

# 金针菇菇脚对肉鸡血清生化指标和脂肪沉积的影响

梁 凤<sup>1</sup>, 宋 慧<sup>1,2,\*</sup>, 周家生<sup>1</sup>, 郭 超<sup>1</sup>, 甄 东<sup>1</sup>, 张彤瑶<sup>1</sup>, 曾巧莉<sup>1</sup>, 张爱龙<sup>1</sup>

(1.吉林农业大学生命科学学院, 吉林 长春 130118; 2.食药菌教育部工程研究中心, 吉林 长春 130118)

**摘 要:**目的: 研究金针菇菇脚 (*Flammulina velutipes* stembase, FVS) 对 Arbor Acres (AA) 肉鸡血清生化指标、腹脂沉积、肝脏以及肌肉中脂肪含量的影响。方法: 选用1日龄AA肉鸡270羽, 随机分为5个处理组(每个处理组3个重复, 每个重复18只): 空白组(饲喂基础日粮)、抗生素组(基础日粮+5 mg/kg黄霉素)、3个水平的FVS组(基础日粮+2%、4%、6% FVS, 均为质量分数, 下同), 实验期为42 d。结果: 1) 与空白组相比, 日粮中添加2%和6%的FVS可显著降低肉鸡血清中甘油三酯(triglyceride, TG)含量( $P < 0.05$ ); 2) 各剂量的FVS均可降低21日龄肉鸡血清中总胆固醇(total cholesterol, TC)含量( $P < 0.05$ ), 显著提高21日龄肉鸡血清中瘦素(leptin, LEP)含量( $P < 0.05$ ), 而对高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)水平无显著影响( $P > 0.05$ ); 3) 与空白组相比, FVS可显著提高肉鸡体质量( $P < 0.05$ ), 各剂量的FVS可明显降低胸肌、腿肌、肝脏脂肪含量, 而各组肉鸡粪便中脂肪含量无显著差异( $P > 0.05$ ); 4) 与空白组相比, 日粮中添加4%和6%的FVS可显著降低42日龄肉鸡腹脂率( $P < 0.05$ ), 日粮中添加2%和6%的FVS可显著提高42日龄肉鸡的激素敏感脂肪酶(hormone-sensitive lipase, HSL)活力( $P < 0.05$ )。结论: 在肉鸡饲料中添加FVS能够促进肉鸡生长, 同时起到一定的降血脂和减少机体脂肪沉积的作用。

**关键词:** 金针菇菇脚; 肉鸡; 血清生化指标; 脂肪沉积

## Effect of *Flammulina velutipes* Stembase on Serum Biochemical Indices and Fat Deposition in Broilers

LIANG Feng<sup>1</sup>, SONG Hui<sup>1,2,\*</sup>, ZHOU Jiasheng<sup>1</sup>, GUO Chao<sup>1</sup>, ZHEN Dong<sup>1</sup>, ZHANG Tongyao<sup>1</sup>, ZENG Qiaoli<sup>1</sup>, ZHANG Ailong<sup>1</sup>

(1. College of Life Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

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

**Abstract:** Experiments were conducted to study the effect of *Flammulina velutipes* stembase (FVS) on serum biochemical indexes, abdominal fat, and lipid contents in liver and muscle of broilers. A total of 270 one-day-old Arbor Acres broilers were randomly divided into 5 groups with 3 replicates of 18 chickens each: control group (basal diet), antibiotic group (basal diet + 5 mg/kg flavomycin), and FVS groups at 3 levels (basal diets containing 2%, 4% and 6% FVS). The experimental period lasted 42 days. The results showed that: 1) dietary supplementation with 2% and 6% FVS significantly decreased serum triglyceride (TG) ( $P < 0.05$ ); 2) FVS at each concentration significantly reduced serum total cholesterol (TC) ( $P < 0.05$ ), and increase the content of leptin (LEP) in serum ( $P < 0.05$ ), although having no obvious effect on high density lipoprotein (HDL-C) or low density lipoprotein (LDL-C) ( $P > 0.05$ ); 3) different treatment groups revealed a significant increase in the body weight of broilers ( $P < 0.05$ ) and a reduction of lipid contents in liver, thigh muscle, and breast muscle although no significant effect on the excreta of broiler was found ( $P > 0.05$ ); 4) the abdominal fat deposition was significantly reduced in the broilers fed with 4% and 6% FVS ( $P < 0.05$ ), and the activity of HSL was significantly enhanced in the broilers fed with 2% and 6% FVS ( $P < 0.05$ ). These results suggested that FVS could reduce serum lipid and lipid deposition in broilers.

