

徐元庆, 杜天屿, 赵书珍, 等. 夏季遮阳管理对绒山羊血清、胃和小肠抗氧化功能的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (7): 31-38.

XU Y Q, DU T Y, ZHAO S Z, et al. Effects of shading management in summer on serum, stomach and small intestine antioxidant function of cashmere goats [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (7): 31-38.

夏季遮阳管理对绒山羊血清、胃和小肠抗氧化功能的影响

徐元庆¹, 杜天屿¹, 赵书珍¹, 苏雅², 沈冬梅³, 敖日格勒图⁴, 史彬林¹

(1. 内蒙古农业大学动物科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古自治区农牧业技术推广中心, 内蒙古 呼和浩特 010010;

3. 呼和浩特市武川县农牧技术推广中心, 内蒙古 呼和浩特 011700;

4. 内蒙古鄂托克前旗昂素镇农牧服务综合保障中心, 内蒙古 鄂尔多斯 016200)

摘要: 旨在研究夏季遮阳管理对绒山羊血清、胃和小肠抗氧化功能的影响。选取 18 只体重 (15.48 ± 1.65) kg 的内蒙古绒山羊随机均分为 3 组, 即对照组 (CT)、围栏遮阳组 (ES) 和围栏+水槽遮阳组 (ETS), 于试验第 1、7、14、21 和 28 天分别采集绒山羊血液测定抗氧化指标, 于试验第 28 天屠宰, 采集瘤胃液、胃和小肠组织用于抗氧化指标的测定。结果: 在试验期第 7、14 和 28 天, ETS 组绒山羊血清过氧化氢酶 (CAT) 活性均显著高于 ES 组和 CT 组 ($P < 0.05$); 在第 14 天, ETS 组绒山羊血清丙二醛 (MDA) 含量显著低于 ES 组和 CT 组 ($P < 0.05$); 在第 21 天, ES 组和 ETS 组绒山羊血清超氧化物歧化酶 (SOD) 活性显著高于 CT 组 ($P < 0.05$)。ETS 组绒山羊瘤胃液 CAT 活性显著高于 ES 组和 CT 组 ($P < 0.05$), ES 组和 ETS 组 SOD 活性显著高于 CT 组 ($P < 0.05$); ETS 组绒山羊瘤胃和网胃组织的谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活性均显著高于 CT 组和 ES 组 ($P < 0.05$), 且总抗氧化能力 (T-AOC) 也均较 CT 组显著升高 ($P < 0.05$); ES 组和 ETS 组绒山羊网胃 MDA 含量较 CT 组显著降低 ($P < 0.05$); ETS 组和 ES 组绒山羊皱胃 T-AOC 和 SOD 活性较 CT 组显著升高 ($P < 0.05$)。ETS 组和 ES 组绒山羊十二指肠和回肠 SOD 活性和空肠 GSH-Px 活性较 CT 组均显著升高 ($P < 0.05$), 十二指肠 MDA 含量显著降低 ($P < 0.05$); ETS 组空肠 SOD 活性较 ES 组和 CT 组显著升高 ($P < 0.05$)。综上, 在夏季高温环境下对围栏和水槽进行遮阳处理, 能够增加绒山羊抗氧化酶活性, 缓解高温环境导致的氧化应激。

关键词: 热应激; 遮阳管理; 绒山羊; 抗氧化功能

中图分类号: S815.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2025)07-0031-08

Effects of shading management in summer on serum, stomach and small intestine antioxidant function of cashmere goats

XU Yuanqing¹, DU Tianyu¹, ZHAO Shuzhen¹, SU Ya², SHEN Dongmei³, Aorigeletu⁴, SHI Binlin¹

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

2. Inner Mongolia Autonomous Region Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center, Hohhot 010010, China;

3. Wuchuan County Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center, Hohhot 011700, China;

4. Otog Front Banner Angsu Agriculture and Animal Husbandry Services Comprehensive Support Center, Ordos 016200, China)

Abstract: The present study was conducted to investigate the effects of shading management in summer on the antioxidant function of cashmere goats. A total of 18 healthy Inner Mongolia cashmere goats with similar body weight (15.48 ± 1.65) kg were obtained and randomly divided into 3 treatment groups: the control group (CT), the enclosure shading group (ES), and the enclosure + trough shading group (ETS). Blood samples were collected from the goats on days 1, 7, 14, 21 and 28 of the experiment. At the end of the experiment, the goats were slaughtered and samples of the gastric and intestinal tissues were harvested. Samples of the rumen contents were also collected. The results showed that, on days 7, 14 and 28, the serum catalase (CAT) activity in the ETS group was higher than in the ES group and the CT group ($P < 0.05$). On day 14, the serum malondialdehyde (MDA) level of the cashmere goats in the ETS group were lower than in the ES

收稿日期: 2024-06-27; 修回日期: 2025-04-22

基金项目: 内蒙古自治区直属高校基本科研业务费项目 (BR220135, BR22-13-13); 农业重大技术协同推广项目“绒山羊提质增效关键技术集成推广与创新应用”

第一作者: 徐元庆, 男, 博士, 副教授, 研究方向为动物环境与营养, E-mail: xuyuanqing@imau.edu.cn.

