

# 氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳对白羽肉鸡生长性能· 表观消化率·血清生化指标和盲肠内微生物菌群的影响

郝小倩 (河南工业贸易职业学院, 河南郑州 451191)

**摘要** 为研究氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳对白羽肉鸡生长性能、表观消化率、血清生化指标和盲肠微生物菌群的影响, 选用1日龄白羽肉鸡600只, 随机分4个组, 即对照组、三丁酸甘油酯组(TB组)、氨基酸螯合微量元素组(AM组)、氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳组(AM+TB组)。结果表明: 在不同生长阶段, 与对照组相比, 试验组TB、AM、AM+TB组白羽肉鸡的平均日增重均显著提高( $P<0.05$ ), 平均日采食量和料重比均显著下降( $P<0.05$ )。AM+TB组白羽肉鸡的促生长效果优于其他2个试验组, 且试验前期的促生长效果要优于试验后期。与对照组相比, TB组和AM+TB组粗脂肪和粗纤维的表观消化率显著提高, AM组和AM+TB组粗蛋白的表观消化率显著提高。AM+TB组白羽肉鸡粗蛋白、粗脂肪、粗纤维的表观消化率均显著高于其他2个试验组( $P<0.05$ )。与对照组相比, AM组和AM+TB组血清中总超氧化物歧化酶、铜锌超氧化物歧化酶、碱性磷酸酶、溶菌酶的活性均显著提高( $P<0.05$ ); AM+TB组血清中总超氧化物歧化酶、铜锌超氧化物歧化酶和溶菌酶的活性均高于其他2个试验组。与对照组相比, 3个试验组大肠杆菌的数量均显著降低( $P<0.05$ ), TB组和AM+TB组乳酸菌数量显著提高( $P<0.05$ ); 与对照组相比, AM组乳酸菌数量有所提高, 但差异不显著( $P>0.05$ ); 3个试验组芽孢杆菌的数量差异不显著( $P>0.05$ ); AM+TB组乳酸菌和芽孢杆菌的数量均高于其他2个试验组。由此可见, 氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳能够提高白羽肉鸡的生长性能, 提高饲料养分表观消化率, 改善血清生化指标, 降低盲肠内容物大肠杆菌数量, 提高乳酸菌数量。

**关键词** 氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳; 生长性能; 白羽肉鸡; 表观消化率; 微生物菌群

中图分类号 S831 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)24-0061-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.24.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Effects of Tributyrate Compound Nanoemulsion on the Growth Performance, Apparent Digestibility, Serum Biochemical Indices and Cecum Microbial Flora of White Feathered Broilers

HAO Xiao-qian (Henan Industry and Trade Vocational College, Zhengzhou, Henan 451191)

**Abstract** In order to study the effects of triglyceride compound nano-emulsion on the growth performance, apparent digestibility, serum biochemical indices and cecum microbial flora of white-feathered broilers, six hundred one-day-old white feathered broilers were randomly divided into 4 groups: control group, tributyrac acid ester group (TB group), amino acid chelated trace element group (AM group), amino acid chelated trace element tributyrac acid ester compound nanoemulsion (AM+TB group). The research results showed that compared with the control group, the average daily gain of white feathered broilers in experimental groups TB, AM and AM+TB significantly increased ( $P<0.05$ ), average daily feed intake and feed-gain ratio in experimental groups TB, AM and AM+TB significantly decreased ( $P<0.05$ ). The growth-promoting effect on white feathered broilers in AM+TB group was better than that in the other two experimental groups, and the growth-promoting effect in early stage was better than that in late stage. Compared with the control group, the apparent digestibility of ether extract and crude fiber in TB group and AM+TB group significantly increased, and the apparent digestibility of crude protein in AM group and AM+TB group significantly increased. The apparent digestibility of crude protein, ether extract and crude fiber of white-feathered broilers in AM+TB group was significantly higher than that in the other two experimental groups ( $P<0.05$ ). Compared with the control group, the activities of total superoxide dismutase, copper zinc superoxide dismutase, alkaline phosphatase and lysozyme in the serum in AM group and AM+TB group were significantly increased ( $P<0.05$ ). The activities of total superoxide dismutase, copper zinc superoxide dismutase and lysozyme in the serum in AM+TB group were higher than those in the other two experimental groups. Compared with the control group, the number of *Escherichia coli* in the three experimental groups was significantly decreased ( $P<0.05$ ), the number of *Lactobacillus* sp. in TB group and AM+TB group was significantly increased ( $P<0.05$ ), and the number of *Lactobacillus* sp. in AM group was also increased, but there was no significant difference ( $P>0.05$ ). The number of *Bacillus* sp. had no significant difference in the three experimental groups ( $P>0.05$ ). The number of *Lactobacillus* sp. and *Bacillus* sp. in AM+TB group were higher than those in the other two experimental groups. In conclusion, amino acid chelated microelement triglyceride compound nanoemulsion can increase the growth performance of white-feathered broilers, increase feed nutrient apparent digestibility, improve the serum biochemical indices, reduce the number of *E. coli* in cecum contents, and increase the number of *Lactobacillus* sp.

