

谭启松, 石钰仕, 李 辉, 等. 金钗石斛多糖对产蛋后期鸡产蛋性能和盲肠微生物群落的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(10): 1891-1903.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.10.014

金钗石斛多糖对产蛋后期鸡产蛋性能和盲肠微生物群落的影响

谭启松, 石钰仕, 李 辉, 龙 霞, 赵德鹏, 余 欢, 陈友波

(高原山地动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室/贵州大学动物科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为研究金钗石斛多糖对产蛋后期隐性白羽鸡产蛋性能和肠道菌群的影响, 饲喂白羽鸡金钗石斛多糖, 饲喂期间对白羽鸡的产蛋指标进行记录。饲养 60 d 后, 采集白羽鸡盲肠内容物用于细菌 16S rRNA 基因测序, 并进行生物信息学分析。研究结果表明, 与对照相比, 金钗石斛多糖处理隐性白羽鸡的总产蛋数、产蛋量、日产蛋量和产蛋率极显著提高 ($P < 0.01$)。白羽鸡肠道微生物群落中, 属水平上, 优势菌属为拟杆菌属 (*Bacteroides*) 和里氏菌科 Rc9 肠道群 (Rikenellaceae_Rc9_gut_group); 门水平上, 优势菌门为拟杆菌门 (Bacteroidota) 和厚壁菌门 (Firmicutes)。与对照相比, 金钗石斛多糖处理瘤胃球菌群 (*Ruminococcus_torques_group*)、粪球菌属 (*Faecalicoccus*) 与梅迪杆菌属 (*Merdibacter*) 等有益菌的相对丰度显著提升 ($P < 0.05$), 巴恩斯氏菌属 (*Barnesiella*) 等致病菌的相对丰度显著降低 ($P < 0.05$)。表型预测结果显示, 对照白羽鸡肠道微生物群落革兰氏阳性菌相对丰度显著低于金钗石斛多糖处理 ($P < 0.05$), 而革兰氏阴性菌相对丰度显著高于金钗石斛多糖处理 ($P < 0.05$)。由此可以看出, 金钗石斛多糖改善了隐性白羽鸡的肠道微生态, 提高了产蛋后期鸡的生产性能。

关键词: 金钗石斛多糖; 产蛋性能; 肠道微生物; 16S rRNA; 隐性白羽鸡

中图分类号: S831.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)10-1891-13

Effects of *Dendrobium nobile* polysaccharides on laying performance and cecal microbial community of hens in late laying period

TAN Qisong, SHI Yushi, LI Hui, LONG Xia, ZHAO Depeng, YU Huan, CHEN Youbo

(Key Laboratory of Animal Genetics, Breeding and Reproduction in the Plateau Mountainous Region, Ministry of Education/College of Animal Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to study the effects of *Dendrobium nobile* polysaccharides on egg production performance and intestinal flora of recessive white feather chickens in late laying period, white feather chickens were fed with *Dendrobium nobile* polysaccharides, and the egg production indices of white feather chickens were recorded during feeding. After 60 days, the cecal contents of white feather chickens were collected for 16S rRNA gene sequencing and bioinformatics analysis. The

results showed that compared with the control, the total number of eggs, egg production, daily egg production and egg production rate were significantly increased under *Dendrobium nobile* polysaccharide treatment ($P < 0.01$). In the intestinal microbial community of white feather chickens, the dominant genera were *Bacteroides* and Rikenellaceae_Rc9_gut_group at genus level, and the dominant phyla were Bacteroidota and Firmicutes at phylum level. Com-

收稿日期: 2023-11-20

基金项目: 贵州省科技厅农业领域重点项目[黔科合支撑(2022)重点034]; 贵州省教育厅项目[黔教技(2022)061号]; 贵州省农业农村厅项目[黔农计财(2022)10号]

作者简介: 谭启松(1998-), 男, 重庆开县人, 硕士研究生, 主要研究方向为畜牧学。(E-mail)gzutqs@163.com

通讯作者: 李 辉, (E-mail)ellenlihui@sina.cn

pared with the control, the relative abundance of *Ruminococcus_torques_group*, *Faecalicoccus* and *Merdibacter* in *Dendrobium nobile* polysaccharide treatment increased significantly ($P<0.05$), and the relative abundance of the pathogenic bacteria such as *Barnesiella* decreased significantly ($P<0.05$). The results of phenotypic prediction showed that the relative abundance of Gram positive bacteria in intestinal microbial community of white feather chickens in the control was significantly lower than that in *Dendrobium nobile* polysaccharide treatment ($P<0.05$), while the relative abundance of Gram negative bacteria was significantly higher than that in *Dendrobium nobile* polysaccharide treatment ($P<0.05$). It can be seed that *Dendrobium nobile* polysaccharides can improve the intestinal microecology of recessive white feather chickens and improve the production performance of hens in the late laying period.

Key words: *Dendrobium nobile* polysaccharide; egg-laying performance; intestinal microbes; 16S rRNA; recessive white feather chickens

产蛋后期,母鸡的产蛋率、产蛋量明显降低,主要原因是肠道菌群失调^[1]。将蒲公英多糖添加到蛋鸡日粮中,可提高母鸡盲肠短链脂肪酸(SCFA)水平,从而提高其产蛋性能^[2]。研究发现,枸杞多糖能减轻脂多糖引起的肠黏膜损伤,并能改善肠黏膜微生态^[3]。从猴头菌发酵物中提取出的多糖具有改善肠道益生菌、减少有害菌群、保护肠道黏膜的功效^[4]。 β -1,3-葡聚糖^[5]、巴戟天多糖^[6]和罗汉果多糖^[7]等也可改善肠道微生态。由此可见,多糖对肠道菌群具有重要的调节作用。金钗石斛为中国传统中药,有清热解毒、养阴润肺、明目强体的功效^[8]。金钗石斛多糖是金钗石斛的重要药性物质,研究结果表明,金钗石斛多糖具有抗病毒^[9]、抗氧化^[10]、抑制细胞凋亡^[11]等作用。利用中草药改善畜禽肠道微生物群落结构,提升畜禽养殖效益,是当前国际上的研究热点。关于金钗石斛多糖对鸡产蛋性能和肠道菌群影响的研究较为少见。本研究拟通过对 16S rRNA 基因进行高通量测序,研究金钗石斛多糖对产蛋后期白羽鸡产蛋性能和肠道微生物的影响,分析金钗石斛多糖的作用机制,以期中草药饲料添加剂的开发和应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2023 年 3 月至 2023 年 8 月在贵州大学高原山地动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室进行。试验所用隐性白羽鸡来自贵州大学科研鸡场。试验设置对照(CK)和金钗石斛多糖处理(S),对照(CK)白羽鸡饲喂基础日粮,金钗石斛多糖处理(S)白羽鸡在基础日粮的基础上灌喂金钗石斛多糖 2 500 mg/kg。基础日粮配方如表 1 所示,营养水平如表 2 所示。

表 1 基础日粮配方

Table 1 Composition of basal diet

原料	含量(%)
玉米	61.00
玉米胚芽粕	5.00
大豆粕	21.00
豆油	2.00
粗石粉	7.00
细石粉	1.80
磷酸氢钙	1.00
食盐	0.20
小苏打	0.15
氯化胆碱	0.10
甲酸钙	0.20
蒙脱石	0.20
70%赖氨酸	0.05
蛋氨酸	0.10
芽孢杆菌	0.05
复合酶	0.01
基础多矿	0.10
种猪多维	0.04

基础日粮原料含量以干物质计。

表 2 基础日粮营养水平

Table 2 Nutritional level of basal diet

营养物质	含量(%)
干物质	77.63
粗蛋白	16.22
粗脂肪	4.59
粗纤维	3.27
钙	5.35
总磷	0.57
赖氨酸	0.79
蛋氨酸	0.47

营养物质含量以干物质计。基础日粮代谢能为 11.38 MJ/kg。

1.2 试验方法

1.2.1 样品采集 选取 84 羽 54 周龄隐性白羽鸡,随机分为对照(CK)和金钗石斛多糖处理(S),每个处理 6 个重复,每个重复 7 羽隐性白羽鸡。饲养 60 d 后,随机从对照和金钗石斛多糖处理的每个重复中选取 1 羽白羽鸡,采集其盲肠内容物,装入 5 mL 无菌冻存管中,放入-80 ℃冰箱保存,用于菌群 16S rRNA 测定。

