

# 半胱胺螯合锌对育肥猪免疫性能、抗氧化能力、血清生化指标及肠道微生物的影响

于光辉<sup>1</sup> 王煜琦<sup>1</sup> 刘正方<sup>2</sup> 宋俊霖<sup>1</sup> 姜建阳<sup>1</sup> 宋春阳<sup>1\*</sup>

(1.青岛农业大学动物科技学院,青岛 266109;2.莱阳市农业农村局,烟台 265200)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料中不同添加量的半胱胺螯合锌(Zn-CS)对育肥猪免疫性能、抗氧化能力、血清生化指标及肠道微生物的影响。选取90头体重为(64.67±1.15) kg的健康育肥猪,随机分为5组,每组3个重复,每个重复(圈)6头。对照组饲喂基础饲料,试验组分为I、II、III、IV组,分别饲喂在基础饲料中添加60、90、120、150 mg/kg Zn-CS的试验饲料。结果表明:1)与对照组相比,I、II组血清免疫球蛋白A(IgA)含量显著提高( $P<0.05$ )。2)与对照组相比,III、IV组血清丙二醛含量显著降低( $P<0.05$ ),II、III、IV组血清总抗氧化能力显著提高( $P<0.05$ )。3)与对照组相比,II组血清生长激素含量显著提高( $P<0.05$ ),II组血清生长抑素含量显著降低( $P<0.05$ ),II、III、IV组血清胰岛素含量显著提高( $P<0.05$ )。4)各组在门水平上相对丰度超过1%的优势菌门有厚壁菌门、变形菌门、拟杆菌门,各组在属水平上相对丰度超过1%的优势菌属有梭菌属、肠杆菌属、*Romboutsia*、*Turicibacter*、*Terrisporobacter*、放线菌属。由此可见,饲料中添加Zn-CS能够提高育肥猪免疫性能与抗氧化能力。在本试验条件下,建议Zn-CS在育肥猪饲料中的适宜添加量为120 mg/kg。

**关键词:** 半胱胺螯合锌;育肥猪;免疫性能;抗氧化能力;血清生化指标;肠道微生物

中图分类号:S828

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)04-1891-08

随着我国经济的快速增长,人们逐渐意识到为了提高畜禽生产水平而不合理地使用添加剂,不仅降低了动物自身的免疫力,破坏其肠道内微生物的平衡,而且直接影响肉制品的品质。半胱胺(cysteamine,CS)在生物学上来源于半胱氨酸代谢,欧洲药品评估局(EMA)已将其归为“无需制定最大残留量”的有机物<sup>[1]</sup>。CS在动物生产中作为生长抑素(SS)的特异性抑制剂来影响内分泌,使生长激素(GH)的分泌增加,提高动物的生长性能<sup>[2]</sup>。林玲等<sup>[3]</sup>研究发现,给大鼠口服CS后,大鼠血清、下丘脑、垂体、胃窦黏膜和十二指肠SS含量分别降低39.60%、21.20%、44.00%、81.10%和55.00%,血清GH含量提高107.41%。肉鸡饲料里

添加100、150和200 mg/kg的CS可使其血清SS含量有显著或极显著的降低,并使饲料转化率分别提高5.7%、3.3%和6.3%<sup>[4]</sup>。杨佳栋<sup>[5]</sup>研究发现,CS添加量为20 g/(头·d)的西门塔尔杂交公牛血清GH含量有极显著的提高。给泌乳大鼠灌服80 mg/kg的CS,其哺乳期第15天的血清GH含量显著提高<sup>[6]</sup>。但CS分子中的巯基决定了它的不稳定性,极易被氧化,半胱胺螯合锌(cysteamine chelated zinc,Zn-CS)则克服了这一不足。余成蛟等<sup>[7]</sup>研究发现,饲料中添加不同剂量的Zn-CS可极显著提高营养限制型发育迟缓猪的平均日增重,显著降低料重比,极显著降低血清中的SS、胰岛素(INS)含量,极显著提高血清GH含量,极显

收稿日期:2019-09-25

基金项目:山东省现代农业产业技术体系生猪创新团队项目(SDAIT-08-08)

