

# 慢性热应激对放牧肉牛血液生化指标、抗氧化能力及免疫功能的影响

陈浩<sup>1</sup> 王纯洁<sup>2</sup> 斯木吉德<sup>1</sup> 张晨<sup>1</sup> 武思同<sup>1</sup> 徐萍<sup>1</sup>  
曹佳明<sup>1</sup> 刘飞鸿<sup>1</sup> 敖日格乐<sup>1\*</sup>

(1. 内蒙古农业大学 动物科学学院, 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古农业大学 兽医学院, 呼和浩特 010018)

**摘要** 为研究慢性热应激对放牧肉牛血液生化指标、抗氧化能力及免疫功能的影响,在内蒙古阿鲁科尔沁旗巴彦温都尔草原选取体况相近、体质健康的放牧西门塔尔母牛20头,根据放牧草场环境温度湿度的变化,将试验期划分为热应激期和热应激恢复期,并于各试验期最后一天清晨进行血液采样,用ELISA方法测定血清激素、抗氧化指标以及血清免疫球蛋白和白细胞介素含量。结果显示:1)慢性热应激对放牧肉牛血清激素含量有显著影响。与热应激恢复期相比,热应激状态下肉牛血清中三碘甲状腺原氨酸(T<sub>3</sub>)、甲状腺素(T<sub>4</sub>)、葡萄糖(GLU)、胰岛素(INS)和胰岛素样生长因子-1(IGF-1)含量显著下降( $P < 0.05$ );尿素氮(BUN)有下降的趋势( $P > 0.05$ )。2)热应激对放牧肉牛免疫功能有显著影响。与热应激恢复期相比,热应激状态下肉牛血清中免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白G(IgG)、免疫球蛋白M(IgM)和白细胞介素-2(IL-2)含量显著下降( $P < 0.05$ ),白细胞介素-1 $\beta$ (IL-1 $\beta$ )和白细胞介素-6(IL-6)含量显著升高( $P < 0.05$ )。3)慢性热应激对放牧肉牛抗氧化功能有显著影响。与热应激恢复期相比,热应激状态下肉牛血清中总抗氧化能力(T-AOC)和超氧化物歧化酶(SOD)活性显著降低( $P < 0.05$ ),丙二醛(MDA)含量显著升高( $P < 0.05$ )。综上所述,慢性热应激降低了放牧肉牛的免疫功能和抗氧化能力,对肉牛机体造成了一定的损伤;慢性热应激对放牧肉牛的内分泌激素水平有较大的影响,这提示肉牛的内分泌系统通过自身调节以提高机体对热应激的适应能力。

**关键词** 西门塔尔牛; 慢性热应激; 血液生化指标; 免疫功能; 抗氧化能力

中图分类号 S823.9

文章编号 1007-4333(2021)02-0061-09

文献标志码 A

## Effects of chronic heat stress on blood biochemical index, immune function and antioxidant capacity of grazing beef cattle

CHEN Hao<sup>1</sup>, WANG Chunjie<sup>2</sup>, Simujide<sup>1</sup>, ZHANG Chen, WU Sitong, XU Ping,  
CAO Jiaming, LIU Feihong, Aorigele<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Veterinary Medical College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

**Abstract** In order to study the effects of chronic heat stress on blood biochemical index, antioxidant capacity and immune function of grazing beef cattle, a total of 20 healthy Simmental cattles were selected from Bayanwenduer grassland in Arukerqin Banner, Inner Mongolia. According to the changes of temperature and humidity in grazing grassland, the experimental period was divided into heat stress period and heat stress recovery period. Blood samples were taken on the morning of the last day of each experiment period. Serum hormones, antioxidant indexes, serum immunoglobulin and interleukin content were measured by ELISA. The results showed that: 1) Chronic heat stress had significant effect on serum hormones of grazing beef cattle. Compared with the recovery period of heat stress, the contents of triiodothyronine (T<sub>3</sub>), thyroxine (T<sub>4</sub>), glucose (Glu), insulin (INS) and insulin-like growth factor-1 (IGF-1)

收稿日期: 2020-05-11

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0501700), 内蒙古自治区草原英才工程

第一作者: 陈浩, 博士研究生, E-mail: 1120644355@qq.com

通讯作者: 敖日格乐, 教授, 主要从事肉牛生产与产品品质研究, E-mail: aori6009@163.com

in serum of beef cattle were significantly decreased ( $P < 0.05$ ). The content of urea nitrogen (BUN) also showed a descending trend ( $P > 0.05$ ). 2) Heat stress had significant effect on immune function of grazing beef cattle. Compared with the recovery period of heat stress, the contents of immunoglobulin A (IGA), immunoglobulin G (IgG), immunoglobulin M (IgM) and interleukin-2 (IL-2) were significantly decreased ( $P < 0.05$ ), while the contents of IL-1 $\beta$  and IL-6 were significantly increased ( $P < 0.05$ ). 3) Chronic heat stress had a significant effect on antioxidant function of grazing beef cattle. Compared with the recovery period of heat stress, the total antioxidant capacity (T-AOC) and superoxide dismutase (SOD) activities of beef cattle were significantly decreased ( $P < 0.05$ ), and the content of malondialdehyde (MDA) was significantly increased ( $P < 0.05$ ). In conclusion, chronic heat stress reduced the immune function and antioxidant capacity of grazing beef cattle, and caused certain damage to the beef cattle body. Chronic heat stress had a great impact on the endocrine hormone level of grazing beef cattle, suggesting that the endocrine system of beef cattle could improve the adaptability to heat stress through self-regulation.

