



滇黄精果皮活性成分、抗氧化活性及 抗炎功能预测

张琳^{1,2,3}, 何雪梅⁴, 杨晓密^{5*}, 李其颖³, 张夏添³, 李天丽⁶, 聂景贵^{1,2,3},
韦珍⁴, 何霞红¹, 方越^{1,2,3*}

(¹云南省林下资源保护与利用重点实验室, 云南昆明 650224; ²云南省高校大健康类森林资源开发利用工程研究中心, 云南昆明 650224; ³西南林业大学生物与食品工程学院, 云南昆明 650224; ⁴广西农业科学院, 广西南宁 530007; ⁵云南中医药大学, 云南昆明 650500; ⁶屏边县农业农村和科学技术推广中心, 云南红河 661200)

摘要:【目的】对滇黄精果皮的活性成分含量和抗氧化活性进行测定,并预测其抗炎功能,为滇黄精加工废弃物的
高值化利用提供参考依据。【方法】以滇黄精果皮为试验材料,测定总多糖、总皂苷、总黄酮及总酚含量,并检测滇黄精
果皮提取物对1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基和2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)阳离
子自由基的清除能力,同时采用超高效液相色谱—四极杆—轨道阱质谱联用(UPLC-Q-MS)技术分析滇黄精果皮提
取物中的代谢物组成,并结合网络药理学方法筛选潜在活性成分,进一步通过核心交集靶点分析预测与抗炎作用相
关的KEGG信号通路。【结果】滇黄精果皮提取物中总多糖、总皂苷、总黄酮和总酚含量分别为53.14%、1.40%、0.39%
和0.12%;滇黄精果皮提取物对DPPH自由基和ABTS阳离子自由基均有较强的清除能力,半数抑制浓度(IC₅₀)分别为
3.21和5.21 mg/mL。高分辨质谱共检测出滇黄精果皮提取物中的822种成分,从中筛选出潜在活性成分28种,与抗炎
活性靶点交集262个,其中木犀草素、香叶木素、金合欢素、羌花素和丁香素是关键抗炎成分,并作用于肿瘤坏死因子
(TNF)、白细胞介素-6(IL-6)、丝氨酸/苏氨酸激酶1(AKT1)、前列腺素内过氧化物合酶2(PTGS2)、信号转导和转录激
活因子3(STAT3)等核心靶点蛋白。滇黄精果皮提取物的抗炎靶点共涉及1065条GO功能条目,其中生物过程条目
739条、细胞组成条目94条、分子功能条目232条;KEGG信号通路富集分析显示,靶点主要通过调节癌症通路发挥潜
在抗炎作用。【结论】滇黄精果皮含有丰富的活性成分,且抗氧化活性较强,同时具有较好的抗炎活性潜力,表明其具
有开发为功能性产品的潜在利用价值。

关键词:滇黄精果皮; 活性成分; 抗氧化活性; UPLC-Q-MS; 网络药理学; 抗炎

中图分类号:S567.239

文献标志码:A

文章编号:2095-1191(2026)06-1843-16

Prediction of active components, antioxidant activity, and anti-inflammatory function in *Polygonatum kingianum* pericarp

ZHANG Lin^{1,2,3}, HE Xue-mei⁴, YANG Xiao-mi^{5*}, LI Qi-ying³, ZHANG Xia-tian³,
LI Tian-li⁶, NIE Jing-gui^{1,2,3}, WEI Zhen⁴, HE Xia-hong¹, FANG Yue^{1,2,3*}

(¹Yunnan Key Laboratory for Conservation and Utilization of In-Forest Resource, Kunming, Yunnan 650224, China;

²Forest Resources Exploitation and Utilization Engineering Research Center for Grand Health of Yunnan Provincial

Universities, Kunming, Yunnan 650224, China; ³College of Biological Science and Food Engineering, Southwest

Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China; ⁴Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning,

Guangxi 530007, China; ⁵Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming, Yunnan 650500, China; ⁶Extension

Center of Agricultural and Rural Affairs and Science and Technology of Pingbian County, Honghe, Yunnan 661200, China)

收稿日期: 2025-09-17

基金项目: 国家中药材产业技术体系项目(CARS-21); 云南省科技人才和平台计划项目(202305AF150191); 云南省“兴滇英才支持计划”青年人才项目(XDYC-QNRC-2022-0166, XDYC-QNRC-2023-0221)

通信作者: 杨晓密(1979-), <https://orcid.org/0009-0000-1461-6138>, 高级实验师, 主要从事营养对人类疾病改善作用研究工作, E-mail: 12986263@qq.com; 方越(1991-), <https://orcid.org/0000-0002-5280-2043>, 博士, 主要从事药食资源开发利用研究工作, E-mail: fangyue2022@swfu.edu.cn

第一作者: 张琳(1998-), <https://orcid.org/0009-0006-7826-5123>, 研究方向为农林产品加工与贮运, E-mail: 2784234656@qq.com

Abstract: [Objective] This study aimed to determine the contents of active components and antioxidant activity in *Polygonatum kingianum* pericarp and predict the anti-inflammatory functions, providing reference for the high-value utilization of pericarp waste derived from *Polygonatum kingianum* processing. [Method] *Polygonatum kingianum* pericarp was used as experimental material to determine the contents of total polysaccharides, total saponins, total flavonoids, and total phenolics and detect the scavenging capability of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts for 1,1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine (DPPH) radicals and 2,2-diazo-bis (3-ethyl-benzothiazole-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) cationic radicals. Ultra-performance liquid chromatography coupled with quadrupole-orbitrap mass spectrometry (UPLC-Q-MS) technology was employed to analyze the metabolite composition of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts, and potential active components were screened using network pharmacology methods. Core intersecting target analysis was conducted to predict KEGG signaling pathways associated with anti-inflammatory functions. [Result] The contents of total polysaccharides, total saponins, total flavonoids, and total phenolics in the *Polygonatum kingianum* pericarp extracts were 53.14%, 1.40%, 0.39%, and 0.12% respectively. *Polygonatum kingianum* pericarp extracts exhibited strong scavenging capability for both DPPH radicals and ABTS cationic radicals, with the half-maximal inhibitory concentrations (IC_{50}) of 3.21 and 5.21 mg/mL respectively. A total of 822 components were detected from *Polygonatum kingianum* pericarp extracts using high-resolution mass spectrometry, from which 28 potential active components were screened, and 262 intersected with anti-inflammatory activity targets. Luteolin, diosmetin, acacetin, genkwanin, and syringetin were key anti-inflammatory components that acted on core target proteins such as tumor necrosis factor (TNF), interleukin-6 (IL-6), serine/threonine kinase 1 (AKT1), prostaglandin-endoperoxide synthase 2 (PTGS2), and signal transducer and activator of transcription 3 (STAT3). The anti-inflammatory targets of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts were associated with 1065 GO functional terms, comprising 739 biological process terms, 94 cellular component terms, and 232 molecular function terms. KEGG signaling pathway enrichment analysis showed that these targets exerted their potential anti-inflammatory functions primarily by modulating pathways in cancer. [Conclusion] *Polygonatum kingianum* pericarp contains abundant active components, exhibits strong antioxidant activity, and shows good anti-inflammatory potential, suggesting its potential utilization value to be developed as functional products.

Key words: *Polygonatum kingianum* pericarp; active component; antioxidant activity; UPLC-Q-MS; network pharmacology; anti-inflammation

Foundation items: China Agriculture Research System-Traditional Chinese Medicinal Herbs (CARS-21); Yunnan Scientific Research Talents and Platform Project (202305AF150191); Yunnan Talent Support Plan “Youth Talents” Project (XDYC-QNRC-2022-0166, XDYC-QNRC-2023-0221)

0 引言

【研究意义】滇黄精(*Polygonatum kingianum*)为天门冬科(Asparagusaceae)黄精属(*Polygonatum*)植物,是我国传统药食同源植物资源,广泛种植于云南、四川、贵州和广西等地(余高等,2023)。其主要使用部位为块茎,生产周期3~5年。在滇黄精种植生产过程中,每年产生大量果实,果期在9—10月,其果实肥厚、结实率高(姚馨等,2018)。据《抱朴子内篇》《本草经集注》等记载,黄精果实可作药食使用且功效优于块茎。滇黄精果实由果皮(肉)和种子组成。为获得滇黄精种子,需去除并丢弃其果皮,导致果皮资源严重浪费。相比滇黄精块茎,其果皮每年均可收获且产量较大,因此对其进行研究利用能够显著提高滇黄精资源的利用率。研究表明,滇黄精果皮含有丰富的淀粉、蛋白质、氨基酸、脂类、维生素、微量元素等营养物质,以及多糖、皂苷、黄酮等活性成分,与块茎类似,同样具有较高的食用和药用价值(肖惠妹等,2025),但目前关于滇黄精的研究多以块茎为主,鲜有对滇黄精果皮活性成分及相关功能活性的研究。因此,研究滇黄精果皮中的活性成分含量和抗氧化活性,解析其代谢物组成,同时结合网

络药理学预测其抗炎功能,对揭示滇黄精果皮中的关键活性成分、推动其高值化利用与潜在价值挖掘具有重要意义。【前人研究进展】前人研究主要集中在滇黄精根茎的活性成分及其功能分析(刘菡等,2023),药理学研究表明滇黄精具有降糖降脂(陶爱恩等,2019)、抗癌(张国文等,2023)、抗衰老(Huang et al.,2024)、抗炎(牛世蓉等,2025)等功效,对滇黄精叶、花、果等副产物的研究相对较少。李玲等(2021)研究发现,滇黄精叶片中黄酮和酚类物质含量较高,根茎中多糖和皂苷含量显著高于其他部位。肖惠妹等(2025)采用显色法测定滇黄精不同部位功能成分含量,发现茎、叶、果皮等副产物中也含有丰富的多糖、皂苷、黄酮等成分,具有一定开发利用价值。炎症反应是机体重要的免疫防御机制,过度的炎症反应对人体健康不利。目前,临床常用的合成类抗炎药物存在药物毒性或不良反应,天然药食植物含有丰富的抗炎成分,具有安全、高效、多靶点等特点。如金合欢素可通过抑制TLR4/NF- κ B的异常激活和NLRP3信号通路蛋白的表达来改善小鼠溃疡性结肠炎(任君宇,2020);香叶木素能通过PGC-1 α 调控YAP介导的HaCaT细胞炎症和增殖(杨代林,2024)。蔡红业等(2023)研究发现,金莲花中的

