

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.11.007
文章编号: 1005-8982 (2026) 11-0050-06

综述

多酚用于肾脏疾病治疗的研究进展*

刘盼盼^{1,2}, 郭文锋², 孙馨瑜², 景久珍², 岳佳欣², 刘宏宝²

(1. 西安医学院 研究生院, 陕西 西安 710021; 2. 空军军医大学唐都医院 肾脏内科, 陕西 西安 710038)

摘要: 近年来, 肾脏疾病的全球发病率持续攀升, 已成为一个备受关注的公共卫生问题。目前临床主要通过维持血流动力学稳定、酸碱和电解质平衡、控制血压血糖等对症支持治疗, 以及血液透析、腹膜透析、肾移植等肾脏替代治疗对其进行干预, 但至今仍缺乏特效药物。多酚作为一类源自植物中的天然活性化合物, 具有优异的抗炎、抗氧化、代谢调节等多种生物活性, 在肾脏疾病防治中表现出显著潜力。该文系统综述了多酚在多种肾脏疾病治疗中的最新研究进展, 以期对相关药物的开发提供理论依据与研究思路。

关键词: 肾脏疾病; 多酚; 纳米材料; 活性氧

中图分类号: R692

文献标识码: A

Research progress of polyphenols in the treatment of kidney diseases*

Liu Pan-pan^{1,2}, Guo Wen-feng², Sun Xin-yu², Jing Jiu-zhen², Yue Jia-xin², Liu Hong-bao²

(1. Graduate School of Xi'an Medical College, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 2. Department of Nephrology, Tangdu Hospital, Air Force Military Medical University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: In recent years, the global incidence of kidney diseases has continued to rise and has become a public health issue of concern. At present, these diseases are mainly managed through symptomatic and supportive treatments such as maintaining hemodynamic stability, acid-base and electrolyte balance, controlling blood pressure and blood glucose, as well as renal replacement therapies such as hemodialysis, peritoneal dialysis, and renal transplantation; however, specific therapeutic drugs are still lacking. As a class of naturally occurring plant-derived active compounds, polyphenols have excellent anti-inflammatory, antioxidant, metabolic regulation and other biological activities, showing significant potential in the prevention and treatment of kidney diseases. This paper systematically reviews the latest research progress of polyphenols in the treatment of various kidney diseases, to provide a theoretical basis and research ideas for the development of related drugs.

Keywords: kidney diseases; polyphenols; nanomaterials; reactive oxygen species

肾脏作为维持机体稳态的关键器官, 承担过滤血液、排除体内代谢废物、调节水电解质、酸碱平衡及内分泌功能的重任。肾功能不全是急性

肾损伤 (acute kidney injury, AKI) 的主要后果, 并常转变成慢性肾脏病 (chronic kidney disease, CKD), 甚至向终末期肾病 (end-stage renal disease,

收稿日期: 2026-01-20

* 基金项目: 国家自然科学基金(82402561); 陕西省自然科学基金基础研究计划(2025JC-YBQN-1155, 2023-JC-YB-738); 唐都医院学科平台建设与技术创新发展基金(2020XKPT014, 2021QYJC-001, 2022MPPY001); 唐都医院引凤计划人才启动项目(2024YFJH003)

[通信作者] 刘宏宝, E-mail: xjsnlhb@fmmu.edu.cn

ESRD) 进展^[1]。随着全球人口老龄化加速, 肾脏疾病的发病率、病死率及相关医疗需求持续攀升, 给公共卫生系统带来沉重负担^[2]。目前, ESRD 患者的主要治疗方式为肾脏替代治疗, 包括透析与肾移植。然而, 常规透析仅能模拟正常肾脏功能的 5%~10%, 患者需频繁接受治疗, 导致生活质量严重下降; 而肾移植则面临供体匮乏、移植后并发症及死亡风险较高等问题。因此, 亟需开发新型有效疗法, 以减轻该疾病对患者和社会造成的负担。多酚是一类广泛存在于植物中的天然有机化合物, 属于可持续再生资源, 并展现出多种生物活性, 近年来已成为多个领域的研究热点。研究表明, 多酚能够直接清除活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 和活性氮 (reactive nitrogen species, RNS), 抑制氧化应激反应, 从而减轻肾脏损伤、发挥肾脏保护作用^[3]。本文系统综述了多酚在肾脏疾病中的保护机制, 旨在为未来治疗策略的开发提供参考。

