

富含玉米黄质色素橄榄油延缓D-半乳糖诱导的小鼠衰老作用

叶文斌^{1*}, 陈文东¹, 王昱¹, 何九军¹, 黄新异², 邸多隆²

(1. 陇南师范高等专科学校农林技术学院, 甘肃成县 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, 甘肃兰州 730000)

摘要: 该文研究了富含玉米黄质色素橄榄油 (Olive Oil Rich Zeaxanthin, OZT) 对衰老小鼠的影响。将亚急性衰老模型造模成功的小鼠分为模型组、OZT 高中低处理组、橄榄油组 (Olive Oil, OL)、维生素 E 阳性 (Vitamin E, VE) 对照组, 以生理盐水为 CK (0) 组。连续灌胃 28 d 后, 分析不同剂量 OZT 对衰老小鼠的体重、脾脏和胸腺指数、耐缺氧和抗疲劳作用、血清中 SOD (Superoxide Dismutase)、CAT (Catalase)、GSH-Px (Glutathione Peroxidase)、ALT (Alanine Aminotransferase)、AST (Aspartate Aminotransferase) 活性和 MDA (Malondialdehyde)、IL-2 (Interleukin-2)、IL-4、IL-10、IFN- γ (Interferon- γ) 生成水平等指标的影响。结果显示, 建模灌喂给药 28 d 后, Model 组体质量与 CK 组小鼠相比存在极显著差异 ($P < 0.01$), 而灌胃 OZT 的高中低剂量小鼠的体质量之间均存在显著差异 ($P < 0.05$); 灌胃后 OL 组小鼠的耐缺氧时间和游泳时间最短, 而 OZT 的高剂量组的小鼠时间最长, 与 VE 组相比无显著差异 ($P > 0.05$); OZT 还能降低衰老小鼠血清中的 ALT、AST、SOD、CAT 和 GSH-Px 的活性, 提高 IL-2、IL-4、IL-10 和 IFN- γ 生成, 降低 MDA 含量, 且 OZT 高剂量组效果显著优于 OL 组, 与 VE 接近。综上, OZT 对 D-半乳糖致亚急性衰老动物模型有很好的干预效果, 能有效提高小鼠机体抗氧化能力, 延长耐缺氧时间和提高抗疲劳作用, 延缓衰老的作用。

关键词: 玉米黄质色素; 橄榄油; 衰老小鼠; 影响

文章编号: 1673-9078(2024)06-66-73

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.6.0669

Zeaxanthin-enriched Olive Oil Delays Aging Induced by D-galactose in Mice

YE Wenbin^{1*}, CHEN Wendong¹, WANG Yu¹, HE Jiujun¹, HUANG Xinyi², DI Duolong²

(1. School of Agriculture and Forestry Technology, Longnan Teachers College, Chengxian 742500, China)

(2. Key Laboratory of Chemistry of Northwestern Plant Resources and Key Laboratory for Natural Medicine of Gansu Province, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The effects of olive oil rich zeaxanthin (OZT) on aging mice were investigated. Divide mice successfully modeled in subacute aging into model groups, OZT High, middle and low treatment group, olive oil group (OL), vitamin E positive (VE) control group. After continuous gavage for 28 days, to analysis the effects of different doses of OZT on body

引文格式:

叶文斌,陈文东,王昱,等.富含玉米黄质色素橄榄油延缓D-半乳糖诱导的小鼠衰老作用[J].现代食品科技,2024,40(6):66-73.

YE Wenbin, CHEN Wendong, WANG Yu, et al. Zeaxanthin-enriched olive oil delays aging induced by d-galactose in mice [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(6): 66-73.

收稿日期: 2023-06-05

基金项目: 甘肃省科技重大专项 (21ZD4NK045); 甘肃省重点研发计划项目 (22YF7FK220); 甘肃省高校教师创新基金项目 (2024B-335)

作者简介: 叶文斌 (1982-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 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

weight, major organ index, serum levels of SOD, CAT, GSH-PX, ALT, AST and MDA, IL-2, IL-4, IL10 and IFN- γ in aging mice. The results showed that the body weight of model group was significantly different from that of CK (0) mice ($P<0.01$), and the body weight of high, middle and low dose mice were significantly different ($P<0.05$). After oral administration, the hypoxia tolerance time and swimming time of OL group mice were the shortest, while the high dose OZT group mice had the longest time, compared with VE group, there was no significant difference ($P<0.05$); OZT could also decrease the activities of ALT, AST, SOD, CAT and GSH-Px in serum of senescent mice, and enhanced the production of IL-2, IL-4 and IFN- γ , the effects of high-dose OZT was significantly better than that of OL and similar to that of VE. In conclusion, OZT has a good intervention effect on the subacute aging model induced by D-galactose, which can effectively improve the anti-oxidation ability of mice, prolong the anti-hypoxia time and improve the anti-fatigue effect, and delay the aging effect.