**Key words** Amino acid chelated trace element tributyrate compound nanoemulsion; Growth performance; White-feathered broilers; Apparent digestibility; Microbial flora

铁、锰、锌、铜等微量元素在白羽肉鸡养殖过程中参与机体营养物质的代谢, 在改善肌肉品质、增强机体抗氧化功能、提高免疫力等方面发挥重要作用。氨基酸铁、氨基酸锰、氨基酸锌、氨基酸铜等氨基酸螯合微量元素作为新型的微量元素添加剂, 与无机微量元素相比, 具有以下优势: ①在体内能够定点释放, 避免不同元素之间的相互拮抗作用, 增加在机体的溶解性和吸收性, 提升生物利用率<sup>[1]</sup>; ②具有良好的化学和生化稳定性, 抗氧化能力更强<sup>[2]</sup>; ③能降低粪便中微量

元素的排放量, 减少重金属对外界环境的污染<sup>[3]</sup>; ④能降低料肉比, 改善肉鸡生长性能, 节约饲料成本<sup>[4]</sup>。

三丁酸甘油酯作为一种重要的丁酸来源, 能够通过胃作用于肠道后段, 在大肠内胰脂肪酶的作用下分解为甘油和丁酸。丁酸也是一种酸化剂, 能够降低肠道内 pH, 降低肠道内大肠杆菌的数量, 保护肠黏膜, 提高免疫力, 促进肠道健康, 缓解肠道炎症<sup>[5]</sup>。

目前, 关于氨基酸螯合微量元素和三丁酸甘油酯的研究大多集中于二者单独添加的使用效果研究, 对于二者的组合应用研究较少, 其中一个重要原因是三丁酸甘油酯是一种油

**作者简介** 郝小倩(1987—), 女, 河南新乡人, 兽医师, 硕士, 从事畜产品营养方面的研究。

**收稿日期** 2022-02-03

状液体,极难溶于水。笔者采用乳化技术,以三丁酸甘油酯为油相,制备一种复方的氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯的纳米乳制剂成品,以提高药物的溶解度、稳定性和生物利用度,探究该复方制剂对白羽肉鸡生长性能、表观消化率、血清生化指标以及肠道微生物菌群的影响。

## 1 材料与方

**1.1 试验材料** 氨基酸螯合微量元素(氨基酸铁、氨基酸锌、氨基酸锰、氨基酸铜)由上海德邦牧业有限公司提供;三丁酸甘油酯,纯度 $\geq 95.00\%$ ,由湖北诺华生物公司生产;氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳制剂,实验室自制;总超氧化物歧化酶(T-SOD)试剂盒、铜锌超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)试剂盒、碱性磷酸酶(ALP/AKP)测定试剂盒和溶菌酶(LZM)试剂盒,均购自南京建成生物工程研究所。结晶紫中性红胆盐琼脂培养基(VRBA)、营养琼脂培养基(NA)和乳酸菌培养基(MRS),均购自北京奥博星生物科技有限责任公司。

**1.2 试验动物与试验设计** 选用1日龄白羽肉鸡600只,由河南省新郑市薛店镇某养鸡场提供,随机分为4个组,每组设3个重复,每个重复50只。对照组为基础日粮,三丁酸甘油酯组(TB组)为基础日粮+三丁酸甘油酯(三丁酸甘油酯使用剂量根据厂家推荐,20 mg/kg),氨基酸螯合微量元素(AM组)(根据厂家推荐使用剂量,氨基酸铁80 mg/kg+氨基酸锌80 mg/kg+氨基酸锰10 mg/kg+氨基酸铜10 mg/kg+基础日粮)、复方氨基酸螯合微量元素的纳米乳组(AM+TB组,三丁酸甘油酯20 mg/kg+氨基酸铁80 mg/kg+氨基酸锌80 mg/kg+氨基酸锰10 mg/kg+氨基酸铜10 mg/kg+基础日粮),基础日粮以玉米和豆粕为主配制而成,蛋白质、能量、维生素和微量元素添加量均按照第九版NRC标准(1994年)《家禽营养需要量》<sup>[6]</sup>进行配制,其组成及营养水平见表1~2。所有试验鸡采取笼养,进行常规免疫,自由采食和饮水,24 h光照。

