当归的化学成分、药理作用及临床应用*

吴娇[1]，张驾龙[1]，仝芳超[1]，于海川[1,2]

1. 河南医药大学药学院，河南 新乡 453000；2. 河南医药大学医学技术学院，河南 新乡 453003

摘要：当归作为药食同源的传统中药材，其药理活性与所含挥发油（如藁本内酯）、有机酸（如阿魏酸）及多糖等特征性化学成分密切相关。当归具有广泛的药理作用，如抗炎与免疫调节、心脑血管系统保护效应、神经保护功能、血糖调节、抗肿瘤及促进造血功能等。临床应用上，当归常与其他中药联合，用于治疗免疫性疾病、心脑血管疾病、神经退行性疾病、糖尿病及癌症等。现有研究虽已阐明当归中的一些活性成分，但仍有许多成分的作用机制及药理作用尚未被充分挖掘，未来研究应聚焦当归中黄酮类、香豆素类、氨基酸及活性肽、微量元素、维生素等多元活性成分的系统解析，采用多组学联用及分子对接技术阐明其调控抗炎、抗氧化及免疫调节的关键靶点与分子机制，开发基于多组分协同作用的精准治疗方案。同时，深入挖掘当归与其他中药的配伍效果，建立科学的质量控制标准体系，以扩大其临床应用范围，提升其药用价值，为这一传统药材的开发利用提供理论依据。

关键词：当归；化学成分；药理作用；临床应用
DOI：10.16368/j.issn.1674－8999.2025.09.307
中图分类号：R285　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1674－8999(2025)09－1917－07

Chemical Composition, Pharmacological Effects and Clinical Applications of Danggui (Angelica)

WU Jiao[1], ZHANG Jialong[1], TONG Fangchao[1], YU Haichuan[1,2]

1. School of Pharmacy, Xinxiang Medical University, Xinxiang Henan China 453000; 2. School of Medical Technology, Xinxiang Medical University, Xinxiang Henan China 453003

Abstract: As a traditional Chinese medicinal material with the same origin as medicine and food, the pharmacological activity of angelica sinensis is closely related to the characteristic chemical components such as volatile oils (such as straw lactones), organic acids (such as ferulic acid) and polysaccharides. Angelica sinensis has a wide range of pharmacological effects, such as anti－inflammatory and immunomodulatory, cardiovascular and cerebrovascular system protective effects, neuroprotective functions, blood glucose regulation, anti－tumor and hematopoietic promotion. In clinical application, angelica is often combined with other traditional Chinese medicines to treat various diseases such as immune diseases, cardiovascular and cerebrovascular diseases, neurodegenerative diseases, diabetes and cancer. Future research should focus on the systematic analysis of multiple active ingredients such as flavonoids, coumarins, amino acids and active peptides, trace elements, vitamins and other active ingredients in Angelica sinensis, and use multi－omics and molecular docking techniques to elucidate the key targets and molecular mechanisms of anti－inflammatory, antioxidant and immunomodulation, and develop precise treatment plans based on multi－component synergy. At the same time, we should conduct in－depth research on the compatibility effect of angelica with other traditional Chinese medicines, establish a scientific quality control standard system, expand the clinical application scope of angelica, enhance its medicinal value, and provide a theoretical basis for the development and utilization of this traditional medicinal material.

Key words: Dangui (Angelica); pharmacological effect; therapeutic effect; clinical application

中药当归（Angelicae sinensis radix）为伞形科植物当归 Angelica sinensis（Oliv.）Diels 的干燥根，作为中医临床最常用的传统中药材之一，始载于《神农本草经》，被列为中品，素有“十方九归”“血家之圣

* **基金项目：**河南省高等学校重点科研项目（21A320018）

药”之誉。当归主要分布在我国甘肃南部、东北部和西北部地区[1]，在日本、韩国等地也有分布。当归既是著名的补气活血要药，又是药食同源的典型代表，具有悠久的药用和食用历史。现代研究表明，当归所含多糖、有机酸和挥发油等化学成分具有抗炎、免疫调节、保护心脑血管、神经保护、降血糖、抗肿瘤等生物活性。近年来，随着研究的深入，其最新化学成分和药理作用机制陆续被发现。为进一步开发利用这一宝贵的中药资源，促进新药研发和临床合理用药，本文系统综述了当归的化学成分及药理活性研究进展，旨在为其深度开发与临床应用提供科学依据。

1　化学成分

当归的化学成分丰富多样，结构复杂。目前已分离鉴定的主要活性成分包括：以藁本内酯（ligustilide，LIG）为代表的挥发油类；以阿魏酸为标志性成分的有机酸类；具有生物活性的多糖类；黄酮类、氨基酸、维生素、微量元素等成分[2]。

