

The background features a complex, abstract design. It consists of numerous thin, light-colored lines radiating from various points, creating a sense of depth and movement. Interspersed among these lines are several geometric shapes, including circles of varying sizes and small crosses or asterisks. The overall effect is a modern, technical, and somewhat futuristic aesthetic.

# 动物饲料与安全

(六)

编者董原

## 目 录

酸化剂在仔猪上的应用.....	1
饲料对牛乳成分的影响.....	11
饲料中黄曲霉素的毒害及其防除措施.....	21
反刍动物饲料添加剂磷酸脲应用研究.....	25
大豆异黄酮的作用及其对动物生产的影响.....	31
新型饲料添加剂茶多酚的研究进展.....	39
白酒糟资源的开发利用途径.....	46
中草药料添加剂的应用现状和研究进展.....	54
益生菌的应用研究与发展趋势.....	64
怎样选择和保管饲料原料.....	72
纤维素酶在动物营养中的应用.....	75
我国微生物饲料的研究进展及发展趋势.....	83
饲料新产品开发研究趋势.....	91
二氯吡啶在禽业生产中的应用研究进展.....	94
玉米赤霉烯酮的危害及其防治.....	98
鸡饲料中的“秘密武器”.....	104
莫能霉素在反刍动物中的应用.....	105
水产饲料诱食剂的研究现状与展望.....	111
马齿苋在养殖业上的应用.....	118
二氢吡啶在畜牧业生产中的应用概况.....	124
小麦在猪饲料中的应用研究进展.....	134
中药对鸡肠道微生物菌群的影响.....	143

## 酸化剂在仔猪上的应用

为了提高养猪业的经济效益,现代养猪生产中已普及早期断奶,即3~5周龄断奶,但是由于早期断奶仔猪抗病力低、消化道与消化腺发育尚未完善、胃酸分泌不足等生理特点,而导致一系列不良后果,表现为食欲差、消化不良、生长慢、饲料利用率低、抗病力下降、精神状况不佳等,Liebbrendt和Ewan(1975)、Lecee等(1979)、Armstrong和Clawson(1980),统称为早期断奶综合症。国内外应用和研究结果表明,有机酸化剂不但能改善仔猪饲料利用率、提高日增重、减少应激、降低腹泻率和死亡率,而且与高铜、抗生素合用有协同促进生产性能的功效。为此,本文围绕着不同类型酸化剂的应用研究及其存在的问题进行了讨论。

### 1 酸化剂的作用机理

关于酸化剂作用的机理尚不清楚,存在很多假说。但是目前普遍接受的观点是酸化剂主要用于降低断奶仔猪胃内容物的pH值,使其维持相对稳定,进而改善消化道内酶的活性,降低病原微生物感染,提高营养物质消化率等作用。

#### 1.1 酸化剂降低日粮和胃内的pH值,起到了保健作用

Burnell等(1988)、Risley等(1991)、Cromwell(1988)、Sciopini(1978)、王尚荣等(1994)报道日粮中添加酸化剂,使日粮pH值降低了0.5~1.5个单位,使胃的pH值降低了0.15~0.45个单位

