

# 饲料添加豌豆和复合酶制剂对肉仔鸡生长性能、养分利用及肠道发育的影响

刘雪<sup>1</sup> 王璇<sup>1</sup> 唐德富<sup>1</sup> 杜宝龙<sup>1</sup> 年芳<sup>1,2\*</sup>

(1.甘肃农业大学动物科学技术学院,兰州 730070;2.甘肃农业大学理学院,兰州 730070)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料中添加不同水平豌豆和复合酶制剂对肉仔鸡生长性能、养分利用及肠道发育的影响。采用 5×2 析因试验设计, A 因子为豌豆添加水平 (A1:0、A2:10%、A3:20%、A4:30%、A5:40%), B 因子为复合酶制剂添加水平 (B1:0 U/kg 淀粉酶和 0 U/kg 蛋白酶、B2:750 U/kg 淀粉酶和 60 U/kg 蛋白酶)。选择体重相近的 1 日龄爱拔益加 (AA) 肉仔鸡 960 只, 随机分为 10 个组, 分别为 A1B1 组、A1B2 组、A2B1 组、A2B2 组、A3B1 组、A3B2 组、A4B1 组、A4B2 组、A5B1 组和 A5B2 组, 每组 8 个重复, 每个重复 12 只鸡 (公母各占 1/2)。试验期 42 d。结果表明: 1) 豌豆添加水平对肉仔鸡的平均日采食量 (ADFI) 无显著影响 ( $P>0.05$ ), 对平均日增重 (ADG) 和料重比 (F/G) 有显著影响 ( $P<0.05$ ); 饲料中添加 10% 和 20% 豌豆对 F/G 无显著影响 ( $P>0.05$ ), 当豌豆添加水平为 30% 和 40% 时 ADG 显著降低 ( $P<0.05$ ), F/G 显著增加 ( $P<0.05$ )。复合酶制剂添加水平及豌豆和复合酶制剂添加水平的交互作用对肉仔鸡的生长性能均无显著影响 ( $P>0.05$ )。2) 豌豆添加水平对肉仔鸡的干物质、粗蛋白质、能量、钙和磷利用率有显著影响 ( $P<0.05$ ); 饲料中添加 10% 和 20% 豌豆对能量和磷利用率无显著影响 ( $P>0.05$ )。复合酶制剂添加水平对肉仔鸡的养分利用率无显著影响 ( $P>0.05$ ); 豌豆和复合酶制剂添加水平对粗蛋白质、钙和磷利用率有显著交互作用 ( $P<0.05$ )。3) 饲料中添加 40% 豌豆显著增加肉仔鸡的空肠长度 ( $P<0.05$ ), 750 U/kg 淀粉酶和 60 U/kg 蛋白酶复合酶制剂添加水平显著增加盲肠重量 ( $P<0.05$ ), 有提高盲肠质量指数的趋势 ( $0.05\leq P<0.10$ ); 豌豆和复合酶制剂添加水平对肠道发育无显著交互作用 ( $P>0.05$ )。综上所述, 饲料中添加 10% 和 20% 豌豆对肉仔鸡的生长性能和养分利用率无不利影响, 并可促进空肠及全肠道发育; 饲料中添加 30% 和 40% 豌豆显著降低肉仔鸡的生长性能及养分利用率。因此可在肉仔鸡饲料中添加不超过 20% 的豌豆替代玉米和豆粕。

**关键词:** 豌豆; 酶; 肉仔鸡; 生长性能; 养分利用; 肠道发育

中图分类号: S831

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)09-4429-12

饲料蛋白质资源紧缺问题限制了畜牧业的发展, 植物蛋白质来源用于畜禽饲料的需求一直在增加。寻找和储备非常规饲料原料, 推动了对豌豆、蚕豆、油籽等替代植物蛋白质来源的研究。豌

豆的粗蛋白质含量为 20%~24%<sup>[1]</sup>, 淀粉含量为 48%~54%<sup>[2]</sup>。我国的豌豆资源丰富, 种植面积和总产量仅次于加拿大, 居世界第二<sup>[3]</sup>。由于豌豆具有较高的营养价值和丰富的资源, 使其成为一

收稿日期: 2020-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31702131, 31660664); 甘肃省教育厅高等学校科研项目 (2018A-041); 甘肃省现代农业产业技术体系 (GARS-ZJ-3); 甘肃农业大学学科建设开放课题 (GAU-XKGS-2018-07)

作者简介: 刘雪 (1994—), 女, 江苏徐州人, 硕士研究生, 从事动物营养与饲料研究。E-mail: 1771375278@qq.com

\* 通信作者: 年芳, 教授, 硕士生导师, E-mail: nianf@gsau.edu.cn



续表 1

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age					22~42 日龄 22 to 42 days of age				
	豌豆添加水平 Pea supplemental levels					豌豆添加水平 Pea supplemental levels				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>										
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.14	12.14	12.14	12.14	12.14	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
粗蛋白质 CP	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
钙 Ca	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.90
总磷 TP	0.60	0.59	0.58	0.56	0.55	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53
有效磷 AP	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34
赖氨酸 Lys	1.33	1.36	1.39	1.42	1.46	1.21	1.24	1.27	1.31	1.34
蛋氨酸 Met	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.94	0.90	0.86	0.82	0.78	0.88	0.84	0.80	0.76	0.72
苏氨酸 Thr	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60
色氨酸 Try	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17

1) 预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kg of diets: 1~21 日龄 1 to 21 days of age, 抗氧化剂 antioxidant 200 mg, Cu (as copper sulfate) 12.8 mg, Fe (as ferrous sulfate) 113.7 mg, Mn (as manganese sulfate) 119.7 mg, Zn (as zinc sulfate) 99.6 mg, I (as potassium iodide) 0.7 mg, Se (as sodium selenite) 0.3 mg, VA 12 000 IU, VD<sub>3</sub> 3 500 IU, VE 44.7 IU, VB<sub>1</sub> 2 mg, VB<sub>2</sub> 6 mg, VB<sub>6</sub> 5 mg, VB<sub>12</sub> 0.2 mg, 生物素 biotin 0.1 mg, 烟酸 niacin 50 mg, VK<sub>3</sub> 2 mg, 泛酸 pantothenic acid 12 mg, 叶酸 folic acid 2 mg; 22~42 日龄 22 to 42 days of age, 抗氧化剂 antioxidant 200 mg, Cu (as copper sulfate) 13.0 mg, Fe (as ferrous sulfate) 90.9 mg, Mn (as manganese sulfate) 99.4 mg, Zn (as zinc sulfate) 79.9 mg, I (as potassium iodide) 1.0 mg, Se (as sodium selenite) 0.3 mg, VA 4 500 IU, VD<sub>3</sub> 1 312.5 IU, VE 16.8 IU, VB<sub>1</sub> 0.74 mg, VB<sub>2</sub> 2.22 mg, VB<sub>6</sub> 1.85 mg, VB<sub>12</sub> 0.8 mg, 生物素 biotin 0.04 mg, 烟酸 niacin 18.75 mg, VK<sub>3</sub> 0.8 mg, 泛酸 pantothenic acid 4.5 mg, 叶酸 folic acid 0.74 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

