

## 羟基蛋氨酸螯合铜/锰/锌对产蛋鸡蛋壳品质、酶活及微量元素沉积的影响

孙秋娟 芮于明\* 张天国 温金磊

(中国农业大学 动物科学技术学院/动物营养国家重点实验室,北京 100193)

**摘要** 为研究日粮中有机(羟基蛋氨酸螯合)铜、锰和锌等量替代其硫酸盐对产蛋高峰期蛋鸡的影响,试验选用108只37周龄海兰褐商品蛋鸡,分为2个处理。对照组在基础日粮的基础上添加10、30和30 mg/kg硫酸盐形式的Cu、Mn和Zn,处理组采用蛋氨酸羟基类似物螯合Cu、Mn和Zn等量替代其硫酸盐形式。试验各处理的蛋氨酸当量相同,试验前蛋鸡饲喂2周基础日粮,以降低其微量元素体储备。结果表明,微量元素来源对蛋壳强度及厚度未产生影响( $P>0.05$ )。有机微量元素的添加显著提高43周龄肝脏CA( $P=0.0521$ )、CP活性( $P<0.0001$ ),但48周龄差异不显著( $P>0.05$ );提高43、48周龄肝脏、胰脏、脾脏,48、53周龄蛋黄中铜沉积( $P<0.05$ );提高43周龄肝脏、蛋黄中锌含量,但降低脾脏、胫骨中锌沉积( $P<0.05$ );显著提高48周龄脾脏锰沉积( $P<0.01$ )。结果显示,羟基蛋氨酸螯合铜锰锌等量替代其硫酸盐形式能够更快的提高肝脏碳酸酐酶、铜蓝蛋白活性;提高肝脏、胰脏、脾脏、蛋黄中铜沉积;提高脾脏锰沉积;提高肝脏、蛋黄中锌含量,但降低脾脏、胫骨中锌沉积。

**关键词** 鸡; 微量元素; 羟基蛋氨酸; 螯合物; 蛋壳品质; 酶活

中图分类号 S 816.72;S 831

文章编号 1007-4333(2011)04-0127-07

文献标志码 A

## Effects of 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid chelated Cu/Mn/Zn on eggshell quality, enzyme activity and trace mineral retention in laying hens

SUN Qiu-juan, GUO Yu-ming\*, ZHANG Tian-guo, WEN Jin-lei

(State Key Lab of Animal Nutrition, College of Animal Science & Technology,

China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** In order to compare the effects of mineral 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid (HMBA) chelates (Cu, Mn, Zn) versus sulfates on laying hens, one hundred and eight 37-wk-old laying hens (Hyline Brown) were assigned to two treatments, where basal diet in the control group (CON) supplemented with a combination of inorganic minerals (sulfate source, i. e. , Cu 10 mg/kg, Zn 30 mg/kg and Mn 30 mg/kg of diet) and the treatment diets (OTM) supplemented with a combination of organic minerals to replace their inorganic forms in CON group, i. e. , 10 mg/kg organic Cu (Novus Intl. , USA), 20 mg/kg organic Zn, and 20 mg/kg organic Mn. All diets were iso-methionine. Basal diet was fed for 2 week of a pre-experiment period. Results showed that supplementation with HMBA chelated minerals did not affect eggshell quality ( $P>0.05$ ). Supplementation of organic minerals significantly increased CA ( $P=0.0521$ ) and CP ( $P<0.0001$ ) activities in liver at 43 week of age. However, differences disappeared at 48 week of age ( $P>0.05$ ). Supplementation of organic minerals significantly increased Cu concentration in liver, pancreas, spleen at 43 and 48 week of age, and yolk at 48 and 53 week of age ( $P<0.05$ ). Zn concentration were increased in liver and yolk, but decreased in spleen and tibia when fed with organic minerals ( $P<0.05$ ). Mn concentration in spleen ( $P<0.01$ ) was also observed to be increased at 48 week of age. In conclusion, supplementation of mineral HMBA chelates could increase enzyme activities in liver, increase Mn and Cu retention, increased Zn retention in liver and yolk and decreased Zn in spleen and tibia.

