

外源性谷胱甘肽对老龄小鼠体内抗氧化能力的影响

汪 明¹ 余永名¹ 王宇慧^{2,3} 张帅佳^{2,3} 罗 瑶^{2,3} 马 超^{2,3}

(1. 安徽正兴生物医药科技有限公司, 安徽 宣城 242000; 2. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083;
3. 北京市林业食品加工与安全重点实验室, 北京 100083)

摘要: [目的] 探究外源性谷胱甘肽对老龄小鼠体内抗氧化能力的改善作用。[方法] 选取老龄小鼠作为研究对象, 连续 30 d 灌胃不同剂量的谷胱甘肽 (166.7, 83.3, 41.7 mg/kg), 测定小鼠血清和肝组织匀浆中丙二醛 (MDA)、8-异构前列腺素、蛋白质羰基 (PCO) 和还原型谷胱甘肽含量, 以及总超氧化物歧化酶 (T-SOD) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-PX) 活力。[结果] 与空白对照组相比, 外源性谷胱甘肽高剂量组能够显著降低老龄小鼠体内 MDA 和 PCO 含量, 提高小鼠血清中 T-SOD 活力, 提高老龄小鼠体内还原型谷胱甘肽含量 ($P < 0.05$), 且受试物对老龄小鼠体重增长及脏器指数无不良影响。[结论] 谷胱甘肽对机体衰老过程中的氧化应激状态具有良好的改善作用。

关键词: 谷胱甘肽; 老龄小鼠; 活性氧; 抗氧化能力

In vivo antioxidant activity of exogenous glutathione on aging mice

WANG Ming¹ YU Yongming¹ WANG Yuhui^{2,3} ZHANG Shuaijia^{2,3} LUO Yao^{2,3} MA Chao^{2,3}

(1. Anhui Zhengxing Biopharmaceutical Technology Co., Ltd., Xuancheng, Anhui 242000, China; 2. College of Biological Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Beijing Key Laboratory of Forest Food Processing and Safety, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] To investigate the effect of exogenous glutathione (GSH) on improving antioxidant capacity in aging mice. [Methods] Aging mice were administered GSH by gavage at different doses (166.7, 83.3, and 41.7 mg/kg) continuously for 30 days. Levels of malondialdehyde (MDA), 8-isoprostane, protein carbonyl (PCO), and reduced GSH in serum and liver homogenate, as well as activities of total superoxide dismutase (T-SOD) and glutathione peroxidase (GSH-PX), were measured. [Results] Compared with the blank control group, the high-dose GSH group showed significant reductions in MDA and PCO levels, increased T-SOD activity in serum, and elevated reduced GSH content in aging mice ($P < 0.05$). No adverse effects on body weight gain or organ indices were observed. [Conclusion] GSH effectively improves oxidative stress status during the aging process.

Keywords: glutathione; aging mice; reactive oxygen species; antioxidant activity

衰老是生物体广泛存在且无法避免的自然生物学过程。机体衰老进程中产生过量的活性氧 (ROS) 会对机体的细胞和组织造成损伤, 使机体处于氧化应激状态。谷胱甘肽 (GSH) 是一种由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸 3 种氨基酸构成的小分子三肽。作为一种广泛存在于人体内部的内源性物质, GSH 主要存在于肝脏、脾脏、肾脏、肺部等

重要组织和器官中, 以其较小的相对分子质量和良好的水溶性, 能够轻松穿越毛细血管壁、血脑屏障、细胞膜以及其他生物膜。作为抗氧化酶的天然激活剂, 内源性 GSH 参与并调节体内的氧化还原过程, 是构成机体抗氧化系统的关键组分。已有研究^[1-4]表明, 补充外源性 GSH 能够显著提升机体在疾病状态下的抗氧化能力, 从而改

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 31770614)

通信作者: 马超 (1979—), 男, 北京林业大学教授, 博士。E-mail: machao@bjfu.edu.cn

收稿日期: 2025-02-08 **改回日期:** 2025-07-30

引用格式: 汪明, 余永名, 王宇慧, 等. 外源性谷胱甘肽对老龄小鼠体内抗氧化能力的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(10): 126-131.

Citation: WANG Ming, YU Yongming, WANG Yuhui, et al. *In vivo* antioxidant activity of exogenous glutathione on aging mice[J]. Food & Machinery, 2025, 41(10): 126-131.