## 1.4 测定指标及方法

### 1.4.1 生长性能

分别于 1、21 和 42 日龄时 08:00, 以重复为单位, 对所有试验鸡称量空腹体重 (BW), 称重前 12 h 断食, 自由饮水。试验期间准确记录鸡只的耗料量、生长状况和死亡情况, 试验结束时准确称量余料重。计算平均日增重 (ADG)、平均日采食量 (ADFI) 及料重比 (F/G)。

### 1.4.2 消化代谢试验

于 39~42 日龄时进行消化代谢试验, 每天早晨定时按重复采集部分鲜粪样, 加入 10% 硫酸进行固氮, 65 °C 烘箱中烘干, 自然状态下回潮 24 h, 制成风干粪样, 粉碎过 40 目筛, 低温保存。TiO<sub>2</sub> 含量采用紫外分光光度法测定; 干物质、粗灰分、钙和磷含量的测定参照《饲料分析及饲料质量检测技术》<sup>[14]</sup>; 粗蛋白质含量利用 KDY-9830 凯氏定氮仪进行测定; 总能利用 IEKA 全自动氧氮热量仪进行测定。营养物质利用率计算参照文献<sup>[15]</sup>, 公式如下:

$$\text{某营养物质利用率}(\%) = 100 - [(a_1 \times b_1) / (a_2 \times b_2)] \times 100。$$

式中:  $a_1$  为粪中该营养物质含量 (%);  $b_1$  为饲料中 TiO<sub>2</sub> 含量 (%);  $a_2$  为饲料中该营养物质含量 (%);  $b_2$  为粪中 TiO<sub>2</sub> 含量 (%)。

### 1.4.3 肠道重量和长度

于 42 日龄时, 各重复随机挑选 2 只鸡颈部放血致死, 分离结扎肠段, 将分段好的肠道平放在手术桌布上, 自然伸直, 测量十二指肠、空肠、回肠、直肠及盲肠长度, 剔除脂肪后称量各肠段及胰腺重量, 计算肠道质量指数 (gut mass index), 作为衡量单位长度肠道的质量指标<sup>[16]</sup>。

$$\text{肠道质量指数}(\text{g/cm}) = \text{肠道重量} / \text{肠道长度}。$$

## 1.5 数据统计与分析

采用 SPSS 21.0 统计分析软件对各项数据进行单因素方差分析, 并用一般线性模型单变量对互作效应进行分析。用 Duncan 氏法进行多重比较, 结果用“平均值±标准差”表示,  $P < 0.05$  为显著性水平。

## 2 结果

### 2.1 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡生长性能的影响

由表 2 可知,豌豆添加水平显著降低肉仔鸡的 ADG ( $P < 0.05$ ); 1~21 日龄时, A1 添加水平的 ADG 显著高于 A3、A4 和 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ), A2 添加水平的 ADG 显著高于 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ); 22~42 日龄时, A1 添加水平的 ADG 显著高于 A2、A4 和 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ), A3 添加水平的 ADG 显著高于 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ); 1~42 日龄时, A5 添加水平的 ADG 显著低于 A1、A2、A3 和 A4 添加水平 ( $P < 0.05$ ), A2、A3 和 A4 添加水平的 ADG 显著低于 A1 添加水平 ( $P < 0.05$ )。豌豆添加水平对肉仔鸡的 ADFI 无显著影响 ( $P > 0.05$ )。豌豆添加水平对肉仔鸡的 F/G 有显著影响 ( $P < 0.05$ ); 1~21 日龄时, A4 和 A5 添加水平的 F/G 显著高于 A1 和 A2 添加水平 ( $P < 0.05$ ); 22~42 日龄时, A5 添加水平的 F/G 显著高于 A1、A2 和 A3 添加水平 ( $P < 0.05$ ), A4 添加水平的 F/G 显著高于 A1 添加水平 ( $P < 0.05$ ); 1~42 日龄时, A5 添加水平的 F/G 显著高于 A1、A2 和 A3 添加水平 ( $P < 0.05$ ), A4 添加水平的 F/G 显著高于 A1 和 A2 添加水平 ( $P < 0.05$ )。复合酶制剂添加水平对肉仔鸡的生长性能无显著影响 ( $P > 0.05$ )。豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡的生长性能无显著交互作用 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡养分利用率的影响

由表 3 可知,豌豆添加水平对肉仔鸡的干物质、粗蛋白质、能量、钙和磷利用率有显著影响 ( $P < 0.05$ ), 对粗灰分利用率无显著影响 ( $P > 0.05$ ); A1 添加水平的干物质利用率显著高于其他添加水平 ( $P < 0.05$ ), A2 和 A3 添加水平的干物质利用率显著高于 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ); A1 和 A4 添加水平的粗蛋白质利用率显著高于 A2、A3 和 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ); A1、A2 和 A3 添加水平的能量利用率显著高于 A4 和 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ); A1 添加水平的钙利用率显著高于 A3、A4 和 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ), A2 添加水平的钙利用率显著高于 A3 和 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ); A1 添加水平的磷

利用率显著高于 A4 和 A5 添加水平 ( $P < 0.05$ ), A1、A2 和 A3 添加水平间的磷利用率无显著差异 ( $P > 0.05$ )。复合酶制剂添加水平对肉仔鸡的养分利用率无显著影响 ( $P > 0.05$ )。豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡的粗蛋白质、钙、磷利用率有显著交互作用 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡肠道发育的影响

由表 4、表 5、表 6 可知, A5 豌豆添加水平肉仔鸡的空肠长度显著高于 A1 和 A4 添加水平 ( $P < 0.05$ )。B2 复合酶制剂添加水平显著增加肉仔鸡的盲肠重量 ( $P < 0.05$ ), 有提高盲肠质量指数的趋势 ( $0.05 \leq P < 0.10$ )。豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡的肠道发育无显著交互作用 ( $P > 0.05$ )。豌豆和复合酶制剂添加水平及其交互作用对肉仔鸡的胰腺重量无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡生长性能的影响