表1 不同日龄白羽肉鸡饲料组成(风干基础)

Table 1 Dietary composition of white feather broilers at different day-ages (air-dried basis)

| 日龄<br>Day-age<br>d | 玉米<br>Corn | 豆饼<br>Soybean<br>cake | 麦麸<br>Wheat<br>bran | 米糠<br>Rice<br>bran | 鱼粉<br>Fish<br>meal | 大豆油<br>Soybean<br>oil | 食盐<br>Salt | 磷酸氢钙<br>Calcium<br>hydrogen<br>phosphate | 石粉<br>Stone<br>powder | DL-蛋氨酸<br>DL-<br>methionine | 预混料<br>Premix | 合计<br>Total |
|--------------------|------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|------------|--|-----------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
| 1~21               | 40.55      | 30.00                 | 10.00               | 10.00              | 5.00               | 1.50                  | 0.35       | 1.30                                     | 0.70                  | 0.10                        | 0.50          | 100         |
| 22~42              | 42.33      | 26.00                 | 10.00               | 12.00              | 5.00               | 2.00                  | 0.35       | 1.00                                     | 0.80                  | 0.02                        | 0.50          | 100         |

注:预混料为1 kg 饲料提供 $V_A$  1 500 IU, $V_D$  200 IU, $V_E$  10 IU, $V_K$  0.5 mg,硫胺素1.80 mg,核黄素3.60 mg,泛酸10 mg,烟酸35 mg,吡哆醇3.50 mg,生物素0.15 mg,氯化胆碱1 300 mg,,叶酸0.55 mg, $V_{B_{12}}$  10 mg,亚油酸1.0%,碘0.35 mg,硒0.15 mg,铜8 mg,铁80 mg,锌40 mg,锰60 mg

Note:The premix per kilogram of diet provided  $V_A$  1 500 IU,  $V_D$  200 IU,  $V_E$  10 IU,  $V_K$  0.5 mg, thiamine 1.80 mg, riboflavin 3.60 mg, pantothenic acid 10 mg, niacin 35 mg, pyridoxine 3.50 mg, biotin 0.15 mg, choline chloride 1 300 mg, folic acid 0.55 mg,  $V_{B_{12}}$  10 mg, linoleic acid 1.0%, iodine 0.35 mg, selenium 0.15 mg, copper 8 mg, iron 80 mg, zinc 40 mg, and manganese 60 mg

表2 不同日龄白羽肉鸡饲料营养水平(风干基础)

Table 2 The nutritional level of the diet for white feather broilers at different day-ages (air-dried basis)

| 日龄<br>Day-age<br>d | 代谢能<br>Metabolic<br>energy<br>ME//MJ/kg | 粗蛋白含量<br>Crude protein<br>content//% | 赖氨酸含量<br>Lysine<br>content//% | 蛋氨酸+胱氨酸含量<br>Methionine+<br>cystine content//% | 钙含量<br>Calcium<br>content//% | 总磷含量<br>Total<br>phosphorus<br>content//% |
|--------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|---|
| 1~21               | 13.50                                   | 18.96                                | 1.13                          | 0.78   | 1.05                         | 0.67                                      |
| 22~42              | 13.78                                   | 18.25                                | 1.06                          | 0.85   | 1.02                         | 0.62                                      |

注:除粗蛋白、钙、总磷含量为实测值外,其余为计算值

Note:Except that the content of crude protein, calcium and total phosphorus were measured values, the other indices were calculated values

## 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 生长性能。**试验期间,每天08:00—09:00和17:00—18:00观察鸡的健康情况,并记录投料量、余料量、耗料量和死亡数。于试验1、21、42 d 08:00—09:00,以栏为单位鸡群空腹称重,计算平均日增重、平均日采食量、料重比和死亡率。若发现死淘鸡,及时结料并称重。根据每日记录的数据,计算平均日增重、平均日采食量、料重比和成活率。

$$\text{平均日采食量} = \text{耗料量} / (\text{试验天数} \times \text{试验鸡只数}) \quad (1)$$

$$\text{平均日增重} = \text{增重} / (\text{试验天数} \times \text{试验鸡只数}) \quad (2)$$

$$\text{料重比} = \text{平均日采食量} / \text{平均日增重} \quad (3)$$

$$\text{成活率} = (\text{试验全期鸡存活只数} / \text{试验鸡只数}) \times 100\% \quad (4)$$

**1.3.2 饲料养分表观消化率。**42 d时,每组选择体重相近的5只鸡放在单独鸡笼进行饲养,试验期为3 d。在每只鸡笼下

放置干净塑料薄膜,记录每天的投料量和余料量。每天17:00—19:00收集新鲜粪样,并清理掉粪样中的鸡毛等杂质,对粪样进行烘干,粉碎,测定粪样中的粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量。试验期间自由采食、饮水,24 h光照。粗蛋白含量的测定参照《GB/T 6432—2018 饲料中粗蛋白的测定凯氏定氮法》<sup>[7]</sup>,粗脂肪的测定参照《GB/T 6433—2006 饲料中粗脂肪的测定》<sup>[8]</sup>,粗纤维含量的测定参照《GB/T 6438—2007 饲料中粗灰分的测定》<sup>[9]</sup>。