鼠尾草素、黄酮素、香叶木素等可作用于PI3K-Akt、MAPK、AGE-RAGE等信号通路发挥协同抗炎作用;陈迪路等(2023)揭示地锦草中鞣花酸、山柰酚、芹菜素等成分调控PI3K/PKB、VEGF等信号通路发挥治疗炎症的作用;侯宪邦和王永翠(2023)从紫苏叶中发现丁香糖基- β -D-吡喃葡萄糖苷、木犀草素、 β -谷甾醇等5个核心抗炎成分,并参与调节Pathways in cancer、IL-17等抗炎相关信号通路。但天然药用植物中的化学成分复杂,其作用靶点和信号通路众多,利用质谱—网络药理学分析能在复杂成分中筛选出关键活性成分,建立成分—靶点—疾病关联网络,预测天然植物的相关功能活性及作用靶点(刘册家等,2024)。何湔天等(2024)利用网络药理学技术识别发花茶梗中香豆雌酚、高良姜素、木犀草素等16个核心活性成分和表皮生长因子受体(EGFR)、雌激素受体1(ESR1)、肉瘤病毒癌基因(SRC)等13个核心靶点,为发花茶梗的功能成分开发提供依据。同时,网络药理学在黄精功能活性预测分析中已有应用,Zhao等(2022)基于网络药理学技术获得黄精抗骨质疏松的黄芩素、 β -谷甾醇等12个关键活性成分和丝氨酸/苏氨酸激酶1(AKT1)、ESR1等84个药物靶点蛋白,为黄精在老年人群中的作用研究提供参考;张楠等(2024)采用网络药理学方法挖掘出滇黄精抗疲劳的3'-甲氧基大豆苷元、黄芩素、 β -谷甾醇等主要活性成分和EGFR、信号转导和转录激活因子3(STAT3)等关键靶点,为滇黄精的抗疲劳功效研究提供理论依据。【本研究切入点】果皮作为滇黄精种植过程中产生的主要副产物,其活性成分及其潜在功能靶点和作用的信号通路未被揭示,导致其应用前景不明确,被大量浪费。目前,关于滇黄精果皮活性成分及抗氧化活性分析的研究较少,对其具有潜在功能靶点的研究更是鲜见报道。【拟解决的关键问题】以滇黄精果皮为试验材料,测定其多糖、皂苷等活性成分含量及抗氧化活性,进一步利用超高效液相色谱—四极杆—轨道阱质谱联用(UPLC-Q-MS)技术鉴定滇黄精果皮中主要代谢物,采用网络药理学筛选和分析滇黄精果皮主要活性成分及其关键靶点和信号通路,旨在为滇黄精加工废弃物的高值化利用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

滇黄精果实于2023年10月采自云南省昆明市寻甸县羊街镇丰乐林下滇黄精种植基地,采集后低

温运输,置于实验室-80℃冷藏保存。主要试剂:D(+)-无水葡萄糖、人参皂苷Re、芦丁、没食子酸(上海源叶生物科技有限公司);1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、维生素C(Vc)(广东光华化学厂有限公司);2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)(天津市风船化学试剂科技有限公司);色谱级乙腈、甲醇、甲酸(德国Millipore公司);色谱级氨水(德国Merck公司);其余化学试剂均为分析纯。

主要仪器设备:DT-1电子天平(北京赛多利斯科学仪器有限公司)、IKA旋转蒸发仪(广州艾卡仪器设备有限公司)、SB-400DTY超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司)、Infinite F50酶标仪(苏州赛恩斯仪器有限公司)、Q Exactive Plus质谱仪(美国ThermoFisher Scientific公司)、Nexera X2 LC-30AD超高压液相色谱仪(日本Shimadzu公司)、Concentrator plus真空离心浓缩仪(德国Eppendorf公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 取去除种子后的滇黄精果皮,冻干粉碎,过60目筛。称取滇黄精果皮粉末,加入20倍体积的80%乙醇,搅拌混匀后于50℃超声60 min,抽滤,取上清液;滤渣重复抽提,合并滤液,减压浓缩至膏状,冻干,即得滇黄精果皮提取物(*Polygonatum kingianum* pericarp extract, PKPE)。

1.2.2 活性成分测定 采用苯酚—硫酸法(Zeng et al., 2022)测定滇黄精果皮提取物的总多糖含量,采用香草醛—高氯酸—冰乙酸法(Chua et al., 2019)测定总皂苷含量,采用亚硝酸钠—硝酸铝—氢氧化钠比色法(Li et al., 2024)测定总黄酮含量,采用福林酚法(Peng et al., 2024)测定总酚含量。

1.2.3 体外抗氧化活性测定

1.2.3.1 DPPH自由基清除能力测定 参考Amoah等(2022)的方法测定滇黄精果皮提取物的DPPH自由基清除能力。将100 μ L滇黄精果皮提取物与等体积的DPPH自由基工作液混匀,室温避光反应30 min,在517 nm波长处测定吸光度,以BHT和Vc为阳性对照,根据公式计算滇黄精果皮提取物的DPPH自由基清除率,并计算其清除DPPH自由基的半抑制浓度(IC₅₀)。

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = (1 - \frac{A_s - A_b}{A_c}) \times 100$$

公式中, A_s 为试验组吸光度, A_b 为对照组(乙醇代替DPPH)吸光度, A_c 为空白组(乙醇代替样品)吸光度。

1.2.3.2 ABTS阳离子自由基清除能力测定 参考Lim等(2020)的方法测定滇黄精果皮提取物的ABTS阳离子自由基清除能力。将50 μ L滇黄精果皮提取物与200 μ L ABTS工作液混匀,室温避光反应6 min,于734 nm波长处测定吸光度,以Vc和BHT为阳性对照,根据公式计算滇黄精果皮提取物的ABTS阳离子自由基清除率,并计算其清除ABTS阳离子自由基的 IC_{50} 。

$$\text{ABTS阳离子自由基清除率(\%)} = \frac{A_e - A_s}{A_e} \times 100$$

公式中, A_s 为试验组吸光度, A_e 为空白组(乙醇代替样品)吸光度。

1.2.4 质谱分析 UPLC条件:Waters ACQUITY UPLC[®] HSS T3色谱柱(2.1 mm $\times$ 100 mm, 1.8 μ m);柱温40 $^{\circ}$ C;流速0.3 mL/min;进样量6 μ L,流动相包括0.1%甲酸水溶液(A)和乙腈(B),梯度洗脱程序:0~2 min,0% B;2~6 min,B从0%线性变化至48%;6~10 min,B从48%线性变化至100%;10~12 min,B维持在100%;12~12.1 min,B从100%线性变化至0%,12.1~15 min,B维持在0%。整个分析过程样品始终置于4 $^{\circ}$ C自动进样器中。

MS条件:样品采用电喷雾电离(ESI)技术,分别在正、负离子模式下检测。正离子模式的喷雾电压3800 V,负离子模式的喷雾电压3200 V;离子传输管温度320 $^{\circ}$ C;母离子扫描范围70~1050 m/z。

数据处理:原始数据采用MS-DIAL 4.9进行峰对齐、保留时间校正和提取峰面积。代谢物结构鉴定采用精确质量数匹配(质量偏差<10 ppm)和二级谱图匹配(质量偏差<0.01 Da)方式,通过HMDB、MassBank等公共数据库及自建拜谱代谢物库(BP-DB)进行检索,依据保留时间、质荷比及二级质谱得到的碎片离子对代谢物进行定性,并根据一级质谱得到母离子峰值强度对代谢物进行定量。UPLC-Q-MS(分辨率>140000 FWHM)质量准确度优于1 ppm,试样分析前运行质量控制样品,确保仪器稳定[相对标准偏差(RSD)<30%],可提高数据结果的稳定性和准确性。

1.2.5 网络药理学分析 潜在活性成分筛选:将滇黄精果皮提取物质谱分析结果导入中药系统药理学数据库和分析平台(TCMSP),以口服利用度 $\geq$ 30.00%和生物类药性 $\geq$ 0.18为条件,初步筛选潜在活性成分;通过有机小分子生物活性数据库(Pub-Chem)查找成分Canonical SMILES,随后将其输入Swiss Target Prediction数据库中得到潜在活性成分的预测靶点,保留 $P>0$ 的靶点。

靶点筛选:在GeneCards数据库中以“anti-inflammatory”为关键词进行检索,筛选抗炎相关性评分 $\geq$ 1.98的靶点;然后借助Venny 2.1获取疾病靶点和潜在活性成分靶点的交集,初步获取滇黄精果皮提取物潜在作用靶点。

潜在活性成分—抗炎靶点网络构建:将上述获取的数据导入Cytoscape 3.10.3中,构建潜在活性成分—抗炎靶点网络图。

蛋白互作(PPI)网络构建:将得到的交集潜在作用靶点上传到STRING数据库,设置种群为homo sapiens,获得PPI网络图。在Export选项中设置文件下载格式为tsv,数据经Cytoscape 3.10.3处理后,即可获取核心靶点。

GO功能注释和KEGG信号通路富集分析:选取交集靶点导入DAVID数据库,设置种群为homo sapiens,进行GO功能注释和KEGG信号通路富集分析;最终整合GO功能注释和KEGG信号通路富集分析的前10个结果进行综合分析。

疾病—通路—靶点—成分—药物网络构建:选取滇黄精果皮提取物潜在活性成分对应靶点、韦恩图交集靶点和KEGG信号通路富集分析的前20条通路,导入Cytoscape 3.10.3中构建疾病—通路—靶点—成分—药物网络图。

1.3 统计分析

所有试验均设3次重复,结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。使用Origin 2022绘图,采用SPSS 26.0进行单因素方差分析(One-way ANOVA)。利用Python 3.8.16对质谱数据进行多维统计分析。

2 结果与分析

2.1 活性成分含量测定结果

对滇黄精果皮提取物中总多糖、总皂苷、总黄酮和总酚含量进行测定,活性成分含量排序为总多糖>总皂苷>总黄酮>总酚。其中,总多糖含量达53.14%,远高于其他活性成分含量;总皂苷含量次之,为1.40%;而总黄酮和总酚含量较低,分别为0.39%和0.12%。表明滇黄精果皮提取物中含有丰富的活性成分,其中总多糖和总皂苷是含量较高的活性成分。

2.2 体外抗氧化活性测定结果

2.2.1 DPPH自由基清除能力 由图1-A可知,在0.38~6.00 mg/mL范围内,滇黄精果皮提取物具有一定的DPPH自由基清除能力;当滇黄精果皮提取物质量浓度为0.38、0.75和1.50 mg/mL时,其DPPH自由基清除率分别为19.25%、28.48%和32.62%,而当质量浓度为6.00 mg/mL时,其对DPPH自由基清除

率最高,达87.07%;同时滇黄精果皮提取物对DPPH自由基的 IC_{50} 为3.21 mg/mL,显著高于阳性对照Vc(0.02 mg/mL)和BHT(0.21 mg/mL)($P<0.05$,下同)(图1-B),表明滇黄精果皮提取物的DPPH自由基清除能力弱于阳性对照。

2.2.2 ABTS阳离子自由基清除能力 由图2-A可知,在0.38~12.00 mg/mL范围内,滇黄精果皮提取物具有一定的ABTS阳离子自由基清除能力;当滇黄精果皮提取物质量浓度为0.38 mg/mL时,其对ABTS阳离子自由基清除率约为10.00%,而当质量浓度为12.00 mg/mL时,ABTS阳离子自由基清除率达79.50%;同时滇黄精果皮提取物对ABTS阳离子自由基的 IC_{50} 为5.21 mg/mL,显著高于阳性对照Vc(0.04 mg/mL)和BHT(0.14 mg/mL)(图2-B),表明滇黄精果皮提取物的ABTS阳离子自由基清除能力弱于阳性对照。

2.3 质谱分析结果

采用UPLC-Q-MS技术对滇黄精果皮提取物进行分析,由图3可知,滇黄精果皮提取物的正、负总离子流分离效果较好,表明测定结果可靠。在滇黄精果皮提取物中共鉴定出822种成分,正离子模式下513种,负离子模式下309种(图4)。正离子模式以氨基酸及其衍生物、胆碱为主,占比分别为18.9%和18.5%,其次为吡啶基羧酸及其衍生物、维生素K类化合物,并将占比低于1.0%的成分归为其他(图4-A);负离子模式以甾体内脂、三羧酸及其衍生物、苯磺酸及其衍生物为主,占比分别为16.1%、11.5%和9.4%,其次为脂肪酸、甘油磷脂、氨基酸及其衍生物、甾体酮,同样将占比低于1.0%的成分归为其他(图4-B)。结果表明滇黄精果皮提取物中含有丰富的代谢成分,其中可能存在对健康有益的活性成分。