and CT groups ($P < 0.05$). On day 21, the serum superoxide dismutase (SOD) activity of the cashmere goats in the ES and ETS groups was higher than in the CT group ($P < 0.05$). The CAT activity in the rumen fluid in the ETS group was higher than in the ES and CT groups ($P < 0.05$), and the SOD activity in the ES and ETS groups was higher than in the CT group ($P < 0.05$). The GSH-Px activities of the rumen and reticulum in the ETS group were higher than in the CT and ES groups ($P < 0.05$), and the T-AOC of the rumen and reticulum were higher than in the CT group ($P < 0.05$). The MDA content in the reticulum of the cashmere goats in the ES and ETS groups was lower than in the CT group ($P < 0.05$). The T-AOC and SOD activity in the abomasum of the goats in the ETS and ES groups were higher than in the CT group ($P < 0.05$). Compared with the CT group, the SOD activity in the duodenum of the goats in the ETS and ES groups was significantly increased ($P < 0.05$), but their MDA content was significantly decreased ($P < 0.05$). The SOD activity of the jejunum and ileum in the ETS group were significantly increased, compared with the ES group and the CT group ($P < 0.05$); and the GSH-Px activity of the jejunum in the ES group and the ETS group was significantly increased, compared with the CT group ($P < 0.05$). In conclusion, shading treatment in high temperatures in summer promoted the antioxidant enzyme activity in cashmere goats and alleviated oxidative stress in the animals caused by high temperature.

Keywords: heat stress; shading management; cashmere goats; antioxidant function

正常的需氧代谢过程中, 动物体内会产生大量的活性氧 (ROS), 同时也存在清除 ROS 的抗氧化物质, 以此实现氧化和抗氧化功能的平衡。而 ROS 具有不稳定性, 在机体受到不利刺激时, 极易在体内与其他分子发生反应并产生一系列连锁反应^[1]。当反刍动物受到热应激刺激时, 体温调节反应包括将血流从内脏器官重新分配到外周, 内脏血流减少, 胃肠道产生氧化应激, 导致体内 ROS 过量产生, 抗氧化系统无法及时清除, 从而使 ROS 积累, 导致体内抗氧化剂和 ROS 失衡, 使生物体发生氧化应激, 造成氧化损伤^[2]。大量的研究表明, 夏季高温所致的热应激会导致羊的抗氧化酶活性降低, 抗氧化系统受到损伤, 进而加快细胞和组织的脂质过氧化反应。张灿^[3] 研究报告, 在夏季 7、8 月份, 绵羊和山羊处于热应激状态, 绵羊和山羊血清总抗氧化能力 (T-AOC)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活性均低于 5 月份, 血清丙二醛 (MDA) 浓度均高于 5 月份。环境控制仓 (舍) 内的研究也表明, 热应激会影响绵羊的抗氧化性能。刘爱瑜等^[4] 在环境控制仓的研究发现, 热应激降低绵羊羔羊血清 SOD 和过氧化氢酶 (CAT) 活性及 T-AOC, 增加血清 MDA 含量。石璐璐等^[5-6] 在环境控制舍内的研究也发现, 长时间遭受热应激的绵羊母羊和羔羊血清 CAT、GSH-Px、SOD 的活性降低, MDA 含量升高, 抗氧化能力降低。

高温季节强烈的太阳辐射会迅速削弱反刍动物的散热能力, 特别是在缺乏遮阳和被毛隔热作用的情况下, 这会导致反刍动物吸收甚至超过其自身代谢所产生热量的外部热量, 打破机体热平衡, 是诱导动物产生热应激的环境因素之一^[7]。此外, 高温季节强烈的太阳辐射也会导致无遮阳水槽内的水温升高, 影响羊的饮水量。因此, 高温季节提供遮阳可以保护反刍动物免受太阳辐射, 减少热应激造成的不利影响。夏

季对奶牛提供不同面积的遮阳, 奶牛在遮阳处停留的时间增加, 躺卧和在水槽周围的时间减少, 攻击行为减少, 呼吸频率降低, 表明遮阳能够有效缓解奶牛热应激^[8]。夏季高温环境下为肉牛提供遮阳网, 也能降低肉牛呼吸频率和直肠温度, 对热应激具有缓解作用^[9]。反刍动物体内水分随着环境温度的升高而大量流失, 及时补充足够的水分和降低饮水温度也是缓解热应激的必要措施。研究表明, 夏季炎热环境中, 绵羊饮用较低温度的冷水, 运动量增加, 呼吸频率和直肠温度降低^[10]。

目前, 关于在高温季节采取遮阳措施对绒山羊健康影响的研究较少, 遮阳管理措施对绒山羊抗氧化功能影响的研究也鲜见报道。本试验针对内蒙古地区夏季高温的特点, 结合实际生产, 探索夏季围栏和水槽遮阳对绒山羊抗氧化功能的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 7—8 月在内蒙古农业大学试验牧场进行。选取 18 只体重 (15.48 ± 1.65) kg、健康状况良好的 4~5 月龄内蒙古绒山羊公羔, 随机分为 3 个处理组, 即对照组 (CT)、围栏遮阳组 (ES) 和围栏遮阳+水槽遮阳组 (ETS), 每个处理 6 只羊, 试验期 28 d。围栏遮阳采用黑色聚乙烯材质遮阳网, 遮阳网密度为 4 针, 双层架设在距离地面约 3 m 处。水槽遮阳采用自行设计防晒水槽。

