

· 专题 ·

怪柳化学成分、药理作用及产品开发研究进展[△]王琳^{1,2}, 毛明慧^{1,2}, 焦阳², 李启艳², 孙仟^{1,2}, 魏霞^{2*}

1. 山东中医药大学 药学院, 山东 济南 250355;

2. 山东省食品药品检验研究院 国家药品监督管理局胶类产品质量评价重点实验室/山东省中药标准创新与质量评价工程实验室/中药配方颗粒共性技术山东省工程研究中心, 山东 济南 250101

[摘要] 怪柳是一种抗旱、耐盐碱、耐贫瘠的泌盐植物, 以其干燥细嫩枝叶入药, 含有黄酮、萜、挥发油、甾体、有机酸等类化合物, 具有抗肿瘤、降糖、抗炎、调血脂、抗氧化、抗菌等多种药理作用。对怪柳的化学成分和药理作用进行综述, 同时对其相关产品开发进行总结, 以期为怪柳的深入研究、创新药物研发及功能性产品开发利用提供参考。

[关键词] 怪柳; 化学成分; 药理作用; 产品开发

[中图分类号] R282.71 [文献标识码] A [文章编号] 1673-4890(2026)01-0027-09

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20241011002

Research Progress on Chemical Composition, Pharmacological Effects, and Product Development of
Tamarix chinensis

WANG Lin^{1,2}, MAO Minghui^{1,2}, JIAO Yang², LI Qiyang², SUN Qian^{1,2}, WEI Xia^{2*}

1. School of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China;

2. Shandong Institute for Food and Drug Control/NMPA Key Laboratory for Quality Evaluation of Gelatin Products/Shandong Engineering Laboratory for Standard Innovation and Quality Evaluation of TCM/Shandong Engineering Research Center for Generic Technologies of Traditional Chinese Medicine Formula Granules, Jinan 250101, China

[Abstract] *Tamarix chinensis* is a drought-resistant, saline-resistant, and barren-resistant salt-secreting plant. Its dried tender branches and leaves are used as medicine and contain compounds including flavonoids, terpenoids, volatile oils, steroids, and organic acids, possessing a wide range of pharmacological effects such as anti-tumor, hypoglycemic, anti-inflammatory, hypolipidemic, antioxidant, and antibacterial functions. This paper reviews the chemical composition and pharmacological effects of *T. chinensis*, and its related product development was summarized, with a view to providing a reference for future in-depth study of *T. chinensis*, research and development of innovative drugs, and functional product development and utilization.

[Keywords] *Tamarix chinensis* Lour.; chemical component; pharmacological effect; product development

怪柳 *Tamarix chinensis* Lour. 别名红柳、西河柳、观音柳、三春柳、红荆条等, 为怪柳科 (Tamaricaceae) 怪柳属 (*Tamarix*) 植物^[1], 主要分布于亚洲、北非及欧洲的干旱地区。中国原产的怪柳属植物有20种1变种, 集中分布于西北干旱地区、内蒙古和华北平原盐碱地区, 以新疆、甘肃、内蒙古、青海和宁夏分布居多^[2]。

怪柳起源于古地中海沿岸, 在长期干旱与盐碱

双重胁迫下进化了独特的泌盐结构, 具有抗旱、耐沙埋、耐贫瘠、耐风蚀等特性。作为传统中药材, 怪柳始载于《日华子本草》, 名为赤怪木^[3];《本草纲目》中记载其“甘、咸, 温, 无毒, 枝叶消痞, 解酒毒, 利小便”^[4];《本草图经》中记载其“治沙疹热毒”^[5];《现代实用中药》记载怪柳“为解热利尿药治急性或慢性关节风湿”^[6];《中华人民共和国药典》2025年版中规定怪柳的药用部位为细嫩枝叶,

[△] [基金项目] 国家重点研发计划中医药现代化重点专项 (2023YFC3504102)

* [通信作者] 魏霞, 主任药师, 研究方向: 药理毒理与药物安全性评价; E-mail: myweixia@126.com

味甘、辛，性平，归心、肺、胃经，具有发表透疹、祛风除湿的功效，主治麻疹不透、风湿痹痛^[7]。桉柳含有多种活性成分，具有抗炎、抑菌、解热镇痛等多种药理作用，用于治疗麻疹初期、感冒、类风湿性关节炎等疾病^[8-10]。随着现代技术的发展，桉柳在医药、食品和化妆品等领域也日益受到关注。本文就桉柳的主要化学成分及药理作用进行综述，以期为其深入研究和开发应用提供参考。

1 化学成分

1.1 黄酮类

桉柳的花、叶、根、茎中主要化学成分为黄酮类化合物，尤其是根皮、茎皮中黄酮类化合物的含量显著高于去皮根、茎。陈柳生等^[11]从桉柳干燥细嫩枝叶的95%乙醇提取物中得到11个黄酮类化合物，其中桉柳素-3-*O*- α -*L*-鼠李糖苷、5,7,4'-三羟基-3-*O*- β -*D*-葡萄糖醛酸苷、芹菜素、5,7,3',5'-四羟基-6,4'-二甲氧基黄酮、槲皮素-7,3',4'-三甲醚、桉柳素-7-*O*- β -*D*-葡萄糖苷为首次从该植物中分离得到。此外，桉柳中还包括山柰酚^[11]、鼠李柠檬素^[11]、山柰酚-7-甲醚^[12]、山柰酚-4'-甲醚^[13]、山柰酚-4',7-二甲醚^[13]、槲皮素^[13]、槲皮素-3',4'-二甲醚^[13]、3-甲氧基山柰酚^[14]、黄酮醇鼠李素^[14]、异鼠李素^[15]等黄酮苷、黄酮苷元及硫酸化黄酮类成分。赵磊等^[16]用95%乙醇回流提取桉柳枝，分离获得了桉柳的主要化学成分山柰酚、4'-甲氧基山柰酚、4',7-二甲氧基山柰酚。此外，有研究通过微波萃取法与离子液体相结合的方法实现桉柳中芦丁的批量、无污染萃取，其效果优于传统的超声萃取和回流萃取^[17]。同时，植物共生微生物的研究也取得了进展。1994年我国首次在桉柳植株中发现新品种桉柳核纤孔菌 *Inocutis tamaricis*^[18]，最新研究表明，该菌主要成分为黄酮类物质，实验采用超声辅助低共熔溶剂提取了真菌中黄酮类成分，并结合单因素分析和响应面法优化了提取方法，提取率达26.54 mg·g⁻¹^[19]。

