

# 饲料添加植物甾醇对猫安全性及减肥效果的影响

■ 汪 韬<sup>1,2</sup> 子江杭<sup>1,2\*</sup> 肖翔宇<sup>1,2</sup> 朱玉成<sup>1,2</sup> 孙小强<sup>2,3</sup> 宋彤星<sup>1,2\*\*</sup> 许 佳<sup>4,5\*\*</sup>

(1. 华中农业大学动物科学技术学院, 湖北武汉 430070; 2. 华中农业大学宠物健康研究院, 湖北武汉 430070;

3. 武汉绝魅宠业生物科技有限公司, 湖北武汉 430070; 4. 金华职业技术学院, 浙江金华 321007;

5. 海特宠食科技(杭州)有限公司, 浙江杭州 330110)

**摘 要:** 试验旨在研究饲料中添加植物甾醇对猫安全性以及减肥效果的影响。适口性试验: 选取12只中华田园猫单独进行双碗适口性试验, 分别饲喂含植物甾醇0、0.15%的饲料, 测定首选日粮及采食量, 试验周期为2 d。安全性试验: 选取20只健康成年中华田园猫, 随机分为3组, 分别饲喂含植物甾醇0、0.15%、1.50%的饲料, 自由采食与饮水; 试验测定采食量、体重变化和血液指标, 试验周期为28 d。减肥效果试验: 采用安全性试验中确定的植物甾醇适宜添加剂量0.15%, 选取12只肥胖的中华田园猫, 随机分为2组, 分别在饲料中添加0、0.15%的植物甾醇, 根据体重计算代谢能并进行限制能量饲喂, 试验测定采食量、体重变化和血液指标, 试验期为30 d。适口性试验结果显示: 植物甾醇不影响猫的采食量( $P>0.05$ ), 首选日粮添加植物甾醇的日粮显著高于对照日粮( $P<0.05$ )。安全性试验结果显示: 与对照组相比, 饲料中添加0.15%和1.50%植物甾醇对成年猫的生理状态、采食量、体重以及血常规、血生化等指标均无显著影响( $P>0.05$ )。减肥试验结果显示: 与对照组相比, 从第10天开始, 饲料中添加0.15%的植物甾醇加快了猫的减重速率( $P<0.05$ ); 与第0天相比, 在第30天时饲料中添加0.15%的植物甾醇使猫的血清三酰甘油水平下降17.3%, 体况评分显著下降( $P<0.05$ )。综上所述, 在猫粮中添加0.15%植物甾醇不影响适口性; 在猫粮中添加0.15%和1.50%植物甾醇具有良好的安全性; 在猫粮中添加0.15%植物甾醇可以提高减重速率, 改善肥胖猫体况评分。

**关键词:** 猫; 植物甾醇; 安全性; 减肥; 三酰甘油

**doi:** 10.13302/j.cnki.fi.2024.11.018

**中图分类号:** S816.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-991X(2024)11-0112-09

## Effect of Dietary Phytosterols on Feed Safety and Weight Loss of Cats

WANG Tao<sup>1,2</sup> ZI Jianghang<sup>1,2\*</sup> XIAO Xiangyu<sup>1,2</sup> ZHU Yucheng<sup>1,2</sup> SUN Xiaoqiang<sup>2,3</sup>

SONG Tongxing<sup>1,2\*\*</sup> XU Jia<sup>4,5\*\*</sup>

(1. College of Animal Sciences and Technology, Huazhong Agricultural University, Hubei Wuhan 430070, China; 2. Pet Health Research Institute of HZAU, Hubei Wuhan 430070, China; 3. Wuhan Juemei Pet Industry Biotechnology Co., Ltd., Hubei Wuhan 430070, China; 4. Jinhua Polytechnic, Zhejiang Jinhua 321007, China; 5. Haite Pet food Technology (Hangzhou) Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 330110, China)

**Abstract:** The aim of this experiment was to study the effects of adding phytosterols to diets on cat safety and weight loss. Palatability test: 12 Chinese field cats were selected for the double-bowl palatability test, fed diets containing 0 and 0.15% phytosterols respectively, and the preferred diets and feed intake were determined, with a test period of 2 d. Safety test: 20 healthy adult Chinese field cats were randomly

divided into 3 groups, fed diets containing 0, 0.15% and 1.50% phytosterols respectively, and fed and drank freely. The test measured feed intake, body weight change and blood index, the test cycle is 28 d. Weight loss effect test: using the safety test to determine the appropriate amount of phytosterol additive 0.15%, selected 12

作者简介: 汪韬, 硕士, 研究方向为宠物营养。

\*同等贡献作者。

\*\*通讯作者: 宋彤星, 副研究员, 博士生导师; 许佳, 副教授, 硕士生导师。

收稿日期: 2024-03-11

overweight and obese Chinese field cats, randomly divided into 2 groups, respectively, added 0, 0.15% phytosterol in the diet, according to the body weight of the metabolic energy calculation and energy-limiting feeding. The test measured feed intake, body weight change and blood indexes, and the test period was 30 days. The results of the palatability test showed that phytosterols did not affect the cat's feed intake ( $P>0.05$ ), and the diet with added phytosterols was chosen first more frequently than the control diet ( $P<0.05$ ). The results of the safety test showed that the addition of 0.15% and 1.50% phytosterols to the diets did not significantly ( $P>0.05$ ) affect the physiological status, feed intake, body weight, as well as blood routine and blood biochemistry indexes of the adult cats compared with the control group. The results of the weight loss test showed that the addition of 0.15% phytosterols to the diet accelerated the rate of weight loss in cats from day 10 onwards compared with the control group ( $P<0.05$ ). The addition of 0.15% phytosterols to the diet reduced the serum triglyceride level of cats by 17.3% at day 30 compared with day 0. The addition of 0.15% phytosterols to the diet reduced the body condition score of cats by 17.3% compared with day 0. The addition of 0.15% phytosterols to the diet reduced the body condition score of cats by 17.3% compared with day 0. Sterols resulted in a significant decrease ( $P<0.05$ ) in the body condition score of cats. In conclusion, the addition of 0.15% phytosterols to cat diets did not differ palatability; the addition of 0.15% and 1.50% phytosterols to cat diets has good safety; the addition of 0.15% phytosterols to cat diets can increase the rate of weight loss, and improve body condition scores in obese cats.

