

热应激对荷斯坦牛生产的影响及综合防控技术

王小托¹，商静静²，杨晓娟³，谭玉笛⁴，毛江⁵，梅银财^{3*}

(1.云南新希望雪兰牧业科技有限公司，云南曲靖 655000；2.东营市东营区畜牧业发展服务中心，山东东营 257000；
3.新希望生态牧业有限公司 四川成都 610063；4.昆明雪兰牛奶有限责任公司，云南昆明 650217；
5.新希望乳业股份有限公司，乳品营养与功能四川省重点实验室，四川成都 610023)

摘要：在全球气候变暖和奶牛集约化养殖快速发展的背景下，夏季高温高湿环境引发的荷斯坦牛热应激问题日益突出，已成为制约奶牛产业高效发展的关键因素。本文基于荷斯坦牛的生理特性，系统阐述了热应激的科学判定标准；深入分析了热应激对奶牛生理机能、泌乳性能、营养代谢、繁殖性能及健康状况的多维度影响机制；重点总结了物理性环境改善与饲养日粮调控相结合的综合防控技术。研究旨在为牧场科学开展防暑降温工作提供理论依据和实践指导，以缓解热应激对奶牛生产的不利影响，保障奶牛健康，提高生产性能，促进乳业可持续发展。

关键词：荷斯坦牛；热应激；生产性能；生理机制；防控技术

文章编号：1671-4393 (2026) 01-0051-07 DOI:10.12377/1671-4393.26.01.08

Effects of Heat Stress on Dairy Production in Holstein Cows and Comprehensive Prevention and Control Technologies

WANG Xiaotuo¹，SHANG Jingjing²，YANG Xiaojuan³，TAN Yudi⁴，MAO Jiang⁵，
MEI Yincan^{3*}

(1.Yunnan New Hope Xuelan Animal Husbandry Technology Co., Ltd., Qujing Yunnan 655000;
2.Dongying District Animal Husbandry Development Service Center, Dongying Shandong 257000;
3.New Hope Ecological Animal Husbandry Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610063; 4.Kunming Xuelan Dairy Co., Ltd., Kunming Yunnan 650217; 5.New Hope Dairy Co., Ltd., Sichuan Key Laboratory of Dairy Nutrition and Function, Chengdu Sichuan 610063)

基金项目：中央引导地方科技发展资金项目（202507AC040017）；云南省外国专家项目（202505AP120022）

作者简介：王小托（1990-），男，甘肃静宁人，本科，执业兽医师，研究方向为动物医学；
商静静（1981-），女，山东东营人，本科，农业经济师，研究方向为畜牧兽医；
杨晓娟（1976-），女，四川南江人，本科，畜牧师，研究方向为奶牛营养；
谭玉笛（1989-），女，云南昆明人，本科，高级兽医师，研究方向为奶牛兽医；
毛江（1989-），男，新疆乌鲁木齐人，硕士，高级畜牧师，研究方向为奶牛营养。

通信作者：梅银财（1974-），男，浙江杭州人，本科，畜牧师，研究方向为奶牛营养。

Abstract: Against the backdrop of global warming and the rapid development of intensive dairy farming, heat stress in Holstein cows caused by high temperature and humidity in summer has become increasingly prominent, posing a key constraint to the efficient development of the dairy industry. Based on the physiological characteristics of Holstein cows, this paper systematically elaborated the scientific criteria for determining heat stress, thoroughly analyzed the multi-dimensional impact mechanisms of heat stress on physiological functions, lactation performance, nutrient metabolism, reproductive performance, and health status, and highlights comprehensive prevention and control technologies that combine physical environmental improvements with dietary management. The study aimed to provide theoretical foundations and practical guidance for scientifically implementing heat stress mitigation measures on dairy farms, thereby alleviating the adverse effects of heat stress on dairy production, ensuring cow health, improving production performance, and promoting sustainable development of the dairy industry.

