

油菜花粉总黄酮体外抗氧化及其对溃疡性结肠炎小鼠的保护作用

黄小强, 贾 安*, 刘顺和, 黄 涛, 史启蒙, 胡香玉, 程沛璇, 潘佳茵
(黄河科技学院医学院, 河南 郑州 450063)

摘要: **目的** 探讨油菜花粉总黄酮体外抗氧化活性及其对 DSS 诱导的溃疡性结肠炎 (UC) 小鼠的保护作用。**方法** 通过 DPPH·、OH·、ABST·、Fe³⁺ 还原能力检测油菜花粉总黄酮体外抗氧化活性。将 40 只昆明雄性小鼠分为正常组、模型组以及油菜花粉总黄酮低、高剂量组 (50、100 mg/kg), 每组 10 只, 除正常组外, 其余各组小鼠连续 7 d 给予 3% DSS 构建 UC 模型, 同时灌胃给予相应药物, 正常组和模型组灌胃给予蒸馏水。期间观察小鼠一般体征、DAI 评分、结肠长度, ELISA 法检测小鼠血清 TNF-α、IL-6 水平, 同时检测结肠组织中 SOD 活性和 MDA 水平, HE 染色观察结肠组织病理学情况及评分。**结果** 油菜花粉总黄酮具有较强的抗氧化活性。与模型组比较, 油菜花粉总黄酮各剂量组小鼠结肠长度均较长, DAI 评分均降低 ($P<0.05$), TNF-α、IL-6、MDA 水平降低 ($P<0.05$), SOD 活性升高 ($P<0.05$), 油菜花粉总黄酮能够缓解结肠组织损伤, 降低病理组织学评分。**结论** 油菜花粉总黄酮对 DSS 诱导的 UC 小鼠具有一定的保护作用, 其机制可能与抑制炎症因子分泌和调节机体氧化应激有关。

关键词: 油菜花粉总黄酮; 溃疡性结肠炎; 氧化应激; 炎症

中图分类号: R285.5 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2024)05-1688-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2024.05.046

溃疡性结肠炎 (ulcerative colitis, UC) 是一种慢性肠道炎症疾病, 其症状为腹痛、痉挛、腹胀、腹泻、排便便等^[1-2]。UC 导致患者的生活质量水平下降, 且发病率越来越高, 在年轻人中更为突出^[3]。尽管多项研究表明 UC 与遗传、生活方式、环境、免疫功能及肠道生态系统等因素有关, 但其确切的作用机制尚不清楚^[4-5]。目前, 临床治疗 UC 的药物主要有氨基水杨酸盐、柳氮磺胺吡啶、美沙拉秦、糖皮质激素、免疫抑制剂等, 但长期使用可能导致发热、呕吐、急性胰腺炎和其他副作用^[6-7]。因此, 迫切需要新的替代疗法。近年来, 越来越多的研究发现中药有效成分对 UC 具有防治作用^[8]。因此从中药中寻找防治 UC 的新药是一种新的可行性方法。

油菜花粉的成分包括酚类、黄酮类、脂肪酸、蛋白质、维生素、多糖等^[9]。中医认为油菜花粉具有益肾固本的功效, 现代药理学研究发现油菜花粉具有抗疲劳、降血脂、抑制前列腺增生、抗氧化等作用^[10]。黄酮类是油菜花粉的主要成分之一, 具有较强的抗氧化、抗炎作用^[11]。但是关于油菜花粉总黄酮对 UC 的研究尚未见到报道。因此, 本研究先考察其体外抗氧化活性, 然后采用葡聚糖硫酸钠盐 (DSS) 诱导建立 UC 小鼠模型, 探讨油菜花粉总黄酮对 UC

的保护作用, 以期为其深入研究提供参考。

1 材料

1.1 动物 40 只清洁级 8 周龄昆明雄性小鼠, 体质量 18~22 g, 购于河南省动物实验中心, 动物动物生产许可证号 SCXK (豫) 2016-0001, 饲养条件为温度 21~23 ℃, 相对湿度 55%~75%, 自然光照。动物实验经黄河科技学院医学院实验动物伦理委员会批准 (伦理号 2022-004)。