国外对豌豆的研究较早, 但研究结果不尽相同。Nalle 等<sup>[17]</sup>研究发现, 在小麦-豆粕型饲料中添加 20% 豌豆, 在平衡代谢能和可消化氨基酸条件下, 对肉仔鸡的日增重和 F/G 无显著负面影响。Mcneill 等<sup>[18]</sup>报道认为, 在饲料中添加 10% 豌豆粉对肉仔鸡的日增重和采食量无显著影响, 但添加水平为 20% 时显著降低日增重和采食量, 10% 和 20% 豌豆粉添加水平对各饲养阶段的 F/G 均无显著影响。研究结果的不同主要归因于豌豆品种的不同和饲料配方中营养物质消化率的差异。本试验结果显示, 饲料中豌豆添加水平对肉仔鸡的 ADFI 无显著影响; 在各饲养阶段, 与玉米-豆粕型饲料相比, 10% 和 20% 豌豆添加水平对 F/G 无显著影响, 30% 和 40% 豌豆添加水平则显著提高 F/G, 原因可能是豌豆添加水平较高时, 其中的抗营养因子和豌豆皮中的非淀粉多糖含量也随之增加, 会对采食量产生负面影响<sup>[18]</sup>。本研究表明, 饲料中豌豆添加水平达到 20% 时, 对肉仔鸡的生长性能无负面影响, 这为豌豆作为蛋白质及能量饲料资源, 在我国饲料中的应用提供了一定的参考价值。

表 2 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of pea and compound enzyme preparation supplemental levels on growth performance of broilers

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age			22~42 日龄 22 to 42 days of age			1~42 日龄 1 to 42 days of age		
	平均日增重 ADG/(g/d)	平均日采食量 ADF/(g/d)	料重比 F/G	平均日增重 ADG/(g/d)	平均日采食量 ADF/(g/d)	料重比 F/G	平均日增重 ADG/(g/d)	平均日采食量 ADF/(g/d)	料重比 F/G
A1B1 组	30.47±1.48 <sup>a</sup>	59.03±2.25	2.00±0.16 <sup>c</sup>	56.79±2.81 <sup>a</sup>	120.07±11.86	2.12±0.18 <sup>b</sup>	43.63±1.90 <sup>a</sup>	89.55±5.57	2.07±0.16 <sup>d</sup>
A2B1 组	28.55±1.95 <sup>b</sup>	58.02±1.36	2.03±0.10 <sup>bc</sup>	53.04±2.33 <sup>ab</sup>	112.35±4.53	2.12±0.11 <sup>b</sup>	40.80±2.10 <sup>b</sup>	85.19±2.30	2.09±0.10 <sup>cd</sup>
A3B1 组	27.91±1.33 <sup>bc</sup>	57.43±1.77	2.07±0.06 <sup>abc</sup>	54.26±4.05 <sup>ab</sup>	118.72±8.15	2.20±0.20 <sup>b</sup>	41.08±2.45 <sup>b</sup>	88.08±4.32	2.15±0.13 <sup>bed</sup>
A4B1 组	27.70±1.61 <sup>bc</sup>	59.13±1.53	2.15±0.08 <sup>a</sup>	52.77±2.46 <sup>ab</sup>	116.41±3.80	2.24±0.05 <sup>b</sup>	40.24±1.46 <sup>b</sup>	87.77±2.06	2.20±0.02 <sup>abc</sup>
A5B1 组	26.80±1.29 <sup>bc</sup>	57.24±2.13	2.15±0.05 <sup>a</sup>	46.99±3.74 <sup>c</sup>	112.36±6.84	2.42±0.20 <sup>a</sup>	36.90±1.66 <sup>c</sup>	84.80±3.81	2.32±0.10 <sup>a</sup>
A1B2 组	28.52±0.84 <sup>b</sup>	58.73±3.22	2.10±0.09 <sup>abc</sup>	55.11±6.44 <sup>ab</sup>	116.81±8.51	2.11±0.18 <sup>b</sup>	41.81±3.09 <sup>ab</sup>	87.77±4.89	2.10±0.13 <sup>bed</sup>
A2B2 组	28.37±1.27 <sup>bc</sup>	57.54±1.59	2.03±0.05 <sup>bc</sup>	52.10±2.61 <sup>b</sup>	113.95±4.54	2.19±0.15 <sup>b</sup>	40.23±1.62 <sup>b</sup>	85.74±2.69	2.13±0.10 <sup>bed</sup>
A3B2 组	28.35±2.05 <sup>bc</sup>	58.89±2.10	2.11±0.05 <sup>ab</sup>	52.87±4.80 <sup>ab</sup>	112.90±5.45	2.19±0.16 <sup>b</sup>	40.61±2.92 <sup>b</sup>	85.90±3.46	2.15±0.10 <sup>bed</sup>
A4B2 组	27.77±1.63 <sup>bc</sup>	58.28±1.82	2.10±0.12 <sup>abc</sup>	52.10±2.49 <sup>b</sup>	117.29±2.44	2.26±0.11 <sup>b</sup>	39.93±1.68 <sup>b</sup>	87.78±1.99	2.20±0.09 <sup>abc</sup>
A5B2 组	26.73±1.09 <sup>c</sup>	56.94±1.56	2.13±0.07 <sup>ab</sup>	51.89±3.51 <sup>b</sup>	116.07±3.87	2.27±0.10 <sup>b</sup>	39.31±1.92 <sup>b</sup>	86.51±1.96	2.22±0.05 <sup>ab</sup>
豌豆添加水平 Pea supplemental levels									
A1	29.50±1.54 <sup>a</sup>	58.88±2.68	2.05±0.14 <sup>b</sup>	55.95±4.88 <sup>a</sup>	118.44±10.11	2.11±0.18 <sup>c</sup>	42.72±2.65 <sup>a</sup>	88.66±5.15	2.09±0.14 <sup>c</sup>
A2	28.47±1.62 <sup>ab</sup>	57.8±1.44	2.03±0.08 <sup>b</sup>	52.60±2.42 <sup>b</sup>	113.10±4.45	2.15±0.13 <sup>bc</sup>	40.53±1.85 <sup>b</sup>	85.45±2.42	2.11±0.10 <sup>c</sup>
A3	28.11±1.66 <sup>b</sup>	58.11±2.00	2.09±0.06 <sup>ab</sup>	53.61±4.31 <sup>ab</sup>	116.01±7.41	2.19±0.18 <sup>bc</sup>	40.86±2.59 <sup>b</sup>	87.06±3.97	2.15±0.11 <sup>bc</sup>
A4	27.73±1.56 <sup>bc</sup>	58.73±1.67	2.13±0.10 <sup>a</sup>	52.46±2.41 <sup>b</sup>	116.82±3.16	2.24±0.08 <sup>ab</sup>	40.09±1.52 <sup>b</sup>	87.78±1.95	2.20±0.06 <sup>ab</sup>
A5	26.76±1.15 <sup>c</sup>	57.09±1.81	2.14±0.06 <sup>a</sup>	49.44±4.32 <sup>c</sup>	114.22±5.70	2.35±0.17 <sup>a</sup>	38.10±2.14 <sup>c</sup>	85.65±3.06	2.27±0.09 <sup>a</sup>
复合酶制剂添加水平 Compound enzyme preparation supplemental levels									
B1	28.29±1.93	58.17±1.92	2.08±0.11	52.77±4.42	115.98±7.89	2.22±0.19	40.53±2.86	87.08±4.07	2.17±0.14
B2	27.93±1.50	58.06±2.18	2.10±0.08	52.85±4.25	115.46±5.41	2.20±0.15	40.39±2.38	86.76±3.17	2.16±0.10
P 值 P-value									
豌豆添加水平	<0.001	0.097	0.005	<0.001	0.202	0.001	<0.001	0.068	<0.001
复合酶制剂添加水平	0.320	0.838	0.442	0.959	0.705	0.671	0.763	0.680	0.842
豌豆添加水平×复合酶制剂添加水平	0.198	0.561	0.211	0.087	0.280	0.303	0.092	0.523	0.369

