

红芪多糖提取、分离纯化及药理作用研究进展

刘善茹¹, 李成义^{1*}, 刘书斌^{1,2}, 强正泽¹, 贾妙婷¹, 魏小成¹, 周瑞娟¹, 张广袤¹

(1. 甘肃中医药大学药学院, 兰州 730000, 2. 甘肃省中医院科研制剂中心, 兰州 730050)

摘要: 红芪作为甘肃的大宗药材, 以“米仓红芪”为佳, 主要含有红芪多糖类、黄酮类、苯丙素类、生物碱类、有机酸类等化学成分。大量研究表明, 红芪多糖是红芪药材主要活性成分之一, 具有抗炎、抗肿瘤、抗氧化、免疫调节等多种药理作用, 在医药保健、食品等领域有良好的应用前景。本文通过文献检索, 梳理并总结近10年国内外红芪多糖的提取、分离纯化以及药理活性研究, 通过阐述红芪多糖提取工艺、含量测定方法的优缺点, 总结红芪多糖的单糖组成、结构特征, 分析红芪多糖研究的发展趋势, 为红芪多糖的进一步研究和开发利用提供一定参考依据。

关键词: 红芪; 多糖; 提取; 分离纯化; 药理作用

Research progress on extraction, separation purification and pharmacological effects of polysaccharides from *Hedysari radix*

LIU Shan-Ru¹, LI Cheng-Yi^{1*}, LIU Shu-Bin^{1,2}, QIANG Zheng-Ze¹, JIA Miao-Ting¹,
WEI Xiao-Cheng¹, ZHOU Rui-Juan¹, ZHANG Guang-Mao¹

(1. College of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China; 2. Scientific Research Preparation Center of Gansu Traditional Chinese Medicine Hospital, Lanzhou 730050, China)

ABSTRACT: Hongqi (*Hedysari radix*) is a major medicinal material in Gansu Province, with “Mi Cang Hong Qi” as the best. It mainly contains *Hedysarum* polysaccharides, flavonoids, phenylpropanoids, alkaloids, organic acids and other chemical components. Lots of research shows that polysaccharide is one of the main active components of *Hedysari radix*. *Hedysarum* polysaccharides as one of the main active components of *Hedysari radix* has multiple pharmacological effects, such as, anti-inflammatory, anti-tumor, antioxidant, and immunomodulatory activities and has good application in medicine health care food and other fields. Through literature retrieval, this paper combed and summarized the research on extraction, separation and purification and pharmacological activities of *Hedysarum* polysaccharides at home and abroad in recent 10 years. Through expounding the advantages and disadvantages of extraction technology and content determination methods of *Hedysarum* polysaccharides, this paper summarized the monosaccharide composition and structural characteristics of *Hedysarum* polysaccharides, analyzed the development trend of *Hedysarum* polysaccharides research, and provided certain reference for further research, development and utilization of *Hedysarum* polysaccharides.

基金项目: 国家自然科学基金项目(81860683、82160730)、甘肃省教育厅双一流重大科研项目(GSSYLXM-05)、甘肃省科技计划项目(21YF5FA133)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (81860683, 82160730), the Double First-class Major Scientific Research Projects of Gansu Provincial Department of Education (GSSYLXM-05), and the Gansu Provincial Science and Technology Plan Project (21YF5FA133)

*通信作者: 李成义, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为中药鉴定与品质评价。E-mail: gslichengyi@163.com

*Corresponding author: LI Cheng-Yi, Professor, College of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China. E-mail: gslichengyi@163.com

KEY WORDS: *Hedysari radix*; polysaccharides; extraction; separation and purification; pharmacological effects

0 引言

红芪为豆科植物多序岩黄芪(*Hedysarum polybotrys* Hand.-Mazz.)的干燥根,是甘肃道地药材之一,蕴藏量丰富,资源优势明显^[1]。红芪最早记录在《神农本草经》黄芪项下,用药历史悠久,并认为红芪最早作为黄芪项下的一个品种^[2]。食药物是指按照传统既是食品又是中药材的物质。中华人民共和国国家卫生健康委员会和国家市场监督管理总局将黄芪(红芪)列为食药物,而甘肃作为黄芪(红芪)种植的主要区域,被列为试点地区。红芪具有升阳举陷、固表止汗、利水消肿等功效,临床主要用于气虚乏力、食少便溏、中气下陷等症^[3]。红芪含有红芪多糖类、黄酮类、苯丙素类、有机酸类等化学成分,其中红芪多糖(*Hedysarum polysaccharides*, HPS)是红芪发挥药理作用的有效成分之一^[4],属于植物多糖的范畴,主要存在于红芪根部细胞中^[5],具有抗肿瘤、抗衰老、增强免疫、抗炎等药理作用^[6-7],近年来,大量研究对红芪多糖和黄芪多糖进行比较,发现红芪多糖在免疫调节方面疗效优于黄芪多糖^[8]。但在临床应用中经常将黄芪替代红芪使用,这在一定程度上限制了红芪的发展。本文对红芪多糖的提取、分离纯化、含量测定方法和药理作用的研究现状进行阐述,对红芪中多糖的潜在价值进行分析和概括,进而为红芪多糖的深入研究以及在食品、保健品、药品方面的开发应用提供一定的参考依据。

1 红芪多糖提取分离

多糖类化合物具有广泛的医用价值,中药提取多糖常用的方法有水提醇沉法^[9]、酶解提取法^[10]、超声辅助提取法^[11]、微波辅助提取法^[12]、超高压提取技术^[13]、双水相萃取^[14]等。目前,对于红芪多糖成分的提取分离研究仍是一个焦点,研究其最佳提取工艺能够有效提高红芪多糖产率,从而降低成本、提高利用率,红芪多糖主要有以下4种提取方法。

1.1 水提醇沉法

水提醇沉法是利用多糖水不溶性,在水提液中加入乙醇沉淀法除去杂质获得多糖的方法,是提取红芪多糖最常用的方法。根据董嘉琪等^[15]、张小荣等^[16]的研究发现用水提醇沉法提取的红芪多糖得率与料液比、提取次数、提取时间、醇沉浓度等提取条件密切相关,其中提取时间可能对红芪多糖提取率影响较大,除此之外多糖得率还与杂多糖含量有关,并发现该法提取的红芪多糖具有较好的抗氧化活性及1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-

2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除活性。

1.2 酶解提取法

植物细胞壁是由纤维素、果胶等形成的多层纤维结构^[17],在植物中,纤维素是细胞壁主要组分^[18],而纤维素酶能够破坏细胞壁结构,根茎类药材中纤维素含量很高,可使用纤维素酶将其有效成分充分释放出来,提高得率^[19]。先进的酶解技术可增强植物组织释放多糖的能力,增高提取效率,综合文献研究发现酶的种类、酶解时间、酶解pH、酶解温度等均可影响多糖提取率^[20]。杨秀艳等^[21]利用纤维素酶、木瓜蛋白酶提取红芪多糖,得到当复合酶量为2.0%、酶解pH 5、酶解温度50℃、复合酶添加比1:1、提取1h时多糖提取率最高为14.01%,但随着两种酶比例的减小多糖得率呈先上升后下降趋势,这与酶降低植物多糖从细胞中溶出的传质阻力有关。

