

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80909

菟丝子黄酮类化合物的提取纯化工艺 及生物活性研究进展

李仁馨^{1,2} 熊 英^{1,2} 宋 辉^{1,2}

(1. 哈尔滨商业大学药学院, 黑龙江 哈尔滨 150076;

2. 哈尔滨商业大学药物工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150076)

摘要:菟丝子是中国传统的中草药和保健食品原料,黄酮类化合物是其主要功能活性成分之一。文章系统综述了菟丝子黄酮类化合物的提取纯化技术,主要包括回流提取法、超声波辅助提取法、索氏提取法、微波辅助提取法、闪式提取法、酶解水提法、超临界 CO₂ 萃取法等多种方式,阐述了菟丝子黄酮类化合物的生殖保护、抗肿瘤、抗氧化应激、保肝护肾及免疫调节等多种生物活性及其相关作用机制,并展望了其在绿色智能提取、作用机制解析及应用方面的发展前景。

关键词:菟丝子;黄酮类化合物;提取纯化;生物活性;作用机制

Research progress in the extraction and purification processes and biological activities of flavonoids from *Cuscutae Semen*

Li Renxin^{1,2} Xiong Ying^{1,2} Song Hui^{1,2}

(1. School of Pharmacy, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China; 2. Pharmaceutical Engineering Technology Research Center, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China)

Abstract: *Cuscutae Semen* is a Chinese herbal medicine and a raw material for health foods in China, with flavonoids being a group of its main functional components. This article provides a systematic review of the extraction and purification techniques-reflux, ultrasonic, Soxhlet, microwave-assisted, flash, enzymatic hydrolysis, and supercritical CO₂ extraction methods-of flavonoids from *Cuscutae Semen*. Furthermore, it elaborates on the biological activities such as reproductive protection, anti-tumor effect, anti-oxidative stress effect, liver and kidney protection, and immune regulation of flavonoids from *Cuscutae Semen*, as well as their related mechanisms. Moreover, this paper makes an outlook on the development prospects of flavonoids in *Cuscutae Semen* in terms of green intelligent extraction, mechanism analysis, and applications.

Keywords: *Cuscutae Semen*; flavonoid; extraction and purification; biological activity; mechanism

菟丝子为旋花科植物南方菟丝子(*Cuscuta australis* R. Br.)或菟丝子(*Cuscuta chinensis* Lam.)的干燥成熟种子^[1],是中国传统的中草药和保健食品原料,富含黄酮类、多糖类、生物碱、酚酸类、甾醇类等多种生物活性物质,其中黄酮类化合物为其最主要的活性成分^[2],具有保护生殖

系统、抗肿瘤、抗氧化等作用。然而,从菟丝子中提取黄酮类化合物时,易受到多糖、生物碱等大分子成分的干扰,现有研究对不同提取纯化工艺尚缺乏系统比较,黄酮类化合物在细胞与分子水平上的作用机制仍缺乏系统梳理。

基金项目:大学生创新创业训练计划项目(编号:202510240159);黑龙江省自然科学基金(编号:LH2024H036);黑龙江省“双一流”学科协同创新成果项目(编号:LJGXCG2024-P33);黑龙江省博士后项目(编号:LBH-Z20023)

通信作者:宋辉(1981—),女,哈尔滨商业大学副研究员,博士。E-mail: huihui4595@sina.com

收稿日期:2025-09-30 **改回日期:**2026-06-13

引用格式:李仁馨,熊英,宋辉. 菟丝子黄酮类化合物的提取纯化工艺及生物活性研究进展[J]. 食品与机械, 2026, 42(7): 226-234.

Citation: Li Renxin, Xiong Ying, Song Hui. Research progress in the extraction and purification processes and biological activities of flavonoids from *Cuscutae Semen*[J]. Food & Machinery, 2026, 42(7): 226-234.

文章拟综述近年来有关菟丝子黄酮类化合物的提取纯化技术及其生物活性研究现状,并重点阐述其相关作用机制,以期对菟丝子黄酮类化合物的开发利用提供科学依据。

1 菟丝子黄酮类化合物提取技术

1.1 回流提取法

菟丝子黄酮类化合物含有槲皮素、山柰酚等苷类和苷元,具有多羟基、糖基化程度高的特点,这些特性使其在热稳定性、醇溶性等方面与回流提取工艺高度匹配,该工艺成本低、操作简便安全,且对黄酮活性影响较小,被广泛应用于植物总黄酮或单一黄酮苷的实验室制备与工业试产^[3]。余波等^[4]采用回流提取法对69批不同地区来源的菟丝子类药材进行总黄酮的提取,试验表明,菟丝子总黄酮最佳提取工艺为乙醇体积分数65%、料液比1:41(g/mL)、提取温度92℃;不同产地的小菟丝子样品总黄酮含量为0.92%~2.18%,而大菟丝子样品总黄酮含量为2.57%~3.34%。但使用该法提取时,如二氢黄酮醇类等热不稳定成分可能被破坏或降解。此外,为确保能够进行充分地提取,所需提取时间较长,部分提取需大量使用有机溶剂,高能耗。

1.2 超声波辅助提取法

1.2.1 超声辅助双水相提取法 超声辅助双水相提取法具有能够维持功能活性物质的稳定性、无有机溶剂残留、生物安全性高等优势,能有效促进菟丝子紫云英苷等极性较大的黄酮醇及黄酮苷类化合物溶出,被广泛应用于天然植物功能活性成分的制备领域^[5]。但运用此方法时,超声不均易引发局部热效应而造成目标物生物活性损失,且双水相体系成相剂成本高。秦晶晶等^[6]采用该方法提取菟丝子总黄酮时,选用PEG600-硫酸铵作为双水相系统,经系统优化试验筛选,确定最佳提取工艺参数为PEG600质量分数25%、硫酸铵质量分数16%、料液比1:50(g/mL)、提取时间15 min,在此工艺条件下,菟丝子总黄酮提取率达 $(4.42 \pm 0.02)\%$ 。

1.2.2 超声辅助乙醇提取法 超声辅助乙醇提取法是利用超声空化效应破坏菟丝子的组织结构,促进乙醇溶液渗透,加速黄酮类化合物如金丝桃苷的溶出。该方法具有可低温操作、目标化合物提取得率高等优点^[7]。但可能存在提取时间不足导致目标物溶出不完全,对溶剂极性有依赖性和选择性,需要在溶剂选择性和超声效率之间取得平衡等缺点。林晓等^[8]采用超声辅助溶剂提取法提取菟丝子总黄酮,结果表明,其最佳提取工艺条件为乙醇体积分数65%、提取温度40℃、提取溶剂30 mL,提取时间15 min,在此工艺条件下菟丝子中总黄酮的最高含量为1.410%。

