

小刺猴头菌发酵浸膏多糖对肉鸡脂肪沉积的影响

尚红梅^{1,2} 宋慧^{1,3*} 沈思捷¹ 姚旭¹ 吴波¹ 王丽娜¹

隋源¹ 丁国栋¹ 姜云瑶¹

(1. 吉林农业大学 生命科学学院, 长春 130118;

2. 吉林农业大学 动物科学技术学院, 长春 130118;

3. 食药菌教育部工程研究中心, 长春 130118)

摘要 为研究小刺猴头菌发酵浸膏多糖(Polysaccharides from the fermentation extract of *Heridium caput-medusae*, HFP)对肉鸡血清脂类指标、腹脂沉积、盲肠短链脂肪酸以及肝脏、肌肉、粪便中脂肪含量的影响,选用1日龄AA肉鸡240只,随机分为4个处理,每处理3个重复,每重复20只,分别饲喂含HFP为0、0.1%、0.3%和0.5%的日粮,试验期为42 d。结果表明:1)日粮中添加HFP可显著降低14、28和42日龄肉鸡血液甘油三酯(TG)含量($P<0.05$),0.3%和0.5%水平的HFP添加组可显著降低肉鸡肝脏TG含量($P<0.05$);2)0.3%和0.5%水平的HFP添加组肉鸡的腹脂率显著低于对照组($P<0.05$);3)日粮中添加HFP对肉鸡体重、腿肌脂肪含量、胸肌脂肪含量、粪便脂肪含量无显著影响($P>0.05$);4)添加HFP可显著增加肉鸡盲肠丙酸含量($P<0.05$),显著降低盲肠乙酸和丙酸的比例($P<0.05$);5)变量间相关性分析表明,14日龄时,肉鸡盲肠丙酸含量与腹脂率显著负相关($r=-0.992$),乙酸和丙酸的比例与腹脂率显著正相关($r=0.989$);28日龄时,盲肠丙酸含量与血液TG含量显著负相关($r=-0.985$),乙酸和丙酸的比例与血液TG含量显著正相关($r=0.996$);42日龄时,乙酸和丙酸的比例分别与血液TG含量、腹脂率显著正相关($r=0.951, 0.979$)。以上结果提示,在肉鸡日粮中添加HFP可以显著降低血液TG含量,降低腹脂沉积,可能是通过调节肉鸡盲肠短链脂肪酸的含量和比例而促进机体脂类代谢。

关键词 肉鸡; 小刺猴头菌; 发酵浸膏多糖; 脂肪沉积; 短链脂肪酸

中图分类号 S 831.5

文章编号 1007-4333(2014)02-0162-07

文献标志码 A

Effects of polysaccharides from the fermentation extract of *Heridium caput-medusae* on the lipid deposition in broilers

SHANG Hong-mei^{1,2}, SONG Hui^{1,3*}, SHEN Si-jie¹, YAO Xu¹, WU Bo¹,

WANG Li-na¹, SUI Yuan¹, DING Guo-dong¹, JIANG Yun-yao¹

(1. School of Life Sciences, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2. College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

3. Engineering Research Center of Chinese Ministry of Education for Edible and Medicinal Fungi, Changchun 130118, China)

Abstract The experiment was conducted to study the effects of dietary polysaccharides from the fermentation extract of *Heridium caput-medusae* (HFP) on the serum lipid indexes, abdominal fat, short chain fatty acid in caecum, and the lipid content in liver, muscles and excreta of broilers. A total of 240 one-day-old AA broilers were divided randomly into 4 groups with 3 replicates of 20 broilers each, and fed diets containing four concentrations of HFP (0, 0.1%, 0.3%, and 0.5%) during the 42 days study. The results showed that: 1) Dietary supplementation with HFP significantly decreased ($P<0.05$) the serum triglyceride (TG) content, the levels of 0.3% and 0.5% significantly decreased ($P<0.05$) the

收稿日期: 2013-07-02

基金项目: 吉林省世行贷款农产品质量安全项目(2011-Y18)

