

## 热应激对绵羊行为及生理的影响

李富宽<sup>1,2</sup> 杨燕<sup>3</sup> 王慧<sup>2</sup> 吕慎金<sup>2\*</sup> 魏万红<sup>1\*</sup>

(1. 扬州大学 生物科学与技术学院, 江苏 扬州 225009;

2. 临沂大学 农林科学学院, 山东 临沂 276000;

3. 临沂市农科院, 山东 临沂 276012)

**摘要** 绵羊属恒温动物, 为保证健康、生存及繁殖需要, 其体温通常保持在一个较窄的生理范围。一般条件下绵羊会通过自身的散热和产热两种途径来缓冲热应激并维持自身热平衡。这种热平衡调节机制受下丘脑调控, 同时, 热应激会增加机体内部热并影响热交换的调控, 进而影响家畜的行为及生理机能, 并导致体重、平均日增重降低, 严重时可影响到家畜健康与繁殖。但这种影响会因品种、饲养方式及个体的不同而有所不同。

**关键词** 绵羊; 热应激; 体温调控; 行为; 生理

中图分类号 S858.26

文章编号 1007-4333(2018)02-0043-07

文献标志码 A

## Effect of heat stress on the behavior and physiology of sheep

LI Fukuan<sup>1,2</sup>, YANG Yan<sup>3</sup>, WANG Hui<sup>2</sup>, LV Shenjin<sup>2\*</sup>, WEI Wanhong<sup>1\*</sup>

(1. College of Bio-Science & Bio-Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. College of Agriculture and Forestry Science, Linyi University, Linyi 276000, China;

3. Linyi Academy of Agricultural Sciences, Linyi 276012, China)

**Abstract** Sheep belong to warm-blooded animals and their body temperature usually remain in a relative narrow physiological range to ensure the need of health, survival and reproduction. In general, the sheep can tolerance heat stress and keep their thermal equilibrium state by maintaining the balance of heat production and dissipation. The mechanism of heat adjustment in sheep is regulated by hypothalamus. Heat stress can increase body's internal heat, affect the control of heat exchange and then affect the behavior and physiology of sheep resulting in the decrease of body weight and average daily gain and affecting the health and reproduction of livestock. These effects are influenced by the breeds of sheep, the feeding model and individual variation. The effects of heat stress on the behavior and physiology of sheep were reviewed in this paper in order to provide references to reduce thermal stress damage, improve animal welfare and increase production.

**Keywords** sheep; heat stress; temperature control; behavior; physiology

高温是影响家畜生产、繁殖和福利的一个重要环境应激因子, 当家畜体温超过热中性区域<sup>[1]</sup>范围, 导致体热的产生量超过了散失量, 便会引起热应激<sup>[2]</sup>。热应激条件下家畜容易出现与环境之间的热量交换受阻, 进而导致中暑发生<sup>[3]</sup>。环境因子如高温、辐射、潮湿空气以及较低风速等都会直接或间接

引起动物热应激<sup>[4-6]</sup>。但哺乳动物在热应激条件下通常会有行为、生理、生化等机体的变化来缓冲热应激并维持自身的热平衡<sup>[7]</sup>。

绵羊属于恒温动物, 为保证身体健康、生存及繁殖需要, 其体温通常保持在一个较窄的生理范围<sup>[8]</sup>。绵羊的热平衡调节机制受下丘脑调控, 下丘脑通过

收稿日期: 2017-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31572448); 2017年家养动物种质资源平台运行服务项目; 山东省现代农业产业技术体系羊产业创新团队临沂综合试验站(SDAIT-10-14)

第一作者: 李富宽, 博士研究生, E-mail: lifukuan@lyu.edu.cn

通讯作者: 吕慎金, 教授, 主要从事动物行为遗传学研究, E-mail: lvshenjin@lyu.edu.cn

魏万红, 教授, 主要从事动物行为遗传学研究, E-mail: whwei@yzu.edu.cn

各种神经通路引起不同程度的内分泌和行为效应<sup>[9]</sup>。一般来说,热应激会增加动物机体内热并影响热交换的调控,进而影响家畜的生理机能,导致体重、平均日增重的降低并影响家畜的繁殖,但这同时也因品种、饲养方式及个体的不同而有所不同<sup>[10]</sup>。目前对绵羊热应激条件下行为及生理变化及相应机理研究报道较少,本研究主要论述了热应激对绵羊行为及生理的影响,以期减少热应激损伤,改善福利和提高生产提供参考。