1.2.2 产蛋性能测定 试验期间,每天记录产蛋数、产蛋量(g),计算产蛋率、每羽鸡日产蛋量(g)。产蛋率=产蛋数/鸡总数×100%;每羽鸡日产蛋量(g)=每日每个重复总蛋重/鸡总数。

1.2.3 16S rRNA 基因测序 利用 QIAamp® Fast DNA Stool Mini Kit 试剂盒对采集样品进行 DNA 抽提,1%琼脂糖凝胶电泳检测所提 DNA,符合要求的 DNA 用于后续试验。PCR 扩增引物为 338F (5'-ACTCTACGGGAGGCAGCAG-3') 和 806R (5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3'),PCR 采用 Trans-Start Fastpfu DNA 聚合酶进行扩增,20 μL 反应体系 95 ℃预变性 3 min,1 个循环;95 ℃变性,30 s;55 ℃退火,40 s;72 ℃延伸,45 s,27 个循环;72 ℃终延伸,10 min。2%琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 产物。利用 AxyPrepDNA 胶回收试剂盒 (AXYGEN 公司产品)回收扩增产物,用 Tris_HCl 洗脱,2%琼脂糖凝胶电泳。建立 Illumina 基因文库,然后进行测序。

1.2.4 生物信息学分析 利用 fastp 和 FLASH 软件对 Illumina 测序得到的 PE reads 进行质控、过滤和拼接。首先,对 reads 尾部质量值<20 的碱基进行筛选,设置 10 bp 的窗口,如果窗口内的平均质量值低于 20,从窗口开始截去后端碱基,过滤质控后 50 bp 以下的 reads,去除含 N 碱基的 reads;根据 PE reads 之间的重叠关系,将成对 reads 拼接成一条序列,最小重叠区长度为 10 bp;拼接序列的重叠区允许的最大错配比例为 0.2,筛选不符合序列;根据序列首尾两端的条形码 (Barcode) 和引物区分样品,并调整序列方向,Barcode 允许的错配数为 0,最大引物错配数为 2。通过软件 Uparse 对区分后的样品进行操作分类单元 (Operational taxonomic units, OTU) 聚类分析。在 OTU 聚类的基础上,采用 Mothur 算法计算 α-多样性指数,稀释曲线与 Pan/Core 物种曲线通过 R 语言绘制。利用 R 语言工具 (Version 3.3.1) 对物种组成分析结果进行统计并作图,用 R 语言工具

(Version 3.3.1) Vegan 包 (Vsesion2.4.3) 绘制相对丰度热图。β多样性距离矩阵通过 Qiime 计算。使用 t 检验对物种之间的差异进行分析,组间差异比较分析利用 R 语言包 MetagenomeSeq 完成。利用软件 Networkx (Vsesion1.11) 进行共现性网络分析。采用 PICRUST 方法对 OTU 丰度进行归一化,即去除 16S rRNA marker 在物种基因组中的基因拷贝数目的影响;根据各 OTU 的 Greengene id,得到 OTU 所对应 COG 家族和 KEGG Ortholog (KO) 信息;同时,对每个 COG 和 KO 丰度进行计算。在上述基础上,利用已建立的 COG 数据库,对每个 COG 进行分析,并对它们的功能进行分析,得出它们的功能图谱;利用 KEGG 数据库中 KO、Pathway 等信息,结合 OTU 的丰度,推算各个功能性类群的丰度。采用 BugBase 法对肠道微生物进行表型分类。

1.2.5 数据统计 使用 WPS Excel 软件对数据进行统计,使用 SPSS18.0 软件进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 金钗石斛多糖对产蛋后期隐性白羽鸡产蛋性能的影响

表 3 显示,与对照相比,金钗石斛多糖处理隐性白羽鸡的总产蛋数、产蛋量、日产蛋量和产蛋率极显著提高 ($P<0.01$),说明饲料中添加金钗石斛多糖能够提高产蛋后期隐性白羽鸡的产蛋性能。

表 3 金钗石斛多糖对隐性白羽鸡产蛋性能的影响

Table 3 Effects of *Dendrobium nobile* polysaccharides on laying performance of recessive white feather chickens

项目	对照	金钗石斛多糖处理
总产蛋数	176.71±9.19B	207.00±13.61A
产蛋量 (g)	9 565.24±458.26B	11 016.74±664.09A
日产蛋量 (g)	32.52±1.55B	37.47±2.26A
产蛋率 (%)	60.10±3.12B	70.41±3.12A

同一行数据后不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

2.2 α多样性与 OTU 分析

如表 4 所示,Chao 指数为 535.42~538.36,Shannon 指数为 4.39~4.66,Ace 指数为 528.06~538.36。

如图 1 所示,Pan/Core 物种曲线趋于平缓,说明本次测序样本量足够。

如图 2 所示,稀释曲线趋于平缓,表明测序数据量合理。

表 4 操作分类单元 (OTU) 数及 α 多样性指数

Table 4 The number of operational taxonomic units (OTUs) and α diversity index

处理	操作分类单元(OTU)数	Chao 指数	Shannon 指数	Ace 指数
对照	493.67±26.60	535.42±23.97	4.39±0.33	528.06±23.92
金钗石斛多糖处理	502.17±51.99	538.36±56.53	4.66±0.12	538.36±55.45

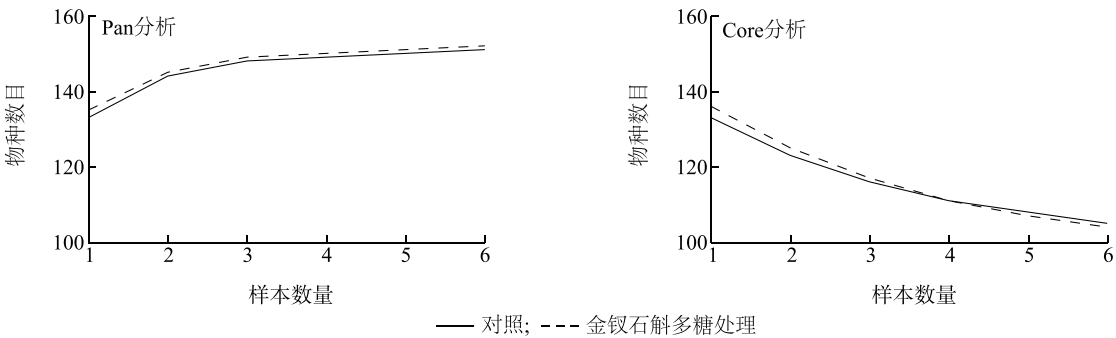


图 1 Pan/Core 物种曲线图

Fig.1 Pan/Core species curve

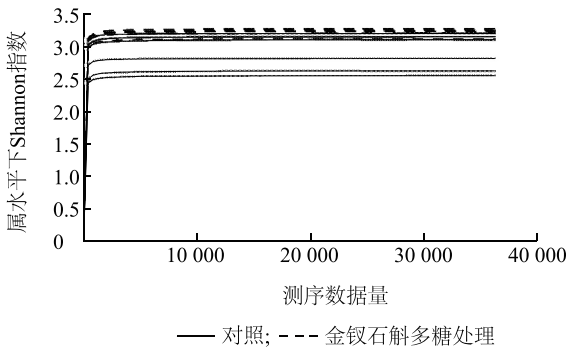


图 2 稀释曲线

Fig.2 Dilution curve

2.3 物种组成分析

利用物种聚类所得 OTU 数据表绘制 Venn 图,由图 3 可知,对照 OTU 有 618 个,金钗石斛多糖处理 OTU 有 633 个,共有的 OUT 有 614 个。由图 4、图 5、图 6 可知,在属水平上,相较于对照,金钗石斛多糖处理白羽

鸡肠道内未分类的拟杆菌目(unclassified_o_Bacteroidales)、粪杆菌属(*Faecalibacterium*)、瘤胃球菌群(*Ruminococcus_torques_group*)、脱硫弧菌属(*Desulfovibrio*)、副拟杆菌属(*Parabacteroides*)、未分类的梭状芽孢杆菌 UCG-014(norank_f_norank_o_Clostridia_UCG-014)、瘤胃菌科 UCG-005、克里斯滕森氏菌 R-7 群(*Christensenellaceae_R-7_group*)、未分类的鼠肠球菌科(norank_f_Muribaculaceae)、*Lachnoclostridium*、未分类的颤螺菌科(norank_f_Oscillospiraceae)、未分类的瘤胃球菌科(norank_f_Ruminococcaceae)、欧陆森氏菌属(*Olsenella*)相对丰度上调。由图 7 可知,在门水平上,与对照相比,金钗石斛多糖处理拟杆菌门(Bacteroidota)相对丰度降低 9.0%,厚壁菌门(Firmicutes)相对丰度增加 7.0%,脱硫杆菌门(Desulfobacterota)相对丰度增加 1.0%,放线菌门(Actinobacteriota)相对丰度增加 0.5%,螺旋体门(Spirochaetota)相对丰度增加 0.5%。