1.2.3 超声波辅助复合酶提取法 超声波辅助复合酶提

取法借助生物酶,对样品细胞壁中的纤维素等成分进行特异性降解,加速黄酮类化合物溶出,适用于具有糖苷键且被致密细胞壁包裹的物质,如菟丝子黄酮苷(芦丁)和黄酮醇苷(异槲皮苷)等黄酮类化合物的提取,该技术反应条件温和、提取效率高^[9]。但仍存在超声—酶解兼容性差加剧杂质共溶、复合酶制剂高成本等缺陷。孙艳玲等^[10]采用超声波辅助复合酶提取法提取菟丝子总黄酮时,选用纤维素酶和果胶酶对菟丝子粉末进行酶解,结合响应面法进行工艺优化以提高菟丝子总黄酮的提取率。结果表明,最佳提取条件为酶解pH 4.05、酶解温度52.59℃、超声时间20.32 min。在此条件下,菟丝子总黄酮质量分数达23.555 1 mg/g。

1.3 索氏提取法

菟丝子黄酮类化合物如槲皮素、异鼠李素等黄酮苷元凭借热稳定性好、脂溶性好及极性适中等特点,宜采用索氏提取法,该方法具有选择性好、设备简单、操作便捷、能耗低等优点^[11]。但该方法长时间加热易引发脂类氧化,连续高温易破坏热敏组分,提取液中夹带大量共溶杂质,从而加大后续纯化处理难度。Azad等^[12]采用索氏提取法从菟丝子茎中提取黄酮化合物和酚类化合物,考察了提取时间和乙醇体积分数对提取物产率和类黄酮含量的影响,结果表明,最佳提取条件为乙醇体积分数75%,提取时间3 h,此时提取物的产率为 $(10.22 \pm 0.14)\%$,类黄酮含量达到 (41.08 ± 0.34) mg QE/g(以干重计, QE为槲皮素当量)。

1.4 微波辅助提取法

微波辅助提取法利用微波能量激发植物细胞内极性分子,通过偶极旋转与离子传导实现瞬时升温,促使弱氢键断裂并加速溶剂渗透。该提取方法具有低成本、微波处理绿色环保无污染等优点,但仍存在强微波致使热敏成分分解、温压参数难以精确控制、易造成溶剂残留等局限性^[13-14]。彭金年等^[15]采用微波辅助提取法提取菟丝子中的总黄酮,其最佳工艺条件为乙醇体积分数70%、提取温度80℃、提取时间30 min、料液比1:20(g/mL),在此工艺条件下菟丝子总黄酮含量达19.7 mg/g。

1.5 闪式提取法

闪式提取法基于高速机械剪切作用与超分子渗滤技术的协同效应,在常温溶剂体系中,可在数秒内实现植物物料的微纳米级破碎,能最大程度地避免有效成分因热处理而受损,如菟丝子黄酮类化合物芦丁、金丝桃苷等成分,其具热敏感性、极性适中、细胞壁内分布的特点,可运用闪式提取法提取,具有溶剂用量少、提取时间短、效率高及节能等优势^[16-17]。但仍存在对细小种子、花粉等物料适用性有限、需预处理、溶剂选择受限、对易燃易爆溶剂兼容性差等局限性。张馨元等^[18]采用闪式提取法对菟丝子总黄酮进行组织破碎提取,经优化筛选,确定最佳工

艺条件为以体积分数 70% 乙醇为溶剂,料液比 1:40 (g/mL),提取时间 2 min,提取电压 100 V,在此工艺条件下菟丝子总黄酮提取率可达 $(5.09\pm0.08)\%$,且提取物表现出良好的雌激素活性。

1.6 酶解水提法

酶解水提法作为一种环保且经济的辅助提取技术,在温和条件下能够破坏菟丝子种皮中致密的细胞壁及厚角质层,促进有效成分的快速释放,提升生产效率。该方法具有高特异性、高催化效率、反应条件温和及无毒性等优点。但该方法对设备和技术要求高,同时反应需严格控制温度、pH 等条件且酶解产物复杂,操作难度大^[19]。周蓉等^[20]采用酶解水提法提取菟丝子总黄酮,选用纤维素酶作为酶解剂,最终确定其最优提取工艺条件为酶用量 2.0%、酶解时间 2.0 h、pH 4.0 及温度 45 ℃,在此工艺条件下总黄酮的提取量达 26.966 mg/g。

1.7 超临界 CO₂ 萃取法

超临界 CO₂ 萃取法是通过调控体系压力与温度参数,实现超临界流体密度的显著变化的技术。超临界 CO₂ 兼具气体高扩散性与液体强溶解性的特点,可高效渗透至固体物料微结构中,能够基于目标成分的极性差异、沸点梯度及相对分子质量分布实现目标活性成分的精准提取^[21]。超临界 CO₂ 萃取法还具有优异的选择性分离效能、高萃取率以及良好的活性成分保留能力^[22],利用菟丝子黄酮类化合物的低极性、热敏感性及脂溶性较强的特点,可发挥良好提取能力。然而该方法对设备制造精度及耐压性能要求高,产能相对受限,以致产品综合成本偏高,因此该方法在实现工业化生产方面依然存在局限性。Mitra 等^[23]采用超临界 CO₂ 萃取法从菟丝子中提取出了强抗氧化剂黄酮类山柰酚,并应用超临界 CO₂ 萃取法结合薄层色谱(TLC)、柱色谱及高效液相色谱(HPLC)联用技术,实现目标成分的高效分离与纯化。结果表明,其最佳工艺条件为萃取温度 50.7 ℃、时间 132.6 min、压力 15.9 MPa,此时山柰酚提取量可达 52.92 mg/g。

1.8 双酶辅助盐析萃取法

双酶辅助盐析萃取法是一种基于两种酶协同作用,结合盐析效应实现目标物高效分离的技术,该方法凭借条件温和、选择性强、效率高及毒性小等优势,在对中等极性、中等相对分子质量、热敏感性及与致密种皮的结合特性的化合物分离纯化中得到广泛应用,如菟丝子黄酮类化合物金丝桃苷、杜荆苷等^[24]。但在高盐浓度环境可能引发酶蛋白变性,影响复合水解酶的活性,且双酶辅助盐析萃取法对设备和技术要求较高;同时需精准控制温度、pH,否则易致酶失活。Wei 等^[25]选用纤维素酶和蛋白酶的组合以促进菟丝子干硬致密种子中黄酮类化合物的溶出,并优化了双酶辅助盐析萃取法提取菟丝子总黄酮的工艺条件。结果表明,在酸性纤维素酶用量 5%、中性

