添加剂对于动物是否有效应该从以下 4 个方面着手：生产性能反应、经济回报、生产试验和资料总结。

### (一) 生产性能反应

生产性能反应是指使用添加剂后人们期望的奶牛生产性能反应程度，它包括：

- (1) 产奶量（高峰期产奶量或高峰产奶量的持续时间）；
- (2) 乳蛋白或乳脂率等乳成分的提高；
- (3) 干物质进食量增加；
- (4) 维持适宜的瘤胃 pH；
- (5) 刺激瘤胃微生物蛋白质的合成或挥发酸的产生；
- (6) 提高瘤胃养分的外流速度；
- (7) 提高瘤胃纤维消化率；
- (8) 维持瘤胃内环境的稳定；
- (9) 提高青年牛或初产牛的增重速度或饲料转化效率；
- (10) 最小的掉重损失；
- (11) 减少热应激的影响；
- (12) 改进健康状况，如降低酮病和瘤胃酸中毒发病率，以及提高免疫反应水平等。

奶牛场兽医、技术员和场长应当明确使用饲料添加剂期待奶牛产生何种反应。

### (二) 经济回报

经济回报是指使用某种添加剂以后从奶牛饲养中所获得的经济效益。如果将提高产奶量作为度量指标，表 1 可以用来确定奶牛使用添加剂在经济上的盈亏平衡点。举例来说，某饲料公司推荐的添加剂为每头产奶牛每天投入 0.6 元，而当时当地牛奶公司或奶站收购每千克

鲜奶的价格为 1.6 元，那么该牛场每头牛每天必须多产奶 0.375 千克才能抵消添加剂的成本投入。在此基础上，产奶量越多，添加剂所产生的经济效益也就越多。在生产中出现的另一种情况是，给牛群中所有的产奶牛都饲喂了添加剂，但只是产奶前期（产后 100 天以内）的奶牛对添加剂有反应。那么，这时具有反应的牛必须负担所有牛只的添加剂成本投入。对于某些反应指标如改善健康和减少应激来说，有时很难评价当时使用添加剂的经济回报如何，因为它们的真正作用可能到下一个泌乳期才能体现。从经济效益的角度来说，使用添加剂的一个基本原则应当是“一份投入两份回报”。

表 1 奶牛使用添加剂提高产奶量的盈亏平衡点计算

添加剂成本 (元/头/日)	牛奶公司收购奶价 (元/千克)				
	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
	-----每日需要增加产奶量(千克)-----				
0.20	0.143	0.125	0.111	0.100	0.091
0.40	0.286	0.250	0.222	0.200	0.182
0.60	0.428	0.375	0.333	0.300	0.273
0.80	0.571	0.500	0.444	0.400	0.364
1.00	0.714	0.625	0.556	0.500	0.455
1.20	0.857	0.750	0.667	0.600	0.545

### (三) 试验研究

为了确定严格控制条件下的试验得出的添加剂生产性能反应是否可以推广到实际生产中，进行生产规模的试验研究是必不可少的。要求有与生产应用相同（如饲料成分、饲喂制度、产奶水平和产奶阶段等）而且无偏的条件，同时还必须能对试验结果进行统计处理。

### (四) 资料总结

对各个奶牛场所采集的试验结果进行总结比较，指标包括产奶记录（高峰期产奶量、高峰产奶量持续时间、乳成分和产乳曲线等）、繁殖记录、体细胞数、干物质进食量、青年母牛生长曲线和牛群健康表等。根据这些资料综合评价添加剂使用的效果。

目前应用于奶牛饲料中的常用添加剂种类、建议添加量、估计成本投入与适宜使用阶段列于表 2。

## 二、矿物质添加剂

奶牛产奶所需的矿物质至少有 17 种，其中常量元素包括钙、磷、镁、钾、钠、氯和硫；微量元素包括铁、铜、锰、锌、钴、镍、铬、硒和碘。虽然砷、硼、铅、硅、矾等元素在其它动物上证明可能是必需元素，但对于奶牛来说，一般意义不大。在矿物质中，常量和微量元素的添加量可参考 NRC(2001)奶牛营养物质需要量加以确定。添加方式可以采用添加剂预混料或复合营养舔块形式进行。在奶牛生产实践中，应当给予足够重视的矿物质添加剂包括阴离子盐和缓冲剂。