**Key words:** *Flammulina velutipes* stembase (FVS); broiler; serum biochemical indexes; fat deposition

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201611040

收稿日期: 2015-07-08

基金项目: 吉林省经济菌物创新平台项目(2014-2016)

作者简介: 梁凤(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为生物大分子功能与结构。E-mail: lfkaoyanbs@163.com

\*通信作者: 宋慧(1958—), 女, 教授, 博士, 研究方向为菌物生物化学。E-mail: songhuinongda@163.com

中图分类号: Q591.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 11-0226-05

引文格式:

梁凤, 宋慧, 周家生, 等. 金针菇菇脚对肉鸡血清生化指标和脂肪沉积的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(11): 226-230.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201611040. http://www.spkx.net.cn

LIANG Feng, SONG Hui, ZHOU Jiasheng, et al. Effect of *Flammulina velutipes* stembase on serum biochemical indices and fat deposition in broilers[J]. Food Science, 2016, 37(11): 226-230. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201611040. http://www.spkx.net.cn

高脂饮食是造成高脂血症的一个关键因素, 随着人们饮食结构的改变, 越来越多的人患上高脂血症<sup>[1]</sup>。鸡肉是人们餐桌上最受欢迎的菜肴之一, 在我国禽肉已成为仅次于猪肉的第二大肉类消费食品, 而体内脂肪过多是肉鸡养殖中普遍存在的问题<sup>[2-3]</sup>。目前应用的一些降脂类调节剂在降低脂肪沉积的同时也降低了畜禽体质量, 导致饲料转化率降低。因此, 调节动物性产品中蛋白质和脂肪的合理沉积已经成为当前研究的热点之一<sup>[4]</sup>。同时, 随着生活水平的不断提高, 人们不仅注重美味, 而且更加注重畜禽产品的安全。20世纪40年代末, 人们发现四环素对动物生长具有促进作用, 从而开创了以抗生素作为饲料添加剂的时代。但是, 长期使用抗生素, 即使浓度很低, 也会显著增加畜禽的抗药性<sup>[5-6]</sup>。

食用蘑菇中含有生理活性有益的化合物, 是预防高脂饮食疾病的良好来源<sup>[7]</sup>。金针菇 (*Flammulina velutipes*) 学名毛柄金钱菌, 又称朴菇、智力菇等, 是世界上著名的食药两用菌, 林忠宁等<sup>[8]</sup>证明金针菇菇脚 (*Flammulina velutipes* stembase, FVS) 和菌糠可以提供优质的食物蛋白质。同时有研究发现, 金针菇菇脚中不仅含有降血脂的生物活性物质——金针菇多糖, 而且具有降低肥胖、便秘、糖尿病等慢性病发病率作用的膳食纤维也主要集中于金针菇菇脚中<sup>[9-11]</sup>。随着我国金针菇栽培产业迅猛发展, 到2010年, 全国金针菇总产量已达184.8万t。金针菇生产过程中会产生大量的菇脚, 目前尚未被合理利用, 造成了严重的资源浪费问题<sup>[12]</sup>。本实验室前期对FVS在Arbor Acres (AA) 肉鸡饲养研究中发现, FVS不仅能提高肉鸡的免疫功能, 改善肠道微生态, 同时还发现其可以降低肉鸡腹脂率<sup>[13]</sup>。为此, 本实验以FVS作为饲料添加剂, 研究FVS对AA肉鸡血清生化指标、瘦素、腹脂沉积、肝脏以及肌肉中脂肪含量的影响, 为其在肉鸡生产中的合理应用提供理论基础和实验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

金针菇菇脚 (FVS) 由长春雪国高榕生物技术有限公司馈赠。金针菇的培育符合金针菇工厂生产标准化程

序, 新鲜期采摘, 切割菇脚进行统一晾晒风干, 60℃烘干至恒质量, 粉碎。对FVS的主要营养成分及有效活性成分进行了测定, 结果详见表1。

表1 FVS主要营养成分及有效活性成分含量  
Table 1 Main nutritional and active components of FVS

水分含量/%	粗蛋白含量/%	粗脂肪含量/%	粗纤维含量/%	灰分含量/%	能量/(MJ/kg)	Ca含量/%	P含量/%	多糖含量/%
7.10	10.61	3.98	15.41	9.05	1.73	0.44	0.01	1.50

