

## 慢性冷应激对西门塔尔杂交犊牛免疫相关指标的影响

孟祥坤 曹兵海\* 庄宏 王茂 李腾

(国家现代肉牛产业技术研发中心/中国农业大学 动物科学技术学院, 北京 100193)

**摘要** 为研究慢性冷应激对西门塔尔杂交犊牛免疫相关指标的影响,分别对4~6月龄和8~10月龄西门塔尔杂交犊牛在舍内平均温度为9.6、3.5、1.5、-1.1和-2.4℃下采血,测量血清中生理生化指标、免疫相关激素及抗氧化指标。结果显示:随着温度的降低,试验组犊牛血清葡萄糖(BG)水平升高了18.8%~103.3%,在接受0℃左右(1.5和-1.1℃)慢性冷应激时,BG的升高随着应激时间的延长而更加显著( $P<0.05$ ),但温度对血清尿素氮(BUN)和血清皮质酮(CORT)指标的影响并不显著( $P>0.05$ )。舍内-4.0℃日平均温度下,显著提高了血清总抗氧化能力(T-AOC)和丙二醛(MDA)的水平、降低了超氧化物歧酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH)的水平( $P<0.05$ )。在-2.4℃日平均温度下,8~10月龄组的血清SOD水平比4~6月龄组高82.6%( $P<0.05$ ),生长激素(GH)水平比4~6月龄组低26.0%( $P<0.05$ )。结果表明,慢性冷应激改变了血清中生理生化指标、免疫相关激素和抗氧化指标的水平,从而影响犊牛的免疫能力,并且温度越低、月龄越小,这种影响越大。

**关键词** 犊牛; 冷应激; 血清; 免疫; 抗氧化

中图分类号 S 823; S 852.4

文章编号 1007-4333(2010)06-0065-06

文献标志码 A

## Effects of chronic cold stress on immune of Simmental crossbred calves

MENG Xiang-kun, CAO Bing-hai\*, ZHUANG Hong, WANG Mao, LI Teng

(National Beef Modern Industrial Technology R & D Center/College of Animal Science and Technology,  
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** The experiment was conducted to study the effects of chronic cold stress on immune of Simmental crossbred calves (4-6 months group and 8-10 months group). Blood was collected at average temperature of 9.6, 3.5, 1.5, -1.1 and -2.4℃ indoor. Physiological and biochemical characteristics, hormone related to immune and antioxidative ability of serum were determined. The results showed that the level of BG in experimental group increased around 18.8% to 103.3% with the temperature decreasing ( $P<0.05$ ), and the level of BG significantly enhanced under chronic cold stress as the tolerant of cold became longer ( $P<0.05$ ). No differences observed in BUN and CORT ( $P>0.05$ ). The level of T-AOC and MDA in serum significantly enhanced whereas SOD and GSH decreased ( $P<0.05$ ) under chronic cold stress. At -2.4℃, the level of SOD in 8-10 months group increased by 82.6% compare with that of 4-6 months group, and level of GH in 8-10 months group reduced by 26.0% compare with that of 4-6 months group ( $P<0.05$ ). The conclusion is that the levels of the physiological and biochemical characteristics, hormone related to immune and antioxidative ability of serum can be changed under chronic cold stress; and therefore affected the immunity ability of calves. It also showed that the lower temperature and the younger calves, the more remarkable they effects.

