DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2026.06.010

当归抗疲劳作用及机制研究进展

李捷[1,2,3],张振越[1],张哲抒[1],张斌涛[4],岳秋娟[1],陈依春[1,2,3]
(1.西藏民族大学医学院西藏藏医药研究中心藏药活性成分及药理机制研究联合实验室,陕西 咸阳 712082;
2.西藏民族大学医学院藏药检测技术教育部工程研究中心,陕西 咸阳 712082;
3.西藏民族大学医学院高原低氧环境与生命健康实验室,陕西 咸阳 712082;4.咸阳市中心医院,陕西 咸阳 712000)

摘要:当归是伞形科当归属多年草本生植物,是我国传统中药。当归的抗疲劳作用被国内外广泛研究证实并进行深入研究,有关其的机制研究,部分已逐渐深入到分子水平。为确定当归抗疲劳作用机制研究进展,通过对国内外现有关于当归抗疲劳作用的研究报告分析,总结具有抗疲劳作用的当归有效成分;记录当归水煎液或提取物对运动副产物、代谢底物、炎症因子、神经递质等对机体疲劳因素方面的影响及其影响机制;列举古今具有抗疲劳作用的含当归方剂及药膳并记录其对应的研究进展,为相关研究的进一步推进提供参考。

关键词:当归;抗疲劳;副产物;代谢底物;炎症因子;神经递质
中图分类号:R285 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2026)06-0060-06

Research Progress on Anti-Fatigue Effect and Mechanism of Danggui(*Angelica sinensis*)

LI Jie[1,2,3],ZHANG Zhenyue[1],ZHANG Zheshu[1],ZHANG Bintao[4],YUE Qiujuan[1],CHEN Yichun[1,2,3]
(1.Joint Laboratory for Research on Active Components and Pharmacological Mechanism of Tibetan Materia Medica of Tibetan Medical Research Center of Tibet,School of Medicine,Xizang Minzu University,Xianyang 712082,Shaanxi,China;
2.Key Laboratory of Tibetan Medicine Screening and Analysis,Engineering Research Center of Tibetan Medicine Detection Technology,Ministry of Education,School of Medicine,Xizang Minzu University,Xianyang 712082,Shaanxi,China;
3.Key Laboratory of High Altitude Hypoxia Environment and Life Health,School of Medicine,Xizang Minzu University,Xianyang 721082,Shaanxi,China;
4.Xianyang Central Hospital,Xianyang 712000,Shaanxi,China)

Abstract:Danggui(*Angelica sinensis*),which belongs to the family Fimbria,has been a herbaceous plant for many years and is a traditional Chinese medicine. The anti-fatigue effect of Danggui(*Angelica sinensis*) has been widely studied at home and abroad,and the research on its mechanism has been gradually deepened to the molecular level. In order to determine the research progress of the anti-fatigue mechanism of Danggui(*Angelica sinensis*),this paper analyzed the existing research reports on the anti-fatigue effect of Danggui(*Angelica sinensis*) at home and abroad,and summarized the active ingredients of Danggui(*Angelica sinensis*) with anti-fatigue effect. The effects of Danggui(*Angelica sinensis*) decoction or extract on exercise by-products,metabolic substrates,inflammatory factors,neurotransmitters and other factors on body fatigue and its mechanism were recorded. In order to provide reference for further research,the prescriptions and medicinal diets containing Danggui(*Angelica sinensis*) with anti-fatigue effect in ancient and modern times were listed and the corresponding research progress was recorded.

Keywords:Danggui(*Angelica sinensis*);anti-fatigue;by-products;substrates of metabolism;inflammatory factors;neurotransmitter

“疲劳”用于描述部分临床人群中身体或精神痛苦且持续的症状,具有多种独特、复杂、多因素的病理或生理特征,也代表由于高强度运动所引起的力量、耐力的急剧下降[1]。疲劳普遍存在,影响生活质量,降低正常生活、工作活动能力[1-2]。研究表明,当归具有抗肿瘤;抗炎;抗氧化;抗纤维化等多重药理作用[3-4],此外当归和含当归制剂的抗疲劳作用已被发现[5],且在以往研究中笔者未见文献报道当归对人体存在不利因素,有望更大规模地应用于医药行业中[6]。本文旨在阐明当归抗疲劳作用机制研究进展,为有关后续研究提供参考。

1 当归抗疲劳有效成分

酚酸类、黄酮类、香豆素类、多糖类及苯酞类等活性成分是当归发挥药效的物质基础[7]。通过对相应活性物质抗疲劳作用的分析与当归中该成分的含量测定,可初步确定当归抗疲劳

基金项目:国家民委重点实验室(高原低氧环境与生命健康实验室)开放课题项目(XZMU-2022M-H04);陕西省科技厅项目(2024SF-YBXM-087);西藏民族大学校内项目(23MDQ06)

