

热应激状态下不同品种肉牛免疫功能和抗氧化功能的比较研究

陈浩¹ 敖日格乐^{1*} 王纯洁² 斯木吉德¹ 阿日查¹ 张剑¹ 刘波¹

(1. 内蒙古农业大学 动物科学学院, 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古农业大学 兽医学院, 呼和浩特 010018)

摘要 为探究热应激对内蒙古草原不同品种放牧肉牛免疫功能和抗氧化功能的影响,利用酶联免疫法对处于热应激状态下的不同品种放牧肉牛进行了血清免疫指标和抗氧化指标的测定。结果表明:在热应激状态,蒙古牛的白细胞介素-2(IL-2)、白细胞介素-4(IL-4)、超氧化物歧化酶(SOD)及总抗氧化能力(T-AOC)含量显著高于西门塔尔牛和安格斯牛($P < 0.05$),而西门塔尔牛和安格斯牛之间的差异不显著($P > 0.05$);蒙古牛的丙二醛(MDA)含量显著低于西门塔尔牛和安格斯牛($P < 0.05$);安格斯牛和西门塔尔牛的免疫球蛋白 A(IgA)和免疫球蛋白 M(IgM)含量有高于蒙古牛的趋势,但差异不显著($P > 0.05$),以上试验牛之间免疫球蛋白 G(IgG)含量无显著差异($P > 0.05$)。综上,在热应激状态下,蒙古牛的免疫功能和抗氧化功能较强,耐热应激能力强于西门塔尔牛和安格斯牛。

关键词 蒙古牛; 西门塔尔牛; 安格斯牛; 热应激; 免疫球蛋白; 白细胞介素; 总抗氧化能力

中图分类号 S823.9+2

文章编号 1007-4333(2019)08-0072-06

文献标志码 A

Comparative study on the immune and antioxidant functions of different beef cattle varieties under heat stress

CHEN Hao¹, Aorigele^{1*}, WANG Chunjie², Simujide¹, Aricha¹, ZHANG Jian¹, LIU Bo¹

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

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

Abstract The aim of this study was to explore the effects of heat stress on the immune and antioxidant functions of different breeds of grazing beef cattle in Inner Mongolia grassland. Serum immune and antioxidant indexes of different breeds of grazing beef cattle under heat stress were determined by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). The results showed that the contents of interleukin-2 (IL-2), interleukin-4 (IL-4), superoxide dismutase (SOD) and total antioxidant capacity (T-AOC) in Mongolian cattle were significantly higher than those in Simmental cattle and Angus cattle ($P < 0.05$), but there was no significant difference between Simmental cattle and Angus cattle ($P > 0.05$). The malondialdehyde (MDA) content of Mongolian cattle was significantly lower than that of Simmental cattle and Angus cattle ($P < 0.05$), while the immunoglobulin A (IgA) and IgM (IgM) contents of Angus cattle and Simmental cattle were higher than those of Mongolian cattle, but the difference was not significant ($P > 0.05$). And the IgG content had no significant difference ($P > 0.05$). In conclusion, under heat stress, the Mongolian cattle had stronger immune function and antioxidant function, and its heat stress resistance was stronger than Simmental and Angus cattle.

Keywords Mongolian cattle; Simmental cattle; Angus cattle; heat stress; immunoglobulin; interleukin; total antioxidant capacity

热应激是指动物受到超过机体调节能力的过高温度刺激时发生的非特异性生理反应。热应激会导

致肉牛抗氧化能力降低,内分泌系统紊乱^[1],饲料营养物质消化率降低,进而降低肉牛生产性能^[2]。已

收稿日期: 2018-11-20

基金项目: 内蒙古自治区科技计划项目(201602051)