Keywords: Holstein cow; heat stress; production performance; physiological mechanism; prevention and control technology

近年来，随着我国奶牛养殖业向集约化、规模化方向转型，奶牛单产水平不断提升，但环境因素对奶牛生产性能的制约愈发显著。其中，夏季高温高湿环境引发的热应激问题已成为影响奶牛产业经济效益的重要瓶颈。荷斯坦牛作为世界主要乳用品种，因其产奶量高、代谢旺盛，对热环境更为敏感，热应激反应尤为突出^[1]。当环境温度超过其最适宜生存环境温度5~20℃时，奶牛机体的产热与散热平衡被打破，便会引发一系列热应激反应。热应激对荷斯坦牛的危害具有多系统性，可导致产奶量下降，乳蛋白、乳脂等品质指标显著降低，同时引发繁殖性能下降、免疫力降低及各类疾病高发等问题，给牧场造成巨大经济损失。因此，深入研究荷斯坦牛热应激的发生机制、影响规律及防控技术，对于指导牧场科学开展防暑降温工作、提高奶牛生产效益具有重要的现实意义。

1 热应激的判定标准

科学准确地判定荷斯坦牛热应激程度，是开展热应激防控工作的基础。目前，普遍采用温湿度指数（THI）、呼吸频率和直肠温度作为热应激的主要判定指标，其中THI用于群体评价，呼吸频率和直肠温度用于个体评价。

1.1 温湿度指数（THI）

温湿度指数（THI）是综合考虑环境温度和相对湿度对奶牛热应激影响的指标，其核心原理是通过温度和湿度的协同作用来量化热应激程度。根据《NY/T 2363 奶牛热应激评价技术规范》，当 $THI \geq 68$ 时，奶牛开始出现热应激； $72 \leq THI \leq 79$ 时，处于轻度热应激状态； $79 < THI \leq 88$ 时，处于中度热应激状态； $THI > 88$ 时，处于重度热应激状态^[2]。

不同温度和湿度组合下的THI值可通过查表获取（图1）。从图中可见，相同温度下，湿度越高，THI值越大；相同湿度下，温度越高，THI值越大。例如，温度25℃、湿度50%时，THI为72.3，奶牛处于轻度热应激；而温度30℃、湿度80%时，THI升至85.3，奶牛处于中度至重度热应激之间。在实际生产中，牧场可通过监测牛舍内的温度和湿度，对照THI指数表快速判断群体热应激程度，为制定降温措施提供依据。

1.2 呼吸频率

呼吸频率是反映奶牛热应激程度的敏感生理指标。在热舒适区（ $THI < 68$ ），奶牛的呼吸频率通常为20~40次/min；当处于热应激状态时，奶牛通过增加呼吸频率加强散热，呼吸频率随热应激程度加剧而升高。相关研究表明，轻度热应激时，奶牛呼吸频率为50~60次/min；中度热应激时，为80~120次/min；