**1.3.3 血清生化指标的检测。**试验结束空腹称重后,每个重复抓取接近平均体重的5只鸡进行颈静脉采血,5 000 r/min离心5 min后分离血清,测定血清中的总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性、铜锌超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)活性、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase,AKP)活性及溶菌酶活性,具体操作参照试剂盒说明书进行。

**1.3.4 盲肠微生物菌群分析。**试验白羽肉鸡屠宰后,无菌条件下取出盲肠并结扎,于无菌操作台上对盲肠内容物进行 $10^{-8} \sim 10^{-5}$ 倍稀释,每个样品4个稀释度,每个稀释度3个重复,采用平板菌落计数法进行细菌计数,测定肠道内容物中芽孢杆菌、乳酸菌及大肠杆菌的数量,以lg(CFU/g)表示。参照《GB 4789.3—2016 食品微生物学检验 大肠杆菌计数》<sup>[10]</sup>中的平板计数法进行大肠杆菌的计数,芽孢杆菌的计数参照《DB32/T 2583—2013 饲料中饲用芽孢杆菌的测定》<sup>[11]</sup>中芽孢杆菌的测定方法,乳酸菌的计数参照《GB 4789.35—2016 食品微生物学检验 乳酸菌检验》<sup>[12]</sup>中乳酸菌的检验方法进行检测。

**1.4 数据统计与分析** 原始数据首先使用 Excel 2010 软件进行处理,再通过 SPSS 26.0 统计软件的单因素 ANOVA 检验程序进行分析,差异显著时采用 LSD 法进行多重比较。 $P < 0.05$

表示差异显著。试验结果均以“平均值±标准差”表示。

## 2 结果与分析

**2.1 各组白羽肉鸡生长性能的比较** 由表3可知,在不同生长阶段,与对照组相比,试验组TB组、AM组、AM+TB组白羽肉鸡的平均日增重显著提高( $P < 0.05$ ),平均日采食量显著降低( $P < 0.05$ ),料重比显著降低( $P < 0.05$ )。1~21 d,3个试验组平均日增重、平均日采食量和料重比均差异显著( $P < 0.05$ ),22~42和1~42 d TB+AM组白羽肉鸡平均日增重、平均日采食量略高于TB组和AM组。在整个生长阶段,3个试验组白羽肉鸡的成活率与对照组均无显著差异( $P > 0.05$ )。由此可见,AM+TB组白羽肉鸡的促生长效果优于其他2个试验组,且试验前期(1~21 d)的促生长效果要好于试验后期(22~42 d)。

表3 各组白羽肉鸡生长性能的比较

Table 3 Comparison of the growth performance of white feathered broilers among different group

| 组别<br>Group        | 体重 Body weight//g |                 |                 | 平均日增重 Average daily weight gain//g/d |              |              |
|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|--------------|--------------|
|                    | 1 d               | 21 d            | 42 d            | 1~21 d                               | 22~42 d      | 1~42 d       |
| 对照组 Control group  | 44.28±0.10        | 982.08±5.49 d   | 2 852.10±4.79 d | 44.65±0.25 d                         | 89.05±0.47 c | 66.85±0.12 d |
| TB组 TB group       | 44.28±0.86        | 995.71±1.44 c   | 2 887.30±0.89 c | 45.31±0.03 c                         | 90.08±0.06 b | 67.69±0.02 c |
| AM组 AM group       | 44.52±0.59        | 1 009.64±2.68 b | 2 935.33±6.60 b | 45.96±0.15 b                         | 91.70±0.44 a | 68.83±0.15 b |
| TB+AM组 TB+AM group | 44.15±0.67        | 1 047.80±8.44 a | 2 982.04±2.97 a | 47.79±0.42 a                         | 92.11±0.33 a | 69.95±0.07 a |