1 多酚及其自组装简介

多酚是一种植物中的天然有机化合物, 常见于蔬菜、坚果、咖啡、绿茶和酒类中, 由一个或多个酚羟基的芳香环构成, 具有抗氧化、抗炎、抗衰老、抗癌、抗菌、神经保护、免疫调节、心脏保护及肾脏保护等多种生物活性。根据其结构主要划分为黄酮类、酚酸类、芪类、木脂素类 4 大类。其中黄酮类约占多酚化合物的 60%, 以二苯基丙烷 (C6-C3-C6) 为基本骨架, 可进一步可分为黄烷酮、花青素、异黄酮、黄酮、黄酮醇和黄烷-3-醇等。酚酸类主要由苯环和羧酸基团组成, 约占多酚的 30%, 可分为苯甲酸衍生物 (C1-C6) 和肉桂酸衍生物 (C3-C6) 2 大类^[4]。芪类是一类具有 1,2-二苯乙烯骨架 (C6-C2-C6) 的植物次生代谢产物, 广泛存在于葡萄、花生、虎杖等植物中, 其中最著名的天然多酚芪是白藜芦醇^[5]。木脂素则由 2 种苯丙素单体结构 (C6-C3) 聚合形成, 常见于亚麻籽等谷物中。膳食中的木脂素可以经人体代谢成肠木脂素。肠木脂素具有抗癌、抗炎、抗氧化及雌激素作用^[6]。

为了提高多酚生物利用度、稳定性和水溶性, 医工交叉学科利用其化学结构特性开发了自组装

策略。自组装是指基本构成单元在非共价键相互作用的驱动下, 自发形成有序结构的过程^[7]。多酚可基于自身分子骨架, 或通过共价键结合纳米颗粒、胶束、凝胶等超分子生物活性材料, 组装形成创新型的自组装体。这一策略有助于克服多酚自身的局限性, 为肾脏疾病的治疗带来了新的希望。

2 多酚在肾脏疾病中的应用

2.1 AKI

AKI 是一种由脓毒症、感染、手术创伤、横纹肌溶解症及肾毒性药物等多种因素诱发的危重症, 典型特征为肾功能在短时间内急剧下降。临床上主要表现为血肌酐水平升高和尿量减少, 常伴有氮质废物蓄积、电解质紊乱及体液失衡等一系列病理改变。该病严重威胁患者生命健康, 病死率可高达 50%^[8]。AKI 的发生通常意味着广泛的肾实质损伤。若未能成功修复, 损伤将持续存在, 进而进展为 CKD。目前, 尚无缓解 AKI 和加速透析后恢复的特效疗法^[9]。

2.1.1 脓毒症诱导的 AKI 脓毒症是一种由感染引发的严重、复杂的全身炎症反应综合征, 大量炎症细胞因子导致器官损伤, 被认为是机体对感染的失控反应, 通常合并 AKI 的发生^[10]。免疫细胞所介导的炎症事件在 AKI 的发生、发展中发挥着关键作用。巨噬细胞在肾损伤后极化为促炎表型, 产生炎症因子和趋化因子, 该过程会触发细胞代谢从氧化磷酸化向糖酵解的转换, 并上调乳酸脱氢酶的表达。因此, 可以通过调节巨噬细胞中的糖酵解代谢来改善炎症反应, 减缓 AKI 进展。没食子黄素属于黄酮类多酚, 可抑制乳酸脱氢酶 A。WEI 等^[11]研究发现, 没食子黄素可阻断巨噬细胞糖酵解代谢途径, 抑制其向促炎表型转化, 减少炎症因子释放以缓解 AKI^[12]。菊苣酸则通过提升巨噬细胞中的烟酰胺腺嘌呤二核苷酸比例, 进而抑制缺氧诱导因子-1 α (hypoxia-inducible factor 1- α , HIF-1 α) 诱导的糖酵解, 同时破坏赖氨酸 (K) 乙酰转移酶 2A/ α -微管蛋白复合物, 并灭活核苷酸结合寡聚结构样受体蛋白 3 炎症小体, 从而缓解细胞凋亡、炎症、氧化应激及线粒体功能紊乱。上述研究表明, 多酚化合物具有治疗 AKI 的潜力, 有望

