

# 稀土壳糖胺螯合盐对热应激肉鸡生长性能和肉品质的影响

王菊花<sup>1</sup> 刘琦<sup>1</sup> 董静<sup>1</sup> 王佳明<sup>1</sup> 刘丹丹<sup>1</sup> 周杰<sup>1</sup> 薛秀恒<sup>2\*</sup>

(1. 安徽农业大学 动物科技学院, 合肥 230036;

2. 安徽农业大学 茶与食品科技学院, 合肥 230036)

**摘要** 为探究稀土壳糖胺螯合盐(Rare earth-chitosan chelate, RECC)对热应激黄羽肉鸡的生长性能和肉品质的影响。本研究选用1日龄的黄羽肉鸡(90只),按照饲养标准饲养至29日龄时开始热应激,试验持续2周。试验分为3组:即对照组(饲养温度约25℃+基础日粮)、热应激组(饲养温度约37℃+基础日粮)以及稀土组(饲养温度约37℃+基础日粮+0.03% RECC)。在热应激1和2周后,分别计算肉鸡平均日增重、料重比,并分析肉品质的变化。结果表明:热应激1周后,肉鸡平均日采食量各组间均无显著性差异( $P>0.05$ );而平均日增重的变化是对照组显著高于热应激组( $P<0.05$ )和稀土组( $P<0.01$ ),热应激组和稀土组未见显著性差异( $P>0.05$ );对照组腿肌pH显著高于稀土组( $P<0.05$ );对照组腿肌剪切力与热应激组和稀土组差异均极显著( $P<0.01$ )。热应激2周后,对照组平均日采食量显著高于热应激组( $P<0.05$ )和稀土组( $P<0.01$ ),而热应激组和稀土组之间无显著性差异( $P>0.05$ );热应激组平均日增重显著低于对照组和稀土组( $P<0.05$ ),对照组与稀土组之间未见显著性差异( $P>0.05$ );各组间腿肌pH和剪切力均无显著差异( $P>0.05$ );热应激组腿肌持水力显著低于与对照组和稀土组( $P<0.01$ )。热应激1和2周后,对照组胸肌pH、持水力均显著高于热应激组和稀土组( $P<0.05$ );而剪切力均显著低于热应激组和稀土组( $P<0.05$ )。研究发现,随着热应激时间的延长,RECC可改善热应激对肉鸡日增重的影响,提高饲料利用率,缓解热应激对肌肉持水力损害,改善肉品质。

**关键词** 黄羽肉鸡; 稀土壳糖胺螯合盐; 热应激; 生长性能; 肉品质

中图分类号 S831.5

文章编号 1007-4333(2019)07-0104-08

文献标志码 A

## Effects of rare earth-chitosan chelate on the growth performance and meat quality of yellow-feathered broilers under heat stress

WANG Juhua<sup>1</sup>, LIU Qi<sup>1</sup>, DONG Jing<sup>1</sup>, WANG Jiaming<sup>1</sup>, LIU Dandan<sup>1</sup>, ZHOU Jie<sup>1</sup>, XUE Xiuheng<sup>2\*</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. College of Tea & Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**Abstract** To investigate the effects of rare earth-chitosan chelate (RECC) on growth performance and meat quality of yellow-feathered broilers under heat stress. Ninety one-day-old yellow-feathered broilers were selected for heat stress test at 29-day-old, and the trial lasted for 2 weeks. The broilers were randomly divided into three groups at 29 day: the control group (feeding temperature about 25 °C + basic diet), the heat stress group (feeding temperature about 37 °C + basic diet) and the rare earth group (feeding temperature about 37 °C + basic diet + 0.03% RECC). After 1 and 2 weeks of heat stress, the ratio of average daily food intake and weight gain of broiler were calculated, and the changes of meat quality were analyzed. The results showed: after 1 week of heat stress, the average daily food intake displayed no significant difference among three groups ( $P>0.05$ ); the average daily gain in the control group was significantly higher than those of the heat stress group ( $P<0.05$ ) and the rare earth group ( $P<0.01$ ), while there was no significant difference between the heat stress group and the rare earth group ( $P>0.05$ ); The leg muscle pH of the

收稿日期: 2018-11-19

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(1708085MC81);安徽省重点研发项目(1704a07020069)

