

夏季热应激导致奶牛乳蛋白含量降低的分子机制

闵力 李大刚 童雄 王刚*

(广东省农业科学院动物科学研究所, 畜禽育种国家重点实验室, 农业部华南动物营养与饲料重点实验室, 广东省动物育种与营养公共实验室, 广东省畜禽育种与营养研究重点实验室, 广州 510640)

摘要: 夏季热应激是制约奶牛养殖业发展的重要因素之一。热应激导致奶牛乳蛋白含量显著降低, 严重制约了乳品质。本文从蛋白质合成前体物——氨基酸的代谢和转运角度解析乳蛋白含量降低的原因, 阐明热应激对乳腺中蛋白质合成信号通路和细胞凋亡相关蛋白的影响, 从基因和蛋白质水平解析奶牛热应激后的生理变化, 阐明其分子机制, 为缓解夏季热应激奶牛的“乳蛋白降低症”提供理论与方法依据。

关键词: 热应激; 奶牛; 乳腺; 蛋白质合成

中图分类号: S823.9⁺¹

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)03-0983-06

夏季热应激是制约奶牛养殖业发展的重要因素之一。随着全球气候持续变暖, 夏季热应激发生的强度和频率正在不断地增加^[1]。当前奶牛养殖中使用较多的品种是来自于北欧的荷斯坦奶牛, 该品种具有产奶量高的优点, 但其散热性能弱、产热量大, 导致其对热应激尤为敏感^[2]。我国南方地区夏季热应激十分严重, 农业农村部奶牛科技入户调查结果显示热应激导致上海地区的奶牛场在夏季期间几乎损失了全部利润^[3]。热应激影响奶牛机体健康, 导致干物质采食量显著降低, 营养物质摄入不足, 机体处于严重的能量负平衡状态; 激素和内分泌系统发生变化, 引起营养物质的重分配; 呼吸频率增加、直肠温度升高; 繁殖性能下降; 产奶量显著降低^[4]。尽管当前使用了一系列缓解热应激的措施, 但仍无法解决夏季奶牛热应激产生的问题。

夏季热应激不仅导致产奶量降低, 还会引起乳品质下降, 使热应激奶牛出现“乳蛋白降低症”。热应激导致奶牛的乳蛋白含量显著降低, 乳蛋白含量降低可能是由于乳腺中调控乳蛋白合成的基

因、蛋白质和信号通路发生了改变^[5]。热应激对乳腺上皮细胞泌乳功能影响的研究已经初步证实热应激导致 β -酪蛋白合成基因表达下调, 总酪蛋白含量降低, 乳腺上皮细胞合成乳蛋白的能力下降^[6]。程建波等^[3]研究了上海地区 2012—2014 年自然生产条件下热应激对泌乳奶牛生产性能和乳成分的影响, 对 3 年的数据进行分析后显示热应激对乳蛋白含量的影响最大。无论热应激是否降低奶牛的产奶量, 都会导致乳蛋白含量降低, 这一现象可以称之为“热应激乳蛋白降低症”。通过比较夏季热应激和春季、冬季非热应激奶牛的乳成分, 证实了这一现象。夏季奶牛乳成分中乳蛋白含量以及其中的总酪蛋白、 α -酪蛋白、 β -酪蛋白、 κ -酪蛋白的含量均低于冬季和春季的奶牛^[7]。以上研究揭示了一个科学现象: 热应激是影响乳蛋白合成的重要环境因素, 夏季热应激导致奶牛出现“乳蛋白降低症”。乳蛋白含量降低严重地制约了乳品质, 深入研究热应激导致乳蛋白含量降低的机制具有十分重要的意义。

收稿日期: 2019-08-23

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队项目(2019KJ114); 广东省自然科学基金项目(2018A030313002); 广东省农业科学院院长基金项目(201809); 郁南县科技计划项目(2018006)