收稿日期: 2011-01-08

基金项目: 农业公益性行业科研专项(nyhyzh07-039)

第一作者: 孙秋娟, 博士研究生, E-mail: qiujuan2004@126.com

通讯作者: 芮于明, 教授, 主要从事动物营养与饲料研究, E-mail: guoym9899@yahoo.com.cn

**Key words** hen; 2-hydroxy-4- (methylthio) -butanoic acid chelated Cu/Mn/Zn; eggshell quality; enzyme activity; mineral retention

铜、锰和锌为动物生长所必需的微量元素,是动物体内多种酶的组成成分,对体组织发育、免疫和抗氧化等功能都具有重要作用。无机微量元素,由于价格低廉,在动物生产中被广泛应用。但无机盐在肠道中易与日粮中其他成分(植酸等)形成复合物,且肠道内各离子间存在拮抗作用,可导致其利用率降低;与无机来源相比,有机微量元素能够减少肠道内的螯合作用,减少金属离子互作,增强低 pH 下微量元素的稳定性,利用更多吸收途径等<sup>[1]</sup>。有机微量元素的发展经历了有机酸盐、氨基酸络合物、氨基酸螯合物和蛋白盐等。肉鸡日粮中添加肽螯合铜锌锰铁,可提高体重、饲料转化效率和胫骨灰分,但当单独饲喂有机微量元素时,较无机微量元素差异不显著<sup>[2]</sup>。有机锌与无机锌相比,可提高肉鸡胫骨锌沉积及肠粘膜铜锌沉积<sup>[3]</sup>及机体免疫力<sup>[2,4]</sup>。产蛋鸡的试验中,氨基酸络合微量元素逐步代替基础日粮中的无机微量元素(日粮锌锰水平分别为 30 和 50 mg/kg),对生产性能、胫骨结构、灰分及蛋壳质量等无影响,但能够减轻蛋鸡日龄对蛋壳强度的不利影响<sup>[5]</sup>。氨基酸络合铜锰锌较其无机来源对蛋壳质量(蛋壳比例、蛋壳重和蛋壳硬度)、蛋壳和蛋黄中铜锰锌的沉积没有影响<sup>[6]</sup>。

本试验采用新的有机微量元素来源,即羟基蛋氨酸螯合铜、锰、锌为研究对象,研究其在产蛋鸡生

产中的应用效果。该有机微量元素为 2 个蛋氨酸羟基类似物(2-羟基 4-甲基巯基丁酸)为配体与 1 个金属离子形成的微量元素螯合物。Yi 等试验表明此有机微量元素中的配体具有蛋氨酸活性<sup>[7]</sup>。本试验研究剔除羟基蛋氨酸螯合微量元素配体的影响后,该来源有机微量元素等量部分代替生产中最常用的硫酸盐形式,对产蛋高峰期产蛋鸡的生产性能、蛋壳品质、酶活及组织微量元素沉积的影响,旨在为实际生产中有有机微量元素的应用提供指导。

## 1 材料及方法

### 1.1 试验设计

试验选用 108 只 37 周龄、体重相近的海兰褐蛋鸡(饲养于中国农业大学动物科学学院动物营养试验基地),随机分为 2 个处理,每处理 6 个重复,每重复 3 笼,每笼 3 只鸡。基础日粮参考 NRC(1994)标准配置<sup>[8]</sup>。各处理在基础日粮的基础上添加不同来源的 Cu、Mn 和 Zn,日粮处理见表 1。采用基础日粮加硫酸盐形式的 Cu、Mn 和 Zn 为对照组,处理组采用羟基蛋氨酸螯合 Cu、Mn 和 Zn(Mintrex Cu、Mn 和 Zn,Novus Intl.,美国)全部或部分替代硫酸盐。试验实测基础日粮中的微量元素含量(表 2),并考虑 Mintrex 中蛋氨酸活性,消除氨基酸配体对试验结果的影响。