### (一) 阴离子盐

#### 1. 利用原理

产乳热(milk fever)是一种与低血钙(Low Blood Calcium)有关的代谢紊乱。由于牛奶中含有大量钙离子，泌乳会造成血液中钙离子减少。钙离子为肌肉正常收缩所必需，缺钙导致

步态不稳、发抖、不能站立,直至死亡。美国奶牛中 8%患有严重的产乳热,患牛产奶量减少 14%,产奶寿命缩短 3.4 年。生产上多见的为亚急性产乳热,无明显临床症状,在美国的发病率大约为 66%。血钙含量低还会引起其他疾病,如乳房炎、酮病、难产、胎衣不下、子宫脱出、子宫炎和真胃变位等。

表 2 奶牛常用添加剂的建议添加量和成本估计

添加剂名称	建议添加量(每头每天)	成本估计(元/天)	适宜使用阶段
阴离子盐	200 g	1.20-1.60	产前 3 周-产犊
膨润土	300-500 g	0.06-0.10	产奶牛
小苏打	110-225 g	0.13-0.27	产奶牛
氧化镁	50-90 g	0.25-0.45	产奶牛
异构酸	50-80 g	0.30-0.48	产奶牛
胆碱	30 g	0.25-0.40	产奶牛
莫能霉素	50-200 mg	0.02-0.07	育成牛、青年牛
蛋氨酸羟基类似物	30 g	0.75-0.90	产奶牛
烟酸	6-12 g	0.29-0.58	产前 2 周-产后 16 周
酵母培养物	10-120 g	0.04-0.48	产前 2 周-产后 8 周
活菌制剂	10-50 g	0.25-1.25	产奶牛
蛋氨酸锌	5 g	0.17-0.22	产奶牛
丙二醇	0.25-0.5 kg	1.2-2.4	产前 1 周-产后 2 周

防治奶牛低血钙的一个有效方法是,根据阴-阳离子平衡原理,在产前给奶牛饲喂阴离子盐。奶牛阴-阳离子平衡可以用阳离子和阴离子之差(CAD)来表示。所谓饲粮阴阳离子差是指饲粮总阳离子与总阴离子毫克当量的差值。阳离子是指带正电荷的电解质,主要有钠、钾、钙、镁等;阴离子是指带负电荷的电解质,主要有氯、硫、磷等。饲料中影响阴-阳离子平衡的强电解质主要有钠、钾、硫和氯等。

## 2. 阴-阳离子平衡计算公式

阴阳离子差值(CAD)以 1 千克干物质中毫克当量数(mEq)表示,其计算公式为:

$$\begin{aligned} \text{CAD(mEq/kg DM)} &= [(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{S}^{2-})] \\ &= [(\% \text{Na}/0.0023) + (\% \text{K}/0.0039)] - [(\% \text{Cl}/0.00355) + (\% \text{S}/0.0016)] \end{aligned}$$

干奶牛常规饲粮中 CAD 值通常为 +50~+300 mEq/kg DM 之间,而控制产后低血钙发生的饲粮理想 CAD 值应为-100~-150 mEq/kg DM。为此,必须使用专门的阴离子盐添加剂。

通过 CAD 预测奶牛所用日粮是酸性还是碱性:高阴离子水平为酸性日粮;高阳离子水平为碱性日粮。酸性和碱性日粮所造成的动物反应不同。

## 3. 日粮中的应用

高或正平衡 CAD 日粮(碱性)会引起产后低血钙。添加阴离子盐(酸性)可以有效地增加血液中游离钙的浓度,从而减少低血钙的发生。同时,奶牛尿液的 pH 也将控制在 6.2~6.7。据美国试验结果,给奶牛饲喂阴离子盐仅就产奶量提高一项,投入:产出比就可达到 1:10。而其他

开支方面的节省，如减少产乳热，奶牛疾病的治疗费用和延长动物的生产寿命方面，可能远远超过这个数目。

奶牛常用饲料原料的阴阳离子平衡值列于表 3。

通过饲料配方调整实现理想的日粮阴-阳离子平衡值通常是很困难的，而饲喂阴离子盐添加料则非常容易。阴离子盐主要包括氯化铵、硫酸铵、硫酸铝、硫酸镁和氯化钙等。阴离子盐的适口性差，通过与适口性好的酒精糟、糖蜜或热处理大豆粕等载体混合后制粒的方法，可以提高适口性，并防止分离。生产上经常使用的配比是 200 g 阴离子盐与 454 g 载体混合。这样的阴离子盐产品已经由一些商业公司生产出了定型产品，可以供养殖企业选用。

