

杨杰雅, 任艾齐, 杨睿鹏, 等. 谷子可溶性膳食纤维对结肠癌细胞 HT-29 的抑制效应[J]. 山西农业科学, 2025, 53(1): 167-172.

YANG J Y, REN A Q, YANG R P, et al. Inhibitory effect of soluble dietary fiber from foxtail millet on colon cancer cell line HT-29 [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(1): 167-172.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.01.19

谷子可溶性膳食纤维对结肠癌细胞 HT-29 的抑制效应

杨杰雅, 任艾齐, 杨睿鹏, 赵文婧

(太原师范学院 生物科学与技术学院, 山西 晋中 030619)

摘要:为探究谷子可溶性膳食纤维(FMB-SDF)对结肠癌细胞 HT-29 生长和凋亡的影响及作用机制,以 2.5、5.0、7.5、10.0 mg/mL 不同质量浓度 FMB-SDF 作为试验组,采用噻唑蓝(MTT)法检测 FMB-SDF 对小鼠巨噬细胞 RAW264.7 增殖的影响,采用试剂盒法分别检测超氧化物歧化酶(SOD)活性和乳酸脱氢酶(LDH)活性,利用 ELISA 法检测结肠癌细胞 HT-29 肿瘤坏死因子(TNF- α)、细胞因子白介素-6(IL-6)、白介素-10(IL-10)的分泌,用 Rhodamine 123 探针检测结肠癌细胞 HT-29 的线粒体膜电位变化。结果表明, FMB-SDF 能够通过干预氧化还原系统抑制结肠癌细胞 HT-29 的生长,通过抑制炎症因子 IL-6 和 TNF- α 的分泌,增强抗炎因子 IL-10 的分泌,进而抑制结肠癌细胞炎症的发展,同时能够增强 HT-29 细胞线粒体膜电位损伤。综上所述, FMB-SDF 通过干预 HT-29 细胞氧化还原系统、抑制炎症发展及促进线粒体膜电位损伤来诱导结肠癌细胞 HT-29 的凋亡。

关键词:谷子可溶性膳食纤维;结肠癌;氧化还原系统;细胞因子;线粒体膜电位损伤

中图分类号:TS201.4;R735.3⁺5

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2025)01-0167-06

Inhibitory Effect of Soluble Dietary Fiber from Foxtail Millet on Colon Cancer Cell Line HT-29

YANG Jieya, REN Aiqi, YANG Ruipeng, ZHAO Wenjing

(College of Biological Sciences and Technology, Taiyuan Normal University, Jinzhong 030619, China)

Abstract: In order to explore the effect and mechanisms of soluble dietary fiber from foxtail millet(FMB-SDF) on growth and apoptosis of colon cancer cell line HT-29, in this study, using different mass concentrations(2.5, 5, 7.5 and 10 mg/mL) of FMB-SDF as experimental groups, the effect of FMB-SDF on the proliferation of RAW264.7 macrophages in mice was detected by MTT assay. The levels of superoxide dismutase(SOD) activity and lactate dehydrogenase(LDH) activity were detected using a reagent kit method. Secretion of tumor necrosis factor(TNF- α), cytokines interleukin-6(IL-6), and interleukin-10(IL-10) were detected by ELISA in colon cancer cells HT-29. At the same time, Rhodamine 123 probe was used to detect the mitochondrial membrane potential changes of colon cancer cell HT-29. The results showed that FMB-SDF was able to inhibit the growth of colon cancer cells HT-29 by interfering with the redox system. Meanwhile, FMB-SDF scaled up the secretion of anti-inflammatory factor IL-10 by inhibiting the secretion of inflammatory factors IL-6 and TNF- α , which in turn restrained the development of inflammation in colon cancer cells. Further experimental results showed that FMB-SDF was able to enhance the mitochondrial membrane potential damage in HT-29 cells. In conclusion, these results indicated that FMB-SDF induced apoptosis in HT-29 cells by interfering with the redox system, inhibiting the development of inflammation, and promoting mitochondrial membrane potential damage.

