

脂多糖(LPS)刺激对肉仔鸡生产性能及肌肉品质影响

胡晓飞^{1,2} 魏凤仙³ 芮于明^{2*}

(1. 河南农业科学院 动物免疫学重点实验室, 郑州 450002;

2. 中国农业大学 动物科学技术学院/动物营养学国家重点实验室, 北京 100193;

3. 河南农业科学院 畜牧兽医研究所, 郑州 450002)

摘要 为确证免疫刺激对肉仔鸡生产性能及肌肉品质的影响, 取 108 只 1 周龄肉仔鸡, 均分为 2 个组, 对照组 (CK) 和脂多糖 (LPS) 组。LPS 组每周 1、3、5 按 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BW 腹腔注射 LPS, 对照组注射等量生理盐水, 8~21 日龄连续 2 周。21 日龄时, 测定生产性能及血液皮质酮及 IL-1 β 水平。42 日龄时, 测生产性能, 胸肌率、腿肌 (带骨) 率、腹脂率; 胸肌及腿肌 pH, 滴水损失率和肌肉剪切力; 胸肌中的蛋白质、脂肪含量、蛋白脂肪比及胸肌纤维面积。结果表明, LPS 刺激对肉仔鸡血液皮质酮及 IL-1 β 含量, 前期及全期生产性能没有显著影响 ($P>0.05$)。LPS 组肉仔鸡腹脂率及胸肌蛋白脂肪比分别比对照组高 17.81% 和 36.94%, 而胸肌 pH 比对照组低 2.23%, 均差异显著 ($P<0.05$)。结果显示: 免疫刺激尽管对肉仔鸡生产性能没有显著影响, 但对胴体品质, 胸肌肌肉品质均会产生不良影响。

关键词 肉仔鸡; 脂多糖; 免疫刺激; 胴体品质; 肌肉品质

中图分类号 S 831

文章编号 1007-4333(2011)01-0060-06

文献标志码 A

Effect of lipopolysaccharide (LPS) challenge on performance and meat quality of broiler chickens

HU Xiao-fei^{1,2}, WEI Feng-xian³, GUO Yu-ming^{2*}

(1. Henan Key Laboratory for Animal Immunology, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China;

2. State Key Laboratory of Animal Nutrition/College of Animal Science and Technology,

China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract To test the effect of immunological challenge on performance and meat quality of broiler chickens, 108 7-d broiler chickens were divided into control group (CK) and experimental group (LPS). Birds in LPS group were injected with 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BW LPS dissolved in saline on Monday, Wednesday and Friday since 8-d of age for continuous 2 weeks, meanwhile, birds in CK were injected with saline. The performance and serum corticosterone and IL-1 β level of broiler chickens were evaluated on 21-d. The performance, percentage of pectoralis and thigh muscle (with bone) and abdominal fat; the drip loss rate, pH value and shear force of pectoralis and thigh muscle; the protein and fat content, protein/fat ratio and myofiber area of pectoralis of broiler chickens were assayed on 42-d. Results showed that LPS challenge had no significant effect on serum corticosterone and IL-1 β level and growth performance ($P>0.05$). The percentage of abdominal fat, protein/fat ratio of pectoralis of birds in LPS were about 17.81% and 36.94% higher than those in CK, respectively ($P<0.05$), while pH value of pectoralis were about 2.23% lower than those in CK ($P<0.05$). In conclusion, immunological challenge had no effect on growth performance, but had significant negative effects on the carcass quality and meat quality of broiler chickens.

Key words broiler chicken; LPS; immunological challenge; carcass quality; meat quality

收稿日期: 2010-05-18

基金项目: 国家“973”计划项目资助(2004CB117504)

第一作者: 胡晓飞, 副研究员, 博士, 主要从事动物营养与免疫研究, E-mail: 626486881@qq.com

通讯作者: 芮于明, 教授, 博士生导师, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: guoyum@cau.edu.cn

家禽生长过程中需应付各种应激,应激反应会对家禽生产造成各种不良影响,激活家禽免疫系统的物质如细菌脂多糖(Lipopolysaccharide, LPS)就是其中一种应激源^[1-2]。