表 3 奶牛常用饲料原料的阴阳离子平衡值

饲料原料	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	S <sup>=</sup>	CAD 值
	----- % DM -----				
苜蓿（晚花期）	0.15	2.56	0.34	0.31	+431
猫尾草（晚期）	0.09	1.6	0.37	0.18	+233
玉米青贮	0.01	0.96	-	0.15	+157
玉米籽实	0.03	0.37	0.05	0.12	+19
燕麦	0.08	0.44	0.11	0.23	-27
大麦	0.03	0.47	0.18	0.17	-23
酒糟	0.10	0.18	0.08	0.46	-220
豆粕	0.03	1.98	0.08	0.37	+267
鱼粉	0.85	0.91	0.55	0.84	-77

#### 4. 使用阴离子盐添加料的注意事项

- (1) 只喂给干奶后期或产前 21 天的经产奶牛；
- (2) 对所用各种饲料原料的矿物质(K、Na、Ca、S 和 Cl)含量应该了如指掌；
- (3) 日粮中硫含量应达到 0.4%；
- (4) 日粮中 Mg 的含量控制在 0.4%；
- (5) 日粮中氯含量不超过 0.8%。添加阴离子盐后日粮中无需再添加食盐，因为氯离子含量超过 0.8%会降低采食量；
- (6) 日粮中非蛋白氮含量不要超过日粮总含氮量的 25%，或不超过可降解蛋白质含量的 70%；
- (7) 把日粮中 Ca 浓度提高到日粮干物质 1%到 1.2%(或每天每头 100~150 克 Ca)；
- (8) 日粮中 P 含量达到 0.4%(或每头每天有 35 到 50 克磷采食量)；
- (9) 每周定时测定尿液 pH，以了解干奶牛饲喂阴离子盐对体内酸碱平衡的影响情况。尿液 pH 的测定至少 5 头奶牛，多则更好。使用 pH 试纸或 pH 计迅速测定新排出的尿液。如果尿液平均 pH 超过 6.7，表示所用的阴离子盐对奶牛酸碱平衡的影响不足以显著地提高产犊时的血钙浓度；如果尿液 pH 值在 6.0 到 6.5 之间，而且 DM 采食量适中，说明日粮酸碱平衡适当，继续饲喂该阴离子盐。如果尿液 pH 低于 5.5，而且干物质采食量降低，应该减少阴离子盐的给量（见表 4）；

表 4 日粮 CAD、尿液 pH 和奶牛的代谢状态之间的关系

日粮 CAD	尿液 pH	酸碱平衡	产后奶牛血 Ca 平衡
正平衡	8.0 ~ 7.0	碱中毒	低血钙
负平衡	6.5 ~ 5.5	轻度代谢酸中毒	正常血钙
负平衡	< 5.5	肾脏负荷过重	

(10) 一般不需要给初产母牛饲喂阴离子盐，因为低血钙在初产母牛的发生率比较低；

(11) 每天饲喂阴离子混合料至少 2 次；

(12) 最好的饲喂方法是把阴离子添加料和其他饲料混合制成全混合日粮。如果采用单独饲喂，一定要把阴离子添加料与 2.5 到 3.5 公斤谷物或浓缩料混合后饲喂。

(13) 注意奶牛的饲料消耗情况。如果采食量大量减少，需要仔细检查饲喂方法。有时饲喂负 CAD 平衡的奶牛在产犊前采食量会稍低，但产犊后采食量会提高。由于负 CAD 日粮提高了血钙浓度，因此抵销了由于采食量降低所造成的负面影响。

#### 5. 饲喂阴离子添加剂的优点

(1) 在代谢紊乱发病率高的奶牛中，饲喂阴离子是减少产乳热、胎衣不下和真胃变位的主要防治措施。中国农业大学的试验结果表明，饲喂阴离子盐使胎衣不下的发病率降低 31.2 个百分点；

(2) 即使是在管理条件好、产乳热和酮病发病率低的群体，减少亚急性低血钙也可以使一个泌乳期的产奶量从 230 增加到 450 公斤(提高 3.6%到 7.3%)。中国农业大学动物科技学院最近的试验结果表明，奶牛产前饲喂阴离子盐使奶牛产后前 4 个泌乳月平均产奶量提高 3.8 千克；