Keywords: soluble dietary fiber from foxtail millet(FMB-SDF); colon cancer; redox system; cytokine; mitochondrial membrane potential impairment

收稿日期:2024-07-20

基金项目:山西省科学技术厅面上基金(202203021211118)

作者简介:杨杰雅,在读硕士,研究方向:天然产物活性成分,E-mail:2584022281@qq.com

通信作者:赵文婧,教授,博士,主要从事天然产物活性成分研究,E-mail:zhaowj@tynu.edu.cn

结肠癌(Colorectal cancer, CRC)是世界上最常见的恶性肿瘤之一,近年来其发病率和死亡率在全球范围内逐渐增加,预计到2030年,CRC的发病率将增加60%,给全球医疗体系带来巨大负担。日常膳食结构的变化与结肠癌发病率有一定的关系,适当提高饮食中膳食纤维的摄入可起到降低肿瘤发生的作用。谷子(*Setaria italica*)发源于我国华北地区,是人类饮食中重要的农作物之一^[1]。有研究发现,谷子中富含多种营养物质,包括膳食纤维、蛋白质、维生素等,具有滋阴补肾、调理肠胃、助消化等作用^[2]。

来自植物的天然活性化合物在预防和治疗结肠癌方面发挥着重要作用。有研究表明,膳食纤维在抗炎、抗氧化、维持肠道健康、预防结肠癌等方面发挥重要作用^[3-4]。膳食纤维(Dietary fiber, DF)是广泛存在于多种植物中的碳水化合物聚合物,是不被人体口腔、胃和小肠消化吸收,但在大肠内可发酵的多糖类碳水化合物及类似物的总称,包括葡聚糖、木质素、纤维素、菊粉、果胶蜡质、抗性淀粉和糊精等^[5],被誉为第七大营养素。近年来,随着人们饮食结构的改变,导致膳食纤维摄入不足,继而引发的疾病发病率也在不断上升,因此,研究和开发谷类、豆类、果蔬等不同来源的膳食纤维逐渐受到世界各国学者的高度重视。

根据其溶解性,膳食纤维分为不溶性膳食纤维(Insoluble dietary fiber, IDF)和可溶性膳食纤维(Soluble dietary fiber, SDF)^[6]。SDF对水具有很高的亲和力,含有半纤维素、果胶、琼脂、瓜尔胶等成分,对益生菌的增殖具有促进作用^[7]。SDF具有抗癌、抗炎、免疫调节等作用^[8]。太原师范学院资源微生物开发与利用课题组前期从晋谷21号中提取了谷子可溶性膳食纤维,并命名为FMB-SDF,对其结构、抗氧化性、理化性质等进行了初步的分析^[9]。为了探讨FMB-SDF在抗结肠癌方面的效应,本研究从细胞角度出发,探讨FMB-SDF在对抗结肠癌方面的作用。

1 材料和方法

1.1 试验材料

谷子(晋谷21号)购自山西省农业科学院,磨成粉备用;谷子可溶性膳食纤维由本实验室通过生化方法提取得到,并命名为FMB-SDF^[9]。

人结肠癌细胞 HT-29 和小鼠单核巨噬细胞

RAW264.7均购自海星生物科技有限公司(苏州)。

1.2 主要试剂

DMEM基础培养基(GIBCO公司,美国),胎牛血清(Dcell Biologics,上海),青链霉素、胰蛋白酶消化液(含EDTA)、噻唑蓝(Methyl thiazolyl tetrazolium, MTT)(Solarbio公司,北京),ELISA试剂盒(上海爱萌优宁生物技术有限公司,上海),乳酸脱氢酶(酶标法)试剂盒、超氧化物歧化酶(WST-1法)试剂盒、Rhodamine 123试剂盒(Beyotime生物技术有限公司,上海)。

