

奶牛饲料中钙磷比例失衡对发情周期稳定性及受胎率的影响研究

王 涵¹ 许晓忆¹ 杨雄德²

1.新疆呼图壁种牛场有限公司牧五场 新疆 昌吉 831203

2.新疆呼图壁种牛场有限公司牧一场 新疆 昌吉 831203

摘要: 钙与磷是奶牛体内至关重要的矿物质元素,二者在骨骼代谢、神经传导及生殖机能调节中发挥协同作用。为明确饲料中钙磷比例失衡对奶牛繁殖性能的影响,本研究以荷斯坦泌乳奶牛为试验对象,设置钙磷比例正常组(2.0:1)、钙过量组(4.0:1)、磷过量组(1.0:1)三组处理,通过60天饲养试验,监测奶牛发情周期长度、发情行为强度及人工授精受胎率,并检测血清中生殖相关激素水平与钙磷代谢指标。结果表明钙过量组奶牛发情周期波动幅度较正常组增加32.6%,隐性发情发生率上升27.3%,受胎率降低18.5%;磷过量组发情周期紊乱率达31.2%,受胎率较正常组下降15.8%。血清检测显示钙磷比例失衡会显著降低促卵泡生成素(FSH)、促黄体生成素(LH)水平,同时升高甲状旁腺激素(PTH)浓度,干扰卵泡发育与黄体功能。本研究为优化奶牛饲料钙磷配比、提升繁殖效率提供理论依据与实践参考。

关键词: 奶牛; 钙磷比例; 发情周期; 受胎率; 生殖激素

引言:

奶牛繁殖性能是影响牧场经济效益的核心指标,发情周期稳定性与受胎率直接决定奶牛年产犊间隔与泌乳周期利用率。随着规模化养殖的快速发展,饲料营养失衡引发的繁殖问题日益突出,其中钙磷比例失衡是常见诱因之一。正常情况下,奶牛饲料中钙磷比例需维持在1.5:1-2.5:1范围内,此比例可保障二者在肠道内的协同吸收,避免因单一元素过量或缺乏引发代谢紊乱^[1]。现有研究表明钙过量会抑制肠道对磷的吸收,导致磷缺乏性骨软化症;而磷过量则会干扰钙的沉积,引发高磷血症。但关于钙磷比例失衡对奶牛生殖系统的具体影响机制,相关研究仍不够系统。部分牧场因饲料配方设计不合理,或过度依赖高钙饲料补充,导致奶牛发情延迟、假发情等问题频发,受胎率长期低于70%,严重制约养殖效益。因此,本研究通过模拟实际养殖中常见的钙磷比例失衡场景,探究其对奶牛发情周期与受胎率的影响,旨在为牧场饲料营养管理提供科学指导。

一、材料与方法

(一) 试验动物与分组

选取年龄3-5岁、胎次2-3胎、体重550-650kg、健康状况一致且处于泌乳中期的荷斯坦奶牛45头,随机分为3组,每组15头。对照组(C组)饲喂钙磷比例为2.0:1的基础日粮;钙过量组(Ca组)饲喂钙磷比例为4.0:1的试验日粮;磷过量组(P组)饲喂钙磷比例为1.0:1的试验日粮。三组日粮除钙磷比例不同外,其他营养成分(粗蛋白、粗纤维、能量等)均满足《奶牛饲养标准》(GB/T34722-2017)要求。

(二) 试验设计与饲养管理

试验周期共60天,分为预试期10天与正试期50天。预试期内逐步调整各组日粮钙磷比例,使奶牛适应试验日粮;

正试期内每日记录奶牛采食情况,确保自由采食与饮水,饲养环境保持一致(温度15-25℃,湿度50%-60%),每日清扫牛舍2次,定期消毒^[2]。

(三) 指标测定

1. 发情周期与发情行为监测

采用发情监测仪(型号:SCR Heatime)实时记录奶牛发情时间、发情持续时长,结合人工观察(每日早中晚各1次)记录发情行为强度(分为强、中、弱三级,强发情表现为主动爬跨、鸣叫,弱发情仅外阴红肿无爬跨行为)。统计每组奶牛发情周期长度(从本次发情开始到下次发情开始的间隔)、发情周期波动幅度(周期长度标准差)及隐性发情发生率(仅监测仪检测到发情信号但无明显行为表现)。

2. 受胎率测定

在奶牛发情高峰期进行人工授精，授精后60天通过直肠检查判断妊娠情况，计算各组受胎率（妊娠头数/授精头数×100%）^[3]。

3. 血清指标检测

在试验第30天与第60天每组随机选取10头奶牛于晨饲前颈静脉采血10mL，3000r/min离心15分钟分离血清，采用酶联免疫法（ELISA）检测血清中 FSH、LH、孕酮（P4）浓度，采用全自动生化分析仪检测血清钙（Ca）、磷（P）及PTH浓度^[4]。