酶解法在提高多糖提取效率的同时,对提取条件要求苛刻,条件不适宜都会改变酶蛋白质构象,使酶变性,从而降低多糖提取率,所以在用酶解提取法提取多糖时要控制好酶解条件。

1.3 超声辅助提取法

超声提取是利用超声波强烈而高速的搅拌作用及空化、机械等效应破坏细胞,将细胞壁破碎,加快细胞内物质的释放和溶解速率的一种有效成分提取方法,与传统方法相比,超声法提取效率高,提取液中的杂质较少^[11]。超声提取在有以上优点的同时,还能对多糖进行选择性的分子修饰,将大分子多糖降解为小分子多糖,改变多糖分子量,且提取的多糖具有一定生物活性^[22]。研究发现^[23-25],超声提取红芪多糖时多糖的提取率受超声提取时间、超声功率影响较大,这可能与超声提取在一定时间和功率范围内影响多糖溶出,改变多糖分子结构有关。与此同时应该思考超声提取这种通过破坏细胞结构提高多糖的方法,是否会破坏多糖本身结构。

1.4 微波辅助提取法

微波辅助提取多糖具有高效快速、溶剂消耗量少等优点,还可降低溶剂使用量,提高效率,可广泛应用于工业生产中^[26]。其原理是利用高频率电磁波破坏细胞膜和细胞壁,加速细胞内有效成分的溶出^[27-28]。研究发现^[29],采用微波辅助法提取红芪多糖,得到微波功率213 W时HPS的含量最高可达10.11%±0.52%,但当微波功率继续增加,红芪多糖提取率反而降低,这可能与微波功率过高导致细胞内的温度急剧增加,使得多糖成分结构破坏有关。寇宁等^[24]用不同方法提取红芪多糖,发现微波提取比超声提取和常规热水浸提法提取效率高,提取的红芪多糖具有抗

氧化活性,且微波提取的红芪多糖分子量增大,这可能是微波辐射红芪多糖分子发生交联导致的。

通过以上几种提取方法的比较可以得出,不同提取方法得到的红芪多糖得率也不同,相比于水提醇沉法,超声、微波辅助提取法及酶解提取法得到的多糖含量较高,对多糖分子量也有一定影响,而辅助法与水提醇沉法得到的红芪多糖具有较好的抗氧化活性及 DPPH 自由基清除活性。可见不同提取方法所得红芪多糖含量和性能不同,所以今后应该加强对红芪多糖提取物的制备及开发利用,从而使红芪多糖在食品、医药领域的应用得到更进一步的发展。

2 红芪多糖含量测定

2.1 紫外-可见分光光度法

紫外分光光度法为测量红芪多糖含量常用方法^[30],并以葡萄糖为标准品计算多糖含量,测量溶液主要包括蒽酮-硫酸和苯酚-硫酸。相关研究证明苯酚-硫酸测得多糖结果更为准确可靠^[31-32]。燕玉奎等^[33]用该法测定红芪不同提取部位多糖含量,分析得到红芪根中总多糖含量较低为 10.16%,而红芪全草中多糖含量最高为 82.5%,说明不同提取部位红芪多糖含量不同。因此,用紫外分光光度法测定多糖含量的方法简单易行,结果可靠,可作为红芪多糖含量测定首选方法。

2.2 比色法

比色法是通过测量有色溶液颜色深度来确定待测组分含量的方法。该方法是测量多糖含量常用方法之一,主要包括硫酸-蒽酮法和苯酚-硫酸法。研究发现^[34]用硫酸-蒽酮法测定的红芪多糖含量要高于实际值,这与蒽酮法测定了溶液中所有的碳水化合物,导致测量结果偏高有关,而用苯酚-硫酸法测定红芪多糖含量结果准确,且稳定性较好^[35]。王瑞海等^[36]用苯酚-硫酸比色法对红芪和黄芪药材中总多糖含量进行测定,得到红芪多糖含量为 9.35%,黄芪多糖含量为 4.02%,由此可见,用该法测得的多糖含量前者高于后者。因此,临床上将红芪和黄芪分开使用是有一定依据的。

2.3 高效液相色谱法

探索更加高效、准确的多糖含量测定方法,对红芪开发利用意义重大。目前有研究采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)对红芪多糖进行含量测定,发现用 HPLC 测得红芪多糖结果较为准确,还可同时测定多糖中的单一成分^[37],为红芪多糖分离纯化提供了一定的研究基础。而且研究发现^[38]用传统方法测定红芪多糖时需测定转换因子(f)值,影响实验效率,但采用 HPLC 测定不仅可以提高效率,结果也更加准确。但是 HPLC 是否可以代替紫外分光光度法广泛应用于多糖含量的测定,还有待进一步研究。

2.4 其他

除了以上几种方法,目前国内也有诸多学者探索优化红芪多糖的提取方法。魏舒畅等^[39]采用改良差示酚磺法,建立了红芪多糖的定量测定方法,提高含量测定准确性。张小荣等^[40]用差示苯酚-硫酸法与二硝基水杨酸法合用测定红芪多糖含量,结果显示此方法可减少游离还原糖及杂质的干扰,具有降低系统误差、提高结果准确性的优点,为多糖含量测定提供了参考。

3 红芪多糖分离纯化及结构特征

多糖为大分子物质,多糖的分离纯化与单糖组成分析是研究多糖结构特征和控制多糖质量的关键环节。红芪粗多糖中常混有蛋白质、色素等杂质,所以首先采用 Sevag 法、三氯乙酸法脱蛋白,用活性炭、双氧水、丙酮除色素,然后经过凝胶色谱法、离子交换柱层析法分离纯化出多种多糖组分,目前分离纯化出 4 种红芪多糖组分,分别为红芪多糖 1 (HPS1)、红芪多糖 2 (HPS2)、红芪多糖 3 (HPS3)、红芪多糖 4 (HPS4),并且实验证明不同组分多糖均有一定药理作用^[41-43]。红芪多糖属于杂多糖,一般通过气相色谱法(gas chromatography, GC)、气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、傅里叶变换红外光谱法(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)等分析多糖结构及单糖组成^[44],红芪多糖一般由鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、葡萄糖及半乳糖组成(表 1)。在多糖研究中,多糖的组分和分子量构型是影响多糖生物活性的重要因素,与其药理密切相关(表 2),因此,在今后应深入探究多糖结构修饰与生物活性之间的联系。