第一作者: 尚红梅, 讲师, 博士研究生, 主要从事饲草资源开发与利用研究, E-mail: shangmei2000@163.com

通讯作者: 宋慧, 教授, 博士生导师, 主要从事菌物生物化学研究, E-mail: songhuinongda@163.com

liver TG content of broilers on day 14, 28, and 42. 2) The abdominal fat percent was significantly reduced ($P < 0.05$) in the broilers fed with 0.3% and 0.5% of HFP than that of the control group. 3) Dietary supplementation of HFP had no significant ($P > 0.05$) effect on the body weight, lipid content in thigh muscle, breast muscle and excreta of broilers. 4) Dietary supplementation with HFP significantly increased ($P < 0.05$) the propionic acid content, and decreased ($P < 0.05$) the rate of acetic acid and propionic acid in the caecum of broilers. 5) On day 14, the propionic acid content in caecum was in a significantly negative correlation with the abdominal fat percent ($r = -0.992$), the rate of acetic acid and propionic acid was in a significantly positive correlation with the abdominal fat percent ($r = 0.989$). On day 28, the propionic acid content was in a significantly negative correlation with the serum TG ($r = -0.985$), the rate of acetic acid and propionic acid was in a significantly positive correlation with the serum TG ($r = 0.996$). On day 42, the rate of acetic acid and propionic acid was in a significantly positive correlation with the serum TG and the abdominal fat percent ($r = 0.951$ and 0.979) respectively. It could be concluded that dietary supplementation with HFP could significantly reduce the TG content in serum, decrease the abdominal fat deposition, and improve the lipid metabolism of broilers, which might be achieved through regulating the short chain fatty acid content and the rate in the caecum of broilers.

Key words broilers; *Hericium caput-medusae*; polysaccharides from the fermentation extract; fat deposition; short chain fatty acids

鸡肉作为人类重要的动物性食品之一,绝大部分来源于速长型肉鸡,该类肉鸡具有生长速度快、生产周期短等优点,但体内脂肪沉积过多,影响肉鸡的胴体品质和鸡肉的加工性能^[1-2];同时沉积单位脂肪比沉积单位瘦肉多消耗 3 倍的能量,降低饲料利用率^[3];更严重的是消费者食入过量脂肪会增加肥胖症、糖尿病和动脉粥样硬化等疾病的发病率^[4-5]。目前,通过营养调控途径减少肉鸡脂肪沉积、改善肉鸡胴体品质已成为家禽营养学研究的热点。20 世纪 90 年代以来,多糖的生物活性及药用价值倍受关注。小刺猴头菌 [*Hericium caput-medusae* (Bull.: Fr.) Pers.] 是猴头菌属 (*Hericium*) 珍稀食药两用真菌^[6],一些研究表明小刺猴头菌发酵浸膏多糖 (Polysaccharides from the fermentation extract of *Hericium caput-medusae*, HFP) 具有抗肿瘤^[7-8],抗氧化^[9],抑菌^[10-11]等功效,但有关 HFP 对动物脂类代谢的影响报道很少。本试验研究 HFP 对肉鸡血清脂类指标、腹脂沉积以及肝脏、肌肉、粪便中脂肪含量的影响,旨在为低脂肪沉积肉鸡的生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

小刺猴头菌发酵浸膏由白求恩医科大学制药厂提供。HFP 制备采用水提醇沉法^[12],采用苯酚硫酸法测定总糖含量^[13],3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 法测定还原糖含量^[12],多糖含量 = 总糖含量 - 还原糖

含量,经测定 HFP 中多糖含量为 74.77%。

1.2 试验动物及设计

试验用 AA 肉鸡购自吉林隆达牧业公司。选用 1 日龄健康、体重差异不显著 ($P > 0.05$) 的肉鸡 240 只随机分为 4 个处理,每处理 3 个重复,每重复 20 只。试验采用单因素完全随机设计,在玉米-豆粕型基础日粮中添加 0%、0.1%、0.3% 和 0.5% 的 HFP,各组日粮不添加任何抗生素,试验期 42 d。试验鸡笼养,自由采食和饮水,鸡舍温度第 1 周为 32~35 °C,第 2 周为 27~30 °C,第 3 周为 22~25 °C,第 4 周后为自然温度 (20~22 °C) 条件下饲养。第 1 周进行 24 h 光照,然后每天递减 1 h 光照,直至每天光照 18 h,黑暗 6 h。按正常免疫程序进行免疫。基础日粮组成及营养水平见表 1。