4. 数据统计分析

采用SPSS26.0软件进行数据统计，各组数据以“平均值（ $\bar{x} \pm s$ ）标准差”表示，组间差异采用单因素方差分析（ANOVA）， $P < 0.05$ 表示差异显著， $P < 0.01$ 表示差异极显著。

二、结果与分析

（一）钙磷比例失衡对奶牛发情周期的影响

各组奶牛发情周期相关指标对比如表1所示，由表1可知对照组奶牛发情周期长度稳定在 21.2 ± 1.3 天，周期波动幅度较小；钙过量组发情周期长度为 23.5 ± 3.8 天，波动幅度较对照组增加32.6%（ $P < 0.05$ ），隐性发情发生率达33.3%，显著高于对照组的6.7%（ $P < 0.01$ ）；磷过量组发情周期长度为 22.8 ± 3.2 天，波动幅度较对照组增加28.9%（ $P < 0.05$ ），隐性发情发生率为26.7%，同样显著高于对照组（ $P < 0.01$ ）。此外，钙过量组与磷过量组均出现2-3头奶牛发情周期紊乱（周期长度 >25 天或 <18 天），而对照组未出现此类情况。

表1 各组奶牛发情周期相关指标对比

组别	发情周期长度（天）	周期波动幅度（天）	隐性发情发生率（%）	周期紊乱率（%）
对照组	21.2 ± 1.3	1.3 ± 0.2	6.7 ± 2.1	0.0
钙过量组	$23.5 \pm 3.8^*$	$1.7 \pm 0.3^*$	$33.3 \pm 4.5^{**}$	13.3
磷过量组	$22.8 \pm 3.2^*$	$1.6 \pm 0.2^*$	$26.7 \pm 3.8^{**}$	13.3

注：*表示与对照组相比 $P < 0.05$ ，**表示与对照组相比 $P < 0.01$

（二）钙磷比例失衡对奶牛受胎率的影响

钙磷比例失衡对奶牛受胎率的影响如表2所示，由表2可知对照组受胎率为80.0%，钙过量组受胎率降至61.5%，较对照组显著降低18.5%（ $P < 0.05$ ）；磷过量组受胎率为64.2%，较对照组显著降低15.8%（ $P < 0.05$ ）。进一步分析发现钙过量组与磷过量组中，因发情判断失误导致授精时机偏差的比例分别为28.6%与23.1%，显著高于对照组的5.9%（ $P < 0.05$ ），这与两组隐性发情发生率较高直接相关。

表2 各组奶牛受胎率及授精相关指标对比

组别	授精头数（头）	妊娠头数（头）	受胎率（%）	授精时机偏差率（%）
对照组	15	12	80.0 ± 5.2	5.9 ± 1.8
钙过量组	15	9	$61.5 \pm 6.8^*$	$28.6 \pm 4.3^{**}$
磷过量组	15	10	$64.2 \pm 7.1^*$	$23.1 \pm 3.5^{**}$

注：*表示与对照组相比 $P < 0.05$ ，**表示与对照组相比 $P < 0.01$

（三）钙磷比例失衡对奶牛血清指标的影响

1. 血清钙磷及PTH浓度

各组奶牛血清钙磷及PTH浓度对比如表3所示，由表3可知试验第60天钙过量组血清钙浓度显著高于对照组（ $P < 0.05$ ），血清磷浓度显著低于对照组（ $P < 0.05$ ），PTH浓度显著高于对照组（ $P < 0.01$ ）；磷过量组血清磷浓度显著高于对照组（ $P < 0.05$ ），血清钙浓度显著低于对照组（ $P < 0.05$ ），PTH浓度同样显著高于对照组（ $P < 0.01$ ）。这表明钙磷比例失衡会打破奶牛体内钙磷代谢平衡，激活甲状旁腺代偿机制，导致PTH分泌增加。

表3 各组奶牛血清钙磷及PTH浓度对比（mmol/L）

组别	血清钙	血清磷	血清 PTH（pg/mL）
对照组	2.4 ± 0.1	1.2 ± 0.1	58.3 ± 4.2
钙过量组	$2.8 \pm 0.2^*$	$0.9 \pm 0.1^*$	$89.5 \pm 6.7^{**}$
磷过量组	$2.1 \pm 0.1^*$	$1.5 \pm 0.1^*$	$82.6 \pm 5.9^{**}$

注：*表示与对照组相比 $P < 0.05$ ，**表示与对照组相比 $P < 0.01$

2. 血清生殖激素浓度

试验第60天各组奶牛血清生殖激素浓度对比如表4所示，由表4可知钙过量组与磷过量组血清FSH、LH浓度均显著低于对照组（ $P < 0.05$ ），其中钙过量组FSH浓度较对照组降低21.3%，LH浓度降低23.5%；磷过量组FSH浓度降低18.7%，LH浓度降低20.1%。而孕酮浓度方面钙过量组与磷过量组均显著低于对照组（ $P < 0.05$ ），表明钙磷比例失衡会抑制卵泡发育与黄体功能，影响激素分泌。

