奶牛发情期间生产性能、乳汁成分性状和生殖激素的变化

刘利祥

山东省临沂市莒南县动物疫病预防控制中心，山东临沂 276600

摘　要：[目的]探究奶牛发情期间生产性能、乳汁成分性状和生殖激素的变化。[方法]选取36 头健康的荷斯坦牛，分别记录其发情前期、发情期和发情后期的产奶量、体温、乳脂肪、乳蛋白、乳糖和体细胞数量的变化，同时记录其孕酮、雌二醇和催乳素的变化。[结果]在奶牛的发情期，产奶量下降、乳脂肪和总固形物含量增加，孕酮降低，雌二醇和催乳素增加。[结论]奶牛发情期的生产性能和乳汁成分性状发生显著变化，其中产奶量下降和乳脂肪、总固形物含量增加，表明奶牛的生理状态在发情期间具有显著波动。此外，生殖激素的变化与这些生产性能的变化密切相关，为进一步优化奶牛的管理措施提供依据。

关键词：发情期；奶牛；激素；产奶量

文章编号：1671–4393（2025）07–0110–05　　DOI:10.12377/1671–4393.25.07.18

中国乳业线上阅读

0 引言

奶牛发情期是其生理周期中的关键阶段，不仅直接影响奶牛的繁殖管理和生产效率，而且与乳汁成分及其质量变化密切相关[1]。生殖激素（如雌激素、孕激素及促黄体生成素等）在发情期内的波动，不仅调节奶牛的生殖功能，同时也在一定程度上影响乳汁的组成和性质[2]。因此，深入了解奶牛在发情期间乳汁中生殖激素的变化及其对乳汁成分的作用，对于优化乳制品质量管理和提升繁殖效率具有重要意义。

生殖激素的变化直接影响奶牛乳腺的生理功能及乳汁分泌过程。在发情期，雌激素水平的变化，促使乳腺的发育与分泌功能增强[3]。同时，激素波动可能对乳汁中的各类成分（如脂肪、蛋白质、乳糖及矿物质等）产生显著影响[4]。研究显示，奶牛发情期乳汁的脂肪含量、乳蛋白以及其他乳成分会发生一定的变化，这不仅影响乳制品的营养价值，还可能改变乳制品的加工特性[5]。因此，系统探讨和分析奶牛发情期乳汁成分与生殖激素变化的关系，对于优化奶牛饲养管理和提高乳制品品质具有实际应用价值。

随着现代畜牧业科学的发展，关于奶牛生理

作者简介：刘利祥（1973–），男，山东临沂人，本科，高级兽医师，研究方向为兽医。

周期中激素与乳汁成分变化的研究逐渐深入。在传统乳制品生产中，奶牛发情期通常被视为对奶产量影响较小的阶段，然而越来越多研究表明，发情期的乳汁成分变化对乳制品的风味、品质以及营养价值有潜在影响[6]。此外，针对奶牛发情期激素水平与乳成分变化的深入研究，为乳品品质控制和个性化产品开发提供新思路和方向。

本研究旨在通过分析奶牛发情期间乳汁中生殖激素与乳汁成分性状变化规律，探讨两者之间的内在关系及其作用机制。研究结果不仅为奶牛的繁殖管理提供科学依据，还能为乳制品加工与质量控制提供新视角，助力奶牛生产的精准管理、乳制品的质量提升以及畜牧行业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验动物和设计

本研究选择36 头体况健康的荷斯坦牛，即产奶量稳定，未表现出乳房健康问题。所有奶牛在统一管理条件下饲养，饲料为高质量草料和浓缩料，日常管理遵循标准化操作。试验采用随机分组设计，分别在发情周期的3 个不同阶段（发情前期、发情期、发情后期）对奶牛进行采样。每头奶牛在试验周期内每个阶段进行3 次采样，确保数据的代表性和准确性。根据奶牛的生理周期，将发情周期分为：发情前期（Day−7～Day−1）、发情期（Day 0）、发情后期（Day+1～Day+7）。

1.2 奶牛产奶量和体温的记录

试验开始后，从挤奶计量器中记录奶牛每日的产奶量，同时记录体温变化。

1.3 奶牛体温的记录

在奶牛采食饲料时，保定奶牛，将体温计插入直肠9 cm左右（不掏类便），测5 min/次.

