

复合酶制剂对伊犁鹅生产性能、血清生化指标及盲肠内容物代谢组的影响

王俊花¹ 杨开伦¹ 古丽娜·巴克¹ 彭 箫¹ 赵晓钰¹ 吴盈萍¹

方书宝¹ 段玉青¹ 梅志勇¹ 李海英^{1*} 陈国宏^{2*}

(1.新疆农业大学动物科学学院,乌鲁木齐 830052;2.扬州大学动物科学与技术学院,扬州 225009)

摘要: 本试验旨在研究饲料中添加复合酶制剂(主要成分为蛋白酶、木聚糖酶、纤维素酶、甘露聚糖酶、 α -淀粉酶和普罗兰酶)对伊犁鹅生产性能、血清生化指标及盲肠内容物代谢组的影响。试验选取健康状况良好、体重相近的4岁伊犁鹅200只,随机分为4组,每组10个重复,每个重复5只伊犁鹅(1公4母)。对照组饲喂玉米-豆粕型饲料,试验I、II和III组在对照组饲料的基础上分别添加0.2、0.3和0.4 g/kg的复合酶制剂。预试期7 d,正试期38 d。结果显示:1)在生产性能方面,与对照组相比,试验II组的产蛋率提高25.78% ($P<0.05$),料蛋比降低21.72% ($P<0.05$)。2)在血清生化指标方面,与对照组相比,试验II组的总蛋白和球蛋白含量分别提高21.51% ($P<0.05$)、30.61% ($P<0.05$);试验I、II和III组的谷草转氨酶活性分别提高69.85% ($P<0.05$)、41.26% ($P<0.05$)和49.02% ($P<0.05$),谷丙转氨酶活性分别提高34.78% ($P<0.05$)、33.78% ($P<0.05$)和40.80% ($P<0.05$);试验I、II和III组的葡萄糖含量分别提高55.61% ($P<0.01$)、55.81% ($P<0.01$)和38.02% ($P<0.01$);试验II组的总胆固醇含量降低15.97% ($P<0.05$);试验II和III组的低密度脂蛋白含量分别降低37.66% ($P<0.05$)和37.01% ($P<0.05$)。3)在盲肠内容物代谢组方面,对照组和复合酶制剂组(即试验II组)共检测到5 530种代谢物,筛选出21种差异代谢物,其中N-乙酰基-L-瓜氨酸、孕烯醇酮硫酸盐和L-瓜氨酸等12种代谢物的相对含量显著上调($P<0.05$), N_2 -(D-1羧乙基)-L-赖氨酸、5-甲氧基咪唑乙酸酯和(R)-乳酸等9种代谢物的相对含量显著下调($P<0.05$)。综上所述,在产蛋期伊犁鹅饲料中添加0.3 g/kg复合酶制剂,可调控伊犁鹅血清中葡萄糖、总蛋白含量和蛋白质代谢相关酶活性,改善脂代谢能力,并可引起伊犁鹅体内21种代谢物及相关代谢途径发生显著变化,同时增强了伊犁鹅肠道的代谢活动,提高了营养物质利用率,从而提高了伊犁鹅的生产性能。

关键词: 伊犁鹅;复合酶制剂;生产性能;血清生化指标;差异代谢物

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)04-1693-11

复合酶制剂是一种安全、绿色的饲料添加剂^[1],复合酶制剂中的酶能够破坏饲料原料中的抗营养因子,从而促进动物生长,提高动物的生产性能^[2],因此复合酶制剂在实际生产中得到了广泛地应用。伊犁鹅是我国唯一由灰雁驯化而来的

家鹅品种,是优质的地方遗传资源,其产蛋性能较低,且就巢性强,远不能满足规模化生产及市场的需求^[3]。王丽娟等^[4]研究表明,在海兰褐蛋鸡饲料中添加0.4 g/kg的复合酶制剂可显著提高其产蛋率、血清总蛋白和葡萄糖含量。代谢组学技术

收稿日期:2019-10-22

基金项目:新疆维吾尔自治区重点实验室项目(2019D04011);国家自然科学基金项目(31960648)

作者简介:王俊花(1991—),女,河南周口人,硕士研究生,研究方向为动物生产学。E-mail: 2691655585@qq.com

* 通信作者:李海英,教授,博士生导师,E-mail: lhy-3@163.com;陈国宏,教授,博士生导师,E-mail: ghchen@yzu.edu.cn

可以对动物机体代谢生成的小分子代谢物及其相关代谢途径进行分析,系统地阐述生物机体的营养代谢变化,从而评价动物机体对饲料的代谢过程。毛悦等^[5]利用核磁共振代谢组学技术研究了夏秋绿茶对肉鸡脂肪和氨基酸代谢的影响,结果表明,在肉鸡饲料中添加一定水平的绿茶粉,可通过增强甘氨酸/丝氨酸和苏氨酸代谢通路以及丙氨酸、天冬氨酸和谷氨酸代谢通路,增强肉鸡的抗氧化能力。本试验在伊犁鹅产蛋期饲料中添加复合酶制剂,旨在通过探究复合酶制剂对伊犁鹅产蛋性能、血清生化指标和盲肠内容物代谢组的影响,为复合酶制剂在伊犁鹅饲料中的应用提供理论参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用复合酶制剂由深圳绿微康生物科技有限公司提供,主要成分为蛋白酶(3 000 U/g)、木聚糖酶(2 000 U/g)、纤维素酶(1 000 U/g)、甘露聚糖酶(800 U/g)、 α -淀粉酶(500 U/g)、普

兰酶(300 U/g)。

1.2 试剂与仪器

仪器:Q Exactive 质谱仪(Thermo Scientific)、高效液相系统(Thermo Scientific UltiMate™ 3000 系统)。试剂:乙腈(质谱级,A955-4,Fisher)、甲醇(质谱级,A456-4,美国 Fisher 公司)、水(质谱级,W6-4,Fisher)、甲酸(质谱级,A117-50,Fisher)。

1.3 试验动物与试验设计

试验采用单因素试验设计,以健康状况良好、体重相近[公鹅:(3.95 ± 0.36) kg,母鹅:(3.29 ± 0.32) kg]、饲养管理水平一致的 200 只 4 岁伊犁鹅(由新疆额敏县恒鑫实业有限公司国家级伊犁鹅保种场提供)为试验对象,将其随机分为 4 组,每组 10 个重复,每个重复 5 只(公母比例为 1:4)。各组间试验鹅初始产蛋率无显著差异($P > 0.05$)。对照组饲喂玉米-豆粕型基础饲料,试验组在基础饲料的基础上分别添加 0.2(试验 I 组)、0.3(试验 II 组)和 0.4 g/kg(试验 III 组)的复合酶制剂。预试期为 7 d,正试期为 38 d。基础饲料组成及营养水平见表 1。