同列同一项目数据肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 相同或无字母表示差异不显著 ( $P>0.05$ )。下表同。

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

表3 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡养分利用率的影响

Table 3 Effects of pea and compound enzyme preparation supplemental levels on nutrient utilization rate of broilers

项目 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	能量 Energy	粗灰分 Ash	钙 Ca	磷 P
A1B1 组 Group A1B1	71.76±0.45 <sup>a</sup>	65.16±2.43 <sup>a</sup>	78.38±0.49 <sup>ab</sup>	22.60±2.25	49.27±1.20 <sup>ab</sup>	51.02±2.29 <sup>a</sup>
A2B1 组 Group A2B1	71.36±0.38 <sup>abc</sup>	63.51±0.93 <sup>abc</sup>	78.42±0.86 <sup>ab</sup>	23.40±1.74	50.60±1.92 <sup>a</sup>	51.09±1.99 <sup>a</sup>
A3B1 组 Group A3B1	71.24±0.52 <sup>abcd</sup>	62.79±1.87 <sup>bc</sup>	78.26±0.68 <sup>abc</sup>	22.27±2.49	48.81±1.21 <sup>ab</sup>	50.51±1.99 <sup>a</sup>
A4B1 组 Group A4B1	70.93±0.54 <sup>bcd</sup>	64.73±1.72 <sup>ab</sup>	77.70±0.94 <sup>bcd</sup>	21.90±1.93	45.53±2.57 <sup>c</sup>	50.82±1.72 <sup>a</sup>
A5B1 组 Group A5B1	70.50±0.70 <sup>d</sup>	59.01±2.90 <sup>d</sup>	77.20±0.59 <sup>d</sup>	21.27±2.32	45.37±1.47 <sup>c</sup>	47.05±1.27 <sup>b</sup>
A1B2 组 Group A1B2	71.65±0.37 <sup>ab</sup>	64.12±2.39 <sup>ab</sup>	78.86±0.42 <sup>a</sup>	22.32±1.45	49.25±1.91 <sup>ab</sup>	51.38±2.40 <sup>a</sup>
A2B2 组 Group A2B2	71.06±0.63 <sup>abcd</sup>	61.50±1.65 <sup>c</sup>	78.40±0.67 <sup>ab</sup>	21.89±2.13	46.43±1.26 <sup>c</sup>	49.95±2.67 <sup>a</sup>
A3B2 组 Group A3B2	70.94±0.78 <sup>bcd</sup>	59.48±2.51 <sup>d</sup>	78.18±0.38 <sup>abc</sup>	23.94±1.82	45.19±1.04 <sup>c</sup>	50.33±1.95 <sup>a</sup>
A4B2 组 Group A4B2	70.62±0.53 <sup>cd</sup>	64.39±1.05 <sup>ab</sup>	77.50±0.76 <sup>cd</sup>	23.92±2.58	48.82±2.58 <sup>ab</sup>	47.30±2.62 <sup>b</sup>
A5B2 组 Group A5B2	70.60±0.31 <sup>d</sup>	65.42±2.59 <sup>ab</sup>	77.59±0.80 <sup>cd</sup>	22.93±1.70	47.33±2.72 <sup>bc</sup>	49.46±2.63 <sup>ab</sup>
豌豆添加水平 Pea supplemental levels						
A1	71.71±0.40 <sup>a</sup>	64.64±2.39 <sup>a</sup>	78.62±0.51 <sup>a</sup>	22.46±1.83	49.26±1.54 <sup>a</sup>	51.20±2.28 <sup>a</sup>
A2	71.24±0.49 <sup>b</sup>	62.51±1.66 <sup>b</sup>	78.41±0.75 <sup>a</sup>	22.64±2.04	48.51±2.67 <sup>ab</sup>	50.52±2.35 <sup>ab</sup>
A3	71.09±0.63 <sup>b</sup>	61.24±2.71 <sup>b</sup>	78.22±0.55 <sup>a</sup>	23.11±2.28	47.00±2.17 <sup>c</sup>	50.42±1.90 <sup>ab</sup>
A4	70.78±0.52 <sup>bc</sup>	64.55±1.36 <sup>a</sup>	77.60±0.83 <sup>b</sup>	22.99±2.44	47.31±3.00 <sup>bc</sup>	48.92±2.83 <sup>bc</sup>
A5	70.55±0.51 <sup>c</sup>	62.43±4.24 <sup>b</sup>	77.40±0.71 <sup>b</sup>	22.10±2.12	46.35±2.32 <sup>c</sup>	48.26±2.34 <sup>c</sup>
复合酶制剂添加水平 Compound enzyme preparation supplemental levels						
B1	71.27±0.62	63.10±2.91	77.99±0.84	22.37±2.16	48.19±2.61	50.23±2.33
B2	71.09±0.64	63.07±2.94	78.10±0.80	22.98±2.05	47.37±2.41	49.74±2.70
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value						
豌豆添加水平 Pea supplemental level	<0.001	<0.001	<0.001	0.739	<0.001	0.006
复合酶制剂添加水平 Compound enzyme preparation supplemental level	0.216	0.905	0.458	0.150	0.238	0.432
豌豆添加水平×复合酶 制剂添加水平 Pea supplemental level× compound enzyme preparation supplemental level	0.888	<0.001	0.554	0.095	<0.001	0.023