2.4 潜在活性成分及靶点筛选结果

对滇黄精果皮提取物的质谱分析结果进行筛

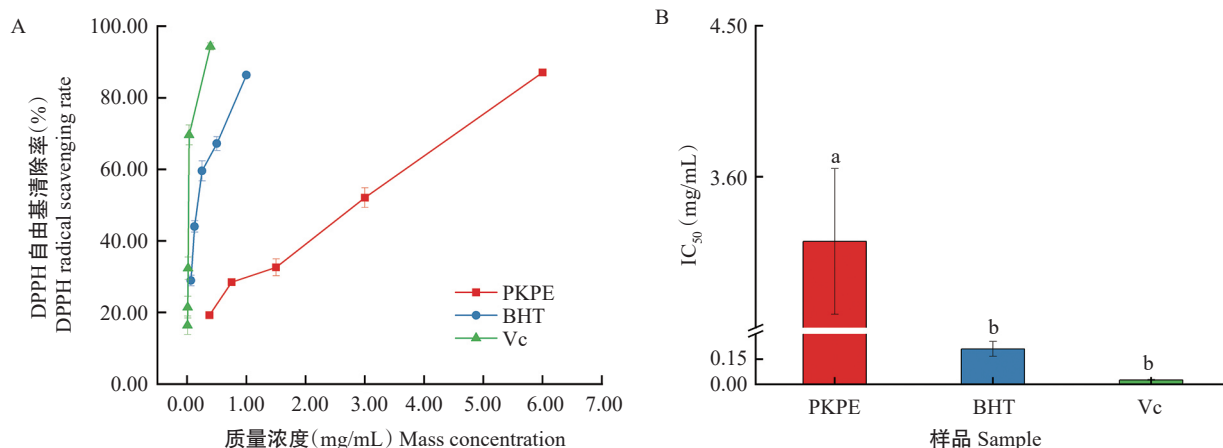


图1 滇黄精果皮提取物对DPPH自由基的清除能力

Fig. 1 Scavenging capability of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts on DPPH radicals

图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。图2同

Different lowercase letters on the bar indicated significant difference ($P<0.05$). The same was applied in Fig. 2

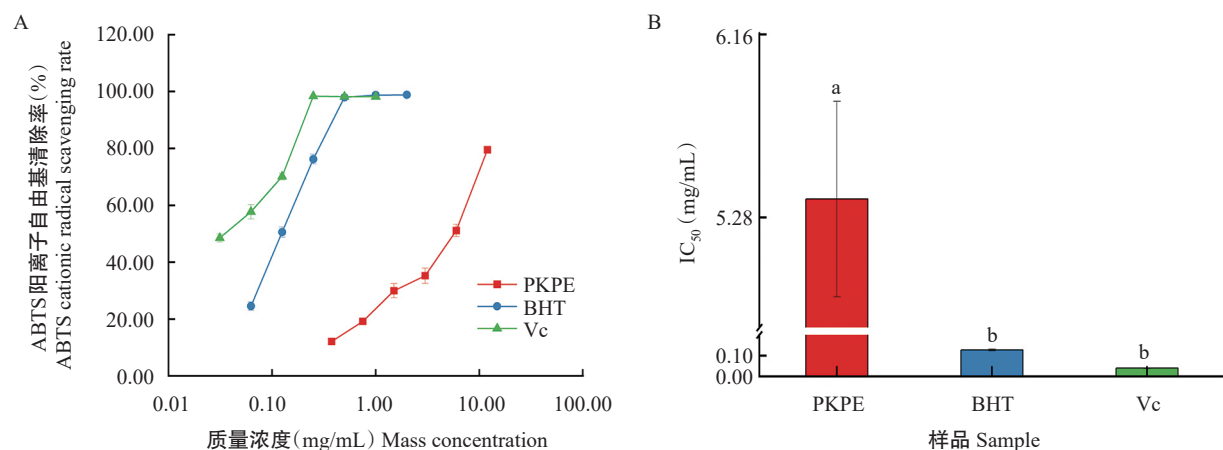


图2 滇黄精果皮提取物对ABTS阳离子自由基的清除能力

Fig. 2 Scavenging capability of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts on ABTS cationic radicals

选,以口服利用度 $\geq 30.00\%$ 和生物类药性 ≥ 0.18 为条件,经TCMSP数据库初步筛选出28种潜在活性成分(表1)。进一步探究28种潜在活性成分可能作用的蛋白靶点,利用Swiss Target Prediction数据库对 $P>0$ 的靶点进行筛选。对不同潜在活性成分靶点合并去重后共获得669个成分靶点,表明滇黄精果皮提取物的潜在活性成分可能影响的靶点较为丰富,基于此,可对滇黄精果皮的功能活性进行预测。

2.5 抗炎靶点的网络药理学分析结果

2.5.1 抗炎靶点获取 通过查阅文献资料,发现木犀草素、柚皮素、薯蓣皂素、金合欢素等活性成分与抗炎作用相关性较高。因此,对代谢物的抗炎靶点进行预测。以“anti-inflammatory”为关键词在GeneCards数据库中检索疾病相关靶点,共检索到1032个抗炎相关靶点,将其与669个滇黄精果皮提取物潜在活性成分作用靶点导入Venny 2.1取交集分析,获得262个滇黄精果皮提取物抗炎的潜在作用靶点(图5),占滇黄精果皮提取物潜在活性成分靶点总数的39.16%,对抗炎相关靶点的映射率为25.39%,结果表明抗炎活性可能是滇黄精果皮最主要的功能活性。

2.5.2 滇黄精果皮提取物—潜在活性成分—抗炎靶点网络构建 为了对滇黄精果皮提取物潜在活性成分与抗炎靶点之间的相关性进行可视化分析,将潜在活性成分及相关预测的靶点导入Cytoscape 3.10.3,获得滇黄精果皮提取物—潜在活性成分—抗炎靶点网络图(图6)。图中方块代表潜在的28种潜在活性成分,椭圆代表262个靶点基因,网络拓扑参数共包括291个节点、1088条边;节点以度值表示,即网络中节点与节点相连的边数,度值越大则潜在活性成分的颜色越深;在网络图中关联的靶点越多,即对抗炎的干预潜力越大。其中,木犀草素、香叶木素、金合欢素、芫花素和丁香素等成分的节点颜色较深,表明这些成分是抗炎功能的潜在关键成分。

2.5.3 蛋白互作分析 将滇黄精果皮提取物抗炎的潜在作用靶点上传到STRING数据库,初步得到PPI网络图(图7)。将STRING数据库中得到的结果导入Cytoscape 3.10.3中,得到262个节点、5472条边;随后以介度(Betweenness) >251.084 、紧密度(Closeness) >0.002 、连接度(Degree) >41.779 为条件进行筛选,经Cytoscape 3.10.3优化后,最终得到52个

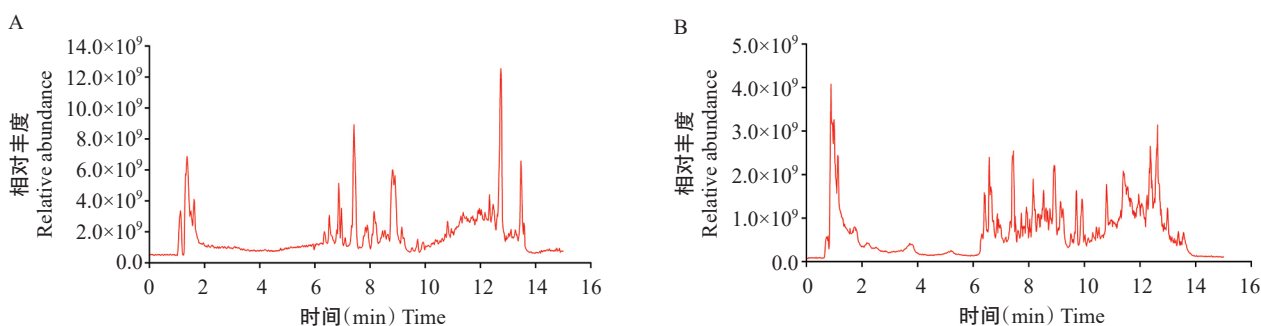


图3 滇黄精果皮提取物正(A)、负(B)总离子流图

Fig. 3 Total ion chromatogram of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts in positive (A) and negative (B) ion modes

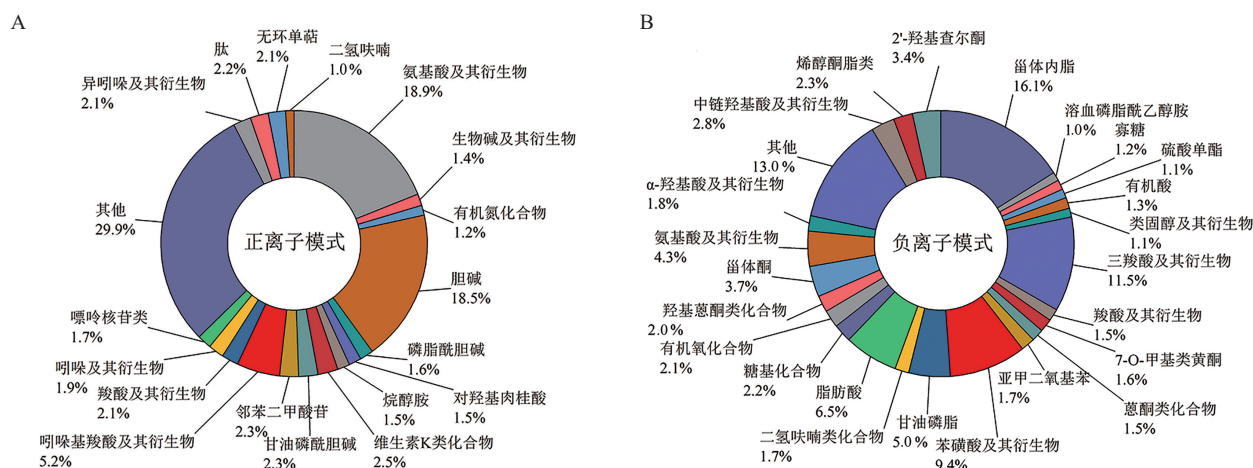


图4 滇黄精果皮提取物正(A)、负(B)离子模式下的代谢物分类

Fig. 4 Metabolite classification of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts in positive (A) and negative (B) ion modes

表1 滇黄精果皮提取物潜在活性成分

Table 1 Potential active components of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts

编号 Number	活性成分 Active component	CAS号 CAS number	口服利用度(%) Oral bioavailability	生物类药性 Biological drug-likeness
1	四甲氧基木犀草素 Tetramethoxyluteolin	855-97-0	43.68	0.37
2	丁香素 Syringetin	4423-37-4	36.82	0.37
3	大蓟苷 Pectolarin	28978-02-1	47.62	0.65
4	黄藤素 Palmatine	3486-67-7	64.60	0.65
5	柚皮素 Naringenin	480-41-1	59.29	0.21
6	木犀草素 Luteolin	491-70-3	36.16	0.25
7	蒙花苷 Linarin	480-36-4	39.84	0.71
8	甘草查尔酮B Licochalcone B	58749-23-8	76.76	0.19
9	异巴黄素 Isobavachin	31524-62-6	54.44	0.32
10	靛蓝 Indigo	482-89-3	38.20	0.26
11	芫花素 Genkwanin	437-64-9	37.13	0.24
12	金柑苷 Fortunellin	20633-93-6	35.65	0.74
13	杜鹃素 Farrerol	24211-30-1	42.65	0.26
14	吴茱萸碱 Evodiamine	518-17-2	86.02	0.64
15	麦角甾醇过氧化物 Ergosterol peroxide	2061-64-5	40.36	0.81
16	玫瑰树碱 Ellipticine	519-23-3	30.82	0.28
17	鞣花酸 Ellagic acid	476-66-4	43.06	0.43
18	香叶木素 Diosmetin	520-34-3	31.14	0.27
19	薯蓣皂素 Diosgenin	512-04-9	80.88	0.81
20	双氢青蒿素 Dihydroartemisinin	81496-82-4	50.75	0.30
21	德尔妥因 Deltoin	19662-71-6	46.69	0.37
22	隐丹参酮 Cryptotanshinone	35825-57-1	52.34	0.40
23	去氢钩藤碱 Corynoxine	630-94-4	57.13	0.57
24	白果内酯 Bilobalide	33570-04-6	84.42	0.36
25	黄连素 Berberine	2086-83-1	36.86	0.78
26	积雪草酸 Asiatic acid	464-92-6	41.38	0.71
27	青蒿素 Artemisinin	63968-64-9	49.88	0.31
28	金合欢素 Acacetin	480-44-4	34.97	0.24

