

李林枫,李 嫔,唐志刚,等. 载锌沸石对蛋鸡鸡蛋品质和消化功能的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(8):201-203,365.

载锌沸石对蛋鸡鸡蛋品质和消化功能的影响

李林枫,李 嫔,唐志刚,周岩民

(南京农业大学动物科技学院,江苏南京 210095)

摘要:研究载锌沸石对鸡蛋品质、蛋鸡消化酶活性和养分消化率的影响。将360只30周龄海兰褐壳蛋鸡随机分成4组,每组6个重复,对照组在基础日粮中添加硫酸锌,含锌量为80 mg/kg,试验组分别在基础日粮中添加0.23%、0.34%、0.46%的载锌沸石,含锌量分别为40、60、80 mg/kg。结果表明,与对照组相比,添加0.46%载锌沸石能显著提高试验第4周蛋重;添加0.34%载锌沸石能够显著提高粗蛋白质和粗脂肪的表观消化率;添加载锌沸石对蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋黄颜色和哈夫单位等鸡蛋品质及胰腺和十二指肠淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白酶活性没有显著影响;0.23%载锌沸石组十二指肠和空肠蔗糖酶活性显著提高。在本试验条件下载锌沸石在蛋鸡日粮中的最佳添加量为0.34%,含锌量60 mg/kg。

关键词:载锌沸石;蛋鸡;鸡蛋品质;消化酶活性;养分消化率

中图分类号:S831.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)08-0201-03

锌作为动物体的必需微量元素之一,在动物的生长发育、繁殖和免疫功能等方面有重要作用。在蛋鸡日粮中添加锌能够提高其产蛋性能、鸡蛋品质、免疫功能、生殖机能及饲料利用率,增加鸡蛋中的锌含量^[1-4]。但不同锌源的吸收利用率存在差异,与硫酸锌相比,有机锌如葡萄糖酸锌、柠檬酸锌等,氨基酸螯合锌如蛋氨酸锌、赖氨酸锌等能够提高锌的吸收利用率^[5-7]。已有研究发现,用非金属矿负载锌如载锌沸石、载锌蒙脱石等能够改善动物肠道环境,提高动物生产性能^[8-10]。相关载锌沸石在蛋鸡上的应用研究还鲜见报道,本试验通过在日粮中分别添加无机锌和载锌沸石,研究载锌沸石对鸡蛋品质和蛋鸡消化功能的影响,为载锌沸石的合理利用、开发新的锌源提供理论依据。

1 材料与方

1.1 试验材料

载锌沸石的制备采用离子交换法^[11],具体操作为称取经高温活化的斜发沸石,按质量体积比1:10加入2.5 mol/L的ZnCl₂溶液,在pH值4.5、交换温度为70℃的条件下,搅拌4 h。然后静置,倒去上清液,用去离子水洗去固体样品中未负载的Zn²⁺,直至滴加AgNO₃溶液无白色沉淀产生。将洗净的沸石于105℃干燥箱中干燥2 h后粉碎备用。

用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP)测定载锌沸石中锌含量,准确称取0.3 g载锌沸石,加入30 mL的1:10的HNO₃,60℃水浴24 h,离心分离,取上清液5 mL上机测定。测得载锌沸石中的锌离子含量为1.75%。

1.2 试验设计与日粮组成

选取体重接近、健康的30周龄海兰褐壳蛋鸡360只,随

机分成4组,每组6个重复,每个重复15只鸡,分别饲喂4种日粮即4个处理:(1)基础日粮+80 mg/kg ZnSO₄(对照);(2)基础日粮+0.23%载锌沸石(40 mg/kg Zn);(3)基础日粮+0.34%载锌沸石(60 mg/kg Zn);(4)基础日粮+0.46%载锌沸石(80 mg/kg Zn)。基础日粮实测锌含量为28 mg/kg,基础日粮配方及营养水平见表1。

表1 基础日粮配方及营养水平(风干基础)

配方原料	含量(%)	营养指标	营养水平
玉米	60.0	代谢能	10.97 MJ/kg
豆粕	26.2	粗蛋白质	16.5%
豆油	0.8	钙	3.52%
石粉	8.0	总磷	0.63%
5%预混料	5.0		
合计	100		