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

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

有研究报道热应激导致发展中国家的畜牧业生产效率降低了大约 25%^[3]。

内蒙古草原夏季常出现极端高温天气,中东部地区部分牧场最高气温可达 37℃以上,局部地区可超过 40℃,草原放牧肉牛常年夏季在天然草场采食牧草,因而极易遭受热应激侵害^[4]。目前大多数关于畜禽热应激的研究主要集中于单胃动物和奶牛,黄羽肉鸡在持续热应激条件下,肉鸡生长性能和抗氧化性均显著降低^[5],研究发现热应激导致猪的生长性能及抗病能力有所降低^[6-7],通过对不同季节奶牛抗氧化酶活性的比较研究发现,高温季节荷斯坦奶牛血浆中 SOD 活力、GSH-PX 活力显著低于春季^[8]。有关热应激对放牧肉牛影响的研究报道尚少。已有研究表明,肉牛抗热应激能力与肉牛品种有密切的关系^[9]。安格斯牛肉用性能较好,被认为是肉用品种中肉质最优秀的品种^[10];蒙古牛是我国分布最广、数量最多的黄牛品种;西门塔尔牛是为改良我国本土黄牛生产性能而引进的优秀乳肉兼用品种。本试验拟采用酶联免疫法对热应激状态下不同品种放牧肉牛血液免疫指标和抗氧化指标进行测定,通过研究比较不同品种肉牛的免疫功能和抗氧化功能,以期在当地筛选具有较强耐热性的肉牛提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

在内蒙古自治区呼伦贝尔市某牧场选择全年放牧、体况健康,2~4 a 的安格斯牛、蒙古牛和西门塔尔牛 3 种不同品种繁殖母牛各 10 头作为试验牛,试验分 2 个阶段进行,即夏季(2017 年 7 月 22—24 日)和春季(2018 年 5 月 3—5 日)

1.2 温湿度及温湿度指数测定

由于本次试验是以全年放牧的肉牛为试验对象,所以此次试验所测的环境指标均为自然环境下的温度和相对湿度。试验期间,测定每天 8:00、14:00 以及 20:00 的天然放牧草场的温度和相对湿度,温湿度指数(THI)计算公式如下:

$$THI = (1.8 \times Td + 32) - (0.55 - 0.55 \times RH) \times (1.8 \times Td - 26)$$

式中: Td 为草场摄氏温度,℃; RH 为草场相对湿度, %。

1.3 血样采集

在试验期最后一天清晨在对每头试验牛进行颈

静脉采血 10 mL,静置半小时后 3 000 r/min 离心 10 min 分离血清,分离出的血清于 -20℃ 冰箱中保存供血清生化指标的测定

1.4 血清生化指标测定

血清生化指标采用酶标仪进行测定,包括免疫球蛋白 A、免疫球蛋白 G、免疫球蛋白 M、白介素-2、白介素-4、丙二醛、超氧化物歧化酶及总抗氧化能力含量,试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.5 统计分析

此试验数据由 Excel 2010 进行初步处理后,采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并进行显著性检验,以 $P < 0.05$ 为差异显著性标准,结果均以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 放牧草场的温湿度及温湿度指数

综合了环境温度和湿度的 THI 是判断肉牛热应激的重要指标,以 THI 作为热应激程度的评定标准,当 $THI \leq 72$ 为无热应激; $72 \leq THI \leq 79$ 为轻度热应激, $THI \geq 88$ 时为重度热应激。通过连续 3 d 对放牧草场温湿度和 THI 的测定,表 1 结果显示夏季草场最高温度达到 36℃,THI 在试验期间平均高达 78.99。说明此阶段的肉牛遭受着轻度热应激,符合试验要求,可以进行下一步试验。表 2 结果显示在春季(非应激时期),无论是温度 7℃和 THI 48.35 都没有达到肉牛产生热应激的临界值,可以进行非应激状态下肉牛免疫及抗氧化功能的比较研究。

2.2 热应激对 3 个不同品种肉牛血清中免疫指标的影响

热应激状态下 3 种不同品种肉牛免疫指标测定结果见表 3。由表 3 可知:在热应激期内,IgA、IgG 和 IgM 含量在 3 个品种肉牛之间差异不显著($P > 0.05$);蒙古牛的 IL2 和 IL4 含量显著高于西门塔尔牛和安格斯牛($P < 0.05$),而西门塔尔牛的 IL2 和 IL4 含量有高于安格斯牛的趋势,但差异不显著($P > 0.05$)。