## 1 热应激对绵羊行为的影响

### 1.1 行为变化

已有研究往往将动物日常行为的占比时间作为动物是否受到热应激的特征(如采食、躺卧、反刍及饮水等),这是因为热应激会影响动物的行为模式<sup>[11-12]</sup>。家养反刍动物主要是昼行性动物。然而,在极热气候条件下,放牧的反刍动物在白天往往趋向于躺卧并减少运动,在日出日落前或者夜间觅食,在白天寻找庇荫处。如果找不到庇荫处,动物就会不断的调整姿势以减少太阳照射面积进行更好的热交换。Zahner等<sup>[13]</sup>对奶牛的研究表明,环境温度升高会增加奶牛站立的次数。家养绵羊在环境温度升高时躺卧会明显增加,原因是相对于空气传导,大面积的与地面接触会更好的将体热散发出去并且耗能较少<sup>[14]</sup>。本实验室研究也表明高温下小尾寒羊的站立明显减少而躺卧明显增多( $P < 0.05$ ),在正常( $THI < 22.2$ , THI, 温湿指数<sup>[15]</sup>)、中度热应激( $22.2 \leq THI < 23.3$ )、严重热应激( $23.3 \leq THI < 25.6$ )和极度热应激条件下( $THI \geq 25.6$ )站立和躺卧的占比时间分别为45%和12%,32%和14%,35%和21%,24%和34%。绵羊是群居动物,在炎热条件下,它们往往会用唾液或鼻腔分泌物打湿它们的身体并减少饮食、伸展躯体以保持散热<sup>[16]</sup>。这些行为都是动物努力降低自身产热并提高对流和传导散热以适应热环境的特征。

### 1.2 呼吸变化

环境温度升高会使机体对氧的需求增加。温度每升高10℃机体对氧的消耗就会增加2~3倍<sup>[17]</sup>。为了满足机体对氧的需求,动物只有提高呼吸频率来增加肺的换气。然而,呼吸不只排出二氧化碳和吸收氧气,同时也会释放过量的热<sup>[18]</sup>。由于绵羊外部被毛,皮肤出汗远不如呼吸蒸发重要,因此水蒸发是热量散失的最重要通道<sup>[8]</sup>。非热应激条件下(气

温为12℃时)绵羊20%的体热是通过呼出的水汽带出的,而当环境温度达到35℃时这个值就增加到60%<sup>[19]</sup>。

呼吸频率可以作为衡量热应激一个重要指标。通常夏天绵羊的呼吸频率要远高于冬天<sup>[20]</sup>。高温下的呼吸也与空气湿度有关,当空气湿度较高时,呼吸频率也会增加,这可能与对温度感知的增加有关<sup>[21]</sup>。绵羊正常呼吸频率为25~30次/min,当呼吸频率达到40次/min以上就可以被认为是气喘,即绵羊开始通过呼出水汽进行散热。在热应激环境下,绵羊的呼吸频率明显升高<sup>[22]</sup>。本实验室对小尾寒羊的试验研究表明,成年公羊和母羊在不同热应激条件下,呼吸频率(次/min)分别为(35.7,37.4)、(38.5,41.2)、(51.8,61.2)、(87.7,63.8),可见随热应激指数增加呼吸频率明显升高并在极度热应激下达到了气喘的程度( $P < 0.05$ )。极度热应激下绵羊呼吸频率可以达到300次/min<sup>[14]</sup>,此时的呼吸可以带走其体内大量的热,并保护大脑免受高温的损伤,然而当气温继续升高并开始对呼吸形成抑制时候,呼吸率就会明显降低并趋于一个相对平衡的状态,达到155~200次/min,但这时候呼吸深度要比正常条件下重的多<sup>[23]</sup>。

