DOI:10.12441/spyswjs.20241106003 [文章编号] 1673-1689(2025)04-0107-08

银杏叶提取物和水溶性番茄浓缩物复合剂的降血脂功效研究

陈雨欣 刘文挚 赵雅欣 郭月逸 赵江燕*

(北京联合大学生物化学工程学院, 北京 100023)

摘要:【目的】探究银杏叶提取物(GBE)和水溶性番茄浓缩物(WSTC)复合剂对高脂血症(HLP)大鼠的影响。**【方法】**选取40只SD大鼠,10只作为空白对照(CON)组,其余30只通过建立高脂模型后随机分为模型对照(MOD)组、阳性对照(PC)组和GBE+WSTC复合剂组。给药45 d后,测定血清中血脂指标:总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)的浓度;机理指标:低密度脂蛋白受体(LDLR)、羟甲基戊二酸单酰辅酶A还原酶(HMG-CoAR)和胆固醇7-羟化酶(CYP7A1)的质量浓度;抗氧化指标:丙二醛(MDA)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)、谷胱甘肽(GSH)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)水平。**【结果】**与MOD组相比,在血脂指标中,GBE+WSTC复合剂组血清中TC和LDL-C的浓度极显著降低(P<0.01),TG浓度极其显著降低(P<0.001),而HDL-C浓度无显著差异(P>0.05);在机理指标中,LDLR质量浓度显著升高(P<0.05),HMG-CoAR质量浓度显著降低(P<0.05),CYP7A1质量浓度极其显著升高(P<0.001);在抗氧化指标中,MDA浓度极其显著降低(P<0.001),SOD酶活力极其显著升高(P<0.001),而GSH质量浓度和GSH-Px酶活力无显著差异(P>0.05)。**【结论】**GBE+WSTC复合剂组可有效改善HLP大鼠的症状,该研究为降血脂功能研究提供了理论依据。

关键词:高脂血症;银杏叶提取物;水溶性番茄浓缩物;血脂指标;机理指标;抗氧化

Lipid-lowering Effect of *Ginkgo biloba* Leaf Extract and Water-soluble Tomato Concentrate Complex

*CHEN Yuxin LIU Wenzhi ZHAO Yaxin GUO Yueyi ZHAO Jiangyan**

(College of Biochemical Engineering of Beijing Union University, Beijing 100023, China)

Abstract: [**Objective**] This study aims to investigate the effect of the *Ginkgo biloba* leaf extract (GBE) and water-soluble tomato concentrate (WSTC) complex on hyperlipidemia (HLP) rats. [**Method**] From 40 SD rats, 10 rats were selected as blank control (CON) group, and the remaining 30 rats were modeled for HLP and then randomly allocated into model control (MOD), positive control (PC), and GBE+WSTC complex groups. After 45 d of administration, serum samples were collected for the measurement of the levels of lipid indicators: concentrations of total cholesterol (TC), triglycerides (TG), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C); mechanism indicators were determined: mass concentrations of low-density lipoprotein receptor (LDLR), hydroxy-3-methyl glutaryl coenzyme A reductase (HMG-CoAR), and cholesterol 7-hydroxylase (CYP7A1); antioxidant indicators were assayed: levels of malondialdehyde (MDA), total superoxide dismutase (T-SOD), glutathione (GSH), and glutathione peroxidase (GSH-Px). [**Result**] Compared with the MOD group, the GBE+WSTC complex group showed highly significant reductions in the concentrations of TC and LDL-C in the serum (P<0.01), and an extremely significant decrease in the

通信作者:赵江燕(1970—),女,本科,工程师,主要从事保健食品安全毒理学评价和功能评价研究。E-mail: jiangyanmail@263.net

收稿日期:2024-11-06 **修回日期:**2025-02-25

concentration of TG (P<0.001), while there was no significant difference in the concentration of HDL-C (P>0.05). Among the mechanism indicators, the mass concentration of LDLR was significantly increased (P<0.05), while the mass concentration of HMG-CoA was significantly decreased (P<0.05) in the GBE+WSTC complex group in comparison with the MOD group. Particularly, the mass concentration of CYP7A1 showed an extremely significant increase (P<0.001). In terms of antioxidant indicators, the GBE+WSTC complex group showed an extremely significant declined concentration of MDA (P<0.001), an extremely significant enhanced activity of SOD (P<0.001), and no significant difference in GSH and GSH-Px (P>0.05). [**Conclusion**] The GBE+WSTC complex can effectively alleviate the symptoms of HLP in rats. The findings provide a theoretical basis for the study of the blood lipid-lowering function.