第一作者: 王菊花, 教授, 主要从事动物营养生理学研究, E-mail: wjhxh@163.com

通讯作者: 薛秀恒, 副教授, 主要从事动物食品质量安全研究, E-mail: xuexiuheng@126.com

control group was significantly higher than that of the rare earth group ( $P < 0.05$ ), and the shear force of the leg muscle in the control group was significantly different from the heat stress group and the rare earth group ( $P < 0.01$ ). After 2 weeks of heat stress, the average daily food intake of the control group was significantly higher than those of the heat stress group and the rare earth group ( $P < 0.01$ ), while the average daily food intake showed no significant difference between the heat stress group and the rare earth group ( $P > 0.05$ ); the daily gain in heat stress group was significantly lower than the control group and the rare earth group ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between the control group and the rare earth group ( $P > 0.05$ ); there was no significant difference in the pH and the shear force of leg muscle between different groups ( $P > 0.05$ ); the leg muscle water holding capacity in the heat stress group was significantly lower than the control group and the rare earth group ( $P < 0.01$ ). After 1 and 2 weeks of heat stress, the chest muscle pH and chest muscle water holding capacity of the control group was significantly higher ( $P < 0.05$ ) than those of other two groups ( $P < 0.05$ ); while the shear force was significantly lower than those of other two groups. In conclusion, under the continuous heat stress, RECC could effectively relieve the impacts of heat stress on the daily gain, improve feed utilization rate and alleviate the damage of heat stress on the muscle water holding capacity and therefore maintain meat quality.

**Keywords** yellow feather broiler; rare earth-chitosan chelate; heat stress; growth performance; meat quality

热应激是动物受到超过自身体温调节能力的高温度刺激时产生的非特异性应答反应的总和,常会导致畜禽采食量和日增重减少、胴体质量变化<sup>[1-2]</sup>。目前热应激已经成为养殖业经济损失的重要因素之一<sup>[3]</sup>。肉鸡缺乏汗腺,受到热应激后肌肉抗氧化能力下降,会导致屠宰后糖酵解加快<sup>[4-5]</sup>,肉质品质下降,进而产生灰白、松软和渗出(Pale、soft and exudative, PSE)样肉<sup>[6-7]</sup>,因此缓解肉鸡热应激对生长性能和肉质品质的影响具有重要的现实意义。

稀土壳糖胺螯合盐(Rare earth-chitosan chelate, RECC)是由稀土硝酸盐和壳糖胺经特殊工艺加工而成的一种新型饲料添加剂,有类似抗生素作用<sup>[8]</sup>。对禽类和反刍动物的研究均表明,RECC可提高饲料利用率,促进动物体内生长因子和激素的释放,提高机体内酶的活性和免疫力<sup>[9-10]</sup>;李方方等<sup>[11]</sup>报道,RECC也能改善仔猪的生长和免疫功能;对蛋鸡研究表明 RECC可以促进蛋鸡新陈代谢,提高产蛋率<sup>[12-13]</sup>。但 RECC对热应激肉鸡的影响却鲜有报道,因此本研究拟以黄羽肉鸡为研究对象,在热应激肉鸡的饲料中添加 RECC,测定肉鸡平均日增重、料重比和肉质品质的变化,进而探究 RECC对热应激肉鸡生长性能以及肉质品质的影响,以期在实际饲养中缓解肉鸡热应激提供参考依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

试验用稀土壳糖胺螯合盐由武汉楚兴国盛科技有限公司提供,稀土有效成分为镧和铈,稀土壳糖胺

螯合盐质量分数比 $\geq 45\%$ 。

试验用黄羽肉鸡由合肥立华畜禽有限公司提供,试验在安徽农业大学生物科技楼进行。选用1日龄的黄羽肉鸡(90只),按饲养标准饲养至29日龄开始热应激试验,试验随机分为3组:即对照组(饲养温度约 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ +基础日粮)、热应激组(饲养温度约 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ +基础日粮)以及稀土组(饲养温度约 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ +基础日粮+ $0.03\%$  RECC),每组30只。预饲期为7d,热应激试验期为2周。

### 1.2 基础饲料及饲养管理

试验所用基础饲料参考 NRC(1998)配制,基础饲料组成及营养水平见表1,试验期间各组自由采食和饮水,并于每天同一时间记录温湿度;试验期间按照常规程序进行免疫消毒。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 生长性能测定

热应激试验期开始第1天、第7天和第14天清晨,分别空腹称量肉鸡体重,并记录每组鸡每天给料量、损失料量和剩余料量,计算肉鸡平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)及料重比( $F/G$ )。

#### 1.3.2 屠宰及样品采集

分别在热应激后第7天和第14天,每组随机选取15只鸡进行屠宰,宰前禁食12h,活体空腹称重;颈静脉放血,脱毛去皮后采集屠体左侧胸、腿肌用于检测肌肉持水能力,右侧胸、腿肌用于检测肌肉pH、剪切力和肉色,各组采集部位均相同。

#### 1.3.3 肌肉持水能力测定

分别称取15g胸、腿肌肉于50mL离心管中,

表1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)