**Keywords** Simmental cattle; chronic heat stress; blood biochemical index; immune function; antioxidant capacity

当动物产生的热负荷超出其散热能力时,机体所做出非特异性反应总和被称为热应激<sup>[1]</sup>。随着全球气候变暖和养殖业集约化程度的加大,热应激给畜牧业生产和经济发展造成了巨大的损失。Ferreira 等<sup>[2]</sup>研究指出热应激对美国奶牛产业每年造成了近 20 亿美元的损失;还有学者报道高温高湿环境所引发的热应激导致发展中国家养殖业的生产效率下降 25%<sup>[3]</sup>。根据应激的强度和持续时间可分为急性和慢性热应激,急性热应激通常强度较大,持续时间为 3~24 h;而慢性热应激的应激强度较为温和,且持续时间较长;通常由季节变化所引起的较温和的热应激属于慢性热应激,持续时间较长且在畜禽养殖生产中普遍发生。大量学者通过比较不同季节家畜生产性能的差异研究发现,与冬、春两季相比,夏季高温高湿环境可造成奶牛乳品质显著下降、繁殖性能降低以及疾病发生率升高等危害<sup>[4-5]</sup>。

当动物遭受应激时,其机体内分泌系统可通过多种激素调控机体的生理功能以维持内环境的相对稳定。有研究发现处于热应激状态下的奶牛甲状腺机能减退以减少机体产热<sup>[6]</sup>。黄牛遭受热应激侵袭时,其甲状腺激素分泌量显著降低<sup>[7]</sup>。当环境温度达到 35℃时,奶牛血清中的甲状腺激素含量显著降低 65%,极大降低了用以维持机体正常生理活动的甲状腺机能<sup>[8]</sup>。此外,热应激还可引起动物机体内自由基增多,破坏体内的抗氧化酶系统平衡,进而导致抗病力下降引发各种病理症状。据研究报道热应激可导致山羊的免疫功能和抗氧化能力显著下降<sup>[9]</sup>。也有研究表明热应激状态下肉鸡的抗氧化能力和平均日增重均显著下降<sup>[10]</sup>。目前,国内有关家畜热应激的研究主要集中于南方高温高湿环境所造成的严重热应激。董晓霞等<sup>[11]</sup>研究发现北京地区

的奶牛每年有 130 d 以上处于热应激状态;徐明等<sup>[12]</sup>通过研究呼和浩特地区奶牛舍内温湿度年度变化规律,结果显示全年内奶牛共有 144 d 处于热应激期。

内蒙古草原夏季常出现极端高温天气,局部地区最高气温可超过 40℃,而放牧肉牛在无遮阴处的草原上,极易遭受热应激的侵袭<sup>[13]</sup>。但目前关于内蒙古地区反刍动物热应激的研究多数集中于奶牛和羊,研究表明,热应激导致奶牛和羊的采食量下降,进而引起营养代谢病发病率升高并降低其生产性能,尚未有内蒙古地区肉牛热应激的相关研究。因此,本研究以放牧西门塔尔母牛为试验对象,探讨慢性热应激对放牧条件下西门塔尔母牛血液指标、免疫指标及抗氧化指标的影响,旨在为夏季放牧肉牛热应激相关研究提供数据支持和理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本试验在内蒙古自治区赤峰市阿鲁科尔沁旗巴彦温都尔草原的牧户家庭牧场进行,选取 20 头体况相近的健康西门塔尔母牛,全部试验牛均在同一天然草场自然放牧(牧草营养成分见表 1),自由饮水(草场内有天然河流)。试验分为热应激期(2019 年 7 月 15 日—8 月 5 日)和热应激恢复期(2019 年 8 月 6 日—8 月 25 日)2 个阶段。

### 1.2 综合指数(CCI)测定

本次试验是以在天然草场全年自然放牧的肉牛为研究对象,所测的环境指标均为草场自然环境中的温度和相对湿度。试验期间,测定每天 8:00、14:00 以及 20:00 时放牧草场的温度、相对湿度和风速,记录日照时间并根据 Mader 等<sup>[14]</sup>提出的综合

表 1 放牧草场牧草养分

Table 1 General nutrients of grazing pasture

项目 Item	试验初期含量/% Content on initial trial	试验末期含量/% Content on ending trial	标准差 SD	P 值 P-value
干物质 Dry matter	42.48	43.55	0.79	0.52
粗蛋白 Crude protein	10.89	10.64	0.22	0.17
粗脂肪 Ether extract	3.17	3.22	0.07	0.46
酸性洗涤纤维 ADF	33.19	33.78	1.41	0.55
中性洗涤纤维 NDF	48.30	48.56	0.69	0.37

注：数据均为风干基础测定。

Note: Data are based on air dry basis measurement.