节点、915条边。由图8可知,滇黄精果皮提取物抗炎的核心靶点为肿瘤坏死因子(TNF)、白细胞介素-6(IL-6)、前列腺素内过氧化物合酶2(PTGS2)、AKT1、STAT3。结果表明滇黄精果皮提取物的关键活性成分具有作用多个抗炎关键蛋白以发挥抗炎功能的潜力,后续对预测的蛋白靶点进行关联,对可能的信号通路作进一步分析。

2.5.4 GO功能注释和KEGG信号通路富集分析 利用DAVID数据库对通过韦恩图筛选得到的262个潜在作用靶点进行GO功能注释和KEGG信号通路富集分析。滇黄精果皮提取物的抗炎靶点共涉及1065条GO功能条目,其中生物过程(Biological process)739条,包括凋亡过程的负调控(Negative regulation of apoptotic process)、信号转导(Signal transduction)等;细胞组成(Cellular component)94条,包括细胞质(Cytoplasm)、细胞外泌体(Extracellular exosome)等;分子功能(Molecular function)232条,包括相同蛋白质结合(Identical protein binding)、ATP结合(ATP binding)等。最终选择每个类别的前10条GO功能条目进行可视化数据分析(图9),结果表明,滇黄精果皮提取物抗炎的关键生物过程为炎症反应(Inflammatory response)、胞质钙离子浓度的正向调

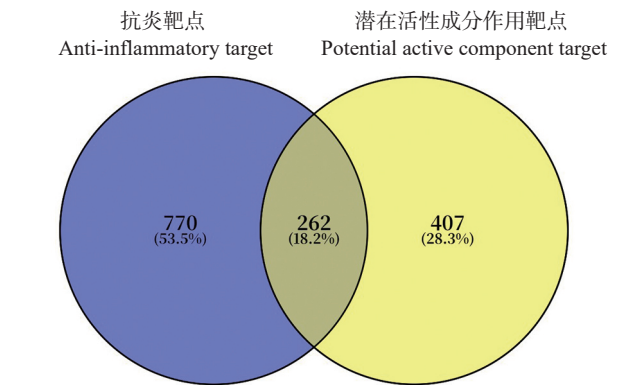


图5 滇黄精果皮提取物—抗炎靶点韦恩图
Fig. 5 Venn diagram of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts-anti-inflammatory targets

控(Positive regulation of cytosolic calcium ion concentration);关键细胞组成为细胞质膜(Plasma membrane)、细胞质基质(Cytosol);关键分子功能为核受体活性(Nuclear receptor activity)、酶结合(Enzyme binding)。

对滇黄精果皮提取物的交集靶点进行KEGG信号通路富集分析,共获得187条信号通路,包括脂质和动脉粥样硬化(Lipid and atherosclerosis)、人巨细胞病毒感染(Human cytomegalovirus infection)、糖尿

病并发症中的 AGE-RAGE 信号通路 (AGE-RAGE signaling pathway in diabetic complications) 等; 筛选 KEGG 信号通路富集分析中显著性排名前 20 条信号通路, 结果 (图 10) 显示, 滇黄精果皮提取物抗炎的关键通路为癌症通路 (Pathways in cancer)。

2.5.5 疾病—通路—靶点—成分—药物网络构建
基于滇黄精果皮提取物中获得的 28 种潜在活性成分及其对应的靶点, 结合韦恩图分析得到的潜在靶点和 KEGG 信号通路富集分析显著性排名前 20 条信号通路 (表 2), 利用 Cytoscape 3.10.3 构建疾病—通路—靶点—成分—药物网络 (图 11)。结果显示, 滇黄精果皮提取物中的主要抗炎活性成分为木犀草

素、香叶木素、金合欢素、芫花素和丁香素等; 滇黄精果皮提取物抗炎的主要通路为癌症通路、癌症蛋白聚糖 (Proteoglycans in cancer)、卡波西肉瘤相关疱疹病毒感染 (Kaposi sarcoma-associated herpesvirus infection)、糖尿病并发症中的 AGE-RAGE 信号通路、内分泌抵抗 (Endocrine resistance)、PI3K-Akt 信号通路 (PI3K-Akt signaling pathway) 等; 连接度较高的关键靶点为糖原合酶激酶 3 β (GSK-3 β)、PTGS2、肉瘤病毒癌基因 (SRC)、表皮生长因子受体 (EGFR)、人肝细胞癌种糖醛还原酶 (AKR1 β 1) 等。表明滇黄精果皮提取物可以通过多成分—多靶点—多通路发挥抗炎功能。

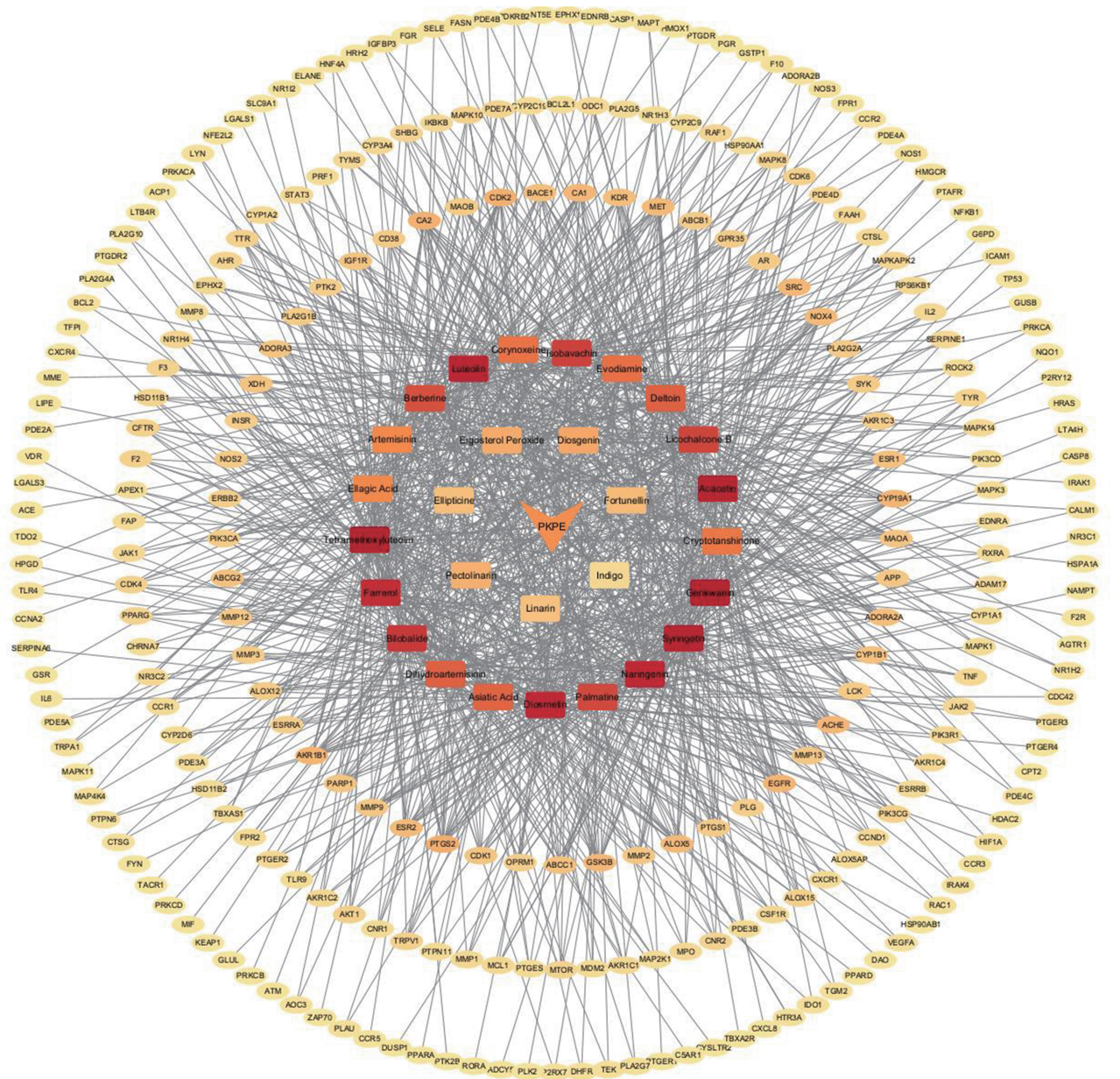


图 6 滇黄精果皮提取物—潜在活性成分—抗炎靶点网络

Fig. 6 Network of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts-potential active components-anti-inflammatory targets

