

红茶水提物对小鼠肥胖及肠道微生物的影响

汪长钢¹, 贾红亮¹, 于佳弘², 张佳霖³

(1. 北京农业职业学院, 北京 102442; 2. 威海海洋职业学院, 山东威海 264300; 3. 吉林省轻工业研究院, 吉林长春 130021)

摘要 [目的]研究红茶水提物对小鼠肥胖和肠道微生物的影响。[方法]根据体重相近原则,将实验小鼠分为对照组(CK)、高脂模型组(HFD)、高脂+2.5%红茶水提物(R2.5)、高脂+5%红茶水提物(R5)、高脂+10%红茶水提物(R10)5组,每组6只,喂养56 d。测定小鼠基础指标和血清指标,并通过高通量测序技术研究小鼠肠道微生物菌属相对丰度变化。[结果]不同剂量红茶水提物处理小鼠的体重、体脂率、皮下脂肪率均降低,血清中TG、TC、LDL-C含量降低,且R5处理的效果显著,加大剂量仍能取得相同效果。红茶水提物处理后,小鼠的皮下脂肪率和肝重变化不明显。LefSe分析结果显示,肥胖模型小鼠 *Akkermansia* 菌属丰度低于CK,且有害菌 *Bifidobacterium* 丰度增加。结合3组小鼠肠道微生物分析,显示 *Parabacteroides* 菌属相对丰度随着红茶提取物剂量的上升逐渐下降, *Prevotellaceae* 菌属相对丰度随着红茶水提物剂量的上升而上升。R5组小鼠的 *Akkermansia* 菌属相对丰度显著提高,随着红茶水提物剂量的提升, *Akkermansia* 菌属相对丰度没有显著变化。[结论]红茶水提物可以有效缓解小鼠肥胖,能显著影响小鼠肠道中 *Parabacteroides*、*Prevotellaceae*、*Akkermansia* 的含量。

关键词 红茶水提物;肥胖;肠道微生物; *Parabacteroides*; *Akkermansia*

中图分类号 TS272.5⁺2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)19-0147-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.039



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Dose Effects of Black Tea Water Extract on Obesity and Intestinal Microbes in Mice

WANG Chang-gang¹, JIA Hong-liang¹, YU Jia-hong² et al (1. Beijing Agricultural Vocational College, Beijing 102442; 2. Weihai Ocean Vocational and Technical College, Weihai, Shandong 264300)

Abstract [Objective] The effect of black tea water extract on obesity and intestinal microbes in mice was studied. [Method] According to the principle of similar body weight, the experimental mice were divided into 5 groups with 6 mice in each group. The five groups were treated separately, followed by the control group (CK), the high-fat model group (HFD), the high-fat+10.5% black tea water extract (R2.5), the high-fat+5.0% black tea water extract (R5), and the high-fat+10.0% black tea water extract (R10), feeding for 8 weeks. Determine the basic indicators and serum indicators of mice, and use high-throughput sequencing technology to study the relative abundance of mouse gut microbes. [Result] The results showed that the body weight, body fat percentage, and subcutaneous fat percentage of mice were reduced after treatment with different doses of black tea water extract, and the serum TG, TC, LDL-C content decreased, and the black tea water extract dose was 5% effective obviously, the same effect can still be obtained by increasing the dose. After the black tea water extract was treated, the subcutaneous fat rate and liver weight of the mice did not change significantly. The results of LefSe analysis showed that the abundance of *Akkermansia* in obese model mice was lower than that in control mice, and the abundance of harmful bacteria *Bifidobacterium* increased. Combining the results of the intestinal microbial analysis of the three groups of mice, it was shown that the relative abundance of *Parabacteroides* gradually decreased with the increase of the black tea extract dosage, and the relative abundance of *Prevotellaceae* increased with the increase of the black tea water extract dosage. The results showed that the relative abundance of *Akkermansia* in mice in the R5 group was significantly increased, and the relative abundance of *Akkermansia* did not change significantly as the dose of black tea water extract increased. [Conclusion] Black tea water extract can effectively relieve obesity, and can significantly affect the contents of *Parabacteroides*, *Prevotellaceae*, and *Akkermansia* in the intestines of mice.