Keywords: hyperlipidemia; *Ginkgo biloba* leaf extract; water-soluble tomato concentrate; blood lipid indicators; mechanism indicators; antioxidant

随着人们生活方式的改变和不良饮食习惯的影响，肥胖、糖尿病、脂肪肝、动脉粥样硬化等代谢性疾病的发病率逐渐上升，已成为威胁大众健康的普遍公共卫生问题。HLP是这些慢性疾病的共同特征[1]。HLP是一种由脂肪代谢异常引起的代谢性疾病，主要表现为TC、TG、LDL-C的浓度异常升高[2]。大多数HLP是由原发性血脂紊乱引起的，也有少数HLP是因为糖尿病、过量饮酒、肾脏疾病、肝病、甲状腺功能减退、肥胖和某些药物等引起的继发性疾病[3]。临床研究表明，HLP是心血管疾病的危险因素之一，可增加非缺血性心脏衰弱的风险。除了在促进血管动脉粥样硬化形成方面的作用外，HLP还可能直接影响心脏，导致缺血或再灌注损伤加重，以及引起对缺血预处理和后处理等心脏保护干预措施的反应减弱[4]。然而，目前使用的他汀类等降血脂药物常引起肝损伤、神经系统损伤等副作用，因此寻找具有降血脂活性的天然来源药物已经成为近年来的研究热点[5]。

银杏是现存裸子植物中最古老的孑遗植物，由于其观赏价值高和环境适应性强，现已在全球温带和亚热带地区广泛种植[6]。银杏叶在食品、保健、医药等领域发挥着重要作用。在传统中医中，银杏叶具有活血祛瘀、疏通旁支祛痛、收肺止气、降浊脂等功效[7]。现代药理学也证明，银杏叶可用于预防和治疗心血管疾病，包括高血压、脑血管疾病、外周动脉疾病、外周静脉疾病和雷诺现象等[8-9]。银杏叶含有数百种生物活性化合物，包括萜烯三内酯、类黄酮、脂肪酸、原花青素和多糖等。萜内酯类化合物和黄酮类化合物是银杏叶的主要有效活性成分，具有抗氧化及改善人体心血管功能等生理功效[10-11]。Nofal等[12]通过建立高脂动物模型探究左旋肉碱和GBE改善HLP的治疗机制，发现与模型组相比，补充左旋肉碱和GBE可降低血清中的TC、TG、LDL-C水平，提高HDL-C水平和抗氧化能力，对预防和治疗HLP等相关疾病有较大潜力。

WSTC是一种去除脂溶性成分的番茄浓缩产品，主要由核苷衍生物、酚类偶联物、类黄酮衍生物和槲皮素衍生物组成[13]。研究表明，WSTC有助于维持正常的血小板活性和健康的血液流动，并可有效防止胶原蛋白和凝血酶诱导的血小板聚集等[14]。血小板是来源于骨髓巨核细胞的最小血细胞成分，主要参与止血和血栓的形成，多年来也作为确诊和治疗心血管疾病的关键[15-16]。Liu等[14]分别进行了体外和体内试验，发现WSTC在体外可通过抑制血小板的聚集来抑制其与血管性血友病因子的结合，从而降低血小板黏附率，提高血小板的滚动速度，减轻炎症反应诱导的血流和微循环异常，进而发挥治疗HLP的作用。

综上所述，GBE和WSTC对改善HLP都具有一定的作用，但是将GBE和WSTC联合用药的研究还鲜有报道，作用机制也尚不明确。因此，该研究基于两者的降血脂功能和目前已有的文献资料，通过联合用药的方法来探究其改善HLP大鼠的作用，希望两者联合用药可以达到改善HLP的协同作用，并为之后的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品

GBE+WSTC复合剂：内容物为棕黄色粉末

（WSTC 150 mg、GBE 150 mg、麦芽糊精等辅料780 mg）的蓝白胶囊，试验剂量为0.27 g/kg。

GBE：购于广东青云山药业有限公司，其标志性成分符合药典标准，其中萜类内酯质量分数≥6%，总黄酮醇苷质量分数≥24%。

WSTC：由英国普罗维斯天然产物有限公司开发的来源于番茄的提取物，其标志性成分为腺苷、绿原酸、黄酮等。

阳性对照：阿托伐他汀钙片（立普妥），试验剂量为0.83 mg/kg。

1.2 实验动物

健康的SPF级雄性SD大鼠：购于北京华阜康生物科技股份有限公司，体质量为140~160 g，共40只。单位许可证号：SCXK（京）2019-0008、实验动物质量合格证：No. 110322231102072146。实验动物饲养于北京联合大学应用文理学院保健食品功能检测中心SPF级动物房，实验动物使用许可证号：SYXK（京）2023-0013。该研究项目通过北京联合大学应用文理学院保健食品功能检测中心实验动物伦理委员会审查批准，动物伦理批准号：JCZX11-2305-2。

1.3 仪器与试剂

1.3.1 仪器

全自动生化分析仪：AU480型，美国贝克曼库尔特有限公司；酶标仪：SPARK型，帝肯（上海）贸易有限公司；紫外可见分光光度计：UV2450型，岛津企业管理（中国）有限公司；电子天平：T1000型，常熟市双杰测试仪器厂；离心机：TDL-40B型，上海安亭科学仪器厂。