注: 表中百分数均为质量分数。表2同。

总胆固醇 (total cholesterol, TC) 试剂盒、甘油三酯 (triglyceride, TG) 试剂盒、高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol, HDL-C) 试剂盒 南京建成生物工程研究所; 低密度脂蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDL-C) 试剂盒 北京北化康泰临床实际有限公司; 瘦素 (leptin, LEP) 酶联免疫吸附 (enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA) 试剂盒 北京博奥拓达科技有限公司。

### 1.2 动物分组及处理

AA肉鸡购自吉林省梅河口市德坤禽类食品有限公司。1日龄健康、体质量差异不显著 ( $P>0.05$ ) 的AA肉鸡270只, 随机分为5个处理组 (每个处理组3个重复, 每个重复18只): 空白组 (饲喂基础日粮)、抗生素组 (基础日粮+5 mg/kg黄霉素)、3个水平的FVS组 (基础日粮+2%、4%、6% FVS, 均为质量分数, 下同)。实验前对雏舍及器具进行消毒, 分笼饲养, 自由采食和饮水, 按常规饲养方法进行环境消毒、免疫接种与管理。鸡舍温度: 第1周为32~35℃, 第2周为27~30℃, 第3周为22~25℃, 第4周及以后为自然温度 (20~22℃) 条件下饲养。第1周进行24 h光照, 然后每天递减1 h光照, 直至每天光照时间为18 h, 黑暗6 h。实验在吉林农业大学中药材学院经济动物研究育雏室内进行。饲喂日粮参照美国全国科学研究委员会 (National Research Council, NRC) (1998)<sup>[14]</sup>中推荐的AA肉鸡营养需要, 分为1~21、22~42 d两个批次, 不同剂量的FVS添加组按等蛋白质、等能量的原则进行配制。肉鸡的基础日粮组成及营养水平见表2。

表2 日粮组成及营养水平

Table 2 Composition and nutrient levels of basal diet

成分	1~21 d	22~42 d	成分	1~21 d	22~42 d
原料			石粉含量/%	1.1	1.3
玉米含量/%	54.00	58.68	预混料含量/% <sup>a</sup>	1.0	1.0
豆粕含量/%	38.09	33.92	营养水平*		
玉米油含量/%	3.5	3.5	代谢能/(MJ/kg)	12.42	12.64
蛋氨酸含量/%	0.2	0.1	粗蛋白含量/%	21.43	19.98
磷酸氢钙含量/%	1.9	1.3	钙含量/%	0.97	0.89
食盐含量/%	0.21	0.20	有效磷含量/%	0.45	0.35

注:表中数据均以风干物质计算;\*.营养水平均为计算值;a.每千克预混料向基础日粮提供:VA 1 500 IU、VB<sub>1</sub> 1.8 mg、VB<sub>2</sub> 3.6 mg、VB<sub>6</sub> 3.5 mg、VB<sub>12</sub> 0.01 mg、VD<sub>3</sub> 200 IU、VE 10 mg、VK 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。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品采集与制备

分别于实验第21、42天08:00开始采样,从每个处理随机抓取9只鸡(每个重复3只),称体质量后,割颈部动、静脉屠宰采血,4℃、3 000×g离心15 min制备血清,后分装于1.5 mL离心管中,-20℃冰柜保存,用于测定血清中TG、TC、HDL-C、LDL-C、LEP含量。实验期间每天记录各组AA肉鸡死亡只数,按照公式(1)计算肉鸡成活率。

$$\text{成活率}/\% = \left(1 - \frac{\text{死亡鸡数}}{\text{总鸡数}}\right) \times 100 \quad (1)$$

肉鸡放血致死,剖开腹腔,剥离腹脂称质量,按照公式(2)计算腹脂率。

$$\text{腹脂率}/\% = \frac{\text{腹脂质量}/\text{g}}{\text{活体质量}/\text{g}} \times 100 \quad (2)$$

将腹脂称质量后放于自封袋中,-20℃冰柜保存,用于测定激素敏感脂肪酶(hormone sensitive lipase, HSL)活力。摘取肝脏于-20℃冰柜保存,用于测定脂肪含量;在每只肉鸡大约相同部位取相同大小的胸肌和腿肌样品,用生理盐水洗净,滤纸吸干水分后剪碎,在60℃条件下烘干至恒质量,粉碎后过40目筛,用于测定脂肪含量。