作者简介: 闵力(1988—), 男, 江西九江人, 助理研究员, 博士, 主要从事反刍动物营养研究。E-mail: min1988317@163.com

* 通信作者: 王刚, 高级兽医师, E-mail: wanggang@gdaas.cn

1 血液中的游离氨基酸和乳腺中的氨基酸转运蛋白是乳蛋白合成的限制因素

血液中的游离氨基酸是乳蛋白合成的主要前体物。乳腺通过增加对游离氨基酸的摄取,使乳腺的蛋白质合成和氨基酸利用率达到最优化,以增加乳蛋白的产量^[8]。然而,一项研究显示,在夏季热应激条件下,奶牛的产奶量和乳蛋白含量均显著降低,血液中参与糖异生作用的丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸等的含量显著升高。这表明热应激时奶牛血液中的游离氨基酸并未完全用于乳蛋白合成^[9]。热应激导致奶牛的糖异生作用增强,氨基酸被优先用于分解代谢,由生糖氨基酸转变为糖,提供能量。由此可知,热应激导致的奶牛乳蛋白含量降低与氨基酸分解代谢增强、蛋白质合成前体物供应不足有关^[5,10]。

李庆章^[11]指出,乳腺中氨基酸转运蛋白的转运活性决定了氨基酸的摄取率,从而调节乳蛋白合成。近期的研究显示高温(41.5℃)培养模拟的热应激环境导致奶牛乳腺上皮细胞中氨基酸转运蛋白家族基因[可溶性载体转运蛋白(*SLC*)1A1、*SLC1A5*、*SLC3A2*、*SLC7A5*和*SLC36A1*]表达量极显著升高^[12]。热应激导致乳蛋白含量降低,可能是由于乳腺组织发生蛋白质动员,*SLC*将乳腺中的氨基酸转运至外周组织分解供能,乳腺的蛋白质合成前体物供应不足引起的;其推论需要进一步开展奶牛热应激的动物试验予以支持^[13]。目前存在6种氨基酸转运蛋白超家族:*SLC1*、*SLC6*、*SLC7*、*SLC36*、*SLC38*和*SLC43*^[14],其编码的蛋白质能够选择性双向转运不同的氨基酸^[15-16]。深入解析热应激对奶牛乳腺中氨基酸转运蛋白的影响及其规律,能够从蛋白质合成前体物——氨基酸转运的角度解析热应激奶牛出现“乳蛋白降低症”的原因。

2 雷帕霉素靶蛋白(mTOR)信号通路和乳腺的细胞凋亡影响乳蛋白合成

mTOR是乳蛋白合成的重要信号通路,能够从基因和蛋白质水平调控乳蛋白的合成与分泌^[17]。研究人员绘制了奶牛乳腺中蛋白质合成调节的网络模型,其中mTOR及其上游信号通路[磷脂酰肌醇3-激酶(*PI3K*)和丝氨酸-苏氨酸蛋白激

酶B(*Akt*)等]和下游信号通路[核糖体蛋白S6激酶(*S6K1*)和4E结合蛋白1(*4EBP1*)等]在调控乳蛋白合成的过程中发挥着重要作用^[18-19]。研究表明,在基因转录水平,高温(热应激)导致奶牛乳腺上皮细胞中参与mTOR信号通路的基因表达显著下调^[20];在蛋白质水平,高温(热应激)导致奶牛乳腺上皮细胞中mTOR信号通路的正向调节蛋白核糖体蛋白S6(*rpS6*,为*Akt1*和*S6K1*的下游蛋白)磷酸化水平显著降低,负向调节蛋白真核生物转录延伸因子2(*eEF2*)磷酸化水平显著升高^[12]。*Bu*等^[21]通过转录组学技术结合数据非依赖采集(*DIA*)通路分析发现热应激抑制了乳腺中乳蛋白合成基因的表达,并且显著降低了mTOR及其正向调节蛋白真核生物转录延伸因子1(*eEF1*)基因的表达。结合前人的研究结果,*Ríus*^[13]在特邀综述中指出热应激导致奶牛的乳蛋白含量降低可能与乳腺中mTOR信号通路的抑制有关。

