中国农业大学学报 2024,29(1):127-139
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

岳子奇,姚小鹤,王之盛,胡瑞,邹华围,肖鉴鑫,左之才,彭全辉,梁秀容,邓文松,王成,左家学. 去势和热应激对筠连黄牛生产性能、瘤胃发酵和血液生化指标的影响[J]. 中国农业大学学报,2024,29(01):127-139.
YUE Ziqi, YAO Xiaohe, WANG Zhisheng, HU Rui, ZOU Huawei, XIAO Jianxin, ZUO Zhicai, PENG Quanhui, LIANG Xiurong, DENG Wensong, WANG Cheng, ZUO Jiaxue. Effects of cstration or heat-stress on production performance, rumen fermentation and blood biochemical indexes of Junlian cattle[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(01): 127-139.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.01.12

去势和热应激对筠连黄牛生产性能、瘤胃发酵和血液生化指标的影响

岳子奇[1] 姚小鹤[1] 王之盛[1*] 胡 瑞[1] 邹华围[1] 肖鉴鑫[1] 左之才[2] 彭全辉[1]
梁秀容[1] 邓文松[3] 王 成[4] 左家学[5]

(1. 四川农业大学 动物营养研究所/四川省牛低碳养殖与安全生产重点实验室,成都 611130;
2. 四川农业大学 动物医学院,成都 611130;
3. 筠连县农业农村局,四川 宜宾 645250;
4. 筠连县畜牧水产业发展服务中心,四川 宜宾 645250;
5. 临沧市畜牧技术推广站,云南 临沧 677099)

摘 要 为研究去势和热应激对筠连黄牛生产性能、瘤胃发酵和血液生化指标的影响,本研究选用18头16月龄、体重相近((292.35±28.71) kg)的不同去势程度筠连黄牛(全去势FCG、半去势HCG、假手术SOG),分为3组,每组6个重复,每个重复1头牛,根据试验期间牛舍温湿度指数(THI),分为热应激期(7、8月)和非热应激期(9月),分析去势和热应激对黄牛各指标的影响。结果表明:1)与非热应激期相比,热应激期牛舍THI、肉牛呼吸频率和直肠温度均显著提高($P<0.05$)。2)去势和热应激均显著提高血清热休克蛋白70、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)和雌二醇浓度($P<0.05$),而睾酮、甲状腺素(T4)、胰岛素和游离脂肪酸浓度显著降低($P<0.05$),且除血清葡萄糖、T4和LDL-C外,去势和热应激对其他血清指标存在显著互作效应($P<0.05$)。3)全去势和热应激均显著降低肉牛平均日增重(ADG),且存在显著互作效应($P<0.05$)。4)热应激期,去势显著降低粗蛋白、酸性洗涤纤维和钙表观消化率以及血清总抗氧化能力(T-AOC)($P<0.05$),而热应激消除后,去势显著提高了T-AOC含量($P<0.05$)。5)去势和热应激均显著提高瘤胃pH($P<0.05$),显著降低氨态氮(NH_3-N)、乙酸(AA)和总挥发性脂肪酸(TVFA)浓度($P<0.05$),且去势和热应激对瘤胃pH、NH_3-N、AA和TVFA浓度存在显著互作效应($P<0.05$)。综上,公牛去势和热应激均会影响机体性激素分泌和养分表观消化率,从而降低生产性能,为热应激期肉牛饲养管理提供科学依据。

关键词 筠连黄牛; 热应激; 去势; 生产性能; 表观消化率; 血液生化指标

中图分类号 S823 **文章编号** 1007-4333(2024)01-0127-13 **文献标志码** A

Effects of castration and heat-stress on production performance, rumen fermentation and blood biochemical indexes of Junlian cattle

YUE Ziqi[1], YAO Xiaohe[1], WANG Zhisheng[1*], HU Rui[1], ZOU Huawei[1], XIAO Jianxin[1], ZUO Zhicai[2], PENG Quanhui[1], LIANG Xiurong[1], DENG Wensong[3], WANG Cheng[4], ZUO Jiaxue[5]

(1. Key Laboratory of University in Cattle Low Carbon Breeding and Safety Production in Sichuan Province/Animal Nutrition

收稿日期: 2023-04-25
基金项目: 四川省科技计划项目(2021YFYZ0001);财政部和农业农村部:国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系项目(CARS-37);临沧市肉牛改良与产业化发展关键技术研究与示范项目(202104AC100001-A04)
第一作者: 岳子奇(ORCID:0009-0001-8419-6519),博士研究生, E-mail: 947036981@qq.com
通讯作者: 王之盛(ORCID:0000-0001-7999-3612),教授,主要从事反刍动物营养与饲料科学研究, E-mail: zswangsicau@126.com

Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;
2. College of Veterinary Medicine, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;
3. Junlian County Agricultural and Rural Department, Yibin 645250, China;
4. Junlian County Animal Husbandry and Fisheries Service Center, Yibin 645250, China;
5. Lincang Animal Husbandry and Veterinary Technology Promotion Center, Lincang 677099, China)

Abstract The purpose of this study was to study the effects of castration and heat stress on production performance, rumen fermentation and blood biochemical indexes of yellow cattle. Eighteen 16-month-old *Junlian* yellow bulls of similar weight ((292.35±28.71) kg) with different degree of castration (Full-castration group: FCG, hemi-castration group: HCG and sham-operation group: SOG) were selected and divided into three groups, with 6 replicates in each group and 1 bull in each replicate. Then divided into heat stress (July and August) and non-heat stress (September) periods according to the changes of the thermal-humidity index (THI) during the experiment. Then the impact of castration and heat stress on indicators of yellow cattle was analyzed The results showed as follows: 1) Compared with the non-heat stress period, bulls in the heat stress period had significantly higher THI, respiratory rate and rectal temperature (P<0.05). 2) During the whole test period, the castration and heat stress significantly increased serum heat-shock protein 70, high-density lipoprotein (HDL-C), low-density lipoprotein (LDL-C) and estradiol concentrations (P<0.05); while serum testosterone, thyroxine (T4), insulin, and free fatty acids concentrations were significantly decreased (P<0.05); Besides serum glucose, T4 and LDL-C, castration and heat stress had a significant interaction effects on other serum index (P<0.05). 3) The full-castration and heat stress significantly decreased dry matter intake and average daily gain (ADG), and there was a significant interaction effect (P<0.05). 4) During the heat stress period, the castration significantly decreased crude protein, acid detergent fiber and Ca apparent digestibility, and serum total antioxidant capacity (T-AOC) (P<0.05), but significantly increased T-AOC in the non-heat stress period (P<0.05). 5) The castration and heat stress both significantly increased rumen pH (P<0.05), significantly decreased ammonia nitrogen (NH_3-N), acetic acid (AA), and total volatile fatty acid (TVFA) concentrations (P<0.05); and both had significant interaction effects on rumen pH, NH_3-N, AA and TVFA concentrations (P<0.05). In conclusion, castration and heat stress in bulls can affect the secretion of sex hormones concentrations and nutrient apparent digestibility, thereby reducing production performance, which provide a scientific basis for feeding management of beef cattle during heat stress periods.