蛋白酶用量 5%、酶解 pH 4.5、酶解温度 45 ℃、酶解时间 45 min、 $m_{\text{硫酸铵}}:V_{\text{乙醇}}=1:2$ (g/mL)的条件下,菟丝子总黄酮产量可达 18.75 mg/g。

为便于比较,现将菟丝子黄酮类化合物常用提取技术的核心特征及局限性进行了归纳,详见表 1。

表 1 菟丝子黄酮类化合物不同提取技术比较
Table 1 Comparison of different extraction techniques for flavonoids from Cuscutae Semen

提取方法	优点	缺点
回流提取法	操作简单	对不耐热黄酮适用性差
超声辅助双水相提取法	无有机溶剂残留	双水相体系成相剂成本高
超声辅助乙醇提取法	提取条件温和	目标物溶出不充分
超声辅助复合酶提取法	反应条件温和、提取周期短	复合酶制剂成本高
索氏提取法	操作简便、能耗低	连续高温回流易导致热敏性成分降解
微波辅助萃取法	绿色、环保、且无污染	对物料细胞结构破坏程度大
闪式提取法	破壁效率高	物料适用性有限、溶剂选择受限
酶解水提法	催化专一且高效	对设备性能及操作技术要求较高
超临界 CO ₂ 提取法	无溶剂残留、萃取富集效果好	对设备要求高、成本大
双酶辅助盐析萃取法	反应条件温和,选择性较强	蛋白质易变性、操作较为繁琐

2 菟丝子黄酮类化合物的分离纯化技术

2.1 大孔吸附树脂法

大孔吸附树脂凭借成本低廉、操作简便、溶剂消耗低、吸附容量大、速率快且解吸效率高等优点,已被广泛应用于黄酮类化合物的分离纯化^[26]。但在纯化过程中若洗脱参数调控失衡易溶出水溶性杂质,同时原料上样过载会引发树脂吸附不完全,进而导致黄酮纯度降低。辛科颖等^[27]采用单因素试验结合 Box-Behnken 响应面法优化大孔树脂纯化菟丝子总黄酮工艺。结果表明,菟丝子总黄酮纯化的最佳树脂型号为 AB-8 型,最佳工艺条件为上样液 pH 3.9,洗脱液体积 19.6 BV,洗脱液体积分数 74%,经纯化后菟丝子提取物中总黄酮含量由 18.95 mg/g 提高至 85.68 mg/g。

2.2 高速逆流色谱法

高速逆流色谱法(HSCCC)无需固体载体,能够克服传统色谱需要固体载体而导致的样品吸附损耗、活化困难、峰拖尾等缺陷,而且无不可逆吸附效应,能够完整保

留提取物的原始成分,已被广泛用于黄酮糖苷、花色苷等植物活性成分的分离纯化^[28]。然而该纯化技术存在分离时间长、仪器成本高且操作技术要求严格等局限性。Pan等^[29]采用高速逆流色谱法将槲皮素、山柰酚等6种黄酮类化合物从菟丝子的种子中分离并纯化出来,以乙酸乙酯—乙醇—水—乙酸($V_{\text{乙酸乙酯}}:V_{\text{乙醇}}:V_{\text{水}}:V_{\text{乙酸}}=20:5:25:1$)为溶剂系统进行分离,得到34 mg 槲皮素-3-O- β -D-阿皮芬糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-半乳糖苷、27.5 mg 绿原酸、86 mg 胡芦巴苷、12 mg 山柰酚-3-O- β -D-葡萄糖苷、53 mg 山柰酚和18 mg 槲皮素;6种化合物的纯度均达95%以上。

3 菟丝子黄酮类化合物的生物活性

菟丝子黄酮类化合物具有多种生物活性,在生殖保护、抗肿瘤、抗氧化应激、保肝护肾、调节免疫、抗骨质疏松、神经系统保护等方面发挥重要作用。菟丝子黄酮类化合物生物活性及作用机制如图1所示。

3.1 生殖保护

菟丝子黄酮具有显著生殖保护作用,可通过抑制睾丸细胞凋亡、炎症损伤,减轻氧化应激等机制来促进精子

生成并提高活力。此外,可调节性激素水平、改善卵巢功能和妊娠结局,还具有缓解雷公藤多苷引起的生殖毒性等作用。

菟丝子黄酮可促进精子生成并提高其活力、抑制睾丸间质细胞凋亡。Wei等^[30]研究发现,槲皮素可通过降低中性粒细胞胞外陷阱(NET)、活性氧(ROS)生成和丙二醛(MDA)水平,增强过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活性,保护山羊精子免受多形核白细胞(PMN)诱导损伤。李利娟等^[31]基于小鼠睾丸间质细胞(TM3)研究发现,菟丝子总黄酮可降低凋亡蛋白Bax、半胱天冬酶-3(Caspase-3),升高抗凋亡蛋白Bcl-2表达,抑制TM3凋亡。冯隽龙等^[32]建立少弱精子症大鼠模型研究发现,菟丝子黄酮可作用于Keap1/Nrf2/HO-1信号通路,下调睾丸组织Keap1蛋白、上调Nrf2与HO-1蛋白表达,改善少弱精子症。

菟丝子黄酮对卵巢早衰(POF)及流产模型大鼠具有保护效果。黄长盛等^[33]建立POF大鼠模型研究发现,菟丝子黄酮与槲皮素共同作用,可使其血清中雌二醇(E2)、抗穆勒氏管激素(AMH)水平升高,促卵泡激素(FSH)、黄

