

辣椒抽提物对缓解小鼠食源性肥胖及调控基因表达的作用

丁城, 梁言, 田敏, 胡梦阳, 胡勇

(湖北工业大学生物工程与食品学院, 工业发酵湖北省协同创新中心, 湖北省食品发酵工程技术研究中心, 湖北武汉 430068)

摘要: 本文比较了二荆条辣椒乙醇抽提物与纯化的辣椒碱对食源性小鼠肥胖的影响, 为辣椒抽提物减肥提供理论依据。C57BL/6小鼠被分为四组, 分别为对照组、肥胖组(喂食高脂饲料)、辣椒醇提取物组(辣椒抽提物+高脂饲料)、辣椒碱组(纯化的辣椒碱+高脂饲料)。结果表明, 与纯化的辣椒碱相比, 辣椒提取物更加有效地抑制体重增加, 减少脂肪积累、减小脂肪细胞大小, 降低血清、肝脏和粪便甘油三酯(TG)和总胆固醇(TC)的含量。在肝脏和脂肪组织中, 脂分解基因(PPAR α 、CYP7A1、LPL和CPT1 α)在肥胖组显著下降, 但在辣椒醇提取物组和辣椒碱组的显著上调, 并且辣椒醇提取物组上调程度更高; 促脂合成基因PPAR γ 和C/EBP α 在肥胖组、辣椒醇提取物组和辣椒碱组都上调, 但辣椒醇提取物组的上调程度最小。因此, 辣椒提取物和辣椒碱都能起到减肥作用, 但是辣椒提取物效果更好。

关键词: 辣椒; 减肥; 基因; 辣椒碱; 抽提

文章编号: 1673-9078(2017)5-1-6

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.001

Inhibitory Effects of Pepper Extract on High-fat Diet-induced Obesity and Gene Expression in Mice

DING Cheng, LIANG Yan, TIAN Min, HU Meng-yang, HU Yong

(Bioengineering and Food College, Hubei Collaborative Innovation Center for Industrial Fermentation, Research Center of Food Fermentation Engineering and Technology of Hubei, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: The aim of this study was to compare the effects of an ethanol extract of Erjingtiao pepper and purified capsaicin on high-fat diet-induced obesity in mice, and the study provided a theoretical basis for alleviation of high-fat diet-induced obesity by the pepper extract. C57BL/6 mice were subdivided into four groups: normal control group (n=ten), high-fat diet group (n=ten), pepper extract + high-fat diet group (n=ten), and purified capsaicin + high-fat diet group (n=ten). The results showed that compared with purified capsaicin, the pepper extract more effectively suppressed the body weight gain of the mice, decreased fat accumulation and adipocyte size, and reduced the levels of total cholesterol (TC) and triglycerides (TGs) in serum, liver, and feces. In the liver and adipose tissues, the expression levels of lipid degradation genes [proliferator-activated receptor α (PPAR α), cholesterol 7 α -hydroxylase (CYP7A1), lipoprotein lipase (LPL), and carnitine palmitoyltransferase 1 α (CPT1 α)] were significantly decreased in the high-fat diet group, and were significantly increased in the pepper extract + high-fat diet group and purified capsaicin + high-fat diet group. The increased expression of these genes in the pepper extract + high-fat diet group was even higher than that in the purified capsaicin + high-fat diet group. Lipid synthesis-activating genes [proliferator-activated receptor γ (PPAR γ) and CCAAT/enhancer binding protein α (C/EBP α)] were upregulated in the high-fat diet group, pepper extract + high-fat diet group, and purified capsaicin + high-fat diet group, but the pepper extract + high-fat diet group showed the smallest increase. Therefore, both the pepper extract and capsaicin can alleviate obesity, but the pepper extract has a better effect.