1.2 试剂与药物 油菜花粉产自山西省忻州市五台山, 购自忻州市五台山蜂业有限公司, 批号 3605001, 执行标准 GB31636, 经专家鉴定为正品。葡聚糖硫酸钠盐 (货号 MB5535) 购自大连美仑生物技术有限公司; 芦丁 (批号 153-18-4)、1, 1-二苯基-2-苦基基 (DPPH, 批号 S30629-250 mg)、2, 2-联岸-双二胺盐 (ABST, 批号 S19198-1 g)、维生素 C 均购自上海源叶生物科技有限公司; 肿瘤坏死因子 α (TNF-α, 批号 1910262)、白介素 6 (IL-6, 批号 2011161) ELISA 检测试剂盒购自上海西唐生物科技有限公司; 丙二醛 (MDA, 批号 20211021)、超氧化物歧化酶 (SOD, 批号 20210918) 试剂盒购自南京建成生物工程研究所有限公司; 其他试剂均为国产分析纯。

1.3 仪器 Infinite 200 多功能酶标仪 (瑞士 Tecan 公司);

收稿日期: 2023-09-20

基金项目: 河南省 2018 年民办高校品牌专业项目 (ZLG201801); 河南省科技攻关项目 (242102311266); 郑州市抗肿瘤中药研究重点实验室项目 (2019); 河南省大学生创新创业训练项目 (S202111834015); 2023 年河南省研究生教育改革与质量提升工程项目 (YJS2023JD68)

作者简介: 黄小强 (1988—), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为中药药效物质基础及作用机制。Tel: 15880081619, E-mail: 1427733452@qq.com

* **通信作者:** 贾 安 (1980—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为中药药效物质基础及作用机制。Tel: 18137774855, E-mail: 869955076@qq.com

紫外可见分光光度计（上海仪电分析仪器有限公司）；光学显微镜（日本 Olympus 公司）；RM2125 型石蜡切片机（德国 Leica 公司）；旋转蒸发仪（巩义市予华仪器有限责任公司）。

2 方法

2.1 油菜花粉总黄酮的制备与检测方法 参考文献 [12-13] 报道，称取经破壁后的油菜花粉粉末 200 g，加入 10 倍量 80% 乙醇回流提取 2 h，抽滤，滤渣再次加入 8 倍量 80% 乙醇回流提取 2 h，抽滤，合并滤液，减压浓缩至 50 mL，除去杂质，经 D101 大孔树脂上样，静态吸附 30 min，用超纯水洗脱至无色，再用乙醇冲洗，收集合并乙醇洗脱液，减压浓缩至浸膏，真空冷冻干燥。采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$ 显色法，制备芦丁对照品系列质量浓度溶液，以对照品质量浓度为横坐标 (X)，在 510 nm 波长处测得吸光度为纵坐标 (A) 进行回归，得方程为 $A = 9.590\ 7X - 0.009\ 1$ ($R^2 = 0.999\ 1$)，测得油菜花粉提取物中含总黄酮含量为 52.79%。

2.2 体外抗氧化活性 精密称取油菜花粉总黄酮适量，置于 100 mL 量瓶中，乙醇定容，得到质量浓度为 4 mg/mL 的溶液。分别精密吸取溶液适量置于 10 mL 量瓶中，乙醇定容，制成质量浓度为 2、1、0.5、0.25、0.125、0.062 5、0.031 25 mg/mL 的溶液，备用。

2.2.1 清除 DPPH·能力 参考文献 [14-15] 报道，精密吸取“2.2”项下溶液各 3 mL 置于玻璃试管中，加入 3 mL 0.1 mg/mL DPPH 乙醇溶液，充分混匀，37 ℃ 避光放置 30 min，在 517 nm 波长处检测吸光度 A_1 ，以乙醇为空白对照测得吸光度 A_0 ，维生素 C 为阳性对照，计算 DPPH 自由基清除率，公式为清除率 = $[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100\%$ 。