(3) 改善繁殖性能，使受胎率提高，空怀期缩短，配种次数减少。

(4) 减少治疗费用：美国的调查结果表明，每头患产乳热的奶牛每年平均治疗费用大约是 334 美元。而全美处理临床产后瘫痪的直接花费是每年 1500 万美元，加上由于瘫痪引起的其他疾病，每年的花费超过 1.2 亿美元。使用阴离子盐可以大幅度减少这部分费用。

#### (二) 缓冲剂

反刍动物具有一套复杂的酸-碱平衡调节系统，借助这一系统可以瘤胃 pH 维持在 5.5 到 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 的稳定，有助于提高采食量、增加产奶量和维持正常的乳成分（见表 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<sup>a</sup>

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 <sup>b</sup>	-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

<sup>a</sup>资料来源：J. Dairy Sci. 1988, 71: 3246；

<sup>b</sup> NA：未进行分析。

### 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，缓冲剂由弱酸和它的盐化合成，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，缓冲剂必须是具有较好的水溶性（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列于表 6。

表 6 美国市场上几种常用缓冲剂的成分和性质

项 目	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	倍半碳酸钠	粗碱	MgO
NaHCO <sub>3</sub> 含量(%)	100	37	34.8	33.6	-
NaCO <sub>3</sub> 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 NaHCO<sub>3</sub> 含量 99% 以上，是公认为安全(generally recognized as safe)的饲料添加剂。1%小苏打水溶液的 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相外流速度。

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，也是公认为安全的缓冲剂。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 1.6 千克，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，包括白云岩、页岩、泥岩和其他物质。有关粗碱作为缓冲剂方面的研究还很有限，其中存在的外源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从而有助于提高粪便的 pH。饲料中添加石粉使钙的比例达到 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粘合剂。它是一种含有某些矿物质的粘土，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，使其便于瘤胃微生物有效利用。

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，它们的问题在于价格高，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，但通常它们的适口性都很差。

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。

表 7 产奶牛日粮中几种缓冲剂的建议添加量

缓冲剂	建议添加量(g/日)
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

## 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 13 个基本条件：

### （1）高比例玉米青贮饲料

玉米青贮含有较高的水分（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，不要求动物有太多的唾液分泌量，这时使用缓冲剂往往具有明显的效果。

### （2）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。

### （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 108 g 小苏打和 54 g 氧化镁也可提高乳脂率 0.145 个百分点。

#### (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和降低全日粮水分的功用。进食每千克中等质量干草干物质会刺激产生 27.1 L 唾液。干草进食不足，导致瘤胃产酸量增加。

#### (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 14.3 L 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。

#### (6) 高精料进食量

日粮中以精料替代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 199 g。

#### (7) 一餐精饲料给量过大

一餐精料给量超过 3 千克会造成瘤胃“猛烈”发酵模式。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。

#### (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。

#### (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。

#### (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。

#### (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。

#### (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。

#### (13) 干物质进食量低

饲料进食量应当始终作为产奶牛生产性能的监测指标。生产上 1 千克饲料干物质进食量的减少能通过多种与缓冲剂添加相关的途径得到校正。

### 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 2087 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 150 g，或占混合精料的 1.43%）每天平均增加 3.5% 乳脂率的奶量 1 千克，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 2684 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 571 千克。

### 三、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 族维生素和维生素 C)两大类。维生素为奶牛保证正常生产性能的发挥和健康所必需。轻度维生素缺乏是产奶牛常见的问题,主要表现为产奶量降低,奶牛饲养的经济效益下降。维生素 A、D、E 是在奶牛饲料中必须添加的维生素。有许多研究认为,在干奶期给母牛饲喂高水平维生素 E (1000 IU/天),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,并提高初乳中维生素 E 的含量。奶牛天然饲料中含有的和瘤胃微生物合成的维生素 K 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,需要考虑补加。

### (一) 烟酸

烟酸是尼克酸、尼克酰胺和其他具有同样生物学活性物质的总称。烟酸的主要生物学功能为在  $NAD^+/NADP^+$  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递氢。随饲料来源不同,烟酸数量变异很大,而且其生物学利用率低。奶牛瘤胃微生物能够合成烟酸,但在泌乳早期由于产后饲料成分和瘤胃环境的剧烈变化而导致烟酸合成数量不足,需要由饲料补加。