**Key words:** cat; phytosterols; safety; lose weight; triglyceride

根据《2022年中国宠物行业白皮书》数据显示,近5年来城镇拥有猫犬的人数整体呈上升趋势,养猫人数逐渐超过养犬人数。但因绝育、自助式喂养以及缺乏运动等因素,致使宠物肥胖率逐年升高。不同国家早期研究结果表明,犬的肥胖率在18%~44%<sup>[1-5]</sup>,猫的肥胖率在6%~52%<sup>[6-11]</sup>,肥胖正在成为影响宠物健康的重要因素。与人类相似,肥胖的犬猫更易患其他疾病,诸如犬的骨关节炎、胰岛素抵抗、肾脏疾病、皮肤病和肿瘤,以及猫的糖尿病、泌尿道疾病、皮肤病和肿瘤等<sup>[12-15]</sup>。因此,宠物过度肥胖已成为养宠人急需解决的问题,寻找可应用于犬猫减肥治疗的营养解决方案显得尤为重要。

植物甾醇(phytosterols, PS)是一种天然活性物质,具抗氧化、抗炎、抗糖尿病、抗动脉粥样硬化以及抗癌等多种生理功能,可作为医药原料和功能性食品添加剂,广泛分布于坚果、谷物、蔬菜和水果等各种植物中<sup>[16]</sup>。PS在人和动物体内都不能合成,必须通过营养摄入并通过肠道吸收。PS具有与胆固醇类似的结构,在机体代谢的竞争性吸收中处于优势,因此能有效抑制胆固醇的吸收、合成,并促使其排出体外。Borin-Crivellenti等<sup>[17]</sup>的研究表明,日本男性摄入PS

后可以减少皮下、腹部和内脏脂肪沉积。在Takeshita等<sup>[18]</sup>的一项研究中发现,在饮食中添加380 mg/d以上的PS,能够得到较低的腰围和体重指数(BMI),具有预防肥胖和超重的作用。2018年中国农业农村部已将PS列入犬猫饲料添加剂的范畴,国外已有PS应用于犬粮的研究表明,PS可以有效降低犬血清低密度脂蛋白胆固醇水平,且无副作用<sup>[19]</sup>。然而,目前PS对猫的安全范围以及对肥胖猫的减肥效果仍鲜有报道。因此,本试验以促进宠物猫机体健康为出发点,研究饲粮中添加植物甾醇对猫安全性评价以及对肥胖猫的减重效果,为预防和治疗猫肥胖的新型饲料添加剂提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所用植物甾醇购自南京诺齐生物科技有限公司,植物甾醇纯度为96%,组成成分为51%  $\beta$ -谷甾醇、24% 菜油甾醇、10% 菜籽甾醇、8% 豆甾醇以及7% 其他种类植物甾醇。

### 1.2 试验饲粮

基础饲粮满足美国饲料管理协会标准(AAFCO, 2022)对成猫的营养需求,饲粮组成及营养水平见表

1. 各种营养成分的测定方法:水分(GB/T 6435—2014)、粗脂肪(GB/T 6433—2006)、粗蛋白(GB/T 6432—2018)、粗灰分(GB/T 6438—2007)、粗纤维(GB/T 6434—2006)、钙(GB/T 6436—2018)、总磷(GB/T 6437—2018)、水溶性氯化物(GB/T 6439—2007)、牛磺酸(GB/T 18246—2019)。

表1 基础饲粮组成及营养水平(风干物质基础)

项目	含量
原料组成(%)	
鸡肉粉	23.26
豌豆	9.30
鸭肉粉	15.50
木薯干	9.30
鱼粉	12.40
鸡油	9.30
大豆油	2.33
鱼油	3.88
甜菜粕	7.75
复合调味料(贝粉)	2.33
丝兰提取物	1.55
酵母水解物	1.55
预混料	1.55
合计	100.00
营养水平	
水分(%)	7.00
粗脂肪(%)	15.00
粗蛋白(%)	36.48
粗灰分(%)	10.40
粗纤维(%)	3.10
钙(%)	1.86
总磷(%)	1.72
水溶性氯化物(%)	1.35
牛磺酸(%)	0.42
代谢能(MJ/kg)	15.02

注:1. 预混料向每千克饲粮提供:VA 15 000 IU、VD<sub>3</sub> 4 250 IU、VE 300 mg、VB<sub>1</sub> 200 mg、VB<sub>2</sub> 200 mg、VB<sub>3</sub> 100 mg、VB<sub>12</sub> 45 μg、Cu 20 mg、Mn 10 mg;  
2. 代谢能为计算值,其余为实测值。

1.3 试验设计和饲养管理

1.3.1 饲粮中添加植物甾醇对猫适口性试验

选取12只健康的中华田园猫,公母各半,进行单独双碗适口性试验。试验前所有受试猫需禁食12 h,保证饥饿状态,左碗称量30 g添加0.15%植物甾醇的饲粮(试验日粮),右碗称量30 g基础饲粮(对照日粮),同时放于猫正前方20 cm处,观察记录猫首选的