指数(Comprehensive climate index, CCI)计算公式  
计算牧场的 CCI:

$$CCI = T + RH + WS + RAD$$

式中:  $T$  为环境温度,  $RH$  为环境湿度校正数,  $WS$  为风速校正数,  $RAD$  为辐射校正数。

### 1.3 血清制备和血液生化指标测定

分别于试验期的最后一天清晨出牧前, 颈静脉采集所有试验牛非抗凝血 10 mL, 室温静置 0.5 h 后 3 500 r/min 离心 10 min, 吸取上清液分装至 1.5 mL 离心管中, 分离出的血清立即置于液氮罐中保存, 带回实验室于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中保存待测定。甲状腺素、三碘甲状腺原氨酸、生长激素、胰岛素样生长因子、尿素氮、葡萄糖、胰岛素和胰高血糖素含量检测试剂盒购自北京华英生物技术研究所; 总抗

氧化能力、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶、丙二醛以及免疫球蛋白测定试剂盒均购自南京建成生物工程研究所, 测定过程均严格按照试剂盒说明书进行操作。

### 1.4 统计分析

试验数据由 Excel 2010 处理后, 采用 SPSS 19.0 软件进行配对样本  $T$  检验(Student's  $T$  test), 并进行显著性检验, 以  $P < 0.05$  为差异显著性标准, 结果均以平均值  $\pm$  标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 牧草营养成分和综合指数测定结果

由表 2 可知, 在试验第一阶段草场最高温度达到  $39.60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 平均温度为  $30.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , CCI 在此期间平

表 2 不同试验期草场温湿度及 CCI

Table 2 Temperature, humidity and CCI of grassland in different experimental periods

项目 Item		热应激期 Heat stress period	热应激恢复期 Heat stress recovery period
温度/ $^{\circ}\text{C}$ Temperature	最低 Min	18.90	6.70
	最高 Max	39.60	28.60
	平均值 Average	30.40	20.30
相对湿度/% Relative humidity	最低 Min	64.30	42.20
	最高 Max	86.30	74.10
	平均值 Average	76.40	53.90
综合指数 CCI	最低 Min	17.37	5.14
	最高 Max	33.19	21.33
	平均值 Average	38.77	23.63

均高达 38.77,表明此阶段的西门塔尔牛遭受热应激侵袭;而试验第二阶段草场最高温度为 28.60 °C,平均温度为 20.30 °C,CCI 为 23.63,均未达到肉牛产生热应激的临界值;且根据表 1 显示试验期间牧草营养成分无显著变化,符合试验要求,可进行西门塔尔牛免疫及抗氧化功能的比较研究试验。

## 2.2 慢性热应激对放牧牛血液生化指标的影响

慢性热应激对放牧牛血清激素的影响见表

3。由表 3 可知,慢性热应激导致放牧牛平均日增重显著降低,且对放牧牛血清激素含量有显著影响。与热应激恢复期相比,热应激期牛血清 T3、T4、GLU、INS 和 IGF-1 含量显著降低( $P < 0.05$ );热应激状态下放牧牛血清中 BUN 含量有升高的趋势,但差异不显著( $P > 0.05$ );GH 和 GC 含量在热应激和热应激恢复期差异不显著( $P > 0.05$ )。

表 3 西门塔尔牛血清激素测定

Table 3 Detection of serum hormone of Simmental cattle

指标 Index	热应激期 Heat stress period	热应激恢复期 Heat stress recovery period	标准差 SD	P 值 P-value
平均日增重/(kg/d) ADG	0.89	1.12	0.07	0.032
三碘甲腺原氨酸 T3/(nmol/L)	3.92	5.02	0.14	<0.01
甲状腺激素 T4/(nmol/L)	74.54	95.89	3.02	<0.01
生长激素/(ng/mL) GH	6.32	6.19	0.11	0.577
胰岛素样生长因子-I/(ng/mL) IGF-1	104.23	125.45	3.34	<0.01
尿素氮/(mmol/L) BUN	11.02	9.98	0.15	0.163
葡萄糖/(nmol/L) GLU	4.26	5.25	0.14	<0.01
胰岛素/(mIU/L) INS	14.05	18.79	0.65	<0.01
胰高血糖素/(pg/mL) GC	165.02	159.41	2.17	0.207

## 2.3 慢性热应激对放牧牛抗氧化指标和免疫指标的影响

由表 4 和表 5 可知,慢性热应激对放牧牛血清抗氧化指标和免疫指标有显著影响。与热应激恢复期相比,T-AOC、SOD 活性和血清中 IgA、IgG、IgM 和 IL-2 含量显著降低( $P < 0.05$ );热应激期牛血清 IL-1 $\beta$ 、IL-6 和 MDA 含量显著增加( $P < 0.05$ );而 IL-4 含量和 GSH-Px 活性在热应激和热应激恢复期差异不显著( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 慢性热应激对肉牛血液生化指标的影响

肉牛热应激是由环境温度、湿度、空气对流及自身产热等多种因素引起,其中环境温湿度是最主要的影响因素,因此综合环境温湿度、风速及日照时间的 CCI 是判断放牧条件下肉牛是否遭受热应激的重要指标<sup>[15]</sup>。一般认为当 CCI>25 时肉牛处于热应激状态;奶牛生产的可适应温度范围为-0.5~20.0 °C,

