热应激对奶牛繁殖性能的影响及生殖激素调控策略

及美拉

新疆昌吉州奇台县古城乡人民政府农业畜牧业发展服务中心，新疆昌吉 831800

摘　要：热应激是影响奶牛繁殖性能的关键环境因素，可导致奶牛内分泌紊乱、卵巢与子宫功能受损、发情行为异常等问题，显著降低受胎率与繁殖效率。本文系统阐述了热应激对奶牛繁殖系统的生理影响，重点探讨了生殖激素（如GnRH、孕酮、FSH/LH、PGF2α）在缓解热应激中的调控策略，包括激素使用方案的优化、剂量调整及其与环境调控、营养支持和精准监测等综合管理措施的协同应用。实践表明，科学运用激素干预并结合综合管理，可有效提升热应激条件下奶牛的繁殖性能。

关键词：热应激；奶牛；繁殖性能；生殖激素；GnRH；孕酮；FSH/LH；PGF2α；调控策略

文章编号：1671-4393（2025）08-0015-06　　DOI:10.12377/1671-4393.25.08.03

0 引言

热应激是制约现代奶牛养殖业健康发展的重要环境因素，对奶牛繁殖性能造成的负面影响尤为突出。随着全球气候变暖及集约化养殖模式的推广，热应激的发生频率与强度逐年上升，已成为影响牧场经济效益的关键问题之一[1]。我国南北方地区夏季均可能出现持续高温高湿天气，导致奶牛散热困难、生理代谢紊乱，进而引起繁殖机能下降。统计显示，热应激可使奶牛受胎率降低30%～50%[2]，发情行为异常，胚胎死亡率显著上升，严重制约奶牛群体的繁殖效率和生产可持续性。本文旨在系统阐述热应激影响奶牛繁殖性能的生理机制，重点探讨生殖激素调控策略及其与其他管理措施的协同应用，以期为缓解热应激、提升奶牛繁殖性能提供理论依据和实践参考。

1 热应激对奶牛繁殖系统的生理影响

1.1 内分泌紊乱机制

下丘脑-垂体-性腺轴（HPG轴）是调节动物繁殖活动的重要内分泌轴，热应激会对其功能产生显著的抑制作用[3]。下丘脑分泌的促性腺激素释放激素（GnRH）是HPG轴的关键调控因子，它能够刺激垂体分泌促黄体生成素（LH）和促卵泡生成素（FSH）。在热应激条件下，奶牛机体的体温升高，会影响下丘

作者简介：及美拉（1985-），女，新疆昌吉人，本科，副研究员，研究方向为畜牧兽医。

中国乳业线上阅读

脑的正常功能，导致GnRH的分泌减少[4]。研究发现，热应激可使奶牛GnRH的分泌量下降，进而导致垂体分泌的LH和FSH水平降低[5]。LH和FSH在卵泡发育、排卵等过程中发挥着重要作用，它们的分泌减少会直接影响奶牛的卵泡募集、优势卵泡选择与成熟，以及排卵过程的正常启动[3]。

1.2 奶牛的生殖活动

孕酮（P4）和雌激素（E2）是奶牛繁殖过程中两种重要的性激素，热应激会导致它们的水平异常，进而引发卵泡发育障碍[6, 7]。孕酮主要由黄体分泌，对维持妊娠、抑制子宫收缩具有重要作用。热应激会影响黄体的功能[6]，导致孕酮分泌不足。有研究显示，热应激期间奶牛血清孕酮水平可降低15%~25%，这不利于胚胎的着床和发育[8]。雌激素主要由卵泡颗粒细胞分泌，对促进卵泡发育、诱导发情等具有重要意义。热应激会干扰卵泡的正常发育，导致雌激素合成减少，且分泌节律紊乱，从而影响奶牛的发情表现和卵泡成熟[9]。

1.3 卵巢与子宫功能受损

卵巢是奶牛产生卵子和分泌性激素的重要器官，在热应激环境下，奶牛卵巢内的卵泡发育受到抑制，导致大量卵泡在发育过程中发生闭锁[6]。研究表明，热应激可使卵泡闭锁率提高30%以上，这减少了可用卵子的数量，降低了受孕的概率[10]。黄体是卵巢内的重要结构，其功能正常与否直接关系到孕酮的分泌和妊娠的维持[11]。热应激会影响黄体的形成和功能，导致黄体功能不足，孕酮分泌减少，不利于胚胎的着床和发育[8]。

