

引用格式:

张旭, 李闯, 黄璇, 蒋桂韬, 邓萍, 刘胜利, 李昊帮, 戴求仲. 亚硒酸二葡萄糖酯对产蛋后期蛋鸭肠道形态和微生物的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(1): 100–106.

ZHANG X, LI C, HUANG X, JIANG G T, DENG P, LIU S L, LI H B, DAI Q Z. Effects of digluconate selenite on intestinal morphology and microorganism of laying ducks during their late laying period[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(1): 100–106.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



亚硒酸二葡萄糖酯对产蛋后期蛋鸭肠道形态和微生物的影响

张旭^{1,2}, 李闯¹, 黄璇¹, 蒋桂韬¹, 邓萍¹, 刘胜利³, 李昊帮¹, 戴求仲^{1,2*}

(1.湖南省畜牧兽医研究所, 湖南 长沙 410131; 2.湖南家禽安全生产工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128; 3.山东隆科特酶制剂有限公司, 山东 临沂 276400)

摘要: 选用 240 只 50 周龄健康的临武鸭蛋鸭, 随机分成 5 组: 对照组(第 1 组)在基础饲料中添加 0.2 mg/kg(以硒计)的亚硒酸钠, 第 2、3、4、5 组分别在基础饲料中添加 0.1、0.2、0.3、0.4 mg/kg(以硒计)的亚硒酸二葡萄糖酯。每组 6 个重复, 每重复 8 只鸭。预试期 7 d, 正试期 63 d。试验结束后测定供试鸭的十二指肠、空肠和回肠形态指标及回肠和盲肠的微生物多样性。结果表明: 与对照组相比, 饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯对产蛋后期蛋鸭的十二指肠、空肠和回肠绒毛高度、隐窝深度、肠壁厚度、绒毛高度与隐窝深度的比值均无显著影响; 添加亚硒酸二葡萄糖酯组降低了回肠中变形菌门和埃希氏菌属-志贺氏杆菌属及盲肠中变形菌门和厌氧螺菌属的相对丰度, 提高了回肠中肠杆菌属及盲肠中拟杆菌门和普雷沃氏菌属、肠杆菌属、理研菌科 RC9 菌属的相对丰度; 第 2 组回肠中属、种水平的 OTU 数显著高于对照组的, 肠道菌群 α 多样性最高, 回肠中厚壁菌门相对丰度最高且埃希氏菌属-志贺氏杆菌属相对丰度最低, 盲肠中拟杆菌门相对丰度最高。综上可知, 饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯降低了回肠中有害微生物的相对丰度, 有利于肠道健康, 饲料中亚硒酸二葡萄糖酯的适宜添加量为 0.1 mg/kg(以硒计)。

关键词: 蛋鸭; 亚硒酸二葡萄糖酯; 肠道绒毛高度; 隐窝深度; 肠壁厚度; 肠道微生物

中图分类号: S834.5

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2023)01-0100-07

Effects of digluconate selenite on intestinal morphology and microorganism of laying ducks during their late laying period

ZHANG Xu^{1,2}, LI Chuang¹, HUANG Xuan¹, JIANG Guitao¹, DENG Ping¹,
LIU Shengli³, LI Haobang¹, DAI Qiuzhong^{1,2*}

(1.Hunan Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Changsha, Hunan 410131, China; 2.Hunan Co-Innovation Center of Safety Animal Production, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Shandong Longkete Enzyme Preparation Co. Ltd, Linyi, Shandong 276400, China)

Abstract: Two hundred and forty 50-week-old healthy Linwu ducks were randomly assigned to 5 groups with 6 replicates in each group and 8 ducks per replicate. The control group(group 1) was fed with basal diet added 0.2 mg/kg(calculated by selenium) of sodium selenite, group 2, 3, 4, 5 added 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 mg/kg(calculated by selenium) of digluconate selenite to the basal diet respectively. The pre-trial period lasted 7 days. The trial period was 63 days. The

收稿日期: 2021-09-14

修回日期: 2022-11-30

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-42-21)

作者简介: 张旭(1979—), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士, 副研究员, 主要从事饲料资源开发和饲料营养价值评定研究, 22724340@qq.com;