#### 1. 对产奶量的影响

上世纪 90 年代以前国外进行过系统研究,证明烟酸添加对产奶量和乳成分具有明显影响(见表 8)。目前推荐烟酸的添加水平为产犊前 2 周每头每天 6 g,连续饲喂到采食量达到高峰(产后 80-120 天)。欧洲的研究人员发现添加 3 g 即可有效,但生产中的推荐量为 10-12 g/日。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 6 g 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

#### 2. 作用机制

##### (1) 在泌乳早期改善能量平衡

添加烟酸使体脂动员减少,这样降低了血液中游离脂肪酸和 $\beta$ -羟丁酸(酮体)的浓度,并维持较高的血糖浓度。在人和大鼠上进行的试验表明,添加烟酸使体内环状 AMP 含量降低。泌乳早期(产后 2-5 周)血浆代谢产物浓度出现有利的变化,临床和亚临床性酮病发病率明显减少。

##### (2) 提高干物质进食量

在大豆粕基础日粮条件下,添加烟酸使日粮干物质进食量提高 0.8 kg。增加 1 kg 干物质进食量可以支持 2 kg 以上产奶量,或由于改善了奶牛的能量平衡从而减少了体重损失。添加烟酸提高干物质进食量的反应,无疑与其减少亚临床型酮病发病率有关。

##### (3) 提高瘤胃微生物蛋白质合成

添加烟酸可以影响瘤胃发酵,如增加微生物蛋白质合成和减少瘤胃中尿素氮的浓度。有人报道,烟酸增加瘤胃微生物蛋白质合成,特别是原虫蛋白质,提高丙酸的产生量(改善葡

萄糖平衡和减少酮病发生的危险)。

#### (4) 提高乳蛋白产量

如表 8 所示, 奶牛饲料(常规或添加脂肪饲料)中添加烟酸使乳蛋白含量提高, 这与饲料添加脂肪(全棉籽、全脂大豆或脂肪酸钙皂)的效果相反。烟酸添加导致饲喂添加脂肪饲料的奶牛乳蛋白含量提高的可能解释包括, 烟酸添加提高了微生物蛋白质合成(饲喂脂肪会降低蛋白质合成), 或增加了血浆葡萄糖和胰岛素的浓度。如果胰岛素在乳腺中酪蛋白合成过程发挥作用, 那么添加烟酸由于能够提高血浆胰岛素的浓度因而对促进乳蛋白合成产生积极作用。此外, 饲喂烟酸导致奶牛血浆中色氨酸(合成烟酸的前体物)的浓度升高。如果奶牛日粮中烟酸供应不足, 动物需要大量色氨酸来满足对烟酸的需要, 这时色氨酸就会成为限制乳蛋白合成的因素。

### 3. 生产中适宜添加烟酸的条件

(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 8000 千克以上的牛群, 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, 使用烟酸通过改善脂类代谢均会产生积极效果。

(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) 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。

(4) 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。

(5) 奶牛日粮中添加脂肪, 如全棉籽、全脂大豆或保护脂肪, 会降低乳蛋白含量 0.1-0.2 个百分点; 而在添加脂肪的同时再添加烟酸, 有可能维持乳蛋白率不降低。

(6) 烟酸的添加量以每日 6-8 g 为宜。基于经济上投入: 产出比的考虑, 提高饲料烟酸的添加水平未必划算。

(7) 烟酸与缓冲剂、微量元素、维生素和抗生素一道, 可以作为反刍动物抗应激剂使用。有报道, 给奶牛饲喂烟酸提高了产奶量(在产后最初 90 天内每头每天提高产奶量 1.2 千克), 提高了单位产奶量的饲料转化效率, 减少了卵巢囊肿发病率, 并缩短了产后第一次发情的时间。烟酸产品的适口性不佳, 需要与酒精糟或糖蜜等载体进行混合后饲喂。例如, 将 6 g 烟酸与 115 g 载体充分混合。

#### (二) 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 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 1 千克, 乳脂率提高 0.17%, 校正奶产量提高 1.5 千克。

产奶牛添加胆碱有效的主要机制是, 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, 否则饲料中的蛋氨酸将用于胆碱的合成。10 g 胆碱