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)

%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
玉米 Corn	58.00	代谢能 ME/(MJ/kg)	11.03
豆粕 Soybean meal	20.00	粗蛋白质 CP	15.16
苜蓿草粉 Alfalfa meal	12.50	粗纤维 CF	5.79
大豆油 Soybean oil	2.10	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.57
石粉 Limestone	4.40	蛋氨酸 Met	0.32
预混料 Premix ¹⁾	3.00	赖氨酸 Lys	0.84
合计 Total	100.00	钙 Ca	2.39
		磷 P	0.42

1) 预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kg of the diet: VA 9 075 IU, VD₃ 3 300 IU, VB₁ 1.67 mg, VB₂ 6.89 mg, VB₆ 2.70 mg, VB₁₂ 0.02 mg, VE 20.00 mg, VK₃ 2.20 mg, 生物素 biotin 0.08 mg, 叶酸 folic acid 1.10 mg, D-泛酸钙 D-pantothenic acid 8.81 mg, 烟酸 nicotinic acid 32.67 mg, Cu 7.50 mg, Fe 90.00 mg, Mn 106.00 mg, Zn 69.00 mg, I 0.60 mg, Se 0.40 mg, Co 0.20 mg。

2) 营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.4 饲养管理

饲养试验在新疆额敏县恒鑫实业有限公司国家级伊犁鹅保种场进行,试验鹅按重复进行单圈常规饲养,种鹅舍内有产蛋窝、食槽、地面运动场和水面运动场。试验期间,试验鹅自由采食和饮

水,每天分 2 次投喂(08:00 和 16:00 各喂料 1 次),投料后捡蛋并记录。

1.5 指标测定

1.5.1 生产性能

每日准确记录各重复试验鹅的剩料量、总蛋

重、总产蛋个数、不合格蛋数,根据饲养记录计算产蛋率、平均蛋重、平均日采食量、料蛋比和种蛋合格率。

1.5.2 血清生化指标

在饲养试验的第 38 天,停料 12 h 后,每个重复随机选取 2 只母鹅进行翅下静脉采血,室温倾斜放置 20 min 后,3 000 r/min 离心 15 min 后分离血清,分装血清后于-20 ℃下保存,用于测定以下血清生化指标:总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、尿酸(UA)、葡萄糖(Glu)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白(HDL)和低密度脂蛋白(LDL)含量及谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)活性。

1.5.3 盲肠内容物代谢组

从对照组和复合酶制剂组(即生产性能最佳

组,根据生产性能结果确定为试验 II 组)中随机选取 10 只体重接近平均体重的母鹅,屠宰后迅速采集盲肠内容物,置于液氮中保存,用于代谢组学分析。

1.5.3.1 液相色谱-质谱联用(LC-MS)样品的预处理

向 100 mg 肠道内容物样品中加入 300 μL 甲醇-水(80:20,体积比),将样品捣碎,使其充分混匀,14 000×g 离心 5 min,离心后取上清液进行 LC-MS 上机检测。

1.5.3.2 色谱条件

色谱柱:HYPERSIL GOLD AQ C18(粒径 1.9 μm,规格 100 mm×2.1 mm);进样量:3 μL;柱温:35 ℃;流动相 A:0.1%甲酸、10 mmol/L 醋酸铵、水;流动相 B:0.1%甲酸、90%乙腈、10 mmol/L 醋酸铵、水。流动相梯度洗脱程序见表 2。

表 2 流动相梯度洗脱程序

Table 2 Gradient elution program of mobile phase

时间 Time/min	流动相 A Mobile phase A/%	流动相 B Mobile phase B/%	流速 Flow rate/(mL/min)
0	100	0	0.35
1.0	100	0	0.35
9.0	0	100	0.35
12.0	0	100	0.35
12.1	100	0	0.35
15.0	100	0	0.35

1.5.3.3 质谱条件

正、负离子各扫描 1 次,先进行正离子扫描,所有样品结束后再进行负离子扫描;电喷雾离子源;正、负离子均采用 DDA 模式扫描,质量扫描范围为质荷比(m/z)70~1 050;载气温度:350 ℃;毛细管温度:380 ℃;正、负离子电压均为 3 500 V;鞘气压力:45 psi;辅助气流速:15 arb;鞘气和辅助气均为氮气。

1.5.3.4 质控样本

试验以 2 组伊犁鹅盲肠内容物样品提取物充分混合制备质控样本。采用相同的方法处理和检测制备好的质控样本。

1.5.3.5 代谢通路富集分析

使用 KEGG 数据库,获取差异代谢物的 ID;结合数据库的通路分析和通路富集功能,鉴别出对照组与复合酶制剂组伊犁鹅盲肠内容物中表现

出来的显著差异代谢物质和代谢通路。

1.6 数据统计与分析

采用 Compound Discover 软件对原始数据进行峰检测和峰匹配。每个样本的总峰面积归一化至 10 000。采用正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)方法对样品进行模式识别分析。潜在标志物根据变异权重参数值[变量重要性投影(VIP)>1, P<0.05]进行筛选和判别分析。生产性能和血清生化指标等数据采用 Excel 2010 进行整理后,采用 SPSS 20.0 软件进行单因子方差分析(one-way ANOVA)分析,试验结果以平均值±标准差(mean±SD)表示。

2 结 果

2.1 复合酶制剂对伊犁鹅生产性能的影响

由表 3 可知,与对照组相比,试验 II 组的产蛋

率提高 25.78% ($P<0.05$), 试验 II 组的料蛋比降低 ($P>0.05$)。21.72% ($P<0.05$), 其他指标各组间均差异不显著

表 3 复合酶制剂对伊犁鹅生产性能的影响

Table 3 Effects of compound enzyme preparation on performance of Yili geese

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III
平均日采食量 ADFI/[g/(只·d)]	175.76±11.84	173.40±13.93	169.78±8.34	171.11±8.81
平均蛋重 Average egg weight/(g/枚)	135.43±5.48	134.94±6.63	138.19±17.32	136.30±17.68
产蛋率 Laying rate/%	21.80±4.83 ^a	22.75±5.84 ^{ab}	27.42±4.77 ^b	24.01±4.80 ^{ab}
料蛋比 Feed/egg	7.46±1.46 ^b	6.82±1.47 ^{ab}	5.84±1.29 ^a	6.35±1.29 ^{ab}
合格蛋率 Qualified rate of egg/%	98.21±2.24	99.72±0.88	98.34±2.36	98.36±1.44

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 ($P<0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P>0.01$)。表 4 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 ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P>0.01$). The same as Table 4.