2.2.2 清除 OH·能力 参考文献 [16] 报道，精密吸取“2.2”项下溶液各 1 mL，依次加入 1.5 mL 9 mmol/L 乙醇-水杨酸溶液，1.5 mL 9 mmol/L FeSO_4 和 1 mL 6 mmol/L H_2O_2 溶液，混匀，37 ℃ 水浴静置 30 min，在 520 nm 波长处检测吸光度 A_1 ，以乙醇为空白对照测得吸光度 A_0 ，维生素 C 为阳性对照，计算 OH 自由基清除率，公式为清除率 = $[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100\%$ 。

2.2.3 清除 ABST·能力 参考文献 [14-15] 报道，将 7.4×10^{-3} mol/mL ABST 与 2.6×10^{-6} mol/mL 过硫酸钾 1 : 1 混合，避光放置 12 h，乙醇稀释至在 734 nm 波长处的吸光度在 0.7 ± 0.02 之间，得 ABTS 自由基工作液。精密吸取“2.2”项下溶液各 1 mL，加入 2.0 mL ABTS 自由基工作液，混匀，室温下反应 10 min，在波长 734 nm 波长处检测吸光度为 A_1 ，以乙醇为空白对照测得吸光度 A_0 ，维生素 C 为阳性对照，计算 ABST 自由基清除率，公式为清除率 = $[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100\%$ 。

2.2.4 铁原子还原能力 参考文献 [17] 报道，精密吸取“2.2”项下溶液各 1 mL，分别加入 2.5 mL 磷酸盐缓冲液 (pH6.8) 和 2.5 mL 1% 铁氰化钾溶液，50 ℃ 下水浴反应 20 min。加入 2.5 mL 三氯乙酸溶液终止反应，3 500 r/min

离心 10 min，取上清液 2.5 mL，加 2.5 mL 乙醇和 0.5 mL 0.1% 三氯化铁溶液，混匀，在 700 nm 波长处检测吸光度 A_1 ，以乙醇为空白对照测得吸光度 A_0 ，维生素 C 为阳性对照，计算铁原子还原能力，公式为还原能力 = $A_1 - A_0$ 。

2.3 药理实验

2.3.1 分组、造模及给药 将 40 只雄性 KM 小鼠适应性饲养 1 周，随机分为正常组、模型组以及油菜花粉总黄酮低、高剂量组 (50、100 mg/kg)，每组 10 只。正常组给予蒸馏水，其余各组自由饮用 3% DSS，同时灌胃给予相应药物，连续 7 d^[3]。每天称定小鼠体质量并观察小鼠粪便情况，末次给药后，小鼠禁食不禁水 12 h，摘眼球取血，脱臼处死，取结肠组织，检测结肠长度。同时剪去一部分结肠组织 4% 多聚甲醛固定，备用。

2.3.2 疾病活动指数 (DAI) 评分 实验期间每天观察小鼠体质量、粪便形状、便血情况，检查溃疡性结肠炎的发生情况。通过 DAI 评分评估总体疾病严重程度，评分情况见表 1^[18]，公式为 $\text{DAI} = (\text{体重下降评分} + \text{大便性状评分} + \text{大便隐血情况评分}) / 3$ 。

表 1 小鼠 DAI 评分标准

得分/分	体重变化率/%	大便性状	便血情况
0	≥ 0	正常	无
1	-3~0	松散大便	有便血点
2	-6~-3	半成型带黏液大便	成块便血
3	-9~-6	稀便	成片便血
4	-12~-9	腹泻	便血及肛门肿胀

2.3.3 ELISA 法检测血清 TNF- α 、IL-6 水平 小鼠取血后，4 ℃ 下 4 000 r/min 离心 10 min，取上清，按照相关试剂盒表明书操作，血清 TNF- α 、IL-6 水平。

2.3.4 检测结肠组织 SOD 活性和 MDA 水平 将结肠组织置于预先遇冷的组织研磨器中，并冰上进行充分研磨，BCA 检测蛋白浓度，按照相关试剂盒说明书操作，检测结肠组织 SOD 活性和 MDA 水平。