**Key words** calves; cold stress; serum; immunity; antioxidant

收稿日期: 2010-04-12

基金项目: 国家现代农业(肉牛)产业技术体系专项(nycytx-38); 公益性农业(肉牛)行业专项(nyhyzx07-035); 动物营养国家重点实验室项目

第一作者: 孟祥坤, 硕士研究生, E-mail: mengxiangkun\_@163.com

通讯作者: 曹兵海, 教授, 主要从事肉牛饲料营养与牛肉品质研究, E-mail: caobhchina@yahoo.com.cn

在肉牛生产上,为利用廉价的青绿饲料,往往把产犊期定在气温较为适宜的3—5月,但存在不满周岁的犊牛越冬过春要经受长期低温环境,从而造成犊牛发生冷应激的问题。特别是在北方,犊牛要遭受更为剧烈持久的冷刺激,更容易诱发疾病,导致犊牛腹泻情况加重和死亡率上升。由此推测冬季多发的犊牛疾病与其免疫功能下降有关。

目前,有关牛冷应激的研究报道大都是针对营养摄入量不足<sup>[1]</sup>或是针对营养充足<sup>[2-3]</sup>条件下的初生犊牛,未见对断奶后犊牛影响的报道。犊牛的下限临界温度因其年龄、饲料采食量、皮下脂肪厚度及被毛的长度而异,下限临界温度下会表现生理生化指标的变化<sup>[4]</sup>,例如,3~10日龄的荷斯坦公犊在49 d中接受4.7和15.5℃的慢性低温刺激,其血清中游离脂肪酸含量下降<sup>[5]</sup>,新生婆罗门犊牛的血清葡萄糖和胰岛素水平在5.0℃下高于25.0℃时的水平<sup>[2]</sup>。在小鼠也有类似的冷应急效果,低温刺激提高血浆和肝脏中的总抗氧化能力(T-AOC)及丙二醛(MDA)水平<sup>[6]</sup>、显著降低血清及肝脏中谷胱甘肽过氧化物酶(GSH)和超氧化物歧酶(SOD)的活性<sup>[7]</sup>。这些生理生化指标的变化就是低温应激反应的内在体现,有人认为冷应激影响犊牛的健康和免疫功能<sup>[8]</sup>。

本试验研究了营养充足条件下,不同程度环境慢性低温对犊牛血液指标、机体免疫系统和抗氧化系统的应激影响,旨在为犊牛冬季的保温抗病提供理论基础,对生产起一定的指导作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

2009-10-17—12-15在山西省大同市左云县青云牛场进行试验。采用双因素多水平的试验设计。各选取3头健康无病、生长状况良好、体重相近、断奶后的4~6月龄((197.67±7.57)kg)和8~10月龄((271.33±11.50)kg)西门塔尔杂交犊牛进行试验。参考NRC<sup>[4]</sup>把在白昼温度25.0~15.0℃时对犊牛采血定为适宜温度的对照组(日平均温度为9.6℃),把其他(日平均温度分别为3.5、1.5、-1.1和-2.4℃)低于这一温度时的采血定为不同冷应激程度的试验组。在试验期间,日饲喂青贮、精料3次。预混料购自北京大北农饲料有限公司,日粮组成及营养成分见表1,配制标准参见肉牛营养需要和饲养标准<sup>[1]</sup>。犊牛栓系饲养,自由饮水,上下午各

清粪1次。

表1 日粮组成及营养成分(原物质基础)

Table 1 Composition of mixed feed and nutrient value of it (raw material base)

日粮组成	质量分数/%	营养成分 <sup>②</sup>	水平
玉米青贮	60.0	w(干物质)/%	45
玉米	17.2	w(粗蛋白)/%	9
棉籽饼	23.0	w(粗脂肪)/%	18
胡麻饼	2.0	w(中性洗涤纤维)/%	21
麸皮	10.0	w(酸性洗涤纤维)/%	8
磷酸氢钙	0.4	w(钙)/%	0.3
石粉	0.2	w(总磷)/%	0.2
碳酸钠	0.4	表观消化能/(MJ/kg)	5.4
食盐	0.2		
预混料 <sup>①</sup>	1.6		

注:①每kg预混料中含VA 150 000 IU,VD<sub>3</sub> 60 000 IU,VE 750 IU,铁1 500 mg,锌1 500 mg,锰2 000 mg,碘12.5 mg,硒15 mg,钴5 mg。②消化能由测得的饲料总能乘以相应的表观消化率得到,其他为实测值。

