

文章编号:1000-8551(2020)10-2352-08

# 湖羊热应激相关的生理生化指标筛选

卢曾奎<sup>1,2</sup> 李 青<sup>1</sup> 金美林<sup>1</sup> 费晓娟<sup>1</sup> 魏彩虹<sup>1,\*</sup>( <sup>1</sup>中国农业科学院北京畜牧兽医研究所,北京 100193; <sup>2</sup>甘肃农业大学动物科学技术学院,甘肃 兰州 730070)

**摘 要:**为研究热应激对湖羊生理生化指标的影响,将湖羊分别饲养于热应激(2017年8月)和非热应激(2017年12月,对照组)环境中,测定其生理生化指标三碘甲腺原氨酸( $T_3$ )含量和甲状腺素( $T_4$ )含量。结果表明,热应激显著或极显著改变了湖羊生理生化指标,例如呼吸频率、平均红细胞体积、红细胞压积、平均血小板体积、天门冬氨酸氨基转移酶含量、碱性磷酸酶含量、 $\alpha$ -谷氨酰基转移酶含量和高密度脂蛋白胆固醇含量。此外,热应激湖羊血清中 $T_3$ 和 $T_4$ 含量显著低于对照组。综上,这些指标的变化可以作为评估湖羊遭受热应激的参考,本研究结果为湖羊生产奠定了一定的理论基础。

**关键词:**湖羊;热应激;生理指标;生化指标

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2020.10.2352

长时间的高温和过热天气将对动植物产生严重的热应激。近些年来,热应激已经成为某些地区最致命的自然灾害之一,会降低人们的工作能力和生产效率、动物的生产力和产品质量以及植物的产量和适应性等<sup>[1-3]</sup>。

热应激会影响动物的行为和生产性能,且严重热应激会造成动物组织损伤。动物遭受热应激后会通过改变行为来促进机体热量的散失。研究表明,极端高温天气时猪会减少活动或横向躺着以促进热量散失,还会通过增加打滚次数和寻找阴凉的地方来减少体温升高<sup>[4-5]</sup>。此外,热应激会给动物重要的生产性状带来额外压力,并降低动物采食量和生长速度,从而导致群体生产力降低。研究表明热应激不会影响母猪的产仔数和后代的体重,但是会减少窝仔体重<sup>[6]</sup>。严重热应激还会造成绵羊肝脏不同程度的损伤,如细胞核发生移位、核质浓缩、细胞中出现空泡和水样变性等<sup>[7]</sup>。

血液具有运输、缓冲和防御等功能,健康动物的血液指标维持在一个相对恒定的范围内。血液生理生化指标的变化可以反映动物的代谢状况、健康程度和对环境的适应性等。当动物被病原侵袭或周围环境发生变化(热应激等)时,其血液成分也随之变化,在临床上被作为诊断和治疗疾病的重要依据和参考。本研究

通过检测热应激和非热应激湖羊的生理生化指标,试图寻找一种或多种与湖羊热应激紧密联系的指标,并作为湖羊是否受到热应激的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在江苏乾宝牧业有限公司(中国江苏省盐城市)完成,该地区位于33°28'37.72"N, 120°16'29.65"E,属于亚热带气候,平均海拔1~4 m,平均气温13.7~14.5℃,年降水总量785.2~1309.5 mm。夏季气温高、湿度大,而春季、秋季和冬季气温和湿度均比较适中。

### 1.2 试验设计

2017年8月(热应激组)和12月(非热应激,对照组)分别选择5月龄纯种的健康湖羊36只(公母各半,体重相近)饲养于相同的圈舍中。热应激组和对照组湖羊饲喂相同的饲料并自由饮水。距离圈舍1.5 m高的地方悬挂5个温湿度计,每天从8:00—20:00每隔2 h记录一次温度(temperature,  $T_a$ )和相对湿度(relative humidity, RH)。利用温湿指数(temperature-humidity index, THI)评价湖羊热应激程度<sup>[8]</sup>:

收稿日期:2019-04-17 接受日期:2019-08-27

基金项目:国家肉羊产业技术体系项目(CARS-38),国家自然科学基金(31672380)