非应激状态下 3 个不同品种肉牛血清免疫指标的测定结果见表 4。由表 4 可知:在非应激状态下,不同品种肉牛之间的 IgG 和 IL-4 差异不显著;蒙古牛血清中 IgA 和 IgM 含量有高于其他 2 种肉牛的趋势,蒙古牛和安格斯牛血清中 IL-2 含量有高于西门塔尔牛的趋势,但差异均不显著($P > 0.05$)。

表1 夏季自然放牧环境温湿度及 THI

Table 1 Summer natural grazing environment temperature and humidity and THI

项目 Item	指标 Index	第一天 Day 1	第二天 Day 2	第三天 Day 3
温度/°C Temperature	最低 Lowest	19.00	20.00	22.00
	最高 Highest	32.00	33.00	36.00
	平均值 Average	25.50	28.00	29.50
相对湿度/% Relative humidity	最低 Lowest	36.00	37.00	38.00
	最高 Highest	69.00	70.00	69.00
	平均值 Average	56.00	57.00	59.00
温湿指数 THI	最低 Lowest	63.31	64.54	66.96
	最高 Highest	84.21	85.89	90.18
	平均值 Average	73.08	76.63	78.99

表2 春季自然放牧环境温湿度及 THI

Table 2 Spring natural grazing environment temperature and humidity and THI

项目 Item	指标 Index	第一天 Day 1	第二天 Day 2	第三天 Day 3
温度/°C Temperature	最低 Lowest	2.00	0.00	3.00
	最高 Highest	12.00	10.00	15.00
	平均值 Average	8.50	7.00	9.50
相对湿度/% Relative humidity	最低 Lowest	31.00	29.00	28.00
	最高 Highest	39.00	48.00	42.00
	平均值 Average	43.00	40.00	39.00
温湿指数 THI	最低 Lowest	38.87	42.15	45.56
	最高 Highest	55.08	52.29	58.68
	平均值 Average	50.65	48.35	52.09

表3 夏季肉牛血清中免疫指标测定结果

Table 3 Measurement of immunological indicators in beef cattle serum in summer

指标 Index	西门塔尔牛 Simmental	蒙古牛 Mongolian cattle	安格斯牛 Angus cattle
IgA/(mg/L)	220.27±38.84 a	198.62±27.18 a	204.42±19.89 a
IgG/(mg/L)	284.07±38.55 a	284.73±35.28 a	312.51±34.81 a
IgM/(mg/L)	110.20±18.15 a	108.25±15.28 a	123.21±23.11 a
IL ₂ /(pg/mL)	625.85±101.83 b	765.93±68.76 a	574.10±55.52 b
IL ₄ /(pg/mL)	46.35±7.27 b	62.06±3.46 a	43.99±4.65 b

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences at $P<0.05$. The same below.

表 4 春季肉牛血清中免疫指标测定结果

Table 4 Measurement of immunological indicators in beef cattle serum in spring

指标 index	西门塔尔牛 Simmental	蒙古牛 Mongolian cattle	安格斯牛 Angus cattle
IgA/(mg/L)	174.45±29.69 ab	183.73±23.54 a	173.10±18.53 ab
IgG/(mg/L)	280.57±36.60 a	268.32±44.39 a	265.91±64.66 a
IgM/(mg/L)	109.81±25.91 ab	113.39±20.76 a	107.28±22.56 ab
IL ₂ /(pg/mL)	477.68±79.62 ab	513.63±70.60 a	537.60±79.43 a
IL ₄ /(pg/mL)	41.39±9.29 a	41.31±7.03 a	41.24±4.85 a

2.3 热应激对 3 个不同品种肉牛血清中抗氧化指标的影响

热应激状态下 3 个不同品种肉牛血清中抗氧化指标的测定结果见表 5:在热应激状态下,蒙古牛血清中的

SOD 和 T-AOC 含量显著高于西门塔尔牛和安格斯牛,而西门塔尔牛和安格斯牛之间的差异不显著;蒙古牛的 MDA 含量显著低于西门塔尔牛和安格斯牛,而西门塔尔牛的 MDA 含量有低于安格斯牛的趋势,差异不显著。