项目 Item	生长期 Development stage	
	0~21 d	22~42 d
原料/% Material		
玉米 Corn	62.5	65.5
豆粕 Soybean meal	21.0	18.0
麸皮 Bran	3.0	3.0
鱼粉 Fish meal	3.0	3.0
玉米蛋白 Corn protein powder	5.0	5.0
酵母粉 Yeast powder	2.0	2.0
磷酸氢钙 $\text{CaHPO}_4$	1.2	1.2
石粉 Limestone powder	1.0	1.0
氯化钠 NaCl	0.3	0.3
预混料 <sup>1</sup> Premixture	1.0	1.0
合计 Total	100	100
营养水平 Nutritional level		
粗蛋白质 Crude protein	$\geq 21.0$	$\geq 15.0$
粗纤维 Coarse fiber	$\leq 5.0$	$\leq 7.0$
粗灰分 Coarse ash	$\leq 8.0$	$\leq 8.0$
钙 Calcium	0.60~1.30	0.50~1.30
总磷 Total phosphorus	$\geq 0.60$	$\geq 0.40$
蛋氨酸 Methionine	0.30~0.90	0.25~0.90

注:预混料为每千克饲料提供:维生素 A 8 000 IU,维生素 D<sub>3</sub> 1 228 IU,维生素 E 15 IU,维生素 K<sub>3</sub> 3.0 mg,维生素 B<sub>1</sub> 1.3 mg,维生素 B<sub>2</sub> 3.1 mg,维生素 B<sub>6</sub> 1.2 mg,泛酸钙 13.4 mg,氯化胆碱 500 mg,生物素 0.11 mg,烟酸 25 mg,叶酸 0.68 mg,维生素 B<sub>12</sub> 0.03 mg,铁 120 mg,铜 10 mg,锌 130 mg,锰 100 mg,碘 0.3 mg,硒 0.3 mg。

Note: Per kg premix provides: VA 8 000 IU, VD<sub>3</sub> 1 228 IU, VE 15 IU, VK<sub>3</sub> 3.0 mg, VB<sub>1</sub> 1.3 mg, VB<sub>2</sub> 3.1 mg, VB<sub>6</sub> 1.2 mg, calcium pantothenate 13.4 mg, choline chloride 500 mg, biotin 0.11 mg, niacin 25 mg, folic acid 0.68 mg, VB<sub>12</sub> 0.03 mg, Fe 120 mg, Cu 10 mg, Zn 130 mg, Mn 100 mg, I 0.3 mg and Se 0.3 mg.

记录为 W<sub>1</sub>,加入 22.5 mL 预冷的 0.6 mol/L NaCl 溶液,混合 1 min。将样品在 4 °C 的冰箱中放置 15 min 后,以 6 000 r/min,4 °C 离心 15 min。弃上清液后,在 80 °C 水浴中加热 20 min,沉淀即为蒸煮颗粒,称量并记录为 W<sub>2</sub>。肌肉最终产率/% =

$(W_2/W_1) \times 100$ 。通过最终产率高低判断肌肉持水能力强弱<sup>[14]</sup>。

### 1.3.4 肌肉 pH 测定

将 3 g 胸、腿肌于匀浆器中,加入 10 倍体积的双蒸水,6 000 r/min 匀浆 1 min。用 PHS-3E 型 pH 计测量匀浆液的 pH,每个样本测量 3 次,计算平均值。

### 1.3.5 肌肉剪切力测定

取新鲜无筋腱、脂肪、肌膜的胸、腿肌肉各 1 块(宽 1 cm,厚 0.5 cm),用肌肉嫩度仪(C-LM2 型)测定剪切力,每个样本测定 3 次,取平均值,以牛顿(N)表示。

### 1.3.6 肉色测定

用 Chroma meter CR-400 型色差仪(日本)检测胸肌、腿肌的亮度( $L^*$ )、红度( $a^*$ )和黄度( $b^*$ )。

### 1.3.7 数据统计分析

数据采用 SPSS 21.0 软件的 One-way ANOVA 方法进行均值差异显著性分析,数据均用“平均数 ± 标准误”表示。 $P < 0.01$  为差异极显著, $P < 0.05$  为差异显著,而  $P > 0.05$  为差异不显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同热应激时间 RECC 对肉鸡生长性能的影响

在热应激 1 和 2 周后,RECC 对肉鸡生长性能的影响见表 2。热应激 1 周后,3 组平均日采食量和料重比均无显著性差异( $P > 0.05$ );对照组平均日增重显著高于热应激组( $P < 0.05$ )和稀土组( $P < 0.01$ ),而热应激组和稀土组之间无显著性差异( $P > 0.05$ )。热应激 2 周后,对照组肉鸡平均日采食量显著高于热应激组( $P < 0.05$ )和稀土组( $P < 0.01$ ),而热应激组和稀土组无显著性差异( $P > 0.05$ );而热应激组平均日增重显著低于对照组、稀土组( $P < 0.05$ ),对照组与稀土组之间无显著性差异( $P > 0.05$ );与热应激组相比,添加稀土壳糖胺螯合盐后降低了料重比。