### 1.3 心率变化

通常情况下,绵羊会通过血管的收缩或扩张调控流经皮肤的血流量来维持自身的热平衡。高温环境下动物首先会表现为心率升高<sup>[24]</sup>,导致从心脏到体表血液循环增加进而带动体热散失的增加,以及流经肺部的血液增加以支持通过强力呼吸的散热<sup>[25]</sup>,虽然此时的散热主要包括正常散热(即传导、对流及辐射)和潜在散热(体表水分的散失)两种方式<sup>[26]</sup>,但正常散热效果会随着环境温度的升高变的越来越差。对Barki绵羊来说,夏季心率明显高于冬季<sup>[27]</sup>。相似的心率变化在放牧绵羊中也存在<sup>[28]</sup>。但在极端高温条件下,由于代谢的降低心率也可能会出现降低。

## 2 热应激对采食及代谢的影响

### 2.1 对采食的影响

热应激会促进家畜体内瘦素和脂联素及其相关受体的分泌<sup>[29-30]</sup>。瘦素和脂联素会分别通过刺激下丘脑<sup>[31]</sup>和作为“饥饿信号”调控饮食行为使采食减少<sup>[32]</sup>,也有研究认为是热应激下家畜饮水增多,很容易产生饱腹感,进而使采食减少<sup>[33]</sup>。但就反刍动

物来讲,减少进食也是降低产热的一个重要途径<sup>[34]</sup>。通过诱导绵羊体温和呼吸频率的增高,发现高温会增加7%~25%维持能量需求<sup>[8]</sup>。因此高温会导致体重及生长速度的降低。

相对来说,绵羊具有更好纤维素和低质日粮转化能力。Marai等<sup>[15]</sup>研究表明较高的体热是伴随着低质高纤维饲料代谢的动态变化而出现的。水缺乏、营养不平衡、营养缺乏也会加重热应激。相对于春天具有遮阴的条件(19.3℃),在30.5℃的高温下萨福克羔羊的饲料摄入及饲料转化率都明显降低<sup>[35]</sup>。因此在热应激条件下绵羊的饲料应该保持较高的精饲料比例和较低的粗饲料比例。

## 2.2 对营养物质代谢的影响

动物处于热应激条件下,来自下丘脑激素释放因子的产生会受到抑制,导致垂体分泌激素如甲状腺激素减少,相应的代谢途径受到抑制。同时热应激会导致绵羊的瘤胃功能损伤,主要表现在瘤胃微生物活性降低和瘤胃液的稀释<sup>[36]</sup>。所有这些会引起干物质摄入、表观消化率、挥发性脂肪酸、瘤胃PH值以及瘤胃液电解质浓度、能量底物、激素和酶的减少<sup>[37-38]</sup>,进而导致机体蛋白质的利用率降低、合成与分解代谢出现失衡并引起体内氮的失衡。因此在高温气候条件下,需要提供具有较低瘤胃消化率的蛋白质饲料来平衡氮代谢的增加<sup>[39]</sup>。

## 2.3 对水分代谢的影响

水是维持机体生理学功能的重要物质,水的需求通常是不断变化并且受到诸如干物质摄入、环境温度及组织水分消耗等因素的影响。高温环境会明显增加绵羊水的摄入及体内水的周转。研究发现高温下水摄入会增加50%,同时伴随粪便排出的水会减少25%而伴随尿液排出的水会减少40%,但是通过体表的蒸发散失却明显增多<sup>[8]</sup>。通过皮肤的水分散失在35℃高温下要比在18℃环境下高出2倍<sup>[40]</sup>。也有研究发现热应激期间体内水周转的增加与机体水分蒸发散失增多及营养消化率降低有关<sup>[41-42]</sup>。绵羊每单位干物质的水消耗要比牛低但同时会随环境温度的增加而增加,3岁的绵羊在冬天水的消耗要占总体重的9%~11%,而在夏天达到19%~25%<sup>[43]</sup>。

高温下哺乳动物会出现体液离子损失也会导致对水的需求增加。哺乳动物暴露于热环境下由于脱水及体液浓度的增加,相应的用于体温调节的水蒸发会降低并因此导致体温升高<sup>[44]</sup>。这种体温调节

整模式在气喘和出汗类动物中都有存在,似乎成了动物保存水分的一种调节手段<sup>[45]</sup>。因此,水缺失会加重热应激,并会因体温的升高使动物福利进一步恶化。