2.2 复合酶制剂对伊犁鹅血清生化指标的影响

由表 4 可知, 与对照组相比, 试验 II 组的血清 TP 和 GLB 含量分别提高 21.51% ($P<0.05$) 和 30.61% ($P<0.05$); 与试验 I 组相比, 试验 II 组的血清 GLB 含量提高 23.66% ($P<0.05$)。与对照组相比, 试验 I、II 和 III 组的血清 AST 活性分别提高 69.85% ($P<0.05$)、41.26% ($P<0.05$) 和 49.02% ($P<0.05$), ALT 活性分别提高 34.78% ($P<0.05$)、33.78% ($P<0.05$) 和 40.80% ($P<0.05$); 与试验 I 组相比, 试验 II 组的血清 AST 活性显著降低

16.84% ($P<0.05$)。与对照组相比, 试验 I、II 和 III 组的血清 Glu 含量分别提高 55.61% ($P<0.01$)、55.81% ($P<0.01$) 和 38.02% ($P<0.01$), 试验 II 组的血清 TC 含量显著降低 15.97% ($P<0.05$), 试验 II、III 组的血清 LDL 含量分别降低 37.66% ($P<0.05$) 和 37.01% ($P<0.05$); 与试验 I 组相比, 试验 II、III 组的血清 LDL 含量分别降低 28.36% ($P<0.05$) 和 27.61% ($P<0.05$)。其他指标各组间均差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 复合酶制剂对伊犁鹅血清生化指标的影响

Table 4 Effects of compound enzyme preparation on serum biochemical indexes of Yili geese

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III
总蛋白 TP/(g/L)	61.64±6.95 ^a	67.61±11.89 ^{ab}	74.90±8.28 ^b	68.36±13.71 ^{ab}
白蛋白 ALB/(g/L)	25.08±1.23	25.62±3.68	25.82±1.04	24.67±2.69
球蛋白 GLB/(g/L)	37.37±3.43 ^a	39.47±9.45 ^a	48.81±7.98 ^b	42.73±11.54 ^{ab}
谷草转氨酶 AST/(U/L)	12.24±1.86 ^a	20.79±3.60 ^c	17.29±3.47 ^b	18.24±3.10 ^{bc}
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	5.98±1.18 ^a	8.06±0.33 ^b	8.00±0.83 ^b	8.42±1.34 ^b
尿酸 UA/(μmol/L)	372.58±57.14	368.83±76.55	424.55±80.46	402.77±51.07
葡萄糖 Glu/(mmol/L)	9.89±0.89 ^{Aa}	15.39±2.70 ^{Bb}	15.41±1.49 ^{Bb}	13.65±2.01 ^{Bb}
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.22±0.16	1.36±0.70	1.92±0.70	1.63±0.68
总胆固醇 TC/(mmol/L)	5.51±0.77 ^b	5.23±0.94 ^{ab}	4.63±0.52 ^a	4.90±1.03 ^{ab}
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	1.02±0.10	0.97±0.15	0.88±0.13	0.97±0.19
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	1.54±0.16 ^b	1.34±0.25 ^b	0.96±0.17 ^a	0.97±0.42 ^a

2.3 LC-MS 分析

2.3.1 对伊犁鹅盲肠内容物代谢物组分的 OPLS-DA

为了消除与分类不相关的噪声信息,同时也为了获得各组之间更加可靠的显著差异代谢物信息,本试验采用正交偏最小二乘(OPLS)分析过滤与模型分类不相关信号即正交信号,获得 OPLS 模型,其中 R_x^2 表示模型对 X 变量的累积解释率; R_y^2 表示模型对 Y 变量的累积解释率; Q^2 表示累积主成分后模型的预测能力。正模式下得到 6 个主成分, $R_x^2=0.586$, $R_y^2=0.998$, $Q^2=0.392$;负模式下得到 7 个主成分, $R_x^2=0.636$, $R_y^2=1.000$, $Q^2=0.480$ 。由图 1、图 2 可知,OPLS 模型拟合较好,可以将复合酶制剂组与对照组的代谢物区分开。

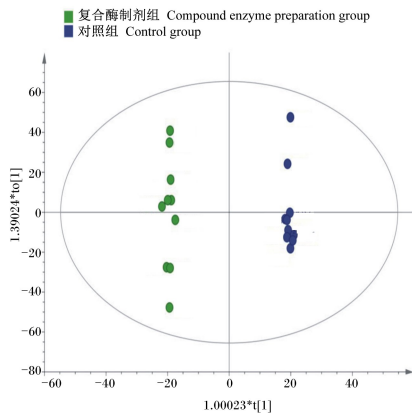


图 1 正模式下对照组和复合酶制剂组盲肠内容物样品的 OPLS 得分图

Fig.1 OPLS scores plot of cecal contents metabolomics samples in control group and compound enzyme preparation group under positive mode

如图 3、图 4 所示,置换检验通过随机改变分类变量 Y 的所属类别,100 次随机改变后,建立对应数据的 OPLS-DA 模型以获取模型的 R^2 和 Q^2 值。置换检验的方法在评估模型是否过拟合以及模型的统计显著性上具有重要作用。本试验中,正模式下 $R^2=0.998$;负模式下 $R^2=1.000$, R^2 均接近 1,说明建立的模型符合样本数据的真实情况,正模式下 $Q^2=0.392$;负模式下 $Q^2=0.480$, Q^2 均接近 0.500,说明模型有较好的预测能力,有新样本加入模型,会得到近似的值。随着变量 Y 被置换的比例加大,对应模型的 R^2 和 Q^2 逐渐下降,证明原模型不存在过拟合现象,模型稳定性良好。

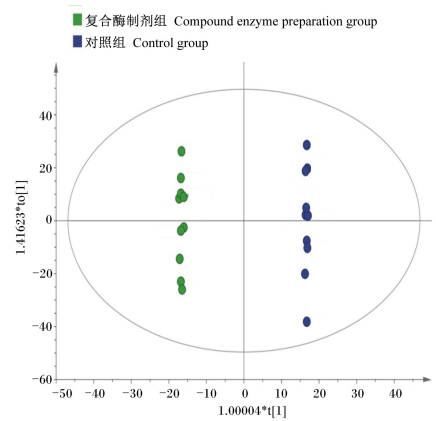


图 2 负模式下对照组和复合酶制剂组盲肠内容物样品的 OPLS 得分图

Fig.2 OPLS scores plot of cecal contents metabolomics samples in control group and compound enzyme preparation group under negative mode