表4 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡肠道长度的影响

Table 4 Effects of pea and compound enzyme preparation supplemental levels on intestinal length of broilers

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	结直肠 Colo-rectum	盲肠 Cecum	总肠道 Total intestine
A1B1 组 Group A1B1	33.08±2.84	122.00±17.20 <sup>ab</sup>	24.67±4.50	7.25±1.47	18.50±2.59	205.50±21.39
A2B1 组 Group A2B1	33.33±2.66	132.00±10.43 <sup>ab</sup>	25.83±2.93	7.33±0.88	20.50±1.76	219.00±14.62
A3B1 组 Group A3B1	32.67±1.97	123.33±7.34 <sup>ab</sup>	25.67±2.25	7.58±0.49	21.00±2.00	210.25±9.88
A4B1 组 Group A4B1	31.83±2.14	127.00±7.01 <sup>ab</sup>	26.50±1.76	6.08±0.49	20.17±1.17	211.58±8.82

续表 4

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	结直肠 Colo-rectum	盲肠 Cecum	总肠道 Total intestine
A5B1 组 Group A5B1	32.29±2.50	132.86±6.31 <sup>ab</sup>	25.43±2.07	7.00±0.65	19.71±0.95	217.29±5.45
A1B2 组 Group A1B2	32.50±2.35	122.00±16.25 <sup>ab</sup>	22.67±2.66	6.67±0.75	19.33±2.94	203.17±22.61
A2B2 组 Group A2B2	31.00±1.79	129.67±5.57 <sup>ab</sup>	25.00±2.28	7.08±0.92	20.50±2.74	213.25±6.65
A3B2 组 Group A3B2	33.33±2.94	136.67±13.49 <sup>a</sup>	25.67±1.51	7.33±0.75	20.17±2.71	223.17±19.28
A4B2 组 Group A4B2	33.33±3.33	118.67±2.31 <sup>b</sup>	24.50±3.27	7.50±1.61	20.33±2.42	204.25±9.60
A5B2 组 Group A5B2	33.57±2.64	137.43±15.22 <sup>a</sup>	25.71±2.69	6.93±1.43	20.00±0.63	224.07±18.00
豌豆添加水平 Pea supplemental levels						
A1	32.79±2.50	122.00±15.95 <sup>b</sup>	23.67±3.68	6.96±1.16	18.92±2.68	204.33±21.02
A2	32.17±2.48	130.83±8.07 <sup>ab</sup>	25.42±2.54	7.21±0.86	20.50±2.20	216.13±11.24
A3	33.00±2.41	130.00±12.48 <sup>ab</sup>	25.67±1.83	7.46±0.62	20.58±2.31	216.71±16.09
A4	32.58±2.78	124.22±7.03 <sup>b</sup>	25.50±2.71	6.79±1.36	20.25±1.82	208.65±9.40
A5	32.93±2.56	135.14±11.44 <sup>a</sup>	25.57±2.31	6.96±1.06	19.85±0.80	220.68±13.25
复合酶制剂添加水平 Compound enzyme preparation supplemental levels						
B1	32.63±2.34	127.61±10.63	25.61±2.72	7.05±0.96	19.97±1.85	212.87±13.10
B2	32.77±2.65	130.28±13.89	24.74±2.63	7.10±1.12	20.07±2.30	214.59±18.07
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value						
豌豆添加水平 Pea supplemental level	0.931	0.039	0.333	0.545	0.311	0.056
复合酶制剂添加水平 Compound enzyme preparation supplemental level	0.870	0.642	0.192	0.842	0.869	0.828
豌豆添加水平×复合酶 制剂添加水平 Pea supplemental level× compound enzyme preparation supplemental level	0.328	0.288	0.736	0.152	0.913	0.430

表 5 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡肠道及胰腺重量的影响

Table 5 Effects of pea and compound enzyme preparation supplemental levels on intestine and pancreas weight of broilers

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	结直肠 Colo-rectum	盲肠 Cecum	总肠道 Total intestine	胰腺 Pancreas
A1B1 组 Group A1B1	11.30±2.44	35.27±7.80	4.97±0.91	1.93±0.30	6.67±0.53 <sup>b</sup>	60.14±7.91	3.98±0.40
A2B1 组 Group A2B1	12.09±3.45	34.83±5.87	4.98±1.26	1.78±0.33	6.68±0.94 <sup>b</sup>	60.36±10.93	4.29±0.71
A3B1 组 Group A3B1	11.50±2.02	34.61±3.95	5.04±0.58	1.98±0.25	7.73±1.08 <sup>ab</sup>	60.87±6.43	4.15±0.45
A4B1 组 Group A4B1	8.94±1.52	33.43±4.29	4.75±0.82	1.73±0.49	7.41±0.84 <sup>ab</sup>	56.26±6.12	3.91±0.40
A5B1 组 Group A5B1	11.99±2.90	37.93±6.21	4.68±1.35	1.97±0.17	7.65±0.69 <sup>ab</sup>	64.23±10.11	4.39±0.72
A1B2 组 Group A1B2	10.75±1.08	33.33±5.42	4.32±0.51	1.85±0.28	7.02±1.25 <sup>b</sup>	57.26±5.86	3.89±0.44
A2B2 组 Group A2B2	9.88±1.62	36.33±6.66	4.89±1.55	1.84±0.42	8.39±0.75 <sup>a</sup>	61.33±9.53	3.93±0.88
A3B2 组 Group A3B2	11.67±2.28	38.59±3.56	4.90±0.66	2.02±0.14	7.76±0.87 <sup>ab</sup>	64.93±5.70	4.24±0.39
A4B2 组 Group A4B2	11.01±2.31	35.78±5.59	4.94±0.54	1.92±0.50	7.86±0.67 <sup>ab</sup>	60.20±5.13	3.89±0.42
A5B2 组 Group A5B2	12.07±2.35	40.13±5.49	4.53±0.55	1.94±0.41	7.82±1.52 <sup>ab</sup>	66.49±7.30	4.18±0.45