### 2.2 不同热应激时间 RECC 对肉鸡肌肉持水能力的影响

RECC 对肉鸡肌肉持水能力的影响通过胸肌和腿肌的最终产率来表示。如图 1(a)所示,热应激 1 和 2 周后,对照组胸肌最终产率显著均高于热应激组和稀土组( $P < 0.01$ ),而热应激组和稀土组无显著性差异( $P > 0.05$ )。如图 1(b)所示,热应激 1 周

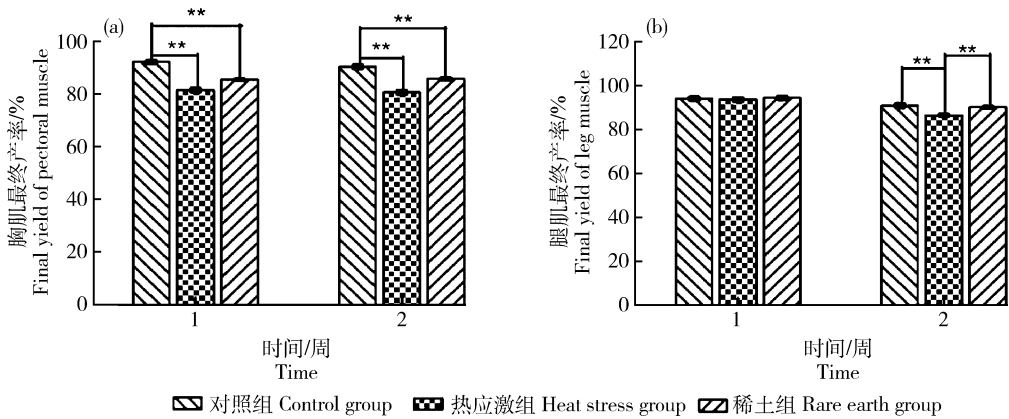
表 2 不同热应激时间稀土壳糖胺螯合盐对肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of RECC on growth performance of broilers under different heat stress times

项目 Item	热应激时间/周 Heat stress time	对照组 Control group	热应激组 Heat stress group	稀土组 Rare earth group
初始体重/g Initial weight	0	727.44±92.38	738.53±91.98	741.11±113.90
平均日采食量/g ADFI	1	94.29±58.15	85.81±42.31	88.37±57.86
平均日增重/g ADG	2	125.52±40.24 Aa	104.60±17.06 b	123.19±38.41B b
料重比 F/G	1	39.45±1.60 Aa	33.39±1.97 b	32.61±1.24B b
	2	46.66±2.93 a	37.90±1.90 b	45.29±2.43 a
	1	2.39	2.57	2.71
	2	2.69	2.76	2.72

注：同行数据不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )，不同大写字母之间表示差异极显著( $P < 0.01$ )，表 3 同。料重比为肉鸡日平均采食量与日平均增重之质量比。

Note: Values with different small letters within same row mean significant differences ( $P < 0.05$ ), while with different capital letters mean an extremely significant differences ( $P < 0.01$ ). The same as in Table 3. F/G, the ratio of average daily food intake and weight gain.



\* 表示差异显著( $P < 0.05$ )；\*\* 表示差异极显著( $P < 0.01$ )。下图同。  
\*  $P < 0.05$  and \*\*  $P < 0.01$ . The same below.

图 1 不同热应激时间 RECC 对胸肌和腿肌持水力的影响

Fig. 1 Effect of RECC on water holding capacity of pectoral and leg muscles under different heat stress times

后，各组腿肌最终产率均无显著差异( $P > 0.05$ )；而热应激 2 周后，热应激组腿肌最终产率显著低于对照组和热应激组( $P < 0.01$ )。

### 2.3 不同热应激时间 RECC 对肉鸡肌肉 pH 的影响

在不同的热应激时间后，RECC 对肉鸡肌肉 pH 的影响如图 2 所示。热应激 1 周后，对照组胸肌 pH 显著高于热应激组和稀土组( $P < 0.01$ )，而热应激组与稀土组之间未见显著性差异( $P > 0.05$ )；热应激 2 周后，对照组胸肌 pH 与热应激组和稀土组相比差异均显著( $P < 0.05$ ) (图 2(a))。如图 2(b) 所示，热应激 1 周后，稀土组腿肌 pH 显著低于对照

组( $P < 0.05$ )；而在热应激 2 周后，各组间腿肌 pH 均无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 2.4 不同热应激时间 RECC 对肉鸡肌肉剪切力的影响

