

低蛋白质饲料添加载锌蒙脱石对肉鸡生长性能、免疫器官发育和肠道组织形态的影响

秦士贞 王海波 李金录 马晓东 裴文刚 杨敏敏 武真邑
车育彦 龚莉媛 史兆国*

(甘肃农业大学动物科学技术学院,兰州 730070)

摘要: 本试验旨在研究低蛋白质饲料添加载锌蒙脱石(Zn-MMT)对肉鸡生长性能、免疫器官发育和肠道组织形态的影响。随机选择1日龄健康科宝公雏288只,按体重一致原则随机分成6个组,每组6个重复,每个重复8只鸡。对照组饲喂玉米-豆粕型低蛋白质基础饲料,正对照组[硫酸锌($ZnSO_4$)组]饲喂低蛋白质基础饲料+40 mg/kg $ZnSO_4$,4个试验组分别在低蛋白质基础饲料中添加20、40、60和80 mg/kg Zn-MMT(均以锌含量计算)。试验鸡自由采食和饮水,试验期为42 d。结果表明:1)与对照组和 $ZnSO_4$ 组相比,低蛋白质饲料添加60和80 mg/kg Zn-MMT显著降低肉鸡1~21日龄平均日增重(ADG, $P<0.05$),添加80 mg/kg Zn-MMT显著提高肉鸡1~21日龄料重比(F/G, $P<0.05$);添加Zn-MMT对肉鸡22~42日龄和1~42日龄ADG、平均日采食量和F/G以及1~21日龄ADG无显著影响($P>0.05$)。2)与对照组相比,低蛋白质饲料添加Zn-MMT对肉鸡21和42日龄免疫器官指数无显著影响($P>0.05$);但与 $ZnSO_4$ 组相比,低蛋白质饲料添加Zn-MMT显著提高肉鸡21日龄胸腺指数和法氏囊指数($P<0.05$),且添加80 mg/kg Zn-MMT显著提高肉鸡42日龄胸腺指数($P<0.05$)。3)与对照组相比,低蛋白质饲料添加20和60 mg/kg Zn-MMT显著提高肉鸡42日龄腿比率($P<0.05$);与 $ZnSO_4$ 组相比,低蛋白质饲料添加Zn-MMT对肉鸡屠宰性能无显著影响($P>0.05$)。4)与对照组相比,低蛋白质饲料添加40和60 mg/kg Zn-MMT显著降低肉鸡十二指肠隐窝深度(CD, $P<0.05$),且添加60 mg/kg Zn-MMT显著降低肉鸡空肠CD($P<0.05$);添加20 mg/kg Zn-MMT显著降低肉鸡回肠CD($P<0.05$),并显著提高肉鸡回肠绒毛高度(VH)/CD(V/C)值($P<0.05$);同时,添加80 mg/kg Zn-MMT显著降低肉鸡空肠V/C值($P<0.05$)。与 $ZnSO_4$ 组相比,低蛋白质饲料添加20 mg/kg Zn-MMT显著提高肉鸡回肠V/C值($P<0.05$),并显著降低回肠CD($P<0.05$);添加40 mg/kg Zn-MMT显著提高肉鸡空肠VH($P<0.05$),并显著降低肉鸡十二指肠CD($P<0.05$);添加20和60 mg/kg Zn-MMT显著降低肉鸡空肠CD($P<0.05$);添加20、40和60 mg/kg Zn-MMT显著提高肉鸡空肠V/C值($P<0.05$)。综上所述,在低蛋白质饲料中添加Zn-MMT对肉鸡后期生长性能无显著影响,但与添加 $ZnSO_4$ 相比,可显著提高肉鸡免疫器官指数,提高小肠VH和V/C值,降低小肠CD,促进肉鸡肠道发育。

关键词: 载锌蒙脱石;低蛋白质;肉鸡;生长性能;肠道发育;免疫

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)02-0792-10

收稿日期:2020-07-13

基金项目:国家自然科学基金项目(03119023);甘肃农业大学人才专项经费(2017RCZX-18);甘肃省青年科技基金计划项目(20JR5RA013);甘肃省现代农业产业技术体系猪鸡产业岗位(GARS-ZJ-2)