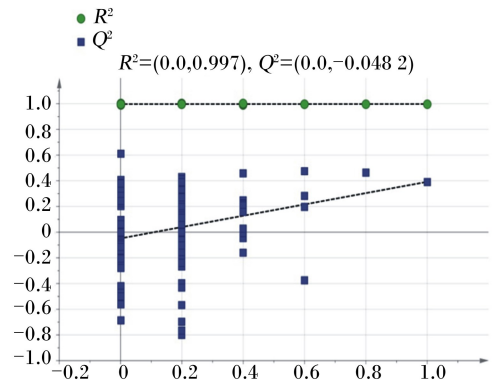


图 3 正模式下对照组和复合酶制剂组盲肠内容物样品的 OPLS-DA 模型置换检验结果

Fig.3 Permutation test result of OPLS-DA model of cecal contents metabolomics samples for control group and compound enzyme preparation group under the positive mode

2.3.2 复合酶制剂对伊犁鹅盲肠内容物差异代谢物的影响

在盲肠内容物代谢组方面,对照组和复合酶制剂组共检测到 5 530 种代谢物,筛选出 21 种差异代谢物。表 5、表 6 分别为正模式和负模式下对照组与复合酶制剂组之间伊犁鹅肠道内容物的差异代谢物。在正模式下,与对照组相比,复合酶制剂组相对含量显著增加($P<0.05$)的物质有 N-乙酰基-L-瓜氨酸、3,4-二羟基苯乙二醇、2,5-二羟基吡啶、1-甲基吡咯啉、焦脱镁叶绿酸、泛酸、香叶基对苯二酚和(-)-异阿哌酮,相对含量显著减少

($P < 0.05$)的物质有肌酐、胆碱、(*R*)-乳酸。在负模式下,与对照组相比,复合酶制剂组相对含量显著增加($P < 0.05$)的物质有 *L*-瓜氨酸、孕烯醇酮硫酸盐、焦脱镁叶绿酸、2-(7'-甲硫基)庚基苹果酸盐和 2-(4'-甲基硫基)丙二酸丁酯,相对含量显著减少($P < 0.05$)的物质有 N_2 -(*D*-1 羧乙基)-*L*-赖氨酸、5-甲氧基吡啶乙酸酯、(*R*)-乳酸、(*R*)-3-羟基丁酸、谷胱甘肽亚精胺、3'-羟基-香叶酰基对苯二酚和(-)-马凯因。

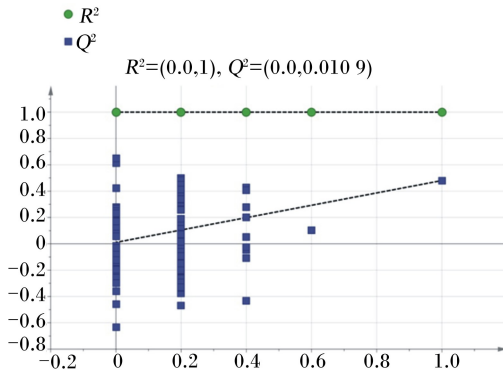


图4 负模式下对照组和复合酶制剂组盲肠内容物样品的 OPLS-DA 模型置换检验结果

Fig.4 Permutation test result of OPLS-DA model of cecal contents metabolomics samples for control group and compound enzyme preparation group under negative mode

3 讨论

3.1 复合酶制剂对伊犁鹅生产性能的影响

我国家禽的饲料主要为玉米-豆粕型,玉米是主要的能源来源,占饲料组成的 60%左右,豆粕是主要的蛋白质来源,占饲料蛋白质的 75%^[6]。玉米和豆粕中含有大量的非淀粉多糖(NSP),NSP 具有抗营养作用,可使食糜的黏度升高,内源酶活性降低,改变肠道菌群结构,形成物理屏障而降低饲料消化率等^[7]。冯宇航等^[8]在蛋鸡饲料中添加 200 g/t 的复合酶制剂(主要成分为 β -葡聚糖酶、木聚糖酶、 β -甘露聚糖酶),结果表明,复合酶制剂显著提高蛋鸡产蛋率,极显著降低料蛋比,平均蛋重有增加的趋势。海存秀等^[9]在蛋鸡饲料中添加 0.1% 的复合酶制剂(主要成分为酸性蛋白酶、木聚糖酶、果胶酶)可以使产蛋率显著提高,料蛋比显著降低。本试验结果表明,饲料中添加 0.3 g/kg 的复合酶制剂可显著提高产蛋期伊犁鹅的产蛋率,显著降低料蛋比,与上述冯宇航等^[8]、海存秀等^[9]的研究结果基本一致,可能的原因是:在产蛋期伊犁鹅饲料中添加复合酶制剂,可去除玉米-豆粕型饲料中的 NSP,释放更多的营养物质,降低肠道内食糜的黏度,维持肠道健康,从而提高动物的生产性能。

表5 正模式下对照组与复合酶制剂组之间伊犁鹅肠道内容物的差异代谢物

Table 5 Differential metabolites in *Yili* goose cecal contents between control group and compound enzyme preparation group under positive mode

保留时间 RT/min	质荷比 m/z	代谢物 Metabolites	变量重要性 投影 VIP	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	差异倍数 FC	变化趋势 Change trend	相关代谢途径 Related metabolic pathway
2.33	217.11	N-乙酰基- <i>L</i> -瓜氨酸	1.05	0.033 4	4.10	↑	精氨酸生物合成
0.81	113.06	肌酐	1.04	0.030 9	0.06	↓	精氨酸与脯氨酸代谢
3.57	170.06	3,4-二羟基苯乙二醇	1.39	0.008 1	2.68	↑	酪氨酸代谢
13.74	103.10	胆碱	1.05	0.018 7	0.36	↓	甘氨酸、丝氨酸和苏氨酸代谢
0.76	90.03	(<i>R</i>)-乳酸	1.08	0.034 8	0.42	↓	丙酮酸代谢
2.65	111.03	2,5-二羟基吡啶	1.67	0.018 8	3.25	↑	烟酸与烟酰胺代谢
1.17	83.07	1-甲基吡咯啉	1.50	0.019 9	2.28	↑	烟酸与烟酰胺代谢
13.25	534.26	焦脱镁叶绿酸	1.30	0.049 4	2.90	↑	卟啉和叶绿素代谢
1.16	205.13	泛酸	1.37	0.037 7	2.82	↑	泛酸和辅酶 A 生物合成
5.53	246.16	香叶基对苯二酚	1.74	0.003 1	2.98	↑	泛醌和其他萜类化合物生物合成
4.98	150.10	(-)-异阿哌酮	1.17	0.047 9	2.97	↑	单萜生物合成

↑表示复合酶制剂组相对于对照组上升,↓表示复合酶制剂组相对于对照组下降。下表同。

↑ mean the rise of compound enzyme preparation group compared with control group, ↓ mean the down of compound enzyme preparation group compared with control group. The same as below.