Key words: pepper; weight loss; gene; capsaicin; extract

收稿日期: 2016-07-08

基金项目: 湖北省大学生创新创业训练计划项目(201410500019); 湖北省自然科学基金项目(2015CFB678); 湖北省教育厅科学技术研究计划青年人才项目(Q20151412); 湖北工业大学博士启动基金项目(BSQD10036)

作者简介: 丁城(1991-), 男, 硕士, 主要从事食品发酵、食品微生物方面研究; 梁言(1995-), 男, 学士, 主要从事食品发酵, 食品加工研究(共同第一作者)

通讯作者: 胡勇(1980-), 男, 讲师, 博士生导师, 主要从事醋酸菌等工业微生物遗传学、基因组学和代谢组学特征方面的研究

如今,肥胖已经成为普遍的健康问题,主要是营养过剩和缺乏运动导致机体代谢失衡,造成脂肪的积累。肥胖患者一般容易患有高血压、高血脂和糖尿病等疾病^[1]。在2010年,美国超重和肥胖人群已经达到22%,全球有1.4亿人受到肥胖问题的困扰。最为严重的是,肥胖已经低龄化,据报道,儿童肥胖的人数已经超过了4000万^[2]。在我国,肥胖问题也日益严重,肥胖人数不断增加,在2011年,肥胖和超重人群已达到45.6%^[3]。为了解决和治疗肥胖问题,全世界各个国家都投入了大量精力^[4]。据有关数据表明:1988年美国投入了785亿美元,用于治疗肥胖和超重问题^[5]。肥胖问题已经越来越严重,对于减肥物质的需求也在不断增大。因此,开发有效的减肥物质意义重大。

辣椒属于茄科类植物,含有大量的活性物质,如辣椒碱、辣椒红素、维生素C和类黄酮等物质^[6]。近些年,辣椒不仅仅再是作为调味品使用,其活性功效已经被广泛关注。例如,辣椒具有抑制肿瘤作用、抑菌抗炎作用、镇痛作用、防治心血管疾病作用及预防胃溃疡等功效已经被证实^[7]。辣椒被认为是加快脂肪代谢的重要食物,也有相关报道,长期食用辣椒也可以起到一定的减肥作用。辣椒中的辣椒碱在减肥方面有着极其重要的地位^[8]。因此,辣椒对减肥作用的研究具有很大的意义。目前,关于辣椒提取物对于减肥功效系统的研究报道尚少。

本实验以辣椒为研究对象,制取辣椒提取物,建立营养性肥胖模型小鼠,与提纯的辣椒碱进行比较,进行减肥功效的实验研究,为其进一步开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验材料

二荆条干红辣椒:采购于武汉市武昌区某集贸市场;高脂饲料和基础饲料:采购于湖北省实验室动物研究中心;高脂饲料1:高脂饲料+辣椒提取物,实验室制备;高脂饲料2:高脂饲料+辣椒碱,实验室制备。

实验动物:SPF级雄性C57BL/6小鼠,小鼠许可证号:SCXK(鄂)2015-0018湖北省实验室动物研究中心。

1.1.2 实验试剂

苏木素、无水乙醇、包埋石蜡、甘油三酯(TG)试剂盒、总胆固醇(TC)试剂盒和伊红Y(水溶性)等试剂。

1.1.3 主要实验仪器

MuLtskan MK3全自动酶标仪,Thermo scientific; CRJ-130D-1多功能电热锅,广州PHEPELI;载玻片及盖玻片,江苏世泰实验器材有限公司;荧光定量PCR仪,USA Applied Biosystems;Leica RM 2016轮转式切片机,德国;HK-10B粉碎机,广东旭朗机械有限公司;JK-6组织摊烤片机,上海易智科技发展有限公司等仪器。

1.2 实验方法

1.2.1 辣椒提取物的制备

将干红辣椒粉碎,称取200g辣椒粉放入锥形瓶中,再向锥形瓶加入1000mL的70%乙醇,混匀,用保鲜膜封口,置于50℃恒温水浴提取2h。过滤,收集滤液,将滤渣收集再用500mL乙醇提取1h,过滤合并滤液,再用旋转蒸发仪进行浓缩,将得到的浓缩液体冷冻干燥,得到的粉末备用。辣椒提取物主要含有0.35mg/g辣椒碱,150.38μL/g辣椒红素,5.71μL CE(儿茶素)/g类黄酮和61.34mg GAE(没食子酸)/g多酚。

辣椒碱提纯的方法参考于游见明等^[9]的辣椒碱提纯方法。

1.2.2 动物实验饲养

将40只小鼠放入温度、湿度和电光可控的饲养房。饲养期间自由吃食和饮水,温度保持在20~23℃,湿度保持在40%~60%,照明按12h/12h控制,保持生长环境干净,定期清洗鼠笼。所有小鼠先用基础饲料喂食7d适应周围环境,7d后分组进行实验。