1.3 试验方法

1.3.1 RAW264.7 细胞和 HT-29 细胞的培养

RAW264.7细胞和HT-29细胞培养条件:细胞培养液(DMEM培养基:胎牛血清:青链霉素联合双抗=90:10:1),当培养液颜色发生变化时及时换液;培养环境:37℃、5% CO₂;观察细胞生长状态及密度,当密度达到80%~90%时,进行传代或冻存。

1.3.2 细胞增殖率测定 使用对数生长期的RAW264.7细胞进行MTT试验,调整细胞密度为 $2 \times 10^5 \sim 3 \times 10^5$ 个/mL,96孔板中每孔接种200 μL,置于细胞培养箱中过夜培养。细胞贴壁后,加入不同质量浓度的FMB-SDF溶液(FMB-SDF终浓度依次为:0、2.5、5.0、7.5、10.0 mg/mL),在细胞培养箱中孵育24 h。更换新鲜培养基,每孔加入10 μL MTT溶液37℃避光孵育4 h。弃去MTT培养液,每孔加入150 μL二甲亚砜(DMSO),置于摇床上震荡均匀后酶标仪检测OD₅₇₀值,并计算细胞增殖率^[10]。

$$\text{细胞增殖率} = \frac{\text{试验组 OD}_{570}}{\text{对照组 OD}_{570}} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.3 乳酸脱氢酶(LDH)活性测定 收集对数生长期的HT-29细胞,在6孔板中均匀接种,等待细胞贴壁。分别设置对照组和FMB-SDF处理组,对照组更换新鲜培养基,处理组更换含FMB-SDF溶液的培养基(培养液终浓度依次为:2.5、5.0、7.5、10.0 mg/mL和12.5 mg/mL),在细胞培养箱中孵育24 h。采用LDH试剂盒检测细胞培养液中LDH酶活性。

$$\text{LDH 活性} = \frac{(\text{处理组 OD}_{450} - \text{对照组 OD}_{450})}{(\text{标准组 OD}_{450} - \text{空白组 OD}_{450})} \times C_{\text{标准}} \times N \times 1\,000 \quad (2)$$

式中, $C_{\text{标准}}$ 表示标准液浓度,0.2 μmol/mL; N 表示样本测试前稀释倍数。

1.3.4 超氧化物歧化酶(SOD)活性检测 细胞培养24 h后,弃细胞培养液,PBS洗涤3次。按照每 1×10^6 个细胞需要50~100 μL 的比例加入细胞裂解液(RIPA裂解液:PMSF=100:1),冰浴状态下裂解30 min,10 000 rpm离心5 min。采用SOD试剂盒检测细胞中SOD活性。

SOD抑制率= $\frac{(\text{对照组 OD}_{450}-\text{对照空白组 OD}_{450})-(\text{处理组 OD}_{450}-\text{处理空白组 OD}_{450})}{(\text{对照组 OD}_{450}-\text{对照空白组 OD}_{450})} \times 100\%$ (3)

SOD活性=SOD抑制率/50% $\times$ 反应体系稀释倍数 (4)

式(4)中,反应体系稀释倍数为12。

1.3.5 分泌型细胞因子的检测 使用酶联免疫吸附试验(ELISA)试剂盒检测细胞培养基中的细胞因子,绘制标准曲线,横轴为标准品浓度,纵轴为OD值,将样品的OD值代入标准曲线,计算出相应的细胞因子浓度。

1.3.6 细胞线粒体膜电位测定 收集对数生长期的细胞,均匀接种在60 mm细胞培养皿中,待细胞密度至少达到80%后,分别设置对照组和FMB-SDF处理组,对照组更换新鲜培养基,处理组更换含FMB-SDF溶液的培养基(质量浓度依次为:2.5、5.0、7.5、10.0、12.5 mg/mL),孵育24 h;弃去培养液,每个孔添加1 mL Rhodamine 123探针,37 $^{\circ}\text{C}$ 孵育20 min;弃探针,PBS洗涤3次。分别收集细胞并调整各浓度细胞密度相等,避光环境下,在96孔板中每孔加入0.2 mL细胞混悬液,酶标仪检测绿色荧光发射情况。