*通信作者, 戴求仲, 博士, 研究员, 主要从事动物营养研究, daiqiuzhong@163.com

morphology of duodenum, jejunum and ileum and the microbial diversity of ileum and cecum of the ducks were measured to evaluate the effects. The results showed compared with the control group, the addition of digluconate selenite in the diet had no significant effect on the villus height, crypt depth, intestinal wall thickness, the ratio of villus height to crypt depth of the duodenum, jejunum and ileum. The relative abundance of Proteobacteria and *Escherichia-Shigella* in the ileum and Proteobacteria and *Anaerobiospirillum* in cecum of the test group supplemented with digluconate selenite decreased. The relative abundance of *Intestinibacter* in the ileum and Bacteroidetes, *Prevotella_7*, *Intestinibacter*, Rikenellaceae_RC9 in cecum of the test group with the addition of digluconate selenite increased. The number of OTU in the ileum of group 2 was significantly higher than that of the control group. The intestinal microflora α diversity was the highest, which increased the relative abundance of Firmicutes in the ileum and decreased the relative abundance of *Escherichia-Shigella*. The results of microbial diversity showed that dietary digluconate selenite reduced the relative abundance of harmful microorganisms in the ileum, which was beneficial to intestinal health, and the appropriate addition amount of the dietary digluconate selenite was 0.1 mg/kg(calculated by selenium).

Keywords: laying ducks; digluconate selenite; intestinal villus height; crypt depth; intestinal wall thickness; intestinal microorganisms

蛋鸭进入产蛋后期后会出现产蛋率下降、蛋壳质量下降、产生应激等问题^[1]。热应激、免疫应激等刺激也会对家禽肠道微生物菌群结构产生影响^[2-3]。硒在家禽体内主要以硒蛋氨酸的形式组成硒蛋白,还有一小部分以硒半胱氨酸的形式参与机体蛋白质组成。硒对家禽有多种营养功能,添加适量的硒能够改善家禽生产性能及肉、蛋品质,提高免疫应答,降低应激对家禽的影响^[4-6],提高家禽生殖能力、种母禽的产蛋能力和雏鸡孵化质量^[7-9]。硒对后肠道微生物的组成和酵解作用有一定影响,有利于动物结肠健康^[10];纳米硒能够降低乳腺癌和结肠癌细胞对药物的化学抗性^[11];半胱氨酸硒在 0.5~1.0 $\mu\text{g/mL}$ 内可增强人 T 淋巴细胞的抗肿瘤活性,促进人结肠癌细胞的凋亡^[12]。

硒制剂分为无机硒和有机硒。硒在体内的吸收和保留主要取决于硒的摄取形式,无机硒在动物体内是通过被动吸收的方式被肠道吸收,而有机硒可通过参与营养物质代谢的方式被肠道主动吸收^[13]。亚硒酸钠作为一种无机硒,在饲料中应用普遍,但亚硒酸钠易氧化、安全性低,不适宜的添加会引起中毒,一些国家已经禁止在食品和饲料中添加无机硒盐。动物对有机硒的吸收率好于无机硒,与饲喂无机硒相比,饲喂有机硒的动物内脏中的硒含量更高^[14]。有机硒的抗氧化效果也好于无机硒^[15]。亚硒酸二葡萄糖酯中的硒不易被热、酸、碱破坏,既具有很强的亲水性,又具有亲脂性,较容易穿过细胞膜而被吸收。研究表明,有机硒的生物利用率较无机硒高^[16-17],在家禽肌肉和内脏中存留更多^[18],且

不同硒源对家禽肠道微生物群落结构的影响也存在一定差异^[19]。亚硒酸二葡萄糖酯俗称有机糖硒,是酵母多糖与亚硒酸钠经生物与化学催化反应转化而成。研究^[20]表明,亚硒酸二葡萄糖酯较无机硒显著提高了贮藏期鸭蛋的哈夫单位,延长了鸭蛋的货架寿命,对蛋鸭的产蛋性能、蛋品质及健康状况也均有一定改善作用。但饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯是否影响蛋鸭肠道形态和微生物多样性目前鲜见报道。笔者以产蛋后期临武鸭蛋鸭作为试验动物,研究不同亚硒酸二葡萄糖酯添加水平对蛋鸭肠道形态结构和微生物多样性的影响,旨在为亚硒酸二葡萄糖酯的科学应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试亚硒酸二葡萄糖酯为米黄色粉末,硒质量分数为 2 g/kg,由湖南诺维信生物科技有限公司生产并提供。

1.2 试验设计

选择 240 只 50 周龄健康产蛋率接近的产蛋后期临武鸭蛋鸭,随机分为 5 组,每组 6 个重复,每个重复 8 羽。试验 1 组为对照组(T1),在基础饲料中添加 0.2 mg/kg(以硒计)的无机硒亚硒酸钠配制对照组饲料,试验 2、3、4、5 组(分别记为 T2、T3、T4、T5)分别在基础饲料中添加 50、100、150、200 g/t 的有机硒亚硒酸二葡萄糖酯,即以硒计的硒添加水平分别为 0.1、0.2、0.3、0.4 mg/kg。试验全程各组均不添加抗生素。参照文献[20]的方法配制基础

