

富含玉米黄质色素橄榄油对高血脂小鼠的影响

叶文斌¹, 陈文东¹, 王让军¹, 张 凯¹, 黄新异², 邸多隆², 王 昱¹

(1. 陇南师范高等专科学校 农林技术学院, 甘肃 陇南 742500; 2. 中国科学院兰州化学物理研究所
中科院西北特色植物资源化学重点实验室和甘肃省天然药物重点实验室, 兰州 730000)

摘要:旨在为开发富含玉米黄质色素橄榄油(ZT)保健产品提供参考,用脂肪乳剂灌胃构建高血脂小鼠模型,同时设生理盐水对照(CK)组,将建模成功的小鼠随机分为高血脂模型组(Model),ZT高、中、低剂量处理组和菲勒贝特药物对照(PL)组,连续灌胃给药28 d,研究ZT(玉米黄质色素含量400 mg/100 g)对高血脂小鼠空腹血糖(FBG)、糖化血红蛋白(HbA1c)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)、总胆红素(TBIL)、总胆汁酸(TBA)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天门冬氨酸氨基转移酶(AST)、 γ -氨基转移酶(GGT)、碱性磷酸酶(ALP)等指标的影响,并对ZT小鼠开展急、慢性毒理研究。结果表明:ZT能有效降低高血脂小鼠的FBG、HbA1c、TC、TG、LDL、TBIL、TBA含量,升高HDL含量,对ALT、AST、GGT和ALP活性具有很好的抑制作用,能够显著改善血糖、血脂代谢紊乱,降低小鼠体质量,对正常小鼠无急、慢性毒理作用,可提高小鼠血清中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性。综上,富含玉米黄质色素橄榄油属无毒性物质,能提高小鼠的抗氧化能力,降低其体质量,是具有较好辅助降血糖、降血脂作用的橄榄油保健食品。

关键词:玉米黄质色素;橄榄油;高血脂小鼠;降血糖;降血脂;急、慢性毒理

中图分类号:Q946.3;TS222+.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)12-0090-07

Effect of olive oil rich in zeaxanthin on hyperlipidemia mice

YE Wenbin¹, CHEN Wendong¹, WANG Rangjun¹, ZHANG Kai¹,
HUANG Xinyi², DI Duolong², WANG Yu¹

(1. School of Agriculture and Forestry Technology, Longnan Teachers College, Longnan 742500, Gansu, China; 2. Key Laboratory of Chemistry of North Western Plant Resources & Key Laboratory for Natural Medicine of Gansu Province, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to provide a reference for the development of health care products of olive oil rich in zeaxanthin(ZT), the mice model of hyperlipidemia was established by intragastric administration of lipid emulsion, and the normal saline group(CK) was set up at the same time. The successfully modeled mice were randomly divided into hyperlipidemia model group (Model), high, middle and low dosages groups of ZT, and Philbert control group(PL). The drug was given by intragastric administration continuously for 28 d to investigate the effects of ZT(zeaxanthin content 400 mg/100 g) on fasting blood glucose (FBG), glycated hemoglobin (HbA1c), total cholesterol (TC), triglyceride (TG), high-density lipoprotein

(HDL), low-density lipoprotein (LDL), total bilirubin (TBIL), total bile acid (TBA), alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), γ -ammonia acyltransferase (GGT) and alkaline phosphatase (ALP) in hyperlipemia mice, and acute and chronic toxicological studies on ZT mice were carried out. The results showed that ZT could

收稿日期:2022-11-03;修回日期:2023-07-25

基金项目:2021年甘肃省科技重大专项(21ZD4NK045);
2021年甘肃省自然科学基金(21JR7RK912);2022年甘肃省
重点研发计划项目(22YF7FK220)

作者简介:叶文斌(1982),男,副教授,硕士,研究方向为天然产物化学与动物药理、果蔬保鲜及功能食品(E-mail: lnszywb@163.com)。

通信作者:王 昱,教授,硕士(E-mail: gswangyu@126.com)。

effectively decrease the contents of FBG, HbA1c, TC, TG, LDL, TBIL, TBA, increase the content of HDL, and inhibit the activities of ALT, AST, GGT and ALP. It could significantly improve the metabolic disorder of blood glucose and lipid, and reduce the body weight of mice. It had no acute or chronic toxicity to normal mice. It could increase the activities of SOD, CAT and GSH - Px in serum of mice. Therefore, olive oil rich in zeaxanthin is a non - toxic substance, which can improve the antioxidant capacity and reduce the body weight of mice, and it is an olive oil health - care food with good auxiliary blood glucose reduction and blood lipid reduction effects.