作者简介:秦士贞(1988—),女,甘肃平川人,讲师,博士,研究方向为家禽分子营养。E-mail: qinshizhen@163.com

*通信作者:史兆国,教授,硕士生导师,E-mail: shizhaoguo@gsau.edu.cn

肉仔鸡具有饲料转化效率高的特点,常规饲养中常通过饲喂高能量、高蛋白质饲料保证仔鸡快速增长,但这同时也造成氮排放过量和蛋白质饲料资源的浪费。为贯彻落实绿色发展理念,建立可持续发展的产业体系,新的团体标准T/CFIAS 002—2018《蛋鸡、肉鸡配合饲料》将肉鸡配合饲料的蛋白质水平降低了1个百分点^[1],倡导高效低蛋白质饲料应用体系。锌作为动物必需的微量元素之一,与机体酶和功能蛋白的组成密切相关,并参与养分、遗传物质的代谢,介导肠道离子转运,促进肠绒毛发育,具有多种重要的功能^[2-3]。但饲料锌源常采用无机锌,其易吸潮结块破坏了饲料中维生素及其他活性营养物质,导致养分利用率低^[4]。黏土可以吸附霉菌毒素和细菌,修复并保护肠膜,增强肠道功能;同时也可以作为营养性饲料添加剂,增强机体免疫功能。动物生产中,通过金属离子对沸石、蒙脱石等黏土矿物改性后,不仅能使微量元素在动物肠道内合理释放,提高微量元素的生物学效率,减少微量元素对环境的污染;而且能聚合大型复合离子、吸收较大的矿物有机分子,并能结合毒素、重金属、细菌和病毒,具有抗菌功能,从而减少肠道损伤,保护肠道健康^[5]。天然或改性蒙脱石能减少黄曲霉毒素 B₁(AFB₁)污染饲料中的霉菌毒素、重金属等在畜产品中残留,并具有抗菌作用,能够提高动物生产性能,改善肠道健康^[6];载钙蒙脱石^[7]、载铜蒙脱石^[8]可显著提高肠道绒毛高度(VH)及绒毛高度/隐窝深度(V/C)值;杨雪^[9]研究表明,载锌沸石替代硫酸锌(ZnSO₄)和抗生素,能提高肉鸡平均日增重(ADG)和平均日采食量(ADFI)。但关于载锌蒙脱石(zinc-montmorillonite, Zn-MMT)作为家禽饲料锌源研究鲜见报道。因此,本试验通过在低蛋白质饲料中添加 Zn-MMT,研究其对肉鸡生长性能、屠宰性能、免疫器官发育和肠道组织形态的影响,为肉鸡生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用载锌蒙脱石经兰州中检科测试技术有限公司检测,锌含量为10 408.80 mg/kg。

1.2 试验设计

采用单因子完全随机试验设计设6个组,对照组饲喂玉米-豆粕型低蛋白质基础饲料,正对照

组(ZnSO₄组)饲喂低蛋白质基础饲料+40 mg/kg ZnSO₄,4个试验组分别在低蛋白质基础饲料中添加20、40、60和80 mg/kg Zn-MMT(均以锌含量计算)。

1.3 试验动物和饲养管理

选择1日龄健康科宝公雏288只,按体重一致原则随机分成6个组,每组6个重复,每个重复8只鸡。试验采用3层笼养,饲养管理和常规免疫按照《科宝肉仔鸡饲养管理手册》进行,采用24 h恒定光照,鸡只自由采食、饮水。试验期为42 d。

1.4 试验饲料

低蛋白质基础饲料参照T/CFIAS 002—2018《蛋鸡、肉鸡配合饲料》和NRC(1994)配制,为玉米-豆粕型粉料,其组成及营养水平见表1。

1.5 指标测定和方法

1.5.1 生长性能

分别于肉鸡21和42日龄,自由饮水下禁食12 h后,以重复为单元对肉鸡空腹称量体重并记录,试验期间以重复为单位,记录每次饲料的添加量和剩余量,计算饲料消耗量和肉鸡死淘数,并计算ADFI、ADG和料重比(F/G)。

表1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

项目 Items	% %	
	1~21日龄 1 to 21 days of age	22~42日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	55.70	58.88
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	4.00	5.80
豆粕 Soybean meal	31.55	25.67
大豆油 Soybean oil	3.60	5.20
石粉 Limestone	1.50	1.20
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.90	1.50
食盐 NaCl	0.30	0.30
蛋氨酸 Met	0.17	0.16
赖氨酸 Lys	0.28	0.29
预混料 Premix ¹⁾	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.48	13.05
粗蛋白质 CP	20.01	18.60
钙 Ca	1.26	1.02
有效磷 AP	0.50	0.41

续表 1

项目 Items	1~21 日龄	22~42 日龄
	1 to 21 days of age	22 to 42 days of age
赖氨酸 Lys	1.25	1.12
蛋氨酸 Met	0.51	0.50
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.88	0.86
锌 Zn/(mg/kg)	27.62	27.08

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 15 200 IU, VD₃ 4 400 IU, VE 32 IU, VK₃ 3.2 mg, VB₁ 4 mg, VB₂ 12 mg, VB₆ 4.8 mg, VB₁₂ 0.032 mg, 生物素 biotin 0.12 mg, 叶酸 folic acid 1.6 mg, 烟酰胺 nicotinamide 48 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 18 mg, Fe(as ferrous sulfate) 100 mg, Cu(as copper sulfate) 8 mg, Mn(as manganese sulfate) 120 mg, I(as calcium iodate) 0.7 mg, Se(as sodium selenite) 0.3 mg。

2) 锌为测定值,其他营养水平为计算值。Zn was a measured value, while the other nutrient levels were calculated values.

