

围产期奶牛能量负平衡研究相关

--Apollos

摘要

奶牛高产的同时确保奶牛健康，是现代奶牛养殖的重要目标，而随着奶牛产奶量的不断提高，围产期奶牛能量负平衡变得愈加严重。能量负平衡导致奶牛能量代谢紊乱，形成酮病，进而影响奶牛泌乳性能、繁殖性能、健康等，严重影响奶牛产业的健康发展。但在围产期通过人工合理的饲养管理，可有效缓解奶牛能量负平衡，提高经济效益。本文主要阐述了能量负平衡对奶牛生产性能的影响及营养调控研究进展，为奶牛健康高产的发展提供参考。

近年来，随着现代化奶牛饲养技术水平的不断提高，我国的奶牛产奶量不断提高。而伴随着奶牛产量的提高，奶牛的被动淘汰率也随之升高，特别是产后阶段奶牛。在产前，奶牛随着胎儿的快速增长和满足产奶的乳房快速发育，其营养需要快速增加，而由于胎儿体积增加，母牛采食量降低，其营养摄入量不能满足奶牛需要；在产后，奶牛的泌乳高峰期出现在产后 30~45 d，而采食高峰期出现在产后 70 d 左右，奶牛面临巨大的泌乳能量需要与采食量严重不足的问题，而引起众所周知的能量负平衡（negative energy balance, NEB）。

能量负平衡导致奶牛进行脂肪动员程度的增加，引起奶牛代谢紊乱、免疫力下降、真胃变位、酮病和脂肪肝等。泌乳早期过度的能量负平衡也会导致繁殖功能障碍，降低子宫的免疫功能，导致产后胎盘滞留、子宫内膜炎恢复缓慢，同时也会出现产后发情延迟、受胎率下降等问题，此阶段奶牛的各种疾病间相互联系又相互影响，奶牛淘汰率也不断增加，其利用年限和牧场效益也会受到影响。在奶牛饲养中，因能量代谢问题导致其淘汰率可达 30%，其利用年限由 5 胎下降为 3 胎，75% 的奶牛疾病发生在产后 1 个月内，超过 50% 奶牛要经历围产期代谢疾病。因此，做好围产期奶牛的营养调控，降低奶牛能量负平衡程度，对提高奶牛的生产性能具有重要意义。

1. 能量负平衡的形成原因及诱发因素

围产期是高产奶牛能量负平衡的高发阶段，因能量负平衡导致奶牛过量的脂肪动员，导致体内NEFA大量产生，引起奶牛酮病和脂肪肝等代谢疾病。酮病等代谢疾病具有群发特性，在产奶量下降的同时，增加了奶牛患其他疾病风险，给我国养殖业造成巨大经济损失。

奶牛能量负平衡与体内脂质代谢密切相关，主要是机体内葡萄糖、矿物质与脂类之间的不平衡及不能满足奶牛的营养需要，导致乙酰辅酶 A 生成酮体，产生酮病。同时因能量缺乏，奶牛处于低血糖状态，脂肪加速分解，导致血液中 NEFA 含量升高，NEFA 一部分可进入乳腺用于乳脂的合成，另一部分可进行 β -氧化供能以缓解能量负平衡。严重的能量负平衡会因不完全 β -氧化产生酮体引起酮病，或产生甘油三酯(TG)存在于肝脏中，形成脂肪肝。在现代化追求高产的奶牛饲养趋势下，奶牛的酮病受产前饲养、产后护理、产后饲养条件等方面的综合影响。

随奶牛胎次及产奶量的增加，其能量负平衡将更为严重。有研究显示，经产奶牛无论干奶期还是产后比初产奶牛有更低的血清葡萄糖和胰岛素含量，更高的血清BHBA含量；当以血清 BHBA 含量作为奶牛能量负平衡评估指标时，经产奶牛干奶期过度能量负平衡流行性发病率为 17%，初产奶牛为 13%。该结果也表明，经产奶牛也更容易产生能量负平衡类疾病，因此对于经产奶牛，牧场管理需要更多投入到酮病的预防和监控治疗