Key words: zeaxanthin; olive oil; hyperlipidemia mice; blood glucose reduction; blood lipid reduction; acute and chronic toxicology

油橄榄 (*Olea europaea* L.) 是木犀科木犀榄属常绿经济乔木,其所结鲜果通过低温压榨工艺得到的橄榄油可以直接食用。橄榄油因富含可降低胆固醇和血脂的油酸以及人体必需的维生素、微量元素等天然营养成分^[1-5],被誉为“液体黄金”,其人体消化吸收率高达 90% 以上,具有预防心脑血管疾病、降低癌症发生风险、促进骨骼发育和增强消化系统功能等作用^[6-10],尤其在改善一些心血管风险因子和炎症反应上具有较好的效果^[11-14]。玉米黄质色素 (Zeaxanthin) 是一种天然色素,为类胡萝卜素家族成员,人体自身不能合成^[15],广泛存在于玉米、橙红色水果、枸杞、绿叶蔬菜、鸡蛋黄等食品中^[16-17],也存在于橄榄油中^[18-19]。玉米黄质色素具有很强的抗氧化活性和明目功效,能够预防某些退行性和营养缺乏性疾病的发生^[20],在低密度脂蛋白 (LDL) 的过氧化方面具有重要的保护作用^[16]。近年来玉米黄质色素在医药与食品行业的应用前景受到广泛关注,所以在膳食中增加玉米黄质色素的含量,将是研究保健食品的一个新方向。目前,橄榄油主要作为食用油消费,有少部分以胶囊、片剂、粉剂为主的橄榄油保健产品出现,但橄榄油及衍生保健食品的研究还不够深入。

本文采用脂肪乳剂灌胃小鼠构建高血脂小鼠模型,研究富含玉米黄质色素橄榄油对高血脂小鼠的降脂、降糖效果和急、慢性毒性,为开发富含玉米黄质色素橄榄油保健产品提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

玉米黄质色素,纯度 99.95%,中国科学院兰州化学物理研究所西北特色植物资源化学重点实验室提供;SPFKM 小鼠,中国农业科学院兰州兽医研究所;超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH - Px) 活性检测试剂盒和丙二醛 (MDA) 含量检测试剂盒,北京索莱宝科技有

限公司;糖化血红蛋白 (HbA1c)、高密度脂蛋白 (HDL)、LDL 检测试剂盒,南京建成生物工程研究所有限公司;综合 24 项检查盘片,天津微纳芯科技有限公司;菲勒贝特 (PL),江苏恩华药业股份有限公司;胆固醇和胆酸钠,美国 Sigma 公司;丙基硫氧嘧啶片、聚山梨酯 - 80 和 1, 2 - 丙二醇,南京天一生物科技有限公司。

HH - 6 数显恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司;TGL - 16G 高速台式离心机,江苏新春兰科学仪器有限公司;UV759 紫外 - 可见分光光度计,尤尼柯 (上海) 仪器有限公司;Pointcare V3 动物专用全自动生化分析仪,天津微纳芯科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 富含玉米黄质色素橄榄油的制备

取新鲜的油橄榄果添加蒸馏水高速剪切破碎后,用搅拌器搅拌形成果浆,然后在常温下压榨处理果浆,以 20 000 r/min 高速离心 5 min 后,取液相,向其中加入 10% 的硫酸钠,搅拌至完全溶解,静置 24 h 后进行橄榄油和果水分离,得特级初榨橄榄油。通过高效液相色谱测定特级初榨橄榄油中玉米黄质色素含量为 3.08 mg/kg,再添加一定量的玉米黄质色素制备富含玉米黄质色素橄榄油 (以下简称橄榄油),通过高效液相色谱测得其中玉米黄质色素含量为 400 mg/100 g。

1.2.2 脂肪乳剂的配制

参考郗艳丽等^[21]的方法制备脂肪乳剂。取 40 g 猪油、2 g 丙基硫氧嘧啶片、4 g 胆酸钠和 20 g 胆固醇,充分搅拌溶解后再加入聚山梨酯 - 80 和 1, 2 - 丙二醇各 40 mL,加双蒸水定容至 400 mL,于 4 °C 冰箱保存备用。

1.2.3 高血脂小鼠模型的建立

参考叶文斌等^[22]方法,将正常 6 周龄 70 只 SPFKM 小鼠适应性喂养 1 周,随机取 60 只,雌雄各半,按 10 mL/kg 的剂量给小鼠灌胃脂肪乳剂以建立