作者简介:李捷(1985-),女,山西霍州人,高级实验师,硕士研究生导师,硕士,研究方向:藏药材开发利用及抗高原病机制。

作用的部分因素。

1.1 酚酸类

1.1.1 阿魏酸 阿魏酸是当归中的多功能生物活性物质,它可以抑制活性氧的产生和醛糖还原酶的活性,并激活磷脂酰肌醇3激酶/蛋白激酶B信号通路发挥抗氧化作用,同时核因子E2相关因子/血红素加氧酶-1通路可被激活进而促进血红素加氧酶-1核移位,从而增强其抗氧化作用;此外可通过激活过氧化物酶体增殖物激活受体γ、下调细胞黏附分子以及调节核转录因子-κB和p38丝裂原活化蛋白激酶信号通路发挥抗炎作用[8],此外阿魏酸还可通过氢键与α-淀粉酶结合改变淀粉酶的二级结构及某些氨基酸残基的微环境,从而达到对α-淀粉酶的抑制作用,间接调节血糖[9],上述对机体的影响均间接改善机体疲劳[10-12]。

1.1.2 绿原酸 绿原酸作为当归苯丙烷类代谢途径的产物之一,具有抗自由基、调脂降糖等作用[7]。既能够与α-淀粉酶催化活性部位的Glu261、Asp328和Tyr193形成氢键,实现与淀粉的竞争性抑制,也能够与α-淀粉酶的His327、Ala232氨基酸残基形成氢键,实现与淀粉酶-底物复合物的非竞争性抑制,减慢淀粉代谢进而保持餐后血糖稳态[9]。此外,高浓度绿原酸可通过抑制Toll样受体4/核转录因子-κB信号通路传导降低炎症因子水平并减轻氧化损伤[13]。

1.1.3 咖啡酸 咖啡酸可充当抗氧化剂,一方面与其芳香核与共轭侧链的结合的结构可实现对不成对电子的离域化有关,通过提供氢使自由基水平降低。另一方面通过其两个羟基螯合金属,阻断金属离子将过氧化物分解成自由基,从而降低自由基水平;此外其还可以通过降低核转录因子-κB信号传导调节血糖水平[14]。

1.2 黄酮类化合物

黄酮类化合物也是当归的主要有效成分之一,目前运用乙醇从当归中提取而来的黄酮类主要有木犀草素-7-O-芦丁糖苷和木犀草素-7-O-β-D葡萄糖苷两类[15-16]。

1.2.1 木犀草素-7-O-β-D葡萄糖苷 木犀草素-7-O-β-D葡萄糖苷(木犀草苷)可抑制细胞内活性氧自由基的生成其机制与木犀草苷有效增强超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、氧化氢酶的活性,降低丙二醛和活性氧的生成量有关,此外,木犀草苷可下调白细胞介素-1β、白细胞介素-6和肿瘤坏死因子α,通过降低炎症细胞模型中的炎症状态直接抑制核转录因子-κB、丝裂原活化蛋白激酶和Janus酪氨酸激酶/信号转导和转录激活因子炎症通路,木犀草苷还可以通过激活调节性T细胞增加抗炎细胞因子白细胞介素-10及其受体白介素-10受体亚基β的水平进而促进M2巨噬细胞的极化来抑制炎症反应。木犀草苷还可以通过调节不同的代谢途径影响能量产生、脂质代谢和葡萄糖稳态,首先在糖酵解的早期步骤中显著减少中间代谢物,在最后步骤中显著减少3-磷酸酚醛酸和磷酸烯醇丙酮酸,这与其同己糖激酶2的催化位点高亲和力有关,强调了其通过阻断糖酵解途径来减少ATP合成和能量产生的能力[17]。

1.2.2 木犀草素-7-O-芦丁糖苷 木犀草素-7-O-芦丁糖苷可通过抑制磷脂酰肌醇3激酶/蛋白激酶B/腺苷酸活化蛋白激酶/核转录因子-κB信号通路显著降低肿瘤坏死因子-α、白细胞介素-6等多种炎症因子的产生,还可以通过增加超氧化物歧化酶和谷胱甘肽水平以减少氧化应激[18]。此外,木犀草素-7-O-芦丁糖苷还可根据高血糖状况的严重程度刺激胰岛细胞分泌胰岛素,并增加胰岛素敏感性,使葡萄糖利用得到改善[19]。

1.3 香豆素类

当归中所含的香豆素类物质包括花椒毒素、异欧前胡素、欧前胡素、珊瑚菜素等[7]。其中呋喃香豆素欧前胡素是当归根中最具代表性的香豆素[4]。

1.3.1 欧前胡素 小胶质细胞是中枢神经系统的常驻细胞,可导致中枢神经系统损伤后的神经炎症,进而导致中枢神经系统疲劳,欧前胡素具有较高的口服利用度和较强的血脑屏障通透性,可通过抑制小胶质细胞中丝裂原活化蛋白激酶和核转录因子-κB信号通路的激活,降低多种促炎因子的表达,改善中枢神经系统疲劳[11,20]。此外,欧前胡素可通过调节核因子E2相关因子2/抗氧化反应元件/血红素加氧酶1信号通路促进核因子E2相关因子2核易位,显著提高核内核因子E2相关因子2蛋白水平,抑制肿瘤坏死因子-α和白细胞介素-6的分泌,并使活性氧水平显著下降[21-22]。