温度\湿度	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
15	58.6	58.6	58.7	58.7	58.8	58.8	58.8	58.9	58.9	58.9	59.0	59.0	59.0	59.1	59.1
16	59.7	59.8	59.9	60.0	60.1	60.1	60.2	60.3	60.4	60.5	60.6	60.6	60.7	60.8	60.9
17	60.8	60.9	61.1	61.2	61.4	61.5	61.6	61.8	61.9	62.0	62.2	62.3	62.4	62.6	62.7
18	61.9	62.1	62.3	62.5	62.7	62.8	63.0	63.2	63.4	63.6	63.8	63.9	64.1	64.3	64.5
19	63.0	63.2	63.5	63.7	64.0	64.2	64.4	64.7	64.9	65.1	65.4	65.6	65.8	66.1	66.3
20	64.1	64.4	64.7	65.0	65.3	65.5	65.8	66.1	66.4	66.7	67.0	67.2	67.5	67.8	68.1
21	65.2	65.5	65.9	66.2	66.6	66.9	67.2	67.6	67.9	68.2	68.6	68.9	69.2	69.6	69.9
22	66.3	66.7	67.1	67.5	67.9	68.2	68.6	69.0	69.4	69.8	70.2	70.5	70.9	71.3	71.7
23	67.4	67.8	68.3	68.7	69.2	69.6	70.0	70.5	70.9	71.3	71.8	72.2	72.6	73.1	73.5
24	68.5	69.0	69.5	70.0	70.5	70.9	71.4	71.9	72.4	72.9	73.4	73.8	74.3	74.8	75.3
25	69.6	70.1	70.7	71.2	71.8	72.3	72.8	73.4	73.9	74.4	75.0	75.5	76.0	76.6	77.1
26	70.7	71.3	71.9	72.5	73.1	73.6	74.2	74.8	75.4	76.0	76.6	77.1	77.7	78.3	78.9
27	71.8	72.4	73.1	73.7	74.4	75.0	75.6	76.3	76.9	77.5	78.2	78.8	79.4	80.1	80.7
28	72.9	73.6	74.3	75.0	75.7	76.3	77.0	77.7	78.4	79.1	79.8	80.4	81.1	81.8	82.5
29	74.0	74.7	75.5	76.2	77.0	77.7	78.4	79.2	79.9	80.6	81.4	82.1	82.8	83.6	84.3
30	75.1	75.9	76.7	77.5	78.3	79.0	79.8	80.6	81.4	82.2	83.0	83.7	84.5	85.3	86.1
31	76.2	77.0	77.9	78.7	79.6	80.4	81.2	82.1	82.9	83.7	84.6	85.4	86.2	87.1	87.9
32	77.3	78.2	79.1	80.0	80.9	81.7	82.6	83.5	84.4	85.3	86.2	87.0	87.9	88.8	89.7
33	78.4	79.3	80.3	81.2	82.2	83.1	84.0	85.0	85.9	86.8	87.8	88.7	89.6	90.6	91.5
34	79.5	80.5	81.5	82.5	83.5	84.4	85.4	86.4	87.4	88.4	89.4	90.3	91.3	92.3	93.3
35	80.6	81.6	82.7	83.7	84.8	85.8	86.8	87.9	88.9	89.9	91.0	92.0	93.0	94.1	95.1
36	81.7	82.8	83.9	85.0	86.1	87.1	88.2	89.3	90.4	91.5	92.6	93.6	94.7	95.8	96.9
37	82.8	83.9	85.1	86.2	87.4	88.5	89.6	90.8	91.9	93.0	94.2	95.3	96.4	97.6	98.7
38	83.9	85.1	86.3	87.5	88.7	89.8	91.0	92.2	93.4	94.6	95.8	96.9	98.1	99.3	100.5
39	85.0	86.2	87.5	88.7	90.0	91.2	92.4	93.7	94.9	96.1	97.4	98.6	99.8	101.1	102.3
40	86.1	87.4	88.7	90.0	91.3	92.5	93.8	95.1	96.4	97.7	99.0	100.2	101.5	102.8	104.1
使用说明 注意事项	此表适用于奶牛防暑降温措施方案选择指导							THI		状态		备注			
	1. 需选用计量准确的干湿温度计，避免误差，读数准确；2. 操作人员应随时关注THI值，及时调整降温方案；3. 操作时，可根据牛只实际应激反应程度调整方案；4. 运用时，THI值可按四舍五入最大值，根据THI对应颜色判断热应激程度，选择对应方案							THI < 65, 温度 > 18		无热应激		奶牛开启风扇			
								65 ≤ THI < 68		开始产生热应激		风扇			
								68 ≤ THI < 72		轻度热应激		风扇+喷淋			
								72 ≤ THI < 75		中度热应激		风扇+喷淋			
								75 ≤ THI < 80		比较严重热应激		风扇+喷淋			
								80 ≤ THI		严重热应激		风扇+喷淋			

图 1 荷斯坦牛热应激温湿度指数（THI）评价表

Figure 1 Evaluation Table of Temperature-humidity Index (THI) for Heat Stress in Holstein Cows

数据来源: https://mp.weixin.qq.com/s/I8g44m-1aHgQ_RUqrksqjA

重度热应激时^[3]，可达120~160 次/min^[4]。在实际操作中，可通过观察奶牛的呼吸状态（如是否张口喘气）结合计数1 min内的呼吸次数，快速判断个体奶牛的热应激程度。

1.3 直肠温度

直肠温度是反映奶牛体内热量蓄积程度的直接指标。在热舒适区，奶牛的直肠温度通常维持在38.4~38.8 ℃^[5]；当发生热应激时，体内热量蓄积导致直肠温度升高，且与THI值呈正相关。研究显示，THI每升高1 个单位，奶牛直肠温度会增加0.13 ℃；当72≤THI≤89时，直肠温度升至39.0~39.1 ℃^[6]。一般而言，直肠温度超过39.5 ℃时，表明奶牛已处于较严重的热应激状态，需及时采取强效降温措施。在实际生产中，可结合THI值、呼吸频率和直肠温度进行综合判定，以提高热应激判定的准确性和可靠性。