### 1.2 样品采集与指标测定

1)体重的测量。试验前和试验结束时测量犊牛体重,计算平均日增重,推测犊牛采血当天体重。

2)温度的采集。分别在牛舍门和窗旁的墙上,距地面1.80 m高度处选定2个温度采集点,使用最高最低温度计(上海华晨医用仪表有限公司)在试验期每日清晨6:00记录前日最高和最低温度,试验期60 d。温度记录见图1。

3)血清的采集。清晨饲喂前6:30采血,试验期间,在温度变化较大时采血5次(采血日期为10月25日、11月10日、11月19日、11月30日和12月13日)。每头试验用牛采血15 mL,采血后静置30 min,将血清转移至若干1.5 mL离心管中,3 000 r/min离心10 min,分离血清,放入液氮中保存、待测。

4)血清指标。血清葡萄糖(BG)采用葡萄糖氧化酶法测定,血清尿素氮(BUN)采用两点动力法测定。二者均使用奥林帕斯(7170型)全自动生化分析仪测定。

5)激素指标。生长激素(GH)、皮质酮(CORT)通过放免法测定。测定所需检测试剂盒购自北京华英生物技术研究所。

6)抗氧化能力指标。总抗氧化能力(T-AOC)、

超氧化物歧酶(SOD)、丙二醛(MDA)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH)采用生化法测定,测定所需检测试剂盒购自南京建成生物技术有限公司。

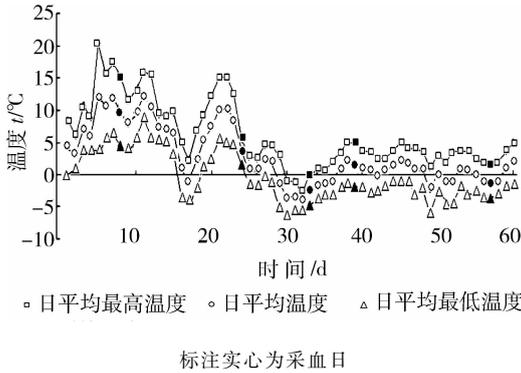


图 1 试验期间温度变化记录

Fig. 1 Records of various temperature everyday during the experiment

### 1.3 统计分析

所有数据均采用 Excel 软件进行数据处理,使用 SAS. V8 软件进行 ANOVA 方差分析和 Duncan 多重比较。

## 2 结果

### 2.1 慢性冷应激对犊牛血清及免疫相关激素指标的影响

体重、温度与各种血清免疫相关指标之间的相关系数与  $P$  值见表 2。体重与血清免疫相关指标的  $P$  值均大于 0.05,而温度与 BG、GH、T-AOC、MDA、SOD 和 GSH 的相关性较高,且温度对 CORT 的影响显著 ( $P < 0.05$ ),对 BG、GH、T-AOC、MDA、SOD 和 GSH 的影响极其显著 ( $P < 0.01$ )。

表 2 体重、温度与各种血清免疫相关指标之间的相关系数和  $P$  值

Table 2 Correlation coefficient and  $P$  value between body weight/temperature and the related parameters of immune response

指标	项目	血清免疫相关指标							
		血清葡萄糖	血清尿素氮	生长激素	皮质酮	总抗氧化能力	丙二醛	超氧化物歧酶	谷胱甘肽过氧化物酶
体重	相关系数	0.322	0.266	0.173	0.018	-0.222	-0.074	0.055	-0.229
	$P$	0.083	0.155	0.361	0.927	0.238	0.699	0.773	0.223
温度	相关系数	-0.676	-0.083	-0.764	-0.395	-0.567	-0.795	0.814	0.877
	$P$	<0.000 1	0.664 4	<0.000 1	0.030 7	0.001 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1