饲料。试验蛋鸭分上、下2层阶梯笼养,每笼1只,各重复均匀分布于鸭舍。自由采食与饮水,自然光照与人工光照、自然通风和横向负压通风相结合。每日清理鸭粪和捡蛋各2次,栏舍清理和消毒各1次。预试期7d,正试期63d。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 肠道形态结构分析

试验结束后,从每重复中抽取1只蛋鸭进行屠宰,剪取十二指肠、空肠和回肠3个部位中段组织各1段,长度约1cm,用生理盐水清洗干净,放入EP管中,加入10%甲醛溶液固定,将样品进行脱水、透明、浸蜡、包埋、修块、切片、展片、染色等处理,制成4~6 μm厚的石蜡切片。在显微镜下随机选取多个非连续性视野观察切片,挑选典型视野拍摄图片,使用Toupview测定绒毛高度、隐窝深度和肠壁厚度,并计算绒毛高度与隐窝深度的比值。每个样品读取5个数值,取平均值。

1.3.2 肠道微生物多样性的测定

试验结束后,从每重复中随机抽取1只蛋鸭进行屠宰,采集回肠和盲肠中食糜分装在EP管中,用液氮迅速冷冻,于-80℃冰箱中保存,备用。参照DNA提取试剂盒(Qiagen)说明书进行样品中菌

群总DNA提取;以提取的DNA为模板,用古菌/细菌通用引物,针对细菌16S rRNA的V3+V4区域进行PCR扩增,并利用Illumina MiSeq测序平台进行高通量测序^[19]。运用FLASH v1.2.7、Trimmomatic v 0.33和UCHIME v4.2分别进行PE reads拼接、Tags过滤和去除嵌合体,得到最终有效数据。运用QIIME进行各组间ACE、Chao1、Shannon、Simpson等α多样性分析;基于unweighted UniFrac matrices的主坐标分析(PCoA)探讨各组间β多样性;采用LefSe分析确定各组间物种丰度的OTU差异。

1.4 数据统计分析

试验数据采用Excel 2010进行初步处理;运用SPSS 19.0进行统计分析,选择Duncan氏法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 亚硒酸二葡萄糖酯对产蛋后期蛋鸭肠道形态的影响

由表1可知,与对照组相比,饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯对蛋鸭十二指肠、空肠和回肠的绒毛高度、隐窝深度、绒毛高度与隐窝深度的比值及肠壁厚度均无显著($P > 0.05$)影响。

表1 饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯的产蛋后期蛋鸭的肠道形态

肠段	组别	绒毛高度/μm	隐窝深度/μm	绒毛高度与隐窝深度的比值	肠壁厚度/μm
十二指肠	T1	282.46±29.49	59.54±13.00	4.99±0.89	97.93±6.24
	T2	283.08±20.35	54.53±7.33	5.35±0.72	98.34±12.06
	T3	263.86±32.46	54.98±3.94	4.98±0.84	97.72±9.71
	T4	257.74±28.06	59.12±6.57	4.43±0.30	97.78±11.70
	T5	266.04±39.52	48.21±11.77	5.75±0.90	86.37±16.07
	<i>P</i>	0.599	0.325	0.123	0.433
空肠	T1	248.27±39.66	55.18±5.90	4.66±0.86	90.87±17.17
	T2	273.35±17.82	50.66±6.29	5.54±0.35	91.93±9.83
	T3	278.03±18.53	57.01±3.27	4.93±0.27	93.35±7.92
	T4	263.69±47.96	51.41±6.11	5.21±0.39	84.81±7.73
	T5	277.93±65.00	53.74±7.10	5.24±0.99	99.27±20.21
	<i>P</i>	0.769	0.432	0.291	0.583
回肠	T1	298.13±28.00	54.20±8.64	5.68±0.82	88.19±12.60
	T2	266.13±36.76	52.54±10.57	5.23±1.14	85.10±13.54
	T3	272.50±51.36	47.69±7.58	6.02±2.17	83.35±8.33
	T4	241.13±42.08	46.66±6.58	5.37±0.91	92.38±14.59
	T5	249.21±32.37	47.88±6.56	5.32±0.57	82.06±12.40
	<i>P</i>	0.207	0.513	0.848	0.701