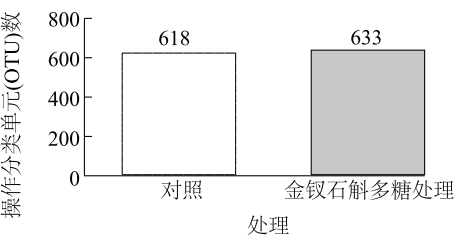
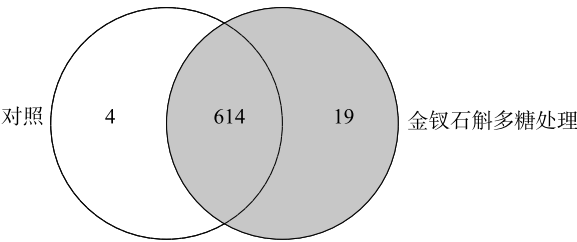


图 3 对照和金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道微生物群落操作分类单元 (OTU) 数

Fig.3 The number of operational taxonomic units (OTUs) of intestinal microbial community in white feather chickens under control and *Dendrobium nobile* polysaccharide treatment

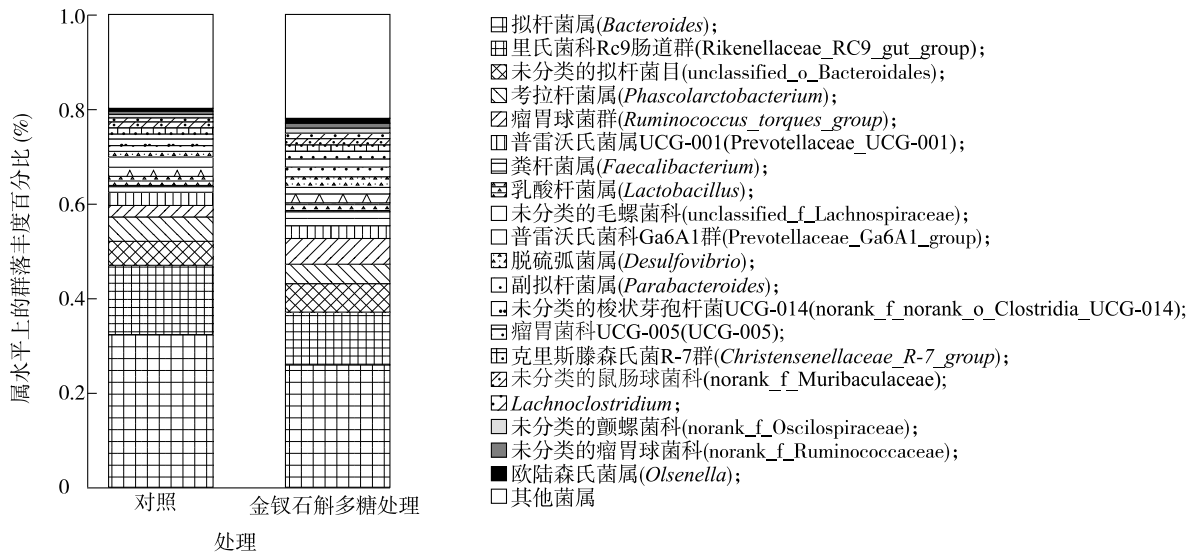


图4 属水平上白羽鸡肠道的菌群分布

Fig.4 Distribution of intestinal flora in white feather chickens at genus level

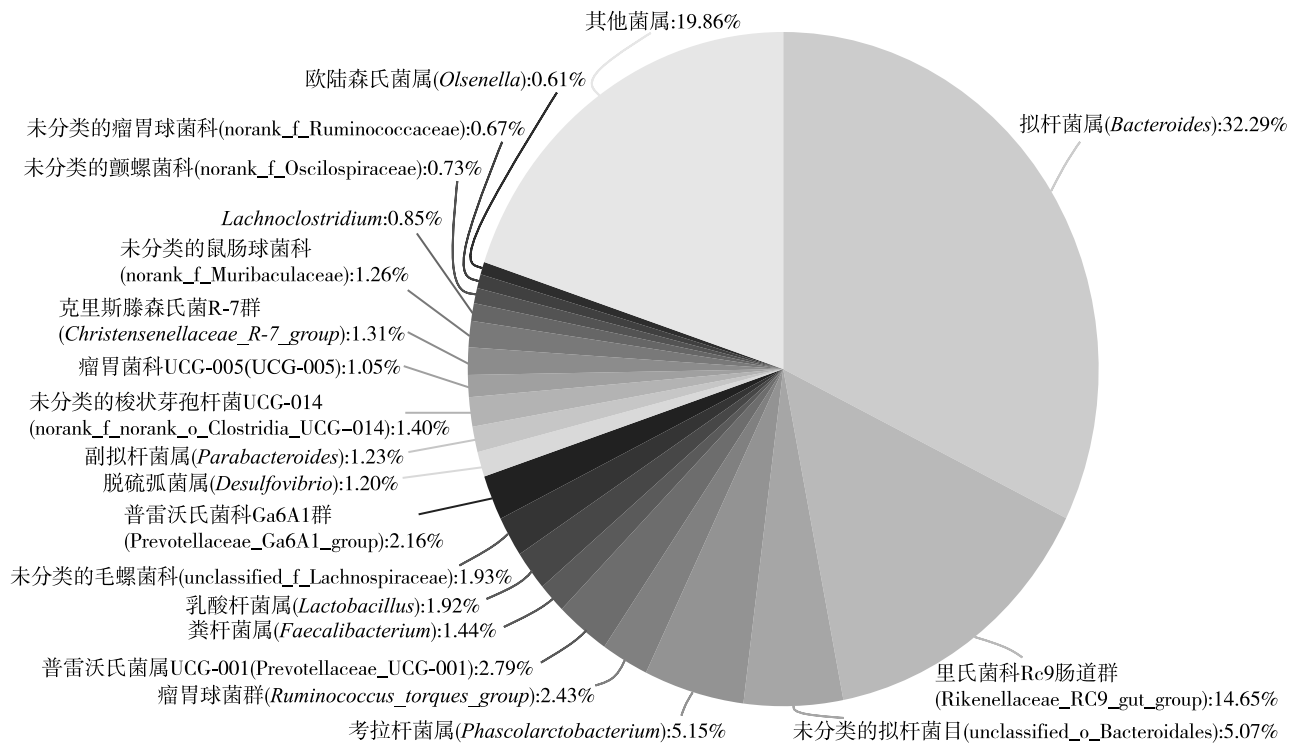


图5 属水平上对照白羽鸡肠道菌群的分布

Fig.5 Distribution of intestinal flora in white feather chickens in control at genus level

图8为属水平上盲肠微生物群落相对丰度热图,对照和金钗石斛多糖处理白羽鸡盲肠内大部分微生物物种丰度不相同,说明饲料中添加金钗石斛多糖改变了白羽鸡盲肠菌群结构。

2.4 样本比较分析

根据 OTU,基于 Bray_curtis 距离对白羽鸡肠道微生物进行主坐标分析(PCoA),用于研究不同分组间群落的相似性和差异性,该方法侧重物种丰度。

由图9可知,对照和金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道内微生物群落分离程度一般,具有相似性。由图10可知,偏最小二乘法判别分析(Partial least squares

discriminant analysis, PLS-DA)结果表明,对照和金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道微生物可以明显区分开来并聚成2个类群。