2.3.5 HE 染色观察结肠组织病理学情况及评分 取多聚甲醛已固定好的结肠组织，分别进行酒精脱水，石蜡包埋，切片，二甲苯脱蜡，HE 染色，封片等过程，在倒置显微镜下观察并拍片。组织病理学评分标准见表 2^[19]，公式为组织病理学评分 = (炎症严重程度评分 + 隐窝破坏程度评分 + 炎症范围评分) / 3。

表 2 组织病理学评分标准

得分/分	炎症	隐窝破坏	炎症范围
0	无	无	0
1	轻度	基底部 1/3 隐窝消失	1% ~ 25%
2	中度	基底部 2/3 隐窝消失	25% ~ 50%
3	重度	仅上皮层完整	50% ~ 75%
4	—	隐窝和上皮消失	75% ~ 100%

2.4 统计学分析 通过 SPSS 22.0、GraphPad Prism 9.0 软件进行处理，数据以 ($\bar{x} \pm s$) 表示，多组间比较采用单因素方差分析。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

3 结果

3.1 油菜花粉总黄酮抗氧化能力 由图 1 可知，油菜花粉总黄酮对 DPPH·、OH·、ABST·、Fe³⁺ 均具有一定的清除能力。随着油菜花粉总黄酮质量浓度的增加，其清除率也不断增强，2 mg/mL 时，对 DPPH·、OH·、ABST· 清除率分别达到91%、56%、96%，对 Fe³⁺ 的吸光度为 1.201，但其能力均弱于维生素 C。DPPH·、OH·、ABST· 清除能力的 IC₅₀ 值分别为 0.045 34、1.476 0、0.298 2 mg/mL。表明油菜花粉总黄酮具有较强的抗氧化能力。

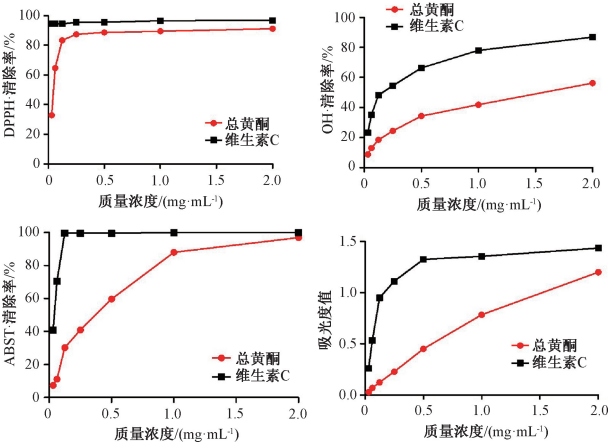
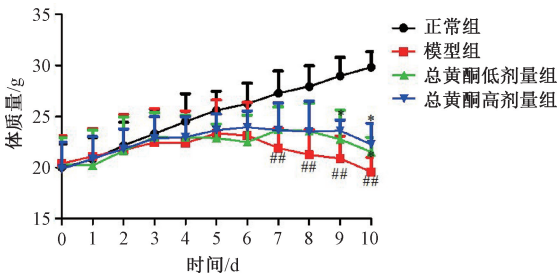


图 1 油菜花粉粉总黄酮体外抗氧化活性

3.2 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠一般情况的影响 实验前各组小鼠均无异常，从第 3 天开始，模型组小鼠大便开始出现变松软，表面有液体现象，第 8 天时，有小鼠大便出现带血和肛门红肿或出血现象；油菜花粉总黄酮各剂量组以上症状均有所减轻。由图 2 可知，与正常组比较，模型组小鼠从第 7 天开始小鼠体质量减少 ($P<0.01$)；与模型组比较，油菜花粉总黄酮各剂量组小鼠体质量增加 ($P<0.05$)，提示油菜花粉总黄酮能够抑制 UC 小鼠体质量降低。