除此之外,红芪多糖其他组分均有一定生物特性,如 HPS5 可减轻葡萄膜炎的临床症状及眼睛中纤维蛋白渗出和炎性细胞浸润,有抗炎活性;HPS6、HPS7、HPS8 等红芪多糖组分经分离纯化后蛋白含量分别为 0.2%、0.4%、0.3%,前两者为白色絮状粉末,后者为淡黄色絮状粉末^[46],但因这些多糖在总多糖中含量较少,所以研究也较少。提取分离纯化及药理作用流程图见图 1。

表 1 红芪多糖单糖组成
Table 1 Monosaccharide compounds of HPS

单糖	英文名	分子式
鼠李糖	rhamnose	L 型: C ₆ H ₁₂ O ₅
阿拉伯糖	arabinose	L 型: C ₅ H ₁₀ O ₅
葡萄糖	glucose	D 型: C ₆ H ₁₂ O ₆
木糖	xylose	D 型: C ₅ H ₁₀ O ₅
半乳糖	galactose	D 型: C ₆ H ₁₂ O ₆

4 红芪多糖药理作用

4.1 抗肿瘤

近年来, 中药抗肿瘤的研究已逐渐成为热点^[55]。中药

一般通过调节肿瘤基因表达、抑制癌细胞增殖、诱导肿瘤细胞的凋亡与自噬等机制达到抗肿瘤作用^[56]。红芪多糖可以通过调节膀胱癌组织基因表达, 产生利尿渗湿功效, 抑制膀胱癌^[57]; 通过上调凋亡相关基因 *Fas* 和 *Fas* 的 mRNA

表 2 红芪多糖 1、2、3、4 组分单糖组成及其药理作用

Table 2 Monosaccharide compounds and pharmacological effects of HPS 1, 2, 3, 4

类别	单糖	单糖分子之比	多糖组分	分子量	药理作用	来源
HPS1	组成的单糖仅为 α -D-Glcp	-	HPS1-A、 HPS1-B HPS1-D	523.6、45.93 kDa	抗肿瘤、抗补体、降血糖、抗辐射	[43,45-46]
HPS2	葡萄糖、阿拉伯糖、半乳糖、鼠李糖、木糖	0.3:0.2:2.7:16.1:2.0	-	-	抗氧化活性、抗肿瘤	[43,46-48]
HPS3	葡萄糖、阿拉伯糖、鼠李糖、 α -D-Galp 和 α -D-Glcp	1.31:17.51:26.49:43.69:11.01	HPS-3-A、 HPS-3-B、 HPS-3-C、 HPS-3-D	1.986×10^5 、 1.113×10^5 、 1.223×10^4 、 8.457×10^4 g/mol	抗氧化活性、抗肿瘤、降血糖、降血脂、抗辐射、提高免疫力	[42-43,49-51]
HPS4	葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖	-	HPS4-2A、 HPS4-1A、 HPS4-1B、 HPS4-1C	272.0、73.86、 283.0、530.0 kDa	抗氧化活性、抗凝血、抗衰老、降血糖、降血脂、提高免疫力、抗辐射	[43-44,52-54]

注: -表示无此项。

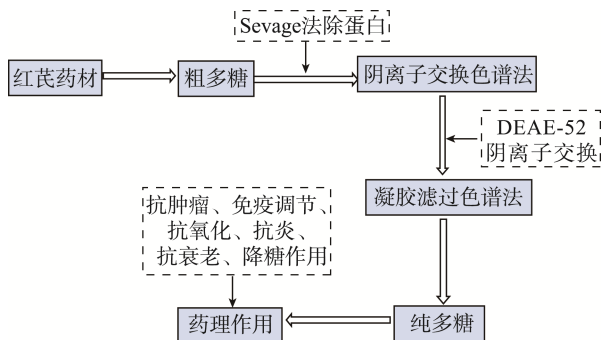


图 1 红芪多糖分离纯化及其药理作用示意图

Fig.1 Schematic diagram of separation and purification and pharmacological effects of HPS

及相关蛋白表达水平抑制 SCC25 细胞增殖, 治疗口腔癌^[58]; 可下调 Bcl-2 蛋白浓度相关性地抑制肺癌细胞增殖^[59]; 红芪多糖还能够抑制肿瘤细胞增长改善肝癌细胞 HepG2 辐射抗拒性^[60]。以上研究表明, 红芪多糖对多种肿瘤均具有治疗作用, 有良好的临床应用前景。

4.2 免疫调节

免疫调节是指机体识别自身和排除异己物质, 维持自身生理动态平衡与稳定的生理功能。红芪多糖是红芪发挥免疫调节作用最主要的活性成分, 主要是通过调节免疫器官、免疫细胞和免疫因子等发挥免疫调节作用的, ZHANG 等^[61]、邵晶等^[62]研究发现红芪多糖和黄芪多糖均可提高环磷酰胺所致免疫抑制模型大鼠免疫细胞因子、免疫球蛋白、胸腺指数和脾指数、巨噬细胞吞噬指数, 表明

二者均具有免疫调节作用, 且前者对固有免疫和细胞免疫的正向调节作用均略强于后者, 为临床区分黄芪和红芪提供了一定的理论支撑。

4.3 抗氧化活性

机体自由基水平在正常情况下处于动态平衡, 对人体没有危害, 如果体内自由基增多则会使机体受到损害, 多糖类物质可通过清除自由基抑制其对人体的伤害。

红芪多糖可通过清除超氧阴离子和羟自由基, 提高抗氧化酶活性, 并证明自由基清除能力与红芪多糖含量呈剂量相关性, 且 HPS 浓度越高清除自由基的能力越强^[63]。除此之外, 红芪多糖对过氧化应激导致的多种病理疾病也有一定治疗和预防作用, 如在急性肺损伤中, 红芪多糖通过发挥提高机体抗氧化酶活性保护机体肺功能; 同时实验发现红芪多糖可通过 PERK-Nrf2 氧化应激信号通路提高肝抗氧化能力^[64-65], 保护肝组织。以上研究表明红芪多糖抗氧化作用与其清除自由基功能有关, 且红芪多糖在体内体外都有一定的抗氧化活性。

4.4 抗炎

炎症是细胞膜受体刺激后, 多种炎症因子过度表达所导致的^[66]。研究发现不同分子量红芪多糖(HPS HG-2, HPS HG-3 和 HPS HG-4)均具有一定抗炎作用, 其机制可能与调节炎症因子分泌有关^[67]。李圆等^[68]通过研究 HPS 对 p38MAPK 通路中 p38、IL-6 等组织炎症因子的影响, 分析得到在 50~200 μ g/L 质量浓度范围内均能抑制 p38、IL-6

表达, 从而改善炎症反应, 减轻神经组织损害。因此, 红芪多糖有望在未来作为天然抗炎剂应用于临床。

4.5 抗衰老

衰老与端粒、端粒酶变化、自由基表达异常及线粒体损伤等机制有关^[69]。红芪多糖则主要通过增加超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)及谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)含量, 清除氧自由基达到延缓衰老的作用^[70], 同时研究发现红芪多糖抗衰老效果与维生素 E 相似, 作用较温和^[71]。因此, 可利用红芪多糖的抗衰老作用, 开发保健品、化妆品应用于市场。