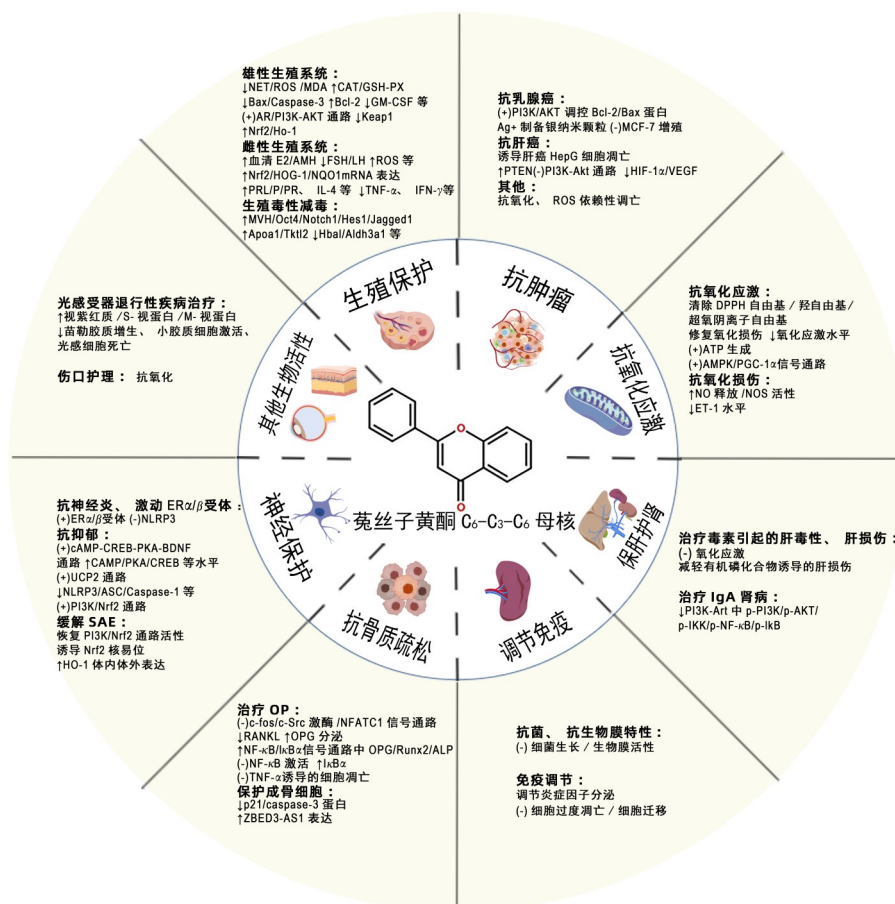


图1 菟丝子黄酮类化合物生物活性及作用机制

Figure 1 Biological activities and mechanisms of flavonoids from Cuscutae Semen

体生成素(LH)水平降低,发挥治疗效果。陈雪梅等^[34]研究发现,三阴交穴位贴敷结合菟丝子总黄酮干预,可有效调节辅助性 T 细胞 1 型/辅助性 T 细胞 2 型(Th1/Th2)平衡,提高泌乳素(PRL)、孕酮(P)含量,升高血清孕酮受体(PR)、白细胞介素-4(IL-4)、白细胞介素-10(IL-10)含量,上调胎盘 GATA-3 及蛋白因子的表达,改善流产模型大鼠的妊娠结局。

此外,菟丝子总黄酮可减轻雷公藤多苷所致生殖毒性^[35],其机制可能为升高 MVH、Oct4 和关键因子 Notch1、Hes1、Jagged1 的表达^[36]。孙利辉等^[37]研究表明,菟丝子黄酮可通过上调 ApoA1、Tktl2,下调 Hba1、Aldh3a1、Pzp、Serpind1,介导胶原的合成和脂质代谢,缓解雷公藤多苷所致雄鼠睾丸毒性。

3.2 抗肿瘤

菟丝子黄酮对乳腺癌、肝癌、肺癌等多种癌细胞增殖具有抑制效果。

在乳腺癌治疗方面,宋辉等^[38-39]研究发现,菟丝子醇提物中槲皮素等成分对包括乳腺癌细胞 MCF-7 在内的多种肿瘤细胞的增殖有抑制效果,通过作用于 PI3K/AKT 信号通路,调控 Bcl-2、Bax 蛋白的表达,促进细胞凋亡。Fereydani 等^[40]利用菟丝子提取物将 Ag⁺还原制备银纳米颗粒,并评价其对 MCF-7 细胞的影响,结果表明,在该颗粒中,类黄酮等成分具有较强抗肿瘤作用,可抑制细胞增殖,采用该纳米药物递送系统,可实现乳腺癌化疗药物的靶向输送。在肝癌治疗方面,郑义博等^[41]基于 HepG2 细胞的研究发现,菟丝子总黄酮可作用于 PI3K/PTEN/VEGF 通路,上调磷酸酶与张力蛋白同源物(PTEN)表达、下调缺氧诱导因子-1 α (HIF-1 α)以及血管内皮生长因子(VEGF)相关基因和受体蛋白的表达等共同发挥抗肝癌作用。在肺癌治疗方面,Mohamed 等^[42]结合网络药理学和体外试验对 A549 肺癌细胞系进行研究,结果显示,菟丝子提取物作用可使细胞中 ROS 生成和线粒体去极化增强,促进该癌细胞凋亡。

综上,菟丝子黄酮类化合物可有效抑制肿瘤细胞增殖、诱导其凋亡,通过调控 PI3K/AKT、PI3K/PTEN/VEGF 等信号通路,影响 Bcl-2/Bax、PTEN 等蛋白表达,触发氧化应激和凋亡,最终抑制肿瘤生长。

3.3 抗氧化应激

黄酮类化合物具有清除氧自由基、扩张血管等作用。陈林林等^[43]研究发现,菟丝子黄酮具有较强的 DPPH 自由基、羟自由基和超氧阴离子自由基清除能力,具备良好抗氧化特性,具备作为抗氧化剂应用于食品和药品中的潜力。李薇薇等^[44]通过系统总结菟丝子不同提取物活性成分的抗衰老药理作用,发现槲皮素可修复氧化损伤、促进 ATP 生成,激活 AMPK/PGC-1 α 信号通路,改善线粒体功能等。刘海云等^[45]基于氧化损伤的人脐静脉内皮细胞

研究发现,菟丝子黄酮可促进一氧化氮(NO)释放,提高 NOS 活性,降低内皮素-1(ET-1)水平,为预防动脉粥样硬化(AS)等心血管疾病提供了试验依据。

3.4 保肝护肾

菟丝子种子提取物中的类黄酮具有一定的保肝护肾作用。Batoool 等^[46]基于白化雄性小鼠模型研究发现,从菟丝子种子提取物中分离的类黄酮可以降低血清中丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(ALP)、碱性磷酸酶(AST)和胆红素水平,减轻氧化应激和有机磷化合物诱导的肝毒性及氧化损伤。Zhang 等^[47]基于网络药理学分析了菟丝子提取物治疗 IgA 肾病的潜在物质基础和作用靶点,结果表明,槲皮素等黄酮类化合物主要参与其作用;菟丝子提取物可改善 IgA 肾病大鼠的肾功能,并下调 PI3K/Akt 和 NF- κ B 信号通路相关磷酸化蛋白的表达。