1.2.3 肥胖模型建立

将喂食7d小鼠,随机抽取10只,喂食基础饲料,作为对照组;其余喂食高脂饲料。在肥胖建模期间,每周测定一次小鼠体重,观察小鼠体重的变化。喂食高脂饲料的小鼠平均体重与对照组比较,体重增重20%以上则说明肥胖模型建立成功^[10]。

1.2.4 实验分组

将建模好的30只小鼠,随机分为3组,每组10只,分别喂食高脂饲料作为肥胖模型组;高脂饲料1(高脂饲料+辣椒提取物)作为辣椒醇提物组;高脂饲料2(高脂饲料+提纯辣椒碱)作为辣椒碱组,辣椒碱组和辣椒提取物组喂食的辣椒碱含量一致(占饲料的0.05%)。

1.2.5 辣椒提取物降血脂减肥实验检测指标

1.2.5.1 小鼠进食量和饮水量的变化

实验期间,每天各组小鼠初始给饲料200g,24h后称量剩余饲料,记录每组小鼠的进食量。实验期间,每天各组小鼠初始给水200mL,24h后记录各组剩余

水体积数。

1.2.5.2 小鼠体重变化及 Lee's 指数的影响

小鼠喂食基础饲料一周, 适应饲养环境后, 统计小鼠体重和实验结束时体重, 观察小鼠体重的变化; 将小鼠麻醉, 测量体长 (鼻子至肛门的长度), 计算 Lee's 值。

1.2.5.3 肝脏及周围脂肪重量测定

将小鼠解剖, 取肝脏、腹部脂肪、附睾脂肪、肾脏周围脂肪、腹网膜脂肪和皮下脂肪, 称重, 计算肝脏、脂肪/体比($\times 10^{-2}$ g/g)。

1.2.5.4 粪便、肝脏和血清中 TC 和 TG 测定

按照南京建成生物工程研究所生产的甘油三酯 (TG) 和总胆固醇 (TC) 试剂盒进行测定。

1.2.5.5 脂肪细胞 HE 染色

取一小块脂肪组织, 用 4%多聚甲醛进行固定、

24 h 后用石蜡包埋、切片 (冷冻下) 和 HE 染色, 在 200 倍显微镜下计数全视野脂肪细胞个数(HBF), 测量脂肪细胞的最大长径、宽径及平均面积。

1.2.5.6 脂肪和肝脏 RNA 提取

取 0.5 g 组织, 匀浆破碎后加 1 mL Trizol, 裂解细胞; 加入氯仿, 两相分离、离心、沉淀、溶解和稀释, 得到 RNA, RNA 浓度用紫外分光光度计测定。样品放于-20 °C 储存。

1.2.5.7 RT-PCR 和荧光定量 PCR

提取的 RNA 通过 RT-PCR 逆转录得到 DNA 作为荧光定量 PCR 模板。程序: 42 °C、60min, 95 °C、5min。取 PCR 板(96 孔), 加入 2 μ L 的模板, 10 μ L 的染料, 0.8 μ L 引物 (表 1) 和 7.2 μ L DEPC, 然后, 用荧光定量 PCR 仪进行测定。荧光定量 PCR 程序: 95 °C、5 s; 60 °C、15 s; 72 °C、10 s, 45 个循环。

表1 荧光定量PCR引物序列

Table 1 Primer sequences used for quantitative real-time PCR

基因	引物序列
CYP7A1	5'-AGC AAC TAA ACA ACC TGC CAG TAC TA -3' (forward primer, F)
	5'-GTC CGG ATA TTC AAG GAT GCA -3' (reverse primer, R)
PPAR γ	5'-AGG CCG AGA AGG AGA AGC TGT TG- 3' (forward primer, F)
	5'-TGG CCA CCT CTT TGC TGT GCT C -3' (reverse primer, R)
PPAR α	5'-CCT CAG GGT ACC ACT ACG GAG T-3'(forward primer, F)
	5'-GCC GAA TAG TTC GCC GAA-3' (reverse primer, R)
CPT1 α	5'-AAA GAT CAA TCG GAC CCT AGA CA-3' (forward primer, F)
	5'-CAG CGA GTA GCG CAT AGT CA-3' (reverse primer, R)
GAPDH	5'-ACC CAG AAG ACT GTG GAT GG-3' (forward primer, F)
	5'-ACA CAT TGG GGG TAG GAA CA-3' (reverse primer, R)
LPL	5'-AGG GCT CTG CCT GAG TTG TA-3' (forward primer, F)
	5'-AGAAAT CTC GAA GGC CTG GT-3' (reverse primer, R)
C/EBP α	5'-TGG ACA AGA ACA GCA ACG AGT AC-3' (forward primer, F)
	5'-GCA GTT GCC CAT GGC CTT GAC-3' (reverse primer, R)