1.5.2 免疫器官指数

分别于肉鸡 21 和 42 日龄,每重复随机选取 1 只接近平均体重的肉鸡屠宰,取胸腺、脾脏和法氏囊,剔除表面结缔组织和脂肪后称重,计算免疫器官指数。

免疫器官指数(g/kg) = 器官重量(g)/体重(kg)。

1.5.3 屠宰性能

于肉鸡 42 日龄时,每重复随机选取 1 只接近平均体重的肉鸡,自由饮水下禁食 12 h 后称重并进行屠宰,按 NY/T 823—2004《家禽生产性能名词术语和度量统计方法》^[10]方法测定屠宰性能。

1.5.4 肠道组织形态

于肉鸡 42 日龄时,每重复随机选取 1 只接近平均体重的肉鸡进行屠宰,分离十二指肠、空肠和回肠,选取肠道中段 1~2 cm,用生理盐水清洗肠道食糜后迅速放入 4% 多聚甲醛溶液中保存,并送往武汉塞维尔生物科技有限公司制作切片采用 Motic-BA210 数码显微镜进行对 VH 和隐窝深度(CD)进行测量,并计算 V/C 值。

1.6 数据统计分析

数据经 Excel 2013 处理后,采用 SPSS 26.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA),用 Duncan 氏法进行多重比较,试验结果以“平均值±标准差(SD)”表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡生长性能的影响

低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡生长性能的影响见表 2。由表可知,与对照组相比,低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对 1~21 日龄肉鸡 ADG 和 F/G 有显著影响($P < 0.05$),但对 ADFI 无显著影响($P > 0.05$);低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对 22~42 日龄和 1~42 日龄肉鸡 ADG、ADFI 和 F/G 无显著影响($P > 0.05$)。与对照组和 ZnSO₄ 组相比,低蛋白质饲料添加 60 和 80 mg/kg Zn-MMT 显著降低 1~21 日龄肉鸡 ADG ($P < 0.05$),添加 80 mg/kg Zn-MMT 显著提高 1~21 日龄肉鸡 F/G ($P < 0.05$)。

表 2 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of low protein diet supplemented with Zn-MMT on growth performance of broilers

项目 Items	对照组 Control group	Zn-MMT 添加量 Zn-MMT supplemental levels/(mg/kg)				ZnSO ₄ 组 ZnSO ₄ group	P 值 P-value
		20	40	60	80		
1~21 日龄 1 to 21 days of age							
平均日增重 ADG/(g/d)	31.33±2.04 ^a	30.31±2.17 ^a	30.50±2.94 ^a	28.14±5.09 ^b	28.69±2.59 ^b	31.80±2.56 ^a	<0.001
平均日采食量 ADFI/(g/d)	43.42±2.25	41.62±2.91	42.68±4.62	39.63±2.57	43.69±3.20	42.37±3.02	0.294
料重比 F/G	1.39±0.12 ^b	1.38±0.13 ^b	1.40±0.18 ^b	1.38±0.17 ^b	1.55±0.20 ^a	1.34±0.13 ^b	<0.001
22~42 日龄 22 to 42 days of age							
平均日增重 ADG/(g/d)	73.13±8.06	71.67±7.50	72.79±8.48	72.04±9.35	69.40±8.98	70.65±7.02	0.100
平均日采食量 ADFI/(g/d)	141.14±4.91	141.19±11.05	144.84±6.58	145.52±6.24	136.72±7.48	143.42±6.64	0.433

续表 2

项目 Items	对照组 Control group	Zn-MMT 添加量 Zn-MMT supplemental levels/(mg/kg)				ZnSO ₄ 组 ZnSO ₄ group	P 值 P-value
		20	40	60	80		
料重比 F/G	1.93±0.22	1.97±0.20	1.99±0.22	2.02±0.24	1.97±0.31	2.03±0.17	0.619
1~42 日龄 1 to 42 days of age							
平均日增重 ADG/(g/d)	52.22±3.92	51.05±4.11	51.80±4.64	50.44±4.95	49.03±4.80	51.24±3.69	0.520
平均日采食量 ADFI/(g/d)	93.47±1.96	92.40±6.98	94.80±5.90	93.31±2.29	92.67±2.86	93.77±4.94	0.900
料重比 F/G	1.79±0.14	1.81±0.14	1.83±0.17	1.85±0.17	1.89±0.22	1.83±0.11	0.382

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 letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡免疫器官指数的影响

低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡免疫器官指数的影响见表 3。由表可知,与对照组相比,低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对 21 和 42 日龄肉鸡免疫器官指数无显著影响 ($P>0.05$), ZnSO₄ 组 21 日

龄肉鸡胸腺指数和法氏囊指数显著降低 ($P<0.05$); 与 ZnSO₄ 组相比, 试验组 (Zn-MMT 添加组) 21 日龄肉鸡胸腺指数和法氏囊指数显著提高 ($P<0.05$), 低蛋白质饲料添加 80 mg/kg Zn-MMT 可显著提高 42 日龄肉鸡胸腺指数 ($P<0.05$)。

表 3 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡免疫器官指数的影响

Table 3 Effects of low protein diet supplemented with Zn-MMT on immune organ indexes of broilers g/kg

项目 Items	对照组 Control group	Zn-MMT 添加量 Zn-MMT supplemental levels/(mg/kg)				ZnSO ₄ 组 ZnSO ₄ group	P 值 P-value
		20	40	60	80		
21 日龄 21 days of age							
胸腺指数 Thymus index	6.95±0.13 ^{ab}	7.44±0.27 ^a	6.14±0.22 ^b	6.65±0.63 ^{ab}	6.36±0.21 ^b	4.94±0.28 ^c	<0.001
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	2.92±0.18 ^a	2.56±0.16 ^a	2.96±0.18 ^a	2.99±0.46 ^a	2.63±0.20 ^a	1.91±0.17 ^b	0.008
脾脏指数 Spleen index	0.79±0.26	0.74±0.03	0.60±0.05	0.65±0.02	0.65±0.10	0.67±0.07	0.091
42 日龄 42 days of age							
胸腺指数 Thymus index	4.89±0.60 ^{ab}	5.42±0.77 ^{ab}	4.47±0.66 ^b	5.13±1.26 ^{ab}	6.16±1.57 ^a	3.94±0.17 ^b	0.040
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	1.47±0.42	1.93±0.63	1.94±0.56	1.77±0.46	1.79±0.44	1.87±0.23	0.693
脾脏指数 Spleen index	0.99±0.20	0.84±0.18	1.02±0.49	0.93±0.77	1.05±0.16	1.08±0.15	0.759