注:5%预混料由南京华牧动物科技研究所提供,为1 kg日粮提供:维生素A 10 000 IU、维生素D₃ 3 000 IU、维生素E 30 mg、维生素K₃ 1 mg、维生素B₁ 1 mg、维生素B₂ 6 mg、维生素B₃ 10 mg、维生素B₅ 40 mg、维生素B₆ 3 mg、维生素B₁₁ 0.3 mg、维生素B₁₂ 0.01 mg、维生素H 0.1 mg、Cu 8 mg、Fe 100 mg、Mn 100 mg、I 1 mg、Se 0.3 mg、Ca 5 g、P 1.5 g、盐3 g。

1.3 饲养管理

蛋鸡饲养于3层阶梯笼内,在开放式鸡舍内饲养。乳头式饮水器自由饮水,每天16 h光照,喂料2次(05:00,14:00),12:30开始集蛋、称蛋重。预试1周后,进行正式试验。试验期为8周。

1.4 样品采集及指标测定

1.4.1 鸡蛋品质 在试验第4周及第8周时,从各处理的每个重复中随机采集2枚鸡蛋,用于测定蛋重、蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋黄色及哈夫单位(HU)。鸡蛋品质按《家禽生产学》中的方法^[12]进行测定。

1.4.2 养分消化率 试验结束时,各处理每重复选取1只体质健康的蛋鸡单独饲养于代谢笼内,预试3 d后采用全收粪法进行代谢试验,每天08:00、16:00各收粪1次,连续收集72 h。收粪期间自由饮水,记录收粪期间蛋鸡的采食量和鲜

收稿日期:2013-12-26

作者简介:李林枫(1990—),女,安徽宣城人,硕士研究生,主要从事动物营养与饲料科学研究。E-mail:llf200710@126.com。

通信作者:周岩民,教授,博士生导师,研究方向为动物营养与饲料科学。Tel:(025)84396067;E-mail:Zhouym6308@163.com。

粪重。收集粪样时清理掉排泄物上的鸡毛和饲料,装入自封袋中,置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷冻保存。粪样收集结束后,相同重复粪样解冻后立即混匀,于 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干燥箱内干燥 48 h ,并回潮 24 h ,粉碎制成风干样。按《饲料分析及饲料质量检测技术》中的方法^[13]测定饲料和粪便中的水分、粗灰分、粗蛋白质、粗脂肪,并计算干物质、有机物、粗蛋白、粗脂肪的表观消化率。

1.4.3 消化酶 试验结束时,各处理每重复随机选取1只蛋鸡,颈静脉放血致死,分离胰腺装入冻存管中,在液氮中保存备用;分离肠道,取十二指肠食糜装入 5 mL 试管于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存备用,分别刮取各段小肠黏膜,装入冻存管中,在液氮中保存备用。样品加入9倍体积的生理盐水,在冰浴中匀浆 30 s ,然后在 $3\ 000\text{ r/min}$ 、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下离心 10 min ,取上清液于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下保存,测定胰腺和十二指肠食糜中淀粉酶、脂

肪酶、胰蛋白酶的活性及十二指肠和空肠黏膜中蔗糖酶、麦芽糖酶的活性,试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。

1.5 数据统计分析

试验数据用Excel进行初步处理,用SPSS 17.0软件进行统计,单因子方差分析进行差异显著性检验,用Duncan法进行多重比较,结果以“平均数 \pm 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 载锌沸石对鸡蛋品质的影响

在试验第4周时,载锌沸石组的蛋重均显著高于对照组。蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋黄色和哈夫单位差异不显著。在试验第8周时,各项指标没有显著差异,但载锌沸石组蛋重和蛋壳强度与对照组相比均有上升趋势(表2)。

