临沂地区热应激对不同泌乳期奶牛生产性能、乳品质及血液生化指标的影响

赵建发

临沂市河东区畜牧发展促进中心，山东临沂 276032

摘　要：[目的]探究热应激条件下临沂地区不同泌乳阶段奶牛的生产性能、乳成分及血液生化指标的变化特征。[方法]选取24 头健康荷斯坦牛，按泌乳天数分为早期（≤60 d）、中期（61～150 d）和晚期（≥151 d）三组，于2024年5—8月进行试验，监测非热应激期与热应激期奶牛的产奶量、呼吸频率、直肠温度、乳成分及血液指标（HSP70、催乳素、瘦素）。[结果]热应激显著降低各泌乳阶段奶牛的产奶量（$P<0.05$），并导致呼吸频率和直肠温度显著升高。泌乳早期和中期奶牛的乳糖与固形物含量显著增加（$P<0.05$），而乳脂肪率和乳蛋白率无显著变化。热应激还显著上调HSP70表达，并降低泌乳早期和中期奶牛的催乳素水平（$P<0.05$），瘦素水平变化不显著。[结论]热应激对奶牛生产性能、乳品质和血液指标均有显著影响，泌乳早期和中期奶牛更为敏感。研究结果为制定区域性奶牛热应激防控策略提供了理论依据。

关键词：热应激；泌乳阶段；产奶量；乳成分；血液指标；临沂地区

文章编号：1671-4393（2025）09-0078-06　　DOI:10.12377/1671-4393.25.09.12

中国乳业编辑阅读

0 引言

随着全球气候变暖，热应激已成为制约奶牛养殖业生产性能的关键因素之一[1, 2]。研究表明，热应激可通过多种途径影响奶牛健康与生产：一方面导致体温升高、心率与呼吸频率加快、采食量下降及电解质平衡紊乱，进而影响养分消化与吸收[3, 4]；另一方面抑制相关激素分泌，降低乳腺泌乳功能，造成产奶量与乳品质下降[5]。热应激还可诱导HSP70表达上调，改变催乳素水平，进一步干扰泌乳生理过程[5]。泌乳期奶牛因代谢需求较高，对热应激更为敏感[2]。因此，探究热应激对不同泌乳阶段奶牛的影响，对奶牛健康养殖具有重要意义。

临沂市位于山东省东南部，属温带季风气候，夏季具有高温高湿的特点，奶牛存栏量较大，热应激问题较为突出[6]。目前，该地区已通过改善通风、优化营养和实施降温等措施在一定程度上缓解热应激[7]，然而针对不同泌乳阶段奶牛在临沂地区热应激下的具体响应及其机制，仍缺乏系统研究。本研究

作者简介：赵建发（1986-），男，山东临沂人，本科，高级兽医师，研究方向为畜牧兽医技术。

旨在探讨热应激对临沂地区奶牛不同泌乳阶段生产性能的影响，以期为精准防控热应激提供理论依据与实践指导。

1 试验动物与方法

1.1 试验动物

2024年5月1日至8月31日在山东省临沂市某规模奶牛场选取胎次相近、体况相同，且健康无病的处于泌乳期的经产荷斯坦牛24 头。根据泌乳天数分为3 组：泌乳早期：泌乳天数≤60 d（n=8）；泌乳中期：泌乳天数61～150 d（n=8）；泌乳晚期：泌乳天数≥151 d（n=8）。

试验期间，所有奶牛均按规模化奶牛场常规管理程序饲养。奶牛饲养于散栏式牛舍，牛舍未安装排风扇，空气流通与温度控制均未作特殊干预，使奶牛处于常规环境下面临自然热应激条件。每日于早晨、中午和傍晚分3 次投喂全混合日粮，日粮组成及配比符合奶牛营养需要[8]，以满足其正常生理与生产性能要求，具体配方见表1。试验期间奶牛自由饮水，饮水设施充足、清洁，保障其随时可补充水分。

表 1 日粮的组成和营养成分

原料	含量（%）	营养成分	含量
苜蓿干草	21.53	产奶净能（MJ/kg）	7.23
羊草	3.14	粗蛋白质（%）	17.35
全株玉米青贮	27.65	中性洗涤纤维（%）	31.25
玉米	24.47	酸性洗涤纤维（%）	22.63
豆粕	14.68	钙（%）	0.84
麦麸	1.48	磷（%）	0.40
全棉籽	4.20		
预混料	0.91		
碳酸氢钙	0.91		
食盐	0.80		
氧化镁	0.23		
合计	100.00		