作者简介:于光辉(1982—),男,山东平度人,博士,研究方向为猪营养调控与育种。E-mail: yuguanghui.123@163.com

\* 通信作者:宋春阳,教授,硕士生导师,E-mail: songchunyang2006@163.com

著改善血清 T 淋巴细胞转化率,显著提高血清中免疫球蛋白(Ig)A 和 IgG 含量,提高其免疫性能,并显著降低粪便中大肠杆菌数量,改善胃肠道微生物环境。蒋志疆等<sup>[8]</sup>在基础饲料中添加 500 mg/kg 的 Zn-CS,发现试验组日增重显著提高 11.07%,料重比显著降低 6.40%。然而,目前有关 Zn-CS 对育肥猪免疫与抗氧化能力和肠道微生物的影响及其在育肥猪饲料中最适添加量的研究鲜有报道。因此,本试验旨在研究不同添加量的 Zn-CS 对育肥猪免疫性能、抗氧化能力、血清生化指标及肠道微生物的影响,旨在为育肥猪饲喂 Zn-CS 以提高生长性能提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

选择 90 头体况良好、体重为(64.67±1.15) kg 的杜×长×大三元杂交猪,随机分为 5 组,每组 3 个重复,每个重复(圈)6 头。对照组饲喂不添加 Zn-CS 的基础饲料,试验组分为 I、II、III、IV 组,分别饲喂在基础饲料中添加 60、90、120、150 mg/kg Zn-CS 的试验饲料,其中 Zn 含量分别为 24、36、48、60 mg/kg。

### 1.2 基础饲料

基础饲料为玉米-豆粕型,参照《猪饲养标准》(NY/T 65—2004)配制,其组成及营养水平见表 1。所添加 Zn-CS 购自上海旭牧联生物科技有限公司。

### 1.3 饲养管理

试验猪饲喂粉料,自由采食和饮水,试验开始前按照猪场常规程序进行消毒、驱虫和免疫。栏舍每天清扫 1 次,保持圈舍卫生,每天观察猪群健康状况。预试期为 7 d,正试期为 60 d。

### 1.4 样品采集

试验结束时每个重复随机抽取 1 头猪,采用前腔静脉采血的方法采血 5 mL,静置 1~2 h 后,用离心机 3 000 r/min 离心 5 min,分离血清分装于干净离心管中并做标记,放入-20 ℃冰箱保存备测。

试验结束时,取各个重复猪只的盲肠内容物分别放于 2 个干净冻存管中并做标记,马上将其放到液氮罐中,而后转移到-80 ℃冰箱保存以备检测。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)		%
项目 Items	含量 Content	
原料 Ingredients		
玉米 Corn	70.00	
豆粕 Soybean meal	11.50	
干酒糟及其可溶物 DDGS	5.00	
花生粕 Peanut meal	4.00	
小麦麸 Wheat bran	5.00	
石粉 Limestone	1.00	
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	1.00	
食盐 NaCl	0.35	
70% 赖氨酸 70% lysine	0.70	
苏氨酸 Threonine	0.15	
大豆磷脂 Soybean phospholipids	0.30	
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00	
合计 Total	100.00	
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>		
消化能 DE/(MJ/kg)	13.68	
粗蛋白质 CP	15.00	
钙 Ca	0.69	
总磷 TP	0.53	
有效磷 AP	0.33	
赖氨酸 Lys	1.00	
蛋氨酸 Met	0.27	
苏氨酸 Thr	0.65	

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 1 500 IU, VB<sub>2</sub> 3.7 mg, VB<sub>12</sub> 15 μg, VD<sub>3</sub> 150 IU, VE 12 IU, VK<sub>3</sub> 0.5 mg, 泛酸 pantothenic acid 15.5 mg, 烟酸 nicotinic acid 25 mg, 胆碱 choline 0.3 g, Cu (as copper sulfate) 15 mg, Fe (as ferrous sulfate) 100 mg, Mn (as manganese sulfate) 10 mg, Zn (as zinc sulfate) 50 mg。

2) 粗蛋白质、钙、总磷为实测值,其余为计算值。CP, Ca, TP were measured values, while the others were calculated values.