可以提供 44 g 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 30 g 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。

#### 四、氨基酸

##### (一) 蛋氨酸锌

蛋氨酸锌是含有蛋氨酸和锌的螯合物，它具有抵制瘤胃微生物降解的作用。与氧化锌相比，蛋氨酸锌中的锌具有相似的吸收率，而且吸收后代谢率不同，以致于从尿中的排出量更低，血浆锌的下降速度更慢。

在奶牛日粮中添加蛋氨酸锌能够提高产奶量，并降低奶中体细胞数。在生产条件下，蛋氨酸锌还具有硬化蹄面和减少蹄病的作用。蛋氨酸锌的添加量一般每头每天 5-10g，或占日粮干物质 0.03-0.08%。

##### (二) 蛋氨酸羟基类似物(Methionine Hydroxy Analog, MHA)

蛋氨酸是一种在肝脏合成脂蛋白过程所必需的含硫氨基酸。有人将蛋氨酸通过静脉注射到患有酮病的奶牛体内，发现蛋氨酸对酮病有治疗效果。蛋氨酸羟基类似物(MHA)在化学性质上与蛋氨酸一样，但能抵抗瘤胃微生物的降解。多数研究结果认为，添加 MHA 虽然对提高产奶量的效果不明显，但能够增加乳脂率和提高校正奶的产量。

MHA 能够发挥作用的条件包括：(1) 产后 100 天内饲喂；(2) 产奶平均水平高于 23 千克；(3) 添加量为每头每天 20-30 g 或占日粮干物重 0.15%；(4) 日粮精料水平高于 50%；(5) 日粮蛋白质水平低于 15%。

MHA 发挥作用的可能机制为：促进脂蛋白合成；改善纤维消化；提高瘤胃原虫数量；以及提高丙酸：乙酸的比例等。促进瘤胃发酵可以解释 MHA 或蛋氨酸发挥有效作用的原因。我国市场上 MHA 产品目前比较少见。

#### 五、离子载体

离子载体是由某些放线菌产生的抗生素。它具有改变通过微生物生物膜离子流量的作用。革兰氏阴性菌外膜结构复杂，通常不受离子载体的影响；但革兰氏阳性菌缺乏典型的外膜，因而对离子载体极为敏感。所以，饲料中添加离子载体会导致瘤胃中革兰氏阳性菌比例减少，而革兰氏阴性菌比例增加。于是，发酵终产物也会随之变化。

莫能霉素(商品名瘤胃素)和拉沙里霉素(商品名牛安)是用以改变瘤胃发酵类型的常用离子载体。最早应用于肉牛，可以提高日增重和饲料转化效率。在用育成牛和初产母牛所做的试验表明，莫能霉素可以提高增重 6-14%，而对繁殖性能、产犊过程和犊牛初生重等无任何不良影响。由于生长速度加快，青年母牛提前配种，提前产犊，因而节省了大量饲料费用。在我国，饲喂莫能霉素每天每头牛投入的成本约 0.08-0.1 元，增重收入约 0.6-0.9 元，投入：产出比 1：6-8 以上。拉沙里霉素的作用效果与莫能霉素相同，但拉沙里霉素可以饲喂体重小于 180 千克以下的牛，而且开始饲喂时没有像莫能霉素那样影响采食量的情况。离子载体也是猪鸡等动物常用的抗球虫药。

离子载体提高反刍动物生产性能的机制与其改变瘤胃中挥发酸产生比例和减少甲烷产生量有关，其生产上的反应是提高日增重和饲料转化效率、节省蛋白质、改变瘤胃充满度和瘤胃食糜外流速度。

离子载体对于瘤胃发酵的影响必然也会影响到产奶性能。降低乙酸、丁酸、甲烷的产生量，而提高丙酸的产生量，这意味着能量用于产奶效率的提高。丙酸产生量的提高表明动物能够合成更多的葡萄糖，从而直接提供更多的用于乳糖合成的前提物。增加葡萄糖合成的间接影响是能够节省更多的生糖氨基酸。在产奶牛日粮中添加莫能霉素可以明显提高奶牛的产奶量，并影响乳成分，主要是乳脂率降低（约 0.1 个百分点），乳蛋白含量略有提高。

据报道，添加的莫能霉素在奶中没有任何残留。莫能霉素作为离子载体目前在泌乳牛饲料中的使用已得到澳大利亚、新西兰、南非等 20 多个国家的批准，但我国尚未批准莫能霉素在泌乳牛饲料中使用。

