DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2025.09.009

红花多糖提取工艺、结构特征及药理活性研究进展

简志敏[1,2],张玲声[1],钟雪铧[1],赵飞亚[1],李婧炜[3],陶爱恩[1]
(1.丽江文化旅游学院医学院,云南 丽江 674199;2.昆明医科大学云南省天然药物药理重点实验室,云南 昆明 650500;
3.大理大学药学院,云南 大理 671003)

摘要:红花(*Carthamus tinctorius* L.)为菊科草本植物,属于药食两用植物,具有活血通经、散瘀止痛的功效,迄今为止从红花中分离获得多种化学成分,涉及黄酮、生物碱、聚炔、亚精胺、多糖及无机元素等,以黄酮类化合物最多,具有抗心脑血管、免疫调节、抗炎镇痛、抗肿瘤、抗氧化等多种药理活性。红花多糖是红花的主要药效成分之一。具有免疫调节,抗肿瘤,抗氧化等药理活性,尤其以抗肿瘤作用最为突出,具有潜在研究与开发价值。为此,该研究从提取工艺、分离纯化、结构特征、药理活性和分子机制等方面进行阐释,其中,详细介绍了红花多糖的结构特征。同时,综述了红花多糖的体内、体外和临床生物活性,并对其生物活性的可能机制进行了探讨。最后,对今后的研究工作提出了新的展望为今后红花多糖的研究提出了新的有价值的见解,为红花多糖资源化学成分利用提供参考。

关键词:红花多糖;提取工艺;分离纯化;结构鉴定;药理作用;分子机制
中图分类号:R285.5 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2025)09-0050-09

Research Progress in Extraction Technology, Structural Characteristics, Pharmacological Activities and Molecular Mechanism of Honghua (*Carthamus tinctorius* L.) Polysaccharides

JIAN Zhimin[1,2], ZHANG Lingsheng[1], ZHONG Xuehua[1], ZHAO Feiya[1], LI Jingwei[3], TAO Aien[1]
(1. Medical School of Lijiang Culture and Tourism College, Lijiang 674199, Yunnan, China;
2. Key Laboratory of Natural Drug Pharmacology of Yunnan Province, Kunming Medical University, Kunming 650500, Yunnan, China;
3. School of Pharmacy, Dali University, Dali 671003, Yunnan, China)

Abstract: Honghua (*Carthamus tinctorius* L.) is a medicinal and edible herb of Composite family. It has the effects of promoting blood circulation and menstruation, removing blood stasis and relieving pain. So far, a variety of chemical components have been isolated from Honghua (*Carthamus tinctorius* L.), involving flavonoids, alkaloids, polyacetylene, spermidine, polysaccharides and inorganic elements, among which flavonoids are the most. It has various pharmacological activities such as anti cardiovascular, immune regulation, anti-inflammatory and analgesic, anti-tumor and antioxidant effect, etc. Honghua (*Carthamus tinctorius* L.) polysaccharide is one of the main pharmacological components of Honghua (*Carthamus tinctorius* L.). It has pharmacological activities such as immune regulation, anti-tumor, antioxidant, etc., with the most prominent anti-tumor effect, and has potential research and development value. Therefore, the present study elucidated the extraction process, isolation and purification, structural characterization, pharmacological activity and molecular mechanism, in which, the structural characterization of Honghua (*Carthamus tinctorius* L.) polysaccharides was described in detail. Meanwhile, the in vivo, in vitro and clinical bioactivities of saffron polysaccharides were reviewed, and the possible mechanisms of their bioactivities were discussed. Finally, a new outlook for future research is presented. In conclusion, this paper reviewed the research progress on the extraction, purification, structural characterization, bioactivity and pharmacological application of Honghua (*Carthamus tinctorius* L.) polysaccharides, and provided new valuable insights for future research on Honghua (*Carthamus tinctorius* L.) polysaccharides, as well as a reference for the utilization of the chemical components of Honghua (*Carthamus tinctorius* L.) polysaccharide resources.

Keywords: Honghua (*Carthamus tinctorius* L.) polysaccharides; extraction process; separation and purification; structural identification; pharmacological effects; molecular mechanism

基金项目:国家自然科学基金地区科学基金项目(81760636);云南省科技厅基础研究计划立项项目(202301AT070899);云南省科技厅基础研究计划面上项目(202101AT070001);丽江市中青年学术和技术带头人后备人才支持项目(2022xshb05)
作者简介:简志敏(1999-),女,云南德宏州人,硕士,研究方向:中药新药,中药药理学,质量标准。
通讯作者:陶爱恩(1991-),男,云南曲靖人,助教,硕士,研究方向:中药资源、多糖化合物。E-mail:2515073996@qq.com。
李婧炜(1985-),男,云南大理人,教授,硕士研究生导师,研究方向:靶向药物。E-mail:lijw2013@126.com。

多糖是由多种单糖组成的生物大分子,普遍存在于动植物体内,过去,普遍认为多糖不具备生物活性而被遗忘[1],然而,随着分离纯化技术的发展,发现了许多天然多糖具备很好的生物学活性,已成为天然药物和保健食品研发的重要组成部分,红花(*Carthamus tinctorius* L.)为菊科植物一年生草本植物,属于药食两用植物,具有活血通经,散瘀止痛的功效,为我国 878 种中成药,864 种中药方剂和 269 种保健食品的重要原料,在国内多地均有栽培,市产产业价值巨大。首载于《开宝本草》,具有活血化瘀、通经止痛功效。临床上多用于治疗痛经、经闭、跌打损伤等病症[2]。现代研究表明红花主要含有黄酮类、生物碱类、聚炔类、亚精胺类、多糖类及无机元素等成分,具有心脑血管、免疫调节、抗炎镇痛、抗肿瘤、抗氧化等多种药理活性[1],从红花中分离提取得到的红花多糖(safflower polysaccharide,SPS)属于红花的主要药效成分之一,主要是由果糖、阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖等多种单糖组成的复合物,现代药效研究显示具有抗氧化、抗肿瘤、免疫调节、预防脑损伤、改善肠道菌群作用,耐缺氧能力等作用,有潜在开发价值与前景。目前,关于红花的综述主要集中于分子育种、小分子化合物及其药效[3-7]或多糖药效[8]上,尚未见有关学者对红花多糖的提取工艺、分离纯化、结构特征、构效关系、药理活性及其分子机制进行系统梳理,为深入推进红花多糖的研究与利用,本研究通过系统查阅文献进行总结和分析,综述了近年来在红花多糖的提取工艺、分离纯化、药理作用和可能的生物活性机制等方面的主要研究成果,并重点介绍了红花多糖的生物活性。此外,还讨论了红花多糖的结构特征与生物活性之间的关系,可为进一步开发红花多糖对疾病的有效干预策略、设计和开展临床试验以及开发新的治疗药物提供参考,同时以期为其资源化学成分的利用提供支持。

1 多糖提取工艺

多糖结构组成复杂,提取工艺的选择和参数优化直接影响多糖的提取效率。目前针对红花多糖的提取工艺涉及热水提取和超声波提取两种工艺,主要采用星点设计-效应面法、单因素和正交实验设计以及单因素和响应面分析法进行参数优化,筛选出提取红花多糖的最佳因素,结果见表 1,提取工艺流程见插页Ⅻ图 1。