在不同的热应激时间后，RECC 对肉鸡胸肌剪切力的影响如图 3(a) 所示，热应激 1 和 2 周后，对照组胸肌剪切力均显著低于热应激组和稀土组( $P < 0.01$ )。RECC 对肉鸡腿肌剪切力的影响如图 3(b) 所示，热应激 1 周后，对照组腿肌剪切力显著低于热应激组和稀土组( $P < 0.01$ )；而热应激 2 周后，腿肌剪切力各组间均无显著差异( $P > 0.05$ )。

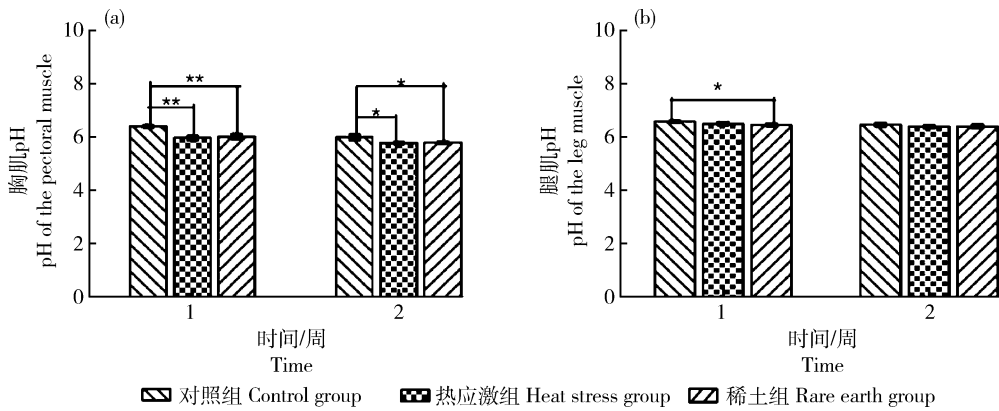


图2 不同热应激时间 RECC 对胸肌和腿肌 pH 的影响

Fig. 2 Effect of RECC on pH of pectoral and leg muscle under different heat stress times

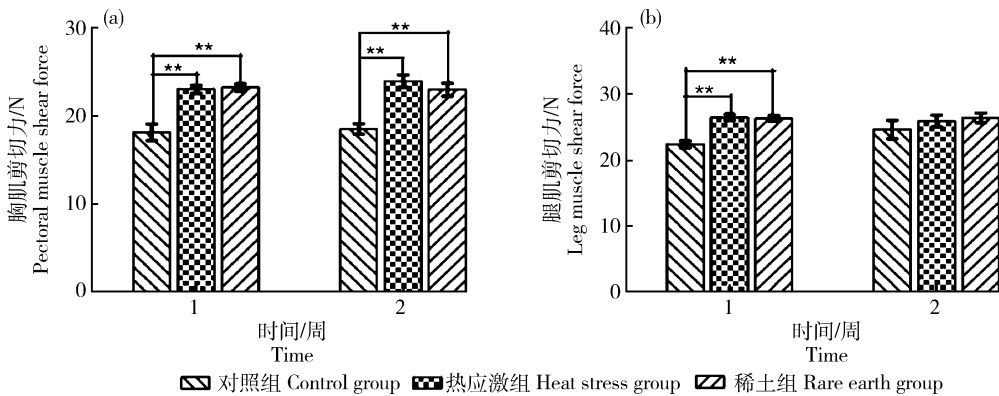


图3 不同热应激时间 RECC 对胸肌和腿肌剪切力的影响

Fig. 3 Effect of RECC on shearing force of pectoral and leg muscles under different heat stress times

## 2.5 不同热应激时间 RECC 对肉鸡胸肌和腿肌肉色的影响

不同热应激时间 RECC 对肉鸡胸肌和腿肌肉

色的影响如表 3 所示,热应激 1 周后,各组胸肌  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  之间均无显著性差异 ( $P > 0.05$ );除热应激组和稀土组的腿肌  $b^*$  显著低于对照组外 ( $P < 0.05$ ),

表 3 不同热应激时间 RECC 对热应激肉鸡胸肌和腿肌肉色影响

Table 3 Effect of RECC on the color of pectorale and leg muscles under different heat stress times