  

| 组别<br>Group        | 平均日采食量 Average daily feed intake//g/d |                |               | 料重比 Feed-gain ratio |             |              | 成活率<br>Survival rate//% |
|--------------------|---------------------------------------|----------------|---------------|---------------------|-------------|--------------|-------------------------|
|                    | 1~21 d                                | 22~42 d        | 21~42 d       | 1~21 d              | 22~42 d     | 1~42 d       |                         |
| 对照组 Control group  | 82.00±1.90 a                          | 178.48±0.89 a  | 130.74±2.35 a | 1.84±0.05 a         | 2.01±0.02 a | 1.96±0.04 a  | 96.41±1.07              |
| TB组 TB group       | 78.63±0.80 b                          | 171.63±1.91 c  | 125.63±1.08 b | 1.74±0.02 b         | 1.91±0.02 b | 1.86±0.02 b  | 96.54±0.45              |
| AM组 AM group       | 76.12±1.10 c                          | 173.58±2.17 bc | 125.85±0.96 b | 1.66±0.03 c         | 1.89±0.03 b | 1.83±0.01 bc | 96.87±2.10              |
| TB+AM组 TB+AM group | 73.14±0.70 d                          | 175.82±1.05 b  | 126.14±1.78 b | 1.53±0.01 d         | 1.91±0.01 b | 1.80±0.03 c  | 96.61±1.75              |

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),相同小写字母或无字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference ( $P < 0.05$ ), while the same lowercase letters or no letters indicated no significant difference ( $P > 0.05$ )

**2.2 各组饲料养分表现消化率的比较** 由表4可知,与对照组相比,TB组和AM+TB组粗脂肪和粗纤维的表现消化率显著提高( $P < 0.05$ ),AM组和AM+TB组粗蛋白的表现消化率

显著提高( $P < 0.05$ )。AM+TB组白羽肉鸡粗蛋白、粗脂肪、粗纤维的表现消化率显著高于其他2个试验组( $P < 0.05$ )。

表4 各组白羽肉鸡饲料养分表现消化率的比较

Table 4 Comparison of nutrient apparent digestibility of white feather broilers' feed among different groups

| 组别<br>Group        | 粗蛋白表现消化率<br>Apparent digestibility of crude protein | 粗脂肪表现消化率<br>Apparent digestibility of ether extract | 粗纤维表现消化率<br>Apparent digestibility of crude fiber |
|--------------------|---|---|---|
| 对照组 Control group  | 61.22±0.03 c  | 44.35±0.31 c  | 15.43±0.08 c                                      |
| TB组 TB group       | 62.18±1.34 bc                                       | 47.28±0.62 b  | 18.65±0.60 b                                      |
| AM组 AM group       | 63.05±0.05 b  | 44.32±1.20 c  | 15.48±1.69 c                                      |
| AM+TB组 TB+AM group | 63.58±0.07 a  | 47.99±1.04 a  | 20.68±0.98 a                                      |

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),相同小写字母或无字母表示差异不显著、( $P > 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference ( $P < 0.05$ ), while the same lowercase letters or no letters indicated no significant difference ( $P > 0.05$ )

**2.3 各组白羽肉鸡血清生化指标的比较** 由表5可知,与对照组相比,AM组和AM+TB组白羽肉鸡血清中总超氧化物歧化酶、铜锌超氧化物歧化酶、碱性磷酸酶、溶菌酶的活性均显著提高( $P < 0.05$ );TB组白羽肉鸡血清中总超氧化物歧化酶、铜锌超氧化物歧化酶、碱性磷酸酶、溶菌酶的活性与对照组相比差异不显著( $P > 0.05$ );AM+TB组白羽肉鸡血清中总

超氧化物歧化酶、铜锌超氧化物歧化酶和溶菌酶的活性均高于其他2个试验组。

**2.4 各组盲肠微生物数量的比较** 由表6可知,与对照组相比,3个试验组大肠杆菌的数量均显著降低( $P < 0.05$ ),TB组和AM+TB组乳酸菌数量均显著提高( $P < 0.05$ );与对照组相比,AM组乳酸菌数量有所提高,但2组间差异不显著( $P >$