善由氧化应激引起的各种症状,其可以抑制体内抗氧化物质不足介导的NADPH氧化酶/活性氧/脂质过氧化酶表达的上调,提高抗氧化能力。当人体组织细胞发生衰老或氧化应激时,补充外源性GSH可以预防、减轻、终止组织细胞的损伤,如补充外源性GSH可在细胞和器官水平上通过抗氧化和清除自由基作用有效改善异丙肾上腺素介导的大鼠心肌衰弱带来的损伤^[5]。

目前,有关外源性GSH对老年群体体内抗氧化能力影响的研究较少。研究拟以老龄小鼠作为试验模型,通过连续30 d灌胃GSH,对小鼠血液和肝脏中的丙二醛(MDA)、8-异构前列腺素、蛋白质羰基(PCO)含量,以及总超氧化物歧化酶(T-SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活性和还原型谷胱甘肽水平进行检测,旨在评估外源性GSH在老年小鼠体内的抗氧化效果,为GSH作为抗氧化剂应用于老年人群的保健食品提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

谷胱甘肽(GSH):产品标准为WS1-XG-010-2020,纯度≥98%,山东金城生物药业有限公司;

老龄昆明小鼠:SPF级32周龄,雄性,40只,生产许可证号SCXK(京)2021-0011,北京维通利华实验动物技术有限公司;

0.9%生理盐水:北京索莱宝生物科技有限公司;

丙二醛测试盒、微量还原型谷胱甘肽测定试剂盒、总超氧化物歧化酶测定试剂盒、谷胱甘肽过氧化物酶测试盒、蛋白定量测定试剂盒:南京建成生物工程研究所;

小鼠蛋白质羰基(PCO)ELISA检测试剂盒、小鼠8-异构前列腺素(8-Isoprostane)ELISA检测试剂盒:上海初态生物科技有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.1.2 仪器与设备

高速冷冻离心机:Avanti J-26S XP型,贝克曼库尔特国际贸易(上海)有限公司;

微量离心机:Centrifuge 5420型,上海艾本德生物技术国际贸易有限公司;

光吸收酶标仪:Tecan Infinite® 200 PRO Nano Quant型,上海新振仪器设备有限公司;

均质机:T-10 basic S25型,艾卡(广州)仪器设备有限公司;

分析天平:JJ523BC型,常熟市双杰测试仪器厂。

1.2 试验方法

1.2.1 动物分组及给药 选取健康的SPF级雄性昆明老龄小鼠,适应喂养1周,将小鼠随机分成空白对照组(BLK),GSH高剂量(GSH-H,166.7 mg/kg)、中剂量(GSH-M,83.3 mg/kg)、低剂量(GSH-L,41.7 mg/kg)组共4组,每组10只。动物房温度保持在(24.0±0.5)℃,相对

湿度保持在(65±5)%,室内光照采用12 h明暗交替模式。GSH用去离子水溶解,连续灌胃30 d,期间每日监测记录小鼠体重变化。

1.2.2 小鼠血清及脏器组织取材 末次灌胃结束断食不断水12 h后,小鼠眼球采血,收集的血液于室温静置2 h,3 000 r/min离心15 min,取上清备用。脱颈处死小鼠后,解剖取脏器称重,按式(1)计算脏器指数(OI)。以生理盐水洗涤小鼠肝组织,用滤纸擦干后准确称重,加入9倍体积预冷的生理盐水,冰浴下3 000 r/min匀浆1 min制成10%肝组织匀浆,3 000 r/min离心10 min,取上清备用。

$$I = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

I ——脏器指数,%;

m_1 ——组织重量,g;

m_2 ——小鼠体重,g。

1.2.3 抗氧化指标检测 参考《保健食品功能检验与评价方法(2023版)》选取相应抗氧化指标进行检测,小鼠血清及肝组织匀浆中GSH、MDA、PCO、8-Isoprostane等含量和T-SOD、GSH-PX活性参考试剂盒说明书进行测定。

1.2.4 肝组织病理形态学观察 将肝小叶固定在4%的多聚甲醛溶液中,并通过石蜡包裹切片和苏木素—伊红(HE)染色技术,对肝组织的病理形态进行观察。

1.3 数据处理

试验结果以 $\bar{x} \pm SD$ 表示,采用SPSS Statistics 22.0软件进行数据统计分析。组间差异利用单因素方差分析处理, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。事后比较采用最小显著差数法(LSD)和Duncan法在方差齐时进行两两比较;方差不齐时改用秩合检验进行统计。