2 热应激对荷斯坦牛的影响

热应激对荷斯坦牛的影响涉及生理机能、泌乳性能、营养代谢、繁殖性能及健康康状况等多个方面，这些影响相互关联，共同导致奶牛生产效益下降。

2.1 生理机能的影响

热应激会显著扰乱荷斯坦牛的正常生理机能，导致机体新陈代谢和各项生化指标发生改变。在热应激状态下，奶牛的呼吸频率加快，这是机体通过增加呼吸散热的代偿性反应，但同时也导致体内CO₂大量流失，引发血液中碳酸分解，血液pH值上升，出现呼吸性碱中毒倾向，为维持酸碱平衡，机体会消耗大量HCO₃缓冲剂，导致缓冲能力下降，进一步加剧体内代谢紊乱^[7]。

此外，热应激还会影响奶牛的内分泌系统，表现为与产奶量下降相关的激素皮质醇分泌显著增加，而皮质醇的升高会抑制机体的合成代谢，促进分解代谢，导致奶牛体重减轻、生产性能下降，同时甲状腺激素（三碘甲状腺原氨酸T3、甲状腺素T4）分泌量下降，进而降低机体代谢率，减少牛奶中蛋白质合成，影响牛奶品质^[8]。血液生化指标方面，研究表明，在中度热应激（THI=82）状态下，奶牛血液红细胞、白细胞数以及血清总蛋白和淀粉酶含量均显著下降，其中白细胞数下降反映机体免疫力降低，红细胞数和血清总蛋白下降可能与奶牛

饮水量增加导致血液稀释及蛋白质合成代谢减弱有关^[9]。热应激还会导致奶牛体表温度和直肠温度升高，当牛舍环境温度超过25℃时，奶牛开始出现呼吸频率加快、饮水量增加等明显症状，且直肠温度随环境温度升高而显著上升，机体为散热消耗大量能量，导致能量代谢失衡，进一步加剧生理机能紊乱。

2.2 对泌乳性能的影响

2.2.1 产奶量下降

热应激可导致奶牛产奶量下降，给养殖场造成巨大经济损失^[10]。产奶量下降的主要原因包括以下几个方面：一是采食量降低。热应激状态下，奶牛通过减少采食来降低代谢产热，当环境温度达到25℃时，采食量开始下降；超过40℃时，采食量急剧下降，甚至部分奶牛停止采食^[11]。采食量的减少直接导致营养摄入不足，无法满足泌乳需求。二是乳腺上皮细胞凋亡增加。热应激会激活乳腺细胞中热应激蛋白相关基因的表达，抑制乳腺蛋白合成，同时诱导乳腺上皮细胞凋亡，导致乳腺泌乳功能下降^[12]。三是能量代谢紊乱。热应激状态下，奶牛机体能量消耗增加（用于散热），而能量摄入减少，导致能量负平衡，机体不得不分解自身储备（如脂肪、蛋白质）来供能，进一步抑制泌乳。

2.2.2 牛奶品质降低

热应激对牛奶品质的影响主要体现在乳成分变化、体细胞数升高及牛奶稳定性下降等方面。乳蛋白率、乳脂率、非脂固体含量是衡量牛奶品质的重要指标，热应激状态下，这些指标均呈下降趋势，且在泌乳前期降低幅度最大。乳蛋白的降低主要是由于热应激抑制了乳腺上皮细胞中酪蛋白等主要乳蛋白基因的表达，导致乳中总酪蛋白减少，而尿素浓度增加，降低了牛奶的营养价值^[13, 14]。挥发性脂肪酸是乳脂合成的重要前体物质，乳脂率下降则与奶牛采食量减少、粗饲料摄入不足导致瘤胃发酵产生的挥发性脂肪酸减少有关。