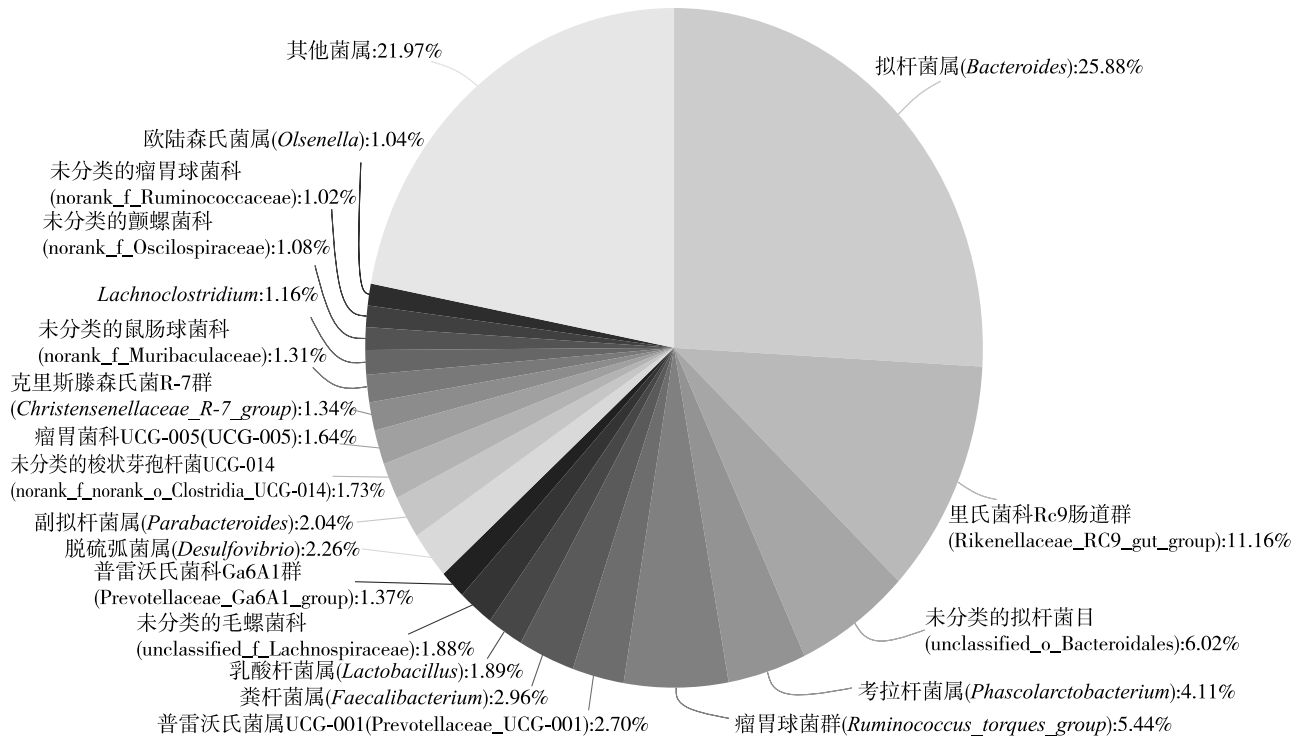


图6 属水平上金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道菌群的分布

Fig.6 Distribution of intestinal flora in white feather chickens under *Dendrobium nobile* polysaccharide treatment at genus level

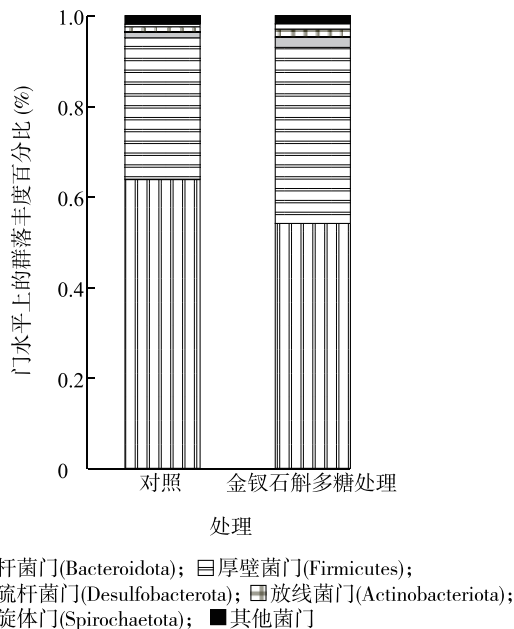


图7 门水平上白羽鸡肠道的菌群分布

Fig.7 Distribution of intestinal flora in white feather chickens at the phylum level

2.5 物种差异分析

对对照和金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道微生物群落中表现出丰度差异的物种,进行 t 检验。如图11所示,在属水平上,与对照相比,金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道中未分类的瘤胃球菌科(norank_f_Ruminococcaceae)、未分类的克罗斯特里迪亚群体004(UGG-004)、福尼氏菌属(*Fournierella*)、粪球菌属(*Faecalicoccus*)、梅迪杆菌属(*Merdibacter*)和假黄酮属(*Pseudoflavonifractor*)相对丰度显著提高($P < 0.05$),瘤胃球菌群(*Ruminococcus_torques_group*)相对丰度极显著提高($P < 0.01$)。

如表5所示,与对照相比,金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道微生物群落中有益菌福尼氏菌属(*Fournierella*)、瘤胃球菌群(*Ruminococcus_torques_group*)、连芽孢杆菌属(*Catenibacillus*)、粪球菌属(*Faecalicoccus*)、未分类的丁酸球菌科(unclassified_f_Butyricoccaceae)和未分类拟杆菌目(norank_f_norank_o_Bacteroidales)相对丰度显著提高($P < 0.05$),迷踪菌属(*Elusimicrobium*)相对丰度显著降低($P < 0.05$),巴

恩斯氏菌属(*g_Barnesiella*)相对丰度极显著降低($P < 0.01$),鸡的肠道微生态显著改善。

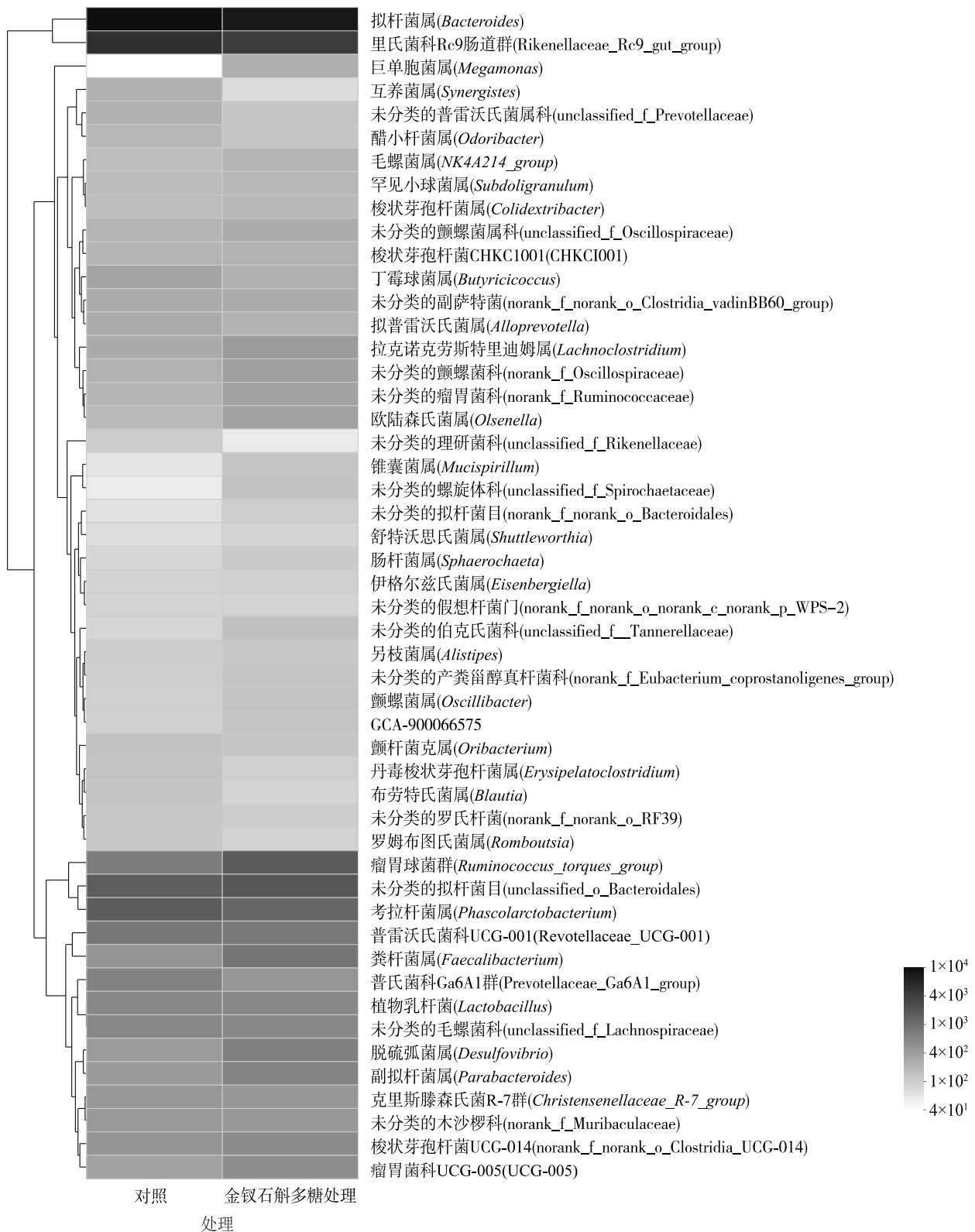


图8 属水平上白羽鸡肠道微生物群落热图

Fig.8 Heat map of intestinal microbial community of white feather chickens at genus level