表2 载锌沸石对鸡蛋品质的影响

组别	第4周				
	蛋重(g)	蛋壳强度(kg/cm ²)	蛋壳厚度(mm)	蛋黄色	哈夫单位
硫酸锌组(80 mg/kg Zn)	59.48 \pm 0.80b	4.06 \pm 0.20a	0.38 \pm 0.01a	7.23 \pm 0.28a	89.18 \pm 0.69a
0.23%载锌沸石(40 mg/kg Zn)	62.39 \pm 1.20a	4.35 \pm 0.15a	0.38 \pm 0.01a	7.21 \pm 0.24a	88.81 \pm 0.58a
0.34%载锌沸石(60 mg/kg Zn)	62.38 \pm 1.07a	4.05 \pm 0.14a	0.38 \pm 0.01a	7.06 \pm 1.16a	89.54 \pm 0.65a
0.46%载锌沸石(80 mg/kg Zn)	63.63 \pm 0.67a	4.10 \pm 0.18a	0.38 \pm 0.01a	7.53 \pm 0.15a	89.61 \pm 0.70a
组别	第8周				
	蛋重(g)	蛋壳强度(kg/cm ²)	蛋壳厚度(mm)	蛋黄色	哈夫单位
硫酸锌组(0 mg/kg Zn)	61.43 \pm 1.10a	4.02 \pm 0.13a	0.37 \pm 0.01a	6.95 \pm 0.29a	88.53 \pm 0.59a
0.23%载锌沸石(40 mg/kg Zn)	63.09 \pm 1.34a	4.39 \pm 0.51a	0.38 \pm 0.01a	7.69 \pm 0.26a	88.08 \pm 0.58a
0.34%载锌沸石(60 mg/kg Zn)	62.62 \pm 1.54a	4.24 \pm 0.13a	0.37 \pm 0.01a	6.86 \pm 0.25a	89.74 \pm 0.37a
0.46%载锌沸石(80 mg/kg Zn)	63.59 \pm 1.05a	4.07 \pm 0.11a	0.37 \pm 0.01a	7.34 \pm 0.41a	89.21 \pm 0.65a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表3、表5同。

2.2 载锌沸石对蛋鸡养分表观消化率的影响

0.34%载锌沸石组各养分消化率均高于其他组,其中干物质消化率显著高于0.23%、0.46%载锌沸石组,有机物的

消化率显著高于0.23%载锌沸石组,粗蛋白质和粗脂肪的消化率显著高于对照组和0.23%载锌沸石组(表3)。

表3 载锌沸石对蛋鸡养分表观消化率的影响

组别	表观消化率(%)			
	干物质	有机物	粗蛋白质	粗脂肪
硫酸锌组 80 mg/kg	70.43 \pm 1.00ab	79.92 \pm 0.53ab	49.74 \pm 0.72b	69.23 \pm 3.54b
0.23%载锌沸石 40 mg/kg	66.47 \pm 1.20b	76.04 \pm 1.14b	50.98 \pm 2.83b	68.74 \pm 1.30b
0.34%载锌沸石 60 mg/kg	72.64 \pm 2.27a	80.96 \pm 2.06a	57.44 \pm 1.75a	78.03 \pm 1.49a
0.46%载锌沸石 80 mg/kg	66.66 \pm 0.93b	76.47 \pm 0.89ab	53.31 \pm 1.71ab	71.63 \pm 3.97ab

2.3 载锌沸石对蛋鸡消化酶活性的影响

与对照组相比,0.23%、0.34%、0.46%载锌沸石组胰腺淀粉酶活性分别提高了11.59%、1.88%、4.55%,十二指肠淀粉酶活性分别提高了21.35%、14.51%、39.13%。各组胰腺

和十二指肠中的脂肪酶、胰蛋白酶活性没有显著差异,但载锌沸石组的胰蛋白酶活性与对照组相比略有降低(表4)。与对照组相比,十二指肠和空肠中蔗糖酶活性在0.23%载锌沸石组中有显著提高。各组肠道麦芽糖酶活性无显著差异(表4)。

表4 载锌沸石对蛋鸡胰腺、十二指肠消化酶活性的影响

组别	胰腺			十二指肠		
	淀粉酶(U/mg)	脂肪酶(U/g)	胰蛋白酶(U/mg)	淀粉酶(U/mg)	脂肪酶(U/g)	胰蛋白酶(U/mg)
硫酸锌(80 mg/kg Zn)	767.64 \pm 75.11	334.47 \pm 66.31	6 382.19 \pm 460.51	92.38 \pm 6.28	60.68 \pm 3.74	4 989.71 \pm 712.38
0.23%载锌沸石(40 mg/kg Zn)	856.62 \pm 110.96	319.60 \pm 34.65	6 241.91 \pm 630.15	112.10 \pm 11.03	69.39 \pm 11.05	3 459.19 \pm 497.37
0.34%载锌沸石(60 mg/kg Zn)	782.11 \pm 48.93	353.23 \pm 43.94	5 718.56 \pm 457.72	105.78 \pm 9.45	64.30 \pm 8.87	3 050.95 \pm 913.51
0.46%载锌沸石(80 mg/kg Zn)	802.58 \pm 99.73	396.92 \pm 55.19	5 499.90 \pm 416.15	128.53 \pm 16.01	71.19 \pm 15.12	3 265.42 \pm 723.17