1.2 萜类

桉柳干燥细嫩枝叶、新鲜叶和干皮等组织部位中含有萜类成分，主要有齐墩果烷型、乌苏烷型和羽扇豆烷型。桉柳中含有较多的三萜类化合物，如干燥嫩枝叶中的桉柳醇、桉柳酮和新鲜叶中的羽扇醇、 β -香树脂素、熊果酸等均属于五环三萜，少数

为链状二萜结构，如植醇^[20-21]。王斌等^[21]研究发现了桉柳枝干中的11个具有抗肿瘤活性的萜类成分，主要是白桦脂醇、白桦脂酸、羽扇豆醇、24-亚甲基环阿尔廷醇、异油桐醇酸、2 α -羟基齐墩果酸、杨梅二醇、异杨梅二醇等。陈柳生等^[11]从桉柳干燥细嫩枝叶中分离得到4个三萜类化合物，其中2 α ,3 β -二羟基-乌苏-12-烯-28-酸、 β -香树脂醇乙酸酯、12-齐墩果烯-2 α ,3 β ,23-三醇为首次从该植物中分离得到。Orfali等^[22]从尼罗河桉柳中分离出三萜类新化合物3-*O*-反式咖啡酰基异杨梅二醇。陈胜发等^[23]在桉柳的嫩枝叶中首次分离得到新型三萜类活性产物 isotamarixen。

1.3 挥发油类

桉柳中富含萜类、苯酚、脂肪酸、酯类等多种挥发油成分。由于提取原理不同，在研究和利用桉柳药材时需根据研究目的和实际需求确定最佳方法。吴彩霞等^[24]将采集于内蒙古自治区桉柳的干燥花粉碎后直接置于专用采样瓶，于80℃下顶空进样，通过固相微萃取分析桉柳花的挥发性成分，其中含量最高的是十五烷，其次为6,10,14-三甲基-2-十五烷酮、5,6-二氢-6-戊基-2*H*-吡喃-2-酮、十六烷和二氢猕猴桃内酯。王斌等^[25]将采集于特殊生境的黄河三角洲滨海湿地的西河柳样品粉碎，借助索氏提取器，石油醚回流提取4 h，利用气相色谱-质谱法(GC-MS)分析挥发油中的26个成分，其占总挥发油的91.0%，主要挥发性成分是棕榈酸甲酯、亚油酸甲酯、9-十八碳烯酸甲酯和 β -维生素E。吉力等^[26]将采集于河北省安国市的桉柳样品干燥枝叶粉碎后置于挥发油提取器中提取25 h，共鉴定出63个挥发性成分，其中含量最高的是棕榈酸。

1.4 甾体类

甾体类是桉柳中一类重要的生物活性物质。姜岩青等^[20]从西河柳中分离得到 β -谷甾醇和胡萝卜苷。王斌等^[12]从桉柳枝干粗提物石油醚部分和乙酸乙酯部分中首次提取出豆甾-4-烯-3,6-二酮、麦角甾-4,24(28)-二烯-3-酮、豆甾烷-3,6-二酮、豆甾-4-烯-3-酮和胆固醇5个甾体类化合物。

1.5 酚类

桉柳作为一种传统药用植物，其嫩枝及枝叶富含结构多样的酚类化合物，通过现代分离技术不断有新成分被发现。张秀尧等^[15]首次从桉柳嫩枝中提

取出非次生没食子酸,表明其可能通过游离酚酸直接发挥抗氧化、抗菌等作用。陈胜发等^[23]通过硅胶柱色谱和Sephadex LH-20凝胶柱色谱联用技术,从柞柳嫩枝叶中分离出一系列烷基取代酚类化合物,包括3-甲氧基-5-二十一烷基-苯酚、5-十五烷基-1,3-间苯二酚、 α -生育酚等多种酚类化合物。此外,从西河柳乙醇提取物石油醚部位还分离得到鞣花酸,乙酸乙酯部位分离得到没食子酸与丁香酸等化合物^[27]。姜岩青等^[20]从西河柳乙醇提取物中分离得到了柞柳酚。

2 药理作用

2.1 抗肿瘤

柞柳作为传统药用植物,近年来其抗肿瘤活性受到广泛关注。柞柳中富含黄酮类、三萜类、甾体类等多种活性成分,通过诱导细胞凋亡、抑制细胞增殖、调节信号通路、抗氧化、调节免疫系统途径协同抑制肿瘤的发生发展,抑制肿瘤细胞的生长和扩散。体外抗肿瘤活性筛选实验结果表明,从柞柳枝干粗提物石油醚部分和乙酸乙酯部分中提取出的豆甾-4-烯-3,6-二酮、豆甾烷-3,6-二酮、豆甾-4-烯-3-酮和麦角甾-4,24(28)-二烯-3-酮在质量浓度为 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时对人肺癌细胞A549表现出显著的细胞毒活性^[15]。此外,王斌等^[21]采用噻唑蓝(MTT)和磺基罗丹明B(SRB)法对柞柳抗肿瘤活性化合物进行筛选,发现甾体类、黄酮类、萜类成分如白桦脂醇、白桦脂酸、羽扇豆醇、24-亚甲基环阿尔廷醇等对小鼠白血病P388细胞、人乳腺癌MCF7细胞及人肝癌BEL-7402细胞均表现出较强的细胞毒活性。梁文杰等^[28]发现柞柳水提物(TEW)表现出显著的免疫调节作用。实验发现,不论有无有丝分裂原刀豆凝集素A(ConA)袭击,TEW均促进小鼠脾淋巴细胞增殖,具有丝裂原样作用;改善机体免疫力的同时,在高浓度下,TEW对血液细胞源性细胞株K562及上皮细胞源性细胞株TE13具有抑制作用,其抑制效果呈现剂量依赖性,但其中发挥直接细胞毒性作用的活性成分尚待进一步分离纯化和结构鉴定。民间柞柳长期以来被用于癌症的辅助治疗^[29],亦有将其与地骨皮配伍水煎试治于鼻咽癌的案例,可缓解自觉症状,使鼻咽部的赘生物减小^[30]。