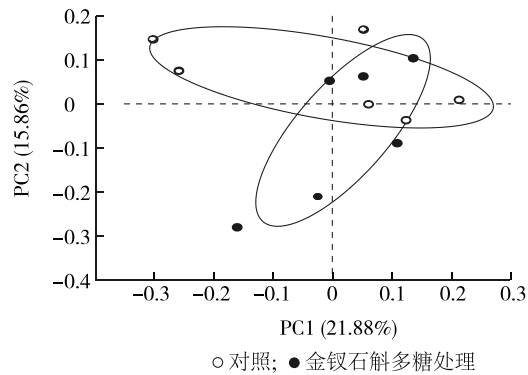
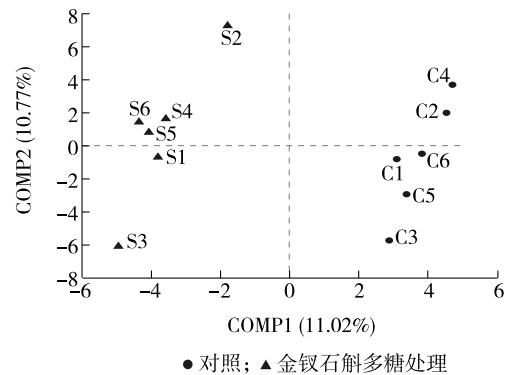


图 9 主坐标分析

Fig.9 Principal coordinate analysis



C1、C2、C3、C4、C5、C6 分别为对照的 6 个重复。S1、S2、S3、S4、S5、S6 分别为金钗石斛多糖处理的 6 个重复。

图 10 PLS-DA 分析

Fig.10 PLS-DA analysis

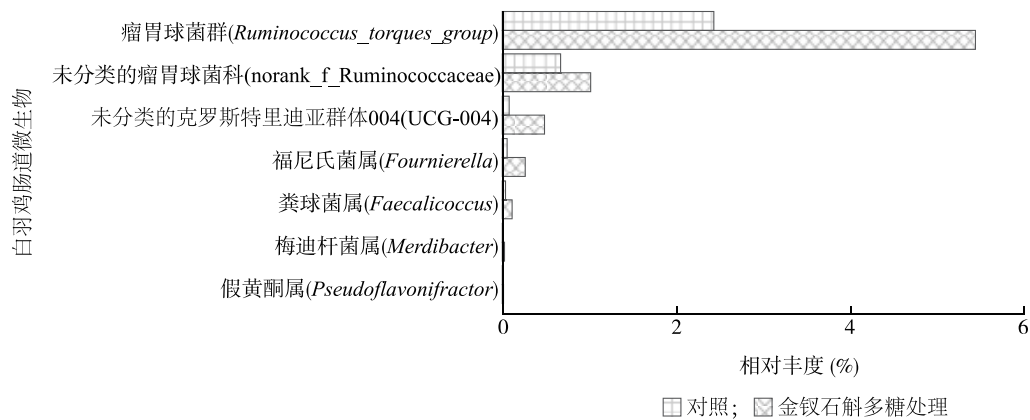


图 11 白羽鸡肠道微生物相对丰度

Fig.11 The relative abundance of intestinal microorganisms in white feather chickens

表 5 Metagenomeseq 差异分析

Table 5 Metagenomeseq difference analysis

物种名称	物种丰度>0 的样本数		物种丰度之和	
	对照	金钗石斛多糖处理	对照	金钗石斛多糖处理
巴恩斯氏菌属 (<i>Barnesiella</i>)	6	6	269Aa	94Bb
福尼氏菌属 (<i>Fournierella</i>)	6	6	121Ab	575Aa
瘤胃球菌群 (<i>Ruminococcus_torques_group</i>)	6	6	5 300Ab	11 853Aa
连芽孢杆菌属 (<i>Catenibacillus</i>)	2	5	11Ab	21Aa
粪球菌属 (<i>Faecalicoccus</i>)	6	6	81Ab	246Aa
未分类的丁酸球菌科 (unclassified_f_Butyricoccaceae)	3	4	6Ab	21Aa
未分类拟杆菌目 (norank_f_norank_o_Bacteroidales)	6	6	503Ab	801Aa
迷踪菌属 (<i>Elusimicrobium</i>)	6	1	90Aa	3Ab

同一行数据后不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。同一行数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.6 Network 网络分析

共线性网络分析法通过分析各样品间的物种丰度信息,得到样品间的共线关系,揭示样品间的共性与差异性。图 12 分析结果显示,在属水平上,物种

丰度 ≥ 50 的物种中,瘤胃球菌群 (*Ruminococcus_torques_group*) 与对照和金钗石斛多糖处理的白羽鸡肠道微生物群落具有共线关系,而未分类的瘤胃球菌科 (norank_f_Ruminococcaceae) 仅与金钗石斛多

糖处理的白羽鸡肠道微生物群落有共线关系。

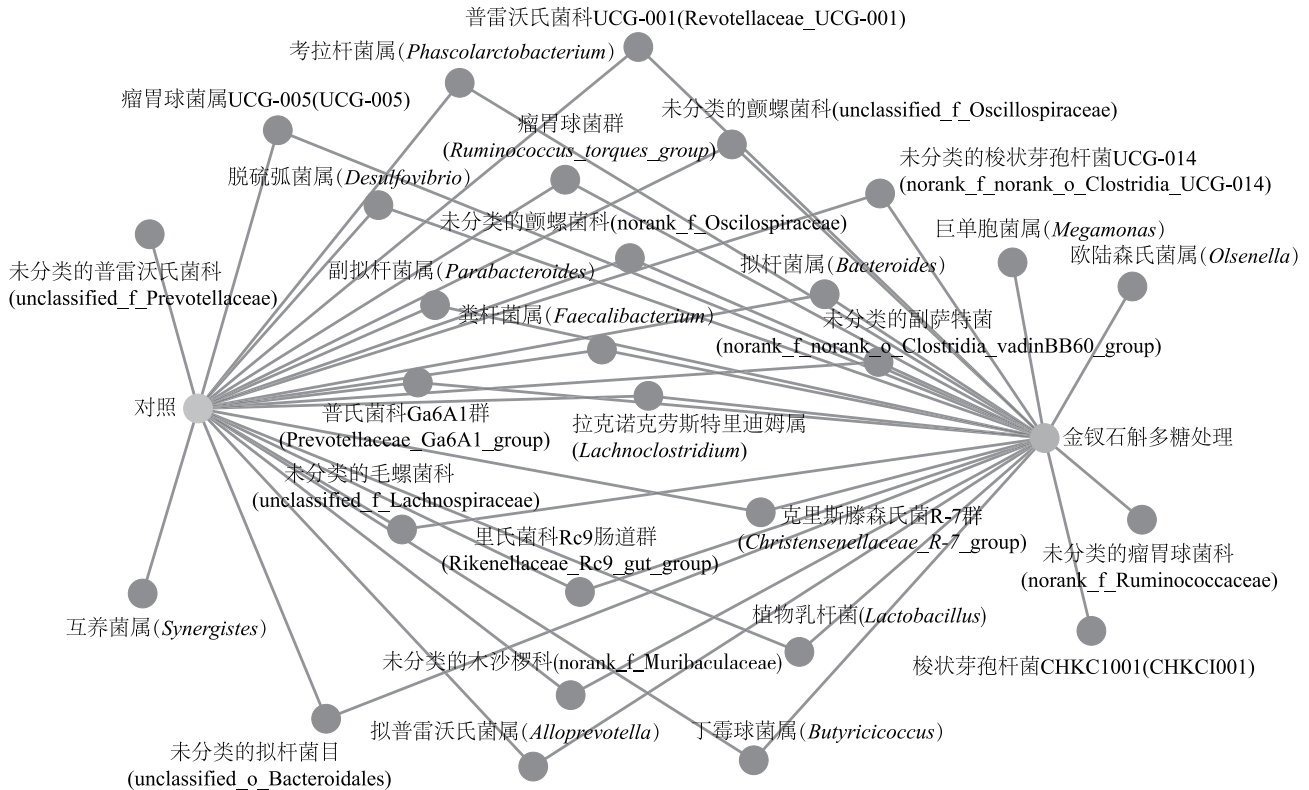


图 12 共线性网络分析

Fig.12 Collinearity network analysis

2.7 功能富集分析

基于 16S rRNA 序列,由 COG 功能预测结果(图

13) 可知,对照和金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道微生物群落基因功能以氨基酸运输和代谢为主。