Key words: zeaxanthin; olive oil; aging mice; effects

油橄榄 (*Olea europaea* L.) 是世界著名的油料经济林木, 我国油橄榄主要适生区主要包括甘肃、云南、贵州、四川等省市, 而甘肃省陇南市是我国油橄榄栽培、种植和加工的主产区。油橄榄树所结油橄榄果实采用新鲜冷榨离心等工艺得到的产物为初榨橄榄油, 是可以直接食用的鲜榨油, 因其富含维生素、微量元素^[1,2]和酚类、三萜类、甾醇类以及类胡萝卜素等众多化合物^[3-6], 长期食用降低胆固醇和血脂, 促进小孩骨骼发育、增强消化系统功能, 还能有效预防和降低心脑血管疾病和癌症的发生^[4-7], 被称为“液体黄金”, 长期服用具有美容、养颜和抗衰老的功效^[7], 深受消费者喜爱。

玉米黄质是人体不能合成的类胡萝卜素家族成员, 属于脂溶性四萜化合物, 是广泛存在玉米、水果、蔬菜和鸡蛋等食品中的天然色素^[8], 人体不能合成, 需要从食物中补充, 而且玉米黄质广泛分布在人体的众多组织中, 尤其在视网膜黄斑中密度最高, 是阻止光暴露引起视网膜损伤的最有效的成分^[9], 因此, 在改善老年性视觉功能障碍尤其治疗老年性黄斑变性和白内障等方面具有独特的功效^[10], 玉米黄质还具有抗炎、抗癌和改善糖尿病患者并发症的生物活性^[8]。玉米黄质还在低密度脂蛋白的过氧化方面具有重要的保护作用^[7], 而且无明显毒性反应, 其在医药与食品行业的应用前景近年受到广泛关注, 所以在膳食中增加玉米黄质的摄入量, 将是保健食品的一个新的方向^[7,8]。

我国橄榄油品质虽优, 但竞争力较弱, 市场占有率低, 尤其橄榄油保健类食品研究很少, 限制了我国橄榄油产业发展, 所以加大对国内橄榄油及衍生的保健食品研究, 提升在我国市场的竞争力具有重要意义。因此, 本文研究玉米黄质色素橄榄油对衰老小鼠的影响, 探讨其对衰老小鼠的改善和抗衰老机制,

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 材料与试剂

橄榄油, 由甘肃时光橄榄油科技有限公司提供; 玉米黄质色素, 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; SPF 昆明小鼠, 兰州兽医研究所, 许可证号: SCXK (甘) 2020-0002, 所有动物实验均经陇南师范高等专科学校实验动物伦理委员会审查批准 (LSDWLLXK2022001)。SOD、CAT、GSH-Px 酶活性和 MAD、IL-2、IL-4、IL-10 和 IFN- γ 含量检测试剂盒, 北京索莱宝科技有限公司; 综合 24 项检查盘片, 天津微纳芯科技有限公司; 维生素 E, 江苏恩华药业股份有限公司; D- 半乳糖、硫酸钠, 南京天一生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

R35 组织切片机, 德国徕卡仪器有限公司; BZ-X 一体化显微成像系统, 基恩士 (中国) 有限公司; HWS-26 电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; TG16B 台式高速离心机, 江苏新春兰科学仪器有限公司; UV-2800A 大屏幕扫描型紫外可见分光光度计, 尤尼柯 (上海) 仪器有限公司; 动物专用全自动生化分析仪 Pointcare V3, 天津微纳芯科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 富含玉米黄质色素橄榄油的制备

新鲜的油橄榄果清洗后加入 6 倍质量分数的纯净水在温度为 45 °C、转速为 16 000 r/min, 提取时间为 10 min 条件下高速剪切破碎提取, 每提取 2 min

间隔 5 min。破碎后的果浆在常温下 20 000 r/min，离心 5 min 后，进行固液分离，用孔径为 0.01 mm 的滤膜过滤，并在混合液中加入质量分数 10% 的硫酸钠，静置 25 min 后进行油水分离，得特级初榨橄榄油，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，经检测玉米黄质色素的含量为 400 mg/100 g，普通橄榄油中玉米黄质色素的含量为 3.08 mg/kg。

1.3.2 衰老小鼠动物模型建立

参照叶文斌等^[11,12]的方法有改动，称取 5 g D-半乳糖加入到质量分数为 0.9% 的生理盐水中，充分溶解配制成质量分数为 5% 溶液，4 °C 冰箱保存。将出生 7 周的小鼠适应性喂养 1 周后，筛选健康的小鼠，随机选取 70 只，雌雄各 35 只，随机抽选雌雄各 5 只小鼠作为 CK (0) 组，将剩余的 60 只小鼠按照 0.5 mL/10 g bw 剂量颈部皮下注射备用的 D-半乳糖溶液 42 d 后，随机测定小鼠体质量和血清中 SOD、CAT、GSH-Px 酶活性和 MAD 含量，两者相比显著差异，则亚急性衰老小鼠造模成功。

1.3.3 衰老小鼠灌胃干预

取建模成功的小鼠 60 只，随机分为 6 组，雌雄各半。1 组设为 Model 组，1 组以 170 mg/kg 标准灌胃维生素 E，设为阳性 (VE) 对照组，1 组以 200 mg/kg 标准灌胃普通橄榄油，设为橄榄油对照组 (OL)，以 200、100 和 50 mg/kg 剂量灌胃 OZT 分别设为高、中和低 (HZT、MZT 和 LZT) 处理组，以 200 mg/kg 标准灌胃生理盐水为 CK (0) 组，每天 1 次；连续灌胃 28 d，实验期间小鼠自由饮食和饮水^[11,12]。