2.2 抗炎

病毒性肺炎是一种上呼吸道感染导致的病毒蔓延至肺实质的炎症,具有高传染性和高致死率,主要临床症状包括急性呼吸道感染及急性肺损伤(ALI),甚至呼吸衰竭^[31-33]。研究表明,补体系统的异常激活在病毒性肺炎的发病机制中起关键作用^[34]。补体激活后产生的过敏毒素会增加血管渗透性,导致炎性介质释放,加重组织损伤^[35]。因此,亟待开发高效、低毒的靶向补体抑制剂治疗病毒性肺炎。研究表明,柞柳组方汤剂在临床上治疗麻疹并发肺炎具有显著的疗效^[36-37]。Jiao等^[38]首次从柞柳枝叶粗提物多糖MBAP90中分离纯化得到2种新型类黄酮糖苷化多糖MBAP-1和MBAP-2。基于此发现,该团队进一步通过高效凝胶渗透色谱结合质谱分析,鉴定出具有杨梅素糖苷修饰的结构均一多糖MBAP-3^[39],经甲基化分析及核磁共振技术对其进行结构表征,证实MBAP-3可通过特异性抑制补体经典途径,显著减少C3c、C5b-9等补体活化产物的沉积,抑制补体系统活性。在H1N1诱导的急性肺损伤小鼠模型中,MBAP-3处理组表现出显著的肺保护作用,促炎性细胞因子水平显著下调,肺水肿程度显著改善,肺泡腔渗出和炎性细胞浸润明显减轻。该系列研究揭示了柞柳多糖中类黄酮修饰与抗补体活性的关联,为开发靶向补体系统的天然抗炎药物提供了新思路。卢燕等^[40]进一步分离了6个均一多糖(MBAP-1~MBAP-6),表征了其结构特征。体外实验证实了柞柳多糖的抗补体活性及对甲型流感诱导的ALI小鼠的保护作用,发现MBAP-2、MBAP-3和MBAP-5均能显著改善病毒性肺炎的病理状态。该团队进一步扩大黄酮醇多糖提取量,并深入评估其在H1N1诱导的ALI小鼠模型中的治疗潜力^[41]。研究发现,MBAP-5可显著抑制感染小鼠体内核转录因子- κ B(NF- κ B)和NOD样受体热蛋白结构域相关蛋白3(NLRP3)炎症小体信号通路的激活和表达。此外,基于MBAP-5中槲皮素的含量折算的等效剂量的槲皮素($7\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)无显著保护作用,提示MBAP-5的多糖链结构是其发挥ALI治疗作用的关键因素。MBAP-5($50\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)与槲皮素($7\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)联合给药时,效果优于单用MBAP-5,两者协同作用可增强抗炎效果,恢复类杆菌门与厚壁菌门的比值(B/F),逆转肠道菌群失调,为肺部感染药物的开发提供了思路。

此外,赵润洲等^[42]发现桤柳水提取物能够显著降低小鼠耳廓毛细血管的通透性,缓解二甲苯致急性炎症小鼠模型耳肿出血等症状,表明桤柳水煎剂具有显著的抗炎作用。同时,研究证实了该提取物具有解热镇痛作用。朱彦姝等^[43]研究发现,桤柳水提取物显著减轻了佐剂性类风湿关节炎大鼠的足跖肿胀程度,并提高了模型大鼠的压力耐痛值。此外,桤柳中的多种活性成分,如槲皮素-3',4'-二甲醚及酚酸类化合物,均被证实具有显著的抗炎活性^[44-45]。综上,桤柳不仅能够显著改善病毒性肺炎的病理状态,所含槲皮素等核心成分可通过调控炎症介质及氧化应激通路从而发挥抗炎作用,有望成为安全有效的天然抗炎药物来源。

2.3 抗氧化应激

氧化应激是自由基与抗氧化系统平衡受到干扰,可引起DNA氧化损伤和蛋白质异常表达,导致细胞损伤,从而引起多种疾病的发生、发展^[46]。桤柳中富含的类黄酮和多糖类物质是其抗氧化活性的主要物质基础。基于类黄酮和多糖成分的潜在协同机制,Jiao等^[38]分离得到2种槲皮素取代多糖MBAP-1和MBAP-2,其中MBAP-1为均质杂多糖,其分子结构中连接有黄酮类取代基,使其表现出较强的抗补体和抗氧化活性。采用75%乙醇萃取法获得的桤柳黄酮提取液对羟自由基和1-1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基有显著的清除能力,其中对羟自由基的清除能力甚至优于阳性对照维生素C(VC),而对DPPH自由基的清除率和还原力较VC小^[47]。此外,桤柳不同部位黄酮提取物均具有显著的DPPH自由基清除能力,其中,桤柳茎、叶、花、全草的黄酮提取物对DPPH自由基的清除率分别为90.32%、93.06%、92.42%、91.74%,叶片提取物的清除活性最突出,更具应用潜力^[48]。Alnuqaydan等^[49]发现桤柳提取物中富含多酚类活性化合物,能够保护人类成纤维细胞Hs27,使其免受由过氧化氢(H₂O₂)介导的氧化应激产生的自由基的破坏。