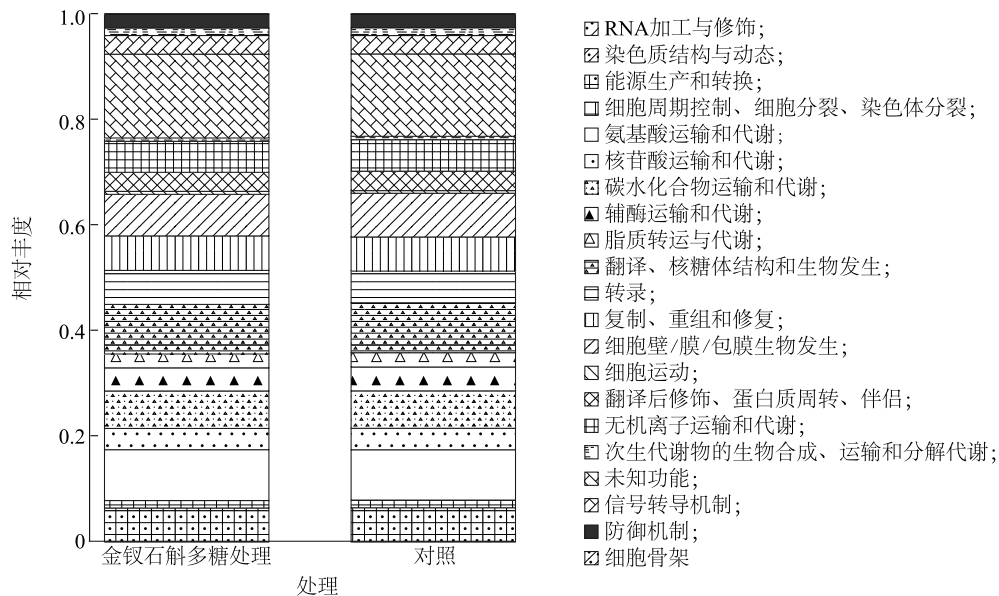


图 13 COG 功能注释

Fig.13 COG functional annotations

基于 16S rRNA 序列,KEGG 功能预测一级、二级代谢通路注释结果如图 14、图 15 所示,对照和金钗石斛多糖处理的白羽鸡肠道微生物群落基因功能主要集中在代谢、遗传信息处理等 6 个通路中,其中在代谢通路上基因富集最多。通过 KEGG 二级代谢通路注释可知,对照和金钗石斛多糖处理的白羽鸡肠道微生物群落基因主要集中在碳水化合物代谢和氨基酸代谢通路中。

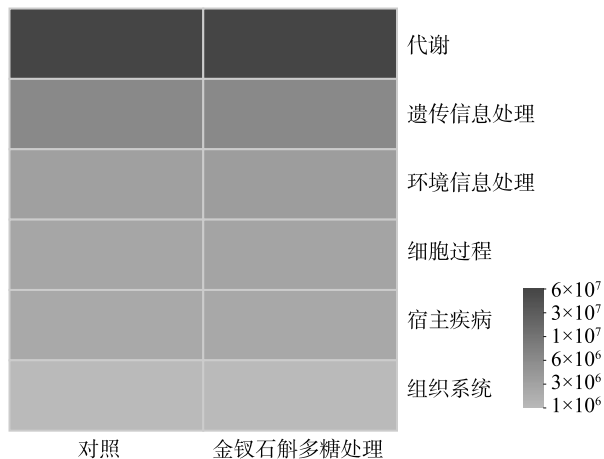


图 14 KEGG 一级代谢通路

Fig.14 KEGG primary metabolic pathways

2.8 BugBase 分析

图 16 显示,隐性白羽鸡菌群表型主要以氧化胁迫耐受和厌氧等 8 个表型为主。如图 17 所示,对照白羽鸡肠道微生物群落革兰氏阳性菌相对丰度显著低于金钗石斛多糖处理($P<0.05$),革兰氏阴性菌相对丰度显著高于金钗石斛多糖处理($P<0.05$),表明金钗石斛多糖改变了鸡盲肠内微生物组成。

3 讨论

3.1 金钗石斛多糖对产蛋后期隐性白羽鸡产蛋性能的影响

蛋鸡总产蛋数、产蛋量、日产蛋量、产蛋率等是评价蛋鸡产蛋能力的主要指标,然而,处于产蛋期的蛋鸡由于受到高产蛋量积累的压力,其产蛋性能会受到影响,从而影响其生产效率^[12-13]。大量研究结果表明,多糖物质具有抗衰老、抗氧化、提高免疫力和提高产蛋性能的作用。李振慧等^[14]在海兰褐蛋鸡产蛋后期的日粮中添加 500 mg/kg、1 000 mg/kg、1 500 mg/kg 的酵母多糖,结果表明,酵母多糖对海

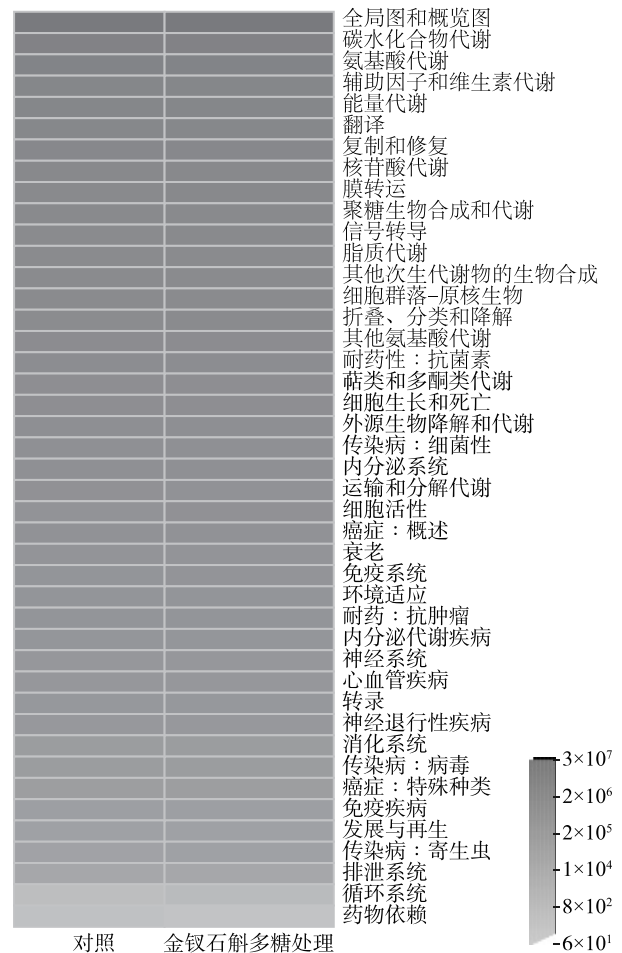
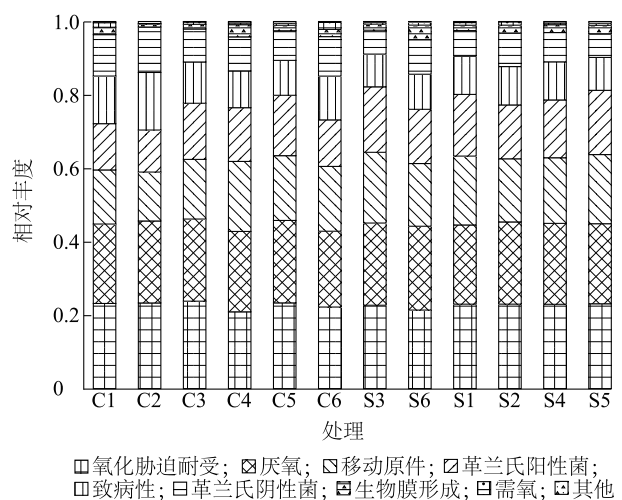