体细胞数是反映牛奶质量和奶牛健康状况的关键指标，热应激条件下，牛奶中体细胞数明显增加^[15]。这一方面是由于热应激降低了奶牛机体免疫

力，使乳房易受病原微生物感染，引发乳房炎；另一方面，热应激导致乳腺组织受损，上皮细胞脱落增加，进而使体细胞数升高。此外，热应激还会导致牛奶出现酒精阳性乳，影响牛奶的加工性能。

2.3 对繁殖性能的影响

2.3.1 生殖内分泌紊乱

热应激会扰乱奶牛的生殖内分泌系统，导致激素水平失衡，影响生殖过程的各个环节。首先，热应激通过抑制下丘脑—垂体—性腺轴（HPGA）中促性腺激素释放激素（GnRH）的释放，减少垂体分泌促卵泡刺激素（FSH）和促黄体生成素（LH）^[16, 17]。FSH是促进卵泡发育的关键激素，其水平下降会导致卵泡发育受阻；LH则在排卵和黄体形成中起重要作用，其分泌减少会影响排卵和黄体功能，导致孕酮（P4）分泌不足^[16, 18]。孕酮是维持妊娠的重要激素，其水平降低会增加流产风险。

其次，热应激会降低雌激素（E2）和孕酮的水平。雌激素对奶牛的发情表现、卵细胞成熟及子宫内膜准备具有重要作用，其水平下降会导致发情症状不明显、发情间隔延长，甚至不发情^[16, 17]。研究显示，热应激状态下，奶牛的发情检出率显著下降，给适时配种带来困难^[18]。同时，雌激素水平不足还会影响输卵管功能，不利于受精卵的运输和着床。

此外，热应激会增加促肾上腺皮质激素（ACTH）的分泌，而ACTH可抑制HPGA轴的功能，进一步加剧生殖内分泌紊乱^[16, 17]。ACTH还会促进皮质醇的分泌，皮质醇的升高不仅抑制生殖激素分泌，还会通过影响能量代谢间接影响繁殖性能，因为能量负平衡会进一步抑制生殖功能^[19]。

2.3.2 卵泡发育与卵细胞质量下降

卵细胞对温度非常敏感，热应激会直接影响卵泡发育和卵细胞质量。热应激会扰乱卵泡发育模式，使第二次卵泡波的优势卵泡提前出现，导致大量优势卵泡老龄化，失去受精能力^[20]。同时，热应激会延长卵泡波的持续时间，抑制卵泡类固醇的合成，使卵细胞的活力下降、染色体异常率增加。

研究表明,热应激条件下,奶牛的卵泡液中活性氧水平升高,氧化应激加剧,会损伤卵细胞的细胞器(如线粒体),影响卵细胞的成熟和受精能力^[21]。即使卵细胞能够受精,其受精卵的发育能力也会下降,囊胚形成率降低,胚胎质量下降。

2.3.3 受精与妊娠失败风险增加

一方面,热应激会显著降低奶牛的受胎率,热应激影响精子在雌性生殖道内的存活和运动能力,使精子到达受精部位的数量减少、活力降低,受精率下降。另一方面,热应激会影响子宫内膜的容受性,不利于受精卵着床^[21]。另一方面,对于妊娠中后期的奶牛,还会增加胚胎早期死亡和流产的风险。热应激导致的母体代谢紊乱(如能量负平衡、炎性物质增加)会影响胎儿的生长发育,使犊牛出生体重较轻、生长发育迟缓,甚至引发早期胚胎死亡^[21]。研究显示,夏季热应激期间,奶牛的流产率可上升10%~20%,犊牛成活率降低5%~10%。

2.4 对健康的影响

2.4.1 免疫力下降

热应激会显著抑制荷斯坦牛的免疫功能,使机体抵抗力降低,易受病原微生物感染。一方面,热应激导致白细胞数减少,尤其是中性粒细胞和淋巴细胞数量下降,这些细胞是机体抵御感染的重要免疫细胞,其数量减少会降低机体的非特异性免疫防御能力。另一方面,热应激会抑制免疫球蛋白的合成,使血清中IgG、IgA等抗体水平下降,特异性免疫功能减弱,导致奶牛对疫苗的应答反应降低,抗病能力下降。研究表明,热应激状态下,奶牛的细胞因子分泌紊乱,促炎因子(如IL-6、TNF- α)水平升高,抗炎因子水平降低,导致机体处于慢性炎症状态,这不仅会消耗大量能量,还会损伤组织器官,进一步降低免疫力;同时,热应激引起的皮质醇水平升高也会抑制免疫细胞的活性,加剧免疫抑制^[22]。