1.1 热水提取法 传统的水提法是多糖提取的常用方法,尤其是热水提法,是最传统、最经典的提取方法,操作简单,成本低,应用广泛,在热水提取中,多糖的产量受提取时间、提取温度、料液比和提取次数等因素的影响,所以一般考察提取时间、提取温度、料液比和提取次数等因素。

王艳艳等[9]通过正交实验方法筛选了提取红花多糖的最佳工艺条件,热水提取法提取红花多糖以“提取时间 1.5 h,料液比为 1∶20,提取 3 次,提取温度为 80 ℃”最优,多糖提取效率可达 10.19%,粗多糖中多糖含量为 25.49%。

综上所述,正交法是红花多糖工艺优化的有效方法,提取时间、提取温度、料液比和提取次数是影响红花多糖热水提取法的关键因素。

1.2 超声波辅助提取法 超声波辅助提取法利用超声振动的空化、机械粉碎以及热学等作用,破坏药材细胞,加快药材有效成分的溶出,进而达到高效提取的目的,实现了多糖提取率的大幅增加,但提取技术也对多糖的一级结构产生影响。

比较分析发现以工艺“料液比 1∶25,时间 55 min,温度 65 ℃,功率 80%”最优,多糖提取效率高达 20.35%[10]。超声波用于红花多糖的浸提可以提高其提取率,但经超声处理后红

表 1 红花多糖的提取方法

提取方法	优化方法	优化的提取工艺	提取率/(%)	文献
热水提取	星点设计-效应面法	料液比 1∶16.69,提取温度 91.39 ℃,提取工作时间 89.78 min	7.450	[12]
热水提取	单因素和响应面分析法	提取温度 94.71 ℃,提取时间 1.67 h,水料比 22.04 mL·g^{-1},提取 2 次	2.789	[13]
热水提取	单因素和正交实验设计	料液比 1∶51(g·mL^{-1}),提取温度 94 ℃,提取时间 1.8 h	/	[14]
热水提取	单因素和正交实验设计	提取时间 1.5 h,料液比为 1∶20,提取 3 次,提取温度为 80 ℃	10.190	[9]
热水提取	单因素考察	提取时间 1 h,液料比 30∶1,提取 4 次	6.500	[15]
热水提取	单因素考察	提取时间 2 h,提取 2 次	3.070	[16]
水提醇沉法	响应面分析法	料液比 1∶22.04,提取时间 1.67 h,提取 2 次,提取温度 94.71 ℃	3.000	[13]
水提醇沉法		提取时间 1 h,提取温度 60 ℃	6.010	[46]
水提醇沉法		料液比 1∶20,提取时间 1.5 h,提取温度 80 ℃	10.190	[21]
热水提取	响应面法	固液比 1∶16.69,提取温度 91.39 ℃,提取时间 89.78 min	7.450	[17]
超声波提取	单因素和响应面分析法	料液比 1∶15,提取时间 50 min、提取功率 135.75 W、提取温度 65.5 ℃	16.850	[11]
超声波提取	单因素和正交实验设计	料液比 1∶25 (m∶V),超声温度 69 ℃、超声时间 60 min、超声功率 630 W	14.160	[18]
超声波提取	正交设计	料液比 1∶25,时间 55 min,温度 65 ℃,功率 80	20.350	[10]
超声波提取	单因素考察	料液比 1∶30,时间 45 min×2,温度 85 ℃,提取功率 360 W	/	[76]
超声波提取	正交实验法	料液比 1∶50,时间 2 h,提取功率 600 W	7.000	[19]
超微粉碎结合超声波法	正交实验法	微粉粒度/目为 200;超声提取时间为 2 h;提取功率 600 W	5.700	[19]
亚临界水萃取法	单因素考察	温度 180 ℃,时间 20 min,料液比 1∶30 g/mL	1.080	[75]
碱提法	单因素考察	温度 50 ℃,时间 2 h,液料比 20 mL/g	2.920	[75]
超声波辅助复合酶法	单因素考察	超声温度 50 ℃,超声时间 45 min,料液比 1∶30 g/mL	4.430	[75]
复合酶提取法	单因素考察	酶解温度 50 ℃,酶解时间 1.5 h,料液比 1∶30 g/mL	1.090	[75]
超声波辅助低共熔溶剂萃取	单因素考察	超声温度 80 ℃,超声时间 40 min,料液比 1∶20 g/mL	7.720	[75]

花多糖的高相对分子质量级分降解,相对分子质量分布发生明显变化,胡月等[11]表明红花多糖超声波改性对红花多糖超氧阴离子清除活性影响很大。

综上所述,热水提取和超声波提取是红花多糖应用最广泛的提取方法,目前,热水提取红花多糖的得率通常 <15%,而超声波提取的得率高于热水提取。热水提法是提取多糖最简单、最常用的方法,它具有成本低、操作简单等优点,但也存在浸提时间长、提取率低的缺点。与水提法相比,超声提取能在更短的时间内提取多糖,为提取红花多糖提供了更优的选择。

2 多糖分离纯化

天然多糖大多含有蛋白或色素等杂质,分离纯化时需进行前处理,目前红花多糖的除蛋白方法主要采用 Sevage 法[15,20]或酶联合 Sevage 法。研究显示[21-22]酶联合 Sevage 法除蛋白效果优于 Sevage 法,蛋白去除率可达到 72.34%,多糖保留率为 74.56%,单独使用 Sevage 法效果较差。红花多糖的色素脱除主要采用 H_2O_2[15]、活性炭和大孔吸附树脂[22]。研究显示,H_2O_2 脱色素以工艺"双氧水脱色浓度 20%、pH = 8、脱色温度 60 ℃、时间 180 min"最优[21],活性炭脱色工艺以"温度 40 ℃,吸附时间 30 min,pH = 4,活性炭用量 1.5%"最优[22],大孔吸附树脂脱色工艺以"HPD - 100 型大孔吸附树脂,温度 40 ℃,pH4,多糖浓度 5 mg/mL,流速为 1 mL/min,洗脱剂 pH = 4 蒸馏水"最优[22]。多糖由 10 个以上的单糖分子通过苷键聚合而成,相对分子质量较大,一般由几百个至几百万个单糖分子组成。红花多糖组成复杂,分子量较大,目前主要采用超滤、DEAE - 52 纤维素柱和 Sephadex G - 100 层析柱法从红花多糖中分离纯化得到 CTLP、CTLP - 1、CTLP - 2、SPS1、SPS2、SPS3、CTP、SP - 1、SP - 2 等均一多糖,分离纯化图见插页Ⅻ图 2。

3 结构特征分析

不同方法获得的红花多糖受物质来源、提取纯化方法等诸多因素的影响,具有不同的理化性质,也影响了红花多糖生物活性的强度和多样性,多糖的结构特征主要包括单糖组成、分子量、化学结构和键合信息这几个方面。

3.1 *红花多糖结构表征方法* 植物多糖分子量大,链接方式复杂,结构解析困难一直是制约多糖新药研发的瓶颈。红花多糖的结构特征与其活性密切相关,糖链的研究主要集中在少部分的均一多糖,目前主要采用部分酸水解、高碘酸氧化、Smith 降解、甲基化分析及仪器分析手段(气相色谱、气质联机、红外光谱、核磁共振光谱)等技术对红花多糖的结构开展研究。