2 结果与分析

2.1 对老龄小鼠体重及脏器指数的影响

生物体衰老的过程与机体组织细胞内自由基的不断积累密切相关。谷胱甘肽作为一种内源性细胞保护因子,在维持细胞内氧化还原平衡状态中发挥着关键作用。它能够中和活性氧(ROS)和活性氮(RNS)等氧化性物质,从而避免细胞受到氧化损伤。在细胞内稳态的正常生理状态下,谷胱甘肽主要以还原形式存在。然而,许多代谢途径导致细胞内稳态失衡,迫使GSH从还原形式向氧化形式转化。GSH的细胞内水平是通过直接摄取外源性GSH、重新合成GSH和GSH氧化还原循环来维持的^[6]。

连续给药30 d,BLK组小鼠精神状态及活动性良好,皮毛有光泽,食量正常;GSH组小鼠表现出与BLK组相同的精神状态、毛色、活动性及摄食量。由图1可知,各组小鼠在30 d内体重保持平稳。与BLK组相比,GSH-H、GSH-M和GSH-L组的体重无显著差异。禁食处理造成试验末期体重下降,但各组之间无显著差异。与BLK组相比,GSH-H、GSH-M和GSH-L组小鼠的脏器指数无显

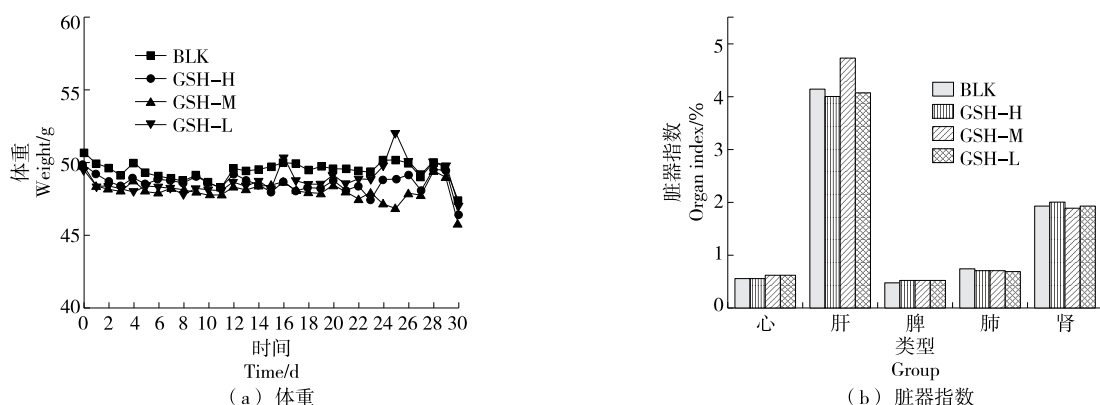


图1 连续30 d灌胃GSH对老龄小鼠体重及脏器指数的影响

Figure 1 Effect of glutathione by gavage for 30 days on body weight and organ index in aging mice

著性差异。殷光玲等^[7]研究表明,姜黄白芍混合物对老龄小鼠干预期间体重无显著性差异,说明受试物对老龄小鼠体重无不良影响,与试验结果一致。表明GSH高、中、低剂量连续灌胃30 d未对老龄小鼠的体重和主要脏器带来不良影响。

2.2 对脂质氧化水平的影响

当自由基攻击生物膜中的不饱和脂肪酸时会发生脂质过氧化反应,该反应的终末产物为8-Isoprostane,而MDA是生物膜多不饱和脂肪酸随着年龄和氧化应激的增加而氧化过程中产生的主要活性醛^[8],其含量是衡量体内脂质过氧化水平的一个指标,且可以间接反映细胞的氧化损伤程度。由图2可知,与BLK组相比,GSH-H组老龄小鼠血清中MDA含量显著降低($P<0.05$),但GSH对老龄小鼠血清中8-Isoprostane含量无显著影响。此外,与BLK组相比,GSH-H、GSH-M和GSH-L组均会显著降低老龄小鼠肝组织匀浆中的MDA含量($P<0.05$)。

肝脏作为机体的重要器官,容易受到ROS的攻击。随着细胞衰老,老年人肝脏代谢功能进一步紊乱,进而导致多种常见老年疾病的发生,包括胰岛素抵抗、糖尿病和非酒精性脂肪肝病^[9-10]。张延进等^[11]研究发现,葛根发酵产