1.3.2 异欧前胡素 异欧前胡素可抑制核转录因子-κB和Janus激酶1/信号转导及转录活化因子1信号通路,拮抗巨噬细胞的M1极化,进而降低多种促炎因子的释放,使其具有良好的抗炎镇痛效果[23]。此外异欧前胡素可通过抑制细胞外信号调节激酶1/2和核转录因子-κB通路抑制活性氧过量引起的氧化应激[24]。

1.4 多糖类

当归多糖是由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖等至少10个相同或不同的单糖以α-或β-糖苷键连接而成的杂多糖,对体内自由基有较强的清除功能,调控多酚氧化酶活性、超氧化物歧化酶活性和谷胱甘肽过氧化物酶活性,缓解机体的氧化应激反应,可提高机体组织的抗氧化能力,使机体免受氧化应激损伤[3,25]。其抗疲劳作用与其显著提高小鼠运动耐力、提升糖原储备、减少乳酸与尿素氮堆积、改善机体能量代谢水平有关[26]。

1.5 多肽类

多肽是α-氨基酸以肽键连接在一起而形成的化合物,也是蛋白质水解的中间产物,生物效价和营养价值均高于氨基酸。当归多肽通过降低甘油三酯及减少肝脏和腓肠肌糖原的降解使得蛋白质代谢减弱,降低血清中血尿素氮的生成。从而延缓疲劳的产生;此外,当归多肽可显著增加超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性,同时降低丙二醛好乳酸水平从而改善疲劳;其次,当归多肽可以通过恢复线粒体DNA和升高核呼吸因子-1 mRNA、线粒体转录因子A mRNA相对表达量来改善小鼠骨骼肌的线粒体功能,从而抑制氧化应激并产生更多ATP用于能量补充,当归多肽在体内还体现出较强的免疫调节作用,也是其抗疲劳作用的潜在机制[27]。

1.6 不同地区当归成分含量差异

通过西藏昌都、西藏那曲、甘肃岷县当归种植地的当归根中黄酮含量以及各地当归根自由基清除作用的比较,发现西藏地区的当归根有效成分远高于甘肃岷县当归根,这样的现象可

能与西藏地区独有的高海拔环境相关[15]。

2 当归抗疲劳作用机制

2.1 当归对代谢副产物的影响

2.1.1 当归对乳酸的影响 在短时高强度的运动中,碳水化合物在厌氧条件下会进行糖酵解生成乳酸,是此类运动的主要能量来源,但乳酸的堆积也同时导致疲劳的产生,因此快速清除乳酸有利于缓解运动疲劳[28]。通过对血液生化变量测定发现越高浓度的当归制剂越有利于降低乳酸在血液中的浓度[5,26]。

2.1.2 当归对自由基的影响 运动所产生的大量自由基损耗超氧化物歧化酶,使抗氧化酶系统损耗增加,打破了自由基的生成与消除的平衡状态,而且大量过氧化脂质可直接损伤肌细胞膜的正常结构,使其收缩舒张能力下降,细胞裂解使得线粒体功能紊乱,而致疲劳,因此快速降低自由基含量对减轻疲劳具有显著效果[10]。当归对自由基有明显的清除作用,且随着药物浓度增大清除效果也逐步增强,其中当归中的阿魏酸可通过直接消除自由基、抑制超氧自由基引起的膜脂质过氧化反应和自由基反应以及与生物膜磷脂结合保护膜脂质等多种机理拮抗自由基对组织的损伤,此外丙二醛是脂质氧化代谢过程中形成的中间产物[29-31],测定丙二醛的含量能有效反映脂质氧化反应强度和自由基对机体的损伤程度[32],当归制剂可显著增强超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性,并降低丙二醛含量间接降低机体自由基含量[33-34]。

2.1.3 当归对血尿素氮的影响 血尿素氮是蛋白质和氨基酸的代谢产物,当处于长时间激烈运动时,血尿素氮含量会显著增高[35]。当归已被证明可使血尿素氮含量显著降低,其中所含的7-羟基香豆素以剂量依赖性方式抑制血尿素氮增加[36]。

2.2 当归对机体各类代谢底物的影响

2.2.1 当归对血液中葡萄糖含量的影响 血液中的葡萄糖是运动期间肌肉收缩的重要底物,血糖水平过高或过低均可导致疲劳,维持血糖的相对稳态,可以在长期运动过程中延缓疲劳的发生[12]。研究发现当归多糖可通过调节胰岛素抵抗/胰岛素受体底物蛋白/磷脂酰肌醇-3激酶/蛋白激酶B/葡萄糖转运子/糖原合成酶激酶3β信号蛋白并降低磷酸化应激活化蛋白激酶的表达来改善胰岛素抵抗;通过对肠道微生物群和代谢物的影响间接改善2型糖尿病小鼠的血糖水平[37-38],此外当归中的黄柏蝶呤可通过促进脂肪细胞分化和增加过氧化物酶体增殖物激活受体γ的mRNA表达水平来提升胰岛素敏感性以调节血糖[39-40]。

2.2.2 当归对糖原的影响 糖原是高强度运动中的主要底物,且在持续较短时间后即可发生大量减少,肌肉运动能力受到严重影响并伴随着疲劳的发生[26,41]。当归则可显著提升肌糖原和肝糖原的含量,进而延缓疲劳[5]。