高血脂小鼠模型,1次/d,连续灌胃6周。剩余10只小鼠,雌雄各半,灌胃同等体积的生理盐水作为对照(CK)组。在末次灌胃禁食不禁水12h后,进行眼眶静脉丛采血,经检测高血脂小鼠动物模型的总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)含量比CK组高3~4倍即建模成功。

1.2.4 橄榄油对高血脂小鼠血糖、血脂水平的影响

取建模成功的小鼠50只,随机分为5组,每组雌雄各半:模型(Model)组,正常饮食和饮水;非勒贝特药物对照(PL)组,按200 mg/kg剂量灌胃,1次/d;其余3组分别设为橄榄油高剂量(HZT,200 mg/kg)组、中剂量(MZT,100 mg/kg)组和低剂量(LZT,50 mg/kg)组,按剂量灌胃,1次/d。CK组灌胃与PL组相同体积的生理盐水。连续灌胃28 d。实验期间小鼠自由饮食和饮水,在灌胃0、14 d和28 d时分别称其体质量,在末次灌胃禁食不禁水12 h后,进行眼眶静脉丛采血,用肝素抗凝管收集,在4℃、4 000 r/min离心3 min后,收集血清测定空腹血糖(FBG)、TC、TG、总胆红素(TBIL)、总胆汁酸(TBA)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天门冬氨酸氨基转移酶(AST)、 γ -氨基转移酶(GGT)和碱性磷酸酶(ALP),依照试剂盒方法测定HbA1c、LDL和HDL含量。

1.2.5 橄榄油的急、慢性毒理学实验

1.2.5.1 急性毒理学实验

选取适应性喂养1周的SPFKM小鼠40只,雌雄各半,随机分成4组:CK组灌胃2 mL生理盐水;剩余3组分别为LZT、MZT和HZT组,灌胃剂量分

别为20 000、25 000、30 000 mg/kg,连续灌胃7 d。灌胃期间每天早中晚各观察1次小鼠皮毛是否油亮、眼角膜是否有血丝、红肿现象、小鼠活动是否有异常行为等^[22-23],并称小鼠体质量,在末次灌胃禁食不禁水12 h后,进行眼眶静脉丛采血,用肝素抗凝管收集,在4℃、4 000 r/min离心3 min,收集血清依照试剂盒方法测定SOD、CAT、GSH-Px活性和MDA含量,然后进行剖检,观察小鼠心、脑、肝、脾、肾的变化,计算脏器指数(脏器指数为脏器质量与小鼠体质量的比值)。

1.2.5.2 慢性毒理学实验

选取20只小鼠,雌雄各半,随机分成两组,1组为橄榄油剂量(ZT)组,灌胃剂量为200 mg/kg,1次/d,1组为CK组,灌胃等体积的生理盐水,连续灌胃90 d,并在灌胃30、60 d和90 d时分别称其体质量,按1.2.5.1方法测定SOD、CAT、GSH-Px活性,MDA含量和脏器指数。

1.2.6 数据统计

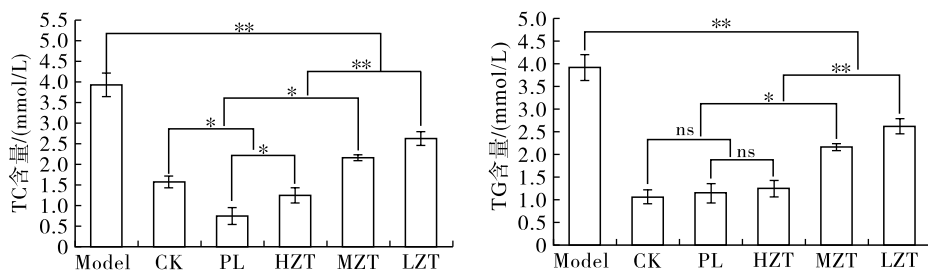
实验数据均以“平均值 \pm 标准差”表示,采用SPSS 27.0软件进行数据分析,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)中的Tukey's多重比较进行组间数据的显著性分析, $p < 0.05$ 为差异显著, $p < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 橄榄油对高血脂小鼠血糖、血脂水平的影响