1.3 样品采集与制备

于试验的第 14、28 和 42 天 8:00 开始采样。从每个处理随机抓取 12 只鸡 (每个重复 4 只),称体重后,割颈部动、静脉屠宰采血,低温 (-4 °C) 3 000g 离心 15 min 制备血清,于 -20 °C 冰箱保存待测血液甘油三酯 (TG) 含量。

鸡只放血致死,剖开腹腔,剥离颈脂、腹脂称重,计算颈脂率、腹脂率,计算公式为:颈脂率/% = 颈脂重 × 100 / 体重,腹脂率/% = 腹脂重 × 100 / 体重;摘取肝脏于 -20 °C 冰箱保存备用待测 TG 含量;取左侧盲肠的食糜,用于测定盲肠中短链脂肪酸 (Short chain fatty acids, SCFA) (包括乙酸、丙酸、丁酸) 含量;在每只鸡大约相同的部位取适量的胸肌

表1 基础日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrition levels of the basal diet (air dry basis)

	0~21	22~42
项目	日龄	日龄
Items	0~21	22~42
	Days old	Days old
原料 Ingredients		
ω (玉米)/% Maize	56.30	59.60
ω (豆粕)/% Soybean meal	35.90	33.00
ω (玉米油)/% Corn oil	3.50	3.50
ω (磷酸氢钙)/% $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.90	1.30
ω (食盐)/% NaCl	0.30	0.30
ω (石粉)/% Limestone	1.10	1.30
ω (预混料)/% * Premix	1.00	1.00
营养水平 Nutrient levels		
ω (粗蛋白)/% CP	22.09	20.99
ω (钙)/% Ca	0.97	0.89
ω (有效磷)/% AP	0.46	0.36
ω (赖氨酸)/% Lys	1.10	0.96
ω (蛋氨酸)/% Met	0.51	0.40
代谢能/(MJ/kg) ME	12.72	12.86

注: * 预混料为每 kg 日粮提供维生素 A 1 500 IU, 维生素 B₁ 1.8 mg, 维生素 B₂ 3.6 mg, 维生素 B₆ 3.5 mg, 维生素 B₁₂ 0.01 mg, 维生素 D₃ 200 IU, 维生素 E 10 mg, 维生素 K 0.5 mg, 泛酸 10 mg, 烟酸 35 mg, 叶酸 0.55 mg, 生物素 0.15 mg, 胆碱 1 300 mg, 锰 60 mg, 锌 40 mg, 铁 80 mg, 铜 8 mg, 碘 0.35 mg, 硒 0.15 mg。

Note: * Provided per kilogram diet Vitamin A 1 500 IU, Vitamin B₁ 1.8 mg, Vitamin B₂ 3.6 mg, Vitamin B₆ 3.5 mg, Vitamin B₁₂ 0.01 mg, Vitamin D₃ 200 IU, Vitamin E 10 mg, Vitamin K 0.5 mg, Pantothenic acid 10 mg, Niacin 35 mg, Folic acid 0.55 mg, Biotin 0.15 mg, Choline chloride 1 300 mg, Mn 60 mg, Zn 40 mg, Fe 80 mg, Cu 8 mg, I 0.35 mg, Se 0.15 mg.

和腿肌样品,用生理盐水洗净,用滤纸吸干后,剪碎;收集每个重复 12~14, 26~28 和 40~42 d 的粪便,将胸肌、腿肌样品和粪便在 60 °C 条件下烘干至恒重,粉碎后过 40 目筛,待测脂肪含量。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 血液及肝脏 TG 含量测定

V(氯仿):V(甲醇)=2:1(mL/mL)抽提肝脏

中脂类^[14]。采用试剂盒(编号 YS36-38,中生北控生物科技股份有限公司)测定血清和肝脏抽提液中 TG 含量,参照试剂盒说明书用分光光度计(型号 722,上海现科分光仪器有限公司)测定。