表 4 西门塔尔牛血清抗氧化指标测定

Table 4 Detection of serum antioxidant indexes of Simmental cattle

指标 Index	热应激期 Heat stress period	热应激恢复期 Heat stress recovery period	标准差 SD	P 值 P-value
丙二醛/(nmol/mL) MDA	8.48	7.65	0.17	<0.01
总抗氧化能力/(U/mL) T-AOC	9.28	12.97	0.53	<0.01
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/L) GSH-Px	112.65	114.93	1.64	0.507
超氧化物歧化酶/(U/mL) SOD	71.01	92.04	3.06	<0.01

表5 西门塔尔牛血清免疫指标测定

Table 5 Detection of serum immune indexes of Simmental cattle

指标 Index	热应激期 Heat stress period	非应激期 Heat stress recovery period	标准差 SD	P 值 P-value
白介素-1 $\beta$ /(pg/mL) IL-1 $\beta$	373.22	286.42	14.88	0.001
白介素-2/(pg/mL) IL-2	644.71	793.79	24.39	<0.01
白介素-4/(pg/mL) IL-4	21.32	22.87	0.59	0.201
白介素-6/(pg/mL) IL-6	122.59	96.08	3.74	<0.01
免疫球蛋白 A/( $\mu$ g/mL) IgA	140.77	184.83	6.05	<0.01
免疫球蛋白 G/( $\mu$ g/mL) IgG	178.49	260.22	11.11	<0.01
免疫球蛋白 M/( $\mu$ g/mL) IgM	85.15	96.97	2.30	0.005

肉牛生长适宜温度是5~25℃<sup>[16-18]</sup>。本试验研究结果显示,试验前期草场平均温度为30.40℃,CCI达到28.77,已超出牛产生热应激的临界值,试验牛处于热应激状态;同理放牧牛在试验后期处于非应激状态。本试验根据热应激反应的持续时间,判定试验前期为慢性热应激期。

T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>在动物机体能量代谢和生长发育过程中具有重要的作用<sup>[19]</sup>。何钦等<sup>[20]</sup>研究表明,热应激状态下奶牛血清中T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>浓度显著下降,并导致营养物质消化率和乳品质降低;LARA等<sup>[21]</sup>通过研究慢性热应激状态下肉鸡生产性能的变化,发现慢性热应激显著降低了肉鸡的生产性能和血清中T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>浓度,与本试验结果一致,这表明慢性热应激可导致放牧肉牛机体代谢能力降低,减少机体产热以适应高温环境。此外,本研究发现热应激状态下放牧肉牛血清中IGF-1含量显著降低,这可能与高温环境下机体代谢水平的下降所引起的。血清中BUN是蛋白质代谢的终末产物,其含量的高低可反映动物生长发育和营养状况<sup>[22]</sup>。Ikuta等<sup>[23]</sup>研究发现,奶牛血清中BUN含量和温度的升高呈显著正相关,这可能由高温环境下肉牛食欲降低、采食量下降导致其无法获取足够能量,氨基酸代谢加强导致血清中BUN升高。热应激状态下放牧肉牛血清BUN含量有升高的趋势,但差异不显著,这可能由动物遭受慢性热应激时,机体仍以糖类和脂肪分解为机体供能。有学者研究发现动物血清GLU含量随环境温度的升高而降低<sup>[24-25]</sup>。血液中的GLU可通过氧化释放或转化能量方式为动物机体供能调节其生命活动;INS是由胰岛B细胞分泌

的一类可调节GLU合成和转化作用的蛋白质激素<sup>[26]</sup>。本试验研究结果显示热应激状态下肉牛血清中GLU和INS含量均显著下降,这可能是由于母牛机体为调节血糖浓度而减少了INS的分泌量。

### 3.2 慢性热应激对西门塔尔牛抗氧化能力的影响

动物机体自身具有广泛的抗氧化防御机制,T-AOC、GSH-Px及SOD均是酶促体系中的主要抗氧化酶<sup>[27]</sup>。GSH-Px可通过清除体内过多的自由基以抑制机体脂质过氧化;SOD是机体内一种重要的抗氧化酶,在清除自由基和防止生物大分子损伤等方面具有重要作用;T-AOC代表机体防御体系的抗氧化能力<sup>[28-30]</sup>。由于抗氧化酶系统在不断地清除体内产生的自由基,因此自由基的产生和清除处于动态平衡中,从而保护机体在正常生长代谢过程中免受氧化应激损伤;若机体内的自由基不能被及时清除,体内积累的大量自由基可通过破坏细胞的结构和功能,使生物膜中的不饱和脂类发生脂质过氧化并形成脂质过氧化物,其最终产物即是MDA,因此其含量可间接反映自由基产生的情况和组织细胞的损伤程度<sup>[31]</sup>。动物机体生物膜功能一旦遭到破坏,将进而损伤蛋白质及核酸等生物大分子,导致机体代谢功能发生紊乱。当动物遭受应激时,其抗氧化酶系统平衡被打破,机体需耗费大量的抗氧化酶进行消除过多的自由基<sup>[32]</sup>。据研究结果表明,在遭受慢性热应激侵袭时,山羊血清SOD和GSH-Px等抗氧化酶活性显著下降,且MDA含量增加<sup>[33]</sup>。在肉牛研究中也发现,夏季肉牛血清中的抗氧化酶活性极显著低于春季<sup>[34]</sup>。白丹丹<sup>[35]</sup>通过研究季节变化对三河牛机体抗氧化能力的影响,也得出了类似