1.4 数据分析

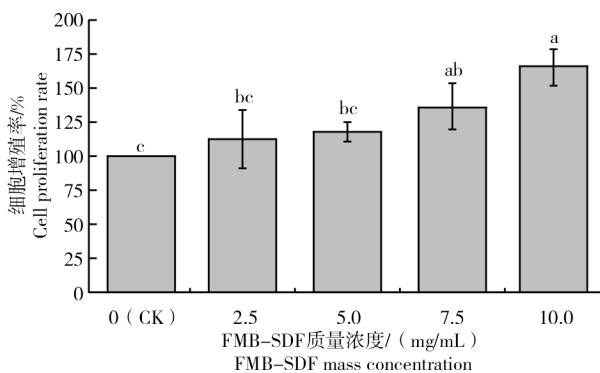
平行试验重复3次以上,数据通过IBM SPSS Statistics 25.0软件进行统计分析,差异分析采用Student's *t*方法进行检验。通过单因素方差分析

(ANOVA)和事后Tukey检验获得各组间的统计学显著性。

2 结果与分析

2.1 FMB-SDF对巨噬细胞RAW264.7细胞增殖率的影响

巨噬细胞是人体最重要的免疫细胞,在天然免疫过程中发挥着重要的作用^[11]。由图1可知,随着FMB-SDF质量浓度的升高,巨噬细胞的增殖率逐渐增强,当FMB-SDF质量浓度为10.0 mg/mL时,细胞增殖率相较于对照组增长了0.65倍($P < 0.05$),表明FMB-SDF能够显著提高细胞的免疫调节作用。



不同小写字母表示各处理间在0.05水平下差异显著。下图同
Different lowercase letters indicated significant differences among treatments at the 0.05 level. The same as below

图1 FMB-SDF对巨噬细胞增殖能力的影响

Fig.1 Effect of FMB-SDF on the proliferative capacity of macrophages

2.2 FMB-SDF对结肠癌细胞HT-29抗氧化能力的影响

FMB-SDF对HT-29细胞氧化还原系统的影响如图2所示。

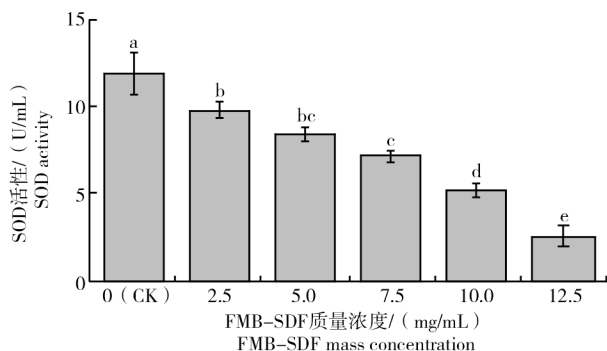
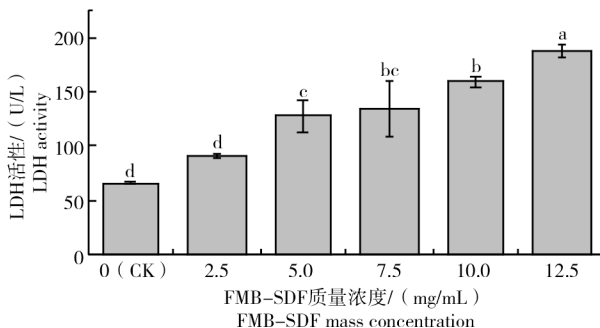


图2 FMB-SDF对HT-29细胞氧化还原系统的影响

Fig.2 Effect of FMB-SDF on the redox system of HT-29 cells



与对照组相比,当 FMB-SDF 作用于 HT-29 细胞 24 h 后,HT-29 细胞内 SOD 活性显著下降 ($P<0.05$),且存在质量浓度依赖性,FMB-SDF 质量浓度为 5.0、7.5、10.0、12.5 mg/mL 时,LDH 的释放显著上升 ($P<0.05$)。结果表明,FMB-SDF 能够通过干预 HT-29 细胞的氧化还原系统抑制肿瘤细胞的生长。