2.3 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡屠宰性能的影响

低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡屠宰性能的影响见表 4。由表可知,与对照组相比,低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡腿比率有显著影响 ($P<0.05$), 但对屠宰率、半净膛率、全净膛率、腹脂

率、胸肌率和腿肌率无显著影响 ($P<0.05$)。与对照组相比,低蛋白质饲料添加 20 和 60 mg/kg Zn-MMT 显著提高 42 日龄肉鸡腿比率 ($P>0.05$); 但与 ZnSO₄ 组相比, 试验组 42 日龄肉鸡腿比率无显著变化 ($P>0.05$)。

表4 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡屠宰性能的影响

Table 4 Effects of low protein diet supplemented with Zn-MMT on slaughter performance of broilers %

项目 Items	对照组 Control group	Zn-MMT 添加量 Zn-MMT supplemental levels/(mg/kg)				ZnSO ₄ 组 ZnSO ₄ group	P 值 P-value
		20	40	60	80		
屠宰率 Slaughter percentage	93.05±0.95	91.90±2.43	94.39±1.43	92.87±0.57	92.79±0.72	93.35±0.39	0.059
半净膛率 Half-eviscerated percentage	84.27±1.16	82.49±3.36	84.24±1.71	82.42±3.51	81.40±1.05	83.83±0.91	0.173
全净膛率 Eviscerated percentage	75.35±2.38	72.84±3.40	74.83±1.62	71.89±3.23	72.23±1.23	73.28±1.66	0.099
腹脂率 Abdominal fat percentage	1.80±0.40	1.41±0.35	1.59±0.40	1.51±0.41	1.29±0.42	1.35±0.34	0.257
胸肌率 Pectoral muscle percentage	30.65±1.24	30.44±1.28	32.38±2.33	32.13±3.60	32.44±3.29	33.15±2.13	0.362
腿比率 Leg percentage	30.53±1.09 ^b	32.96±1.87 ^a	30.71±1.64 ^b	32.95±1.13 ^a	30.95±2.21 ^{ab}	31.12±1.31 ^{ab}	0.028
腿肌率 Leg muscle percentage	24.90±0.60	26.44±1.42	24.79±1.83	26.30±1.91	25.04±2.28	25.20±1.74	0.385

2.4 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡肠道组织形态的影响

低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡肠道组织形态的影响见表 5。由表可知,与对照组相比,低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 显著影响肉鸡空肠 VH 和十二指肠、空肠、回肠 CD 以及空肠和回肠 V/C 值 ($P<0.05$),对十二指肠和回肠 VH 及十二指肠 V/C 值无显著影响 ($P>0.05$)。与对照组相比,低蛋白质饲料添加 20 和 80 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡空肠 VH ($P<0.05$);与 ZnSO₄ 组相比,低蛋白质饲料添加 40 mg/kg Zn-MMT 显著提高肉鸡空肠 VH ($P<0.05$),但与对照组相比无显著差异 ($P>0.05$)。与对照组相比,低蛋白质饲料添加 40 和 60 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡十二指肠 CD ($P<0.05$),添加 60 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡空肠 CD ($P<0.05$),添加 20 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡回肠 CD ($P<0.05$);与 ZnSO₄ 组相比,低蛋白质饲料添加 40 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡十二指肠 CD,添加 20 和 60 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡空肠 CD ($P<0.05$),添加 20 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡回肠 CD ($P<0.05$)。与对照组相比,试验组肉鸡十二指肠 V/C 值无显著变化 ($P>0.05$),但从数据来看,添加 40 和 60 mg/kg

Zn-MMT 有提高十二指肠 V/C 值的趋势;低蛋白质饲料添加 80 mg/kg Zn-MMT 和 40 mg/kg ZnSO₄ 显著降低肉鸡空肠 V/C 值 ($P<0.05$),添加 20 mg/kg Zn-MMT 显著提高肉鸡回肠 V/C 值 ($P<0.05$),添加 80 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡回肠 V/C 值 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡生长性能的影响

饲料添加一定量的载锌非金属矿物质如 Zn-MMT、载锌凹凸棒石和载锌沸石等,可作为一种离子型无机抗菌剂,能够改善动物肠道环境,促进动物生长^[11]。罗有文^[12]研究表明,饲料添加载锌凹凸棒石能显著提高肉鸡体增重。Hu 等^[13]研究表明,饲料添加氧化锌蒙脱石相比天然蒙脱石和 ZnSO₄ 可显著提高肉鸡 ADG。Hu 等^[11]还研究表明,氧化锌蒙脱石还可促进仔猪生长,提高仔猪生产性能。本试验结果表明,与对照组相比,在低蛋白质饲料中添加 20 和 40 mg/kg Zn-MMT 或 ZnSO₄ 对肉鸡 ADG、ADFI 和 F/G 均无显著影响。这与上述报道结果不一致,可能与所用的添加剂材料不同有关。同时本试验发现,与对照组相比,