作者简介:卢曾奎,男,主要从事绵羊遗传育种研究。E-mail:luzk0911@163.com

\* 通讯作者:魏彩虹,女,研究员,主要从事动物遗传资源评价研究。E-mail:weicaihong@caas.cn

$$THI = T_d - [(0.31 - 0.31RH)(T_d - 14.4)] \quad (1)$$

当  $THI < 22.2$  时,无热应激,当  $22.2 \leq THI < 23.3$  时,为中度的热应激,当  $23.3 \leq THI < 25.6$  时,为严重的热应激,当  $THI \geq 25.6$  时,为极度严重的热应激。当  $THI$  持续大于 23.3(热应激组)和持续小于 22.2(对照组)7 d 后,分别随机挑选 10 只湖羊(公母各半)并在早晨空腹时进行颈静脉采血。每只湖羊采集 2 管血液,一管用于血液生理指标分析(EDTA 抗凝),另一管用于血液生化指标分析(不抗凝)。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 湖羊生理指标测定 当满足试验  $THI$  条件时,每天中午 12:00 随机选择 6 只湖羊(公母各半),随后将兽用体温计(用 75% 医用酒精消毒并涂抹凡士林)由肛门插入湖羊直肠约 2/3 处,5 min 后记录温度作为湖羊体温,连续记录 7 d。每天中午 12:00 待湖羊安静时,随机选择 6 只湖羊(公母各半)测定其呼吸频率(湖羊胸廓一起一伏记为一次呼吸),连续记录 3 min 并求其平均值,连续记录 7 d。每天中午 12:00 待湖羊安静时,随机选择 6 只湖羊(公母各半)使用兽用听诊器记录其第 3~第 5 根肋骨间的心跳数,连续记录 3 min,求其平均值作为湖羊的每分钟心跳次数,连续记录 7 d。将抗凝的真空采血管采集的 5 mL 湖羊血液采用 Mindray BC2800 三分群血液细胞分析仪(迈瑞,深圳)进行血液生理指标的测定。

1.3.2 湖羊生化指标测定 使用不抗凝的真空采血管采集 5 mL 湖羊血液,室温  $3\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  离心 15 min 后分离血清。使用 TOSHIBA Accute 40 全自动生化分析仪(东芝,日本)进行血液生化指标的测定。

1.3.3 湖羊血清三碘甲腺原氨酸和甲状腺素的含量测定 血清中三碘甲腺原氨酸(triiodothyronine,  $T_3$ )和甲状腺素(tetraiodothyronime,  $T_4$ )的含量采用放射免疫的方法进行测定。将  $T_3$  标准品稀释成 0、20、40、80、160 和  $320\text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$ ,共计 6 个浓度梯度并标记为 S0~S5;取测试管若干并编号为 NSB(S0)、S0~S5 和待测湖羊血清管等;在上述测试管中分别加入  $50\text{ }\mu\text{L}$   $T_3$  标准品或待测湖羊血清;每管加入  $200\text{ }\mu\text{L}$   $^{125}\text{I}-T_3$  标记物;NSB 管中加入  $100\text{ }\mu\text{L}$  去离子水,S0~S5 和待测湖羊血清管中加入  $100\text{ }\mu\text{L}$  羊抗- $T_3$  抗体;充分摇匀,  $37^\circ\text{C}$  温育 45 min;每个试管中加入  $500\text{ }\mu\text{L}$   $T_3$  驴抗羊抗体;充分摇匀,室温放置 15 min 后,  $3\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  离心 15 min,吸弃上清液;在  $\gamma$  计数器(赛默飞,美国)上测定各测试管的放射性读数,分别记为 NSB(空白对照)、B0(S0 测试管)和 B(S1~S5 和待测湖羊血清管);按照公式计算百分结合率(B/B0)以及标准品和待测样

品的 logit 值:

$$B/B0 = \frac{(B-NSB)}{(B0-NSB)} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{logit} = \ln \frac{B/B0}{1 - B/B0} \quad (3)$$

分别以稀释后标准浓度梯度和对应 logit 值为横纵坐标制作标准曲线;根据待测湖羊血清的 B/B0 计算样品中  $T_3$  含量。采用同样的方法测定湖羊血清中  $T_4$  的含量。

1.4 数据分析

所有数据用  $\text{Mean} \pm \text{SD}$  表示,并使用 SPSS 17.0 软件中的 Student's t-test 方法进行统计分析。 $P < 0.05$  被认为具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 羊舍 THI 结果