2.3 当归对神经递质的影响

中枢神经系统中神经递质代谢处于平衡状态,当平衡被破坏时,会导致中枢疲劳,如兴奋性神经递质多巴胺可以改善记忆力提高工作能力从而缓解疲劳,抑制性神经递质γ-氨基丁酸具有中枢保护抑制作用,可避免过度劳累后的脑组织损伤,但同时其含量的增高也是导致中枢性疲劳的重要因素[42]。故当归对神经递质的影响是其抗中枢疲劳的重要因素。

当归中的多种活性成分如有机酸、苯酞类、多炔类均可调节单胺类神经递质的表达,可有效增高多巴胺含量并促进5-羟色胺的合成[43],其中对5-羟色胺的促进作用与当归中呋喃香豆素欧前胡素密切相关,其可使海马和额前叶中血清素转运蛋白的mRNA表达显著降低,并显著增加5-羟色胺$_{1A}$受体mRNA的表达[44]。

2.4 当归对促炎细胞因子的影响

炎症的发生可能会导致线粒体功能障碍和氧化应激的发生,进而引起能量供给的不足,这是导致机体疲劳的关键因素[11]。

当归多糖可通过下调环氧化酶-1激活磷脂酰肌醇3激酶/蛋白激酶通路,调控多种基因表达,产生抑制炎症反应的生物学效应使肿瘤坏死因子-α、细胞白介素-1β、细胞白介素-8、细胞白介素-6含量降低[33,45-47]。此外紫花前胡醇当归酯是一种当归中提取的吡喃香豆素化合物可通过阻断核转录因子-κB和丝裂原活化蛋白激酶信号通路抑制部分促炎因子的表达[48]。值得一提的是,当归中所含有的葡萄糖-阿拉伯聚糖可一定程度上增强部分促炎因子的表达[49],但整体使用时仍表现对促炎因子的抑制效果[5,50]。

2.5 当归对器官纤维化的影响

疲劳在肝、肺等脏器纤维化出现时均有发生[51-55],且疲劳是囊性纤维化患者最常见的并发症之一[56]。

当归多糖可通过白细胞介素22/信号转导和转录3激活因子通路,抑制肝星状细胞活化而有效缓解慢性肝纤维化[57],此外,当归多糖还可通过矫正α-平滑肌肌动蛋白、血清转化生长因子β_1、胶原蛋白Ⅰ、纤连蛋白和波形蛋白的过表达,降低BCL2相关X凋亡调节器、裂解半胱天冬酶-3和裂解半胱天冬酶-9的表达,促进B淋巴细胞瘤-2的表达由此抑制心脏纤维化[58]。

2.6 当归对酶的影响

当归多糖可使肝脏中的Na^+-K^+-ATP和$Ca^{2+}-Mg^{2+}-ATP$酶含量升高,肾脏中Na^+-K^+-ATP酶和$Mg^{2+}-ATP$酶含量升高,后肢肌肉中Na^+-K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}、$Ca^{2+}-Mg^{2+}$4种ATP酶含量均升高,这可能与当归的抗疲劳作用相关[26]。

肌酸激酶浓度的增高将导致肌肉损伤,被一些学者认为是疲劳发生的原因,被广泛运用于疲劳监测[59]。当归中的苯酞类单体化合物蒿本内酯可有效抑制肌酸激酶,防止肌肉损伤,预防疲劳[60]。

3 当归抗疲劳作用的方剂、药膳运用

钟等人的研究中指出目前市面在售的抗疲劳保健食品中以中药或其提取物与维生素为主,当归在其中使用率较低,但在抗疲劳中成药中的412味中药中,当归使用率位列第4,可见其为市场抗疲劳中成药中的关键配伍[61]。

3.1 黄芪当归四逆汤

黄芪当归四逆汤主要由黄芪、当归、红花等药物组成具有益气养血、温经散寒、化瘀通脉等功效[62]。常晓娟等[63]研究发现约有74%的肿瘤患者因接受奥沙利铂化疗治疗导致周围神经性疼痛,继而诱发疲劳,香薰按摩联合黄芪当归四逆汤对

于奥沙利铂所致的周围神经性疼痛及疲劳的改善有一定效果，其原因可能是由于两者合用，舒筋通络，通过按摩及中药的功效对局部肌肤、孔窍、经穴产生刺激，促进新陈代谢，调节肌肉、器官的功能，从而减轻化疗对周围神经的损伤及疼痛感，但因其在研究中样本量小和未设置安慰剂对照组等原因研究结果准确性有待验证。

3.2 当归补血汤

当归补血汤由黄芪、当归组成，研究发现其可通过减少血氧浓度，降低活性氧的产生等方式延缓疲劳发生，还可通过加速乳酸的消除，使肌肉中的 H^+ 浓度减少，提高 Ca^{2+} 的释放及 Ca^{2+} 与肌钙蛋白偶连，恢复肌肉收缩功能，达到消除疲劳的目的[64]。

3.3 人参养荣汤

人参养荣汤由人参、当归、黄芪等12味药物组成，动物实验已证实其具备抗疲劳作用，治疗慢性疲劳综合征的作用机制主要体现在调控病毒感染、免疫功能、能量代谢、肠道菌群等多个方面，其中当归有两种有效药物成分与其相关[65]。