的结果。本研究发现,热应激状态下西门塔尔牛血清中MDA含量相比于热应激恢复期显著升高,T-AOC和SOD活性显著降低,这与前人的研究结果一致。由于热应激可以导致诱导机体内自由基的产生量增加,为清除体内产生的过多自由基,西门塔尔母牛血清中GSH-Px和SOD被大量消耗,进而加快机体组织的脂质过氧化,导致其终产物MDA含量显著升高,西门塔尔母牛体内抗氧化酶系统平衡因此被打破,导致其T-AOC显著下降,这些结果均表明慢性热应激对西门塔尔母牛机体造成了一定的氧化损伤。因此,在夏季放牧草场中需要为放牧肉牛提供维生素<sup>[36]</sup>及矿物质<sup>[37]</sup>舔砖供肉牛舔食,以缓解高温侵袭所导致的肉牛抗氧化能力下降。

### 3.3 慢性热应激对西门塔尔牛免疫功能的影响

免疫球蛋白是一类当动物受到抗原刺激后产生的用以清除抗原的球蛋白,IgA、IgG和IgM可在机体特异性免疫中发挥重要作用<sup>[38]</sup>。Wu等<sup>[39]</sup>研究发现动物机体内免疫球蛋白的含量可能取决于应激强度、持续时间以及动物品种和体况。据研究发现,不同持续时间的热应激均可导致山羊血清中IgA、IgG和IgM含量显著降低,这表明在高温环境下,山羊机体的免疫功能受到抑制,严重损害了其体液免疫<sup>[9,33]</sup>。此外,热应激可导致肉牛血清中IgG含量显著下降<sup>[40]</sup>。本研究表明,西门塔尔母牛在慢性热应激期间血清中IgA、IgG和IgM含量显著降低,这与上述研究结果一致,表明慢性热应激抑制了肉牛的体液免疫功能。

IL-2是一种主要由活化的T淋巴细胞产生的多效性细胞因子,具有广泛的生理与病理效应,可促进T细胞增殖分化,增强T细胞和NK细胞活性,机体内IL-2含量的多少可以间接反映出机体的免疫应答水平<sup>[41]</sup>。IL-4可诱导B细胞成熟并刺激其产生免疫球蛋白,对体液免疫具有重要调节作用<sup>[42]</sup>。有研究表明,慢性热应激状态下,山羊血清中IL-2含量有下降的趋势<sup>[33]</sup>。本研究发现,热应激状态下西门塔尔母牛血清中IL-2含量显著低于热应激恢复期,与马燕芬等<sup>[40]</sup>研究结果一致,表明慢性热应激可能降低了动物机体的免疫应答。然而大量关于急性热应激对畜禽血清IL-2水平的影响结果表明,急性热应激可导致血清IL-2含量显著增加<sup>[43-44]</sup>。这表明IL-2含量可能与热应激的持续时间相关,有必要设置不同梯度的热应激持续时间进行深入研究。Peli等<sup>[45]</sup>研究表明,肉牛在遭受慢性

热应激侵袭时血清中IL-4含量显著升高,也有研究发现,慢性热应激状态下肉牛血清IL-4含量无显著变化<sup>[46]</sup>。本研究发现,热应激状态下西门塔尔牛血清中IL-4含量有下降的趋势,与上述结果热应激状态下动物血清中IL-4含量变化不一致,这可能与试验动物的品种或热应激状态下试验动物所处环境不同有关,有必要进行深入研究。促炎细胞因子IL-1 $\beta$ 和IL-6的少量分泌可局部作用于免疫细胞,增强免疫反应,以缓解应激对机体造成的损伤,但过量分泌可造成组织损伤进而损害机体的免疫功能<sup>[47-48]</sup>。本研究表明,在遭受热应激侵袭时,肉牛血清中IL-1 $\beta$ 和IL-6含量均显著增加,这与前人的研究结果一致。急性或者慢性热应激均可导致畜禽血清IL-1 $\beta$ 和IL-6含量显著增加,这可能是由于免疫细胞细胞膜中的不饱和脂肪酸对机体氧化应激高度敏感,因此,当免疫细胞受到氧化应激后免疫功能下降,进而导致动物机体发生了炎症反应<sup>[49-50]</sup>。

## 4 结 论

慢性热应激降低了放牧肉牛的免疫功能和抗氧化能力,对肉牛机体造成了一定的损伤;慢性热应激对放牧肉牛的内分泌激素水平有较大的影响,表明肉牛可通过内分泌系统自身调节来提高机体对热应激的适应能力。