1.4.2 肌肉及粪便脂肪含量测定

采用索氏抽提法测定胸肌、腿肌、粪便中的脂肪含量^[15]。

1.4.3 盲肠短链脂肪酸含量测定

参考文献[16-17],略有改动。在超净台以只鸡为单位迅速剥离左侧盲肠内容物,用电子天平准确称量内容物 2 g 置于 15 mL 离心管中,将各管中加入 5 mL 超纯水漩涡振荡 3~5 min 进行溶解,溶解充分后 5 000g 离心 10 min;取上清液 1 mL 置于 2 mL 离心管中,加入 200 μ L 的 25% 偏磷酸溶液充分混匀,并置冰水浴 30 min;10 000g 离心 10 min,取上清液 1 mL 于进样瓶中待测。

测定条件:气相色谱仪(型号 Agilent Technologies 7890A,安捷伦,美国)测定,氢火焰离子化检测器,DB-FFAP 1037.58059 色谱柱(30 m \times 250 μ m \times 0.25 μ m,安捷伦,美国)。载气为氮气;H₂ 流量,40 mL/min;空气流量,400 mL/min。色谱柱程序升温程序为:起始温度 65 °C,以 20 °C/min 的速率升到 190 °C。进样量为 1 μ L,分流比 50:1。进样口温度为 220 °C,检测器温度 250 °C。色谱纯乙酸、丙酸、丁酸标品(Sigma)作为外标用于定量待测样品中的 SCFA 含量。

1.5 数据统计与分析

试验数据经 Excel 2003 初步整理后,采用 SPSS 17.0 统计软件进行方差分析,采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较,用 Regression-curve 程序对剂量效应进行线性和二次回归分析,Correlate-bivariate 程序分析指标间相关性。数据以“平均值 \pm 标准误”表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 HFP 对肉鸡血清及肝脏 TG 含量的影响

由表 2 可知,与对照组相比,在 3 个日龄阶段,肉鸡日粮中添加不同水平的 HFP 显著降低了血液 TG 含量($P < 0.05$)。除 14 日龄和 28 日龄的 0.1% 添加组外,其他各添加组在 3 个日龄阶段均显著降低肝脏中 TG 含量($P < 0.05$)。且 28 日龄肝脏 TG 含量随添加水平线性降低($y = 0.659 - 0.329x$, $r^2 = 0.991$)。

表 2 HFP 对肉鸡血清和肝脏 TG 浓度的影响

Table 2 Effects of HFP on the serum and liver TG of broilers

mmol/L

日龄 Days old	指标 Index	HFP 添加质量分数/% Levels of dietary HFP			
		0 (Control)	0.1	0.3	0.5
14	血清 TG Serum TG	0.79±0.04 a	0.67±0.02 b	0.50±0.02 c	0.64±0.03 b
	肝脏 TG Liver TG	0.51±0.04 a	0.49±0.07 a	0.39±0.05 b	0.38±0.08 b
28	血清 TG Serum TG	1.41±0.13 a	0.79±0.05 b	0.75±0.09 b	0.63±0.06 c
	肝脏 TG Liver TG	0.66±0.08 a	0.62±0.07 a	0.57±0.02 b	0.49±0.07 b
42	血清 TG Serum TG	1.25±0.16 a	0.84±0.04 b	0.71±0.06 b	0.72±0.04 b
	肝脏 TG Liver TG	0.95±0.07 a	0.79±0.05 b	0.56±0.08 c	0.66±0.06 c

注：同行数据后字母相异表示差异显著 ($P < 0.05$)，字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

Note: Different letters in the same row means significant difference between the treatments ($P < 0.05$), same letter in the same row means not significant difference between treatments ($P > 0.05$). The same below.