3.4 温脾丸

温脾丸出自《千金方·脾脏方》由当归、附子、干姜等11味药物组成，多用于体型正常或偏胖患者，黎德育等[66]通过数据统计发现，温脾丸应用于神经系统相关症状，其中包括疲劳、多梦、失眠等。

3.5 当归生姜羊肉汤

当归生姜羊肉汤作为药膳名方由当归、生姜、羊肉组成，《金匮要略·妇人产后病脉证》曰："产后腹中痛，当归生姜羊肉汤主之；并治腹中寒疝，虚劳不足。"当归能补血活血，调经止痛，生姜温中散寒，羊肉能温补脾胃，补血益肾。具有补益气血、温中散寒止痛的功效[67]。

4 现代当归抗疲劳作用可行性应用新方法

4.1 黄芪膜质-当归化合物

DONG Y Z等[68]通过网络药理学和分子对接技术探究黄芪膜质-当归化合物治疗糖尿病肾病的机制，研究发现，黄芪膜质-当归化合物可通过作用于血管内皮生长因子、肿瘤蛋白P53、白细胞介素6等，起到调节细胞凋亡、氧化应激、炎症、葡萄糖和脂质代谢过程，可能间接调节机体疲劳。

4.2 当归-麦地那龙线虫乙醇提取混合物

将当归、麦地那龙线虫的乙醇提取物以7∶3比例混合配制为CHDT混合物，肌肉萎缩常表现为力量减少，容易疲劳，运动能力下降，因此改善肌肉萎缩可一定程度上抑制疲劳的产生，CHDT可通过上调蛋白激酶B/蛋白激酶B机制靶点信号通路及蛋白激酶B/叉头盒O3信号通路预防地塞米松诱导的肌肉萎缩，同时促进骨骼肌中蛋白质翻译和肌肉细胞增殖，炎症反应也是肌肉萎缩的重要原因，经CHDT治疗后的小鼠白介素-1、白介素-6、肿瘤坏死因子α等多种炎症因子的血清浓度均显著降低，间接抑制肌肉萎缩[69-70]。

5 总结与展望

现有研究发现，当归中含有酚酸类、多糖类、多肽类等多种有效成分。各成分通过降低代谢副产物含量、增加代谢底物、调节神经递质等多种方式直接或间接体现其抗疲劳作用。在目前的抗疲劳药膳、方剂中，当归也被作为关键配伍被大量运用，但对于各方剂的临床应用数据极少，对方剂中各药物间相互作用及是否对机体存在明显不良反应笔者未见文献准确记录。

从成分来看，在当归对血液中葡萄糖含量的影响以及当归对促炎因子的影响中所提及的"当归多糖"则未明确指出明确的多糖类型，例如当归中所含的葡萄糖-阿拉伯聚糖可增强促炎因子的表达，笼统将当归多糖认为是促炎因子抑制剂，无疑是错误的，这还需要对当归多糖的成分进行深入分析，并探究每种成分在各方面所起的效果及因素。此外不同地区所特有的环境也会对当归中各类成分含量产生影响，要使当归得到更精准、更高效地应用与生产，还需对不同环境对其的各类影响深入探究。

除文中提到的方剂、药膳外，国家中医药管理局、国家药品监督管理局印发的《古代经典名方目录（第一批）》和《古代经典名方目录（第二批）》还提及多种具有抗疲劳作用的含当归方剂但笔者未见文献报道相关研究[71-72]。

关于现代当归抗疲劳应用，文中提及的黄芪膜质-当归化合物、当归-麦地那龙线虫乙醇提取混合物，均可能具有抗疲劳作用，但笔者未见有文献报道直接将其应用于抗疲劳相关实验中，该方法是否会出现未知的不良反应导致无法起到良性作用，甚至引起疲劳加剧仍需进一步验证。

此外，有文献报道，当归多糖通过酯化反应与去氢胆酸反应形成当归多糖-去氢胆酸偶联物采用水薄膜法制成的当归多糖-脱氧胆酸纳米颗粒，通过透析法制备的甘草酸-当归多糖-二硫键-姜黄素纳米胶束，并采用红细胞膜包裹所制成的纳米颗粒，二者均具有良好的载药能力与肝脏靶向能力，笔者未见有文献报道其肝脏靶向能力机制，其是否可对肝糖原的存储产生影响而改善疲劳也值得深入探究[73-74]。

参考文献

[1] TWOMEY R, ABOODARDA S J, KRUGER R, et al. Neuromuscular fatigue during exercise: Methodological considerations, etiology and potential role in chronic fatigue[J]. Neurophysiol Clin, 2017, 47(2): 95-110.

[2] TO M, STRUTTON P H, ALEXANDER C M. Central fatigue is greater than peripheral fatigue in people with joint hypermobility syndrome[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2019, 48: 197-204.

[3] 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.

[4] ZHAO H, FENG Y L, WANG M, et al. The angelica dahurica: a review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology[J]. Front Pharmacol, 2022, 13: 896637.