## 参考文献 References

- [1] 颜志辉. 极端温度对奶牛生产与生理影响及其调控措施研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014  
Yan Z H. Research of extreme temperatures on the production and physiological conditions of Holstein dairy cows and regulation[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [2] Ferreira F C, Gennari R S, Dahl G E, De Vries A. Economic feasibility of cooling dry cows across the United States[J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(12): 9931-9941
- [3] Mehla K, Magotra A, Choudhar Y J, Singh A K, Mohanty A. K, Upadhyay R C, Srinivasan S, Gupta P, Choudhary N, Antony B, Khan F. Genome-wide analysis of the heat stress response in Zebu (Sahiwal) cattle[J]. *Gene*, 2014, 533(2): 500-507
- [4] St-Pierre N R, Cobanov B, Schnitkey G. Economic losses from heat stress by US livestock industries[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(S): E52-E77
- [5] Tao S, Dahl G E. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves[J]. *Journal of*

- Dairy Science*, 2013, 96(7): 4079-4093
- [6] Johnson H D, Vanjonack W J. Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals [J]. *Journal of Dairy Science*, 1976, 59(9): 1603-1617
- [7] 蒲启建, 王之盛, 彭全辉, 张灿, 景小平, 胡瑞, 邹华围. 热应激对不同品种(系)青年肉牛生产性能、营养物质表观消化率及血液生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(9): 3120-3131
- Pu Q J, Wang Z S, Peng Q H, Zhang C, Jing X P, Hu R, Zou H W. Effects of heat stress on performance, nutrient apparent digestibility and blood biochemical indices of different breeds of young beef cattle[J]. *Animals Journal of Nutrition*, 2017, 29(9): 3120-3131 (in Chinese)
- [8] 韩正康. 家畜生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002
- Han Z K. *Livestock Physiology*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2002 (in Chinese)
- [9] 彭孝坤, 赵天, 黄晓瑜, 张宇, 邢晓南, 张恩平. 急性热应激对山羊血液生化指标及血淋巴细胞热休克蛋白70家族基因表达的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2019, 50(6): 1219-1229
- Peng X K, Zhao T, Huang X Y, Zhang Y, Xing X N, Zhang E P. Effects of acute heat stress on blood biochemistry indexes and expression of HSP70 family genes in blood lymphocytes in goats[J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2019, 50(6): 1219-1229 (in Chinese)
- [10] 王松波, 邓琳, 赵婕, 朱晓彤, 束刚, 王丽娜, 高萍, 江青艳. 热应激对肉鸡抗氧化能力及腓肠肌纤维类型的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2015, 36(6): 23-28
- Wang S B, Deng L, Zhao J, Zhu X T, Shu G, Wang L N, Gao P, Jiang Q Y. Effects of heat stress on antioxidant capacity and gastrocnemius muscle fiber types of broilers[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2015, 36(6): 23-28 (in Chinese)
- [11] 董晓霞, 刘浩淼, 张超, 于海鹏, 马翀, 易晓燕, 李哲敏. 北京市气候变化对奶牛冷热应激的影响[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(16): 198-205
- Dong X X, Liu H M, Zhang C, Yu H P, Ma C, Yi X Y, Li Z M. Impact of climate change on heat and cold stress of cow breeding in Beijing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(16): 198-205 (in Chinese)
- [12] 徐明, 吴淑云, 黄常宝, 石小平. 呼和浩特地区牛舍内温湿度变化规律和奶牛冷热应激判定[J]. *家畜生态学报*, 2015, 36(2): 54-60
- Xu M, Wu S Y, Huang C B, Shi X P. Cold or heat stress determination of barn cows on temperature and humidity index in Hohhot[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2015, 36(2): 54-60 (in Chinese)
- [13] 史建国, 刘克礼, 何文清, 严昌荣. 内蒙古呼和浩特地区近40年来气候变化特征分析[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2007(4): 39-43
- Shi J G, Liu K L, He W Q, Yan C R. Analysis on the characteristics of climate change in Hohhot, Inner Mongolia in recent 40 years[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition*, 2007, 28(4): 39-43 (in Chinese)
- [14] Mader T L, Johnson L J, Gaughan J B. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals[J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88(6): 2153-2165
- [15] Hicks T A, Mcglone J J, Whisnant C S, Kattesh H G, Norman R L. Behavioral, endocrine, immune, and performance measures for pigs exposed to acute stress [J]. *Journal of Animal Science*, 1998, 76(2): 474-483
- [16] Jordan E R. Effects of heat stress on reproduction[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(S): E104-E114
- [17] 牛欢. 冬季牛舍类型和饲养方式对环境及肉牛行为的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015
- Niu H. Effect of barn type and feeding technology on barn environment a behavior of beef cattle in the winter [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015 (in Chinese)
- [18] Ingraham R H, Gillette D D, Wagner W D. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate[J]. *Journal of Dairy Science*, 1974, 57(4): 476-481
- [19] 陈浩, 敖日格乐, 王纯洁, 斯木吉德, 阿日查, 张剑, 刘波. 慢性冷应激对放牧蒙古母牛血清酶活力、蛋白代谢及血清激素分泌的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2019, 24(10): 47-54
- Chen H, Ao G, Wang C J, S, A, Zhang J, Liu B. Effects of chronic cold stress on serum enzyme activity, protein metabolism and serum hormone secretion of grazing Mongolian cows[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2019, 24(10): 47-54 (in Chinese)
- [20] 何钦. 热应激对不同泌乳阶段奶牛生产性能及其营养代谢的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2012
- He Q. Effects of heat stress on the performance and nutrient metabolism of dairy cows in different lactation stages [D]. Chongqing: Southwest University, 2012 (in Chinese)
- [21] Fulton R W, Teeter R G, Cummins J M, Georgiades J A, Hutcheson D P. The use of interferon modulates the negative effects of heat stress on poultry production [J]. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 1993, 41(3/4): 209-212
- [22] 方振华. 两种不同类型的能量饲料对泌乳奶牛产奶性能及血液生化指标的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008
- Fang Z H. Effects of two kinds of different type energy feed on lactation performance and plasma biochemical traits of dairy cows [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2008 (in Chinese)
- [23] Ikuta K, Okada K, Sato S, Yasuda J. Effects of heat stress on blood chemistry and hematological profiles in lactating dairy cows[J]. *Japanese Journal of Large Animal Clinics*, 2010, 1(4): 190-196
- [24] Scharf B, Carroll J A, Riley D G, Chase C C, Coleman S W,