2.4.2 乳房炎高发

乳房炎是热应激条件下奶牛最常见的疾病之一,热应激会显著增加乳房炎的发病率。一方面,

热应激降低了奶牛的免疫力,使乳房对病原微生物的抵抗力下降,易受金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等病原体感染;另一方面,热应激导致奶牛采食量下降、营养摄入不足,影响乳房组织的修复和防御功能。热应激还会改变奶牛的行为模式,如躺卧时间减少、活动量增加,可能导致乳房与地面的摩擦增加,乳头损伤风险升高,为病原微生物入侵创造条件。研究显示,热应激期间牧场大罐奶的体细胞数明显升高,临床型乳房炎发病率较适温期上升。乳房炎的发生不仅影响产奶量和牛奶品质,还会增加治疗成本,延长奶牛的空怀期。

2.4.3 消化道疾病增多

热应激会扰乱奶牛的消化道功能,导致消化道疾病多发。首先,热应激使奶牛采食量下降,且出现挑食精料、减少粗饲料摄入的现象,这会改变瘤胃内环境,导致瘤胃pH值下降,增加瘤胃酸中毒的风险。瘤胃酸中毒会引起奶牛精神沉郁、食欲废绝、腹泻等症状,严重时可导致死亡。其次,热应激影响消化道蠕动和消化酶分泌,导致消化不良、便秘或腹泻等问题。热应激状态下,奶牛的肠道菌群平衡被打破,有益菌数量减少,有害菌(如大肠杆菌、沙门氏菌)大量繁殖,进一步加剧消化道功能紊乱^[23]。此外,热应激时奶牛饮水量增加,若饮水卫生条件不佳,易引发肠道感染,导致腹泻等疾病。

3 热应激的预防措施

针对荷斯坦奶牛热应激的产生原因和影响机制,采取综合防控措施是缓解热应激、保障奶牛生产性能的关键。预防措施主要包括物理性改善措施和饲养及日粮管理措施,二者协同作用可有效降低热应激危害。

3.1 物理性改善措施

3.1.1 隔热与遮阳

减少太阳辐射进入牛舍是降低环境温度的首要措施。在牛舍顶棚涂覆隔热漆或设置隔热板,可有效反射太阳辐射,降低顶棚传热;新建牛舍可采用带有隔热泡沫的双层板作为顶棚,隔热效果更佳。在

成母牛运动场、犊牛岛上方搭建凉棚或遮阳网，可避免奶牛直接暴露在太阳辐射下，降低体表温度。此外，将牛舍墙壁刷成白色，可通过反射阳光减少热量吸收；在牛舍周围植树种草，不仅能遮阳降温，还能改善空气质量，但植树不宜过密，以免影响通风。

3.1.2 加强通风

通风是降低牛舍温度和湿度的有效手段，可通过自然通风和机械通风相结合的方式实现。保持牛舍门窗、风机常开，促进空气流通，加速热量扩散。对于封闭或半封闭牛舍，可安装轴流风机、吊扇等设备，增加空气流速，加强对流散热。风机的安装位置和数量应合理，确保牛舍内空气均匀流动，风速达到1.5~2 m/s为宜。在高温高湿地区，可采用负压通风系统，通过风机将牛舍内的热湿空气抽出，形成负压，使外部新鲜空气进入牛舍，提高通风效率。

3.1.3 喷淋与风扇结合

“风扇+喷淋”是目前牧场应用最广泛的降温措施之一，其原理是通过喷淋使奶牛体表湿润，再通过风扇加速水分蒸发，带走体表热量^[24]。喷淋系统可安装在牛舍、待挤区等区域，喷头高度以1.5~2.0 m为宜，确保喷淋范围覆盖奶牛背部和颈部；风扇应与喷淋系统配合使用，在喷淋后开启风扇，加速水分蒸发。使用“风扇+喷淋”时需注意控制喷淋时间和频率，避免牛舍内湿度过高。一般而言，喷淋时间为30~60 s，间隔5~10 min，可根据THI值调整：轻度热应激时（THI 68~72），可减少喷淋频率；中度至重度热应激时（THI>72），增加喷淋频率。