1.3.4 衰老小鼠生理指标的测定

在灌胃 0、7、14、21 和 28 d 称量体质量，28 d 后将各处理小鼠放在密闭的干燥瓶中观察小鼠活动情况，以小鼠静卧 3 min 为界视为缺氧表现，记录小鼠从进入到静卧前的时间为耐缺氧时间；参考叶文斌等^[11,12]的方法测定小鼠游泳的时间。28 d 后末次灌胃后禁食不禁水 12 h 后，用 $\varphi=10\%$ 水合氯醛，按照 0.1 mL/20 g 小鼠体质量腹腔注射，麻醉后眼眶静脉丛采血，用肝素抗凝管收集，4 °C 低温 4 000 r/min，离心 3 min 后，收集血清依照试剂盒方法测定 SOD、CAT、GSH-Px、ALT 和 AST 活性和 MAD、IL-2、IL-4、IL-10 以及 IFN- γ 含量。断颈处死，进行剖检观察小鼠各重要组织器官的变化，计算脾和胸腺的指数，脏器指数 = 脏器质量 / 小鼠体质量。称重后的肝脏，迅速固定在 4 wt.% 多聚甲醛溶液内，经过修块、乙醇脱水、苯蜡透明、包

埋后切片，37 °C 烘箱内过夜，H&E 染色，中性树脂封片后，显微镜下观察，拍照。

1.4 数据统计

实验数据分析采用 SPSS 25.0 软件进行，显著性分析采用 One-way ANOVA 中的 Tukey's 多重比较进行， $P < 0.05$ 为差异显著， $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 对衰老小鼠体质量的影响

在 D-半乳糖的诱导下，会增加小鼠体内自由基的生成、降低机体抗氧化能力、促使各器官功能衰退，而且能够很好的模拟动物自然衰老过程，是衰老小鼠造模的经典方法^[13,14]。对衰老小鼠体质量的影响如图 1 所示。建模前小鼠体质量为 34.05 g，各组无统计学差异 ($P > 0.05$)，当衰老小鼠建模成功后，经观察 Model 组小鼠饮水、进食和活动量均明显减少，体质量增加较慢，与 CK (0) 小鼠相比存在显著差异 ($P < 0.05$)；随着灌喂时间的增加，给药 28 d 后，小鼠的体质量也逐渐增加，但 Model 组体质量增加缓慢仅为 38.14 g，与 CK (0) 小鼠的 49.16 g 相比存在极显著差异 ($P < 0.01$)，而 HZT、MZT 和 LZT 三组小鼠之间的体质量分别为 44.04、42.37 和 40.75 g，三组之间相比均存在显著差异 ($P < 0.05$)，OL 组和 VE 组的体质量分别为 40.15 g 和 44.66 g，但 HZT 组的小鼠体质量增加较快，VE 组的小鼠体质量恢复高于 HZT 组，但两者无显著差异 ($P > 0.05$)，OL 组和 LZT 组的小鼠体质量相差不大 ($P > 0.05$)。结果表明富含玉米黄质色素橄榄油可有效的恢复衰老小鼠的体质量。

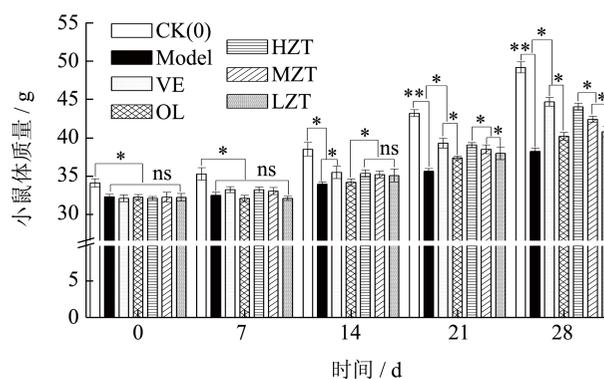


图 1 富含玉米黄质色素橄榄油对衰老小鼠体质量的影响

Fig.1 Effects of olive oil rich in zeaxanthin pigment on body weight of aging mice

注：图中 ** 表示 $P < 0.01$ ，* 表示 $P < 0.05$ 。下同。

2.2 对衰老小鼠耐缺氧和抗疲劳作用的影响

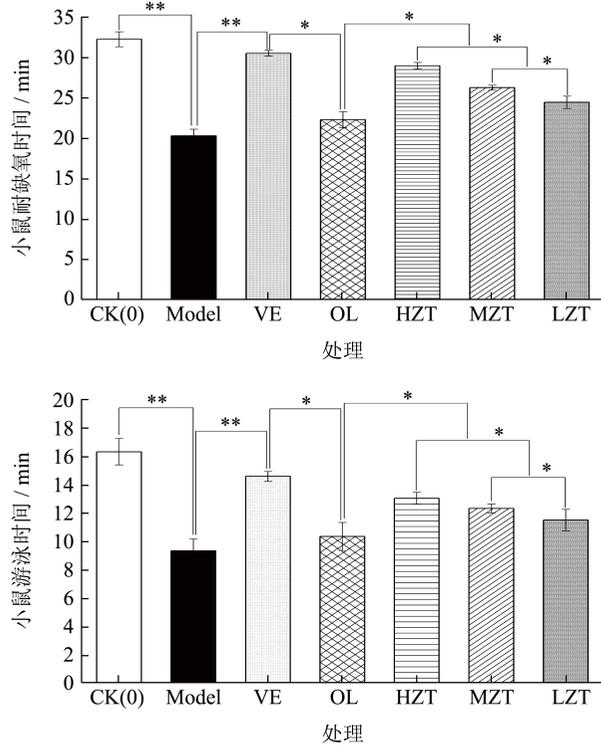


图2 富含玉米黄质色素橄榄油对衰老小鼠耐缺氧时间和游泳时间的影响

Fig.2 Effects of olive oil rich in zeaxanthin pigment on hypoxia tolerance time and swimming time of aging mice