### 1.5 检测指标

#### 1.5.1 免疫性能指标

血清 IgA、IgG、IgM、总蛋白(TP)的含量均使用试剂盒测定,试剂盒购自南京建成生物工程研究所,具体步骤按照说明书进行。

#### 1.5.2 抗氧化能力指标

血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)活性及丙二醛(MDA)含量和总抗氧化能力(T-AOC)均使用试剂盒测定,试剂盒

购自南京建成生物工程研究所,具体步骤按照说明书进行。

### 1.5.3 血清生化指标

血清 GH、SS、三碘甲状腺原氨酸( $T_3$ )、胃泌素(GAS)、尿素氮(UN)、甲状腺素( $T_4$ )、INS 含量均使用试剂盒测定,试剂盒购自南京建成生物工程研究所,具体步骤按照说明书进行。

### 1.5.4 肠道微生物

盲肠内容物送至北京诺禾致源科技股份有限公司检测,采用高通量测序技术(Illumina),以得到有效数据(clean data),在 clean data 的基础上进行操作分类单元(OTUs)聚类以及物种分类的分析。依照 OTUs 聚类结果,对各 OTU 序列进行物种的注释,获取相对应的物种信息和以物种的丰度为基础的分布状况。同时,计算 OTUs 丰度、 $\alpha$ -多样性,以得到各样本内物种丰富度信息等。

依照对物种进行注释的结果,统计各组在各分类水平上最大丰度排名前 10 位的物种,对育肥猪肠道菌群进行物种丰富度的统计,并计算出相

对丰度。

## 1.6 数据统计分析

试验数据用 Excel 2016 初步整理,后采用 SPSS 22.0 统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 氏法多重比较, $P < 0.05$  表示差异显著,所有结果均以平均值 $\pm$ 标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 Zn-CS 对育肥猪免疫性能的影响

由表 2 可知, I、II 组血清 IgA 含量显著高于对照组( $P < 0.05$ ),分别提高了 12.37%、14.43%, III、IV 组与对照组相比差异不显著( $P > 0.05$ )。III 组血清 IgG 含量显著高于对照组( $P < 0.05$ ),提高了 8.55%, I、II、IV 组与对照组相比差异均不显著( $P > 0.05$ ),其中 III 组比 IV 组显著提高了 7.96% ( $P < 0.05$ )。4 个试验组血清 IgM 和 TP 含量与对照组相比差异均不显著( $P > 0.05$ )。

表 2 Zn-CS 对育肥猪血清免疫指标的影响

Table 2 Effects of Zn-CS on serum immune indexes of finishing pigs

g/L

项目 Items	组别 Groups				
	I	II	III	IV	对照 Control
免疫球蛋白 A IgA	1.09 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	1.11 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	1.08 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>	1.08 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>	0.97 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>
免疫球蛋白 G IgG	5.67 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>	5.69 $\pm$ 0.34 <sup>ab</sup>	5.97 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	5.53 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	5.50 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>
免疫球蛋白 M IgM	0.49 $\pm$ 0.02	0.49 $\pm$ 0.03	0.48 $\pm$ 0.04	0.45 $\pm$ 0.02	0.48 $\pm$ 0.02
总蛋白 TP	71.17 $\pm$ 2.34	71.73 $\pm$ 1.02	71.83 $\pm$ 1.72	71.07 $\pm$ 1.32	70.60 $\pm$ 1.57

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ),不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ). The same as below.

### 2.2 Zn-CS 对育肥猪抗氧化能力的影响

由表 3 可知,试验组血清 GSH-Px 和 SOD 活性与对照组相比差异均不显著( $P > 0.05$ )。III、IV 组血清 MDA 含量比对照组分别显著降低了 5.07%、5.46% ( $P < 0.05$ )。II、III、IV 组血清总抗氧化能力比对照组分别显著提高了 6.79%、7.34%、7.34% ( $P < 0.05$ ), I 组与对照组相比差异不显著( $P > 0.05$ ), II、III、IV 组分别比 I 组显著提高了 4.80%、5.33%、5.33% ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 Zn-CS 对育肥猪血清生化指标的影响

由表 4 可知, II 组血清 GH 和 SS 含量与对照

组相比分别显著升高和降低了 8.97%、6.45% ( $P < 0.05$ ), I、III、IV 组与对照组相比均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。II、III 组血清  $T_3$  含量比对照组分别显著提高了 23.08%、22.56% ( $P < 0.05$ ), 4 个试验组间差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。各试验组血清  $T_4$  和 GAS 含量与对照组相比差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。II、III、IV 组血清 INS 含量比对照组分别显著提高了 14.56%、13.54%、12.52% ( $P < 0.05$ )。II、III 组血清 UN 含量比对照组分别显著降低了 9.09%、9.86% ( $P < 0.05$ ), I、IV 组与对照组相比差异均不显著 ( $P > 0.05$ ), 4 个试验组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 3 Zn-CS 对育肥猪血清抗氧化指标的影响