2.4 抗菌

研究表明,桤柳的活性成分桤柳酮和桤柳醇对耐药金黄色葡萄球菌均显示出较强的抑制活性^[20]。桤柳叶中的黄酮类化合物在一定质量浓度下对各类菌群具有不同程度的抑制作用,抑菌能力依次为变形杆菌>大肠埃希菌>金黄色葡萄球菌>枯草芽孢杆

菌>白色黏菌^[47]。李金芳等^[48]研究发现,桤柳不同部位黄酮提取物对金黄色葡萄球菌、大肠埃希菌和白色念珠菌均有一定的抑制活性,为桤柳药用价值的开发提供了新思路。刘少伟等^[50]报道,从北京房山地区野生桤柳根部分离得到与链霉菌维吉尼霉素M1结构一致的内生放线菌菌株CLR304,其对耐甲氧西林表皮葡萄球菌(MRSE)、耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)、万古霉素中度耐药金黄色葡萄球菌(VISA)、耐万古霉素屎肠球菌(VRE)等革兰阳性菌均具有较强抑制活性,最小抑菌浓度(MIC)为1~4 μg·mL⁻¹,而对革兰阴性菌的抑制作用较差,甚至无抗菌活性。毕江涛等^[51]从桤柳中分离到内生真菌18株,通过抑菌实验证明,桤柳内生真菌对金黄色葡萄球菌均具有明显的抑制活性,可能与桤柳抑菌、消炎等药理作用密切相关,为桤柳内生真菌资源的开发和利用提供依据。

2.5 促进皮肤愈合

桤柳因其具有显著的抗氧化活性和抗菌潜力,在皮肤疾病治疗领域展现出潜在药理活性^[52]。研究表明,桤柳提取物能有效拮抗H₂O₂诱导的氧化损伤,显著保护皮肤成纤维细胞Hs27免受氧化应激介导的细胞毒性^[49]。MTT法研究进一步证实,桤柳提取物能剂量依赖性地提高人皮肤成纤维细胞的活力,有望通过应用于化妆品来减轻环境因素如紫外线辐射引起的氧化损伤^[53]。此外,桤柳提取物中的多酚类化合物通过调节超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽抗氧化酶(GSH-Px)和过氧化氢酶(CAT)的活性,强化细胞抗氧化防御系统,为开发天然成分替代合成添加剂的化妆品提供参考。

2.6 调血脂、降血糖

血脂异常是糖尿病最常见的并发症之一,也是冠心病的危险因素之一。Hebi等^[54]研究发现,桤柳甲醇提取物(5 mg·kg⁻¹)给药7 d后对链脲佐菌素(STZ)诱导的糖尿病大鼠及正常大鼠均有较强的调血脂作用,血清胆固醇和三酰甘油的水平显著降低,同时血清高密度脂蛋白水平显著升高,推测是其黄酮类化合物发挥羟甲基戊二酰辅酶A还原酶抑制剂的作用,使肠道胆固醇的合成和吸收减少,降低脂质过氧化,从而发挥调血脂和降低胆固醇的作用。进一步研究发现,桤柳水提取物(5 mg·kg⁻¹)能够降低正常大鼠和STZ诱导的糖尿病大鼠的血清总胆

固醇水平,并推测可能与其与肠内胆汁酸结合后增加胆汁酸排泄,或减少胆固醇生物合成有关^[55]。桉柳的醇提物通过多成分-多靶点-多通路协同作用,显著改善STZ诱导的糖尿病大鼠的胰岛素抵抗和氧化应激,降低糖尿病大鼠空腹血糖、改善糖耐量、降低胰岛素的敏感性,从而改善胰岛素抵抗。其中,麦角甾-5,24(28)-二烯-3,7,16-三醇、槲皮素-3,3'-二甲醚、山柰酚、槲皮素、桉柳素为其主要活性成分,对糖尿病潜在靶标具有较强的结合能力,呈浓度依赖性方式降低白细胞介素-1 β (IL-1 β)、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和血管内皮细胞黏附分子-1 (VCAM-1)的水平。

2.7 保肝

中医学认为“肝主疏泄”,肝脏与代谢、解毒及气血调节密切相关,而现代医学研究进一步揭示了肝脏在炎症、氧化应激等病理过程中的关键作用^[56-57]。桉柳70%乙醇提取物可缓解急性肝炎小鼠的肝组织变性,具有保肝的潜力^[58]。此外,有研究通过慢性乙醇喂养和急性乙醇灌胃制备了小鼠酒精性肝损伤模型,发现经桉柳80%乙醇提取物干预后,肝损伤小鼠的肝脏指数、天冬氨酸氨基转移酶(AST)和丙氨酸氨基转移酶(ALT)等肝酶活性较对照组显著降低,肝脏脂肪蓄积明显减轻,提示桉柳对酒精性肝损伤具有缓解作用^[59]。Yang等^[60]的研究表明,桉柳提取物能显著抑制四氯化碳和D-氨基半乳糖诱导的肝细胞毒性,减轻药物所致肝质量增加,减轻肝组织变性程度,证实其具有显著的肝脏保护作用。桉柳80%乙醇提取物(200 mg·kg⁻¹)通过抑制炎症小体NLRP3-半胱天冬酶(Caspase)-1-IL-1 β 信号通路,同时发挥抑制乙醇引起的氧化应激的作用,降低肝组织中SOD、丙二醛(MDA)、活性氧(ROS)水平,有效缓解乙醇诱导的慢性肝损伤^[61]。

2.8 其他

王世彪等^[62]认为西河柳可治疗风湿性关节炎,具有一定免疫调节作用。此外,历史记载和现代医学研究发现,桉柳具有解毒、透疹、解表等作用,对于皮肤瘙痒、风热感冒具有一定疗效^[63]。吴慧英^[64]通过临床应用证实桉柳具有治疗类风湿性关节炎的功效。此外,以桉柳枝叶入药制成煎剂,对氨水喷雾法所致咳嗽有止咳作用^[65],临床上用于治疗