物干预可以显著降低急性衰老模型小鼠血清和肝脏中的MDA含量($P<0.05$),说明葛根发酵产物可以缓解衰老小鼠血清和肝脏的氧化应激作用,与试验结果一致。说明GSH可以有效降低老龄小鼠体内脂质氧化产物含量,可通过清除ROS来对抗衰老过程中发生的氧化应激反应。

2.3 对蛋白质氧化水平的影响

当活性氧(ROS)通过谷氨酰胺侧链氧化或 α -酰胺化途径诱导蛋白质的氧化裂解,就会导致蛋白质侧链上羰基的生成。这些蛋白质羰基会导致与氧化应激相关的各种组织损伤和衰老,并涉及许多与衰老相关的退行性疾病的发病机制^[12]。由图3可知,与BLK组相比,GSH-H、GSH-M和GSH-L组均能极显著降低血清中PCO含量($P<0.01$);但老龄小鼠肝脏中的PCO含量不存在显著性差异,可能与肝脏具备的再生能力和代偿能力有关。在轻度或中度的肝脏损伤时,肝脏可以通过自身的修复和代偿机制维持正常的功能,导致肝脏生化指标差异不显著。而血液生化指标可能更容易受到肝脏损伤的影响,表现出显著差异。相似的结果也出现在姜黄白芍混合物对老龄小鼠肝脏氧化应激干预的研究中^[7],摄入不同剂量的姜黄白芍混合物对老龄小鼠肝脏PCO含量无显著影响。

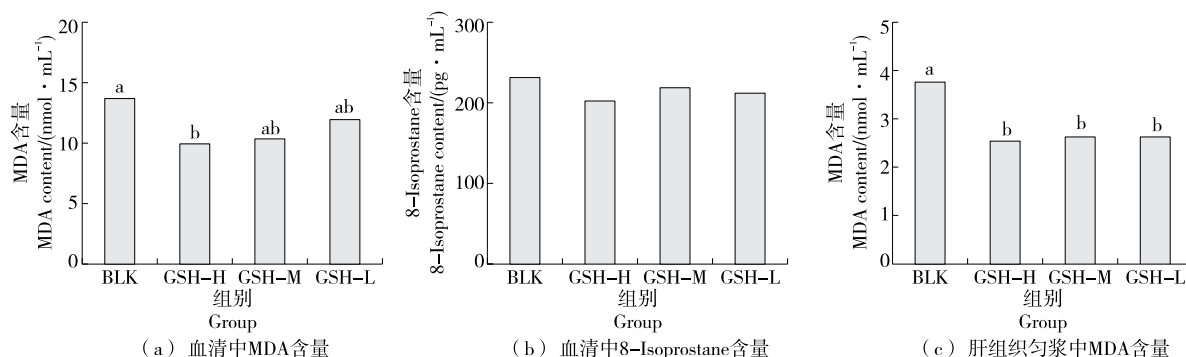
字母不同表示组间差异显著($P<0.05$)