小鼠耐缺氧和抗疲劳作用是评价衰老小鼠恢复作用的常用手段，而且用游泳时间来进行抗疲劳的评价是科学有效的，衰老 Model 造模成功的小鼠身体机能发生了重大的变化，高强度的游泳和缺氧环境势必会增加衰老小鼠的生理负担。对衰老小鼠耐缺氧和抗疲劳作用的影响如图 2 所示。Model 组小鼠的耐缺氧时间和游泳时间分别为 20.35 min 和 9.37 min 都短于 CK(0) 组小鼠的 32.33 min 和 16.36 min ($P < 0.01$)，而治疗 28 d 后的 VE 组时间虽然短于 CK(0) 组，但无显著性差异 ($P > 0.05$)；衰老小鼠分别用橄榄油灌胃 28 d 后，OL 组小鼠的耐缺氧时间和游泳时间最短分别为 22.35 min 和 10.36 min，而 HZT 组的小鼠时间最长，分别为 29.05 min 和 13.07 min 与 VE 组相比无显著差异 ($P > 0.05$)，MZT 和 LZT 组小鼠的时间比 OL 组小鼠长。结果表明富含玉米黄质色素橄榄油可有效的延长衰老小鼠抗疲劳作用和常压耐缺氧作用。

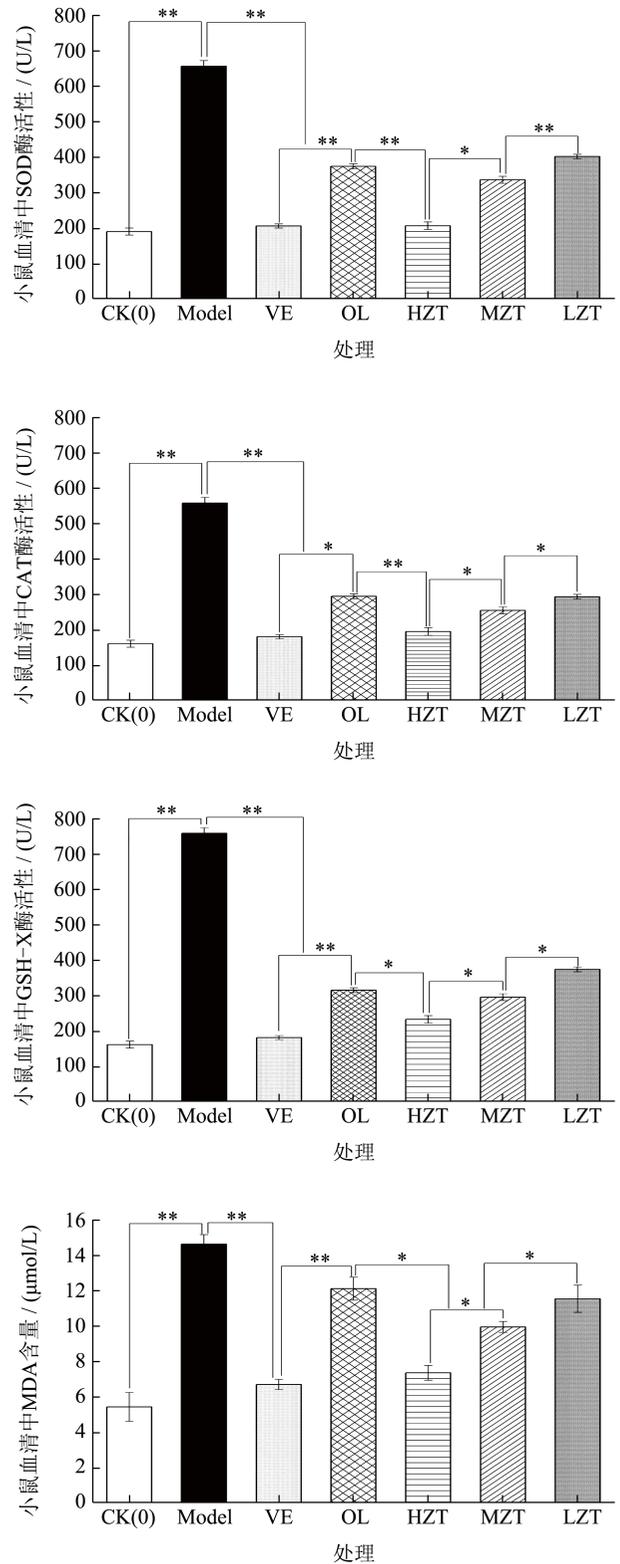


图3 富含玉米黄质色素橄榄油对衰老小鼠血清中 SOD、CAT、GSH-Px 活性和 MDA 含量的影响

Fig.3 Effects of olive oil rich in zeaxanthin pigment on SOD, CAT, GSH-Px activity and MDA contents in serum of aging mice