1.1　挥发油类　当归挥发油含量约为 1%，为当归的主要成分之一，分为中性、酚性和酸性三个部分。其中，中性挥发油占主导地位，约占总量的 88%；酚性油次之，约占 10%；酸性油含量最低，仅占 2%。通过荧光成像与质谱成像联用技术发现，当归根部挥发油特异性分布在韧皮部油室、木栓层油腔及木质部油管中，并发现头部（木质部）、尾部（韧皮部）的挥发油积累呈现动态差异[3]，且不同药用部位含量差异显著，挥发油含量由高到低依次为归身、归尾、归头、全归。当归挥发油主要由苯酞类、萜类及少量脂肪族和芳香族化合物组成。

1.1.1　苯酞类　苯酞类化合物是当归挥发油中的特征性成分，也是最早从当归中分离鉴定的一类化合物，包括 E－藁本内酯、Z－藁本内酯、丁烯基苯酞及洋川芎内酯 A[4]等。

1.1.2　苯酞类二聚体　苯酞类二聚体是早期分离鉴定的一类化合物，主要包括 Z－3′，8′，3′a，7′a－四氢－6，3′，7，7′ a－二聚藁本内酯－8′－酮[5]、levistolide A、当归双藁苯内酯 A、当归双藁苯内酯 B、E，E′－3－3′，8－8′－双藁苯内酯等[6]。

1.1.3　其他成分　当归挥发油中还含有以 α－蒎烯、β－水芹烯、p－雪松烯、氧化石竹烯为主的萜类化合物；以丁烯基苯酚、丁香油酚为主的酚类化合物；以十四烷、壬烷、正十一烷为代表的烷烃类化合物[5]。此外，还含有别罗勒烯、花侧柏烯、月桂烯、柠檬烯等多种化学成分。

1.2　有机酸类　通过分离鉴定，当归有机酸主要有阿魏酸、丁二酸、香草酸等。阿魏酸是有机酸的代表，是最早被分离的药效成分[7]。当归不同药用部位中阿魏酸分布具有显著部位特异性，含量趋势为：归尾＞归身＞归头[8]。丁二酸和香草酸则富集于归身主根；微量成分如烟酸多见于须根，棕榈酸、正二十四酸分别均匀分布或富集于表皮。

1.3　多糖类　当归多糖（*Angelica sinensis* polysaccharide，ASP）是中药当归的主要活性成分之一。ASP 是一种水溶性多糖，主要由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、鼠李糖、海藻糖、木糖、半乳糖醛酸组成，分子量在 0.2 至 2252 kDa 之间[9]。ASP 在当归中的含量为 15%[10]，其中果糖含量为 1.8% ～4.3%，葡萄糖含量为 0.3% ～1.4%，蔗糖含量为 28.0% ～36.4%[11]。ASP 能够通过聚合作用形成结构更为复杂的杂多糖，进而发挥补体活性作用[12]。15 ℃低温环境会抑制 ASP 合成，导致多糖含量下降[13]。

1.4　黄酮类　从当归中分离得到的黄酮类成分主要有木犀草素－7－O－芦丁糖苷、木犀草素－7－O－β－D 葡萄糖苷以及查尔酮衍生物三类[14]，还包括金丝桃苷（hyperoside）、黄芩苷（baicalin）和2″－O－（2‴－甲基丁酰基）异当药黄素[7]等成分。

1.5　其他　当归含精氨酸、谷氨酸等多种氨基酸，以及铜、铁、锰等微量元素[2]。此外，还含有叶酸、胆碱、尿嘧啶、青霉菌属代谢产物等成分。具体化学成分见表 1。

表 1　当归其他化学成分

序号	类别	主要成分
1	氨基酸	精氨酸、谷氨酸、脯氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、苏氨酸、亮氨酸、丝氨酸、色氨酸、组氨酸、异亮氨酸等
2	维生素	维生素 A、维生素 E、维生素 B_{12} 等
3	微量元素	Cu、Fe、Mn、Zn、K、Ca、Ni、Sr、Rb、Na 等
4	其他成分	叶酸、亚叶酸、胆碱、磷脂、硬脂酸、棕榈酸、尿嘧啶、腺嘌呤、青霉菌属代谢产物、香豆素类等

2　药理作用与临床应用

2.1　抗炎和免疫调节　当归及其复方制剂在抗炎和免疫调节方面表现出多靶点、多途径的作用特点。中药复方生地黄－当归－牛膝在骨关节炎（osteoarthritis，OA）治疗中展现出多维度调控作用。研究表明，生地黄－当归－牛膝可显著缓解内侧半月板失稳模型中的软骨下骨硬化、软骨基质降解及关节肿