续表 5

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	结直肠 Colo-rectum	盲肠 Cecum	总肠道 Total intestine	胰腺 Pancreas
豌豆添加水平 Pea supplemental levels							
A1	11.03±1.82	34.30±6.48	4.65±0.78	1.89±0.28	6.84±0.94	58.70±6.80	3.94±0.41
A2	10.99±2.82	35.58±6.03	4.93±1.35	1.81±0.36	7.54±1.21	60.84±9.79	4.11±0.78
A3	11.58±2.05	36.60±4.14	4.97±0.60	2.00±0.20	7.74±0.93	62.90±6.17	4.19±0.41
A4	9.98±2.16	34.60±4.91	4.85±0.67	1.82±0.48	7.61±0.77	58.23±5.76	3.90±0.39
A5	12.03±2.54	39.03±5.75	4.61±0.99	1.96±0.30	7.73±1.14	65.36±8.55	4.29±0.60
复合酶制剂添加水平 Compound enzyme preparation supplemental levels							
B1	2.66±0.48	5.63±1.01	0.98±0.18	0.32±0.06	0.91±0.16 <sup>b</sup>	8.41±1.51	4.15±0.56
B2	2.02±0.36	5.61±1.01	0.83±0.15	0.35±0.06	1.11±0.20 <sup>a</sup>	7.28±1.31	4.02±0.54
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value							
豌豆添加水平 Pea supplemental level	0.242	0.210	0.814	0.599	0.138	0.127	0.408
复合酶制剂添加水平 Compound enzyme preparation supplemental level	0.879	0.265	0.499	0.698	0.036	0.403	0.431
豌豆添加水平×复合酶 制剂添加水平 Pea supplemental level× compound enzyme preparation supplemental level	0.270	0.769	0.871	0.903	0.232	0.807	0.903

表 6 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡肠道质量指数的影响

Table 6 Effects of pea and compound enzyme preparation supplemental levels on gut mass indexes of broilers

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	结直肠 Colo-rectum	盲肠 Cecum	总肠道 Total intestine	g/cm
A1B1 组 Group A1B1	0.34±0.08	0.31±0.01	0.21±0.04	0.27±0.05	0.36±0.04	0.29±0.04	
A2B1 组 Group A2B1	0.36±0.07	0.26±0.04	0.19±0.04	0.24±0.04	0.33±0.03	0.27±0.04	
A3B1 组 Group A3B1	0.35±0.06	0.28±0.04	0.20±0.02	0.26±0.03	0.37±0.04	0.29±0.03	
A4B1 组 Group A4B1	0.28±0.05	0.26±0.03	0.18±0.02	0.29±0.09	0.37±0.04	0.27±0.02	
A5B1 组 Group A5B1	0.37±0.08	0.29±0.05	0.18±0.04	0.28±0.04	0.39±0.05	0.30±0.05	
A1B2 组 Group A1B2	0.33±0.04	0.28±0.05	0.19±0.04	0.28±0.04	0.37±0.06	0.28±0.03	
A2B2 组 Group A2B2	0.32±0.06	0.28±0.04	0.20±0.08	0.26±0.02	0.41±0.06	0.29±0.04	
A3B2 组 Group A3B2	0.35±0.06	0.28±0.04	0.19±0.03	0.28±0.04	0.39±0.06	0.29±0.04	
A4B2 组 Group A4B2	0.33±0.07	0.30±0.05	0.20±0.03	0.26±0.07	0.39±0.07	0.32±0.05	
A5B2 组 Group A5B2	0.36±0.07	0.29±0.02	0.18±0.02	0.28±0.03	0.38±0.07	0.30±0.02	
豌豆添加水平 Pea supplemental levels							
A1	0.34±0.06	0.29±0.04	0.20±0.04	0.27±0.05	0.36±0.05	0.29±0.03	
A2	0.34±0.07	0.27±0.04	0.20±0.06	0.25±0.03	0.37±0.06	0.28±0.04	
A3	0.35±0.06	0.28±0.04	0.19±0.02	0.27±0.03	0.38±0.05	0.29±0.04	
A4	0.31±0.06	0.28±0.04	0.19±0.03	0.27±0.08	0.38±0.05	0.29±0.05	
A5	0.37±0.07	0.29±0.04	0.18±0.03	0.28±0.03	0.38±0.05	0.30±0.03	

续表 6

项目 Items	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	结直肠 Colo-rectum	盲肠 Cecum	总肠道 Total intestine
复合酶添加水平 Compound enzyme preparation supplemental levels						
B1	0.34±0.07	0.28±0.04	0.19±0.04	0.27±0.05	0.36±0.04	0.28±0.04
B2	0.34±0.06	0.29±0.04	0.19±0.04	0.27±0.04	0.39±0.06	0.30±0.04
P 值 P-value						
豌豆添加水平 Pea supplemental level	0.251	0.748	0.740	0.683	0.888	0.881
复合酶制剂添加水平 Compound enzyme preparation supplemental level	0.914	0.564	0.835	0.807	0.071	0.210
豌豆添加水平×复合酶 制剂添加水平 Pea supplemental level× compound enzyme preparation supplemental level	0.562	0.332	0.790	0.815	0.166	0.269

Brenes 等<sup>[19]</sup> 试验发现,在低单宁豌豆饲料中添加粗酶制剂有降低鸡采食量和日增重的趋势,但 F/G 无显著变化;在高单宁豌豆饲料中添加粗酶制剂对采食量和日增重无显著影响,但 F/G 显著增加。Cowieson 等<sup>[16]</sup> 以小麦-豆粕型饲料为对照,添加 30% 豌豆替代饲料中的部分小麦和豆粕,2 种饲料中均添加  $\alpha$ -淀粉酶、果胶酶和纤维素酶,结果表明,添加酶制剂可显著提高肉仔鸡的日增重和 F/G,但这一结果也取决于豌豆品种。本试验中,酶制剂的添加水平未对肉仔鸡的生长性能产生显著影响。酶制剂的作用效果与底物类型和添加水平有密切关系,本试验中所用酶制剂是商品公司针对市场成熟肉仔鸡饲料的推荐组合和推荐用量,从当前试验结果来看,其类型或添加水平并不适用于豌豆型饲料,有待于更进一步的深入研究。

### 3.2 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡养分利用率的影响

养分利用率是衡量动物对营养物质消化吸收的重要指标,相关研究表明,饲料养分利用率的高低直接影响肉鸡的生长性能,同时反映饲料的营养价值<sup>[20-21]</sup>。Meng 等<sup>[22]</sup> 研究报道,添加酶制剂对 30% 豌豆添加水平饲料肉仔鸡的养分消化率和表观代谢能无显著影响。Cowieson 等<sup>[16]</sup> 报道认为,在小麦型饲料中添加 30% 豌豆,与对照组相比,添加豌豆对干物质表观消化率和表观代谢能