2.2 亚硒酸二葡萄糖酯对产蛋后期蛋鸭肠道微生物多样性的影响

2.2.1 OTU 分析结果

从表 2 可知, 与对照组相比, 在属和种水平,

饲料添加 0.1 mg/kg 亚硒酸二葡萄糖酯显著($P < 0.05$)提高了蛋鸭回肠微生物的 OTU 数; 饲料添加 0.1~0.4 mg/kg 亚硒酸二葡萄糖酯对蛋鸭盲肠微生物的 OTU 数无显著($P > 0.05$)影响。

表 2 饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯的产蛋后期蛋鸭回肠和盲肠微生物的 OTU 数

Table 2 OTU number of ileum and cecum microorganisms of laying ducks fed diets supplemented with digluconate selenite during late laying period

肠段	组别	OTU 数					
		门	纲	目	科	属	种
回肠	T1	9.00±1.00	15.33±1.15	21.67±3.21	44.00±7.94	(69.67±12.90)b	(51.67±10.50)b
	T2	12.00±3.00	20.33±4.16	31.33±6.51	55.00±9.16	(108.67±15.28)a	(85.67±9.45)a
	T3	10.00±2.64	17.67±4.16	23.33±2.08	46.67±6.43	(91.67±22.12)ab	(72.00±17.58)ab
	T4	9.00±1.00	16.67±2.08	21.67±1.53	40.67±1.53	(66.33±2.08)b	(48.00±2.00)b
	T5	9.00±2.64	17.00±3.46	24.33±6.03	47.00±8.54	(83.00±13.00)ab	(64.00±18.33)ab
	<i>P</i>	0.443	0.462	0.108	0.248	0.030	0.031
盲肠	T1	13.00±0.00	20.67±1.15	25.67±2.08	48.00±5.57	122.33±5.86	100.00±6.00
	T2	13.00±0.00	20.33±0.58	26.33±0.58	53.00±3.00	127.00±4.58	105.67±5.69
	T3	13.00±1.00	21.00±1.00	26.67±1.15	53.67±2.52	130.00±7.21	106.00±5.57
	T4	12.67±0.58	21.33±0.58	27.00±2.00	53.00±3.00	124.67±4.16	102.00±3.00
	T5	12.00±1.73	19.67±2.52	25.00±2.00	48.00±1.73	120.33±2.52	96.67±3.51
	<i>P</i>	0.637	0.633	0.615	0.152	0.235	0.183

同列不同字母示同一肠段组间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.2.2 α 多样性分析结果

从表 3 可知, 回肠中 T3 的 Shannon 指数值最大, T2 的其次, 说明这 2 组的回肠微生物物种最多, 微生物多样性最高; T2 的 Simpson 指数值最小, 盲肠中 T2 的 Shannon 指数值最大。可见, 添加 0.1 mg/kg 亚硒酸二葡萄糖酯试验组蛋鸭的肠道微生物物种多样性最高。回肠中 T3 的 ACE 指数值最大, 表明该组的物种最丰富, 物种分布最均匀, T1、T2

和 T3 的回肠 ACE 指数值较为接近, T5 的与其他组差异较大; 盲肠中各组的 ACE 指数值较为接近, 表明各组盲肠微生物物种丰富度差异较小。回肠中 T2 和 T3 的 Chao 1 指数值较高, 说明此 2 组的回肠微生物物种数较多; 而盲肠中各组的 Chao 1 指数值相差较小, 说明各组盲肠微生物物种数较接近。测序覆盖度均在 0.999 以上, 说明本次测序结果能够代表样本中微生物的真实情况。

表 3 饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯的产蛋后期蛋鸭回肠和盲肠的微生物 α 多样性指数

Table 3 The α diversity index of ileum and cecum microorganisms of laying ducks fed diets supplemented with digluconate selenite during late laying period

组别	回肠微生物 α 多样性指数				回肠的 测序覆盖度	盲肠微生物 α 多样性指数				回肠的 测序覆盖度
	ACE	Chao1	Simpson	Shannon		ACE	Chao1	Simpson	Shannon	
T1	335.10	231.33	0.173	2.108	0.999 7	347.20	347.00	0.042	4.107	0.999 9
T2	326.93	325.40	0.154	2.219	0.999 8	343.98	345.00	0.017	4.673	0.999 9
T3	336.32	335.64	0.214	2.267	0.999 9	351.04	356.00	0.045	4.123	0.999 9
T4	316.85	238.35	0.172	2.085	0.999 7	347.83	346.80	0.034	4.379	0.999 9
T5	273.75	265.89	0.188	2.145	0.999 7	350.46	350.60	0.028	4.360	0.999 9