胀，其机制与促进软骨细胞增殖并上调Ⅱ型胶原 α1 链（collagen type Ⅱ Alpha 1 chain，COL2A1）、软骨寡聚基质蛋白（cartilage oligomeric matrix protein，COMP）及聚集蛋白聚糖（Aggrecan，ACAN）基因表达相关。进一步研究发现，生地黄－当归－牛膝通过抑制白细胞介素－1β（interleukin－1β，IL－1β）诱导的活性氧（reactive oxygen species，ROS）积累，增强超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）及谷胱甘肽的抗氧化活性，有效维持软骨细胞稳态[15]。单味药当归的活性成分亦被证实具有多靶点治疗潜力。当归多糖通过激活细胞外信号调节激酶 1/2（extracellular signal－regulated kinase 1/2，ERK1/2）信号通路诱导自噬，进而抑制硝普钠诱导的软骨细胞线粒体凋亡，且 ERK1/2 特异性抑制剂 U0126 可完全阻断其保护效应，提示 ERK1/2 依赖的自噬激活是其抗 OA 的核心机制[16]。当归多糖通过抑制核因子－κB（nuclear factor－κB，NF－κB）和丝裂原活化蛋白激酶（mitogen－activated protein kinase，MAPK）信号通路，减轻脂多糖（lipopolysaccharide，LPS）诱导的乳牛蹄真皮细胞炎症反应，并降低促炎因子如肿瘤坏死因子－α（tumor necrosis factor－α，TNF－α）、IL－6 的释放[17]。在完全弗氏佐剂（CFA）诱导的关节炎模型中，当归多糖可同步改善贫血状态，表现为血清铁水平、红细胞计数及血红蛋白浓度显著回升，同时抑制 IL－6 与 TNF－α 的过度分泌，凸显其“抗炎－造血”双重调节特性[18]。

当归中的小分子活性成分对抗炎和免疫调节具有显著的药理活性。香豆素衍生物 Glabralactone 通过靶向抑制干扰素调节因子－3（interferon regulatory factor－3，IRF－3）/NF－κB 通路，减少 LPS 刺激的巨噬细胞中诱导型一氧化氮合酶（inducible nitric Oxide synthase，iNOS）、TNF－α 及 IL－1β 的表达。在动物模型中，5－10 mg·kg^{-1}剂量即可显著缓解急性炎症[19]。由半乳糖、阿拉伯糖及葡萄糖构成的纯化多糖组分 F，通过激活巨噬细胞中 NF－κB/MAPK 通路及补体受体 3（complement receptor，CR3）依赖性杀伤效应，增强对结直肠癌细胞的细胞毒性，提示其免疫调节潜力[20]。当归精油因富含藁本内酯（LIG），在抑制 COX－2/PGE2 通路及调节 NF－κB/MAPK 信号方面表现出优于白芷（Angelica dahurica）及茴香（Foeniculum vulgare）精油的抗炎活性，可显著降低 LPS 诱导的巨噬细胞 TNF－α 与 IL－6 释放[21]。LIG 还可通过拮抗胸腺素 β15 与 G－肌动蛋白的结合，维持胸腺上皮细胞骨架稳定性，从而缓解阿霉素诱导的急性胸腺衰老，改善免疫功能[22]。

综上所述，当归及其复方可通过多成分协同作用，靶向调控自噬－凋亡平衡、氧化应激、炎症信号及免疫微环境，为 OA 及其他炎症相关性疾病的治疗提供“多途径－多靶点”整合干预策略。

2.2　保护心脏和心血管　当归及其活性成分通过多靶点协同机制在心脑血管疾病防治中发挥重要作用。研究证实，其有机酸（如阿魏酸）、挥发油（Z－藁本内酯、丁烯基酞内酯及川芎内酯类）和多糖成分可调节血管舒缩功能，抑制氧化应激－炎症级联反应，并调控细胞自噬－凋亡平衡，从而改善动脉粥样硬化、心肌纤维化及缺血性损伤等病理进程[23]。阿魏酸可通过激活内皮细胞自噬流减轻氧化低密度脂蛋白诱导的线粒体损伤，并抑制 NF－κB 介导的炎症反应，显著延缓动脉粥样硬化进展[24]。当归颗粒剂中的挥发油成分（如 Z－藁本内酯）可通过调控 ROCK/MLCP 钙通道及 NO/cGMP 通路诱导内皮依赖性血管舒张，保护血管内皮屏障功能[25]。ASP 则可通过抑制内质网应激相关蛋白（如 CHOP、GRP78）表达减少 H9C2 心肌细胞凋亡，并在急性心肌梗死模型中缩小梗死面积、改善心脏功能，其机制与 ROS/NLRP3 炎症小体抑制密切相关[26]。复方研究进一步揭示了复方协同效应：当归－黄芪超滤提取物可通过双重抑制 TGF－β1/Smad3 信号轴及 ROS－TLR4/NF－κB 通路，下调 α－平滑肌肌动蛋白和Ⅰ/Ⅲ型胶原表达，阻断上皮－间质转化，显著减轻辐射诱导的心肌纤维化[27]。黄芪－当归纳米粒子则是基于 Z－藁本内酯与黄芪甲苷Ⅳ的自组装特性，靶向抑制 TGF－β1/CTGF 通路，减少异丙肾上腺素模型小鼠心肌胶原沉积，并逆转心室重塑[28]。