上，从而避免因代谢疾病而降低奶牛生产性能。

2 能量负平衡对奶牛的影响

2.1 导致代谢系统疾病

围产期奶牛严重的能量负平衡可使得奶牛产生多种疾病，包括代谢、免疫、繁殖、乳房健康等，如果不加以控制，可能使得奶牛丧失生产性能，甚至淘汰。

奶牛血清BHBA水平与产后疾病的关系 (Duffied等)

产后第 1 周血清BHBA > 1.2 mmol/L	增加真胃变位 (2.55倍)；子宫炎 (3.35倍)
产后第 1 周血清BHBA > 1.4 mmol/L	增加酮病 (4.25倍)
产后第 2 周血清BHBA > 1.4 mmol/L	增加酮病 (4.25倍)
产后第 2 周血清BHBA > 1.8 mmol/L	增加真胃变位 (6.22倍)

能量负平衡奶牛为填补奶牛的正常需要的能量，体内的 NEFA 含量通过体脂动员大大增加，产前7~10 d 时血清 NEFA 含量 > 0.4 mmol/L时，可大大增加奶牛产后患真胃变位、胎衣不下的风险。脂肪的动员导致NEFA 涌入血液，并在肝脏中蓄积，而利用能力有限，NEFA含量过高会脂化形成 TG，TG 可与载脂蛋白结合，形成极低密度脂蛋白 (VLDL)，后进入血液，当 TG 含量超出肝脏以VLDL 输出能力时，则沉积在肝脏。肝脏过高脂肪沉积会降低其代谢功能，形成脂肪肝病变，并出现乏情与产奶降低的并发症。通过临床剖检可见肝脏病变奶牛的肝脏颜色暗黄，肝脏的实质肿大变脆，肝细胞有大量游离脂肪滴，出现脂肪样囊肿，细胞破裂坏死。

2.2 降低生产性能

当围产期奶牛受酮病影响时，奶牛采食量会降低，有更少的采食时间，并降低产奶量。

众所周知，随着奶牛泌乳胎次增加，奶牛泌乳量本应该增加，但目前的研究显示，大多数奶牛3胎次以上产奶量低于2胎次奶牛，经诊断3胎次及以上奶牛有72%诊断患过亚临床酮病，能量负平衡是影响奶牛产奶量和降低其利用年限的重要原因。

能量负平衡对生产性能的影响 (Duffied等)

产后1周血清 BHBA > 1.8 mmol/L 305 d 产奶损失达到333.7 kg

产后血清 NEFA > 0.57 mmol/L 305 d 产奶损失达到600 kg

牛奶脂蛋比与奶牛能量负平衡相关，也是奶牛亚临床酮病的标志物。随着能量负平衡奶牛脂肪的分解，血清 NEFA 含量升高，用于乳脂合成，提高乳脂含量，但能量负平衡也可导致蛋白质的动员供能，而降低乳蛋白含量，提高牛奶脂蛋比。当奶牛脂蛋比大于1.3 或 1.5 时则标志着奶牛严重的能量负平衡，当奶牛脂蛋比大于 2.0 时可能患有临床酮病、子宫内膜炎、真胃左侧移位等疾病。尽管能量负平衡可少量增加乳脂含量，但奶牛乳蛋白含量降低，会引起乳品质的下降。能量负平衡引起奶牛酮病，不仅降低奶牛产后及整个泌乳期的泌乳量，还降低奶牛的利用年限。随着奶牛胎次增加，其患酮病风险不断增加，不能发挥奶牛随胎次增加产奶量增加的潜力，而被动淘汰，利用年限下降，影响牧场经济效益。