Keywords Junlian cattle; heat stress; castration; production performance; apparent digestibility; serum biochemical indexes

在我国南方地区,夏季高温高湿环境是影响反刍动物生产性能的主要挑战[1]。环境温度高于动物所能承受的临界温度时,会发生热应激,增加动物呼吸频率,降低干物质采食量(DMI)和平均日增重(ADG),从而降低生产性能[2]。研究发现,当环境温度超过30 ℃,肉牛DMI下降40%,ADG和抗氧化能力显著降低,导致机体甲状腺功能衰退[3]。去势可降低肉牛的睾酮分泌[4]。研究发现睾酮会增加动物机体对多种传染病的易感性,造成机体损伤,而去势降低机体睾酮浓度可以提高雄性小鼠的免疫功能,但也有研究表明睾酮能够调节机体的热平衡[5-7]。研究发现,雄鼠比雌鼠更易发生热应激,且在热应激状态下,去势会降低雄鼠体温和血清热休克蛋白70(HSP70)含量,并提高其成活率[8-9];但在猪的研究发现,热应激对母猪产生的负面影响远大于公猪[10]。以上研究结果表明,不同动物去势或性别对动物热应激的影响存在差异。而关于去势和热应激共同作用对肉牛生产性能和瘤胃发酵的影响未见报道。

筠连黄牛属于"川南山地黄牛",是四川省宜宾市筠连县的特有牛种,具有体型大,抗病力强等优点[4]。因此,本研究以筠连黄牛为研究对象,通过研究去势和热应激对肉牛生产性能、瘤胃发酵和血液生化指标的影响,为探索缓解肉牛热应激的饲养管理技术提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

选取 18 头 16 月龄、体重相近（(292.35±28.71) kg）的不同去势程度筠连黄牛（全去势组（Full-castration group，FCG，去除全部睾丸及副性腺）、半去势组（Hemi-castration group，HCG，去除左侧睾丸及副性腺）、假手术组（Sham-operation group，SOG，阴囊左侧划一刀）），分为 3 组，每组 6 个重复，每个重复 1 头牛，单栏饲喂，根据饲养时间测定的牛舍环境温湿度指数（THI），7 月和 8 月为热应激期，9 月为非热应激期，所有试验牛饲喂相同日粮，预饲期 7 d，然后进行为期 90 d（7—9 月）的正式试验。

1.2　试验饲粮和饲养管理

根据《中国肉牛饲养标准 2004》中体重 300 kg、日增重 0.8 kg/d 营养需要配制日粮，精粗比为 55∶45，饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验日粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition, and nutrient levels of basal diet (dry matter basis)

原料 Ingredient	含量/% Content	营养水平 Nutrient level	含量 Content
玉米 Corn	30.25	综合净能/MJ/Kg NE_{mf}	5.67
小麦麸 Wheat bran	13.42	粗蛋白/% CP	11.41
菜粕 Rapeseed meal	7.70	中性洗涤纤维/% ADF	35.29
活性干酵母 Active dry yeast	0.11	酸性洗涤纤维/% NDF	28.43
预混料 Premix[1)]	2.75	钙/% Ca	0.62
碳酸钙 $CaCO_3$	0.33	磷/% P	0.38
饲料级氯化钠 NaCl	0.44		
白酒糟 Distilled grain	25.00		
稻草 Rice straw	20.00		
合计 Total	100.00		

注：1）预混料可为每千克饲粮中提供如下物质：Co 0.15 mg，Cu 10 mg，I 0.50 mg，Fe 50 mg，Mn 33 mg，Se 0.11 mg，Zn 44 mg，VA 3300 IU，VD 330 IU，VE 25 IU。

Note: The premix is to provide the following substances per kilogram of diet: Co 0.15 mg, Cu 10 mg, I 0.50 mg, Fe 50 mg, Mn 33 mg, Se 0.11 mg, Zn 44 mg, VA 3300 IU, VD 330 IU, VE 25 IU.

本研究于 2020 年 7—9 月在四川农业大学试验场进行。饲养开始前，对试验牛进行驱虫。每天 08∶00 和 16∶00 饲喂 2 次，自由采食和饮水。每天打扫圈舍，保持卫生。

1.3　检测指标

1.3.1　主要试验试剂和仪器

稀硫酸（10%），酶联免疫吸附（ELISA）试剂盒（南京建成生物工程研究所），生化试剂盒（南京建成生物工程研究所），pH 计（PH828 型，北京），气相色谱仪（CP-3800 瓦里安），全自动生化分析仪（3100，日本日立公司），酶标仪（SpectraMax-190，美国 Molecular Devices 公司）。

1.3.2　牛舍 THI 指数

在牛舍的前、中、后 3 个位置悬挂与牛体等高的温湿度计，正式试验期间，每天 8∶00、14∶00、20∶00 记录温度和湿度。参照 Tucker 等[11]的方法，计算牛舍 THI。

$$THI=(1.8\times T+32)-(0.55-0.55\times RH)\times(1.8\times T-26) \quad (1)$$

式中：T 为摄氏温度，℃；RH 为相对湿度，%。

1.3.3　呼吸频率和直肠温度测定

正式试验期间，每隔 10 d 记录 2 次（08∶00 和 14∶00）所有试验牛静卧时 1 min 胸腹部起伏次数并测定直肠温度，分别计算平均值[12]。

1.3.4　生长性能测定

正式试验期间，每天记录所有试验牛实际采食量，并根据日粮干物质水平计算 DMI；并在第 0、30、60、90 天晨饲前空腹称重，计算 ADG。

1.3.5　营养物质表观消化率测定

正式试验期间，每月采集饲料样品；每月连续 3 d 每天采集 8∶00、14∶00、20∶00 直肠粪样 200 g，混匀后加入 5% 粪样重的稀硫酸（10%）固氮，3 d 粪样

再混匀，于65 ℃烘干至恒重，回潮24 h后粉碎，−20 ℃冰箱保存待测。

干物质（DM）、粗蛋白（CP）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、钙（Ca）、磷（P）测定参考张丽英[13]方法；酸不溶灰分（AIA）测定参考Scott等[14]方法。采用内源指示剂法计算试验牛表观消化率。

$$营养物质消化率(\%)=(F1-F2\times A1/A2)/F1\times 100\% \quad (2)$$

式中：F1为饲料中营养物质含量，%；F2为粪中营养物质含量，%；A1为饲料中AIA含量，%；A2为粪中AIA含量，%。

1.3.6 瘤胃发酵参数测定

正式试验期，第30、60、90天的8:00、14:00、20:00利用胃管经口腔采集所有试验牛的瘤胃液，用pH计（PH828型，北京）现场测定瘤胃液pH；用四层纱布过滤后，分装于15 mL离心管中，−80 ℃保存待测。

氨态氮（NH_3-N）浓度参考屯妮萨·麦提赛伊迪的碱性次氯酸钠-苯酚分光光度计法测定；BCA蛋白定量试剂盒测定微生物蛋白（MCP）含量（南京建成生物有限公司）；气相色谱仪（CP-3800瓦里安）用于测定瘤胃液乙酸、丙酸、丁酸浓度；三者之和为总挥发性脂肪酸（TVFA）浓度；计算乙酸/丙酸比值（A/P）。

1.3.7 血清生化指标、抗氧化指标和内分泌激素的测定

正式试验期第30、60、90天晨饲前所有试验牛颈静脉采血一次，静置30 min，4 000 r/min离心15 min，分离血清，−20 ℃保存待测。

血清生化指标：全自动生化分析仪（3100，日本日立公司）测定总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、球蛋白（GLO）、血糖（GLU）、尿素氮（UN）、甘油三酯（TG）、总胆固醇（TC）、低密度脂蛋白（LDL）、高密度脂蛋白（HDL）、游离脂肪酸（NEFA）。

血清抗氧化指标：酶标仪（SpectraMax-190，美国Molecular Devices公司）测定总抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶（SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性和丙二醛（MDA）的含量，试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

血清内分泌激素和HSP70：酶联免疫吸附法（ELISA）测定HSP70和血清激素：睾酮、雌二醇（E2）、三碘甲状腺原氨酸（T3）、甲状腺素（T4）、皮质醇（COR）、促肾上腺皮质激素（ACTH）、胰岛素样生长因子（IGF-1）、胰岛素（INS）、生长激素（GH）。试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