2.3　治疗神经系统疾病　当归及其活性成分在神经系统疾病的干预中展现出多靶点协同治疗的潜力。研究发现，当归根中前胡素可通过抑制海马区胶质细胞激活及 NLRP3 炎症小体信号，减轻前脑缺血沙鼠模型的神经元凋亡和脑梗死面积，同时缓解星形胶质细胞损伤，证实其具有抗炎与神经保护的双重功效[29]。当归中的 β－谷甾醇及豆甾醇可通过调控乙酰胆碱代谢、调节血管内皮生长因子表达并干预 T 细胞免疫应答，多途径延缓阿尔茨海默病的病理进程[30]。复方研究进一步揭示了其协同机制：当归－川芎药对以 LIG 及萜类化合物为核心成分，通过激活 BDNF/TrkB 通路促进神经元存活[31]；当归优化配方通过抑制海马区 NLRP3 炎症小体激活、上调胆碱乙酰转移酶表达并减少 β－淀粉样蛋

白沉积，显著改善阿尔茨海默病模型大鼠的认知功能，其机制涉及氧化应激（包括 SOD 活性提升、丙二醛水平降低）与胆碱能系统的双重调控[32]。

2.4　调节血糖　在糖尿病及其并发症的治疗中，当归中富含的香豆素类化合物通过增强葡萄糖依赖性胰岛素分泌，调节胰腺 β 细胞功能，提升胰岛素分泌量，改善糖代谢紊乱，且毒副作用较低[33]。特异性成分 6－FU 可同时抑制 α－葡萄糖苷酶和人重组醛糖还原酶，并通过竞争性抑制蛋白酪氨酸磷酸酶促进胰岛素抵抗的 C2C12 骨骼肌细胞葡萄糖摄取，显著抑制晚期糖基化终末产物的形成，具有抗糖尿病及并发症的潜力[34]。黄芪－当归药对可通过影响 IL－6、TNF－α 等关键细胞因子，进而调节细胞凋亡、氧化应激、炎症反应、葡萄糖及脂质代谢等过程，对糖尿病肾病起到治疗作用，延缓糖尿病肾病的进程[35]。ASP 在 2 型糖尿病模型中，可降低空腹血糖及胰岛素抵抗指数，并改善骨代谢标志物，促进糖尿病性骨损伤修复[36]。在前沿递送策略中，黄芩苷－三氯化铝自组装纳米颗粒通过保护胰岛素胃肠道稳定性，显著提升口服生物利用度，为糖尿病口服治疗提供了新的技术路径[37]。

2.5　抗肿瘤　ASP 及其他活性成分在肿瘤治疗中展现出多维度的抗肿瘤潜力，其机制涉及靶向递送、表观遗传调控及信号通路干预。ASP 与化疗药物协同构建的纳米递送系统可增强抗肿瘤疗效：基于基质金属蛋白酶 2 响应性的 ASP－阿霉素纳米粒可实现瘤内精准释药，显著抑制乳腺癌细胞增殖[38]。ASP 与去氧胆酸共聚形成的 pH 响应型纳米载体则通过肝实质细胞高效摄取及溶酶体逃逸机制，提升冬凌草甲素的靶向递送效率[39]。ASP 可通过调节 miRNA 表达影响多种癌症的发展进程。ASP 通过抑制 MIR－3187－3P 上调 PDCH10 表达，抑制 β－catenin 和磷酸化糖原合成酶激酶－3β 蛋白表达，阻断乳腺癌恶性生物学行为[40]，并联合顺铂下调卵巢癌耐药细胞中谷胱甘肽过氧化物酶（glutathione peroxidase，GPx）表达，逆转铁死亡抵抗[41]。当归乙醇提取物及其香豆素成分 Decursin 可通过诱导 G0/G1 期阻滞及 Caspase－3 依赖性凋亡，抑制胰腺癌细胞活力，同时通过抑制 p38 MAPK/MMP－2/9 轴降低肿瘤侵袭性[42]，并在前列腺癌模型中抑制荷瘤生长[43]。LIG 通过上调 NDRG1 抑制 PI3K/AKT 信号通路，阻断胆管癌细胞增殖及迁移[44]。黄酮类成分则可调节肿瘤微环境炎性因子分泌，增强化疗敏感性[45]。当归活性成分通过多机制协同，为恶性肿瘤治疗提供了“精准递送－表观调控－通路抑制”整合策略。

2.6　对血液系统的作用　ASP 在血液系统疾病的治疗中应用更加广泛，通过多通路协同机制调控造血功能，其活性涵盖免疫调节、抗氧化防御及微环境稳态维持[9]。具体作用包括：激活 PI3K/AKT 信号轴，抑制 Caspase－3 依赖性线粒体凋亡，稳定血小板膜电位，促进外周血红细胞及血小板生成[46]；激活 Nrf2/Keap1 通路，抑制造血微环境中 ROS 积累，维持骨髓基质细胞功能，上调 SOD、过氧化氢酶等抗氧化酶表达，逆转衰老以及化疗药物 5－氟尿嘧啶诱导的造血衰竭[47]；调节凝血酶－蛋白 C 系统抑制血栓形成，同时靶向抑制白血病干细胞增殖并诱导其衰老[36]；抑制铁调素表达并上调膜铁转运蛋白 1 活性，阻断 BMP6/SMAD4 信号轴及抑制肝细胞 IL－6/STAT3 通路介导的铁调素异常合成，调节孕鼠铁代谢稳态，显著改善缺铁性贫血，为妊娠期贫血提供靶向铁稳态的干预策略[48]。