本研究根据屠宰前一周羊舍的温度和相对湿度计算  $THI$ 。对照组期间羊舍  $THI \leq 11.82$ ,平均值为 9.01,表明湖羊处于无热应激的状态(图 1)。热应激期间羊舍  $THI \geq 26.18$ ,平均值为 30.44,表明湖羊处于极度严重的热应激状态(图 1)。

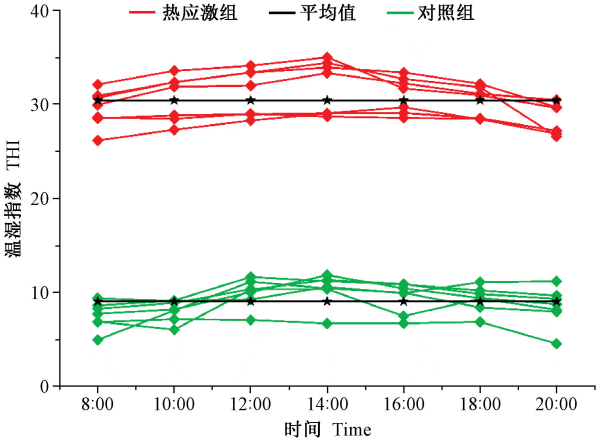


图 1 屠宰前一周湖羊舍 THI

Fig.1 The THI of the Hu sheep house 1 week before the slaughter

2.2 湖羊生理指标测定结果

由表 1 可知,热应激组湖羊的呼吸频率显著高于对照组;热应激组公羊的平均红细胞体积和红细胞压积极显著或显著高于对照组;热应激组母羊的平均血小板体积显著高于对照组;其他指标在两处理组间均无显著差异。

表 1 热应激对湖羊生理指标的影响

Table 1 Influence of heat stress on Hu sheep physiological indexes

项目 Item	性别 Sex	数目 Number	对照组 Control group	热应激组 Heat stress group
直肠温度	♂	5	39.42±0.07a	39.96±0.22a
Rectal temperature/℃	♀	5	39.40±0.06a	39.90±0.22a
呼吸频率	♂	5	34.00±0.97a	40.70±0.77b
Respiratory rate/(次·min <sup>-1</sup> )	♀	5	35.50±0.82a	41.60±0.26b
心跳频率	♂	5	67.67±1.75a	74.50±1.52a
Heart rate/(次·min <sup>-1</sup> )	♀	5	71.00±1.41a	76.83±1.70a
白细胞计数	♂	5	147.53±15.37a	75.36±5.84a
White blood cell/(×10 <sup>9</sup> ·L <sup>-1</sup> )	♀	5	162.13±11.88a	80.14±6.12a
红细胞计数	♂	5	0.91±0.05a	0.86±0.09a
Red blood cell/(×10 <sup>12</sup> ·L <sup>-1</sup> )	♀	5	0.89±0.09a	1.08±0.13a
血红蛋白浓度	♂	5	112.40±6.62a	112.00±6.12a
Hemoglobin content/(g·L <sup>-1</sup> )	♀	5	114.60±5.41a	138.60±7.60a
平均红细胞体积	♂	5	52.92±0.94A	57.62±3.21B
Mean corpuscular volume/fL	♀	5	52.12±2.65a	57.96±1.82a
红细胞分布宽度 CV	♂	5	6.12±0.51a	6.06±0.49a
Red cell volume distribution width CV/%	♀	5	5.92±0.73a	5.76±0.59a
红细胞分布宽度 SD	♂	5	16.54±1.15a	16.86±1.76a
Red cell volume distribution width SD/fL	♀	5	15.98±2.16a	16.32±1.10a
红细胞压积	♂	5	4.84±0.31a	4.96±0.60b
Hematokrit/%	♀	5	4.68±0.61a	6.26±0.80a
平均血小板体积	♂	5	17.82±0.82a	18.30±1.50a
Mean platelet volume/fL	♀	5	17.26±1.66a	17.66±0.58b
血小板分布宽度	♂	5	23.14±1.04a	23.00±1.12a
Platelet distribution width/%	♀	5	22.42±0.84a	24.52±1.18a

注:同行不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示处理间差异极显著( $P<0.01$ )。下同。  
Note:Different lowercase letters in the same line indicate significant difference between treatments at 0.05 level, different capital letters indicate significant difference between treatments at 0.01 level. The same as following.