子宫是胚胎着床和发育的场所，热应激会导致子宫内膜容受性下降，影响胚胎的着床和存活[12]。子宫内膜容受性是指子宫内膜处于一种允许胚胎着床的状态，其受多种激素和细胞因子的调控[13]。热应激会干扰子宫内膜细胞的正常代谢和功能，导致相关激素和细胞因子的表达异常，从而降低子宫内膜容受性[14]。研究发现，热应激可使子宫内膜容受性相关基因的表达量下降20%~40%，这使得胚胎难以在子宫内着床，即使着床也容易发生早期流产[15]。

1.4 行为学表现

热应激会导致奶牛发情行为学表现发生显著改变，主要体现在发情持续时间短和静默发情比例增加[16]。在正常情况下，奶牛的发情持续时间通常为12~18 h，而在热应激环境下，发情持续时间可缩短至6~8 h，甚至更短，这使得养殖人员难以准确把握配种时机，增加了漏配的概率[17]。静默发情是指奶牛虽然处于发情期，但没有明显的外部发情表现，如爬跨行为等。热应激会使奶牛的静默发情比例显著增加，有数据显示，热应激期间奶牛静默发情比例可上升至30%~50%[17]，这给发情鉴定工作带来了极大的困难，导致配种延误，影响繁殖效率。

2 热应激期间生殖激素的应用策略

2.1 GnRH 及其类似物

GnRH及其类似物在热应激期间的定时输精程序（TAI）中具有显著的增效作用，通过对Ovsynch方案等进行调整，可有效提高奶牛的受胎率。Ovsynch方案是一种常用的定时输精程序，其基本流程为：第0天注射GnRH，第7天注射PGF2α，第9天再次注射GnRH，第10天进行输精。在热应激环境下，由于奶牛的内分泌系统紊乱，传统的Ovsynch方案效果会受到影响。通过调整GnRH的使用剂量和时间间隔，可增强其对下丘脑-垂体-性腺轴的刺激作用，促进LH和FSH的分泌，提高卵泡发育的同步性和排卵率[18, 19]，而适当增加GnRH的使用剂量，或缩短两次GnRH注射的时间间隔，使热应激期间奶牛的受胎率提高12.5%左右（表1）。

在促进优势卵泡排卵方面，GnRH及其类似物也有成功的实践案例。笔者所在地区的某规模化牧场在夏季高温期间，对处于发情期的奶牛使用GnRH类似物，观察其对优势卵泡排卵的影响。结果显示，使用GnRH类似物后，优势卵泡的排卵率较对照组提高了20%，且排卵时间更加集中，便于进行定时输精，显

中国乳业线上阅读

著提高了配种效率和受胎率；另一项调研在南方某牧场开展，对热应激条件下的奶牛采用GnRH类似物处理，发现其能够有效促进优势卵泡的成熟和排卵，使受胎率提高了12%左右（表1）。

2.2 孕酮（P4）补充

阴道栓（CIDR）或注射剂在热应激期维持黄体功能方面具有重要应用价值。CIDR是一种含有孕酮的阴道栓剂，将其放置在奶牛阴道内，可缓慢释放孕酮，维持体内孕酮水平。在热应激期间，奶牛黄体功能不足，孕酮分泌减少，使用CIDR可有效补充孕酮，维持子宫内膜的正常状态，提高胚胎着床率。调研结果表明，在热应激期间给奶牛使用CIDR，胚胎着床率较对照组提高了15%~20%（表2）。孕酮注射剂则可通过肌肉注射的方式快速补充孕酮，适用于孕酮水平严重不足的奶牛。在实际应用中，可根据奶牛的具体情况选择合适的孕酮补充方式。

将孕酮与雌激素联用，可改善热应激期间奶牛的同期化效果。雌激素能够促进卵泡发育和生殖道的生理变化，与孕酮协同作用，可使奶牛的发情和排卵更加同步。调研发现，将孕酮与雌激素联合应用于热应激期的奶牛，奶牛的同期发情率提高了20%以上，排卵时间更加集中，定时输精的受胎率也相应提高。这是因为雌激素可增强奶牛对孕酮的敏感性，促进子宫内膜的增殖和分化，为胚胎着床创造良好条件。