慢性气管炎^[9]。桉柳在《本草纲目》中已有“利水道”的记载^[4]。许福泉等^[66]将西河柳75%乙醇提取物经聚酰胺处理后,从利尿活性最强部分中分离获得8个黄酮类化合物,提示桉柳利尿作用与黄酮类成分具有相关性。

3 桉柳的产品开发与应用潜力

糖尿病作为慢性代谢性疾病对人类健康构成严重威胁。目前临床上急需开发高效低毒的新型治疗药物。桉柳提取物不仅具有直接的降血糖作用,还能通过多种途径改善糖脂代谢紊乱,显示出广阔的临床应用前景。孙文龙等^[67]系统开发了桉柳提取物在糖尿病预防和治疗中的应用方案,阐述了从桉柳中提取具有降糖活性成分的方法,证实这些成分不仅能改善血糖代谢,还对糖尿病相关的非酒精性脂肪肝和动脉粥样硬化等并发症具有防治作用,并结合药物载体和辅料开发成多种剂型的药物制剂。纪洪芳等^[68]公开了1种基于桉柳提取物的复方降糖制剂,将桉柳提取物与阿卡波糖复配,通过抑制 α -葡萄糖苷酶协同调控餐后血糖,并综合治疗非酒精性脂肪肝和动脉粥样硬化等疾病。桉柳在控制糖尿病并发症和降低前驱糖尿病转化率方面具有独特优势,开展专利研究不仅拓展了桉柳的药用价值,也为开发具有我国自主知识产权的天然降糖药物提供了参考。未来研究应重点关注这些专利技术的临床转化,优化提取工艺和制剂配方及与其他植物活性成分的科学配伍,以进一步提升其治疗效果、扩大其应用范围。此外,桉柳嫩枝叶还可开发为功能性食品,如食用调料或保健茶饮,作为糖尿病患者的日常膳食补充,日常控制血糖,从而满足人们的日常保健需求。此外,桉柳活性成分因具有多种生物活性,近年来在化妆品领域的应用研究也备受关注。在功效研究方面,Alnuqaydan等^[53]研究证实,桉柳甲醇提取物能有效对抗H₂O₂介导的皮肤成纤维细胞氧化应激,并对紫外线辐射产生的自由基具有显著保护作用。在中国化妆品市场中,桉柳提取物已获得广泛的应用。根据国家药品监督管理局数据显示,目前已有18种含桉柳花、叶提取物的国产化妆品完成注册备案。含有桉柳花、叶提取物主要成分的产品主要以爽肤水、乳液、卸妆油、洁面乳、隔离美容液等形式出现(表1)。国家药品监督管理局在《已使用化妆品原料目录(2021年版)》^[69]中收录了桉

柳花、叶提取物为我国境内生产销售的化妆品已使用原料,并明确其收录为驻留类产品(如面霜、精华等涂抹后长时间停留在皮肤或黏膜表面的化妆品)原料。桉柳花和叶提取物可抑制自由基的产生、脂质氧化,发挥消炎抑菌等作用,有潜力应用于防晒化妆品配方中,开发成天然防晒霜或抗氧化剂、抗老化剂,或结合马齿苋、麦冬等具有抗过敏、消炎功效的植物提取物制备成水剂型、凝胶型、乳液型或霜剂型护肤品等功能性系列产品。

表1 国家药品监督管理局注册的含有桉柳花/叶提取物的化妆品

产品名称	批准文号
玉蒲康臻萃舒润精华粉+玉蒲康臻萃舒润精华液	粤G妆网备字2023317296
茵芙莎黑晶睿迷焕采紧致眼霜	国妆备进字J201311290
御木本珍珠光蜜粉(粉红)	国妆备进字J201810206
魅伶纱玫瑰水动力清洁面奶	粤G妆网备字2018061259
阿尔法坤杜孜乌斯曼草本洗发乳	川G妆网备字2021501855
阿尔法坤杜孜乌斯曼草本护发乳	川G妆网备字2021501856
茵芙莎致柔净润美肤水	国妆网备进字(沪)2020000004
茵芙莎黑晶睿迷莹润美肌液	国妆备进字J20130858
G致盐泉调理喷雾水	沪G妆网备字2020015558

4 桉柳的生态适应性

盐碱胁迫可通过破坏植物水力传导特性和干扰碳代谢影响其生理功能,桉柳属植物作为干旱和盐碱化地区生态修复的重要灌木物种具有生态适应性。研究表明,在重度盐碱胁迫下,桉柳可通过协同提升可溶性糖含量和调节气孔导度,维持碳摄取和碳代谢平衡^[70]。从桉柳根际土壤中分离出耐盐碱促生菌株喜盐芽孢杆菌Bachu85,可耐受 $3.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的NaCl,通过分泌生长素促进宿主根系发育,兼具耐盐碱与植物促生功能,为盐碱地微生物改良技术和生物肥料开发提供了优质菌株资源^[71]。此外,桉柳在盐碱胁迫下通过调节次生代谢产物的合成与积累来增强抗逆性。桉柳扦插幼苗叶绿素含量呈现浓度依赖性变化,即轻度盐胁迫下未能激活对盐胁迫的抵抗机制,桉柳通过提高叶绿素的合成、增强叶片自身光合作用以适应盐胁迫,而超过耐受阈值后合成途径受阻^[72]。此外,膜脂过氧化指标MDA的累积动态显示,当土壤含盐量高达2.0%时,桉柳叶片MDA含量仍保持稳定甚至降低趋势,提示其通过抗氧化酶系统的有效调控减轻了细胞膜的氧化损伤。

郭楠楠等^[73]以桉柳种子为原料,借助组培方法探讨桉柳组培苗在盐胁迫条件下的生理机制,结果发现在盐胁迫条件下,植物体内通过保护性抗氧化酶系统(SOD、POD、APX)相互平衡,降低氧化自由基水平,同时,调节可溶性蛋白、可溶性糖及游离脯氨酸等渗透调节物质,提高桉柳的抗盐胁迫能力。