当 Zn-MMT 添加量达到 60 和 80 mg/kg 时,可显著降低 1~21 日龄肉鸡 ADG,添加 80 mg/kg Zn-MMT 可显著提高 1~21 日龄肉鸡 F/G,这可能与蒙脱石特殊的结构和理化特性有关。对于前期肠道系统尚未发育完整、消化酶分泌不足^[14-15]的雏鸡来说,Zn-MMT 的添加超过一定剂量时,能在

肠道中黏结聚合大型复合离子、吸附有害物质的同时吸附其他矿物有机分子等营养物质,进而影响养分的吸收^[16]。本试验还发现,低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡后期生长性能无显著影响,其原因有待进一步研究。

表 5 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡肠道组织形态的影响

Table 5 Effects of low protein diet supplemented with Zn-MMT on intestinal tissue morphology of broilers

项目 Items	对照组 Control group	Zn-MMT 添加量 Zn-MMT supplemental levels/(mg/kg)				ZnSO ₄ 组 ZnSO ₄ group	P 值 P-value	
		20	40	60	80			
十二指肠 Duodenum	绒毛高度 VH/ μm	1 510.73 ± 271.69	1 411.69 ± 204.71	1 265.90 ± 249.23	1 449.73 ± 246.19	1 346.66 ± 249.38	1 220.50 ± 322.24	0.058
	隐窝深度 CD/ μm	168.26 $\pm 26.12^{\text{ab}}$	168.27 $\pm 31.49^{\text{ab}}$	125.72 $\pm 15.77^{\text{d}}$	143.33 $\pm 20.88^{\text{cd}}$	176.98 $\pm 25.70^{\text{a}}$	151.71 $\pm 20.30^{\text{bc}}$	<0.001
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	9.14 $\pm 1.35^{\text{ab}}$	8.74 $\pm 1.84^{\text{b}}$	10.28 $\pm 2.02^{\text{a}}$	10.27 $\pm 1.31^{\text{a}}$	7.91 $\pm 1.94^{\text{b}}$	8.18 $\pm 1.69^{\text{b}}$	0.005
	绒毛高度 VH/ μm	1 318.45 $\pm 201.51^{\text{a}}$	1 076.79 $\pm 167.40^{\text{bc}}$	1 277.69 $\pm 117.76^{\text{a}}$	1 180.01 $\pm 258.85^{\text{ab}}$	942.71 $\pm 205.61^{\text{c}}$	1 104.70 $\pm 177.55^{\text{bc}}$	<0.001
空肠 Jejunum	隐窝深度 CD/ μm	146.60 $\pm 16.83^{\text{ab}}$	126.05 $\pm 19.94^{\text{bc}}$	134.04 $\pm 14.60^{\text{abc}}$	122.64 $\pm 16.48^{\text{c}}$	136.21 $\pm 39.24^{\text{abc}}$	154.93 $\pm 28.23^{\text{a}}$	0.010
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	9.28 $\pm 2.01^{\text{a}}$	8.91 $\pm 1.56^{\text{a}}$	9.68 $\pm 1.01^{\text{a}}$	9.77 $\pm 1.71^{\text{a}}$	7.34 $\pm 1.65^{\text{b}}$	7.42 $\pm 1.40^{\text{b}}$	<0.001
	绒毛高度 VH/ μm	723.24 ± 97.76	724.74 ± 137.23	623.44 ± 56.60	666.43 ± 135.57	633.39 ± 119.08	668.27 ± 121.77	0.134
	隐窝深度 CD/ μm	118.67 $\pm 15.96^{\text{ab}}$	97.32 $\pm 13.80^{\text{c}}$	108.34 $\pm 10.70^{\text{bc}}$	122.69 $\pm 16.45^{\text{ab}}$	130.80 $\pm 25.21^{\text{a}}$	121.21 $\pm 29.88^{\text{ab}}$	<0.001
回肠 Ileum	绒毛高度/隐窝深度 V/C	6.29 $\pm 1.05^{\text{b}}$	7.54 $\pm 1.02^{\text{a}}$	5.86 $\pm 0.59^{\text{bc}}$	5.61 $\pm 1.37^{\text{bc}}$	5.03 $\pm 0.86^{\text{c}}$	5.87 $\pm 0.93^{\text{bc}}$	<0.001

3.2 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡免疫器官指数的影响

免疫器官的生长发育直接决定着畜禽的免疫水平,锌作为第一限制性微量元素,对于动物的器官发育至关重要,在金属酶的结构和催化作用中参与细胞代谢和功能,保证免疫系统的完整性,维持免疫功能^[17-18]。Qin 等^[2]研究表明,饲料添加不同水平 ZnSO₄ 对 21 和 42 日龄肉鸡胸腺、法氏囊和脾脏指数无显著影响。饲料添加改性蒙脱石能改善 AFB₁ 污染饲料引起的肉鸡免疫功能下降^[6],提高 17 和 21 日龄肉鸡胸腺指数^[19],显著提高肉鸭脾脏和胸腺指数^[7]。本试验结果表明,与对照组相比,ZnSO₄ 组 21 日龄肉鸡胸腺指数和法氏囊指数显著降低,但添加 Zn-MMT 相比添加 ZnSO₄ 可以显著提高 21 日龄肉鸡胸腺指数和法氏囊指数。造成这一结果的具体原因尚不清楚,可