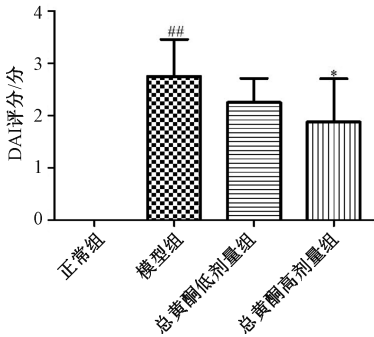
3.3 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠 DAI 评分的影响 由图 3 可知，与正常组比较，模型组小鼠 DAI 评分升高 ($P<0.01$)，表明经过 DSS 诱导的小鼠体质量、肠道均受到了



注：与正常组比较，^{##} $P<0.01$ ；与模型组比较，^{*} $P<0.05$ 。

图 2 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠体质量的影响 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

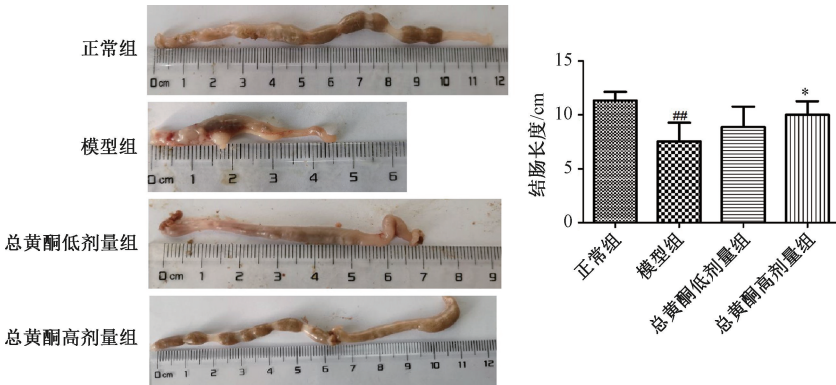
一定程度的影响；与模型组比较，油菜花粉总黄酮高剂量组小鼠 DAI 评分降低 ($P<0.05$)，表明油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠肠道具有一定的保护作用。



注：与正常组比较，^{##} $P<0.01$ ；与模型组比较，^{*} $P<0.05$ 。

图 3 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠 DAI 评分的影响 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

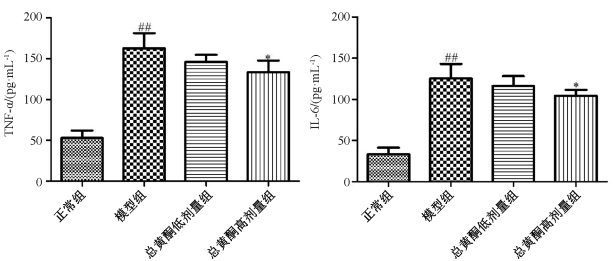
3.4 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠结肠长度的影响 由图 4 可知，正常组小鼠结肠组织长度最长，结肠表面光滑无肿胀，粪便成型。与正常组比较，模型组小鼠结肠长度缩短 ($P<0.01$)，而且伴有水肿，结肠内粪便不成型，有黏液；与模型组比较，油菜花粉总黄酮高剂量组小鼠结肠长度增加 ($P<0.05$)，并且水肿情况有一定程度缓解，表明油菜花粉总黄酮可以缓解 UC 小鼠结肠长度缩短的症状。



注：与正常组比较，^{##} $P<0.01$ ；与模型组比较，^{*} $P<0.05$ 。

图 4 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠结肠长度的影响 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

3.5 菜花粉总黄酮对 UC 小鼠血清 TNF- α 、IL-6 水平的影响 由图 5 可知,与正常组比较,模型组小鼠血清 TNF- α 、IL-6 水平升高 ($P<0.01$),表明小鼠经过 DSS 诱导后产生了炎症;与模型组比较,油菜花粉总黄酮高剂量组小鼠血清 TNF- α 、IL-6 水平降低 ($P<0.05$),表明油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠具有一定的抑制炎症的作用。