表 1 各处理日粮 Cu、Mn、Zn 来源及质量分数

Table 1 Dietary sources and levels of Cu, Mn and Zn mg/kg

处理	Cu		Zn		Mn	
	CuSO <sub>4</sub>	Mintrex Cu	ZnSO <sub>4</sub>	Mintrex Zn	MnSO <sub>4</sub>	Mintrex Mn
对照组	10		30		30	
有机处理组		10	10	20	10	20

表 2 全价料配方<sup>①</sup>

Table 2 Composition and nutrient levels of basal diet w/%

指标	对照组	有机处理组	指标	对照组	有机处理组
玉米	606	606	石粉	90.10	90.37
豆粕	240.8	240.8	食盐	3.5	3.5
玉米蛋白粉	30	30	蛋氨酸 <sup>②</sup>	0.80	0.53
豆油	13.5	13.5	维生素	0.2	0.2
磷酸氢钙	10.8	10.8	50%氯化胆碱	0.8	0.8

续表

指标	对照组	有机处理组	指标	对照组	有机处理组
4%黄霉素	0.15	0.15	微量 B <sub>1</sub> <sup>④</sup>	1	—
抗氧化剂	0.35	0.35	微量 B <sub>2</sub> <sup>④</sup>	—	1
微量 A <sup>③</sup>	2	2	合计	1 000	1 000

注:①营养水平为:代谢能 11.51 MJ/kg;粗蛋白 16.8%;Ca 3.5%;有效磷 0.3%;蛋氨酸 0.36%;赖氨酸 0.78%。基础日粮微量元素的实测值:Cu 6.5 mg/kg;Mn 17 mg/kg;Zn 20 mg/kg。② Mintrex Cu、Zn 和 Mn 含蛋氨酸羟基类似物(MHA)中蛋氨酸质量分数分别为 78%、80%和 76%。③为单独配制的含 Cu、Zn 和 Mn 的微量元素预混料,Fe 60 mg/kg、I 0.35 mg/kg 和 Se 0.3 mg/kg。④按照各处理 Cu、Zn 和 Mn 的添加形式添加的微量预混料。

## 1.2 饲养管理

试验前预饲 2 周,预饲期饲喂基础日粮,使得机体微量元素储备达到较低的水平。正式试验期为 14 周,自由饮水、自由采食。采用双层半阶梯式笼养,温度、湿度和光照等采用常规指标。

## 1.3 样品的采集与保存

43、48 和 52 周龄时采集鸡蛋以备蛋壳品质检测,并保存蛋黄,每处理 8 个重复以备蛋黄中铜锰锌含量的测定。

43 和 48 周龄,每重复随机选择 1 只鸡屠宰,取肝脏、胰脏、脾脏和胫骨,肝脏液氮冷冻,−80 °C 保存,其他样品 −30 °C 保存。并采集血液,分离血清,−30 °C 保存。

## 1.4 测定指标和方法

### 1.4.1 蛋品质

43、48 和 52 周龄时,每处理采集 30 枚蛋(每重复 5 枚),测定蛋壳强度、蛋壳厚度。

### 1.4.2 微量沉积

测定 43、48 和 52 周龄时所取样品微量元素含量。肝脏、脾脏、胰脏及蛋黄样品采用湿法消化<sup>[9]</sup>,

胫骨、趾骨干法消化,前处理参照 Angel 的方法<sup>[10]</sup>,血清则采用三氯乙酸消化<sup>[11]</sup>,用原子吸收分光光度法测定以上各组织及血清中的铜锰锌含量。

### 1.4.3 酶活性

测定 43 和 48 周龄所取肝脏中酶的活性,包括铜锌超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)、铜蓝蛋白(CP)、碳酸酐酶(CA)、碱性磷酸酶(AKP)、过氧化氢酶(CAT)和锰超氧化物歧化酶(Mn-SOD)。AKP 采用南京建成生物工程研究所试剂盒,其他酶活性均参考文献<sup>[12-15]</sup>中的方法进行测定。