Key words Black tea water extract; Obesity; Intestinal microbes; *Parabacteroides*; *Akkermansia*

2016年,英国著名医学杂志《柳叶刀》发表了全球成人超重报告,数据显示,我国绝对肥胖人数已达到8960万,居世界第一。肥胖与心血管疾病(如高血压、糖尿病和冠心病)密切相关。较高的心血管发病率和死亡率也与肥胖密切相关^[1]。

红茶在我国有悠久的饮用历史,饮用红茶可以调节体内的脂肪代谢已被熟知^[2-5]。有研究显示,肥胖与人体中的肠道微生物密切相关^[6-7]。相关研究表明,高脂饮食可以诱导小鼠肥胖并改变其肠道微生物结构。绿茶、乌龙茶和红茶的茶汤均可影响小鼠肠道微生物的结构,其中30余种肠道微生物菌属相对含量显著改变,通过线性分析发现这些微生物

的变化与小鼠的肥胖密切相关^[8]。除此之外,科学家还通过临床干预试验研究喝茶对人体肠道微生物的影响。在体内干预试验中,选取不经常喝茶的人群,持续喝茶10 d停止,第7天测试受试对象肠道微生物,结果表明喝茶可以显著提高肠道中 *Bifidobacterium* 的相对丰度^[9]。但另一些科学家用绿茶对志愿者临床干预84 d,人体肠道微生物的组成并未改变^[10]。笔者通过高脂饲料构造小鼠肥胖模型,喂养不同剂量的红茶水提物,研究不同剂量红茶水提物对小鼠的体重、体脂率、皮下脂肪率和肝重的影响,分析小鼠血清中的高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)的变化,通过高通量测序技术,研究小鼠肠道中某些菌属相对丰度的变化,并通过梯度性的变化来观察是否起到相关作用,变化是否可持续并有剂量效益。

1 材料与方法

1.1 材料 实验动物采用C57BL/6J雄性小鼠。试验批准编号KY1700014,经过中国农业大学动物伦理委员会认可。

基金项目 北京市教委课题“红茶、绿茶提取物对肠道微生物影响的研究”(KM201612448004);特色高水平院校建设项目-打造技术创新平台-食品营养与安全应用技术协同创新中心(PXM2021-157102-000005)。

作者简介 汪长钢(1986—),男,安徽宣城人,副教授,从事食品加工及食品检测相关工作。

收稿日期 2021-03-03

实验小鼠购买于北京维通利华实验动物技术有限公司,小鼠4周龄SPF级C57BL/6J雄性小鼠。饲料分为基础饲料、对照饲料(脂肪供能占10%,货号H10010)、高脂饲料(脂肪供能占60%,货号H10060),均购自北京华阜康生物科技股份有限公司。饲料主要成分:酪蛋白、糊精、蔗糖、纤维素、豆油、猪油、多矿、多维、胆碱。红茶,市售。

红茶水提物的制备:取1 kg红茶(市售),用10 L开水浸泡提取15 min,反复提取3次,过滤液浓缩干燥,磨粉。

1.2 仪器与设备 万分之一分析天平:上海精密科学仪器有限公司天平仪器,JA1203型;微量加样器:德国ependorf公司;低速台式大容量离心机:上海安亭科学仪器厂TDL-5-A;涡旋振荡器:海门市其林贝尔仪器制造有限公司,型号QL-901;电子天平:上海越平科学仪器有限公司,型号FA1004;直肠温度测量仪:深圳中仪大鹏有限公司AT210;水浴锅:北京市长风仪器仪表公司;电热恒温干燥箱:湖北省黄石市医疗器械厂,DFG-781型;4℃冰柜:青岛澳柯玛股份有限公司,SC-387NE。超纯水仪:厦门锐思捷生命科学有限公司,型号UNIQUE-R20。