3.5 调节免疫

菟丝子黄酮类化合物可在抗菌、免疫调节方面发挥作用。De Moura 等^[48]基于金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌研究发现,菟丝子类黄酮可抑制金黄色葡萄球菌生物膜的形成,调节细菌生长,具有抗菌和抗生物膜特性。傅祝婧等^[49]围绕母胎界面多种免疫细胞进行研究,结果表明,槲皮素可通过减轻细胞毒性、减少组织细胞过度凋亡、抑制过度炎症反应的机制来维持母胎免疫的动态平衡,对多种细胞增殖、凋亡等过程及各细胞因子进行调节,在抗炎、抗氧化等机制的协同作用下发挥治疗作用。

3.6 抗骨质疏松

菟丝子黄酮类化合物可作用于多种通路,治疗骨质疏松症、保护成骨细胞等。以卵巢切除术(OVX)诱导的骨质疏松症(OP)小鼠为模型,Yang 等^[50]对菟丝子提取物类黄酮的抗骨质疏松作用进行研究,结果表明,其可通过 c-fos/c-Src 激酶/NFATC1 信号通路降低核转录因子- κ B 受体活化因子配体(RANKL)表达,抑制破骨细胞分化,促进骨保护素(OPG)分泌,从而发挥治疗效果。Li 等^[51]同样基于该模型研究发现,通过 NF- κ B/I κ B α 信号通路调节骨髓巨噬细胞极化,上调 OPG、Runx2 和 ALP,同时抑制核转录因子- κ B(NF- κ B)激活并促进 I κ B α 表达,可有效预防和治疗绝经后骨质疏松症(PMOP)。孙奇华等^[52]基于成骨样细胞株 UMR-106 进行研究试验,结果表明,通过菟丝子黄酮干预可降低 p21 和 Caspase-3 蛋白表达,上调 ZBED3-AS1 表达,促进成骨细胞增殖,减少 UMR-106 细胞凋亡。

3.7 神经保护

菟丝子类黄酮成分山柰酚-3-O-葡萄糖苷(K-3-G)具有抗神经炎潜力。Liu 等^[53]以衰老加速(SAMP8)小鼠为模型研究发现,K-3-G 可上调其海马体 ER α / β 表达,抑制 NLRP3 炎症小体和 ER β 的激活,刺激 BV2 细胞,改善 SAMP8 小鼠的学习和记忆缺陷,推进治疗认知障碍相关

疾病潜在靶点的发现。Shao等^[54]研究发现,菟丝子类黄酮可升高cAMP水平,激活cAMP-CREB-PAK-BDNF信号通路,上调cAMP、PAK、CREB和BDNF水平,改善抑郁样行为。Qi等^[55]研究表明,菟丝子黄酮可作用于PI3K/Nrf2通路,恢复PI3K/AKT信号通路活性、诱导Nrf2核易位、驱动HO-1表达,发挥神经保护功能,缓解脓毒症相关脑病(SAE)的症状。

3.8 其他生物活性

菟丝子具有视网膜保护功能。Wu等^[56]研究发现,经过菟丝子处理后可促进视紫红质、S-视蛋白和M-视蛋白表达,减少光照下视网膜中感光细胞的死亡,防止光氧化应激介导的光感受器变性、视网膜结构、功能和免疫稳态的紊乱,该保护作用的活性成分包括菟丝子类黄酮中的槲皮素、山柰酚等。Nitthikan等^[57]研究发现,菟丝子还具有伤口护理特性,其所含黄酮类活性成分山柰酚、金丝桃苷具有抗氧化活性,将中华芽孢杆菌提取物负载于由其提取物开发的纳米乳液凝胶剂,可促进伤口愈合。

4 展望

黄酮类化合物是菟丝子中主要的活性特征成分,其高效提取与分离纯化是深度开发的关键问题。目前已发展出闪式提取法、双酶辅助盐析萃取法、超临界CO₂萃取法等多种现代高效提取技术。但现有的工艺优化多局限于实验室层面的参数筛选,对于食品规模化放大的可行性、生产成本的控制,以及食品级加工的溶剂残留安全性等问题仍缺乏系统性评价。未来研究可聚焦微型化、绿色化、智能化,探索例如亚临界水提取法、分散微固相萃取法等新工艺;阐明多场协同传质机制,精准优化液料比等参数,为天然产物高值化利用提供理论支撑与技术范式。

菟丝子黄酮类化合物具有生殖保护、抗肿瘤、抗氧化应激、调节免疫、抗骨质疏松等生物活性,其机制涉及多种信号通路、调控多个靶点。然而,相关研究大多停留于体外培养细胞研究及动物模型和试验阶段,缺乏对膳食摄入量效关系研究、体内精准代谢网络的阐明、核心成分与生物活性之间的关系研究等。未来,可利用代谢组学技术、网络药理学、分子对接技术等联合分析研究,深入挖掘菟丝子黄酮类化合物的生物活性及相关作用机制,为其在功能性配方食品、保健食品中的产品转化与应用提供坚实的理论支撑。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 2025版. 北京: 中国医药科技出版社, 2025: 331.
Pharmacopoeia Commission of the People's Republic of China. Pharmacopoeia of the people's republic of China: volume one [S]. 2025 ed. Beijing: China Medical Science Press, 2025: 331.