3.2 *红花多糖结构特征* 红花多糖主要由果糖、阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、鼠李糖、木糖和甘露糖组成,构型涉及 1→2 和 1→4 型的 α - 吡喃糖、α - D - 葡萄吡喃糖、α 型差向异构体的 C - H 变角 α - D - 葡萄吡喃糖和吡喃环,主要包括均一多糖 CTP、CTLP - 1、CTLP - 2 和 CTPS - 1A,其中 CTLP - 1 单糖组成为阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖组成,摩尔比为 6.7∶4.2∶1,主链糖链为→1) - α - GalAp - (1→4) - α - Arap - (1→2) - α - Glup - (4→,糖苷键类型为 1→2 和 1→4 型的 α - 吡喃糖;CTLP - 2 单糖组成为阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖组成,摩尔比为 16.76∶4.28∶1,结构主链为→1) - α - Galp - (2,6→1) - α - Arap - (4,6→1) - α - Glup - (3→,糖苷键类型为 1→2 和 1→4 型的 α - 吡喃糖;CTP 单糖组成为葡萄糖、半乳糖组成,其摩尔比为 6.08∶1,主链构成为(1→4)Glc,共有 5 个分枝,1 个是以(1→6)Gal 为主分枝,1 个以(1→2)Glc 为分枝,1 个由(1→6)、(1→)Glc 构成,还有 2 个以(1→6)Glc 为分枝。CTPS - 1A 由阿拉伯糖和半乳糖组成,摩尔比为 59.2∶40.8,主链由 - β - Galp - (6→1) - β - Galp - (6→组成,并在 1,6 - β - Galp 的 3 位连有 T - β - Galp,1,3 - β - Galp,T - α - Araf,1,5 - α - Araf,1,3 及 5 - α - Araf 等分支,其主要结构特征如单糖组成、分子量、糖链等如表 2 所示。

3.3 *红花多糖微观特征与构象* 利用扫描电镜(Scanning Electron Microscope,SEM)对纯化后红花多糖的微观特征进行了初步研究,通过红花多糖两组分 CTLP - 1 和 CTLP - 2 的扫描电镜图,可以看出两红花多糖纯化组分片状结构小,较为不规则。在红花多糖粒度为 20 μm 状态下,CTLP - 1 呈碎纸屑状积聚在一起,表面不光滑,内部间隙较小,CTLP - 2 表面较为光滑,分子间间隙较大,在红花多糖粒度为 10 μm 状态下,CTLP - 1 碎片状明显,分子间也存在一定间隙。CTLP - 2 呈片状,表面较为平滑,分子排列较为规则。红花多糖的生物活性高度依赖于其化学结构,本部分对红花多糖化学成分和结构特征进行了详细研究,这对于准确鉴别红花多糖和深入研究红花多糖具有重要意义,红花多糖的结构特征如表 2 所示。

4 药理作用

多糖是红花的重要活性成分之一,近年来的研究表明,从红花中提取的多糖具有抗肿瘤活性、抗氧化活性、改善脑损伤、免疫调节作用以及调节肠道菌群等作用,其主要药理作用如图 3 所示。

4.1 *抗肿瘤活性* 我国癌症发病率和病死率均居首位,根据全球癌症观察站的数据显示,癌症已成为全球导致人类死亡的第二大因素[72],目前对癌症治疗可采用放射、化学药、手术切除等措施,虽然可以延长患者的生存期,但不良反应大、靶向性差、免疫功能容易受损,限制了对癌症的治疗效果,因此寻找具有可获得性、低不良反应的替代药物已成为人们关注的热点/焦点,多糖是一类公认的绿色安全化合物并且研究显示红花多糖对结肠癌、大肠癌、直肠癌、肝癌、胃癌、肺癌、宫颈癌、卵巢上皮癌、人舌鳞癌、黑色素瘤细胞等具有显著抑制作用。红花多糖不仅能外杀伤结肠癌细胞[28],艾亮等[29]研究还表明红花多糖能显著抑制 HT29 结肠癌细胞,诱导 HT29 细胞凋亡;孙伟等[30]表明红花多糖能显著促进人结肠癌 LoVo 细胞凋亡,可调节细胞周期,使结肠癌 LoVo 细胞增殖受到抑制,侵袭能力减弱。红花多糖能阻滞在 HT29 大肠癌细胞 G2/M 期、S 期,其对 HT29 结直肠癌细胞具有明显的抑制作用[31]。红花多糖还可抑制 SMMC - 7721 细胞的增殖,阻滞于 G2/M 期[32-33]。白皓天等[34]和张晓莉等[35]表明红花多糖 SPS 可抑制人肝癌 SMMC - 7721 细胞增殖,并诱导其凋亡和自噬;梁颖[36]发现红

表 2 红花多糖结构特征

名称	分子量/(kDa)	单糖组合物	结构	文献
CTPS－1A	53.80	ara∶gal=59.2∶40.8	主链由－β－Galp－(6→1)－β－Galp－(6→组成,并在1,6－β－Galp 的 3 位连有 T－β－Galp,1,3－β－Galp,T－α－Araf,1,5－α－Araf,1,3 及 5－α－Araf	[7]
SSP1	38.03	Man∶Rib∶Rha∶GluA∶N－Glu∶Glc∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=0.54∶0.19∶0.41∶0.31∶0.11∶4.81∶14.35∶1.05∶13.54∶0.23	主要含有 6 种糖苷键(α－1,3－araf、α－1,3,5－araf、β－1,3,6galp、β－T－Galp、α－1,2,4－rhap 和 α－T－Glcp)	[76]
SSP2	43.17	Man∶Rib∶Rha∶GluA∶GalA∶Glc∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=1.29∶0.31∶1.23∶1.35∶0.10∶3.10∶18.53∶0.53∶11.47∶0.21		[76]
SSP3	54.49	Man∶Rib∶Rha∶GluA∶GalA∶Glc∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=0.73∶0.050∶1.72∶2.32∶0.25∶6.87∶13.90∶0.36∶9.03∶0.20	主要含有 6 种糖苷键(α－1,3－araf、α－1,3,5－araf、β－1,3,6－galp、β－T－Galp、α－1,2－rhap、β－1,2－glcp、β－1,3－glcp 和 α－1,3－galp)	[76]
SSP4	76.92	Man∶Rha∶GluA∶GalA∶Glc∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=1.02∶1.75∶2.80∶0.39∶6.49∶12.25∶0.27∶9.94∶0.05		[76]
CTLP－1	5.90	Ara∶Glu∶Gal=6.7∶4.2∶1	骨架为→1)－α－GalAp－(1→4)－α－Arap－(1→2)－α－Glup－(4→	[77]
CTLP－2	8.20	Ara∶Glu∶Gal=16.76∶4.28∶1	骨架为→1)－α－Galp－(2,6→1)－α－Arap－(4,6→1)－α－Glup－(3→	[77]
CSP		Man∶Rib∶Rha∶GluA∶GalA∶氨基 Glu∶Glu∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=0.238∶0.089∶1.071∶0.290∶0.278∶0.007∶3.931∶4.787∶0.408∶1.787∶0.163		[75]
SSPs1		Man∶Rib∶Rha∶GluA∶glucosamine∶Glu∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=0.54∶0.19∶0.41∶0.31∶0.11∶4.81∶14.35∶1.05∶13.54∶0.23		[75]
SSPs2		Man∶Rib∶Rha∶GluA∶GalA∶Glu∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=1.29∶0.31∶1.23∶1.35∶0.10∶3.10∶18.53∶0.53∶11.47∶0.21		[75]
SSPs3		Man∶Rib∶Rha∶GluA∶GalA∶Glu∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=0.73∶0.05∶1.72∶2.32∶0.25∶6.87∶13.90∶0.36∶9.03∶0.20		[75]
SSPs4		Man∶Rha∶GluA∶GalA∶Glu∶Gal∶Xyl∶Ara∶Fuc=1.02∶1.75∶2.80∶0.39∶6.49∶12.25∶0.27∶9.94∶0.05		[75]
CTLP	6.40	Fru∶Ara∶Glu∶Gal=8.1∶4.6∶3.2∶1		[11]
CTLP－1	5.90	Ara∶Glu∶Gal=6.7∶4.2∶1	主要为 1→2 和 1→4 型的 α－吡喃糖,推测其主链为→1－α－GalAp－(1→4)－α－Arap－(1→2)－α－Glup－(4→	[11]
CTLP－2	8.20	Ara∶Glu∶Gal=16.76∶4.28∶1	主要为 1→2 和 1→4 型的 α－吡喃糖。推测其主链为→1)－α－Galp－(2,6→1)－α－Arap－(4,6→1)－α－Glup－(3→	[11]
SPAW	78.00	Glu	主链由(1→3)链 β－D－Glcp 的重复单元组成,即→3)－β－D－Glcp－(1→)1,4,6－β－Glcp 重复骨架,以摩尔比 1∶1 沿主链 C6 位连接 T－β－Glcp	[78]
SPS	71.00	Glu		[55]
SP－1	5.13	Man∶Glu∶Gal=8.4∶3.7∶1		[21]
SP－2	37.00	Glu∶Man∶Xyl∶Rha=21.57∶7.1∶1.64∶1		[21]
西红花多糖		Fuc、Rha、Ara、Man、Glu、Gal 和 Fru		[16]
SPS2	9.33	Rha、Ara、Xyl、Man、Glu、Gal=4.44∶1.46∶4.51∶5.82∶8.23∶19.38		[24]
SPS3	5.86	Rha、Ara、Glu、Gal=2.93∶11.19∶33.68∶3.48		[24]