1.4 样品的采集

乳汁样本：每个阶段每天定时采集50 mL乳汁，采样时间为早晨07：00～09：00。所有乳汁样本立即冷藏保存，采集操作严格无菌。血液样本：每个阶段同步采集血液样本20 mL，采集方法为静脉穿刺，血样立即放入含抗凝剂的试管中，待到实验室后进行离心处理。

1.5 生殖激素的测定

雌二醇测定：采用酶联免疫吸附法（ELISA）检测雌激素的浓度。孕酮测定：采用ELISA法检测孕激素水平。催乳素测定：使用催乳素ELISA试剂盒进行测定。

1.6 乳汁成分分析

使用乳成分分析仪检测奶牛乳脂肪、乳蛋白、乳糖和总固形物含量。使用体细胞计数仪检测其体细胞数量变化。

1.7 数据统计分析

试验数据通过SPSS软件进行单因素方差分析（ANOVA），并采用Duncan's多重比较法进行组间差异的进一步检验。所有结果以“均值±标准差”表示，$P<0.05$时，认为差异具有统计学显著性。

2 结果

2.1 奶牛发情期间生产性能和体况的变化

为进一步探讨奶牛发情期间生产性能的变化，本研究对奶牛产奶量和体温进行监测。结果如表1所示，相较于发情前期，奶牛在发情期的产奶量出现

表 1 奶牛发情期间生产性能和体况的变化

指标	发情前期	发情期	发情后期
产奶量（kg/d）	32.38±3.29^{a}	30.42±5.67^{b}	33.38±4.33^{a}
体温（℃）	38.37±0.23	38.92±0.43	38.48±0.34

注：同一行不同字母代表之间存在显著性差异，$P<0.05$，下同

中国乳业线上阅读

了显著下降，表明发情期间奶牛的生产性能可能受到生理状态变化的影响。然而，随着发情周期的推进，尤其在发情后期，奶牛的产奶量出现了显著恢复。此外，研究还发现奶牛在发情期体温呈现一定程度的增加，但是并无显著性差异。综上所述，奶牛在发情期间的生产性能具有一定的规律性，并且在发情后期逐步恢复。

2.2 奶牛发情期间乳汁成分的变化

为评估奶牛在发情期间乳汁成分的变化，本研究对牛奶中的固形物含量、蛋白质、乳糖以及体细胞数进行了监测。结果如表2所示，与发情前期相比，发情期间牛奶中的脂肪和固形物含量显著增加（$P<0.05$），然而在发情后期，该指标恢复至接近发情前期的正常水平，表明脂肪和固形物含量的变化可能与发情周期波动相关。尽管如此，蛋白质和乳糖的含量无显著变化，提示这些成分在发情期间受到的影响较小或具有一定的稳定性。

表 2 奶牛发情期间乳汁成分的变化

指标	发情前期	发情期	发情后期
脂肪（%）	3.81 ± 0.28^{b}	4.32 ± 0.19^{a}	3.83 ± 0.21^{b}
蛋白质（%）	3.28 ± 0.04	3.10 ± 0.03	3.21 ± 0.05
乳糖（%）	3.68 ± 0.13	3.67 ± 0.16	3.70 ± 0.14
总固形物（%）	11.28 ± 2.33^{b}	14.38 ± 3.16^{a}	12.03 ± 1.99^{b}
体细胞数（$\times 10^{3}$ 个/mL）	86.43 ± 14.88	89.73 ± 13.22	88.77 ± 11.48