是哪一款饲粮,并记录15 min内猫每个碗的采食量。第2天将两款饲粮交换位置,重复上述步骤。

1.3.2 安全性试验

试验选取20只年龄1~2岁的健康的成年中华田园猫,平均体重为(3.56±1.49) kg。将20只成年猫随机分为对照组(6只)、LP组(7只)和HP组(7只),分别饲喂基础饲粮、基础饲粮+0.15%低浓度植物甾醇和基础日粮+1.50%高浓度植物甾醇。以每组猫第0天数据作为对照。每只猫单笼饲养,温度恒温控制25℃,试验前进行必要的免疫、驱虫处理,每天更换猫砂,清洗食盆、水盆,每天10:00开始饲喂,自由饮水,每天记录采食量,观察精神状况,每周记录体重,试验期28 d。

1.3.3 减重有效性试验

选取12只肥胖猫,公母各半,体况评分相近,随机分为对照组(CON)和试验组(PS)两组,每组6只,体重及体况评分均没有显著性差异。分别饲喂基础饲粮、基础饲粮+0.15%植物甾醇。每只猫单笼饲养,温度恒温控制在25℃,试验前进行必要的免疫、驱虫处理,每天更换猫砂,清洗食盆、水盆,每天10:00开始饲喂,自由饮水,每天记录采食量,观察精神状况,每周记录体重,试验期30 d。

按照以下公式计算猫用宠物饲料能量值(每100 g产品中),包括总能(GE)、能量消化率(%)、消化能(DE)、代谢能(ME)。单位换算:1 kcal=4.186 kJ。

总能(kcal)=5.7×粗蛋白克数+9.4×粗脂肪克数+4.1×(无氮浸出物克数+粗纤维克数)

能量消化率(%)=87.9-0.88×干物质中粗纤维占比

消化能(kcal)=GE×能量消化率(%)

代谢能(kcal)=DE-0.77×粗蛋白克数

试验过程中每只猫进行限制能量饲喂,每只猫每日喂食量根据体重计算肥胖猫的代谢能需要量、喂食量(g)。

肥胖猫的代谢能需要量(kcal/d)=130×BW<sup>0.4</sup>

式中:BW——体重。

喂食量(g)=猫代谢能需要量(MJ/d)÷饲粮代谢能(MJ/g)

从第0天开始,每10 d对全部受试猫进行体重称量并记录,固定称重从10:00开始,在每次称重后对每只猫的采食量进行适当调整以保证每7 d减重速度控制在0.5%~1.5%。

## 1.4 指标测定

### 1.4.1 采食量和体重测定

采食量(g)=饲喂量-剩余量

体重变化(kg)=当前体重-试验初始体重

### 1.4.2 体况评分标准

本试验采用体况评分(body condition score, BCS)来判断宠物的营养状况。在评估时主要采用视诊和触诊,不同体况评分方法和标准<sup>[20]</sup>如表2。

表2 体况评分方法

评分	肋骨	腰部	腹部	皮下肌肉和脂肪
1	突起清晰可见	非常狭窄	可见严重凹陷	肌肉组织缺失,胸部无脂肪
2	清晰可见	非常狭窄	可见明显凹陷	肌肉组织缺失,胸部无明显脂肪
3	可见	明显	可见明显凹陷	极少量的腹部脂肪
4	不可见,触诊易摸	明显	稍微凹陷	无腹部脂肪垫
5	不可见,触诊易摸	明显	可见轻微腹部凹陷	少量腹部脂肪垫
6	不可见,可触摸到	不明显	轻微上收	不明显的腹部脂肪垫
7	较难触摸	几乎看不见	无上收及凹陷,圆润	适度的腹部脂肪垫
8	很难触摸	无腰部	轻微扩张	突出的腹部脂肪垫
9	不可触摸	无腰部	明显扩张	腹部脂肪大量沉积

### 1.4.3 适口性试验检验指标

首选日粮:饲喂两种日粮后猫对日粮初次选择的次数占总次数的百分比。

采食量:记录15 min内每只猫两款饲料的采食量。

采食率(%)=其中一款粮的采食量/两款粮的总采食量×100

### 1.4.4 血液指标测定

试验开始和结束时,提前12 h对每只猫禁食后进行前肢头静脉采血,收集2~3 mL血液于采血管中,保存于4℃冰盒,待测血常规等;同时分离血清,用于血脂生化及脂质指标分析。

#### 1.4.4.1 血常规指标

采用爱德士Procyte Dx血细胞分析仪检测白细胞数、红细胞数、血红蛋白数、红细胞比容、红细胞平均体积、平均血红蛋白量、平均血红蛋白浓度、血小板数、淋巴细胞比率、中性粒细胞比率、嗜酸性细胞比率、淋巴细胞绝对值、中性粒细胞绝对值、嗜酸性细胞绝对值、红细胞分布宽度和红细胞体积分布宽度。

#### 1.4.4.2 血液生化指标

采用爱德士Catalyst one生化分析仪测定血糖、肌酐、尿素、总蛋白、白蛋白、球蛋白含量以及谷丙转氨酶、碱性磷酸酶的活性,计算血尿素氮/肌酐比值、白蛋白/球蛋白比值。

#### 1.4.4.3 血液脂质指标

用南京建成生物工程研究所有限公司生产的ELISA试剂盒进行测定,包括总胆固醇(TC)、低密度

脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、三酰甘油(TG)含量。

## 1.5 数据统计与分析

使用SPSS 26.0进行数据分析。试验数据用“平均值±标准差”表示,安全性试验组间比较单因素方差分析(one-way ANOVA, LSD)以及Tukey多重比较,适口性试验以及效果评价试验组间比较采用 $t$ 检验, $P<0.05$ 表示差异显著;采用Prism 8.0软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料中添加植物甾醇对猫适口性的影响