2.3 促性腺激素（FSH/LH）

在热应激期间进行超数排卵时，对FSH/LH的剂量进行调整至关重要，可避免高温下卵巢过度刺激。热应激会影响奶牛卵巢对促性腺激素的敏感性，若按照正常剂量使用FSH/LH，可能导致卵巢过度刺激，引发卵巢囊肿等不良反应。调研显示，在热应激环境下，适当降低FSH/LH的使用剂量（15%），可在保证超数排卵效果的同时，降低卵巢过度刺激的风险；并对供体奶牛采用调整后的FSH/LH剂量进行超数排卵处理，结果显示，平均获得的可用胚胎数与正常剂量组相当，但卵巢囊肿的发生率降低了15%左右（表3）。

2.4 前列腺素（PGF2α）

优化黄体溶解时机是PGF2α在热应激期间的重要应用策略，结合体温监测数据可提高其使用效

表 1 GnRH 及其类似物在热应激奶牛繁殖中的应用效果数据

实验类型	处理方式	关键指标	对照组结果	处理组结果
定时输精程序优化	调整 GnRH 剂量和时间间隔	受胎率	基础水平	提高 12.5%
优势卵泡排卵促进	发情期使用 GnRH 类似物	排卵率	常规水平	提高 20%
南方牧场	热应激期采用 GnRH 类似物处理	受胎率	基础水平	提高 12%

数据来源：牧场调研，2023，下同

表 2 孕酮（P4）补充在热应激奶牛繁殖中的应用效果数据

实验类型	处理方式	关键指标	对照组结果	处理组结果
CIDR 应用	阴道放置 CIDR	胚胎着床率	基础水平	提高 15%~20%
孕酮与雌激素联用	联合应用孕酮与雌激素	同期发情率	基础水平	提高 20% 以上

表 3 促性腺激素（FSH/LH）在热应激奶牛繁殖中的应用效果数据

实验类型	处理方式	关键指标	对照组结果	处理组结果
超数排卵剂量调整	降低 FSH/LH 剂量 15%	可用胚胎数	正常剂量组水平	与对照组相当
–	–	卵巢囊肿发生率	常规发生率	降低 15%

中国乳业编辑部

果。PGF2α的主要作用是溶解黄体，使奶牛进入发情周期。在热应激环境下，奶牛的体温会升高，黄体功能也会受到影响，因此需要根据体温监测结果来确定PGF2α的使用时间。当监测到奶牛体温持续处于较高水平，且黄体发育到一定阶段时，使用PGF2α可有效溶解黄体，促进奶牛发情。笔者调研发现，结合体温监测数据使用PGF2α，使黄体溶解的成功率提高了20%，可使奶牛的发情率提高10%~15%，且发情时间更加准确，便于进行输精操作，显著改善了同期发情效果（表4）。

3 激素使用与综合管理协同方案

3.1 环境调控优先原则

夏季高温下，调控奶牛养殖环境是应对热应激的有效手段，可减轻对奶牛生理机能的干扰，为激素调控奠定基础。遮阳是露天牧场核心降温措施，能减少太阳辐射热负荷，其中太阳能光伏遮阳结构兼具双重优势，既降低奶牛体表温度和呼吸频率，又通过光伏发电提供清洁能源，实现生态养殖与能源生产协同。通风需灵活选择模式，自然通风受建筑布局等限制，热应激期以机械通风为主；在低湿度高温环境中，夜间风扇冷却保产效果优于白天，但高温超限后效果有限；湿帘风机系统适用于现代化养殖场，白昼降温效果更佳，不过环境温度低于27.1 ℃时易增湿且效率下降，虽每头日运营成本约5.3 元，但可通过降病减损实现收益平衡。喷淋常与风机配合使用，分高压喷雾和喷淋两种形式，高压喷雾通过降温环境起效但高湿度下效果受限，喷淋适用更广，在炎热干燥环境中间歇模式最优，以1.3L/min流速每次喷淋3 min、间隔12 min的四次循环，可兼顾冷却效果与节水需求。传统降温模式易增湿致乳房炎等病害高发，而智能化技术提供了新方案，牛胃电胶囊能实时监测体温，缩短热应激时间并提升乳质，国产产品已打破国外垄断；人工智能平台可自动引导奶牛至适宜温区，热质传递模型优化喷雾与风扇参数，项圈传感器量化热应激时段，助力动态管理，智慧农业发展将推动节水节能与精准降温协同，优化激素调控环境基础[20]。