2.3 降低繁殖性能

围产期奶牛处于能量负平衡状态，为满足能量需求，会产生大量活性氧和脂质过氧化物，超过体内氧化体系清除能力，造成氧化应激。泌乳早期奶牛能量负平衡会导致奶牛雌激素和孕酮含量下降、卵泡发育受阻，从而导致奶牛出现卵巢静止，影响奶牛的发情，带来严重经济损失。钱伟东等研究显示，产后奶牛卵巢静止的主要病因是泌乳早期的能量负平衡。奶牛繁殖力降低是奶牛淘汰重要原因，而产后奶牛乏情是其重要原因。产后长期能量负平衡导致奶牛产生酮病，患有酮病奶牛的临床型子宫内膜炎和卵巢囊肿发病率显著增加，产后子宫恢复能力和受孕能力显著降低。产后能量负平衡奶牛的第1次发情时间延迟，孕酮分泌量降低，影响奶牛的繁殖性能。严重的能量负平衡奶牛与中度能量负平衡奶牛相比，卵巢黄体开始活动日期显著延迟 [(37 ± 5) d vs.(25 ± 2) d]，发情周期增加 [(39 ± 5) d vs.(23 ± 2) d]，说明能量负平衡不利于产后奶牛的繁殖。能量负平衡会延迟奶牛的体况恢复，延迟产后首次发情日期，还可能导致卵巢静止，产生乏情，也可能影响奶牛受胎率，增加胎间距，降低奶牛生产效益。

2.4 导致体况及免疫下降

围产期奶牛能量负平衡导致奶牛的免疫功能显著下降，对病原刺激不能做出适应性应答，出现免疫抑制和免疫功能障碍，对于妊娠末期和泌乳初期奶牛，突出表现是因免疫障碍导致奶牛乳房炎、子宫炎等疾病的发病率和严重程度显著提高。钙（Ca）、镁（Mg）可促进原始淋巴细胞的转换，增强体内抗体的形成和吞噬作用，激活体内淋巴液中的免疫细胞，改善吞噬能力，促进血液中免疫球蛋白的合成，增强免疫力，可抑制有害细菌的繁殖。孙光野等的研究显示，能量负平衡发病组奶牛的血清Ca、Mg含量低于正常组，降低奶牛免疫功能，能量负平衡发病组奶牛血液中的促炎细胞因子白细胞介素-1（IL-1）、白细胞介素-6（IL-6）含量，淋巴因子白细胞介素-2（IL-2）含量，炎性因子C反应蛋白（CRP）、肿瘤坏死因子- α （TNF- α ）含量显著高于对照组，说明能量负平衡发病组奶牛的炎性因子通路被激活，出现免疫抑制，炎症反应降低奶牛健康。奶牛产后子宫受到微生物浸染，形成子宫炎，能量负平衡可能通过改变奶牛的子宫免疫反应而延长子宫恢复周期，对子宫的免疫形成不良影响，并降低繁殖力^[1]。Leblanc的研究表明，产后2周的高BHBA可增加乳腺炎的严重程度和持续时间。随着奶牛免疫功能的降低，产后奶牛的乳房炎、子宫炎发病率显著增加，可影响到奶牛的健康和生产性能。

2.3 导致奶牛氧化应激

自由基是动物生物氧化过程大量产生的活性物质，正常情况下，机体处于产生和清除的动态平衡过程中。当动物自由基产生量超出有效清除能力时，具有强氧化性的自由基会损害组织和细胞。围产期奶牛的能量需求急剧增加，但摄入能量较少，激活奶牛体内脂肪的分解代谢途径，细胞的活性氧代谢产物大量增加，奶牛难以通过自身的抗氧化机制进行清除，进而导致奶牛的氧化应激。能量负平衡发病奶牛体内产生较多的NEFA和BHBA，降低抗氧化酶的活性，自由基清除能力降低，发生一系列的氧化反应，体内的抗氧化系统被破坏，血清中谷胱甘肽过氧化酶、过氧化氢酶活性及维生素E、硒（Se）含量会减少。宝华等研究发现，亚临床酮病奶牛产后10和20d血清中超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化酶活性及总抗氧化能力显著低于正常奶牛，而血清中活性氧、丙二醛、过氧化氢含量显著高于正常奶牛。严重的氧化应激会诱导细胞凋亡和组织损伤，影响产后奶牛的健康和体况恢复。

3 能量负平衡的营养调控措施

奶牛能量负平衡原因是奶牛能量摄入量远低于维持和泌乳能量需要量，在保障奶牛生产性能的条件下，为改善奶牛的能量负平衡状态可通过提高奶牛采食量和其他途径促进能量摄入量。而通过简单的提高饲料能量水平，容易导致奶牛的亚急性瘤胃酸中毒，最后可能加剧奶牛能量负平衡状态。因此改善奶牛能量负平衡状态需要从多方面做起。