### 2.2 慢性冷应激对犊牛血清及免疫相关激素指标的影响

慢性冷应激对犊牛血清及免疫相关指标的影响

见表 3。4~6 月龄和 8~10 月龄试验牛的背景和 GH 含量随温度的降低趋于升高。BUN 浓度在 0 °C 以下时随温度上升而升高,当温度高于 0 °C 时,均

表 3 慢性冷应激对犊牛血清及免疫相关激素指标的影响

Table 3 Effect of chronic cold stress on blood indexes and related hormone of immune ability

指标	犊牛月龄	舍内日平均温度 $t/^\circ\text{C}$				
		-2.4	-1.1	1.5	3.5	9.6
$c$ (血清葡萄糖)/ (mmol/L)	4~6	5.65±0.85 b	7.91±1.44 a	7.76±1.19 a	4.62±0.38 b	3.89±0.14 b
	8~10	6.38±0.11 ab	8.38±1.23 a	7.75±1.82 a	5.23±0.35 bc	3.49±0.82 c
$c$ (血清尿素氮)/ (mmol/L)	4~6	4.03±1.31 ab	5.97±1.81 a	3.84±0.28 b	4.21±0.57 ab	5.43±0.05 ab
	8~10	6.31±1.16	6.33±0.85	4.99±1.61	4.53±0.83	5.34±0.87
$\rho$ (生长激素)/ (ng/mL)	4~6	3.89±0.15 aA	3.75±0.13 a	3.62±0.23 a	0.80±0.19 c	1.29±0.04 b
	8~10	2.88±0.54 bB	3.69±0.13 a	3.42±0.5 ab	1.25±0.23 c	1.28±0.23 c
$\rho$ (皮质酮)/ (ng/mL)	4~6	358.73±54.12	366.09±6.17	359.57±33.49	327.38±15.59	314.96±14.06
	8~10	333.25±37.71	317.20±72.05	368.87±6.63	306.76±40.50	299.45±19.80

注:相同指标同列数据大写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。相同指标同行数据小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

呈现下降趋势,然后随温度上升而升高,其中4~6月龄组在-1.1和1.5℃点上有显著差异( $P < 0.05$ )。当日平均温度为-2.4℃时,8~10月龄组的GH水平显著低于4~6月龄组( $P < 0.05$ )。2个月龄组的CORT水平不受温度影响。

### 2.3 慢性冷应激对犊牛抗氧化指标的影响

慢性冷应激对犊牛抗氧化指标的影响见表4。4~6月龄组与8~10月龄组血清中T-AOC、MDA

随着环境温度的下降趋于上升,且-2.4℃时的T-AOC值显著高于其他各温度组( $P < 0.05$ ),4~6月龄组-2.4℃与-1.1℃时血清中MDA含量显著高于其他温度组( $P < 0.05$ )。2个月龄组血清中的SOD、GSH的含量均随着温度的下降而下降,并且在-2.4℃时血清中SOD、GSH的含量均显著低于9.63、3.5和1.5℃时血清中的含量( $P < 0.05$ )。

表4 慢性冷应激对犊牛抗氧化指标的影响

Table 4 Effect of chronic cold stress on antioxidant indexes of the calves

抗氧化指标	犊牛月龄	舍内日平均温度 $t/^\circ\text{C}$				
		-2.4	-1.1	1.5	3.5	9.6
总抗氧化能力/ (U/L)	4~6	52.87±22.40 a	25.73±11.99 b	20.26±0.30 bA	16.57±4.13 b	13.47±0.36 b
	8~10	30.12±17.48 a	21.02±1.99 b	13.32±0.94 bB	13.73±1.58 b	12.69±0.17 b
c(丙二醛)/ (nmol/L)	4~6	408.74±83.43 a	246.17±66.77 b	165.57±21.36 bc	131.69±22.74 c	104.92±16.15 cA
	8~10	300.08±32.61 e	212.57±16.58 d	170.22±18.44 c	116.94±6.63 b	69.13±6.68 aB
超氧化物歧酶 含量/(U/mL)	4~6	37.27±24.09 dB	79.96±18.46 c	89.14±17.30 bc	120.09±28.82 b	158.97±10.52 a
	8~10	68.04±15.60 bA	73.51±24.69 b	131.38±30.38 a	146.61±15.85 a	150.06±7.49 a
谷胱甘肽过氧化 物酶含量/(U/mL)	4~6	72.44±11.10 b	129.55±17.78 ab	151.67±22.25 a	163.98±37.00 a	184.02±76.35 a
	8~10	83.13±4.45 b	122.07±6.44 ab	160.08±69.75 a	173.66±46.68 a	191.46±24.73 a