- [2] Donnapee S, Li J, Yang X, et al. *Cuscuta chinensis* Lam.: a systematic review on ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional herbal medicine[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2014, 157: 292-308.
- [3] 陈路, 刘钰, 蒋莉, 等. 石崖茶黄酮类成分提取工艺优化及其抗病毒和抑菌活性研究[J]. 食品科技, 2024, 49(11): 220-227.
Chen L, Liu Y, Jiang L, et al. Optimization of extraction process of flavonoids from *Adinandra nitida* Merr. ex. H. L. Li and antiviral and antibacterial activities[J]. Food Science and Technology, 2024, 49(11): 220-227.
- [4] 余波, 刘璨, 曾妍, 等. 响应面法优化菟丝子类药材总黄酮提取工艺及含量测定[J]. 中国饲料, 2023(7): 128-135.
Yu B, Liu C, Zeng Y, et al. Optimization of extraction technology and content determination of total flavonoids of *Cuscutae* spp. seed by response surface methodology[J]. China Feed, 2023(7): 128-135.
- [5] 张桂娟, 张茹, 孙爱霞, 等. 鸡腿茎菜粗多糖超声辅助双水相提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工, 2025, 25(4): 78-85, 96.
Zhang G J, Zhang R, Sun A X, et al. Optimization of ultrasonic-assisted aqueous two-phase extraction process of crude polysaccharides from *Viola acuminata* Ledeb. and the antioxidant activity[J]. Storage and Process, 2025, 25(4): 78-85, 96.
- [6] 秦晶晶, 岳璐, 李真真, 等. 提取方法对菟丝子总黄酮影响及其稳定性分析[J]. 饲料工业, 2025, 46(4): 124-131.
Qin J J, Yue L, Li Z Z, et al. Effects of extraction methods on total flavonoids in *Cuscuta chinensis* and its stability analysis[J]. Feed Industry, 2025, 46(4): 124-131.
- [7] 陈聪, 彭伊敏, 刘玲玲, 等. 香樟中樟脑的超声波辅助溶剂提取及驱虫效果测定[J]. 湖南林业科技, 2024, 51(5): 69-73, 96.
Chen C, Peng Y M, Liu L L, et al. Ultrasonic assisted solvent extraction of camphor from *Cinnamomum camphora* and the insect repellent effect determination[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2024, 51(5): 69-73, 96.
- [8] 林晓, 练立婷, 罗丽丹, 等. 菟丝子总黄酮超声提取工艺的研究[J]. 广州化工, 2014, 42(2): 57-59.
Lin X, Lian L T, Luo L D, et al. Study on total flavones in *Cuscuta chinensis* by ultrasonic wave[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2014, 42(2): 57-59.
- [9] 王令智, 陈平, 郭振华, 等. 超声波-酶协同提取女贞子总黄酮工艺及其抗氧化活性研究[J]. 饲料研究, 2023, 46(23): 96-101.
Wang L Z, Chen P, Guo Z H, et al. Study on ultrasonic and enzyme synergistic extraction of total flavonoids from *Fructus ligustris* L. and its antioxidant activity[J]. Feed Research, 2023, 46(23): 96-101.
- [10] 孙艳玲, 李泽琦, 冯冠英, 等. 超声波协同复合酶提取菟丝子总黄酮工艺优化[J]. 中国现代中药, 2017, 19(9): 1 296-1 300.
Sun Y L, Li Z Q, Feng G Y, et al. Extraction optimization of

- total flavonoids from *Cuscuta chinensis* with compound enzyme under ultrasonic wave[J]. Modern Chinese Medicine, 2017, 19(9): 1 296-1 300.
- [11] 石莹, 孟令超, 张骁勇, 等. 基于单因素试验优化沙葱总黄酮的提取工艺[J]. 内蒙古石油化工, 2024, 50(10): 1-3.
- Shi Y, Meng L C, Zhang X Y, et al. Optimization of the extraction process of total flavonoids from sand leek based on single-factor experiments[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2024, 50(10): 1-3.
- [12] Azad A K, Mohamed F. Determination of total phenolic and flavonoid content and evaluation of antioxidant activities of *Cuscuta reflexa*[J]. Universal Journal of Pharmaceutical Research, 2023, 8(6): 8-13.
- [13] 李丹阳, 吴珂, 王立颖, 等. 植物源抑菌剂提取方法、活性成分与抑菌机制研究进展[J]. 南京晓庄学院学报, 2024, 40(6): 70-77.
- Li D Y, Wu K, Wang L Y, et al. Research progress in extraction methods, active ingredients and antibacterial mechanism of plant-derived antibacterial agents[J]. Journal of Nanjing Xiaozhuang University, 2024, 40(6): 70-77.
- [14] 方芳, 王凤忠. 植物黄酮醇提取方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 323-328, 334.
- Fang F, Wang F Z. Research progress on the extraction methods of flavonols in plants[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 323-328, 334.
- [15] 彭金年, 邹思璐, 孙博, 等. 微波辅助萃取法提取菟丝子总黄酮的最佳工艺[J]. 光谱实验室, 2011, 28(2): 674-677.
- Peng J N, Zou S L, Sun B, et al. Optimal extraction technology of total flavonoids from *Cuscuta chinensis* by microwave-assisted extraction[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2011, 28(2): 674-677.
- [16] 关皎, 丁思宇, 季玲玲, 等. 超声法与闪式提取法提取刺五加中刺五加苷 B 的工艺对比研究[J]. 中国饲料, 2024(11): 47-52.
- Guan J, Ding S Y, Ji L L, et al. Comparative study on the extraction of eleutheroside B from *Acanthopanax senticosi* Radix Et Rhizoma seu caulis by ultrasonic method and flash extraction method[J]. China Feed, 2024(11): 47-52.
- [17] 关皎, 丁思宇, 胡子君, 等. 超声法与闪式提取法提取刺五加中绿原酸的工艺对比研究[J]. 饲料工业, 2023, 44(22): 80-85.
- Guan J, Ding S Y, Hu Z J, et al. Comparative study on the extraction of chlorogenic acid from *Acanthopanax senticosi* radix et rhizoma seu caulis by ultrasonic method and flash extraction method[J]. Feed Industry, 2023, 44(22): 80-85.
- [18] 张馨元, 孙向明, 宋辉, 等. 菟丝子总黄酮的提取方法筛选及其雌激素活性研究[J]. 中国药理学杂志, 2021, 56(1): 23-28.
- Zhang X Y, Sun X M, Song H, et al. Screening of extraction method for total flavonoids in *Cuscuta chinensis* and study on its estrogenic activity[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2021, 56(1): 23-28.
- [19] 陈志迪, 王新宇, 李晴雯, 等. 植物源抑菌剂的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(18): 7 433-7 439.
- Chen Z D, Wang X Y, Li Q W, et al. Research progress of plant-derived antimicrobial agents[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(18): 7 433-7 439.
- [20] 周蓉, 王洛临, 徐文杰, 等. 菟丝子的酶法提取工艺优选[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(22): 33-36.
- Zhou R, Wang L L, Xu W J, et al. Optimization of enzymatic extraction technology of *Cuscutae semen*[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2014, 20(22): 33-36.
- [21] 王权, 李婷, 王殿奎, 等. CO₂超临界萃取新食品原料食叶草中黄酮成分研究[J]. 食品安全导刊, 2025(20): 113-116.
- Wang Q, Li T, Wang D K, et al. Study on flavonoids in new food raw material *Rumex patientia* L. extracted by CO₂ supercritical fluid[J]. China Food Safety Magazine, 2025(20): 113-116.
- [22] 安军红. 超临界二氧化碳萃取天然产物的应用现状[J]. 广州化工, 2022, 50(15): 25-28.
- An J H. Application status of supercritical carbon dioxide extraction of natural products[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022, 50(15): 25-28.
- [23] Mitra P, Chang K S, Yoo D S. Kaempferol extraction from *Cuscuta reflexa* using supercritical carbon dioxide and separation of kaempferol from the extracts[J]. International Journal of Food Engineering, 2011, 7(4): 9.
- [24] Wei Y Q, Hou B J, Fang H Y, et al. Salting-out extraction of ginsenosides from the enzymatic hydrolysates of panax quinquefolium based on ethanol/sodium carbonate system[J]. Journal of Ginseng Research, 2020, 44(1): 44-49.
- [25] Wei Y Q, Sun M M, Fang H Y. Dienzyme-assisted salting-out extraction of flavonoids from the seeds of *Cuscuta chinensis* Lam.[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 127: 232-236.
- [26] 刘琦, 花娇娇, 马斌, 等. 大孔吸附树脂纯化栀子叶黄酮的工艺优化及其 Isobologram 协同抗氧化分析[J]. 食品科技, 2025, 50(5): 244-253.
- Liu Q, Hua J J, Ma B, et al. Optimization of purification process of flavonoids from *Gardenia jasminoides* leaves using macroporous adsorption resin and based on Isobologram synergistic antioxidant analysis[J]. Food Science and Technology, 2025, 50(5): 244-253.
- [27] 辛科颖, 孙向明, 胡扬, 等. 响应面法优化大孔树脂纯化菟丝子总黄酮工艺[J]. 中国药理学杂志, 2022, 57(7): 530-538.
- Xin K Y, Sun X M, Hu Y, et al. Optimization of purification process of total flavonoids from *Cuscuta chinensis* by macroporous resin by response surface methodology[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2022, 57(7): 530-538.
- [28] 杨馥菡, 张志军, 李会珍, 等. 高速逆流色谱法分离纯化紫苏叶中迷迭香酸和咖啡酸[J]. 食品科技, 2020, 45(9): 196-202.
- Yang F H, Zhang Z J, Li H Z, et al. Separation and purification