此外，体细胞数量在发情期间相较于发情前期有所增加，但无显著性差异（$P>0.05$）。这可能与乳腺的生理状态变化有关，但未表明存在明显的炎症或感染反应。总之，乳汁成分在奶牛发情期间的变化呈现一定规律性，脂肪和总固形物含量的波动较显著，而蛋白质、乳糖及体细胞数变化较平稳。

2.3 奶牛发情期间生殖激素的变化

为进一步评估奶牛发情期间生殖激素的变化，本研究检测孕酮、催乳素和雌二醇含量。结果如表3所示，相较于发情前期，奶牛在发情期的孕酮含量显著下降，但在发情后期恢复至正常水平。催乳素的含量在发情期显著增加，并且在发情后期仍保持较高水平（$P<0.05$）。此外，雌二醇的含量在发情前期和发情期均处于较高水平，而在发情后期一定程度降低。综上所述，奶牛发情期间的生殖激素水平表现一定波动性，反映激素调节在发情周期中的动态变化，这对理解奶牛的生理机制具有重要意义。

表 3 奶牛发情期间生殖激素的变化

指标	发情前期	发情期	发情后期
孕酮（ng/mL）	2.58 ± 0.04^{a}	1.38 ± 0.03^{b}	2.33 ± 0.02^{a}
催乳素（ng/mL）	50.38 ± 2.37^{c}	70.44 ± 4.23^{b}	90.32 ± 5.63^{a}
雌二醇（pg/mL）	76.78 ± 4.38^{b}	80.33 ± 5.33^{a}	65.46 ± 6.33^{b}

3 讨论

3.1 发情期间奶牛生产性能的变化

奶牛的产奶量和发情期存在一定关联，目前针对该关联已有部分研究，但存在较大差异。Schofield等[7]发现，在奶牛的发情期当天，奶牛的产奶量会发生显著降低。Serdar等[8]对103 头奶牛进行长时间跟踪记录，研究发现，在发情期，大约30%的奶牛产奶量呈下降趋势，26.5%的奶牛则表现出产奶量的上升趋势；其余奶牛无显著性变化。此外，还有研究者探查连续发情对奶牛产奶量的影响，结果显示奶牛的产奶量以0.56 kg/次的频率降低[9]。因此，目前对于发情期对奶牛产奶量的影响无明确结果。在本次研究中，发情期奶牛产奶量则发生了一定程度的降低，而在发情后期恢复正常，但用于判断奶牛的发情期变化仍有待细致研究。此外，发情期奶牛体温会发生明显变化。研究显示，奶牛随着发情期的进行，体温会发生一定程度的升高，最高可到39 ℃[10]。葛利江等[11]证明奶牛发情期体温会发生一定程度的增加，其在发情期平均体温会增加0.52 ℃左右，而当发生排卵后体温发生降低（低0.37 ℃）。此外，肉牛也发现了同样现象，当肉牛发情时其体温能上升0.9 ℃左右，随着发情期进行会逐渐降低并

中国乳业线上阅读

恢复正常水平[12]。本研究中，发情期奶牛体温确实发生了一定程度的增加，但是并无显著性差异。因此，关于奶牛发情和体温的相互关系还有待进一步深入研究。

3.2 发情期奶牛乳成分含量的变化

在奶牛的发情期，乳成分的含量会发生一定程度的变化。本研究发现，奶牛发情期的乳脂肪和固形物含量有所增加，随后恢复至正常水平。Toledo-Alvarado等[6]观察到类似趋势，其研究表明，在发情前几天，奶牛的乳脂肪含量显著增加，并在发情期达到峰值（3.95%），之后开始下降并恢复至正常基础值范围。Du等[5]发现，发情期奶牛的总固形物含量显著增加。这些研究结果与本研究一致，表明发情期会导致牛乳脂肪和固形物的含量变化。