2.3 FMB-SDF 对结肠癌细胞 HT-29 细胞因子分泌的影响

与对照组相比,FMB-SDF 处理能显著抑制

IL-6 的分泌 ($P<0.05$),且随着 FMB-SDF 浓度的升高,IL-6 的分泌逐渐减少。与对照组相比,FMB-SDF 质量浓度为 5.0、7.5、10.0、12.5 mg/mL 时,TNF- α 的分泌显著降低 ($P<0.05$)。此外,FMB-SDF 处理能显著促进 IL-10 的分泌 ($P<0.05$),呈质量浓度依赖性(图 3)。结果表明,FMB-SDF 能够通过抑制炎症因子 IL-6、TNF- α 的分泌,促进抑炎因子 IL-10 的分泌,发挥抗炎作用。

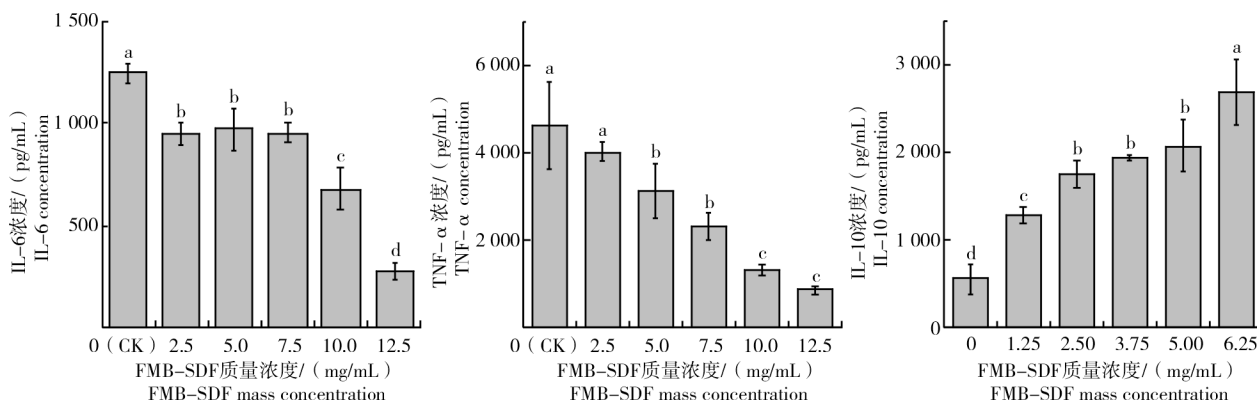


图 3 FMB-SDF 对 HT-29 细胞细胞因子分泌的影响

Fig.3 Effect of FMB-SDF on cytokine secretion in HT-29 cells

2.4 FMB-SDF 调控线粒体膜电位诱导结肠癌细胞 HT-29 细胞凋亡

从图 4 可以看出,与对照组相比,FMB-SDF 质量浓度为 5.0、7.5、10.0、12.5 mg/mL 时,HT-29 细胞线粒体荧光强度显著降低 ($P<0.05$),表明 FMB-SDF 处理能造成 HT-29 细胞线粒体膜电位崩溃,从而导致细胞凋亡。

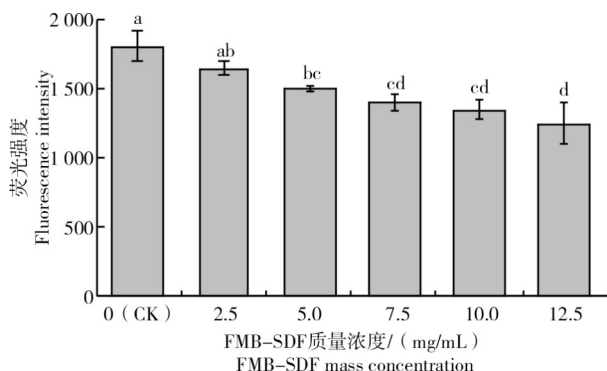


图 4 FMB-SDF 增强了结肠癌细胞 HT-29 的线粒体膜电位损伤

Fig.4 FMB-SDF enhanced mitochondrial membrane potential damage in colon cancer cells HT-29