## 1.5 数据分析

数据用“平均值±标准误”表示。数据处理与分析都使用 SAS 8.0 统计软件 T-test 进行显著性检验, $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 微量元素来源对蛋壳品质的影响

第 43、48 和 52 周龄测定蛋壳强度及蛋壳厚度结果见表 3。有机处理组对蛋壳强度及蛋壳厚度的影响不显著。

表 3 微量元素来源对蛋壳品质的影响

Table 3 Effects of different sources of minerals on egg shell quality

周龄	指标	对照组	有机处理组	P
43	蛋壳厚度/ $\mu\text{m}$	335.20±15.9	334.80±23.0	0.936 5
	蛋壳强度/( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	3.00±0.47	2.91±0.72	0.562 7
48	蛋壳厚度/ $\mu\text{m}$	334.40±24.0	337.20±20.0	0.635 3
	蛋壳强度/( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	3.21±0.51	3.32±0.70	0.506 6
52	蛋壳厚度/ $\mu\text{m}$	367.10±16.5	357.90±24.6	0.239 5
	蛋壳强度/( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	3.31±0.53	3.19±0.53	0.579 9

## 2.2 微量元素来源对肝脏酶活性的影响

43 周龄有机处理组肝脏 CA、CP 活性显著高于无机对照组 ( $P=0.0521$ ,  $P<0.0001$ ), 48 周龄差

异不显著(表 4)。CAT 活性在 43 及 48 周龄时无显著差异。48 周龄肝脏 AKP、CuZn-SOD 和 Mn-SOD 活性在各处理组间无显著性差异。

表 4 微量元素来源对肝脏酶活性的影响

Table 4 Effects of different sources of minerals on enzyme activities in liver

周 龄	酶活性	对照组	有机处理组	<i>P</i>
43	CA/(U/mg)	0.48±0.09	0.60±0.08	0.0521
	CP/(U/g)	16.97±0.78	30.64±1.67	<0.0001
	CAT/(U/mg)	101.90±29.3	107.60±19.2	0.6982
48	CA/(U/mg)	0.70±0.10	0.80±0.12	0.1832
	CP/(U/g)	22.88±2.07	27.93±2.19	0.1332
	CAT/(U/mg)	116.70±28.32	91.01±12.12	0.0933
	AKP/(U/g)	31.10±6.2	36.90±9.5	0.2378
	CuZn-SOD/(U/mg)	175.30±21.0	190.00±23.6	0.3540
	Mn-SOD/(U/mg)	48.00±6.6	62.50±14.9	0.0900

## 2.3 微量元素来源对沉积的影响

组织铜锰锌沉积量见表 5~7。有机微量元素的添加显著提高 43 周龄肝脏 ( $P=0.0557$ )、胰脏

( $P<0.05$ ) 和脾脏 ( $P<0.05$ ), 48 周龄肝脏 ( $P<0.05$ )、胰脏 ( $P<0.05$ )、脾脏 ( $P<0.05$ ) 和蛋黄 ( $P<0.05$ ), 53 周龄蛋黄 ( $P<0.05$ ) 铜沉积; 显著提

表 5 微量元素来源对铜沉积的影响

Table 5 Effects of different sources of minerals on tissue copper retention

周 龄	项 目	$w(\text{Cu})/(\text{mg}/\text{kg})$		<i>P</i>
		对照组	有机处理组	
39	血清	0.51		
43	血清	0.52±0.04	0.51±0.05	0.7477
	肝脏	2.83±0.61	6.94±2.74	0.0557
	胰脏	1.51±0.17	1.98±0.41	0.0282
	趾骨	49.80±7.20	51.30±9.80	0.7785
	脾脏	3.44±1.11	10.21±4.03	0.0394
	胫骨	4.42±1.02	4.88±0.48	0.3505
	蛋黄	1.89±0.16	2.04±0.15	0.1729
48	血清	0.54±0.02	0.56±0.04	0.4067
	肝脏	8.27±2.11	13.50±3.07	0.0139
	胰脏	2.14±0.41	2.85±0.51	0.0308
	趾骨	65.90±19.4	60.59±14.94	0.6285
	脾脏	3.83±1.64	8.00±3.90	0.0365
	胫骨	4.36±0.67	4.89±0.79	0.2599
	蛋黄	2.46±0.47	3.23±0.77	0.0538
53	蛋黄	3.41±0.65	6.22±1.37	0.0027