1.3 试验方法

1.3.1 试验分组及小鼠肥胖模型的建立。小鼠试验前需经过7 d适应试验环境,适应期间小鼠饮水自由,喂食基础饲料。适应期过后,称重,剔除体重偏高或偏低的小鼠,最后根据体重相近原则,将实验小鼠分为5组,每组6只。5组分别是对照组(CK),高脂模型组(HFD),高脂+2.5%红茶水提物(R2.5),高脂+5.0%红茶水提物(R5),高脂+10.0%红茶水提物(R10),剂量的选择参照《中国居民膳食指南》(2018年)。3只/笼,自由进食,自由饮水,每7 d更换一次垫料,试验期56 d。CK喂养基础饲料和纯净水,模型组喂高脂饲料和纯净水,另外3组灌喂高脂饲料、纯净水和红茶水提物,动物试验在农业部转基因生物食用安全监督检验测试中心的动物房(合格证号:SYXK(京)2015-0045)进行,动物房为等级为SPF级。动物房管理:空气1 h交换15次,12 h黑夜,12 h光照。每日记录小鼠的摄食量,摄食量等于每天的给食量减去留剩量。

1.3.2 小鼠的基础指标测定。每7 d测定1次小鼠体重,试验结束计算HFD组的肥胖度,肥胖度等于HFD组实际平均体重和CK平均体重的差值与CK平均值的比值,以最终试验结束肥胖度大于20%,各肥胖指标均较正常对照具有显著性差异为造模成功。在整个试验周期中,1 d至少观察动物1

次,观察其表现特征,肢体行为及精神状态是否正常,是否有出现中毒和死亡的情况。每7 d对动物进行称重并记录,在试验末期绘制动物的生长曲线。试验结束后,解剖小鼠,对小鼠的肝脏、附睾脂肪、皮下脂肪称重,并计算体脂率(BFR)和皮下脂肪率(SFP)。

1.3.3 小鼠的生化指标测定。第8周结束试验,对试验小鼠断食,8 h后摘取眼球并取血。用1.5 mL离心管收集血液,静置血液2 h后,4 000 r/min离心15 min,离心后取上清,置于1.5 mL离心管中,所得为血清,然后测定血清指标:血清低密度脂蛋白(LDL-C)、血清高密度脂蛋白(HDL-C)、血清总甘油三酯(TG)、血清总胆固醇(TC)。中国人民解放军第306医院进行血生化指标的测定。

1.3.4 小鼠粪便的采集。在动物试验最后7 d,采集小鼠粪便作为宏基因组学分析材料。由于分析对象是小鼠粪便中的微生物,所以取粪便所用的2 mL离心管、镊子及鼠盒需提前在灭菌锅中灭菌。取便过程在SPF级动物房内完成。取便时,将小鼠单笼单只分开,约1 h后进行粪便采集。由于鼠的数量较多,取便时间较长,为了保证粪便中微生物的活性,取到的粪便放入无菌的2 mL离心管后要立即标号、盖紧管盖并投入液氮中,待所有小鼠的粪便采集完毕后,将粪便转移到-80℃冰箱保存。

1.3.5 小鼠粪便DNA提取。用粪便中细菌宏基因组DNA提取试剂盒(福德安,北京)提取小鼠粪便中的DNA,提取出的DNA送到诺禾致源生物信息科技有限公司进行宏基因组测序。