1.3.2 试剂

TC试剂盒、TG试剂盒、HDL-C试剂盒、LDL-C试剂盒：中生北控生物科技股份有限公司；GSH试剂盒、GSH-Px试剂盒、MDA试剂盒、T-SOD试剂盒：南京建成生物工程研究所；LDLR酶联免疫试剂盒：武汉华美生物工程有限公司；HMG-CoA酶联免疫试剂盒、CYP7A1酶联免疫试剂盒：上海酶联生物科技有限公司。

1.4 方法

1.4.1 动物分组及处理

动物分组分别为CON组、MOD组、PC组、GBE+WSTC复合剂组。采用混合型HLP动物模型试验方法，将喂养普通饲料的10只大鼠作为CON组，将喂养高脂饲料的30只大鼠作为模型组。模型组大鼠喂养高脂饲料14 d后，不禁食取血，离心并分离出空白组和模型组大鼠的血清，检测血清中TC、TG、HDL-C、LDL-C的浓度。根据血清TG浓度将模型组随机分为3组：MOD组、PC组和GBE+WSTC复合剂组。GBE+WSTC复合剂组和PC组在给予高脂饲料的同时，每日灌胃一次受试物；MOD组在给予高脂饲料的同时，灌胃无菌水；CON组在给予基础饲料的同时，灌胃无菌水。大鼠灌胃剂量5 mL/kg，连续灌胃45 d后，不禁食取血，测定各项指标。

1.4.2 样品功效成分质量分数的测定

根据《保健食品理化及卫生指标检验与评价技术指导原则（2020版）》的方法测定GBE+WSTC复合剂的总黄酮和总皂苷的质量分数。

1.4.3 血清中血脂指标的测定

干预（灌胃45 d）结束后，取大鼠静脉血，3 000 r/min离心10 min分离出血清，收集上清液，参照试剂盒说明书的方法测定大鼠血清中TC、TG、HDL-C、LDL-C的浓度[17]。

1.4.4 血清中抗氧化指标的测定

干预（灌胃45 d）结束后，取大鼠静脉血，3 000 r/min离心10 min分离出血清，收集上清液，参照试剂盒说明书的方法测定大鼠血清中MDA、GSH、SOD、GSH-Px的水平[18]。

1.4.5 血清中机理指标的测定

干预（灌胃45 d）结束后，取大鼠静脉血，3 000 r/min离心10 min分离出血清，收集上清液，参照试剂盒说明书方法测定大鼠血清中HMG-CoAR、CYP7A1、LDLR的质量浓度。

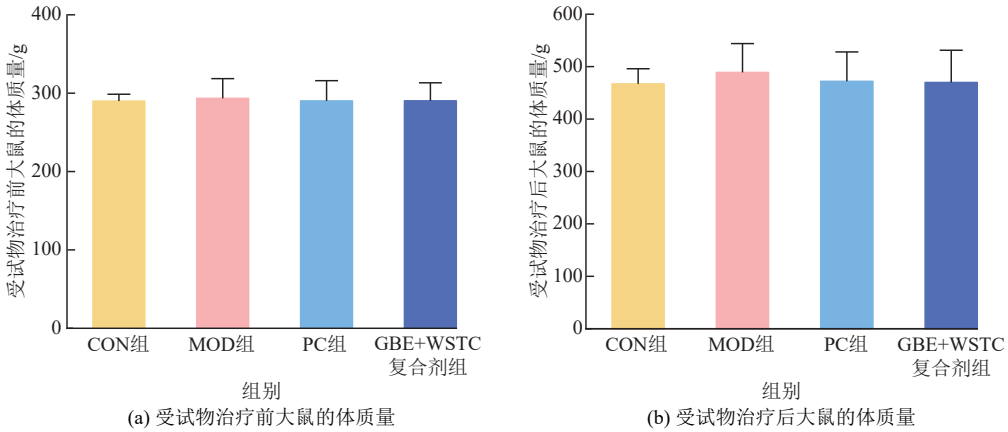
1.5 数据处理

试验数据以平均值±标准偏差（x±SD）表示，采用SPSS 19.0软件进行数据处理，采用独立样本t检验进行统计，考察各组间的统计学差异，使用Origin作图和分析[19]。

2 结果与讨论

2.1 受试物对HLP大鼠体质量的影响

由图1可知，给予模型组大鼠高脂饲料14 d后，根据TG浓度随机分为MOD组、PC组和GBE+WSTC复合剂组，各组体质量均无显著差异（P>0.05），说明该分组方法有一定的研究意义。