## 2.4 对生长的影响

体重增加或细胞增殖受遗传和环境的共同调控。可利用的营养、激素、酶以及较高的环境温度都是影响体重增加的重要因素<sup>[37]</sup>。同时,高温环境下的机体维持需要增加、食欲和饲草质量降低也会影响动物的生长。已有研究表明萨福克绵羊在夏天羔羊的平均日增重要明显低于冬天,同样在夏天没有庇荫时要有庇荫时低<sup>[35]</sup>。因此,体重、生长速度在高温条件下都会受到抑制。

太阳辐射也会抑制绵羊的生长。在围栏中进行的为期10周的试验表明,Comisana羊体重增加与太阳辐射的回归系数是-12.7,其生长速度是-11.9g/周,而对Sardinian绵羊分别是-9.7和-8.5g/周,这表明暴露于太阳辐射条件下不同绵羊品种体重的减少不同<sup>[46]</sup>。

当环境温度升高时怀孕母羊其产仔窝重会出现明显降低,原因是母羊为了散失多余体热并减少生热,机体的生理机能、体内代谢及内分泌都会发生变化<sup>[8]</sup>。怀孕晚期的母羊采食量的降低连同体内血流分配的变化及能量供给的减少会引起胎盘组织功能和发育的改变,还会导致胎儿的营养不良、缺氧、发育迟缓、甚至死亡<sup>[8,47]</sup>。

## 3 热应激对生理及内分泌的影响

### 3.1 对体温的影响

哺乳动物的皮肤是身体散热的一个重要途径。体表温度是利用表皮血流量调控体内与体表热交换的一个结果。因此,任何体表温度的升高都是由于热应激重新调配了血流变化并增加了流经表皮的血流量所致<sup>[48]</sup>。绵羊体表温度通常在夏季要高于冬季<sup>[20]</sup>。而暴露于高温环境中的绵羊,通常伴随着体热耗散其体表温度也会升高。当环境温度升高至36℃时,耳朵和腿部区域便成为其散热的主要区域,这些区域贡献其散热总量的23%<sup>[49]</sup>。

直肠体温是也身体热平衡的一个重要指标,并常用来评估热环境对生长、泌乳及繁殖的影响程度<sup>[50-51]</sup>。作为恒温动物的绵羊在高温环境中会通过散失多余的体热将直肠体温维持在一个相对较窄的范围。一般条件下直肠体温为38.3~39.9℃。当

机体处于高温环境下而不能维持热平衡时,直肠体温便会出现升高<sup>[52]</sup>。当环境温度从 18 °C 升至 35 °C 其直肠温度也会有一个显著的升高<sup>[20,53]</sup>。对直肠体温来说不到 1 °C 的升高就足以降低大多数家畜的生产性能。一般认为直肠体温大于 42 °C 是非常危险的。

### 3.2 对血液代谢的影响

热应激会干扰绵羊的血液代谢<sup>[53]</sup>。高温环境下,绵羊血液中的血红蛋白浓度(Hb)、平均红细胞血红蛋白(MCH)、平均血红蛋白浓度(MCHC)、血液总蛋白、球蛋白及血糖浓度均出现升高,但血清蛋白、红细胞(RBC)、血细胞压积(PCV)和平均红细胞容积(MCV)降低<sup>[54]</sup>。高温条件下容易出现无机离子的失衡,主要体现在钾、钙、磷水平的降低和氯浓度的升高等<sup>[18,55-56]</sup>。

研究表明热应激条件下,血液总蛋白水平上升主要是球蛋白含量的增加所致<sup>[48]</sup>。而血液清蛋白含量降低,可能是由于热应激引起绵羊体内蛋白合成不足无法补偿代谢损失的蛋白进而引起氮的失衡所致。Marai 等<sup>[48]</sup>研究表明蛋白质组织的降解是由于糖皮质激素(水解蛋白激素)水平上升引起蛋白质的分解代谢所致,也可能是由于负责蛋白质合成代谢的儿茶酚胺(调控脂肪分解激素)水平升高或胰岛素水平降低所致。热应激会引起绵羊血糖浓度升高,这可能与采食量降低、胰岛素浓度和糖皮质激素活性下降有关<sup>[57]</sup>。在急性热应激条件下出现血糖过多也可能与应对葡萄糖利用的增加有关<sup>[58]</sup>。