2.2.3 β 多样性分析结果

PCoA 结果如图 1 所示。回肠中, PC1 的差异可解释全部分析结果的 60.68%, PC2 的差异可以解释余下变化中的 28.54%; 盲肠中, PC1 的差异可解

释全部分析结果的 80.72%, PC2 的差异可以解释余下变化中的 11.02%。回肠中 T2 和 T3 组群落结构相似度较高, T1 组回肠微生物群落与其他组差异较大, 盲肠中 T5 组微生物群落与其他组差异较大。

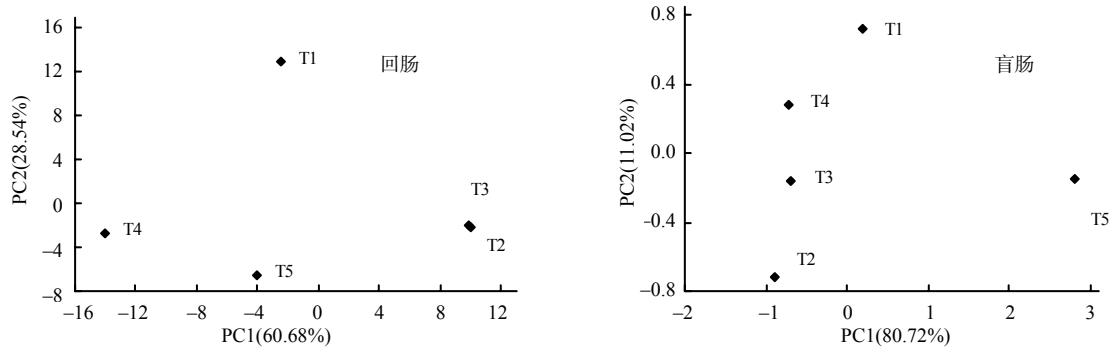


图 1 饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯的产蛋后期蛋鸭回肠和盲肠微生物 PCoA 分析结果

Fig.1 PCoA analysis result of ileum and cecum microorganisms of laying ducks fed diets supplemented with digluconate selenite during late laying period

2.2.4 微生物种群结构分析结果

从图 2 可知, 产蛋后期蛋鸭回肠中排名前 5 位的优势菌门依次为厚壁菌门(Firmicutes)、梭杆菌门(Fusobacteria)、变形菌门(Proteobacteria)、放线菌门(Actinobacteria)和拟杆菌门(Bacteroidetes); T2 的厚壁菌门相对丰度高于其他组的, T3 的拟杆菌门相对丰度高于其他组的, 添加亚硒酸二葡萄糖酯组的变形菌门相对丰度均低于无机硒组的。产蛋后期蛋鸭

盲肠中排名前 6 位的优势菌门依次为厚壁菌门、拟杆菌门、梭杆菌门、变形菌门、螺旋体菌门(Spiriochaetae)和放线菌门; 添加亚硒酸二葡萄糖酯组的拟杆菌门相对丰度均高于无机硒组的, 且 T2 的拟杆菌门相对丰度最高, 变形菌门相对丰度均低于无机硒组的, T5 的厚壁菌门相对丰度高于其他组的。可见, 添加亚硒酸二葡萄糖酯能促进营养物质吸收, 降低肠道有害微生物数量。