(a) 受试物治疗前大鼠的体质量　(b) 受试物治疗后大鼠的体质量

图 1　高脂饲料及受试物对大鼠体质量的影响

Fig. 1　Effects of high-fat diet and test substance on the body mass of rats

分别给予受试物 45 d 后，各组体质量均无显著差异（P>0.05），说明受试物不会对体质量产生影响。

2.2　样品功效成分质量分数测定结果

黄酮类化合物是一类重要的天然物质，具有多酚结构，由 2 个苯基环和 1 个杂环组成[20]。作为植物的次生代谢产物之一，黄酮类化合物主要存在于水果、蔬菜、谷物以及树皮和茎等可食用植物部位，具有显著的抗氧化作用[21]。药理学研究表明，黄酮类化合物具有扩张血管、调节血脂、降低血糖、抑制心肌细胞凋亡和预防心肌缺血性损伤等功能[22]。同样，皂苷作为植物代谢产物之一，也被证明具有缓解血糖升高、调节脂质代谢和减少体内脂肪的特性，并可通过调节与脂质代谢相关的基因表达，促进 TC 和 TG 的分解代谢[23]。黄酮类化合物和皂苷作为银杏叶和番茄提取物的主要成分之一，对于治疗心血管疾病具有重要作用。本研究中，GBE+WSTC 复合剂组的总黄酮质量分数为 2.1%，总皂苷质量分数为 3.26%，进一步证明 GBE+WSTC 复合剂具有降低血脂的功能。

2.3　受试物对 HLP 大鼠血清中血脂指标的影响

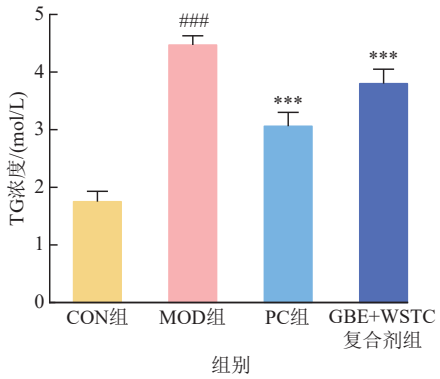
HLP 通常以血清中脂质或脂蛋白异常为特征，主要包括 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 等，这些脂蛋白在平衡血脂方面具有重要作用[24]。血脂升高主要表现为 TC、TG、LDL-C 水平升高和 HDL-C 水平降低[25]。TG 水平升高是反映多种致动脉粥样硬化脂蛋白异常积聚的关键指标，而低密度脂蛋白（LDL）通过 LDL 受体和清道夫受体运输细胞表面的胆固醇防止脂质过度积累，受损的 LDL 受体会通过积累细胞内脂质进一步促进动脉粥样硬化的发展，在存在自由基的情况下，LDL 可以转化为氧化的低密度脂蛋白（ox-LDL），从而刺激动脉粥样硬化的形成。HDL 可以反向转运胆固醇，帮助去除动脉壁中的胆固醇，保护血管内皮细胞，并减少平滑肌细胞对 LDL 的摄入，从而抑制糖胺聚糖的合成和平滑肌细胞的增殖[26]。

给予 GBE+WSTC 复合剂组大鼠受试物 45 d 后，不禁食取血，测定各组血清中 TC、TG、HDL-C、LDL-C 的浓度。由图 2 可知，MOD 组的 TC、TG、HDL-C 和 LDL-C 浓度与 CON 组相比差异均极其显著（P<0.001），表明造模成功。分别通过阿托伐他汀钙片和 GBE+WSTC 复合剂治疗后，与 MOD 组相比，PC 组和 GBE+WSTC 复合剂组的 TC、TG、LDL-C 浓度均呈下降趋势，且与 GBE+WSTC 复合剂组的 TG 浓度差异极其显著（P<0.001）、TC 和 LDL-C 浓度差异极显著（P<0.01）、HDL-C 浓度差异不显著（P>0.05），表明 GBE+WSTC 复合剂可能是通过降低 TC、TG 和 LDL-C 的浓度达到降低血脂的效果，且其对 TG 的影响最大，对 HDL-C 的影响较小。

2.4　受试物对 HLP 大鼠血清中机理指标的影响

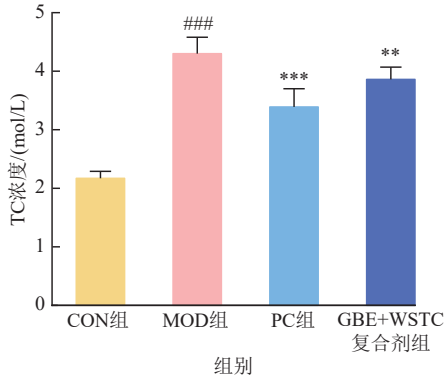
HMG-CoAR 是胆固醇生物合成中的限速酶，在调节脂质稳态中起重要作用，被认为是胆固醇合成的标志物[27]。CYP7A1 是胆汁酸合成经典途径中的一种限速酶，它可以将胆固醇代谢成 7α-羟基胆固醇，随后转化为 7α-羟基-4-胆甾烯-3-酮，使胆固醇分解代谢并维持胆固醇稳态，而 LDLR 具有维持体内胆固醇稳态的作用[28-29]。