2.3 湖羊生化指标测定结果

2.3.1 肝功能指标测定结果 由表2可知,在肝功能指标中热应激组湖羊的天门冬氨酸氨基转移酶、碱性磷酸酶和γ-谷氨酰基转移酶浓度均显著或极显著高于对照组;其他指标在两处理组间均无显著差异。

2.3.2 糖脂代谢指标测定结果 由表3可知,在糖脂代谢指标中热应激组湖羊的高密度脂蛋白胆固醇浓度显著高于对照组;其他指标在两处理组间均无显著差异。

2.3.3 肾功能指标测定结果 由表4可知,所测肾功能指标在热应激组和对照组湖羊之间均无显著差异。

2.4 湖羊血清中T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>含量测定结果

T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>具有调节机体代谢产热的功能。图2为热应激组和对照组湖羊血清中T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>含量,发现二

者在对照组湖羊中均极显著高表达。

3 讨论

本研究根据Marai等<sup>[8]</sup>的方法计算了宰前一周羊舍的THI。对照组羊舍THI≤11.82,湖羊处于无热应激的状态;而热应激组羊舍THI≥26.18,湖羊处于极度严重的热应激状态。因此,本研究中热应激组和对照组湖羊所处的环境满足试验需求。

当动物遭受热应激时,需要寻找一种热舒适性方式来减少体内热量的增加。该过程几乎涉及动物所有系统的相互协调才能完成。但是动物的耐热性受品种和地域影响的差异性较大。因此,有关特定品种的耐热信息是必须的。一般动物对热应激的反应可以通过

表 2 热应激对湖羊肝功能指标的影响

Table 2 Influence of heat stress on Hu sheep liver function indexes

项目 Item	性别 Sex	数目 Number	对照组 Control group	热应激组 Heat stress group
总胆红素浓度	♂	5	4.90±0.52a	4.12±0.79a
Total bilirubin content/(μmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	5.08±0.46a	4.90±1.04a
直接胆红素浓度	♂	5	0.77±0.22a	1.54±0.17a
Direct bilirubin content/(μmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	0.81±0.16a	1.72±0.31a
间接胆红素浓度	♂	5	4.34±0.32a	2.38±0.93a
Indirect bilirubin content/(μmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	4.28±0.36a	2.58±0.68a
总蛋白浓度	♂	5	65.80±5.85a	56.58±7.73a
Total protein content/(g·L <sup>-1</sup> )	♀	5	67.60±3.21a	54.60±1.10a
白蛋白浓度	♂	5	31.70±2.57a	35.00±1.00a
Albumin content/(g·L <sup>-1</sup> )	♀	5	32.30±0.38a	37.40±2.51a
球蛋白浓度	♂	5	21.28±4.02a	30.80±5.63a
Globulin content/(g·L <sup>-1</sup> )	♀	5	22.30±1.20a	30.20±2.59a
丙氨酸氨基转移酶浓度	♂	5	12.40±3.21a	15.80±3.83a
Alanine aminotransferase content/(U·L <sup>-1</sup> )	♀	5	9.20±3.49a	17.40±3.21a
天门冬氨酸氨基转移酶浓度	♂	5	15.71±4.02A	75.20±7.99B
Aspartate aminotransferase content/(U·L <sup>-1</sup> )	♀	5	12.50±3.59A	76.00±6.86B
碱性磷酸酶浓度	♂	5	131.40±23.86A	260.20±70.53B
Alkaline phosphatase content/(U·L <sup>-1</sup> )	♀	5	140.20±20.96A	278.40±61.92B
γ-谷氨酰基转移酶浓度	♂	5	12.20±2.05a	75.00±2.92b
Glutamyl transpeptidase content/(U·L <sup>-1</sup> )	♀	5	13.60±1.34a	63.80±5.89b