2.7　保护肝脏　当归中的多种活性成分具有显著的保肝作用[49]。ASP 可通过抑制肝细胞凋亡，降低血清总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇[50]，减轻糖尿病或化学毒物 CCl_4 诱导的肝损伤，显著降低血浆丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶及 γ－谷氨酰转肽酶水平以改善肝功能[51]，其抗氧化效应表现为上调 SOD、GPx 及过氧化氢酶活性，同时抑制丙二醛积累及 MAPK 信号通路中 ERK、JNK 和 p38 的异常磷酸化，阻断氧化应激－炎症级联反应[52]。ASP 与黄芪多糖协同激活 JAK2/STAT3 信号轴，通过上调己糖激酶 2 介导的糖酵解通量促进肝细胞增殖，加速肝部分切除后的再生修复，且 JAK2 抑制剂 AG490 可完全阻断此效应，证实糖酵解重编程的关键作用[53]。在 ASP 修饰的硒纳米颗粒（ASP－SeNPs）中，通过协同激活 Nrf2/HO－1 抗氧化通路并抑制 ROS/TLR4/NF－κB 炎症级联反应，降低血清 ALT/AST 水平、减少肝组织坏死面积及增强 SOD/GSH 活性，显著减轻对乙酰氨基酚诱导的急性肝损伤。这一靶向递送体系通过 ASP 的肝亲和性提升硒纳米颗粒生物利用度[54]。

2.8　其他　当归及其活性成分在皮肤疾病及跨领域应用中展现出多维度调控潜力。在皮肤疾病治疗中，其复方制剂通过协同机制干预关键病理通路：当归汤联合他克莫司与硼酸洗剂通过抑制 TLR4/MyD88/NF－κB 炎症信号级联，显著改善慢性肛周湿疹症状[55]；黄芩苷－腐植酸－Eu^{2+} 纳米颗粒通过

增强透明质酸贴片的抗氧化与抗炎活性，延长银屑病病灶部位药物滞留时间，调节 Th17/Treg 免疫平衡[56]。当归提取物通过清除 ROS、提升 SOD 及 GPx 活性，缓解高密度养殖与化学毒物 $CuSO_4$、敌百虫诱导的水生生物氧化损伤，同时改善能量代谢酶活性以维持肌肉功能稳态[57]。在生殖医学领域，LIG 通过促进子宫内膜血管生成及调节整合素 - 骨桥蛋白信号通路，增强子宫内膜容受性，提高胚胎着床率[58]。纳米技术拓展了其应用维度：黄芩苷 - 小檗碱自组装纳米粒基于静电作用与氢键形成三维网络结构，显著增强抗菌活性并抑制生物膜形成，为耐药菌感染提供新型干预策略[59]；当归精油通过破坏娄地青霉（*Penicilliumroqueforti*）细胞膜完整性、抑制麦角固醇合成并诱导 ROS 累积，延长食品货架期且保持感官品质，凸显其在天然防腐领域的潜力[60]。

3　结语

当归化学成分丰富，药理作用广泛，在疾病的治疗中有至关重要的作用。在中草药的应用实践中，当归常与其他中药联合，用于治疗免疫性疾病、心脑血管疾病、神经退行性疾病、糖尿病以及癌症等多种疾病。尽管当归中的部分活性成分已经得到了较为详尽的研究，但仍有许多成分的作用机制及药理作用尚未被充分挖掘。未来研究应进一步聚焦当归中黄酮类、香豆素类、氨基酸及活性肽、微量元素、维生素、脂溶性成分、酚酸类、甾体及三萜类等多元活性成分的系统解析，通过多组学联用和分子对接技术，阐明其调控抗炎抗氧化、免疫等关键生物学途径的作用靶点，并探索其直接干预疾病进程的分子机制，为开发基于当归多组分协同作用的精准治疗方案提供理论依据。值得关注的是，今后需开发并优化 ASP 和当归黄酮类化合物的自组装纳米技术，深入研究其形成机制、物理化学特性、生物活性，探索其在治疗心脑血管疾病、糖尿病、癌症等疾病中的应用潜力，这将有助于提升药物的生物利用度和治疗效果，为中药现代化和精准医疗提供创新的解决方案。同时，进一步研究当归与其他中药的配伍效果，探索如何通过配伍增强其疗效或减少潜在不良反应。对当归活性成分和药理机制研究的不断深入，将有助于开发和完善其质量控制标准，扩大其临床应用范围，充分开发和利用其药用价值。

参考文献：

[1] KIM J H, DOH E J, LEE G. Chemotaxonomic classification of Peucedanum japonicum and its chemical correlation with Peucedanum praeruptorum, Angelica decursiva, and Saposhnikovia divaricata by liquid chromatography combined with chemometrics[J]. Molecules, 2022, 27(5): 1675.