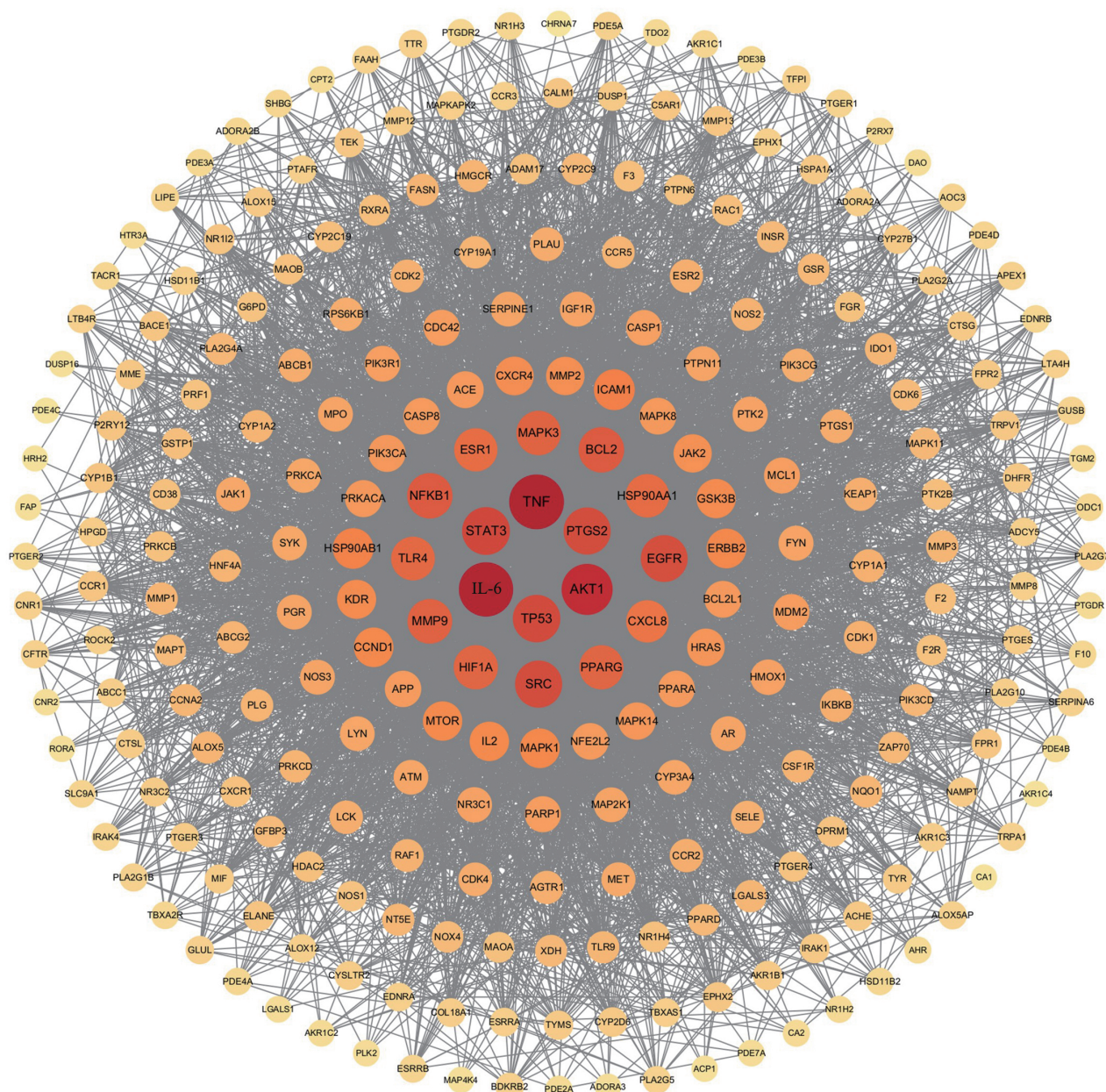


图7 滇黄精果皮提取物—抗炎靶点 PPI 网络

Fig. 7 PPI network of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts-anti-inflammatory targets

3 讨论

3.1 滇黄精果皮活性成分含量及抗氧化活性

滇黄精是云南大宗道地药材,药用历史悠久且市场需求量大,但其常用药食部位块茎种植周期长(3~5年),且种植过程中产生的大量果实、花等副产物未得到有效利用,造成严重的资源浪费。因此,如何实现对滇黄精资源的高效利用已成为助力相关产业增收的关键问题。本研究以药食两用的滇黄精果皮为试验材料,其活性成分以多糖和皂苷为主。多糖是细胞壁交联纤维网状结构的核心组成成分,与抗氧化、抗炎、抗菌、降糖等多种功能相关,本研究中

滇黄精果皮提取物总多糖含量达53.14%,高于滇黄精根茎中的总多糖含量(23.47%~28.19%)(陈泽历等,2025),可能是由于植物果实中含有丰富的果胶成分;皂苷是黄精属中重要的活性成分,与降糖、降脂、抗炎、抗氧化、抗衰老等活性功能密切相关,滇黄精果皮提取物总皂苷含量(1.40%)与滇黄精块茎中的含量相近,如紫花滇黄精根茎和红花滇黄精块茎中皂苷含量分别为1.31%和1.46%,但明显高于其他非根茎部位(叶、茎秆等,含量为0.33%~0.48%)(李玲等,2021);总黄酮和总酚是植物重要的次生代谢产物,与抗氧化、抗炎、抑菌等生物活性相关,总黄酮和总酚在滇黄精块茎和果皮中含量均较低,滇黄精

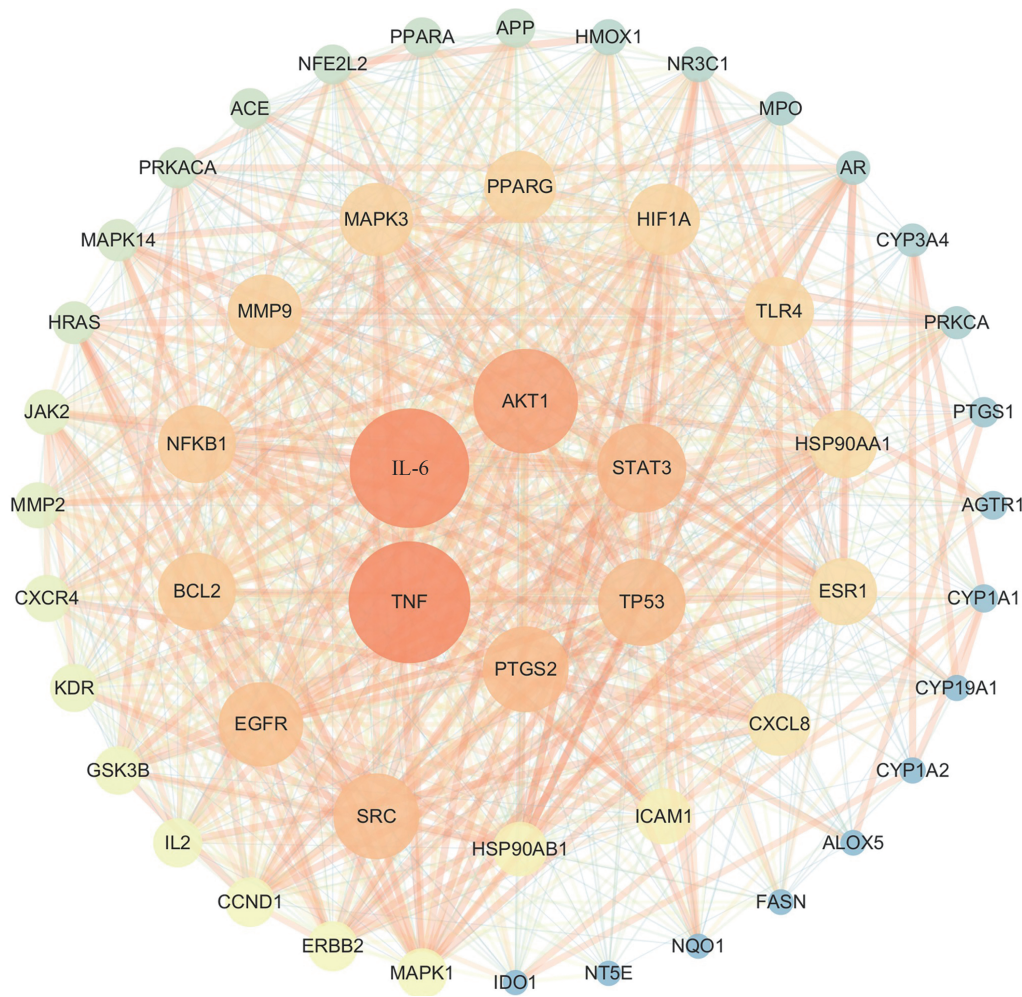


图8 滇黄精果皮提取物—抗炎核心靶点PPI网络

Fig. 8 PPI network of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts-anti-inflammatory core targets

果皮提取物中二者含量分别为0.39%和0.12%,高于块茎中的总黄酮含量(0.11%~0.12%)和总酚含量(0.09%~0.11%)(陈泽历等,2025)。综上所述,滇黄精果皮在多糖、皂苷、黄酮、酚类等活性成分含量上优于药食两用的块茎,具有开发为功能性食品的应用潜力,但不同部位的化合物结构、种类可能存在一定差异,因此后续可进一步探究不同部位活性成分的构效关系。

滇黄精具有抗衰老、抗疲劳、保护心血管、免疫调节等功效(柳威等,2017),现代医学认为这些功效与抗氧化活性密切相关。当机体在代谢过程中产生过量活性氧,会直接启动NF- κ B转录因子信号通路,增加NLRP3等炎症小体的表达和释放,促使细胞产生炎症反应;同时炎症发生后,促进巨噬细胞形成泡沫细胞,导致更多活性氧自由基产生,进而加剧炎症反应(Krzemińska et al., 2022),具备一定抗氧化活性能够增强抗炎活性。本研究评估了滇黄精果皮的体外抗氧化活性,发现滇黄精果皮提取物可与自由基

结合,产生较强的抗氧化作用。滇黄精果皮提取物质量浓度为0.38、0.75和1.50 mg/mL时,其DPPH自由基清除率分别为19.25%、28.48%和32.62%,与陆姝余等(2024)对发酵滇黄精DPPH自由基清除能力的测定结果相似;滇黄精果皮提取物质量浓度为0.38 mg/mL时,对ABTS阳离子自由基清除率约为10.00%,与牛世蓉等(2025)对滇黄精块茎ABTS阳离子自由基清除能力的测定结果相似。

以上研究结果表明,滇黄精果皮具有丰富的活性成分含量和较强的抗氧化活性,有助于增强其抗炎活性,是滇黄精植株中具有开发潜力的重要部位,可作为块茎的替代原料。

3.2 滇黄精果皮抗炎作用的网络药理学分析

上述研究结果表明滇黄精果皮具有一定的应用潜力,但其主要活性化合物和功能靶点鲜有报道,因此本研究进一步利用代谢组学和网络药理学对其潜在活性化合物和相关作用靶点进行预测,为滇黄精果皮的进一步应用提供参考。在滇黄精果皮提取物

的代谢组学分析中,共鉴定出 822 种成分,满足口服利用度 $\geq 30\%$ 、生物类药性 ≥ 0.18 条件的共 28 种,与抗炎活性关联度较高,表明滇黄精果皮中含有丰富的抗炎功能化合物,其中的木犀草素、香叶木素、金合欢素、茺花素和丁香素是抗炎的关键功效成分,可通过作用于 STAT3、IL-6、TNF 等靶点起到抗炎效果 (Muruganathan et al., 2022; El Menyiy et al., 2023; Wang et al., 2023)。此外,柚皮素、甘草查尔酮 B、白果内酯等也具有潜在的抗炎作用。柚皮素已被证明可以通过炎症细胞释放的促炎介质来减轻类风湿性关节炎、炎症性肠炎等炎症性疾病 (Cai et al., 2023),且通过抑制 TLR4/MAPK 信号通路改善小鼠的类风湿性关节炎 (黄浦洋等, 2023),同时通过核因子 E2

相关因子 2 (Nrf2) 的作用抑制动脉粥样硬化小鼠的血管炎症 (董豆豆等, 2021)。甘草查尔酮 B 可以抑制小鼠巨噬细胞中由于脂多糖刺激引起的肿瘤坏死因子 α (TNF- α) 释放,从而发挥抗炎作用 (王晓敏等, 2023)。白果内酯可以通过激活 PGC-1 α 通路改善由白细胞介素 1 β (IL-1 β) 诱导的 ATDC5 软骨细胞炎症损伤 (李亚楠等, 2024)。

PPI 网络及核心靶点网络图分析显示, TNF、IL-6、AKT1 是滇黄精果皮提取物抗炎的潜在核心靶点。TNF 是一种关键的细胞因子,由活化的巨噬细胞、单核细胞和 T 细胞产生,参与炎症反应、调节代谢过程和诱导肿瘤细胞凋亡,在维持机体免疫平衡中发挥重要作用 (全惠琳等, 2022)。研究发现, TNF