花多糖 SPS 抑制人肝癌细胞 SMMC－7721 生长呈明显量效和时效关系;何素芳等[37]表明红花多糖对肝癌 H22 荷瘤小鼠有一定的抑瘤作用;徐永斌等[27]表明 CTPS－1A 红花均一多糖通过增强细胞核收缩和细胞凋亡对 HepG2 的生长具有抑制作用。红花多糖具有抗胃癌的作用,红花多糖对胃癌 BGC－823 细胞增殖具有明显的抑制作用,且呈一定的时间与剂量依

赖[38]。刘超等[39]表明红花多糖 SPS 可抑制胃癌 MGC－803 细胞增殖和侵袭并诱导细胞周期阻滞于 G_0/G_1 期，降低克隆形成率、侵袭细胞数；王婷婷等[40]表明红花多糖 SPS 能明显抑制胃癌 SGC－7901 细胞增殖；马新博等[41－42]表明红花多糖 SPS 可以降低人胃癌 SGC－7901 细胞 MMP，同时能明显抑制 SGC－7901 细胞体外增殖并可诱导细胞凋亡。红花多糖具有抗肺癌作用[43]，可以抑制多种肺癌细胞系的迁移和运动能力[44]。董娅等[45]表明红花多糖能明显抑制人非小细胞肺癌 A549 细胞的增殖，诱导 A549 细胞的凋亡。红花多糖对人乳腺癌 MCF.7 细胞具有显著抑制作用，阻滞于 G1 期，可有效改善乳腺癌 MCF.7 细胞皮下移植瘤裸鼠生活质量，抑制体质量降低和肿瘤生长，且并未引发明显不良反应，具有较好的体内抑瘤作用[46]。刘楠[47]表明红花多糖能有效抑制 MDA－MB－435 细胞（人乳腺癌高转移细胞）的生长，促进其凋亡。红花多糖可促进宫颈癌细胞凋亡，抑制宫颈癌细胞增殖，通过抑制血管内皮生长因子（Vascular endothelial growth factor，VEGF）的表达抑制宫颈癌 Hela 细胞的增殖，发挥抗肿瘤作用[48]，YANG J 等[49]表明红花多糖 SPS 是开发抗宫颈癌癌症药物的候选药物。另外，红花多糖对人卵巢上皮癌细胞增殖、转移具有抑制作用[50]，可抑制人舌鳞癌 HN－6 细胞及人舌鳞癌移植瘤的增殖、凋亡及调控人舌鳞癌 HN－6 细胞周期，主要表现为细胞周期阻滞在 G_0/G_1 期[51]。丁蕾[52]表明红花多糖呈剂量依赖性抑制 SCL－1（皮肤鳞状细胞－癌细胞）细胞增殖和迁移，并诱导细胞凋亡。张云超[53]表明红花多糖 SPS 可能通过上调 Notch1 信号通路调控巨噬细胞向 M1 型极化抑制黑色素瘤细胞的侵袭与迁移，从而起到抑制黑色素瘤的作用。本段系统阐述了红花多糖抗肿瘤活性的相关研究，并总结了影响红花多糖抗肿瘤活性的因素，为红花多糖的利用和开发提供一定的理论基础，并希望能够为肿瘤患者的治疗提供一定的帮助。

4.2 抗氧化活性 自由基不仅关系到人类的衰老，而且与许多疾病的发生、发展和治疗密切相关，过量的自由基无法被机体正常的抗氧化保护机制所消耗，会侵蚀正常机体的各种功能，导致机体损伤，在体内蓄积易引发细胞氧化，导致癌症、获得性免疫缺陷综合征（Acquired Immunodeficiency Syndrome，AIDS）、神经退行性疾病、心脏病和糖尿病等疾病[73]，清除体内自由基是必不可少的，而红花多糖具有较好抗氧化活性，可延缓或阻止氧化应激反应。因此，建立快速筛选多糖复杂体系中的抗氧化活性成分具有重要现实意义[74]。胡月[11]表明红花多糖 CTLP 具有较强的羟基自由基清除活性，抗氧化作用呈现浓度依赖性；任丽君[14]表明红花多糖在高浓度时其对 DPPH·和·OH 具有清除能力，对铜离子具有较强的还原能力。万亚菲[54]表明红花多糖可明显清除自由基、减轻活性氧造成的损伤，从而起到抗肿瘤的作用。

4.3 改善脑损伤 脑损伤是指暴力作用于头部造成脑组织器质性损伤，根据伤后脑组织与外界相通与否分为开放性及闭合性脑损伤。近年来中医药在治疗脑出血疾病中发挥重要作用，研究证实红花多糖具有减轻脑水肿、活血化瘀、减轻脑内炎症因子的表达等功效，可改善脑损伤。CUI D 等[55]表明红花多糖 SPS 具有 1，4，6－β－Glcp 的重复骨架，其在沿着主链的 C6 位置以 1∶1 的摩尔比与 T－β－Glcp 连接，能降低地塞米松诱导的小鼠股骨头骨密度，改变异常组织病理学，逆转空腔隙率增加和骨细胞凋亡率显著，可能是治疗激素性股骨头缺血性坏死的潜在药物。朱留鑫[56]表明红花多糖能降低脑组织含水量、活性氧自由基（Reactive Oxygen Species，ROS）水平及 IL－6、IL－1β、IL－18、TNF－α、NLRP3、ASC 和 cleaved Caspase1 蛋白表达水平，可通过抑制 NLRP3 和 cleaved Caspase 1 表达，改善 SAH 大鼠早期脑损伤[57]；任德启[58]表明红花多糖能改善大鼠神经功能缺陷，梗死区体积比及含水量，降低脑组织 TNF－α 和 IL－1β 的量，增加 IL－10 量，降低 Caspase－3 与 PARP 表达。