## 六、生物活性制剂

### （一）饲用纤维素酶制剂

饲用纤维素酶制剂是粗酶制品，主要来自真菌、细菌和放线菌等。纤维素酶的多酶复合物中除含有纤维素酶外，还含有半纤维素酶、果胶酶、淀粉酶和蛋白酶等。在单胃动物猪鸡饲料中，添加纤维素酶制剂可以外源酶活性的不足，提高纤维素和其他养分的消化率。在反刍动物方面，由于瘤胃微生物能降解外源的糖、蛋白质和其他多种成分，纤维素酶作为蛋白质可能被微生物降解掉。另一方面，瘤胃微生物能分泌充足的纤维降解酶以消化饲料中的纤维素成分，所以饲料中再添加外源纤维素酶制剂可能是多余的。

上一世纪末，美国学者通过糖基化方法制成了瘤胃中稳定的纤维素酶制剂，使外源纤维素酶在反刍动物饲料中的使用成为可能。研究结果表明，添加瘤胃稳定的酶制剂使干物质和六碳糖的活体外消化率提高，挥发酸产生量增加。给产奶牛每天饲喂 15g 酶制剂使产奶量提高 7-14%，乳蛋白含量没有改变，但乳脂率略有下降。

### （二）酵母培养物(Yeast culture, YC)

酵母培养物是包括活酵母细胞和用于培养酵母的培养基在内的混合物。YC 经干燥后有益于保存酵母的发酵活性。另外，可用的酵母产品也可以来源于啤酒或白酒酵母。米曲霉(*Aspergillus oryzae*)和酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)是目前国内外制备酵母培养物的常用菌种。国外的研究结果显示，在奶牛饲料中添加酵母培养物能够提高产奶量 1-1.5 千克，乳脂率和乳蛋白率也有不同程度的提高。

YC 的作用机制主要是维持稳定的瘤胃 pH，刺激瘤胃纤维消化，提高 VFA 的产量和改变 VFA 比例。活体外和活体内研究结果都证实，添加酵母培养物提高了瘤胃中纤维分解菌群和厌氧菌的浓度。随酵母培养物的添加，瘤胃 pH 升高，尽管结果还不完全一致。添加酵母培养物使瘤胃乙酸：丙酸比例下降，这有利于产奶量的提高。YC 还导致瘤胃乳酸浓度下降，干物质进食量提高。从产前 2 周到产后 8 周给奶牛饲喂酵母培养物对于稳定瘤胃环境看来是比较适宜的时间，因为这期间奶牛要经历从干奶牛饲料到高能量饲料的转换。YC 适口性好，在产奶初期每日每头添加 15-115 克，有助于防止进食量的下降和提高产奶量。

### （三）活菌制剂

活菌制剂(Probiotics)或直接饲喂微生物(Direct-Fed Microbials, DFM)是一类能够维持动物胃肠道微生物区系平衡的活的微生物制剂。活菌制剂在奶牛应激或发病情况下具有明显的效果。活菌制剂维持产奶牛胃肠道微生物区系的机制十分复杂，而且目前还不完全清楚，但以下几点已经被人们普遍接受：

- (1) 刺激有益微生物区系的生长；
- (2) 稳定瘤胃 pH 环境；
- (3) 改变瘤胃发酵类型和终产物的产量；
- (4) 增加养分向瘤胃下段的流量；
- (5) 提高养分的消化率；
- (6) 通过提高动物的免疫机能来增加抗应激能力。

作为活菌制剂的菌种应当在肠道内能快速生长、在消化道表面能够定植，在胃内低 pH 环境下存活，贮存过程仍保持活力，以及能够与特殊的抗生素治疗作用相媲美等。一般可选作为活菌制剂的微生物主要有：芽孢杆菌、双歧杆菌、链球菌、拟杆菌、乳杆菌、消化球菌和其他一些微生物菌种。活菌制剂的剂型包括粉剂、丸剂、膏剂和液体等。活菌制剂在产奶牛上的应用效果是提高产奶量（3-8%），减少应激和增强抗病能力。