3 结论与讨论

除了遗传因素外,结肠癌的发生主要源于环境污染、生活习惯、饮食结构变化以及生活中潜在的致癌物质等因素的累积。目前,临床上对结直肠癌的治疗主要以外科手术、化学治疗和放射治疗为主^[12],它们都具有一定的局限性,因此,从天然产物中寻找低毒、高效且副作用小的新型肿瘤治疗剂或策略具有重要的意义。

人体通过抗氧化酶的氧化还原作用拦截氧自由基,将氧化物转化为毒性较低或无害的物质^[13]。SOD 是重要的抗氧化酶之一,可以通过还原反应将 O_2^- 转化为 H_2O_2 。据报道,miR-32-5p 可抑制甲状腺癌细胞中 SOD 活性,促进甲状腺癌细胞铁死亡^[14];薯蓣皂苷可降低 SOD 表达,通过 ROS 介导的氧化应激来激活线粒体途径的结肠癌细胞凋亡^[15];人胃癌 SGC-7901 细胞内 SOD、CAT 和 GPX 等 3 种抗氧化酶的 mRNA 水平均随着维生素 E 琥珀酸酯作用剂量的增加而降低^[16]。LDH 是一种真核细胞质可溶性酶,是衡量细胞膜完整性的

标志物。LDH升得越高,细胞损伤越严重。研究表明,金丝桃素能够导致乳腺癌细胞内ROS的积累、LDH的释放,进而诱导铁死亡^[17];白花丹素能够促进LDH释放,诱导腺样囊性癌细胞凋亡^[18];芍药苷可抑制子宫内膜癌细胞细胞活力和调节LDH活性^[19]。本研究发现,FMB-SDF可抑制HT-29细胞SOD活性,促进LDH释放,通过干预HT-29细胞的氧化还原系统,进而抑制肿瘤细胞的生长,与前人的研究结果一致。

在没有其他致癌物介入时,炎症能够诱发机体产生氧化应激损伤,影响细胞的正常生理功能,进而引发肿瘤。研究表明,红景天甙通过降低SW480细胞iNOS和IL-1 β 水平,增高IL-10水平,调节SW480细胞的炎症反应和免疫应答^[20];青蒿素下调TNF- α 、IL-6、IL-1 β 的表达,对胃癌细胞具有毒性作用^[21];熊果酸显著下调炎症细胞因子IL-1 β 、IL-6、TNF- α 、IL-18的表达,进而抑制胃癌细胞BGC-823细胞增殖及炎症反应^[22];萝卜硫素处理后,胃癌细胞上清中IL-6、IL-8和TNF- α 水平明显降低,通过降低炎症反应,进而抑制其增殖^[23]。这也与本研究FMB-SDF对结肠癌细胞炎症因子分泌的调控结果一致,FMB-SDF可以抑制HT-29细胞炎症的发生。

本研究以山西特色谷物资源晋谷21号为试验材料,从中分离提取得到具有抗结肠癌潜能的可溶性膳食纤维,并对其体外抗结肠癌效应展开了初步的研究,发现FMB-SDF可以通过提高巨噬细胞RAW264.7的增殖活性发挥免疫调节作用;并通过干预HT-29细胞的氧化还原系统和调控线粒体膜电位促进肿瘤细胞凋亡;同时能够有效抑制结肠癌细胞炎症因子分泌。本研究可以为结肠癌的绿色预防和治疗提供一定的理论基础,在下一步的研究中需要围绕FMB-SDF抑制结肠癌细胞发展的分子机制以及作用靶点展开。

参考文献:

- [1] ANDERSEN E J, NEPAL M P. Data on the genome-wide identification of CNL R-genes in *Setaria italica* (L.) P. Beauv [J]. Data in Brief, 2017, 13: 259-273.
- [2] 马贵芳,王宇杰,韩尚玲,等. 名优谷子晋谷21号杂交群体米色与主要农艺性状相关性分析[J]. 山西农业科学, 2020, 48(8): 1180-1184, 1223.
- [3] 朱仁威,谭沙,黄亮. 刺梨果渣膳食纤维提取改性及生物活性研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(14): 290-297.
- [4] ZHU R W, TAN S, HUANG L. Research progress of dietary fiber extraction modification and bioactivity of *Rosa roxburghii* Tratt pomace[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(14): 290-297.
- [5] 刘欣,姜鹏飞,傅宝尚,等. 竹笋膳食纤维的提取、生理功能特性及其在食品中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(3): 354-362.
- [6] LIU X, JIANG P F, FU B S, et al. Extraction and physiological functionality of dietary fiber from bamboo shoots and its application in food[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(3): 354-362.
- [7] BARBER T M, KABISCH S, PFEIFFER A F H, et al. The health benefits of dietary fibre[J]. Nutrients, 2020, 12(10): 3209.
- [8] HUSSAIN S, SHARMA M, BHAT R. Valorisation of sea buckthorn pomace by optimization of ultrasonic-assisted extraction of soluble dietary fibre using response surface methodology [J]. Foods, 2021, 10(6): 1330.
- [9] 全文彬,王娟,黄继红,等. 小麦麸皮可溶性膳食纤维的理化性质和结构表征[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(21): 259-265.
- [10] QUAN W B, WANG J, HUANG J H, et al. Physicochemical properties and structural characterization of soluble dietary fiber of wheat bran[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(21): 259-265.
- [11] 关莹,赵昕雪,刘晨,等. 杂粮奶冻研制及品质分析[J]. 粮食加工, 2024, 49(3): 27-30.
- [12] GUAN Y, ZHAO X X, LIU C, et al. Development and quality analysis of coarse cereals milk jelly[J]. Grain Processing, 2024, 49(3): 27-30.
- [13] REN A Q, CHEN L Y, ZHAO W J, et al. Extraction optimization and structural characterization of soluble dietary fiber in fox-tail millet and its inhibitory activities on colon cancer[J]. Journal of Functional Foods, 2023, 107: 105659.
- [14] 郭敏. 地皮菜活性多糖的制备及其抗大肠癌效应研究[D]. 太原: 山西大学, 2019.
- [15] GUO M. Study on the preparation of active polysaccharides from *Dicentrarcha* spp. and its anti-colorectal cancer effect [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2019.
- [16] 边雪洁,马丽苹,董晓琳,等. 油莎豆抗性淀粉结构特征及体外消化特性研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(11): 52-59.
- [17] BIAN X J, MA L P, DONG X L, et al. Structural characteristics and *in vitro* digestibility of resistant starch from *Cyperus esculentus* [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(11): 52-59.
- [18] SUN P D, SUN D, WANG X D. Effects of *Scutellaria barbata* polysaccharide on the proliferation, apoptosis and EMT of human colon cancer HT29 cells[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 167: 90-96.
- [19] MU S, YANG W J, HUANG G L. Antioxidant activities and mechanisms of polysaccharides[J]. Chemical Biology & Drug