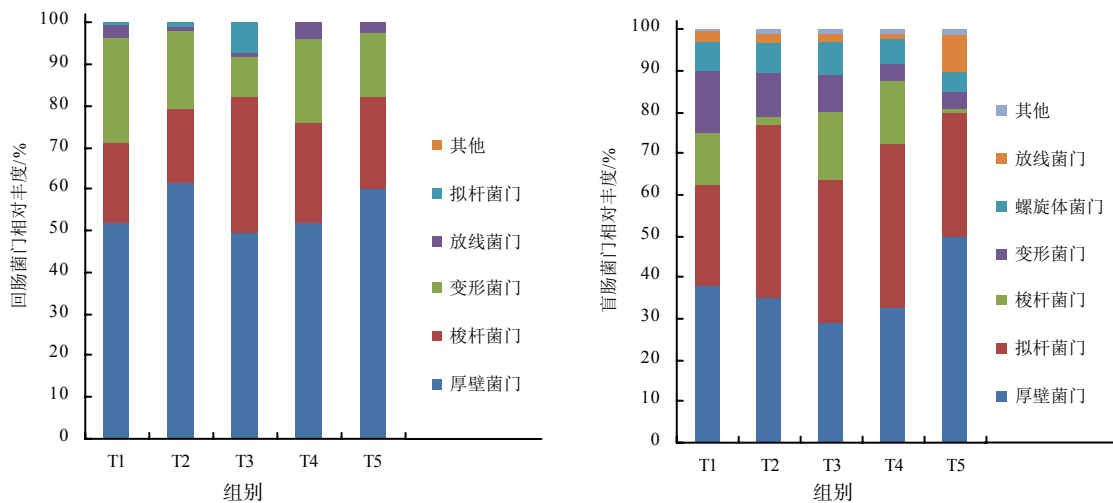


图 2 饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯的产蛋后期蛋鸭回肠和盲肠微生物门水平物种的相对丰度

Fig.2 The relative abundance of ileum and cecum microorganisms at phylum level of laying ducks fed diets supplemented with digluconate selenite during later laying period

从图 3 可知, 产蛋后期蛋鸭回肠中排名前 6 位的优势菌属依次为链球菌属(*Streptococcus*)、梭杆菌属(*Fusobacterium*)、埃希氏菌属-志贺氏杆菌属(*Escherichia-Shigella*)、肠球菌属(*Enterococcus*)、肠杆菌属(*Intestinibacter*)和葡萄球菌属(*Staphylococcus*); T2 组的埃希氏菌属-志贺氏杆菌属相对丰度低于其他组的, 而肠杆菌属相对丰度则高于其他组的; T3、

T4、T5 的链球菌属和梭杆菌属相对丰度均高于 T1 的; 添加亚硒酸二葡萄糖酯组的埃希氏菌属-志贺氏菌属微生物数量均低于 T1 的。埃希氏菌属-志贺氏菌属细菌多为肠道病原菌, 添加亚硒酸二葡萄糖酯可减少回肠中病原菌, 有利于肠道健康。另外, 添加亚硒酸二葡萄糖酯组的乳杆菌属的相对丰度均低于对照组的。

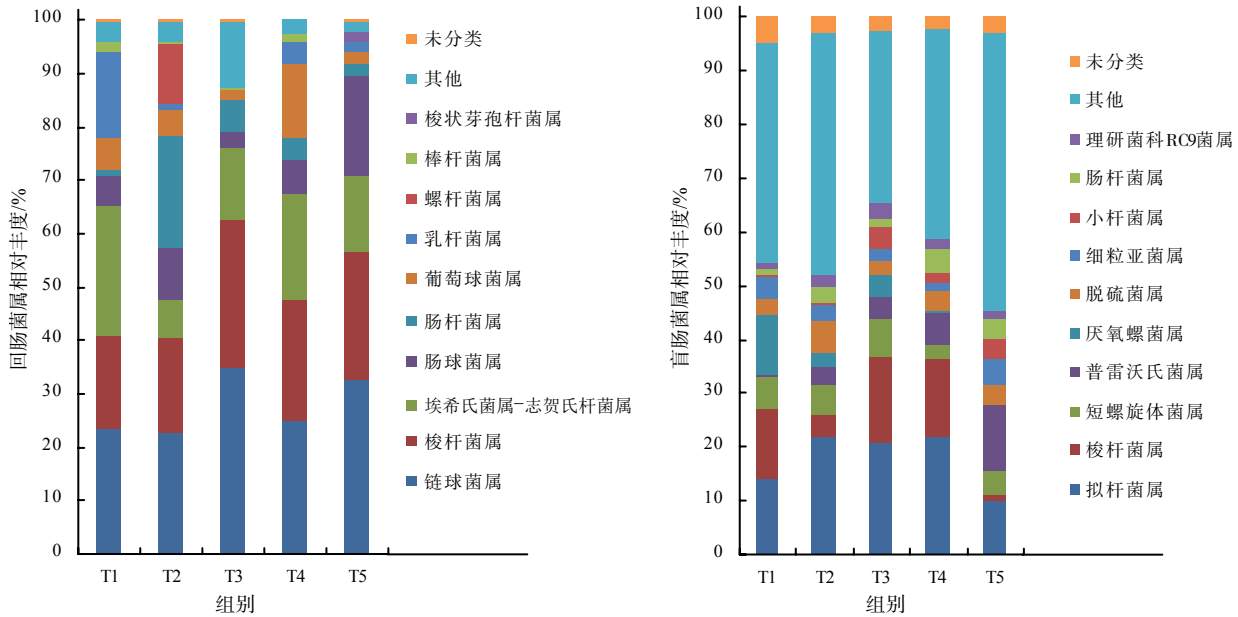


图 3 饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯的产蛋后期蛋鸭回肠和盲肠微生物属水平物种的相对丰度