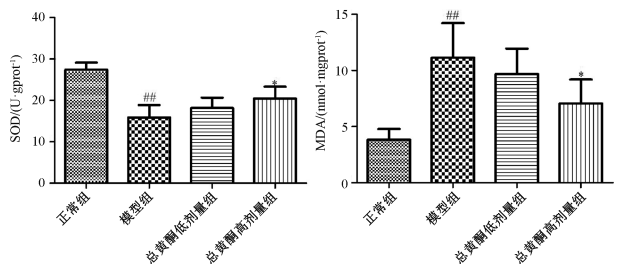


注:与正常组比较,## $P<0.01$;与模型组比较,* $P<0.05$ 。

图 5 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠血清 TNF- α 、IL-6 水平的影响 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

3.6 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠结肠组织 SOD 活性和 MDA 水平的影响 由图 6 可知,与正常组比较,模型组小鼠结肠组织 SOD 活性降低 ($P<0.01$),MDA 水平升高 ($P<0.01$),表明模型组小鼠结肠组织中氧化应激水平发生了失调;与模型组比较,油菜花粉总黄酮高剂量组小鼠结肠组织 SOD 活性升高 ($P<0.05$),MDA 水平降低 ($P<$

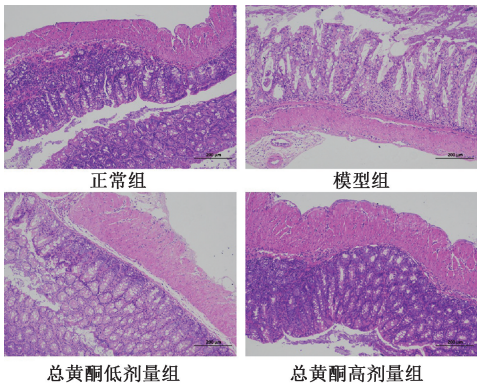
0.05),表明油菜花粉总黄酮能够调节 UC 小鼠体内的氧化应激反应,起到抗氧化作用。



注:与正常组比较,## $P<0.01$;与模型组比较,* $P<0.05$ 。

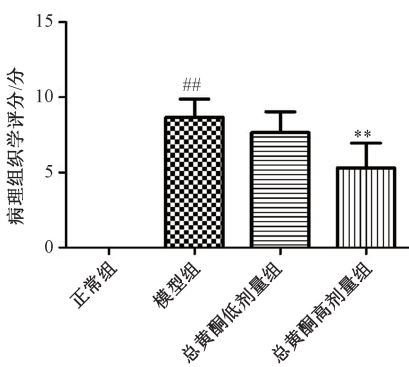
图 6 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠结肠组织 SOD 活性和 MDA 水平的影响 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

3.7 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠结肠组织损伤的影响 由图 7 可知,正常组小鼠结肠组织腺体排列整齐,结肠黏膜完整,隐窝正常,未见病变;与正常组比较,模型组小鼠结肠组织腺体排列紊乱,肠黏膜被破坏,隐窝几乎完全消失,严重存在炎症细胞浸润,病理组织学评分高于正常组 ($P<0.01$);与模型组比较,油菜花粉总黄酮各剂量组小鼠结肠组织壁损伤得到一定程度改善,其中高剂量组改善最为明显,病理组织学评分降低 ($P<0.01$),表明油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠具有一定的保护作用。



注:与正常组比较,## $P<0.01$;与模型组比较,** $P<0.01$ 。

图 7 油菜花粉总黄酮对 UC 小鼠结肠组织损伤的影响 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)



4 讨论

黄酮类化合物广泛存在于中草药中,其基本骨架为 C₆-C₃-C₆,具有多种生物活性、药理作用,因此一直是药物研发的热点^[20]。本研究通过 DPPH·、OH·、ABST·、Fe³⁺ 等方法,评价油菜花粉总黄酮抗氧化活性。本研究表明油菜花粉总黄酮具有较强的抗氧化活性。