3.1 产前奶牛体况控制

围产期奶牛体况评分 (body condition scoring, BCS) 的损失对奶牛群的能量负平衡风险管理具有重要作用。围产前期奶牛脂肪的大量蓄积会使奶牛产后产生胰岛素抵抗，肥胖奶牛胰岛素抵抗程度的增加导致脂肪组织大量分解，进而增加相关代谢疾病的风险。干奶期奶牛体况过肥 (BCS ≥ 3.5) 或采食量过多，产后奶牛采食量降低会导致严重能量负平衡和酮病。Macrae 等的奶牛酮病的流行病学显示，产后奶牛 BCS ≥ 4 时亚临床酮病 (血清中 BHBA 含量 ≥ 1.0 mmol/L) 发病率为 33.2%，显著高于 $2 < \text{BCS} < 4$ (发病率 22.8%) 和 BCS ≤ 2 (发病率 18.1%)。Duffield 等证明在干奶期奶牛 BCS ≥ 4 时，分娩后酮病发病率是低 BCS 的 1.6 倍。奶牛生产中，应该更加关注泌乳后期及干奶期的 BCS，合理的营养调控方法加上科学的管理，BCS 是奶牛生产中不可缺少的实用工具。

虽然产前通过控制奶牛采食量或限饲可避免奶牛过肥，但在当前大群、散养的自由采食条件下，因奶牛采食能力不同，限饲可能导致奶牛的体况差异过大，因此通过饲料营养水平的调整使得产前 BCS 达到 3.0 ~ 3.5，避免产后因过肥引起采食量的下降及奶牛过瘦影响产前胚胎发育和产后奶牛泌乳。饲养上可通过采用麦秸、羊草等低能饲料用于干奶期奶牛，限制能量摄入，维持调控，促进提高产后干物质采食量，减少产后体重损失。

3.2 围产前期营养调控

围产前期伴随着乳腺恢复和初乳合成对营养需要的增加，胎儿和胎盘的的营养需要量也达到最高，奶牛对能量和蛋白质等营养物质需要迅速增加。围产前期随着胎儿的不断增长及激素作用，奶牛的采食量受限，其妊娠最后 3 周 DMI 比干奶初期下降 10% ~ 30%。通过产前的营养调控以增加奶牛产后的 DMI 是缓解能量负平衡的重要措施。黄文明研究证实了产前低能饲料 (90% NRC、80% NRC) 提高产前血浆 NEFA 含量和产后的 DMI、奶产量、血清葡萄糖含量，降低产后 BCS 和体重的变化量，也降低了产后血清 NEFA、BHBA 含量，但 80% NRC 组的产前血清尿素氮含量较高，能量较为缺乏。脂肪是重要的能量物质，但脂肪的添加过量可影响瘤胃中微生物的消化功能，因此可通过采取过瘤胃脂肪的措施。李启照等研究表明，在奶牛产前 3 周饲料中添加以大豆油为主的脂肪酸钙可以显著增加奶牛初乳中免疫球蛋白 G (IgG) 含量，增加产后奶牛的产奶量，以 3% 添加

量为宜。产后 DMI、血清葡萄糖含量、产奶量的提高及血清中 NEFA、BHBA 含量的降低，有利于缓解奶牛能量负平衡，对降低营养代谢病发病率有重要意义。

3.3 产后饲料营养

奶牛围产期的能量负平衡的原因主要是能量摄入不能满足机体需要，因此缓解奶牛能量负平衡的措施是在保障奶牛瘤胃健康的情况下，通过采取措施提高奶牛干物质和其他生糖物质的摄入。围产阶段的成功过渡，通过饲料营养的调控，提高奶牛代谢、减少炎症、减少疾病的发生将有利于整个泌乳期生产性能的提高。

3.3.1 过瘤胃葡萄糖

饲料中的非纤维碳水化合物（non fiber carbohydrate, NFC）可提高饲料能量水平，缓解奶牛能量负平衡，但大量的 NFC 在瘤胃降解可产生大量挥发性脂肪酸，瘤胃内容物 pH 降低，容易导致瘤胃酸中毒，并导致奶牛采食量降低，可能加重奶牛能量负平衡状态。葡萄糖是特别重要的营养性单糖，是最为快速有效的供能营养素，也是大脑神经系统、肌肉、胎儿生长、脂肪组织、乳腺等代谢唯一能源，其含量直接影响脂肪的分解状态，也与奶牛的产奶量和乳品质密切相关，高产奶牛产后血清葡萄糖含量下降，围产后期奶牛每天缺少 200~500 g 葡萄糖，因此额外的供应添加可缓解奶牛能量负平衡，但直接添加可产生瘤胃酸中毒，皱胃灌注