1.4 数据统计分析

试验数据用Excel 2019初步整理，然后用SPSS 19.0软件的“一般线性模型”对数据进行方差分析，Duncan法进行多重比较，数据以平均值和均值标准误（SEM）显示，然后用SPSS 19.0软件中双因素方差分析，检验去势和热应激的交互作用，$P<0.05$为差异显著。

2 结果与分析

2.1 牛舍THI的变化情况

由表2可知，8月牛舍温度和THI显著高于7月和9月，且7月显著高于9月（$P<0.05$）；当THI大于72时，牛处于热应激环境。结果表明，7月和8月肉牛处于热应激期，9月肉牛处于非热应激期。

表2 试验期间牛舍温湿度指数变化

Table 2 The THI variation of barn during experimental period

项目 Item	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	SEM	*P*值 *P* value
温度/℃ T	27.21 b	30.33 a	23.21 c	0.900	<0.001
相对湿度/% RH	74.62	76.66	75.71	1.240	0.829
温湿度指数 THI	77.76 b	82.90 a	71.67 c	1.404	<0.001

注：同行数据不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。

Note: In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

2.2 去势和热应激对筠连黄牛生理指标的影响

由表3可知，与NHS相比，热应激期公牛呼吸频率和直肠温度均显著提高（$P<0.05$）。8-HS，全去势和半去势肉牛呼吸频率均显著低于假手术组（$P<$

0.05)；NHS，全去势肉牛呼吸频率显著高于半去势和假手术肉牛（$P<0.05$）。结果表明，热应激会导致肉牛呼吸频率和直肠温度升高，而去势在热应激期会降低肉牛呼吸频率，非热应激期提高呼吸频率。

2.3　去势和热应激对筠连黄牛生长性能的影响

由表4可知，去势和热应激对肉牛ADG存在显著互作效应（$P<0.05$）。与NHS相比，热应激期肉牛DMI和ADG均显著降低（$P<0.05$）。8-HS肉牛的DMI和ADG显著降低（$P<0.05$）。7-HS和NHS，半去势肉牛DMI均显著高于全去势和假手术肉牛（$P<0.05$）；且全去势肉牛ADG显著低于假手术肉牛（$P<0.05$）。8-HS，HCG组肉牛DMI和ADG显著高于FCG（$P<0.05$）。结果表明，热应激和去势均会降低肉牛ADG，且半去势会提高肉牛DMI。

表3　去势和热应激对筠连黄牛生理指标的影响

Table 3　Effects of castration and heat stress on physiological indexes of Junlian cattle

项目 Item		去势程度 Castration degree(CD)			SEM	P值[1] P value	P值[2] P value		
		FCG	HCG	SOG			CD	HS	CD*HS
呼吸频率/(次/min)	7-HS	29.28 A	30.78 A	31.38 B	0.872	0.626	0.562	<0.001	0.435
	8-HS	30.24 Ab	30.18 Ab	37.43 Aa	1.316	0.024			
	NHS	15.46 Ba	14.13 Bb	14.19 Cb	0.529	0.036			
直肠温度/℃	7-HS	38.84 A	38.74 B	38.72 A	0.037	0.432	0.790	<0.001	0.130
	8-HS	38.83 A	38.92 A	38.85 A	0.018	0.110			
	NHS	38.42 B	38.51 C	38.55 B	0.028	0.143			

注：FCG：全去势组；HCG：半去势组；SOG：假手术组。HS：热应激；NHS：非热应激；7-HS：7月热应激期；8-HS：8月热应激期。1：各月份内不同去势程度组间差异的显著性P值。2：CD之间的比较、不同HS之间的比较及CD和HS的交互作用。同行不同小写字母表示去势程度差异显著（$P<0.05$），同列不同大写字母表示不同热应激组差异显著（$P<0.05$）。下同。

Note: FCG: Full-castration group; HCG: Hemi-castration group; SOG: Sham-operation group; HS: Heat stress; NHS: Non-heat stress; 7-HS: Heat stress period in July; 8-HS: Heat stress period in August. 1: *P* values indicate significant differences between different groups with different degeneration levels in each month. 2: Comparison between CD, HS and the interaction between CD and HS. In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference between CD ($P<0.05$). In the same column, with different capital letter superscripts mean significant difference between different heat stress groups ($P<0.05$). The same below.

表4　去势和热应激对筠连黄牛生长性能的影响

Table 4　Effect of castration and heat stress on production performance of Junlian cattle

项目 Item		去势程度 Castration degree(CD)			SEM	P值 P value	P值 P value		
		FCG	HCG	SOG			CD	HS	CD*HS
干物质采食量/kg DMI	7-HS	5.41 ABb	6.36 a	5.72 Ab	0.166	0.025	<0.001	0.002	0.326
	8-HS	4.88 Bb	6.03 a	5.08 Bb	0.171	0.003			
	NHS	5.78 Ab	6.46 a	5.36 ABb	0.155	0.005			
平均日增重/(kg/d) ADG	7-HS	0.38 ABb	0.36 Bb	0.49 ABa	0.025	0.002	0.001	0.023	0.043
	8-HS	0.33 Bb	0.47 ABa	0.44 Bab	0.029	0.041			
	NHS	0.42 Ab	0.52 Aab	0.56 Aa	0.029	0.045			

2.4　去势和热应激对筠连黄牛养分表观消化率的影响

由表5可知，公牛去势和热应激对CP、EE、NDF、ADF、Ca和P表观消化率有显著互作效应（$P<0.05$）。与NHS相比，热应激显著降低了肉牛CP、EE、NDF、ADF、Ca和P表观消化率（$P<0.05$）。在7-HS，全去势和半去势均显著降低了Ca表观消化率（$P<0.05$），且半去势显著降低CP表观消化率（$P<0.05$），全去势显著提高NDF表观消化率；半去势显著提高EE和ADF表观消化率

（$P<0.05$）；而8-HS，全去势和半去势均显著提高Ca表观消化率（$P<0.05$），分别显著降低ADF和EE表观消化率（$P<0.05$）。热应激消除后，全去势和半去势均显著提高NDF表观消化率（$P<0.05$）；显著降低P表观消化率（$P<0.05$），且全去势组显著低于半去势组（$P<0.05$），对CP、EE、ADF和Ca表观消化率差异不显著（$P>0.05$）。结果表明，去势和热应激均会降低肉牛日粮养分表观消化率，且去势会加重热应激期肉牛表观消化率的降低。

表5 去势和热应激期对筠连黄牛养分表观消化率的影响

Table 5 Effect of castration and heat stress on nutrient apparent digestibility of Junlian cattle under