如表3所示,猫饲料添加0.15%植物甾醇不影响猫的采食量及采食率( $P>0.05$ ),且首选添加植物甾醇的日粮显著高于对照日粮( $P<0.05$ ),这表明猫饲料添加植物甾醇不影响适口性。

表3 饲料中添加植物甾醇对猫适口性的影响

项目	对照日粮	试验日粮	$P$ 值
首选比例(%)	33.3	66.7	0.042
采食量(g)	12.11±6.61	13.21±7.35	0.703
采食率(%)	47.8	52.2	0.846

### 2.2 饲料中添加植物甾醇对猫的安全性评估

#### 2.2.1 饲料中添加植物甾醇对猫采食量和体重的影响

由表4可知,安全性评价结果表明,饲料添加不同剂量的植物甾醇不会影响猫的体重和采食量( $P>0.05$ )。

#### 2.2.2 饲料中添加植物甾醇对成年猫血常规指标的影响



如表5所示,饲料中添加0.15%和1.50%的植物甾醇对成年猫血清中的白细胞数、红细胞数、血红蛋白数、红细胞压积、红细胞平均体积、平均血红蛋白量、平均血红蛋白浓度、血小板数、淋巴细胞比率、中性粒细胞比率、嗜酸性细胞比率、淋巴细胞绝对值、中性粒细胞绝对值、嗜酸性细胞绝对值、红细胞分布宽度和红细胞体积分布宽度的水平都没有显著影响( $P>0.05$ ),且所有指标均在正常范围内,表明植物甾醇添加不影响猫血常规指标。

表4 饲料中添加植物甾醇对成年猫采食量和体重的影响

项目	对照组	LP组	HP组
平均日采食量(ADFI,g)			
1~2周	51.98±11.54	64.27±16.50	59.58±21.76
3~4周	56.27±12.46	66.19±11.09	58.35±19.02
体重(BW,kg)			
第0天	2.39±0.48	4.22±1.55	3.90±1.56
第28天	2.46±0.52	4.22±1.59	3.90±1.60

注:同行数据肩标不含有相同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),含有相同小写字母或无字母表示差异不显著( $P>0.05$ );下表同。

表5 饲料中添加植物甾醇对成年猫血常规指标的影响

项目	时间	对照组	LP组	HP组	参考值
白细胞数(WBC, $10^9/L$ )	第0天	13.02±2.15	12.26±4.71	13.39±6.04	5.5~19.5
	第28天	13.35±2.77	11.71±3.24	14.13±6.91	
红细胞数(RBC, $10^{12}/L$ )	第0天	9.11±0.94	9.92±1.62	8.59±0.79	5.5~10.0
	第28天	9.57±0.79	10.00±1.82	8.90±1.50	
血红蛋白数(HGB, g/dL)	第0天	122.00±10.28	128.86±13.95	115.00±9.50	80.0~140.0
	第28天	123.83±8.70	130.57±20.00	117.00±12.50	
红细胞压积(HCT, %)	第0天	38.58±4.15	41.61±4.55	36.51±3.07	24.0~45.0
	第28天	39.20±3.25	42.06±6.40	37.24±4.53	
红细胞平均体积(MCV, fL)	第0天	42.45±2.90	42.37±3.45	42.69±3.71	40.0~55.0
	第28天	41.05±2.65	42.39±2.65	42.23±3.26	
平均血红蛋白量(MCH, pg)	第0天	13.47±0.98	13.10±1.05	13.43±1.11	13.0~17.0
	第28天	12.97±0.94	13.14±0.86	13.29±0.96	
平均血红蛋白浓度(MCHC, g/dL)	第0天	317.00±9.01	309.57±6.05	315.14±9.69	300.0~360.0
	第28天	316.17±6.62	310.43±8.44	314.86±8.63	
血小板(PLT, $K/\mu L$ )	第0天	207.67±148.67	221.14±131.25	278.29±179.42	300.0~700.0
	第28天	211.67±153.59	234.71±99.96	190.14±102.19	
淋巴细胞比率(LYM, %)	第0天	39.02±6.48	48.07±10.19	44.20±12.08	20.0~55.0
	第28天	39.77±7.62	38.19±16.52	42.94±12.86	
中性粒细胞比率(NEU, %)	第0天	55.07±6.29	44.34±9.99	47.81±10.20	35.0~77.0
	第28天	55.87±7.78	56.01±15.38	52.66±12.14	
嗜酸性细胞比率(EOS, %)	第0天	5.92±1.52	7.59±2.29	7.99±4.86	2.0~12.0
	第28天	4.37±1.03	5.80±3.06	4.40±2.42	
淋巴细胞绝对值(LYM, $10^9/L$ )	第0天	5.08±1.39	5.94±2.52	5.91±2.80	1.5~7.0
	第28天	5.25±1.43	4.59±2.41	5.99±3.01	
中性粒细胞绝对值(NEU, $10^9/L$ )	第0天	7.15±1.23	5.43±2.47	6.37±3.08	3.0~12.5
	第28天	7.50±1.98	6.50±2.13	7.44±4.13	
嗜酸细胞绝对值(EOS, $10^9/L$ )	第0天	0.78±0.28	0.89±0.31	1.10±1.04	0.1~1.5
	第28天	0.60±0.17	0.63±0.34	0.70±0.81	
红细胞分布宽度(RDW-S, %)	第0天	31.88±1.50	33.23±2.53	32.11±2.82	37.0~50.0
	第28天	28.70±0.98	30.70±3.31	31.29±1.45	
红细胞体积分布宽度(RDW-C, %)	第0天	0.15±0.01	0.16±0.02	0.15±0.01	-
	第28天	0.14±0.01	0.15±0.01	0.15±0.02	