[2] 周美丽，韩妮萍. 当归的有效成分及药理作用研究进展[J]. 环球中医药，2024，17(7)：1420 - 1427.

[3] LI Q, CHEN Y Y, GAO H, et al. In situ analysis of volatile oil in Angelica sinensis roots by fluorescence imaging combined with mass spectrometry imaging[J]. Talanta, 2023, 255: 12425.

[4] LU X H, ZHANG J J, LIANG H, et al. Chemical constituents of Angelica sinensis [J]. Journal of Chinese Pharmaceutical Science, 2004, 13(1): 1 - 8.

[5] 苏东敏，庾石山，秦海林. 当归中新的二聚苯酞衍生物[J]. 药学学报，2005，40(2)：141 - 144.

[6] 路新华，张金娟，张雪霞，等. 当归中藁苯内酯二聚体的分离和结构鉴定[J]. 中国中药杂志，2008，33(19)：2196 - 2201.

[7] 赵雪娇，王海峰，赵丹奇，等. 当归化学成分的分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报，2013，30(3)：182 - 185.

[8] 巢蕾，曹雨诞，严辉，等. 不同产地当归身与当归尾阿魏酸含量比较研究[J]. 中国医药导报，2020，17(27)：120 - 122.

[9] NAI J J, ZHANG C, SHAO H L, et al. Extraction, structure, pharmacological activities and drug carrier applications of Angelica sinensis polysaccharide[J]. Int J Biol Macromol, 2021, 183: 2337 - 2353.

[10] 曹颜冬. 当归化学成分及药理作用的分析[J]. 世界最新医学信息文摘，2019，19(2)：93 - 95.

[11] XU H, ANDO H, KUDO Y, et al. Development of Highly Sensitive Method for Sugar Determination in Herbal Medicine; Application of Monosaccharides and Oligosaccharides in Japanese Angelica Root and Rehmannia Root [J]. Chem Pharm Bull, 2021, 70(11): 796 - 804.

[12] 王华，孙娜. 当归的有效化学成分及药理作用研究进展分析[J]. 山东化工，2017，46(18)：59 - 60.

[13] DONG H, LI M, JIN L, et al. Cool Temperature Enhances Growth, Ferulic Acid and Flavonoid Biosynthesis While Inhibiting Polysaccharide Biosynthesis in Angelica sinensis [J]. Molecules, 2021, 27(1): 320.

[14] 路新华，张金娟，梁鸿，等. 当归化学成分的研究[J]. 2004，13(1)：1 - 3.

[15] LIU L, ZHANG B H, ZHOU Z W, et al. Integrated network pharmacology and experimental validation approach to investigate the mechanisms of Radix rehmanniae praeparata - Angelica sinensis - radix achyranthis bidentatae in treating knee osteoarthritis [J]. Drug Des Devel Ther, 2024, 18: 1583 - 1602.

[16] XU C, NI S, ZHUANG C, et al. Polysaccharide from Angelica sinensis attenuates SNP - induced apoptosis in osteoar-

thritis chondrocytes by inducing autophagy via the ERK1/2 pathway[J]. Arthritis Res Ther,2021,23(1):47.

[17]TIAN M Y,LI K,LIU R N,et al. Angelica polysaccharide attenuates LPS - induced inflammation response of primary dairy cow claw dermal cells via NF - κB and MAPK signaling pathways[J]. BMC Vet Res,2021,17(1):248.

[18]LI M M,ZHANG Y,WU J,et al. Polysaccharide from Angelica sinensis suppresses inflammation and reverses Anemia in complete Freund's adjuvant - induced rats[J]. Curr Med Sci,2020,40(2):265 - 274.

[19]CHOI T J,SONG J,PARK H J,et al. Anti - inflammatory activity of glabralactone,a coumarin compound from Angelica sinensis,via suppression of TRIF - dependent IRF - 3 signaling and NF - κB pathways[J]. Mediators Inflamm,2022,2022:5985255.

[20]GE Y F,PALANISAMY S,KWON M H,et al. Angelica gigas polysaccharide induces CR3 - mediated macrophage activation and the cytotoxicity of natural killer cells against HCT - 116 cells via NF - κB and MAPK signaling pathways[J]. Int J Biol Macromol,2024,263(Pt 2):130320.

[21]LI C L,CAI Q Y,WU X Y,et al. Anti - inflammatory study on the constituents of Angelica sinensis (oliv.) Diels,Angelica dahurica (hoffm.) Benth. & hook. f. ex franch. & sav.,Angelica pubescence maxim and Foeniculum vulgare mill. essential oils[J]. J Oleo Sci,2022,71(8):1207 - 1219.