表 6 负模式下对照组与复合酶制剂组之间伊犁鹅肠道内容物的差异代谢物
Table 6 Differential metabolites in *Yili* goose cecal contents between control group and compound enzyme preparation group under negative mode

保留时间 RT/min	质荷比 m/z	代谢物 Metabolites	变量重要性投影 VIP	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	差异倍数 FC	变化趋势 Change trend	相关代谢途径 Related metabolic pathway
0.77	175.09	<i>L</i> -瓜氨酸	1.29	0.021 7	2.18	↑	精氨酸生物合成
2.91	218.13	N ₂ -(<i>D</i> -1 羧乙基)- <i>L</i> -赖氨酸	1.23	0.012 1	0.30	↓	赖氨酸降解
4.06	205.07	5-甲氧基吡啶乙酸酯	1.10	0.009 4	0.21	↓	色氨酸代谢
0.77	90.03	(<i>R</i>)-乳酸	1.25	0.007 7	0.16	↓	丙酮酸代谢
0.84	104.05	(<i>R</i>)-3-羟基丁酸	1.07	0.000 3	0.03	↓	丁酸代谢
5.08	396.20	孕烯醇酮硫酸盐	1.44	0.024 3	2.52	↑	类固醇激素生物合成
5.46	434.23	谷胱甘肽亚精胺	1.10	0.006 8	0.16	↓	谷胱甘肽代谢
6.12	262.16	3'-羟基-香叶酰基 对苯二酚	1.02	0.010 5	0.25	↓	泛醌和其他萜类化合物 生物合成
9.26	534.26	焦脱镁叶绿酸	1.46	0.043 8	4.93	↑	卟啉和叶绿素代谢
4.53	284.07	(-)-马凯因	1.17	0.001 8	0.08	↓	异黄酮生物合成
3.77	278.12	2-(7'-甲硫基) 庚基苹果酸盐	1.35	0.024 8	2.61	↑	硫代葡萄糖苷生物合成
5.28	236.07	2-(4'-甲基硫基) 丙二酸丁酯	1.39	0.046 8	6.42	↑	硫代葡萄糖苷生物合成

3.2 复合酶制剂对伊犁鹅血清生化指标的影响

血清 TP 和 ALB 含量共同反映动物体内蛋白质的代谢情况,二者含量的升高表明机体代谢活动旺盛。GLB 能够参与血液凝固,并与机体免疫有关^[10]。于翔宇等^[2]在蛋鸡饲料中添加 0.3 g/kg 的复合酶制剂(主要成分为木聚糖酶、纤维素酶和葡萄糖氧化酶),与对照组相比,血清 GLB 和 TP 含量分别极显著升高 37.45% 和 19.22%。本试验中,在产蛋期伊犁鹅饲料中添加 0.3 g/kg 的复合酶制剂可以显著提高血清 TP 和 GLB 的含量,与于翔宇等^[2]的研究结果一致,可能的原因是:复合酶制剂促进了伊犁鹅对饲料中营养物质的消化吸收,从而增加了蛋白质在伊犁鹅体内的沉积。血清中 UA 的含量可间接反映禽类对蛋白质和氨基酸物质的利用情况^[11],其含量升高,则机体排出的氮量升高,从而影响机体氮的沉积^[12]。刘伟等^[13]在肉仔鸡饲料中添加复合酶制剂(300 mg/kg 低温淀粉酶、500 mg/kg 固态发酵的天然复合酶和 100 mg/kg 植酸酶),结果显示,试验全期血清中 UA 含量与对照组差异不显著。本试验中,饲料中添加不同水平的复合酶制剂对伊犁鹅血清 UA 含量均无显著影响,说明动物机体内的蛋白质被充

分利用,与产蛋率的提高相一致,未造成浪费现象。ALT 和 AST 是动物体内分布最广的 2 种酶,这 2 种酶活性的提高有利于动物体内氨基酸的合成,提高蛋白质的代谢率^[14]。崔广林等^[15]在肉鸡饲料中添加 0.1% 的纤维素酶(主要成分为木聚糖酶、β-葡萄糖酶、纤维素酶和甘露聚糖酶等),可以显著提高肉鸡血清中 ALT 和 AST 的活性。在本试验中,在产蛋期伊犁鹅饲料中添加不同水平的复合酶制剂均能显著提高血清中 ALT 和 AST 的活性,提示添加复合酶制剂提高了伊犁鹅的蛋白质合成能力,有利于氮在伊犁鹅体内的蓄积。

血糖是动物机体主要能量来源,可参与机体的各种代谢^[16]。刘长忠等^[17]在雏鹅饲料中添加 0.2% NSP 酶,结果发现,NSP 酶能显著提高血清 Glu 含量,与本试验中添加 0.2、0.3 和 0.4 g/kg 复合酶制剂均能极显著提高伊犁鹅血清 Glu 含量的结果一致,说明复合酶制剂加快了动物体内营养物质的分解代谢,生成的小分子糖类物质进入血液,从而提高了血液中的 Glu 含量,为机体提供更多能量。血清中 TG、TC、HDL 和 LDL 含量是综合反映动物体内脂肪代谢水平的指标。TC 含量降低,家禽脂代谢水平加强,反之减弱^[18]。血清中