2.2.3 饲料中添加植物甾醇对成年猫血液生化指标的影响

如表6所示,3组间猫血清中血糖、肌酐、尿素、血尿素氮、总蛋白、白蛋白、球蛋白、白蛋白/球蛋白、碱

性磷酸酶、胆固醇、三酰甘油的水平都没有显著差异 ( $P>0.05$ ),且所有指标均在正常范围内。添加植物甾醇对谷丙氨酸转氨酶水平无显著差异。这表明植物甾醇添加不影响猫血生化指标。

2.3 饲料中添加植物甾醇对肥胖猫减重效果评估

2.3.1 饲料中添加植物甾醇对肥胖猫减重的影响

在适口性和安全性试验的基础上,进而开展减肥

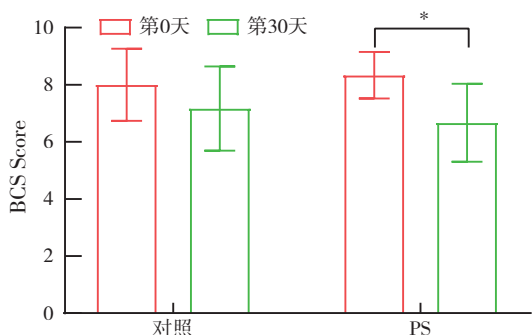
效果试验,探讨饲料添加植物甾醇对肥胖猫减重的作用。如表7所示,PS组(0.15%植物甾醇)和对照组两组之间在第0天到第30天体重的比较中没有显著差异,在0~30天,PS组组内比较发现体重没有显著差异,对照组组内比较体重没有显著差异。在试验开始第10天后,PS组减重速率显著高于对照组 ( $P<0.05$ )。如图1所示,PS组第30天与第0天体况评分比较显著下降 ( $P<0.05$ )。

表6 饲料中添加植物甾醇对成年猫血液生化指标的影响

项目	时间	对照组	LP组	HP组	参考值
血糖(GLU, mmol/L)	第0天	5.39±2.46	4.51±1.03	4.35±0.33	4.11~8.84
	第28天	5.16±1.09	4.60±0.96	4.36±0.61	
肌酐(CREA, mmol/L)	第0天	82.33±17.99	100.86±23.9	97.57±20.27	71.00~212.00
	第28天	72.67±18.12	93.14±29.89	86.57±21.67	
尿素(UN, mmol/L)	第0天	6.40±0.68	7.03±1.26	6.77±0.64	5.70~12.90
	第28天	6.40±1.27	6.37±1.43	6.10±0.99	
血尿素氮/肌酐(UN/CREA)	第0天	19.67±3.44	17.71±3.95	17.71±2.87	—
	第28天	21.5±2.35	17.43±2.99	18.14±5.52	
总蛋白(TP, g/L)	第0天	75.17±5.78	75.00±5.51	73.43±3.46	57.00~89.00
	第28天	76.17±2.14	75.29±4.99	72.57±3.91	
白蛋白(ALB, g/L)	第0天	29.00±2.37	28.00±1.83	27.14±2.54	22.00~40.00
	第28天	29.83±1.60	28.71±2.36	27.71±3.73	
球蛋白(GLOB, g/L)	第0天	46.33±3.93	46.86±4.26	46.43±4.54	28.00~51.00
	第28天	46.33±2.34	46.57±3.82	45.29±4.23	
白蛋白/球蛋白(ALB/GLOB)	第0天	0.62±0.04	0.61±0.04	0.59±0.11	—
	第28天	0.63±0.05	0.61±0.04	0.61±0.12	
谷丙转氨酶(ALT, IU/L)	第0天	80.17±31.19 <sup>ab</sup>	99.43±25.93 <sup>a</sup>	59.00±16.46 <sup>b</sup>	12.00~130.00
	第28天	93.33±18.84	110.86±63.06	133.00±77.69	
碱性磷酸酶(AKP, IU/L)	第0天	36.83±16.81	41.43±13.30	41.29±10.05	14.00~111.00
	第28天	41.83±20.58	47.14±22.45	43.43±11.09	
胆固醇(TC, mmol/L)	第0天	3.74±1.08	3.52±0.72	3.13±0.60	1.68~5.81
	第28天	4.16±1.18	3.91±0.74	3.44±0.73	
三酰甘油(TG, mmol/L)	第0天	0.33±0.07	0.67±0.31	0.50±0.38	0.11~1.13
	第28天	0.41±0.04	0.57±0.21	0.60±0.27	