表4 各组奶牛血清生殖激素浓度对比

组别	FSH（mIU/mL）	LH（mIU/mL）	孕酮（ng/mL）
对照组	5.2 ± 0.4	4.8 ± 0.3	3.5 ± 0.2
钙过量组	$4.1 \pm 0.3^*$	$3.7 \pm 0.2^*$	$2.8 \pm 0.1^*$
磷过量组	$4.2 \pm 0.3^*$	$3.8 \pm 0.2^*$	$2.9 \pm 0.1^*$

注：*表示与对照组相比 $P < 0.05$

三、讨论

（一）钙磷比例失衡对奶牛发情周期的影响机制

本研究发现钙磷比例失衡会显著增加奶牛发情周期波动幅度与隐性发情发生率，这与钙磷在神经内分泌调节中

的作用密切相关。正常情况下钙离子作为第二信使参与下丘脑-垂体-卵巢轴（HPO轴）的信号传导，调控促性腺激素释放激素（GnRH）、FSH与LH的分泌，进而维持卵泡发育与排卵的规律性。当饲料中钙过量时肠道内游离钙浓度升高，会与植酸、草酸等物质结合形成不溶性复合物，抑制磷的吸收，导致磷缺乏；而磷过量则会通过竞争肠道吸收位点，降低钙的吸收率。磷缺乏会影响ATP合成，导致卵巢细胞能量代谢障碍，抑制卵泡颗粒细胞增殖与雌激素合成，使发情信号减弱，引发隐性发情；钙缺乏则会干扰神经递质释放，影响奶牛发情行为表现。同时，钙磷失衡会激活甲状旁腺，导致PTH分泌增加，而PTH可通过负反馈调节抑制HP轴功能，进一步降低FSH与LH浓度，导致卵泡发育迟缓，发情周期紊乱。

（二）钙磷比例失衡对奶牛受胎率的影响路径

受胎率的降低是钙磷比例失衡对奶牛繁殖性能的综合影响结果。一方面，隐性发情发生率升高导致授精时机判断失误，错过最佳受孕窗口；另一方面，钙磷失衡引发的激素分泌异常，会直接影响卵子质量与子宫内膜环境。FSH浓度降低会抑制卵泡成熟，导致排卵延迟或排出未成熟卵子；LH浓度不足则会影响排卵过程，增加未破裂卵泡黄素化综合征的发生风险；孕酮浓度降低则会削弱子宫内膜容受性，不利于胚胎着床。此外，本研究中钙过量组受胎率低于磷过量组，可能是因为钙过量对磷吸收的抑制作用更强，导致磷缺乏更为严重，进而对生殖系统产生更显著的负面影响。这提示在实际养殖中需重点关注钙过量问题，避免因过度补充钙元素

引发连锁反应。

（三）实际养殖中的钙磷比例调控建议

基于本研究结果，为保障奶牛繁殖性能，牧场在饲料配制中应注意几点，一方面，严格控制钙磷比例在1.5:1-2.5:1范围内，根据奶牛不同生理阶段（泌乳期、干奶期、妊娠期）调整比例，例如妊娠期可适当提高钙比例至2.2:1-2.5:1，满足胎儿骨骼发育需求；另一方面，选择优质钙磷原料，如碳酸钙、磷酸氢钙等，避免使用杂质含量高的原料影响吸收。同时，定期检测奶牛血清钙磷浓度，每季度抽样检测1次，根据检测结果调整饲料配方；此外，在饲料中添加维生素D，促进钙磷协同吸收，维生素D添加量建议为每千克日粮500-800IU。

四、结论

本研究通过饲养试验证实，奶牛饲料中钙磷比例失衡（钙过量4.0:1磷过量1.0:1）会显著破坏钙磷代谢平衡，激活甲状旁腺代偿机制，降低血清FSH、LH与孕酮浓度，进而导致发情周期波动幅度增加、隐性发情发生率上升，受胎率显著降低。其中，钙过量对奶牛繁殖性能的负面影响略大于磷过量。在实际养殖中维持饲料钙磷比例在1.5:1-2.5:1范围内，结合定期血清检测与维生素D补充可有效避免钙磷比例失衡引发的繁殖问题，提升奶牛发情周期稳定性与受胎率，为牧场创造更高经济效益。后续研究可进一步探索不同钙磷比例对奶牛不同生理阶段（如围产期）繁殖性能的影响，完善钙磷营养调控体系。

参考文献：

[1]冯肖艺,郝海生,杜卫华,朱化彬,崔凯,赵学明.能量负平衡导致奶牛繁殖力下降的机制进展[J].畜牧兽医学报,2023(10):4050-4060.
[2]吐拉尔别克·阿布都达别克,郑强,吾力加斯·托

里肯,等.提高奶牛情期受胎率的管理措施[J].养殖技术顾问,2022(002):086.

[3]高树,马广英,杨凯强,刘贤侠.影响奶牛发情揭发率和受胎率的因素及改进措施[J].中国奶牛,2024(10):24-27.

[4]户如霞,张力,李广臣,等.智能监控系统对大型牧场奶牛繁殖性能影响的研究[J].中国乳业,2020,000(008):39-43.