4.4 免疫调节 免疫调节是指免疫系统中的免疫细胞和免疫分子之间，以及与其他系统如神经内分泌系统之间的相互作用，使得免疫应答以最恰当的形式使机体维持在最适当的水平。研究表明，红花多糖 SPS 可促进 PBMC 的增殖，增强 NK 细胞、LAK 细胞的杀伤活性，增强免疫功能[59]。石学魁[60]发现红花多糖 SPS 对 PBMC 增殖有促进作用，增强免疫功能。黄虹等[61－62]表明由葡萄糖、木糖、阿拉伯糖和半乳糖的 β 键连接的一种红花多糖，能增强小鼠脾脏的抗体形成细胞数。本段对近年来红花多糖体内免疫调节作用机制研究进行总结，以期为红花多糖免疫调节机制研究提供一定的技术参考。

4.5 其他活性 红花多糖还具有抗病原微生物、改善肠道菌群、抑制血管生成、治疗慢性创伤等功能。代书景[63]表明红花多糖能显著增加小鼠肠道菌群中毛螺菌属、粪球菌属、真杆菌属、萨特菌属等的相对比例，减少副拟杆菌属的含量；梁颖[64]表明红花多糖具有抑制血管生成的作用；EL－GHOUL Y 等[65]表明红花多糖提取物可治疗慢性创伤；王妍等[66]表明红花多糖能显著增加双歧杆菌和乳酸杆菌数量，显著减少肠杆菌和肠球菌数量、降低 TNF－α 水平，对小鼠的肠道菌群失调具有调节作用，并使其恢复正常状态。

5 作用机制

研究显示，红花多糖在结肠癌、肝癌、胃癌、肺癌、乳腺癌、卵巢上皮细胞癌、宫颈癌、H22 荷瘤、S180 肉瘤、舌鳞癌、免疫调节、肠道菌群调节、改善脑损伤等药效方面均开展了分子机制研究。值得注意的是，红花多糖抗肿瘤机制研究一直是热点内容，机制调控主要与 SNAI2、WNT5A、WNT5B、β－catenin、c－Myc、Cyclin D1、VEGF、MMP－9、Bax、Bcl－2、Caspase－3、IFN－γ、p53mRNA、Bax mRNA、VEGF，Ki67、Ang－2、COX－2、PTEN、Cleaved Caspase－3 基因表达有关，抗肿瘤药效存在多靶点、多通路等特点，分子机制研究见表 3，红花多糖的生物活性及其内在机制的研究见插页Ⅻ图 3。

6 小结与展望

红花作为一种极具开发前景的中药资源，越来越受到人们的重视，在我国种植面积广阔，产业价值巨大，同时深入研究和开发应用红花药材，不仅会为医疗领域带来意想不到的效果，还可以发展红花药材的种植、生产，从而带动地方经济发展。多糖作为主要的活性物质，目前已通过热水提取法和超声提取

表 3 红花多糖分子机制研究

成分	药效	机制	文献
红花多糖	结肠癌	可能与阻滞细胞 G2/M 期、S 期,及上调 Caspase－3 蛋白的表达有关	[29]
红花多糖 SPS	结肠癌	可能与 SPS 调控 NK 细胞 TNF－α、IFN－γ 分泌及活化性受体和活化性配体表达水平有关	[28]
红花多糖	结肠癌	可能与 Bax、Bcl－2、Caspase－3 的信号通路有关	[30]
红花多糖	结肠癌	阻断 G2/M 期、S 期细胞以及上调 Caspase－3 蛋白表达	[31]
红花多糖	抗肝癌	抑制 PI3K/AKT/mTOR 信号通路有关	[34]
红花多糖	抗肝癌	诱导肝癌 SMMC－7721 细胞凋亡	[36]
红花多糖	抗肝癌	诱导 ROS 产生而使细胞增殖阻滞,通过抑制细胞周期相关基因的表达,诱导肝癌细胞增殖阻滞,进而起到抗肿瘤作用	[33,67]
红花多糖	抗肝癌	上调 Bax 的表达及下调 Bcl－2 的表达和降低线粒体膜电位有关	[35]
红花多糖	抗胃癌	降低细胞内 β－catenin、c－Myc、Cyclin D1、VEGF、MMP－9 蛋白的表达水平,机制可能与抑制 Wnt/β－catenin 信号通路有关	[39]
红花多糖	抗胃癌	提高 Bax 基因表达、降低 Bcl－2 基因表达,而诱导胃癌 SGC－7901 细胞凋亡	[68]
红花多糖	抗肺癌	增强 CTL,NK 细胞的细胞毒活性有关	[43]
红花多糖	抗肺癌	调控 EMT 过程相关的基因如 E－Cadherin 等,从而造成了细胞的迁移运动能力减弱,对 SNAI2、WNT5A、WNT5B 等癌基因也存在转录水平的表达抑制	[44]
红花多糖	抗乳腺癌	通过对 PI3K/AKT/mTOR 通路的阻断实现的	[47]
红花多糖	抗乳腺癌	可显著上调 p53mRNA 及 Bax mRNA 的表达水平,下调 Bcl. 2 mRNA 表达水平。调节凋亡基因表达可能是红花多糖发挥抗肿瘤作用	[46]
红花多糖	卵巢上皮细胞癌	抑制 β－catein 蛋白的表达,抑制卵巢上皮细胞癌的转移能力,进而起到抗肿瘤作用	[50]
红花多糖	宫颈癌	可能与 VEGF、Notch 信号通路有关,抑制癌细胞转移机制与 MMP－9 蛋白表达减少有关	[48]
红花多糖	宫颈癌	抑制 VEGF 的表达抑制宫颈癌 Hela 细胞的增殖,发挥抗肿瘤作用	[69]
红花多糖	宫颈癌	SPS 诱导的细胞凋亡可能通过下调磷脂酰肌醇－3－激酶/AKT 途径发生	[49]
红花多糖	H22 荷瘤	调节瘤细胞 VEGF,Ki67 表达	[37]
红花多糖	S180 肉瘤	提高荷瘤鼠血清 IL－12 和 TNF－α 的含量,降低 IL－10 含量,从而起到调节细胞免疫功能及抑制肿瘤生长的作用	[70]
红花多糖	抗肿瘤	红花多糖具有抑制肿瘤组织生长的作用,可降低肿瘤组织中 Ang－2 的表达,从而增强 PTEN 蛋白的表达	[71]
红花多糖	舌鳞癌	下调人舌鳞癌 HN－6 细胞及人舌鳞癌移植瘤 COX－2、Bcl－2 mRNA 表达,上调 Cleaved Caspase－3、Bax mRNA 表达。红花多糖可下调 COX－2、Bcl－2 蛋白表达,上调 Bax 和 Cleaved Caspase－3 蛋白表达	[51]
红花多糖	免疫调节	提高 IL－2 和 IFN－γ 水平	[60]
红花多糖	肠道菌群调节	提高小鼠肠黏膜 sIgA 含量,抑制血浆内毒素含量并通过增加肠道有益菌、降低致病菌、部分恢复和改善肠道菌群而发挥对微生态失调小鼠肠道菌群结构的调整作用	
红花多糖	改善脑损伤	红花多糖可通过抑制 NLRP3 和 cleaved Caspase 1 表达	[56]
红花多糖	改善脑损伤	降低脑组织 TNF－α 和 IL－1β 的量,增加 IL－10 量,降低 Caspase－3 与 PARP 表达	[58]