注：预混料为每千克日粮提供：铜4 125 mg，锌1 840 mg，锰12 720 mg，碘350 mg，钴200 mg，硒137 mg，维生素A 2 500 mg，维生素D 650 mg，维生素E 18 750 mg；产奶净能为计算值，为各原料的产奶净能分别乘以各自在日粮中占比，再相加求和得出；其余营养成分为实测值

1.2 试验方法

1.2.1 牛舍温湿度指数（THI）的测定

采用温湿度自动记录仪（型号：HOBO MX2301）监测牛舍内的温度和湿度，每小时记录1 次数据。记录仪分别安装于牛舍围栏区域及中心位置，确保周围通风良好，并避免日光直射和雨水淋湿。所有仪器离地悬挂高度为2～3 m，以防止奶牛触碰。根据所测数据计算温湿度指数（THI），并依据THI值划分非热应激期与热应激期（表2）。

计算公式：THI=0.8×T+（100/RH）×（T−14.3）+46.3，T为环境温度（℃），RH为相对湿度（%）。

表 2 试验期 THI 值的变化情况

时期	试验时间	干球温度	THI
非热应激期	2024 年 5—6 月	19.37 ± 0.72	67.34 ± 0.38
热应激期	2024 年 7—8 月	29.43 ± 0.57	79.77 ± 0.44

1.2.2 奶牛呼吸频率与直肠温度的测定

每日3 次测定奶牛的呼吸频率。于奶牛处于平静状态时，记录1 min内其腹部的起伏次数，作为呼吸频率值。每头奶牛重复测量3 次，取平均值作为该个体的呼吸频率结果。

试验期间，使用电子体温计（型号：欧姆龙MC−347）每日测量并记录奶牛的直肠温度。

1.2.3 产奶量与乳成分分析

每日定时记录每头奶牛的产奶量，并采用乳成分分析仪检测乳样。测定指标包括乳脂肪、乳蛋白、乳糖和固形物等关键成分，以全面评估不同泌乳阶段中牛奶品质与组成的变化。

1.2.4 血液生化指标检测

通过尾静脉采血采集每头奶牛血液样本20 mL，在2 000 r/min转速下离心20 min，分离血清并于−20 ℃条件下保存。采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒，测定热休克蛋白70（HSP70）、催乳素及瘦素A的含量。

1.3 数据统计与分析

试验数据采用Excel和SPSS软件进行统计分析。

中国乳业线上阅读

多组间比较使用Duncan's多重范围检验法，结果以“均值±标准差”表示。以$P<0.05$为差异具有统计学显著性。

2 试验结果

2.1 热应激对奶牛生产性能和生理指标的影响

为评估热应激对奶牛生产性能的影响，本研究系统记录了不同泌乳阶段奶牛的产奶量变化（表3）。结果显示，热应激导致泌乳早期、中期和晚期奶牛的产奶量均显著下降（$P<0.05$），表明热应激对产奶性能具有明显的抑制作用。此外，呼吸频率与直肠温度的监测结果显示，热应激条件下奶牛的呼吸频率显著增加（$P<0.05$），且以泌乳早期阶段的增幅最为显著；同时，直肠温度也显著上升，同样在泌乳早期表现最为明显（表4）。上述结果表明，热应激显著改变了奶牛的生理状态，具体表现为呼吸频率和体温升高，进而干扰正常代谢过程，最终对生产性能产生不利影响。

表3 热应激对奶牛产奶量的变化

泌乳期	日均产奶量（kg/d）		
	非热应激	热应激	*P* 值
泌乳早期	33.48±3.18	31.22±3.22	＜0.05
泌乳中期	33.76±4.12	30.98±3.44	＜0.05
泌乳晚期	30.42±3.67	27.88±2.98	＜0.05

2.2 热应激对乳成分的影响

为进一步探究热应激对奶牛乳成分的影响，本研究分析了乳脂肪率、乳蛋白率、乳糖及固形物含量等指标。结果表明，在泌乳前期和中期，热应激导致乳糖和固形物含量显著上升（$P<0.05$），而对乳脂肪率与乳蛋白率均无显著影响；在泌乳晚期，热应激对乳成分各项指标均未引起显著变化（表5）。以上结果说明，热应激主要影响泌乳早期和中期奶牛乳糖与固形物的合成或分泌过程，对乳脂肪和乳蛋白含量的影响相对有限。