### 3 讨论

1)动物在一定环境温度范围内,一些免疫相关激素及抗氧化酶等物质维持着促氧化和抗氧化间的平衡,冷应激则会改变这种平衡<sup>[9]</sup>,降低免疫力。冷应激条件下,鼠<sup>[10]</sup>、鸡<sup>[11-12]</sup>、牛<sup>[2]</sup>的血清葡萄糖,犬<sup>[13]</sup>、鸡<sup>[14-15]</sup>、牛<sup>[16]</sup>的皮质醇以及鼠<sup>[17]</sup>、鸡<sup>[7,18]</sup>、牛<sup>[19]</sup>的血清T-AOC和MDA水平升高、GSH<sup>[7,18-20]</sup>和SOD<sup>[7,17-18]</sup>活性下降,降低猪<sup>[21]</sup>和牛<sup>[22]</sup>的免疫力。本项研究在我国北方秋冬季-5~15℃下对犊牛进行的冷刺激,同样证明慢性冷刺激改变了周岁内犊牛的促氧化与抗氧化的平衡,降低了免疫力。

2)本试验中第1次采血的昼最高温度15.0℃,夜最低气温5.0℃,日平均温度为9.6℃。有研究<sup>[2,5]</sup>表明环境温度低于4.7℃或5.0℃时对初生犊牛才会表现出显著的应激反应。本试验所用犊牛相对于初生犊牛月龄较大,分别为4~6月龄和8~10月龄。而NRC(2001)<sup>[4]</sup>指出犊牛的适宜环境为25.0~15.0℃,但随犊牛的品种,月龄的变化,这种适宜温度范围会又所改变,月龄大的犊牛适宜的环

境温度下限要低于月龄小的。同时,本试验考查慢性冷应激对犊牛的影响,第1次采血前几天,最高温度在15.0~20.5℃之间变化,且昼长夜短,因此可以说明第1次采血(日平均温度为9.6℃)时犊牛处于适宜环境温度下。

犊牛采血均在早饲前空腹采集,所以可以排除饲料的摄入对血清指标的影响。同时如表2所示,温度对犊牛血清CORT指标的影响显著( $P < 0.05$ ),对BG、GH、T-AOC、MDA、SOD和GSH指标的影响极其显著( $P < 0.01$ );体重对犊牛血清免疫相关指标影响并不显著。因此试验期间,犊牛血清免疫相关指标的波动变化是由慢性冷应激引起的。

3)本研究中,GH和BG水平随温度降低均有不同程度的升高(表2)。这是因为犊牛遭受冷应激后,垂体分泌催乳激素、生长激素和胰高血糖素水平上升,引起BG和类固醇激素分泌量增加,促进脂肪分解<sup>[12]</sup>,从而动员机体沉积的能源供能所致,Hangalapura的研究也证明了该应激机制的存在<sup>[11]</sup>。但当饲料中有充足的易利用能源时,机体优

先利用饲料中的能源,血清 BG 水平并不增加,从而缓解应激水平,如在饲料中添加 10% 以上的脂肪,安格斯公犍在  $-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  环境下血清 BG 水平反而下降,GH 水平并无变化<sup>[16]</sup>。本试验主要能源是玉米,代谢能和能量转换速度均低于脂肪,如果在饲料中添加了适量的脂肪,血清 BG 和 GH 水平可能也不会表现剧烈变化。