2.2 HFP 对肉鸡脂肪沉积及排泄的影响

由表 3 可知，与对照组相比，在 3 个日龄阶段，日粮中添加 HFP 对肉鸡体重、腿肌脂肪含量、胸肌脂肪含量、粪便脂肪含量均无显著影响 ($P > 0.05$)。

除 28 日龄 0.1% 添加组外，其余各添加组显著降低肉鸡腹脂率 ($P < 0.05$)，对颈脂率无显著影响 ($P > 0.05$)，但 42 日龄 0.5% HFP 添加组肉鸡的颈脂率也显著低于对照组 ($P < 0.05$)。

表 3 HFP 对肉鸡脂肪沉积和排泄的影响

Table 3 Effects of HFP on the fat deposition and excretion of broilers

日龄 Days old	指标 Index	HFP 添加质量分数/% Levels of dietary HFP			
		0 (Control)	0.1	0.3	0.5
14	体重/g Body weight	258.0±3.1	248.6±7.3	238.3±8.9	251.7±1.4
	颈脂率/% Neck fat percent	0.47±0.35	0.48±0.25	0.43±0.30	0.48±0.06
	腹脂率/% Abdominal fat percent	1.20±0.17 a	0.94±0.23 b	0.88±0.46 b	0.80±0.20 b
	ω (腿肌脂肪)/% Fat content of thigh muscle	5.52±0.68	5.43±0.84	5.21±0.14	5.59±0.46
	ω (胸肌脂肪)/% Fat content of breast muscle	4.92±0.53	5.45±1.07	4.78±1.85	5.24±1.55
	ω (粪便脂肪)/% Fat content of excreta	3.35±0.21	3.48±0.46	3.54±0.23	3.50±0.20
28	体重/g Body weight	752.9±22.4	742.9±23.9	713.3±39.2	801.7±36.7
	颈脂率/% Neck fat percent	0.49±0.09	0.49±0.13	0.41±0.11	0.43±0.02
	腹脂率/% Abdominal fat percent	1.23±0.20 a	1.22±0.21 a	0.98±0.19 b	0.98±0.15 b
	ω (腿肌脂肪)/% Fat content of thigh muscle	9.75±0.84	10.14±1.89	10.29±1.88	9.86±1.65
	ω (胸肌脂肪)/% Fat content of breast muscle	4.71±0.31	4.68±0.35	4.50±0.14	4.20±0.59
	ω (粪便脂肪)/% Fat content of excreta	4.97±0.25	5.01±0.10	5.04±0.22	5.20±0.25
42	体重/g Body weight	1542.2±74.2	1504.8±86.9	1478.8±108.5	1619.1±94.3
	颈脂率/% Neck fat percent	0.69±0.06 a	0.52±0.05 a	0.54±0.05 a	0.40±0.07 b
	腹脂率/% Abdominal fat percent	1.88±0.31 a	1.41±0.18 b	1.31±0.23 b	1.24±0.17 b
	ω (腿肌脂肪)/% Fat content of thigh muscle	8.13±1.87	8.62±1.66	8.36±1.43	8.16±0.92
	ω (胸肌脂肪)/% Fat content of breast muscle	4.96±0.93	4.13±0.62	4.38±0.59	4.87±0.87
	ω (粪便脂肪)/% Fat content of excreta	3.38±0.32	3.40±0.27	3.25±0.15	3.22±0.26