2.3 对衰老小鼠抗氧化作用的影响

亚急性衰老小鼠模型建模成功后,小鼠体重明显降低,体内血液中SOD、CAT和GSH-Px活性显著升高,而应激对应的MDA含量也显著升高^[11,12],而且SOD和CAT两种酶是评价小鼠氧化损伤后的主要指标,GSH-Px是清除细胞产生的脂质过氧化产物的主要保护酶,也是监测细胞膜完整性的重要指标^[13-15]。对衰老小鼠抗氧化作用的影响如图3所示。衰老Model小鼠在D-半乳糖的诱导刺激下,小鼠机体细胞产生了大量的过氧化氢和自由基,细胞膜的完整型遭到破坏,通透性增强,MDA含量迅速升高^[11-13];小鼠机体的SOD、CAT和GSH-Px活力也应激性的升高,来提高氧化损伤的保护作用^[12-15]。而且衰老Model小鼠与CK(0)组相比体内血液中SOD、CAT和GSH-Px活性和MDA含量呈极显著差异($P < 0.01$)。连续灌胃VE治疗28d后衰老小鼠血清中的SOD、CAT和GSH-Px活力逐渐降低,血清中的MDA含量也明显降低,灌胃不同的橄榄油28d后,OL组小鼠的SOD、CAT和GSH-Px活力降低最缓慢,血清中的MDA含量也降低较少,而HZT组的小鼠血清中SOD、CAT和GSH-Px活力降低最最快,血清中的MDA含量也降低多,与VE组相比无显著差异($P > 0.05$),MZT和LZT组小鼠的降低作用比OL组小鼠较缓慢,与模型组相比呈显著差异($P < 0.05$),虽然VE对衰老小鼠抗氧化能力优于HZT,但两者无显著性差异($P > 0.05$)。以上结果表明,富含玉米黄质色素橄榄油对亚急性衰老小鼠具有较好的抗氧化作用。

2.4 对衰老小鼠血清中ALT和AST活性的影响

动物衰老会影响肝脏脂质代谢,而ALT和AST是反映机体肝脏代谢最敏感的指标,D-半乳糖的诱导作用会影响小鼠肝脏的代谢功能,还会破坏肝细胞引起小鼠血清中的ALT和AST活性升高^[16]。对衰老小鼠血清中ALT和AST活性的影响如图4所示。给药28d后,衰老Model小鼠血清中ALT和AST的活性极显著高于其他6组($P < 0.01$);HZT组的小鼠血清中ALT和AST的活性极显著低于OL组($P < 0.01$),且低于VE组但两组相比无显著性差异($P > 0.05$);CK(0)组与HZT、MZT和LZT组相比小鼠血清中ALT和AST的活性均高于CK(0),三者呈现出剂量依赖效应。以上结果表明,富含玉米黄质色素橄榄油对衰老小鼠血清中ALT和AST活性具有很好的降低作用,而且HZT组优于VE组。

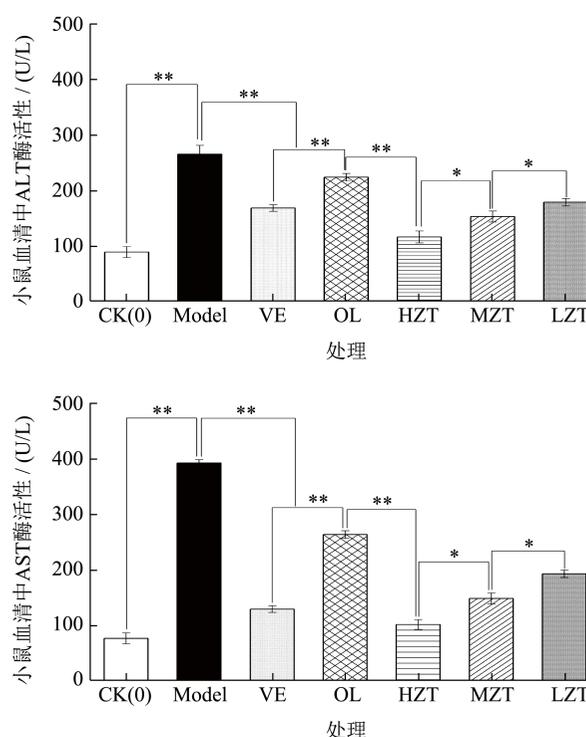


图4 富含玉米黄质色素橄榄油对衰老小鼠血清中ALT和AST活性的影响

Fig.4 Effects of olive oil rich in zeaxanthin pigment on ALT and AST activit in serum of aging mice