### 1.11 酸化剂对消化酶的影响

酸化剂通过降低日粮 pH 值使胃肠道 pH 值下降，消化酶活性升高，仔猪消化能力增强，促进了饲料营养成分的消化吸收。据研究消化道中大多数酶对 pH 值的要求都接近中性(6.5~8.0)，例如， $\alpha$ -淀粉酶最适 pH 值为 6.8~7.0，胃脂肪酶为 5.0~6.0，胰脂肪酶为 7.0~8.0，然而，消化道中分解蛋白质的酶在极酸的环境下才被激活。胃蛋白酶的适宜 pH 值为 2.0~3.5。当 pH 值大于 3.6 时其活性显著下降，当 pH 值大于 6.0 时胃蛋白酶失活(Taylor, 1959)。Tschier 和 Shwits 等(1982)报道，在高蛋白质日粮中添加延胡索酸，可提高天门冬氨酸转移酶、丙氨酸转移酶和琥珀脱氨酶的活性。侯永清等(1996)研究表明，添加柠檬酸和磷酸可以提高小肠内胰蛋白酶和淀粉酶活性，添加磷酸可提高小肠内胰蛋白酶活性，明显影响胃蛋白酶活力。李德发等(1993)在仔猪料中加 1%柠檬酸后，粗蛋白质消化率、N 利用率、干物质消化率分别提高了 6.1%、2.7%和 2.28%。Kirchgeser 和 Roth(1982)、Giesting 等(1991)均有类似报道。总体来看，关于酸化剂提高胃肠内消化酶活性的相关报道还很少，尚需补充有关的数据。

#### 1.1.2 酸化剂对胃排空速度的影响

对胃排空速度的刺激来自于胃内容物的体积和 pH 值，低 pH 值水平抑制胃蠕动，减慢胃排空速度，使营养物质停留在胃内的时间增长，促进消化。Sciopianni 等(1978)<sup>(9)</sup>观察到酸性食糜进入小肠后，对小肠壁进行机械和化学刺激，使其分泌肠抑胃素，从而反射性的抑制胃的运动，减慢胃的排空。但是目前对这方面的研究还不充足。

### 1.1.3 酸化剂对胃肠道微生物区系的影响

在日粮中添加酸化剂可以改善胃肠道微生物区系，促进有益菌生长，抑制或杀灭有害菌。这种作用主要是通过降低胃肠道 pH 值，进而抑制细菌的增殖来完成的。现已知道，仔猪消化道内存在 400 多种菌类，对日粮消化有促进作用的为 20~50 种。大多数的病原菌的适宜 pH 值为中性偏碱性，例如，大肠杆菌和肠球菌在消化道内最适生长的 pH 值为 6~7 和 7~8，在 pH 为 4 时基本失活。而乳酸菌作为肠道有益菌在 pH 值为 3.5 时仍能生长良好，乳酸菌的大量繁殖又进一步降低了胃肠道的 pH 值，为日粮的消化吸收提供了适宜的内环境，同时，抑制了有害菌的生长，减少了仔猪腹泻的发病率和死亡率。Scipinaie (1979) 报道，添加柠檬酸可使胃、结肠和直肠的大肠杆菌分别减少 38.1%、62.5%、66.7%。Sps cipinaic scwinaic (1974) 发现仔猪日粮中添加柠檬酸可显著减少胃、结肠和直肠中的大肠杆菌数量，3 段肠道内容物所含大肠杆菌数分别从每克 2 226、848 和 636 个降至 1 378、318 和 212 个。王学玲等 (1995) 报道，添加 1% 的混合酸 (0.5% 的柠檬酸和 0.5% 的乳酸) 可降低仔猪腹泻发病率 30%。德国和前苏联的一些专家的研究也表明，在仔猪日粮中添加酸化剂可降低 20%~50% 的腹泻次数，而且日增重明显提高。Pollman 等 (1980)、Giesting (1986)、刘作华等 (1992)、曹国文等 (1992)、侯永清 (1996) 也有类似报道。但是，Clarke 等 (1989) 指出，日粮酸化对腹泻发生率无影响；对大肠杆菌感染无抑制作用 (Risley, 1990)。

## 1.2 酸化剂的营养作用

### 1.1.2 酸化剂对矿物质、维生素的影响

一些常量和微量元素在碱性环境中易形成不溶性的盐而极难吸收。酸化剂在降低胃肠道内容物的 pH 的同时,还可与一些矿物质元素螯合成稳定易吸收、生物效价较高的配位化合物,促进了仔猪对矿物质的吸收,从而有效的防止了因微量元素缺乏所造成的贫血等疾病的发生,延胡索酸和柠檬酸能与 Ca、Cu、Zn、Fe、P、Mg 等形成络合物,促进了它们的吸收和保留。Bo ling 等(2000)和 Kirchgesser (1982)也指出,添加延胡索酸可促进钙、磷及锌的吸收和蓄积。前苏联明京技术大学生理研究所对加酸饲料进行了平衡试验发现,矿物质(Ca、P、Mg、Zn)吸收率提高约 30%。仔猪体内常量和微量元素贮存增加 13%~43%。