- Design, 2021, 97(3):628-632.
- [14] 何丽琼,山晓芹,淳林,等. miR-32-5p 通过 p53/SLC7A11 信号通路介导的铁死亡对甲状腺癌细胞增殖的作用机制[J]. 解剖学研究, 2024, (6):546-552, 558.
- HE L Q, SHAN X Q, CHUN L, et al. Mechanism of miR-32-5p on the proliferation of thyroid cancer cells through iron death mediated by p53/SLC7A11 signaling pathway[J]. Anatomy Research, 2024, (6):546-552, 558.
- [15] 管君,荀敬,王波涛,等. 薯蓣皂苷对人结肠癌细胞凋亡的作用及机制研究[J]. 天津医科大学学报, 2022, 28(5):483-490.
- GUAN J, XUN J, WANG B T, et al. Effects of diosgenin on apoptosis and mechanism of human colon cancer cells[J]. Journal of Tianjin Medical University, 2022, 28(5):483-490.
- [16] 唐佳佳,汪纯西,王文达,等. 维生素 E 琥珀酸酯诱导胃癌细胞自噬对细胞抗氧化功能的影响[J]. 营养学报, 2021, 43(6):550-555.
- TANG J J, WANG C X, WANG W D, et al. Effect of vitamin E succinate-induced autophagy on cellular antioxidant function in gastric cancer cells[J]. Journal of Nutrition, 2021, 43(6):550-555.
- [17] 蒋双艳,向思琦,刘石,等. 金丝桃素诱导乳腺癌细胞铁死亡的作用机制[J]. 中国细胞生物学学报, 2024, 46(12):2026-2036.
- JIANG S Y, XIANG S Q, LIU S, et al. Mechanism of action of chrysin inducing iron death in breast cancer cells[J]. Chinese Journal of Cell Biology, 2024, 46(12):2026-2036.
- [18] 孙银雪,岳海云,葛可欣,等. 白花丹素对涎腺腺样囊性癌细胞增殖、迁移、凋亡的干预作用及其机制[J]. 山东医药, 2023, 63(2):1-5.
- SUN Y X, YUE H Y, GE K X, et al. Interventional effects of leucodendrin on cell proliferation, migration and apoptosis of salivary gland adenoid cystic carcinoma and its mechanism[J]. Shandong Medicine, 2023, 63(2):1-5.
- [19] 肖慧,覃鸿恩,姚姿羽,等. 芍药苷抑制子宫内膜癌迁移侵袭及其作用机制[J]. 中国癌症防治杂志, 2023, 15(6):623-630.
- XIAO H, QIN H E, YAO Z Y, et al. Inhibition of endometrial cancer migration and invasion by paeoniflorin and its mechanism of action[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Control, 2023, 15(6):623-630.
- [20] 蔡超,马俊华,牛红卫,等. 红景天甙对结肠癌细胞微管形成与炎症应答及 JAK2/STAT3 磷酸化的影响[J]. 解剖学杂志, 2023, 46(4):290-296.
- CAI C, MA J H, NIU H W, et al. Effects of rhodiolide on microtubule formation and inflammatory response and JAK2/STAT3 phosphorylation in colon cancer cells[J]. Journal of Anatomy, 2023, 46(4):290-296.
- [21] 马立东,刘晓蕾,赵飞. 青蒿素通过 TLR4/NF- κ B 信号通路调节胃癌细胞的生长和炎症因子分泌的机制研究[J]. 临床外科杂志, 2023, 31(8):738-741.
- MA L D, LIU X L, ZHAO F. Mechanism of artemisinin regulation of gastric cancer cell growth and inflammatory factor secretion through TLR4/NF- κ B signaling pathway[J]. Journal of Clinical Surgery, 2023, 31(8):738-741.
- [22] 陈自喜,李锦澎,刘荣荣,等. 熊果酸对脂多糖诱导胃癌细胞增殖、炎症反应的影响及其与 NLRP3 炎症小体的关系[J]. 山东医药, 2023, 63(17):11-14.
- CHEN Z X, LI J P, LIU R R, et al. Effects of ursolic acid on lipopolysaccharide-induced proliferation and inflammatory response of gastric cancer cells and its relationship with NLRP3 inflammatory vesicles[J]. Shandong Medicine, 2023, 63(17):11-14.
- [23] 杨艳华,梁丽琴. 萝卜硫素对胃癌细胞生物学特征的影响及其机制研究[J]. 中国药师, 2019, 22(5):840-844.
- YANG Y H, LIANG L Q. Effects of radish sulfide on biological characteristics of gastric cancer cells and its mechanism[J]. Chinese Pharmacist, 2019, 22(5):840-844.