#### 1.3.2 指标测定方法

##### 1.3.2.1 肉鸡血清生化指标及LEP含量测定

血清中TC、TG、HDL-C、LDL-C含量均参照试剂盒说明书方法,用722分光光度计采用比色法测定。血清中LEP含量参照ELISA试剂盒说明书,用M2000 pro酶标仪测定。

##### 1.3.2.2 肉鸡肝脏、肌肉脂肪含量测定

采用索氏抽提法测定肉鸡肝脏、胸肌、腿肌中的脂肪含量<sup>[15]</sup>。

##### 1.3.2.3 肉鸡腹脂中HSL活力测定

肉鸡腹脂中HSL活力的测定参照金宗濂<sup>[16]</sup>的方法。

### 1.4 数据统计与分析

实验数据经Excel 2007初步整理后,采用SPSS 17.0软件中的单因素方差分析(one-way analysis of variance, one-way ANOVA)法和Duncan's多重比较进行分析,实验结果以 $\bar{x} \pm s_x$ 表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 FVS对肉鸡血清生化指标及LEP含量的影响

实验期间,空白组肉鸡的成活率为94.4%,2%、4%、6% FVS组肉鸡的成活率分别为100%、94.4%、96.3%,而5 mg/kg黄霉素组肉鸡的成活率则为98.1%,各组肉鸡的成活率均无显著差异( $P > 0.05$ )。

表3 FVS对肉鸡血清生化指标及LEP含量的影响

Table 3 Effect of FVS on serum biochemical indexes and LEP of broiler

日龄	指标	空白组	2% FVS组	4% FVS组	6% FVS组	5 mg/kg黄霉素组
21	TG含量/(mmol/L)	0.46±0.04 <sup>a</sup>	0.32±0.03 <sup>b</sup>	0.36±0.03 <sup>ab</sup>	0.29±0.02 <sup>b</sup>	0.46±0.03 <sup>a</sup>
	TC含量/(mmol/L)	3.61±0.19 <sup>a</sup>	2.67±0.13 <sup>b</sup>	2.60±0.02 <sup>b</sup>	2.42±0.03 <sup>b</sup>	3.12±0.17 <sup>b</sup>
	LDL-C含量/(mmol/L)	0.52±0.12	0.46±0.12	0.55±0.06	0.52±0.08	0.57±0.12
	HDL-C含量/(mmol/L)	1.71±0.14 <sup>ab</sup>	2.07±0.17 <sup>b</sup>	1.57±0.03 <sup>b</sup>	1.87±0.13 <sup>ab</sup>	2.02±0.13 <sup>b</sup>
	LEP含量/(ng/mL)	1.49±0.19 <sup>a</sup>	3.70±0.09 <sup>b</sup>	4.07±0.29 <sup>b</sup>	4.88±0.43 <sup>c</sup>	3.66±0.28 <sup>b</sup>
42	TG含量/(mmol/L)	0.29±0.02 <sup>a</sup>	0.17±0.01 <sup>b</sup>	0.23±0.02 <sup>b</sup>	0.15±0.01 <sup>b</sup>	0.24±0.01 <sup>a</sup>
	TC含量/(mmol/L)	2.84±0.28	2.42±0.06	2.56±0.01	2.59±0.04	2.71±0.24
	LDL-C含量/(mmol/L)	0.48±0.14	0.59±0.24	0.67±0.13	0.76±0.28	0.58±0.25
	HDL-C含量/(mmol/L)	1.48±0.04 <sup>ab</sup>	1.76±0.05 <sup>b</sup>	1.54±0.06 <sup>b</sup>	1.41±0.15 <sup>a</sup>	1.53±0.11 <sup>ab</sup>
	LEP含量/(ng/mL)	3.26±0.18 <sup>a</sup>	4.01±0.65 <sup>ab</sup>	3.55±0.40 <sup>b</sup>	4.60±0.04 <sup>b</sup>	3.49±0.22 <sup>ab</sup>

注:同行小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

由表3可知,在21日龄时,与空白组相比,各剂量的FVS及5 mg/kg的黄霉素均可显著降低肉鸡血清中的TC含量及提高LEP含量( $P < 0.05$ ),且各剂量FVS组肉鸡血清中的TC含量均显著低于5 mg/kg黄霉素组( $P < 0.05$ ),而除6% FVS组外,2%、4% FVS组肉鸡血清中的LEP含量与5 mg/kg黄霉素组间无显著差异( $P > 0.05$ );与空白组相比,各组肉鸡血清中的LDL-C、HDL-C含量无显著差异( $P > 0.05$ )。