携带胆固醇的主要是 LDL, LDL 会使脂肪沉积于血管壁上, 形成粥样硬化, 造成血管壁伤害, 对机体产生不利影响^[19]; HDL 能将血管中的胆固醇运回肝脏, 促进胆固醇代谢, HDL 含量越高, 表明机体自身清除胆固醇的能力越强^[20]。盛东峰等^[21]在扬州鹅饲料中分别添加 250、500 和 1 000 mg/kg 的壳聚糖, 结果显示, 与对照组相比, 各添加组扬州鹅血清 TC 和 LDL 含量均显著降低, 血清 TG 和 HDL 含量均差异不显著。这与本试验中添加 0.3 g/kg 复合酶制剂后血清 TC 和 LDL 含量显著降低, 血清 TG 和 HDL 含量差异不显著的结果一致, 可能是因为复合酶制剂中的纤维素酶通过分解饲料中的纤维素, 降低了肠道内容物的黏滞性, 从而促进内源性脂肪酶对脂类的分解, 降低了动物体内胆固醇的含量^[22-23]。

3.3 复合酶制剂对伊犁鹅含氮小分子代谢的影响

氨基酸是构成蛋白质的基本组分, 也是生命活动中的一类重要物质, 对动物体生长、维持和健康等重要代谢通路起着调控作用^[24], 在体内通过一系列生化代谢途径转化为糖类或者脂类, 并合成多种重要的生物活性物质, 如激素、酶、核酸、多胺及神经递质等。正常机体内游离氨基酸水平是相对稳定的, 体内不能合成的必需氨基酸主要从食物摄入, 而非必需氨基酸可以通过自身合成或由其他氨基酸转化而来^[25]。本研究结果表明, 在伊犁鹅饲料中添加复合酶制剂后, 在盲肠内容物中有 5 种氨基酸代谢物的相对含量发生显著变化, 分别为乙酰-L-瓜氨酸、L-瓜氨酸、N₂-(D-1 羧乙基)-L-赖氨酸、5-甲氧基吡啶乙酸酯和胆碱。

精氨酸是生物蛋白质合成的一种必需氨基酸, 其对动物的能量代谢、氨基酸代谢与微生物代谢调控发挥着重要作用。Najib 等^[26]研究发现, 将饲料精氨酸含量提高到 1.5%, 可以显著提高蛋鸡的产蛋性能和饲料转化率。乙酰-L-瓜氨酸和 L-瓜氨酸是合成精氨酸所必需的前体物质。在本研究中, 复合酶制剂组中乙酰-L-瓜氨酸和 L-瓜氨酸的相对含量均较对照组显著增加, 为精氨酸的合成提供了物质基础, 从而促进了机体蛋白质的合成。赖氨酸是家禽的第二限制性氨基酸^[27], 大量研究表明赖氨酸对家禽的产蛋率有显著的促进作用^[28-29]。N₂-(D-1 羧乙基)-L-赖氨酸是 L-赖氨酸的分解产物。本研究显示, 复合酶制剂组

中 N₂-(D-1 羧乙基)-L-赖氨酸的相对含量较对照组显著降低, 可能是赖氨酸的降解效率降低所致。色氨酸是家禽的第三限制性氨基酸, 色氨酸不仅是组成蛋白质的氨基酸之一, 而且调节蛋白质的合成^[30], 因此色氨酸的含量直接影响家禽蛋白质合成的速率^[31]。色氨酸分解生成 5-甲氧基吡啶乙酸酯。本试验中, 复合酶制剂组中 5-甲氧基吡啶乙酸酯的相对含量较对照组显著降低, 可能是色氨酸的降解速率减慢所致。饲料中添加复合酶制剂后盲肠内容物中乙酰-L-瓜氨酸、L-瓜氨酸、N₂-(D-1 羧乙基)-L-赖氨酸和 5-甲氧基吡啶乙酸酯等差异代谢物的相对含量的显著变化, 反映伊犁鹅机体内蛋白质的合成代谢水平升高, 与血清中 TP 含量显著升高的结果相呼应。

丝氨酸是家禽的非必需氨基酸, 在机体内有助于抗体的形成, 对于维持动物机体免疫系统的稳定性具有重要意义^[32]。胆碱参与了丝氨酸代谢通路。本试验中, 复合酶制剂组的胆碱的相对含量较对照组显著下降, 可能是丝氨酸的分解效率降低所致, 推测复合酶制剂对维持伊犁鹅机体免疫系统的稳定性具有促进作用。

3.4 复合酶制剂对伊犁鹅碳水化合物代谢的影响

盲肠中的细菌可以将碳水化合物和蛋白质降解成短链脂肪酸(包括甲酸、乙酸、丙酸和丁酸), 这些短链脂肪酸在盲肠被吸收, 增加了肠道内渗透压, 加速了食糜的蠕动, 促进盲肠对营养物质的吸收, 从而提高生产性能^[33]。丁酸在机体内通过反应生成酮体, 并产生 ATP 为肠道黏膜提供能量, 提高肠道对营养物质的消化吸收^[34]。Sikandar 等^[35]研究发现, 饲料中添加 1 000 mg/kg 丁酸钠能显著提高肉鸡的生长性能。(R)-3-羟基丁酸是丁酸的分解产物。本研究中, 复合酶制剂组的 (R)-3-羟基丁酸的相对含量较对照组显著降低, 原因可能是丁酸分解能力降低, 丁酸的相对含量增加, 从而为机体肠道提供更多的能量, 促进肠道营养物质的消化吸收效率。

丙酮酸是能量代谢的重要物质, 丙酮酸在糖酵解代谢过程中可以分解为乳酸, 也可通过糖异生途径生成 Glu, 为机体提供能量。本研究结果表明, 与对照组相比, 复合酶制剂组伊犁鹅乳酸的相对含量显著减少, 这表明复合酶制剂的添加使得伊犁鹅能量代谢发生改变, 并促进了糖异生^[36], 与本试验中该组血清 Glu 含量极显著升高的结果相

互印证,可产生更多的能量为机体供能,从而提高生产性能。

3.5 复合酶制剂对伊犁鹅脂质代谢的影响

胆固醇是动物体内一类重要的脂类,通过生物转变发挥着重要的生理功能。胆固醇不仅是细胞膜的组成成分,还是动物合成胆汁酸、类固醇激素和维生素 D_3 等生理活性物质的前体^[37]。但是,胆固醇含量过高会引起动物机体肝脏脂质代谢发生紊乱。在本研究中,复合酶制剂组中孕烯醇酮硫酸盐的相对含量较对照组显著增加,而孕烯醇酮硫酸盐是胆固醇的分解产物之一,表明机体内的胆固醇分解效率提高,这与本试验中该组血清TG含量显著降低的结果相吻合。