- of rosmarinic acid and caffeic acid from *Perilla* leaves by high-speed countercurrent chromatography[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(9): 196-202.
- [29] Pan S B, Wang X, Duan W J, et al. Preparative isolation and purification of flavonoids from *Cuscuta chinensis* Lam. by high-speed countercurrent chromatography[J]. Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 2014, 37(15): 2162-2171.
- [30] Wei Z K, Hong H R, Liu W, et al. Quercetin protects goat sperm motility by inhibiting neutrophil extracellular traps and maintaining plasma membrane and acrosome integrity[J]. Veterinary Sciences, 2024, 11(11): 553.
- [31] 李利娟, 刘文涛, 罗欢欢, 等. 菟丝子总黄酮对小鼠睾丸间质细胞凋亡相关蛋白 Bax、Bcl-2、Caspase-3 的影响[J]. 解放军医学院学报, 2022, 43(2): 199-204.
- Li L J, Liu W T, Luo H H, et al. Effects of total flavonoids from *Semen cuscuta* on apoptosis related proteins Bax, Bcl-2 and Caspase-3 of mouse testicular leydig cells[J]. Academic Journal of Chinese PLA Medical School, 2022, 43(2): 199-204.
- [32] 冯隽龙, 王彬, 孙松, 等. 基于 Keap1/Nrf2/HO-1 通路探讨菟丝子黄酮对少弱精子症大鼠生精功能的影响[J/OL]. 辽宁中医杂志. (2025-03-13) [2025-08-09]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1128.r.20250312.1900.040>.
- Feng J L, Wang B, Sun S, et al. Exploring the effect of flavonoids from *Cuscuta sinensis* on spermatogenesis in oligozoospermic rats based on the Keap1/Nrf2/HO-1 pathway[J/OL]. Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine. (2025-03-13) [2025-08-09]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1128.r.20250312.1900.040>.
- [33] 黄长盛, 贺守第, 管雁丞, 等. 菟丝子黄酮和槲皮素对雷公藤多苷致卵巢早衰大鼠卵巢功能的影响[J]. 中国临床药理学杂志, 2020, 36(6): 667-670.
- Huang C S, He S D, Guan Y C, et al. Effects of dodder flavonoids and quercetin on the ovarian function in rat model of premature ovarian failure induced by tripterygium glycosides[J]. The Chinese Journal of Clinical Pharmacology, 2020, 36(6): 667-670.
- [34] 陈雪梅, 杨晓新, 朱争艳, 等. 菟丝子总黄酮三阴交穴位贴敷对流产大鼠妊娠结局及 Th1/Th2 细胞因子平衡的影响[J]. 实用妇产科杂志, 2023, 39(7): 535-540.
- Chen X M, Yang X X, Zhu Z Y, et al. Impacts of dodder total flavonoids and sanyinjiao acupoint application on pregnancy outcomes and balance of Th1/Th2 cytokine in aborted rats[J]. Journal of Practical Obstetrics and Gynecology, 2023, 39(7): 535-540.
- [35] 郭丽, 杜寒倩, 李佳珊, 等. 基于网络药理学和细胞实验探讨菟丝子总黄酮配伍雷公藤多苷对生殖毒性的减毒作用[J]. 中成药, 2025, 47(3): 958-963.
- Guo L, Du H Q, Li J S, et al. Study on the detoxification effect of *Cuscuta* total flavonoids combined with tripterygium glycosides on reproductive toxicity based on network pharmacology and cell experiments[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2025, 47(3): 958-963.
- [36] 杨一博, 徐颖, 王璐, 等. 基于 Notch 信号通路探索菟丝子总黄酮配伍雷公藤多苷对生理小鼠卵巢生殖干细胞的作用及机制[J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(5): 9-15.
- Yang Y B, Xu Y, Wang L, et al. Effect and mechanism of *Cuscutae semen* total flavonoids combined with *Tripterygium wilfordii* polyglycoside tablets on ovarian germline stem cells of physiological mice by Notch signaling pathway[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2023, 29(5): 9-15.
- [37] 孙利辉, 丁樱, 韩姗姗, 等. 定量蛋白质组学探讨菟丝子黄酮对雷公藤多苷致雄鼠生殖毒性的影响机制[J/OL]. 中华中医药学刊. (2025-07-01) [2025-08-09]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1546.R.20250701.1401.039>.
- Sun L H, Ding Y, Han S S, et al. Quantitative proteomics exploration of the mechanism of the effect of *Cuscuta chinensis* flavonoids on the reproductive toxicity of tripterygium wilfordii glycosides in male rat[J/OL]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine. (2025-07-01) [2025-08-09]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1546.R.20250701.1401.039>.
- [38] 宋辉, 黄晓俏, 孙向明, 等. 基于 mTOR/HIF-1 α /VEGF 信号通路探讨菟丝子醇提物对 4T1 乳腺癌细胞增殖的抑制作用[J]. 食品工业科技, 2025, 46(7): 355-364.
- Song H, Huang X Q, Sun X M, et al. Inhibition of proliferation of 4T1 breast cancer cells by *Cuscuta* alcohol extract based on mTOR/HIF-1 α /VEGF signaling pathway[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(7): 355-364.
- [39] 宋辉, 王玉涵, 黄晓俏, 等. 菟丝子有效部位筛选与抗乳腺癌作用机制研究[J]. 海南医学科大学报, 2025, 31(24): 1869-1877.
- Song H, Wang Y H, Huang X Q, et al. Screening effective sites of *Cuscuta* and anti-breast cancer mechanism[J]. Journal of Hainan Medical University, 2025, 31(24): 1869-1877.
- [40] Fereydani M, Jalalian A, Saber N. Green synthesis of silver nanoparticles from *Cuscuta* epithymum extract, evaluation of antibacterial, antioxidant activity, cytotoxic effect on MCF-7 cell line[J]. MethodsX, 2025, 14: 103363.
- [41] 郑义博, 杨欣欣, 包永睿, 等. 基于 PI3K/PTEN/VEGF 的菟丝子总黄酮抗肝癌作用机制研究[J]. 中国医院药学杂志, 2018, 38(14): 1462-1465.
- Zheng Y B, Yang X X, Bao Y R, et al. Study on anti-tumor effects and potential mechanism of total flavonoids of *Cuscuta chinensis* lam. based on PI3K/PTEN/VEGF pathway[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2018, 38(14): 1462-1465.
- [42] Mohamed A E, Abu W A, Elayyan A E M, et al. Antioxidative and ROS-dependent apoptotic effects of *Cuscuta reflexa* roxb.