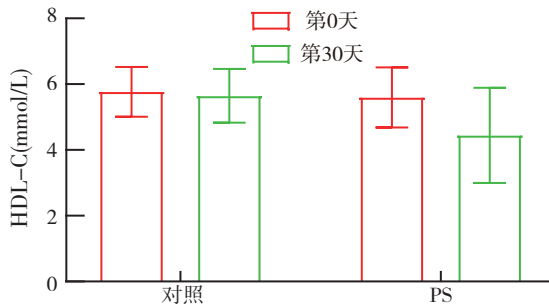
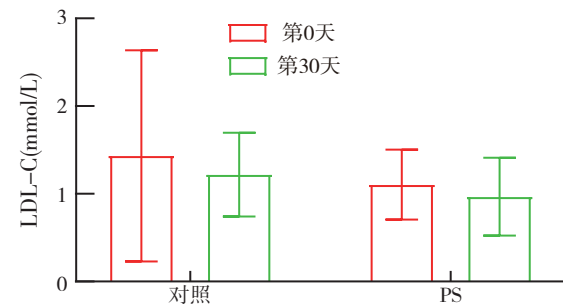
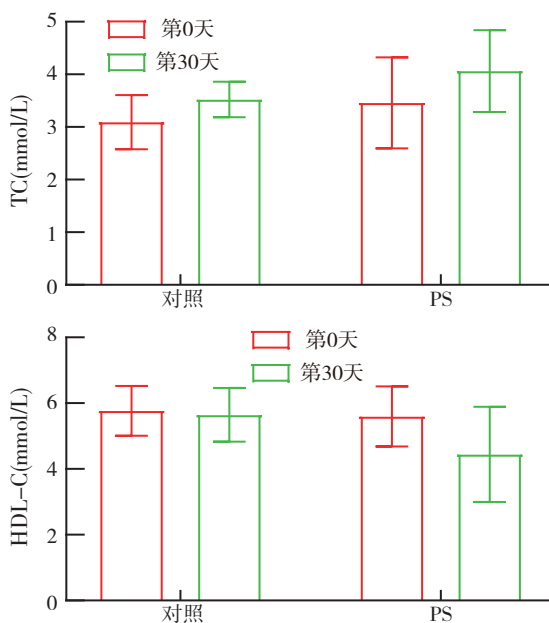
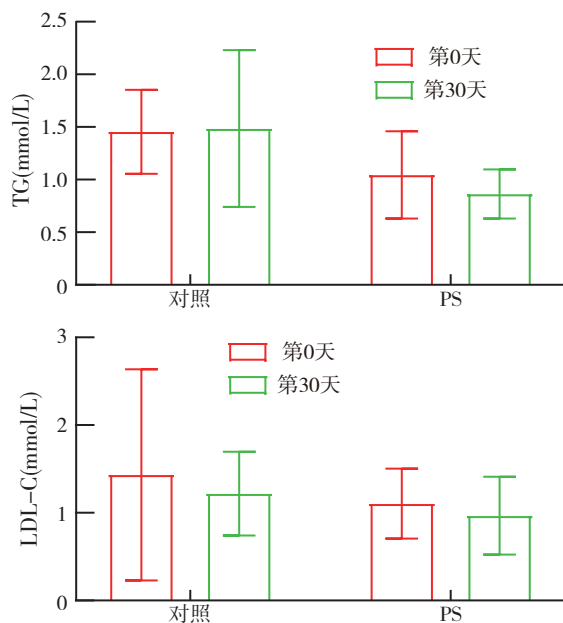
表7 饲料中添加植物甾醇对肥胖猫减重的影响

项目	时间	PS组	对照组	P值
平均日采食量(ADFI, g)	0~10 d	70.41±10.23	65.87±13.77	0.269
	10~20 d	70.47±10.73	66.18±12.03	0.266
	20~30 d	68.39±12.01	67.94±12.11	0.911
体重(BW, kg)	第0天	5.98±0.57	5.38±0.52	0.458
	第10天	5.91±0.57	5.36±0.51	0.483
	第20天	5.76±0.53	5.28±0.51	0.529
	第30天	5.66±0.51	5.21±0.49	0.542
总减重率(%)	0~10 d	0.012 3±0.005 0	0.003 7±0.010 5	0.240
	0~20 d	0.035 5±0.014 8	0.018 8±0.005 2	0.026
	0~30 d	0.051 9±0.016 3	0.030 8±0.013 1	0.033



注:BCS为体况评分分数;\*表示 $P<0.05$ ,\*\*表示 $P<0.01$ ;下图同。

图1 饲粮中添加植物甾醇对肥胖猫体况评分影响



注:TC,三酰甘油;TG,总胆固醇;LDL-C,低密度脂蛋白胆固醇;HDL-C,高密度脂蛋白胆固醇。

图2 饲粮中添加植物甾醇对肥胖猫脂质代谢的影响

猫被饲喂适口性差的食物时,容易引起厌食症的发生,猫肝脏脂质沉积症常常发生于猫的食物摄入量减少、食用不可口的食物,而当肥胖猫遇到适口性差的食物时,会加速猫脂肪肝的发生,所以适口性的好坏会直接影响猫的健康。植物甾醇作为猫粮添加剂主要应用于肥胖猫的预防和治疗,本试验采用单独双碗适口性试验,结果表明,首选两种猫日粮添加0.15%植物甾醇的猫数显著多于对照日粮,且首选两种日粮的猫数采食量和采食率无显著差异,因此添加0.15%植物甾醇饲粮不影响适口性。

### 3.2 饲粮中添加植物甾醇对猫的安全性评估

#### 3.2.1 饲粮中添加植物甾醇对猫体重、采食量的影响

#### 2.3.2 饲粮中添加植物甾醇对肥胖猫脂质代谢的影响

如图2所示,第0和第30天两组猫的血清三酰甘油、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇及低密度脂蛋白胆固醇水平无显著差异( $P>0.05$ );CON组第0天和第30天三酰甘油含量无显著差异;PS组第0天和第30天三酰甘油含量无显著差异,但第30天PS组猫的血清三酰甘油水平下降17.3%。