在土壤生态效应方面,桉柳存在稳定的土壤碳氮比,可显著提升土壤的生态韧性,改善土壤理化性质和大气交互作用,对周边物种多样性产生积极影响。有研究表明,桉柳兼具排盐和促进光合作用的双重生态生理功能,其叶面通过盐腺主动排出 Na^+ 、 Cl^- 等离子,缓解高盐胁迫造成的生理损伤,并通过优化气孔导度和维持叶片水分平衡提升光合速率^[74]。此外,相关研究以黄河三角洲地区的桉柳为对象,探究了不同地下水盐度(淡水、微咸水、咸水及盐水)对其光合能力与水分利用的调控机制,结果表明,微咸水条件最有利于桉柳生长,生物量积累、光合速率、蒸腾耗水量及水分利用效率均达峰值,表现出最优的生理状态,而咸水与盐水则通过抑制根系功能导致光合能力下降,提示黄河三角洲桉柳对微咸地下水具有最优适应性^[75]。

5 展望

桉柳作为一种具有重要研究价值的药用植物,富含黄酮、萜类、挥发油、甾体、有机酸、酚酸等类化学成分,在抗肿瘤、降糖、抗氧化、调血脂、抗菌及促进伤口愈合等多个方面均表现出显著的药理活性,具有广阔的开发前景。尤其是在降血糖方面,桉柳的活性成分可通过抑制 α -葡萄糖苷酶活性及碳水化合物的消化吸收减缓餐后血糖水平的升高^[76]。此外,桉柳属植物能够改善促炎因子细胞的功能状态,减轻炎症反应对胰岛细胞的损伤。同时,其抗氧化活性可减轻氧化应激对组织的损害,增强外周组织对胰岛素的敏感性^[77-78],为药物研发领域开辟了一条从天然植物中寻找有效降糖成分的新思路。在其他领域,桉柳中所含挥发性成分在天然香料的开发方面也展现出较大的应用价值。桉柳中的黄酮类、多酚类、萜类等抗氧化、抗炎、美白和保湿成分可作为天然活性原料用于研发植物源化妆品。未来可借助多组学联用技术,加强原料的功效成分分析,推动资源-功效-产品的转化利用。此外,桉柳在农具制作、园林绿化及生态修复等方面也具有显

著的经济和社会效益,通过科学规划种植模式,可实现生态保护与资源利用的协调发展。

目前,对柽柳的研究主要集中在化学成分的分
离鉴定及体内外活性筛选阶段,未来需进一步结合
现代生物学技术(如基因编辑、蛋白质组学、代谢
组学等),深入解析其药效物质基础及分子作用机
制,明确其活性成分的体内靶点和信号通路。同时
加强药理活性评价研究,通过动物实验和临床试验
验证其疗效及安全性,为柽柳的临床应用和产业
化开发提供科学依据。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

参考文献

- [1] LI F J, XIE W L, DING X R, et al. Phytochemical and pharmacological properties of the genus *Tamarix*: A comprehensive review[J]. Arch Pharm Res, 2024, 47(5): 410-441.
- [2] 张道远,潘伯荣,尹林克. 柽柳科柽柳属的植物地理研究[J]. 云南植物研究, 2003, 25(4): 415-427.
- [3] 丁振铎. 基于本草药名管窥本草文化内涵[J]. 亚太传统医药, 2024, 20(6): 187-195.
- [4] 李时珍. 本草纲目: 下册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004: 2035.
- [5] 苏颂. 本草图经[M]. 尚志钧, 辑校. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1994: 409-410.
- [6] 叶橘泉. 现代实用中药[M]. 上海: 上海卫生出版社, 1956: 145.
- [7] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025: 139.
- [8] 廖菁, 邢亚超, 李宁, 等. 柽柳属植物的化学成分和药理活性研究进展[J]. 现代药物与临床, 2012, 27(4): 404-408.
- [9] 韩琳娜, 周凤琴. 西河柳的化学成分及其药理作用研究进展[J]. 齐鲁药事, 2010, 29(5): 293-295.
- [10] 宋霞林. 柽柳治愈药疹1例[J]. 湖南中医药导报, 1997(5): 48-49.
- [11] 陈柳生, 梁晓欣, 蔡自由, 等. 柽柳的化学成分研究[J]. 中草药, 2014, 45(13): 1829-1833.
- [12] 王斌, 任舒文, 李国强, 等. 柽柳抗肿瘤甾体和黄酮类化合物研究[J]. 中国药理学杂志, 2009, 44(8): 576-580.
- [13] 张秀尧, 凌罗庆, 毛泉明. 西河柳化学成分的研究[J]. 中草药, 1989, 20(3): 4-5.
- [14] 张媛, 屠鹏飞. 多枝柽柳化学成分研究[J]. 中草药, 2006, 37(12): 1764-1768.
- [15] 张秀尧, 凌罗庆, 王惠康. 西河柳化学成分的研究(II)[J]. 中草药, 1991, 22(7): 299-300.
- [16] 赵磊, 彭雪晶, 夏鹏飞, 等. 柽柳化学成分研究[J]. 中药材, 2014, 37(1): 61-63.
- [17] 王阳光, 欧阳小琨, 杨立业, 等. 离子液体微波辅助萃取柽柳中芦丁的研究[J]. 高校化学工程学报, 2011, 25(3): 411-415.
- [18] 戴玉成, 徐梅卿. 中国多孔菌一新记录[J]. 林业科学研究, 1994, 7(5): 567-568.
- [19] CUI Q, MING Y F, YU M X, et al. Optimization of flavonoids extraction from *Inocutis tamaricis* and biological activity analysis[J]. J Food Meas Charact, 2023, 17(6): 5619-5632.
- [20] 姜岩青, 左春旭. 柽柳化学成分的研究[J]. 药科学报, 1988, 23(10): 749-755.
- [21] 王斌, 姜登钊, 李国强, 等. 柽柳抗肿瘤萜类成分研究[J]. 中草药, 2009, 40(5): 697-701.
- [22] ORFALI R S, EBADA S S, EL-SHAFAE A M, et al. 3-O-trans-caffeoylisomyricadiol: A new triterpenoid from *Tamarix nilotica* growing in Saudi Arabia [J]. Z Naturforsch C J Biosci, 2009, 64(9/10): 637-643.
- [23] 陈胜发, 王国华, 姜祎. 柽柳嫩枝叶的化学成分研究[J]. 中药材, 2018, 41(9): 2105-2107.
- [24] 吴彩霞, 刘广河, 康文艺. 柽柳花挥发性成分研究[J]. 中国药房, 2010, 21(15): 1406-1407.
- [25] 王斌, 李国强, 管华诗. 柽柳挥发油成分及无机元素的GC/MS和ICP-MS分析[J]. 质谱学报, 2007, 28(3): 161-164.
- [26] 吉力, 徐植灵, 潘炯光, 等. 西河柳挥发油化学成分的GC-MS分析[J]. 中国中药杂志, 1997, 22(6): 360, 384.
- [27] 陈胜发, 稽传良. 柽柳的化学成分研究[J]. 科技视界, 2018(17): 131-132.
- [28] 梁文杰, 王志超, 马国平. 柽柳水提物对小鼠脾细胞及肿瘤细胞增殖反应的影响[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(11): 3005-3006.
- [29] 张媛, 屠鹏飞. 柽柳属药用植物研究进展[J]. 中草药, 2008, 39(6): 947-951.
- [30] 江苏新医学院. 中药大辞典: 下册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977: 1534.
- [31] 白融, 蔡佩良, 贾宗月, 等. 基于中医传承计算平台探析中医药治疗病毒性肺炎的用药规律[J]. 中国中医急症, 2023, 32(12): 2073-2077.
- [32] CILLONIZ C, DY-AGRA G, PAGCATIPUNAN R S J, et al. Viral pneumonia: From influenza to COVID-19[J]. Semin Respir Crit Care Med, 2024, 45(2): 207-224.
- [33] 晏唯, 陈阳育. 病毒性肺炎诊疗概述[J]. 中国科技论文在线精品论文, 2024, 17(3): 361-365.
- [34] KANTH S M, HUAPAYA J A, GAIRHE S, et al. Longitudinal analysis of the lung proteome reveals