### 3.3 对体液 pH 值的影响

动物的酸碱平衡主要依靠血液中的无机离子来进行调控,因此血液无机离子对绵羊的正常生理代谢具有重要意义。哺乳动物体液 pH 的正常范围是 7.36~7.44。高温条件下,机体为了维持正常酸碱平衡,通过尿液排出血液中的钾、钠等碱性离子时会引起相应碱性离子浓度下降。体液酸碱平衡的稳定主要通过 3 种方式:化学缓冲、血液碳酸的呼吸调整及通过肾脏 H<sup>+</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的排出。当然,环境因子(温度、湿度、太阳辐射及风速)、动物自身(品种、肤色,发育阶段及健康状况)及体温调控机理(循环调节、出汗及气喘)对动物与外界之间的能量交换都有明显的影响<sup>[59]</sup>。对于绵羊来说,当环境温度高于 32 °C 时直肠体温就开始升高,并且在直肠体温达到 40 °C 且相对湿度低于 65 % 时就开始气喘,随着热应激的进一步加强,便会出现强力呼吸,导致 CO<sub>2</sub>

的丢失及血液碳酸盐浓度的下降及 pH 值的变化。

### 3.4 对糖皮质激素的影响

下丘脑-垂体-肾上腺轴的激活和随后血液皮质醇浓度的上升是动物对应激的主要反应。皮质醇的分泌会刺激生理调节以使动物能够忍受热环境带来的应激。动物暴露于热应激环境下 20 min 血液皮质醇水平就会上升,并会一直持续达到 2 h<sup>[60]</sup>,而后会慢慢下降。因此慢性热应激下机体内的皮质醇水平并不高,只有在突然的急性热应激条件下才会升高。动物对急性热应激的初始反应可能更多的是一种情绪上的而非体温调控的反应<sup>[57]</sup>。慢性热应激条件下血液皮质醇的平和反应是对热应激的一种适应,而皮质醇浓度的增高则是动物感到痛苦的一种表现<sup>[14]</sup>。而在极度热应激条件下血液皮质醇浓度也会持续升高,绵羊在 35~44 °C 条件下 35 d,其血液皮质醇含量在最初一周内会是正常水平的 2~3 倍,然后在接下来的时间内会升至正常水平的 4 倍<sup>[61]</sup>。

### 3.5 对甲状腺激素的影响

脑垂体前叶会产生促甲状腺素,促甲状腺素会作用于甲状腺并产生三碘甲状腺原氨酸(T3)及四碘甲状腺原氨酸(T4),这些激素会影响不同的细胞代谢进程,调控近 50 % 基础代谢的产热活动<sup>[37]</sup>。T3 和 T4 可以刺激细胞进行氧消耗及产热,因此会增加基础代谢率,提高葡萄糖的利用、调控脂肪代谢并激发心脏和神经的机能<sup>[62]</sup>。因此,为了降低身体代谢热的产生以适应热环境,甲状腺激素的分泌会受到明显抑制。在热应激条件下血液中 T3 和 T4 的浓度可以降低 25 %<sup>[63]</sup>。这种效应通常比皮质醇的效应要慢,并且通常需要花费几天的时间 T3 和 T4 的浓度才会达到稳定状态。甲状腺机能调整也非常缓慢,夏季往往比冬季甲状腺的活力要低<sup>[37]</sup>。总之,甲状腺活动的调整与热应激条件下代谢、采食、生长及产奶的降低是一致的。

## 4 小结

尽管绵羊属于恒温动物,但热应激也会增加机体内热并影响热交换的调控,进而影响家畜的行为及生理机能:采食量与利用率的降低;水、蛋白、能量和矿物质代谢平衡的紊乱;以及体温、呼吸、心率、酶反应、激素分泌和血液代谢物的变化<sup>[64,65]</sup>。这些变化会损害绵羊的福利,降低绵羊的生产性能并影响其繁殖水平,给羊产业带来损失。因此,根据热应激