3 讨论与结论

3.1 载锌沸石对鸡蛋品质的影响

锌是碳酸酐酶的辅基,可促进碳酸水解,提高蛋壳腺内的

碳酸根离子浓度,在蛋壳形成过程中发挥重要作用^[14],并影响蛋白的沉积过程^[15]。研究表明,在蛋鸡日粮中加锌与不添加锌比较,蛋重、蛋壳重量、蛋壳强度、蛋壳厚度、哈夫单位等有显著提高^[15-16]。本试验中除载锌沸石组试验第4周蛋重

表5 载锌沸石对蛋鸡肠道二糖酶活性的影响

组别	十二指肠		空肠	
	蔗糖酶(U/mg)	麦芽糖酶(U/mg)	蔗糖酶(U/mg)	麦芽糖酶(U/mg)
硫酸锌(80 mg/kg Zn)	15.23 ± 1.73b	131.81 ± 11.08a	54.34 ± 2.73b	183.48 ± 33.84a
0.23%载锌沸石(40 mg/kg Zn)	33.05 ± 7.14a	129.94 ± 12.75a	88.58 ± 13.92a	174.01 ± 31.11a
0.34%载锌沸石(60 mg/kg Zn)	21.47 ± 2.83ab	124.15 ± 7.95a	62.53 ± 7.38ab	182.09 ± 40.55a
0.46%载锌沸石(80 mg/kg Zn)	22.08 ± 8.81ab	172.41 ± 21.56a	77.90 ± 7.88ab	226.03 ± 28.45a

显著增加外,锌源和锌水平对其他鸡蛋品质均无显著影响。成廷水等、Aliarabi H等也报道锌源和锌水平对鸡蛋品质没有明显影响^[7,17]。这可能是由于各组饲料中的锌水平能够使碳酸酐酶达到正常活性水平。本研究中较低锌水平的载锌沸石组不会对鸡蛋品质产生不良影响,并有提高蛋重的趋势。

3.2 载锌沸石对蛋鸡消化功能的影响

养分表观消化率和消化酶活性可以反映动物对食物的消化利用能力、胃肠道的生理状况及动物健康水平。相关锌对蛋鸡消化功能的影响鲜见报道,但有研究表明,合理添加锌源和锌水平能够提高肉鸡和断奶仔猪的养分消化率和消化酶活性^[18-21]。研究认为锌能影响营养物质的消化吸收主要由于对消化酶活性的改变,锌是许多消化酶如羧肽酶A、B的辅助因子,广泛参与蛋白质合成和碳水化合物代谢,锌摄入量可能会调节含锌消化酶的活性^[22-23]。Hu等报道,与无机锌相比,在日粮中添加相同锌水平的载锌蒙脱石能够改善肉鸡肠道微生物区系和小肠形态,提高肠道消化酶活性^[19]。本试验结果表明,与对照组比较,0.34%和0.46%载锌沸石组的养分消化率均有提高,其中0.34%载锌沸石组粗蛋白质和粗脂肪消化率显著高于对照组;载锌沸石组胰腺、十二指肠淀粉酶活性和肠道蔗糖酶活性均有上升趋势。结果表明,与ZnSO₄相比,添加载锌沸石对蛋鸡消化功能有促进作用,这可能是载锌沸石的缓释功能和沸石的生物学功能共同作用的结果。沸石结构稳定,在动物胃肠道内不易被破坏,内部具有负载金属离子的结构,载入沸石的锌离子具有一定的缓释能力,可在肠道中缓慢释放出锌离子,提高锌离子的利用率^[24]。此外,载锌沸石改善消化功能的作用可能与沸石的量有关,沸石可选择性地吸附肠道内的氨等有害气体和元素,改善动物消化道环境,并延长饲料在消化道的滞留时间,使营养物质得到充分消化吸收^[25-26]。本试验中不同消化酶受载锌沸石的影响不同,同种酶在消化道的不同部位也存在差异性,这可能与不同消化酶和各自底物浓度以及不同部位的pH值等有关,相关作用机制还有待进一步研究。

与对照组比较,添加0.46%载锌沸石能显著提高试验期第4周蛋重;0.34%载锌沸石组可显著提高粗蛋白质和粗脂肪消化率;0.23%载锌沸石组显著提高十二指肠和空肠中蔗糖酶活性。添加含锌量40 mg/kg(0.23%)、60 mg/kg(0.34%)的载锌沸石,鸡蛋品质、蛋鸡养分消化率和消化酶活性即可达到对照组添加80 mg/kg ZnSO₄的水平。综合载锌沸石对鸡蛋品质和蛋鸡养分消化率及消化酶活性的影响,并考虑添加物成本,日粮中添加0.34%载锌沸石(含锌量60 mg/kg)为宜。