[5] YEH T S, HUANG C C, CHUANG H L, et al. Angelica sinensis improves exercise performance and protects against physical fatigue in trained mice[J]. Molecules, 2014, 19(4): 3926-3939.

[6] YUN J W, KWON E, KIM S H, et al. Preclinical safety assessment of Angelica acutiloba using a 13-week repeated dose oral toxicity study in rats[J]. Lab Anim Res, 2017, 33(3): 223-230.

[7] 刘天乐，朱田田，张明惠，等. 当归活性成分生物合成与调控研究进展[J]. 中草药，2023，54(22)：7545-7553.

[8] LI D, RUI Y X, GUO S D, et al. Ferulic acid: a review of its pharmacology, pharmacokinetics and derivatives[J]. Life Sci, 2021,

284: 119921.
[9] 史明威,张梦玥,初鸿,等. 绿原酸对 α-淀粉酶的抑制作用及其分子对接模拟[J]. 食品科学技术学报,2023,41(4): 135-143.
[10] 蒋彤,王亚雯,李裕倩,等. 苦荞低聚肽体外抗氧化活性及其对运动小鼠自由基代谢与疲劳恢复的影响[J]. 营养学报,2022,44(1): 79-85.
[11] AZZOLINO D, AROSIO B, MARZETTI E, et al. Nutritional status as a mediator of fatigue and its underlying mechanisms in older people[J]. Nutrients, 2020, 12(2): 444.
[12] FRITSCHI C, PARK C, QUINN L, et al. Real-time associations between glucose levels and fatigue in type 2 diabetes: sex and time effects[J]. Biol Res Nurs, 2020, 22(2): 197-204.
[13] 王金鑫,饶春晖,代波,等. 绿原酸通过 TLR4/NF-κB 信号通路调控脓毒症大鼠肠上皮细胞屏障功能的研究[J]. 中华全科医学,2023,21(3): 405-408.
[14] PAVLÍKOVÁ N. Caffeic acid and diseases—mechanisms of action[J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(1): 588.
[15] 宋丹,陈依春,姜钊,等. 西藏当归同岷县当归挥发油、总黄酮含量及抗氧化活性对比研究[J]. 中国民族医药杂志,2022,28(6): 37-41.
[16] 赵静,夏晓培. 当归的化学成分及药理作用研究现状[J]. 临床合理用药杂志,2020,13(6): 172-174.
[17] CAPORALI S, DE STEFANO A, CALABRESE C, et al. Anti-inflammatory and active biological properties of the plant-derived bioactive compounds luteolin and luteolin 7-glucoside[J]. Nutrients, 2022, 14(6): 1155.
[18] XIONG Z W, CUI Y S, WU J H, et al. Luteolin-7-O-rutinoside from Pteris cretica L. var. nervosa attenuates LPS/D-gal-induced acute liver injury by inhibiting PI3K/AKT/AMPK/NF-κB signaling pathway[J]. Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol, 2022, 395(10): 1283-1295.
[19] SUBASH-BABU P, ABDULAZIZ ALSEDAIRY S, ABDULAZIZ BINOBEAD M, et al. Luteolin-7-O-rutinoside protects RIN-5F cells from high-glucose-induced toxicity, improves glucose homeostasis in L6 myotubes, and prevents onset of type 2 diabetes[J]. Metabolites, 2023, 13(2): 269.
[20] GE J W, DENG S J, XUE Z W, et al. Imperatorin inhibits mitogen-activated protein kinase and nuclear factor kappa-B signaling pathways and alleviates neuroinflammation in ischemic stroke[J]. CNS Neurosci Ther, 2022, 28(1): 116-125.
[21] LIAO X P, ZHANG Z L, MING M, et al. Imperatorin exerts antioxidant effects in vascular dementia *via* the Nrf2 signaling pathway[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 5595.
[22] LUO M, LUO Y. Imperatorin relieved ulcerative colitis by regulating the nrf-2/ARE/HO-1 pathway in rats[J]. Inflammation, 2021, 44(2): 558-569.
[23] 王绍展,朱青霞,陈井霞,等. 异欧前胡素通过 NF-κB 和 JAK1/STAT1 信号通路抑制巨噬细胞 M1 极化发挥抗炎镇痛作用[J]. 中南药学,2023,21(8): 1985-1990.