表 3 热应激对湖羊糖脂代谢指标的影响

Table 3 Influence of heat stress on Hu sheep glycolipid metabolism indexes

项目 Item	性别 Sex	数目 Number	对照组 Control group	热应激组 Heat stress group
葡萄糖浓度	♂	5	5.61±0.86a	2.78±0.97a
Glucose content/(mmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	5.08±0.29a	3.40±0.71a
总胆固醇浓度	♂	5	1.24±0.26a	1.32±0.23a
Total cholesterol content/(mmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	1.36±0.17a	1.49±0.13a
甘油三酯浓度	♂	5	0.22±0.04a	0.30±0.06a
Triglyceride content/(mmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	0.14±0.05a	0.38±0.05a
高密度脂蛋白胆固醇浓度	♂	5	0.59±0.14a	1.17±0.22b
High-density lipoprotein content/(mmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	0.72±0.05a	1.29±0.16b
低密度脂蛋白胆固醇浓度	♂	5	0.27±0.04a	0.43±0.09a
Low-density lipoprotein content/(mmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	0.26±0.05a	0.45±0.05a

一些生理指标和血液生化指标进行衡量。

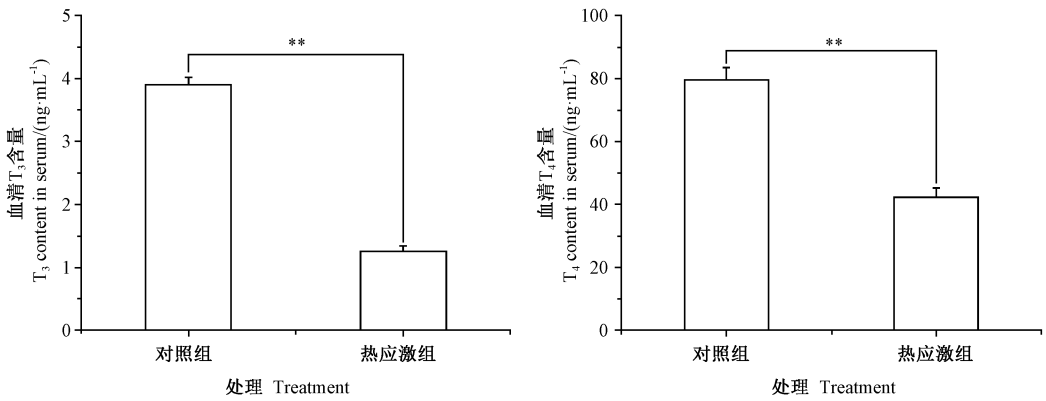
研究表明动物的直肠温度和呼吸频率被认为是热应激评价的良好指标,可用于评估热应激<sup>[9-10]</sup>。本研究结果表明,热应激组湖羊的直肠温度较对照组有增加趋势但差异不显著。湖羊和其他哺乳动物一样,体温的稳态通常在出生时或第一年的成长过程中已被逐渐确定,因此热应激不会造成湖羊体温发生较大变化。热应激后湖羊体温稍有增加可能是由热应激条件下动物的代谢热量增加导致的。呼吸途径被认为是绵羊散热的最有效方式<sup>[11]</sup>。热应激组湖羊的呼吸频率显著高于对照组,表明热应激组湖羊急需激活体温调节系统来消除过多热量以维持较低体温。本研究中热应激



表 4 热应激对湖羊肾功能指标的影响

Table 4 Influence of heat stress on Hu sheep kidney function indexes

测定项目 Item	性别 Sex	数目 Number	对照组 Control group	热应激组 Heat stress group
尿素浓度	♂	5	5.80±1.65a	5.58±1.19a
Urea content/(mmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	8.02±2.52a	7.20±0.23a
尿酸浓度	♂	5	7.81±0.75a	7.04±0.71a
Uric acid content/(μmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	10.10±1.37a	7.20±0.84a
肌酐浓度	♂	5	91.22±4.16a	71.00±5.10a
Creatinine content/(μmol·L <sup>-1</sup> )	♀	5	92.80±4.75a	72.60±4.77a



注: \*\* 表示处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

Note: \*\* indicate significant difference between treatments at 0.01 level.

图 2 热应激对湖羊血清中 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 含量的影响

Fig.2 Influence of heat stress on serum T<sub>3</sub> and T<sub>4</sub> contents of Hu sheep

组湖羊的心跳频率也较对照组高,但二者差异不显著,这与小尾寒羊中观察到的结果相似<sup>[12]</sup>。其心跳频率的增加可能是由热应激期间血液重新分布到外周组织造成的<sup>[13]</sup>。