给予 GBE+WSTC 复合剂组大鼠受试物 45 d



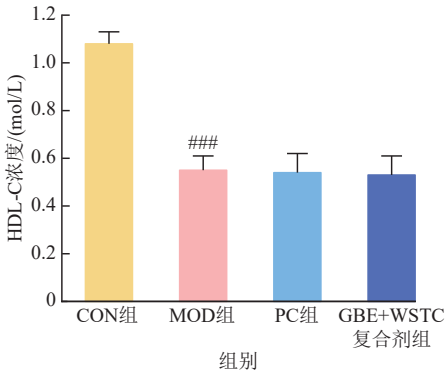
###—与CON组相比差异极其显著(P<0.001)；
***—与MOD组相比差异极其显著(P<0.001)。

(a) TG



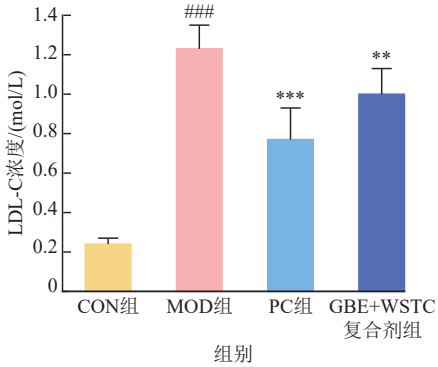
###—与CON组相比差异极其显著(P<0.001)；
***—与MOD组相比差异极其显著(P<0.001)；
**—与MOD组相比差异极显著(P<0.01)。

(b) TC



###—与CON组相比差异极其显著(P<0.001)。

(c) HDL-C



###—与CON组相比差异极其显著(P<0.001)；
***—与MOD组相比差异极其显著(P<0.001)；
**—与MOD组相比差异极显著(P<0.01)。

(d) LDL-C

图 2　受试物对高血脂模型大鼠血脂指标的影响

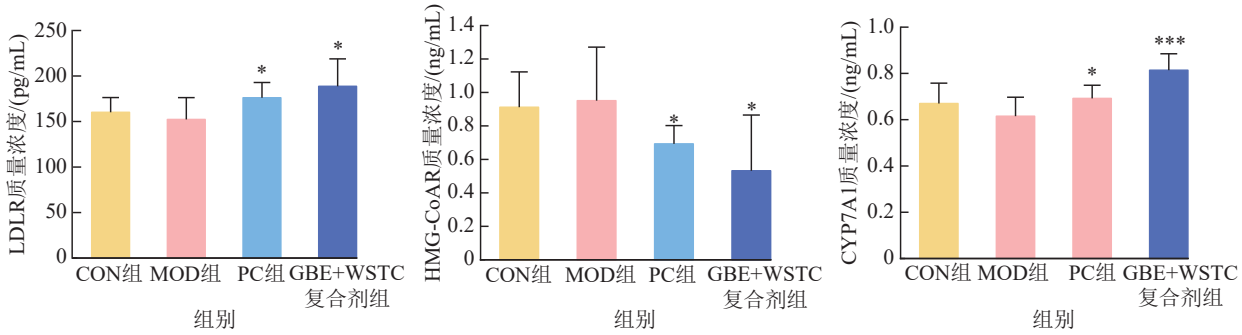
Fig. 2　Effects of test substance on blood lipid indicators in the rat model of hyperlipidemia

后，不禁食取血，测定各组血清中 LDLR、HMG-CoAR、CYP7A1 的质量浓度。由图 3 可知，MOD 组与 CON 组相比，各指标均无显著差异（P>0.05）。分别通过阿托伐他汀钙片和 GBE+WSTC 复合剂治疗后，与 MOD 组相比，PC 组和 GBE+WSTC 复合剂组的 LDLR、CYP7A1 质量浓度均有上升趋势，且 GBE+WSTC 复合剂组的 CYP7A1 质量浓度极其显著上升（P<0.001），而 HMG-CoAR 质量浓度显著下降（P<0.05）。结果表明，GBE+WSTC 复合剂可通过抑制 HMG-CoAR 的生成，提高 LDLR 受体活性，并促进 CYP7A1 的生成，从而达到降血脂的作用，且该复合剂对 CYP7A1 的影响最显著。

2.5　受试物对 HLP 大鼠血清中抗氧化指标的影响

MDA、SOD、GSH 和 GSH-Px 是衡量体内抗氧化活性和清除自由基能力的重要指标[30]。MDA 作为脂质过氧化的终产物，一方面能够灵敏地反映机体脂质过氧化的水平，另一方面可改变细胞膜的通透性，阻止细胞内外的物质流通，从而导致 HLP 病情加重。SOD 水平反映了细胞内抗氧化酶系统的负荷，可间接反映细胞内自由基的水平。GSH 作为重要的还原剂，可参与体内多种氧化还原反应。GSH-Px 通常可作为细胞抗氧化防御的核心成分，一般情况下是活性氧（ROS）的电子供体[31]。

给予 GBE+WSTC 复合剂组大鼠受试物 45 d 后，不禁食取血，测定各组血清中 MDA、SOD、GSH、GSH-Px 水平。由图 4 可知，与 CON 组相比，MOD 组的 MDA、SOD、GSH、GSH-Px 水平均呈下降趋势，其中 SOD、GSH 水平差异极显著（P<0.001），GSH-Px 水平差异显著（P<0.01），而 MDA 水平无显著差异（P>0.05）。由此可知，高脂饲料对大鼠血清中 SOD、GSH、GSH-Px 水平的影响较大，对 MDA 水