3.1.4 精准降温技术与环境管理

感应喷淋是一种智能化的降温技术，可通过传感器检测奶牛的存在和体表温度，精准喷洒水分，既能节约用水，又能减少污水排放，降低环保压力。在南方湿度极大、热应激问题严重的地区，可采用负压冷空调、冷风机或管道向牛舍内送入冷空气，直接降低环境温度，此类设备在THI>88的重度热应激条件下效果显著。

此外，优化奶牛饲养密度也是重要的物理措施。泌乳牛密度不超过90%，干奶牛和围产牛不超

过85%，可减少个体间的热量传递，提高散热效率。保证奶牛充足的躺卧时间（采食 2 h内躺卧率≥80%），通过补充和松散卧床垫料提高舒适度，也有助于减少热应激。同时，牛舍饮水槽数量要充足、位置合适，提供深井水或冷水，定期清洗以保证水质，舍外饮水槽搭建遮阴棚防止暴晒。

3.2 饲养及日粮管理

3.2.1 调整饲喂时间与频率

在热应激状态下，奶牛在早晚温度较低时食欲较好，可调整饲喂时间，选择早上早喂、夜间晚喂，避开午后高温时段。适当增加饲喂次数（如从3次增加到4次），并在夜间补饲1次，可提高奶牛的采食量。同时，增加推料和清槽次数，保证饲料新鲜，避免饲料在高温下变质，提高饲料适口性。调整挤奶时间也很重要，尽量避免在气温最高的午后2点左右挤奶，可选择早晚凉爽时段进行，减少挤奶过程中的热应激。

3.2.2 优化日粮配方

提高日粮营养浓度是热应激条件下的关键措施，因为奶牛采食量下降，需通过提高单位饲料的营养含量来满足需求。可适当提高日粮中能量和蛋白质水平，选用易消化的能量饲料（如蒸汽压片玉米、脂肪粉）和优质蛋白质饲料（如发酵豆粕、乳清蛋白），以减少代谢产热。减少粗纤维的摄入比例，因为粗饲料在瘤胃发酵过程中产生大量热量，可适当降低粗饲料比例，但需保证一定的有效纤维含量（NDF≥28%），以维持瘤胃正常功能，预防瘤胃酸中毒。增加优质干草的饲喂量，提高饲料消化率。

3.2.3 补充矿物质与维生素

热应激会导致奶牛体内矿物质和维生素流失增加，需适当补充以维持机体代谢平衡。补充碳酸氢钠（小苏打）可缓解呼吸性碱中毒，维持瘤胃pH值稳定，建议添加量为日粮干物质的0.5%~1.0%。补充碳酸钾可维持电解质平衡，缓解脱水 and 肌肉疲劳。增加维生素C、维生素E的添加量，维生素C具有抗氧化作用，可缓解氧化应激；维生素E可提高机体免疫力，减少疾病发生。此外，补充有机铬、烟酸等

也有助于改善奶牛的抗热应激能力，有机铬可提高胰岛素敏感性，促进能量代谢；烟酸可降低机体产热，提高采食量。

3.2.4 使用抗热应激添加剂

在日粮中添加抗热应激添加剂可有效缓解热应激症状。活性酵母或酵母培养物可改善瘤胃菌群平衡，提高饲料消化率，增强免疫力；中草药添加剂（如金银花、薄荷、黄芪等）具有清热解暑、增强免疫力的作用，可缓解热应激引起的代谢紊乱。此外，添加酶制剂（如纤维素酶、淀粉酶）可提高饲料消化率，减少代谢产热；添加益生菌（如乳酸菌、芽孢杆菌）可调节肠道菌群，改善消化道功能。选择添加剂时需根据牧场实际情况和热应激程度合理使用，以达到最佳效果。