1.2.5.8 统计

所有数据采用 SPSS 进行分析, 结果用($\bar{x}\pm s$)表示, 比较组间差异。

2 结果与讨论

2.1 小鼠能量摄取和饮水量的变化

辣椒醇提取物组、肥胖组、对照组和辣椒碱组小鼠能量摄取和饮水量如图 1 和图 2 所示, 结果显示: 辣椒碱组和辣椒醇提取物组与肥胖组和对照组比较, 小鼠能量摄取和饮水量无显著性差异, 说明辣椒提取物和辣椒碱对小鼠的能量摄取和饮水量没有显著影响。

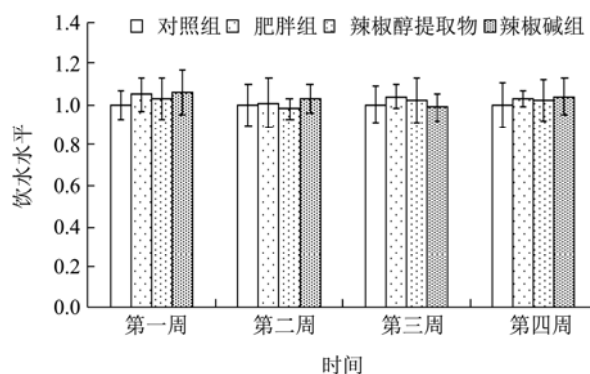


图1 各组小鼠饮水量变化

Fig.1 Changes in water intake of mice

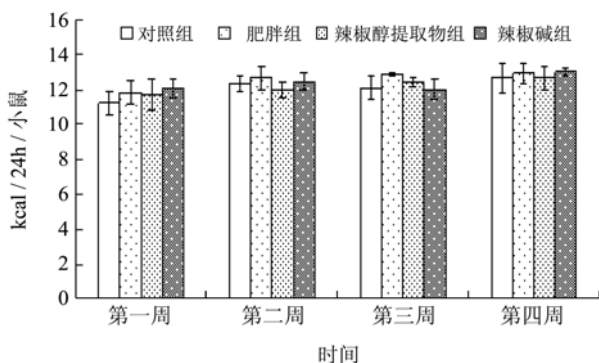


图2 各组小鼠能量摄取变化

Fig.2 Changes in daily caloric intake of mice

表2 辣椒提取物对肥胖小鼠的体重和 Lee's 指数变化

Table 2 Effects of pepper extract on the body weight and Lee's index of mice

分组	初始体重/g	处死体重/g	增重/g	Lee's 指数
对照组	20.17±1.45 ^a	25.33±0.96 ^a	5.16±0.78 ^a	241.91±3.17 ^a
肥胖组	20.73±0.98 ^b	31.27±1.32 ^b	10.54±0.98 ^b	263.72±2.84 ^b
辣椒醇提取物组	21.02±1.03 ^b	28.16±1.16 ^c	7.14±1.21 ^a	247.51±3.59 ^c
辣椒碱组	20.86±1.24 ^a	29.78±0.58 ^d	8.92±1.01 ^d	253.11±2.73 ^c

注: 同列不同字母表示组间显著差异 ($p < 0.05$), 下同。

2.2 小鼠体重变化及 Lee's 指数

各组小鼠的体重及 Lee's 指数的变化如表 2 所示, 肥胖组体重与对照组比较, 体重显著增加。而辣椒醇提取物组和辣椒碱组与对照组相比较, 体重无显著性; 辣椒醇提取物组和辣椒碱组与肥胖组比较, 体重显著降低; 辣椒碱组和辣椒醇提取物组比较, 辣椒碱组体重显著增加。Lee's 指数是反映了小鼠肥胖的程度, 辣椒醇提取物组和辣椒碱组之间没有显著差异, 但是和肥胖组相比较, 辣椒醇提取物组 Lee's 指数显著降低。因此, 辣椒提取物和辣椒碱抑制了小鼠体重增长的速度, 并且辣椒醇提取物的效果好于辣椒碱。

