

影响牛奶乳蛋白含量的因素及调控措施

来源：奶牛微刊

摘要：乳蛋白含量受许多因素的影响，如遗传、生理阶段、环境、疾病及饲养方式等，而奶牛日粮营养是调控牛奶乳蛋白含量的重要因素。合理配制的平衡日粮，对提高乳蛋白含量有重要作用。

关键词：乳蛋白；含量；影响

牛奶中蛋白质和脂肪含量是决定牛奶质量的重要指标。乳蛋白是一种营养价值很高的蛋白质，它的氨基酸含量和构成比例基本上与人体所需氨基酸的数量、比例相接近。乳蛋白含量受许多因素的影响，如遗传、生理阶段、环境、疾病及饲养方式等，而奶牛日粮营养是调控牛奶乳蛋白含量的重要因素。合理配制的平衡日粮，对提高乳蛋白含量起重要作用。

1 乳中蛋白质的合成

现已证明，90%以上的乳蛋白是在乳腺中由氨基酸从头合成。对动物静脉注射 ^{14}C -标记的氨基酸以及进行动静脉差的测定都证明，酪蛋白、 β -乳球蛋白和 α -乳清蛋白是由乳腺中的游离氨基酸合成的，而这些氨基酸来自血液。

乳腺细胞自身还有合成非必需氨基酸的能力，为合成乳蛋白提供原料。乳腺合成蛋白质的过程与其它组织相同。乳腺细胞合成的大部分蛋白质最终要分泌出去，主要乳蛋白的合成在粗面内质网的核糖体上开始，然后由信号肽引导进入内质网腔，并在内质网和高尔基体内进行磷酸化和糖基化等化学修饰过程，再由分泌泡转送到上皮细胞顶膜，通过胞吐的方式释放到腺泡腔中。这一机制已被广泛接受（Mercier 等，1982）。

乳腺是一个合成蛋白质十分活跃的场所。为乳蛋白编码的基因的表达具有明显的组织特异性和阶段特异性，即乳蛋白质的合成仅在乳腺上皮细胞中进行，表达量大，并且发生在哺乳母体即将分娩之前和分娩之后的相当长一段时间的泌乳期中，乳腺合成的乳蛋白很少进入动物的循环系统。

乳蛋白基因的表达还受神经内分泌的调控。有关乳蛋白质基因结构及其表达调控的研究已取得重大进展，乳蛋白基因表达效率和组织特异性主要有顺式作用元件（启动子、增强子、位点控制区、基质附着区等）和与之相结合的反式作用因子（转录因子、激素等）所决定。许多乳蛋白基因，如牛酪蛋白、 α -乳清蛋白、 β -乳球蛋白基因已被克隆和得到了全部序列。



2 影响乳蛋白含量的营养因素

影响牛奶乳蛋白含量的主要因素是遗传因素，但是通过改良品种来提高乳蛋白含量需要的时间较长，且效果不明显，因此通过饲料营养来提高乳蛋白含量是一个有效的途径。

2.1 日粮碳水化合物对乳蛋白含量的影响

碳水化合物是瘤胃和组织代谢的主要能量物质，为乳中蛋白质的合成提供碳架。不同结构和类型的碳水化合物对乳蛋白的含量和产量的影响不同，**淀粉型精料比纤维性精料在提高乳蛋白含量和产量上效果更好，并且只有当基础日粮的能量不足或谷物水平较高（80%）时，碳水化合物的类型才会对乳成分产生影响**（Wilks 等，1991；Aston 等，1994；Smoler 等，1995；Maye 和 Deherty，1996）。Lykos 等（1997）研究发现，提高瘤胃内非结构碳水化合物的降解率，对奶牛的产奶性能的影响主要表现为：

- （1）乳腺的血流量和血中非必需氨基酸的含量提高；

(2) 血中必需氨基酸和大部分非必需氨基酸的动静脉差及乳腺对氨基酸的抽取效率降低；

(3) 乳蛋白的含量和产量提高；

(4) 乳腺氨基酸的吸收和产出变化不大。

随后 Keady 等（2000）和 Phipps 等（2001）报道，提高日粮中淀粉的含量，则乳蛋白的含量提高（3.305g/L），乳脂率有所下降。Castillo 等（2000）和 Kebreab 等（2000）做了类似的实验，结果发现**淀粉型精料明显具有提高乳蛋白含量的潜力。淀粉型精料对改善乳蛋白含量的效果优于纤维型精料。**



2.2 日粮蛋白质对乳蛋白含量的影响

日粮蛋白质是乳蛋白合成的主要原料，也是泌乳奶牛日粮的主要限制性营养成分之一。**关于奶牛日粮供给蛋白质对乳蛋白合成调控的研究多集中在控制日粮蛋白质水平和瘤胃不可降解蛋白水平上（NRC，2001）。**