0.05);3个试验组芽孢杆菌的数量差异不显著( $P>0.05$ ); 一个试验组。

AM+TB组乳酸菌和芽孢杆菌的数量均不同程度高于其他2

表5 各组白羽肉鸡血清生化指标的比较

Table 5 Comparison of serum biochemical indexes of white feathered broilers among different groups

| 组别 Group           | 总超氧化物歧化酶活性<br>Activity of total<br>superoxide<br>dismutase//U/mL | 铜锌超氧化物歧化酶活性<br>Activity of copper<br>zinc superoxide<br>dismutase//U/mL | 碱性磷酸酶活性<br>Alkaline phos-<br>phatase activity<br>U/L | 溶菌酶活性<br>Lysozyme<br>activity//U/mL |
|--------------------|--|---|--|-------------------------------------|
| 对照组 Control group  | 176.02±1.58 b  | 68.84±0.88 b  | 21 772.07±99.15 b                                    | 37.43±1.25 b                        |
| TB组 TB group       | 175.49±0.31 b  | 69.27±1.16 b  | 21 722.10±204.97 b                                   | 38.62±0.71 b                        |
| AM组 AM group       | 201.86±1.03 a  | 97.43±1.61 a  | 23 959.20±65.17 a                                    | 42.40±1.44 a                        |
| AM+TB组 TB+AM group | 202.79±0.84 a  | 97.71±1.04 a  | 24 290.97±609.57 a                                   | 43.62±0.78 a                        |

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),相同小写字母或无字母表示差异不显著( $P>0.05$ )

Note:Different lowercase letters in the same column indicated significant difference ( $P<0.05$ ), while the same lowercase letters or no letters indicated no significant difference ( $P>0.05$ )

表6 各组白羽肉鸡盲肠内容物微生物数量的比较

Table 6 Comparison of the number of microbe in cecum contents of white feather broilers among different groups

| 组别 Group           | 大肠杆菌数量<br>Number of <i>E.coli</i> | 乳酸菌数量<br>Number of <i>Lactobacillus</i> sp. | 芽孢杆菌数量<br>Number of <i>Bacillus</i> sp. |
|--------------------|-----------------------------------|---|---|
| 对照组 Control group  | 8.39±0.13 a                       | 7.16±0.02 b                                 | 7.22±0.11                               |
| TB组 TB group       | 7.12±0.22 c                       | 7.82±0.02 a                                 | 7.23±0.11                               |
| AM组 AM group       | 7.42±0.01 b                       | 7.20±0.12 b                                 | 7.26±0.06                               |
| AM+TB组 TB+AM group | 6.93±0.59 c                       | 7.88±0.10 a                                 | 7.31±0.02                               |

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),相同小写字母或无字母表示差异不显著、( $P>0.05$ )

Note:Different lowercase letters in the same column indicated significant difference ( $P<0.05$ ), while the same lowercase letters or no letters indicated no significant difference ( $P>0.05$ )

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中添加氨基酸螯合微量元素和三丁酸甘油酯对白羽肉鸡生长性能的影响

该试验结果表明氨基酸螯合微量元素与三丁酸甘油酯均能提高白羽肉鸡的平均日增重,降低平均日采食量,降低料重比,改善生长性能。氨基酸螯合微量元素作为一类金属元素同氨基酸按一定摩尔比例以共价键结合的螯合物,既能为动物机体提供必需金属离子,又能提供体内合成蛋白质的中间物质,在机体内容易吸收消化,容易释放金属离子,增加体内酶的活性,促进蛋白质、脂肪和粗纤维的消化利用率<sup>[13]</sup>。三丁酸甘油酯被吸收后,在肠道胰脂肪酶的作用下分解为甘油和丁酸,进入肠上皮细胞;甘油为肠道发育提供能量。丁酸一方面能够修复肠道黏膜,增强肠道对营养物质的消化吸收,从而促进生长;另一方面,丁酸在丁酸辅酶A合成酶的作用下,经过一系列化学反应生成乙酰辅酶A,进而参与 $\beta$ 氧化,进行能量代谢<sup>[14]</sup>。该研究表明,1~21 d,氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳的改善作用效果优于二者单独使用时的作用效果。该复方纳米乳增加了三丁酸甘油酯的水溶性,提升了氨基酸螯合微量元素与三丁酸甘油酯的稳定性,提高了二者在白羽肉鸡体内的生物利用度。彭丽莎等<sup>[15]</sup>研究发现饲料中添加0.20%三丁酸甘油酯对肉鸡生长性能的促进效果最佳,且试验前期(1~21 d)促生长效果优于试验后期(22~42 d)。