表6 微量元素来源对锌沉积的影响

Table 6 Effects of different sources of minerals on tissue zinc retention

周 龄	项 目	$w(\text{Zn})/(\text{mg}/\text{kg})$		<i>P</i>
		对照组	有机处理组	
39	血清	4.35		
43	血清	5.18±0.92	4.82±0.65	0.476 6
	肝脏	26.46±1.76	33.70±3.56	0.002 5
	胰脏	24.02±2.38	24.61±2.61	0.690 5
	趾骨	300.00±9.80	296.30±12.70	0.644 3
	脾脏	66.69±9.28	51.35±3.74	0.005 8
	胫骨	179.90±13.30	157.70±17.50	0.045 2
	蛋黄	37.90±2.06	43.58±1.51	0.000 2
48	血清	5.04±0.94	5.67±0.63	0.212 3
	肝脏	26.95±1.63	27.84±2.53	0.499 7
	胰脏	21.67±2.12	21.25±2.47	0.795 3
	趾骨	287.80±12.90	287.10±26.90	0.958 5
	脾脏	47.59±3.63	50.74±7.34	0.366 8
	胫骨	156.90±11.70	165.80±14.60	0.291 3
	蛋黄	40.30±2.49	40.16±1.41	0.902 3
53	蛋黄	41.89±3.29	42.30±3.34	0.834 6

表7 微量元素来源对锰沉积的影响

Table 7 Effects of different sources of minerals on tissue manganese retention

周 龄	项 目	$w(\text{Mn})/(\text{mg}/\text{kg})$		<i>P</i>
		对照组	有机处理组	
39	血清	0.30		
43	血清	0.29±0.01	0.28±0.01	0.479 4
	肝脏	1.41±0.23	1.81±0.52	0.168 4
	胰脏	1.47±0.22	1.74±0.31	0.147 9
	趾骨	10.70±1.40	10.40±1.30	0.718 1
	脾脏	0.89±0.27	1.31±0.81	0.310 4
	胫骨	5.45±1.05	5.34±0.92	0.861 8
	蛋黄	0.84±0.11	0.88±0.11	0.499 6
48	血清	0.28±0.01	0.30±0.02	0.077 2
	肝脏	1.98±0.56	1.84±0.24	0.633 0
	胰脏	1.51±0.34	1.64±0.21	0.473 4
	趾骨	9.21±1.50	10.00±1.82	0.458 3
	脾脏	0.67±0.13	1.11±0.20	0.001 1
	胫骨	4.87±0.28	4.79±0.64	0.788 0
	蛋黄	0.80±0.16	0.93±0.14	0.111 6
53	蛋黄	0.90±0.15	0.92±0.12	0.737 8

高43周龄肝脏( $P < 0.01$ )、蛋黄( $P < 0.01$ ),降低脾脏( $P < 0.01$ )和胫骨( $P < 0.05$ )锌沉积;显著提高48周龄脾脏锰沉积( $P < 0.01$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 有机铜锰锌对蛋品质的影响

微量元素可能通过影响蛋壳及壳膜形成过程中的关键酶或者直接影响钙结晶晶体结构的形成从而影响蛋壳质量<sup>[16]</sup>。但本试验中有机铜锰锌的复合添加等量代替其硫酸盐对蛋壳强度及蛋壳厚度未产生影响。同样有研究表明,产蛋后期有机铜锰锌的添加不影响蛋壳比例(蛋壳重/蛋重)、蛋壳强度和厚度<sup>[17]</sup>,有机锌不会对蛋壳质量产生影响<sup>[18]</sup>。然而,也有报道表明,铜的添加量的增加降低蛋壳厚度,且硫酸铜较柠檬酸铜可得到更高的蛋壳厚度<sup>[19]</sup>。Moreng等研究结果显示,日粮锌的添加显著提高蛋壳强度、蛋壳重和非正常蛋的蛋壳比例<sup>[20]</sup>。