图 15 KEGG 二级代谢通路

Fig.15 KEGG secondary metabolic pathways



C1、C2、C3、C4、C5、C6 分别为对照的 6 个重复。S1、S2、S3、S4、S5、S6 分别为金钗石斛多糖处理的 6 个重复。

图 16 BugBase 分析

Fig.16 BugBase analysis

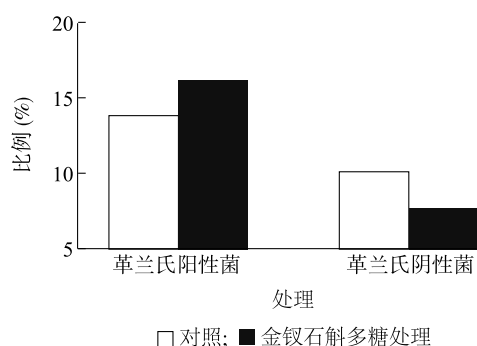


图 17 BugBase 检验

Fig.17 BugBase test

兰褐蛋鸡的产蛋性能有明显的促进作用,同时也提高了机体的免疫力和抗氧化水平。有研究发现,将黄芪多糖添加到崇仁鸡日粮中,可显著改善其产蛋性能,改善肠道菌群结构,并增强机体的抗氧化功能^[15]。Guo 等^[16]研究结果表明,海藻浒苔多糖能够提高产蛋后期罗曼白蛋鸡的产蛋性能及抗氧化能力,同时提高鸡蛋品质。Liu^[17]等设置对照(CK)、PS 处理(4.2 g/kg 桑黄硒多糖)、Se 处理(0.5 mg/kg 硒)和 PSSe 处理(4.2 g/kg 桑黄硒多糖,0.5 mg/kg 硒),与对照相比,PS 处理、Se 处理和 PSSe 处理蛋鸡的产蛋性能、抗氧化能力和免疫力均提高,其中 PSSe 处理蛋鸡的产蛋性能、抗氧化能力和免疫力最高。本研究在饲料中添加金钗石斛多糖,产蛋后期隐性白羽鸡的总产蛋数、产蛋量、日产蛋量和产蛋率极显著提高($P<0.01$),表明金钗石斛多糖可以提高产蛋后期隐性白羽的产蛋性能,这与前人研究结果基本一致。金钗石斛多糖具有抗氧化和抗衰老的功能^[18-19],金钗石斛多糖可能通过增强隐性白羽鸡的抗衰老与抗氧化能力来提高其产蛋性能,这一结论有待进一步验证。

3.2 金钗石斛多糖对隐性白羽鸡肠道菌群的影响

作为一种益生元,金钗石斛多糖的主要功能是调节动物的肠道菌群,本研究主要对金钗石斛多糖处理白羽鸡盲肠菌群的多样性进行探讨。 α 多样性指标中的 Chao 指数、Ace 指数和 Shannon 指数是衡量微生物群落多样性的常用指标^[20]。在本研究中,与对照相比,金钗石斛多糖处理隐性白羽鸡肠道菌群 Chao 指数、Ace 指数和 Shannon 指数上升。PLS-DA 分析结果表明,对照和金钗石斛多糖处理白羽鸡肠道菌群可以明显区分并聚成 2 个类群。由此推测,金钗石斛多糖可能会引起肠道微生物群落结

构的变化。从物种组成分析结果来看,门水平上,厚壁菌门和拟杆菌门是白羽鸡肠道菌群中最主要的两个门,这与前人研究结果^[21]相吻合。与对照相比,金钗石斛多糖处理增加了厚壁菌门的相对丰度。而厚壁菌门相对丰度的增加有利于肉鸡适应环境应激,提高生长性能^[22-24]。这证明在饲料中添加金钗石斛多糖可以促进鸡肠道健康,提高生长性能。Wu 等^[25]将葡萄糖氧化酶作为补充剂添加到肉鸡饲料中,通过增加厚壁菌门的丰富度改善肉鸡的生长性能和肠道功能,与本研究结果相似。

有研究发现,瘤胃球菌群(*Ruminococcus_torques_group*)是一种可以产生丁酸盐的细菌^[26]。丁酸盐是肠道上皮细胞的重要供能物质,具有保护肠道黏膜,抑制炎症反应等作用^[27]。粪球菌属(*Faecalicoccus*)主要代谢产物是丁酸和乳酸^[28],为有益菌。梅迪杆菌属(*Merdibacter*)是厚壁菌门丹毒科的一种,与磷酸戊糖途径代谢有关^[29],磷酸戊糖途径可产生具有还原性的烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADPH),NADPH能够参与生物合成和抗氧化作用^[30],属于有益菌^[31]。假黄酮属(*Pseudoflavonifractor*)可以产生短链脂肪酸^[32],其丰度与宿主健康有关^[33]。连芽孢杆菌属(*Catenibacillus*)属于毛螺菌科,主要发酵产物是乙酸盐和丁酸盐^[34],有助于维持肠道健康,减少肠道病原体的定殖。此外,有研究结果表明,迷踪菌属(*Elusimicrobium*)可能与氧胁迫有关^[35]。巴恩斯氏菌属(*Barnesiella*)被认为是一种与自闭症有关的致病菌^[36]。本研究结果表明,与对照相比,金钗石斛多糖处理瘤胃球菌群(*Ruminococcus_torques_group*)、粪球菌属(*Faecalicoccus*)与梅迪杆菌属(*Merdibacter*)等有益菌的相对丰度显著提升($P<0.05$),巴恩斯氏菌属(*Barnesiella*)等致病菌的相对丰度显著降低($P<0.05$),表明在饲料中添加金钗石斛多糖可以预防鸡的肠道疾病、促进物质代谢。Xu 等^[37]研究结果表明,在膳食中添加 750 mg/kg 单宁酸,可以增加瘤胃球菌等有益菌的丰度,有助于改善肠道屏障。Yang 等^[38]研究结果表明,胡芦巴种子提取物能够增加黄羽肉鸡肠道中瘤胃球菌等有益微生物,改善肠道屏障,与本研究结果相似。此外,本研究结果显示,金钗石斛多糖提高了革兰氏阳性菌的相对丰度,降低了革兰氏阴性菌的相对丰度。有研究结果表明,革兰氏阳性菌比革兰氏阴性菌更能激发机体的免疫系统^[39]。Zhang 等^[40]发现,高体重鸡中革兰氏阳性菌的丰度较

高,低体重鸡中革兰氏阴性菌的丰度较高,低体重鸡的血清脂多糖和相关炎症因子水平显著高于高体重鸡,在仔鸡体内接种高体重鸡的肠道微生物,可减轻仔鸡机体的炎症反应。这表明金钗石斛多糖可以通过改变肠道中革兰氏菌的组成进而提高宿主的抗病能力。

4 结 论

金钗石斛多糖能够提高产蛋后期隐性白羽鸡的产蛋性能。金钗石斛多糖增加了隐性白羽鸡肠道菌群中有益菌的相对丰度,降低了致病菌的相对丰度,可以改善隐性白羽鸡的肠道微生态。

参考文献:

- [1] 王伟唯. 丁酸梭菌对产蛋后期蛋鸡肠道功能和脂质代谢的调节作用[D]. 北京:中国农业科学院,2020.
- [2] CAO Z H, LIU Z H, ZHANG N Y, et al. Effects of dietary dandelion (*Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.) polysaccharides on the performance and gut microbiota of laying hens[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 240: 124422.
- [3] YAN A, DING H K, LIU J J, et al. Black *Lycium barbarum* polysaccharide attenuates LPS-induced intestine damage via regulation gut microbiota[J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 1080922.
- [4] SU Y, CHENG S S, DING Y X, et al. A comparison of study on intestinal barrier protection of polysaccharides from *Hericium erinaceus* before and after fermentation[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 233: 123558.
- [5] GUO W, HAN D, ZHANG F, et al. Effects of dietary β -1,3-glucan addition on the growth performance, mRNA expression in jejunal barrier, and cecal microflora of broilers challenged with *Clostridium perfringens*[J]. Poultry Science, 2023, 102(2): 102349.
- [6] ZHANG C D, XU T T, LIN L X, et al. Morinda officinalis polysaccharides ameliorates bone growth by attenuating oxidative stress and regulating the gut microbiota in thiram-induced tibial dyschondroplasia chickens[J]. Metabolites, 2022, 12. DOI: 10.3390/metabo12100958.
- [7] GUO Y X, CHEN X F, GONG P, et al. *In vitro* digestion and fecal fermentation of *Siraitia grosvenorii* polysaccharide and its impact on human gut microbiota[J]. Food Function, 2022, 13(18): 9443-9458.
- [8] 国家药典委员会. 中国药典[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2020.
- [9] LI Z R, XIANG J, HU D Y, et al. Naturally potential antiviral agent polysaccharide from *Dendrobium nobile* Lindl.[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2020, 167: 104598.
- [10] YE G, ZHANG J, XU X, et al. Comparative analysis of water-soluble polysaccharides from *Dendrobium* second love 'Tokimeki' and *Dendrobium nobile* in structure, antioxidant, and anti-tumor activity *in vitro* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 24(12): 10361.
- [11] LUO M, LIAO B Y, MA D, et al. *Dendrobium nobile*-derived polysaccharides ameliorate spermatogenic disorders in mice with streptozotocin-induced diabetes through regulation of the glycolytic pathway[J]. International Journal of Biological, 2022, 216: 203-212.
- [12] 黄李蓉, 曾子悠, 古长松, 等. 饲料添加丁酸梭菌对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J]. 饲料工业, 2021, 42(12): 11-15.
- [13] XU Q Q, AZZAM M M M, ZOU X T, et al. Effects of chitooligosaccharide supplementation on laying performance, egg quality, blood biochemistry, antioxidant capacity and immunity of laying hens during the late laying period[J]. Italian Journal of Animal Science, 2020, 19(1): 1181-1188.
- [14] 李振慧, 吴桂萍, 刘 龙, 等. 酵母多糖对产蛋后期蛋鸡生产性能、免疫功能、血清生化指标和抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(4): 2413-2424.
- [15] LYU H W, TANG Y Q, ZHANG H H, et al. Astragalus polysaccharide supplementation improves production performance, egg quality, serum biochemical index and gut microbiota in Chongren hens[J]. Animal Science Journal, 2021, 92(1): e13550.
- [16] GUO Y, ZHAO Z H, PAN Z Y, et al. New insights into the role of dietary marine-derived polysaccharides on productive performance, egg quality, antioxidant capacity, and jejunal morphology in late-phase laying hens[J]. Poultry Science, 2020, 99(4): 2100-2107.
- [17] LIU J, WU D, LENG Y, et al. Dietary supplementation with selenium polysaccharide from selenium-enriched *Phellinus linteus* improves antioxidant capacity, immunity and production performance of laying hens[J]. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2023, 77: 127140.
- [18] LI Z R, XIANG J, HU D Y, et al. Naturally potential antiviral agent polysaccharide from *Dendrobium nobile* Lindl.[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2020, 167: 104598.
- [19] 李海春. 八种石斛多糖抗氧化、抗衰老活性的比较研究[D]. 广州:华南农业大学, 2016.
- [20] GRICE E A, KONG H H, CONLAN S, et al. Topographical and temporal diversity of the human skin microbiome[J]. Science, 2009, 324(5931): 1190-1192.
- [21] LIU Y S, LI S, WANG X F, et al. Microbiota populations and short-chain fatty acids production in cecum of immunosuppressed broilers consuming diets containing gamma-irradiated *Astragalus* polysaccharides[J]. Poultry Science, 2021, 100(1): 273-282.
- [22] SHI D Y, BAI L, QU Q, et al. Impact of gut microbiota structure in heat-stressed broilers[J]. Poultry Science, 2019, 98(6): 2405-2413.
- [23] 沈丽艳, 杨玉婷, 高 欢, 等. 长期相对高、低环境温度对肉鸡回肠微生物多样性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2021, 36(4): 598-607.

- [24] 刘迎森,张莹莹,张林,等. 肉鸡消化道微生物区系分布特征及其关键影响因素[J]. 动物营养学报,2019,31(6):2515-2524.
- [25] WU S R, LI T H, NIU H F, et al. Effects of glucose oxidase on growth performance, gut function, and cecal microbiota of broiler chickens[J]. Poultry Science,2019,98(2):828-841.
- [26] CROST E H, COLETTI E, BELL A, et al. Ruminococcus gnavus: friend or foe for human health[J]. FEMS Microbiology Reviews,2023,47(2). DOI:10.1093/femsre/fuad014.
- [27] HOFMANOVA J, STRAKOVA N, VACULOVA A H, et al. Interaction of dietary fatty acids with tumour necrosis factor family cytokines during colon inflammation and cancer[J]. Mediators Inflamm,2014,2014:848632.
- [28] DE-MAESSCHALCK C, VAN-IMMERSEEL F, EECKHAUT V, et al. *Faecalicoccus acidiformans* gen. nov., sp. nov., isolated from the chicken caecum, and reclassification of *Streptococcus pleomorphus* (Barnes et al. 1977), *Eubacterium bifforme* (Eggerth 1935) and *Eubacterium cylindroides* (Cato et al. 1974) as *Faecalicoccus pleomorphus* comb. nov., *Holdemanella biformis* gen. nov., comb. nov. and *Faecalitalea cylindroides* gen. nov., comb. nov., respectively, within the family Erysipelotrichaceae[J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology,2014,64(11):3877-3884.
- [29] ANANI H, ABDALLAH R A, CHELKHA N, et al. Draft genome and description of *Merdibacter massiliensis* gen. nov., sp. nov., a new bacterium genus isolated from the human ileum[J]. Scientific Reports,2019,9(1):7931.
- [30] JIANG P, DU W J, WU M A. Regulation of the pentose phosphate pathway in cancer[J]. Protein Cell,2014,5(8):592-602.
- [31] VAN-HOECK V, SOMERS I, ABDELQADER A, et al. Xylanase impact beyond performance: a microbiome approach in laying hens[J]. PLoS One,2021,16(9):e257681.
- [32] YAO Y, YAN L J, CHEN H, et al. Cyclocarya paliurus polysaccharides alleviate type 2 diabetic symptoms by modulating gut microbiota and short-chain fatty acids[J]. Phytomedicine,2020,77:153268.
- [33] LIU M Y, SONG S Y, CHEN Q C, et al. Gut microbiota mediates cognitive impairment in young mice after multiple neonatal exposures to sevoflurane[J]. Aging (Albany NY),2021,13(12):16733-16748.
- [34] BRAUNE A, BLAUT M. *Catenibacillus scindens* gen. nov., sp. nov., a C-deglycosylating human intestinal representative of the *Lachnospiraceae*[J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology,2018,68(10):3356-3361.
- [35] HERLEMANN D P R, GEISSINGER O, IKEDA-OHTSUBO W, et al. Genomic analysis of "*Elusimicrobium minutum*," the first cultivated representative of the phylum "*Elusimicrobia*" (formerly termite group 1)[J]. Applied and Environmental Microbiology,2009,75(9):2841-2849.
- [36] LIU S M, LI E Y, SUN Z Y, et al. Altered gut microbiota and short chain fatty acids in Chinese children with autism spectrum disorder[J]. Scientific Reports,2019,9(1):287.
- [37] XU H P, ZHANG X D, LI P, et al. Effects of tannic acid supplementation on the intestinal health, immunity, and antioxidant function of broilers challenged with necrotic enteritis[J]. Antioxidants (Basel),2023,12(7):1476.
- [38] YANG L, CHEN L, ZHENG K, et al. Effects of fenugreek seed extracts on growth performance and intestinal health of broilers[J]. Poultry Science,2022,101(7):101939.
- [39] 徐健. 革兰氏阳性菌与革兰氏阴性菌感染的腹膜透析相关性腹膜炎临床特征比较和耐药性分析[D]. 合肥:安徽医科大学,2023.
- [40] ZHANG X L, AKHTAR M, CHEN Y, et al. Chicken jejunal microbiota improves growth performance by mitigating intestinal inflammation[J]. Microbiome,2022,10(1):107.

(责任编辑:成纾寒)