*—与MOD组相比差异显著(P<0.05)。

(a) LDLR

*—与MOD组相比差异显著(P<0.05)。

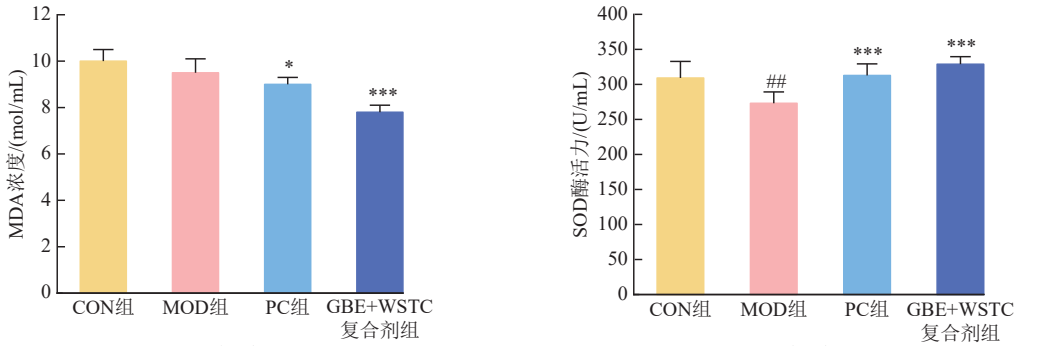
(b) HMG-CoAR

***—与MOD组相比差异极其显著(P<0.001);
*—与MOD组相比差异显著(P<0.05)。

(c) CYP7A1

图 3　受试物对高血脂模型大鼠机理指标的影响

Fig. 3　Effects of test substance on mechanism indicators in the rat model of hyperlipidemia

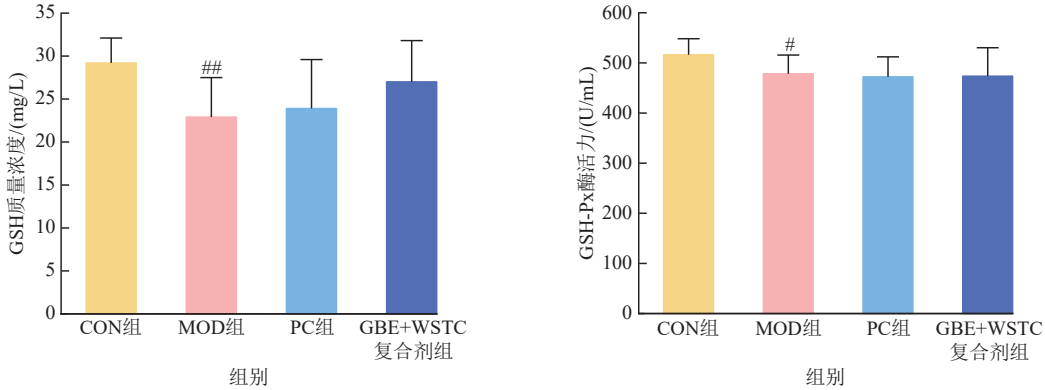


***—与MOD组相比差异极其显著(P<0.001);
*—与MOD组相比差异显著(P<0.05)。

(a) MDA

##—与CON组相比差异极显著(P<0.01);
***—与MOD组相比差异极其显著(P<0.001)。

(b) SOD



##—与CON组相比差异极显著(P<0.01)。

(c) GSH

#—与CON组相比差异显著(P<0.05)。

(d) GSH-Px

图 4　受试物对高血脂模型大鼠抗氧化指标的影响

Fig. 4　Effects of test substance on levels of antioxidant indicators in the rat model of hyperlipidemia

平无明显影响。分别通过阿托伐他汀钙片和GBE+WSTC复合剂治疗后，与MOD组相比，PC组和GBE+WSTC复合剂组的MDA、SOD水平均有差异，其中GBE+WSTC复合剂组的MDA、SOD水平和PC组的SOD水平均表现出极其显著差异（P<0.001）。由此可知，GBE+WSTC联合用药具有较好的MDA清除率，可增强SOD酶活力，有效清除自由基，从而缓解高脂处理带来的氧化压力，但可能不通过影响GSH-Px的代谢和GSH水平来减轻高脂处理引起的氧化压力对机体的损伤。