1.2 饲养管理

试验羊免疫、剪毛和驱虫。试验开始前对圈舍进行清洁和消毒处理, 试验期间保持圈舍通风、清洁, 每日分别在 06:00 和 17:00 饲喂全混合日粮, 自由饮水。

1.3 样品采集

于试验期第 1、7、14、21 和 28 天晨饲前对绒山

羊进行颈静脉采血，4℃静置约30 min，3 500 g离心10 min分离血清，并于第28天屠宰，采集瘤胃液及胃和小肠组织样品，-20℃冻存，用于抗氧化指标的测定。

1.4 指标测定

环境指标的测定：试验期间全天测定不同圈栏内空气温度和相对湿度，每天05:00—20:00每小时测定不同圈栏内的热辐射和饮水温度。空气温度和相对湿度使用温湿度记录仪测定，水温使用玻璃棒式温度计测定，热辐射使用热辐射计测定。

温湿指数 (THI) 采用 Mader 等^[11] 和 Srivastava 等^[12] 提出的评估公式进行计算，公式如下：

$$THI = (0.8 \times T) + (RH/100) \times (T - 14.4) + 46.4,$$

其中：*T* 表示空气温度 (℃)，*RH* 表示相对湿度 (%)。当 THI < 72，为舒适区，山羊为非热应激状态；当 72 ≤ THI ≤ 75，为轻度热应激；当 75 < THI ≤ 80，为中度热应激；当 80 < THI ≤ 86，为重度热应激；当 THI > 86，为极度热应激。

饮水温度和饮水量的测定：试验期内每天05:00—20:00使用棒状温度计测定水槽内饮水温度。试验期内1~24 d每3 d统计水槽加水量和剩水量，计算每日饮水消耗量；25~28 d每2 d统计水槽加水量和剩水量，计算每日饮水消耗量。此外，每组相同条件放置相同水槽，统计每日饮水蒸发量。平均每日饮水量 = 每日饮水消耗量 - 每日饮水蒸发量。

抗氧化指标的测定：称取0.5 g胃或小肠组织样品，与生理盐水按质量体积比1:9匀浆，4℃、3 000 g离心10 min，取上清液即为各组织匀浆液。采用商用试剂盒（南京建成生物工程研究所）按照说明书要求测定血清、瘤胃液和组织匀浆液抗氧化指标，包括T-AOC、CAT、SOD、GSH-Px活性和MDA含量。

1.5 数据统计与分析

数据表示为“平均值±标准差”，使用SAS 9.2分析软件进行方差分析，并进行Duncan's多重比较，当P < 0.05表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 夏季遮阳管理对圈栏环境参数的影响

试验期间各组空气温度和相对湿度变化规律基本一致，全天空气温度均高于19℃，10:00—17:00的空气温度达30℃以上（图1A），相对湿度均处于20%~75%（图1B）。08:00—19:00各组平均THI均高于72，其中08:00—09:00、17:00—19:00为72~75，此时绒山羊处于轻度热应激；10:00—16:00为75~80，此时绒山羊处于中度热应激（图1C）。ES和ETS组的热辐射显著低于CT组（图1D），说明遮阳措施可以有效遮挡热辐射，经计算全天热辐射遮挡率均达90%以上。