项目 Item		去势程度 Castration degree（CD）			SEM	P值 P value	P值 P value		
		FCG	HCG	SOG			CD	HS	CD*HS
粗蛋白/% CP	7-HS	60.46 Bab	58.19 Bb	62.50 Aa	0.681	0.015	0.504	<0.001	0.016
	8-HS	58.64 B	57.92 B	59.58 B	0.614	0.587			
	NHS	64.53 A	65.20 A	61.97 B	0.678	0.134			
粗脂肪/% EE	7-HS	76.34 Bab	78.68 Aa	75.3 Bb	0.582	0.039	0.22	0.006	<0.001
	8-HS	77.82 ABa	73.10 Bb	78.25 Aa	0.755	0.001			
	NHS	79.81 A	76.94 A	78.27 A	0.463	0.123			
中性洗涤纤维/% NDF	7-HS	69.22 Aa	66.93 Bb	67.44 b	0.398	0.042	0.43	<0.001	0.003
	8-HS	65.15 B	67.02 B	66.45	0.491	0.335			
	NHS	70.67 Aa	70.16 Aa	67.25 b	0.518	0.001			
酸性洗涤纤维/% ADF	7-HS	49.63 ABb	57.33 Aa	49.93 b	1.358	0.003	<0.001	0.001	0.019
	8-HS	46.12 Bb	51.33 Ca	50.71 a	1.017	0.042			
	NHS	52.23 A	54.82 B	52.09	0.628	0.126			
钙/% Ca	7-HS	37.14 Bc	43.06 Bb	50.72 Ba	1.891	0.001	0.297	<0.001	<0.001
	8-HS	32.13 Ca	30.91 Ca	23.53 Cb	1.254	0.001			
	NHS	63.61 A	61.06 A	62.26 A	0.849	0.536			
磷/% P	7-HS	49.39	52.52 B	50.56 B	0.911	0.421	<0.001	<0.001	0.001
	8-HS	48.34	47.67 C	50.46 B	0.670	0.222			
	NHS	51.92 c	59.22 Ab	63.96 Aa	1.813	0.001			

2.5 去势和热应激对筠连黄牛瘤胃发酵参数的影响

由表6可知，去势和热应激对瘤胃pH、NH_3-N、MCP、乙酸和TVFA浓度及A/P有显著互作效应（$P<0.05$）。与NHS相比，热应激期肉牛瘤胃pH值、乙酸、丙酸浓度显著提高（$P<0.05$），NH_3-N、MCP和TVFA浓度及A/P显著降低（$P<0.05$）。在7-HS，与假手术组相比，全去势或半去势均显著提高瘤胃pH和MCP浓度（$P<0.05$），全去势显著降低乙酸浓度（$P<0.05$），而半去势显著降低TVFA浓度（$P<0.05$），且与半去势相比，全去势显著降低瘤胃pH、NH_3-N、乙酸和TVFA浓度（$P<0.05$），显著提高MCP浓度（$P<0.05$）；8-HS，全去势瘤胃NH_3-N、MCP、乙酸、丙酸、丁酸和TVFA浓度显著低于半去势和假手术组（$P<0.05$），而半去势显著降低NH_3-N、MCP浓度及乙丙比，显著提高乙酸和丁酸浓度（$P<0.05$）；热应激消除后，全去势显著提高瘤胃pH和MCP浓度，显著降低TVFA、乙酸、丙酸、丁酸浓度和乙丙比（$P<0.05$），而半去势显著提高瘤胃pH和丁酸浓度（$P<0.05$），显著降低TVFA浓度和乙丙比（$P<0.05$）。结果表明，去势和热应激均会抑制肉牛瘤胃发酵，且去势会加重

热应激对肉牛瘤胃发酵的抑制。

2.6　去势和热应激对筠连黄牛血清HSP70和激素指标的影响

由表7可知，去势和热应激对血清HSP70、E_2、COR、ACTH、睾酮、T3、IGF-1和INS浓度有显著互作效应（$P<0.05$）。与NHS相比，热应激期肉牛HSP70、COR和ACTH浓度显著提高（$P<0.05$），而睾酮、E_2、T3、T4、IGF-1和INS浓度显著降低（$P<0.05$）。热应激期，全去势或半去势均显著提高HSP70和E_2浓度（$P<0.05$），显著降低睾酮、T4和INS浓度（$P<0.05$），且8-HS，全去势肉牛HSP70、E2和COR浓度显著半去势组（$P<0.05$），而睾酮和ACTH显著降低（$P<0.05$）。热应激消除后，全去势或半去势均显著提高E_2和T3浓度（$P<0.05$），且半去势显著提高睾酮和ACTH浓度（$P<0.05$），而全去势显著降低睾酮、T4、ACTH和INS浓度（$P<0.05$）。结果表明，去势和热应激均会提高血清HSP70浓度，且去势会加重肉牛的热应激反应。

2.7　去势和热应激对筠连黄牛血清生化指标的影响

由表8可知，去势和热应激对血清BUN、HDL-C、NEFA和TG浓度有显著互作效应（$P<0.05$）。与

表6　去势和热应激对筠连黄牛瘤胃发酵参数的影响

Table 6　Effects of castration and heat stress on rumen fermentation parameters of Junlian cattle

项目 Item		去势程度 Castration degree（CD）			SEM	*P*值 *P* value	*P*值 *P* value		
		FCG	HCG	SOG			CD	HS	CD*HS
pH	7-HS	7.03 b	7.27 Aa	6.33 Bc	0.105	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	7.02	6.88 B	6.88 A	0.034	0.188			
	NHS	6.85 a	6.70 Ba	6.48 Bb	0.047	0.001			
氨态氮/（mg/dL） NH_3-N	7-HS	7.24 Ab	9.10 Ba	7.65 Cb	0.278	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	5.60 Bc	6.95 Cb	8.99 Ba	0.526	0.002			
	NHS	7.15 Ab	10.60 Aa	10.37 Aa	0.578	<0.001			
微生物蛋白/（mg/mL） MCP	7-HS	4.75 Aa	4.15 Bb	3.72 Bc	0.154	<0.001	0.061	<0.001	<0.001
	8-HS	3.35 Bc	3.87 Cb	4.29 Aa	0.145	0.002			
	NHS	4.87 Aa	4.50 Ab	4.46 Ab	0.070	0.017			
乙酸/（mmol/L） AA	7-HS	10.34 Ab	12.32 a	13.48 Aa	0.513	0.008	<0.001	<0.001	0.029
	8-HS	8.19 Bc	11.98 a	10.87 Bb	0.583	<0.001			
	NHS	8.52 Bb	12.04 a	12.70 Aa	0.672	<0.001			
丙酸/（mmol/L） PA	7-HS	2.18 A	2.42	2.45	0.100	0.525	0.001	0.007	0.603
	8-HS	1.42 Bb	2.14 a	2.10 a	0.134	0.026			
	NHS	1.78 ABb	2.40 a	2.22 a	0.103	0.015			
丁酸 BA/（mmol/L）	7-HS	0.35 A	0.41 A	0.37 A	0.047	0.322	0.013	0.012	0.486
	8-HS	0.21 Bc	0.34 Ba	0.28 Bb	0.018	<0.001			
	NHS	0.20 Bc	0.32 Ba	0.30 Bb	0.015	<0.001			
总挥发性脂肪酸 TVFA/（mmol/L）	7-HS	12.57 Ab	14.96 Aa	16.16 Aa	0.545	0.002	<0.001	<0.001	0.001
	8-HS	10.14 Bb	14.38 ABa	13.42 Ba	0.659	<0.001			
	NHS	10.93 Bc	13.14 Bb	16.23 Aa	0.798	<0.001			
乙酸/丙酸比值 A/P	7-HS	4.93	4.95 A	5.01 B	0.052	0.856	<0.001	0.035	0.001
	8-HS	5.30a	4.33Bb	5.05 Ba	0.154	0.005			
	NHS	5.15b	4.54 ABc	5.48 Aa	0.177	0.005			

表7 去势和热应激对筠连黄牛内分泌激素及HSP70的影响

Table 7 Effects of castration and heat stress on endocrine hormones and HSP70 of Junlian cattle