肉色 Meat color	时间/ 周 Time	胸肌 Pectorale muscle			腿肌 Leg muscle		
		对照组 Control group	热应激组 Heat stress group	稀土组 Rare earth group	对照组 Control group	热应激组 Heat stress group	稀土组 Rare earth group
亮度 $L^*$	1	40.33±0.41	40.42±0.42	40.43±0.67	45.92±0.70	48.24±1.54	46.83±0.86
	2	44.48±0.98	42.48±0.98	42.58±0.61	47.58±0.67	47.27±0.64	47.05±0.47
红度 $a^*$	1	15.95±1.35	15.58±0.72	15.38±0.60	18.38±0.61	16.98±1.30	18.03±0.81
	2	13.79±1.23	14.01±0.35	14.50±0.43	17.99±0.66	17.84±0.15	18.32±0.69
黄度 $b^*$	1	23.99±1.01	23.36±1.40	23.20±0.84	29.47±0.94 a	26.7±1.17 b	25.88±0.43 b
	2	24.21±1.44	24.50±0.66	24.68±1.33	27.18±0.35	27.74±1.45	28.69±1.36

各组  $L^*$  和  $a^*$  之间均无显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 热应激 2 周后, 各组胸肌和腿肌  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  之间均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 RECC 对热应激肉鸡生长性能的影响

稀土壳糖胺螯合盐 (RECC) 是以壳糖胺作为稀释放载体包裹稀土, 经过特殊的电化学工艺加工而成的一种新型饲料添加剂, 其同时具有稀土和壳糖胺的化学性质与生理功能<sup>[15]</sup>。对于稀土的研究表明, 稀土可以显著提高动物的生产性能<sup>[16]</sup>。其中镧和铈这 2 个元素在稀土中占据了大部分比例, 镧系元素具有取代  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  等金属离子的作用, 而  $\text{Ca}^{2+}$  在细胞代谢中起着重要的作用。稀土离子与  $\text{Ca}^{2+}$  性质和结构相似, 进入机体后可与  $\text{Ca}^{2+}$  的结合位点结合, 促进一些蛋白质和酶的活性提高<sup>[11]</sup>, 增强了机体的免疫力和新陈代谢, 进而起到缓解热应激的效果, 同时稀土可以改变细菌膜的表面结构使其发生絮凝。Ping 等<sup>[17]</sup> 研究表明, 一定剂量的铈离子可以抑制细菌的生长, 促进仔猪生长。饲喂适量 RECC 可以对动物的生长性能、营养物质代谢、免疫系统等产生类似于抗生素的生理作用<sup>[8]</sup>。目前研究表明, RECC 可以显著提高猪的采食量和日增重, 降低料重比<sup>[18]</sup>; 在鱼类的研究中也证实, RECC 可以提高鱼的增重率和蛋白质效率, 降低饲料系数<sup>[19]</sup>; RECC 也可以提高反刍动物血液中的有机成分<sup>[20]</sup>; 而 RECC 在禽类的研究主要集中于蛋鸡, 王长青等<sup>[21]</sup> 的研究表明, RECC 可以提高蛋鸡产蛋后期的产蛋率, 料蛋比降低。热应激使家禽的生理机能发生改变甚至造成紊乱, 主要表现为日增重下降、生长缓慢、抵抗力下降<sup>[22]</sup>。Sohail 等<sup>[23]</sup> 研究表明, 慢性热应激使 42 d 肉鸡体重显著降低, 料重比显著提高, Deng 等<sup>[24]</sup> 的研究表明, 采食量下降很有可能是热应激影响生长性能, 导致体重、饲料利用率、产蛋率和蛋品质下降的根源。本研究结果显示, 与对照组相比, 随着热应激的持续, 热应激组日增重和采食量显著降低, 料重比升高, 而稀土组虽然采食量显著降低, 但日增重并没有显著差异, 且料重比显著低于热应激组。表明 RECC 在饲喂肉鸡时, 可以提高热应激肉鸡的生长性能, 提高饲料利用率。

#### 3.2 RECC 对热应激肉鸡肉品质的影响

热应激可以使动物机体产生氧化损伤, 体内自

由基增多, 抗氧化能力下降<sup>[25]</sup>。RECC 中的壳糖胺对肝脏组织的脂质过氧化有一定影响, 可以清除机体内的部分自由基, 通过调节超氧化物歧化酶的活性来降低机体的脂质过氧化水平<sup>[26]</sup>。热应激可增加肾上腺酮、皮质醇的释放量, 加速体内糖原酵解速率<sup>[27]</sup>, 产生大量乳酸, 而使肌肉 pH 迅速降低。本研究结果显示, 随着热应激持续, 热应激组胸肌持水能力进一步降低, 稀土组的胸肌持水能力稳定, 表明 RECC 具有维持胸肌持水能力的作用; 热应激 1 周对腿肌持水能力无影响; 热应激 2 周后, 热应激组蒸煮损失显著增加, 表明 RECC 也可以维持腿肌持水能力。热应激可以显著增加肌肉的剪切力, 导致屠宰过后肉质嫩度的受损, 影响肉质品质, RECC 对热应激导致的剪切力增加并无改善作用。