有研究表明热应激可以增加绵羊血液中红细胞数量和血红蛋白浓度,这与热应激期间动物加快呼吸频率迫使红细胞数量和血红蛋白浓度增加以满足机体耗氧量的需求有关<sup>[14-15]</sup>。但本研究发现热应激组和对照组湖羊的红细胞计数和血红蛋白浓度均无显著差异。这可能是由于与放牧羊群相比,本研究中羊舍里装有自动饮水装置,湖羊可以随时饮水。即使在热应激期间湖羊体内也不会缺水,进而不会引起血液浓缩。此外,也可能与湖羊自身的适应性有关。白细胞数量的变化可以反映机体的防御能力。本研究发现热应激组湖羊血液中白细胞数量远低于对照组,表明热应激造成湖羊防御能力降低,这与其他动物中的研究结果相同<sup>[16]</sup>。

肝脏是机体内代谢最旺盛的组织器官之一,肝功能指标可以反映肝脏代谢、排泄和免疫等功能以及肝实质的损伤程度。与对照组湖羊相比,热应激组湖羊

血清中总蛋白浓度有所降低但差异不显著。这可能是因为热应激期间湖羊采食量下降,造成蛋白质摄入量下降进而影响总蛋白含量<sup>[17]</sup>。丙氨酸氨基转移酶和天门冬氨酸氨基转移酶是反映肝实质损伤的关键指标,当肝细胞发生损伤时前者在血清中的浓度可以增加一倍,后者的浓度持续升高表明损伤程度加重<sup>[18-19]</sup>。本研究发现热应激组湖羊血清中丙氨酸氨基转移酶浓度有增加的趋势(0.27~0.89 倍),而天门冬氨酸氨基转移酶浓度显著增加(3.79~5.08 倍),表明热应激可能造成了湖羊肝脏组织损伤。

血液中葡萄糖浓度受营养条件和生理条件的影响,如能量摄入、能量需求、体脂肪储备和动员等均会引起血液中葡萄糖浓度的变化<sup>[20-21]</sup>。当动物遭受热应激时,体温和呼吸频率均高于正常水平,湖羊的能量需求也会大量增加进而导致血液中葡萄糖浓度降低。此外,热应激期间湖羊采食量下降,也可能导致血液中葡萄糖浓度降低。有研究表明,热应激也会降低动物血液中胆固醇和甘油三酯的浓度<sup>[22-23]</sup>,可能是因为血液中葡萄糖浓度降低促进了脂解作用,进而引起胆固醇和甘油三酯的浓度降低。但也有研究表明,热应激

不会引起绵羊血液中葡萄糖和胆固醇浓度的变化<sup>[24]</sup>。本研究同样发现热应激没有改变湖羊血液中总胆固醇和甘油三酯的浓度,这可能与遗传(品种、年龄和生理状态等)和环境因素(温度、饲料和饮水等)有关。

较多研究表明,热应激会使血液中尿素氮、尿素和肌酐的浓度增加,这是由于热应激减少了肾脏的血流分布,使更多血液流向外周从而带走体内更多的热量<sup>[12, 25-26]</sup>。但本研究发现,热应激未改变血液中尿素氮、尿素和肌酐的浓度,表明热应激未使湖羊肾功能受到实质损伤,也未引起湖羊脱水。在泌乳母羊热应激的研究中发现,热应激对血液中尿素氮浓度的影响非常小或无影响<sup>[27]</sup>。但也有研究发现热应激会使 Omani 羊血液中尿素氮含量增加,而使 Merino 羊血液中尿素氮含量降低,表明血液中尿素氮浓度可能在不同绵羊品种之间具有一定的差异性<sup>[21]</sup>。

三碘甲腺原氨酸和甲状腺素是由甲状腺及其外周组织所分泌的激素。三碘甲腺原氨酸是一种对合成代谢和分解代谢均起作用的甲状腺激素,其分泌量减少被认为是动物努力减少体热产生和积累,并保持机体热量平衡<sup>[11, 28]</sup>。甲状腺素在动物适应环境变化的过程中也具有重要作用,它可以刺激细胞内氧气消耗和热量产生,从而提高基础代谢率,增加葡萄糖利用率并改变脂质代谢<sup>[28-29]</sup>。本研究结果表明,热应激组湖羊血液中三碘甲腺原氨酸和甲状腺素的浓度均显著低于对照组,该结果与其他绵羊品种的研究结果一致<sup>[26]</sup>。表明热应激可使湖羊的代谢活动降低以抑制机体产生更多的热量。此外,甲状腺素浓度的降低也可能与血液中葡萄糖浓度降低有关,甲状腺素浓度与热应激期间的能量代谢密切相关。