2.3 HFP对肉鸡盲肠短链脂肪酸含量的影响

由表4可知,与对照组相比,在3个日龄阶段,日粮中添加不同水平的HFP显著增加了肉鸡盲肠

丙酸含量,显著降低了盲肠乙酸和丙酸的比例($P < 0.05$),对盲肠乙酸、丁酸含量无显著影响($P > 0.05$)。

表4 HFP对肉鸡盲肠短链脂肪酸含量的影响

Table 4 Effects of HFP on SCFA content in the caecum of broilers

$\mu\text{mol/g}$

日龄 Days old	指标 Index	HFP添加质量分数/% Levels of dietary HFP			
		0 (Control)	0.1	0.3	0.5
14	乙酸 Acetic acid	50.72±3.25	51.81±2.17	51.34±2.46	52.37±2.27
	丙酸 Propionic acid	2.57±0.04 c	3.59±0.53 b	4.08±0.10 a	4.28±0.06 a
	丁酸 Butyric acid	3.55±0.63	3.49±0.46	3.30±0.70	3.78±0.51
	乙酸/丙酸 Acetic acid / Propionic acid	19.73±1.43 a	14.43±0.71 b	12.58±0.08 b	12.23±0.60 b
28	乙酸 Acetic acid	52.83±1.23	55.86±1.66	54.19±1.57	54.50±1.34
	丙酸 Propionic acid	2.39±0.65 b	3.48±0.53 a	3.32±0.13 a	3.57±0.12 a
	丁酸 Butyric acid	4.42±0.84	4.60±0.25	4.80±0.13	4.96±0.65
	乙酸/丙酸 Acetic acid / Propionic acid	22.11±1.58 a	16.07±1.87 b	16.32±1.05 b	15.26±1.33 b
42	乙酸 Acetic acid	65.57±1.02	66.23±1.84	65.92±1.54	67.39±1.01
	丙酸 Propionic acid	3.31±0.38 c	4.37±0.29 b	4.30±0.04 b	5.01±0.66 a
	丁酸 Butyric acid	4.68±0.67	4.12±0.57	4.87±0.39	4.80±0.92
	乙酸/丙酸 Acetic acid / Propionic acid	19.81±1.23 a	15.16±0.70 b	15.33±0.54 b	13.46±1.33 c

3 讨论与结论

3.1 HFP对肉鸡血清和肝脏TG含量的影响

研究发现,动物体内脂肪代谢始终处于动态平衡之中,肝脏、脂肪组织和血浆中的脂质水平是相互联系、相互影响的^[18]。家禽脂肪组织发育、脂肪沉积与血浆中TG水平关系密切,因此,血液TG含量降低可一定程度上减少肉鸡的体脂沉积^[2]。家禽肝外组织合成脂肪有限,血浆TG主要来源于日粮或由肝脏合成,而家禽日粮中的脂肪含量一般低于10%,因此肝脏在家禽脂类代谢过程中起着至关重要的作用^[19]。本试验结果表明,在基础日粮中添加0.3%和0.5%的HFP具有降低肉鸡血清和肝脏TG含量的作用,对变量间相关性分析发现,肉鸡42日龄时,血清TG含量与腹脂率显著正相关($r = 0.993$),初步推断一定水平的HFP可能会影响肉鸡体脂沉积。

3.2 HFP对肉鸡脂肪沉积的影响

据文献报道,肉鸡体脂含量是可变的,每kg体重约150~200g脂肪,其中每kg体重脂肪中的20~25g是存在于组织中作为生理上必须的脂肪,而其余则储存在腹部、皮下和肌肉中,腹部是鸡体蓄积脂肪的主要部位,腹部脂肪重约占体脂重的22%^[20]。腹脂和胴体脂肪呈中等程度以上的表型相关和遗传相关,故腹脂沉积的多少在一定程度上反映了体内脂肪的代谢动态^[21]。在本试验中,日粮添加一定水平(0.3%和0.5%)的HFP可降低肉鸡的腹脂沉积,但不影响肉鸡的生产性能,这对于低脂肪沉积肉鸡的生产有一定的指导意义。

3.3 HFP对肉鸡盲肠短链脂肪酸含量的影响

HFP是一种非淀粉多糖^[22],不能被单胃动物的消化酶所消化,在胃和小肠中不被消化吸收,进入大肠才能通过微生物的发酵发挥作用,发酵的终产物主要为SCFA,包括乙酸、丙酸和丁酸等^[23-25]。一