#### 3.2 饲料中添加氨基酸螯合微量元素和三丁酸甘油酯对饲料养分表观消化率的影响

饲料中添加三丁酸甘油酯,三丁酸甘油酯进入体内释放丁酸,丁酸促进小肠的发育,增加大肠绒毛表面积,提高白羽肉鸡粗脂肪、粗蛋白和粗纤维的表

观消化率,促进生长,提高体增重。刘丹等<sup>[16]</sup>在大三元猪日粮中添加不同水平的氨基酸微量元素螯合物,对粗蛋白消化率的影响不大,粗脂肪消化率提高了32.50百分点。侯爽等<sup>[17]</sup>研究发现饲料中添加锌、锰等能显著提高肉鸡的粗蛋白利用率。该研究中氨基酸微量元素对粗脂肪和粗纤维表观消化率的影响不显著,粗蛋白表观消化率提高了2.99%,但差异不显著。王波<sup>[18]</sup>消化代谢试验结果表明,饲料添加75%寡糖络合微量元素(铁、铜、锰、锌)替代黄羽肉鸡饲料中100%无机微量元素,可以提高黄羽肉鸡的粗蛋白表观代谢率。这与上述2个研究结果有一定的区别,可能由于该试验所用微量元素来源及鸡的品种不同有关。朱荣生等<sup>[19]</sup>在饲料中添加不同水平的三丁酸甘油酯,结果发现不同试验组断奶仔猪粗蛋白、粗脂肪的表观消化均显著高于对照组。该研究表明三丁酸甘油酯和氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳能显著提高粗脂肪和粗纤维的表观消化率,氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳使用效果更佳,氨基酸螯合微量元素和氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳能显著提高粗蛋白的表观消化率,氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳使用效果更佳。

#### 3.3 饲料中添加氨基酸螯合微量元素和三丁酸甘油酯对白羽肉鸡血清生化指标的影响

超氧化物歧化酶、铜锌超氧化物歧化酶等作为一类含有金属元素的活性蛋白酶,具有清除自由基、免疫调节作用。锌、铜、锰作为其组成成分,是不可缺少的,铁能够直接参与体内过氧化物酶的合成。碱性磷酸酶是一种含锌的糖蛋白,广泛分布于动物机体,参与成骨细胞的代谢。碱性磷酸酶的活性是反映动物生长代谢的重要

指标。宋琼莉等<sup>[20]</sup>研究发现在 28 日龄崇仁麻鸡日粮中添加复合微量元素,铁、铜、锰、锌的添加量分别为 80、8、80 和 60 mg/kg 时,血清中碱性磷酸酶的活性增加。溶菌酶作为一种存在于机体内的天然抗菌蛋白,具有抗菌、抗病毒、增强免疫力的功效,其活性受遗传、营养等因素的影响。该研究中氨基酸螯合微量元素和氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳能够显著提高超氧化物歧化酶、铜锌超氧化物歧化酶、碱性磷酸酶、溶菌酶的活性,氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳作用效果更佳;三丁酸甘油酯组作用效果不显著。

**3.4 饲料中添加氨基酸螯合微量元素和三丁酸甘油酯对盲肠微生物数量的影响** 该研究中的氨基酸螯合微量元素含有白羽肉鸡生长所必需的金属微量元素铁、锌、锰、铜。铁可以进入机体后竞争性地与白细胞中的乳铁蛋白结合形成复合物,抑制大肠杆菌的生长,促进乳酸杆菌的生长<sup>[21]</sup>;锌能够增强肠道干细胞增殖分化能力,提高肠道屏障和抗氧化功能<sup>[22]</sup>。肉鸡日粮中添加一定量的锰能够显著提高盲肠免疫球蛋白 A 分泌量,提高肠道的免疫力。三丁酸甘油酯通过提高肠绒毛高度,降低隐窝深度,修复肠黏膜结构损伤,改善肠道健康<sup>[23]</sup>;三丁酸甘油酯在肠道后端释放短链脂肪酸——丁酸,降低肠道 pH,抑制大肠杆菌等病原微生物的生长,增加乳酸菌等益生菌的数量,维持肠道微生物的平衡<sup>[24]</sup>。曹阳<sup>[25]</sup>研究表明饲料中添加三丁酸甘油酯(500 mg/kg),能显著降低 14 日龄肉仔鸡盲肠大肠杆菌数量(0.05<P<0.10)。该研究中添加三丁酸甘油酯均能显著降低盲肠中大肠杆菌的数量,增加乳酸菌的数量,且氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳使用效果高于二者单独使用效果。

#### 4 结论

饲料中添加氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳对白羽肉鸡具有促生长效果,且试验前期效果优于试验后期。氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳能显著提高粗蛋白、粗脂肪、粗纤维的表现消化率,不同程度提高血清中生化酶活性,增强机体抵抗力;氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳能显著降低盲肠内大肠杆菌数量、增加乳酸菌数量。饲料中添加氨基酸螯合微量元素三丁酸甘油酯复方纳米乳的使用效果优于二者单独使用效果。

#### 参考文献

- [1] 吴凡.微量元素铁在动物生产上的应用[J].江西饲料,2012(4):10-12.
- [2] 薛颖,董晓芳,佟建明.不同水平无机及有机复合微量元素对蛋鸡血浆