Table 3 Effects of Zn-CS on serum antioxidant indexes of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups				
	I	II	III	IV	对照 Control
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/L)	251.96±2.00	253.38±1.25	253.99±1.98	252.70±2.48	251.80±1.93
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	130.25±1.62	130.30±2.00	129.97±1.77	129.48±1.68	129.37±1.14
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.08±0.18 <sup>ab</sup>	4.89±0.06 <sup>ab</sup>	4.87±0.13 <sup>b</sup>	4.85±0.12 <sup>b</sup>	5.13±0.11 <sup>a</sup>
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	3.75±0.09 <sup>b</sup>	3.93±0.11 <sup>a</sup>	3.95±0.11 <sup>a</sup>	3.95±0.13 <sup>a</sup>	3.68±0.02 <sup>b</sup>

表 4 Zn-CS 对育肥猪血清生化指标的影响

Table 4 Effects of Zn-CS on serum biochemical indexes of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups				
	I	II	III	IV	对照 Control
生长激素 GH/(ng/mL)	3.22±0.15 <sup>ab</sup>	3.40±0.15 <sup>a</sup>	3.31±0.13 <sup>ab</sup>	3.27±0.15 <sup>ab</sup>	3.12±0.14 <sup>b</sup>
生长抑素 SS/(ng/mL)	0.61±0.02 <sup>ab</sup>	0.58±0.02 <sup>b</sup>	0.59±0.03 <sup>ab</sup>	0.61±0.02 <sup>ab</sup>	0.62±0.02 <sup>a</sup>
三碘甲状腺原氨酸 T <sub>3</sub> /(nmol/L)	2.19±0.17 <sup>ab</sup>	2.40±0.33 <sup>a</sup>	2.39±0.20 <sup>a</sup>	2.27±0.09 <sup>ab</sup>	1.95±0.19 <sup>b</sup>
甲状腺素 T <sub>4</sub> /(nmol/L)	77.05±2.91	79.15±2.02	78.77±1.68	78.25±2.27	75.95±2.85
胰岛素 INS/(μU/mL)	7.23±0.21 <sup>ab</sup>	7.87±0.12 <sup>a</sup>	7.80±0.26 <sup>a</sup>	7.73±0.81 <sup>a</sup>	6.87±0.35 <sup>b</sup>
胃泌素 GAS/(pg/mL)	40.56±1.84	42.26±0.64	41.88±2.07	42.89±1.52	39.97±1.66
尿素氮 UN/(mmol/L)	6.31±0.24 <sup>ab</sup>	5.90±0.33 <sup>b</sup>	5.85±0.34 <sup>b</sup>	6.28±0.21 <sup>ab</sup>	6.49±0.20 <sup>a</sup>

## 2.4 微生物多样性分析

由表 5 可知,各试验组香农指数、辛普森指

数、Chao1 指数、ACE 指数和覆盖度与对照组相比差异均不显著( $P>0.05$ )。

表 5 盲肠内容物中微生物多样性指数

Table 5 Microbial diversity indexes in cecum digesta

项目 Items	组别 Groups				
	I	II	III	IV	对照 Control
OTU 数目 OTU number	806.00±12.49	806.00±21.07	811.33±27.57	804.00±15.13	807.00±10.58
香农指数 Shannon index	4.09±0.53	4.63±0.48	4.54±0.41	4.21±0.41	4.13±0.24
辛普森指数 Simpson index	0.089±0.000	0.089±0.010	0.089±0.010	0.089±0.000	0.092±0.000
Chao1 指数 Chao1 index	796.48±46.72	856.88±27.08	840.36±48.48	824.39±29.55	822.24±42.33
ACE 指数 ACE index	756.02±25.82	754.68±31.97	774.01±51.97	784.45±16.47	738.51±28.70
覆盖度 Coverage	0.997±0.000	0.997±0.000	0.996±0.000	0.996±0.000	0.997±0.000

## 2.5 Zn-CS 对育肥猪肠道微生物的影响

由表 6 可知,各组在门水平上相对丰度超过 1% 的优势菌群有厚壁菌门(Firmicutes)、变形菌门(Proteobacteria)、拟杆菌门(Bacteroidetes),累计相对丰度达到 97% 以上,其中 III 组厚壁菌门的相对