表 5 夏季肉牛血清中抗氧化指标测定结果

Table 5 Measurement of antioxidant index in beef cattle serum in summer

指标 Index	西门塔尔牛 Simmental	蒙古牛 Mongolian cattle	安格斯牛 Angus cattle
SOD/(U/mL)	108.55±10.63 b	161.34±10.70 a	112.81±13.86 b
MDA/(nmol/mL)	5.33±0.68 a	3.17±0.73 b	5.46±0.94 a
T-AOC/(U/mL)	10.34±1.03 b	13.27±0.85 a	11.07±1.50 b

非应激状态下 3 个不同品种肉牛血清中抗氧化指标的测定结果见表 6,由表 6 可知,在非应激状态

下,3 个不同品种肉牛之间的血清中 SOD、MDA 和 T-AOC 含量差异不显著。

表 6 春季肉牛血清中抗氧化指标测定结果

Table 6 Measurement of antioxidant index in beef cattle serum in spring

指标 Index	西门塔尔牛 Simmental	蒙古牛 Mongolian cattle	安格斯牛 Angus cattle
SOD/(U/mL)	105.12±11.56 a	103.26±16.44 a	105.57±12.21 a
MDA/(nmol/mL)	6.07±0.87 a	6.16±0.88 a	5.98±0.39 a
T-AOC/(U/mL)	10.37±1.62 a	9.91±0.69 a	10.21±1.70 a

3 讨论与结论

3.1 热应激状态下肉牛血清免疫指标比较分析

IgA 是机体黏膜防御感染的主要物质,约占血清总免疫球蛋白的 10%~20%,其免疫作用相对较弱,可以与周围细胞组成局部免疫系统^[11];IgG 参与机体免疫防御反应,是血清免疫球蛋白的主要成

分同时也是机体免疫系统中主要组成部分,IgM 是抗原抗体反应过程中最早产生的抗体,是体液免疫应答中主要介质^[12]。免疫球蛋白在血清中水平的高低是评估免疫状况的重要指标,血清中球蛋白浓度升高,意味着机体免疫功能增强^[13-14]。在本研究中,3 种不同品种肉牛之间的免疫球蛋白含量在热应激与非应激状态下差异均不显著,其原因可能是

在轻度热应激状态下,肉牛机体代谢和生理机能未受到严重损伤,并未引起机体严重的病理性反应。

白细胞介素(IL)是由细胞产生并作用于细胞的细胞因子。IL-2 是 T 淋巴细胞受抗原刺激时分泌的淋巴因子,能促进 T 淋巴细胞的增殖及分化,增强自然杀伤细胞的活性;IL-4 功能主要是诱导 B 细胞成熟并刺激其产生免疫球蛋白,对于体液免疫与获得性免疫具有重要调节作用,是参与机体炎症反应的促炎因子^[15]。

本研究发现,在热应激状态下,蒙古牛的 IL-2 和 IL-4 含量显著高于西门塔尔牛和安格斯牛。已有研究表明,IL-2 水平的高低是机体细胞免疫的重要标志之一,因此在热应激状态下蒙古牛的免疫功能保持在较好水平^[16]。白细胞介素-4(IL-4)的刺激 B 细胞的增殖和分化,当 IL-4 水平增高时,可以增强 IgE 抗体的产生^[17]。在本研究中,蒙古牛的 IL-4 含量显著高于西门塔尔牛和安格斯牛,而西门塔尔牛和安格斯牛之间 IL-4 含量差异不显著,表明蒙古牛在热应激状态下免疫功能强于西门塔尔牛和安格斯牛,其原因可能是因为蒙古牛是内蒙古自治区地方品种,对于当地的气候和生态环境有较强适应能力。