1.3.6 肠道微生物分析。利用宏基因组测序结果,经过数据处理后在Galaxy平台进行主要微生物变化分析。

1.4 数据分析 采用RStudio软件进行数据处理分析及绘图,所有结果通过数据可视化展示,并用Duncan多重比较分析各试验组之间的差异。

2 结果与分析

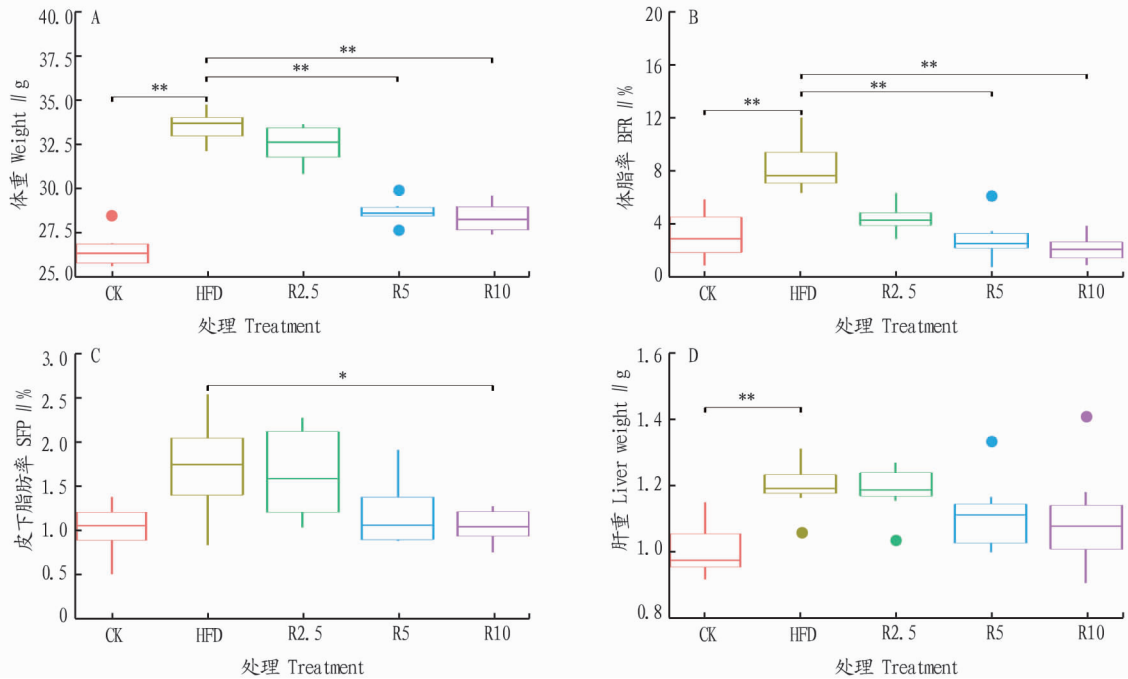
2.1 不同剂量红茶水提物对小鼠体重的影响 由表1可知,最初的小鼠体重基本相同,56 d时HFD小鼠与CK相比增重25.7%,表明试验建模成功。3组剂量红茶水提物的干预均对小鼠体重有影响,与HFD组相比,均不同程度降低了小鼠体重,其中R5和R10组对小鼠体重影响显著。随着干预时间的不断延长,干预效果越来越好,表明红茶水提物对小鼠肥胖有一定的抑制作用。

表1 红茶水提物对小鼠体重的影响($n=6, \bar{x} \pm s$)
Table 1 Effect of water extract of black tea on body weight of mice

处理 Treatment	初始体重 Initial weight	干预后体重 Body weight after intervention								增重 Weight gain
		7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d	56 d	
CK	22.8±1.0	23.2±1.1	23.9±1.4	24.3±1.1	24.9±1.2	25.4±1.2	25.9±1.4	26.4±1.4	26.8±1.2	4.0±0.2
HFD	22.8±0.6	24.6±0.9	25.7±1.0	27.1±1.0	28.7±2.7	30.2±1.6	31.3±2.0	32.8±2.0	33.7±1.6	10.9±1.0
R2.5	22.9±1.0	24.0±1.2	24.6±1.1	26.2±1.1	27.7±1.3	28.9±1.2	30.7±1.7	31.9±2.0	32.7±1.9	9.8±1.3
R5	23.0±0.7	21.8±1.1	23.5±0.6	24.5±1.3	25.6±0.9	26.5±0.5	27.6±0.6	28.1±0.6	28.9±0.3	5.9±0.8
R10	22.9±1.1	20.7±0.8	21.4±1.6	22.5±1.0	24.5±1.2	26.2±1.2	27.3±1.1	27.9±1.4	28.6±1.4	5.7±0.7

2.2 不同剂量红茶水提物处理组小鼠体重和脂肪含量差异分析 通过 RStuio 软件绘制 56 d 体重箱线图并进行差异性分析,由图 1A 可知,CK 和 HFD 组体重差异显著,不同剂量红茶水提物处理组显示出不同的效果,R2.5 虽然降低了体重但并不显著,R5 和 R10 组减重显著。从图 1B 和图 1C 可

以看出,体脂率之间的差异和体重相同,皮下脂肪率并不随着体重变化而变化,红茶水提物对皮下脂肪率没有影响。图 1D 显示,HFD 组与 CK 相比,肝重显著升高,红茶水提物组肝重无显著变化,但随着剂量的加大肝重反而降低。



注: * 表示差异显著($P < 0.05$); ** 表示差异极显著($P < 0.01$)

Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$); ** indicates extremely significant difference ($P < 0.01$)