丰度与对照组相比升高了 2.88%,变形菌门的相对丰度与对照组相比降低了 2.98%,但差异均不显著( $P>0.05$ )。各组在属水平上相对丰度超过 1% 的优势菌属有梭菌属(*Clostridium*)、肠杆菌属(*Enterobacteriaceae*)、*Romboutsia*、*Turicibacter*、

*Terrisporobacter*、放线菌属 (*Actinobacillus*), 各菌属相对丰度 4 个试验组与对照组相比差异均不显著 ( $P>0.05$ )。

表 6 门与属水平相对丰度分析结果

Table 6 Phylum and genus level relative abundance analysis results

分类学水平 Taxonomy level	微生物 Microbes	组别 Groups				
		I	II	III	IV	对照 Control
门 Phyla	厚壁菌门 Firmicutes	69.49±6.11	71.67±4.36	74.08±3.63	72.11±2.99	71.20±3.41
	变形菌门 Proteobacteria	26.49±4.94	25.18±4.99	23.43±3.83	25.56±3.36	26.41±2.93
	拟杆菌门 Bacteroidetes	1.57±0.47	1.41±0.66	1.27±0.67	1.57±0.50	1.68±0.51
	产氧光菌门 Oxyphotobacteria	0.35±0.19	0.48±0.11	0.44±0.13	0.33±0.14	0.32±0.05
	放线菌门 Actinobacteria	0.37±0.26	0.33±0.33	0.29±0.21	0.12±0.08	0.12±0.09
	软壁菌门 Tenericutes	0.07±0.04	0.05±0.04	0.06±0.04	0.05±0.04	0.06±0.02
	酸杆菌门 Acidobacteria	0.05±0.00	0.07±0.06	0.06±0.03	0.07±0.06	0.04±0.04
	梭杆菌门 Fusobacteria	0.019±0.010	0.022±0.010	0.024±0.010	0.024±0.020	0.022±0.020
	脱铁杆菌门 Deferribacteres	0.02±0.01	0.02±0.02	0.01±0.00	0.01±0.01	0.01±0.01
	梭菌属 <i>Clostridium</i>	22.47±3.06	25.13±2.89	21.52±0.69	22.68±3.83	23.02±1.36
属 Genus	肠杆菌属 <i>Enterobacteriaceae</i>	21.36±1.88	20.04±3.34	23.18±3.18	19.67±2.35	20.99±3.90
	<i>Romboutsia</i>	9.88±1.80	12.01±3.02	10.21±3.34	9.87±0.56	8.91±2.10
	<i>Turicibacter</i>	7.49±1.67	7.56±2.11	9.43±3.08	7.83±1.26	8.81±2.41
	<i>Terrisporobacter</i>	6.40±1.56	8.10±2.21	7.74±1.96	6.72±2.63	7.42±2.37
	放线菌属 <i>Actinobacillus</i>	1.18±0.36	1.21±0.36	1.02±0.29	1.28±0.41	1.23±0.32

### 3 讨论

#### 3.1 Zn-CS 对育肥猪免疫性能的影响

CS 可以影响激素分泌从而提高畜禽机体的免疫力。血清 TP 含量的高低会反映动物机体免疫力的强弱, 进而对动物营养物质的吸收利用率产生影响。血清球蛋白含量能从侧面体现畜禽体内的抗体水平, 也能体现机体免疫能力的高低。朱宇旌等<sup>[9]</sup>研究发现, Zn-CS 可显著提高仔猪血清 IgA 及 IgG 含量, 而对血清 IgM 及 TP 含量影响不显著。余成蛟等<sup>[7]</sup>研究发现, 不同添加水平的 Zn-CS 均可不同程度地提高营养限制性发育迟缓

猪血清 IgA、IgG 及 TP 含量, 而对血清 IgM 含量影响不显著。本试验中, 60 及 90 mg/kg 的 Zn-CS 可显著提高血清 IgA 含量, 120 mg/kg 的 Zn-CS 可显著提高血清 IgG 含量, 所得结果与余成蛟等<sup>[7]</sup>的研究结果基本一致, 而与孙海元<sup>[10]</sup>在长大二元杂交育肥猪饲料中添加 300 mg/kg 的 CS 有提高血清 IgG 含量的趋势, 对血清 IgA 及 TP 含量影响不显著的结果有出入, 或许是由于猪品种、添加量等差异所导致。