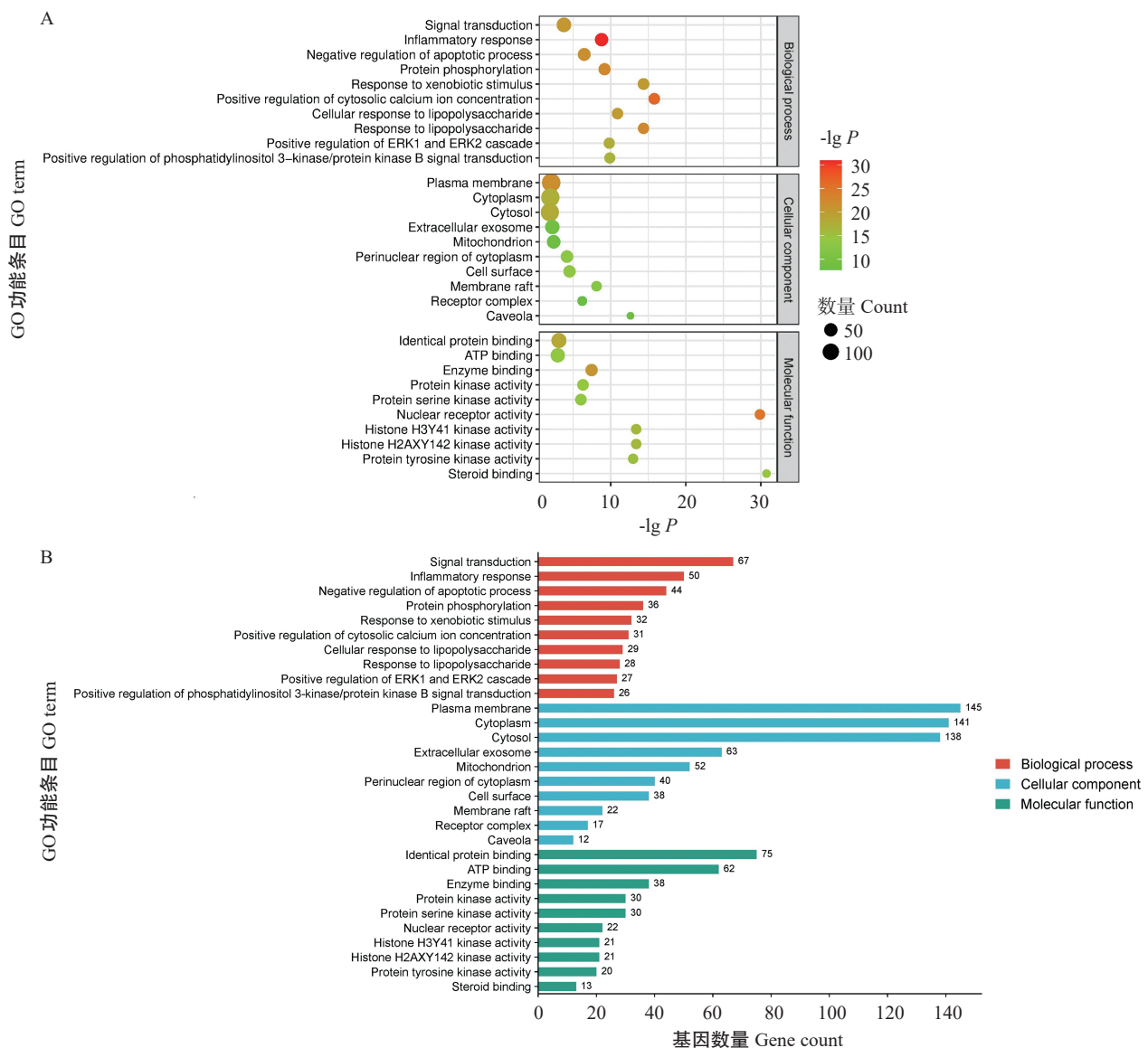


图9 滇黄精果皮提取物抗炎GO功能注释结果

Fig. 9 GO functional annotation results of anti-inflammation of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts

A: GO功能富集气泡图; B: GO功能富集多组水平条形图

A: GO functional enrichment bubble chart; B: GO functional enrichment multi-group horizontal bar chart

可通过调节 TNF- α 信号通路降低炎症因子分泌、减轻机体的炎症反应(陆文洪等,2023)。IL-6 是一种多功能促炎细胞因子,作用于上皮细胞、免疫细胞等多种靶细胞,参与调控细胞增殖、分化及免疫调节等生理过程(李莹和李彦龙,2024)。STAT3 是经典的细胞内 IL-6 信号转导器,调控多种基因的表达和参与炎症反应。梁运特和孙平良(2021)研究发现,当机体组织中的 IL-6 表达异常时,通过抑制 STAT3 信号通路能够降低促炎因子的表达,减轻炎症反应。AKT1 是一种苏氨酸/丝氨酸蛋白激酶,作为 PI3K/AKT/mTOR 信号通路中的关键分子,其被活化后通

过磷酸化作用调控下游基因的表达,参与调控细胞周期进程和抑制细胞凋亡(Siddika et al.,2022)。白藜芦醇通过靶向 AKT1 来抑制心肌细胞中炎症小体的激活和急感神经应激后的心脏炎症反应(Wang et al.,2022)。

KEGG 信号通路富集分析显示,滇黄精果皮提取物抗炎作用可能与癌症通路、脂质和动脉粥样硬化、人巨细胞病毒感染、PI3K-Akt 信号通路、癌症蛋白聚糖等信号通路有关。癌症通路在调控炎症因子的表达中起着关键作用,通过抑制促炎因子(TNF、IL-6、IL-1 β)的产生,调控炎症介质的表达(Afshari et al.,2023)。基于 SHH/GLI-1 信号通路,齐墩果酸对结直肠癌小鼠给药干预后肿瘤体积减小,血清中的 TNF、IL-6、IL-1 β 表达降低(贾沛芝等,2024)。动脉粥样硬化是一种血管壁的慢性炎症,当血管内皮细胞经外界刺激时产生损伤,伴随着损伤程度加重和时间延长,产生大量的炎症因子,促使炎症细胞浸润(毛威等,2025)。炎症因子的参与也加快了动脉粥样硬化的发生。PI3K-Akt 信号通路作为调控细胞分化、存活和凋亡的关键信号通路,其依赖 Akt 的磷酸化来调控多种生命活动,抑制 PI3K-Akt 信号通路中的磷酸化,降低炎症因子的表达及缓解炎症。研究表明,北五味子提取液通过与 Akt1 靶点结合,抑制 PI3K-Akt 信号通路的活化发挥抗炎作用(刘雪松等,2023)。

代谢组学和网络药理学的联合分析结果表明,滇黄精果皮可能具有较好的抗炎功能,且相关抗炎

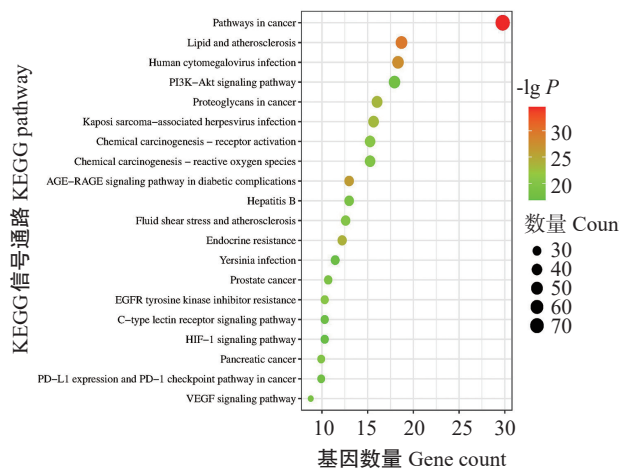


图 10 滇黄精果皮提取物抗炎 KEGG 信号通路富集分析结果

Fig. 10 KEGG signaling pathway enrichment analysis results of anti-inflammation of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts

表 2 滇黄精果皮提取物抗炎的作用信号通路(前 20 条)

Table 2 Signaling pathways for anti-inflammation of *Polygonatum kingianum* pericarp extracts (top 20)

代称 Alternative designation	信号通路 Signaling pathway
hsa05200	癌症通路 Pathways in cancer
hsa05417	脂质和动脉粥样硬化 Lipid and atherosclerosis
hsa05163	人巨细胞病毒感染 Human cytomegalovirus infection
hsa04933	糖尿病并发症中的 AGE-RAGE 信号通路 AGE-RAGE signaling pathway in diabetic complications
hsa01522	内分泌抵抗 Endocrine resistance
hsa05205	癌症蛋白聚糖 Proteoglycans in cancer
hsa05167	卡波西肉瘤相关疱疹病毒感染 Kaposi sarcoma-associated herpesvirus infection
hsa01521	表皮生长因子受体酪氨酸激酶抑制剂的抗药性 EGFR tyrosine kinase inhibitor resistance
hsa05207	化学致癌—受体激活 Chemical carcinogenesis-receptor activation
hsa05418	流体剪切应力与动脉粥样硬化 Fluid shear stress and atherosclerosis
hsa05212	胰腺癌 Pancreatic cancer
hsa05208	化学致癌—活性氧 Chemical carcinogenesis-reactive oxygen species
hsa05215	前列腺癌 Prostate cancer
hsa05161	乙型肝炎 Hepatitis B
hsa04370	VEGF 信号通路 VEGF signaling pathway
hsa05235	癌症中的 PD-L1 表达及 PD-1 检查点通路 PD-L1 expression and PD-1 checkpoint pathway in cancer
hsa04151	PI3K-Akt 信号通路 PI3K-Akt signaling pathway
hsa04625	C 型凝集素受体信号通路 C-type lectin receptor signaling pathway
hsa05135	鼠疫耶尔森菌感染 Yersinia infection
hsa04066	HIF-1 信号通路 HIF-1 signaling pathway

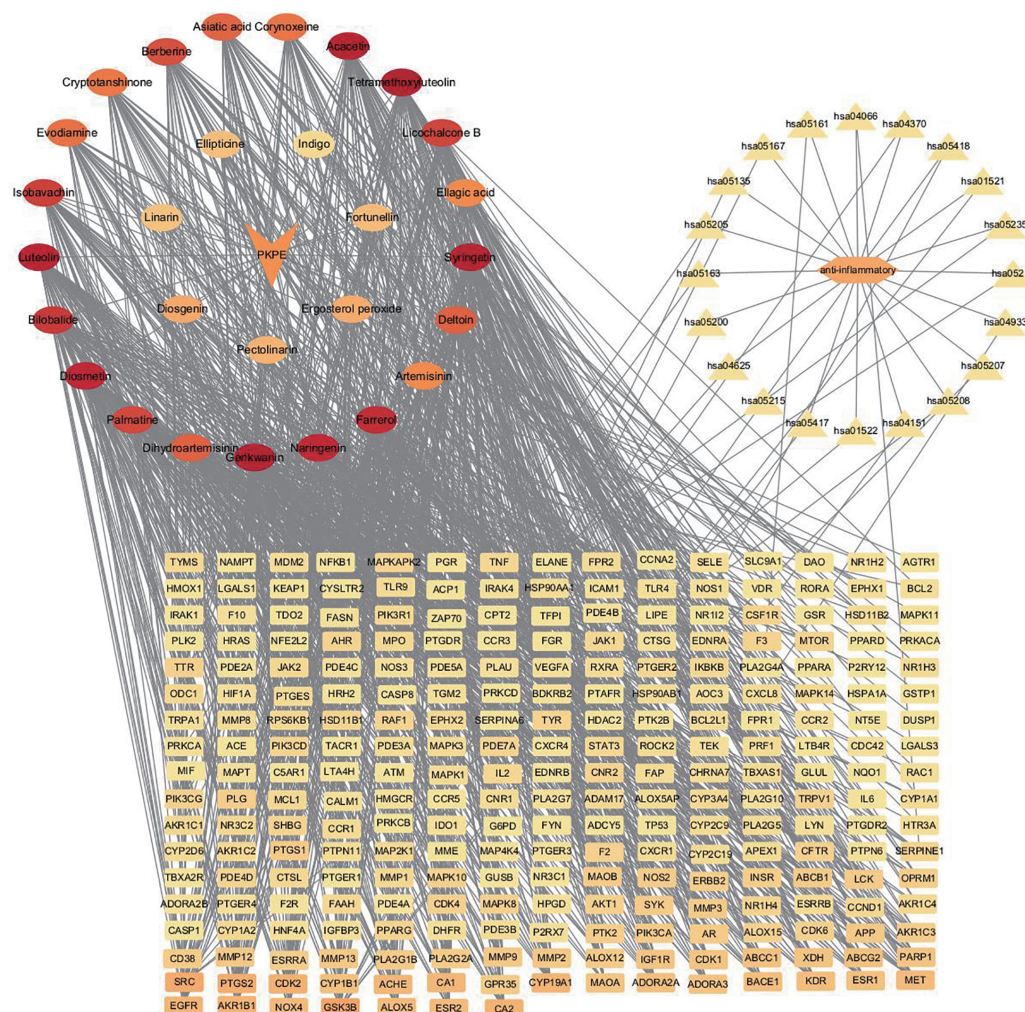


图 11 疾病—通路—靶点—成分—药物网络
Fig. 11 Disease-pathway-target-component-drug network

机制丰富,为滇黄精果皮的针对性使用提供了参考。然而,基于上述研究结果有必要进一步利用细胞或动物模型对相关靶点基因、信号通路等进行多层次的验证研究。

4 结论

滇黄精果皮含有丰富的活性成分,且抗氧化活性较强,同时具有较好的抗炎活性潜力,表明其具有开发为功能性产品的潜在利用价值。

参考文献(References):