2.3 肝脏及周围脂肪重

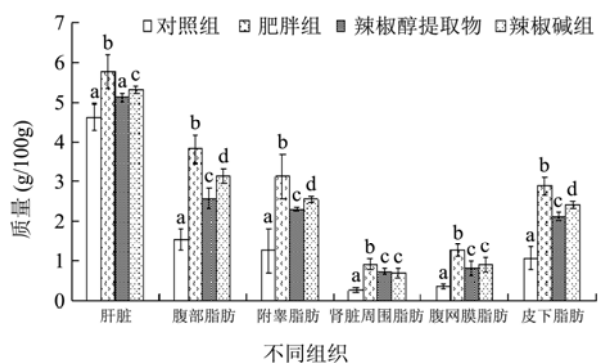


图3 肝脏及不同部位脂肪重量

Fig.3 Weights of liver and fat of different body parts

每组小鼠的肝脏和不同部位脂肪重量如图 3 所示, 肥胖组、辣椒碱组和辣椒醇提取物组的腹部脂肪、附睾脂肪、肾脏周围脂肪、腹网膜脂肪和皮下脂肪都显著高于对照组。辣椒醇提取物组与对照组比较, 肝重无显著性; 但辣椒碱组和辣椒醇提取物组与肥胖组比较, 肝重和不同部位的脂肪重量明显较低。辣椒碱组与辣椒醇提取物组比较, 肝重、腹部脂肪、附睾脂肪和皮下脂肪显著升高, 但是肾脏周围脂肪、腹网膜脂肪无显著性差异。说明辣椒提取物和辣椒碱能够有效的降低体脂的含量和抑制脂肪的积累, 但辣椒提取物的效果优于辣椒碱。

2.4 粪便、肝脏和血清中 TC 和 TG 测定

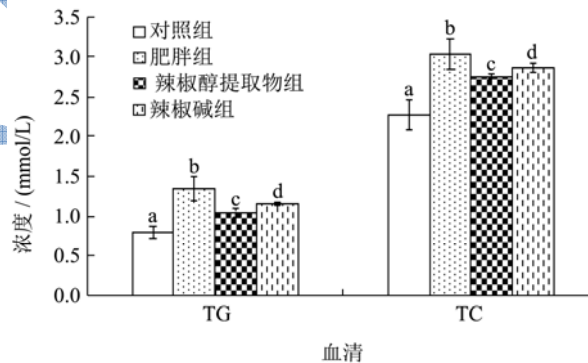


图4 血清中 TG 和 TC 的浓度

Fig.4 TG and TC concentrations in the serum

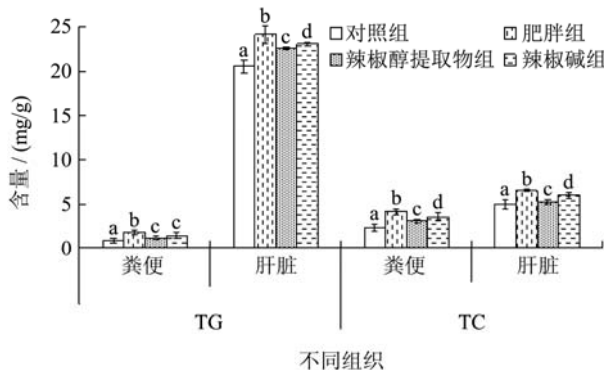


图5 粪便和肝脏的 TG 和 TC 的含量

Fig.5 TG and TC concentrations in the liver and feces

小鼠血清、肝脏和粪便的甘油三酯(TG)和总胆固醇(TC)的浓度如图4和5所示。在血清中,不同喂食高脂组和对照组比较, TG和TC浓度有显著性差异, 辣椒醇提取物组和辣椒碱组与肥胖组比较, TG和TC浓度显著降低。