UC 小鼠模型,目前广泛利用 DSS 诱导,具有成功率和重复性高的特点,主要通过破坏肠黏膜的完整性,增加结肠的通透性,并引发炎症,导致小鼠出现体重减轻、腹泻、粪便松软甚至直肠出血等症状^[21],该动物模型的结肠组织损伤与人溃疡性结肠炎病变高度相似,是建立小鼠 UC 模型的理想方法^[22],因此本研究采用 DSS 建立动物模型。

模型组小鼠体重质量降低,出现腹泻、便中带血症状,DAI 评分明显升高,结肠组织损伤;油菜花粉总黄酮各剂量组小鼠体重质量、DAI 评分、结肠长度均有一定程度的缓解,并且高剂量组优于低剂量组,表明油菜花粉总黄酮对 UC 具有一定防治作用。

UC 的发病机制与炎症、氧化应激有密切关系^[23]。氧化应激是 UC 发展的潜在病因或关键因素之一,SOD、MDA 是氧化应激的重要指标,MDA 是脂质过氧化的产物之一,也是机体组织氧化损伤的重要指标,MDA 水平越高,机体组织损伤越严重。SOD 是一种抗氧化物酶,能够清除氧自由基,具有保护机体组织免受氧化损伤的作用。有研究报道,机体对氧自由基抑制作用减弱,导致氧自由基在体内

过量积累, 过量的氧自由基能够增大细胞膜的通透性, 促进机体炎症反应, 从而体内炎症因子例如 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 水平升高^[24]。本研究结果发现, 油菜花粉总黄酮各剂量组小鼠血清 TNF- α 、IL-6 水平降低, 结肠组织 SOD 活性升高, MDA 水平降低, 这也与油菜花粉总黄酮体外较强的抗氧化活性相对应。研究结果表明油菜花粉总黄酮缓解 UC 与其抗炎和调节氧化应激反应有关, 同时也为今后进一步探讨其防治机制提供线索。

综上所述, 油菜花粉总黄酮具有较强的抗氧化活性, 能够降低 DAI 评分, 抑制小鼠体质量和结肠长度降低, 抑制 TNF- α 、IL-6 水平升高, 调节结肠组织 SOD 活性和 MDA 水平, 减轻结肠组织损伤, 从而发挥对 UC 的保护作用, 其作用机制与抑制炎症因子分泌和调节机体氧化应激有关。

参考文献:

[1] Giang J, Lan X, Crichton M, *et al.* Efficacy and safety of biophenol-rich nutraceuticals in adults with inflammatory gastrointestinal diseases or irritable bowel syndrome: a systematic literature review and meta-analysis[J]. *Nutr Diet*, 2022, 79 (1): 76-93.

[2] 黄业保, 肖 倩, 李红梅, 等. 网络药理学在经典方剂治疗溃疡性结肠炎中的应用研究进展[J]. *世界中医药*, 2023, 18(4): 560-565.

[3] Guo F H, Tsao R, Li C Y, *et al.* Green pea (*Pisum sativum* L.) hull polyphenol extracts ameliorate DSS-induced colitis through Keap1/Nrf2 pathway and gut microbiota modulation[J]. *Foods*, 2021, 10(11): 2765-2786.

[4] Zhang Y B, Yan T T, Sun D X, *et al.* Rutaecarpine inhibits KEAP1-NRF2 interaction to activate NRF2 and ameliorate dextran sulfate sodium-induced colitis[J]. *Free Radic Biol Med*, 2020, 148: 33-41.

[5] Wang X Y, Yu N X, Peng H L, *et al.* The profiling of bioactives in *Akebia trifoliata* pericarp and metabolites, bioavailability and *in vivo* anti-inflammatory activities in DSS-induced colitis mice [J]. *Food Funct*, 2019, 10 (7): 3977-3991.