- 蔡红业,吴谨,徐林忠. 2023. 基于UHPLC-Q-TOF-MS技术和网络药理学的金莲花抗炎药效物质基础及作用机制研究[J]. 现代药物与临床, 38(5): 1041-1050. [Cai H Y, Wu J, Xu L Z. 2023. Material basis and mechanism of anti-inflammation effect of *Trollius chinensis* Bge. based on UHPLC-Q-TOF-MS and network pharmacology[J]. Drugs & Clinic, 38(5): 1041-1050.] doi:10.7501/j.issn.1674-5515. 2023.05.003.
- 陈迪路,姚思凡,孙伍慧,张艺,赵碧清,周小江. 2023. GC-

MS、UPLC-Q-TOF-MS/MS结合网络药理学探讨地锦草药效物质基础及其抗炎作用机制[J]. 湖南中医药大学学报, 43(12): 2238-2248. [Chen D L, Yao S F, Sun W H, Zhang Y, Zhao B Q, Zhou X J. 2023. The therapeutic material basis of *Euphorbiae humifusae* Herba and its anti-inflammatory mechanism based on GC-MS, UPLC-Q-TOF-MS/MS, and network pharmacology [J]. Journal of Hunan University of Chinese Medicine, 43(12): 2238-2248.] doi: 10.3969/j.issn.1674-070X.2023.12.014.

- 陈泽历,李倩,李新宇,兰珊珊,冯光恒,苏雯,邵金良,刘振环. 2025. 不同品系滇黄精食药用品质分析与综合评价[J]. 食品安全质量检测学报, 16(2): 16-24. [Chen Z L, Li Q, Li X Y, Lan S S, Feng G H, Su W, Shao J L, Liu Z H. 2025. Analysis and comprehensive evaluation of edible and medicinal quality of different strains of *Polygonatum kingianum* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 16(2): 16-24.] doi:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240913002.
- 董豆豆,张芸,何慧,雷霆雯,欧海龙. 2021. 柚皮素促进Nrf2/II相解毒酶活性并降低血管炎症反应[J]. 中国药理学通报, 37(7): 1002-1007. [Dong D D, Zhang Y, He H, Lei T W, Ou H L. 2021. Naringenin increases Nrf2/phase II detoxifying enzymes to reduce vascular inflammation [J].

- Chinese Pharmacological Bulletin, 37 (7) : 1002-1007.] doi: 10.3969/j.issn.1001-1978.2021.07.021.
- 何昊天, 肖娟娟, 汤依钰, 罗密, 刘仲华, 禹利君. 2024. 基于网络药理学对发花茶梗活性成分的预测分析[J]. 茶叶科学, 44(4) : 665-682. [He H T, Xiao J J, Tang Y Y, Luo M, Liu Z H, Yu L J. 2024. Prediction and analysis of active components in tea stem fermented product based on network pharmacology [J]. Journal of Tea Science, 44 (4) : 665-682.] doi: 10.13305/j.cnki.jts.2024.04.010.
- 侯宪邦, 王永翠. 2023. 基于网络药理学分析紫苏叶抗炎作用机制[J]. 药品评价, 20(12) : 1459-1463. [Hou X B, Wang Y C. 2023. Analysis of the anti-inflammatory mechanism of perilla leaves based on network pharmacology [J]. Drug Evaluation, 20(12) : 1459-1463.] doi: 10.19939/j.cnki.1672-2809.2023.12.07.
- 黄浦洋, 江强, 黄巧霞, 符圣亮, 王聪. 2023. 基于TLR4/MAPK信号通路探讨柚皮素对类风湿关节炎大鼠的治疗作用[J]. 中国老年学杂志, 43(15) : 3769-3774. [Huang P Y, Jiang Q, Huang Q X, Fu S L, Wang C. 2023. Exploring the therapeutic effect of naringenin on rheumatoid arthritis in rats based on TLR4/MAPK signaling pathway [J]. Chinese Journal of Gerontology, 43 (15) : 3769-3774.] doi: 10.3969/j.issn.1005-9202.2023.15.054.
- 贾沛芝, 王敬婷, 陈洋佚, 刘锦洪, 林久茂. 2024. 基于SHH/GLI-1信号通路探讨齐墩果酸抑制结直肠癌小鼠移植瘤生长与炎症反应的作用机制[J]. 福建中医药, 55(8) : 12-18. [Jia P Z, Wang J T, Chen Y Y, Liu J H, Lin J M. 2024. Inhibition of oleanolic acid on growth and inflammatory response in colorectal cancer transplanted tumors in mice based on SHH/GLI-1 signaling pathway [J]. Fujian Journal of Traditional Chinese Medicine, 55(8) : 12-18.] doi: 10.13260/j.cnki.jfjtc.2024.08003.
- 李玲, 黄玉玲, 杨玉玲, 田迎秋. 2021. 滇黄精不同部位理化指标与化学成分差异性研究[J]. 农学学报, 11(8) : 70-75. [Li L, Huang Y L, Yang Y L, Tian Y Q. 2021. The difference of physicochemical indexes and chemical components in different parts of *Polygonatum kingianum* [J]. Journal of Agriculture, 11(8) : 70-75.] doi: 10.11923/j.issn.2095-4050.cjas2020-0173.
- 李亚楠, 马天文, 马玉辉, 魏成威. 2024. 白果内酯调控AMPK-SIRT3正反馈环路介导的线粒体生物发生改善ATDC5软骨细胞炎症损伤[J]. 畜牧兽医学报, 55(8) : 3714-3724. [Li Y N, Ma T W, Ma Y H, Wei C W. 2024. Bilobalide regulates mitochondrial biogenesis mediated by AMPK-SIRT3 positive feedback loop and improves inflammatory damage of ATDC5 chondrocytes [J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 55(8) : 3714-3724.] doi: 10.11843/j.issn.0366-6964.2024.08.043.
- 李莹, 李彦龙. 2024. 中医药通过调节IL-6/STAT3信号通路治疗溃疡性结肠炎的研究进展[J]. 实用中医内科杂志, 38(11) : 91-95. [Li Y, Li Y L. 2024. Study on the treatment of ulcerative colitis by regulating IL-6/STAT3 signaling pathway with traditional Chinese medicine [J]. Journal of Practical Traditional Chinese Internal Medicine, 38(11) : 91-95.] doi: 10.13729/j.issn.1671-7813.Z20232456.
- 梁运特, 孙平良. 2021. 基于miRNA-146a/JAK/STAT/SOCS-3信号通路探讨安肠汤对溃疡性结肠炎大鼠炎症免疫的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 27(3) : 30-38. [Liang Y T, Sun P L. 2021. Effect of anchang decoction on inflammation and immunity in rats with ulcerative colitis based on miRNA-146a/JAK/STAT/SOCS-3 signal pathway [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 27 (3) : 30-38.] doi: 10.13422/j.cnki.syfjx.2020.2302.
- 刘册家, 刘羽康, 张京华, 姚元成, 李金鑫, 张风超, 刘兴村, 张玉伟, 曹桂云, 孟兆青. 2024. 北豆根配方颗粒的抗炎、抗肿瘤有效成分研究——基于UPLC-Q-TOF-MS/MS与网络药理学[J]. 西南大学学报(自然科学版), 46(11) : 227-240. [Liu C J, Liu Y K, Zhang J H, Yao Y C, Li J X, Zhang F C, Liu X C, Zhang Y W, Cao G Y, Meng Z Q. 2024. Analysis of anti-inflammatory, anti-tumor active components of Menispermum Rhizoma formula granules——Based on UPLC-Q-TOF-MS and network pharmacology [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 46(11) : 227-240.] doi: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.11.018.
- 刘菡, 万鹏, 杨壮, 刘旭, 马艳莉, 陈志周. 2023. 黄精功能成分及其开发利用的研究进展[J]. 粮食与油脂, 36(11) : 25-29. [Liu H, Wan P, Yang Z, Liu X, Ma Y L, Chen Z Z. 2023. Research progress on functional components and their development and utilization of *Polygonatum sibiricum* Delar. ex Redoute [J]. Cereals & Oils, 36 (11) : 25-29.] doi: 10.3969/j.issn.1008-9578.2023.11.007.
- 刘雪松, 张艳, 薛沾枚, 孟维珊, 史同瑞, 李伟, 张国华, 杨昊天, 姚爽, 李桂丽, 王爽, 钟鹏. 2023. 基于网络药理学和动物试验探究北五味子靶向PI3K/Akt信号通路发挥抗炎作用的机制[J]. 东北农业大学学报, 54(11) : 74-84. [Liu X S, Zhang Y, Xue Z M, Meng W S, Shi T R, Li W, Zhang G H, Yang H T, Yao S, Li G L, Wang S, Zhong P. 2023. Study on anti-inflammatory mechanism of *Schisandra chinensis* targeting PI3K/Akt signaling pathway based on network pharmacology and animal experiment [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 54(11) : 74-84.] doi: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2023.11.008.
- 柳威, 林懋怡, 刘晋杰, 赵晓冰, 刘忠. 2017. 滇黄精研究进展及黄精研究现状[J]. 中国实验方剂学杂志, 23(14) : 226-234. [Liu W, Lin M Y, Liu J J, Zhao X B, Liu Z. 2017. Progress in study of *Polygonatum kingianum* and research status of *Polygonatum Rhizoma* [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 23(14) : 226-234.] doi: 10.13422/j.cnki.syfjx.2017140226.
- 陆妹余, 马雅鸽, 程清云, 赵声兰, 杨婧娟, 张希. 2024. 自然发酵滇黄精酵素的工艺优化及功能活性分析[J]. 食品研究与开发, 45(10) : 135-141. [Lu S Y, Ma Y G, Cheng Q Y, Zhao S L, Yang J J, Zhang X. 2024. Optimization of natural fermentation process and functional activity analysis of *Polygonatum kingianum* Jiaosu [J]. Food Research and Development, 45(10) : 135-141.] doi: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.10.018.
- 陆文洪, 王真权, 熊家青, 刘丽芳, 李逵. 2023. 探究芩柏加减方通过NF- κ B/TNF- α 信号通路对溃疡性结肠炎的保护机制[J]. 湖南中医药大学学报, 43(10) : 1793-1802. [Lu W H, Wang Z Q, Xiong J Q, Liu L F, Li K. 2023. Protective mechanism of modified Qinbo formula on ulcerative colitis through NF- κ B p65/TNF- α signaling pathway [J]. Journal of Hunan University of Chinese Medicine, 43 (10) : 1793-1802.] doi: 10.3969/j.issn.1674-070X.2023.10.007.