有些有机酸如延胡索酸具有抗氧化作用,而柠檬酸经常作为抗氧化剂的增效剂。添加延胡索酸的预混料保存 3 个月,VA 和 VC 的稳定性比不加延胡索酸的提高了 10.24%和 12.20%。同时,小肠内的酸化环境有利于 VA 和 VD 的吸收。

### 1.2.2 酸化剂对仔猪体内代谢及营养物质消化率的影响

某些有机酸是能量代谢中的中间产物,可直接参与代谢,提供能量。如三羧酸循环就是由乙酰 CoA 与草酸乙酸缩合形成柠檬酸开始的。延胡索酸也是三波酰循环的一个中间产物。乳酸是糖酵解的终产物,也可通过糖异生释放能量。日粮中添加酸化剂可减少仔猪因糖元异生和脂肪水解造成的组织损耗。Kirehgersner 等发现仔猪利用延胡索酸作为能量的效果与葡萄糖相似,延胡索酸的粗能为回 11.5MJ/kg,而且完全可为仔猪代谢利用。实验证明,酸化剂被猪吸收后,在体内合成 ATP 时对电

子传递系统和氢化酶活性都有积极作用。有机酸化剂可增进仔猪对日粮干物质、蛋白质和能量的消化吸收,提高氮在体内的保留。Eckel 等(1992)的研究报道,甲酸可显著提高日粮氮的消化率,这与 Kirchgessner 等(1992)报道结果一致。潘穗华等(1992)在28日龄断奶仔猪日粮中添加甲酸钙后,饲料报酬提高2.53%,蛋白质消化率提高10.3%。杨明爽(1994)报道,28日龄断奶仔猪日粮中添加2%延胡索酸,可使饲料消化率提高6%~11%。也有一些研究者发现,饲料酸化后仔猪血液胰岛素水平提高(陈斌等,1996;董玉京泽,1989),血浆总蛋白提高,血浆尿素氮水平下降(Bolduan, 1988;刘作华等,1992),胴体蛋白含量提高(Kirchgessner 等,1992)。这些情况表明,饲料酸化进了体内中间代谢和蛋白质的合成。

但是与上述研究结果相反。Falkowski 等(1984), Bolduan 等(1986b)和 Radccki 等(1988)及侯永清等(1996)报道,日粮中添加有机酸不能改进干物质和氮的消化率。Giesting 等(1991)研究发现,日粮中添加延胡索酸不能提高断奶仔猪回肠末端氮的表观消化率,这与 Mosenthin 等(1992)报道一致。可见酸化剂能否提高营养物质的消化率,有待于进一步研究。

### 1.3 酸化剂的其它作用机制

#### 1.3.1 酸化剂对适口性的研究

酸化剂的酸味是动物喜好的一种味觉,是刺激动物味蕾及消化酶分泌的重要因素。饲料加入酸化剂后具有轻微的酸味,可掩盖饲料中某些不良味觉反应,提高饲料的适口性,进而提高仔猪的采食量(Bolduan, 1988; Kirchgessner, 1982)。据报道,添加柠檬酸能有效的改

善饲料的适口性,使仔猪的采食量增加 5.2%~19.8%, Kirchgessner 等(1982)和 Bolduan 等(1988)的研究表明日粮酸化能提高仔猪的采食量。但是也有一些相反的报道(Brunell 等,1988;Edinonds 等,1985;Giesting 等,1985)。在 Henry 等(1985)的研究中,将酸化和非酸化两种日粮放入同一实验猪群中,非酸化日粮的消耗量极显著的高于酸化日粮。因此,酸化日粮能否改善适口性尚需进一步证实。