表5 热应激对乳成分的影响

项目	非热应激	热应激	*P* 值
泌乳前期			
乳脂肪率（%）	3.61±0.76	3.41±0.65	0.41
乳蛋白率（%）	2.98±0.23	2.93±0.18	0.61
乳糖（%）	4.65±0.21	4.78±0.26	＜0.05
固形物（%）	8.63±0.31	8.78±0.27	＜0.05
泌乳中期			
乳脂肪率（%）	3.57±0.68	3.52±0.81	0.50
乳蛋白率（%）	3.31±0.22	3.27±0.27	0.43
乳糖（%）	4.75±0.18	4.86±0.19	＜0.05
固形物（%）	8.71±0.28	8.83±0.34	＜0.05
泌乳晚期			
乳脂肪率（%）	3.78±0.86	3.72±0.73	0.40
乳蛋白率（%）	3.41±0.24	3.39±0.26	0.62
乳糖（%）	4.83±0.12	4.86±0.14	0.58
固形物（%）	9.03±0.33	9.07±0.28	0.39

2.3 热应激对奶牛生化指标的影响

为进一步探讨热应激对奶牛生化指标的影响，本研究检测了热休克蛋白70（HSP70）、催乳素及瘦素的水平。结果显示，热应激显著提高了泌乳早期、中期和晚期奶牛HSP70的表达水平（$P<0.05$）；此外，热应激导致泌乳早期和中期奶牛的催乳素水平显著下降（$P<0.05$），但对泌乳晚期催乳素水平无显著影响；瘦素水平在各泌乳阶段均略有上升，但差异均未达到统计学显著性（表6）。上述结果表明，热应激可显著诱导HSP70的上调，可能对机体生理功能产生干扰；同时，催乳素与瘦素的变化也提示热应激通过调控内分泌系统，进而影响

表4 热应激对奶牛呼吸频率和直肠温度的影响

泌乳期	呼吸频率（次/min）			直肠温度（℃）		
	非热应激	热应激	*P* 值	非热应激	热应激	*P* 值
泌乳早期	47.66±4.08	69.88±3.21	＜0.05	38.31±0.12	39.18±0.05	＜0.05
泌乳中期	48.02±3.38	67.46±3.08	＜0.05	38.29±0.03	38.82±0.11	＜0.05
泌乳晚期	47.77±4.18	66.32±4.12	＜0.05	38.33±0.07	38.87±0.04	＜0.05

中国乳业线上阅读

奶牛的生产性能。

表 6 热应激对奶牛生化指标的影响

项目	非热应激	热应激	*P* 值
泌乳前期			
HSP70	433.84 ± 29.76	587.33 ± 31.48	< 0.05
催乳素	1 154.83 ± 86.33	789.34 ± 78.43	< 0.05
瘦素	7.98 ± 1.21	6.84 ± 1.04	0.63
泌乳中期			
HSP70	547.74 ± 37.45	623.47 ± 42.37	< 0.05
催乳素	1 284.62 ± 97.35	974.28 ± 88.43	< 0.05
瘦素	9.17 ± 1.97	8.03 ± 2.03	0.71
泌乳晚期			
HSP70	404.17 ± 30.48	577.43 ± 33.18	< 0.05
催乳素	1 078.47 ± 93.64	965.55 ± 79.48	0.41
瘦素	8.43 ± 2.31	7.84 ± 2.44	0.58

3 讨论

3.1 热应激对奶牛产奶量和生理指标的影响

热应激对奶牛产奶量及生理指标具有显著影响。在热应激环境下，奶牛常表现出采食量下降与代谢紊乱，直接抑制泌乳功能，导致产奶量降低。张凡建等[9]报道，热应激可使奶牛产奶量较非热应激条件下降低约16.33%。Tao等[10]指出，热应激导致干物质摄入量减少，且产奶量随干物质摄入下降而按约0.8 kg/d的比例递减。此外，产奶量下降还与乳腺生理状态密切相关：在泌乳后期，热应激会减少乳腺血流量；研究显示，热应激可显著抑制临近预产期奶牛乳腺上皮细胞的增殖活性[11]。本研究结果一致表明，热应激显著降低了奶牛的产奶量。

热应激还引起奶牛直肠温度显著上升，随温湿度指数（THI）增高，直肠温度可由39.22 ℃升高至39.51 ℃[12]。同时，呼吸频率也显著增加，正常条件下通常低于50 次/min，而在热应激环境下可升至70 次/min以上[13]。本研究也观察到热应激奶牛呼吸频率和直肠温度显著升高。呼吸频率上升可引起毛细血管扩张，使外周血流增加、乳腺血流减少，这可能是产奶量进一步下降的原因之一。综上所述，热应激不仅通过降低采食量、引发代谢紊乱影响泌乳性能，还可能通过改变乳腺血流分布和细胞增殖活性，加剧产奶量的下降。