作为新型肾脏保护药物来改善 AKI，但仍需进一步研究。

2.1.2 顺铂诱导的 AKI 顺铂 (Cis-diamminedichloroplatin, CDDP) 作为一种细胞毒性化疗药物，因其通过与脱氧核糖核酸 (deoxyribonucleic acid, DNA) 链交联，干扰 DNA 复制和转录，损害线粒体功能，抑制肿瘤细胞分裂而广泛使用于临床。顺铂可以治疗多种恶性肿瘤，包括肺癌、膀胱癌、头颈部癌、卵巢癌及睾丸癌等实体瘤。顺铂经肾脏排泄时大量蓄积在肾小管细胞中，进而导致细胞损伤甚至坏死。肾毒性是 CDDP 最常见、最严重的副作用之一，基于此特性，CDDP 诱导的 AKI 模型在实验研究中被广泛应用。目前临床中暂无有效治疗手段缓解由 CDDP 所致的肾毒性损伤，这也是限制其临床使用的主要因素^[13]。天然多酚化合物有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、调节代谢等多种活性，且副作用小。多酚与纳米材料组装的纳米酶稳定性高，能进行靶向递送，目前有研究证实纳米酶对 CDDP 诱导的 AKI 有保护作用。例如，HUANG 等^[14]以天然超氧化物歧化酶中的铜 (Cu^{2+}) 和天然抗氧化剂姜黄素 (Curcumin, Cur) (记为 Cur-Cu) 为主体，构建金属酚网络，将金属离子和多酚清除 ROS 能力进行整合，同时用聚乙二醇 (polyethylene glycol, PEG) 共价修饰 Cur-Cu 纳米粒组成 Cur-Cu@PEG。Cur-Cu@PEG 通过整合金属离子和多酚清除 ROS 能力，在提高生物相容性与肾靶向性的同时可抑制胱天蛋白酶-3 依赖性凋亡和焦变性细胞死亡，从而减轻小鼠 AKI。大多数植物的种子和叶子均含有酚类化合物阿魏酸 (ferulic acid, FA)，FA 是常见的抗炎抗氧化剂^[15]。岩藻依聚糖 (Fucoidan, FU) 则是存在于海洋的天然硫酸化多糖，被广泛应用于递送药物。GAO 等^[16]将 FA 与 FU 制备成阿魏酸 (FA) FU 纳米粒 (FA/FU NPs)。研究显示，环磷酸鸟苷-磷酸腺苷合成酶 (cyclic GMP-AMP synthase, cGAS) 可以感知胞内异常 DNA 并激活免疫应答，是蛋白干扰素基因刺激因子 (stimulator of interferon genes, STING) 的主要下游调节因子，介导细胞质 DNA 诱导的免疫应答。FA/FU NPs 可通过抑制 CDDP 诱导的人肾皮质近曲小管上皮细胞 (human kidney 2, HK-2) 增殖及 ROS 累积，同时激活 cGAS-STING 通路以减

轻 DNA 损伤。在细胞与动物模型中，该纳米粒表现出优于游离单药的肾脏保护作用。上述研究结果证明多酚及其组装体有能力改善肾脏损伤，为治疗临床肾脏疾病奠定了坚实的理论基础。