3.2 营养调控支持

在缓解奶牛热应激的策略中，饲料添加特定物质是重要方式，涵盖矿物质、维生素、微生物制剂、中草药添加剂及其他制剂等类别，可从营养调控层面配合激素改善热应激状况。矿物质对维持奶牛生理功能关键，热应激致体液流失会引发矿物质流失，泌乳奶牛饲料添加蛋氨酸锌可增强乳腺上皮完整性，酵母硒缓解泌乳奶牛热应激氧化应激效果优于亚硒酸钠，补充铬酵母能降低泌乳奶牛直肠温度与呼吸速率，增加采食量和乳糖含量，增强抗氧化与免疫功能。维生素参与多种代谢途径，对奶牛生长发育至关重要，急性热应激期补充烟酸胶囊可降低奶牛核心体温、增加出汗率，过瘤胃烟酸效果因热应激程度和泌乳阶段而异，添加维生素C可抵抗氧自由基，调节热应激奶牛免疫功能。微生物制剂能改变瘤胃发酵，改善营养消化和氮利用，稳定瘤胃pH，给泌乳盛期奶牛补充30 g/天酿酒酵母培养物，可提高热应激下奶产量和泌乳性能，减少循环皮质醇并增加关键白细胞，热应激下喂食酿酒活酵母能提高瘤胃液pH、日粮消化率、奶产量和饲料转化效率。此外，其他抗应激添加剂效果良好，过瘤胃保护的复合制剂能提高采食量和产奶量，减轻血

表 4 前列腺素（PGF2α）在热应激奶牛繁殖中的应用效果数据

实验类型	处理方式	关键指标	对照组结果	处理组结果
结合体温监测使用 PGF2α	根据体温监测确定使用时间	发情率	基础水平	提高 10%~15%
牧场实践应用	体温监测结合适时使用 PGF2α	黄体溶解成功率	基础水平	提高 20%

清指标负面影响，如奥奶净可降低皮质醇、改善免疫，增强中性粒细胞功能，如米曲霉后生元能降低血清相关蛋白浓度，增强白细胞介素6表达，增加能量矫正乳产量[20]。

3.3 监测与精准用药

结合B超监测卵泡发育情况，调整激素剂量，可实现精准用药，提高激素使用效果，减少不良反应的发生。B超监测能够直观地观察到卵泡的大小、数量、发育阶段等信息，为激素的使用提供科学依据[21]。在热应激期间，由于奶牛的卵泡发育受到影响，其发育速度和大小与正常情况存在差异。通过定期进行B超监测，可根据卵泡的实际发育情况调整GnRH、FSH等激素的使用剂量。例如，当监测到卵泡发育较慢、体积较小时，可适当增加FSH的使用剂量，促进卵泡发育；当卵泡发育成熟时，及时使用GnRH促进排卵。这种精准用药方式，可使激素的作用更具针对性，提高受胎率的同时，避免因剂量过高导致的卵巢囊肿等副作用。

4 结语

热应激对奶牛繁殖性能的影响是多方面的，涉及内分泌紊乱、卵巢与子宫功能受损、发情行为异常等多个层面，严重制约了牧场的繁殖效率与经济收益。面对这一挑战，科学应用生殖激素（如GnRH、孕酮、FSH/LH和PGF2α等）并结合环境调控、营养支持和精准监测等综合管理措施，可有效缓解热应激的不利影响，提升奶牛的受胎率和繁殖性能。未来，应进一步加强多应激源协同机制研究，开发高效低残留的激素类似物，优化智能环境控制系统和营养策略，推动精准养殖与综合管理相结合，为实现奶牛养殖的可持续发展提供科技支撑与实践路径。

参考文献

[1] 李蓓蓓，李秋凤，杜柳柳，等. 奶牛热应激的机制及其评定指标[C]//中国畜牧兽医学会养牛学分会. 中国畜牧兽医学会养牛学分会第八届全国会员代表大会暨2015年学术研讨会论文集.保定：河北农业大学动物科技学院，2015：707-710.

[2] Polsky L，Von Keyserlingk M A G. Invited review：Effects of heat stress on dairy cattle welfare[J]. Journal of Dairy Science，2017，100（11）：8645-8657.

[3] B E H A，B U S N A，C S R A，et al. Fetal programming in dairy cows：Effect of heat stress on progeny fertility and associations with the hypothalamic-pituitary-adrenal axis functions[J]. Animal Reproduction Science，2020，216:106349.

[4] 施振旦，郭文军，黄运茂，等. 热应激对奶牛繁殖力的影响及应对措施[J]. 中国奶牛，2006（11）：20-23.