#### 3.2 Zn-CS 对育肥猪抗氧化能力的影响

氧化应激过程可以在细胞中产生过多的活性氧原子, 导致动物体细胞内氧化还原电位和细胞

损伤的不平衡<sup>[11]</sup>。抗氧化系统不仅可以防止脂质和蛋白质氧化引起的损伤,还可以保持肠道屏障完整性,防止细菌感染<sup>[12-13]</sup>。Gu等<sup>[14]</sup>的研究表明,饲料中补充CS可以减少小鼠消化过程中的氧化应激。同时,添加CS可通过降低血清MDA含量,增加脑内谷胱甘肽(GSH)和GSH-Px活性来减轻大鼠试验性蛛网膜下腔出血模型的氧化应激<sup>[15]</sup>。成廷水等<sup>[16]</sup>研究发现,氨基酸锌能够显著提高蛋鸡肝组织的T-AOC和GSH-Px的活性,降低血清MDA含量,脾中SOD活性也有显著提高。本试验中120及150 mg/kg的Zn-CS能够显著降低血清MDA含量,90、120及150 mg/kg的Zn-CS都能够显著提高血清T-AOC,这与刘贵莲<sup>[17]</sup>在PIC肥育猪饲料中添加CS可显著提高血清T-AOC的结果类似。此外,CS可以破坏胱氨酸中的二硫键,导致半胱氨酸(GSH合成的底物)的形成,从而增加细胞GSH水平<sup>[18]</sup>。

### 3.3 Zn-CS对育肥猪血清生化指标的影响

CS分子中含有的巯基以及氨基等活性基团能够损害SS的二硫键从而降低SS含量,而GH分别通过生长激素释放激素(GHRH)促进作用或SS抑制作用特异性地刺激释放<sup>[19]</sup>。徐雪松<sup>[20]</sup>研究发现,添加120及200 mg/kg的CS可显著降低45日龄仔猪血清SS含量,极显著提高血清GH含量,显著提高血清T<sub>3</sub>及T<sub>4</sub>含量。王恩秀等<sup>[21]</sup>研究发现,给大鼠口服CS后,血清SS含量显著降低,血清GH含量极显著升高,而血清INS及T<sub>3</sub>含量略有提高。刘哲洁等<sup>[22]</sup>研究发现,给雄性香猪灌注80 mg/kg CS后,血清SS含量显著降低,血清GAS含量显著升高,与陈安国等<sup>[23]</sup>研究结果相似。张献新等<sup>[24]</sup>研究发现,120 mg/kg半胱胺盐酸盐可显著提高育肥猪血清GH及T<sub>3</sub>含量,从而使试验组平均日增重比对照组提高5.09%,料重比降低3.19%,提高肥育猪的生长性能。本试验结果显示,饲料中添加90、120及150 mg/kg的Zn-CS可显著提高育肥猪血清中的INS含量,其原因在于哺乳动物中CS能够促进胰岛β细胞INS的释放<sup>[25]</sup>。90、120 mg/kg的Zn-CS还能够显著提高血清GH及T<sub>3</sub>含量,降低血清SS及UN含量,从而利于蛋白质的合成,与余成蛟等<sup>[7]</sup>研究结果类似。

### 3.4 Zn-CS对育肥猪肠道微生物的影响

研究表明,肠道微生物群的组成不是呈静态

的,而是随时间变化并最终形成一个稳定的状态<sup>[26]</sup>。许多因素促成了演替过程,除了当肠道转变为厌氧环境时肠道中发生的生理变化外,饲料的消耗是另一个导致微生物群特有的细菌组合转变的主要因素。朱伟云等<sup>[27]</sup>研究指出,厚壁菌门、拟杆菌门与变形菌门是生长肥育猪肠道微生物群中最丰富的门,与本试验所得结果一致。厚壁菌门能够促进碳水化合物和蛋白质的有效吸收,并富含与营养转运蛋白相关的基因<sup>[28-29]</sup>,而变形菌及其相关菌属丰度的增加,则会使机体内毒素含量增加,从而导致疾病的发生<sup>[30]</sup>。朱宇旌等<sup>[9]</sup>在仔猪饲料中添加Zn-CS,发现粪便中大肠杆菌的数量显著降低,起到抗菌和减少腹泻的作用,从而提高其生长性能。本试验结果显示,饲料中添加120 mg/kg的Zn-CS能够增加肠道中有益菌厚壁菌门的相对丰度,降低有害菌变形菌门的相对丰度,但对育肥猪肠道微生物区系结构无显著影响。