图2 GSH对老龄小鼠脂质氧化水平的影响

Figure 2 Effect of glutathione on lipid oxidation level of aging mice

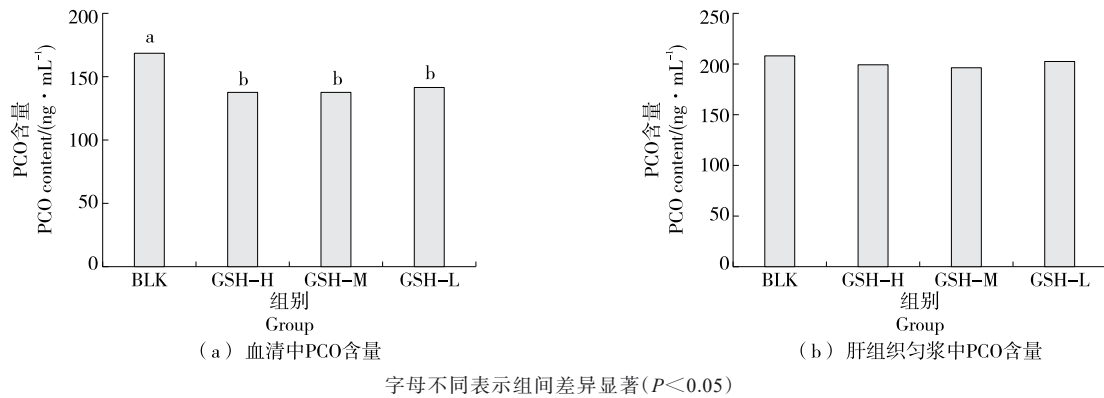


图3 GSH对老龄小鼠蛋白质氧化水平的影响

Figure 3 Effect of glutathione on protein oxidation level of aging mice

2.4 对抗氧化酶活力的影响

在预防衰老引起的氧化应激状态时,维持或增强酶促抗氧化剂的活性和抑制自由基的产生是非常重要的策略^[13]。然而,脂质过氧化物或自由基的增加很容易降低这些酶促抗氧化剂活性,使酶促抗氧化剂分解,从而导致各种组织损伤和衰老。由图4可知,与BLK组相比,GSH-H组能显著提高老龄小鼠血清中T-SOD活力 ($P < 0.05$),但灌胃GSH对老龄小鼠血清中GSH-PX活力并无显著影响。与BLK相比,GSH对老龄小鼠肝组织匀浆中T-SOD和GSH-PX活力无显著影响,可能是因为肝脏在维持器官内源性GSH稳态中发挥重要作用,大部分的內源性GSH是由肝脏

产生并释放到血浆和胆汁中^[14]。综上,灌胃GSH可以有效提升老龄小鼠血清中的抗氧化酶活力,是因为外源性GSH可以清除有害活性代谢物,激活体内抗氧化酶活性保护细胞和器官免受衰老过程中自由基引起的各种氧化损伤^[15]。

段雨劼等^[16]研究指出,葡萄籽提取物中的主要抗氧化活性成分是通过调节抗氧化酶活性,高效清除机体活性氧实现的;张梓萱等^[17]研究发现,葡萄籽提取物及复合维生素C胶囊能够显著降低衰老模型小鼠血清中的MDA含量,并显著提升抗氧化酶活性,其对衰老模型小鼠氧化损伤的修复作用主要归因于其对机体抗氧化酶活性的增强,与试验结果一致,表明外源性GSH具有与天然抗氧化