### 1.3.2 酸化剂对免疫应激的影响

仔猪由初乳获得的被动免疫在第 3 周时效价降至最低水平,而其自身的免疫系统在出生后 4-5 周时才开始发挥作用。添加酸化剂可增强仔猪的免疫和应激能力。在仔猪料中

添加柠檬酸,可改善内环境,促进红细胞 C3b 受体(红细胞发挥免疫功能的重要物质基础)的合成,进而发挥红细胞免疫功能,减少仔猪腹泄发病率(张德成,1994)。延胡索酸本身就有镇静作用,可抑制神经中枢,减少机体活动,因此,仔猪料中添加延胡索酸能很好的缓解热应激反应(郭芳彬,1996)。前苏非传染病研究所从仔猪开始补料的 7 日龄~10 日龄投喂延胡索酸(100mg/l) 10d,使仔猪食欲提高,生长加快。

### 1.3.3 酸化剂对保存饲料的影响

一些有机酸如乳酸、延胡索酸、丙酸等具有广普杀菌活性,但对乳酸杆菌生长无抑制作用。向保存在 30 高温高湿的饲料中添加 2%延胡索酸,不仅能防止微生物数量增多,还可减少原有的微生物数量。有人对甲酸、乙酸及丙酸的研究表明,抑制梭状芽孢杆菌、芽孢杆菌属及革兰氏阴性菌的生长方面,甲酸在 pH 为 4 时作用最

强，丙酸在 pH 为 5~6 时最有效，因此可以说酸化剂是饲料的保存剂。

## 2 不同酸化剂的应用效果

### 2.1 有机酸的应用效果

#### 2.1.1 柠檬酸

柠檬酸是添加效果最好的单一有机酸。在日粮中添加柠檬酸，仔猪增重可提高 3.6% (李四元等, 1997)、17.5% (王学玲等, 1995)、38.67% (王尚荣, 1994)、24.4% (周菊香, 1994)、14.68% (刘作华, 1992)。张心如等 (1995) 报道，玉米--豆饼型日粮添加 1% 柠檬酸，可使仔猪饲料利用率提高 5.05%，腹泻发生率降低 41.88%，陈斌 (1995)、侯永清 (1996) 也有类似报道。一般认为柠檬酸的添加量在 1% - 2% 时效果较好。

#### 2.1.2 延胡索酸

延胡索酸在欧洲使用较为普遍。在仔猪日粮中添加延胡索酸可使仔猪增重提高 13.8% (许万祥, 1995)、13.4% (Giesting 等, 1985)、11.3% (Bolduan, 1988)、11% (李伟, 1994)、9% (王水明, 1994)、7% (Risly 山等, 1991)。Ravindran 等 (1993) 和 Premiers 农业研究中心也有类似报道。一般认为延胡索酸添加量在 2% ~ 3% 时效果较好。

#### 2.1.3 甲酸及甲酸钙

甲酸经常使用于饲料原料或饲料中沙门氏菌的清除。在生产中常用甲酸钙作为饲料的酸化剂。Eckel 等 (1992a) 试验指出，仔猪日粮中添加 0.6% ~ 0.8% 的甲酸，可提高日增重、饲料转化率及采食量，而添加 2.4% 的甲酸则抑制生长性能。在仔猪日粮中添加甲酸钙，仔猪日增重和饲料报酬分别提高 7.3% 和 2.5% (许万祥, 1

996、3.2%和 3.7% (Pallauf, 1993)。李绍东 (1997) 添加甲酸钙的实验中, 仔猪日增重提高 7.48% ~ 14.13%。一般认为甲酸添加量为 1% 时效果较好。