项目 Item		去势程度 Castration degree(CD)			SEM	*P*值 *P* value	*P*值 *P* value		
		FCG	HCG	SOG			CD	HS	CD*HS
热休克蛋白70/(pg/mL) HSP70	7-HS	250.57 Aba	219.14 Aa	150.40 Bb	12.648	0.001	<0.001	<0.001	0.003
	8-HS	289.65 Aa	214.60 Ab	259.44 Ab	12.406	0.025			
	NHS	207.67 Ba	175.34 Bb	177.75 Bab	6.788	0.043			
睾酮/(pg/mL) T	7-HS	138.22 Bc	204.09 Cb	231.23 a	14.212	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	111.48 Cb	219.29 Ba	223.73 a	20.133	<0.001			
	NHS	155.91 Ac	262.61 Aa	238.12 b	17.289	<0.001			
雌二醇/(pg/mL) E_2	7-HS	59.80 Aa	47.16 Bb	42.25 Ab	2.508	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
	8-HS	50.37 Ba	42.49 Bb	32.15 Bc	2.602	<0.001			
	NHS	63.19 Aa	58.90 Aa	36.11 ABb	4.266	<0.001			
三碘甲状腺原氨酸/(nmol/L) T3	7-HS	5.78	5.87 B	5.53 B	0.182	0.582	0.004	<0.001	0.002
	8-HS	5.47 b	5.70 Bab	6.91 Aa	0.290	0.047			
	NHS	5.78 c	8.48 Aa	7.36 Ab	0.346	0.002			
甲状腺素/(nmol/L) T4	7-HS	169.54 Ab	162.23 Ab	180.87 Ba	2.720	0.004	<0.001	<0.001	0.107
	8-HS	135.28 Bb	143.85 Bb	168.96 Ca	5.816	0.015			
	NHS	164.05 Ab	175.41 Aab	192.22 Aa	4.854	0.024			
皮质醇 COR/(nmol/L)	7-HS	82.83 B	83.47 B	87.30 AB	1.347	0.418	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	114.56 Aa	90.25 Ab	93.15 Ab	3.619	<0.001			
	NHS	89.93 B	84.77 AB	82.40 B	1.519	0.106			
促肾上腺素皮质素/(pg/mL) ACTH	7-HS	44.16 Ab	51.72 Aa	56.28 Aa	2.075	0.021	<0.001	<0.001	0.003
	8-HS	43.37 Ab	53.19 Aa	43.00 Bb	1.737	0.006			
	NHS	28.15 Bc	40.92 Ba	29.54 Cb	2.238	0.003			
胰岛素样生长因子-1/(pg/mL) IGF-1	7-HS	205.95 AB	212.81 B	208.78	5.794	0.396	0.051	<0.001	0.020
	8-HS	179.47 B	184.85 B	215.49	7.720	0.079			
	NHS	212.95 A	246.46 A	219.08	6.533	0.083			
胰岛素/(mIU/L) INS	7-HS	13.00 Ba	10.11 Cb	12.66 Ba	0.567	0.044	0.030	<0.001	<0.001
	8-HS	13.13 B	14.15 B	13.71 B	0.485	0.236			
	NHS	17.74 Ab	22.75 Aa	21.94 Aa	0.841	0.003			

NHS相比，热应激提高了肉牛血清HDL-C、LDL-C和BUN浓度（$P<0.05$），显著降低TG和NEFA浓度（$P<0.05$）。热应激期和NHS，去势均会显著提高血清HDL-C和LDL-C浓度（$P<0.05$），显著降低BUN、NEFA浓度（$P<0.05$）。7-HS，不同去势程度均显著提高血清TG浓度（$P<0.05$），而8-HS，均显著降低TG浓度（$P<0.05$）。在7-HS和8-HS，全去势肉牛HDL-C和TG显著低于半去势组（$P<0.05$），而LDL-C显著高于半去势组（$P<0.05$）。结果表明，去势促进了肉牛机体脂质代谢，而热应激会抑制脂质代谢，但去势会促进热应激期肉牛脂质代谢。

2.8 去势和热应激对筠连黄牛血清抗氧化指标的影响

由表9可知，去势和热应激对血清MDA、T-AOC、T-SOD和GSH-Px浓度有显著互作效应（$P<0.05$）。与NHS相比，热应激期肉牛血清T-AOC、T-SOD和GSH-Px浓度显著降低（$P<0.05$），血清MDA含量显著增加（$P<0.05$），且与半去势肉牛相比，7-HS全去势肉牛T-AOC、T-SOD和GSH-Px浓度显著提高，而8-HS全去势肉牛T-SOD和GSH-Px浓度显著降低；热应激消除后，不同去势程度均显著提高血清T-AOC和GSH-Px

表 8　去势和热应激对筠连黄牛血清生化指标的影响

Table 8　Effects of castration and heat stress on blood biochemical indexes of Junlian cattle

项目 Item		去势程度 Castration degree(CD)			SEM	*P* 值 *P* value	*P* 值 *P* value		
		FCG	HCG	SOG			CD	HS	CD*HS
葡萄糖/(mmol/L) GLU	7-HS	4.21	3.96	4.15	0.056	0.409	0.923	0.059	0.777
	8-HS	4.01	4.09	4.10	0.057	0.816			
	NHS	4.02	4.02	4.04	0.042	0.970			
高密度脂蛋白/(mmol/L) HDL-C	7-HS	2.45 Bb	2.83 ABa	2.57 Ab	0.065	0.012	<0.001	<0.001	0.003
	8-HS	2.84 Ab	2.95 Aa	2.54 ABc	0.062	<0.001			
	NHS	2.60 Bb	2.79 Ba	2.46 Bc	0.052	0.004			
低密度脂蛋白/(mmol/L) LDL-C	7-HS	0.46 a	0.31 Bb	0.37 Bb	0.018	0.003	<0.001	<0.001	0.900
	8-HS	0.54 a	0.39 Ab	0.44 Ab	0.020	0.001			
	NHS	0.49 a	0.30 Bb	0.38 Bb	0.028	0.003			
游离脂肪酸/(mmol/L) NEFA	7-HS	0.106 Bb	0.155 a	0.148 Ba	0.009	0.023	0.001	0.046	0.020
	8-HS	0.154 A	0.161	0.162 B	0.007	0.919			
	NHS	0.111 Bb	0.174 a	0.223 Aa	0.021	0.019			
甘油三酯/(mmol/L) TG	7-HS	0.29 Aa	0.18 Bb	0.15 Cc	0.020	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	0.19 Bb	0.14 Cc	0.24 Ba	0.012	<0.001			
	NHS	0.33 Aa	0.25 Ab	0.32 Aa	0.016	0.031			
尿素氮/(mmol/L) BUN	7-HS	4.02 Bb	4.39 Bab	4.52 Ba	0.099	0.046	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	4.70 Ab	4.80 Ab	5.48 Aa	0.129	0.001			
	NHS	4.55 Ab	3.70 Cc	4.91 Ba	0.207	<0.001			

表 9　去势和热应激对筠连黄牛血清抗氧化指标的影响

Table 9　Effect of castration and heat stress on serum antioxidant indexes of Junlian cattle

项目 Item		去势程度 Castration degree(CD)			SEM	*P* 值 *P* value	*P* 值 *P* value		
		FCG	HCG	SOG			CD	HS	CD*HS
总抗氧化能力/(U/mL) T-AOC	7-HS	4.16 Ba	3.36 Bb	3.37 Bb	4.160	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	2.96 Cb	2.84 Bb	3.37 Ba	2.960	0.002			
	NHS	8.30 Aa	6.21 Ab	4.23 Ac	8.300	<0.001			
丙二醛/(nmol/mL) MDA	7-HS	10.09	9.35 C	10.18	0.168	0.055	0.218	0.001	0.013
	8-HS	10.37	10.70 A	10.28	0.082	0.098			
	NHS	10.00	9.72 B	9.72	0.074	0.191			
总超氧化物歧化酶/(U/mL) T-SOD	7-HS	102.12 Aa	99.15 Bb	97.29 Bc	0.740	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	96.31 Bb	98.06 Ca	94.22 Cc	0.580	0.001			
	NHS	104.26 Aa	103.04 Aab	101.77 Ab	0.433	0.029			
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/mL) GSH-Px	7-HS	125.40 Bb	116.83 Bc	146.00 B a	0.226	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	8-HS	99.52 Cb	107.18 Ca	85.22 Cc	2.282	<0.001			
	NHS	150.68 Ac	154.51 Ab	159.34 Aa	0.935	<0.001			