4.6 降糖

糖尿病是一种常见的内分泌代谢性疾病, 近几年糖尿病患者数量有增无减^[72-73], 红芪多糖防治糖尿病的研究受到更多的重视, LIU 等^[74]研究发现红芪多糖可剂量相关性地调控 Kcap1/Nrf2 信号通路中蛋白表达从而对糖尿病起到一定治疗作用, 其中红芪多糖对 2 型糖尿病降糖效果最为明显^[75]。

同时对于糖尿病的各种并发症, 尤其对糖尿病肾病, 红芪多糖也有较好的预防和控制作用, 并且发现红芪多糖通过抑制 Wnt/ β -catenin 信号通路激活蛋白表达从而对糖尿病引起的肾功能损伤起到一定改善作用^[76], 同时能够抑制 2 型糖尿病小鼠肾脏组织 α -平滑肌肌动蛋白(α -smooth muscle actin, α -SMA)表达^[77], 且 HPS 剂量越高, 对减轻肾小管间质损伤程度越明显。综上所述, 红芪多糖具有降血糖作用, 并且推测出红芪多糖可能是通过特定靶点和途径发挥防治并发症的作用, 具有重要的临床应用价值。

4.7 其他

HPS 还可增强骨骼强度, 改善骨质疏松, 且对牙髓炎也具有潜在治疗作用^[78-79]。红芪多糖在抗肿瘤、抗氧化、免疫调节等方面的药理学实验研究的开展, 为红芪多糖在医药方面的开发与利用提供了科学依据, 也为红芪多糖产品研发提供了新思路。

5 开发前景和优势分析

中药材中化学成分是中药发挥药理药效作用的重要物质基础, 具有多成分、多靶点的特性。红芪中主要含有多糖类、皂苷类、黄酮类、生物碱、氨基酸和微量元素等多种成分, 具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、提高免疫力和降低血糖等药理作用。多糖在食品、药品等多种领域中发挥着重要作用, 开发新型生物活性多糖及研发多糖功能性食品和药物已成为研究热点。目前, 红芪多糖临床上常与黄芪多糖相比较, 且都呈现出较大的药用价值, 但大量研究发现, 红芪和黄芪所含多糖类化合物含量有差异, 且红芪在增强机体免疫方面优于黄芪, 这为红芪的临床研究以及

保健品研发提供了有力的理论支撑。本文通过整理红芪多糖提取分离方法、单糖组分及药理活性等方面的研究, 为红芪多糖的进一步研究和开发利用提供一定参考依据, 并充分证实了红芪具有广泛的应用前景, 具有巨大的开发潜能。未来应加强对红芪的深入研究, 挖掘其潜在效能, 开发研究红芪多糖相关新产品。

参考文献

- [1] 毛小文, 顾志荣, 郭燕, 等. 基于 CiteSpace 知识图谱的红芪研究热点与趋势分析[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(11): 3095-3104.
MAO XW, GU ZR, GUO Y, et al. Research hotspots and trends of *Hedysari radix*: Based on CiteSpace knowledge map [J]. China J Chin Mater, 2022, 47(11): 3095-3104.
- [2] 刘小云, 孙建云, 李拥军, 等. 黄芪、红芪中无机元素含量差异比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 4028-4035.
LIU XY, SUN JY, LI YJ, et al. Comparison of inorganic element contents in *Astragalus* and *Hedysari radix* [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(12): 4028-4035.
- [3] 毛小文, 祁梅, 顾志荣, 等. 红芪药材、饮片、标准汤剂与配方颗粒的高效液相色谱指纹图谱相关性研究[J]. 中南药学, 2022, 20(2): 399-404.
MAO XW, QI M, GU ZR, et al. Correlation of HPLC fingerprint of raw herbs, decoction pieces, standard decoction and dispensing granules of *Hedysari radix* [J]. Cent South Pharm, 2022, 20(2): 399-404.
- [4] 李玥, 何军刚, 冯慧敏, 等. 红芪黄酮类化合物研究进展与潜在优势分析[J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(8): 89-93.
LI Y, HE JG, FENG HM, et al. Research progress and potential advantages of *Hedysarum flavonoid* [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2022, 40(8): 89-93.
- [5] 孙天雄, 李成义, 贾妙婷, 等. 红芪中的无机元素及其与药效活性成分关系的研究进展[J]. 中国现代中药, 2021, 23(12): 2196-2200.
SUN TX, LI CY, JIA MT, et al. Progress in research on the relationship between inorganic elements and effective ingredients in *Hedysari radix* [J]. Mod Chin Med, 2021, 23(12): 2196-2200.
- [6] 贾妙婷, 李成义, 孙天雄, 等. 红芪多糖药理作用研究新进展[J]. 中药药理与临床, 2020, 36(6): 235-239.
JIA MT, LI CY, SUN TX, et al. New progress in pharmacological study of *Hedysari radix* [J]. Pharmacol Clin Chin Mater Med, 2020, 36(6): 235-239.
- [7] 冯慧敏, 李成义, 何军刚, 等. 红芪化学成分和药理作用研究进展及质量标志物(Q-Marker)的预测分析[J]. 中草药, 2021, 52(9): 2831-2842.
FENG HM, LI CY, HE JG, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Hedysari radix* and predictive analysis on quality markers [J]. Chin Herb Med, 2021, 52(9): 2831-2842.
- [8] 白海英, 张凯雪, 包芳, 等. 黄芪和红芪对比研究进展[J]. 西北药学杂志, 2020, 35(3): 460-466.
BAI HY, ZHANG KX, BAO F, et al. Comparative research progress of *Astragalus* and *Hedysari radix* [J]. Northwest Pharm J, 2020, 35(3): 460-466.
- [9] 李芳, 杨扶德. 党参多糖提取分离、化学组成和药理作用研究进展[J]. 中华中医药学刊, 2022, 18(2): 225-229.
LI F, YANG FD. Research progress on the extraction and isolation,