2.1.1 对小鼠TC、TG、FBG和HbA1c的影响

橄榄油对高血脂小鼠TC、TG、FBG和HbA1c含量的影响如图1、图2所示。



注:图中ns表示差异不显著($p > 0.05$), *表示差异显著($p < 0.05$), **表示差异极显著($p < 0.01$)。下同

图1 橄榄油对高血脂小鼠TC和TG含量的影响

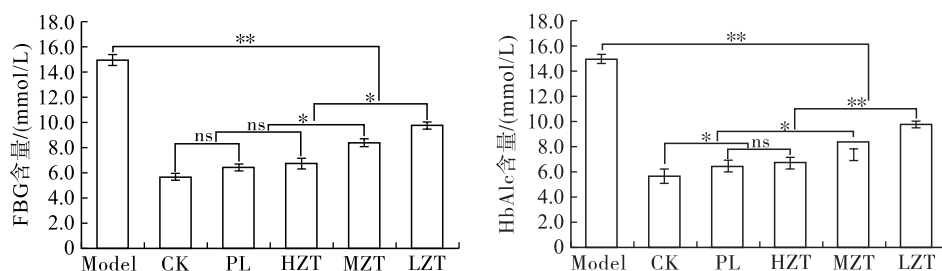


图2 橄榄油对高血脂小鼠FBG和HbA1c含量的影响

从图1、图2可以看出:连续灌胃28 d后,模型组小鼠血清中TC、TG、FBG和HbAlc含量均极显著高于其他5组($p < 0.01$);HZT组小鼠血清中TG、FBG和HbAlc的含量与PL组无显著差异($p > 0.05$),与CK组相比,HbAlc含量显著升高($p < 0.05$),TC含量显著降低($p < 0.05$),TG和FBG含量均无显著差异($p > 0.05$)。以上结果表明,橄榄

油能显著降低高血脂小鼠的TC、TG、FBG和HbAlc水平,对高血脂小鼠的脂代谢和糖代谢紊乱有较好的调节作用。

2.1.2 对小鼠HDL、LDL、TBIL和TBA的影响

橄榄油对高血脂小鼠HDL、LDL、TBIL和TBA含量的影响如图3、图4所示。

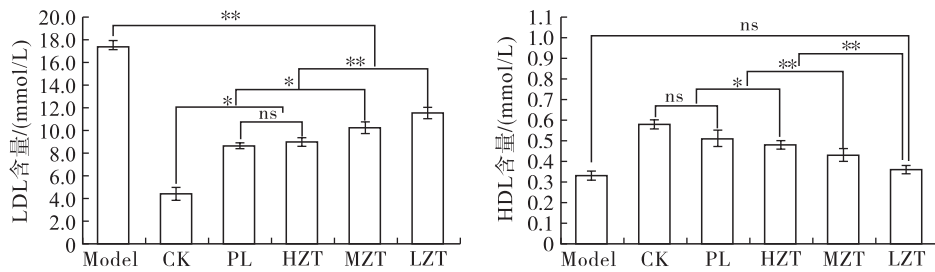


图3 橄榄油对高血脂小鼠HDL和LDL含量的影响

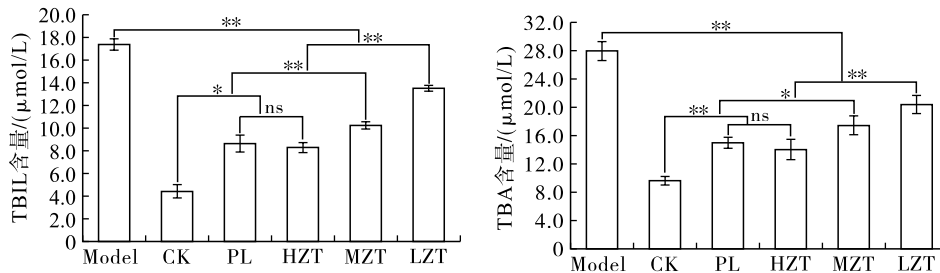


图4 橄榄油对高血脂小鼠TBIL和TBA含量的影响

从图3、图4可以看出,连续灌胃28 d后,HZT、MZT和LZT组小鼠血清中LDL、TBIL和TBA的含量均极显著低于模型组,而显著高于CK组,且随着橄榄油灌胃剂量的增加而降低,HDL含量则均显著低于CK组,且随灌胃剂量增加而增大。以上结果表明,橄榄油能较好地降低高血脂小鼠的LDL、TBIL