#### 2.1.4 乳酸

以乳酸为基础的饲料添加剂适口性较佳, 具有较高的代谢能, 还具有抑制病原菌的效果。王学玲 (1995) 在仔猪日粮中添加乳酸, 可提高日增重 9%, 饲料报酬提高 10%。有人用乳酸为基础的复合酸来处理日粮, 结果发现, 仔猪大肠杆菌比对照组有明显降低, 乳酸菌明显提高。一般认为乳酸添加量为 1% 时效果较好。

#### 2.2 无机酸的应用效果

无机酸主要指盐酸、硫酸和磷酸。无机酸化剂在生产应用中的报道并不多, 结果也不一致。黄国清等 (1999) 在仔猪日粮中添加 0.3% 的磷酸, 仔猪日增重提高 4.48%, 饲料报酬提高 1.16%。赵永禄等 (1990) 在仔猪饮水中添加稀盐酸, 可促进仔猪生长发育。盐酸和硫酸的添加效果并不佳 (范兴良译, 1995; Giesting 和 Easter, 1985; Giesting, 1986)。

#### 2.3 复合酸化剂

复合酸克服了单一有机酸和无机酸特有的缺点, 一些研究表明, 复合酸在使用效果方面优于单一酸 (Kirchgessner 等, 1991; 王学玲等, 1995)。大多数复合酸以一种酸为主, 如乳酸宝以乳酸为主, 得卡肥以磷酸为主。一般认为复合酸化剂的添加量为 0.1% ~ 1.5%。

### 3 影响酸化剂效果的因素

关于仔猪日粮中添加酸化剂的报道很多, 但效果不一致, 其原因可能与以下因素有关。

#### 3.1 酸化剂的种类及添加量

不同酸化剂的理化性质和生物学特性各异，因此，在仔猪日粮中使用效果和适宜添加量不同。当前为世界所公认有肯定效果的酸化剂种类主要有柠檬酸、延胡索酸和甲酸钙。而丙酸、丁酸、苹果酸、盐酸和硫酸等多数证明是无效甚至有负作用的。综合 Henry 等 (1985)、Scipion 等 (1978)、彭健康等 (1995)、李四元 (1997)、侯永清 (1996) 的实验结果，从提高日增重和饲料效率来看，柠檬酸 > 延胡索酸 > 甲酸钙。一般认为，适量添加酸化剂才会有明显的促生长结果。酸化剂的添加量不足，起不到把消化道内 pH 降到适宜程度的效果；酸化剂过量，可能导致适口性降低和成本增加。目前酸制剂的添加量一般在 0.2% ~ 3%。

### 3.2 日粮类型和组成

日粮对酸的缓冲能力在一定程度上影响胃内容物的 pH 值 (Bolduen 等, 1988a)，缓冲能力强弱取决于日粮组成，日粮类型不同对饲料的酸化效果不同。Cromwell 等 (1987)、Burnell 等 (1988)、Giesting 等 (1991) 均报道了简单日粮，酸化效果优于复杂日粮。Giesting (1986) 和 Burnell (1988) 分别报道，在玉米 - 豆饼和玉米 - 豆饼 - 脱脂奶粉的两种日粮中。添加 2% 的延胡索酸，结果饲喂前者日粮的仔猪日增重比后者提高了 0.9% ~ 2.1%。玉米 - 豆饼型日粮 (简单日粮) 与加入乳制品的复杂日粮的饲喂效果不一样，可能是由于其中的大豆蛋白和酪蛋白不同。

日粮中的蛋白质水平也是影响酸化剂效果的重要因素，不同类型蛋白质在胃肠道消化所需的酸度不同，例如奶制品需要的适宜 pH 值为 4，大豆蛋白和鱼粉则需要 pH 值为 2.5 的酸度 (刘学剑, 1997)。据研究报道，粗

蛋白水平为 16% 和 20% 的两种日粮中添加 2% 的延胡索酸，结果前者平均日增重为 281g，饲料效率为 0.49，后者则分别为 329g 和 0.62g。