### 3 讨论

#### 3.1 饲粮中添加植物甾醇对猫适口性的影响

饲粮添加剂的安全性评估对宠物具有重要意义,根据广泛的安全性评估研究,植物甾醇被认为对于人和动物是安全的<sup>[21-22]</sup>。美国食品药品监督管理局和欧盟食品科学委员会认为,植物甾醇添加到各种食品中对人类是安全的,但是仍建议食品中的植物甾醇不应超过3 g/d,因为没有证据表明摄入量较高时有益,当大量食用时可能会产生不良影响<sup>[23]</sup>。然而猫作为食肉动物,不同于植物甾醇已试验过的人、猪、鸡、犬以及小鼠等杂食性动物,植物甾醇在猫上的安全剂量仍然需要试验确定。本试验结果表明,1.50%(推荐剂量的10倍)植物甾醇在饲粮中的添加剂量在一个月试验期内,不会对成年猫采食量和体重产生负面影响,同时猫的食欲、呕吐、腹泻、疾病等临床表征

均正常。这与植物甾醇在其他动物上的应用试验结果一致。

### 3.2.2 饲粮中添加植物甾醇对成年猫血液生化指标的影响

血常规检验是通过观察血细胞数量的变化以及形态分布特点来判断血液状况及疾病的检查,可反映不同的生理和病理问题。血清生化组分作为动物机体新陈代谢的物质基础,其含量变化可直接反映动物机体的生理状态、营养代谢水平和健康程度,血清生化检查是临床中血液中葡萄糖、脂肪、肝功能及肾功能常用的检测手段。红细胞压积是指在一定容积的血液中红细胞与血浆体积的比值,是反映血液流变学功能的主要指标之一,与血红蛋白含量一样是影响血液黏度的重要因素。嗜酸性粒细胞是白细胞之一,具有抗菌感染、杀灭寄生虫、分泌生存因子、调节免疫反应的作用。白蛋白是动物体合成与组织代谢的中介,血液白蛋白含量受自身营养状况、肝脏功能、细胞因子等影响,其含量与机体组织器官蛋白质合成代谢相关。丙氨酸转氨酶活性是人体中一种非常重要的酶,参与蛋白质的新陈代谢,可帮助蛋白氨基酸快速在体内转化,广泛存在于器官、骨骼、组织、肌肉中,本试验中丙氨酸转氨酶活性在第0天LP组和HP组有显著差异,但在第28天无显著差异。这可能与试验猫个体差异有关,在经过植物甾醇试验处理后差异消失,且指标均在正常范围内,说明植物甾醇可能具有维持丙氨酸转氨酶稳态的作用。血常规生理指标和血生化指标的变化可以灵敏地反映宠物猫饲喂添加植物甾醇的饲粮时自身生理反应情况。总体上,植物甾醇作为猫粮添加剂在28 d的试验期内不会影响猫血常规指标与血生化指标。

### 3.3 饲粮中添加植物甾醇对肥胖猫的减重效果评估

#### 3.3.1 饲粮中添加植物甾醇对肥胖猫减重的影响

在0~30 d,由于对猫进行了能量限制饲喂,所有猫的体重都不同程度降低了,但在相同体重管理方案下,饲粮中添加0.15%植物甾醇的PS组减重率显著高于对照组。同时,饲粮中添加0.15%植物甾醇可以显著降低肥胖猫的体况评分,具有减肥效果。一些人的临床研究显示,植物甾醇可以减轻肥胖患者的体重<sup>[24-26]</sup>,原因可能是植物甾醇可减少机体的脂肪摄入、增加粪便中脂质的排泄以及增加脂联素浓度<sup>[24]</sup>。植物甾醇在猫上或许具有与人相同的减肥效应,但

猫和人的代谢存在差异,其具体作用机制还有待进一步研究。

### 3.3.2 饲粮中添加植物甾醇对肥胖猫脂质代谢的影响

在减重试验中,虽然植物甾醇试验组能够使猫血清三酰甘油水平降低17.3%,但无统计学意义,原因可能是限制能量后,每只猫摄入的饲粮减少,引起植物甾醇实际摄入量也相应减少。此外,本试验并未发现植物甾醇具有常见的降胆固醇的显著效果。Pallotto等<sup>[27]</sup>做的一项持续18周的肥胖猫减重试验中,猫的体重和血清三酰甘油水平均有降低,而胆固醇水平无显著变化,这与本试验结果十分相似。猫不同于其他物种,其胆固醇水平并没有与体重变化相关的趋势<sup>[28-29]</sup>。植物甾醇可能可以降低猫三酰甘油的作用机制尚需要做深入研究。

## 4 结论

本试验条件下,在猫粮中添加0.15%植物甾醇具有良好的适口性;在猫粮中添加0.15%和1.50%植物甾醇具有良好的安全性,不会对猫的生长性能、血常规指标以及血生化指标产生负面影响;同时在猫粮中添加0.15%植物甾醇可以提高减重速率,改善肥胖猫体况评分,植物甾醇可能可以作为猫肥胖预防和治疗的新型饲料添加剂。

## 参考文献

- [1] MAO J, XIA Z, CHEN J, et al. Prevalence and risk factors for canine obesity surveyed in veterinary practices in Beijing, China[J]. Preventive Veterinary Medicine, 2013, 112(3/4): 438-442.
- [2] COLLIARD L, PARAGON B M, LEMUET B, et al. Prevalence and risk factors of obesity in an urban population of healthy cats [J]. Journal of Feline Medicine and Surgery, 2009, 11(2): 135-140.
- [3] EDNEY A, SMITH P. Study of obesity in dogs visiting veterinary practices in the United Kingdom[J]. The Veterinary Record, 1986, 118(14): 391-396.
- [4] ROBERTSON I. The association of exercise, diet and other factors with owner-perceived obesity in privately owned dogs from metropolitan Perth, WA[J]. Preventive Veterinary Medicine, 2003, 58(1/2): 75-83.
- [5] MCGREEVY P, THOMSON P, PRIDE C, et al. Prevalence of obesity in dogs examined by Australian veterinary practices and the risk factors involved[J]. Veterinary Record, 2005, 156(22): 695-702.
- [6] COLLIARD L, ANCEL J, BENET J J, et al. Risk factors for obe-