本试验发现 SUN 水平随舍内温度由低向高呈“N”型变化,即先升高,在温度为  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右时降低,然后再升高,其中 4~6 月龄组在  $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  与  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  2 个点上有显著差异( $P<0.05$ ) (表 2)。Bull 对生后 1~3 d 的安格斯母犍在能量或蛋白不足的条件 下施以  $0$  和  $21.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温度刺激,发现  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  SUN 水平显著高于  $21.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的水平<sup>[3]</sup>。有研究<sup>[4]</sup>认为低温冷刺激在一定程度上会影响犍牛对饲料中蛋白的利用,致使机体动员体蛋白,从而降低血清总蛋白水平,BUN 水平升高<sup>[23]</sup>。一般条件下,SUN 水平随温度的下降而升高<sup>[23]</sup>,具有规律性,但在蛋白质和能量供应充足的情况下,本研究中的 2 个月龄组,没有遵循该规律,却规律性地以  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右为中心产生了跌涨,呈现出了“N”型变化,这是否出于偶然,值得今后研究。

本试验结果证明,T-AOC 和 MDA 水平随温度的降低而升高(表 3),这是因为随着冷应激强度的加大,机体产生过多的自由基,引起了清除机体自由基的 T-AOC 水平也随之升高<sup>[24]</sup>;同时部分自由基构成的醛基 MDA,提高了 MDA 水平。一般认为,MDA 与生物膜中的多不饱和脂肪酸形成脂质过氧化物,会加大脂质过氧化程度和细胞的损伤<sup>[6,10-12]</sup>。本研究还发现血清中 SOD 和 GSH 的含量随温度的降低趋于下降。本研究没有测定与 SOD 和 GSH 代谢有关的指标,因此不能解释冷应激致使 SOD 和 GSH 下降的原因。但据报道,冷应激会降低铜在鼠<sup>[25]</sup>和硒在牛<sup>[19]</sup>血清中的浓度,从而降低了 SOD<sup>[26]</sup>和 GSH<sup>[19]</sup>的血清浓度,因为铜和硒时构成 SOD 和 GSH 的必要元素。本试验的 SOD 和 GSH 血清浓度的降低是否也出自相同理由,有待今后验证。

本研究所用 2 个月龄组犍牛的血清 T-AOC、MDA 水平和 SOD、GSH 水平在  $-2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  时均高于和低于温度在  $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上时的水平(表 4),但在 2 组之间,8~10 月龄组的血清 T-AOC 及 MDA 水平或 SOD 及 GSH 水平均高于或低于 4~6 月龄组。

说明  $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温差和 2 个月龄的差别,对于周岁内犍牛的抗氧化能力有较大影响,并且环境温度越低,月龄越小,这种影响越大。

4) 本研究对周岁内肉用牛犍在冷应激条件下血清指标、免疫相关激素及抗氧化酶指标进行的调查结果表明,在舍内日平均温度为  $-2.4\sim 9.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  的条件下,即使营养水平充足,冷应激通过提高血清 BG、GH、T-AOC 及 MDA 水平和降低血清 SOD 及 GSH 的水平,影响着犍牛的免疫能力,并且温度越低、月龄越小,冷应激的这种影响越大。