LPS 刺激使肉仔鸡淋巴细胞前炎性细胞因子含量增加^[3-4],由于炎性细胞因子含量的升高,可引起家禽发热,产生厌食行为,从而降低采食量^[3]。这些炎性细胞因子通过下丘脑-垂体-肾上腺皮质(Hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA)轴刺激肾上腺释放皮质酮,最终导致皮质酮含量升高^[5],使肌肉氧化分解加快,合成速度降低^[6]。炎性细胞因子的过量合成改变了氨基酸比例,从而影响肌肉蛋白合成^[7],同时 LPS 刺激也改变了动物对氨基酸需求^[8]。上述这些结果是否影响肉仔鸡胴体品质及肌肉品质,还未见报道。

已有报道^[9-10]认为 LPS 刺激阻碍肉仔鸡增重,降低了日采食量及饲料效率,但这些试验都是以 2 周龄以上肉仔鸡为对象,但更早一些免疫应激(如 7 日龄)是否对肉仔鸡生长性能产生影响,还少有报

道。本试验旨在考察早期 LPS 刺激对肉仔鸡生产性能、胴体品质及肌肉品质的影响,为实际生产中消除免疫刺激,减缓其对肉仔鸡生产性能、肌肉品质影响提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验动物与饲养管理

本研究采用单因子试验设计,选用 108 只体重接近的 1 周龄健康 AA 肉仔鸡(北京华都肉鸡公司)。

试验在中国农业大学动物营养与饲料科学系试验鸡场进行。饲养于人工控温的肉仔鸡舍,3 层笼养,自由采食、饮水,24 h 人工光照。按常规的肉仔鸡免疫程序进行免疫。

1.2 试验日粮及试验处理

1.2.1 试验日粮

试验日粮为玉米-豆粕型日粮,日粮原料组成及营养水平含量见表 1。

1.2.2 试验处理

试验为 2 个处理,每处理 9 个重复,每重复 6 只

表 1 日粮原料组成和营养水平

Table 1 Composition of the diet and nutrients levels

ω(日粮原料组成)/%	1~3 周	4~6 周	营养水平	1~3 周	4~6 周
玉米	55.80	61.16	ω(粗蛋白质)/%	21.50	19.50
豆粕	37.22	31.80	ω(钙)/%	1.06	0.92
豆油	2.80	3.27	ω(有效磷)/%	0.45	0.40
磷酸氢钙	1.94	1.65	ω(赖氨酸)/%	1.08	1.00
石粉	1.17	1.13	ω(蛋氨酸)/%	0.50	0.45
赖氨酸	0.04	0.08	ω(蛋+胱)/%	0.86	0.78
蛋氨酸	0.18	0.15	代谢能/(MJ/kg)	12.14	12.56
食盐	0.35	0.35			
15%(ω)金霉素	0.10				
4%(ω)黄霉素		0.01			
30%(ω)乙氧基喹啉	0.02	0.02			
50%(ω)氯化胆碱	0.16	0.15			
维生素预混料 ^①	0.02	0.02			
微量元素预混料 ^②	0.20	0.20			
合 计	100	100			

注:①维生素预混料(为每 kg 配合饲料提供):VA 12 500 IU;VD₃ 2 500 IU;VE 18.75 mg;VK₃ 2.65 mg;VB₁ 2 mg;VB₂ 6 mg;VB₁₂ 0.025 mg;生物素 0.032 5 mg;叶酸 1.25 mg;泛酸 12 mg;烟酸 50 mg。②微量元素预混料(为每 kg 配合饲料提供):Cu 8 mg;Zn 75 mg;Fe 80 mg;Mn 100 mg;Se 0.15 mg;I 0.35 mg。

鸡,2处理的肉仔鸡体重差异不显著。

处理1为对照组(CK);处理2为脂多糖(LPS)组,从8日龄开始,每周的1、3和5按500 μg/kg (BW)LPS溶解于1 mL生理盐水中,腹腔注射,对照组注射等量的生理盐水,连续2周。

1.2.3 试验试剂

LPS(L-2880)购自Sigma公司(美国),为*E. coli* O55:B5脂多糖。

1.3 样品的采集与制备

21日龄时,每处理中选出1个重复,共6只鸡,翅静脉采血,制备血清用于测定皮质酮。42日龄时,每处理中再选出1个重复,共6只,称重后宰杀,测肉仔鸡胴体品质、肌肉品质及肌肉的养分含量。在胸肌同一侧的大致相同位置取1 cm×1 cm×1 cm左右的一块胸肌,放入10%(体积分数)福尔马林溶液固定用于测定肌纤维面积。

1.4 检测指标与方法

1.4.1 肉仔鸡生产性能测定

21和42日龄测定肉仔鸡平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)及耗料增重比(F/G)。

1.4.2 血液皮质酮及IL-1β含量测定

采用试剂盒测定血清中皮质酮及IL-1β水平。皮质酮试剂盒购自美国DPC(Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, USA)公司。IL-1β试剂盒购自美国RB(RapidBio Lab, California, USA)公司。