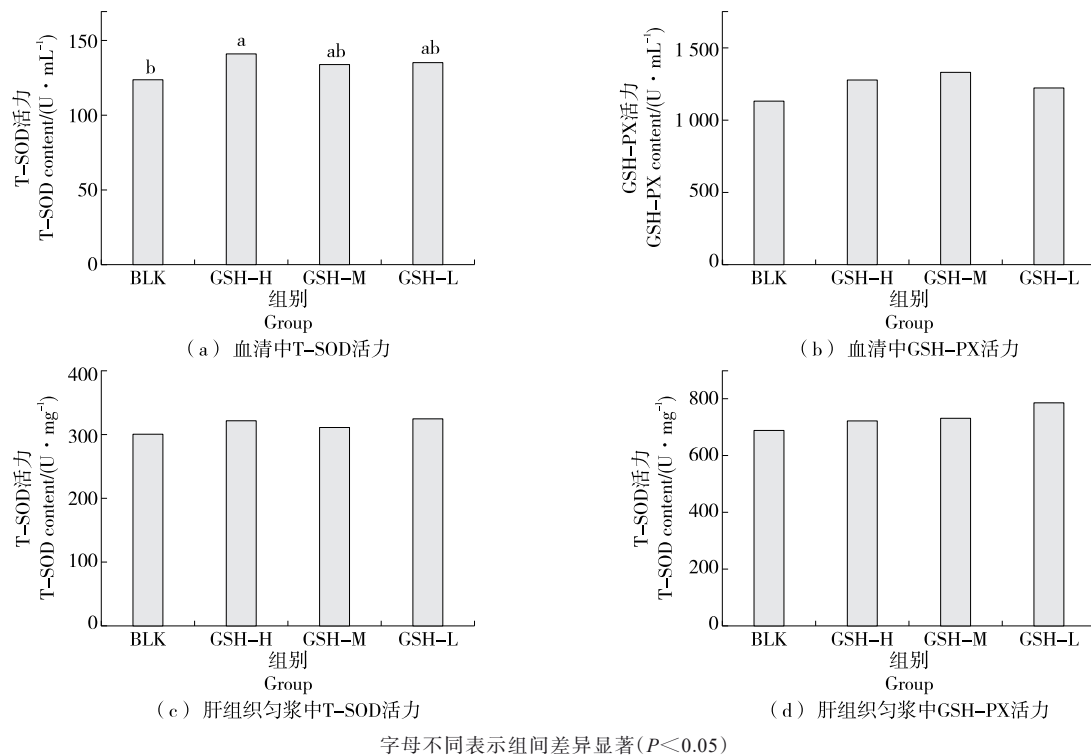


图4 GSH对老龄小鼠抗氧化酶活力的影响

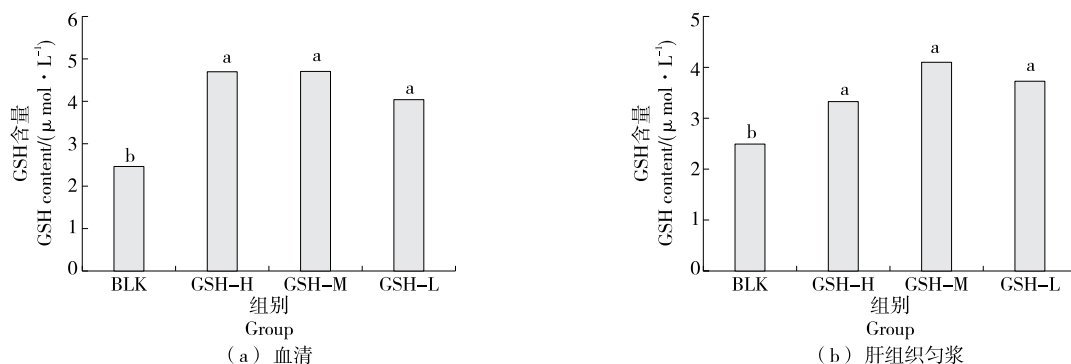
Figure 4 Effect of glutathione on antioxidant enzyme activity of aging mice

剂相似的抗氧化能力。

2.5 对体内 GSH 水平的影响

机体处于正常状态时,ROS 生成过程由抗氧化系统调控平衡,其中还原型 GSH 被认为是关键调控因子^[15]。由图 5 可知,与 BLK 组相比,GSH-H、GSH-M 和 GSH-L 组均可以极显著提升老龄小鼠血清中还原型 GSH 含量($P<0.01$);GSH-H 和 GSH-L 组可以显著提升小鼠肝组织匀浆中的还原型 GSH 含量($P<0.05$),而 GSH-M 组能极显著

提升小鼠肝组织匀浆中的还原型 GSH 含量($P<0.01$)。由此推测,老龄小鼠通过补充外源性 GSH 进一步促进肝脏中还原型 GSH 含量提升,之后 GSH 被释放转运到血液及胆汁中,继续调控机体的抗氧化系统平衡。此外,一些天然活性成分如枸杞叶黄酮^[18]、番茄红素与槲皮素^[19]、葛根发酵产物^[11]等可以通过提高衰老小鼠体内还原型 GSH 含量来改善氧化应激状态,进一步证实了外源性 GSH 具有与天然活性成分相似的抗氧化能力。



字母不同表示组间差异显著($P<0.05$)

图 5 GSH 对老龄小鼠血清和肝组织匀浆中还原型谷胱甘肽的影响

Figure 5 Effect of GSH on reduced glutathione in serum and liver of aging mice

根据《保健食品功能检验与评价方法(2023 年版)》中抗氧化功能评价试验结果判定方法,当脂质氧化产物、蛋白质氧化产物、抗氧化物质及抗氧化酶 4 个指标中至少有 3 项呈阳性时,可判定该受试样品有助于抗氧化动物试验结果阳性。GSH-H、GSH-M 及 GSH-L 组均有 3 项及以上指标结果阳性,可以判定外源性 GSH 具有抗氧化功能。

2.6 GSH 对老龄小鼠肝组织病理变化的影响

由图 6 可知,BLK 组肝脏组织结构相对完整,肝细胞排列紧密且规则,未观察到明显的炎症细胞浸润或坏死区域。与 BLK 组相比,GSH-H、GSH-M 和 GSH-L 组老龄小鼠肝脏组织结构均保持基本完整,且无明显的炎症细胞浸润或坏死区域,表明 GSH 处理对小鼠肝脏无明显不良影响。