### 3.3 仔猪的日龄与体重

众多的研究表明，仔猪日粮中添加酸化剂的促生长效果主要表现在断奶初期，断奶后的前两周效果好于随后两周，以后的效果更不明显（Radecki 等，1988；Martin 等，1996）。这是因为断奶初期的仔猪胃虽然具有了一定的分泌盐酸的能力，但分泌不足，在仔猪采食后胃 pH 值会上升到 5 以上，导致仔猪消化不良和腹泻。Gromevell（1985）发现，仔猪从出生到 5~6 周龄的胃酸产量与体重之间呈直线相关。Piovimi 研究认为，添加酸化剂的有效时间一般是断奶前至 25 - 30kg 体重之间。

### 3.4 饲养环境

圈舍的卫生条件、饲养密度、温湿度、光照和各应激因子都是影响酸化剂作用的重要因素。饲养条件差的地方使用酸化剂的效果好于饲养条件好的地方。这可能就是在我国应用酸化剂产品效果好于美欧国家的一个原因。

### 3.5 酸化剂与抗生素、高铜、无机碱的协同作用

一些实验表明，酸化剂与抗菌素、铜、无机碱有协同作用。Burned 等（1988）指出，柠檬酸、高铜及抗菌素联合使用效果最好。刘作华等（1992）亦指出柠檬酸与喹乙醇、铜合并添加，生长速度和饲料利用率进一步提高。刘丑生等（1999）试验表明，饲料中同时添加柠檬酸和土霉素钙粉，对仔猪增重效果更为显著。Giesting 等（1991）和 Krause（1994）的一系列实验表明，延胡索酸加  $\text{NaHCO}_3$ 。会出现促生长的协同作用。这和 Eid

elsburger 等 (1992c) 也有类似报道。

#### 4 酸化剂的应用前景

大量研究已经表明, 饲粮酸化可以改善畜禽生产性能, 但关于酸化作用的机制, 仍未取得一致结论, 而且酸化剂的作用效果也有不同的报道, 这就需要学者们做进一步的研究工作来解决这些问题。

在现代畜牧生产中, 利用各种添加剂提高畜禽生产力和饲养效益已必不可少。而酸化剂具有无污染、无残留、在体内吸收迅速、参与代谢、无环境污染等特点为世人所瞩目, 成为继抗生素后, 与益生菌、酶制剂、香味剂等并列的重要添加剂, 已普遍被采用, 符合当今及未来采用非药物添加剂作为生长促进剂的主流。因此, 从提高饲料资源利用率、养殖业的经济效益以及环保等方面带来的经济效益来看, 酸化剂具有广阔的应用前景。

### 饲料对牛乳成分的影响

牛的乳汁含有乳化状态的脂肪 (直径以  $\mu\text{p}$  计的脂肪球)、胶体蛋白质 (直径  $0.05 \sim 0.5 \mu\text{p}$  的含有磷酸一酯的酪蛋白微粒)、以分子态分散的蛋白 (乳清蛋白, 不含磷) 以及溶解的有机和无机化合物 (无机盐、乳糖、水溶性维生素、非蛋白氮)。其所含无机盐主要为钙、钠、钾和镁盐, 分别以磷酸盐、氯化物、柠檬酸盐和酪蛋白酸盐的形式存在。牛乳成分受多种因素影响: 在遗传因素方面, 乳成分的遗传力很低, 乳脂和乳蛋白质的遗传力分别为 0.17 和 0.21; 外界环境因素方面对乳成分的影响很大, 其中主要有饲料、产犊季节、挤奶次数、疾

病与药物等。饲料是影响乳成分的决定性因素，利用饲料中营养物质来调控乳的成分比其他方法（如遗传育种的方法）具有直接、快速、有效的优点；一般情况下，乳中乳脂的含量及脂肪酸组成易受饲料营养物质的影响而易于调控，乳蛋白次之，而乳糖则很少受饲料的影响。