1.4.3 肉仔鸡胴体和肌肉品质测定

胴体品质测定包括胸肌率、腿肌率及腹脂率;肌肉品质测定包括肌肉pH、滴水损失率和剪切力,测定方法均参照文献[11]。

1.4.4 肉仔鸡肌肉养分含量测定

肌肉养分含量测定蛋白含量、脂肪含量及蛋白/脂肪的质量比。

剪取胸肌的相同部位,采用凯氏定氮法测定肌肉粗蛋白质;测定肌肉粗脂肪含量时,先把肌肉粉碎干燥,然后采用溶剂浸提法进行测定^[12]。

1.4.5 肉仔鸡肌纤维面积测定

胸肌肌纤维面积测定方法及测定的具体步骤参照刘冰^[13]的描述。

1.5 数据处理和统计分析

数据表示为平均数±标准误(mean±SE),采用SPSS 13.0软件进行单因素独立T检验分析,*P*<0.05为差异显著。

2 结果与分析

2.1 LPS刺激对肉仔鸡生产性能影响

LPS对肉仔鸡生产性能的影响结果见表2。尽管21日龄时,LPS组肉仔鸡日增重和日采食量比对照组分别降低1.52%和7.18%,耗料增重比升高3.33%,但差异均不显著(*P*>0.05)。42日龄时LPS组肉仔鸡日增重,日采食量及耗料增重与对照组差异均不显著(*P*>0.05)。

表2 肉仔鸡生长性能

Table 2 Performance of broiler chickens

周 龄	处 理	采食量/g	日增重/g	耗料增重比
1~3	对照组	59.37±0.57	39.42±1.60	1.50±0.02
	LPS组	58.44±0.91	36.78±1.27	1.55±0.02
1~6	对照组	85.11±1.10	44.57±0.37	1.90±0.02
	LPS组	85.95±1.30	44.62±0.73	1.87±0.01

注:相同周龄内,同一列中无字母表示差异不显著(*P*>0.05)。下表同。

2.2 LPS刺激对肉仔鸡血液皮质酮及IL-1β水平的影响

从图1可以看出,尽管LPS组肉仔鸡血液皮质酮及IL-1β水平比对照组分别升高4.28%和2.44%,

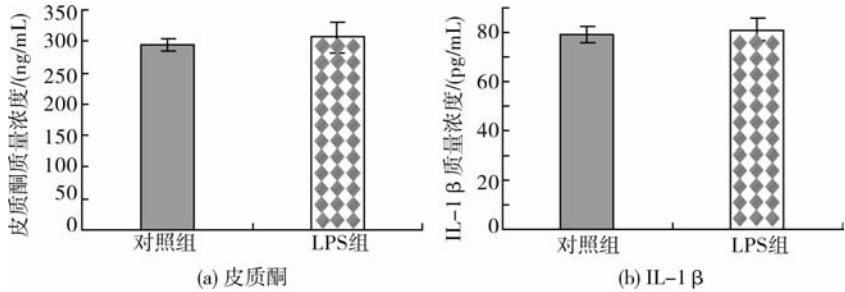


图1 肉仔鸡血液中皮质酮和IL-1β质量浓度

Fig. 1 Serum corticosterone and IL-1β level of broiler chickens

但均与对照组差异不显著($P>0.05$)。

2.3 LPS 刺激对肉仔鸡胴体品质及肌纤维面积的影响

不同处理对肉仔鸡胴体品质及肌纤维面积影响的数据列于表 3 中。结果表明,42 日龄时,LPS 组

肉仔鸡胸肌率比对照组低 8.49%,但二者差异不显著($P>0.05$)。2 组之间腿肌率也无显著差异($P>0.05$)。LPS 组肉仔鸡腹脂率比对照组高 17.81%,二者差异显著($P<0.05$)。LPS 组肉仔鸡胸肌纤维面积比对照组低 4.33%,但差异不显著($P>0.05$)。

表 3 肉仔鸡的胴体品质及肌纤维面积
Table 3 Carcass quality and fiber area of pectoralis for broiler chickens

处 理	胸肌率/%	腿肌率/%	腹脂率/%	肌纤维面积/ μm^2
对照组	15.34±0.29	21.32±0.39	1.46±0.10 a	15.66±0.67
LPS 组	14.14±0.21	21.53±0.31	1.72±0.10 b	15.01±0.41