3 结论

通过给予雄性老龄昆明小鼠连续灌胃 30 d 谷胱甘肽,探究了补充外源性谷胱甘肽对老龄小鼠体内抗氧化作用的影响。结果表明,高剂量谷胱甘肽能够显著降低老龄小鼠血清中丙二醛含量,极显著降低老龄小鼠血清中蛋白质羰基含量($P<0.01$),显著提升老龄小鼠血清中总超氧化物歧化酶含量($P<0.05$),极显著提升老龄小鼠血清中谷胱甘肽含量($P<0.01$);中、低剂量谷胱甘肽能显著降低老龄小鼠肝脏中丙二醛含量($P<0.05$),极显著降低老龄小鼠血清中蛋白质羰基含量($P<0.01$),显著增加老龄小鼠血清和肝脏中还原型谷胱甘肽含量($P<0.05$)。在过氧化脂质含量、蛋白质羰基、抗氧化酶活性和还原型

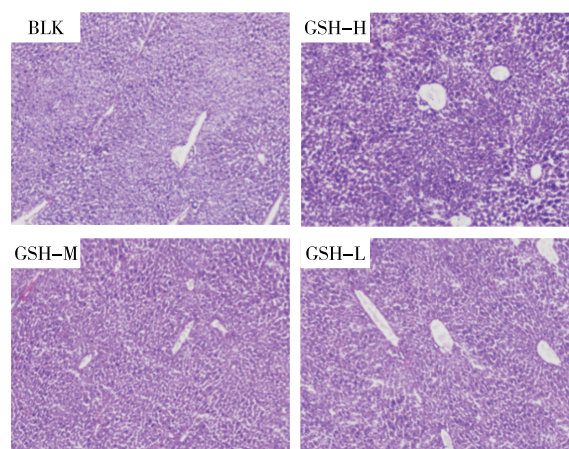


图 6 GSH 对老龄小鼠肝组织病理变化的影响

Figure 6 Effect of glutathione on pathological changes of liver tissue in aging mice (100×)

谷胱甘肽 4 项指标中有 3 项及以上指标呈阳性,判定受试外源性谷胱甘肽有助于抗氧化动物试验结果阳性。由于外源性谷胱甘肽对老龄小鼠体内氧化应激状态的改善作用与葛根发酵产物相似,由此推测二者具有相似的抗氧化机制,即通过清除老龄小鼠体内自由基、降低氧化应激产物含量、激活并提升老龄小鼠体内抗氧化酶活性等途径实现的。后续可通过蛋白质免疫反应、能量代谢和信号传导通路分析等方式进一步明确补充外源性谷胱甘肽的抗氧化机制。