图 1 红茶水提物对小鼠体重(A)、体脂率(B)、皮下脂肪率(C)、肝重(D)的影响

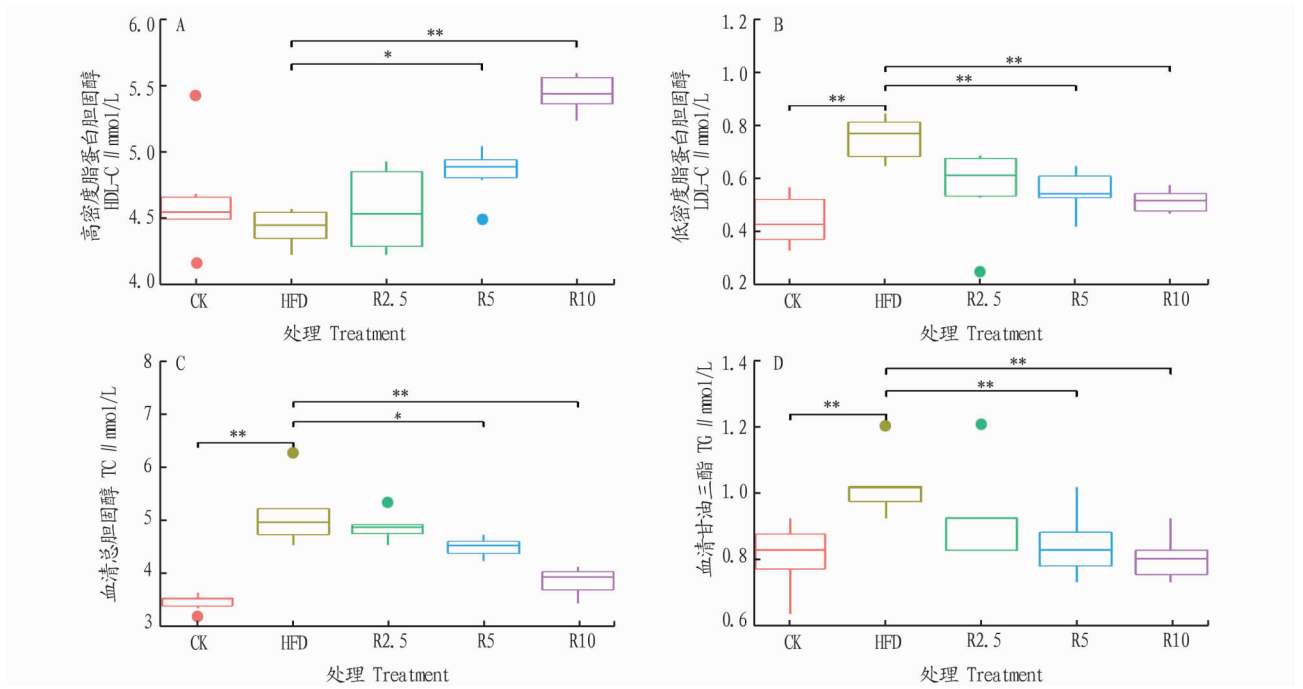
Fig. 1 Effects of black tea extract on body weight (A), body fat rate (B), subcutaneous fat rate (C) and liver weight (D) of mice

2.3 红茶水提物对小鼠血脂含量的影响 由图 2 可知,HFD 组小鼠 TC、TG 及 LDL-C 含量均显著高于 CK,说明高脂饮食的小鼠血脂代谢紊乱。由图 2A 可以看出,R5 和 R10 组的小鼠 HDL-C 水平显著高于 HFD 组。高密度脂蛋白胆固醇与心血管疾病的发病率和病变程度呈负相关,说明红茶可以降低心血管疾病的发病率。图 2B 显示,R5 和 R10 组的 LDL-C 显著降低,LDL-C 浓度与冠心病的发病率有明显正相关。图 2C 显示,R5、R10 组能显著降低 TC 含量,图 2D 显示中高剂量的红茶水提物能显著降低 TG 含量。