#### 3.2 有机铜锰锌对肝脏酶活性的影响

铜为CuZn-SOD的辅助因子和调节因子,与铜蓝蛋白结合,并构成铜蓝蛋白的辅基<sup>[21]</sup>。锌为碳酸酐酶的活性中心,并在CuZn-SOD中起到稳定结构的作用。Mn则为Mn-CAT和Mn-SOD的辅助因子。有研究表明,饲喂氨基酸铜(较硫酸铜)显著提高血清CP活性<sup>[22]</sup>,氨基酸锌(较硫酸锌)显著提高血清AKP活性,但对蛋壳腺CA、CuZn-SOD活性未产生影响<sup>[18]</sup>。本试验结果显示,在矿物元素短期缺乏的情况下,有机处理组能够更快的提高肝脏CA、CP活性,缓解微量元素缺乏造成的酶活性的降低。CP与血浆铜结合降低游离铜离子的氧化作用,从而达到抗氧化的功能<sup>[23]</sup>。CP活性的提高显示处理组能够更快的提高机体的抗氧化机能。而CA活性的增加则表明有机微量元素较其硫酸盐形式能够更好的催化二氧化碳向碳酸根转化,从而维持组织、细胞的酸碱平衡<sup>[24]</sup>。

#### 3.3 有机铜锰锌对组织微量元素沉积的影响

本试验结果显示,有机铜锰锌等量替代其硫酸盐形式显著提高肝脏、胰脏、脾脏组织及蛋黄中的铜沉积。低水平(低于欧盟标准35 mg/kg)添加铜时,蛋黄中铜提高26%,随铜水平的不断增加,肝脏、血清中铜也显著提高<sup>[25]</sup>。本试验中48周龄脾脏锰沉积显著提高。蛋氨酸锰较硫酸锰可提高羔羊骨骼、肾脏和肝脏锰<sup>[26]</sup>。本研究中组织锌沉积的结果与铜锰结果不一致。有机铜锰锌的添加,显著提高43

周龄肝脏和蛋黄中锌,但降低脾脏、胫骨中锌的沉积。杨人奇<sup>[18]</sup>试验同样显示,氨基酸锌等量替代硫酸锌降低趾骨锌沉积,而蛋黄锌、锰含量显著提高。羟基蛋氨酸螯合微量元素可能通过减少消化内的损失或利用氨基酸吸收途径等方式,从而达到提高其利用率<sup>[1]</sup>。

### 4 结论

在海兰褐蛋鸡日粮中采用羟基蛋氨酸螯合铜、锰和锌复合添加等量替代其硫酸盐形式能够更快的提高肝脏CA和CP活性;提高肝脏、胰脏、脾脏、蛋黄中铜沉积;提高脾脏锰沉积;提高肝脏、蛋黄中锌含量,但降低脾脏和胫骨中锌的沉积。