高胜涛等^[22]采用乳腺活体采样技术,研究了热应激时奶牛乳蛋白含量降低与乳腺细胞凋亡基因表达的关系,结果显示:热应激导致乳蛋白含量降低,乳腺中与细胞凋亡相关的半胱氨酸蛋白酶3(*CASP3*)和环氧合酶2(*COX2*)基因的表达显著上调。细胞凋亡相关基因表达的变化揭示热应激可能导致奶牛乳腺发生细胞凋亡,这一结论与乳腺上皮细胞试验结果相一致,即乳腺上皮细胞在高温处理后一直处于细胞凋亡状态^[23],细胞凋亡基因[半胱天冬蛋白酶(*Caspase*)、B淋巴细胞瘤/白血病-2(*Bcl-2*)、与*Bcl-2*相关的*X*基因(*Bax*)、*Bak*和*p53*]发生显著变化^[24]。热应激可能导致奶牛乳腺发生细胞凋亡,合成乳蛋白的细胞数量减少,引起“乳蛋白降低症”。

3 从基因和蛋白质水平解析奶牛热应激后的生理变化

*Bionaz*等^[18]解析了奶牛从妊娠至泌乳后期乳蛋白合成的基因调控网络,有针对性地测定了乳腺中与*SLCs*、信号通路等相关的44个目标候选基因的表达,较全面地阐明了乳蛋白合成过程中相关基因的变化情况。转录组学技术能够由点(目标候选基因)到面(全部表达基因),在整体水平上研究机体基因表达的变化规律,通过分析不同试验处理产生的差异表达基因及其功能,揭示其生物学意义。通过分析泌乳期和干奶期奶牛乳腺的

差异表达基因, Dai 等^[25]绘制了泌乳奶牛乳腺转录组图谱,与干奶期相比,泌乳奶牛蛋白质合成(转录、翻译和蛋白质修饰)相关基因的表达显著上调,参与蛋白质合成相关的代谢通路(蛋白质在内质网加工过程和氨基酸代谢)的表达也发生了上调,乳腺蛋白质合成能力增强。Bethany 等^[26]采用 RNA-Seq 转录组学技术,比较了热应激和非热应激状态下奶牛乳腺中差异表达基因的变化,结果显示,热应激导致奶牛乳腺中参与炎症反应[白介素 20 受体 β (*IL20RB*)、激肽释放酶 7 (*KLK7*)]和细胞应激保护的基因[DnaJ/热休克蛋白 40 同源物亚家族 C 成员 12 (*DNAJC12*)]的表达显著上调,1 条长链非编码 RNA 显著下调。已有的研究表明,夏季持续热应激导致奶牛血液中与炎症反应密切相关的急性期蛋白(甲状腺转运蛋白)差异表达,促炎症因子[肿瘤坏死因子- α (*TNF- α*)和白细胞介素-6 (*IL-6*)]的浓度显著升高,机体可能发生炎症反应^[27],这一结果与热应激奶牛的肝脏转录组学结果相一致,即夏季热应激导致肝脏中参与炎症反应的相关基因[血清淀粉样蛋白 A3 (*SAA3*)和结合珠蛋白(*HP*)]的表达显著上调^[28]。对奶牛乳腺、血液和肝脏样品的分析,系统地揭示了热应激导致奶牛机体发生炎症反应这一现象;与此同时,热应激导致奶牛机体发生热休克反应,热休克蛋白表达量显著升高,从而对高温所造成的错误折叠蛋白进行修复,形成应激保护机制^[29]。然而,热应激奶牛乳腺中细胞应激保护蛋白——热休克蛋白表达量的增加,会导致乳腺中其他蛋白质的合成和表达减少,引起“乳蛋白降低症”。