注:同一列中字母不同者表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.4 LPS 刺激对肉仔鸡肌肉品质影响

由表 4 的结果可以看出,LPS 组肉仔鸡胸肌及腿肌滴水损失率比对照组分别升高 3.38%和 5.88%,但差异均不显著($P>0.05$)。LPS 组胸肌

pH 比对照组低 2.23%,差异显著($P<0.05$);2 组腿肌 pH 差异不显著($P>0.05$)。尽管 LPS 组肉仔鸡胸肌及腿肌剪切力分别比对照组高 25.17%和 17.39%,但差异均不显著($P>0.05$)。

表 4 肉仔鸡肌肉品质
Table 4 Meat quality of broiler chickens

处 理	胸 肌			腿 肌		
	滴水损失率/%	pH	剪切力/kg	滴水损失率/%	pH	剪切力/kg
对照组	2.37±0.15	5.96±0.03 b	1.47±0.23	1.36±0.02	6.32±0.05	1.38±0.08
LPS 组	2.45±0.19	5.83±0.07 a	1.84±0.47	1.44±0.10	6.31±0.08	1.62±0.27

2.5 LPS 刺激对肉仔鸡胸肌肌肉中养分含量影响

不同处理组肉仔鸡胸肌肌肉中养分含量见表 5。结果表明,LPS 组肉仔鸡胸肌中蛋白质及脂肪含量与对照组差异均不显著($P>0.05$)。但 LPS 组肉仔鸡肌肉中蛋白脂肪比比对照组低 36.94%,差异显著($P<0.05$)。

表 5 肉仔鸡胸肌肌肉养分含量
Table 5 Nutrients in pectoralis muscle of broiler chickens

处 理	$w(\text{蛋白质})/\%$	$w(\text{脂肪})/\%$	$w(\text{蛋白质})/w(\text{脂肪})$
对照组	23.87±0.14	1.60±0.10	14.24±0.77 a
LPS 组	23.06±0.09	1.23±0.08	19.50±1.47 b

3 讨 论

3.1 LPS 刺激对肉仔鸡血液皮质酮水平影响

本试验中注射 LPS 对肉仔鸡血液中皮质酮含量没有产生显著影响,这和前人的结果不太一致^[3,14],产生差异可能是由于采样测定时间不同造

成的。Klasing 等^[3]测定肉仔鸡血液皮质酮含量是在注射 LPS 后 4 h 时;Shini 等^[14]测定是在注射 LPS 后 1、3 及 24 h;而本试验是在最后 1 次注射(肉仔鸡 19 日龄时)后 48 h 测定血液皮质酮含量。研究证明,LPS 刺激动物皮质酮升高有时间效应,皮质酮水平先升高,24 h 后逐渐回落到正常水平^[14-15]。LPS 刺激动物淋巴细胞产生高于正常剂量的前炎性细胞因子 IL-1(β)、IL-6 和 TNF- α ,这些细胞因子通过下丘脑-垂体-肾上腺轴刺激肾上腺皮质过量分泌皮质酮^[1,5]。LPS 显著提高动物机体炎性细胞因子含量是在注射后 2~4 h 内,8~12 h 后恢复到正常水平^[16]。本研究 LPS 刺激没有显著升高肉仔鸡血液 IL-1 β 水平,是由于测定时间比较晚,炎性细胞因子水平已回归至正常水平。炎性细胞因子水平回落,顺序引起皮质酮水平回落,所以本研究在 LPS 刺激 48 h 后所测定皮质酮水平和对照无显著差异。

3.2 LPS 刺激对肉仔鸡生产性能影响

机体 IL-1(β)、IL-6 和 TNF- α 等炎性细胞因子的异常升高导致动物厌食,显著降低动物采食量^[3],而 LPS 降低动物生产性能的主要原因是动物采食量显著下降^[17]。本试验中 7~21 日龄和 7~42 日龄时 LPS 刺激并没有显著影响采食量,因此肉仔鸡日增重也就无显著差异,这和前人的研究结果不一致^[4,10],前人试验均证明注射 LPS 可以使肉仔鸡增重、采食量和饲料效率都显著下降。出现不同的结果可能是由于所注射的 LPS 类型,测定时间不同所引起的。这些研究中 LPS 为血清型 O127:B8,均是在 LPS 注射当天或最后 1 次注射后 1 d 内测定生产性能^[4,10]。本试验 LPS 是血清型 O55:B5,肉仔鸡前期及全期生产性能是在最后 1 次注射 LPS 2 d 后及 23 d 后测定的。本研究中 21 日龄时注射 LPS 的肉仔鸡的采食量及日增重有降低趋势,耗料增重比有升高趋势,此结果可能说明注射 LPS 第 1 周使肉仔鸡产生应激作用;而注射第 2 周时,肉仔鸡可能产生了适应性,因此 7~21 日龄时 LPS 组肉仔鸡生产性能有下降趋势,但和对照差异不显著。