- 抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2016,28(7):2122-2131.
- [3] 陆娟娟,崔吉安,夏中生,等.氨基酸微量元素螯合物替代无机微量元素对肉鸡饲养效果的影响[J].粮食与饲料工业,2011(6):43-46.
- [4] 杨小燕,刘佃章,王记友,等.有机微量元素在白羽肉鸡中的应用[J].福建畜牧兽医,2004,26(5):9.
- [5] 梁琦,左刚.三丁酸甘油酯的生理功能及其在仔猪中的应用[J].猪业科学,2020,37(5):46-49.
- [6] NRC.Nutrient requirement of poultry[S].Washington,DC:National Academy Press,1994.
- [7] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法:GB/T 6432—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.饲料中粗脂肪的测定:GB/T 6433—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.饲料中粗灰分的测定:GB/T 6438—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.大肠菌群计数:GB 4789.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [11] 江苏省质量技术监督局.饲料中饲用芽孢杆菌的测定:DB32/T 2583—2013[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品微生物检验 乳酸菌检验:GB 4789.35—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [13] 林仕梅,潘瑜,罗莉,等.不同来源微量元素铁、锌、锰、铜对罗非鱼生长、代谢和非特异性免疫力的影响[J].动物营养学报,2011,23(5):763-770.
- [14] 郑欣,徐树德,艾庆辉,等.三丁酸甘油酯对动物生长和肠道屏障功能的影响及其作用机制[J].动物营养学报,2018,30(5):1668-1675.
- [15] 彭丽莎,孙健栋,史艳云,等.三丁酸甘油酯对肉鸡生长性能、养分表现消化率、屠宰性能、肠道形态及微生物菌群的影响[J].动物营养学报,2014,26(2):466-473.
- [16] 刘丹,夏中生,陈嘉宇.氨基酸微量元素螯合物对生长猪生长性能和养分利用率的影响[J].粮食与饲料工业,2007(10):38-39,48.
- [17] 侯爽,刘娇,王昕陟.饲料中锌、锰和植酸酶水平对肉鸡生长性能、血清生化指标以及血清中锌、锰含量的影响[J].动物营养学报,2020,32(5):2397-2406.
- [18] 王波.寡糖络合微量元素对黄羽肉鸡生长性能、饲料养分代谢率及血液生化指标的影响[D].南宁:广西大学,2017.
- [19] 朱荣生,徐伟,王怀中等.饲料添加不同水平三丁酸甘油酯对断奶仔猪生长性能、血清生化指标、肠组织形态和养分消化率的影响[J].动物营养学报,2020,32(2):664-673.
- [20] 宋琼莉,陈小连,周泉勇,等.复合有机微量元素对崇仁麻鸡生长性能和粪便中微量元素含量的影响[J].动物营养学报,2018,30(3):1172-1177.
- [21] 贾淑庚,檀晓萌,郝二英.微量元素铁在家禽生产中的应用研究[J].饲料广角,2015(10):38-41.
- [22] 张得香,朱秋杰,刘振华,等.微量营养素锌促进肠上皮发育及再生机制的研究进展[J].动物营养学报,2020,32(11):5038-5045.
- [23] 唐茂妍,林冬梅.三丁酸甘油酯在饲料中的应用进展[J].饲料博览,2019(10):11-14,18.
- [24] 薛永强,马永喜,赵虎,等.三丁酸甘油酯的生理调控机制及在动物生产中的应用[J].动物营养学报,2020,32(12):5547-5555.
- [25] 曹阳.三丁酸甘油酯对肉鸡生产性能和肠道发育影响的研究[D].泰安:山东农业大学,2016.

(上接第 32 页)

- [9] 罗源,周扬,张林,等.甘孜州主要牧草饲用价值及水土保持能力[J].现代园艺,2021,44(19):17-21.
- [10] 彭彬,宋思梦,张艳,等.甘孜州大渡河流域干旱河谷概况及建议[J].现代园艺,2022,45(5):56-58.
- [11] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业出版社,2016:53-73.
- [12] 何旭阳,杨振安,张桥英.青藏高寒草甸 3 种牧草营养成分和饲用价值比较[J].草学,2019(4):34-37.
- [13] 郑凯,顾洪如,沈益新,等.牧草品质评价体系及品质育种的研究进展[J].草业科学,2006,23(5):57-61.
- [14] 解津刚,魏勇,宋洁,等.新疆地区燕麦草饲料主要营养成分相关性分析[J].饲料研究,2022,45(5):110-113.
- [15] 常根柱,杨志强,杨红善.美国蓝茎冰草、中间偃麦草、高冰草引种试验[J].草业科学,2009,26(3):68-71.