在42日龄时,与空白组相比,各组肉鸡血清中的TC、LDL-C、HDL-C含量均无显著差异( $P > 0.05$ )。与空白组相比,6% FVS组肉鸡血清中的LEP的含量显著升高( $P < 0.05$ )。

与空白组相比,2%、6% FVS可显著降低21日龄和42日龄肉鸡血清中的TG含量( $P < 0.05$ )。

### 2.2 FVS对肉鸡脂肪沉积的影响

由表4可知,在21日龄时,与空白组相比,各剂量的FVS和5 mg/kg的黄霉素均可显著提高肉鸡体质量( $P < 0.05$ ),4%、6% FVS组肉鸡的体质量与5 mg/kg黄霉素组间无显著差异( $P > 0.05$ ),而2% FVS组肉鸡的体质量甚至显著高于5 mg/kg黄霉素组( $P < 0.05$ )。与空白组相比,6% FVS可显著降低肉鸡腹脂率

( $P < 0.05$ )；各剂量的FVS对肉鸡肝脏脂肪含量均无显著影响 ( $P > 0.05$ )，但可显著降低肉鸡胸肌、腿肌脂肪含量 ( $P < 0.05$ )。与空白组相比，2%、6% FVS组可提高肉鸡腹脂中的HSL活力 ( $P < 0.05$ )。

**表 4 FVS对肉鸡脂肪沉积的影响**  
**Table 4 Effect of FVS on fat deposition of broilers**

日龄	指标	空白组	2% FVS组	4% FVS组	6% FVS组	5 mg/kg黄霉素组
21	体质量/g	622.50±2.50 <sup>a</sup>	936.42±16.24 <sup>c</sup>	886.00±8.55 <sup>b</sup>	920.50±13.46 <sup>bc</sup>	885.55±13.47 <sup>b</sup>
	腹脂率/%	0.78±0.09 <sup>bc</sup>	0.63±0.04 <sup>ab</sup>	0.71±0.04 <sup>b</sup>	0.51±0.05 <sup>a</sup>	0.95±0.05 <sup>c</sup>
	肝脏脂肪含量/%	14.74±0.31 <sup>a</sup>	15.56±0.38 <sup>a</sup>	15.41±0.07 <sup>a</sup>	15.72±0.64 <sup>a</sup>	20.71±0.59 <sup>b</sup>
	胸肌脂肪含量/%	10.23±0.56 <sup>b</sup>	6.38±0.11 <sup>a</sup>	7.34±0.23 <sup>a</sup>	6.61±0.35 <sup>a</sup>	10.45±0.61 <sup>b</sup>
	腿肌脂肪含量/%	16.00±1.48 <sup>b</sup>	11.62±1.17 <sup>a</sup>	13.05±0.09 <sup>ab</sup>	13.02±0.32 <sup>ab</sup>	15.04±0.41 <sup>bc</sup>
	粪便脂肪含量/%	14.15±0.96	15.83±1.50	15.38±0.28	15.35±1.11	14.69±0.06
	HSL活力/(U/g)	23.47±1.20 <sup>a</sup>	35.21±2.53 <sup>b</sup>	31.18±4.06 <sup>b</sup>	33.86±4.69 <sup>b</sup>	31.18±2.01 <sup>ab</sup>
42	体质量/g	2 205.00±85.70 <sup>a</sup>	2 284.58±35.40 <sup>a</sup>	2 554.00±115.23 <sup>bc</sup>	2 748.33±112.63 <sup>c</sup>	2 401.66±51.20 <sup>b</sup>
	腹脂率/%	0.96±0.06 <sup>a</sup>	0.91±0.09 <sup>a</sup>	0.75±0.02 <sup>b</sup>	0.68±0.07 <sup>b</sup>	2.33±0.01 <sup>d</sup>
	肝脏脂肪含量/%	19.28±0.54 <sup>b</sup>	16.59±0.25 <sup>a</sup>	16.55±0.16 <sup>a</sup>	16.18±0.51 <sup>a</sup>	18.90±0.20 <sup>b</sup>
	胸肌脂肪含量/%	14.51±0.40 <sup>b</sup>	11.16±0.42 <sup>a</sup>	10.60±0.56 <sup>b</sup>	8.38±0.60 <sup>a</sup>	11.52±0.38 <sup>b</sup>
	腿肌脂肪含量/%	21.06±0.21 <sup>a</sup>	12.96±0.06 <sup>a</sup>	15.54±0.58 <sup>b</sup>	13.58±0.80 <sup>ab</sup>	19.59±1.14 <sup>c</sup>
	粪便脂肪含量/%	13.00±0.31	13.34±1.82	11.88±0.40	10.64±1.19	11.52±0.41
	HSL活力/(U/g)	27.16±0.58	29.84±3.77	38.22±3.53	33.53±5.64	27.83±2.34