产生显著不利影响;添加外源酶制剂可分别提高干物质表观消化率和表观代谢能 4.7% 和 1.5%,但其效果可能是酶制剂对小麦中阿拉伯木聚糖的影响。本试验结果显示,豌豆添加水平对肉仔鸡的干物质、粗蛋白质、能量、钙和磷养分利用率有显著影响,原因可能是豌豆中的一些抗营养因子能够影响小肠的上皮细胞功能,从而降低饲料中营养物质的吸收利用<sup>[4]</sup>。在本试验条件下,与玉米-豆粕型饲料相比,饲喂添加 10% 和 20% 豌豆的饲料,肉仔鸡取得相同水平的能量、粗灰分和磷利用率,干物质利用率则分别降低 0.66% 和 0.86%;豌豆和复合酶制剂添加水平对粗蛋白质、钙、磷利用率有显著交互作用,为豌豆在肉仔鸡饲养中的应用提供了有意义的试验数据。

### 3.3 豌豆和复合酶制剂添加水平对肉仔鸡肠道发育的影响

肠道是机体最大的消化器官,肠道的发育情况可以直接反映机体的消化功能。邵彩梅等<sup>[23]</sup> 试验发现,用 15% 和 30% 豌豆替代部分玉米和豆粕,蛋鸡的十二指肠、小肠、直肠和盲肠相对长度无显著变化;整体来看,15% 和 30% 豌豆添加水平的肠道相对长度高于对照组。李存花等<sup>[24]</sup> 研究发现,随着饲料豌豆皮添加水平的增加,肉仔鸡的盲肠、胰腺、胃肠道重量均显著线性升高,表明豌豆皮中的纤维能促进肉仔鸡的肠道发育。Cowieson 等<sup>[16]</sup> 报道认为,豌豆的添加没有改变肉仔鸡的胃

肠道形态,但与饲喂基础饲料相比,回肠和盲肠长度略有增加;添加酶制剂对肠道形态无显著影响,酶制剂和豌豆品种对十二指肠重量、结肠长度、结肠质量指数以及总肠道长度有显著交互作用。本试验结果显示,饲料中豌豆添加水平显著提高肉仔鸡的空肠长度,有提高肠道总长度的趋势;整体来看,回肠和盲肠长度也高于玉米-豆粕型饲料。豌豆中淀粉含量较高,为48%~54%,直链淀粉含量为33.1%~49.6%<sup>[2]</sup>,豌豆淀粉的直支比较高。研究表明,高直支比淀粉饲料有促进肉仔鸡肠道发育的作用,直支比会影响动物肠道发育的相关生长因子,进而调控肠道细胞的增殖和凋亡,通过细胞对肠道的保护作用最终调节肠道的绒毛高度等<sup>[25]</sup>;另外,更大比例的淀粉在远端肠道代谢,导致远端回肠和盲肠新陈代谢增加。本试验中,复合酶制剂添加水平显著增加肉仔鸡的盲肠重量,有提高盲肠质量指数的趋势。可能是酶的作用引起肠道微生物发生种群变化,包括胃肠道中挥发性脂肪酸的产生<sup>[26]</sup>。而一些脂肪酸可以刺激肠道细胞的增殖,这解释了远端肠道盲肠增重的原因。

## 4 结 论

① 豌豆添加水平显著影响肉仔鸡的ADG和F/G;在各饲养阶段,饲料中添加10%和20%豌豆均可取得与玉米-豆粕型饲料相同水平的F/G,但添加30%和40%豌豆对ADG和F/G产生显著负面影响;复合酶制剂添加水平及豌豆和复合酶制剂添加水平的交互作用对生长性能均无显著影响。

② 本试验条件下,肉仔鸡饲喂添加10%和20%豌豆饲料可取得与玉米-豆粕型饲料相同水平的能量和磷利用率,复合酶制剂添加水平对养分利用率无显著影响。

③ 饲料中豌豆添加水平可增加肉仔鸡的空肠和总肠道长度,复合酶制剂添加水平可显著增加盲肠重量。

## 参考文献:

[1] 田珍珍,赵文恩,李军国.豌豆在饲料中的应用研究概述[J].饲料研究,2015(4):18-22,34.  
[2] GATEL F, GROSJEAN F. Composition and nutritive value of peas for pigs: a review of European results[J]. Livestock Production Science, 1990, 26(3): 155-175.

[3] 亓美玉,孙芳,姚玉昌,等.豌豆在畜禽饲料中的应用[J].中国饲料,2014(1):41-44.  
[4] 刘松柏,谭会泽,彭运智,等.豌豆在家禽饲料中营养价值评估研究进展[J].饲料研究,2015(12):11-14.  
[5] LAUDADIO V, NAHASHON S N, TUFARELLI V. Growth performance and carcass characteristics of guinea fowl broilers fed micronized-dehulled pea (*Pisum sativum* L.) as a substitute for soybean meal[J]. Poultry Science, 2012, 91(11): 2988-2996.  
[6] THACKER P, DEEP A, PETRI D, et al. Nutritional evaluation of low-phytate peas (*Pisum sativum* L.) for young broiler chicks [J]. Archives of Animal Nutrition, 2013, 67(1): 1-14.  
[7] CIURESCU G, PANA C O. Effect of dietary untreated field pea (*Pisum sativum* L.) as substitute for soybean meal and enzymes supplementation on egg production and quality of laying hens [J]. Romanian Biotechnological Letters, 2017, 22(1): 12204-12213.  
[8] KOIVUNEN E, PARTANEN K, PERTTILÄ S, et al. Digestibility and energy value of pea (*Pisum sativum* L.), faba bean (*Vicia faba* L.) and blue lupin (narrow-leaf) (*Lupinus angustifolius*) seeds in broilers [J]. Animal Feed Science and Technology, 2016, 218: 120-127.  
[9] 吕明斌,乔玉峰,NEWKIRK R.豌豆在肉鸡日粮中的应用效果研究[J].中国畜牧杂志,2007,43(7):59-61.  
[10] 石永峰,张毅铭.豆类在产蛋鸡日粮中的应用[J].西部粮油科技,2003,28(3):65-66.  
[11] 王润莲,南玉琴.豌豆和亚麻饼对生长蛋鸡的饲养效果[J].粮食与饲料工业,2000(6):42-43.  
[12] 王强,何文锋,姚志勇,等.用豌豆代替部分豆粕饲喂肉猪的效果试验[J].广东饲料,2006,15(1):11-12.  
[13] 王凤来,龚利敏,李德发,等.加拿大豌豆替代豆粕饲养生长肥育猪的研究[J].中国畜牧杂志,2004,40(2):45-47.  
[14] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2版.北京:中国农业出版社,2003:49,140-150.  
[15] 杨凤.动物营养学[M].2版.北京:中国农业出版社,1999:115-118.  
[16] COWIESON A J, ACAMOVIC T, BEDFORD M R. Supplementation of diets containing pea meal with exogenous enzymes: effects on weight gain, feed conversion, nutrient digestibility and gross morphology of the gastrointestinal tract of growing broiler chicks [J].