粪便中, 与对照组比较, 肥胖组TG和TC浓度都显著升高, 而辣椒醇提取物组和辣椒碱组, TG浓度无显著性, 但是TC浓度有显著性差异; 辣椒醇提取物组和辣椒碱组与肥胖组比较, TG和TC浓度显著降低; 辣椒碱组和辣椒醇提取物组比较, TG浓度无显著性, 但是TC浓度显著性升高。

肝脏中, 肥胖组、辣椒碱组和辣椒醇提取物组TG和TC浓度与对照组比较显著升高; 辣椒醇提取物组和辣椒碱组与肥胖组比较, TG和TC浓度也具有显著性差异。在血清, 粪便和肝脏中, 辣椒醇提取物组更有效地降低了TG和TC浓度。因此, 说明了肥胖组能引起血清、肝脏和粪便TG和TC含量升高, 而辣椒提取物具有一定降低血清、肝脏和粪便TG和TC含量的作用。

2.5 辣椒提取物对脂肪细胞的影响

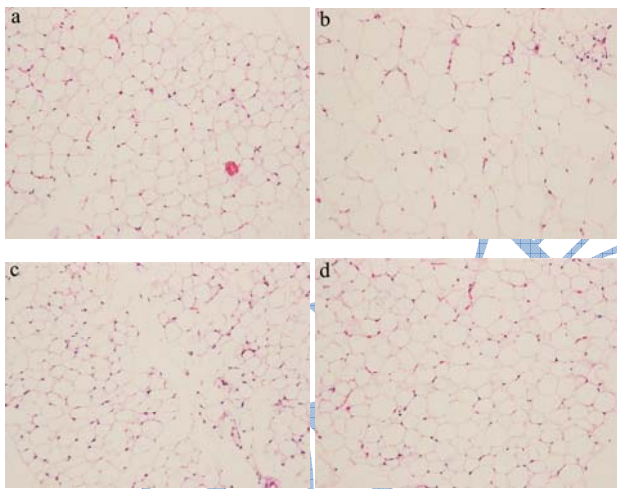


图6 辣椒提取物对于脂肪细胞的影响

Fig.6 Effects of the pepper extract on fat cells of rats (magnification ×200)

注: a, 对照组; b, 肥胖组; c, 辣椒醇提取物组; d, 辣椒碱组。

图6可知, 与对照组比较, 肥胖组、辣椒碱和辣椒醇提取物组细胞大小差异悬殊。辣椒醇提取物组、辣椒碱组和肥胖组的脂肪细胞体积明显大于对照组, 相同视野下脂肪细胞数目少于对照组; 与肥胖组相比较, 辣椒醇提取物组视野内的脂肪细胞数目明显增多, 脂肪细胞体积明显减小; 与辣椒碱组比较, 辣椒碱组脂肪细胞大于辣椒醇提取物组。表明了辣椒提取物更有效地提高小鼠体内脂肪组织氧化分解, 使脂肪细胞变小, 抑