热应激显著降低了肌肉的 pH, 而添加 RECC 可以使肌肉 pH 恢复到对照组水平, 有效改善肌肉肉质。同时, RECC 可显著改善热应激对肌肉持水力的负面影响, 由于 RECC 在热应激方面的研究很少, 推测这可能与 RECC 能够促进动物体内生长因子和激素的释放, 提高机体内的酶活性和动物免疫力有关。

### 4 结论

1) 饲料中添加 RECC 可以有效提高日增重和饲料利用率, 减轻热应激的经济损失。

2) RECC 可以减轻热应激对肌肉持水力的损害, 改善肉质品质。

### 参考文献 References

- [1] Zuo J J, Xu M, Abdullahi Y A, Ma L M, Zhang Z Y, Feng D Y. Constant heat stress reduces skeletal muscle protein deposition in broilers [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95(2): 429-436
- [2] Cedraz de Oliveira H, Pinto Garcia A A, Gonzaga Gromboni J G, Vasconcelos Farias Filho R, Souza do Nascimento C, Arias Wenceslau A. Influence of heat stress, sex and genetic groups on reference genes stability in muscle tissue of chicken [J]. *PLoS One*, 2017, 12(5): e0176402
- [3] Habashy W S, Milfort M C, Adomako K, Attia Y A, Rekaya R, Aggrey S E. Effect of heat stress on amino acid digestibility and transporters in meat-type chickens [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(7): 2312-2319
- [4] Habashy W S, Milfort M C, Fuller A L, Attia Y A, Rekaya R,

- Aggrey S E. Effect of heat stress on protein utilization and nutrient transporters in meat-type chickens[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2017, 61(12): 2111-2118
- [5] Jastrebski S F, Lamont S J, Schmidt C J. Chicken hepatic response to chronic heat stress using integrated transcriptome and metabolome analysis[J]. *PLoS One*, 2017, 12(7): e0181900
- [6] 戴四发. 谷氨酰胺和氨基丁酸对肉鸡抗热应激和肉品质的影响及机理探讨[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
- Dai S F. Effects of glutamine and amino butyric acid on heat stress resistance and meat quality in broilers[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [7] Rimoldi S, Lasagna E, Sarti F M, Marelli S P, Cozzi M C, Bernardini G, Terova G. Expression profile of six stress-related genes and productive performances of fast and slow growing broiler strains reared under heat stress conditions[J]. *Meta Gene*, 2015, 6: 17-25
- [8] Han Y K, Thacker P A. Effects of antibiotics, zinc oxide or a rare earth mineral-yeast product on performance, nutrient digestibility and serum parameters in weanling pigs[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2010, 23(8): 1057-1065
- [9] Agbade J O, Arimah A A, Adu O A, Olaleye M T, Aletor V A. Growth-enhancing, health impact and bacteria suppressive property of lanthanum supplementation in broiler chicken[J]. *Archiva Zootechnica*, 2011, 14(2): 44-56
- [10] Schwabe A, Meyer U, Flachowsky G, Dänicke S. Effect of graded levels of rare earth elements in diets of fattening bulls on growing and slaughtering performance, and on nutrient digestibility of wethers[J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2011, 65(1): 55-73
- [11] 李方方, 周晶, 朱宇旌, 张鑫, 高原, 孟玲, 郭福来, 张勇. 稀土壳糖胺螯合盐对断奶仔猪生长性能、血清生化指标、营养物质消化率及粪中微生物菌群的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(2): 498-506
- Li F F, Zhou J, Zhu Y J, Zhang X, Gao Y, Meng L, Guo F L, Zhang Y. Effects of rare earth-chitosan chelate on growth performance, serum biochemical indices, nutrient digestibility and fecal microbial flora of weaned piglets[J]. *Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(2): 498-506 (in Chinese)
- [12] 万辉, 赵胜军, 任莹, 齐德生, 姜旭明, 齐智利. 稀土壳糖胺螯合盐对蛋鸡代谢率和肠道消化酶活性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2008, 23(6): 177-180
- Wan H, Zhao S J, Ren Y, Qi D S, Jiang X M, Qi Z L. Effects of rare earth-chitosan chelate on nutrient utilization and digestive enzyme activity in small intestine for laying hens[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2008, 23(6): 177-180 (in Chinese)
- [13] 肖凯, 赵胜军, 郑中朝, 万辉. 添加稀土壳糖胺螯合盐条件下不同蛋白质水平对蛋鸡生产性能的影响[J]. *中国饲料*, 2007(4): 25-26, 29
- Xiao K, Zhao S J, Zheng Z C, Wan H. Effects of different levels of protein on growth performance in layers under the supplement of rare earth chitosan chelation[J]. *Chinese Feed*, 2007(4): 25-26, 29 (in Chinese)
- [14] Kim H W, Kim J H, Yan F, Cheng H W, Brad Kim Y H. Effects of heat stress and probiotic supplementation on protein functionality and oxidative stability of ground chicken leg meat during display storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(15): 5343-5351
- [15] 户如霞, 程建波, 卜登攀, 李发第. 稀土壳糖胺螯合盐生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(8): 1703-1707
- Hu R X, Cheng J B, Bu D P, Li F D. Rare earth-chitosan chelate: Functions and applications in animal production[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(8): 1703-1707 (in Chinese)
- [16] 张苏琼, 张安全, 闫洁辰. 稀土对猪鸡生产性能影响的研究[J]. *中国农业科技导报*, 2006, 8(1): 35-39
- Zhang S Q, Zhang A Q, Yan J C. Study on the performance enhancing effect of rare earth elements on fattening pigs, broilers and laying hens[J]. *Review of China Journal of Agricultural Science and Technology*, 2006, 8(1): 35-39 (in Chinese)
- [17] Ping S, Zhao R M, Yi L, Xie Z X, Shen P, Qu S S. Microcalorimetric study of the action of Ce(III) ions on the growth of *E coli* [J]. *Biological Trace Element Research*, 2002, 86(2): 167-175
- [18] 许甲平, 鲍宏云, 邓志刚, 吴亚斌, 冯一凡. 稀土元素氨基酸螯合物对保育期仔猪生产性能的影响[J]. *饲料工业*, 2012, 33(8): 60-62
- Xu J P, Bao H Y, Deng Z G, Wu Y B, Feng Y F. Effects of rare earth element amino acid chelate on performance of piglets during childcare period[J]. *Feed Industry*, 2012, 33(8): 60-62 (in Chinese)
- [19] 宋理平, 张家国, 王爱英, 马如芳, 张延华, 潘晓玲. 饲料中添加稀土壳聚糖对丰产鲫幼鱼生长性能的影响[J]. *饲料工业*, 2007, 28(14): 26-27
- Song L P, Zhang J G, Wang A Y, Ma R F, Zhang Y H, Pan X L. Effects of adding rare earth chitosan in feed on the growth performance of juveniles of high yielding juveniles[J]. *Feed*