和静脉注射可作为紧急治疗措施。研究表明，饲料中添加过瘤胃葡萄糖可提高奶牛泌乳量和提高血液中葡萄糖含量，降低酮体水平，改善能量负平衡。薛倩^[1]指出产后奶牛每天添加瘤胃保护葡萄糖微胶囊（瘤胃通过率 57.42 %）300~400 g，可有效缓解奶牛产后体重损失，提高产奶量、血清葡萄糖含量，降低血清 NEFA 和 BHBA 含量；乙基纤维素比聚丙烯酸树脂和壳聚糖制作的胶囊对葡萄糖有更好的过瘤胃保护效果。奶牛正常情况下，从饲料中吸收的葡萄糖有限，通过葡萄糖的过瘤胃保护技术，可提高奶牛肠道中葡萄糖的吸收量，缓解奶牛能量负平衡。

3.3.2 丙酸盐类

奶牛摄入的葡萄糖一方面通过瘤胃微生物产生的短链脂肪酸（乙酸、丙酸、丁酸）经体内糖异生获得，另一方面通过小肠内分解的葡萄糖获取。糖异生途径除通过短链脂肪酸获得，还可通过体内的脂肪、生糖葡萄糖等物质转化而来。奶牛围产前期的乙酸、丁酸、总挥发脂肪酸含量显著高于泌乳期，而丙酸含量显著低于泌乳期，说明奶牛此阶段奶牛缺乏丙酸。奶牛围产期主要通过丙酸（净能需量的 50~60 %）经糖异生产生葡萄糖供能，丙酸生成量的减少，肝脏糖异生底物不足，是造成能量负平衡的重要原因。王聪等采用在围产后期奶牛饲料添加 200、300 g/d 丙酸钙，虽然对采食量和乳成分无显著影响，但可显著提高血浆葡萄糖和胰岛素含

量，降低血浆 NEFA 和 BHBA 含量。丙酸盐在牛瘤胃内可水解为丙酸和金属离子，丙酸是反刍动物糖异生的前体物，可通过葡萄糖异生途径用于体内葡萄糖的合成，随着饲料丙酸盐含量的增加，奶牛可合成更多葡萄糖用于乳糖合成或供能以缓解能量负平衡。同时丙酸盐对霉菌、革兰氏阴性菌、黄曲霉菌有较好的抑制作用，是安全的饲料添加剂。丙酸钙在产后奶牛的使用一方面通过提供丙酸进行糖异生缓解能量负平衡，另一方面可有效抑制夏季全混合日粮（TMR）腐败，避免饲料腐败影响奶牛采食量。

3.3.2 B族维生素类

（一）叶酸和VB₁₂

叶酸在生物体内参与DNA和RNA的生物合成、血色素的形成、甘氨酸与丝氨酸的转化、苏氨酸和组氨酸的分解、半胱氨酸甲基化成为甲硫氨酸以及一些B族维生素的生物合成，对于动物机体的生命活动具有重要作用。在组织代谢中，叶酸可以为奶牛体组织提供一碳基团，但这一过程需要VB₁₂参与，因此，叶酸与VB₁₂在代谢过程中是相互联系相互制约的。目前这些维生素在改善奶牛生产性能方面的研究已取得一定进展，但它们的具体代谢途径、作用机制，有待进一步研究。