法优化提取率,最优提取率可达到 10. 19% 和 20. 35%,并且通过醇沉、超滤、除蛋白、脱色和柱色谱从总多糖中分离纯化得到均一多糖 CTLP、CTLP－1、CTLP－2、SPS1、SPS2、SPS3、CTP、SP－1、SP－2 等成分。药效研究显示,红花多糖具有抗结肠癌、肝癌、胃癌、肺癌、乳腺癌、卵巢上皮细胞癌、宫颈癌、H22 荷瘤、S180 肉瘤、舌鳞癌、免疫调节、肠道菌群调节、改善早期脑损伤、抗氧化、抑制血管生成等作用。特别是在抗肿瘤药效研究方面,研究较为深入,可作为潜在的抗肿瘤制剂开发,具有广阔的前景。

虽然红花多糖的研究取得了重大进展,但红花多糖无论是药用还是食用价值的开发利用仍有许多机遇和挑战亟待解决。首先,多糖活性属于结构片段,现代先进的提取工艺虽提高了多糖的提取效率,如超声和微波等,但往往会破坏多糖的空间结构从而改变生物活性,因此,有必要建立多糖的提取标准。其次,多糖的构效关系研究较为薄弱,特别是结构修饰或其他结构改性,胡月[11]表明红花多糖通过 $NaNO_2$ 降解对 Fe^{2+} 螯合活性、羟基自由基清除活性和 DPPH 自由基清除活性影响最大;超声波改性对超氧阴离子清除活性影响最大;羧甲基化对羟基自由基清除活性影响最大;乙酰化对羟基自由基清除活性和 DPPH 自由基清除活性影响最大;硫酸化对 Fe^{2+} 螯合活性影响最大,表明红花多糖结构特征与药效密切相关,值得深入研究。另外,均一多糖药效机制研究不足,主要集中在总多糖上,有必要深入开展活性筛选和机制研究。

总的来说,红花多糖由于其各种有益作用而引起了人们的极大兴趣,无可否认,红花多糖在现代医学和功能食品领域具有巨大的开发潜力,相信红花多糖在医疗和功能食品方面具有广阔的市场和应用前景,因此本研究通过系统查阅文献进行分析,总结了红花多糖提取工艺、分离纯化、药理作用和可能的生

物活性机制,为其资源化学成分的利用提供重要的参考。

参考文献

[1] 白光剑,陈少丹,张普照,等. 百合多糖的化学结构表征和生物活性研究进展[J]. 中草药,2022,53(20):6583 - 6592.

[2] 杨宇,黄兴琳,江忠敏,等. 中药红花化学成分与药理作用研究新进展[J]. 中华中医药学刊,2023,41(10):119 - 126.

[3] 扈晓佳,殷莎,袁婷婷,等. 红花的化学成分及其药理活性研究进展[J]. 药学实践杂志,2013,31(3):161 - 168.

[4] 李响,俱蓉,李硕. 红花化学成分药理作用研究进展及质量标志物预测分析[J]. 中国现代中药,2021,23(5):928 - 939.

[5] 安素妨,许兰杰,杨红旗,等. 红花化学成分及分子育种研究进展[J]. 甘肃农业科技,2022,53(3):5 - 12.

[6] 李馨蕊,刘娟,彭成,等. 红花化学成分及药理活性研究进展[J]. 成都中医药大学学报,2021,44(1):102 - 112.

[7] 武永刚,李雪莹,王苏丽,等. 红花黄色素化学成分及对心脑血管作用研究进展[J]. 齐鲁药事,2011,30(8):481 - 484.

[8] 业康,朱韵辰,蔡犇,等. 红花多糖药理学作用研究进展[J]. 中医药导报,2021,27(8):115 - 119.

[9] 王艳艳,王团结. 红花多糖提取工艺优化研究[J]. 现代中药研究与实践,2010,24(6):56 - 58.

[10] 杨炫露,温静雅,卢运超. 超声波法提取红花多糖工艺研究[J]. 求医问药(下半月),2012,10(9):526.

[11] 胡月. 红花多糖的结构分析及其抗氧化活性研究[D]. 石河子:石河子大学,2020.

[12] 王锐,李娅兰,白皓天,等. 基于星点设计 - 效应面法优化红花多糖提取工艺研究[J]. 海南医学院学报,2022,28(5):332 - 338.

[13] 邓蓉,邹义芳,任爱农,等. 响应面分析法优化红花多糖的提取工艺[J]. 现代中药研究与实践,2013,27(3):40 - 44.

[14] 任丽君,袁洁,姚军. 新疆不同产地红花多糖含量测定及抗氧化活性研究[J]. 新疆医科大学学报,2018,41(2):229 - 233.

[15] 徐永良,王得利,石学魁. 红花多糖提取纯化方法研究[J]. 微量元素与健康研究,2012,29(3):17 - 19.

[16] 饶君凤,吕伟德,章卓梁,等. 离子色谱 - 脉冲安培法分析西红花多糖的单糖组成[J]. 浙江大学学报(理学版),2015,42(3):330 - 333.

[17] YANG B J. Optimization of extraction technology of safflower polysaccharide based on central composite design - response surface methodology[J]. 海南医学院学报:英文版,2022,28(5):11 - 17.

[18] 袁洁,王磊,任丽君,等. 红花多糖超声提取的条件优化及其红外光谱分析[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(2):351 - 357.

[19] 杨婧,张帅,王冬梅,等. 超微粉碎联合超声法提取红花中多糖工艺研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2014,30(3):354 - 356.

[20] 张晓莉,李玉婷,王亚贤,等. 红花多糖的提取与含量测定[J]. 中国实验方剂学杂志,2010,16(7):19 - 21.

[21] 何素芳. 红花多糖的初步研究[D]. 南京:江苏大学,2009.

[22] 邹义芳. 红花多糖的分离、纯化与化学结构研究[D]. 南京:江苏大学,2011.

[23] 邢喜平,任春贞,蒋虎刚,等. 基于 Rho/Rock 通路探讨当归红芪多糖对辐射诱导大鼠 H9C2 心肌细胞的作用机制[J]. 辽宁中医杂志,2021,48(7):228 - 231.

[24] 任爱农,邹义芳,陆颖,等. 红花多糖的分离纯化及单糖组成分析[J]. 药物分析杂志,2013,33(7):1190 - 1196.

[25] HUO X,LIANG Z Y,ZHANG Y J,et al. Separation,purification and initial research of water - soluble polysaccharide CTP from Carthamus tinctorius[M]. Chinese Pharmaceutical Journal,2005.

[26] 霍贤,梁忠岩,张雅君,等. 红花水溶性多糖 CTP 的结构研究[J]. 高等学校化学学报,2005,26(9):1656 - 1658.

[27] 徐永斌,冯帅霞,陈洁,等. 红花均一多糖的结构表征及抑制 HepG2 增殖活性[J]. 高等学校化学学报,2023,44(4):60 - 69.

[28] 韦喜生,刘英香,郑晓君. NK 细胞联合红花多糖对结肠癌细胞的杀伤作用及机制研究[J]. 中国免疫学杂志,2020,36(5):571 - 576.