2.1.3 肾缺血再灌注损伤诱导的 AKI 肾缺血再灌注损伤 (renal ischemia-reperfusion injury, RIRI) 是指肾脏经历短暂血液中断后，在恢复血液灌注时，肾脏组织损伤反而加重。RIRI 在临床工作中也较为常见，常发生于休克、肾移植、心脏手术、肾动脉狭窄、医源性创伤、肾病及其他意外情况中。同时 RIRI 也是导致 AKI 的重要病理生理机制之一^[17]。鞣花酸 (ellagic acid, EA) 是鞣花单宁的水解产物，存在于多种水果和坚果中，因其抗氧化性、抗炎、抗癌及心血管保护作用被广泛研究。而烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶 (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate oxidase, NOX) 是一种跨膜蛋白复合物，EA 能通过抑制 NOX 表达及 JAK/STAT 通路活化，降低炎症因子水平，减轻 RIRI，且其作用呈剂量依赖性^[18]，这一发现为今后治疗 RIRI 提供了新的潜在方案。铁死亡是一种铁依赖性的，非凋亡性的程序性细胞死亡形式，以脂质过氧化为核心特征，与多种疾病密切相关。目前已有研究阐明铁死亡在 RIRI-AKI 过程中发挥重要作用^[19]。水飞蓟宾是从水飞蓟种子中提取的一种多酚黄酮类化合物，具有明显的抗氧化、抗炎、保肝作用。铁蛋白重链 1 (ferritin heavy chain 1, FTH 1) 是铁储存蛋白铁蛋白的核心亚基之一，可以把亚铁形式 (Fe^{2+}) 转化为三价铁形式 (Fe^{3+})，使铁以惰性形式储存在铁蛋白壳中。在铁代谢平衡、氧化应激调控及疾病发展中发挥关键作用。水飞蓟宾可通过靶向抑制 FTH 1 来减少亚铁离子过表达，减轻脂质过氧化，从而缓解由 RIRI 诱导的 AKI^[20]。未来水飞蓟宾或许可以开发为治疗 AKI 的潜在药剂。

2.2 肾纤维化

CKD 是一种由多种病因引起进行性的肾脏功能丧失疾病，肾纤维化 (renal fibrosis, RF) 是 CKD 进展至 ESRD 的核心病理改变，表现为细胞外基质的过度沉积，导致肾脏结构破坏和功能丧失^[21]。RF 是多种肾脏疾病发展的最终共同通路，包括糖尿病肾病、高血压肾病、慢性肾小球肾炎等。

AKI、RIRI、药物及毒素都是导致 RF 的原因。地奥司明属于黄酮类多酚, 由黄酮苷元和糖苷结合形成, 主要来源于柑橘、洋葱, 苹果等植物。ZHAO 等^[22]复制了由单侧输尿管梗阻 (unilateral ureteral obstruction, UUO) 手术诱导的小鼠 RF 模型, 并通过转化生长因子 β (transforming growth factor- β , TGF- β) 刺激 HK-2 细胞建立体外 RF 模型, 观察地奥司明对体内外 RF 是否有改善, 结果表明, 地奥司明可与 HIF-1 α 结合, 减少其核转位, 从而抑制脂肪酸结合蛋白 4 (fatty acid-binding protein, FABP) 的转录, 减少炎症、胶原沉积及铁蛋白沉着, 达到治疗 RF 目的。这项发现为 RF 的治疗提供了新的候选药物。

绿茶多酚 (green tea polyphenols, GTPs) 是绿茶的主要活性成分, 占茶叶干重的 30% ~ 40%, 主要包括儿茶素类、黄酮醇类、酚酸类等, 其中儿茶素类是其最核心的功能成分, 占 GTPs 总量的 65% ~ 80%。GTPs 具有抗氧化性, 能清除自由基, 减少氧化应激, 保护细胞, 同时具有防癌潜力, 可以抑制肿瘤细胞增殖。研究表明, GTPs 可显著减轻邻苯二甲酸二 (2-乙基己基) 酯所诱导的小鼠纤维化、足细胞损伤及炎症反应, 提示其具备作为 RF 干预策略的潜力^[23]。

2.3 糖尿病肾病

糖尿病 (diabetes mellitus, DM) 是一种以慢性高血糖为特征的代谢性疾病, 其发病机制主要在于胰岛素分泌不足, 伴或不伴有胰岛素抵抗, 长期高血糖可导致多种器官损害^[24]。糖尿病肾病 (diabetic nephropathy, DN) 是 DM 最常见的微血管并发症, 也是导致 ESRD 的主要原因, 其特点是持续性蛋白尿、肾小球滤过率下降和进行性肾功能丧失^[25]。DN 治疗需综合管理血糖、血压、血脂, 并针对肾脏病变进行干预, 但现有疗法均存在一定局限性。严格控糖可能增加老年人或肾功能不全者低血糖风险, 且部分新型药物价格昂贵。多酚具有抗氧化、抗炎等多种生物活性, 目前有多项实验证明, 长期摄入多酚类物质可以延缓 DN 等多种慢性疾病进展^[26]。基于 DN 的发病机制, 研究者已开发出多种多酚类药物, 例如蒲公英萜醇、白藜芦醇、杨梅苷等^[27]。