3 结论

作者探究了GBE和WSTC联合使用对HLP大鼠血清中血脂指标（TC、TG、HDL-C、LDL-C浓度）、机理指标（LDLR、HMG-CoAR、CYP7A1质量浓度）以及抗氧化指标（MDA、T-SOD、GSH、GSH-Px水平）的影响。结果表明，与MOD组相比，在血脂指标中，GBE+WSTC复合剂可以极显著降低血清中TC和LDL-C的浓度（$P<0.01$），且可极其显著降低TG浓度（$P<0.001$）；在机理指标中，LDLR质量浓度显著升高（$P<0.05$），HMG-CoAR质量浓度显著降低（$P<0.05$），该复合剂对CYP7A1的改善效果极其显著（$P<0.001$）；在抗氧化指标中，该复合剂对MDA和SOD水平都有极其显著的影响（$P<0.001$）。通过测定GBE+WSTC复合剂中总黄酮和总皂苷的质量分数进一步证明了其具有良好的降血脂作用，具有较大的开发潜力。综上所述，GBE和WSTC联合使用可以改善HLP大鼠体内自由基代谢紊乱，恢复机体氧化及抗氧化系统的动态平衡，且不对大鼠体质量造成影响。因此，将GBE和WSTC联合使用为开发创新型降血脂药提供了新的选择，但目前其作用机制尚不明确，未来还需进一步探究。

参考文献

[1] 张竞男，苑红，马春丽，等. 黄芪多糖通过调节肠道菌群抑制高脂饮食小鼠肠道炎症反应[J]. 食品与生物技术学报，2022，41(4)：19-24.
ZHANG J N，YUAN H，MA C L，et al. Experimental investigation on inhibitory effect of *Astragalus* polysaccharides on intestinal inflammation in high-fat diet mice by intestinal flora regulation [J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2022，41(4)：19-24.(in Chinese)

[2] CHEN Y T，LI K P，ZHAO H，et al. Integrated lipidomics and network pharmacology analysis to reveal the mechanisms of berberine in the treatment of hyperlipidemia [J]. Journal of Translational Medicine，2022，20(1)：412.

[3] HUSAIN M J，SPENCER G，NUGENT R，et al. The cost-effectiveness of hyperlipidemia medication in low-and middle-income countries：a review [J]. Global Heart，2022，17(1)：18.

[4] YAO Y S，LI T D，ZENG Z H. Mechanisms underlying direct actions of hyperlipidemia on myocardium：an updated review[J]. Lipids in Health and Disease，2020，19(1)：23.

[5] 李文青，祝孙婷，李圣洁，等. 羊栖菜多糖及辅助超声降解对高脂斑马鱼的降血脂作用[J]. 食品与生物技术学报，2024，43(5)：156-163.
LI W Q，ZHU S T，LI S J，et al. Hypolipidemic effect of *Sargassum fusiforme* polysaccharide and ultrasonic-assisted degradation on hyperlipidemic zebrafish [J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2024，43(5)：156-163.(in Chinese)

[6] GUO J，WANG Y Q，LI J Q，et al. Overview and recent progress on the biosynthesis and regulation of flavonoids in *Ginkgo biloba* L.[J]. International Journal of Molecular Sciences，2023，24(19)：14604.

[7] GONG G，GUAN Y Y，ZHANG Z L，et al. Isorhamnetin：a review of pharmacological effects [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy，2020，128：110301.

[8] SILVA H，MARTINS F G. Cardiovascular activity of *Ginkgo biloba*：an insight from healthy subjects [J]. Biology，2023，12(1)：15.

[9] LI R H，XIA Z M，LI B，et al. Advances in supercritical carbon dioxide extraction of bioactive substances from different parts of *Ginkgo biloba* L.[J]. Molecules，2021，26(13)：4011.

[10] 温啸，贺大方，倪学勤，等. 干酪乳杆菌与银杏叶提取物对肥胖小鼠血脂及抗氧化功能的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2014，42(1)：8-12，17.
WEN X，HE D F，NI X Q，et al. Effects of *Lactobacillus casei* and *Ginkgo biloba* extract on blood lipids and anti-oxidation of obese mice[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)，2014，42(1)：8-12，17.(in Chinese)

[11] FANG J C，WANG Z，WANG P，et al. Extraction，structure and bioactivities of the polysaccharides from *Ginkgo biloba*：a review [J]. International Journal of Biological Macromolecules，2020，162：1897-1905.

[12] NOFAL A E，ABOSHABAAN H S，FADDA W A，et al. *L*-carnitine and *Ginkgo biloba* supplementation *in vivo* ameliorates HCD-induced steatohepatitis and dyslipidemia by regulating hepatic metabolism[J]. Cells，2024，13(9)：732.

[13] TIAN Z Z，LI K Y，FAN D，et al. Water-soluble tomato concentrate，a potential antioxidant supplement，can attenuate platelet apoptosis and oxidative stress in healthy middle-aged and elderly adults：a randomized，double-blinded，crossover clinical trial[J]. Nutrients，2022，14(16)：3374.

[14] LIU L，XIAO S L，WANG Y L，et al. Water-soluble tomato concentrate modulates shear-induced platelet aggregation and blood flow *in vitro* and *in vivo* [J]. Frontiers in Nutrition，2022，9：961301.

[15] LI N L. Platelets as an inter-player between hyperlipidae-

mia and atherosclerosis[J]. Journal of Internal Medicine, 2024,296(1):39-52.