## 七、其他添加剂

### （一）异构酸

异构酸包括异丁酸、异戊酸和 2-甲基丁酸，为瘤胃纤维素分解菌生长所必需。瘤胃发酵过程产生的异构酸量可能不足，所以，在奶牛日粮中添加异构酸能提高瘤胃中包括纤维分解菌在内的微生物数量，改善氮沉积量，提高纤维消化率，进而提高产奶量和乳脂率。有报道指出，给奶牛每日添加 85 克异构酸，可以提高产奶量 2.7 千克。在产犊前 2 周至产后 225 天期间内，添加异构酸效果较好。但在青年母牛日粮中添加异构酸，在经济上未必划算。

### （二）丙二醇(propylene glycol)

丙二醇作为添加剂可以在肝脏中转化为葡萄糖。如果在酮血症发病之前每日给产奶牛 0.25-0.5 千克丙二醇，可以通过保持血浆中适宜的葡萄糖水平而防止酮血症的发生和脂肪肝的形成。丙二醇适口性差，建议在产犊前一周和产犊后两周内每日每头灌服 0.25-0.5 千克。

### （三）牛生长激素(BST)

BST 是牛脑下垂体前叶分泌的蛋白质激素。美国的孟山都等几家公司已经应用重组 DNA 技术生产出 BST，该产品已于 1994 年由 FDA(美国食品与药物管理局)批准在奶牛生产中使用。大量试验结果表明，BST 用于产奶牛，在不改变乳成分的前提下，可以提高产奶量 10-25%，提高饲料转化效率 10-20%。由于 BST 是一种多肽，在胃肠道内可以完全降解，所以，它不能通过饲喂方式提供给动物。目前，BST 是通过注射方式供给。产奶牛于产后第 3-4 泌乳月开始注射效果较好。在产奶初期牛的能量处于负平衡情况下不宜使用 BST。对于体况较肥(如体况评分超过 4)的牛使用 BST，尤其具有良好的效果。产奶牛 BST 的使用剂量为：每两周注射 500 mg/头或每 4 周注射 960 mg/头。我国饲料添加剂管理条例目前严格禁止给动物使用激素类产品。

## 八、奶牛饲料添加剂的发展趋势

随着饲料工业的发展，人们对添加剂在奶牛饲料中的应用效果有了明确的认识，奶牛饲料添加剂的使用也越来越普遍。由于对食品安全的担忧，人们对饲料产品的卫生质量和安全要求越来越高，生产无污染、无残留、优质、安全、高效的饲料产品，代表着 21 世纪奶牛业发展的必然要求。

- (1) 提高生产性能：使用添加剂的主要目的之一就是提高奶牛的生产性能，包括产奶

量、进食量、单位重量校正奶的饲料转化效率、稳定的乳成分等。虽然奶牛饲料添加剂提高生产性能的效果不如单胃动物那样来得直接和显著，但这始终是实际生产者使用添加剂时所追求的首要目标。

(2) 满足乳产品无药物残留的要求：到目前为止，奶牛等反刍动物饲料仍是畜牧行业中少有的不添加抗生素的饲料。从人的健康、保健和环境保护等目的出发，研究和推广使用新型添加剂产品如酶制剂、活菌制剂、寡糖等，将是绿色奶牛业未来发展的重要方向。为了达到这样的目的，需要国家制定并推行完备的奶牛饲料质量和卫生安全标准体系，同时乳品加工企业、饲料行业、养牛企业的自我规范与互相监督也是必不可少的。

(3) 减少奶牛疾病：繁殖疾病、代谢病和肢蹄病始终是困扰奶牛生产发展的主要疾病。通过使用适宜的饲料添加剂，减少和控制上述疾病的发生是可以实现的。例如，干奶后期使用阴离子盐添加剂减少产奶初期的酮病、乳房炎的发病率；使用缓冲剂控制高精料饲喂带来的瘤胃酸中毒；添加蛋氨酸锌提高蹄壳硬度等等。

(4) 抗应激与改善动物福利：

经过高度遗传选育的奶牛实现高产，这首先是一种应激反应。在高温或低温环境下、在集约化条件下饲养奶牛，母牛产犊、转群、干奶等，也都是应激反应。保证动物福利和保障动物权利已经成为今天更多人关注的焦点问题。为了实现奶牛高产和高效，除了给牛只提供符合生理条件的配合饲料外，还必须提供舒适的生活环境和让动物有最少的应激。研究证明，某些添加剂饲料，如活菌制剂对减少动物应激就有明显的效果。