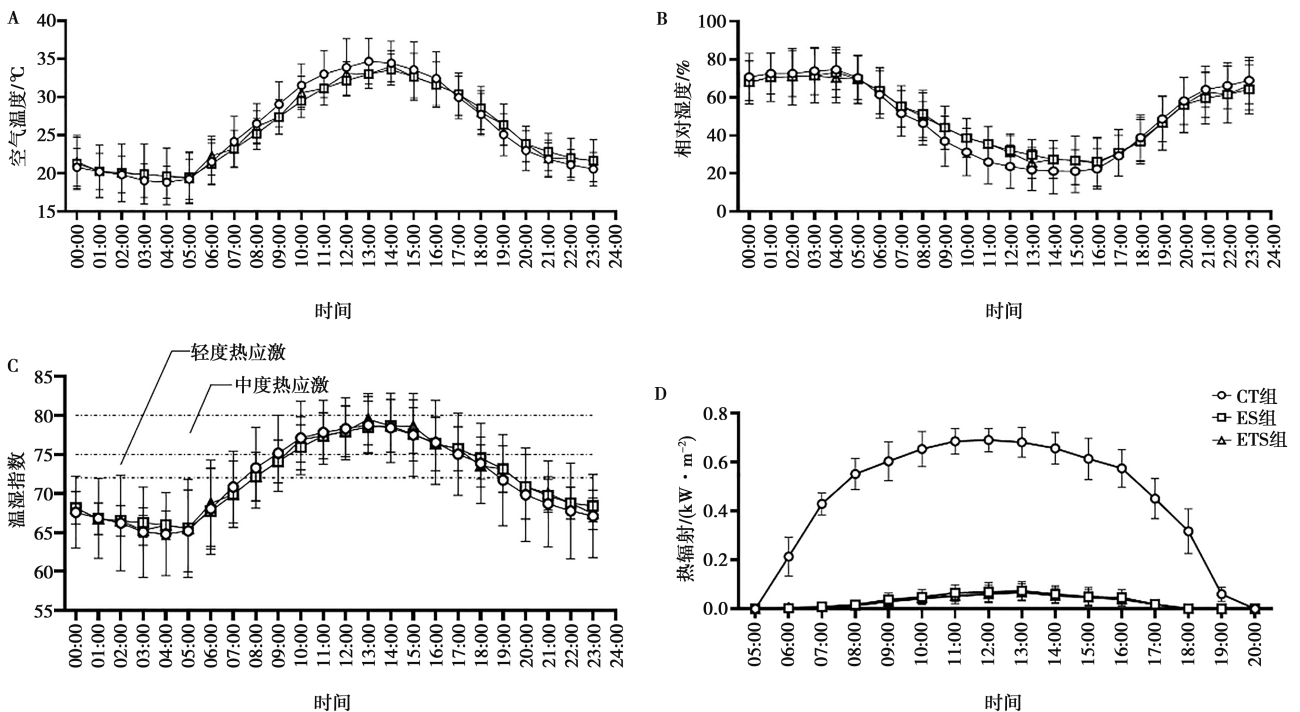
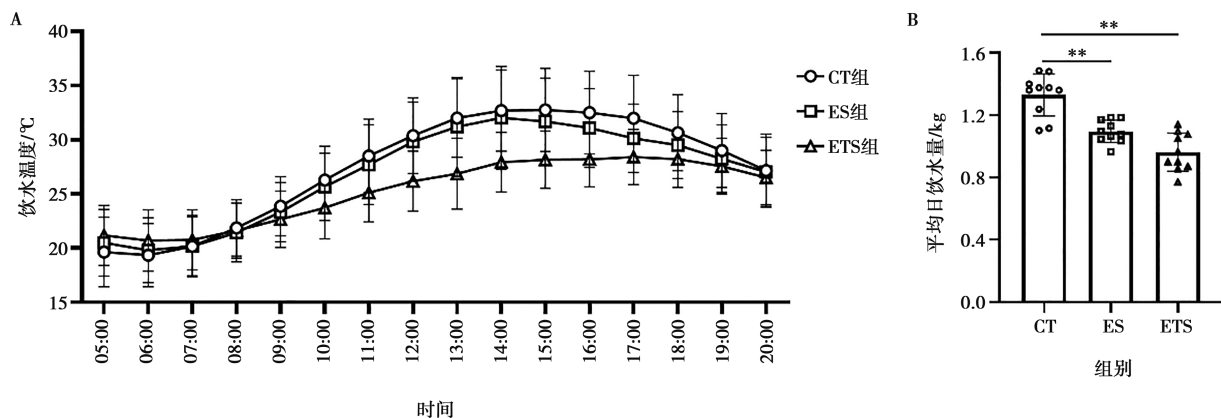


图1 夏季遮阳管理圈栏空气温度 (A)、相对湿度 (B)、温湿指数 (C) 和热辐射 (D) 的变化规律

2.2 夏季遮阳管理对饮水温度和绒山羊饮水量的影响

试验期间, ETS 组饮水温度低于 CT 与 ES 组,

在 12:00—15:00 时, 饮水温度相差较大, 达 5 °C 左右 (图 2A); 由图 2B 可知, ES 组和 ETS 组的绒山羊平均日饮水量极显著低于 CT 组 ($P<0.01$)。



注: ** 表示差异极显著 ($P<0.01$)。

图 2 夏季遮阳管理对饮水温度 (A) 和绒山羊饮水量 (B) 的影响 ($n=10$)

2.3 夏季遮阳管理对绒山羊血清抗氧化功能的影响

如表 1 所示, 在第 1 天, 3 组山羊血清 CAT、GSH-Px、SOD 活性, MDA 含量和 T-AOC 差异不显著 ($P>0.05$); 在第 7 天, ETS 组绒山羊血清 CAT 活性显著高于 ES 组和 CT 组 ($P<0.05$); 在第 14 天, ETS 组绒山羊血清 CAT 活性显著高于 ES 组和

CT 组 ($P<0.05$), 而血清 MDA 含量则显著低于 ES 组和 CT 组 ($P<0.05$); 在第 21 天, ES 组和 ETS 组绒山羊血清 SOD 活性显著高于 CT 组 ($P<0.05$); 在第 28 天, ETS 组绒山羊血清 CAT 活性显著高于 ES 组和 CT 组 ($P<0.05$), ES 组绒山羊血清 CAT 活性显著高于 CT 组 ($P<0.05$)。

表 1 夏季遮阳管理对绒山羊血清抗氧化功能的影响 ($n=6$)

时间	项目	CT 组	ES 组	ETS 组
第 1 天	CAT/ ($U \cdot mL^{-1}$)	2.81±0.79	2.25±0.71	2.87±0.74
	SOD/ ($U \cdot mL^{-1}$)	134.5±14.7	147.0±24.5	153.3±21.7
	GSH-Px/ ($U \cdot mL^{-1}$)	220.5±31.7	225.6±38.4	237.3±33.4
	MDA/ ($nmol \cdot mL^{-1}$)	3.36±0.72	3.47±0.51	3.15±0.59
	T-AOC/ ($mmol \cdot mL^{-1}$)	0.40±0.09	0.35±0.13	0.34±0.10
第 7 天	CAT/ ($U \cdot mL^{-1}$)	2.43±0.14 ^b	2.41±0.18 ^b	2.91±0.51 ^a
	SOD/ ($U \cdot mL^{-1}$)	164.1±10.0	168.1±24.3	151.8±11.8
	GSH-Px/ ($U \cdot mL^{-1}$)	178.2±26.4	192.3±33.3	196.8±34.0
	MDA/ ($nmol \cdot mL^{-1}$)	4.48±1.38	3.78±0.95	2.94±0.33
	T-AOC/ ($mmol \cdot mL^{-1}$)	0.09±0.03	0.12±0.03	0.10±0.03
第 14 天	CAT/ ($U \cdot mL^{-1}$)	2.48±0.08 ^b	2.42±0.23 ^b	3.01±0.06 ^a
	SOD/ ($U \cdot mL^{-1}$)	165.6±24.7	157.1±12.8	168.4±16.4
	GSH-Px/ ($U \cdot mL^{-1}$)	245.8±14.2	232.3±46.3	224.8±33.8
	MDA/ ($nmol \cdot mL^{-1}$)	3.73±0.53 ^a	4.18±0.17 ^a	2.89±0.50 ^b
	T-AOC/ ($mmol \cdot mL^{-1}$)	0.12±0.04	0.14±0.04	0.12±0.02