- chemical compound, pharmacological effects of *Codonopsis pilosulae* polysaccharide [J]. *Chin Arch Tradit Chin Med*, 2022, 18(2): 225–229.
- [10] 景永帅, 张浩, 程文境, 等. 北沙参多糖的提取工艺、理化性质和生物活性研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(8): 2610–2617.
JING YS, ZHANG H, CHENG WJ, *et al.* Research progress on extraction process, physicochemical properties and biological activity of polysaccharides from *Glehniae radix* [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(8): 2610–2617.
- [11] 吴修利, 徐雷, 谢英, 等. 超声波辅助提取油莎豆水溶性多糖及其抗氧化性[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(16): 81–87.
WU XL, XU L, XIE Y, *et al.* Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant activity of water-soluble polysaccharides from *Cyperus esculentus* meals [J]. *Food Res Dev*, 2022, 43(16): 81–87.
- [12] 冉靓, 刘渊, 周婵媛, 等. 青杠菌多糖的微波协助提取及抗氧化活性研究[J]. *食品科技*, 2021, 46(10): 184–188.
RAN L, LIU Y, ZHOU CY, *et al.* Microwave-assisted extraction and antioxidant activities of polysaccharides from *Tricholoma bakamatsutake* hongo [J]. *Food Sci Technol*, 2021, 46(10): 184–188.
- [13] 杨娜, 林建英, 陈亮. 灵芝超高压提取及深加工技术研究[J]. *食品安全导刊*, 2019, (3): 177.
YANG N, LIN JY, CHEN L. Study on ultra high pressure extraction and deep processing of *Ganoderma lucidum* [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2019, (3): 177.
- [14] 尹国友, 孙婕, 澹博, 等. 双水相萃取韭籽粕多糖的工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(2): 134–142.
YIN GY, SUN J, ZHAN B, *et al.* Study on optimization of aqueous two phase extraction of polysaccharides from leek seed meal and its antioxidant activity [J]. *J Food Sci Technol*, 2019, (3): 177.
- [15] 董嘉琪, 张晓松, 彭晓婷, 等. 响应面法优化红芪多糖的提取工艺[J]. *动物医学进展*, 2021, 42(4): 64–71.
DONG JQ, ZHANG XS, PENG XT, *et al.* Optimization of extraction process of polysaccharides from *Hedysarum* polysaccharides by response surface methodology [J]. *Prog Vet Med*, 2021, 42(4): 64–71.
- [16] 张小荣, 耿广琴, 赵沙沙, 等. Box-Behnken 响应面法优化红芪多糖水提醇沉工艺研究[J]. *中兽医医药杂志*, 2022, 41(2): 7–14.
ZHANG XR, GENG GQ, ZHAO SS, *et al.* Optimization of water extraction and alcohol precipitation process of *Hedysarum* polysaccharides by Box-Behnken response surface method [J]. *J Tradit Chin Vet Med*, 2022, 41(2): 7–14.
- [17] HU HZ, ZHANG R, TAO ZS, *et al.* Cellulose synthase mutants distinctively affect cell growth and cell wall integrity for plant biomass production in *Arabidopsis* [J]. *Plant Cell Physiol*, 2018, (6): 1144–1157.
- [18] 却枫, 查若飞, 魏强. 植物纤维素合成酶研究进展[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2022, 46(6): 207–214.
QUE F, CHA RF, WEI Q. Advance research of cellulose synthase genes in plants [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed)*, 2022, 46(6): 207–214.
- [19] 刘欢, 朱安南, 孟勇, 等. 纤维素酶在畜禽生产中的研究进展[J]. *饲料研究*, 2022, (16): 148–153.
LIU H, ZHU ANN, MENG Y, *et al.* Research progress of cellulase on livestock and poultry production [J]. *Feed Res*, 2022, (16): 148–153.
- [20] 魏舒畅, 陈方圆, 闫治攀, 等. 二次通用旋转组合设计优化红芪总多糖与皂苷的酶解提取工艺[J]. *中成药*, 2014, 36(2): 286–290.
WEI SC, CHEN FY, YAN ZP, *et al.* Optimization of technological conditions for enzymatic extraction of total polysaccharide and saponin from *Hedysarum* polysaccharides by quadratic general rotary unitized design [J]. *Chin Tradit Pat Med*, 2014, 36(2): 286–290.
- [21] 杨秀艳, 薛志远, 杨亚飞, 等. 红芪多糖的复合酶联合超声提取工艺、理化特性及抗氧化活性的研究[J]. *中国中药杂志*, 2018, 43(11): 2261–2268.
YANG XY, XUE ZY, YANG YF, *et al.* Complex enzyme combined with ultrasound extraction technology, physicochemical properties and antioxidant activity of *Hedysarum* polysaccharides [J]. *China J Chin Mater*, 2018, 43(11): 2261–2268.
- [22] WANG KJ, GUO JT, ZHENG JX, *et al.* Ultrasound-assisted extraction of polysaccharide from spent *Lentinus edodes* substrate: Process optimization, precipitation, structural characterization and antioxidant activity [J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 30(191): 1038–1045.
- [23] 胡燕, 程卫东, 刘欣, 等. 红芪多糖超声法提取工艺的正交实验优选研究[J]. *时珍国医国药*, 2011, 22(8): 1953–1954.
HU Y, CHENG WD, LIU X, *et al.* Study on optimization of ultrasonic extraction process of *Hedysarum* polysaccharides by orthogonal experiment [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2011, 22(8): 1953–1954.
- [24] 寇宁, 李磊强, 李钦, 等. 不同提取方法对红芪多糖体外抗氧化活性的影响研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(15): 100–103, 108.
KOU N, LI LQ, LI Q, *et al.* Study on anti-oxidant activity of *Hedysarum* polysaccharides by different extraction method *in vitro* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(15): 100–103, 108.
- [25] MENG QR, CHEN ZH, CHEN F, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted extraction of polysaccharides from *Hemerocallis citrina* and the antioxidant activity study [J]. *J Food Sci*, 2020, 86(7): 3082–3096.
- [26] AMARANTE SJ, CATARINO MD, MARCAL C, *et al.* Microwave-assisted extraction of phlorotannins from *Fucus vesiculosus* [J]. *Mar Drug*, 2020, 18(11): 559.
- [27] MA XL, MENG M, HAN LR, *et al.* Structural characterization and immunomodulatory activity of *Grifola frondosa* polysaccharide via toll-like receptor 4-mitogen-activated protein kinases-nuclear factor kappa B pathways [J]. *Food Funct*, 2016, (6): 2763–2772.
- [28] SUN YJ, HOU ST, SHUANG S, *et al.* Impact of acidic, water and alkaline extraction on structural features, antioxidant activities of *Laminaria japonica* polysaccharides [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.02.066
- [29] 赵保堂, 寇宁, 汪月, 等. 微波辅助提取红芪多糖[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(11): 228–236.
ZHAO BT, KOU N, WANG Y, *et al.* Optimization of microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Hedysari radix* Hand.-Mazz [J]. *Food Ferment Ind*, 2015, 41(11): 228–236.
- [30] 阿依夏古丽·巴卡斯, 白杰, 海仁古丽·麦提提, 等. 新疆红芪多糖的含量测定及抗氧化活性研究[J]. *新疆医科大学学报*, 2018, 41(6): 766–768.
AYIXIAGULI BKS, BAI J, HAIRENGULI MMT, *et al.* Study on the content determination and antioxidant activity of Xinjiang *Astragalus* polysaccharides [J]. *J Xinjiang Med Univ*, 2018, 41(6): 766–768.
- [31] 杨秀娟, 杨志军, 牛鹏贤, 等. 甘肃不同产地红芪中总黄酮及总多糖含量测定研究[J]. *中国中医药信息杂志*, 2018, 25(2): 79–82.
YANG XJ, YANG ZJ, NIU PX, *et al.* Content determination of total flavones and polysaccharides in *Hedysari radix* in different producing areas in Gansu Province [J]. *Chin J Inform Tradit Chin Med*, 2018, 25(2):