且 SCFA 出现于肠道里,就会迅速被大肠吸收入肝脏代谢^[26];其中乙酸是脂肪合成的原料物质,然而,丙酸抑制正常鼠^[27-28]和 Zucker 鼠^[29]离体肝细胞中脂肪的合成,可能是由于丙酸竞争乙酸进入肝细胞的载体所致^[30-31]。Delzenne 等^[32]报道,日粮中添加低聚果糖可抑制鼠脂肪合成,同时通过体外试验,即在离体肝细胞培养中加入一定浓度的丙酸(0.6 mmol/L,饲喂低聚果糖后鼠肝门静脉血清中丙酸浓度),可以抑制乙酸吸收的运输载体,降低脂肪酸合成酶 mRNA 的表达,因而推测日粮中添加低聚果糖抑制脂肪合成的效应可能是通过运输载体起作用的。也有文献报道,日粮乙酸也能降低饲喂高胆固醇日粮鼠的血液 TG 浓度^[33],因此 SCFA 中降低血脂的成分是有争议的。有报道指出,大肠乙酸和丙酸的比例是决定大肠 SCFA 对血脂影响的重要决定因素,而不是乙酸和丙酸的绝对含量^[34]。本试验结果表明,日粮中添加不同水平的 HFP 能显著增加肉鸡盲肠丙酸含量,显著降低肉鸡盲肠乙酸和丙酸的比例,变量间相关性分析发现,14 日龄时,肉鸡盲肠丙酸含量与腹脂率显著负相关($r = -0.992$),乙酸和丙酸的比例与腹脂率显著正相关($r = 0.989$);28 日龄时,盲肠丙酸含量与血液 TG 含量显著负相关($r = -0.985$),乙酸和丙酸的比例与血液 TG 含量显著正相关($r = 0.996$);42 日龄时,盲肠丙酸含量与颈脂率显著负相关($r = -0.997$),乙酸和丙酸的比例分别与血液 TG 含量、腹脂率、颈脂率显著正相关($r = 0.951, 0.979, 0.973$);推测 HFP 的降脂作用可能是通过其在盲肠发酵后 SCFA 含量和比例的变化而实现的,当然具体作用机理还有待于进一步研究。

综上所述,在本试验条件下,在肉鸡基础日粮中添加 0.3% 和 0.5% 水平的 HFP 具有降低肉鸡血液和肝脏甘油三酯含量的作用,同时能减少肉鸡腹脂沉积,这对于低脂肪沉积肉鸡的生产具有一定的指导意义。

参 考 文 献

- [1] 刘彦慈,张晓云,王海宏. 中草药方剂对肉仔鸡脂类代谢的影响[J]. 中国饲料, 2011, 18: 17-19
- [2] 黄骆骥,龚凌霄,刘聪,等. 饲料中添加竹青素对肉鸡脂质代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(1): 148-155
- [3] Chambers J R, Gavora J S, Fortin A. Genetic changes in meat-type chickens in the last twenty years[J]. Can J Anim Sci, 1981, 61(3): 555-563
- [4] 唐雪. 脱氢表雄酮对肉鸡肝脏脂肪代谢的影响及其细胞分子生物学机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009
- [5] Cao F L, Zhang X H, Yu W W, et al. Effect of feeding fermented *Ginkgo biloba* leaves on growth performance, meat quality, and lipid metabolism in broilers[J]. Poultry Sci, 2012, 91(5): 1210-1221
- [6] 宋慧. 小刺猴头菌化学成分研究及菌种鉴定[D]. 长春: 吉林农业大学, 2003
- [7] 苏玲, 李雨婷, 宋慧, 等. 小刺猴头菌液体深层发酵浸膏多糖 HFP 及 HFA 的抗肿瘤活性[J]. 中国生化药物杂志, 2012, 33(1): 20-22, 26
- [8] 王雪, 宋慧, 刘小腊, 等. 小刺猴头多糖联合 5-氟尿嘧啶对 HeLa 细胞的抑制作用[J]. 中国生化药物杂志, 2012, 33(5): 625-628
- [9] 姚旭, 宋慧, 沈思捷, 等. 小刺猴头发酵浸膏多糖对肉鸡抗氧化功能的影响[J]. 菌物研究, 2012, 10(4): 240-243, 249
- [10] 沈思捷, 姚旭, 尚红梅, 等. 小刺猴头菌发酵浸膏多糖对肉仔鸡肠道菌群的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2013, 35(1): 83-88, 93
- [11] 苏玲. 小刺猴头菌液体深层发酵浸膏糖类物质药理学活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2008
- [12] 王新宇, 柳洪芳, 沈思捷, 等. 小刺猴头液体深层发酵浸膏多糖提取工艺的优化及分离纯化[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(5): 536-540, 544
- [13] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. Anal Chem, 1956, 28: 350-356
- [14] Folch J, Lee M, Slane-Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. J Biol Chem, 1957, 226: 497-509
- [15] 王远孝, 卢永胜, 张莉莉, 等. 日粮不同蛋能比对黄羽黄鸡脂肪沉积和肠道酶活性影响[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(5): 34-39
- [16] 曹兵海, 张秀萍, 冯于明, 等. 半纯合日粮添加茶多酚和果寡糖对母肉鸡生产性能、盲肠菌丛数量及其代谢产物的影响[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(3): 85-90
- [17] 易中华, 马秋刚, 王晓霞, 等. 大豆寡糖对肉仔鸡肠道 pH 值和盲肠短链脂肪酸的影响[J]. 饲料工业, 2010, 31(19): 32-35
- [18] 李莉, 朱晓彤, 束刚, 等. 日粮中添加山楂叶总黄酮对黄羽肉鸡脂肪代谢的影响[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(4): 610-615
- [19] 尹靖东, 齐广海, 霍启光. 家禽脂类代谢调控机理的研究进展[J]. 动物营养学报, 2000, 12(2): 1-7
- [20] 吴洪新, 单昌辉, 阿拉木斯, 等. 二色胡枝子提取物对肉仔鸡屠宰性能、脂类代谢及免疫器官发育的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 8-14
- [21] Cahaner A, Nitsan Z, Nir I. Weight and fat content of adipose and nonadipose tissues in broilers selected for or against abdominal adipose tissue[J]. Poultry Sci, 1986, 65(2): 215-222
- [22] 丁剑. 猴头菌属不同菌株发酵多糖的分离纯化与结构研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2008
- [23] Wong J M W, Jenkins D J A. Carbohydrate digestibility and metabolic effects[J]. J Nutr, 2007, 137(1): 2539S-2546S