3.2 热应激对乳成分的影响

已有研究通过代谢组学分析表明，热应激可导致奶牛体内34 种代谢物发生显著变化[10]。这些差异代谢物广泛参与三羧酸循环、糖酵解、乳糖代谢及氨基酸代谢等关键生理过程，说明热应激能够明显影响奶牛的乳糖合成与能量代谢。本研究同样发现，热应激显著促进了泌乳早期和中期乳糖含量的变化，与已有报道一致。另有研究指出，热应激往往引起乳脂率下降：当THI低于70时，乳脂率平均为3.91%；而THI处于80～85时，乳脂率可降至3.74%[14]。在本研究中，尽管乳脂肪率也呈现下降趋势，但未达到统计学显著水平，可能与试验期间THI未持续高于80有关。因此，热应激虽可通过改变代谢通路对乳成分（尤其是乳糖）产生一定影响，但对乳脂率的作用可能还受到其他环境因素的调节。总体而言，热应激对乳成分的影响主要源于其对机体代谢途径的干扰。

3.3 热应激对奶牛生化指标的影响

热休克蛋白HSP70作为奶牛体内一种重要的分子伴侣，在机体耐热性调节中发挥关键作用。陈强等[15]研究表明，热应激可显著诱导奶牛体内HSP70表达上调，说明其参与热应激响应过程。本研究中，不同泌乳阶段奶牛在热应激条件下HSP70水平均显著升高，进一步证实奶牛通过上调HSP70以增强热适应能力。此外，本研究还发现，热应激导致泌乳早期和中期奶牛催乳素含量显著下降，这可能是产奶量降低的间接原因之一；该结果与宋代军等[16]报道的热应激抑制泌乳早期奶牛催乳素水平的结论一致。

瘦素作为一种与产奶性能密切相关的激素，也受到广泛关注。牛淑玲等[17]的研究表明，瘦素水平与奶牛产奶量呈正相关。本研究中，尽管热应激条件下瘦素含量略有下降，但差异未达显著水平，提示热应激对瘦素的影响可能较为复杂，其

中国乳业杂志社版权

具体机制在不同泌乳阶段及环境条件下的作用仍需进一步研究。

4 结论

综上所述，热应激对临沂地区泌乳期奶牛的生产性能、生理状态、乳成分及血液生化指标均产生显著影响，其中泌乳早期奶牛所受影响尤为突出，具体表现为产奶量显著下降、呼吸频率加快、乳糖含量升高以及HSP70表达显著上调。上述变化表明，热应激通过干扰内分泌调节、能量代谢及热平衡维持等多重途径，对奶牛生理机能造成广泛影响，进而导致生产性能降低。此外，热应激还可能对其他潜在生理指标产生持续负面影响，危及奶牛的长期健康与生产效益。因此，在热应激高发季节，实施科学有效的环境调控与饲养管理措施，对缓解热应激危害、保障奶牛健康与生产性能具有重要意义。