## 4 结论

本研究通过比较分析了热应激组和对照组湖羊的生理生化指标,发现呼吸频率、平均红细胞体积、红细胞压积、平均血小板体积、天门冬氨酸氨基转移酶、碱性磷酸酶、 $\gamma$ -谷氨酰基转移酶和高密度脂蛋白胆固醇等指标在两处理之间存在显著或极显著差异。此外,三碘甲腺原氨酸和甲状腺素含量在热应激组和对照组湖羊之间也存在极显著差异,以上指标均可以作为评估湖羊热应激的依据。

## 参考文献:

- [1] Ciais P, Reichstein M, Viovy N, Granier A, Ogee J, Allard V, Aubinet M, Buchmann N, Bernhofer C, Carrara A, Chevallier F, De Noblet N, Friend A D, Friedlingstein P, Grünwald T, Heinesch B, Keronen P, Knohl A, Krinner G, Loustau D, Manca G, Matteucci G, Miglietta F, Ourcival J M, Papale D, Pilegaard K, Rambal S, Seufert G, Soussana J F, Sanz M J, Schulze E D, Vesala T, Valentini R. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003[J]. *Nature*, 2005, 437(7058): 529-533
- [2] Dahl G E, Tao S, Monteiro A P A. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves[J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(4): 3193-3198
- [3] Derocles S A P, Lunt D H, Berthe S C F, Nichols P C, Moss E D, Evans D M. Climate warming alters the structure of farmland tritrophic ecological networks and reduces crop yield[J]. *Molecular Ecology*, 2018, 27(23): 4931-4946
- [4] Muns R, Malmkvist J, Larsen M L, Sørensen D, Pedersen L J. High environmental temperature around farrowing induced heat stress in crated sows[J]. *Journal of Animal Science*, 2016, 94(1): 377-384
- [5] Bracke M B M. Review of wallowing in pigs: Description of the behaviour and its motivational basis[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2011, 132(1/2): 1-13
- [6] Guo Z H, Lv L, Liu D, Fu B. Effects of heat stress on piglet production/performance parameters[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2018, 50(6): 1203-1208
- [7] Lu Z, Ma Y J, Li Q, Liu E M, Jin M L, Zhang L P, Wei C H. The role of N(6)-methyladenosine RNA methylation in the heat stress response of sheep (*Ovis aries*) [J]. *Cell Stress and Chaperones*, 2019, 24(2): 333-342
- [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(1/2/3): 1-12
- [9] Daramola J O, Adeyoye A A. Physiological adaptation to the humid tropics with special reference to the West African Dwarf (WAD) goat [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2009, 41(7): 1005-1016
- [10] Marai I F M, Habeeb A A M, Gad A E. Reproductive traits of female rabbits as affected by heat stress and lighting regime under subtropical conditions of Egypt[J]. *Animal Science*, 2004, 78(1): 119-127
- [11] Pantoja M H A, Esteves S N, Jacinto M A C, Pezzopane J R M, Paz C C P, Silva J A R D, Lourenço Junior J B, Brandão F Z, Moura A B B, Romanello N, Botta D, Garcia A R. Thermoregulation of male sheep of indigenous or exotic breeds in a tropical environment [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2017, 69: 302-310
- [12] Li F K, Yang Y, Jenna K, Xia C H, Lv S J, Wei W H. Effect of heat stress on the behavioral and physiological patterns of small-tail Han sheep housed indoors [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2018, 50(8): 1893-1901
- [13] Silanikove N. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments[J]. *Small Ruminant Research*, 2000, 35(3): 181-193