- Industry, 2007, 28(14): 26-27 (in Chinese)
- [20] 康晓东, 王川, 马青, 马小明, 黄世诚, 王天新. 稀土添加剂饲喂滩羊的试验[J]. 饲料研究, 2011(2): 63-64, 67  
Kang X D, Wang C, Ma Q, Ma X M, Huang S C, Wang T X. Experiment on feeding Tan sheep with rare earth additives[J]. *Feed Research*, 2011(2): 63-64, 67 (in Chinese)
- [21] 王长青, 王洪民, 蒋维银, 王立钧, 王晓翔. SQA 活力素对蛋鸡生产性能的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2005, 32(4): 19  
Wang C Q, Wang H M, Jiang W Y, Wang L J, Wang X X. Effect of SQA vigor on production performance of laying hens [J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2005, 32(4): 19 (in Chinese)
- [22] 刘梅. 急性热应激对肉仔鸡生长性能及脂肪代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(5): 862-868  
Liu M. Effects of acute heat stress on growth performance and lipid metabolism of broilers [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2011, 23(5): 862-868 (in Chinese)
- [23] Sohail M U, Hume M E, Byrd J A, Nisbet D J, Ijaz A, Sohail A, Shabbir M Z, Rehman H. Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress [J]. *Poultry Science*, 2012, 91(9): 2235-2240
- [24] Deng W, Dong X F, Tong J M, Zhang Q. The probiotic *Bacillus licheniformis* ameliorates heat stress-induced impairment of egg production, gut morphology, and intestinal mucosal immunity in laying hens [J]. *Poultry Science*, 2012, 91(3): 575-582
- [25] Belhadj Slimen I, Najar T, Ghram A, Abdrrabba M. Heat stress effects on livestock: Molecular, cellular and metabolic aspects, a review [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2016, 100(3): 401-412
- [26] 李晓丽, 李方方, 朱宇旌, 张勇. 壳糖胺微量元素螯合盐的生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. 饲料工业, 2015, 36(S2): 17-19  
Li X L, Li F F, Zhu Y J, Zhang Y. Functions of chitosan-metal complexes and its applications in animal production [J]. *Feed Industry*, 2015, 36(S2): 17-19 (in Chinese)
- [27] Sandercock D A, Hunter R R, Nute G R, Mitchell M A, Hocking P M. Acute heat stress-induced alterations in blood acid-base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: Implications for meat quality [J]. *Poultry Science*, 2001, 80(4): 418-425

责任编辑: 杨爱东