[22]XU X,TAO N N,SUN C H,et al. Ligustilide prevents thymic immune senescence by regulating Thymosin β15 - dependent spatial distribution of thymic epithelial cells[J]. Phytomedicine,2024,123:155216.

[23]CHEN L L,FAN B,WANG F Z,et al. Research progress in pharmacological effects and mechanisms of Angelica sinensis against cardiovascular and cerebrovascular diseases[J]. Molecules,2024,29(9):2100.

[24]LI X F,ZHOU J,DOU Y H,et al. The protective effects of Angelica organic acid against ox - LDL - induced autophagy dysfunction of HUVECs[J]. BMC Complement Med Ther,2020,20(1):164.

[25]LI W J,CAI Y F,OUYANG Y,et al. Quality evaluation of Angelica Sinensis Radix dispensing granules by integrating microvascular activity and chemical analysis[J]. J Ethnopharmacol,2024,319(Pt 2):117236.

[26]NIU X W,ZHANG J J,NI J R,et al. Network pharmacology - based identification of major component of Angelica sinensis and its action mechanism for the treatment of acute myocardial infarction[J]. Biosci Rep,2018,38(6):BSR20180519.

[27]REN C Z,WANG L R,LI X J,et al. Elucidating the mechanism of action of Radix Angelica sinensis (Oliv.) Diels and Radix Astragalus mongholicus Bunge ultrafiltration extract on radiation - induced myocardial fibrosis based on network pharmacology and experimental research[J]. Eur J Pharm Sci,2024,199:106794.

[28]LIANG P,BI T,ZHOU Y N,et al. Insights into the mechanism of supramolecular self - assembly in the Astragalus membranaceus - Angelica sinensis codecoction[J]. ACS Appl Mater Interfaces,2023,15(41):47939 - 47954.

[29]SZLISZKA E,CZUBA Z P,DOMINO M,et al. Ethanolic extract of Propolis (EEP) enhances the apoptosis - inducing potential of TRAIL in cancer cells[J]. Molecules,2009,14(2):738 - 754.

[30]曾庆涛,兰美华,李桂云,等. 当归活性成分抗阿尔茨海默病网络药理作用机制探究[J]. 中医药临床杂志,2024,36(2):268 - 274.

[31]李晓雨,李双凤. 当归 - 川芎药对的化学成分、药理作用及临床应用研究进展[J]. 中草药,2024,55(4):1415 - 1426.

[32]WANG H P,WU H Y,MA C L,et al. Optimal formula of angelica sinensis ameliorates memory deficits in beta - amyloid protein - induced alzheimer's disease rat model[J]. Curr Med Sci,20,42(1):39 - 47.

[33]PATYRA A,VAILLé J,OMHMMED S,et al. Pharmacological and phytochemical insights on the pancreatic β - cell modulation by Angelica L. roots[J]. J Ethnopharmacol,2024,329:1181.

[34]ALI M Y,ZAMPONI G W,SEONG S H,et al. 6 - formyl umbelliferone,a furanocoumarin from Angelica decursiv a L.,inhibits key diabetes - related enzymes and advanced glycation end - product formation[J]. Molecules,2022,27(17):5720.

[35]DONG Y Z,ZHAO Q L,WANG Y G. Network pharmacology - based investigation of potential targets of Astragalus membranaceous - Angelica sinensis compound acting on diabetic nephropathy[J]. Sci Rep,2021,11(1):19496.

[36]SHEN J,QIN H,LI K K,et al. The Angelica Polysaccharide:a review of phytochemistry,pharmacology and beneficial effects on systemic diseases[J]. Int Immunopharmacol,2024,133:112025.

[37]JIA X Y,YUAN Z H,YANG Y Q,et al. Multi - functional self - assembly nanoparticles originating from small molecule natural product for oral insulin delivery through modulating tight junctions[J]. Journal of Nanobiotechnology,2021,2021:116 - 121.

[38]WANG M Z,HE X,YU Z,et al. A nano drug delivery system based on Angelica sinensis polysaccharide for combination of chemotherapy and immunotherapy[J]. Molecules,2020,25(13):3096.

[39]SUN H L,NAI J J,DENG B Q,et al. Angelica sinensis pol-

ysaccharide – based nanoparticles for liver – targeted delivery of oridonin[J]. Molecules,2024,29(3):731.

[40]CAI Y,WANG Y,SU W J,et al. Angelica sinensis polysaccharide suppresses the Wnt/β – catenin – mediated malignant biological behaviors of breast cancer cells via the miR – 3187 – 3p/PCDH10 axis[J]. Biochem Pharmacol,2024,225:116295.

[41]GUO W K,WANG W Y,LEI F,et al. Angelica sinensis polysaccharide combined with cisplatin reverses cisplatin resistance of ovarian cancer by inducing ferroptosis via regulating GPX4[J]. Biomed Pharmacother,2024,175:116680.

[42]KWEON B,HAN Y H,KEE J Y,et al. Effect of Angelica gigas nakai ethanol extract and decursin on human pancreatic cancer cells[J]. Molecules,2020,25(9):2028.