- persistent repair months after mild to moderate COVID-19[J]. Cell Rep Med, 2024, 5(7): 101642.
- [35] OSTRYCHARZ E, HUKOWSKA-SZEMATOWICZ B. New insights into the role of the complement system in human viral diseases[J]. Biomolecules, 2022, 12(2): 226.
- [36] 张祖联. 麻疹并发肺炎41例临床总结[J]. 中西医结合临床杂志, 1992, 2(3): 41.
- [37] 夏承义. 麻疹并发肺炎38例疗效分析[J]. 时珍国医国药, 2000, 11(6): 536-537.
- [38] JIAO Y K, YANG Y T, ZHOU L S, et al. Two natural flavonoid substituted polysaccharides from *Tamarix chinensis*: Structural characterization and anticomplement activities[J]. Molecules, 2022, 27(14): 4532.
- [39] JIAO Y K, ZHOU L S, HUO J Y, et al. Flavonoid substituted polysaccharides from *Tamarix chinensis* Lour. alleviate H₂N₁-induced acute lung injury via inhibiting complement system [J]. J Ethnopharmacol, 2024, 322: 117651.
- [40] 卢燕, 陈道峰, 焦峪坤, 等. 柽柳多糖及其在制备补体抑制剂及防治病毒性肺炎药物中的用途: CN11457372 3B[P]. 2023-03-21.
- [41] JIAO Y K, ZHOU L S, LI H, et al. A novel flavonol-polysaccharide from *Tamarix chinensis* alleviates influenza A virus-induced acute lung injury. Evidences for its mechanism of action [J]. Phytomedicine, 2024, 125: 155364.
- [42] 赵润洲, 孙仕银, 陈发奎, 等. 西河柳药理作用的研究[J]. 中草药, 1995, 26(2): 85.
- [43] 朱彦姝, 李娟, 刘建平, 等. 柽柳水提物对类风湿关节炎大鼠模型的治疗作用[J]. 健康之路, 2016, 15(8): 18-19.
- [44] 陈发奎, 杨晓燕. 西河柳中抗炎活性成分槲皮素-3', 4'-二甲醚的 HPLC 测定 [J]. 中草药, 1995, 26(9): 467-468.
- [45] BARAKAT H H, NADA S A. Chemical and biological investigations of the constitutive phenolics of two Egyptian folk-medicinal plants; a novel phenolic from the galls of *Tamarix aphylla* [J]. Nat Prod Sci, 1996, 2(2): 96-101.
- [46] 李雨欣, 易梦雅, 李警耀, 等. 氧化应激及相关疾病的研究进展[J]. 承德医学院学报, 2025, 42(2): 139-145.
- [47] 古丽美克热依·吐尼亚孜, 德丽达·木拉提别克, 米丽班·霍加艾合买提, 等. 柽柳中总黄酮的提取工艺及其抗氧化、抑菌作用研究[J]. 化学世界, 2017, 58(12): 719-726.
- [48] 李金芳, 陈婷玉, 付金环, 等. 红柳黄酮提取工艺优化及其抗氧化、抑菌活性初探[J]. 化学与生物工程, 2024, 41(2): 54-60.
- [49] ALNUQAYDAN A M. *Tamarix articulata* extracts exhibit antioxidant activity and offer protection against hydrogen peroxide-mediated toxicity to human skin fibroblasts[J]. J Toxicol, 2020, 2020: 8896263.
- [50] 刘少伟, 李舟, 胡辛欣, 等. 柽柳内生链霉菌 CLR304 抗 MRSA 次级代谢产物 304A 的研究[J]. 中国医药生物技术, 2015, 10(6): 514-521.
- [51] 毕江涛, 马萍, 杨志伟, 等. 药用植物柽柳内生真菌分离及其抑菌活性初步研究[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 132-138.
- [52] ALNUQAYDAN A M, RAH B. *Tamarix articulata* (*T. articulata*)-an important halophytic medicinal plant with potential pharmacological properties [J]. Curr Pharm Biotechnol, 2019, 20(4): 285-292.
- [53] ALNUQAYDAN A M, ZAINY F M A, ALMUTARY A G, et al. *Tamarix articulata* extract offers protection against toxicity induced by beauty products in Hs27 human skin fibroblasts [J]. PLoS ONE, 2023, 18(11): e0287071.
- [54] HEBI M, HAJJI L, EDDOUKS M. Effect of flavonoid-rich extract of *Tamarix articulata* Vahl. on glucose and lipid metabolism in normal and diabetic rats [J]. Cardiovasc Hematol Agents Med Chem, 2018, 16(2): 94-105.
- [55] 李倩, 王贞香, 梁艳婷, 等. 基于网络药理学、分子对接和动物实验探究西河柳对链脲佐菌素诱导的糖尿病大鼠的影响及作用机制[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2025, 30(7): 907-920.
- [56] 张起灵, 宋转, 张晓涵, 等. *N*-乙酰-*D*-半乳糖胺对猪流行性腹泻病毒感染仔猪肝脏抗氧化、抗炎和抗病毒能力的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2025, 61(6): 397-405.
- [57] 赵迪, 任杰, 安海燕. 肝主疏泄的源流追溯及现代研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2017, 23(2): 289-291.
- [58] 久保惠子. 西河柳及葶荠的抗炎作用研究[J]. 国外医学: 中医中药分册, 1991, 13(2): 116.
- [59] 张钰, 韩琛, 王朝霞, 等. 柽柳对小鼠酒精性肝损伤的保护作用及机制[J]. 山东大学学报(医学版), 2017, 55(2): 61-67.
- [60] YANG L L, YEN K Y, KISO Y, et al. Antihepatotoxic actions of Formosan plant drugs [J]. J Ethnopharmacol, 1987, 19(1): 103-110.
- [61] WANG Z D, ZHANG Y, DAI Y D, et al. *Tamarix chinensis* Lour inhibits chronic ethanol-induced liver injury in mice [J]. World J Gastroenterol, 2020, 26(12): 1286-1297.
- [62] 王世彪, 王映联. 重用西河柳治疗类风湿性关节炎阴