3.6 复合酶制剂对伊犁鹅其他代谢物的影响

谷胱甘肽可减少巯基被氧化而导致的酶失活,并可与体内自由基结合,加速其向酸类物质的还原过程,减轻自由基对机体重要脏器的损伤,因此,谷胱甘肽分解代谢减弱对维持机体健康有着积极作用^[38]。Xiong等^[39]采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)代谢组学技术研究发现,多酚能够通过增强肉仔鸡的谷胱甘肽过氧化物酶活性来缓解热应激状况。谷胱甘肽的分解产物是谷胱甘肽亚精胺,在本试验中,复合酶制剂组中谷胱甘肽亚精胺的相对含量较对照组显著下调,说明在饲料中添加复合酶制剂使得谷胱甘肽的分解速率降低,从而对维持伊犁鹅机体健康起到积极作用。本试验中发现的一些差异代谢物还参与了烟酸与烟酰胺代谢、卟啉和叶绿素代谢、异黄酮生物合成、泛醌和其他萜类化合物生物合成、泛酸和辅酶A生物合成和硫代葡萄糖苷生物合成等代谢通路,以上这些代谢通路的具体作用未见相关报道,具体机理有待进一步研究。

4 结论

本试验条件下,在饲料中添加0.3 g/kg复合酶制剂可显著提高产蛋期伊犁鹅的产蛋率,显著降低料蛋比,极显著提高血清Glu的含量,显著提高血清TP、GLB的含量及ALT、AST的活性,显著降低血清TP和LDL的含量,并可引起盲肠内容物中21种代谢物的相对含量发生显著变化,增强了伊犁鹅肠道的代谢活动,主要表现为增加能量、促进氨基酸代谢以及脂质利用,从而提高了营养物质利用率,改善了伊犁鹅的生产性能。

参考文献:

- [1] 赵连生,王典,王有月,等.饲料中添加复合酶制剂对奶牛瘤胃发酵、营养物质表观消化率和生产性能的影响[J].动物营养学报,2018,30(10):4172-4180.
- [2] 于翔宇,张宏福,王玉磷,等.低能日粮中添加复合酶制剂对蛋鸡生产性能及血液指标的影响[J].饲料工业,2017,38(6):19-22.
- [3] 杜迨先,姚刚,魏彬.伊犁鹅的品种性状及开发前景[J].新疆农业科学,1992(1):42-43.
- [4] 王丽娟,王玉磷.不同代谢能水平的日粮添加复合酶对蛋鸡产蛋性能及血液生化指标的影响[J].畜牧与饲料科学,2016,37(11):43-46.
- [5] 毛悦,蔡海莹,何梦晓.基于¹H-NMR代谢组学研究夏秋茶对肉鸡脂肪和氨基酸代谢的影响[J].安徽农业大学学报,2018,45(6):1012-1020.
- [6] 赵敏,李长忠.非淀粉多糖酶在家禽玉米-豆粕型日粮中的应用[J].安徽农业科学,2007,35(11):3269-3270,3273.
- [7] 王佳丽,杨群辉.非淀粉多糖及其抗营养作用[J].畜牧与饲料科学,2007(4):56-57.
- [8] 冯宇航,郭勇,陈余,等.复合酶制剂对产蛋鸡生产性能、蛋品质、氮磷及氨气排放的影响[J].北京农学院学报,2018,33(4):54-57.
- [9] 海存秀,郭红玉.复合酶制剂对青海地区蛋鸡生产性能和血液生化指标影响的试验研究[J].饲料工业,2012,33(16):22-24.
- [10] 于翔宇.复合酶制剂的体外筛选及其在蛋鸡低能日粮中的应用[D].硕士学位论文.沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [11] 李星晨,毛倩倩,王宝维,等.果胶酶和纤维素酶对五龙鹅免疫性能和血清生化指标的影响[J].饲料工业,2015,36(15):13-17.
- [12] 闵育娜,侯水生,高玉鹏,等.日粮能量蛋白水平对肉仔鹅胴体性能和血液生化指标的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(6):40-44.
- [13] 刘伟,夏磊,王江水,等.饲用复合酶制剂对肉鸡生长性能、血清生化指标及肠道形态和消化酶活性的影响[J].中国畜牧杂志,2019,55(10):98-102.
- [14] 张晓云.葡萄糖氧化酶对蛋鸡生产性能、肠道微生物及血液指标的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2006.
- [15] 崔广林,何万领,董淑丽,等.纤维素复合酶对不同生长阶段肉鸡血清生化指标的影响[J].中国饲料,2010(7):22-25.
- [16] 闻治国,张铁鹰,谢明,等.不同酶制剂水平对北京填