浓度($P<0.05$),对MDA浓度差异不显著($P>0.05$)。结果表明,热应激降低了肉牛抗氧化能力,去势提高肉牛抗氧化能力,但去势未能缓解热应激期肉牛抗氧化能力的降低。

3 讨 论

3.1 去势和热应激对筠连黄牛生理指标的影响

热应激会使家畜的生理状况发生变化[15]。THI是评价动物热应激程度的重要指数,高于72表示牛处于热应激环境[16]。本研究中,9月牛舍THI为71.67,肉牛处于非热应激;而7~8月牛舍THI分别为77.76和82.9,表明肉牛处于热应激,此时,肉牛机体产热大于散热,通过提高呼吸频率来增加机体散热量,并提高了直肠温度[17],与杨梓曼等[3]研究一致。研究表明,成年牛安静时的正常呼吸频率为15~35次/min[18]。本研究中,8月热应激期,去势可显著降低肉牛呼吸频率。呼吸能够帮助热应激牛散热,热应激越严重呼吸频率越高[17],本结果提示去势肉牛热应激程度低于假手术组;热应激消除后,全去势增加了肉牛呼吸频率,但仍处于正常范围内。

3.2 去势和热应激对筠连黄牛生长性能的影响

动物DMI和ADG分别是反映机体能量摄入和生长性能的重要指标,Yazdi等[19]研究发现,肉牛处于高温环境时,会导致机体代谢紊乱,食欲下降,降低DMI,从而降低肉牛ADG[19],与热应激期养分表观消化率的降低以及瘤胃TVFA、NH_3-N和MCP浓度的降低一致。研究表明,雄激素分泌多的肉牛生长更快[4]。本研究中,肉牛全去势显著降低ADG,而半去势差异不显著,与Bretschneider[20]、李翔等[4]研究一致,可能是因为半去势肉牛机体代偿性分泌睾酮,对肉牛生长没有显著影响。

本研究中,热应激期,去势肉牛的ADG显著降低,表明去势会进一步降低肉牛热应激期的生产性能。是因为热应激促使肉牛瘤胃TVFA浓度降低,抑制瘤胃发酵,为机体提供的能量减少[3];同时去势降低机体睾酮的分泌,抑制机体蛋白质代谢[4],从而抑制肉牛的生长。而半去势肉牛在8-HS的ADG未显著降低,表明半去势在一定程度上能够避免全去势加重热应激的危害。可能是因为半去势肉牛代偿性分泌睾酮,机体代谢未发生显著变化[4]。

3.3 去势和热应激对筠连黄牛养分表观消化率的影响

肉牛养分表观消化率主要受瘤胃发酵、菌群结构和酶活性的影响。本研究中,热应激显著降低了CP、EE、NDF、ADF、Ca和P表观消化率,与瘤胃NH_3-N、MCP和TVFA浓度降低一致。Shafie等[21]研究发现,环境温度高于35 ℃时,瘤胃温度显著升高,TVFA和微生物数量显著降低,不利于瘤胃发酵,从而影响养分表观消化率。本研究中,去势对养分表观消化率影响较小,与赵张晗等[22]研究结果一致。张健等[23]研究表明,热应激会促使动物饮水量增加,降低瘤胃食糜流通速率,且降低表观消化率;同时,机体性激素的分泌会影响瘤胃发酵,其中睾酮促进瘤胃代谢,而去势会降低机体睾酮分泌,增加E_2分泌[4]。因此,去势和热应激在抑制瘤胃发酵方面存在交互效应,从而降低养分表观消化率。

3.4 去势和热应激对筠连黄牛瘤胃发酵的影响

瘤胃pH会影响菌群数量与结构,适宜的范围是5.8~6.8[24]。本研究中,热应激显著升高瘤胃pH,与TVFA浓度降低一致。瘤胃NH_3-N和MCP浓度能够反映日粮蛋白质在瘤胃中降解与合成的平衡[25],热应激降低了二者的产量,与CP表观消化率降低一致。研究表明,乙酸的产生主要是日粮纤维的降解,丙酸的主要来源于非纤维性碳水化合物的降解[26]。本研究中,热应激显著降低了乙酸、丙酸和A/P,与pH的升高及NDF、ADF和CP表观消化率的降低一致[3]。表明热应激会抑制瘤胃发酵。

本研究中,全去势会显著提高瘤胃pH,降低NH_3-N、MCP和TVFA浓度,与He等[27]研究结果一致。研究发现,瘤胃MCP浓度能够反映出瘤胃菌群的数量,且瘤胃细菌等表面存在激素受体,因此全去势通过影响机体睾酮和E_2的分泌,影响瘤胃中菌群数量[4]。而半去势肉牛机体代偿性分泌睾酮,对NH_3-N、MCP差异不显著,一定程度上缓解肉牛全去势对瘤胃发酵的不利影响。热应激和去势对瘤胃发酵存在交互效应,原因是热应激降低了瘤胃微生物活性,且去势后机体睾酮分泌降低,抑制了瘤胃代谢,二者共同作用影响瘤胃发酵。

3.5 去势和热应激对筠连黄牛血清HSP70和激素指标的影响

HSP70是重要的分子伴侣,能够提高机体热适应性[4]。甲状腺激素和COR能够提高机体抵抗力

和耐热性，其中T3是代谢过程中最活跃的，ACTH能够维持动物机体肾上腺功能，提高COR分泌[28]。研究发现，热应激会降低机体循环中T3和T4含量，升高HSP70、ACTH和COR浓度[29]，与本研究结果一致。IGF-1会影响机体营养物质代谢，从而影响动物生长；INS能够调节GLU和脂肪酸代谢[30]。本研究中，热应激显著降低了血清IGF-1和INS浓度，降低机体蛋白沉积，从而降低肉牛ADG，与Herbein等[31]研究结果一致，表明热应激会抑制机体代谢，以减少机体产热。本研究中，全去势提高了HSP70、E_2、COR浓度，降低了睾酮、T3、T4和INS浓度，促进了机体脂肪合成；而半去势显著提高了E_2和ACTH浓度，表明半去势肉牛代偿性分泌睾酮，维持机体代谢[4]。热应激期，去势肉牛的血清HSP70浓度及E2、COR和ACTH浓度显著提高，睾酮、T3、IGF-1和INS浓度显著降低。表明去势和热应激交互作用可能是通过性激素和HSP70影响机体代谢，进而影响肉牛的生长性能。

3.6　去势和热应激对筠连黄牛血清生化指标的影响

血液生化指标反映动物机体能量代谢和健康状况[32]。本研究中，热应激未影响血清GLU浓度，与刘新勇等[33]研究结果一致，可能是机体糖异生增强以抵抗热应激[12]。HDL-C和LDL-C是两种重要的载脂蛋白，雌激素能够促进脂肪合成，从而提高血液中HDL-C浓度[4]。血清NEFA是TG的分解产物，能够反映机体脂质合成代谢和脂肪动员情况[34]；BUN浓度能够反映机体蛋白质代谢情况[33]。本研究中，热应激导致肉牛血清HDL-C和LDL-C浓度升高，促进了机体脂肪沉积；NEFA浓度降低，减少机体内源产热[12,35]；CP表观消化率降低导致血清BUN浓度降低，与蒲启建等[12]研究结果一致。