2.4 红茶水提物对小鼠肠道微生物的影响 取 8 周龄不同组别的小鼠粪便,提取 DNA,通过 16S rDNA 测序,测序结果进行 LefSe (LDA Effect Size) 分析。LefSe 是一种用于发现高维生物标识和揭示基因组特征的软件,能够利用测序数据找寻组间差异显著的物种。图 3 中的红色和绿色分别对应相同颜色菌属,并区分组别,黄色代表无显著差异,由内到外表示门、纲、目、科、属的物种分类水平。从图 3 可见,CK 与 HFD 组相比,CK 有 4 个菌属的丰度显著高于 HFD 组,分别是 *Bryobacter*、*Alloprevotella*、*Coprococcus_1*、*Akkermansia*。CK 组有 8 个菌属丰度显著低于 HFD 组,分别为 *Enterorhabdus*、*Bacillus*、*Jeotgalicoccus*、*Mac-roccoccus*、*Lactobacillus*、*Bilophila*、

Candidatus_Saccharimonas、*Lactococcus*。其中 *Akkermansia* 是在人类肠道中发现最常见的菌群,是一种有益的革兰氏阴性菌,能降解肠道内壁产生的多余黏蛋白(粘膜黏液),*Akk* 菌可以降解黏蛋白,同时会释放一种重要的短链脂肪酸(乙酸),乙酸可以发挥其厌食效应达到控制体重的作用。HFD 组小鼠肠道中 *Enterorhabdus*、*Bilophila* 等有害菌的丰度显著增加,其中 *Bilophila* 细菌能导致小鼠肠炎的发生。图 3 中,HFD 组和 R2.5 组比较,HFD 组有 6 个菌属的丰度显著高于 G2.5 组,有 11 个菌属的丰度显著少于 G2.5 组。G2.5 组 *Bacteroides*、*Bacillus*、*Lactococcus*、*Streptococcus*、*Lachnospiraceae_NK4B4_group*、*Erysipelatoclostridium* 菌属丰度显著减少,*Lachnospiraceae*、*Coriobacteriaceae*、*Oscillibacter* 等丰度显著增加。

由图 3 可知,R2.5 组与 R5 组相比,R2.5 组有 5 个菌属的丰度高于 R5 组,分别是 *Odoribacter*、*Parabacteroides*、*Rikenellaceae_RC9*、*Blautia*、*Tyzzereella*。*Alloprevotella*、*Akkermansia* 菌属的丰度低于 R5 组。R5 组与 R10 组相比,只有 *Parabacteroides* 菌属的丰度显著高于 R10 组,R10 组的 *Prevotellaceae_UCG_001*、*Family_XIII_UCG_001*、*Coprococcus_2*、*Lachnospiraceae*、*Ruminiclostridium_UCG_009*、*Erysipelatoclostridium* 等菌属丰度显著低于 R5 组。



注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)

Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$); ** indicates extremely significant difference ($P < 0.01$)

图 2 红茶水提取物对 HDL-C(A)、LDL-C(B)、TC(C) 和 TG(D) 的影响

Fig. 2 Effect of black tea water extract on HDL(A), TC(B), TC(C) and TG(D)