马露等^[30]指出,热应激条件下,奶牛乳腺中的 miRNAs 对乳蛋白的合成发挥了重要的调控作用。热应激导致奶牛乳腺中的长链非编码 RNA 显著下调,从而改变 miRNAs 的表达,影响乳腺的细胞更新与代谢^[26]。Li 等^[31]绘制了热应激奶牛乳腺中 miRNAs 变化图谱,热应激导致乳腺中的 bta-miR-145、bta-miR-2285t、bta-miR-133a 和 bta-miR-29c 显著上调, bta-miR-21-5p、bta-miR-99a-5p 和 bta-miR-146b 的表达显著下调。差异表达的 miRNAs 富集分析显示:热应激影响奶牛乳腺的发育及上皮细胞的功能;KEGG 信号通路分析表明热应激与乳腺的 RNA 降解、mTOR 信号通路和免疫功能密切相关。已有的研究表明热应激导致围产期奶牛、犊牛血液中免疫球蛋白的分泌降低,影

响奶牛的免疫功能^[32-33]。对泌乳奶牛血液中 miRNAs 的分析表明热应激极显著地改变了 52 个 miRNAs 的表达,影响奶牛的免疫应答^[34]。蛋白质组学的研究结果证实:热应激导致泌乳奶牛血液中大量参与免疫调节的补体系统的表达显著下调,补体系统失活引起免疫功能损伤^[35]。热应激奶牛的乳腺上皮细胞更新与代谢、免疫功能损伤是否与乳蛋白合成的改变有直接关系仍需进一步研究探明。

蛋白质组学技术通过对差异蛋白的鉴定和分析,能够准确地反映出外界环境变化对机体代谢产生的影响。从乳蛋白合成的部位乳腺入手,采用蛋白质组学技术挖掘热应激引起的差异蛋白,分析其生物学功能和意义,能够在蛋白质水平揭示热应激奶牛发生“乳蛋白降低症”的生物学机制。马露^[36]使用环境控制舱分析了热应激和非热应激配对组奶牛乳腺中的差异蛋白,研究发现,急性热应激处理 9 d 后,乳腺中参与三羧酸循环的限速酶苹果酸脱氢酶(*MDH*)1 和 *MDH2* 的表达显著下调,这可能导致乳腺中蛋白质的生物合成受到抑制^[37];后续的 GO 功能分析显示差异蛋白主要参与了蛋白质代谢过程,其机制尚不明确^[38]。一项奶牛乳腺上皮细胞的蛋白质组学研究显示,高温热应激处理导致乳腺细胞中 271 个蛋白差异表达,其中 α -S1-酪蛋白、 β -酪蛋白和 κ -酪蛋白的表达均显著降低;通过蛋白质互做网络(PPI)分析发现,热应激导致乳腺中血纤维蛋白溶酶原(PG)被激活,转化成血纤维蛋白溶酶(PL),PG-PL 系统的激活直接导致酪蛋白的合成减少,引起“乳蛋白降低症”^[39]。

4 小 结

热应激是影响奶牛乳蛋白合成的重要环境因素。“乳蛋白降低症”的发生涉及到机体的分子-细胞-组织-器官-整体在内的所有层次以及相关营养物质代谢的变化。本文主要从乳腺中氨基酸分子代谢的角度,解析了热应激导致氨基酸分解代谢增强、蛋白质合成前体物供应不足引起乳蛋白含量降低,阐明了热应激导致乳蛋白含量降低可能与 mTOR 信号通路的抑制以及乳腺细胞凋亡、合成乳蛋白的细胞数量减少有关;从基因和蛋白质水平,探索了奶牛热应激后机体发生的一系列生理变化,为深入研究机体的生理变化与乳蛋

白含量降低的关系提供了新的思路。

参考文献:

- [1] IPCC. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press, 2007: 433-497.
- [2] BERNABUCCI U, BIFFANI S, BUGGIOTTI L, et al. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle [J]. *Journal of Dairy Science*, 2014, 97(1): 471-486.
- [3] 程建波, 王伟宇, 郑楠, 等. 自然生产条件下热应激周期变化揭示泌乳中期奶牛出现“热应激乳蛋白降低征” [J]. *中国畜牧兽医*, 2014, 41(10): 73-84.
- [4] 闵力. 基于生理代谢、蛋白组学和菌群多样性解析热应激对泌乳奶牛的影响 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2017: 2-8.
- [5] COWLEY F C, BARBER 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.
- [6] HU H, ZHANG Y D, 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.
- [7] BERNABUCCI U, BASIRICÒ L, MORERA P, et al. Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(3): 1815-1827.
- [8] HAQUE M N, GUINARD-FLAMENT J, LAMBERTON P, et al. Changes in mammary metabolism in response to the provision of an ideal amino acid profile at 2 levels of metabolizable protein supply in dairy cows: consequences on efficiency [J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(6): 3951-3968.
- [9] 艾阳, 曹洋, 谢正露, 等. 热应激时奶牛血液中游离氨基酸流向与乳蛋白下降的关系研究 [J]. *食品科学*, 2015, 36(11): 38-41.
- [10] MIN L, ZHAO S G, TIAN H, et al. Metabolic responses and “omics” technologies for elucidating the effects of heat stress in dairy cows [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2017, 61(6): 1149-1158.
- [11] 李庆章. 奶牛乳腺发育与泌乳生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 2014: 253-256.
- [12] KAUFMAN J D, KASSUBE K R, ALMEIDA R A, et al. Short communication: high incubation temperature in bovine mammary epithelial cells reduced the activity of the mTOR signaling pathway [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(8): 7480-7486.
- [13] RÍUS A G. Invited review: adaptations of protein and amino acid metabolism to heat stress in dairy cows and other livestock species [J]. *Applied Animal Science*, 2019, 35(1): 39-48.
- [14] POCHINI L, SCALISE M, GALLUCCIO M, et al. Membrane transporters for the special amino acid glutamine: structure/function relationships and relevance to human health [J]. *Frontiers in Chemistry*, 2014, 2: 61.
- [15] PONCET N, TAYLOR P M. The role of amino acid transporters in nutrition [J]. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2013, 16(1): 57-65.
- [16] 权素玉, 南雪梅, 蒋林树, 等. 动物氨基酸转运与感知系统研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(10): 3810-3817.
- [17] BURGOS S A, DAI M, CANT J P. Nutrient availability and lactogenic hormones regulate mammary protein synthesis through the mammalian target of rapamycin signaling pathway [J]. *Journal of Dairy Science*, 2010, 93(1): 153-161.
- [18] BIONAZ M, LOOR J J. Gene networks driving bovine mammary protein synthesis during the lactation cycle [J]. *Bioinformatics and Biology Insights*, 2011, 5: 83-98.
- [19] 代文婷. SARS 介导蛋氨酸调节奶牛乳腺上皮细胞酪蛋白合成的机制研究 [D]. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2018: 33-37.
- [20] LI L, SUN Y, WU J, et al. The global effect of heat on gene expression in cultured bovine mammary epithelial cells [J]. *Cell Stress and Chaperones*, 2015, 20(2): 381-389.
- [21] BU D, MA L, GAO S T, et al. Heat stress decreases transcription of protein metabolism-related genes in mammary tissue of middle lactating cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(Suppl. 2): 223-224.
- [22] 高胜涛, 郭江, 权素玉, 等. 热应激通过诱导奶牛乳腺细胞凋亡减少乳蛋白 [J]. *动物营养学报*, 2016, 28(5): 1615-1625.
- [23] COLLIER R J, STIENING C M, POLLARD B C, et al. Use of gene expression microarrays for evaluating environmental stress tolerance at the cellular level in cattle [J]. *Journal of Animal Science*, 2006, (Suppl.