[43]TANG S N,JIANG P X,KIM S,et al. Interception targets of Angelica gigas nakai root extract versus pyranocoumarins in prostate early lesions and neuroendocrine carcinomas in TRAMP mice[J]. Cancer Prev Res,2021,14(6):635 – 648.

[44]WU Y,RONG L,ZHANG S F,et al. Ligustilide inhibits the PI3K/AKT signalling pathway and suppresses cholangiocarcinoma cell proliferation,migration,and invasion[J]. Recent Pat Anticancer Drug Discov,2025,20(2):200 – 211.

[45]孔邦彦,魏立彬,郭青龙. 黄芩苷的抗肿瘤作用研究进展[J]. 药学学报,2021,56(6):1537 – 1543.

[46]WEI H L,LIU C X,CHEN S C,et al. Angelica polysaccharide resists platelets apoptosis induced by LY294002[J]. Zhongguo Shi Yan Xue Ye Xue Za Zhi,2019,27(4):1208 – 1214.

[47]NIU Y,XIAO H,WANG B,et al. Angelica sinensis polysaccharides alleviate the oxidative burden on hematopoietic cells by restoring 5 – fluorouracil – induced oxidative damage in perivascular mesenchymal progenitor cells[J]. Pharmaceutical Biology,2021,61(1):768 – 778.

[48]ZHANG Y,GUO T T,HUANG L,et al. Protective effect of Angelica sinensis polysaccharide on pregnant rats suffering from iron deficiency Anemia via regulation of the hepcidin – FPN1 axis[J]. Int J Biol Macromol,2024,256(Pt 2):128016.

[49]BI S J,FU R J,LI J J,et al. The bioactivities and potential clinical values of Angelica sinensis polysaccharides[J]. Nat Prod Commun,2021,16(3):1 – 18.

[50]ZHANG Y,HE Z H,LIU X C,et al. Oral administration of Angelica sinensis polysaccharide protects against pancreatic islets failure in type 2 diabetic mice:Pancreatic β – cell apoptosis inhibition[J]. J Funct Foods,2019,54:361 – 370.

[51]HUA Y L,XUE W X,ZHANG M,et al. Metabonomics study on the hepatoprotective effect of polysaccharides from different preparations of Angelica sinensis[J]. J Ethnopharmacol,2014,151(3):1090 – 1099.

[52]GAO Z Z,ZHANG C,TIAN W J,et al. The antioxidative and hepatoprotective effects comparison of Chinese Angelica polysaccharide(CAP) and selenizing CAP (sCAP) in CCl_4 induced hepatic injury mice[J]. Int J Biol Macromol,2017,97:46 – 54.

[53]WEN X D,ZHANG Y L,YANG L,et al. Angelica sinensis polysaccharide and Astragalus membranaceus polysaccharide accelerate liver regeneration by enhanced glycolysis via activation of JAK2/STAT3/HK2 pathway[J]. Molecules,20,27(22):7890.

[54]XU Y,WANG X C,JIANG W,et al. Angelica sinensis polysaccharides modified selenium nanoparticles for effective prevention of acute liver injury[J]. Int J Biol Macromol,2024,263(Pt 1):130321.

[55]GAO W W,QIAO X L,ZHU J X,et al. Clinical efficacy of tacrolimus ointment + 3% boric acid lotion joint Chinese Angelica decoction in chronic perianal eczema[J]. Comput Math Methods Med,2021,2021:1 – 5.

[56]XIA C L,FU X W,WANG Q,et al. Anti – ROS and NIR – II – responsive hyaluronic acid microneedle loaded with baicalin nanoparticles for treatment of psoriasis[J]. Macromol Rapid Commun,2024,45(15):e2400136.

[57]LI H T,MA Y T,LIU Y,et al. Integrated biomarker parameters response to the toxic effects of high stocking density,CuSO4,and trichlorfon on fish and protective role mediated by Angelica sinensis extract[J]. Fish Physiol Biochem,2020,46(5):1679 – 1698.

[58]HE D,SONG Y,XIAO H,et al. Ligustilide enhances pregnancy outcomes via improvement of endometrial receptivity and promotion of endometrial angiogenesis in rats[J]. Journal of Natural Medicines,2021,78(1):42 – 45.

[59]LI T,WANG P L,GUO W B,et al. Natural berberine – based Chinese herb medicine assembled nanostructures with modified antibacterial application[J]. ACS Nano,2019,13(6):6770 – 6781.

[60]GAO Q C,QI J J,TAN Y L,et al. Antifungal mechanism of Angelica sinensis essential oil against Penicillium roqueforti and its application in extending the shelf life of bread[J]. Int J Food Microbiol,2024,408:110427.

收稿日期:2025 – 03 – 17

作者简介:吴娇(1978 –),女,河南汝南人,医学博士,副教授,硕士研究生导师,研究方向:中药的成分分析、药效物质基础及其作用机制研究。

通信作者:于海川,E – mail:haichuan_yu@163.com

编辑:吴楠