Sacadura等（2008）用包含叶酸的过瘤胃复合B族维生素饲喂初产奶牛与经产奶牛，发现对早期泌

乳奶牛的生产性能更加有效。Evans等（2013）给泌乳奶牛日粮添加 3 g/d过瘤胃B族维生素混合物后，产奶量和乳成分含量显著增加。国内研究发现，过瘤胃叶酸促进了泌乳奶牛瘤胃发酵，提高了日粮养分的表观消化率和能量平衡，进而提高了产奶量以及牛奶中营养物质的含量，因此改善了奶牛的泌乳性能和繁殖性能。Muhammad等（2019）从分子水平探讨了过瘤胃叶酸对奶牛免疫基因与通路的影响，结果表明，高剂量（240 mg/500 kg奶牛/d）与低剂量（120 mg/500 kg奶牛/d）包被叶酸和对照组相比能够调节更多与免疫相关的基因与通路，如TNF信号通路、抗原的处理与呈递、金黄色葡萄球菌感染以及NF-kappa B信号通路，及CXCL10, TNFRSF1A, CD4, BOLA-DQB, NFKB1A, 和TNFSF13等基因，表明120 mg/500 kg奶牛/d包被叶酸提高了奶牛免疫力。

Rusoff等（1954）按照日粮1%的水平给奶牛补充VB₁₂，发现VB₁₂对其生产性能无促进作用。Akins等给奶牛每周肌注10 mg VB₁₂同样发现奶牛的干物质采食量、体重、体况评分、血浆和肝脏代谢能不受VB₁₂影响，仅组织中VB₁₂浓度提高。这些研究表明单独补充VB₁₂对于奶牛生产性能的促进作用可能不明显。Ouattara等（2016）研究了VB₁₂对早期泌乳奶牛肝脏和乳腺基因表达的影响，发现每周肌注10 mg维生素B₁₂促进奶牛泌乳早期肝脏再生并减少泌乳早期脂肪分解代谢。

（二）胆碱

胆碱属B族维生素类，又称维生素B4。但胆碱不同于其他的B族维生素作为辅酶发挥其生理功能，而是作为细胞结构发挥其生理作用。以往研究认为，日粮本身和奶牛自身生产的胆碱可满足机体对胆碱的需求。但随着养殖业集约化的快速发展，机体对胆碱的需要量可能无法得到满足，因此有必要向奶牛日粮中添加外源性胆碱。过去的研究明，如果将胆碱直接添加到奶牛的日粮中，胆碱易被瘤胃微生物降解，如果较高剂量的添加还会影响到奶牛的采食量，这些原因限制了胆碱在奶牛饲料中的作用。为了防止胆碱在瘤胃中被降解和改善其适口性，就需要对胆碱进行处理，使其可以顺利通过瘤胃。目前，为使胆碱在动物体内得到充分利用，常使用过瘤胃保护胆碱（rumen protected choline, RPC）的方法对胆碱进行处理。

过瘤胃技术使胆碱在奶牛产后出现的能量负平衡状态、脂肪肝和酮病等疾病方面发挥作用。有研究表明，在奶牛日粮中添加30g/d的PRC可缓解围产期能量负平衡状态^[2]，降低临床酮症和乳腺炎发病率。RPC提高了泌乳高峰期脂肪功能的效率，改善机体能量负平衡状态，从而提高产奶量并且胆碱提供游离甲基合成蛋氨酸，满足了泌乳的氨基酸需求，促进了乳蛋白的合成，有研究表明，RPC的添加可提高奶牛产奶量、乳蛋白和乳脂率。

PRC的添加还可改善奶牛的血液指标。15g/d RPC的添加可降低血液中非酯化脂肪酸的浓度，缓解脂肪肝的发生，这是由于胆碱的缺乏会限制血液中甘油三酯的生成，导致非酯化脂肪酸在肝脏中积累更多，诱发脂肪肝。并且RPC也可提高血糖、蛋氨酸、苏氨酸和异亮氨酸浓度，进而提高生产性能。20g/d RPC的添加可提高胰岛素的分泌，降低血液中胰高血糖素的浓度，这是由于RPC的添加提高了血糖浓度，从而促进胰岛素分泌。另有RPC的添加对奶牛代谢机理方面的研究表明，RPC可使奶牛脂肪酸摄取和细胞内转运的能力增加，胆碱增加了肝脏中牛奶脂肪酸转运蛋白5和肉碱转运蛋白SLC22A5的表达，促进了含载脂蛋白B的脂蛋白装配，如微粒体甘油三酸酯转移蛋白表达和载脂蛋白B100表达升高，改善碳水化合物的代谢。产犊后立即表现出升高的葡萄糖转运蛋白2 mRNA水平和丙酮酸羧化酶mRNA峰降低。