Metcalf 等（1994）报道，向奶牛日粮中添加鱼粉来增加日粮可明显提高乳腺对必需氨基酸的吸收，改善乳腺乳蛋白的合成能力。说明氨基酸组成良好的高蛋白日粮可明显提高乳腺对必需氨基酸的吸收，改善乳腺乳蛋白的合成能力。

Wright 等（1998）向奶牛日粮中添加羽毛粉和血粉等过瘤胃不可降解蛋白，结果提高了乳蛋白合成的氮的利用率和乳蛋白产量。

最新研究表明，高精料高蛋白的日粮，可以提高乳蛋白浓度。过瘤胃蛋白（RUP）和微生物蛋白的量决定了小肠可吸收氨基酸利用的程度，提高并平衡小肠可吸收氨基酸是提高乳蛋白合成的主要途径之一。**在奶牛日粮蛋白不足的情况下，蛋白质缺乏导致乳蛋白浓度下降；增加日粮蛋白质水平可提高奶牛的消化率和采食量，提高乳蛋白浓度。**

在日粮中补充过瘤胃蛋白质饲料可以改善真胃和小肠蛋白质营养，并维持较高的乳蛋白产量。**到达真胃和小肠的非降解蛋白质或氨基酸不足是影响高产奶牛乳蛋白含量的主要因素。**

2.3 日粮氨基酸组成对乳蛋白含量的影响

氨基酸的构成比日粮蛋白质含量对乳蛋白合成的影响更大。补充限制性氨基酸的试验已证实这一结论。一般认为，赖氨酸和蛋氨酸是饲喂不同日粮类型的泌乳奶牛最重要的限制性氨基酸。过瘤胃氨基酸比普通氨基酸更能提高乳蛋白含量。

Misciati-telli 等（2003）向缺乏赖氨酸和蛋氨酸的奶牛日粮提供相应的过瘤胃氨基酸，结果提高了乳脂及乳蛋白的产量和氨基酸的利用率，但为乳蛋白合成的可吸收氨基酸的利用率没有改善。在饲喂小黑麦青贮、羊草和玉米、豆饼型日粮的基础上，每头牛每天饲喂 15g 保护性蛋氨酸，乳蛋白率提高 5.4%，每天每头牛增加乳蛋白量 66g。韩兆玉等在奶牛饲料中添加过瘤胃蛋氨酸，提高了奶牛乳蛋白、乳脂率和酪蛋白的水平。

研究表明，对奶牛补饲氨基酸，可减少饲料中过瘤胃蛋白含量，提高奶产量与乳蛋白含量。Yang（1986）试验证明，**在日粮中添加蛋氨酸，乳中脂肪、蛋白质和总固形物含量增加。**

2.4 日粮中小肽对乳蛋白含量的影响

通过深入研究发现，游离氨基酸并不能完全满足动物对蛋白质的需要，为了使动物达到最佳生产性能，**日粮中必须含有一定数量的小肽**。王恬等报道，在基础精料日粮中分别添加 0.1%、0.3%和 0.5%的小肽营养素，产奶量显著提高

($P<0.05$)，乳蛋白也有所提高，且随小肽营养素添加量的增加而提高。曹志军等在奶牛日粮中分别添加小肽和保护性小肽，结果表明添加保护性小肽比添加普通小肽能较明显地提高产奶量 ($P<0.05$)，乳蛋白率显著提高。

2.5 日粮能量浓度对乳蛋白含量的影响

日粮能量水平是影响乳蛋白含量的重要因素之一。越来越多的研究表明，乳蛋白含量与能量摄入量之间存在一定的相关性。乳蛋白含量受日粮能量水平的影响。

日粮能量和碳水化合物类型对乳脂和乳蛋白的影响主要取决于瘤胃内发酵生成的乙酸盐和丙酸盐的比例，而这种比例是由日粮能量和碳水化合物水平及发酵类型决定的。能量充足时，增加日粮中的能量和碳水化合物，用于供能的氨基酸减少，微生物蛋白质合成增多。

瘤胃中丙酸盐比例提高，刺激胰岛素分泌，增加乳腺对氨基酸的吸收，从而提高乳蛋白率；能量不足时，一方面降低了瘤胃微生物蛋白质合成量，使进入小肠内的瘤胃微生物蛋白减少，乳腺中乳蛋白的合成减弱，**另一方面导致合成乳蛋白的氨基酸被当作能量利用，从而使乳蛋白浓度下降。**