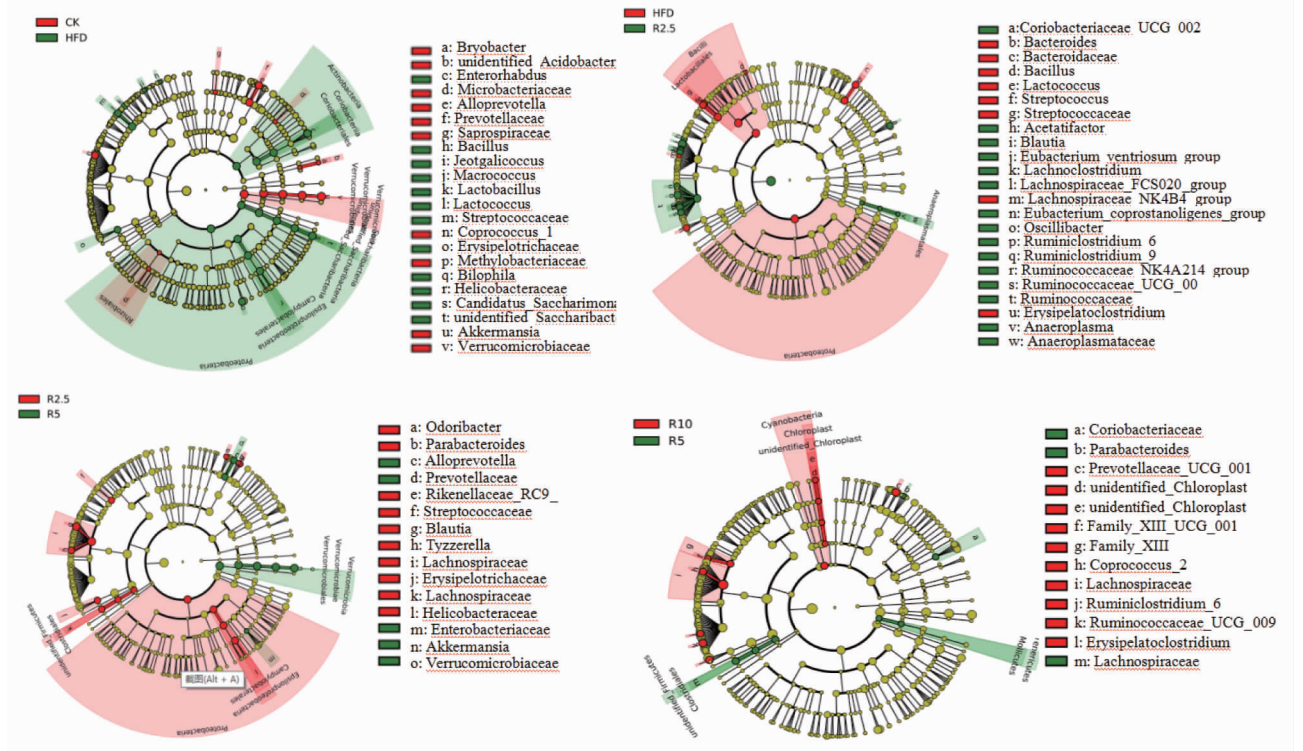


图 3 基于 LefSe 分析的进化分支图

Fig. 3 Evolutionary branching diagram based on LefSe analysis

3 结论

试验对比 CK 与 HFD 组小鼠体重, 证试肥胖小鼠造模成功, 不同剂量红茶水提取物处理后小鼠的体重、体脂率、皮下脂肪率均降低, 血清中 TG、TC、LDL-C 含量降低, 且红茶水提

物剂量为 5% 效果显著, 加大剂量仍能取得相同的效果。红茶水提取物处理组小鼠的皮下脂肪率和肝重变化不明显。以上结果说明红茶水提取物对于肥胖及高脂血症有一定的效果, (下转第 163 页)

表 6 正交试验因素与水平设计

Table 6 The factors and levels design of the orthogonal test

水平 Level	因素 Factor			
	川芎粉添加量 Addition amount of <i>L. chuanxiong</i> flour//g	猪油添加量 Addition amount of lard g	白砂糖添加量 Addition amount of white sugar g	小苏打添加量 Addition amount of sodium bicarbonate//g
	<i>L. chuanxiong</i> flour//g	g	g	g
1	10	10	20	0.3
2	15	20	30	0.4
3	25	30	40	0.5

表 7 正交试验结果

Table 7 The results of the orthogonal test

试验号 Test No.	因素 Factor				感官评分 Sensory evaluation
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	78.8
2	1	2	2	2	79.5
3	1	3	3	3	80.2
4	2	1	2	3	81.9
5	2	2	3	1	84.4
6	2	3	1	2	82.3
7	3	1	3	2	78.6
8	3	2	1	3	79.5
9	3	3	2	1	78.2
\bar{X}_1	79.500	79.767	80.200	80.467	
\bar{X}_2	82.867	81.100	79.867	80.133	
\bar{X}_3	78.767	80.233	81.067	80.533	
R	4.100	1.333	1.200	0.400	

(上接第 150 页)

但需要达到一定的剂量,其降脂减肥机理还需要更进一步深入研究。

试验选取 2.5%、5%、10% 剂量红茶水提取物处理小鼠,分组提取小鼠粪便 DNA,通过 16S rDNA 技术测序,测序结果进行 LefSe (LDA Effect Size) 分析。高脂模型小鼠 *Akkermansia* 菌属丰度低于对照,且有害菌 *Bilophila* 丰度增加。结合 3 组小鼠肠道微生物分析结果,显示 *Parabacteroides* 菌属相对丰度随着红茶提取物剂量的上升逐渐下降, *Prevotellaceae* 菌属相对丰度随着红茶剂量的上升而上升。结果显示,5% 红茶水提取物处理小鼠的 *Akkermansia* 菌属相对丰度显著提高,随着红茶剂量提升, *Akkermansia* 菌属相对丰度没有显著变化。