- 毛威, 潘雨晴, 商雨昕, 陈婷婷. 2025. 动脉粥样硬化的炎症驱动机制及靶向治疗研究进展[J]. 心电与循环, 44(3): 233-237. [Mao W, Pan Y Q, Shang Y X, Chen T T. 2025. Inflammatory pathogenesis and targeted therapeutic advances in atherosclerosis [J]. Journal of Electrocardiology and Circulation, 44(3): 233-237.] doi: 10.12124/j.issn.2095-3933.2025.3.2025-6191.
- 牛世蓉, 李敏敏, 崔伟业, 杨建斌, 白小佳, 范蓓. 2025. 高压蒸汽热加工对滇黄精抗氧化及抗炎活性的影响[J]. 食品工业科技, 46(10): 351-359. [Niu S R, Li M M, Cui W Y, Yang J B, Bai X J, Fan B. 2025. Effects of high pressure steam processing on antioxidant and anti-inflammatory activities of *Polygonatum kingianum* [J]. Science and Technology of Food Industry, 46(10): 351-359.] doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050440.
- 全惠琳, 郇宇, 胡学昱. 2022. 褪黑素对IL-1 β /TNF- α 诱导终板软骨细胞黏附减少的作用和机制[J]. 空军军医大学学报, 43(5): 444-449. [Quan H L, Xun Y, Hu X Y. 2022. Effect and mechanism of melatonin on IL-1 β /TNF- α -induced cartilage endplate chondrocyte adhesion reduction [J]. Journal of Air Force Medical University, 43(5): 444-449.] doi: 10.13276/j.issn.2097-1656.2022.04.012.
- 任君宇. 2020. 金合欢素减轻小鼠溃疡性结肠炎的药效机制研究[D]. 上海: 上海中医药大学. [Ren J Y. 2020. Study on the mechanism of acacetin in alleviating ulcerative colitis in mice [D]. Shanghai: Shanghai University of Traditional Chinese Medicine.] doi: 10.27320/d.cnki.gszyu.2020.000781.
- 陶爱恩, 赵飞亚, 王莹, 夏从龙, 范敏, 段宝忠. 2019. 黄精属植物抗糖尿病本草学、物质基础及其作用机制研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 25(15): 15-24. [Tao A E, Zhao F Y, Wang Y, Xia C L, Fan M, Duan B Z. 2019. Research progress on herbaceous, material basis and mechanism of antidiabetic of *Polygonatum* species [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 25(15): 15-24.] doi: 10.13422/j.cnki.syfjx.2019.1518.
- 王晓敏, 张芳红, 郭红云, 朱小康, 白悦, 刘东彦, 朱公建. 2023. 甘草查尔酮B抗肿瘤、抗炎及抗病毒作用研究进展[J]. 甘肃医药, 42(10): 865-867. [Wang X M, Zhang F H, Guo H Y, Zhu X K, Bai Y, Liu D Y, Zhu G J. 2023. Research progress of anticancer, anti-inflammatory and antiviral properties of licochalcone B [J]. Gansu Medical Journal, 42(10): 865-867.] doi: 10.15975/j.cnki.gsyy.2023.10.002.
- 肖惠妹, 马羽, 胡云棵, 羊雨婷, 易涵, 梅馨月, 陆丕健, 吴望, 李川, 刘蓉. 2025. 滇黄精不同组织部位中药用成分比较及黄酮类成分网络药理学研究[J]. 中成药, 47(4): 1370-1374. [Xiao H M, Ma Y, Hu Y K, Yang Y T, Yi H, Mei X Y, Lu P J, Wu W, Li C, Liu R. 2025. Comparison of medicinal components in different tissue parts of *Polygonatum kingianum* and network pharmacology study of flavonoid components [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 47(4): 1370-1374.] doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2025.04.051.
- 杨代林. 2024. 基于PGC-1 α /YAP通路研究香叶木素对银屑病角质细胞增殖和炎症的影响[D]. 重庆: 西南大学. [Yang D L. 2024. Study of diosmetin on keratinocyte proliferation and inflammatory in psoriasis based on the PGC-1 α /YAP pathway [D]. Chongqing: Southwest University.] doi: 10.27684/d.cnki.gxndx.2024.003110.
- 姚馨, 张金渝, 万清清, 李云蓉, 沈涛. 2018. 滇黄精的潜在分布与气候适宜性分析[J]. 热带亚热带植物学报, 26(5): 439-448. [Yao X, Zhang J Y, Wan Q Q, Li Y R, Shen T. 2018. Potential geographical distribution of *Polygonatum kingianum* and its climatic suitability analysis [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 26(5): 439-448.] doi: 10.11926/jtsb.3874.
- 余高, 王海, 莫忠妹, 陈芬. 2023. 不同生境黄精根茎品质特性及根际土壤环境驱动因子[J]. 河南农业科学, 52(12): 57-68. [Yu G, Wang H, Mo Z M, Chen F. 2023. Rhizome quality characteristics of *Polygonatum rhizoma* in different habitats and driving factors in rhizosphere soil environment [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 52(12): 57-68.] doi: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2023.12.007.
- 张国文, 杜泽飞, 孙健玮. 2023. 黄精化学成分与抗肿瘤作用的研究进展[J]. 中国当代医药, 30(28): 31-34. [Zhang G W, Du Z F, Sun J W. 2023. Research progress on chemical constituents and antitumor effects of *Polygonum sibiricum* [J]. China Modern Medicine, 30(28): 31-34.] doi: 10.3969/j.issn.1674-4721.2023.28.008.
- 张楠, 杨帆, 马仲帅, 马舒韵, 李曦明, 温燕龙, 李凌飞. 2024. 基于网络药理学探究滇黄精抗疲劳作用及其机制[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 39(1): 101-110. [Zhang N, Yang F, Ma Z S, Ma S Y, Li X M, Wen Y L, Li L F. 2024. Antifatigue effect and mechanism of *Polygonatum kingianum* based on network pharmacology [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 39(1): 101-110.] doi: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202212048.
- Afshari H, Noori S, Zarghi A. 2023. Curcumin potentiates the anti-inflammatory effects of Tehranolide by modulating the STAT3/NF- κ B signaling pathway in breast and ovarian cancer cell lines [J]. Inflammopharmacology, 31(5): 2541-2555. doi: 10.1007/s10787-023-01281-2.
- Amoah R E, Kalakandan S, Wireko-Manu F D, Oduro I, Saalia F K, Ellis W O, Krishnamoorthy S. 2022. Effect of solar drying and vinegar pretreatment on the antioxidant properties and bioactive compounds of sliced ginger [J]. Journal of Food Quality, 2022: 3675626. doi: 10.1155/2022/3675626.
- Cai J, Wen H L, Zhou H, Zhang D, Lan D F, Liu S P, Li C Y, Dai X F, Song T, Wang X Y, He Y Q, He Z X, Tan J, Zhang J D. 2023. Naringenin: A flavanone with anti-inflammatory and anti-infective properties [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 164: 114990. doi: 10.1016/j.biopha.2023.114990.
- Chua L S, Lau C H, Chew C Y, Dawood D A S, Capasso R, Di Cesare Mannelli L. 2019. Solvent fractionation and acetone precipitation for crude saponins from *Eurycoma longifolia* extract [J]. Molecules, 24(7): 1416. doi: 10.3390/molecules24071416.
- El Menyiy N, Aboulaghra S, Bakrim S, Moubachir R, Taha D, Khalid A, Abdalla A N, Algarni A S, Hermansyah A, Ming L C, Rusu M E, Bouyahya A. 2023. Genkwanin: An emerging natural compound with multifaceted pharmacological effects [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 165: 115159. doi: 10.1016/j.biopha.2023.115159.

- Huang Y Q, Wang Y T, Deng J, Gao S J, Qiu J K, He J W, Yang T, Tan N H, Cheng S W, Song Z Y. 2024. Research on the anti-oxidant and anti-aging effects of *Polygonatum kingianum* saponins in *Caenorhabditis elegans* [J]. *Helixyon*, 10(15): e35556. doi: 10.1016/j.helixyon.2024.e35556.
- Krzemińska J, Wronka M, Młynarska E, Franczyk B, Rysz J. 2022. Arterial hypertension-oxidative stress and inflammation [J]. *Antioxidants (Basel)*, 11(1): 172. doi: 10.3390/antiox11010172.
- Li S, He X H, Zhang X C, Kong K W, Xie J H, Sun J, Wang Z X. 2024. Integration of volatile and non-volatile metabolite profile, and *in vitro* digestion reveals the differences between different preparation methods on physicochemical and biological properties of *Gastrodia elata* [J]. *Food Chemistry*, 463(Pt 1): 141177. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.141177.
- Lim H Y, Jeong D, Park S H, Shin K K, Hong Y H, Kim E, Yu Y G, Kim T R, Kim H, Lee J, Cho J Y. 2020. Antiwrinkle and antimelanogenesis effects of tyndallized *Lactobacillus acidophilus* KCCM12625P [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(5): 1620. doi: 10.3390/ijms21051620.
- Muruganathan N, Dhanapal A R, Baskar V, Muthuramalingam P, Selvaraj D, Aara H, Shiek Abdullah M Z, Sivanesan I. 2022. Recent updates on source, biosynthesis, and therapeutic potential of natural flavonoid luteolin: A review [J]. *Metabolites*, 12(11): 1145. doi: 10.3390/metabo12111145.
- Peng J, Lu J H, Zhu J N, Li D J, Li L, Yu Y S, Xu Y J, Wu J J. 2024. Effect of high hydrostatic pressure pretreatment on physicochemical properties, bioactive components and antioxidant activities of dehydrated yam slices [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 198: 115954. doi: 10.1016/j.lwt.2024.115954.
- Siddika T, Balasuriya N, Frederick M I, Rozik P, Heinemann I U, O'Donoghue P. 2022. Delivery of active AKT1 to human cells [J]. *Cells*, 11(23): 3834. doi: 10.3390/cells11233834.
- Wang R, Wang Y M, Wu J M, Guo Y L, Xiao H, Zhang Y Y, Ma K T. 2022. Resveratrol targets AKT1 to inhibit inflammasome activation in cardiomyocytes under acute sympathetic stress [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 13: 818127. doi: 10.3389/fphar.2022.818127.
- Wang X F, Wang D R, Deng B Y, Yan L T. 2023. Syringaresinol attenuates osteoarthritis via regulating the NF- κ B pathway [J]. *International Immunopharmacology*, 118: 109982. doi: 10.1016/j.intimp.2023.109982.
- Zeng C B, Ye G Y, Li G C, Cao H, Wang Z H, Ji S G. 2022. RID serve as a more appropriate measure than phenol sulfuric acid method for natural water-soluble polysaccharides quantification [J]. *Carbohydrate Polymers*, 278: 118928. doi: 10.1016/j.carbpol.2021.118928.
- Zhao J L, Lin F Z, Liang G H, Han Y H, Xu N J, Pan J K, Luo M H, Yang W Y, Zeng L F. 2022. Exploration of the molecular mechanism of *Polygonati Rhizoma* in the treatment of osteoporosis based on network pharmacology and molecular docking [J]. *Frontiers in Endocrinology*, 12: 815891. doi: 10.3389/fendo.2021.815891.

(责任编辑: 罗 丽)