参考文献

[1] 郭咏梅，李佳荣，闫素梅，等.热应激对奶牛的危害及营养调控措施[J].饲料研究，2023，46（14）：174–179.
[2] 刘淑荣.奶牛热应激的预防[J].今日畜牧兽医，2024，40（12）：45–47.
[3] 周进，李艳，吴佳颖，等.不同温湿指数下奶牛体温、脉搏和呼吸频率的变化规律研究[J].黑龙江畜牧兽医，2024（12）：50–53.
[4] 郑洁怡，杨舒黎，赵开玲，等.热应激对反刍动物瘤胃功能及潜在耐热标志物的影响[J].中国畜牧兽医，2024，51（3）：1041–1049.
[5] 王海利，顾鲲涛.热应激对奶牛产奶性能和泌乳相关激素影响[J].中兽医学杂志，2019（5）：97–99.
[6] 赵加军.临沂市奶牛主要寄生虫病的流行现状与对策[J].中国乳业，2024（3）：39–45.
[7] 杜肖肖，邓铭，孙宝丽，等.奶牛热应激调控措施研究进展[J].中国奶牛，2024（5）：1–7.
[8] 张志登，敬盈嘉，刘影，等.热应激对泌乳奶牛生理指标及生产性能的影响[J].中国畜牧杂志，2020，56（4）：169–172.
[9] 张凡建，徐聪，翁晓刚，等.不同程度热应激对泌乳中期奶牛产奶量和乳成分的影响[J].中国兽医学报，2014，34（10）：1686–1688.
[10] Tao S，Rivas R M O，Marins T N，et al.Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows[J].Theriogenology，2020，150：437–444.
[11] Tao S，Bubolz J W，Do Amaral B C，et al.Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development[J].Journal of Dairy Science，2011，94（12）：5976–5986.
[12] 彭丹丹.温热环境和个体热敏感性对奶牛产奶性能及生理应激指标的影响[D].北京：中国农业科学院，2018.
[13] Soriani N，Panella G，Calamari L.Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production[J].Journal of Dairy Science，2013，96（8）：5082–5094.
[14] El–tarabany M S，El–tarabany A A.Impact of maternal heat stress at insemination on the subsequent reproductive performance of Holstein Brown Swis，and their crosses[J].Theriogenology，2015，（84）9：1523–1529.
[15] 陈强，李忠浩，王根林.奶牛HSP70基因多态性与生产性能的关系[J].江西农业学报，2007，19（7）：84–86.
[16] 宋代军，何钦，姚焰础.热应激对不同泌乳阶段奶牛生产性能和血清激素浓度的影响[J].动物营养学报，2013，25（10）：2294–2302.
[17] 牛淑玲，李艳飞，王哲，等.围产期健康奶牛干物质摄入水平与血浆瘦素浓度及乳产量的关系[J].中国畜牧杂志，2005，41（3）：17–20.

Impacts of Heat Stress on Production Performance，Milk Quality，and Blood Biochemical Indicators of Dairy Cows in Different Lactation Stages in Linyi Region

ZHAO Jianfa
Livestock Development Promotion Center of Hedong District，Linyi Shandong 276032

Abstract：[Objective] This study aimed to investigate the effects of heat stress on production performance， milk

中国乳业线上阅读

composition，and blood biochemical indicators of dairy cows in different lactation stages in the Linyi region. [Methods] A total of 24 healthy Holstein cows were selected and divided into three groups according to days in milk: early lactation （≤60 d）， mid-lactation （61~150 d），and late lactation （≥151 d）. The experiment was conducted from May to August 2024. Milk yield，respiratory rate，rectal temperature，milk composition，and blood indicators （HSP70，prolactin，leptin） were monitored during non-heat stress and heat stress periods. [Results] Heat stress significantly reduced milk yield in all lactation stages （*P*< 0.05） and significantly increased respiratory rate and rectal temperature. The lactose and solid content increased significantly in early and mid-lactation cows （*P*< 0.05），while milk fat rate and milk protein rate showed no significant changes. Heat stress also significantly up-regulated HSP70 expression and reduced prolactin levels in early and mid-lactation cows （*P*< 0.05），with no significant change in leptin levels. [Conclusion] Heat stress significantly affects the production performance，milk quality，and blood indicators of dairy cows，with early and mid-lactation cows being more susceptible. The results provide a theoretical basis for developing regional strategies for the prevention and control of heat stress in dairy cows.

Keywords：heat stress；lactation stage；milk yield；milk composition；blood indicators；Linyi region

▲上接77页

lasted for 30 days，during which production performance，milk composition，serum antioxidant indicators，and rumen fermentation parameters were measured.[Result] Compared with the control group，supplementation with 300 mg/kg and 500 mg/kg of Angelica extract significantly increased average daily feed intake and milk yield （*P*<0.05），reduced the feed-to-milk ratio，and significantly improved milk fat rate and milk protein rate while reducing somatic cell count in milk （*P*<0.05）.Regarding serum antioxidant indicators，activities of superoxide dismutase （SOD），catalase （CAT），and glutathione peroxidase （GSH-Px） were significantly increased，and malondialdehyde （MDA） content was significantly decreased in the treatment groups （*P*<0.05）. In terms of rumen fermentation，the contents of microbial crude protein （MCP），acetate，and propionate were significantly increased （*P*<0.05），while no significant effects were observed on rumen pH or the contents of butyrate and isobutyrate.[Conclusion] Dietary supplementation with 300～500 mg/kg of Angelica extract can effectively improve production performance，milk quality，antioxidant capacity，and rumen function in dairy cows，demonstrating its potential as a functional feed additive.

Keywords：Angelica extract；dairy cows；production performance；antioxidant activity；rumen function

中国乳业线上阅读