能与 ZnSO₄ 与 Zn-MMT 的吸收机制存在差异有关,这有待进一步研究。

3.3 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡屠宰性能的影响

张辉华等^[20]研究表明,饲料能量与蛋白质水平对黄羽肉鸡全净膛率、半净膛率、胸肌率和腿肌率无显著影响。Qin 等^[2]研究表明,饲料中不同水平的锌对肉鸡活重、屠宰率、腹脂率、胸肌率和腿肌率均无显著影响。王芳^[6]研究表明,天然和改性蒙脱石对肉鸡胴体参数无显著影响。本试验结果表明,与对照组相比,除添加 20 和 60 mg/kg Zn-MMT 显著提高 42 日龄肉鸡腿比率外,低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡屠宰性能无显著影响。原因在于黏土矿物对胴体重促进效果不显著,而黏土在动物生产中主要用来吸附霉菌毒素、重金属、细菌和病毒,预防腹泻和动物疾病发生^[21]。

3.4 低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡肠道组织形态的影响

锌参与多种酶的重要组成部分,与肠道发育密切相关。肠道作为动物主要消化吸收器官,其中肠道 VH、CD 及其二者比值是反映肠道结构完整性的重要指标^[22-23],当内、外源性细菌、病毒侵入时,肠道屏障保护动物机体免受损伤。刘攀等^[24]研究表明,降低饲料粗蛋白质水平对蛋鸡十二指肠形态无显著影响,但显著降低空肠 V/C 值。李宗锐^[25]研究表明,饲料粗蛋白质水平降低 2 个百分点可显著降低 42 日龄肉鸡十二指肠和空肠 VH 和 V/C 值。ZnSO₄ 和甘氨酸锌能显著提高肉鸡肠道 VH^[26],载铜蒙脱石能显著提高肉鸡空肠 VH 和 V/C 值^[8],载钙蒙脱石可缓解 AFB₁ 诱发的肉鸭肠黏膜损伤,提高肠道 VH 和 V/C 值^[7]。唐志刚^[27]研究表明,载锌沸石替代 ZnSO₄ 能提高肉鸡肠道 VH 和 V/C 值。本试验结果表明,相比添加 ZnSO₄,低蛋白质饲料添加 40 mg/kg Zn-MMT 显著提高肉鸡空肠 VH,添加 40 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡十二指肠 CD,添加 20 和 60 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡空肠 CD,添加 20 mg/kg Zn-MMT 显著降低肉鸡回肠 CD,并显著提高肉鸡回肠 V/C 值,同时添加 20、40 和 60 mg/kg Zn-MMT 显著提高肉鸡空肠 V/C 值,这与唐志刚^[27]研究结果相似。原因可能是蒙脱石或沸石-氧化锌复合物能维持黏膜功能,维持肉鸡肠道结构完整性^[13],而 Zn-MMT 可能具有相似的功能,可利用锌和蒙脱石两者的协同效应吸附肠道有害菌、病毒及霉菌毒素等,改善肠道形态结构,保护肠黏膜,促进肠道发育。

4 结 论

低蛋白质饲料添加 Zn-MMT 对肉鸡后期生长性能无显著影响,但与添加 ZnSO₄ 相比,可显著提高肉鸡免疫器官指数,提高小肠 VH 和 V/C 值,降低 CD,促进肉鸡肠道发育。

参考文献:

[1] 冯倩倩,武书庚,齐广海,等.肉仔鸡低蛋白质饲料的研究进展[J].动物营养学报,2020,32(9):4010-4019.
FENG Q Q, WU S G, QI G H, et al. Advances on study of low protein diets in broilers[J]. Chinese Jour-

nal of Animal Nutrition, 2020, 32(9):4010-4019. (in Chinese)

[2] QIN S Z, ZHANG L Y, MA F, et al. Dietary zinc and growth, carcass characteristics, immune responses, and serum biochemistry of broilers[J]. Animal Production Science, 2020, 60(6):815-822.

[3] SHAO Y X, LEI Z, YUAN J M, et al. Effect of zinc on growth performance, gut morphometry, and cecal microbial community in broilers challenged with *Salmonella enterica* serovar typhimurium[J]. Journal of Microbiology, 2014, 52(12):1002-1011.

[4] TANG Z G, WEN C, LI P, et al. Effect of zinc-bearing zeolite clinoptilolite on growth performance, nutrient retention, digestive enzyme activities, and intestinal function of broiler chickens[J]. Biological Trace Element Research, 2014, 158(1):51-57.

[5] SZAJEWSKA H, DZIECHCIARZ P, MRUKOWICZ J. Meta-analysis: smectite in the treatment of acute infectious diarrhoea in children[J]. Alimentary pharmacology and Therapeutics, 2010, 23(2):217-227.