[29] 艾亮,程俊,李晓清,等. 红花多糖可显著抑制 HT29 结直肠癌细胞增殖[J]. 基因组学与应用生物学,2019,38(6):2781 - 2786.

[30] 孙伟,童仕伦,郑勇斌,等. 红花多糖对人结肠癌 LoVo 细胞增殖、凋亡、侵袭作用机制研究[J]. 安徽医药,2016,20(6):1045 - 1050.

[31] LIANG A,JIANGHONG Z,TAIJUN Z,et al. Analysis of the inhibitory effect of safflower polysaccharide on HT29 colorectal cancer cell proliferation and its relevant mechanism[J]. Allied Academies,2017(7):112 - 115.

[32] 孙阳,史默怡,石学魁,等. 活性氧在红花多糖抑制人肝癌 SMMC - 7721 细胞增殖中的作用[J]. 中医药信息,2013,30(1):112 - 114.

[33] 孙阳,张琪琪,石学魁,等. 红花多糖诱导 SMMC - 7721 细胞增殖阻滞的实验研究[J]. 中国免疫学杂志,2013,29(12):1269 - 1271.

[34] 白皓天,杨婧,李娅兰,等. 红花多糖对人肝癌细胞凋亡和自噬的影响及潜在机制[J]. 中国药房,2022,33(24):2962 - 2967.

[35] 张晓莉,程翔,刘洋,等. 红花多糖对人肝癌 SMMC - 7721 细胞 Bcl - 2 与 Bax 基因转录及蛋白表达的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2012,18(14):239 - 244.

[36] 梁颖,张晓莉,陶冀,等. 红花多糖对人肝癌 SMMC - 7721 细胞增殖的抑制作用[J]. 中医药学报,2011,39(5):32 - 35.

[37] 何素芳,王志刚,任爱农,等. 红花多糖对 H22 荷瘤小鼠的抑瘤作用及瘤细胞 VEGF,Ki67 表达的影响[J]. 中国中药杂志,2009,34(6):795 - 797.

[38] 江茹,史明珺,吴小峰. 红花多糖对胃癌 BGC - 823 细胞增殖抑制作用的研究[J]. 山东化工,2021,50(2):62 - 64.

[39] 刘超,姬乐,白铁成. 红花多糖对胃癌 MGC - 803 细胞增殖和侵袭的影响[J]. 现代肿瘤医学,2020,28(4):569 - 573.

[40] 王婷婷,石学魁,孙阳,等. 红花多糖对人胃癌细胞 SGC - 7901 凋亡的形态学实验研究[J]. 中医药信息,2015,32(2):19 - 21.

[41] 马新博,石学魁,宫汝飞,等. 红花多糖对人胃癌 SGC - 7901 细

胞线粒体膜电位及增殖的影响[J]. 广东医学,2013,34(7):1002 - 1005.

[42] 马新博,周振座,宫汝飞,等. 红花多糖对人胃癌 SGC - 7901 细胞抑制作用的初步研究[J]. 广西医学,2012,34(11):1444 - 1446.

[43] 石学魁,阮殿清,王亚贤,等. 红花多糖抗肿瘤活性及对 T739 肺癌鼠 CTL,NK 细胞杀伤活性的影响[J]. 中国中药杂志,2010,35(2):215 - 218.

[44] 王婷婷. 红花多糖抑制肺癌细胞系发生上皮间质化转化的机制研究[D]. 哈尔滨:黑龙江中医药大学,2016.

[45] 董娅,赵钰玲,范亚莉,等. 红花多糖对人非小细胞肺癌 A549 细胞增殖和凋亡的影响[J]. 临床肺科杂志,2017,22(11):2045 - 2048.

[46] 罗忠兵. 红花多糖对乳腺癌细胞 MCF - 7 增殖和凋亡的调节作用[D]. 广州:南方医科大学,2015.

[47] 刘楠,朱琳,李纳,等. 红花多糖通过阻断 PI3K/Akt/mTOR 通路诱导人乳腺癌 MDA - MB - 435 细胞凋亡的机制研究[J]. 中草药,2018,49(18):4374 - 4379.

[48] 张静,姚霞,李晓苗,等. 红花多糖对人宫颈癌 Hela 细胞增殖、凋亡及侵袭作用机制研究[J]. 长治医学院学报,2017,31(3):175 - 180.

[49] YANG J, WANG R, FENG Q, et al. Safflower polysaccharide induces cervical cancer cell apoptosis via inhibition of the PI3K/Akt pathway[J]. South African Journal of Botany, 2018, 118: 209 - 215.

[50] 曾俐娟,杨晨露. 红花多糖对人卵巢上皮癌细胞增殖、转移的影响及机制探讨[J]. 江西医药,2017,52(9):901 - 904.

[51] 周海燕. 红花多糖对人舌鳞癌 HN - 6 细胞干预作用机制的研究[D]. 哈尔滨:黑龙江中医药大学,2016.

[52] 丁蕾,白慧英,严玉月. 红花多糖通过 circ_0014130/miR - 127 - 5p 对皮肤鳞状细胞癌细胞的影响[J]. 中国免疫学杂志,2022,38(3):353 - 357.

[53] 张云超,马金昀,程晓东. 红花多糖诱导巨噬细胞 M1 型极化及抑制黑色素瘤细胞侵袭迁移的实验研究[J]. 免疫学杂志,2021,37(5):380 - 389.

[54] 万亚菲. 红花多糖对 H22 荷瘤小鼠的免疫调节和抗氧化功能的影响[J]. 北方药学,2016,13(4):111 - 112.

[55] CUI D, ZHAO D, HUANG S. Beneficial contribution of a safflower (*Carthamus tinctorius* L.) polysaccharide on steroid - induced avascular necrosis of the femoral head in rats[J]. International journal of biological macromolecules, 2019, 123: 581 - 586.

[56] 朱留鑫,杨建,司东明,等. 红花多糖抑制 NLRP3 对蛛网膜下腔出血大鼠早期脑损伤的改善作用[J]. 河南中医,2022,42(9):1352 - 1357.

[57] 李蕊,马辉,史胜奇. 黄芪多糖通过调控 Wnt 信号通路对关节炎大鼠软骨细胞凋亡及 CHRNA7/MMP 水平的影响[J]. 辽宁中医杂志,2023,50(3):188 - 192,224.

[58] 任德启,孟毅,乔明亮,等. 红花多糖对大鼠脑缺血再灌注损伤的保护作用及机制[J]. 中成药,2016,38(6):1379 - 1382.

[59] 周明瑶,阮殿清,陈德欣,等. 红花多糖对人 PBMC 增殖活性及 NK、LAK 细胞杀伤活性的影响[J]. 中医药信息,2010,27(1):47 - 49.

[60] 石学魁,阮殿清,陶冀,等. 红花多糖对人 PBMC 增殖活性及分泌细胞因子的影响[J]. 天津中医药,2010,27(4):337 - 339.

[61] 黄虹,俞曼雷,翟世康,等. 红花多糖的免疫活性研究[J]. 中草药,1984,15(5):21 - 24.

[62] 朱银花,吴青燕,张娜娜,等. 铁皮石斛多糖调控 JAK2/STAT5 通路抑制非酒精性脂肪肝小鼠肝脏内质网应激作用分析[J]. 实用中医内科杂志,2024,38(3):80 - 83,153.