参考文献:

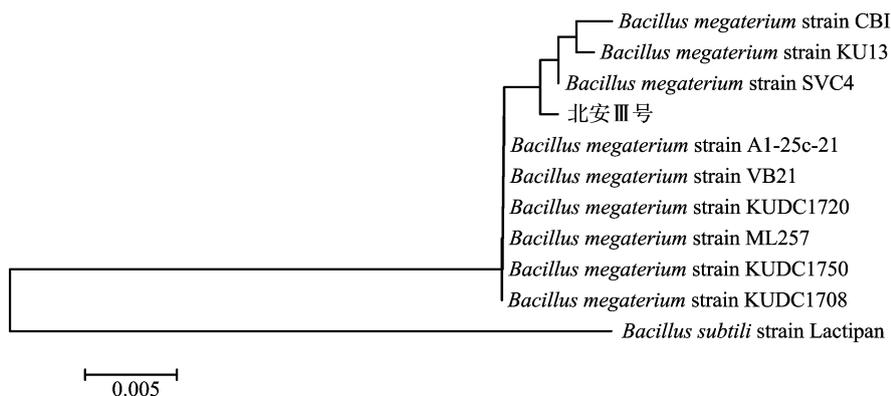
[1] Zamani A, Rahmani H R, Pourreza J. Eggshell quality is improved by excessive dietary zinc and manganese [C]//The 15th European

Symposium on Poultry Nutrition, 2005; 520-522.

- [2] 王希国. 蛋氨酸锌对产蛋后期母鸡生产与非特异免疫性能的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2002; 19-29.
- [3] 张军霞, 李发弟, 郝正里, 等. 饲料粮对蛋鸡生产性能及生殖激素的影响[J]. 青海大学学报:自然科学版, 2007, 25(5): 32-34, 38.
- [4] 王静, 陈静, 谷巍. 日粮添加锌水平对蛋鸡生产性能及蛋锌含量的影响[J]. 云南农业大学学报, 2011, 26(6): 786-789.
- [5] 董晓慧, 韩友文, 周桂莲, 等. 不同锌源生物学效价的研究[J]. 动物营养学报, 2004, 16(3): 20-25.
- [6] 金月. 壳寡糖螯合锌的制备及其营养功能的比较研究[D]. 大连:辽宁师范大学, 2011; 5-11.
- [7] 成廷水. 氨基酸锌对蛋鸡免疫和抗氧化功能的调节作用及其应用研究[D]. 北京:中国农业大学, 2004; 1-18.
- [8] 彭美勋. 天然沸石改型无机抗菌剂及其杀菌乳胶漆漆研制[J]. 非金属矿, 2001, 24(1): 18-19, 36.
- [9] Hu C H, Gu L Y, Luan Z S, et al. Effects of montmorillonite-zinc oxide hybrid on performance, diarrhea, intestinal permeability and morphology of weanling pigs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 177(1/2): 108-115.
- [10] Hu C H, Xiao K, Song J, et al. Effects of Zinc oxide supported on zeolite on growth performance, intestinal microflora and permeability, and cytokines expression of weaned pigs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2013, 181(1/2/3/4): 65-71.
- [11] 章莉娟, 肖士民, 郝俊, 等. 液相离子交换法制备抗菌性沸石[J]. 硅酸盐学报, 1999, 27(3): 380-383.
- [12] 杨宁. 家禽生产学[M]. 北京:中国农业出版社, 2002.
- [13] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2003.
- [14] Robins D S, King N R. Carbonic anhydrase and formation of the hen's egg shell[J]. Nature, 1963, 199: 497-498.
- [15] Amem M M, Al-Daraji H J. Zinc improves egg quality in cobb500 broiler breeder females[J]. International Journal of Poultry Science, 2011, 10(6): 471-476.
- [16] 张亚男, 武书庚, 张海军, 等. 锌添加水平对蛋鸡生产性能和蛋壳品质的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(5): 1093-1098.
- [17] Aliarabi H, Ahmadi A, Siyar S, et al. Effect of different levels and sources of zinc on egg quality and layer performance [C]. Proceedings of the 19th Australian Poultry Science Symposium, 2007; 102-105.
- [18] 周俊华, 张艳超, 李兴芳, 等. 蛋氨酸螯合锌不同添加水平对良凤花肉鸡生产性能、屠宰成绩及饲料养分表观消化代谢率的影响[J]. 广西畜牧兽医, 2011, 27(3): 135-138.
- [19] Hu C H, Qian Z C, Song J, et al. Effects of Zinc oxide-montmorillonite hybrid on growth performance, intestinal structure, and function of broiler chicken [J]. Poultry Science, 2013, 92(1): 143-150.