制脂肪细胞的增大。

2.6 脂肪和肝脏中基因水平表达

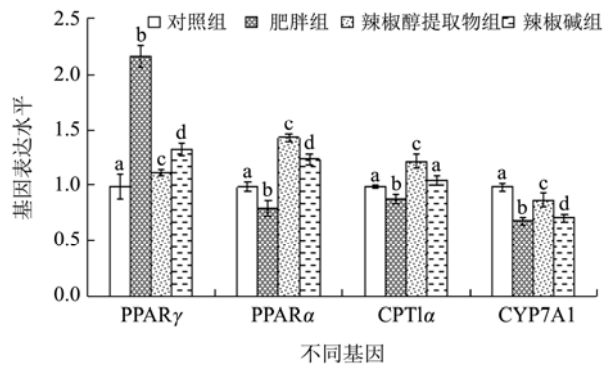


图7 肝脏中基因表达水平

Fig.7 Gene expression in the liver of the mice

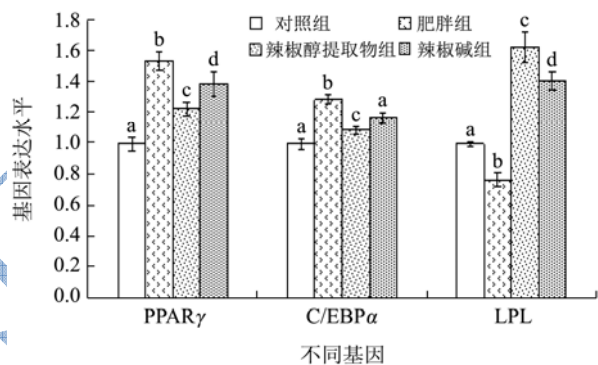


图8 脂肪组织中基因表达水平

Fig.8 Gene expression in the adipose tissue of the mice

为了探究辣椒提取物对减肥机制的影响, 测定了脂肪代谢相关基因的表达, 肝脏中测定了PPAR γ 、PPAR α 、CPT1 α 和CYP7A1基因表达量; 脂肪组织中测定了PPAR γ 、LPL和C/EBP α 基因表达量。

PPAR α 、CPT1 α 、LPL和CYP7A1具有促进脂降解作用^[11,12], 而PPAR γ 和C/EBP α 具有协同促进脂肪合成作用^[13]。由图7可知, 肥胖组、辣椒醇提取物组和辣椒碱组与对照组比较, 肥胖组和辣椒碱组PPAR γ 基因表达显著升高, 辣椒醇提取物组无显著性差异; 辣椒醇提取物组与肥胖组比较, PPAR γ 基因表达都显著下降, 但与辣椒醇提取物组比较, 辣椒碱组PPAR γ 基因表达显著升高, 此外, 辣椒碱组PPAR α 、CPT1 α 和CYP7A1基因表达显著下降。

图8显示了在脂肪组织中基因表达量, 与对照组比较, 肥胖组和辣椒醇提取物组PPAR γ 和C/EBP α 基因表达量都显著增加; 辣椒碱组PPAR γ 基因表达量显著增加, 但C/EBP α 表无显著性差异; 与肥胖组相比较, 辣椒碱组和辣椒醇提取物组PPAR γ 和C/EBP α 基因表达量显著下降; 与辣椒醇提取物组比较, 辣椒碱组PPAR γ 和C/EBP α 基因表达量显著增加, LPL基因表达量却显著

下降。

Zhang等人报道辣椒碱能够显著降低PPAR γ 基因表达量^[14]，然而肥胖的本质是能量与营养过剩的平衡。脂肪主要的是储蓄过多的能量与提供能量，因此，辣椒醇提取物中可能含有其他物质也能降低PPAR γ 基因表达，辣椒醇提取物和辣椒碱通过增加能量的消耗与减少油脂的形成，导致脂肪组织重量的减少。辣椒碱能提高葡萄糖的稳定和增加脂肪酸的氧化供能，因为辣椒醇提取物和辣椒碱提高PPAR α 表达量和激活了CPT1 α ，从而提高了脂肪酸氧化作用，促进了能量的消耗，导致脂肪的积累。CYP7A1能过刺激总胆固醇转化为胆汁酸，减少总胆固醇的含量^[15]，同时，辣椒素类物质能够提高CYP7A1在肝脏中表达，这些结果表明了，辣椒醇提取物含有某些物质也能促进CYP7A1表达，同时，基因的表达也与测定总胆固醇含量趋势大致一致。除了辣椒碱以外，一些天然物质也对食源性肥胖有着重要的作用。Natthan Nukitragan等人报道，多酚类物质也许对肥胖活动有着极其重要的联系，但是怎样调控肥胖需要进一步研究。

这些结果表明，辣椒醇提取物和辣椒碱能够影响小鼠的基因表达量和调控代谢，起到减肥的作用，但是辣椒醇提取物的效果好于单一的辣椒碱。这可能是辣椒醇提取物含有其他物质也能调控肥胖活动，如多酚类物质。因此，这些结果可以为以后开发辣椒减肥产品，提供相关依据。

3 结论

3.1 实验结果表明，小鼠能量摄取无显著性差异，这表明主要通过能量消耗而达到减肥效果。辣椒醇提取物组和辣椒碱组可以显著降低血清、肝脏和粪便中的甘油三酯(TG)和总胆固醇(TC)的含量，减少小鼠体重和Lee's指数，提高小鼠体内脂肪组织氧化分解，使脂肪细胞变小，抑制脂肪细胞的增大。