在42日龄时，与空白组相比，4%、6% FVS组和5 mg/kg的黄霉素组肉鸡的体质量均显著升高 ( $P < 0.05$ )，且6% FVS组肉鸡的体质量显著高于5 mg/kg黄霉素组 ( $P < 0.05$ )。与空白组相比，4%、6% FVS组肉鸡的腹脂率显著降低 ( $P < 0.05$ )，而5 mg/kg的黄霉素组肉鸡的腹脂率却显著升高 ( $P < 0.05$ )；各剂量的FVS均可显著降低肉鸡肝脏、胸肌、腿肌脂肪含量 ( $P < 0.05$ )，而5 mg/kg黄霉素仅对肉鸡胸肌脂肪含量的降低起到一定作用 ( $P < 0.05$ )。与空白组相比，各组肉鸡腹脂中的HSL活力无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

在21日龄和42日龄时，与空白组相比，各组肉鸡的粪便脂肪含量均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论与结论

AA肉鸡为美国爱拔益加公司产品。AA肉鸡具有生长速率快、适应性强、饲料转化率高等特点，适合肉用仔鸡商品化、产业化生产和农村专业户养殖。根据联合国粮食及农业组织的统计，目前世界上的商品肉鸡大部分是42~48 d出栏，且肉鸡体质量可达到2.42 kg。本实验中，空白组肉鸡的成活率为94.4%，2%、4%、6% FVS组肉鸡的成活率分别为100%、94.4%、96.3%，而5 mg/kg黄霉素组肉鸡的成活率为98.1%；同时，各剂量的FVS均可明显增加肉鸡体质量，即FVS的添加在增加肉鸡体质量的同时对肉鸡的成活率无影响。

血清中TG、TC、HDL-C和LDL-C的含量都与脂类代谢状况相关。TG、TC含量的高低反映了脂类代谢的

吸收状况，HDL-C、LDL-C含量反映了脂类在体内的转运状况<sup>[17]</sup>。目前已发现多种食药真菌多糖具有降血脂功效<sup>[18]</sup>：金针菇多糖能有效降低体内血脂水平，预防动脉粥样硬化，增进人体血液循环<sup>[19]</sup>。占建波<sup>[20]</sup>在成功提取金针菇多糖后，建立高脂小鼠模型，最终模型结果表明金针菇多糖可以降低血脂。陈旭健等<sup>[18]</sup>证明红菇多糖可使小鼠血液中TC、TG、LDL-C水平显著降低，HDL-C显著水平升高。Zhu Min等<sup>[21]</sup>报道，香菇多糖可降低小鼠血清TC、TG、LDL-C水平，提高HDL-C水平。本实验结果表明，日粮中添加2%和6%的FVS可明显降低肉鸡血清中的TG、TC含量，这可能是FVS中金针菇多糖发挥作用的结果。肉鸡血清中的LDL-C和HDL-C含量也分别有降低和升高趋势，但未达到前人报道的差异程度，还需要进一步研究。

LEP是由白色脂肪细胞分泌的多肽激素，可影响机体许多生理和代谢过程<sup>[22]</sup>。有文献报道，金针菇中有较高含量的锌<sup>[23]</sup>；同时有文献报道，膳食中锌含量的增加会促进血清瘦素水平升高<sup>[24]</sup>。本实验结果表明，日粮中添加FVS可明显提高肉鸡血液中LEP含量，这可能是由于FVS中的锌增加促进了LEP的分泌，进而加速了脂肪的分解，减少了脂肪的沉积。