- 79–82.
- [32] 欧阳亦华, 颜剑. 红芪多糖含量测定方法研究[J]. 中国中医药现代远程教育, 2013, 11(20): 149–151.
- OUYANG YH, YAN J. Study on the determination method of content in *Hedysari radix* [J]. Chin Med Mod Dist Edu, 2013, 11(20): 149–151.
- [33] 燕玉奎, 郭玫, 邵晶, 等. 红芪及其不同提取部位中主要活性成分的含量测定[J]. 中兽医医药杂志, 2020, 39(1): 20–23.
- YAN YK, GUO M, SHAO J, *et al.* The content determination of main active components in *Hedysari radix* and its different extracted parts [J]. J Tradit Chin Vet Med, 2020, 39(1): 20–23.
- [34] 万晓莹, 刘振丽, 宋志前, 等. 中药多糖含量测定方法研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2021, 27(7): 1175–1178.
- WAN XY, LIU ZL, SONG ZQ, *et al.* Study on determination method of polysaccharide content in traditional Chinese medicine [J]. J Basic Chin Med, 2021, 27(7): 1175–1178.
- [35] 李欢欢, 李莎莎, 海力茜·陶尔大洪. 响应面法优选新疆红芪多糖提取工艺[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(2): 45–49, 63.
- LI HH, LI SS, HAILIXI TERDH. The response surface method optimization Xinjiang *Hedysarum* polysaccharides extraction process [J]. Food Ferment Technol, 2020, 56(2): 45–49, 63.
- [36] 王瑞海, 叶迎, 许京, 等. 甘肃红芪和黄芪总多糖含量测定对比[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(22): 77–83.
- WANG RH, YE Y, XU J, *et al.* Total polysaccharides content determination of *Hedysari radix* and *Astragali radix* from Gansu Province [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2017, 23(22): 77–83.
- [37] 李冰, 封士兰, 刘小花, 等. HPLC 测定红芪药材中红芪多糖的含量[J]. 中成药, 2008, (5): 716–718.
- LI B, FENG SL, LIU XH, *et al.* Determination of polysaccharide content in *Hedysari radix* by HPLC [J]. Chin Tradit Patent Med, 2008, (5): 716–718.
- [38] 牛江涛, 曹瑞, 张泽国, 等. 红芪多糖的提取分离及药理作用研究进展[J]. 中国药房, 2017, 28(1): 130–133.
- NIU JT, CAO R, ZHANG ZG, *et al.* Research progress on extraction, isolation and pharmacological action of *Hedysarum* polysaccharides [J]. China Pharm, 2017, 28(1): 130–133.
- [39] 魏舒畅, 王继龙, 李昶, 等. 改良差示酚磺法测定红芪粗多糖的方法研究[J]. 中成药, 2013, 35(3): 634–636.
- WEI SC, WANG JL, LI X, *et al.* Study on determination of *Hedysarum* polysaccharides by improved differential phenol sulfur method [J]. Chin Tradit Patent Med, 2013, 35(3): 634–636.
- [40] 张小荣, 黄钰芳, 何海, 等. 差示苯酚-硫酸法结合 DNS 法测定红芪多糖(HPS)含量[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(4): 186–189, 253.
- ZHANG XR, HUANG YF, HE H, *et al.* Differential phenol-sulfuric acid method combined with DNS method to determine the content of *Hedysarum* polysaccharides [J]. J Anhui Agric Sci, 2022, 50(4): 186–189, 253.
- [41] 李磊强, 徐静文, 寇宁, 等. 红芪多糖 3 促进小鼠脾淋巴细胞增殖的蛋白点分析[J]. 辽宁中医杂志, 2015, 42(12): 2449–2453.
- LI LQ, XU JW, KOU N, *et al.* Differential protein spots analysis of spleen lymphocytes from mice proliferation promoted with *Hedysarum* polysaccharides [J]. Liaoning J Tradit Chin Med, 2015, 42(12): 2449–2453.
- [42] 刘忠. 红芪多糖的提取及其抗肿瘤作用的实验研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- LIU Z. Experimental study on extraction of *Hedysarum* polysaccharides and its antitumor effect [D]. Lanzhou: Lanzhou university, 2007.
- [43] 马丹, 封士兰, 赵良功, 等. 红芪多糖的提取分离纯化及组成分析[J]. 中国现代应用药学, 2008, (3): 177–179.
- MA D, FENG SL, ZHAO LG, *et al.* purification of *Hedysarum* polysaccharides and determination of its constitution [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2008, (3): 177–179.
- [44] 董嘉琪, 张旺东, 姚万玲, 等. 红芪多糖-1-1 的分离纯化及其调节抗生素诱导小鼠肠道菌群失调的最佳剂量分析[J]. 畜牧兽医学报, 2022, 53(8): 2794–2811.
- DONG JQ, ZHANG WD, YAO WL, *et al.* Isolation and purification of *radix Hedysari* polysaccharide-1-1 and analysis of its optimal dosage for regulating intestinal flora imbalance induced by antibiotics in mice [J]. Acta Vet Zootech Sin, 2022, 53(8): 2794–2811.
- [45] 强正泽, 王燕, 李硕, 等. 红芪多糖及其衍生物的化学结构与活性研究进展[J]. 中国新药杂志, 2018, 27(19): 2271–2280.
- QIANG ZZ, WANG Y, LI S, *et al.* Structure and activity of *Hedysarum* polysaccharides and its derivatives [J]. Chin J New Drug, 2018, 27(19): 2271–2280.
- [46] 周尚儒. 不同分子量红芪多糖的制备及其对小鼠溃疡性结肠炎的作用研究[D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2021.
- ZHOU SR. Preparation of *Hedysarum* polysaccharides with different molecular weight and its effect on ulcerative colitis in mice [D]. Lanzhou: Gansu University of Chinese Medicine, 2021.
- [47] 周尚儒, 郭玫, 王君梅, 等. 红芪多糖的制备、结构表征及对 1,1-二苯基-2-苦基苯胍自由基清除能力的影响[J]. 甘肃中医药大学学报, 2021, 38(4): 1–6.
- ZHOU SR, GUO M, WANG JM, *et al.* Preparation and structural characteristics of *Hedysarum* polysaccharides and its effects on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl free radical scavenging ability [J]. J Gansu Univ Tradit Chin Med, 2021, 38(4): 1–6.
- [48] 张奕. 红芪多糖 HG-2 的制备及联合透明质酸水凝胶对大鼠骨关节炎作用的研究[D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2019.
- ZHANG Y. Preparation of *Hedysarum* polysaccharides HG-2 and its effect on osteoarthritis in rats combined with hyaluronic acid hydrogel [D]. Lanzhou: Gansu University of Chinese Medicine, 2019.
- [49] 陈同强, ADILBEKOV J, 赵良功, 等. 红芪多糖 3 中 4 个组分的单糖组成分析及多糖含量测定[J]. 中国药理学杂志, 2012, 47(7): 551–555.
- CEHN TQ, ADILBEKOV J, ZHAO LG, *et al.* Analysis of the composition of monosaccharides and the contents of polysaccharides in four components of *Hedysarum* polysaccharides 3 [J]. Chin Pharm J, 2012, 47(7): 551–555.
- [50] 党子龙. 红芪多糖 HPS4 的提取分离及 HPS4 中四个组分结构特征和活性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- DANG ZL. Extraction and isolation of *Hedysarum* polysaccharides HPS4 and study on the structure and activity of four components in HPS4 [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013.
- [51] ZHANG YG, NIU JT, ZHANG SJ, *et al.* Comparative study on the gastrointestinal- and immune- regulation functions of *Hedysari radix* paeparata cum melle and *Astragali radix* praeparata cum melle in rats with spleen-qi deficiency, based on fuzzy matter-element analysis [J]. Pharm Biol, 2022, (1): 1237–1254.