橙皮苷是一种天然存在的黄烷酮类多酚化合

物, 经过糖基化修饰后具有更高水溶性和生物利用度。研究发现, 该化合物在不影响血糖水平的前提下, 可抑制链脲佐菌素 (Streptozotocin, STZ) 诱导的 DN 小鼠肾小管损伤、纤维化及相关免疫基因表达, 从而展现出良好的肾脏保护作用^[28]。该项研究为治疗 DN 提供了新的见解, 未来可以尝试开发治疗 DN 相关的功能性食品。

苹果多酚 (apple polyphenols, AP) 是从苹果中提取的一类天然多酚, 由多种多酚构成, 具有强大的抗氧化能力, 有助于保护皮肤、血管和神经细胞。AP 通过抑制脂质过氧化和 TGF- β 表达, 在 STZ 诱导的 DN 动物模型及由过氧化氢诱导的氧化应激细胞模型中均表现出显著的抗氧化作用, 并改善肾脏组织病理变化和功能指标^[29]。在经过安全性和有效性评估后, AP 有望成为治疗 DN 的新药。

2.4 免疫相关肾病

免疫系统在多种肾脏疾病的发病与进展中发挥着关键作用。当免疫系统失调时, 肾脏对其自身抗原的免疫耐受性被打破, 导致自身抗体生成和免疫细胞浸润, 进而引发组织损伤。其中, 膜性肾病是一种自身抗体直接介导的慢性进展型肾小球疾病, 是成人肾病综合征最常见的病因之一^[30]。

白藜芦醇作为一种天然多酚化合物, 存在于多种食物中。研究证明, 该成分具有抗补体、抗氧化及抗凋亡作用等多种生物活性。在膜性肾病动物模型中, 白藜芦醇可上调血红素加氧酶-1 的表达并显著减轻膜性肾病相关的肾脏病理损伤^[31]。

系统性红斑狼疮 (systemic lupus erythematosus, SLE) 是一种累及多系统的慢性自身免疫性疾病, 常侵犯皮肤黏膜、肌肉骨骼、血液系统及肾脏^[32]。狼疮性肾炎 (lupus nephritis, LN) 是其最常见和最严重的并发症之一, 约 40% 的 SLE 患者会进展为 LN。目前临床主要依赖强化免疫抑制与维持治疗以延缓其进展为 ESRD^[33]。因此, 为改善患者预后, 临床亟待开发能超越现有免疫抑制方案的新型治疗药物。

安石榴苷是从石榴中提取的天然多酚类成分。蛋白酶激活受体 2 (protease-activated receptor-2, PAR2) 属于 G 蛋白偶联受体, 已被证实为肾小球肾炎的潜在治疗靶点。安石榴苷作为一种新型强

效 PAR2 拮抗剂,能够有效抑制该受体活性,显著下调其下游的细胞外信号,进而调节 ERK1/2 和 NF- κ B 信号通路,从而在 LN 中发挥肾脏保护作用^[34]。

3 总结与展望

综上所述,尽管多酚类化合物具有显著治疗潜力。但临床转化仍面临生物利用度低、水溶性差、种属代谢差异及剂量标准化困难等关键瓶颈。通过自组装、纳米药物递送系统等策略,可在一定程度上改善其理化与药代动力学性质。然而,当前研究仍存在以下局限:首先,动物模型对多酚的代谢速度与人类存在显著差异,且动物模型通常基于单一病因诱导,而人类患者,尤其是老年人,常伴有多种基础疾病,其病程、年龄、身体状况差异巨大,这种高度异质性导致单一疗法效果不佳;其次,基于动物数据预测的人体有效剂量往往不够准确。此外,多酚的植物来源存在差异,同一多酚在不同植物、不同部位、不同生长年限的含量差异巨大。即使是同一种植物,其含量也受品种、产地、气候等多种因素影响,这使得多酚难以实现剂量标准化。因此,未来研究需聚焦于构建更具临床相关性的疾病模型,并推动多酚来源、制备工艺与质量控制的标准化,以加速其向临床治疗的转化。