### 1 饲料对乳脂含量的影响

乳脂含量高的牛乳，其价格高。瘤胃微生物将日粮中大量的碳水化合物转化为挥发性脂肪酸(VFA)，VFA 被吸收入血充当奶牛的主要能源，也充当乳脂和乳糖合成的重要前体。其中对乳脂合成影响最大的 VFA 是乙酸和丙酸。高纤维日粮促进乙酸生成增加，而低纤维日粮则促进丙酸生成增加。乙酸是乳脂合成的主要前体之一；丙酸则是许多代谢的底物，比如通过形成葡萄糖再合成乳糖为机体代谢提供能量。研究表明，乳脂含量受瘤胃液中乙酸和丙酸的比例 ( $C_2/C_3$ ) 的显著影响。日粮中粗纤维水平与瘤胃液中  $C_2/C_3$  呈线性相关，而  $C_2/C_3$  又与乳脂含量呈线性相关，回归方程如下：

$$1) y = 0.195x - 0.852 \quad (r = 0.94)$$

式中， $y$  为瘤胃液中乙酸、丙酸的摩尔比， $x$  为日粮的粗纤维水平 (%)。

$$2) y = 1.019x + 0.515 \quad (r = 0.83)$$

式中， $y$  为牛乳中乳脂含量 (%)， $x$  为瘤胃液中乙酸、丙酸的摩尔比。

维持乳脂浓度需要高度可发酵的纤维源，为防止乳脂浓度降低，饲料中至少应含有 19% - 21% 有效中性洗涤纤维 (NDF)。纤维与精料的相对比例很关键，当 NDF 与瘤胃可降解淀粉的比值小于 1 时，瘤胃中形成更多丙酸，降低乳脂含量。日粮中精料和粗料的不同比例对产

乳量和乳脂含量的影响见表 1。

表 1 精料和粗料比对产乳量和乳脂的影响

			泌乳早期	泌乳后期
	50:50	75:25	50:50	75:25
产乳量(kg/d)	32.9	30.5	21.9	24.3
4% 标准乳(kg/d)	27.1	23.1	22.2	20.6
乳脂(%)	2.87	2.37	4.21	2.97

注：相同泌乳阶段同行数据肩往不同字母表差异显著 ( $P < 0.05$ )；资料引自 Kemelly 等 (1998)

当饲料干物质摄入量中谷物的比例超过 50% 时，乳脂含量通常会降低，这可能是由于瘤胃中生成的合成脂肪酸的前体（乙酸和 一羧乙酸）减少以及由丙酸生成的甲基丙二酰 CoA 抑制了乳腺中脂肪酸的合成。

日粮中的脂肪对乳脂有正负两种作用：正作用是能量浓度高，直接提供脂肪酸合成乳脂；负作用是不饱和脂肪酸使丙酸的产量增加，导致乳脂含量下降。据报道，适量的饱和脂肪酸可使乳脂率稍有增加，而类似数量的不饱和脂肪酸或大剂量的脂肪酸，常可导致相反的结果。对选择的脂肪或脂肪酸用钙皂、甲醛等方法加以保护，在维持和提高乳脂率方面具有良好的效果。有学者建议，日粮中脂肪的上限应相当于乳中的脂肪含量。试验证明，补饲脂肪能改变乳中脂肪酸的水平，给奶牛饲喂 0.6kg 的瘤胃保护葵花籽油（避免氢化），可使乳脂由 34% 增加到 36%。

对于常年饲喂青贮料和精料偏高的奶牛，为预防和

减缓瘤胃 pH 降低,可以添加缓冲剂,以达到提高乳胀率的作用。目前生产中所用的缓冲剂和矿物质盐类主要有碳酸氢钠、氧化镁等。有人在青贮玉米与谷物之比为 50 : 50 和 75 : 25 的奶牛日粮中添加 1.2% 的碳酸氢钠,乳脂率和乳产量均提高。在高精料日粮条件下,缓冲剂能使乳脂改善,这主要是因为呈碱性的缓冲剂中和青贮料酸性和瘤胃微生物分解精料碳水化合物产生的有机酸,提高瘤胃乙酸/丙酸比值和有机物消化率,从而提高了乳脂率和乳产量。