[24] FAN L L, LI Z Q, GAO L L, et al. Isoimperatorin alleviates lipopolysaccharide-induced periodontitis by downregulating ERK1/2 and NF-κB pathways[J]. Open Life Sci, 2023, 18(1): 20220541.
[25] 金阳,葛金环,刘思琦,等. 当归多糖的化学结构、药理作用及构效关系研究进展[J]. 中医药信息,2022,39(2): 69-77.
[26] 黄彩云,何吉福,宋春虹,等. 当归多糖抗运动疲劳作用及其机制研究[J]. 康复学报,2022,32(5): 434-440.
[27] 陈春苗,田友清,丁平,等. 当归多肽抗慢性疲劳效应的实验研究[J]. 中医药导报,2023,29(3): 43-48.
[28] 曹维,邱俊强. 乳酸与运动: 是敌是友?[J]. 中国体育科技,2023,59(5): 69-78.
[29] ZHANG Z T, DU X M, MA X J, et al. Activation of the NLRP3 inflammasome in lipopolysaccharide-induced mouse fatigue and its relevance to chronic fatigue syndrome[J]. J Neuroinflammation, 2016, 13(1): 71.
[30] DARABSEH M Z, MADEN-WILKINSON T M, WELBOURNE G, et al. Fourteen days of smoking cessation improves muscle fatigue resistance and reverses markers of systemic inflammation[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 12286.
[31] SONG Y R, JANG B, LEE S M, et al. Angelica gigas NAKAI and its active compound, decursin, inhibit cellular injury as an antioxidant by the regulation of AMP-activated protein kinase and YAP signaling[J]. Molecules, 2022, 27(6): 1858.
[32] 曾泓淼,冷祺,刘行海,等. 桑螵蛸对小鼠抗疲劳作用的研究[J]. 现代医药卫生,2023,39(13): 2181-2184.
[33] DU Q, ZHU X Y, SI J R. Angelica polysaccharide ameliorates memory impairment in Alzheimer's disease rat through activating BDNF/TrkB/CREB pathway[J]. Exp Biol Med, 2020, 245(1): 1-10.
[34] 赵浩强,黎欣欣,贾亚辉,等. 阿魏酸姜黄素酯衍生物对蜡样芽孢杆菌感染叉尾鮰后细胞因子及抗氧化酶的影响[J]. 动物医学进展,2023,44(7): 49-54.
[35] CHEN Y J, BASKARAN R, SHIBU M A, et al. Anti-fatigue and exercise performance improvement effect of glossogyne tenuifolia extract in mice[J]. Nutrients, 2022, 14(5): 1011.
[36] WU W F, WANG J N, LI Z, et al. 7-Hydroxycoumarin protects against cisplatin-induced acute kidney injury by inhibiting necroptosis and promoting Sox9-mediated tubular epithelial cell proliferation[J]. Phytomedicine, 2020, 69: 153202.
[37] TANG X L, YANG L X, MIAO Y D, et al. Angelica polysaccharides relieve blood glucose levels in diabetic KKAy mice possibly by modulating gut microbiota: an integrated gut microbiota and metabolism analysis[J]. BMC Microbiol, 2023, 23(1): 281.
[38] WANG K P, CAO P, WANG H X, et al. Chronic administration of Angelica sinensis polysaccharide effectively improves fatty liver and glucose homeostasis in high-fat diet-fed mice[J]. Sci Rep, 2016, 6: 26229.
[39] HAN H S, JEON H, KANG S C. Phellopterin isolated from Angelica dahurica reduces blood glucose level in diabetic mice[J]. Heliyon, 2018, 4(3): e00577.
[40] WATANABE Y, NESSA N, TOBA H, et al. Angelica acutiloba exerts antihypertensive effect and improves insulin resistance in spontaneously hypertensive rats fed with a high-fat diet[J]. Pharmacology, 2022, 107(3-4): 188-196.
[41] VIGH-LARSEN J F, ØRTENBLAD N, SPRIET L L, et al. Muscle glycogen metabolism and high-intensity exercise performance: a narrative review[J]. Sports Med, 2021, 51(9): 1855-1874.
[42] YANG X Z, LI F, LIU Y, et al. Study on the correlation between NF-κB and central fatigue[J]. J Mol Neurosci, 2021, 71(10): 1975-1986.