在奶牛饲养方式上采取粗料自由采食，通过增加精料水平提高精粗比，可使能量摄入量增加，增加的能量可提高乳蛋白浓度和产量。

研究发现，增加血液胰岛素的浓度，乳腺血流量明显增加，乳腺组织氨基酸的吸收速度和乳蛋白合成效率提高，乳蛋白生产量和乳蛋白率都有所升高。**影响日粮能量水平的决定因素是日粮中精料的含量和牧草的青贮品质。**

研究显示，提高日粮淀粉的含量，乳蛋白率提高。Emery (1978) 报道，每当谷物或饲草提供的净能增加 4.1868MJ 时，乳蛋白率可增加 0.015%。因此，通过提高精料水平或改进青贮料品质可增加奶牛的能量摄入，从而可提高乳蛋白率和产量。

2.6 其他因素对乳蛋白含量的影响

烟酸为水溶性维生素。以前认为瘤胃微生物可合成足够的烟酸来满足反刍动物的需要。然而，对于高产的反刍动物而言，瘤胃微生物合成的烟酸是不足的。

向反刍动物日粮中添加烟酸可不同程度地影响奶牛的产奶量和乳成分，这可能是由于补充烟酸降低了细菌将色氨酸转化为烟酸的量，从而节省了该氨基酸。另外，烟酸还可以通过提高微生物蛋白质合成效率或增加微生物生长所需能量，增加十二指肠微生物含氮量，提高小肠氨基酸的利用率。

放牧饲养时，与多年生黑麦草相比，白三叶草能促进乳蛋白含量的提高。这是因为当母牛采食白三叶草时，小肠蛋白质流量提高，从而获得了较高的乳蛋白水平。牧草调制成千草或青贮对乳蛋白含量影响不明显，而饲料作物的调制（如青贮）则对乳蛋白含量影响较大。用牧草青贮与玉米青贮的混合日粮饲喂初产母牛时，提高玉米青贮的比例可提高乳蛋白的含量，这是因为玉米青贮的增加可能会增加母牛的能量摄入量。

3 影响乳蛋白含量的非营养因素

3.1 品种对乳蛋白含量的影响

奶牛的品种是影响乳蛋白含量的主要因素，品种不同，乳中蛋白质含量也不同。中国荷斯坦牛平均乳蛋白含量最低，为 3.1%；娟姗牛的乳蛋白含量最高，达到 4.0%以上。一般而言，产奶量越高，乳蛋白含量就越低。这些统计数据来自奶牛整个泌乳期内的平均值，虽整体服从正态分布，但个体值仍然有差异。乳蛋白通过品种的选育可得到改良（Everett.1990）。

3.2 季节因素对乳蛋白含量的影响

季节对乳蛋白的含量有一定的影响。Bruhn 等（1977）对 4 个不同品种的奶牛进行试验的结果表明，夏季乳中蛋白质最低而冬季最高。环境温度对乳中蛋白质含量有一定的影响，环境温度过高则引起奶牛热应激，采食量下降，最终导致乳中蛋白质含量下降（Fegan, 1979），但牛奶中乳蛋白质含量的变化小于乳脂的变化。夏季和冬季乳蛋白含量变化范围在 0.2%~0.3%。

3.3 泌乳各阶段乳蛋白含量

同一泌乳期内，泌乳各个月的乳蛋白含量变化很大。产犊后的 11d 乳成分变化最大，尤其是乳蛋白率和总固体率。牛乳中蛋白质在泌乳初期和后期较高，在产犊后的 5~10 周，则乳中蛋白质含量、酪蛋白及非蛋白氮（NPN）含量快

速下降，随后在泌乳末期逐渐上升（Ng-Kwai?Hang, 1984、1985）。

3.4 疾病对乳蛋白含量的影响

临床乳房炎和其他炎症都会使奶中酪蛋白含量下降，乳清蛋白质含量上升（Fegan, 1979; Munro, 1984）。这是由于奶牛中体细胞数量增多，纤维蛋白溶解酶、碱性乳蛋白酶的活性与正常牛奶相比增高的缘故。患乳房炎时，血浆蛋白质进入牛奶中的量增加，牛奶的 pH 值升高，碱性增强，这可能是纤维蛋白质溶解酶含量或活性升高而导致了酪蛋白的分解量增加。

4 乳中蛋白质的营养调控

对于奶牛的营养管理调控来说，在饲养方式上多采取粗料自由采食，精料则根据奶牛的生产水平来确定适宜的添加量，以提高乳蛋白为目标来设计营养调控型饲料产品和平衡日粮。比如适宜的日粮精粗比（60: 40），适宜的日粮淀粉水平和非纤维碳水化合物（NFC，40%~45%），日粮粗蛋白水平，日粮过瘤胃蛋白（33%~40%）等。