和TBA的含量,对高血脂小鼠的脂代谢紊乱有较好的调节作用。

2.1.3 对小鼠血清中ALT、AST、GGT和ALP的影响

橄榄油对高血脂小鼠ALT、AST、GGT和ALP活性的影响如图5、图6所示。

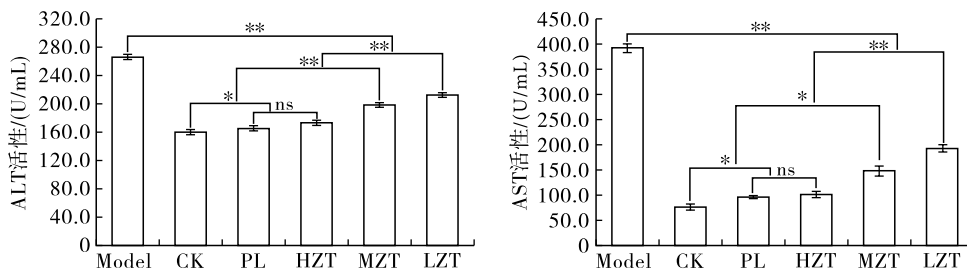


图5 橄榄油对高血脂小鼠ALT和AST活性的影响

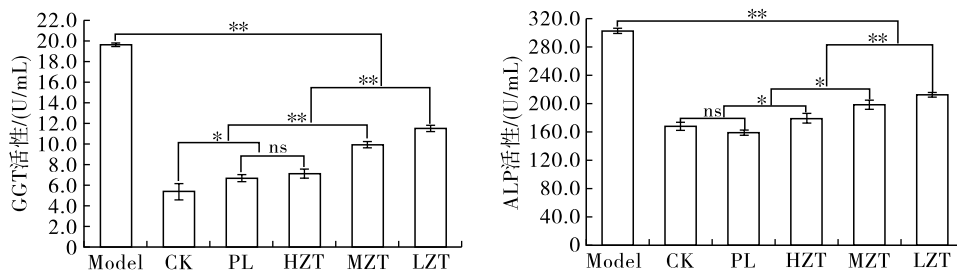


图6 橄榄油对高血脂小鼠GGT和ALP活性的影响

从图5、图6可以看出:连续灌胃28 d后,模型组小鼠血清中ALT、AST、GGT、ALP的活性极显著高于其他5组($p < 0.01$);HZT组小鼠血清中ALT、AST、GGT、ALP的活性显著高于CK组($p < 0.05$),但与PL组相比,其血清中ALT、AST、GGT活性差异不显著($p > 0.05$)。以上结果表明,橄榄油对高脂小鼠的ALT、AST、GGT和ALP活性具有很好的抑制作用,可以通过降低对肝脏细胞脂质的过氧化,减轻对肝脏细胞的损伤,对肝脏起到了很好的保护作用。

2.1.4 对小鼠体质量的影响

橄榄油对高脂小鼠体质量的影响如图7所示。

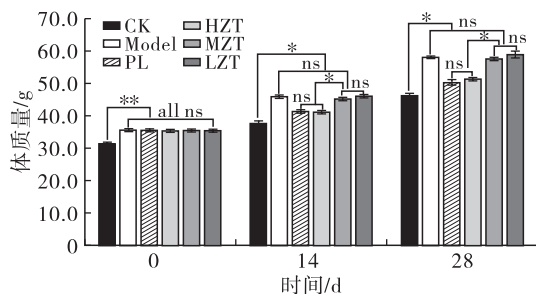


图7 橄榄油对高脂小鼠体质量的影响

表1 橄榄油对急性毒理小鼠重要脏器指数的影响

组别	时间/d	脏器指数/%				
		心	脑	肝	肾	脾
CK	7	0.505 4 ± 0.001 8	0.069 9 ± 0.016 1	5.903 1 ± 0.019 3	1.368 4 ± 0.006 8	0.250 1 ± 0.011 6
LZT	7	0.505 7 ± 0.002 1	0.073 1 ± 0.011 4	5.901 3 ± 0.002 8	1.369 1 ± 0.005 9	0.250 9 ± 0.001 1
MZT	7	0.506 3 ± 0.002 2	0.070 1 ± 0.014 2	5.902 4 ± 0.017 0	1.367 2 ± 0.002 3	0.250 6 ± 0.017 3
HZT	7	0.505 1 ± 0.001 7	0.071 9 ± 0.012 5	5.900 7 ± 0.002 8	1.369 9 ± 0.008 8	0.250 3 ± 0.004 4

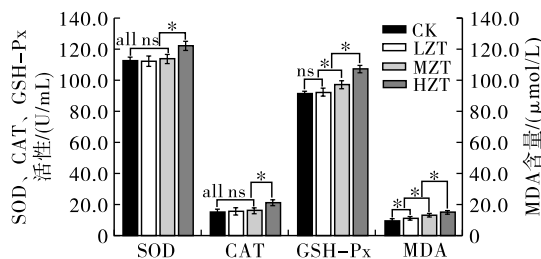


图8 橄榄油对急性毒理小鼠生理指标的影响

由图8可看出:灌胃7 d后,MZT组和LZT组小鼠血清中SOD和CAT活性与CK组相比无显著差异($p > 0.05$),而HZT组小鼠血清中的SOD和CAT活性显著高于CK组($p < 0.05$);LZT组小鼠血清中GSH-Px的活性与CK组相比无显著差异($p > 0.05$)而MZT和HZT组小鼠血清中GSH-Px活性显著高于