2.5 对衰老小鼠胸腺指数和脾脏指数的影响

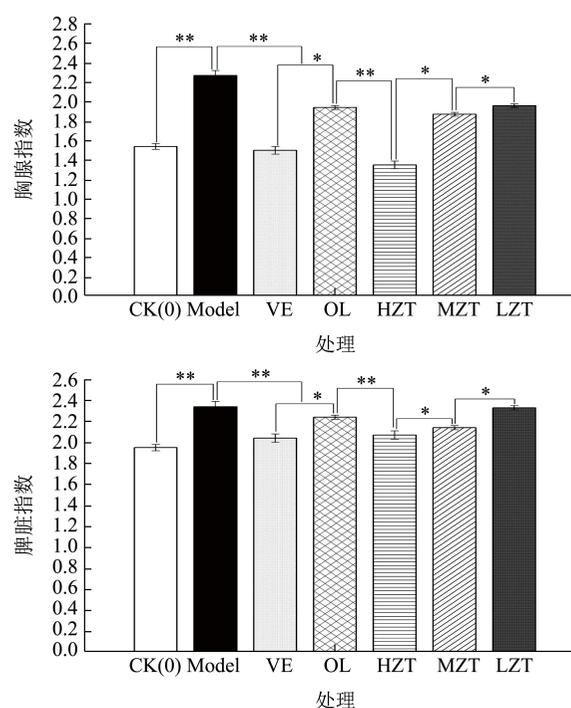


图5 富含玉米黄质色素橄榄油对衰老小鼠胸腺指数和脾脏指数的影响

Fig.5 Effects of olive oil rich in zeaxanthin pigment on thymus index and spleen index in aging mice

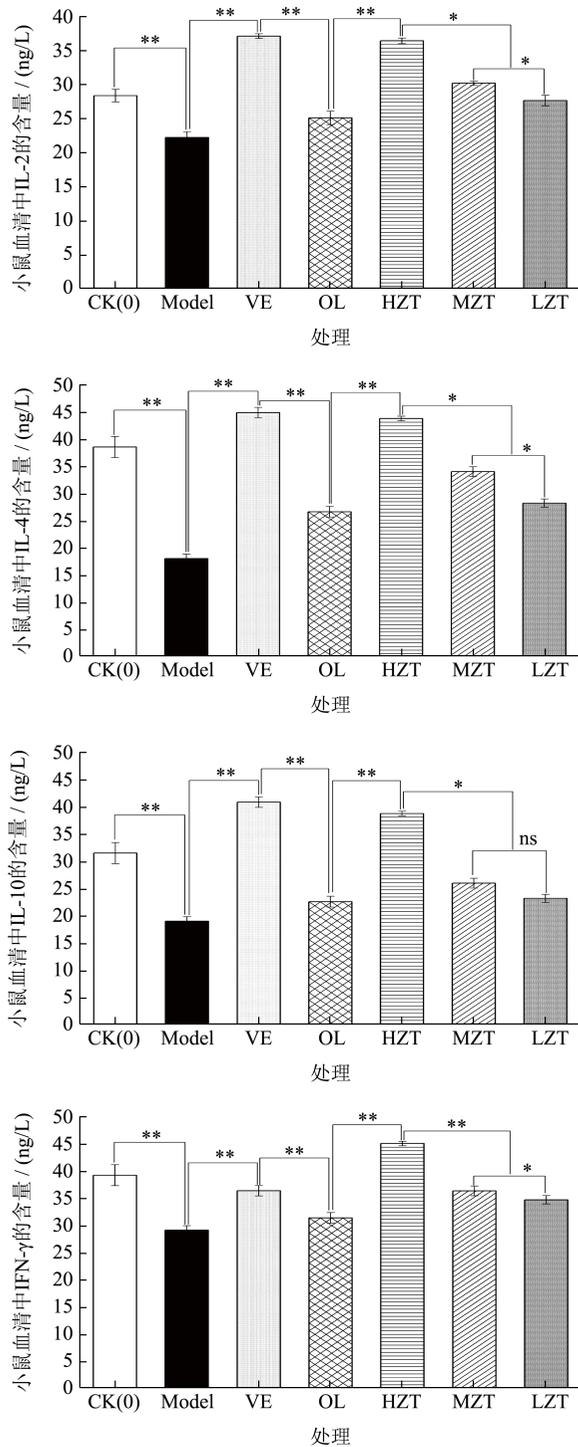


图6 富含玉米黄质色素橄榄油对衰老小鼠血清中 IL-2、IL-4、IL-10 和 IFN- γ 水平的影响

Fig.6 Effects of olive oil rich in zeaxanthin pigment on IL-2、IL-4、IL-10 and IFN- γ contents in aging mice

D-半乳糖通过机体代谢反应后，转化为醛糖和过氧化氢，除了迅速产生氧化应激损伤外，还会影响和破坏的免疫器官脾脏和胸腺，降低免疫能力，胸腺指数和脾脏指数是反映机体免疫能力高低的重要指标^[17,18]。对衰老小鼠胸腺指数和脾脏指数的影

响如图 5 所示。衰老小鼠连续灌胃给药干预 28 d 后 Model 组与 CK (0) 组相比，胸腺指数和脾脏指数极显著升高 ($P < 0.01$)；灌胃不同橄榄油的 5 组与 Model 组小鼠相比胸腺指数和脾脏指数都略有下降，其中 HZT 恢复较好，与 VE 组相比无显著差异 ($P > 0.05$)，而且 MZT 和 LZT 组小鼠的治疗效果优于 OL 组小鼠。以上结果表明，富含玉米黄质色素橄榄油具有明显延缓衰老小鼠胸腺和脾脏退化的作用。