[6] 王芳.蒙脱石对采食含霉变花生粕饲料的肉仔鸡生产性能及健康的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2016.
WANG F. Effects of montmorillonite fed diets mouldy peanut meal on production performance and health in broilers[D]. Master's Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016. (in Chinese)

[7] WAN X L, YANG Z B, YANG W R, et al. Toxicity of increasing aflatoxin B1 concentrations from contaminated corn with or without clay adsorbent supplementation in ducklings[J]. Poultry Science, 2013, 92(5):1244-1253.

[8] XIA M S, HU C H, XU Z R. Effects of copper-bearing montmorillonite on growth performance, digestive enzyme activities, and intestinal microflora and morphology of male broilers[J]. Poultry Science, 2004, 83(11):1868-1875.

[9] 杨雪.载锌凹凸棒石黏土与载锌沸石在肉鸡饲料中的应用研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2015:37-43.
YANG X. Application of zinc-bearing attapulgite and zinc-bearing clinoptilolite in broiler feed[D]. Master's Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015:37-43. (in Chinese)

[10] 中华人民共和国农业部. NY/T 823—2004 家禽生产性能名词术语和度量统计方法[S].北京:中华人民共和国农业部,2004.

- The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 823—2004 Performance forms and measurement for poultry [S]. Beijing: The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2004. (in Chinese)
- [11] 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.
- [12] 罗有文. 载 Zn²⁺凹凸棒石黏土对肉鸡的抗菌性和免疫功能的调节作用及相关机理研究 [D]. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2007: 55–65.
LUO Y W. Study of the effects of zinc-bearing at-pulgite on anti-bacterial capacity and immunity regulation of broilers and its relative mechanism [D]. Master's Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007: 55–65. (in Chinese)
- [13] 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.
- [14] GEYRA A, UNI Z, SKLAN D. Enterocyte dynamics and mucosal development in the posthatch chick [J]. *Poultry Science*, 2001, 80(6): 776–782.
- [15] 张晓峰, 边传周. 小肽对家禽肠道生理功能的影响 [J]. *动物医学进展*, 2012, 33(5): 112–114.
ZHANG X F, BIAN C Z. Effects of small peptides on intestinal physiological function of poultry [J]. *Progress in Veterinary Medicine*, 2012, 33(5): 112–114. (in Chinese)
- [16] SHARIATMADARI F. The application of zeolite in poultry production [J]. *World's Poultry Science Journal*, 2008, 64(1): 76–84.
- [17] 王明发, 李万利, 王浩宇, 等. 饲料中添加不同锌源及锌水平对固始鸡和 AA 肉鸡免疫功能的影响研究 [J]. *畜牧与兽医*, 2016, 48(1): 25–33.
WANG M F, LI W L, WANG H Y, et al. Effects of addition of zinc sources and levels in the feed on immune function in *Gushi* chicken and AA broilers [J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2016, 48(1): 25–33. (in Chinese)
- [18] MAARES M, HAASE H. Zinc and immunity: an essential interrelation [J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2016, 611: 58–65.
- [19] 杨伟伟. 改性蒙脱石对饲喂霉菌毒素污染日粮的肉鸡感染魏氏梭菌性肠炎保护作用的研究 [D]. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学, 2017: 26–34.
- YANG W W. The study on the protective effect of modified montmorillonite on the infection of the chicken infected with *Wei's Clostridium* [D]. Master's Thesis. Taian: Shandong Agricultural University, 2017: 26–34. (in Chinese)
- [20] 张辉华, 邹胜龙, 陈晓生. 日粮能量与蛋白水平对肉鸡生长和胴体品质的影响 [J]. *饲料研究*, 2010(9): 5–7.
ZHANG H H, ZOU S L, CHEN X S. Effects of dietary energy and protein levels on growth and carcass quality of broiler chickens [J]. *Feed Research*, 2010(9): 5–7. (in Chinese)
- [21] 吴秋珏, 吴亚男, 田金可, 等. 斜发沸石对肉鸡肠道抗氧化功能、脂肪沉积与肉品质的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2013, 44(1): 57–65.
WU Q J, WU Y N, TIAN J K, et al. Effects of clinoptilolite on antioxidation performance of gut, fat deposition and meat quality of broilers [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2013, 44(1): 57–65. (in Chinese)
- [22] 周洪彬, 魏景坤, 刘洋, 等. 植物精油对肉仔鸡生长性能、免疫功能及肠道发育的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32(8): 3887–3895.
ZHOU H B, WEI J K, LIU Y, et al. Effects of plant essential oil on growth performance, immune function and intestinal development of broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(8): 3887–3895. (in Chinese)
- [23] CHAMORRO S, ROMERO C, BRENES A, et al. Impact of a sustained consumption of grape extract on digestion, gut microbial metabolism and intestinal barrier in broiler chickens [J]. *Food & Function*, 2019, 10(3): 1444–1454.
- [24] 刘攀, 王建萍, 白世平, 等. 不同营养水平饲料添加大豆酶解蛋白对蛋鸡生产性能、蛋品质、养分表观利用率及肠道形态的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(3): 1127–1137.
LIU P, WANG J P, BAI S P, et al. Effects of different nutrient level diets supplemented with enzymolytic soybean meal on performance, egg quality, nutrient apparent availability and intestinal morphology of laying hens [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(3): 1127–1137. (in Chinese)
- [25] 李宗锐. 不同蛋白质水平饲料添加蛋白酶对肉鸡生产性能和消化生理的影响 [D]. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2015: 35–36.