4.1 日粮碳水化合物

碳水化合物分为结构碳水化合物和非结构碳水化合物两大类。非结构碳水化合物（NSC）存在于植物细胞内部，主要是细胞内容物中的淀粉和糖，通常比结构碳水化合物更容易被消化，在泌乳奶牛饲粮中用来替代部分中性洗涤纤维（NDF），以满足其对能量的需要。

因此，在实际生产中，为了给高产奶牛或泌乳高峰期奶牛提供所需的能量，常常减少配合日粮粗纤维的比例，增加非纤维性碳水化合物（NFC）的含量。改变饲粮 NFC 含量能够影响瘤胃的发酵模式、纤维在整个消化道的消化和乳成分（Sievent 和 Shaver, 1993; Sutton 和 Bines, 1987）。如饲喂适量的 NFC 可以促进丙酸的合成，乙酸和丙酸的比例相应下降，乳脂率下降，乳蛋白率升高。

Hoover 和 Stokes（1991）将 Nocek 和 Russell（1988）得到的数据进行了回归分析，发现饲粮中 NFC 比例在大于 45%~50%和小于 25%~30%时，产奶量下降。Minor 等（1998）研究发现，当 NFC 在饲粮干物质中的比例由 41.7%增加到 46.5%时，乳蛋白的含量和产量都有增加。因此，为满足奶牛生产的需要，奶

牛饲料中应含有适宜的 NFC 比例，否则会导致瘤胃酸中毒和其它代谢疾病的发生。

4.2 调节日粮精粗比

奶牛能量的摄入量可通过改变日粮的精粗比来实现，通过增加精料提高精粗比例，来增加能量摄入量，而增加的能量可提高乳蛋白的含量和产量（Macleod 等，1983）。

因此，在奶牛饲养方式上采取粗料自由采食，通过增加精料提高精粗比的方法，提高乳蛋白含量和产量。在实际生产中，应根据生产需要来调整适宜的精粗比。一般精粗比为 60: 40，否则会造成酸中毒，进而降低采食量。由于奶牛乳蛋白的适宜日粮精粗比受日粮中粗料和精料的组成及品质的影响，得到既不影响乳蛋白含量和产量，又不影响乳脂率的适宜精粗比，是当今研究者和生产者所面临的挑战。

4.3 控制蛋白质水平

控制日粮蛋白质水平和瘤胃非降解蛋白（RUP）水平是目前调控乳蛋白的主要方法。在饲养实践中，单纯通过提高日粮蛋白水平来改善乳蛋白的结果很不理想。由于大部分日粮蛋白在瘤胃中被降解浪费掉，因而在日粮蛋白能够满足奶牛营养需要的条件下，再提高日粮蛋白水平，并不是调控乳蛋白的有效途径。

又因为乳蛋白的合成受小肠蛋白质供给量或多种氨基酸的限制，而小肠蛋白质的供给受日粮中过瘤胃蛋白和微生物蛋白的合成和流失的影响，只有保持微生物蛋白和过瘤胃蛋白的平衡，才能使乳腺获得合成乳蛋白的理想蛋白质，这样方可使乳蛋白合成达到最优化。因此，饲料中含有适量的降解率低的蛋白饲料是调控乳蛋白的有效途径之一。

4.4 瘤胃保护性氨基酸

L.Doepel 等（2004）认为，总氨基酸的供给和泌乳净能是决定乳蛋白生产的最主要的因素。在奶牛日粮中，通常认为**赖氨酸和蛋氨酸是奶牛生产的第一和第二限制性氨基酸**。如果奶牛限制性氨基酸摄入不足，其乳蛋白产量将受到影响。乳蛋白的合成与供给乳腺氨基酸的组成有关，所以应保证乳腺合成乳蛋白所需要

的理想氨基酸组成，以便使乳腺蛋白质合成达到最优化。目前，使用最多的是瘤胃保护性蛋氨酸和赖氨酸这两种氨基酸。

4.5 维生素

在蛋白质合成、氧化分解及其它代谢过程中 B 族维生素起着重要作用，在饲料中它们的含量对乳蛋白具有一定的影响。尽管奶牛瘤胃微生物能够合成 B 族维生素，但对于高产奶牛而言，瘤胃微生物合成的维生素是不能满足需要的。

因此，在奶牛日粮中添加 B 族维生素，可在一定程度上改善奶牛产奶性能，提高乳品品质。Grummer 等（1987）认为，在奶牛日粮中补充叶酸，可以使血清中叶酸浓度升高，促使瘤胃内丙酸产量增加，进而提高乳蛋白质产量。而目前在奶牛生产中应用最多的是烟酸。

5 结语

牛奶由于富含各种营养物质而成为人类重要的营养保健食品。人们可以通过调整日粮营养水平及组成对牛奶品质进行调控，从而生产出更优质的牛奶，以满足人类对优质食品的需要。