2.6 对衰老小鼠血清中细胞因子含量的影响

IL-2、IL-4、IL-10 和 IFN- γ 是动物血清中各种细胞因子是构成机体免疫的重要组成部分，细胞因子之间相互协同配合共同作用于免疫应答，尤其在细胞增殖与分化和免疫球蛋白的释放等有很重要的作用，其含量水平可以直接反映动物参与体液免疫和细胞免疫的状态^[18,19]，也是衰老动物模型研究中检测的重要指标^[20-22]。对衰老小鼠血清中 IL-2、IL-4、IL-10 和 IFN- γ 水平的影响如图 6 所示。在 D-半乳糖的的诱导下衰老小鼠建模成功后小鼠血清中 4 种细胞因子的含量与 CK (0) 组相比显著降低 ($P < 0.01$)，通过灌胃干预 28 d 后，4 种血清细胞因子含量明显升高，且 HZT、MZT 和 LZT 组小鼠血清中 IL-2、IL-4、IL-10 和 IFN- γ 的含量均高于 OL 组，其中 HZT 与 VE 组相比差异不显著 ($P > 0.05$)，说明富含玉米黄质色素的橄榄油可以有效提高受损免疫细胞的自我修复功能，提高小鼠的免疫应答能力。

2.7 对衰老小鼠肝脏细胞的影响

小鼠衰老后会对肝脏产生氧化应激损伤外，还会破坏肝脏细胞，加速肝脏的负担，降低肝脏功能，小鼠肝脏 HE 染色结果如图 7 所示。衰老 Model 小鼠与 CK (0) 组小鼠相比，肝脏结构异常，脏细胞排列松散，Model 小鼠肝脏细胞结构不清晰，排列松散，肝血窦消失，胞质淡染，着色不强，肝细胞索排列不规则，脂肪颗粒散见；治疗 28 d 后，VE 组小鼠细胞核位于中央，细胞质丰富，肝细胞索排列正常，肝血窦正常，CK (0) 组小鼠相比相差不大，HZT 组小鼠肝细胞和肝细胞索排列整齐，肝血窦均匀散在，MZT 组小鼠肝组织和部分模糊，肝血窦可见微扩，LZT 组和 OL 组小鼠肝组织嗜酸性减弱，肝细胞结构不清晰，肝细胞索排列不整齐。结果表明富含玉米黄质色素的橄榄油具有保护衰老小鼠肝脏的作用。

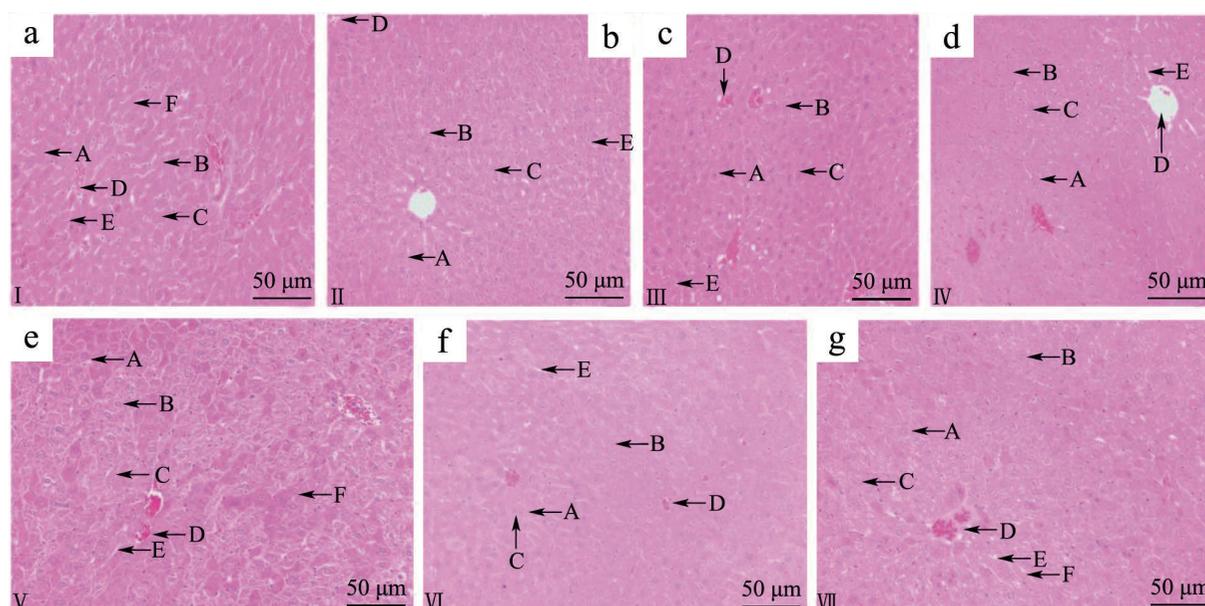


图7 各组小鼠肝脏组织形态结构 (HE 400×)

Fig.7 Morphological of mice liver tissue in each group (HE 400×)

注: a: CK (0) 组; b: Model 组; c: VE 组; d: OL 组; e: HZT 组; f: MZT 组; g: LZT 组。A. 肝细胞; B. 细胞核; C. 细胞质; D. 肝血窦; E. 肝细胞索; F. 中央静脉。