3.2 为了探讨相关机理，检测了肝脏和脂肪中相关脂质代谢基因。在肝脏和脂肪中，辣椒碱组和辣椒醇提取物组比较，辣椒碱组PPAR γ 和C/EBP α 显著升高($p < 0.05$)，PPAR α 、CPT1 α 和CYP7A1显著下降($p < 0.05$)。说明辣椒醇提取物和辣椒碱能够影响肥胖调控基因，而到抑制肥胖的作用，但是辣椒醇提取物组和辣椒碱组比较，辣椒醇提取物对缓解食源性肥胖效果最好，这可能是由于辣椒提取物中含有其他的物质，也能起到减肥的作用，因此，导致辣椒提取物效果好于纯辣椒碱。

参考文献

- [1] Crowley V E F. Overview of human obesity and central mechanisms regulating energy homeostasis [J]. *Annals of Clinical Biochemistry*, 2008, 45(3): 245-255
- [2] Vosselman M J, Van Marken Lichtenbelt W D, Schrauwen P. Energy dissipation in brown adipose tissue: from mice to men [J]. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 2013, 379(1): 43-50
- [3] 倪国华,张璟,郑风田.中国肥胖流行的现状与趋势[J].*中国食物与营养*,2013,19(10):70-74
NI Guo-hua, ZHANG Jing, ZHENG Feng-tian. The present situation and future trend of China's obesity [J]. *Food and Nutrition in China*, 2013, 19(10): 70-74
- [4] Colditz Ga. Economic costs of obesity and inactivity [J]. *Med. Sci. Sports Exercise*, 1999, 31: S663-S667
- [5] Finkelstein E A, Fiebelkorn I C, Guijing W. National medical expenditures attributable to overweight and obesity: How much, and who's paying? [J]. *Health Affairs*, 2003, 22(4): 8-8
- [6] Bae H, Jayaprakasha G K, Jifon J, et al. Extraction efficiency and validation of an HPLC method for flavonoid analysis in peppers [J]. *Food Chemistry*, 2012, 130(3): 751-758
- [7] 帅天罡,陆红佳,胡益侨,等.辣椒营养保健功能与加工利用进展[J].*中国调味品*,2014,39(8):125-128
SHUAI Tian-gang, LU Hong-jia, HU Yi-qiao, et al. The chilli nutrition health care function and processing utilization [J]. *China Condiment*, 2014, 39(8): 125-128
- [8] Powell S C. Red pepper as a probe for obesity [J]. *Journal of Proteome Research*, 2010, 9(6): 2797-2797
- [9] 游见明,刘芳.辣椒碱提纯及对四种基本味道阈值的影响[J].*中国调味品*,2010,12(35):48-50
YOU Jian-Ming, LIU Fang. Purification of capsaicin and the influence of the four basic taste threshold [J]. *China Condiment*, 2010, 12(35): 48-50
- [10] 卫生部卫生监督司.保健食品功能学评价程序与检验方法规范[M].北京:中国卫生出版社,2003
The ministry of health of health supervision. Health food function evaluation procedures and inspection method specification [M]. Beijing: China's health publishing house, 2013
- [11] Mun J M, Ok H M, Kwon O. Corn gluten hydrolysate and capsaicin have complimentary actions on body weight reduction and lipid-related genes in diet-induced obese rats [J]. *Nutrition Research*, 2014, 34(5): 458-465
- [12] Nukitragan N, Okabe T, Toda T, et al. Effect of *Peucedanum japonicum* thunb extract on high-fat diet-induced obesity and gene expression in mice [J]. *Journal*

- of *Oleo Science*, 2012, 61(2): 89-101
- [13] Yeh W C, Cao Z, Classon M, et al. Cascade regulation of terminal adipocyte differentiation by three members of the C/EBP family of leucine zipper proteins [J]. *Genes Dev.*, 1995, 9(2): 168-81
- [14] Zhang L L, Liu D Y, Ma L Q, et al. Activation of transient receptor potential vanilloid Type-1 channel prevents adipogenesis and obesity [J]. *Circulation Research*, 2007, 100(7): 1063-1070
- [15] Vlahcevic Z R, Pandak W M, Stravitz R T. Regulation of bile acid biosynthesis [J]. *Gastroenterology Clinics of North America*, 1999, 28(1): 1-25

现代食品科技