总之，适量PRC的添加可提高奶牛生产性能，提高其经济效益。

（三）烟酸

烟酸又称尼克酸，属B族维生素，是重要辅酶烟酰胺腺嘌呤二核苷酸（NAD）与烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸盐（NADP）的直接前体，与畜禽碳水化合物、脂肪及蛋白质代谢密切相关。传统认为，反刍动物瘤胃微生物合成的烟酸可以满足自身代谢和生产需要，但随着奶牛生产性能的提高，对烟酸的需求量增大。

李新建等（2006）研究发现800 mg/kg体重烟酸能提高泌乳奶牛糖皮质激素水平，缓解奶牛热应激；杨耐德等（2010）研究了不同水平烟酸对热应激奶牛生产性能及血清生化指标的影响，发现8g/d烟酸有助于缓解热应激。以上研究均表明在泌乳奶牛日粮中适当补充烟酸能够缓解热应激。

考虑到瘤胃微生物对日粮烟酸的降解作用，近年来关于过瘤胃烟酸的研究受到国内外学者关注。国内研究发现过瘤胃烟酸提高了奶牛产奶量，但关于过瘤胃烟酸对乳蛋白含量的影响研究结果不一致。贾文彬（2006）发现补充过瘤胃烟酸增加了乳蛋白含量，赵术帆（2012）发现过瘤胃烟酸减小了乳蛋白含量，关于过瘤胃烟酸对乳成分的影响有待进一步研究。国外研究表明添加24 g/d过瘤胃烟酸或烟酸胶囊能提高乳脂浓度，降低阴道温度并降低血液游离脂肪酸浓度。还有研究表明，由于过瘤胃烟酸能直接到达小肠，机体吸收率较高，因此能够提高热应激期间奶牛乳脂校正乳产量。

（四）核黄素

核黄素又称维生素B₂，是水溶性维生素之一，在干热和酸性环境中很稳定，但在碱性环境中易分解。核黄素是动物体内碳水化合物、脂肪、蛋白质和核酸代谢过程中多种必需酶的组成成分。在动物体内主要以黄素腺嘌呤二核苷酸（Flavin adenine dinucleotide FAD）和黄素单核苷酸（Flavin mononucleotide FMN）参与氧化还原反应，在自然状态下几乎没有游离态的核黄素，FAD是其在动物体内的主要存在形式。已知在动物和微生物中有100多种的酶与FAD和FMN结合。

有文献表明对奶牛进行十二指肠灌注0.3g/d的核黄素可提高奶牛的抗氧化能力，降低脂质过氧化物堆积。核黄素的添加也可提高奶牛的免疫应答，降低牛奶中体细胞数量。奶牛摄入核黄素不足，会造成奶牛HepG₂细胞中蛋白质和DNA损伤。核黄素对反刍动物影响的研究较少，核黄素对反刍动物的影响机理仍有待进一步研究。

3.3.2 饲养管理的改善

围产期奶牛酮病除因能量供应不平衡引起的原发性酮病外，还有因其他疾病导致的动物机体的消化吸收能力降低引起的继发性酮病。奶牛舍饲环境差、通风较差、温度高、卧床及运动场条件差、晚上光照不足、饲养密度高、子宫炎、蹄病、创伤性网胃炎等因素刺激都可直接或间接降低奶牛的采食量，诱导各种产后疾病的产生，影响奶牛代谢，加重奶牛能量负平衡。生产中通过产前及产后各项管理措施的改善，可提高产后奶牛生产水平。

4 小结

围产期奶牛严重的能量负平衡会导致代谢系统疾病，并产生其他继发性疾病。奶牛泌乳性能、繁殖性能降低，严重影响奶牛的生产效益。通过围产阶段合理的饲养管理技术、改善饲粮和提高饲养管理水平，促进奶牛产后干物质、生糖物质的采食，提高产后奶牛能量摄入，降低奶牛酮病、脂肪肝的发生，以实现奶牛生产性能的提高。好的奶牛产前和产后管理的结合，才能实现最佳的生产性能和繁殖性能，通过对围产期奶牛合理的饲养管理预防酮病及产后酮病的实时监控及治疗，对提高牧场效益有重要意义。