与巨大芽孢杆菌 (*Bacillus megaterium*) 相似性最高, 为 99%; 系统进化分析结果显示其与 GenBank 中已报道的巨大芽孢

杆菌聚为一支 (图 11), 结合形态特征确认该菌为巨大芽孢杆菌。



以芽孢杆菌属的枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) 作为外群; 北安 III 号在进化树中与巨大芽孢杆菌聚为一支

图 11 基于细菌核糖体 16S rDNA 序列的几株巨大芽孢杆菌的系统发育树

3 结论

利用 PVK 平板对解磷菌进行分离是一种简单有效的手段^[7], 一些菌株 (如芽孢杆菌属) 在其生长过程中可产酸, 将培养基中的磷酸钙溶解产生溶磷圈, 通过分析溶磷圈的大小可对微生物的溶磷能力进行初步估测。本研究中的菌株皆产生了较大的溶磷圈, 说明它们可能具有较强的溶磷潜力。本研究获得的解磷菌既有球菌, 又有杆菌, 但已有研究中分离及初步应用的解磷菌主要是杆菌, 因而本研究重点选择了一种杆菌——北安 III 号进行细菌核糖体 16S rDNA 序列鉴定。结合形态学特点及细菌核糖体 16S rDNA 序列, 确定该菌为巨大芽孢杆菌。该菌是土壤中的重要菌群, 对农作物无害, 且可能具有一些有益生物学作用, 因而该菌株是一种重要的微生物资源, 可进一步开发为生物磷肥。

参考文献:

[1] 李晓婷. 解磷细菌 K3 的 GFP 标记与在土壤中定殖及对玉米生

(上接第 203 页)

[20] 王敏奇, 许梓荣. 饲料中添加锌对仔猪不同组织微量元素沉积的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(5): 90-95.

[21] 方洛云, 邹晓庭, 蒋林树, 等. 不同锌源对断奶仔猪生长性能和消化酶的影响[J]. 中国饲料, 2004(4): 20-22.

[22] Vallee B L, Falchuk K H. The biochemical basis of zinc physiology [J]. Physiological Reviews, 1993, 73(1): 79-118.

[23] Tapiero H, Tew K D. Trace elements in human physiology and

长效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009: 1-5.

[2] Gyaneshwar P, Naresh K G, Parekh L J, et al. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants [J]. Plant and Soil, 2002, 245: 83-93.

[3] Rodríguez H, Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion [J]. Biotechnology Advances, 1999, 17: 319-339.

[4] 万翠番, 章昭琳, 王报贵, 等. 高黏附力双歧杆菌的筛选与鉴定 [J]. 中国乳品工业, 2012(5): 13-15.

[5] Moreno C, Romero J, Romilio T E. Polymorphism in repeated 16S rRNA genes is a common property of type strains and environmental isolates of the genus *Vibrio* [J]. Microbiology, 2002, 148: 1233-1239.

[6] Altschul S F, Madden TL, Chffer A A, et al. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs [J]. Nucleic Acids Res, 1997, 25(17): 3389-3402.

[7] Kucey R M N, Janzen H H, Leggett M E. Microbially mediated increases in plant available phosphorus [J]. Advances in Agronomy, 1989, 42: 199-228.

pathology: zinc and metallothioneins [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2003, 57(9): 399-411.

[24] 高向华, 许并社, 魏丽乔, 等. 银型沸石抗菌剂的制备与性能研究 [J]. 太原理工大学学报, 2008, 39(5): 455-458.

[25] 余佳胜, 张继. 广东沸石饲养肉鸡的效果及机理 (三)——肉鸡料中沸石作用机理初探 [J]. 饲料研究, 1995(11): 8-10.

[26] 杨彩梅, 陈安国. 沸石对黄羽肉鸡的饲用效果及作用机理 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 1999, 25(6): 60-63.