- sity in dogs in France[J]. *The Journal of Nutrition*, 2006, 136(7): 1951S–1954S.
- [7] ARMSTRONG P J, BLANCHARD G. Hepatic lipidosis in cats[J]. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, 2009, 39(3): 599–616.
- [8] CENTER S A, CRAWFORD M A, GUIDA L, et al. A retrospective study of 77 cats with severe hepatic lipidosis: 1975–1990[J]. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 1993, 7(6): 349–359.
- [9] SCARLETT J, DONOGHUE S, SAIDLA J, et al. Overweight cats: prevalence and risk factors[J]. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for The Study of Obesity*, 1994, 18: 22–28.
- [10] SLOTH C. Practical management of obesity in dogs and cats[J]. *Journal of Small Animal Practice*, 1992, 33(4): 178–182.
- [11] LUND E M, ARMSTRONG P, KIRK C A, et al. Prevalence and risk factors for obesity in adult cats from private US veterinary practices[J]. *International Journal of Applied Research In Veterinary Medicine*, 2005, 3(2): 88–96.
- [12] SCARLETT J, DONOGHUE S. Associations between body condition and disease in cats[J]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 1998, 212(11): 1725–1731.
- [13] PANCIERA D, THOMAS C, EICKER S, et al. Epizootiologic patterns of diabetes mellitus in cats: 333 cases (1980–1986)[J]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 1990, 197(11): 1504–1508.
- [14] CLARK M, HOENIG M. Metabolic effects of obesity and its interaction with endocrine diseases[J]. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, 2016, 46(5): 797–815.
- [15] LOFTUS J P, WAKSHLAG J J. Canine and feline obesity: a review of pathophysiology, epidemiology, and clinical management [J]. *Vet Med (Auckl)*, 2014, 30(6): 49–60.
- [16] SALEHI B, QUISPE C, SHARIFI-RAD J, et al. Phytosterols: from preclinical evidence to potential clinical applications[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, 11: 599959.
- [17] BORIN-CRIVELLENTI S, CRIVELLENTI L Z, DE OLIVEIRA F R, et al. Effect of phytosterols on reducing low-density lipoprotein cholesterol in dogs[J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2021, 76: 106610.
- [18] TAKESHITA M, SAITO S, MORIWAKI J, et al. Effects of dietary diacylglycerol oil containing phytosterols in mayonnaise on abdominal fat and blood cholesterol levels in Japanese men[J]. *Japanese Pharmacology and Therapeutics*, 2007, 35(9): 973.
- [19] MOHAMMAD SHAHI M, JAVANMARDI M A, SEYEDIAN S S, et al. Effects of phytosterol supplementation on serum levels of lipid profiles, liver enzymes, inflammatory markers, adiponectin, and leptin in patients affected by nonalcoholic fatty liver disease: a double-blind, placebo-controlled, randomized clinical trial[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2018, 37(8): 651–658.
- [20] TENG K T, MC GREEVY P D, TORIBIO J, et al. Associations of body condition score with health conditions related to overweight and obesity in cats[J]. *Journal of Small Animal Practice*, 2018, 22. DOI:10.1111/jsap.12905.
- [21] WOLFREYS A, HEPBURN P. Safety evaluation of phytosterol esters. Part 7. Assessment of mutagenic activity of phytosterols, phytosterol esters and the cholesterol derivative, 4-cholesten-3-one[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2002, 40(4): 461–470.
- [22] JONES P J, SHAMLOO M, MACKAY D S, et al. Progress and perspectives in plant sterol and plant stanol research[J]. *Nutrition Reviews*, 2018, 76(10): 725–746.
- [23] OGBE R J, OCHALEFU D O, MAFULUL S G, et al. A review on dietary phytosterols: their occurrence, metabolism and health benefits[J]. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2015, 5(4): 10–21.
- [24] GHAEDI E, VARKANEH H K, RAHMANI J, et al. Possible anti-obesity effects of phytosterols and phytostanols supplementation in humans: a systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Phytotherapy Research*, 2019, 33(5): 1246–1257.
- [25] BAÑÜLS C, MARTÍNEZ-TRIGUERO M L, LÓPEZ-RUIZ A, et al. Evaluation of cardiovascular risk and oxidative stress parameters in hypercholesterolemic subjects on a standard healthy diet including low-fat milk enriched with plant sterols[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2010, 21(9): 881–886.
- [26] BECKER D J, FRENCH B, MORRIS P B, et al. Phytosterols, red yeast rice, and lifestyle changes instead of statins: a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial[J]. *American Heart Journal*, 2013, 166(1): 187–196.
- [27] PALLOTTO M R, DE GODOY M R, HOLSCHER H D, et al. Effects of weight loss with a moderate-protein, high-fiber diet on body composition, voluntary physical activity, and fecal microbiota of obese cats[J]. *American Journal of Veterinary Research*, 2018, 79(2): 181–190.
- [28] JORDAN E, KLEY S, LE N A, et al. Dyslipidemia in obese cats [J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2008, 35(3): 290–299.
- [29] HOENIG M, PACH N, THOMASETH K, et al. Cats differ from other species in their cytokine and antioxidant enzyme response when developing obesity[J]. *Obesity*, 2013, 21(9): E407–E414.

(编辑:张雷, 747334055@qq.com)