表2 橄榄油对慢性毒理小鼠重要脏器指数的影响

组别	时间/d	脏器指数/%				
		心	脑	肝	肾	脾
CK	90	0.473 8 ± 0.002 9	0.065 9 ± 0.018 5	5.569 8 ± 0.019 3	1.289 1 ± 0.003 6	0.235 4 ± 0.015 4
ZT	90	0.476 1 ± 0.002 1	0.066 1 ± 0.017 2	5.571 2 ± 0.002 8	1.289 7 ± 0.004 7	0.235 9 ± 0.002 4

灌胃期间观察发现,与CK组相比,模型组小鼠饮水和进食明显增加,活动量减少,在灌胃14 d和28 d时,HZT、MZT、LZT组小鼠活动与精神状况逐渐好转。从图7可以看出,灌胃28 d后,HZT组与PL组的小鼠体质量无显著差异($p > 0.05$),均显著低于模型组($p < 0.05$),同时也显著低于MZT和LZT组($p < 0.05$),与模型组相比,MZT和LZT组小鼠体质量无显著差异($p > 0.05$)。以上结果表明,高剂量橄榄油对控制高脂小鼠的体质量具有一定作用。

2.2 橄榄油的急、慢性毒理学实验

2.2.1 急性毒理学实验

橄榄油的急性毒理学实验结果见表1和图8。实验过程中观察发现,灌胃后各组小鼠毛色光亮,无窜动跳跃、竖毛扭体等异常现象,小鼠活动自如,摄食、进水、大小便正常,未出现死亡,各组小鼠体质量也无显著变化($p > 0.05$)。对小鼠进行颈椎脱臼处死,对重要脏器进行检查,均未发现明显变化,脏器指数也未发现明显差异(表1)。

CK组($p < 0.05$)。MDA含量随着橄榄油灌胃剂量的升高而升高,各组间均存在显著差异($p < 0.05$)。根据毒理学评价标准,半致死量(LD_{50})大于10 000 mg/kg属于无毒物质^[24-25],本研究在一次性灌胃橄榄油最大剂量为30 000 mg/kg时也未出现小鼠死亡的情况,说明橄榄油对小鼠急性毒理安全。

2.2.2 慢性毒理学实验

橄榄油的慢性毒理学实验结果见表2和图9~图11。观察发现,灌胃期间小鼠毛色正常,灌胃后摄食、进水、大小便等均无异常,小鼠活动自如。在灌胃30、60 d和90 d时分别对小鼠进行颈椎脱臼处死,进行重要脏器检查,结果均无明显变化,脏器指数也未发现明显差异(表2)。

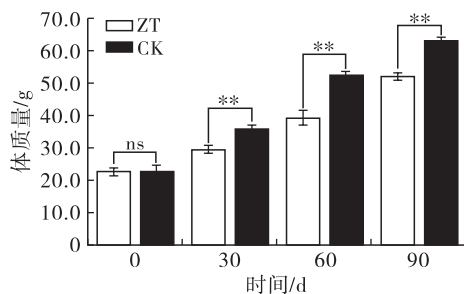


图9 橄榄油对小鼠体质量的影响

由图9可看出,两组小鼠体质量都随时间的延长而增加,而ZT组小鼠体质量在灌胃30d后一直低于CK组,且两组之间存在极显著差异($p < 0.01$),说明长期服用橄榄油可降低体质量。