然而在本研究中，乳蛋白、乳糖及体细胞数无显著变化。Toledo-Alvarado等[6]指出，发情前期奶牛乳蛋白含量下降，发情期降至最低值，发情后期恢复至正常范围。尽管本研究中乳蛋白含量也出现一定程度的降低，但不显著。关于乳糖的变化，Akdago等[13]的研究发现，乳糖的含量与发情期之间并无显著关联，这与本研究结果相符。同样，Guidry等[14]发现，发情对奶牛体细胞数的影响也不显著，这与本研究结果一致。

3.3 发情期间奶牛生殖激素的变化

在奶牛发情期间，生殖激素表现显著的波动变化。Narendran等[15]研究发现，孕酮在发情当天显著下降（为0.606 ng/mL），但发情后期则出现明显的升高。万一鹤等[16]的研究则发现，发情期的孕酮水平低于发情前期，最低可降至1.28 ng/mL，维持数日后升高，并在发情后14 天达到最高值。本研究结果显示，孕酮在发情期间显著下降，并在发情后期逐渐恢复，这与现有研究结果一致。关于雌二醇的变化，李桂芝等[17]发现，雌二醇在发情当天显著上升，并在发情次日达到最高值后有所下降。其他研究则显示，雌二醇含量在发情前3 天开始升高，发情期达到最高值（约71.3 ng/mL），之后逐渐下降，并在发情后第4天降至约33.8 ng/mL，随后呈现波动变化[18]。本研究结果也显示，雌二醇在发情期显著升高，并在发情后期回落，但未详细对比每日变化，未来应进一步研究该变化趋势。对于催乳素的变化，目前的研究显示其波动较大，一些研究认为催乳素在发情后12 h显著增加，随后波动下降，并在发情后6 d和14 d再次显著上升，形成峰值[19]。本研究结果显示，催乳素在发情期间整体呈显著增加趋势，具体机制尚需进一步深入研究。

4 结论

总之，本研究显示，奶牛在发情期的产奶量通常略有降低，可能与激素波动及其对乳腺功能的影响有关。同时，乳中的脂肪含量和总固形物含量显著增加，反映乳腺代谢的变化。孕酮水平下降，而催乳素和雌二醇浓度上升，这些激素变化在发情期的发生和维持中起着重要作用。研究还发现，乳脂肪、总固形物、孕酮、催乳素和雌二醇的变化可作为潜在的生物标志物，有助于提前判断奶牛发情期，从而优化管理，提高生产效率。然而，乳糖、蛋白质和体细胞数量无显著变化，表明这些成分受发情周期的影响较小或由其他因素调节。因此，虽然这些标志物有助于监测发情期，但仍需进一步研究其与奶牛生理状态的关系。未来研究可探讨这些生物标志物的应用潜力，并研究其他可能影响奶牛发情期的因素，为繁殖管理提供精准的科学依据。

参考文献

[1] 孙国瀚，郑浩，杨卓，等.发情期和妊娠早期孕酮对奶牛繁殖的影响及调控方法[J].畜牧兽医学报，2024，55（10）：4241-4249.

[2] 郭冠华.奶牛发情期躯体不同部位活动量变化规律研究[D].太原山西农业大学，2022.

[3] 武开乐，库西塔别克·买买提依不拉音，马静，等.雌激素调控奶牛乳腺上皮细胞凋亡及生长周期作用机制的研究[J].中国畜牧兽医，2019，46（9）：2575-2582.

[4] 武雪会，孙会增，王迪铭，等.不同产奶量和乳蛋白率奶牛的血液生化和激素水平分析[J].中国畜牧杂志，2019，55（11）：99-104.

中国乳业线上阅读

[5] Du C，Nan L，Li C，et al.Influence of estrus on the milk characteristics and mid-infrared spectra of dairy cows[J]. Animals，2021，11（5）：1200.

[6] Toledo-Alvarado H，Vazquez A L，Campos G D L，et al.Changes in milk characteristics and fatty acid profile during the estrous cycle in dairy cows[J].Journal of Dairy Science，2018，101（10）：9135-9153.