- 虚湿热证疗效观察[J]. 甘肃科技, 2014, 30(3): 125-127.
- [63] 刘会, 姜海荣, 刘洪超, 等. 中药西河柳的本草考证[J]. 中药材, 2009, 32(7): 1151-1154.
- [64] 吴慧英. 西河柳治痹[J]. 江西中医药, 1996, 27(增2): 94.
- [65] 王晓光, 傅江南. 常用中药药理研究与临床新用[M]. 北京: 人民军医出版社, 2006: 305.
- [66] 许福泉, 张小坡, 吴海峰, 等. 中药西河柳利尿部位黄酮成分研究[C]//中国药学会中药和天然药专业委员会. 中药与天然药高峰论坛暨第十二届全国中药和天然药物学术研讨会论文集. 北京: 中国医学科学院药用植物研究所, 2012: 452-453.
- [67] 孙文龙, 刘盼盼, 申亮, 等. 一种预防或治疗糖尿病的药物提取物及其应用: CN109758489A[P]. 2019-01-28.
- [68] 纪洪芳, 申亮, 孙文龙. 药用柽柳提取物及其应用: CN111012808A[P]. 2020-01-10.
- [69] 国家药品监督管理局. 国家药监局关于发布《已使用化妆品原料目录(2021年版)》的公告(2021年第62号)[EB/OL]. (2021-04-30)[2024-10-11]. <https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/ggtg/hzhpqgtg/jmhzhptg/20210430162707173.html>.
- [70] 王林, 刘宁, 王慧, 等. 盐碱胁迫下枸杞和柽柳的水力学特性和碳代谢[J]. 植物科学学报, 2017, 35(6): 865-873.
- [71] 张小霞, 陈筱玥, 王秋云, 等. 柽柳根际一株盐单胞菌 Bachu 26 的分离、鉴定及其盐胁迫下的促生作用研究[J]. 微生物学报, 2024, 64(2): 607-622.
- [72] 朱金方, 刘京涛, 陆兆华, 等. 盐胁迫对中国柽柳幼苗生理特性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(15): 5140-5146.
- [73] 郭楠楠, 陈学林, 张继, 等. 柽柳组培苗抗氧化酶及渗透调节物质对NaCl胁迫的响应[J]. 西北植物学报, 2015, 35(8): 1620-1625.
- [74] HUSSAIN T, ASRAR H, LI J S, et al. The presence of salts in the leaf exudate improves the photosynthetic performance of a recreto-halophyte, *Tamarix chinensis*[J]. Environ Exp Bot, 2022, 199: 104896.
- [75] XIA J B, ZHAO X M, REN J Y, et al. Photosynthetic and water physiological characteristics of *Tamarix chinensis* under different groundwater salinity conditions[J]. Environ Exp Bot, 2017, 138: 173-183.
- [76] 常星, 崔维恒, 张俊柯, 等. 内蒙古产柽柳和多枝柽柳 α -葡萄糖苷酶抑制活性[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(1): 146-148, 197.
- [77] MAHFOUDHI A, GROSSO C, GONCALVES R F, et al. Evaluation of antioxidant, anticholinesterase, and antidiabetic potential of dry leaves and stems in *Tamarix aphylla* growing wild in Tunisia[J]. Chem Biodivers, 2016, 13: 1747-1755.
- [78] MALIK M, SHARIF A, HASSAN S U, et al. Amelioration of hyperglycaemia and modulation of pro-inflammatory cytokines by *Tamarix gallica* fractions in alloxan induced diabetic rats[J]. Arch Physiol Biochem, 2022, 128: 1666-1675.

(收稿日期: 2024-10-11 编辑: 田苗)