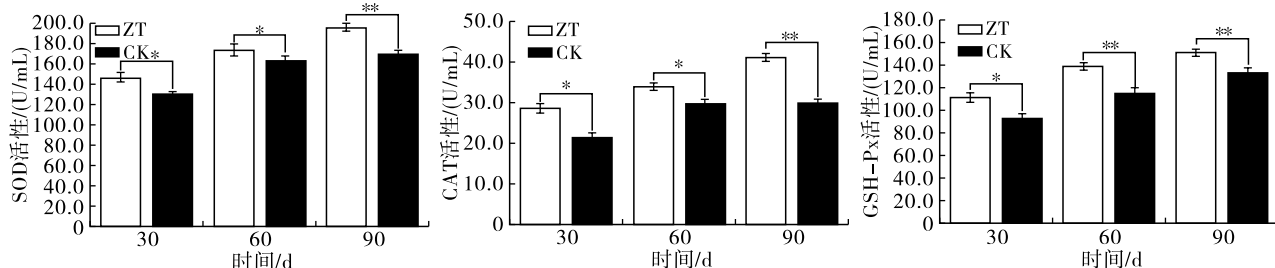


图10 橄榄油对慢性毒理小鼠血清中SOD、CAT和GSH-Px活性的影响

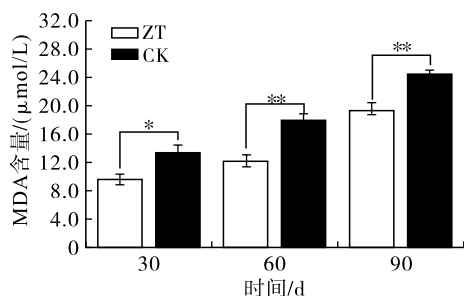


图11 橄榄油对慢性毒理小鼠血清中MDA含量的影响

3 结论

本研究采用脂肪乳剂灌胃构建高血脂小鼠模型,研究富含玉米黄质色素橄榄油对高血脂小鼠的影响,结果发现:富含玉米黄质色素橄榄油可以很好地降低高血脂小鼠TC、TG、LDL、TBIL、TBA、FBG和HbA1c的含量,升高HDL含量,对高血脂小鼠的脂代谢紊乱有较好的调节作用;通过抑制高血脂小鼠的ALT、AST、GGT和ALP活性,降低高血脂对肝脏细胞脂质的过氧化作用,减轻对肝脏细胞的损伤,对肝脏起到了很好的保护作用。通过急、慢性毒理学实验发现,富含玉米黄质色素橄榄油无急、慢性毒性,可一定程度控制小鼠的体质量,提高其抗氧化能力。

参考文献:

[1] 钟诚,薛雅琳,王兴国,等.初榨橄榄油风味化合物研究进展[J].中国油脂,2013,38(8):89-92.

从图10、图11可以看出,两组小鼠血清中SOD、CAT和GSH-Px的活性均随着时间的延长而升高,ZT组小鼠血清中SOD、CAT和GSH-Px活性与CK组相比均显著或极显著升高($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$),说明橄榄油具有提高小鼠血清中SOD、CAT和GSH-Px活性的功能,可提高小鼠的抗氧化能力。两组小鼠血清中MDA含量均随着时间的延长而升高,CK组小鼠血清中的MDA含量始终高于ZT组,且两组之间存在显著或极显著性差异($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。综上所述,橄榄油属于慢性无毒性物质,而且具有明显的控制体质量、提高抗氧化能力的功效。

- [2] GRIGORIADOU D, ANDROULAKI A, PSOMIADOU E, et al. Solid phase extraction in the analysis of squalene and tocopherols in olive oil[J]. Food Chem, 2007, 105(2): 675-680.
- [3] 王成章,高彩霞,姜成英,等.油橄榄的化学组成和加工利用[J].林业科技开发,2006,20(2):1-4.
- [4] 孔维宝,张锋,杨晓龙,等.油橄榄果渣油的提取工艺及其脂肪酸组成研究[J].中国油脂,2011,36(10):12-15.
- [5] 张东,薛雅琳,朱琳,等.我国陇南地区初榨橄榄油多酚类化合物组成研究[J].中国油脂,2016,41(4):37-40.
- [6] SÁNCHEZ F S, VILLEGAS I, APARICIO S M, et al. Effects of dietary virgin olive oil polyphenols: hydroxytyrosyl acetate and 3,4-dihydroxyphenylglycol on DSS-induced acute colitis in mice[J]. J Nutr Biochem, 2015,26(5):513-520.
- [7] INCANI A, SERRA G, ATZERI A, et al. Extra virgin olive oil phenolic extracts counteract the pro-oxidant effect of dietary oxidized lipids in human intestinal cells[J]. Food Chem Toxicol, 2016, 90: 171-180.
- [8] ALONSO R G, MARTINEZ M A. Monounsaturated fatty acids, olive oil and blood pressure: epidemiological, clinical and experiment evidence[J]. Public Health Nutr, 2006, 9(2): 251-257.
- [9] ESTRUCH R, ROS E, SALAS S J, et al. Primary prevention of cardiovascular disease with a mediterranean diet[J]. New Engl J Med, 2013, 368(12): 79-90.