## 4 结论

① 在本试验条件下,饲料中添加Zn-CS能够通过提高血清免疫球蛋白含量来提高育肥猪的免疫力,还可以通过提高血清T-AOC及降低MDA含量来改善育肥猪抗氧化能力。

② 在本试验条件下,饲料中添加Zn-CS对育肥猪肠道微生物结构多样性及菌群相对丰度均无显著影响。

③ 综合各项指标,建议育肥猪饲料中Zn-CS的适宜添加量为120 mg/kg。

## 参考文献:

- [1] 曾李.半胱胺生理功能概述[J].广东饲料,2018,27(8):35-38.
- [2] 刘贵莲,王之盛,周安国.新型饲料添加剂——半胱胺[J].饲料工业,2006,27(22):4-8.
- [3] 林玲,韩正康.生长抑素抑制剂——半胱胺促进大鼠、幼兔生长的研究[J].中国应用生理学杂志,1991,7(4):345-347.
- [4] 王艳玲,陈伟华,韩正康.不同剂量半胱胺对肉仔鸡增重及血液生长抑素、生长激素含量的影响[J].中国畜牧杂志,1997(4):11-13.
- [5] 杨佳栋.半胱胺及复合蛋白对肉牛生产性能和血液指标影响的研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2004.
- [6] 王艳玲,韩正康.半胱胺对大鼠泌乳量及血液、组织

- 几种激素含量的影响[J].中国应用生理学杂志,1998,14(1):46-49.
- [7] 余成蛟,王浩然,李方方,等.半胱胺螯合锌在营养限制型发育迟缓猪中的应用研究[J].饲料工业,2015,36(20):41-46.
- [8] 蒋志疆,郭直,黄伟杰,等.半胱胺螯合锌对育肥猪生产性能的影响[J].饲料研究,2015(8):18-19.
- [9] 朱宇旌,王浩然,李方方,等.半胱胺螯合锌对仔猪生长性能、血清生化指标、养分消化率及粪中微生物菌群的影响[J].动物营养学报,2015,27(10):3225-3232.
- [10] 孙海元.小肽和半胱胺对生长肥育猪生产性能的影响及机理研究[D].硕士学位论文.邯郸:河北工程大学,2013.
- [11] 魏亚萍,王媛,郭晓笋,等.细胞内的氧化还原感受器蛋白与氧化还原信号转导[J].中国病理生理杂志,2018,34(1):183-187.
- [12] WANG L C, ZHANG T T, WEN C, et al. Protective effects of zinc-bearing clinoptilolite on broilers challenged with *Salmonella pullorum*[J].Poultry Science, 2012,91(8):1838-1845.
- [13] ZHOU P, TAN Y, ZHANG L, et al. Effects of dietary supplementation with the combination of zeolite and attapulgite on growth performance, nutrient digestibility, secretion of digestive enzymes and intestinal health in broiler chickens[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,27(9):1311-1318.
- [14] GU C M, QU H S, HAN L L, et al. The effect of raw soybean on oxidative status of digestive organs in mice[J].International Journal of Molecular Sciences, 2011,12(12):8836-8845.
- [15] ZHANG Z Y, YANG M F, WANG T, et al. Cysteamine alleviates early brain injury via reducing oxidative stress and apoptosis in a rat experimental subarachnoid hemorrhage model[J].Cellular and Molecular Neurobiology,2015,35(4):543-553.
- [16] 成廷水, 冯于明, 袁建敏.日粮中添加氨基酸络合锌、铜、锰对蛋鸡产蛋性能、免疫及组织抗氧化机能的影响[J].中国家禽,2004,26(19):15-18.
- [17] 刘贵莲.植物提取物和半胱胺对肥育猪营养饲养效应研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2007.
- [18] BESOUW M, MASEREEUW R, VAN DEN HEUVEL L, et al. Cysteamine: an old drug with new potential[J].Drug Discovery Today,2013,18(15/16):785-792.
- [19] 王子荣,赵茹茜,陈杰.通过生长轴调控动物生长[J].草食家畜,1999(1):41-45.
- [20] 徐雪松.半胱胺对仔猪的促生长作用及其机理研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2007.
- [21] 王恩秀,陈伟华,李燕,等.半胱胺对大鼠生长及免疫的影响[J].畜牧兽医学报,2002,33(6):555-558.
- [22] 刘哲洁,韩正康,杨玉焕,等.半胱胺对香猪胃液分泌、血液胃泌素和生长抑素水平的影响[J].畜牧与兽医,1998(3):9-11.
- [23] 陈安国,杨彩梅,洪奇华,等.半胱胺对生长肥育猪生长性能和胴体品质的影响及其机理探讨[C]//第四届全国饲料营养学术研讨会论文集.南京:中国畜牧兽医学会,2002:2.
- [24] 张献新,张益禅,邹芳.缓释包膜半胱胺对生长肥育猪生长性能及胴体品质的影响[J].农业现代化研究,2014(3):326-328.
- [25] HASHIMOTO N, KANATSUKA A, MAKINO H, et al. Mechanisms involved in the depleting effect of cysteamine on pancreatic somatostatin[J].Hormone and Metabolic Research,1987,19(1):11-14.
- [26] PALMER C, BIK E M, DIGIULIO D B, et al. Development of the human infant intestinal microbiota[J].PLoS Biology,2007,5(7):e177.
- [27] 朱伟云,慕春龙.猪肠道微生物与肠道健康和营养代谢[C]//中国猪业科技大会暨中国畜牧兽医学会2015年学术年会论文集.厦门:中国畜牧兽医学会,2015:1.
- [28] TURNBAUGH P J, LEY R E, MAHOWALD M A, et al. An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest[J].Nature,2006,444(7122):1027-1031.
- [29] KOLIADA A, SYZENKO G, MOSEIKO V, et al. Association between body mass index and *Firmicutes/Bacteroidetes* ratio in an adult Ukrainian population[J].BMC Microbiology,2017,17:120.
- [30] 金娜,邹闻书,高倩,等.枸杞多糖对育肥猪肠道菌群多样性及组成的影响[J].动物营养学报,2019,31(9):4033-4043.