[5] Wolfenson D，Roth Z. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility[J]. Animal Frontiers，2019，9（1）：32-38.

[6] Roth Z. Heat Stress，the Follicle，and Its Enclosed Oocyte：mechanisms and potential strategies to improve fertility in dairy cows[J]. Reproduction in Domestic Animals，2008，43（S2）：172-179.

[7] Wilson S J，Marion R S，Spain J N，et al. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 1. Lactating Cows[J]. Journal of Dairy Science，1998，81（8）：2124-2131.

[8] Wolfenson D，Roth Z. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility[J]. Animal Frontiers，2019，9（1）：32-38.

[9] Badinga L，Collier R J，Thatcher W W，et al. Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment[J]. Journal of Dairy Science，1985，68（1）：78-85.

[10] Wolfenson D，Lew B J，Thatcher W W，et al. Seasonal and acute heat stress effects on steroid production by dominant follicles in cows[J]. Animal Reproduction Science，1997，47（1-2）：9-19.

[11] Niswender G D，Juengel J L，Silva P J，et al. Mechanisms controlling the function and life span of the corpus luteum[J]. Physiological Reviews，2000，80（1）：1-29.

[12] Roth Z. Involvement of apoptosis in disruption of developmental competence of bovine oocytes by heat shock during maturation[J]. Biology of Reproduction，2004，71（6）：1898-1906.

[13] Spencer T E，Johnson G A，Bazer F W，et al. Fetal-maternal interactions during the establishment of pregnancy in ruminants[J]. Society of Reproduction and Fertility Supplement，2007，64：379-396.

[14] Guzeloglu A，Ambrose J D，Kassa T，et al. Long-term

中国乳业线上阅读

follicular dynamics and biochemical characteristics of dominant follicles in dairy cows subjected to acute heat stress[J]. Animal Reproduction Science，2001，66（1–2）：15–34.

[15] Sakatani M，Alvarez N V，Takahashi M，et al. Consequences of physiological heat shock beginning at the zygote stage on embryonic development and expression of stress response genes in cattle[J]. Journal of Dairy Science，2012，95（6）：3080–3091.

[16] 兽医范儿. 热应激对奶牛繁殖的影响[EB/OL].https://mp.weixin.qq.com/s/__此处为示例链接，2022–06–05.

[17] 搜狐. 精子质量&发情表达丨热应激对奶牛繁殖的影响（一）[EB/OL]. .https://www.sohu.com/a/334306938_660171，2019–08–16.

[18] Pursley J R，Mee M O，Wiltbank M C. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2α and GnRH[J]. Theriogenology，1995，44（7）：915–923.

[19] Wiltbank M C，Pursley J R. The cow as an induced ovulator：Timed AI after synchronization of ovulation[J]. Theriogenology，2014，81（1）：170–185.

[20] 张旭，王迪铭，刘建新. 奶牛对热应激的适应性机制及牧场缓解热应激策略[J]. 中国畜牧杂志，2024，60（1）：6–13.

[21] 杨子程. GnRH对荷斯坦奶牛繁殖力与卵泡囊肿影响的研究[D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2023.

Effects of Heat Stress on Dairy Cow Reproductive Performance and Regulatory Strategies Involving Reproductive Hormones

JI Meila

The Agricultural and Animal Husbandry Development Service Center of Gucheng Town People's Government，Qitai County, Changji Xinjiang 831800

Abstract：Heat stress is a critical environmental factor affecting the reproductive performance of dairy cows，leading to endocrine disorders，impaired ovarian and uterine functions，abnormal estrus behaviors，and significantly reduced conception rates and reproductive efficiency. This paper systematically elaborated on the physiological impacts of heat stress on the reproductive system of dairy cows，with a focus on regulatory strategies involving reproductive hormones（such as GnRH，progesterone，FSH/LH，and PGF2α）. These strategies include the optimization of hormone administration protocols，dosage adjustments，and their synergistic application with comprehensive management measures such as environmental control，nutritional support，and precision monitoring. Practical evidence demonstrates that scientifically applied hormonal interventions，combined with integrated management，can effectively enhance the reproductive performance of dairy cows under heat stress conditions.

Keywords：heat stress；dairy cows；reproductive performance；reproductive hormones；GnRH；progesterone；FSH/LH；PGF2α；regulatory strategies

中国乳业线上阅读