- British Poultry Science, 2003, 44(3): 427-437.
- [17] NALLE C L, RAVINDRAN V, RAVINDRAN G. Evaluation of faba beans, white lupins and peas as protein sources in broiler diets [J]. International Journal of Poultry Science, 2010, 9(6): 567-573.
- [18] MCNEILL L, BERNARD K, MACLEOD M G. Food intake, growth rate, food conversion and food choice in broilers fed on diets high in rapeseed meal and pea meal, with observations on sensory evaluation of the resulting poultry meat [J]. British Poultry Science, 2004, 45(4): 519-523.
- [19] BRENES A, ROTTER B A, MARQUARDT R R, et al. The nutritional value of raw, autoclaved and dehulled peas (*Pisum sativum* L.) in chicken diets as affected by enzyme supplementation [J]. Canadian Journal of Animal Science, 1993, 73(3): 605-614.
- [20] 唐千甯. 高粱饲料中添加复合酶和益生菌对肉鸡的生长及养分消化率的影响 [D]. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学, 2016: 30-31.
- [21] 张宪. 外源淀粉酶对肉鸡饲料体外养分消化、生长和肠道形态的影响研究 [D]. 硕士学位论文. 邯郸: 河北工程大学, 2018: 22-23.
- [22] MENG X, SLOMINSKI B A. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes [J]. Poultry Science, 2005, 84(8): 1242-1251.
- [23] 邵彩梅, 张鑫, 郭耀棋, 等. 饲料中不同水平豌豆对蛋鸡生产性能、蛋品质及器官指数的影响 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(12): 5750-5759.
- [24] 李存花, 祁正梅, 孙应花. 日粮豌豆皮添加水平对肉仔鸡生长性能、养分消化率及胃肠道发育的影响 [J]. 中国饲料, 2018(20): 41-45.
- [25] HAN G Q, XIANG Z T, YU B, et al. Effects of different starch sources on *Bacillus* spp. in intestinal tract and expression of intestinal development related genes of weanling piglets [J]. Molecular Biology Reports, 2012, 39(2): 1869-1876.
- [26] DIERICK N A, DECUYPERE J A, MOLLY K, et al. The combined use of triacylglycerols (TAGs) containing medium chain fatty acids (MCFAs) and exogenous lipolytic enzymes as an alternative to nutritional antibiotics in piglet nutrition: II. *In vivo* release of MCFAs in gastric cannulated and slaughtered piglets by endogenous and exogenous lipases; effects on the luminal gut flora and growth performance [J]. Live-stock Production Science, 2002, 76(1/2): 1-16.

# Effects of Dietary Pea and Compound Enzyme Preparation on Growth Performance, Nutrient Utilization Rate and Intestinal Development of Broilers

LIU Xue<sup>1</sup> WANG Xuan<sup>1</sup> TANG Defu<sup>1</sup> DU Baolong<sup>1</sup> NIAN Fang<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of different levels of pea and compound enzyme preparation in diets on growth performance, nutrient utilization rate and intestinal development. The 5×2 factorial test design was adopted, factor A was pea supplemental level (A1: 0, A2: 10%, A3: 20%, A4: 30%, A5: 40%), and factor B was compound enzyme preparation supplemental level (B1: 0 U/kg amylase and 0 U/kg protease, B2: 750 U/kg amylase and 60 U/kg protease). Nine hundred and sixty one-day-old Arbor Acres (AA) broilers with similar body weight were randomly divided into 10 groups with 8 replicates per group and 12 broilers per replicate (males and females in half), and the 10 groups were groups A1B1, A1B2, A2B1, A2B2, A3B1, A3B2, A4B1, A4B2, A5B1 and A5B2, respectively. The experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) pea supplemental level had no significant effect on average daily feed intake (ADFI) of broilers ( $P>0.05$ ), but had significant effects on average daily gain (ADG) and the ratio of feed to gain (F/G) ( $P<0.05$ ). Diets supplemented with 10% and 20% of pea had no significant effect on F/G ( $P>0.05$ ), but diets supplemented with 30% and 40% pea significantly decreased ADG and significantly increased F/G ( $P<0.05$ ). Compound enzyme preparation supplemental level and the interaction of pea and compound enzyme preparation supplemental level had no significant effect on growth performance of broilers ( $P>0.05$ ). 2) Pea supplemental level had significant effects on the utilization rate of dry matter, crude protein, energy, calcium and phosphorus of broilers ( $P<0.05$ ), and diets supplemented with 10% and 20% pea had no significant effects on the utilization rate of energy and phosphorus ( $P>0.05$ ). Compound enzyme preparation supplemental level had no significant effect on nutrient utilization rate of broilers ( $P>0.05$ ), and pea and compound enzyme preparation supplemental level had significant interaction on utilization rate of crude protein, calcium and phosphorus ( $P<0.05$ ). 3) Dietary 40% pea significantly increased jejunum length of broilers ( $P<0.05$ ). Diets supplemented with 750 U/kg amylase and 60 U/kg protease compound enzyme preparation significantly increased cecum weight ( $P<0.05$ ), and had a tendency of increasing cecum mass index ( $0.05\leq P<0.10$ ). Pea and compound enzyme preparation supplemental level had no significant interaction on intestinal development ( $P>0.05$ ). In summary, diets supplemented with 10% and 20% pea have no adverse effects on growth performance and nutrient utilization rate of broilers, and promote jejunal and total intestinal development; and diets supplemented with 30% and 40% pea significantly reduce growth performance and nutrient utilization rate of broilers. So no more than 20% pea can added to broiler's diets to replaced corn and soybean meal. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(9):4429-4440]

**Key words:** pea; enzyme; broilers; growth performance; nutrient utilization rate; intestinal development