3.3 LPS 刺激对肉仔鸡胴体品质的影响

LPS 刺激提高肉仔鸡腹脂率,这一结果与董晓玲^[15]的报道一致。LPS 激活动物免疫系统,从而影响动物机体矿物质、氨基酸和能量代谢^[18]。免疫应激改变了机体内脂肪代谢过程,减少了肝脏脂肪酸氧化,加强脂肪合成^[19]。LPS 提高炎性细胞因子水平,而炎性细胞因子可增强肉仔鸡机体蛋白质降解速度^[3]。炎性细胞因子水平变化影响动物机体相关激素水平,免疫应激降低了动物血液中 T_3 、 T_4 含量^[20],显著提高 24 h 内血液皮质酮水平^[3,14,16]。动物机体这些激素水平的变化,导致新陈代谢改变,甲状腺素主要功能是促进动物能量代谢,为体内蛋白质合成提供足够能量, T_3 、 T_4 水平降低导致能量代谢缓慢,蛋白合成降低。而血液高于正常生理浓度的皮质酮水平抑制蛋白质合成,促进蛋白质分解,使能量从向肌肉沉积转为向腹部脂肪沉积^[21]。因此,LPS 刺激提高肉仔鸡腹脂率,降低了胸肌率是炎性细胞因子水平及各种激素变化导致代谢改变的综合作用结果。应激阻碍肌肉蛋白质合成,促进蛋白质分解,导致肌纤维的直径及肌纤维横切面积减少^[11]。本研究中可能由于后期的补偿生长弥补了应激造成的胸肌率降低及肌纤维面积减少,因此 42 日龄时 LPS 组肉仔鸡的胸肌率和肌纤维面积和对

照组并无显著差异。

3.4 LPS 刺激对肉仔鸡肌肉品质的影响

免疫应激加快了家禽肌肉中葡萄糖酵解速度,显著提高肉仔鸡胸肌中乳酸含量,导致肌肉 pH 降低^[15],而降低的肌肉 pH 引起肌肉滴水损失率增加^[22]。本研究中 LPS 刺激增加了肉仔鸡胸肌和腿肌的剪切力。限饲应激时肉仔鸡胸肌和腿肌的剪切力也显著升高^[23]。限饲应激时禽类血液皮质酮含量也显著升高^[24],由此可以推测,LPS 刺激导致肉仔鸡胸肌和腿肌的剪切力增加可能与肉仔鸡皮质酮水平改变及相应的物质代谢改变相关。皮质酮水平变化导致机体脂肪代谢方向改变,增加肌肉脂蛋白脂肪酶活性,增强了肌肉中脂肪酸氧化^[25],降低了肌肉中脂肪含量,由于肌肉中蛋白含量没有显著变化,因此 LPS 刺激显著提高肉仔鸡肌肉中蛋白与脂肪的比值。

4 结 论

LPS 刺激(7 日龄)肉仔鸡,对肉仔鸡生产性能无显著影响,但对肉仔鸡胴体品质及肌肉品质均会产生不良影响,并显著提高肉仔鸡的腹脂率及胸肌中蛋白质和脂肪的质量比,降低胸肌 pH。

参 考 文 献

- [1] Anisman H, Poulter M O, Gandhi R, et al. Interferon- α effects are exaggerated when administered on a psychosocial stressor backdrop: cytokine, corticosterone and brain monoamine variations[J]. *Journal of Neuroimmunology*, 2007, 186: 45-53
- [2] Hayley S, Mangano E, Strickland M, et al. Lipopolysaccharide and a social stressor influence behaviour, corticosterone and cytokine levels; Divergent actions in cyclooxygenase-2 deficient mice and wild type controls[J]. *Journal of Neuroimmunology*, 2008, 197: 29-36
- [3] Klasing K C, Laurin D E, Peng R K, et al. Immunologically mediated growth depression in chicks: influence of feed intake, corticosterone, and interleukin-1 [J]. *Journal of Nutrition*, 1987, 117: 1629-1637
- [4] Takahashi K, Onodera K, Akiba Y. Effect of dietary xylitol on growth and inflammatory responses in immune stimulated chickens[J]. *British Poultry Science*, 1999, 40: 552-554
- [5] Sapolski R M, Romero M L, Munck A U. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions [J]. *Endocrine Review*, 2000, 21: 55-89
- [6] Lin H, Sui S J, Jiao H C, et al. Impaired development of broiler