续表1

时间	项目	CT组	ES组	ETS组
第21天	CAT/ (U · mL ⁻¹)	2.29±1.12	3.22±0.92	3.70±1.61
	SOD/ (U · mL ⁻¹)	118.7±19.3 ^b	140.0±15.9 ^a	146.2±15.8 ^a
	GSH-Px/ (U · mL ⁻¹)	220.9±39.2	175.1±82.2	243.5±44.1
	MDA/ (nmol · mL ⁻¹)	2.75±1.07	2.44±0.60	3.12±0.90
	T-AOC/ (mmol · mL ⁻¹)	0.10±0.02	0.11±0.02	0.10±0.04
第28天	CAT/ (U · mL ⁻¹)	1.43±0.24 ^c	1.90±0.50 ^b	2.72±0.17 ^a
	SOD/ (U · mL ⁻¹)	96.1±28.4	96.0±17.5	99.2±36.1
	GSH-Px/ (U · mL ⁻¹)	160.3±6.8	191.5±36.3	191.2±32.5
	MDA/ (nmol · mL ⁻¹)	1.91±0.56	2.05±0.50	2.25±0.63
	T-AOC/ (mmol · mL ⁻¹)	0.36±0.07	0.27±0.03	0.35±0.11

注：同行肩标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)，下同。

2.4 夏季遮阳管理对绒山羊胃抗氧化功能的影响

如表2所示，ETS组绒山羊瘤胃液CAT活性显著高于CT组和ES组 ($P<0.05$)，ES组和ETS组绒山羊瘤胃液SOD活性显著高于CT组 ($P<0.05$)；ETS组绒山羊瘤胃中的GSH-Px活性显著高于CT组和ES组 ($P<0.05$)，ES组和ETS组绒山羊瘤胃中T-AOC较CT组显著升高 ($P<0.05$)；ETS组绒山羊

网胃GSH-Px活性显著高于ES组和CT组 ($P<0.05$)，而ETS组T-AOC较CT组显著升高 ($P<0.05$)，ES组和ETS组网胃MDA含量较CT组显著降低 ($P<0.05$)；ETS组和ES组绒山羊皱胃T-AOC和SOD活性较CT组显著升高 ($P<0.05$)。3组之间在瓣胃各抗氧化指标上无显著差异。

表2 夏季遮阳管理对绒山羊胃抗氧化功能的影响 ($n=6$)

胃样品	项目	CT组	ES组	ETS组
瘤胃液	CAT/ (U · mL ⁻¹)	4.08±0.61 ^b	4.36±0.54 ^b	5.71±0.73 ^a
	SOD/ (U · mL ⁻¹)	177.8±13.2 ^b	195.4±9.2 ^a	203.0±14.9 ^a
	MDA/ (nmol · mL ⁻¹)	3.36±0.46	3.31±0.89	2.78±0.51
	T-AOC/ (mmol · mL ⁻¹)	0.24±0.05	0.23±0.04	0.22±0.06
瘤胃	CAT/ (U · mg ⁻¹)	3.26±0.60	3.60±0.44	3.93±0.43
	SOD/ (U · mg ⁻¹)	87.9±25.6	74.8±11.2	82.7±7.6
	GSH-Px/ (U · mg ⁻¹)	30.45±7.12 ^b	35.71±4.67 ^b	47.23±7.45 ^a
	MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	0.25±0.03	0.24±0.06	0.22±0.03
	T-AOC/ (mmol · mg ⁻¹)	0.24±0.03 ^b	0.28±0.02 ^a	0.29±0.02 ^a
网胃	CAT/ (U · mg ⁻¹)	4.34±0.73	4.26±0.64	4.75±0.98
	SOD/ (U · mg ⁻¹)	221.4±37.1	219.0±35.0	202.9±37.3
	GSH-Px/ (U · mg ⁻¹)	11.80±2.35 ^b	11.63±1.78 ^b	17.94±2.87 ^a
	MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	0.38±0.06 ^a	0.27±0.03 ^b	0.27±0.07 ^b
	T-AOC/ (mmol · mg ⁻¹)	0.22±0.03 ^b	0.28±0.05 ^{ab}	0.34±0.03 ^a
瓣胃	CAT/ (U · mg ⁻¹)	4.12±0.79	4.55±0.95	5.86±1.61
	SOD/ (U · mg ⁻¹)	279.5±10.0	278.9±30.3	252.7±41.4
	GSH-Px/ (U · mg ⁻¹)	35.14±6.52	38.55±4.91	44.52±6.75
	MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	0.25±0.09	0.19±0.04	0.31±0.10
	T-AOC/ (mmol · mg ⁻¹)	0.29±0.03	0.28±0.02	0.27±0.02