- Keisler D H, Weaber R L, Spiers D E. Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) Bos taurus cattle during controlled heat challenge[J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88(7): 2321-2336
- [25] 吕晓伟. 慢性冷热应激对荷斯坦奶牛血清酶活力、内分泌激素水平及维持行为的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006
- Lv X W. The influence of chronic cold and heat stress on activity of enzyme, endocrine hormones and behavior in Holstein cows [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2006 (in Chinese)
- [26] 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
- Song D J, He Q, Yao Y C. Effects of heat stress on the production performance and serum hormone concentrations of dairy cows at different lactation stages[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(10): 2294-2302 (in Chinese)
- [27] Correa-Caldero A, ARMSTRONG D, Ray D, Denise S, Enns M, Howison C. Thermoregulatory responses of Holstein and brown swiss heat-stressed dairy cows to two different cooling systems[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2004, 48(3): 142-148
- [28] 刘庆华. 娟荷杂交牛耐热性能研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009
- Liu Q H. Study on heat tolerance of Jersey X Holstein dairy cows[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009 (in Chinese)
- [29] Siegel H S, Latimer J W. Interaction of high temperature and salmonella pullorum antigen concentration on serum agglutinin and corticosteroid responses in White Rock chickens [J]. *Poultry Science*, 1984, 63(12): 2483-2491
- [30] 崔恒敏, 陈怀涛. 动物红细胞免疫功能的研究进展[J]. *中国兽医科技*, 2003, 33(5): 23-27
- Cui H M, Chen H T. Review on research progress of erythrocytic immunological function in animals [J]. *Chinese Veterinary Science and Technology*, 2003, 33(5): 23-27 (in Chinese)
- [31] Akhalaya M Y, Platonov A G, Baizhumanov A A. Short-term cold exposure improves antioxidant status and general resistance of animals[J]. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2006, 141(1): 26-29
- [32] Shustanova T A, Bondarenko T I, Miliutina N P. Free radical mechanism of the cold stress development in rats[J]. *Rossiiskii Fiziologicheskii Zhurnal Imeni I. M. Sechenova*, 2004, 90(1): 73-82
- [33] 张灿, 王之盛, 彭全辉, 邹华围, 景小平, 蒲启建. 湿热应激对藏绵羊和山羊生长性能、抗氧化能力以及免疫功能的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(6): 2179-2187
- Zhang C, Wang Z S, Peng Q H, Zou H W, Jing X P, Pu Q J. Effects of moist-heat stress on growth performance, oxidant resistance and immunity of Tibetan sheep and goats [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(6): 2179-2187 (in Chinese)
- [34] 王玲, 罗宗刚, 蔡明成, 伏彭辉, 周沛, 左福元. 热应激对肉牛血清离子、酶活性、抗氧化及免疫指标的影响[J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2017, 42(12): 37-41
- Wang L, Luo Z G, Cai M C, Fu P H, Zhou P, Zuo F Y. Effect of heat stress on serum ionic concentration, enzymatic activity, antioxidant and immune index in beef cattle [J]. *Journal of Southwest Normal University: Natural Science Edition*, 2017, 42(12): 37-41 (in Chinese)
- [35] 白丹丹. 不同季节对三河牛血液生化指标及冷热应激相关基因表达的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017
- Bai D D. Effect of different seasons on blood biochemical indexes and related genes expression of cold and heat stress in Sanhe cattle [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [36] 石惠宇, 闫素梅. 维生素 A 对动物氧化应激的减缓作用机制[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(6): 2458-2464
- Shi H Y, Yan S M. Mitigation mechanism of vitamin A on oxidative stress in animals [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(6): 2458-2464 (in Chinese)
- [37] 陈志伟, 陈凯, 丁忠锋. 添加矿物质和缓冲剂对热应激奶牛的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2006(1): 30-32
- Chen Z W, Chen K, Ding Z F. Effects of adding minerals and buffers on heat-stressed dairy cows [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2006(1): 30-32 (in Chinese)
- [38] 韩建华, 程琦琦, 吴洁, 嵇巍, 邸茜, 张俊保, 金成, 苏薇. M 蛋白对免疫透射比浊法和免疫散射比浊法检测免疫球蛋白的干扰[J]. *检验医学*, 2019, 34(3): 197-201
- Han J H, Cheng X Q, Wu J, Ji W, Di Q, Zhang J B, Jin C, Su W. Interference of monoclonal immunoglobulin to immunoglobulin determination by immunoturbidimetry and nephelometry [J]. *Laboratory Medicine*, 2019, 34(3): 197-201 (in Chinese)
- [39] Wu Y N, Yan F F, Hu J Y, Chen H, Tucker C M, Green A R, Cheng H W. The effect of chronic ammonia exposure on acute-phase proteins, immunoglobulin, and cytokines in laying hens [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(6): 1524-1530
- [40] 马燕芬, 陈志伟. 热应激牛初乳对新生犊牛血清免疫指标的影响研究[J]. *饲料工业*, 2007(13): 26-28
- Ma Y F, Chen Z W. Effect of the heat stress bovine colostrums on immune index in newborn calves serum [J]. *Feed Industry*, 2007, 28(13): 26-28 (in Chinese)
- [41] 李倜宇. 壳聚糖对奶牛免疫功能的影响及其调节机理的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018
- Li Y Y. Effects of chitosan on the immune function in dairy cows and the underlying regulation mechanism [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [42] 蔡明成. 热应激对肉牛生理生化指标及外周血 microRNA 表