顾志良等<sup>[25]</sup>研究发现，初生雏鸡自由采食1周后，腿部、颈部、胸部皮下开始出现脂肪，腹部脂肪一般在2周龄左右出现，在2~7周龄间也呈上升趋势。同时，肉鸡的体脂形成表现出一定的规律性，会随着生长发育的推进而呈现出脂肪总蓄积量上升的趋势，且受到脂肪合成和分解的动态调控<sup>[26]</sup>。肉鸡的脂肪代谢及调控特点与哺乳类动物不同，肉鸡脂肪合成的主要场所是肝脏，鸡体脂肪沉积所需的脂肪酸大多来自于肝脏合成的脂肪酸，因此，肉鸡肝脏脂肪含量也是反映肉鸡脂肪代谢状况的重要指标<sup>[3]</sup>。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<sup>[27]</sup>。家禽脂肪组织发育和脂肪沉积取决于血浆中TG的水平<sup>[28]</sup>。Chen Jingjing等<sup>[29]</sup>研究表明杏鲍菇、香菇、侧耳、金针菇等7种蘑菇多糖可显著降低脂质堆积。本实验结果表明，日粮中添加不同水平的FVS可明显降低肉鸡肝脏、胸肌和腿肌脂肪含量，可能是由于血清中TG含量的降低和FVS中降脂活性成分共同作用导致了肉鸡的体脂沉积减少。

腹部是肉鸡沉积脂肪的主要部位，肉鸡腹脂约占体脂总量的22%。因此，腹脂沉积量可以在一定程度上反映肉鸡机体脂肪代谢状况<sup>[30]</sup>。尚红梅等<sup>[31]</sup>研究表明，日粮中添加一定水平的小刺猴头菌发酵浸膏多糖可降低肉鸡的腹脂沉积，但不影响肉鸡的生产性能。HSL是最早发现和克隆的脂肪细胞内分解TG的脂肪酶，是动物脂肪分解代谢的限速酶，并在脂质代谢的多个环节发挥作

用<sup>[32]</sup>。有研究发现,血清中的LEP含量与腹脂率成极强负相关<sup>[3]</sup>,且高浓度的LEP可增加HSL mRNA的表达<sup>[33]</sup>。在本实验中,2%和6%的FVS可提高肉鸡腹脂中的HSL活力,降低腹脂率,这表明FVS可能通过促进LEP分泌提高了HSL活力,进而降低了肉鸡腹脂率。

综合以上实验结果表明,日粮中FVS的添加使肉鸡血液中TG、TC含量和腹脂率降低以及胸肌、腿肌、肝脏中脂肪沉积的减少。这可能是瘦素含量的提高增加了脂解酶的活性,同时血清中脂质水平的减少,降低了其在肝脏以及机体循环过程中的沉积。针对2%、6% FVS组较4% FVS组效果更为理想的结果,本课题组拟在后期进行脂肪分解、脂肪酸合成等脂代谢相关关键酶基因表达量的检测,进行进一步的分析。