4 小结

荷斯坦牛热应激是夏季集约化养殖的主要挑战，由高温高湿环境引发产热-散热失衡所致。通过THI指数、呼吸频率和直肠温度可准确判定热应激程度。热应激导致奶牛产奶量下降，乳品质降低，繁殖障碍和免疫力下降。牧场应建立常态化防暑机制，综合防控需结合物理降温（遮阳、通风、喷淋）和营养调控（调整饲喂时间、优化日粮、补充添加剂），以保障生产效益和产业可持续发展。

参考文献

- [1] 魏学良,张家骅,王豪举,等.高温环境对奶牛生理活动及生产性能的影响[J].中国农学通报, 2005 (5): 1-4.
- [2] 廖宇鹏.热应激对不同品种(系)肉用牛营养代谢组影响的差异研究[D].成都: 四川农业大学, 2018.
- [3] Kadzere C T, Murphy M R, Silanikove N, et al. Heat stress in lactating dairy cows: A review[J]. Livestock Production Science, 2002, 77 (1): 59-91.
- [4] West J W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86 (6): 2131-2144.
- [5] Bohmanva J, Misztal I, Cole J B. Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress[J]. Journal of Dairy Science, 2007, 90 (4): 1947-1956.
- [6] 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.
- [7] Dale H E, Brody S. Thermal stress and acid-base balance in dairy cattle[J]. Journal of Animal Science, 1954, 13 (2): 425-433.
- [8] 李建国, 桑润滋, 张正姍, 等. 热应激对母牛内分泌及繁殖机能的影响[J]. 中国奶牛, 1998 (3): 31-32.
- [9] 张灵梅. 不同水平L-茶氨酸对热应激奶牛生产性能和血液生化指标的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2021.
- [10] 姚彭, 孔凡栋, 刘相层. 热应激对奶牛生产性能的影响及防治措施[J]. 畜牧业环境, 2025 (9): 20-21.
- [11] 李麒, 赵海东, 郭明丽, 等. 奶牛应激机制及其防治研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021 (9): 38-43.
- [12] 马露, 卜登攀, 高胜涛, 等. 热应激影响奶牛乳腺酪蛋白合成的机制[J]. 动物营养学报, 2015, 27 (11): 3319-3325.
- [13] Cowley F C, Barber A D G, Houlihan A V, et al. Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98 (4): 2356-2368.
- [14] Hu H, Zhang Y, Zheng N, et al. The effect of heat stress on gene expression and synthesis of heat-shock and milk proteins in bovine mammary epithelial cells[J]. Animal Science Journal, 2016, 87 (1): 84-91.
- [15] 韩佳良, 刘建新, 刘红云. 热应激对奶牛泌乳性能的影响及其机制[J]. 中国农业科学, 2018, 51 (16): 3162-3170.
- [16] Hansen P J. Effects of heat stress on mammalian reproduction[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2009, 364 (1534): 3341-3350.
- [17] Boni R. Heat stress, a serious threat to reproductive function in animals and humans[J]. Molecular Reproduction and Development, 2019, 86 (10): 1307-1323.
- [18] Ozawa M, Tabuchi E, Miura T, et al. Alterations in follicular dynamics and steroidogenic abilities induced by heat stress during follicular recruitment in goats[J]. Reproduction, 2005, 129 (5): 621-630.
- [19] Zhang C, Kelly M J, Rönnekleiv O K. Gonadotropin-releasing hormone neurons express K (ATP) channels that are regulated by estrogen and responsive to glucose and metabolic inhibition[J]. Journal of Neuroscience, 2007, 27 (38): 10153-10164.
- [20] 陈建, 罗军荣. 热应激对牛繁殖性能的影响[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2018 (2): 1-5.
- [21] 付建中, 陈玉武, 庄佳荣, 等. 热应激对奶牛的损伤机制及调控措施的研究进展[J]. 饲料研究, 2025, 48 (5): 169-174.
- [22] 尹诗, 王维佳, 刘正清, 等. 热应激对奶牛免疫系统的影响[J]. 中国奶牛, 2024 (9): 39-44.
- [23] 应仔祥. 纳米硒对热应激条件下奶山羊泌乳及瘤胃微生物和代谢的影响研究[D]. 重庆: 重庆三峡学院, 2025.
- [24] 王明媚. 热应激对奶牛生产性能的影响及应对方法[J]. 畜牧兽医科技信息, 2021 (10): 135-136.