- [52] 陈同强, ADILBEKOV J, 王娟, 等. 凝胶渗透色谱-多角度激光散射联用技术研究红芪多糖中 4 个组分分子特征[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(12): 1798-1803.
CHEN TQ, ADILBEKOV J, WANG J, *et al.* Study on molecular characteristics of four components contained in *Hedysarum* polysaccharides by gel permeation chromatography-multi angle laser light scattering technology [J]. *Chin J Chin Mater*, 2012, 37(12): 1798-1803.
- [53] 党子龙, 刘小花, 赵安娜, 等. 红芪多糖 HPS4-1A 的化学结构特征研究及分子构象初步分析[J]. 中草药, 2013, 44(2): 141-146.
DANG ZL, LIU XH, ZHAO ANN, *et al.* Chemical structural features and primary molecular conformation of polysaccharide HPS4-1A from *Hedysari radix* [J]. *Chin Herb Med*, 2013, 44(2): 141-146.
- [54] 杨涛. 红芪多糖 HPS1 的提取分离及 HPS1 中四个组分结构特征和抗补体活性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
YANG T. Extraction and isolation of *Hedysarum* polysaccharides HPS1 and study on the structural characteristics and anti-complement activity of four components of HPS1 [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2014.
- [55] 周艾玲, 王段珩, 岳晓蕾, 等. 中药多糖抗肿瘤作用研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(16): 236-246.
ZHOU AIL, WANG DH, YUE XL, *et al.* Anti-tumor effect of Chinese herbal polysaccharides: A review [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*, 2022, 28(16): 236-246.
- [56] 牛春超, 张立德, 黄晶晶, 中药抗肿瘤作用机制的研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2022, 3: 1-17
NIU CC, ZHANG LD, HUANG JJ. Research progress on antitumor mechanism of traditional Chinese medicine [J]. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2022, 3: 1-17
- [57] 田河, 邸彦橙, 宋静, 等. 红芪多糖对膀胱癌大鼠抗肿瘤作用的实验研究[J]. 国外医药(抗生素分册), 2015, 36(1): 27-28.
TIAN H, DI YC, SONG J, *et al.* Experimental research on the anti-tumor effect of *Hedysarum* polysaccharides in rats with bladder cancer [J]. *World Notes Antibiot*, 2015, 36(1): 27-28.
- [58] 曾素娟, 彭博, 程卫东, 等. 红芪多糖和硒化红芪多糖对口腔癌细胞作用的体外实验研究[J]. 口腔疾病防治, 2019, 27(12): 757-762.
ZENG SJ, PENG B, CHENG WD, *et al.* Experimental study on the effect of *Hedysarum* polysaccharides saccharides and selenized *Hedysarum* polysaccharides saccharides on oral squamous cancer cells *in vitro* [J]. *J Oral Dis Prev*, 2019, 27(12): 757-762.
- [59] 刘华, 闫立萍, 王小军. 红芪多糖诱导肺腺癌细胞凋亡与 Bax/Bcl-2 表达的研究[J]. 西北国防医学杂志, 2016, 37(4): 211-213.
LIU H, YAN LP, WANG XJ. Effects of *Hedysarum* polysaccharides on expression of Bax/Bcl-2 and apoptosis in lung adenocarcinoma cells [J]. *Med J Nat Defend For Northwest Chin*, 2016, 37(4): 211-213.
- [60] 王芳芳. 红芪多糖、甘露糖改善肝癌细胞 HepG2 辐射抗拒性的实验研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
WANG FF. Effect of *Hedysarum* polysaccharides and mannose on radiation resistance of hepatocellular carcinoma cell line HepG2 [D]. Lanzhou: Lanzhou university, 2013.
- [61] ZHANG YG, NIU JT, ZHANG SJ, *et al.* Comparative study on the gastrointestinal- and immune- regulation functions of *Hedysari radix* paeparata cum melle and *Astragali radix* praeparata cum melle in rats with spleen-qi deficiency, based on fuzzy matter-element analysis [J] *Francis Ltd*, 2022, 60(1): 1237-1254.
- [62] 邵晶, 杜丽东, 吴国泰, 等. 红芪等 4 种中药多糖对环磷酰胺所致免疫低下小鼠模型的免疫调节作用对比研究[J]. 中国临床药理学杂志, 2017, 33(21): 2175-2178, 2186.
SHAO J, DU LD, WU GT, *et al.* Comparative study of the immunomodulatory effects of *Hedysarum* polysaccharides *etc.* four species traditional Chinese medicine polysaccharides on immunocompromised mice model made by cyclophosphamide [J]. *Chin J Clin Pharmacol*, 2017, 33(21): 2175-2178, 2186.
- [63] 雷丰丰, 岳淑琴, 孙礼刚, 等. 红芪总多糖对衰老大鼠体内自由基清除及抗氧化能力的调节作用[J]. 山东医药, 2015, 55(11): 11-13.
LEI FF, YUE SJ, SUN LG, *et al.* Regulation function of total *Hedysarum* polysaccharides in sweeping away free radicals and antioxidant capacity on aging rats [J]. *Shandong Med J*, 2015, 55(11): 11-13.
- [64] 耿广琴, 谢晓蓉, 王雅莉, 等. 红芪总多糖对急性肺损伤小鼠细胞因子及抗氧化功能的影响[J]. 中国临床药理学杂志, 2017, 33(15): 1443-1446.
GENG GQ, XIE XR, WANG YL, *et al.* Influence of total *Hedysarum* polysaccharides on the level of cytokine and anti-oxidative function in acute lung injury of mice [J]. *Chin J Clin Pharmacol*, 2017, 33(15): 1443-1446.
- [65] 张磊, 金智生, 万生芳, 等. 红芪多糖对 ob/ob 小鼠肝蛋白激酶 R 样内质网激酶-转录因子 NF-E2 相关因子 2 信号通路的影响[J]. 中国临床药理学杂志, 2022, 38(17): 2034-2038.
ZHANG L, JIN ZS, WAN SF, *et al.* Effects of *Hedysarum* polysaccharides sacchaide on protein kinase R-like endoplasmic reticulum kinas-transcription factor NF-E2-related factor 2 signaling pathway in liver of ob/ob mice [J]. *Chin J Clin Pharmacol*, 2022, 38(17): 2034-2038.
- [66] 朱培, 闫东梅, 郑伟. 大黄酚通过抑制巨噬细胞的 TNF- α 从而改善 LPS 诱导的小鼠炎症反应[J]. 中国实验诊断学, 2021, 25(1): 98-101.
ZHU P, YAN DM, ZHENG W. Chrysophanol improves LPS induced inflammation in mice by inhibiting TNF- α of macrophages [J]. *Chin J Lab Diag*, 2021, 25(1): 98-101.
- [67] 周尚儒, 郭政, 王志旺, 等. 不同分子量红芪多糖对小鼠溃疡性结肠炎的保护作用[J]. 中国临床药理学杂志, 2021, 37(11): 1346-1350.
ZHOU SR, GUO M, WANG ZW, *et al.* Protective effect of *Hedysarum* polysaccharides with different molecular weights on ulcerative colitis mice [J]. *Chin J Clin Pharmacol*, 2021, 37(11): 1346-1350.
- [68] 李圆, 金智生, 何流, 等. 红芪多糖对糖尿病周围神经病变 ob/ob 小鼠丝裂原活化蛋白激酶信号通路的影响[J]. 中国临床药理学杂志, 2021, 37(21): 2929-2932.
LI Y, JIN ZS, HE L, *et al.* Effect of *Hedysarum* polysaccharides on the signaling pathway of mitogen-activated protein kinase in ob/ob mice diabetic peripheral neuropathy [J]. *Chin J Clin Pharmacol*, 2021, 37(21): 2929-2932.
- [69] 岑燕彤, 钟成, 柳家凡, 等. 神经系统衰老机制与中医药抗神经系统衰老研究进展[J]. 甘肃中医药大学学报, 2022, 39(2): 89-93.
CEN YT, ZHONG C, LIU JF, *et al.* Research progress of nervous system aging mechanism and traditional Chinese medicine against nervous system aging [J]. *J Gansu Univ Tradit Chin Med*, 2022, 39(2): 89-93.
- [70] 史生辉, 董得喜, 李生有, 等. 红芪多糖与黄芪多糖对大鼠抗衰老作用的比较研究[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(16): 2024-2028.