参考文献

- [1] 符素芳. 还原型谷胱甘肽辅助治疗甲状腺功能亢进的临床效果观察[J]. 基层医学论坛, 2023, 27(19): 70-72, 123.
FU S F. Clinical effect of reduced glutathione in the treatment of hyperthyroidism[J]. The Medical Forum, 2023, 27(19): 70-72, 123.
- [2] 高雁楠, 张静, 唐露露, 等. 还原型谷胱甘肽联合二巯丙磺钠治疗神经型Wilson病的临床效果[J]. 中国临床研究, 2024, 37(4): 549-553.
GAO Y N, ZHANG J, TANG L L, et al. Effect of reduced glutathione in combination with sodium dimercaptosulphonate in the treatment of neurological Wilson's disease[J]. Chinese Journal of Clinical Research, 2024, 37(4): 549-553.
- [3] 方向明. 口服还原型谷胱甘肽联合阿托伐他汀钙对大鼠血脂影响及抗氧化作用[D]. 广州: 广州医学院, 2011.
FANG X M. The impact of atorvastatin- reduced glutathione combination to anti-oxidation action and blood lipid level in rats with hyperlipidemia[D]. Guangzhou: Guangzhou Medical University, 2011.
- [4] NADEEM A, SIDDIQUI N, ALHARBI N O, et al. Glutathione modulation during sensitization as well as challenge phase regulates airway reactivity and inflammation in mouse model of allergic asthma[J]. Biochimie, 2014, 103: 61-70.
- [5] SUDHA M, RAJKUMAR D, FELIX J W. Protective effect of glutathione against isoproterenol induced myocardial injury in rats[J]. Indian Journal of Physiology and Pharmacology, 2013, 57(2): 132-137.
- [6] ISKUSNYKH I Y, ZAKHAROVA A A, PATHAK D. Glutathione in brain disorders and aging[J]. Molecules, 2022, 27(1): 324.
- [7] 殷光玲, 肖义然, 贤欢, 等. 姜黄白芍复合物对老龄小鼠抗氧化功能的改善作用[J]. 食品工业, 2023, 44(11): 93-97.
YIN G L, XIAO Y R, XIAN H, et al. Improvement effect of antioxidant function of curcumin and peony complexes in aging mice[J]. The Food Industry, 2023, 44(11): 93-97.
- [8] 柯妍妍, 陈素云, 陈淑珍, 等. 交感神经对青年和老龄小鼠肠道上皮细胞增殖和抗氧化功能的影响[J]. 中国组织化学与细胞化学杂志, 2019, 28(5): 411-416.
KE Y Y, CHEN S Y, CHEN S Z, et al. Effects of sympathetic nerve on proliferation and antioxidant function of intestinal epithelial cells in juvenile and old mice[J]. Chinese Journal of Histochemistry and Cytochemistry, 2019, 28(5): 411-416.
- [9] TEWARI D, JÓŹWIK A, ŁYSEK-GLADYSIŃSKA M, et al. Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seeds dietary supplementation regulates liver antioxidant defense systems in aging mice[J]. Nutrients, 2020, 12(9): 2 552.
- [10] 汪芳, 罗涛, 陈烱玲, 等. 小麦胚芽活性肽通过 AMPK/SIRT1 改善大鼠肝脏衰老损伤的作用机制研究[J]. 中国科学: 生命科学, 2024, 54(3): 537-547.
WANG F, LUO T, CHEN H L, et al. Wheat germ peptides improving liver aging damage in rats through the AMPK/SIRT1 pathway[J]. Scientia Sinica (Vita), 2024, 54(3): 537-547.
- [11] 张延进, 马雅鸽, 杨雄超, 等. 葛根发酵产物延缓衰老小鼠器官功能衰退的作用机制[J]. 食品与机械, 2024, 40(12): 109-117.
ZHANG Y J, MA Y G, YANG X C, et al. Mechanism of fermentation products of *Puerariae lobatae* Radix in delaying organ function decline in aging mice[J]. Food & Machinery, 2024, 40(12): 109-117.
- [12] GARCIA C, BLESSO C N. Antioxidant properties of anthocyanins and their mechanism of action in atherosclerosis[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2021, 172: 152-166.
- [13] 刘睿, 康家伟, 珠娜, 等. 核桃低聚肽对亚健康大鼠氧化应激和炎症反应的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(4): 316-321.
LIU R, KANG J W, ZHU N, et al. Effect of walnut oligopeptides on inhibiting oxidative stress and inflammation of sub-health rats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(4): 316-321.
- [14] VAŠKOVÁ J, KOČAN L, VAŠKO L, et al. Glutathione-related enzymes and proteins: a review[J]. Molecules, 2023, 28(3): 1 447.
- [15] VAIRETTI M, DI PASQUA L G, CAGNA M, et al. Changes in glutathione content in liver diseases: an update[J]. Antioxidants, 2021, 10(3): 364.
- [16] 段雨劼, 吴媛妮, 李理, 等. 复方虾青素葡萄籽提取物对老龄小鼠抗氧化作用的研究[J]. 海峡预防医学杂志, 2024, 30(2): 59-62.
DUAN Y J, WU Y N, LI L, et al. Study on antioxidant effects of compound astaxanthin grape seed extract on aged mice[J]. Strait Journal of Preventive Medicine, 2024, 30(2): 59-62.
- [17] 张梓萱, 郭佳琦, 朱晨辉. 葡萄籽与维生素C对D-半乳糖模型小鼠抗氧化作用的研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(1): 208-213.
ZHANG Z X, GUO J Q, ZHU C H. Antioxidant effect of grape seed and Vitamin C on D-galactose model mice[J]. China Food Additives, 2023, 34(1): 208-213.
- [18] 覃绛雪, 杨雪, 刘金旺, 等. 枸杞叶黄酮口服液配方优化及改善衰老小鼠抗氧化作用研究[J]. 食品工业科技, 2025, 46(17): 272-281.
QIN J X, YANG X, LIU J W, et al. Formula optimization of the oral liquid with *Lycium barbarum* leaves flavonoids and its effect on improving the antioxidant activity in aging mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(17): 272-281.
- [19] 陈璇. 黄酮类化合物(槲皮素、木犀草素)与类胡萝卜素(番茄红素、叶黄素)协同抗氧化作用及分子机制[D]. 南昌: 南昌大学, 2022: 119-121.
CHEN X. Synergistic antioxidant effects and mechanisms of flavonoids (quercetin, luteolin) and carotenoids (lycopene, lutein) [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022: 119-121.