续表2

胃样品	项目	CT 组	ES 组	ETS 组
皱胃	CAT/ (U · mg ⁻¹)	4.49±0.90	5.31±1.15	5.43±1.27
	SOD/ (U · mg ⁻¹)	240.5±12.1 ^b	311.2±33.4 ^a	348.5±30.9 ^a
	GSH-Px/ (U · mg ⁻¹)	12.81±3.99	10.35±3.40	14.49±4.92
	MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	2.14±0.46	1.76±0.30	2.38±0.65
	T-AOC/ (mmol · mg ⁻¹)	0.20±0.04 ^b	0.26±0.01 ^a	0.26±0.02 ^a

2.5 夏季遮阳管理对绒山羊肠道抗氧化功能的影响

如表 3 所示, ETS 组和 ES 组绒山羊十二指肠 SOD 活性显著高于 CT 组 ($P<0.05$), 而 MDA 含量显著降低于 CT 组 ($P<0.05$); ETS 组绒山羊空肠

SOD 活性较 ES 组和 CT 组显著升高 ($P<0.05$), ES 组和 ETS 组绒山羊空肠 GSH-Px 活性较 CT 组显著升高 ($P<0.05$); ES 组和 ETS 组绒山羊回肠 SOD 活性较 CT 组显著升高 ($P<0.05$)。

表 3 夏季遮阳管理对绒山羊肠道组织抗氧化指标的影响 ($n=6$)

肠段	项目	CT 组	ES 组	ETS 组
十二指肠	CAT/ (U · mg ⁻¹)	5.62±0.70	4.90±0.66	5.10±1.15
	SOD/ (U · mg ⁻¹)	386.3±39.5 ^b	493.8±26.5 ^a	493.3±34.3 ^a
	GSH-Px/ (U · mg ⁻¹)	26.07±0.77	28.68±1.38	27.16±1.73
	MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	2.67±0.39 ^a	2.00±0.46 ^b	1.89±0.31 ^b
	T-AOC/ (mmol · mg ⁻¹)	0.12±0.04	0.15±0.02	0.14±0.02
空肠	CAT/ (U · mg ⁻¹)	1.24±0.20	1.54±0.41	1.22±0.27
	SOD/ (U · mg ⁻¹)	412.2±37.9 ^b	434.0±21.5 ^b	473.2±28.4 ^a
	GSH-Px/ (U · mg ⁻¹)	11.77±0.50 ^b	16.12±2.25 ^a	17.94±1.83 ^a
	MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	1.96±0.50	2.13±0.80	2.43±0.46
	T-AOC/ (mmol · mg ⁻¹)	0.11±0.03	0.12±0.02	0.11±0.03
回肠	CAT/ (U · mg ⁻¹)	0.77±0.28	0.63±0.12	0.68±0.14
	SOD/ (U · mg ⁻¹)	429.1±27.4 ^b	504.7±32.1 ^a	527.8±23.3 ^a
	GSH-Px/ (U · mg ⁻¹)	28.83±3.36	27.48±2.03	28.92±1.99
	MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	2.92±0.40	2.94±0.13	3.31±0.51
	T-AOC/ (mmol · mg ⁻¹)	0.12±0.02	0.13±0.03	0.13±0.02

3 讨论

太阳辐射是高温季节诱导动物产生热应激的环境因素之一, 高温季节太阳辐射会增加山羊羔羊的心率、皮肤温度和被毛温度, 影响羊的体温调节^[13]。高温季节采用遮阳措施能够有效抵挡太阳辐射, 有效改善遮阳设施下环境参数, 缓解家畜热应激。Brown-Brandl 等^[14]研究了不同遮蔽程度的遮阳措施的作用效果, 结果表明任意程度的遮蔽都能降低黑球温度和太阳辐射, 最多可使中午太阳辐射降低 86.8%。陈昭辉等^[15]采用塑料材质遮阳网最多可减少 87% 的太阳辐射, 使空气温度降低 3.95 °C, 同时将环境从严重热应激状态转变为中度热应激状态, 通过减少太阳辐射来降低肉牛热应激水平。韩晶^[16]研

究发现, 夏季给肉羊运动场提供遮阳网, 能够有效降低遮阳网下热辐射和空气温度, 并降低羊的呼吸频率、直肠温度和体表毛尖温度。本研究也发现, 遮阳网可以有效遮挡热辐射, 全天热辐射遮挡率可达 90% 以上。

在正常情况下, ROS 的产生和消除是通过机体的抗氧化系统保持在一个平衡状态, 少量和短暂的 ROS 增加有助于调节各种细胞功能, 但过量的 ROS 会破坏机体平衡, 造成生物损伤^[17]。动物体内清除 ROS 的抗氧化酶系统主要是 CAT、SOD 和 GSH-Px, 其中 SOD 负责将超氧阴离子转化为过氧化氢^[18]。GSH-Px 和 CAT 负责将过氧化氢分解为水分子和氧分子, 从而使 ROS 失活^[1,18]。热应激刺激时, 体内的抗氧化酶活性受到影响, 抗氧化系统无法发挥正常