研究发现，肉牛去势会影响机体蛋白质和脂质代谢，促进机体的脂肪沉积[36]。本研究中，全去势显著升高了血清LDL-C浓度，降低了NEFA浓度，加强了机体脂质代谢。而半去势显著升高了HDL-C浓度，表明半去势肉牛代偿性分泌睾酮，避免脂肪过度沉积。本研究中，热应激期，肉牛去势显著提高了HDL-C浓度，降低了NEFA浓度，但去势会降低热应激造成了高BUN浓度。表明肉牛去势降低睾酮分泌与热应激的相互作用，增强了机体脂质代谢。

3.7　去势和热应激对筠连黄牛血清抗氧化指标的影响

高温会造成动物机体代谢紊乱，活性氧增多，氧自由基积累，从而降低机体抗氧化能力[28]。研究表明，体内T-SOD酶可清除自由基，GSH-Px可抑制活性氧积累，MDA是脂质中自由基的过氧化产物，反映机体过氧化损伤程度[37]。本研究中，热应激显著降低了血清T-AOC及T-SOD和GSH-Px酶活性，提高了MDA含量，表明肉牛体内自由基增多，脂质过氧化增强，且机体清除自由基的能力下降，造成机体过氧化损伤，与Wang等[38]研究结果一致。

研究发现，去势会降低动物机体抗氧化水平。郭同军等[39]研究西门塔尔牛去势后，血清抗氧化水平降低，T-SOD和GSH-Px酶活性显著降低，MDA含量显著提高。而吕强[40]研究发现，新疆褐牛去势后3～5个月，血清GSH-Px和MDA含量无变化。研究发现，机体雌激素水平适量增加，能够提高机体的抗氧化能力[41]。本研究中，非热应激期，去势提高了肉牛抗氧化能力，而在热应激期，全去势和半去势对公牛抗氧化指标的影响存在差异，在7-HS，全去势显著提高了公牛抗氧化能力，这些结果与全去势肉牛雌激素分泌增多有关。热应激和去势对抗氧化能力存在交互效应，可能是因为热应激减少了机体营养物质摄入，造成机体代谢紊乱，氧自由基在体内积累。

4　结　论

1）热应激导致筠连黄牛呼吸频率、直肠温度升高，血清抗氧化能力及瘤胃VFA含量降低，DMI和养分表观消化率降低，从而降低其ADG。

2）筠连黄牛全去势，显著降低睾酮分泌，增加E_2分泌，影响机体代谢，抑制瘤胃发酵，从而降低生产性能。

3）筠连黄牛去势和热应激期在性激素分泌存在互作效应，其中全去势影响肉牛HSP70分泌，抑制瘤胃发酵，降低血清抗氧化能力和养分表观消化率，进而降低肉牛生产性能，而半去势一定程度上会缓解全去势带来的负面影响，但仍无法缓解热应激的危害。因此，不建议夏季对公牛进行去势处理，避免与热应激的交互作用降低肉牛生产性能。

参考文献 References

[1] Chen S W, Yong Y H, Ju X H. Effect of heat stress on growth and production performance of livestock and poultry: Mechanism to prevention[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2021, 99: 103019

[2] Dado-Senn B, Ouellet V, Dahl G E, Laporta J. Methods for assessing heat stress in preweaned dairy calves exposed to chronic heat stress or continuous cooling[J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 103(9): 8587-8600

[3] 杨梓曼, 尚相龙, 陈豪, 兰剑, 聂春桃, 陈环, 瞿明仁, 宋小珍. 热应激对肉牛血清生化指标、瘤胃发酵参数及微生物区系的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34: 4487-4497
Yang Z M, Shang X L, Chen H, Lan J, Nie C T, Chen H, Qu M R, Song X Z. Effects of heat stress on serum biochemical indexes, rumen fermentation parameters and microbial flora of beef cattle[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(7): 4487-4497 (in Chinese)

[4] 李翔, ALI Mujtaba Shah, 王之盛, 胡瑞, 黎光杨, 姚小鹤, 王艳阳, 梁秀容, 张祺琪, 邹华围, 彭全辉, 薛白, 王立志. 不同去势程度对筠连黄牛生长性能、血清指标和瘤胃发酵的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(4): 2457-2466
Li X, Shah A, Wang Z S, Hu R, Li G Y, Yao X H, Wang Y Y, Liang X R, Zhang Q Q, Zou H W, Peng Q H, Xue B, Wang L Z. Effects of different castration degrees on growth performance, serum indexes and rumen fermentation of Junlian cattle[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(4): 2457-2466 (in Chinese)

[5] Oberholzer A, Keel M, Zellweger R, Steckholzer U, Trentz O, Ertel W. Incidence of septic complications and multiple organ failure in severely injured patients is sex specific[J]. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 2000, 48(5): 932-937

[6] Remmers D E, Cioffi W G, Bland K I, Wang P, Angele M K, Chaudry I H. Testosterone: The crucial hormone responsible for depressing myocardial function in males after trauma-hemorrhage[J]. *Annals of Surgery*, 1998, 227(6): 790-799

[7] Shvareva N, Kaplanski J, Abramovich L, Sod-Moriah U A. Testosterone modifies response to chronic heat exposure in rats[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 1998, 120(4): 575-578

[8] Lin C Y, Lin M T, Cheng R T, Chen S H. Testosterone depletion by castration may protect mice from heat-induced multiple organ damage and lethality[J]. *Journal of Biomedicine & Biotechnology*, 2010, 2010, 485306

[9] Milne K J, Thorp D B, Melling C W J, Noble E G. Castration inhibits exercise-induced accumulation of Hsp70 in male rodent hearts[J]. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 2006, 290(4): H1610-H1616

[10] Semanchik P L, Wesolowski L T, Simons J L, Freestone A, Rudolph T E, Roths M, Rhoads R P, Baumgard L H, Selsby J T, White-Springer S H. Heat stress more negatively impacts cardiac muscle mitochondria in female versus male pigs[J]. *The FASEB Journal*, 2022, 36(S1): R6228

[11] Tucker C B, Rogers A R, Schütz K E. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2008, 109(2/4): 141-154

[12] 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]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(9): 3120-3131 (in Chinese)

[13] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术(第2版)[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2007
Zhang L Y. *Feed Analysis and Feed Quality Detection Technology*[M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007(in Chinese)

[14] Scott T A, Hall J W. Using acid insoluble ash marker ratios (diet: Digesta) to predict digestibility of wheat and barley metabolizable energy and nitrogen retention in broiler chicks[J]. *Poultry Science*, 1998, 77(5): 674-679

[15] El-Tarabany M S, El-Tarabany A A, Atta M A. Physiological and lactation responses of Egyptian dairy Baladi goats to natural thermal stress under subtropical environmental conditions[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2017, 61(1): 61-68

[16] Correia Sales G F, Carvalho B F, Schwan R F, de Figueiredo Vilela L, Moreno Meneses J A, Gionbelli M P, Luiza da Silva Ávila C. Heat stress influence the microbiota and organic acids concentration in beef cattle rumen[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2021, 97: 102897

[17] 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

[18] 魏丽. 通过体温、脉搏率和呼吸频率的检查诊断牛病[J]. 养殖技术顾问, 2014: 160
Wei L. Diagnosis of bovine disease by examination of body temperature, pulse rate and respiratory rate[J]. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2014(11): 160 (in Chinese)

[19] Yazdi M H, Mirzaei-Alamouti H R, Amanlou H, Mahjoubi E, Nabipour A, Aghaziarati N, Baumgard L H. Effects of heat stress on metabolism, digestibility, and rumen epithelial characteristics in growing Holstein calves[J]. *Journal of Animal Science*, 2016, 94(1): 77-89