### 参 考 文 献

- [1] Mateos G G, Lazaro R, Astillero J R, et al. Trace minerals: what text books don't tell you[M]// Taylor-Pickard J, Toker L. Redefining Mineral Nutrition, Nottingham: Nottingham University Press, 2005: 41-43
- [2] Abdallah A G, Ei-Husseiny O M, Abdel-Latif K O. Influence of some dietary organic mineral supplementations on broiler performance[J]. International Journal of Poultry Science, 2009, 8(3): 291-298
- [3] Ao T, Pierce J L, Power R, et al. Effects of feeding different forms of zinc and copper on the performance and tissue mineral content of chicks[J]. Poult Sci, 2009, 88: 2171-2175
- [4] Kidd M T, Qureshi M A, Ferket P R, et al. Turkey hen zinc source affects progeny immunity and disease resistance[J]. J Appl Poult Res, 2000, 9: 414-423
- [5] Swiatkiewicz S, Koreleski J. The effect of zinc and manganese source in the diet for laying hens on eggshell and bones quality[J]. Veterinarni Medicina, 2008, 53(10): 555-563
- [6] Mabe I, Rapp C, Bain M M, et al. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens[J]. Poult Sci, 2003, 82: 1903-1913
- [7] Yi G F, Atwell C A, Hume J A, et al. Determining the methionine activity of Mintrex organic trace minerals in broiler[J]. Poultry Science, 2007, 86(5): 877-887
- [8] Nutrient Requirements of poultry [S]. Washington DC: National Research Council, 1994
- [9] Yokoi K, Kimura M, Itokawa Y. Effect of dietary iron deficiency on mineral levels in tissues of rats[J]. Biological Trace Element Research, 1990, 29: 257-265
- [10] Angel R. Metabolic disorders: limitations to growth of and mineral deposition into the broiler skeleton after hatch and potential implications for leg problems[J]. Journal of Applied

- Animal Research, 2007, 16(16):138-149
- [11] Mohanna C, Nys Y. Effect of dietary zinc content and sources on the growth, body zinc deposition and retention, zinc excretion and immune response in chickens[J]. British Poultry Science, 1999, 40:108-114
- [12] Cavanagh E M V, Inserra F, Ferder L, et al. Superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities are increased by enalapril and captopril in mouse liver[J]. FEBS Letters, 1995, 361:22-24
- [13] Sunderman F W, Nomoto S. Measurement of human serum ceruloplasmin by its p-phenylenediamine oxidase activity[J]. Clinical Chemistry, 1970, 16(11):903-910
- [14] Armstrong J M, Myers D V, Verpoorte J A, et al. Purification and properties of human erythrocyte carbonic anhydrases[J]. Journal of Biological Chemistry, 1966, 241:5137-5149
- [15] Zimatkin S M, Liopo A V, Deitrich R A. Distribution and kinetics of ethanol metabolism in rat brain[J]. Alcohol Clin Exp Res, 1998, 22(8):1623-1627
- [16] Zamani A, Rahmani H R, Pourreza J. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese and zinc improves eggshell quality in laying hens [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2005, 8(9):1311-1317
- [17] Karunajeewa H, Tham S H. The effect of rice pollar and manganese levels in diet on egg weight, shell quality and performance of crossbred layers[J]. J Sci Food Agr, 1987, 41:141-152
- [18] 杨人奇. 不同锌源锌在产蛋鸡的生物学效价和应用效果比较研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001
- [19] 齐广海, 武书庚, 刁其玉, 等. 不同铜源及水平的日粮对产蛋鸡生产性能及蛋品质的影响[J]. 动物科学与动物医学, 2000, 17(6):14-16
- [20] Moreng R E, Balnave D. Dietary zinc methionine effect on eggshell quality of hens drinking saline water [J]. Poultry Science, 1992, 71:1163-1167
- [21] 杨在宾, 贾志海, 李淑清, 等. 日粮铜、铜水平对肉牛铜生物学利用率和需要量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(2):45-49
- [22] 高凤仙, 田科雄, 方热军, 等. 不同铜源和水平对生长猪组织铜含量和含铜酶的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2008, 35:13-17
- [23] Healy J, Tipton K. Ceruloplasmin and what it might do[J]. J Neural Transm, 2007, 114:777-781.
- [24] Bakst M R, Holm L. Impact of egg storage on carbonic anhydrase activity during early embryogenesis [J]. Poultry Science, 2003, 82(7):1193-1197
- [25] Skrivan M, Skrivanov V, Marounek M. Effect of various copper supplements to feed of laying hens on Cu content in eggs, liver, excreta, soil, and herbage[J]. Arch Environ Con Tox, 2006, 50:280-283
- [26] Henry P R, Ammerman C B, Littell R C. Relative bioavailability of manganese from a manganese-methionine complex and inorganic sources for ruminants[J]. J Dairy Sci, 1992, 75:3473-3478

(责任编辑: 苏燕)