- [10] NOTARNICOLA M, PISANTI S, TUTINO V, et al. Effects of olive oil polyphenols on fatty acid synthase gene expression and activity in human colorectal cancer cells [J]. *Genes Nutr*, 2011, 6(1): 63 – 69.
- [11] 王安华, 龙国清, 王东东, 等. 橄榄油果渣中多酚提取及活性研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(5): 219 – 224.
- [12] REZAEI S, AKHLAGH M, SASAN I, et al. Olive oil lessened fatty liver severity independent of cardiometabolic correction in patients with non – alcoholic fatty liver disease: a randomized clinical trial[J]. *Nutrition*, 2019, 57(1):154 – 161.
- [13] 郑恒光, 翁敏劼, 汤葆莎, 等. 橄榄油保健和疾病预防功效研究进展[J]. *食品科技*, 2019, 44(10):196 – 199.
- [14] HERNÁEZ A, CASTAÑER O, ELOSUA R, et al. Mediterranean diet improves high – density lipoprotein function in high – cardiovascular – risk individuals: a randomized controlled trial [J]. *Circulation*, 2017, 135(7): 633 – 643.
- [15] 冯贺, 苗馨心, 郑大浩, 等. 玉米黄质的保健机制与生物合成研究进展[J]. *延边大学农学学报*, 2019, 41(4):90 – 98.
- [16] 陈焱, 罗兰, 吴疆. 玉米黄质的生物学功能及其应用[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(16):210 – 212.
- [17] PERRY A, RASMUSSEN H, JOHNSON E J. Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products [J]. *J Food Compos Anal*, 2009, 22(1):9 – 15.
- [18] 李红艳, 李丽娅, 农林玲, 等. 玉米黄质对高脂诱发鹌鹑模型血管脂质过氧化损伤的保护作用[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(7):1227 – 1231.
- [19] 李大婧, 庞慧丽, 刘春泉. 叶黄素和玉米黄质对眼睛的保护作用研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(9): 1 – 4.
- [20] 张嘉颖, 林鑫, 樊威, 等. 复合凝聚法制备枸杞玉米黄质纳米胶囊及其性质研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(24):69 – 74,86.
- [21] 郝艳丽, 赵峻秀, 陈响, 等. 没食子酸对高脂血症小鼠的保护作用[J]. *中国兽医杂志*, 2022, 58(2):79 – 83.
- [22] 叶文斌, 樊亮. 纹党多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病大鼠血糖血脂的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(20): 359 – 363.
- [23] 王静, 蒋万, 何生虎, 等. 自制中药复方片剂对小鼠的急性毒性实验[J]. *动物医学进展*, 2015, 36(2):120 – 124.

(上接第 70 页)

- [6] 刘麒薇, 李赛男, 白妍双, 等. 反复煎炸对 4 种食用植物油品质的影响 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2014, 26(3): 274 – 277.
- [7] 陈纯, 李以隽. 橄榄油在高温条件下的稳定性研究 [J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(1): 67 – 68.
- [8] PEDRESCHI F, COCIO C, MOYANO P, et al. Oil distribution in potato slices during frying [J]. *J Food Eng*, 2008, 87(2): 200 – 212.
- [9] CONTARDO I, PARADA J, LEIVA A, et al. The effect of vacuum frying on starch gelatinization and its in vitro digestibility in starch – gluten matrices [J]. *Food Chem*, 2016, 197: 353 – 358.
- [10] TIAN J H, CHEN S G, WU C H, et al. Effects of preparation methods on potato microstructure and digestibility: an in vitro study [J]. *Food Chem*, 2016, 211: 564 – 569.
- [11] RAMÍREZ C, MILLON C, NUÑEZ H, et al. Study of effect of sodium alginate on potato starch digestibility during in vitro digestion [J]. *Food Hydrocolloid*, 2015, 44: 328 – 332.
- [12] TIAN J, CHEN S, SHI J, et al. Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air – frying: an in vitro study [J]. *Food Struct*, 2017, 14: 30 – 35.
- [13] KEMP S, HOLLOWOOD T, HORT J. *Sensory evaluation: a practical handbook* [M]. New Jersey: John Wiley & Sons., Inc., 2013.
- [14] 李培燕. 油脂对煎炸薯条质构的影响及其机制[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2021.
- [15] GAMBLE M H, RICE P, SELMAN J D. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from cv. Record UK tubers [J]. *Int J Food Sci Tech*, 1987, 22(3): 233 – 241.
- [16] BLUMENTHAL M M, STIER R F. Optimization of deep – fat frying operations[J]. *Trends Food Sci Tech*, 1991, 2: 144 – 148.
- [17] XU Q, QIN X, LAN D, et al. Water – in – oil emulsions enriched with *alpha* – linolenic acid in diacylglycerol form: stability, formation mechanism and in vitro digestion analysis [J/OL]. *Food Chem*, 2022, 391: 133201[2022 – 08 – 20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133201>.
- [18] DHITAL S, BRENNAN C, GIDLEY M J. Location and interactions of starches in planta: effects on food and nutritional functionality [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2019, 93: 158 – 166.