参考文献

- [1] HUANG H C, LIN J K. Pu-erh tea, green tea, and black tea suppresses hyperlipidemia, hyperleptinemia and fatty acid synthase through activating AMPK in rats fed a high-fructose diet[J]. *Food Funct*, 2012, 3(2): 170-177.
- [2] KUO K L, WENG M S, CHIANG C T, et al. Comparative studies on the

3 结论

饼干作为大众喜爱的食物,易于保存,且营养丰富,老少皆宜。川芎为伞形科多年生植物,具有活血行气、祛风止痛的功效^[10]。将川芎干燥制成粉,干燥后的川芎具有很独特的香味,因此用川芎粉制作的饼干口味独特,且适宜长时间存放。该试验结果表明,用 100 g 面粉、15 g 川芎粉、20 g 猪油、40 g 白砂糖和 0.5 g 小苏打制作的饼干结构细密、色泽呈现均匀的淡绿色,且川芎香味适宜。

参考文献

- [1] 彭芳,陈媛媛,陶珊,等.四川省川芎栽培现状调查与评价[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2020, 26(2): 181-189.
- [2] 王雪波,邓建华.蕨菜饼干制作工艺的研究[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(1): 173-176.
- [3] 林楠,夏杨毅,鲁言文.饼干品质评价的研究进展[J]. *粮油加工*, 2009(3): 102-105.
- [4] 董瑞霞,王芳.红茶饼干的制作[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(21): 11479-11481.
- [5] 唐长波,李世超,戴茂华.桑叶保健饼干的研制[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(11): 127-130.
- [6] 韩明,曾庆孝,杜丽华,等.玉米苏打饼干的工艺研究[J]. *粮油加工与食品机械*, 2005(1): 71-72, 74.
- [7] 郭元新,周军.苦荞饼干的加工技术研究[J]. *食品工业科技*, 2005, 26(11): 100-102.
- [8] 匡钰,史文斌,苏琳琳,等.辣木苏打饼干的研制[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(30): 74-76, 94.
- [9] 张蕊,范方宇,费海燕,等.铁皮石斛饼干加工工艺研究[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(2): 69-72.
- [10] 蒋桂华,马逾英,侯嘉,等.川芎种质资源的调查收集与保存研究[J]. *中草药*, 2008, 39(4): 601-604.

- hypolipidemic and growth suppressive effects of Oolong, black, Pu-erh, and green tea leaves in rats [J]. *J Agr Food Chem*, 2005, 53(2): 480-489.
- [3] 陈玉琼,张伟,倪德江,等.湖北青砖茶辅助降血脂作用及其抗氧化效果[J]. *茶叶科学*, 2010, 30(2): 124-128.
- [4] 熊昌云,彭远菊,王兴华,等.普洱茶不同溶剂提取组分降脂减肥作用的比较研究[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(6): 543-551.
- [5] 宋曙辉,赵霖,曾海玲,等.普洱茶浓缩提取物对生长期大鼠营养生理功能的影响[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(12): 387-390.
- [6] ASHIDA H, FURUYASHIKI T, NAGAYASU H, et al. Anti-obesity actions of green tea: Possible involvements in modulation of the glucose uptake system and suppression of the adipogenesis-related transcription factors [J]. *BioFactors*, 2004, 22(1/2/3/4): 135-140.
- [7] 王珊珊,韩永和,李敏.饮食和肠道微生物对肥胖的代谢调控作用与机制[J]. *生命的化学*, 2021, 41(3): 541-551.
- [8] LIN J K, LIN-SHIAU S Y. Mechanisms of hypolipidemic and anti-obesity effects of tea and tea polyphenols [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2006, 50(2): 211-277.
- [9] JIN J S, TOUYAMA M, HISADA T, et al. Effects of green tea consumption on human fecal microbiota with special reference to *Bifidobacterium* species [J]. *Microbiol Immunol*, 2012, 56(11): 729-739.
- [10] JANSSENS P L H R, PENDERS J, HURSEL R, et al. Long-term green tea supplementation does not change the human gut microbiota [J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): 1-15.