[7] Schofield S A，Phillips C J C，Owens A R.Variation in the milk production，activity rate and electrical impedance of cervical mucus over the oestrous period of dairy cows[J]. Animal Reproduction Science，1991，24：231-248.

[8] Serdar D，Suleyman C B.Change of daily milk yield during estrous period in Holstein cattle raised under Mediterranean climate[J]. Tropical Animal Health and Production，2019，51：1571-1577.

[9] Gaillard C，Barbu H，Sorensen M T，et al.Milk yield and estrous behavior during eight consecutive estruses in Holstein cows fed standardized or high energy diets and grouped according to live weight changes in early lactation[J].Journal of Dairy Science，2016，4：3134-3143.

[10] Suthar V S，Burfeind O，Patel J S，et al.Body temperature around induced estrus in dairy cows[J].Journal of Dairy Science，2011，94（5）：2368-2373.

[11] 葛利江，吴志杰，陈建鳌，等.关于奶牛发情周期及围产期体温变化规律的研究[J].黑龙江畜牧兽医，1995（11）：3-5.

[12] Kyle B L，Kennedy A D，Small J A.Measurement of vaginal temperature by radiotelemetry for the prediction of estrus in beef cows[J].Theriogenology，1998，49（8）：1437-1449.

[13] Akdago F，Cadircib，Siriken.Effect of estrus on milk yield and composition in Jersey cows[J].Bulgarian Journal of Agricultural Science，2010，16：783-787.

[14] Guidry A J，Paappe M J，Pearson R E.Effects of estrus and exogenous estrogen on circulating neutrophils and milk somatic cell concentration，neutrophil phagocytosis，and occurrence of clinical mastitis in cows[J].American Journal of Veterinary Research，1975，36：1555.

[15] Narendran R，Hacker R R，Smith V G，et al.Estrogen and progesterone concentrations in bovine milk during the estrous cycle[J].Theriogenology，1979，12：19-25.

[16] 万一鹤，魏元忠，何炎武，等.发情周期外周血浆和乳汁中孕酮含量的变化[J].甘肃农业大学学报，1985，2：1-8.

[17] 李桂芝，李飞，马会明.E2 和 P4浓度在奶牛发情周期中与卵泡发育对比分析[J].中国奶牛，2007（s1）：119-121.

[18] 高雍和，蒋寿，黄永明，等.发情周期和怀孕期间奶桶混合乳日 17β-雌二醇的变化[J].甘肃农业大学学报，1991，12：333-340.

[19] 徐直，蒋振国，徐一树，等.黑白花奶牛发情周期血液中促卵泡素、促黄体素、促乳素、孕酮、雌二醇的含量及变化规律[J].华北农学报，1996，11（3）：121-127.

The Changes in Production Performance，Milk Composition Traits，and Reproductive Hormones of Dairy Cows during Estrus

LIU Lixiang

Animal Epidemic Disease Prevention and Control Center of Junan County，Linyi Shandong 276600

Abstract：[Objective] This study investigated changes in milk production performance, milk composition traits, and reproductive hormones during estrus in dairy cows.[Method] Thirty-six healthy Holstein cows were selected. Milk yield, body temperature, milk fat, milk protein, lactose, and somatic cell count were recorded during the proestrus, estrus, and metestrus stages. Concurrently, changes in progesterone, estradiol, and prolactin levels were recorded.[Result] During the estrus phase, milk yield decreased, while milk fat and total solids content increased. Progesterone levels decreased, whereas estradiol and prolactin levels increased.[Conclusion] Significant changes in milk production performance and milk composition traits occurred during estrus, particularly the decreased milk yield and increased milk fat and total solids content. These findings indicated significant physiological fluctuations in cows during estrus. Furthermore, the changes in reproductive hormones were closely associated with these alterations in production performance, providing a basis for further optimization of dairy cow management practices.

Keywords：estrus；dairy cow；hormone；milk yield