- LI Z R. Effect of adding protease in different protein levels diets on performance and digestive physiology of broilers[D]. Master's Thesis. Ya'an; Sichuan Agricultural University, 2015; 35-36. (in Chinese)
- [26] BOBÍKOVÁ K, LEVKUT M, Jr, HUSÁKOVÁ E, et al. Effect of glycine-zinc complex on mucin and IgA expression, secretory IgA concentration and lengths of intestinal villi in chickens[J]. *Journal of Comparative Pathology*, 2016, 154(1): 81.
- [27] 唐志刚. 载锌沸石在肉鸡中的生物学效应及对肠道保护作用研究[D]. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2014; 81-91.
- TANG Z G. Bioavailability of zinc-bearing zeolite clinoptilolite and its protection of intestinal function in broilers[D]. Ph.D. Thesis. Nanjing; Nanjing Agricultural University, 2014; 81-91. (in Chinese)

Effects of Low Protein Diet Supplemented with Zinc-Montmorillonite on Growth Performance, Immune Organ Development and Intestinal Tissue Morphology of Broilers

QIN Shizhen WANG Haibo LI Jinlu MA Xiaodong PAI Wengang YANG Minmin
WU Zhenyi CHE Yuyan GONG Liyuan SHI Zhaoguo*

(College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of low protein diet supplemented with zinc-montmorillonite (Zn-MMT) on growth performance, immune organ development and intestinal tissue morphology of broilers. A total of two hundred and eighty-eight 1-day-old male Cobb broilers with similar body weight were randomly assigned into 6 groups with 6 replicates per group and 8 broilers per replicate. The broilers in the control group were fed a corn-soybean meal type low protein basal diet, those in the positive control group [zinc sulfate ($ZnSO_4$) group] were fed the basal diet supplemented with 40 mg/kg $ZnSO_4$, and those in the four experimental groups were fed the basal diets supplemented with 20, 40, 60 and 80 Zn-MMT (in terms of zinc content), respectively. The chickens were free to feed and drink, and the experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) compared with the control group and $ZnSO_4$ group, low protein diets supplemented with 60 and 80 mg/kg Zn-MMT significantly reduced the average daily gain (ADG) of broilers from 1 to 21 days of age ($P < 0.05$), and dietary 80 mg/kg Zn-MMT significantly increased the feed to gain ratio (F/G) of broilers from 1 to 21 days of age ($P < 0.05$). Dietary Zn-MMT had no significant effects on the ADG, average daily feed intake and F/G of broilers from 22 to 42 and 1 to 42 days of age as well as the ADG of broilers from 1 to 21 days of age ($P > 0.05$). 2) Compared with the control group, low protein diets supplemented with Zn-MMT had no significant effects on immune organ index of broilers at 21 and 42 days of age ($P > 0.05$). While compared with the $ZnSO_4$ group, low protein diets supplemented with Zn-MMT significantly increased the thymus index and bursa of Fabricius index of broilers at 21 days of age ($P < 0.05$), and dietary 80 mg/kg Zn-MMT significantly increased the thymus index of broilers at 42 days of age ($P < 0.05$). 3) Compared with the control group, low protein diets supplemented with 20 and 60 mg/kg Zn-MMT significantly increased the leg percentage of broilers at 42 days of age ($P < 0.05$), however, compared with the $ZnSO_4$ group, low protein diets supplemented with Zn-MMT had no significant effects on slaughter performance of broilers at 42 days of age ($P > 0.05$). 4) Compared with the control group, low protein diets supplemented with 40 and 60 mg/kg Zn-MMT significantly reduced the crypt depth (CD) in duode-

num of broilers ($P<0.05$), and dietary 60 mg/kg Zn-MMT significantly reduced the CD in jejunum of broilers ($P<0.05$); dietary 20 mg/kg Zn-MMT significantly reduced the CD in ileum of broilers and significantly increased the ratio of villus height (VH) to CD (V/C) in ileum of broilers ($P<0.05$); meanwhile, dietary 80 mg/kg Zn-MMT significantly reduced the V/C in jejunum of broilers ($P<0.05$). Compared with the Zn-SO₄ group, low protein diet supplemented with 20 mg/kg Zn-MMT significantly increased the V/C in ileum of broilers and significantly decreased the CD in ileum of broilers ($P<0.05$); dietary 40 mg/kg Zn-MMT significantly increased the VH in jejunum of broilers and significantly reduced the CD in duodenum of broilers ($P<0.05$); dietary 20 and 60 mg/kg Zn-MMT significantly reduced the CD in jejunum of broilers ($P<0.05$); at the same time, dietary 20, 40 and 60 mg/kg Zn-MMT significantly increased the V/C in jejunum of broilers ($P<0.05$). To sum up, low protein diets supplemented with Zn-MMT have no significant effect on the growth performance of broilers in later growth stage, but compared to the ZnSO₄ supplementation, dietary Zn-MMT can significantly increase the small intestinal VH and V/C, decrease the small intestinal CD, and promote the intestine development of broilers. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2):792-801]

Key words: znic-montmorillonite; low protein; broilers; growth performance; intestine development; immune