- [14] Fadare A O, Peters S O, Yakubu A, Sonibare A O, Adeleke M A, Ozoje M O, Imumorin I G. Physiological and haematological indices suggest superior heat tolerance of white-coloured West African Dwarf sheep in the hot humid tropics[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2013, 45(1): 157–165
- [15] Cwynar P, Kolacz R, Czerski A. Effect of heat stress on physiological parameters and blood composition in Polish Merino rams[J]. *Berliner Munchener Tierarztliche Wochenschrift*, 2014, 127(5/6): 177–182
- [16] Adedeji T A, Ozoje M O, Peters S O, Ojedapo L O, Sanusi O A. Effect of coat color and wattle genes on the morphometric characteristics and scrotal dimensions of traditionally reared West African Dwarf (WAD) bucks [J]. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*, 2011, 4(2): 157–162
- [17] 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
- [18] Banerjee D, Upadhyay R C, Chaudhary U B, Kumar R, Singh S, Tapan K Das A, De S. Seasonal variations in physio-biochemical profiles of Indian goats in the paradigm of hot and cold climate[J]. *Biological Rhythm Research*, 2015, 46(2): 221–236
- [19] Wojtas K, Cwynar P, Kolacz R. Effect of thermal stress on physiological and blood parameters in merino sheep[J]. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 2014, 58(2): 283–288
- [20] Sano H, Takahashi K, Ambo K, Tsuda T. Turnover and oxidation rates of blood glucose and heat production in sheep exposed to heat [J]. *Journal of Dairy Science*, 1983, 66(4): 856–861
- [21] Srikandakumar A, Johnson E H, Mahgoub O. Effect of heat stress on respiratory rate, rectal temperature and blood chemistry in Omani and Australian Merino sheep[J]. *Small Ruminant Research*, 2003, 49(2): 193–198
- [22] Macias-Cruz U, Lopez-Baca M A, Vicente R, Mejía A, Álvarez F D, Correa-Calderón A, Meza-Herrera C A, Mellado M, Guerra-Liera J E, Avendaño-Reyes L. Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2016, 60(8): 1279–1286
- [23] Sejian V, Maurya V P, Naqvi S M. Adaptive capability as indicated by endocrine and biochemical responses of Malpura ewes subjected to combined stresses (thermal and nutritional) in a semi-arid tropical environment [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2010, 54(6): 653–661
- [24] Alhidary I A, Shini S, Al Jassim R A, Gaughan J B. Physiological responses of Australian Merino wethers exposed to high heat load[J]. *Journal of Animal Science*, 2012, 90(1): 212–220
- [25] Macias-Cruz U, Correa-Calderon A, Mellado M, Meza-Herrera C A, Aréchiga C F, Avendaño-Reyes L. Thermoregulatory response to outdoor heat stress of hair sheep females at different physiological state[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2018, 62(12): 2151–2160
- [26] Rathwa S D, Vasava A A, Pathan M M, Madhira S P, Patel Y G, Pande A M. Effect of season on physiological, biochemical, hormonal, and oxidative stress parameters of indigenous sheep[J]. *Veterinary World*, 2017, 10(6): 650–654
- [27] Sevi A, Annicchiarico G, Albenzio M, Taibi L, Muscio A, Dell'Aquila S. Effects of solar radiation and feeding time on behavior, immune response and production of lactating ewes under high ambient temperature[J]. *Journal of Dairy Science*, 2001, 84(3): 629–640
- [28] Koluman N, Daskiran I. Effects of ventilation of the sheep house on heat stress, growth and thyroid hormones of lambs [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2011, 43(6): 1123–1127
- [29] 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*, 2007, 68(3): 285–290

# Study on Screening for Physiological and Biochemical Indexes of Heat Stress of Hu Sheep (*Ovis aires*)

LU Zengkui<sup>1,2</sup> LI Qing<sup>1</sup> JIN Meilin<sup>1</sup> FEI Xiaojuan<sup>1</sup> WEI Caihong<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193;

<sup>2</sup> College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070)

**Abstract:** To clarify the effects of heat stress on physiological and biochemical indexes of Hu sheep, Hu sheep were raised under conditions of heat stress (in August 2017) and no heat stress (in December 2017), and to measure physiological and biochemical indexes, T<sub>3</sub> and T<sub>4</sub> contents. The results showed that heat stress caused significant and extremely significant changes in the physiological and biochemical indexes of Hu sheep, such as respiratory rate, mean corpuscular volume, hematokrit, mean platelet volume, aspartate aminotransferase content, alkaline phosphatase content, glutamyl transpeptidase content and high-density lipoprotein content. Moreover, the T<sub>3</sub> and T<sub>4</sub> contents were significantly lower than the control group in Hu sheep subjected to heat stress. This indicates that changes in these indexes could be used as references for the evaluation of heat stress in Hu sheep. This finding lays a theoretical foundation for Hu sheep production.

**Keywords:** Hu sheep, heat stress, physiological indexes, biochemical indexes