# Effects of Cysteamine Chelated Zinc on Immunity Function, Antioxidant Capacity, Serum Biochemical Indexes and Intestinal Microflora of Finishing Pigs

YU Guanghui<sup>1</sup> WANG Yuqi<sup>1</sup> LIU Zhengfang<sup>2</sup> SONG Junlin<sup>1</sup> JIANG Jianyang<sup>1</sup> SONG Chunyang<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 2. Laiyang Municipal Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Yantai 265200, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of the supplemental levels of cysteamine chelated zinc (Zn-CS) on the immunity function, antioxidant capacity, serum biochemical indexes and intestinal microflora of finishing pigs. A total of 90 healthy finishing pigs with an average body weight of ( $64.67 \pm 1.15$ ) kg were randomly allocated to 5 groups with 3 replicates of 6 pigs. The pigs in control group were fed a basal diet, and those in the experimental groups were divided into groups I, II, III and IV, and fed the basal diet with different supplemental levels of Zn-CS (60, 90, 120 and 150 mg/kg). The results showed as follows: 1) compared with the control group, the serum immune globulin A (IgA) content in groups I and II significantly increased ( $P < 0.05$ ). 2) Compared with the control group, the serum malondialdehyde content in groups III and IV significantly decreased ( $P < 0.05$ ), and the serum total antioxidant capacity in groups II, III and IV significantly increased ( $P < 0.05$ ). 3) Compared with the control group, the serum growth hormone content in group II significantly increased ( $P < 0.05$ ), the serum somatostatin content in group II significantly decreased ( $P < 0.05$ ), and the serum insulin content in groups II, III and IV significantly increased ( $P < 0.05$ ). 4) At the level of phylum, the dominant flora with relative abundance of more than 1% of each group was Firmicutes, Proteobacteria and Bacteroidetes. At the level of genus, the dominant flora with relative abundance of more than 1% of each group was *Clostridium*, *Enterobacteriaceae*, *Romboutsia*, *Turicicon*, *Terrisporobacter* and *Actinobacillus*. In conclusion, dietary supplemented with Zn-CS can promote the immunity function and antioxidant capacity. Under the conditions of the present experiment, the optimal supplemental level of Zn-CS in the finishing pigs' diet is 120 mg/kg. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 (4): 1891-1898]

**Key words:** cysteamine chelated zinc; finishing pigs; immunity function; antioxidant capacity; serum biochemical indexes; intestinal microflora