综上所述,在AA肉鸡的基础日粮添加不同质量分数的金针菇脚,可降低肉鸡血液中TG、TC含量,提高LEP含量及HSL活力,降低肉鸡肝脏、胸肌、腿肌脂肪含量。上述结果对金针菇脚的合理开发利用有一定的指导意义,金针菇脚降低肉鸡体内脂肪沉积的机理值得进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] ZHENG L, ZHAI G, ZHANG J, et al. Antihyperlipidemic and hepatoprotective activities of mycelia zinc polysaccharide from *Pholiota nameko* SW-02[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 70: 523-529. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2014.07.037.
- [2] 闫峻. 脂联素对肉鸡脂肪代谢调控及其分子机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 1-2.
- [3] 黄骆镡, 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. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2013.01.019.
- [4] 王曼, 陈娟, 孔一力, 等. 丙酮酸肌酸对肉鸡脂肪代谢和蛋白质代谢的影响[J]. 南京农业大学学报, 2011(1): 89-94.
- [5] 黄春玲, 黄瑞华. 抗生素对动物生长与动物产品质量的影响[J]. 饲料广角, 2011(3): 36-38. DOI:10.3969/j.issn.1002-8358.2011.03.011.
- [6] 叶剑锋. 滥用抗生素危害无穷: 对畜禽滥用抗生素的研究与思考[J]. 肉品卫生, 2004(3): 7-8.
- [7] CHEN J, MAO D, YONG Y, et al. Hepatoprotective and hypolipidemic effects of water-soluble polysaccharidic extract of *Pleurotus eryngii*[J]. Food Chemistry, 2012, 130(3): 687-694. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.07.110.
- [8] 林忠宁, 陈敏健, 刘明香, 等. 金针菇脚和菌糠的氨基酸含量测定及营养评价[J]. 食药菌, 2012(1): 56-59.
- [9] 刘骏, 陈相艳, 王文亮, 等. 金针菇的研究现状及产业化应用[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(10): 25-28. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2014.10.006.
- [10] 张圣杰, 王文亮, 石贤权, 等. 金针菇多糖生物活性及功能性食品开发[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(10): 62-64. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2013.10.016.
- [11] 郑淑彦, 侯波, 桑兰, 等. 金针菇脚蛋白质提取工艺研究[J]. 食品科技, 2012, 37(7): 209-212.
- [12] 王远孝, 卢永胜, 张莉莉, 等. 日粮不同蛋能比对黄羽肉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.
- [13] 王丽娜, 吴波, 丁国栋, 等. 金针菇脚对肉鸡生产性能及免疫功能的影响[J]. 菌物研究, 2013, 11(2): 120-123.
- [14] Subcommittee on Poultry Nutrition, Board on Agriculture, National Research Council. Nutrient requirements of poultry[M]. 9th ed. Washington DC: National Academies Press, 1994: 1-176.
- [15] 李万军. 方中草药制剂对肉鸡血清生化指标及肉品质的影响研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(20): 63-66.
- [16] 金宗谦. 功能食品评价的原理和方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 1995: 107-109.
- [17] 张文州, 许嵘. 食药真菌多糖的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(15): 395-399.
- [18] 陈旭健, 张原琪. 红菇多糖的提取及其降血糖、血脂作用研究[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 45-48.
- [19] 刘成梅, 付桂明, 涂宗财, 等. 百合多糖降血糖功能研究[J]. 食品科学, 2002, 23(6): 113-114.
- [20] 占建波. 金针菇多糖提取纯化及生物活性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009: 48-49.
- [21] ZHU M, NIE P, LIANG Y K, et al. Optimizing conditions of polysaccharide extraction from *Shiitake* mushroom using response surface methodology and its regulating lipid metabolism[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 95(2): 644-648. DOI:10.1016/j.carbpol.2013.03.035.
- [22] SUN J M, RICHARDS M P, ROSEBROUGH R W, et al. The relationship of body composition, feed intake, and metabolic hormones for broiler breeder females[J]. Poultry Science, 2006, 85(7): 1173-1184. DOI:10.1093/ps/85.7.1173.
- [23] 方玉梅, 张春生, 谭萍, 等. 金针菇黄酮类化合物的抗氧化性作用[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 15-18. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2012.03.005.
- [24] 吴碧荔, 刘浩宇, 刘锡仪. 微量元素生物学作用及其与脂代谢和肥胖的关系[J]. 广东微量元素科学, 2005, 12(4): 1-6. DOI:10.3969/j.issn.1006-446X.2005.04.001.
- [25] 顾志良, 赵万里, 周勤宜. 肉鸡脂肪沉积规律的研究[J]. 中国家禽, 1993(1): 24-26.
- [26] 赵旭. 丁酸梭菌对肉鸡脂肪代谢的影响及机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 8-9.
- [27] 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(19): 32-35. DOI:10.3969/j.issn.1000-2286.2009.04.006.
- [28] 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.
- [29] CHEN J, YONG Y, XING M, et al. Characterization of polysaccharides with marked inhibitory effect on lipid accumulation in *Pleurotus eryngii*[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 97(2): 604-613. DOI:10.1016/j.carbpol.2013.05.028.
- [30] 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 Science, 1986, 65(2): 215-222. DOI:10.3382/ps.0650215.
- [31] 尚红梅, 宋慧, 沈思捷, 等. 小刺猴头菌发酵浸膏多糖对肉鸡脂肪沉积的影响[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(2): 162-168. DOI:10.11841/j.issn.1007-4333.2014.02.24.
- [32] 高斌, 彭春秀, 龚加顺, 等. 普洱茶茶褐素对大鼠激素敏感性脂肪酶活性及其mRNA表达的影响[J]. 营养学报, 2010, 32(4): 362-366.
- [33] SARMIENTO U, BENSON B, KAUFMAN S, et al. Morphologic and molecular changes induced by recombinant human leptin in the white and brown adipose tissues of C57BL/6 mice[J]. Laboratory Investigation, 1997, 77(3): 243-256.