参 考 文 献 :

- [1] LUM P T, SEKAR M, GAN S H, et al. Therapeutic potential of mangiferin against kidney disorders and its mechanism of action: a review[J]. Saudi J Biol Sci, 2022, 29(3): 1530-1542.
- [2] GUERREIRO Í, FERREIRA-PÊGO C, CARREGOSA D, et al. Polyphenols and their metabolites in renal diseases: an overview[J]. Foods, 2022, 11(7): 1060.
- [3] BUSTOS N I, SOTOMAYOR C G, POL R A, et al. Polyphenols and novel insights into post-kidney transplant complications and cardiovascular disease: a narrative review[J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8: 751036.
- [4] WANG Q, YANG B, WANG N, et al. Tumor immunomodulatory effects of polyphenols[J]. Front Immunol, 2022, 13: 1041138.
- [5] SINGLA R K, DUBEY A K, GARG A, et al. Natural polyphenols: chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures[J]. J AOAC Int, 2019, 102(5): 1397-1400.
- [6] LI J, MA X Y, LUO L Z, et al. The what and who of dietary lignans in human health: special attention to estrogen effects and safety evaluation[J]. J Agric Food Chem, 2023, 71(44): 16419-16434.
- [7] GUO X H, LUO W K, WU L Y, et al. Natural products from herbal medicine self-assemble into advanced bioactive materials[J]. Adv Sci (Weinh), 2024, 11(35): e2403388.
- [8] CAO S M, FU X H, YANG S Z, et al. The anti-inflammatory activity of resveratrol in acute kidney injury: a systematic review and meta-analysis of animal studies[J]. Pharm Biol, 2022, 60(1): 2088-2097.
- [9] CÓRDOBA-DAVID G, DURO-CASTANO A, CASTELO-BRANCO R C, et al. Effective nephroprotection against acute kidney injury with a star-shaped polyglutamate-curcuminoid conjugate[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 2056.
- [10] ZHU D J, WU X. Resveratrol inhibits circ_0074371-related pathway to alleviate sepsis-induced acute kidney injury[J]. Biochem Genet, 2024, 62(3): 1779-1794.
- [11] WEI J, CHEN X Y, WANG Z J, et al. Galloflavin mitigates acute kidney injury by suppressing LDHA-dependent macrophage glycolysis[J]. Int Immunopharmacol, 2025, 150: 114265.
- [12] ZHU X X, ZHENG G L, LU Q B, et al. Cichoric acid ameliorates sepsis-induced acute kidney injury by inhibiting M1 macrophage polarization[J]. Eur J Pharmacol, 2024, 976: 176696.
- [13] YAN Q H, LI M Q, DONG L Y, et al. Preparation, characterization and protective effect of chitosan - tripolyphosphate encapsulated dihydromyricetin nanoparticles on acute kidney injury caused by cisplatin[J]. Int J Biol Macromol, 2023, 245: 125569.
- [14] HUANG X Y, ZHANG F X, YANG Y, et al. Curcumin-copper complex nanoparticles as antioxidant nanozymes for acute kidney injury alleviation[J]. Mater Today Bio, 2025, 32: 101794.
- [15] NATESAN V, KIM S J. Natural compounds in kidney disease: therapeutic potential and drug development[J]. Biomol Ther (Seoul), 2025, 33(1): 39-53.
- [16] GAO X T, WANG J, WANG Y Q, et al. Fucoidan-ferulic acid nanoparticles alleviate cisplatin-induced acute kidney injury by inhibiting the cGAS-STING pathway[J]. Int J Biol Macromol, 2022, 223(Pt A): 1083-1093.
- [17] WANG Q F, JU F, LI J X, et al. Empagliflozin protects against renal ischemia/reperfusion injury in mice[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 19323.
- [18] LIU Q, LIANG X B, LIANG M T, et al. Ellagic acid ameliorates renal ischemic-reperfusion injury through NOX4/JAK/STAT signaling pathway[J]. Inflammation, 2020, 43(1): 298-309.
- [19] LI S Y, WANG R, WANG Y X, et al. Ferroptosis: a new insight for treatment of acute kidney injury[J]. Front Pharmacol, 2022, 13: 1065867.
- [20] DENG Y J, ZENG L Y, LIU H X, et al. Silibinin attenuates ferroptosis in acute kidney injury by targeting FTH1[J]. Redox Biol, 2024, 77: 103360.
- [21] ZHAO X, KWAN J Y Y, YIP K, et al. Targeting metabolic dysregulation for fibrosis therapy[J]. Nat Rev Drug Discov, 2020, 19(1): 57-75.