- 鸭生长性能、血浆生化指标和肝脏组织学的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(6): 78-83.
- [17] 刘长忠, 张毅, 王自良, 等. NSP 酶制剂对雏鹅血清生化指标和激素的影响[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(6): 1429-1432.
- [18] 何俊金, 王建萍, 丁雪梅, 等. 饲料中添加高剂量茶多酚对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质和脂质代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(11): 4601-4610.
- [19] 叶慧, 雷建平, 冯定远, 等. 不同微生物脂肪酶对黄羽肉鸡生长性能、血清生化指标和胸肌脂肪含量的影响[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(3): 99-404.
- [20] GORDON D J, PROBSTFIELD J L, GARRISON R J, et al. High-density lipoprotein cholesterol and cardiovascular disease. Four prospective American studies [J]. *Circulation*, 1989, 79(1): 8-15.
- [21] 盛东峰, 赵悦, 胥蕾, 等. 日粮添加壳聚糖对鹅生长性能、血脂及脂代谢相关基因表达的影响[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(4): 60-68.
- [22] ENGBERG R M, HEDEMANN M S, STEENFELDT S, et al. Influence of whole wheat and xylanase on broiler performance and microbial composition and activity in the digestive tract [J]. *Poultry Science*, 2004, 83(6): 925-938.
- [23] 张海棠, 王自良, 郭东升. 纤维素酶在鸡猪日粮中的应用[J]. 中国饲料, 2004(11): 14-16.
- [24] XIAO Y P, WU T X, HONG Q H, et al. Response to weaning and dietary *L*-glutamine supplementation: metabolomic analysis in piglets by gas chromatography/mass spectrometry [J]. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2012, 13(7): 567-578.
- [25] WU G Y. Amino acids; metabolism, functions, and nutrition [J]. *Amino Acids*, 2009, 37(1): 1-17.
- [26] NAJIB H N, BASIOUNI G F. Determination of the nutritional requirement of Baladi chickens; 1. Effect of arginine inclusion in excess of the leghorn requirement on performance of the Saudi baladi chickens [J]. *Scientific Journal of Kind Faisal University: Basic Applied Sciences*, 2004(1): 131-144.
- [27] 田大龙, 李燕蒙, 闵育娜, 等. 赖氨酸缺乏或过量对肉鸡生长发育及脂质代谢相关基因表达的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2018, 54(10): 95-99.
- [28] 马秋刚, 冯秀燕, 计成. 能量浓度对高峰期褐壳蛋鸡赖氨酸需要量影响的研究[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 95-102.
- [29] SOHAIL S S, BRYXNT M M, ROLAND D A, Jr. Influence of adding synthetic lysine in corn-soy diets for commercial leghorns [J]. *International Journal of Poultry Science*, 2003, 2(5): 335-340.
- [30] 罗玲, 曲湘勇, 韩奇鹏. 家禽色氨酸营养的研究进展[J]. 饲料博览, 2015(11): 15-19.
- [31] 景寒松, 徐森, 杨桂芹. 色氨酸的来源、代谢途径及其在家禽生产上的应用[J]. 动物营养学报, 2018, 30(12): 4813-4820.
- [32] 秦杰, 谢丽平. 氨基酸在肾功能保护中的作用研究进展[J]. 国外医学(泌尿系统分册), 2003, 23(4): 374-377.
- [33] 汪晓东. 不同益生菌培养物对断奶仔猪肠道及血清代谢物组的影响[D]. 硕士学位论文. 长春: 吉林农业大学, 2017.
- [34] 王敏, 班博, 邓攀, 等. 丁酸钠的生物学功能及其在畜禽生产中的应用[J/OL]. *经济动物学报*, 2019: 1-8. (2019-09-17) [2019-10-14]. <https://doi.org/10.13326/j.jea.2019.1393>.
- [35] SIKANDAR A, ZANEB H, YOUNUS M, et al. Effect of sodium butyrate on performance, immune status, microarchitecture of small intestinal mucosa and lymphoid organs in broiler chickens [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2017, 30(5): 690-699.
- [36] LIU G M, WANG Y, WANG Z S, et al. Nuclear magnetic resonance (NMR)-based metabolomic studies on urine and serum biochemical profiles after chronic cysteamine supplementation in rats [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(10): 5572-5578.
- [37] 聂存喜, 张文举, 闫理东, 等. 基于棉籽粕源发酵饲料的鸡血浆代谢组学研究[J]. 畜牧兽医学报, 2013, 44(5): 737-744.
- [38] 贾贞, 王丹, 游松. 谷胱甘肽的研究进展[J]. 沈阳药科大学学报, 2009, 26(3): 238-242.
- [39] XIONG Y, DONG S, ZHAO X, et al. Gene expressions and metabolomic research on the effects of polyphenols from the involucre of *Castanea mollissima* blume on heat-stressed broilers chicks [J]. *Poultry Science*, 2016, 95(8): 1869-1880.

Effects of Compound Enzyme Preparation on Performance, Serum Biochemical Indexes and Cecal Contents Metabolomics of *Yili* Goose

WANG Junhua¹ YANG Kailun¹ GULNAR Baki¹ PENG Xiao¹ ZHAO Xiaoyu¹ WU Yingping¹
FANG Shubao¹ DUAN Yuqing¹ MEI Zhiyong¹ LI Haiying^{1*} CHEN Guohong^{2*}

(1. College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of compound enzyme preparation (main components were protease, xylanase, cellulose enzyme, mannanase, α -amylase and prolan enzyme) on performance, serum biochemical indexes and cecal contents metabolites of *Yili* geese. A total of 200 *Yili* geese aged 4 years old with similar body weight and good health were selected, and were randomly divided into 4 groups with 10 replications and 5 geese per replication (1 male and 4 female). The geese in control group were fed a corn-soybean diet. And the geese in trial groups I, II and III were fed the same basal diet with 0.2, 0.3 and 0.4 g/kg compound enzyme preparation, respectively. The pre-experimental period lasted for 7 days and the experimental period lasted for 38 days. The results showed as follows: 1) on the performance of *Yili* geese, compared with the control group, the laying rate of the trial group II was increased by 25.78% ($P < 0.05$), while the feed/egg was decreased by 21.72% ($P < 0.05$). 2) On the serum biochemical indexes of *Yili* geese, compared with the control group, the total protein and globulin contents of the trial group II were increased by 21.51% ($P < 0.05$) and 30.61% ($P < 0.05$), respectively; the aspartate aminotransferase activity of the trial groups I, II and III was increased by 69.85% ($P < 0.05$), 41.26% ($P < 0.05$) and 49.02% ($P < 0.05$), and the alanine aminotransferase activity was increased by 34.78% ($P < 0.05$), 33.78% ($P < 0.05$) and 40.80% ($P < 0.05$), respectively; the glucose content of the trial groups I, II and III was increased by 55.61% ($P < 0.01$), 55.81% ($P < 0.01$) and 38.02% ($P < 0.01$), respectively; the total cholesterol content of the trial group II was decreased by 15.97% ($P < 0.05$); the low-density lipoprotein content of the trial groups II and III was decreased by 37.66% ($P < 0.05$) and 37.01% ($P < 0.05$), respectively. 3) On the cecal content metabolomics of *Yili* goose, a total of 5 530 metabolites were detected and 21 differential metabolites were determined in the control group and compound enzyme preparation group (trial group II). The relative contents of 12 metabolites such as N-acetyl *L*-citrulline, pregnenolone sulfate and *L*-citrulline were significantly up-regulated ($P < 0.05$), while the relative contents of 9 metabolites such as N_2 -(*D*-1 carboxyethyl)-*L*-lysine, 5-methoxyindole acetate and (*R*)-lactate were significantly down-regulated ($P < 0.05$). In summary, dietary supplementation with 0.3 g/kg compound enzyme preparation can regulate the contents of serum glucose and the total protein and the activities of enzymes related to protein metabolism of *Yili* geese, also it can improve the lipid metabolism ability. In addition, the dietary supplementation with 0.3 g/kg compound enzyme preparation can make significant changes in 21 metabolites and related metabolic pathways in the body of *Yili* goose. At the same time, it also can strengthen the metabolic activity of the intestine, and improve the utilization of nutrients, and then improve the performance of *Yili* goose. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(4):1693-1703]

Key words: *Yili* goose; compound enzyme preparation; performance; serum biochemical indexes; differential metabolites

* Corresponding authors: LI Haiying, professor, E-mail: lhy-3@163.com; CHEN Guohong, professor, E-mail: ghchen@yzu.edu.cn