3 结论

小鼠在 D-半乳糖的诱导下, 小鼠体内生成了大量的自由基, 促使小鼠器官功能衰退、降低抗氧化能力、衰老进程加速, 体质量增加较慢, 衰老小鼠血清中的 SOD、CAT 和 GSH-Px 活力异常升高, 所对应的 MDA 也急剧升高, 这是 Model 组小鼠对 D-半乳糖的诱导而产生积极应激反应, 是清除衰老小鼠细胞产生的脂质过氧化产物的表现, 而且 SOD、CAT 和 GSH-Px 三种酶既是保护小鼠氧化损伤的主要功能酶, 也是监测细胞膜完整性的重要指标。同时诱导衰老会影响小鼠肝脏脂质代谢, 破坏肝细胞引起小鼠血清中的 ALT 和 AST 活性升高, 还会破坏脾脏和胸腺等免疫器官, 升高 IL-2、IL-4、IL-10 和 IFN- γ 等细胞因子的含量, 破坏细胞因子之间相互协同配合的共同作用, 降低免疫应答和免疫能力; 这些综合的效应直接可以体现在小鼠耐缺氧和抗疲劳作用的降低。

经过 28 d 的灌胃干预, 富含玉米黄质色素橄榄油治疗组不同程度降低了衰老小鼠的 SOD、CAT 和 GSH-Px 活力和 MDA 的含量, 能有效控制衰老小鼠体质量; 降低血清中的 ALT 和 AST 活性, 促使 IL-2、IL-4、IL-10 和 IFN- γ 生成水平升高, 明显延缓小鼠胸腺和脾脏退化, 能很好地保护小鼠肝脏, 而且 HZT 治疗最好, 接近 VE 治疗组, 明显优于

OL 组。综上, 富含玉米黄质色素的橄榄油糖对 D-半乳糖致亚急性衰老动物模型有很好的治疗效果, 能有效提高小鼠机体抗氧化能力并延缓衰老, 是具有很好辅助治疗作用的橄榄油保健食品。

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.
- [2] GRIGORIADOU D, ANDROULAKI A, PSOMIADOU E, et al. Solid phase extraction in the analysis of squalene and tocopherols in olive oil [J]. Food Chemistry, 2007, 105(2): 675-680.
- [3] 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.
- [4] LUKI M, LUKI L, KRAPAC M, et al. Sterols and triterpene diols in olive oil as indicators of variety and degree of ripening [J]. Food Chemistry, 2013, 163: 251-258.
- [5] REZAEI S, AKHLAGH M, SASA N, 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.
- [6] ROBLES A M, PULIDO M M, MORENO F. Hydroxytyrosol: Bioavailability, toxicity, and clinical applications [J]. Food Research International, 2018, 105: 654-667.
- [7] 郑恒光, 翁敏劫, 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 叶文斌,杨文,陈耀年,等.纹党和红芪加工废弃物中活性多糖对衰老小鼠学习记忆能力和抗疲劳作用的影响[J].甘肃农业大学学报,2021,56(2):18-24.
- [12] 叶文斌,何玉鹏,宫峥嵘,等.纹党和红芪加工废弃物活性多糖对衰老小鼠的抗氧化作用[J].安徽农业大学学报,2020,47(6):887-893.
- [13] HO C S, LIU J H, WU R Y, et al. Establishment of the mimetic aging effect in mice caused by D-galactose [J]. *Biogerontology*, 2003, 4(1): 15-18.
- [14] 张雨萌,黄娴青,牛佳玮,等.恭城油茶改善D-半乳糖致衰老小鼠的认知障碍[J].现代食品科技,2023,39(4):13-18.
- [15] 毕司英,齐涛,顾甜甜,等.过氧化氢酶作为新型抗氧化剂的应用及研究进展[J].山东畜牧兽医,2021,42(12):56-59.
- [16] LIU ZHENGTAO, QUE SHUPING, XU JING, et al. Alanine aminotransferase-old biomarker and new concept: A review [J]. *International Journal of Medical Sciences*, 2014, 11(9): 925-935.
- [17] 叶文斌,樊亮,王昱,等.拐枣多糖对环磷酰胺诱导免疫低下小鼠免疫功能的影响[J].现代食品科技,2017,32(7):26-32
- [18] 叶文斌,樊亮,王昱,等.黄果槲寄生果实多糖对环磷酰胺诱导免疫低下小鼠免疫功能影响[J].甘肃农业大学学报,2018,53(1):1-7,14.
- [19] BERKÖZ M, YALIN S, ÖZKAN Y F, et al. Protective effect of myricetin, apigenin, and hesperidin pretreatments on cyclophosphamide-induced immunosuppression [J]. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 2021, 43(3): 353-369.
- [20] 赵彩娇,卢美静,蒋云芳,等.灵龟八法对衰老大鼠IL-10、IFN- γ 活性及基因表达的影响[J].针灸临床杂志,2019,35(4):43-46.
- [21] 胥冰,席孝贤,贺新怀.千佛菌对衰老模型小鼠免疫失衡的调节作用[J].新乡医学院学报,2014,31(9):698-700.
- [22] 刘功成,王作伟,李亭亭,等.重楼叶多糖改善D-半乳糖衰老模型小鼠脾脏免疫功能和抗氧化能力[J].食品工业科技,2015,36(16):366-369,383.