- SHENG SH, DONG DX, LI SY, *et al.* Comparative study on anti-aging effect between *Hedysarum* polysaccharides and *Astragali radix* polysaccharides in rats [J]. *Chin J Mod Appl Pharm*, 2019, 36(16): 2024–2028.
- [71] 叶文斌, 何玉鹏, 宫峥嵘, 等. 纹党和红芪加工废弃物活性多糖对衰老小鼠的抗氧化作用[J]. *安徽农业大学学报*, 2020, 47(6): 887–893.
- YE WB, HE YP, GONG ZR, *et al.* Antioxidative capacities of bioactive polysaccharides extracts from *Codonopsis pilosula* and *Hedysari radix* processed waste on aging mice [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2020, 47(6): 887–893.
- [72] ISMAIL HF, HASHIM Z, ZAIDEL DNA, *et al.* Triple-action of the standardized antidiabetic polyherbal extract; Synacinn™ through upregulation of GLUT4 and inhibition of DPP(IV), α -amylase, and α -glucosidase activity [J]. *Med J Malaysia*, 2022, (1): 16–22.
- [73] SAAD B, KMAIL A, HAQ SZH. Anti-diabetes middle eastern medicinal plants and their action mechanisms [J]. *Evid Based Comp Alternat Med*, 2022, 1: 2276094.
- [74] LIU H, PENG FH, XU J, *et al.* *Hedysarum* polysaccharide alleviates oxidative stress to protect against diabetic peripheral neuropathy via modulation of the Kcap1/Nrf2 signaling pathway [J]. *J Chem Neuroanat*, 2022, 126: 102182
- [75] 叶文斌, 宫峥嵘, 何玉鹏, 等. 纹党和红芪加工废弃物中的活性多糖对 II 型糖尿病小鼠血糖血脂的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2020, 55(2): 32–39.
- YE WB, GONG ZR, HE YP, *et al.* Effect of active polysaccharide from processing waste of *Wendang* and *Hedysari radix* on blood glucose and lipid in type II diabetic mice [J]. *J Gansu Agric Univ*, 2020, 55(2): 32–39.
- [76] 陈彦旭, 金彩云, 金智生, 等. 基于 Wnt/ β -catenin 信号通路探讨红芪多糖对糖尿病肾病 db/db 小鼠作用机制[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2022, 28(21): 74–80.
- CHEN YX, JIN CY, JIN ZS, *et al.* Mechanism of *Hedysarum* polysaccharide in diabetic nephropathy in db/db mice based on Wnt/ β -catenin signal pathway [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*, 2022, 28(21): 74–80.
- [77] 毛明锋, 雷文晖, 周丽美, 等. 红芪多糖对糖尿病小鼠肾脏组织 α -SMA 表达及肾小管间质损伤的影响研究[J]. *浙江医学*, 2019, 41(5): 424–427.
- MAO MF, LEI WH, ZHOU LM, *et al.* Effects of *Hedysarum* polysaccharides on expressions of α -SMA and tubulointerstitial injury in kidney tissue of db/db diabetic mice [J]. *Zhejiang Med J*, 2019, 41(5): 424–427.
- [78] 赵良功, 方瑶瑶, 刘小花, 等. 红芪多糖对骨髓间充质干细胞和成骨细胞的影响[J]. *中草药*, 2021, 52(2): 432–436.
- ZHAO LG, FANG YY, LIU XH, *et al.* Effects of *Hedysarum* polysaccharides on osteogenic differentiation of rBMSCs and ROBs [J]. *Chin Herb Med*, 2021, 52(2): 432–436.
- [79] 戴银花, 戴群, 彭凯辉, 等. 红芪多糖通过 Wnt 通路减轻脂多糖诱导牙髓细胞凋亡的作用及机制[J]. *临床口腔医学杂志*, 2022, 38(5): 264–268.
- DAI YH, DAI Q, PENG KH, *et al.* Effect and mechanism of *Hedysarum* polysaccharides on reducing lipopolysaccharide induced apoptosis of dental pulp cells through Wnt pathway [J]. *J Clin Stomatol*, 2022, 38(5): 264–268.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



刘善茹, 硕士研究生, 主要研究方向为中药鉴定与品质评价。
E-mail: 1446152940@qq.com



李成义, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为中药鉴定与品质评价。
E-mail: gslichengyi@163.com