[63] 代书景,石学魁,佟雷,等. 红花多糖对肠道微生态失调小鼠肠黏膜 sIgA、血浆内毒素和肠道菌群的影响[J]. 中国微生态学杂志,2022,34(1):12 - 17.

[64] 梁颖,王亚贤. 红花多糖对鸡胚绒毛尿囊膜血管生成的影响[C]//规范治疗与科学评价——第五届国际中医、中西医结合肿瘤学术交流大会暨第十四届全国中西医结合肿瘤学术大会论文集,2014:867 - 870.

[65] EL - GHOUL Y, ALMINDEREJ F M. Bioactive and superabsorbent cellulosic dressing grafted alginate and Carthamus tinctorius polysaccharide extract for the treatment of chronic wounds[J]. Textile Research Journal, 2021, 91(3 - 4): 235 - 248.

[66] 王妍,佟雷,张静,等. 红花多糖对菌群失调小鼠肠道菌群及细胞因子的影响[J]. 牡丹江医学院学报,2023,44(2):17 - 19.

[67] 孙阳,杨婧,张琪琪,等. 红花多糖对肝癌细胞增殖阻滞的机制探讨[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,20(13):156 - 159.

[68] 马新博,杨婧,陈丽,等. 红花多糖对人胃癌 SGC - 7901 细胞凋亡相关基因 Bcl - 2 和 Bax 表达的影响[J]. 广东医学,2012,33(24):3698 - 3700.

[69] 杨婧,戚基萍,王锐,等. 红花多糖对人宫颈癌 Hela 细胞增殖和 VEGF 表达的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2016,22(8):111 - 114.

[70] 马新博,赵鸿鹰,李媛媛,等. 红花多糖对荷 S180 肉瘤小鼠血清 IL - 10 和 IL - 12 及 TNF - α 的影响[J]. 广东医学,2013,34(13):1984 - 1986.

[71] 周海燕,王海娇,王婷婷,等. 红花多糖对荷瘤鼠 Ang - 2、PTEN 蛋白表达的影响[J]. 中医药学报,2015,43(5):40 - 44.

[72] AUSVYDAS PATASIUS, GIEDRE SMAILYTE. Recent Global Patterns in Prostate Cancer Incidence and Mortality Rates[J]. European Urology, 2020, 77(5): 2 - e132.

[73] 施树云,郭柯柯,彭胜,等. DPPH - HPLC - QTOF - MS/MS 快速筛选和鉴定杜仲黑茶中抗氧化活性成分[J]. 天然产物研究与开发,2018,30(11):1913 - 1917.

[74] 孙宇,陈雪,唐守祥,等. 黄芪中主要成分含量测定及其抗氧化活性研究[J]. 化学试剂,2023,45(12):90 - 97.

[75] 王琼琼. 新疆无刺红花功能因子提取、鉴定及其生物活性研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2021.

[76] WANG Q, LIU S, XU L, et al. Purification, characterization and bioactivities of polysaccharides extracted from safflower (*Carthamus tinctorius* L.)[J]. Molecules, 2023, 28(2): 596.

[77] LIN D, XU C J, LIU Y, et al. Chemical structures and antioxidant activities of polysaccharides from *Carthamus tinctorius* L[J]. Polymers (Basel), 2022, 14(17): 3510.

[78] G. M. FELDMAN. On a Characterization theorem on a - adic solenoids[J]. Doklady Mathematics, 2019, 100(3): 538 - 541.

红花多糖提取工艺、结构特征及药理活性研究进展

（正文见 50－57 页）

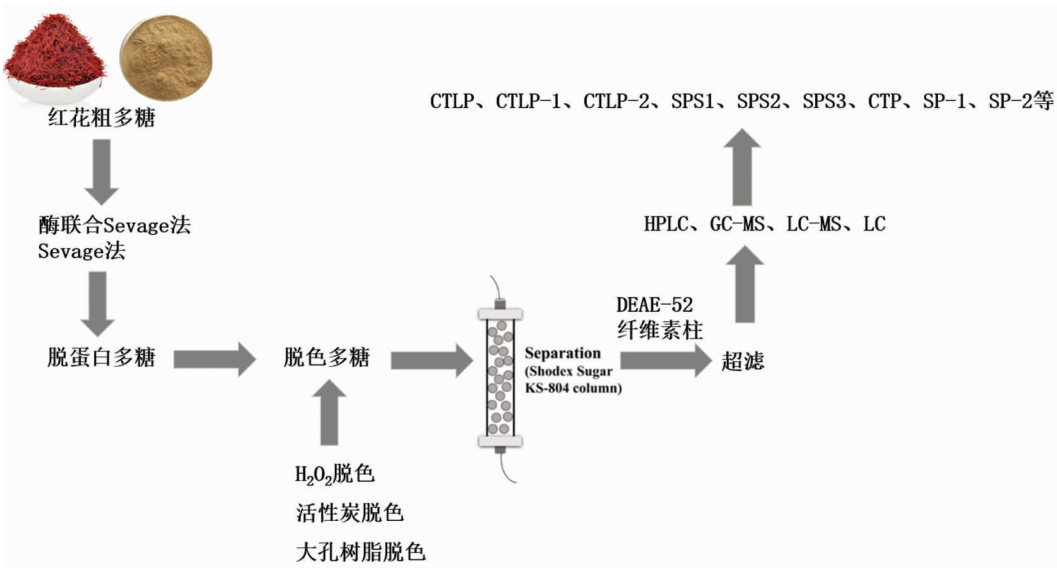


图 1　红花分离纯化流程图

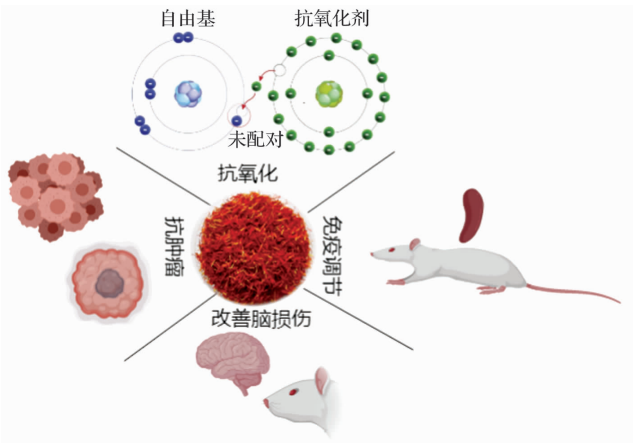


图 2　红花多糖主要的药理作用

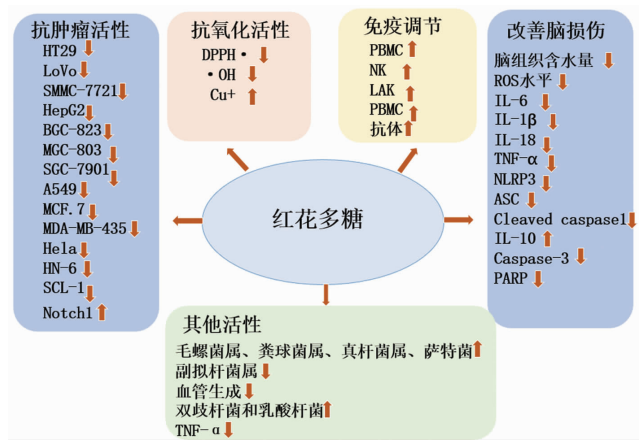


图 3　红花多糖的生物活性及其内在机制