Fig.3 The relative abundance of ileum and cecum microorganisms at genus level of laying ducks fed diets supplemented with digluconate selenite during later laying period

产蛋后期蛋鸭盲肠中排名前 10 位的优势菌属依次为拟杆菌属(*Bacteroides*)、梭杆菌属、短螺旋体菌属(*Brachyspira*)、普雷沃氏菌属(*Prevotella_7*)、厌氧螺菌属(*Anaerobiospirillum*)、脱硫菌属(*Desulfovibrio*)、细粒亚菌属(*Subdoligranulum*)、小杆菌属(*Dialister*)、肠杆菌属和理研菌科 RC9 菌属(*Rikenellaceae_RC9_gut_group*)，还有总量超过其他菌属的未分类的微生物。与 T1 相比，T2 组的拟杆菌属相对丰度升高，梭杆菌属和厌氧螺菌属相对丰度则大幅降低；添加亚硒酸二葡萄糖酯组的厌氧螺菌属相对丰度均低于 T1 的，普雷沃氏菌属、肠杆菌属和理研菌科 RC9 菌属相对丰度则高于 T1 的。

3 结论与讨论

缺硒会引起雏鸡肠道组织过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性及谷胱甘肽含量下降，降低雏鸡肠道的抗氧化能力而引起肠道粘膜损伤^[21]。有研究^[22]发现，在肉鸡饲料中添加酵母硒，增加了肠道绒毛高度、绒毛高度与隐窝深度的比值及杯状细胞的数量。本研究中，饲料添加亚硒酸二葡萄糖酯与添加无机硒的对照组相比，小肠绒毛高度、隐窝深度、肠壁厚度和绒毛高度与隐窝深度的比值均无显著变化，这可能是由于本研究的试验动物为产蛋后期蛋鸭，成年蛋鸭的肠道发育已完成，并非生长发育阶段，故添加有机硒制剂对其无显著影响。

蛋鸭进入产蛋后期，容易受到环境条件等应激作用影响而发生产蛋率降低、蛋品质下降等问题，这与应激带来的肠道微生物物种丰度的改变有一定相关性^[2-3]。低硒(0.01 mg/kg)日粮可引起大鼠血清硒水平降低、肠道菌群结构失调、多样性降低，适量补硒可提高血清硒水平，改善肠道菌群结构，增加微生物多样性^[23]。不同类型的硒制剂对肠道屏障和肠道免疫稳态均具有相似的作用，但对粪便代谢产物(如神经物质和免疫调节剂)的影响不同，并在多种途径中引起蛋白质组学差异，考虑到肠道健康，应当选择硒制剂的类型和剂量^[24]。

本研究发现，在属水平和种水平，添加 0.1 mg/kg 亚硒酸二葡萄糖酯试验组的回肠微生物 OTU 数较添加 0.1 mg/kg 亚硒酸钠的对照组的显著增加，且添加 0.1 mg/kg 亚硒酸二葡萄糖酯试验组的回肠微生物 Simpson 指数值最低，Shannon 指数值与最高值相近，说明该组的微生物多样性最高，也说明有机硒较无机硒提高了产蛋后期蛋鸭回肠微生物多样性。而增加亚硒酸二葡萄糖酯的用量并不能使蛋鸭回肠和盲肠的微生物多样性增加，这与陈冬梅等^[23]的适硒组(0.186 mg/kg)和补硒组(0.439 mg/kg)的微生物多样性的差异无统计学意义的研究结果具有一致性。

本研究条件下，饲料添加 0.1~0.4 mg/kg(以硒计)亚硒酸二葡萄糖酯对产蛋后期蛋鸭的肠道形态无

显著影响; 饲料添加 0.1 mg/kg(以硒计)亚硒酸二葡萄糖酯可改善产蛋后期蛋鸭回肠微生物结构, 显著提高回肠中属、种水平的 OTU 数, 提高肠道微生物多样性, 提高回肠中厚壁菌门及盲肠中拟杆菌门和拟杆菌属的相对丰度, 降低回肠中变形菌门和埃希氏菌属-志贺氏杆菌属及盲肠中变形菌门和梭杆菌属、厌氧螺菌属的相对丰度。可见, 饲料中亚硒酸二葡萄糖酯的适宜添加量为 0.1 mg/kg(以硒计)。

参考文献:

- [1] 王永强, 闫益波, 李月涛. 蛋鸭标准化规模养殖技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013.
- [2] 李永洙, 陈常秀, CUI Y Q. 热应激对蛋鸡肠道菌群结构、碱性磷酸酶活性及氨基酸转运载体 mRNA 表达丰度的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(20): 4378-4387.
- [3] 冯焱. 免疫应激对肉鸡消化系统、免疫功能及肠道微生物区系的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [4] PUVAČA N, STANAČEV V. Erratum: selenium in poultry nutrition and its effect on meat quality[J]. World's Poultry Science Journal, 2011, 67(3): 479-484.
- [5] SUCHÝ P, STRAKOVÁ E, HERZIG I. Selenium in poultry nutrition: a review[J]. Czech Journal of Animal Science, 2014, 59(11): 495-503.
- [6] 何柳青, 曲湘勇, 魏艳红, 等. 酵母硒和茶多酚及其互作对绿壳蛋鸡生产性能及抗氧化能力的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(4): 417-421.
- [7] STANLEY V G, HICKERSON K, DALEY M B, et al. Single and combined effects of organic selenium and zinc on egg, fertility, hatchability, and embryonic mortality of exotic Cochin hens[J]. Agrotechnology, 2012, 2(1): 106.
- [8] ETAKI A O. Comparison of the effects of organic and inorganic selenium on hatchability of local quail[J]. Current Investigations in Agriculture and Current Research, 2020, 9(1): 1167-1169.
- [9] URSO U R A, DAHLKE F, MAIORKA A, et al. Vitamin E and selenium in broiler breeder diets: effect on live performance, hatching process, and chick quality[J]. Poultry Science, 2015, 94(5): 976-983.
- [10] 任广旭, 王立平, 王泽. 硒通过肠道微生物调控健康的研究进展[J]. 农业与技术, 2018, 38(23): 8-10.
- [11] ABD-RABOU A A, AHMED H H, SHALBY A B. Selenium overcomes doxorubicin resistance in their nano-platforms against breast and colon cancers[J]. Biological Trace Element Research, 2020, 193(2): 377-389.
- [12] 郁宝铭, 赵任, 冯国光, 等. 硒对淋巴细胞抗大肠癌作用影响的基础和临床研究[J]. 大肠肛门病外科杂志, 2002, 8(1): 20-23.
- [13] MEHDI Y, HORNICK J L, ISTASSE L, et al. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions[J]. Molecules, 2013, 18(3): 3292-3311.
- [14] YUAN D, ZHAN X A, WANG Y X. Effects of selenium sources and levels on reproductive performance and selenium retention in broiler breeder, egg, developing embryo, and 1-day-old chick[J]. Biological Trace Element Research, 2011, 144(1/2/3): 705-714.
- [15] 姚昭, 李红艳, 张云龙, 等. 有机硒、无机硒、VE 单独使用及有机硒与 VE 联用对大鼠体内抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 272-276.
- [16] HASSAN F A, ABDEL-AZEEM N M, ABDEL-RAHMAN S M, et al. Effect of dietary organic selenium supplementation on growth performance, carcass characteristics and antioxidative status of growing rabbits[J]. Journal of World's Poultry Research, 2019, 9(1): 16-25.
- [17] CHEN G, WU J, LI C. Effect of different selenium sources on production performance and biochemical parameters of broilers[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2014, 98(4): 747-754.
- [18] GANGADOO S, DINEV I, WILLSON N L, et al. Nanoparticles of selenium as high bioavailable and non-toxic supplement alternatives for broiler chickens[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(14): 16159-16166.
- [19] 杨雪斌. 基于高通量测序分析不同硒源对鸡肠道微生物的影响[D]. 太原: 山西大学, 2020.
- [20] 张旭, 李闯, 黄璇, 等. 亚硒酸二葡萄糖酯对蛋鸭生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(5): 154-159.
- [21] 于娇. 缺硒对鸡肠道免疫功能的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014: 31-39.
- [22] TONG C, LI P, YU L H, et al. Selenium-rich yeast attenuates ochratoxin A-induced small intestinal injury in broiler chickens by activating the Nrf2 pathway and inhibiting NF-KB activation[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 66: 103784.
- [23] 陈冬梅, 吴博, 杨文庆. 硒营养状态对大鼠肠道菌群结构及炎症的影响[J]. 中国微生态学杂志, 2019, 31(3): 291-296.
- [24] ZHAI Q, XIAO Y, LI P, et al. Varied doses and chemical forms of selenium supplementation differentially affect mouse intestinal physiology[J]. Food & Function, 2019, 10(9): 5398-5412.

责任编辑: 邹慧玲
英文编辑: 柳正