3.2 热应激状态下肉牛血清抗氧化指标比较分析

动物处在适宜温度范围时,抗氧化酶等物质保持着氧化和抗氧化间的平衡,当机体产生应激时这种平衡将被打破^[18]。当机体处于热应激状态时,组织细胞受到损伤造成体内自由基蓄积,使机体抗氧化功能受损进而引起机体内环境失去平衡^[19]。SOD 的主要作用是催化超氧阴离子及自由基的歧化反应,其活性反映机体清除自由基的水平^[12]。T-AOC 代表机体受外界刺激时整个机体的抗氧化能力^[20]。MDA 是脂质过氧化反应的重要终产物,其含量可以反映机体组织细胞的脂质过氧化水平,从而间接地反映出细胞受损程度^[21]。陈雯雯等^[22]研究发现夏季热应激时奶牛血清 T-AOC 值极显著下降,而 MDA 含量显著升高。李忠浩等^[23]研究发现夏季高温导致荷斯坦奶牛血清 SOD 活性显著下降。本研究中蒙古牛血清中 SOD 和 T-AOC 含量显著高于西门塔尔牛和安格斯牛,而 MDA 含量显著低于西门塔尔牛和安格斯牛,这说明热应激加速了西门塔尔牛和安格斯牛机体组织的脂质过氧化反应,从而导致其抗氧化能力下降,而对蒙古牛的抗氧化能力未产生较大的影响,因此,在热应激状态下,

蒙古牛较其他两种肉牛有着更好的抗氧化能力。

综上所述,在热应激状态下,相比较其他 2 种肉牛,蒙古牛有较好的免疫功能和抗氧化功能,证实蒙古牛的耐热应激能力强于西门塔尔牛和安格斯牛。

参考文献 References

- [1] 宋小珍,付戴波,瞿明仁,杨食堂,刘道杨,徐振松.热应激对肉牛血清内分泌激素含量、抗氧化酶活性及生理生化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(12):2485-2490
Song X Z, Fu D B, Qu M R, Yang S T, Liu D Y, Xu Z S. Effects of heat stress on endocrine hormone content, antioxidant enzyme activity and physiological and serum biochemical indices of beef cattle[J]. *Animal Nutrition*, 2012, 24(12): 2485-2490 (in Chinese)
- [2] 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]. *Animal Nutrition*, 2017, 29(9): 3120-3131 (in Chinese)
- [3] 白丹丹.不同季节对三河牛血液生化指标及冷热应激相关基因表达的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017
Bai D D. Effects of different seasons on blood biochemical indexes and related genes expression of cold and heat stress in Sanhe cattle [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010 (in Chinese)
- [4] 兰玉坤.内蒙古地区近 50 年气候变化特征研究[D].北京:中国农业科学院,2007
Lan Y K. Characteristics of climate change in Inner Mongolia in the past 50 years[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007 (in Chinese)
- [5] 钟光,邵丹,胡艳,施寿荣,宋志刚,童海兵.持续热应激对黄羽肉鸡生长性能、器官指数、血清生化指标和抗氧化功能的影响[J].动物营养学报,2018,30(11):4425-4432
Zhong G, Shao D, Hu Y, Shi S R, Song Z G, Tong H B. Effects of persistent heat stress on grow performance, organ indices, serum biochemical indices and antioxidant function of yellow-feathered broilers[J]. *Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(11):4425-4432 (in Chinese)
- [6] Gregory N G. How climatic changes could affect meat quality[J]. *Food Research International*, 2010, 43(7):1866-1873
- [7] 熊云霞,马现水,郑春田,田志梅,张健,陈伟,胡友军,王丽.热应激对猪肠道健康、免疫系统和肉品质的影响及作用机制[J].动物营养学报,2017,29(2):374-381
Xiong Y X, Ma X Y, Zheng C T, Tian Z M, Zhang J, Chen W, Hu Y J, Wang L. Effects of heat stress on intestinal health, immune system and meat quality in pigs and its mechanisms