[20] Bretschneider G. Effects of age and method of castration on performance and stress response of beef male cattle: A review[J]. *Livestock Production Science*, 2005, 97(2/3): 89-100

[21] 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

[22] 赵张晗. 去势对小尾寒羊羔羊育肥期生长性能、营养物质消化及羊肉品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2018
Zhao Z H. Effects of castration on growth performance, nutrient digestion and mutton quality of small-tailed Han sheep lamb during fattening period[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2018 (in Chinese)

[23] 张健, 蒋永清, 邵涛. 奶牛热应激机理及其营养调控研究进展[J]. 畜牧与兽医, 2009, 41: 88-92
Zhang J, Jiang Y Q, Shao T. Research progress on heat stress mechanism and nutritional regulation of dairy cows[J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2009, 41(2): 88-92 (in Chinese)

[24] Gomez-Alarcon R A, Dudas C, Huber J T. Influence of cultures of Aspergillus oryzae on rumen and total tract digestibility of dietary Components[J]. *Journal of Dairy Science*, 1990, 73(3): 703-710

[25] Ma Y F, Du R P, Gao M. Effect of heat stress on dairy goat performance and rumen epithelial cell morphology[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46: 4486-4495

[26] 岳子奇. 木质纤维素复合酶对荷斯坦公牛瘤胃发酵和消化代谢的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2021
Yue Z Q. Effects of lignocellulose complex enzyme on rumen fermentation, digestion and metabolism of Holstein bull[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2021(in Chinese)

[27] He Y, Wang H B, Yu Z T, Niu W J, Qiu Q H, Su H W, Cao B H. Effects of the gender differences in cattle rumen fermentation on anaerobic fermentation of wheat straw[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 205: 845-853

[28] Liu L, Zhang W J, Yu H J, Xu L J, Qu M R, Li Y J. Improved antioxidant activity and rumen fermentation in beef cattle under heat

stress by dietary supplementation with creatine pyruvate [J]. *Animal Science Journal*, 2020, 91(1): e13486

[29] Xu Q, Wang Y C, Hu L R, Kang L. The effect of temperature stress on milk production traits and blood biochemical parameters of Chinese Holstein cows [C]. In: *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. Auckland, New Zealand, 2018: 95

[30] 张丽. 日粮甜菜碱对热应激奶牛产奶性能、血液生理生化指标及HSP70的影响[D]. 南京：南京农业大学，2012
Zhang L. Effects of dietary betaine on milk produation performance, blood physiological and biochemical indexes and HSP70 in heat stressed dairy cows [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University , 2012 (in Chinese)

[31] Herbein J H, Aiello R J, Eckler L I, Pearson R E, Akers R M. Glucagon, insulin, growth hormone, and glucose concentrations in blood plasma of lactating dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 1985, 68(2): 320-325

[32] Cruywagen C W, van Zyl W H. Effects of a fungal enzyme cocktail treatment of high and low forage diets on lamb growth[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, 145(1/4): 151-158

[33] 刘新勇，谭正准，李辉，黄健，罗华，曾令湖，程隽如，钟华配，杨春艳，王晓丽，覃广胜. 热应激对摩拉和尼里-拉菲水牛血液生化指标的影响[J]. 中国畜牧兽医，2022，49(2)：521-528
Liu X Y, Tan Z Z, Li H, Huang J, Luo H, Zeng L H, Cheng J R, Zhong H P, Yang C Y, Wang X L, Qin G S. Effects of heat stress on blood biochemical indexes of murrah and nili-ravi buffaloes[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2022, 49(2): 521-528 (in Chinese)

[34] Flamenbaum I, Wolfenson D, Kunz P L, Maman M, Berman A. Interactions between body condition at calving and cooling of dairy cows during lactation in summer[J]. *Journal of Dairy Science*, 1995, 78(10): 2221-2229

[35] Zhang F J, Weng X G, Wang J F, Zhou D, Zhang W, Zhai C C, Hou Y X, Zhu Y H. Effects of temperature-humidity index and chromium supplementation on antioxidant capacity, heat shock protein 72, and cytokine responses of lactating cows [J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92(7): 3026-3034

[36] 杜柳柳. 去势对荷斯坦奶公牛育肥性能、肉品质的影响及机制研究[D]. 保定：硕士毕业论文. 保定：河北农业大学，2016
Du L L. Effect of castration on fattening performance and meat quality of Holstein dairy bulls and its mechanism[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2016 (in Chinese)

[37] 梅杰，吕美，曾佳，刘红云. 金银花提取物对热应激奶山羊生产性能、乳成分、血清生化指标和抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报，2022，34：5995-6002
Mei J, Lv M, Zeng J, Liu H Y. Effects of Flos Lonicerae extract on performance, milk composition, serum biochemical indexes and antioxidant capacity of heat-stressed dairy goats[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(9): 5995-6002 (in Chinese)

[38] Wang X W, Dong W P, Yuan B B, Yang Y C, Yang D P, Lin X, Chen C F, Zhang W D. Vitamin E confers cytoprotective effects on cardiomyocytes under conditions of heat stress by increasing the expression of metallothionein [J]. *International Journal of Molecular Medicine*, 2016, 37(5): 1429-1436

[39] 郭同军，臧长江，王连群，桑断疾，邵伟，余雄. 去势对西门塔尔牛血清生化指标的影响[J]. 新疆农业科学，2016，53(11)：2127-2134
Guo T J, Zang C J, Wang L Q, Sang D J, Shao W, Yu X. The influence of castration on serum biochemical index of Simmental cattle [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, 53(11): 2127-2134 (in Chinese)

[40] 吕强. 去势对青年新疆褐牛生长发育及血清生化指标的影响[D]. 乌鲁木齐：新疆农业大学，2014
Lv Q. Effects of castration on growth, development and serum biochemical indexes of young Xinjiang brown cattle [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University ,2014(in Chinese)

[41] Mense S M, Remotti F, Bhan A, Singh B, El-Tamer M, Hei T K, Bhat H K. Estrogen-induced breast cancer: Alterations in breast morphology and oxidative stress as a function of estrogen exposure [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2008, 232(1): 78-85

责任编辑：秦梅

第一作者简介：岳子奇，在读博士研究生，目前就读于四川农业大学，主要从事肉牛牦牛营养研究；曾获国家奖学金、学校奖学金和社会捐资奖学金（溢多利公司），发表SCI 1篇；参与国家自然科学基金项目：国家现代农业（肉牛牦牛）产业技术体系。

通讯作者简介：王之盛，博士，四川农业大学二级教授，博士生导师，主要从事肉牛牦牛营养及饲料资源开发与利用等研究。担任国家肉牛牦牛产业技术体系营养与饲料研究室主任、岗位专家，国务院政府特殊津贴专家，四川省学术和技术带头人，四川省有突出贡献的优秀专家，入选四川省天府青城计划“天府农业大师”，“牛低碳养殖与安全生产”四川省高校重点实验室主任，国家牦牛产业提质增效科技创新联盟副理事长、全国草食动物健康生产科技创新联盟副理事长，四川省畜牧兽医学会动物营养与饲料分会理事长。先后被云南省、宁夏回族自治区、青海省、宜宾市政府聘为肉牛牦牛产业顾问专家。主持国家和省部级科研项目10余项，获授权国际、国内专利10余项，在SCI和重要核心期刊发表论文160余篇，主编《反刍动物营养学》全国本科统编教材，主编和副主编教材及图书6本。获国家科技进步奖二等奖1项，省部级一等奖1项、二等奖3项，形成全国农业主推技术3项。