此外,淀粉和纤维含量相同但来源不同的饲料也会对乳脂有不同的影响。如果给奶牛饲喂含缓慢降解淀粉(如去皮土豆)的日粮,较含快速降解淀粉的日粮(如谷物),牛乳所含乳脂率高。而含有棉籽、玉米芯的精料纤维,能维持乳脂含量。

## 2 饲料对乳脂组成的影响

乳腺和脂肪组织中脂肪酸合成步骤相似,只是乳腺不具有碳链延伸酶活性,因此不能合成碳链长度超过 16 个碳原子的脂肪酸。乳脂中的脂肪酸大约 5% 在乳腺中合成,40% ~ 45% 源于日粮,其余的来自脂肪组织。其长链脂肪酸主要源于日粮,以乳糜微粒或极低密度脂蛋白的形式转运至乳腺;中链脂肪酸则可在乳腺中合成或来源于日粮。到达乳腺的脂蛋白在毛细血管上皮中被脂蛋白脂解酶水解后,其产物可被结合到乳脂中。

通过选择具有理想脂肪酸组成的脂肪源配入日粮,可使乳脂脂肪酸组成得到改善,这种牛乳被称为脂肪校正乳。目前用于改善乳脂脂肪酸组成的脂肪添加物有油料籽实、长链脂肪酸钙盐、植物油(如亚麻油和葵花油)、颗粒化脂肪(含甘油三酯和淀粉)、经甲醛处理的蛋白质

和油的复合物等。

大多数情况下，脂肪添加物会降低乳脂中从头合成的碳链长度为 6~14 个碳原子的脂肪酸含量，提高乳脂中不饱和脂肪酸含量。但若添加的不饱和脂肪酸未经保护或保护程度低则可能出现以下不良后果：1) 不饱和脂肪酸在瘤胃中大量氢化，削弱改善乳脂组成的效应；2) 18 碳不饱和脂肪酸在瘤胃生物氢化过程中的中间产物反式 18 碳不饱和脂肪酸水平的提高，会抑制乳脂的合成，这些酸随牛乳进入人体也会促进血浆胆固醇浓度的提高；3) 未经保护或保护程度低的脂肪酸提高瘤胃中游离脂肪酸水平，抑制纤维分解菌的活性，减少乙酸的生成，降低乳脂含量。

未经处理或膨化处理的油料籽实在瘤胃中降解程度相对较大，而包埋于醛处理蛋白基质中的油料籽实对脂质水解和生物氢化有较强的抗性，但是如果这种基质在膨化或制粒时遭到破坏则保护程度显著降低。

经保护处理的 Canoa 菜籽 (PCS) 由 Canola 菜籽和大豆按 70:30 的比例生产而成，含脂 33%、粗蛋白质 35%、甲醛 0.1%。研究表明，PCS 中的甲醛可被反刍动物代谢为  $\text{CO}_2$  和  $\text{C}_2\text{H}_5$ ，因而在乳和组织中无残留。泌乳奶牛日粮中每天添加含脂 7509 的 PCS，显著降低乳脂中 C16:0、C14:0、C12:0 及其他短链脂肪酸含量，并提高 C18:0、C18:2、C18:3 脂肪酸含量。这说明可选择适宜的不同脂肪酸组成的油料籽实，且对其中脂肪酸进行保护，最大限度地使其免遭瘤胃降解和氢化，从而可生产出脂肪酸组成不同的牛奶，得到可满足特定营养和加工要求的乳胀。

脂肪校正乳的脂肪酸组成平均为 51% 饱和脂肪酸、