- stem against human lung cancer: network pharmacology and *in vitro* experimental validation[J]. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 2023, 42(21): 21-26.
- [43] 陈林林, 吴春, 李伟. 菟丝子黄酮的抗氧化性能研究[J]. *食品工业科技*, 2008(11): 116-117, 121.
- Chen L L, Wu C, Li W. Study on antioxidative activity of flavonoids from *Semen cuscutae*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2008(11): 116-117, 121.
- [44] 李薇薇, 岳慧, 陈春燕, 等. 菟丝子抗衰老活性和作用机制研究进展[J]. *中草药*, 2025, 56(13): 4 830-4 840.
- Li W W, Yue H, Chen C Y, et al. Research progress on anti-aging effect of *Cuscutae semen* and its mechanism[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2025, 56(13): 4 830-4 840.
- [45] 刘海云, 崔艳茹, 刘海菊, 等. 菟丝子黄酮对氧化损伤的人脐静脉内皮细胞的保护作用[J]. *时珍国医国药*, 2014, 25(1): 51-53.
- Liu H Y, Cui Y R, Liu H J, et al. Protective effect of *Cuscuta chinensis* flavonoids on oxidative damage in human umbilical vein endothelial cells[J]. *Journal of Li-shizhen Traditional Chinese Medicine*, 2014, 25(1): 51-53.
- [46] Batool T, Noreen S, Batool F, et al. Optimization and pharmacological evaluation of phytochemical-rich *Cuscuta reflexa* seed extract for its efficacy against chlorpyrifos-induced hepatotoxicity in murine models[J]. *Scientific Reports*, 2024, 14(1): 22923.
- [47] Zhang X L, Liang M J, Lin Z Y, et al. Integrating network analysis and experimental validation to reveal the mechanism of *Cuscuta chinensis* Lam. extract in the treatment of IgA nephropathy[J]. *Journal of Functional Foods*, 2025, 124: 106658.
- [48] De Moura C C, Boaretto A G, Barros T F, et al. Holoparasites *Cuscuta platyloba* and *Cuscuta xanthochortos* inhibit staphylococcus aureus and biofilm: a metabolomics approach [J]. *Journal of Herbal Medicine*, 2023, 42: 100766.
- [49] 傅祝婧, 田野, 周旋乐, 等. 槲皮素对母胎界面免疫调节的影响[J]. *浙江大学学报(医学版)*, 2023, 52(1): 68-76.
- Fu Z J, Tian Y, Zhou X L, et al. Effects of quercetin on immune regulation at the maternal-fetal interface[J]. *Journal of Zhejiang University (Medical Sciences)*, 2023, 52(1): 68-76.
- [50] Yang Y, Wei Q, An R, et al. Anti-osteoporosis effect of *Semen cuscutae* in ovariectomized mice through inhibition of bone resorption by osteoclasts[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, 285: 114834.
- [51] Li X C, Wang Z M, Chen Y R, et al. Regulation of monocyte polarization through nuclear factor kappa b /inhibitor of kappa b alpha pathway by *Cuscuta chinensis* Lam. in postmenopausal osteoporosis[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2025, 346: 119710.
- [52] 孙奇华, 蔡红慧, 何爱玉, 等. 菟丝子黄酮通过调控 ZBED3-AS1 影响成骨细胞凋亡[J]. *中国病理生理杂志*, 2021, 37(2): 306-314.
- Sun Q H, Cai H H, He A Y, et al. Total flavones from *Cuscuta chinensis* affect osteoblast apoptosis by regulating ZBED3-AS1 [J]. *Chinese Journal of Pathophysiology*, 2021, 37(2): 306-314.
- [53] Liu H, Huang Y, Yang J, et al. Involvement of estrogen receptor activation in kaempferol-3-O-glucoside's protection against aging-related cognition impairment and microglial inflammation[J]. *Experimental Cell Research*, 2023, 433(2): 113849.
- [54] Shao Q F, Li Y, Jin L, et al. *Semen cuscutae* flavonoids activated the cAMP-PKA-CREB-BDNF pathway and exerted an antidepressant effect in mice[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2024, 15: 1491900.
- [55] Qi B X, Sheng L P, Qian T. *Cuscuta chinensis* Lam. flavonoids (CCLF) alleviate the symptoms of sepsis-associated encephalopathy via PI3K/Nrf2 pathway[J]. *Behavioural Brain Research*, 2024, 465: 114887.
- [56] Wu H H, Zhu B J, Li D J, et al. *Cuscuta chinensis* Lam. protects against light-induced retinal degeneration: therapeutic implications for photoreceptor degenerative disorders[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 904849.
- [57] Nitthikan N, Preedalikit W, Supadej K, et al. Exploring the wound healing potential of a *Cuscuta chinensis* extract-loaded nanoemulsion-based gel[J]. *Pharmaceutics*, 2024, 16(5): 573.