- chickens by stress mimicked by corticosterone exposure[J]. Comparative Biochemistry Physiology, 2006, 143A: 400-405
- [7] Lin H, Gao J, Song Z G, et al. Corticosterone administration induces oxidative injury in skeletal muscle of broiler chickens [J]. Poultry Sci, 2009, 88: 1044-1051
- [8] Zamir O, Hasselgren P O. *In vivo* administration of interleukin-1 α induces muscle proteolysis in normal and adrenalectomized rats [J]. Metabolism, 1993, 42: 204-208
- [9] Floc'h N, Melchior D, Obled C. Modifications of protein and amino acid metabolism during inflammation and immune system activation[J]. Livestock Production Science, 2004, 87 (1): 37-45
- [10] Takahashi K, Mashiko T, Akiba Y. Effect of dietary concentration of xylitol on growth in male broiler chicks during immunological stress [J]. Poultry Science, 2000, 79 (5): 743-747
- [11] 胡晓飞, 冯于明. 生理应激对肉仔鸡胴体品质及肌肉品质影响[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(2): 71-76
- [12] Helrich K. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists 15th ed [M]. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, Inc, 1990, 69-83.
- [13] 刘冰. 不同品种鸡的肌纤维发育规律及其与肉质的关系[D]. 北京: 中国农业大学, 2005
- [14] Shini S, Kaiser P, Shini A, et al. Biological response of chickens (*Gallus gallus domesticus*) induced by corticosterone and a bacterial endotoxin[J]. Comparative Biochemistry Physiology, 2008, 149B: 324-333
- [15] 董晓玲. 免疫应激对肉仔鸡血液指标及肉品质的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007
- [16] Webel D M, Finck B N, Baker D H, et al. Time course of increased plasma cytokines, cortisol, and urea nitrogen in pigs following intraperitoneal injection of lipopolysaccharide [J]. Journal of animal science, 1997, 75: 1514-1520
- [17] Dritz S S, Owen K Q, Goodband R D, et al. Influence of lipopolysaccharide-induced immune challenge and diet complexity on growth performance and acute phase protein production in segregated early-weaned pigs [J]. Journal of animal science, 1996, 74: 1620-1628
- [18] Beisel W R. Magnitude of the host nutritional responses to infection[J]. American Journal of clinical nutrition, 1977, 30: 1236-1247
- [19] Khovidhunkit W, Kim M, Memon R A, et al. Effects of infection and inflammation on lipid and lipoprotein metabolism: mechanisms and consequences to the host [J]. Journal of Lipid Research, 2004, 45: 1169-1196
- [20] Pekary A E, Stevens S A, Sattin A. Lipopolysaccharide modulation of thyrotropin-releasing hormone (TRH) and TRH-like peptide levels in rat brain and endocrine organs [J]. Journal of Molecular Neuroscience, 2007, 31: 245-259
- [21] Dallman M F, Akana S F, Strack A M, et al. The neural network that regulates energy balance is responsive to glucocorticosteroids and insulin and also regulates HPA axis responsivity at a site proximal to CRF neurons [J]. Annals of the New York Academic Science, 1995, 771: 730-742
- [22] Debut M, Berri C, Baeza E, et al. Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and preslaughter stress conditions [J]. Poultry Science, 2003, 82: 1829-1838
- [23] Lippens M, Room G, De Groote G, et al. Early and temporary quantitative food restriction of broiler chickens. 1. Effects on performance characteristics, mortality and meat quality [J]. British Poultry Science, 2000, 41: 343-354
- [24] Kitaysky A S, Kitaikaia E V, Wingfield J C, et al. Dietary restriction causes chronic elevation of corticosterone and enhances stress response in red-legged kittiwake chicks [J]. Journal of Comparative Physiology Part B, 2001, 171 (8): 701-709
- [25] Gray J M, Yarian D, Ramenofsky M. Corticosterone, foraging behavior, and metabolism in dark-eyed juncos, *Junco hyemalis* [J]. General Comparative Endocrinology, 1990, 79: 375-384

(责任编辑: 苏燕)