[16] O'KENNEDY N, DUSS R, DUTTAROY A K. Dietary antiplatelets: a new perspective on the health benefits of the water-soluble tomato concentrate fruitflow® [J]. Nutrients, 2021, 13(7): 2184.

[17] 黄淑贞,刘雨菲,王靓,等. 蛋黄磷脂与紫苏籽油复配对维持大鼠血脂健康水平的影响[J]. 中国油脂,2024,49(10):56-61.
HUANG S Z, LIU Y F, WANG L, et al. Effect of combination of egg yolk phospholipid and *Perilla* seed oil on maintaining healthy blood lipid level in rats[J]. China Oils and Fats, 2024, 49(10): 56-61.(in Chinese)

[18] 卢泳强,周朝曦,张丽丽,等. 苹果果胶的理化特性、抗氧化及降血脂作用研究[J]. 食品与发酵工业,2024,50(7):61-68.
LU Y Q, ZHOU Z X, ZHANG L L, et al. Physicochemical properties, antioxidant, and hypolipidemic effects of pectin from *Malus pumila*[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(7): 61-68.(in Chinese)

[19] 李珊,阿依姑丽•艾合麦提,英提扎尔•艾孜木江,等. 新疆野山杏果肉总有机酸对高血脂症大鼠血清中脂质水平及抗氧化指标的影响[J]. 食品工业科技,2018,39(13):301-305,324.
LI S, AHMAT A, AHMATJAN E, et al. Effect of total organic acids from *Armeniaca sibirica* L. on antihyperlipidemia in hyperlipidemia rats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(13): 301-305, 324.(in Chinese)

[20] CIUMĂRNEAN L, MILACIU M V, RUNCAN O, et al. The effects of flavonoids in cardiovascular diseases[J]. Molecules, 2020, 25(18): 4320.

[21] ROY A, KHAN A, AHMAD I, et al. Flavonoids a bioactive compound from medicinal plants and its therapeutic applications [J]. BioMed Research International, 2022, 2022(1): 5445291.

[22] TAO Y, ZHU F, PAN M L, et al. Pharmacokinetic, metabolism, and metabolomic strategies provide deep insight into the underlying mechanism of *Ginkgo biloba* flavonoids in the treatment of cardiovascular disease[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 857370.

[23] XU J, WANG S, FENG T H, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of total saponins from *Stauntonia chinensis* in diabetic db/db mice[J]. Journal of Cellular and Molecular Medicine, 2018, 22(12): 6026-6038.

[24] SONG P P, SHEN X C. Proteomic analysis of liver in diet-induced Hyperlipidemic mice under Fructus *Rosa roxburghii* action[J]. Journal of Proteomics, 2021, 230: 103982.

[25] 李依,王洪新,贾启海,等. 金钗石斛水提物对高血脂症大鼠的降血脂作用[J]. 食品与生物技术学报,2019,38(12):97-102.
LI Y, WANG H X, JIA Q H, et al. Effect of *Dendrobium nobile* aqueous extract on decreasing blood lipid in rats with hyperlipidemia[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(12): 97-102.(in Chinese)

[26] SONG P P, SHEN X C. Juice from *Fructus rosae* roxburghii normalizes blood lipids in mice with diet-induced hyperlipidemia[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(11): 6069-6082.

[27] YANG T Y, YU M H, WU Y L, et al. Mulberry leaf (*Morus alba* L.) extracts and its chlorogenic acid isomer component improve glucolipotoxicity-induced hepatic lipid accumulation *via* downregulating miR-34a and decreased inflammation[J]. Nutrients, 2022, 14(22): 4808.

[28] LIM M Y C, HO H K. Pharmacological modulation of cholesterol 7α-hydroxylase (CYP7A1) as a therapeutic strategy for hypercholesterolemia [J]. Biochemical Pharmacology, 2024, 220: 115985.

[29] WANG W Z, LIU C, LUO J Q, et al. A novel small-molecule PCSK9 inhibitor E28362 ameliorates hyperlipidemia and atherosclerosis[J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2024, 45(10): 2119-2133.

[30] 蒋艳,赵琳琳,马静,等. 藏药三果汤调节Nrf2/HO-1信号通路干预高脂血症大鼠的作用机制[J]. 中国现代应用药学,2024,41(6):743-749.
JIANG Y, ZHAO L L, MA J, et al. Mechanism of Tibetan medicine Sanguo decoction prevent high-fat diet-induced hyperlipidemia rats by regulating Nrf2/HO-1 signal pathway[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2024, 41(6): 743-749.(in Chinese)

[31] 窦彦丽,陈金鳌. 灵芝多糖结合有氧运动对高血脂症小鼠的降脂和抗氧化水平的影响[J]. 食品工业科技,2022,43(9):372-380.
DOU Y L, CHEN J A. Effects of *Ganoderma lingzhi* polysaccharides combined with aerobic exercise on lipid-lowering and antioxidant levels in hyperlipidemia mice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 372-380.(in Chinese)

(责任编辑:闫林红)