- 84):E1-E13.
- [24] HU H, WANG J Q, GAO H N, et al. Heat-induced apoptosis and gene expression in bovine mammary epithelial cells[J]. *Animal Production Science*, 2015, 56(5):918-926.
- [25] DAI W T, ZOU Y X, WHITE R R, et al. Transcriptional profiles of the bovine mammary gland during lactation and the dry period[J]. *Functional & Integrative Genomics*, 2018, 18(2):125-140.
- [26] DADO-SENN B, SKIBIEL A L, FABRIS T F, et al. RNA-Seq reveals novel genes and pathways involved in bovine mammary involution during the dry period and under environmental heat stress[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8:11096.
- [27] MIN L, ZHENG N, ZHAO S G, et al. Long-term heat stress induces the inflammatory response in dairy cows revealed by plasma proteome analysis[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2016, 471(2):296-302.
- [28] SHAHZAD K, AKBAR H, VAILATI-RIBONI M, et al. The effect of calving in the summer on the hepatic transcriptome of Holstein cows during the periparturition period[J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(8):5401-5413.
- [29] MIN L, CHENG J B, SHI B L, et al. Effects of heat stress on serum insulin, adipokines, AMP-activated protein kinase, and heat shock signal molecules in dairy cows[J]. *Journal of Zhejiang University-Science B*, 2015, 16(6):541-548.
- [30] 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.
- [31] LI Q L, YANG C H, DU J, et al. Characterization of miRNA profiles in the mammary tissue of dairy cattle in response to heat stress[J]. *BMC Genomics*, 2018, 19(1):975.
- [32] DO AMARAL B C, CONNOR E E, TAO S, et al. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2011, 94(1):86-96.
- [33] TAO S, MONTEIRO A P A, THOMPSON I M, et al. Effect of late-gestation maternal heat stress on growth and immune function of dairy calves[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(12):7128-7136.
- [34] ZHENG Y, CHEN K L, ZHENG X M, et al. Identification and bioinformatics analysis of microRNAs associated with stress and immune response in serum of heat-stressed and normal Holstein cows[J]. *Cell Stress and Chaperones*, 2014, 19(6):973-981.
- [35] MIN L, CHENG J B, ZHAO S G, et al. Plasma-based proteomics reveals immune response, complement and coagulation cascades pathway shifts in heat-stressed lactating dairy cows[J]. *Journal of Proteomics*, 2016, 146:99-108.
- [36] 马露. 基于组学技术分析日粮碳水化合物平衡及热应激对奶牛机体代谢的影响机制[D]. 博士后研究报告. 北京: 中国农业科学院, 2017:33-47.
- [37] DEBERARDINIS R J, LUM J J, HATZIVASSILIOU G, et al. The biology of cancer: metabolic reprogramming fuels cell growth and proliferation[J]. *Cell Metabolism*, 2008, 7(1):11-20.
- [38] MA L, YANG Y X, ZHAO X W, et al. Heat stress induces proteomic changes in the liver and mammary tissue of dairy cows independent of feed intake: an iTRAQ study[J]. *PLoS One*, 2019, 14(1):e0209182.
- [39] LI L, WANG Y R, LI C M, et al. Proteomic analysis to unravel the effect of heat stress on gene expression and milk synthesis in bovine mammary epithelial cells[J]. *Animal Science Journal*, 2017, 88(12):2090-2099.

Molecular Mechanism for Milk Protein Content Decreasing of Dairy Cows Caused by Heat Stress during Summer

MIN Li LI Dagang TONG Xiong WANG Gang*

(*Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, State Key Laboratory of Livestock and Poultry Breeding, Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China, Ministry of Agriculture, Guangdong Public Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou 510640, China*)

Abstract: Heat stress is one of the important factors restricting the development of dairy industry during summer. Heat stress causes the decreasing of milk protein content significantly, which seriously restricts the quality of milk. This review focused on the perspective of amino acid metabolism and transport in order to analyze the reasons for the decreasing of milk protein content, illuminated the effects of heat stress on the milk protein synthesis signaling pathways and apoptosis-related proteins in mammary gland, analyzed the physiological changes of cows after heat stress from gene and protein levels and revealed its molecular mechanism, in order to provide theoretical foundations and bases to alleviate the “milk protein decrease syndrome” of heat-stressed dairy cows during summer. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(3):983-988]

Key words: heat stress; dairy cows; mammary gland; protein synthesis