## 参 考 文 献

- [1] 冯仰廉. 肉牛营养需要和饲养标准[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000
- [2] Stanko R L, Stanko R L, Guthrie M J. Effects of exogenous glucose or colostrums on body temperature, plasma glucose, and serum insulin in cold-stressed, newborn Brahman calves [J]. Anim Sci, 1992, 70: 3007-3013
- [3] Bull R C, Everson D O. Concentrations of serum constituents in cold-stressed calves from heifers fed inadequate protein and (or) energy [J]. Anim Sci, 1991, 69: 853-863
- [4] NRC. Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals [M]. 7th ed, Washington D. C.: National Academy Press, 2001
- [5] Nonnecke B J, Foote M R. Effects of chronic environmental cold on growth, health, and select metabolic and immunologic responses of permanent calves [J]. Dairy Sci, 2009, 92: 6134-6143
- [6] Akhalaya M Y, Platonov A G. Short-term cold exposure improves antioxidant status and general resistance of animals [J]. Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 2006, 141(1): 26-29
- [7] 杨焕民, 李士泽. 动物冷应激研究进展 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1999(3): 2-44
- [8] Foote M R, Nonnecke B J, Beitz D C. High growth rate fails to enhance adaptive immune responses of neonatal calves and is associated with reduced lymphocyte viability [J]. Dairy Sci, 2007b, 90: 404-417
- [9] Shustanova T A, Bondarenko T I, Miliutian N P. Free radical mechanism of the cold stress development in rats [J]. Ross Fiziol Zh Im I M Sechenova, 2004, 90(1): 73-82
- [10] 蒋华琼, 郑刚. 急性寒冷应激对大鼠血糖及血清激素

- 水平的影响[J]. 第四军医大学学报, 2009, 16: 1491-1493
- [11] Hangalapura B N, Nieuwland M G. Effect of duration of cold stress on plasma adrenal and thyroid hormone levels and immune responses in chicken lines divergently selected for antibody responses [J]. *Poultry Sci*, 2004, 83(10): 1644-1649
- [12] SaPolsky R B, Romero L M. How do glucocorticoids influence stress responses; Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions [J]. *Endocrine Reviews*, 2000, 2(1): 55-89
- [13] 赵恩军, 华修国. 冷热刺激对犬血清皮质醇、促肾上腺皮质激素及血液生理指标的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2003(05): 457-460
- [14] 王建鑫, 王安. 急性冷应激对金定鸭开产前内分泌活动的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2005(4): 480-485
- [15] Richard E A. Environment immune [J]. *Poult Sci*, 1994, 73: 1062-1076
- [16] Scibilia L S, Muller L D. Effect of environmental temperature and dietary fat on growth and physiological responses of newborn calves [J]. *Dairy Sci*, 1987, 70: 1426-1433
- [17] Pajovic S B, Pejic S, Stojiljkovic V, et al. Alterations in hippocampal antioxidant enzyme activities and sympatho-adrenomedullary system of rats in response to different stress models [J]. *Physiol Res*, 2006, 55: 453-460
- [18] 王金涛, 李宁, 徐世文. 急、慢性冷应激对雏鸡腓肠肌及血清抗氧化功能的影响[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(3): 28-32
- [19] 井霞. 慢性冷热应激对荷斯坦奶牛维持行为及免疫指标的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006
- [20] 芮于明, John R A, 周毓平. 冷应激前后不同硒营养状态下大鼠甲状腺激素水平变化[J]. *北京农业大学学报*, 1992, 18(4): 447-451
- [21] 宋小珍, 王占赫, 毛帅, 等. 中药添加剂对高温下猪血清抗氧化功能的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2008, 40(5): 5-8
- [22] 李忠浩, 孔丽娟. 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(S1): 136-139
- [23] 吕晓伟. 慢性冷热应激对荷斯坦奶牛血清酶活力、内分泌激素水平及维持行为的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006
- [24] Blokhina O, Virolainen E. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review [J]. *Annals of Botany*, 2003, 91: 179-194
- [25] Sreinebach O M, Wolterbeek H T. Role of cytosolic copper, metallothionein and glutathione in copper toxicity in rat hepatoma tissue culture cells [J]. *Toxicology*, 1994, 92: 75-90
- [26] 龚书明, 陈景元, 赵振高, 等. 急性冷暴露对大鼠体内锌、铜、铁代谢的影响[J]. *微量元素与健康研究*, 1996, 13(4): 7-8