- [22] ZHAO W M, CHU F, ZHU J X, et al. Diosmin attenuates UUO-induced renal ferroptosis and fibrosis by inhibiting the HIF-1 α /FABP4 signaling axis[J]. *Phytomedicine*, 2025, 141: 156738.
- [23] SHI H, ZHAO X H, PENG Q, et al. Green tea polyphenols alleviate kidney injury induced by Di(2-Ethylhexyl) phthalate in mice[J]. *Am J Nephrol*, 2024, 55(1): 86-105.
- [24] JIN Y N, ARROO R. The protective effects of flavonoids and carotenoids against diabetic complications-a review of *in vivo* evidence[J]. *Front Nutr*, 2023, 10: 1020950.
- [25] CHEN M, CHEN Y, ZHU W H, et al. Advances in the pharmacological study of Chinese herbal medicine to alleviate diabetic nephropathy by improving mitochondrial oxidative stress[J]. *Biomed Pharmacother*, 2023, 165: 115088.
- [26] JIN Q, LIU T T, QIAO Y, et al. Oxidative stress and inflammation in diabetic nephropathy: role of polyphenols[J]. *Front Immunol*, 2023, 14: 1185317.
- [27] ZHU X Y, XU X L, DU C G, et al. An examination of the protective effects and molecular mechanisms of curcumin, a polyphenol curcuminoid in diabetic nephropathy[J]. *Biomed Pharmacother*, 2022, 153: 113438.
- [28] HASHIMOTO K, YOSHIDA Y, KAMESAWA M, et al. Glucosyl hesperidin supplementation prevents tubulointerstitial fibrosis and immune activation in diabetic nephropathy in mice[J]. *Nutrients*, 2025, 17(3): 383.
- [29] WANG C Y, WU D L, YU M H, et al. Apple polyphenol mitigates diabetic nephropathy via attenuating renal dysfunction with antioxidation in Streptozotocin-Induced diabetic rats[J]. *Antioxidants (Basel)*, 2025, 14(2): 130.
- [30] AVASARE R, ANDEEN N, BECK L. Novel antigens and clinical updates in membranous nephropathy[J]. *Annu Rev Med*, 2024, 75: 219-332.
- [31] WU C C, HUANG Y S, CHEN J S, et al. Resveratrol ameliorates renal damage, increases expression of heme oxygenase-1, and has anti-complement, anti-oxidative, and anti-apoptotic effects in a murine model of membranous nephropathy[J]. *PLoS One*, 2015, 10(5): e0125726.
- [32] SIEGEL C H, SAMMARITANO L R. Systemic lupus erythematosus: a review[J]. *JAMA*, 2024, 331(17): 1480-1491.
- [33] GASPAROTTO M, GATTO M, BINDA V, et al. Lupus nephritis: clinical presentations and outcomes in the 21st century[J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2020, 59(S5): v39-v51.
- [34] SEO Y, MUN C H, PARK S H, et al. Punicalagin ameliorates lupus nephritis via inhibition of PAR2[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(14): 4975.

(张西倩 编辑)

本文引用格式: 刘盼盼, 郭文锋, 孙馨瑜, 等. 多酚用于肾脏疾病治疗的研究进展[J]. *中国现代医学杂志*, 2026, 36(11): 50-55.

Cite this article as: LIU P P, GUO W F, SUN X Y, et al. Research progress of polyphenols in the treatment of kidney diseases[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2026, 36(11): 50-55.