- [24] 吴媛媛, 昝于明, 王忠, 等. 木寡糖对肉仔鸡生长性能、肠道生理学和形态学指标的影响[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(4): 42-46
- [25] 阎桂玲, 袁建敏, 昝于明, 等. 啤酒酵母甘露寡糖对肉鸡肠道微生物及免疫机能的影响[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(6): 85-90
- [26] St-Onge M P, Farnworth E R, Jones P J H. Consumption of fermented and nonfermented dairy products: Effects on cholesterol concentrations and metabolism [J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 71(3): 674-681
- [27] Wright R S, Anderson J W, Briges S R. Propionate inhibits hepatocytes lipids synthesis[J]. *P Soc Exp Biol Med*, 1990, 195(1): 26-29
- [28] Demigné C, Morand C, Levrat M A, et al. Effect of propionate on fatty acids and cholesterol synthesis and on acetate metabolism in isolated rat hepatocytes[J]. *Brit J Nutr*, 1995, 74(2): 209-219
- [29] Daubioul C, Rousseau N, Demeure R, et al. Dietary fructans, but not cellulose, decrease triglyceride accumulation in the liver of obese Zucker fa/fa rats[J]. *J Nutr*, 2002, 132(5): 967-973
- [30] Delzenne N M, Williams C M. Prebiotics and lipid metabolism [J]. *Curr Opin Lipidol*, 2002, 13(1): 61-67
- [31] Beylot M. Effects of inulin-type fructans on lipid metabolism in man and in animal models[J]. *Brit J Nutr*, 2005, 93, Suppl 1: 163-168
- [32] Delzenne N M, Daubioul C, Neyrinck A, et al. Inulin and oligofructose modulate lipid metabolism in animals: Review of biochemical events and future prospects[J]. *Brit J Nutr*, 2002, 87, Suppl 2: 255-259
- [33] Fushimi T, Suruga K, Oshima Y, et al. Dietary acetic acid reduces serum cholesterol and triacylglycerols in rats fed a cholesterol-rich diet[J]. *Brit J Nutr*, 2006, 95(5): 916-924
- [34] Wolever T M S, Schrade K B, Vogt J A, et al. Do colonic short-chain fatty acids contribute to the long-term adaptation of blood lipids in subjects with type 2 diabetes consuming a high-fiber diet? [J]. *Am J Clin Nutr*, 2002, 75(6): 1023-1030

责任编辑: 苏燕