功能, 从而影响 ROS 水平, 引发生物体的氧化应激^[2]。刘爱瑜等^[4]研究发现, 热应激降低绵羊羔羊血清 SOD 和 CAT 活性及 T-AOC, 增加血清 MDA 含量。石璐璐等^[5-6]研究也发现, 长时间遭受热应激的绵羊母羊和羔羊血清 CAT、GSH-Px、SOD 的活性降低, MDA 含量升高, 抗氧化能力降低。彭孝坤等^[19]研究发现, 对山羊进行急性热应激处理, 8 h 后血清 T-AOC 以及 SOD、GSH-Px 活性均显著降低, MDA 含量显著增加。本研究发现, 夏季遮阳措施增加了绒山羊血清 CAT 和 SOD 活性, 降低 MDA 含量, 说明遮阳管理能够提高机体抗氧化酶活性, 缓解氧化应激, 减少了机体的氧化损伤。

热应激诱导的氧化应激会使动物体表血流量增加, 内脏血流量代偿性减少, 局部缺血环境导致消化道黏膜的氧含量减少, 产生大量 ROS。高水平的 ROS 会导致消化道屏障功能受损, 扰乱正常的代谢和生理。模型动物上的研究发现, 热应激会降低小肠组织 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性, 升高 MDA 含量, 使小肠受到严重的氧化损伤^[20-21]。此外, 有研究表明, 热应激增加小鼠睾丸 MDA 含量, 降低 SOD 活性, 导致精子活力下降^[22]。本试验研究发现, 遮阳管理提高绒山羊瘤胃液 SOD 活性, 同时提高瘤胃和网胃 T-AOC 和 GSH-Px 活性, 瓣胃 CAT 活性, 皱胃 T-AOC 和 SOD 活性, 降低网胃 MDA 含量。这可能与遮阳管理有效降低了绒山羊体表温度有关^[23], 遮阳减少了体表的血流量, 胃组织的血流量供应充足, 缓解胃组织的氧化损伤, 减少脂质过氧化反应。此外, 遮阳管理升高绒山羊小肠 SOD 和 GSH-Px 活性, 降低 MDA 含量, 说明遮阳管理能够缓解热应激所致的肠道脂质过氧化程度, 维持氧化还原稳态平衡。

水是生命和细胞稳态所必需的, 保持水的摄入和排出的平衡对维持动物健康非常重要, 任何水的摄入减少都可能导致负平衡状态。水的限制与机体氧化还原稳态有关, 水的剥夺会诱发氧化应激^[24-25]。研究发现, 牧场遮阳虽未影响美利奴母羊的采食量, 但降低了母羊的饮水量^[26]。本研究也发现, 遮阳降低了绒山羊的饮水量, 同时提高了绒山羊抗氧化酶活性, 降低 MDA 含量, 此外, 在围栏遮阳基础上对水槽进行防晒处理虽降低了饮水温度, 但未进一步降低饮水量, 且增加了血清、瘤胃液和瓣胃 CAT 活性, 降低血清 MDA 含量。推测饮水量并未直接影响机体的抗氧化功能, 因本研究绒山羊可以自由饮水, 遮阳管理降低了绒山羊的呼吸频率^[23], 呼吸道水分散失量减少, 饮水量也就相应减少。遮阳管理增强机体的抗氧化功能, 一方面是瘤胃这种高度厌氧环境对环境变化更敏感, 低温饮水降低了瘤胃温度, 通过增加 CAT

活性减缓氧化应激; 另一方面在遮阳网减少太阳辐射和饮低温水的协同作用下, 调节了绒山羊体温和呼吸频率^[23], 减少了机体的热负荷, 进而使消化道产生的 ROS 水平下降, 缓解消化器官的氧化损伤。

4 结论

夏季高温环境下, 遮阳管理能够显著提高绒山羊血清、胃和小肠抗氧化酶 CAT、SOD 和 GSH-Px 活性, 降低 MDA 含量, 缓解热应激导致的氧化应激。

参考文献:

- [1] SUMANU V O, NAIDOO V, OOSTHUIZEN M C, et al. Adverse effects of heat stress during summer on broiler chickens production and antioxidant mitigating effects [J]. *Int J Biometeorol*, 2022, 66 (12): 2379-2393.
- [2] 严啊妮, 沈奔, 王洪荣. 热应激对反刍动物生产性能、瘤胃生理代谢和机体免疫功能的影响 [J]. *中国饲料*, 2022 (21): 14-17.
- [3] 张灿. 湿热应激对藏绵羊和山羊生产性能、瘤胃发酵及血液生化指标影响的比较研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
- [4] 刘爱瑜, 王超, 吴占军, 等. 热应激对断奶绵羊生长性能、抗氧化性能和瘤胃菌群的影响 [J]. *草业学报*, 2023, 32 (4): 173-182.
- [5] 石璐璐, 王哲奇, 徐元庆, 等. 热应激对绵羊血清免疫和抗氧化指标及相关基因相对表达量的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (11): 5275-5284.
- [6] SHI L L, XU Y Q, MAO C Y, et al. Effects of heat stress on antioxidant status and immune function and expression of related genes in lambs [J]. *Int J Biometeorol*, 2020, 64: 2093-2104.
- [7] 王哲奇, 徐元庆, 史彬林, 等. 热应激状态下羊的体温调节 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29 (7): 2211-2219.
- [8] SCHÜTZ K E, ROGERS A R, POULOUIN Y A, et al. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle [J]. *J Dairy Sci*, 2010, 93 (1): 125-133.
- [9] 郑卓, 柳雷振, 张黎杰, 等. 夏季高温环境和遮阳对夏南牛血液生理生化指标和行为的影响 [J]. *家畜生态学报*, 2023, 44 (10): 41-48.
- [10] 张明, 刁其玉, 赵国琦, 等. 夏季饮水温度和圈舍使用风扇对绵羊福利的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2009, 41 (6): 44-46.
- [11] MADER T L, DAVIS M S, BROWN T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle [J]. *J Anim Sci*, 2006, 84 (3): 712-719.
- [12] SRIVASTAVA A, YADAV P, MAHAJAN A, et al. Appropriate THI model and its threshold for goats in semi-arid regions of India [J]. *J Therm Biol*, 2021, 96: 102845.
- [13] Al-TAMIMI H J. Effects of solar radiation on thermophysiological and growth parameters of indigenous black bedwin goat kids in southern Jordan [J]. *J Biol Sci*, 2005, 5 (6): 724-728.
- [14] BROWN-BRANDL T M, CHITKO-MCKOWN C G, EIGENBERG R A, et al. Physiological responses of feedlot heifers provided access to different levels of shade [J]. *Animal*, 2017, 11 (8): 1344-

- 1353.
- [15] 陈昭辉, 熊浩哲, 张霞霞, 等. 遮阳网对西北地区夏季围栏牛场环境和肉牛生理特征的影响 [J]. 农业工程学报, 2019, 35 (11): 175-181.
- [16] 韩晶. 夏季运动场遮阳对舍饲肉羊行为及生理指标的影响 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005
- [17] MONTESINOS CRUZ V, ZAVALA GUEVARA I P. Alterations in energy balance and the antioxidant system due to heat stress; focus on animal production [J]. *Front Anim Sci*, 2023, 4: 1275290.
- [18] OGBUAGU N E, ALUWONG T, AYO J O, et al. Effect of fisetin and probiotic supplementation on erythrocyte osmotic fragility, malondialdehyde concentration and superoxide dismutase activity in broiler chickens exposed to heat stress [J]. *J Vet Med Sci*, 2018, 80 (12): 1895-1900.
- [19] 彭孝坤, 赵天, 黄晓瑜, 等. 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.
- [20] 张贝贝. 富氢电解水联合茶多酚缓解热应激小鼠肠道损伤的作用 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2023.
- [21] LI L, TAN H, ZOU Z, et al. Preventing necroptosis by scavenging ROS production alleviates heat stress-induced intestinal injury [J]. *Int J Hyperther*, 2020, 37 (1): 517-530.
- [22] 石一凡, 李晓彤, 锁云鹏, 等. 维甲酸对热应激小鼠睾丸损伤的保护作用 [J]. 南京农业大学学报, 2024, 47 (1): 183-192.
- [23] 赵书珍. 夏季遮阳管理对绒山羊生长性能、生理生化指标和行为的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
- [24] FARACO G, WIJASA T S, PARK L, et al. Water deprivation induces neurovascular and cognitive dysfunction through vasopressin-induced oxidative stress [J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2014, 34, 852-860.
- [25] FRIJHOFF J, WINYARD P G, ZARKOVIC N, et al. Clinical relevance of biomarkers of oxidative stress [J]. *Antioxid Redox Signal*, 2015, 23, 1144-1170.
- [26] CLOETE S W P, MULLER C J C, DURAND A. The effects of shade and shearing date on the production of Merino sheep in the Swartland region of South Africa [J]. *S Afr J Anim Sci*, 2000, 30 (3): 164-171.

· 信息 ·

倡导健康养殖新理念 解读疫病防控新技术

欢迎订阅 2025 年《畜牧与兽医》

ISSN 0529-5130, CN 32-1192/S

《畜牧与兽医》月刊由教育部主管、南京农业大学主办。1935 年创刊，由原中央大学畜牧兽医系编辑出版，著名兽医学家罗清生教授任主编，至今已有 90 年的办刊历史。始终遵循“为社会服务，为畜牧生产服务”和“理论与实践相结合，普及与提高并举”的办刊宗旨。本刊连续入选中国科技核心期刊（中国科技论文统计源期刊）、《中文核心期刊要目总览》，先后荣获华东地区优秀期刊、江苏期刊方阵双效期刊、江苏省优秀科技期刊、全国高校优秀期刊、全国畜牧兽医类优秀期刊等。

读者对象：畜牧、兽医科技工作者和大专院校师生等。

主要内容：主要刊登畜牧、兽医两学科各领域的研究报告、文献综述等。主要栏目有遗传繁育、动物营养、环境卫生、基础兽医、预防兽医、临床兽医和专题综述等。

征订办法：本刊为月刊，大 16 开，定价：28.00 元，全年 12 期共 336.00 元。邮发代号：28-42，全国各地邮局均可订阅。邮局漏订者可直接汇款至本刊杂志社补订。

地 址：江苏省南京市江北新区滨江大道 666 号南京农业大学行政楼 A320《畜牧与兽医》编辑部

邮 编：210031

电 话：025-84395701 (编辑部)

E-mail：muyizz@njau.edu.cn