对绵羊行为及生理的具体影响,从生产管理、环境与营养等方面入手进行改善和改进,对降低甚至克服热应激损失、提高动物生产及改善动物福利具有重要借鉴意义。

## 参考文献 References

- [1] Curtis S E. *Environmental Management in Animal Agriculture* [M]. Ames: Iowa State University Press, 1983
- [2] Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard L H, Rhoads R P, Ronchi B, Nardone A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants [J]. *Animal*, 2010, 4(7): 1167-1183
- [3] AL-Haidary A A. Physiological responses of Naimey sheep to heat stress challenge under semi-arid environments [J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2004, 6(2): 307-309
- [4] Altan O, Pabuccuglu A, Konyaliolu S, Bayraktar I T. Effect on heat stress of lipid peroxidation and some stress parameters in broilers [J]. *British Poultry Science*, 2003, 44(4): 545-550
- [5] Scharf B A. Comparison of thermoregulatory mechanisms in heat sensitive and tolerant breeds of *Bos taurus* cattle [D]. Columbia: University of Missouri-Columbia, 2008
- [6] Hetem R S, Strauss W M, Heusinkveld B G, de Bie S, Prins H H T, van Wieren S E. Energy advantages of orientation to solar radiation in three African ruminants [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2011, 36(7): 452-460
- [7] Bøe K E, Ehrlenbruch R. Thermoregulatory behavior of dairy goats at low temperatures and the use of outdoor yards [J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2013, 93(1): 35-41
- [8] Marai I F M, El-Darawany A A, Fadiel A, Abdel-Hafez M A M. Physiological traits as affected by heat stress in sheep: A review [J]. *Small Ruminant Research*, 2007, 71(1-3): 1-12
- [9] Keim S M, Guisto J A, Sullivan Jr J B. Environmental thermal stress [J]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2002, 9(1): 1-15
- [10] Kolacz R, Dobrzański Z. *Hygiene and Welfare of Farm Animals* [M]. Wrocław: Published by Agricultural University, 2006: 31-38
- [11] Bøe K E, Andersen I L, Buisson L, Simensen E, Jeksrud W K. Flooring preferences in dairy goats at moderate and low ambient temperature [J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2007, 108(1-2): 45-57
- [12] Darcán N, Cedden F, Cankaya S. Spraying effects on some physiological and behavioural traits of goats in a subtropical climate [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2008, 7(1): 77-85
- [13] Zahner M, Schrader L, Hauser R, Keck M, Langhans M, Wechsler M. The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables [J]. *Animal Science*, 2004, 78(1): 139-147
- [14] Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants [J]. *Livestock Production Science*, 2000, 67(1-2): 1-18
- [15] Marai I F M, Ayyat M S, El-Monem U M. Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand white female rabbits as affected by heat stress and its alleviation, under Egyptian conditions [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2001, 33(6): 451-462
- [16] Marai I F M, Daader A M, Abd-El-Samee A M, Ibrahim H. Winter and summer effects and their amelioration on lactating Friesian and Holstein cows maintained under Egyptian conditions [J]. *Journal of Neurogastroenterology & Motility*, 1997, 19(4): 495-502
- [17] Schmidt Nielsen K. *Animal Physiology Adaptation and Environment* [M]. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge, 1997
- [18] Caroprese M, Albenzio M, Bruno A, Annicchiarico G, Marino R, Sevi A. Effects of shade and flaxseed supplementation on the welfare of lactating ewes under high ambient temperatures [J]. *Small Ruminant Research*, 2012, 102(1-2): 177-185
- [19] Thompson G E. *Respiratory System* [M]. Boca Raton: CRC Press, 1985
- [20] Marai I F M, Shalaby T H, Bahgat L B, Abdel-Hafez M A. Fattening of lambs on concentrates mixture diet alone without roughages or with addition of natural clay under subtropical conditions of Egypt [C]. In: *Proceedings of International Conference on Animal Production & Health 1997*. Cairo: International Animal and Veterinary Sciences Committee, 1997: 351-365
- [21] Marai I F M, Habeeb A A M, Gad A E. Reproductive traits of female rabbits as affected by heat stress and light regime, under sub-tropical conditions of Egypt [J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 78(1): 119-127
- [22] Mahesh S K, Sanjeev S, Indrajit G, Anita G, Raja K N, Ashish C, Narula H K. Evaluation of Indian sheep breeds of arid zone under heat stress condition [J]. *Small Ruminant Research*, 2016, 141: 113-117
- [23] Clive P. The welfare risks and impacts of heat stress on sheep shipped from Australia to the Middle East [J]. *The Veterinary Journal*, 2016, 218: 78-85
- [24] Quinn C M, Carrie M, Duran R M, Audet G N, Charkoudian N, Leon L R. Cardiovascular and thermoregulatory biomarkers of heat stroke severity in a conscious rat model [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2014, 117(9): 971-978
- [25] Cezar M F, Souza B B, Souza W H. Evaluation of physiological parameters of sheep from Dorper, Santa Inês and their crosses in climatic conditions of northeast semi-arid [J]. *Ciência e Agrotecnologia*, 2004, 28: 614-620 (in Portuguese)
- [26] Alexiev J, Gudev D, Popova-Ralcheva S, Moneva P. Thermoregulation in sheep. IV. Effect of heat stress on heart