- 达水平的影响[D].重庆:西南大学,2014
- Cai M C. Effects of heat stress on physiological and biochemical indexes and expression levels of microRNA in peripheral blood[D].Chongqing: Southwest University, 2014 (in Chinese)
- [43] 韩爱云,左晓磊,姚清国,肖霄,马媛媛,张文娜.急性高温对肉鸡生理状态及细胞免疫的影响[J].江苏农业科学,2012,40(4):215-217
- Han A Y, Zuo X L, Yao Q G, Xiao X X, Ma Y Y, Zhang W N. Effects of acute high temperature on broiler physiology and cellular immunity[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(4): 215-217 (in Chinese)
- [44] 胡艳欣,余锐萍,张洪玉,郭延军,肖冲,刘风华.热应激后猪血清中IL-2、IFN- $\gamma$ 及TNF- $\alpha$ 水平的动态变化[J].畜牧兽医学报,2006,37(5):496-499
- Hu Y X, She R P, Zhang H Y, Guo Y J, Xiao C, Liu F H. Studies on the dynamic changes of the level of IL-2, IFN- $\gamma$  and TNF- $\alpha$  in porcine serum after heat stress [J]. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2006, 37(5): 496-499 (in Chinese)
- [45] Peli A, Scagliarini L, Bergamini P F, Prosperi A, Bernardini D. Influence of heat stress on the immunity in growing beef cattle[J]. *Large Animal Review*, 2013, 19(5): 215-218
- [46] 胡煜,蔡明成,王玲,谭林,毕武,张佳卉,左福元.热应激状态下牛血清生化指标、miRNA表达变化及其相关性分析[J].畜牧兽医学报,2016,47(9):1840-1847
- Hu Y, Cai M C, Wang L, Tan L, Bi W, Zhang J H, Zuo F Y. The serum biochemical indexes and miRNA expression in cattle under heat stress and their correlation analysis [J]. *Journal of Animal Husbandry and Veterinary Sciences*, 2016, 47(9): 1840-1847 (in Chinese)
- [47] Yang Z J, Liu C, Zheng W J, Teng X H, Li S. The functions of antioxidants and heat shock proteins are altered in the immune organs of selenium-deficient broiler chickens [J]. *Biological Trace Element Research*, 2016, 169: 341-351
- [48] 魏凤仙,胡晓飞,张敏红,李绍钰,徐彬,蔺萍,孙全友,李浩.相对湿度和氨气应激对肉仔鸡血氨水平及细胞因子含量的影响[J].动物营养学报,2013,25(10):2246-2253
- Wei F X, Hu X F, Zhang M H, Li S Y, Xu B, Lin P, Sun Q Y, Li H. Effects of relative humidity and ammonia stress on plasma ammonia level and cytokine content of broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(10): 2246-2253 (in Chinese)
- [49] 于静,薛佳,胡艳欣,汪明.急性热应激对小鼠肺组织中热应激蛋白和细胞因子基因表达的影响[J].中国兽医杂志,2015,51(10):20-23
- Yu J, Xue J, Hu Y X, Wang M. The effects of acute heat stress on gene expression of several HSPs and cytokines in lung tissue of mice [J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2015, 51(10): 20-23 (in Chinese)
- [50] 熊嫣.温热环境因子及氨气对肉鸡健康的影响机制研究[D].北京:中国农业科学院,2017
- Xiong Y. Effects of the thermal environmental factors and ammonia on the broiler health [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017 (in Chinese)

责任编辑:秦梅