[43] 谢云亮,张博. 当归挥发油对小鼠抑郁行为的影响[J]. 现代食品科技,2024,40(3):9-17.
[44] CAO Y J,LIU J H,WANG Q,et al. Antidepressive-like effect of imperatorin from Angelica dahurica in prenatally stressed offspring rats through 5-hydroxytryptamine system[J]. Neuroreport,2017,28(8):426-433.
[45] XIE Y J,ZHANG H T,ZHANG Y,et al. Chinese angelica polysaccharide (CAP) alleviates LPS-induced inflammation and apoptosis by down-regulating COX-1 in PC12 cells[J]. Cell Physiol Biochem,2018,49(4):1380-1388.
[46] 武春莲,邓翠东,吴俊才. 当归补血汤通过 PI3K/Akt 通路减轻老年心肌梗死大鼠心肌损害的实验研究[J]. 中国中医急症,2023,32(5):781-785,805.
[47] JING P W,SONG X Y,XIONG L R,et al. Angelica sinensis polysaccharides prevents hematopoietic regression in D-Galactose-Induced aging model *via* attenuation of oxidative stress in hematopoietic microenvironment[J]. Mol Biol Rep,2023,50(1):121-132.
[48] ISLAM S U,LEE J H,SHEHZAD A,et al. Decursinol angelate inhibits LPS-induced macrophage polarization through modulation of the NFκB and MAPK signaling pathways[J]. Molecules,2018,23(8):1880.
[49] WANG H L,WANG X L,ZHOU L N,et al. Structural characteristics and *in vitro* and *in vivo* immunoregulatory properties of a gluco-arabinan from Angelica dahurica[J]. Int J Biol Macromol,2021,183:90-100.
[50] ZOU Y F,LI C Y,FU Y P,et al. Angelica sinensis aboveground part polysaccharide and its metabolite 5-MT ameliorate colitis *via* modulating gut microbiota and TLR4/MyD88/NF-κB pathway[J]. Int J Biol Macromol,2023,242(Pt 1):124689.
[51] ABBAS G,JORGENSEN R A,LINDOR K D. Fatigue in primary biliary cirrhosis[J]. Nat Rev Gastroenterol Hepatol,2010,7(6):313-319.
[52] NAP-VAN DER VLIST M M,BURGHARD M,HULZEBOS H J,et al. Prevalence of severe fatigue among adults with cystic fibrosis: a single center study[J]. J Cyst Fibros,2018,17(3):368-374.
[53] YOUNOSSI Z M,STEPANOVA M,MYERS R P,et al. The potential role of fatigue in identifying patients with NASH and advanced fibrosis who experience disease progression[J]. Clin Gastroenterol Hepatol,2023,21(4):970-977.
[54] ATKINS C P,GILBERT D,BROCKWELL C,et al. Fatigue in sarcoidosis and idiopathic pulmonary fibrosis: differences in character and severity between diseases[J]. Sarcoidosis Vasc Diffuse Lung Dis,2016,33(2):130-138.
[55] JOPSON L,DYSON J K,JONES D E J. Understanding and treating fatigue in primary biliary cirrhosis and primary sclerosing cholangitis[J]. Clin Liver Dis,2016,20(1):131-142.
[56] JARAD N A,SEQUEIROS I M,PATEL P,et al. Fatigue in cystic fibrosis: a novel prospective study investigating subjective and objective factors associated with fatigue[J]. Chron Respir Dis,2012,9(4):241-249.
[57] WANG K P,WANG J F,SONG M Z,et al. Angelica sinensis polysaccharide attenuates CCl(4)-induced liver fibrosis *via* the IL-22/STAT3 pathway[J]. Int J Biol Macromol,2020,162:273-283.
[58] SONG X L,KONG J H,SONG J,et al. Angelica sinensis polysaccharide alleviates myocardial fibrosis and oxidative stress in the heart of hypertensive rats[J]. Comput Math Methods Med,2021,2021:6710006.
[59] SZIGETI G,SCHUTH G,KOVÁCS T,et al. Football movement profile analysis and creatine kinase relationships in youth national team players[J]. Physiol Int,2023,110(1):74-86.
[60] 王凤龙,刘员,张来宾,等. 当归抗炎镇痛作用研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志,2021,27(15):197-209.
[61] 钟叶,裴志斐,王博龙. 抗疲劳药食类产品基本分析及其中药使用规律研究[J]. 中成药,2023,45(7):2447-2450.
[62] 朱兆承,王生,胡彦辉. 中药内服联合外浴治疗 42 例奥沙利铂致蓄积性周围神经毒性的临床分析[J]. 安徽医药,2017,21(9):1696-1698.
[63] 常晓娟,徐翠翠. 香薰按摩联合黄芪当归四逆汤对奥沙利铂化疗所致周围神经性疼痛和疲劳的影响[J]. 肿瘤药学,2021,11(5):640-644.
[64] 缪潇瑶. 当归补血汤抗疲劳及抗辐射的代谢组学研究[D]. 北京:军事科学院,2019.
[65] 李非洲,左刚,李泽飞,等. 基于网络药理学的人参养荣汤治疗慢性疲劳综合征机制探索[J]. 时珍国医国药,2021,32(12):2882-2885.
[66] 黎德育,王志远,贺守第.《千金方》温脾丸方证规律及临床应用[J]. 新中医,2019,51(1):86-90.
[67] 王婷,刘志勇,罗黎明,等. 当归生姜羊肉汤对脾肾阳虚型 IBS-D 大鼠中医证候的影响[J]. 中国比较医学杂志,2022,32(12):37-48.
[68] 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.
[69] OH H J,JIN H,KIM B Y,et al. A Combined Angelica gigas and Artemisia dracunculus Extract Prevents Dexamethasone-Induced Muscle Atrophy in Mice through the Akt/mTOR/FoxO3a Signaling Pathway[J]. Cells,2022,11(20):3245.
[70] YIN L,LI N,JIA W H,et al. Skeletal muscle atrophy: From mechanisms to treatments[J]. Pharmacol Res,2021,172:105807.
[71] 国家中医药管理局. 国家中医药管理局关于发布《古代经典名方目录(第一批)》的通知[EB/OL]. (2018-04-13)[2024-02-26]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5429153.htm.
[72] 国家中医药管理局,国家药品监督管理局. 国家中医药管理局 国家药品监督管理局关于印发《古代经典名方目录(第二批)》的通知[EB/OL]. (2023-09-01)[2024-02-26]. https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/fgwj/gzwj/gzwjyp/20230901165919115.html.
[73] GUO C J,HOU X Y,LIU Y H,et al. Novel Chinese angelica polysaccharide biomimetic nanomedicine to curcumin delivery for hepatocellular carcinoma treatment and immunomodulatory effect[J]. Phytomedicine,2021,80:153356.
[74] SUN H L,NAI J J,DENG B Q,et al. Angelica sinensis polysaccharide-based nanoparticles for liver-targeted delivery of oridonin[J]. Molecules,2024,29(3):731.