- rate dynamics in shorn and inshorn ewes from three breeds[J]. *Journal of Animal Science*, 2013, 31C(2):187-193
- [27] Ismail E, Abdel-Latif H, Hassan G A, Salem M H. Water metabolism and requirements of sheep as affected by breed and season[J]. *World Review of Animal Production*, 1995, 30(1/2):95-105
- [28] Abi-Saab S, Saleim F T. Physiological responses of stress of filial crosses compared to local Awassi sheep [J]. *Small Ruminant Research*, 1995, 16(1):55-59
- [29] Bernabucci U, Basirico L, Morera P, Lacetera N, Ronchi B, Nardone A. Heat shock modulates adipokines secretion in 3T3-L1 adipocytes[J]. *Journal of Molecular Endocrinology*, 2009, 42(1-2):139-147
- [30] Morera P, Basirico L, Hosoda K, Bernabucci U. Chronic heat stress upregulates leptin and adiponectin secretion and expression and improves leptin, adiponectin and insulin sensitivity in mice[J]. *Journal of Molecular Endocrinology*, 2012, 48:129-138
- [31] Rabe K, Lehrke M, Parhofer K G, Broedel U C. Adipokines and insulin resistance[J]. *Molecular Medicine*, 2008, 14:741-751
- [32] Hoyda T D, Samson W K, Ferguson A V. *Central System Roles for Adiponectin in Neuroendocrine and Autonomic Function*[M]. Boca Raton: CRC Press, 2012
- [33] Pejman A, Habib A S. Heat stress in dairy cows: A review[J]. *Research in Zoology*, 2012, 2(4):31-37
- [34] Ramendra D, Lalrengpuui S, Nishant V, Pranay B, Nyanashree S, Imtiwati, Rakesh K. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review[J]. *Veterinary World*, 2016, 9(3):260-268
- [35] Padua J T, Dasilva R G, Bottcher R W, Hoff S J. Effect of high environmental temperature on weight gain and food intake of Suffolk lambs reared in a tropical environment [C]. In: *Proceedings of 5th International Symposium 1997*. Bloomington: American Society of Agricultural Engineering, 1997:809-815
- [36] Burgoon P W, Boulant J A. Temperature-sensitive properties of rat suprachiasmatic nucleus neurons[J]. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 2001, 281(3):706-715
- [37] Habeeb A A, Marai I F M, Kamal T H. *Heat Stress* [M]. Battaramulla: Centre for Agriculture and Biosciences International, 1992
- [38] Nudda A, McGuire M A, Battacone G, Pulina G. Seasonal variation in conjugated linoleic acid and vaccenic acid in milk fat of sheep and its transfer to cheese and ricotta[J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(4):1311-1319
- [39] Agostino S, Mariangela C. Impact of heat stress on milk production, immunity and udder health in sheep: A critical review[J]. *Small Ruminant Research*, 2012, 107(1):1-7
- [40] Shafie M M, Murad H M, El-Bedawy T M, Salem S M. Effect of heat stress on feed intake, rumen fermentation and water turnover in relation to heat tolerance response by sheep[J]. *Egyptian Journal of Animal Production*, 1994, 31(2):317-327
- [41] Bhattacharya A N, Hussain F. Intake and utilization of nutrients in sheep fed different levels of roughage under heat stress[J]. *Journal of Animal Science*, 1974, 38(4):877-886
- [42] Costa M J R P, Siva R, Souza R C. Effect of air temperature and humidity on ingestive behaviour of sheep[J]. *International Journal of Biometeorology*, 1992, 36(4):218-222
- [43] Khan M S, Ghosh P K. Physiological responses of desert sheep and goats to grazing during summer and winter[J]. *Indian Journal of Animal Sciences*, 1989, 59(5):600-603
- [44] Silanikove N, Gutman M. Interrelationships between lack of shading shelter and poultry litter supplementation: Feed intake, body weight, water metabolism and embryo loss in beef cows grazing dry Mediterranean pasture[J]. *Animal Science*, 1992, 55(3):371-376
- [45] Nissim S. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants [J]. *Livestock Production Science*, 2000, 67(1-2):1-18
- [46] Nardon A, Ronchi B, Valentini A. *Effects of Solar Radiation on Water and Food Intake and Weight Gain in Sarda and Comisana Female Lambs* [M]. Viterbo: EAAP Publication, 1991
- [47] 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
- [48] Marai I F M, Habeeb A A M. Buffalo's biological functions as affected by heat stress: A review[J]. *Livestock Science*, 2010, 127(2-3):89-109
- [49] Johnson H D. *Bioclimatology and the Adaptation of Livestock* [M]. Amsterdam: Elsevier Science, Publishers BV5, 1987
- [50] Hahn G L. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads [J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77(2):10-20
- [51] West J W. Nutritional strategies for managing the heat stressed dairy cow[J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77(2):21-35
- [52] Parkinson T, de Dear R, Candido C. Thermal pleasure in built environments: Alliesthesia in different thermoregulatory zones [J]. *Building Research & Information*, 2015, 44(1):20-33
- [53] Marai I F M, Bahgat L B, Shalaby T H, Abdel-Hafez M A. Fattening performance, some behavioral traits and physiological reactions of male lambs fed concentrates mixture alone with or without natural clay, under hot summer of Egypt [J]. *Annals of Arid Zone*, 2000, 39(4):449-460
- [54] Abdoun K A, Samara E M, Okab A B, Al-Haidary A I. A comparative study on seasonal variation in body temperature and blood composition of camels and sheep[J]. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2012, 11(6):769-773
- [55] Kume S, Kurihara M, Takahashi S, Shibata M, All T. Effect of hot environmental temperature on major mineral balance in lactating cows[J]. *Japanese Journal Zootechnical Science*, 1987, 58(9):764-770