[6] Algieri F, Zorrilla P, Rodriguez-Nogales A, *et al.* Intestinal anti-inflammatory activity of hydroalcoholic extracts of *Phlomis purpurea* L. and *Phlomis lychnitis* L. in the trinitrobenzenesulphonic acid model of rat colitis [J]. *J Ethnopharmacol*, 2013, 146(3): 750-759.

[7] Russo L, Schneider G, Gardiner M H, *et al.* Role of pharmacoepidemiology studies in addressing pharmacovigilance questions: a case example of pancreatitis risk among ulcerative colitis patients using mesalazine [J]. *Eur J Clin Pharmacol*,

2014, 70(6): 709-717.

[8] 郭玲珑, 姜小艳, 李娟娟, 等. 溃疡性结肠炎的中医药治疗研究进展[J]. *中国当代医药*, 2020, 27(34): 26-30.

[9] 牛建均, 刘春艳, 耿 瑞, 等. 油菜花粉质量控制现状[J]. *食品安全导刊*, 2021(22): 39-43.

[10] 郝 转. 油菜花粉的功效及研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(8): 4-6.

[11] 申佳敏, 李 元, 韩宁娟, 等. 油菜花粉研究概况[J]. *陕西农业科学*, 2021, 67(7): 94-97; 104.

[12] 高志丽, 王瑞雯, 崔嘉纹, 等. 楮果总黄酮体外抗氧化及对 CCl₄ 致脑损伤小鼠的保护作用[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 376-382.

[13] 李 奕. 大孔树脂纯化襄荷黄酮提取物及其对小鼠运动性疲劳的影响[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(7): 64-70.

[14] 王 洁, 侯敏娜, 王 梅, 等. 响应面法优化超声提取益母草中多酚工艺及其抗氧化作用研究[J]. *世界中医药*, 2023, 18(20): 2872-2877.

[15] 米 佳, 杨雪莲, 禄 璐, 等. 枸杞蜂花粉多糖超声波提取工艺优化及抗氧化活性分析[J]. *食品科学技术学报*, 2020, 38(1): 97-103.

[16] 邹 艳, 杨 丹, 彭 静, 等. 白术不同炮制品中多糖含量及体外抗氧化活性研究[J]. *广东化工*, 2020, 47(24): 16-17; 5.

[17] 胡栋宝, 张继月, 杨 猛. 车桑子种子总黄酮提取工艺及抗氧化活性研究[J]. *北方园艺*, 2021(2): 103-110.

[18] Wang K, Jin X L, Li Q Q, *et al.* Propolis from different geographic origins suppress intestinal inflammation in a model of DSS-induced colitis is associated with decreased *Bacteroides* spp. in the gut[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2018, 62(17): e1800080.

[19] 李孔会, 廖森泰, 李 倩, 等. 山药多酚对结肠炎小鼠肠黏膜损伤预防作用研究[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39 (4): 46-54.

[20] 祁建宏, 董芳旭. 黄酮类化合物药理作用研究进展[J]. *北京联合大学学报*, 2020, 34(3): 89-92.

[21] Kim J J, Shajib M S, Manocha M M, *et al.* Investigating intestinal inflammation in DSS-induced model of IBD[J]. *J Vis Exp*, 2012, 60: 3678.

[22] 张浩浩, 马澜婧, 许 冰, 等. 小鼠急性慢性结肠炎模型的建立及结肠上皮组织分离方法的探讨[J]. *现代生物医学进展*, 2018, 18(12): 2228-2232; 2247.

[23] 刘志龙, 赵 佩, 高进贤, 等. 铁皮石斛提取物对 DSS 诱导的溃疡性结肠炎小鼠的抗氧化及抗炎作用[J]. *中国新药杂志*, 2019, 28(2): 214-220.

[24] Wu J Z, Gan Y X, Li M X, *et al.* Patchouli alcohol attenuates 5-fluorouracil-induced intestinal mucositis *via* TLR2/MyD88/ NF- κ B pathway and regulation of microbiota [J]. *Biomed Pharmacother*, 2020, 124: 109883.