- [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(2): 374-381 (in Chinese)
- [8] 夏东, 杨淑晶, 刘铁铮. 奶牛血液抗氧化酶活性的季节变化[J]. 家畜生态学报, 2006, 27(1): 56-58
Xia D, Yang S J, Liu T Z. Seasonal changes of antioxidant enzymes in dairy cows [J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2006, 27(1): 56-58 (in Chinese)
- [9] Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants[J]. *Livestock Production Science*, 2000, 67(1-2): 1-18
- [10] 畅旺东. 放牧条件下蒙古牛血液中抗氧化、免疫及代谢相关指标的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017
Chang W D. Study on antioxidation, immunity and metabolism related indicators on blood of Mongolia cattle under the grazing condition [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [11] 高锦萍, 赵青萍, 缪敏. 高热惊厥患儿免疫球蛋白的变化[J]. 苏州大学学报, 2006, 26(6): 1089-1091
Gao J P, Zhao Q P, Miu M. Changes of immunoglobulin in children with febrile convulsions [J]. *Journal of Soochow University*, 2006, 26(6): 1089-1091 (in Chinese)
- [12] 刘庆华. 娟荷杂交牛耐热性能研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009
Liu Q H. Study on heat tolerance of Jersey × Holstein dairy cows [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009 (in Chinese)
- [13] 陈杰. 家畜生理学[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2008
Chen J. *Physiology of Domestic Animals* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003 (in Chinese)
- [14] 刘维权. 动物生物化学实验指导[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2008
Liu W Q. *Guidance for Animal Biochemistry Experiments* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2008 (in Chinese)
- [15] 蔡明成. 热应激对肉牛生理生化指标及外周血 microRNA 表达水平的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2014
Cai M C. Effects of heat stress on physiological and biochemical indexes and expression levels of microRNA in peripheral blood [D]. Chongqing: Southwest University, 2014 (in Chinese)
- [16] Paul A, Chrystal M P, Mojgan A, Akgul A, Douglas C P, Noriko S, Andrew K, Christian S H, Christian H, Christopher A K, Yutaka T, Nicholas P R. Interleukin-2-dependent mechanisms of tolerance and immunity *in vivo* [J]. *Journal of Immunology*, 2006, 176(9): 5255-5266
- [17] Cremaschi G A, Gorelik G, Klecha A J, Lysionek A E, Genaro A M. Chronic stress influences the immune system through the thyroid axis [J]. *Life Science*, 2000, 67(26): 3171-3179
- [18] Eck J B, Kuhn C M. Effect of ether stress on growth hormone during development in the neonatal rat [J]. *Neuroendocrinology*, 1992, 56(5): 605-610
- [19] Johnson H D, Vanjonack W J. Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals [J]. *Journal of Dairy Science*, 1976, 59(9): 1603-1617
- [20] Siegel H S, Latimer J W. Interaction of high temperature and *Salmonella pullorum* antigen concentration on serum agglutinin and corticosteroid responses in White Rock chickens [J]. *Poultry Science*, 1984, 63(12): 2483-2491
- [21] 崔恒敏, 陈怀涛. 动物红细胞免疫功能的研究进展[J]. 中国兽医科技, 2003, 33(5): 23-27
Cui H M, Chen H T. Research progress of animal erythrocyte immune function [J]. *Chinese Veterinary Science and Technology*, 2003, 33(5): 23-27 (in Chinese)
- [22] 陈雯雯, 李津, 郑威, 程龙, 邓慧芳, 莫小贵, 杨炳壮, 何宝祥. 高温高湿对奶牛牛生理和抗氧化指标的影响[J]. 广西畜牧兽医, 2012, 28(4): 226-228
Chen W W, Li J, Zheng W, Cheng L, Deng H F, Mo X G, Yang B Z, He B X. Effects of high temperature and humidity on physiological and antioxidant indices of buffalo milk [J]. *Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2012, 28(4): 226-228 (in Chinese)
- [23] 李忠浩, 孔丽娟, 刘庆华, 杜娟, 狄和双, 王根林. 不同温度下荷斯坦奶牛外周血抗氧化指标的变化及其与淋巴细胞凋亡的关系[J]. 中国奶牛, 2007, 增刊: 136-139
Li Z H, Kong L J, Liu Q H, Du J, Di H S, Wang G L. Changes of antioxidant indices in peripheral blood of Holstein cows at different temperatures and their relationship with lymphocyte apoptosis [J]. *China Dairy Cattle*, 2007 (S): 136-139 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东