- [56] Schneider P L, Beede D K, Wilcox C J. Nycterohemeral patterns of acid-base status, mineral concentrations and digestive function of lactating cows in natural or chamber heat stress environments[J]. *Journal of Animal Science*, 1988, 66(1):112-125
- [57] Nessim M G. Heat-induced biological changes as heat tolerance indices related to growth performance in buffaloes[D]. Cairo: Ain Shams University, 2004
- [58] Collins K H, Weiner H S. Endocrinological aspects of exposure to high environmental temperature [J]. *Physiological Reviews*, 1968, 48:785-794
- [59] Nienaber J A, Hahn G L, Eigenberg R A. Quantifying livestock responses for heat stress management: A review [J]. *International Journal of Biometeorology*, 1999, 42(4):183-188
- [60] Christison G I, Johnson H D. Cortisol turnover in heat stressed cows[J]. *Journal of Animal Science*, 1972, 35(5):1005-1010
- [61] Indu S, Sejian V, Naqvi S M K. Impact of simulated semiarid tropical environmental conditions on growth, physiological adaptability, blood metabolites and endocrine responses in Malpura ewes[J]. *Animal Production Science*, 2015, 55(6):766-776
- [62] Todini L, Malfatti A, Valbonesi A, Trabalza-Marinucci M, Debenedetti A. Plasma total T3 and T4 concentrations in goats at different physiological stages, as affected by the energy intake[J]. *Small Ruminant Research*, 2006, 68(3):285-290
- [63] Beede D K, Collier R J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during heat stress[J]. *Journal of Animal Science*, 1986, 62(2):543-550
- [64] Marai I F M, El-Darawany A A, Abou-Fandoud E I, Abdel-Hafez M A M. Reproductive traits and the physiological background of the seasonal variations in Egyptian Suffolk ewes under the conditions of Egypt[J]. *Annals of Arid Zone*, 2004, 42(2):1-9
- [65] Marai I F M, El-Darawany A A, Abou-Fandoud E I, Abdel-Hafez M A M. Serum blood components during pre-oestrus, oestrus and pregnancy phases in Egyptian Suffolk as affected by heat stress, under the conditions of Egypt [J]. *Egyptian Journal of Sheep Goat & Desert Animal Sciences*, 2006, 1(1):47-62

责任编辑:杨爱东