

宋也好,游慧婷,姚于飞,等. 鱼腥草多糖的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 382–387. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060125

SONG Yehao, YOU Huiting, YAO Yufei, et al. Research Progress of *Houttuynia cordata* Polysaccharide[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(9): 382–387. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060125

· 专题综述 ·

鱼腥草多糖的研究进展

宋也好¹,游慧婷¹,姚于飞²,万 敏¹,李睿诚¹,尹术华¹,李 露¹,李文娟^{1,*}

(1.南昌大学食品学院,江西南昌 330047;

2.江西中医药大学附属医院,江西南昌 330006)

摘 要:鱼腥草有“中药抗生素”之称,是我国重要的药食两用资源;鱼腥草多糖(*Houttuynia cordata* polysaccharide, HCP)为其主要的活性成分之一,已有研究表明 HCP 具有良好的抑菌、抗病毒、抗炎、免疫调节、肠道保护、抗氧化等多种作用。近年来, HCP 的结构特征和生物活性功能研究已经成为科研工作者关注的焦点。本文主要总结了 HCP 的提取方法、结构特征、生物活性以及构效关系的研究进展,不仅有利于鱼腥草及其多糖资源的应用开发,还可为进一步深入探究 HCP 的构效关系提供参考。

关键词:鱼腥草多糖,提取方法,结构特征,生物活性,构效关系

中图分类号:TS201.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2021)09-0382-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060125

Research Progress of *Houttuynia cordata* Polysaccharide

SONG Yehao¹, YOU Huiting¹, YAO Yufei², WAN Min¹, LI Ruicheng¹, YIN Shuhua¹, LI Lu¹, LI Wenjuan^{1,*}

(1.College of Food Science, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2.Affiliated Hospital of Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330006, China)

Abstract: *Houttuynia cordata* Thunb was commonly known as "antibiotic of traditional Chinese medicine", which is an important medicinal/dietary resource in China. *Houttuynia cordata* polysaccharide (HCP) is one of its main active components, and many researches have shown that HCP can exert potent antibacterial, antiviral, anti-inflammatory, immune regulation, intestinal protection, antioxidant, and other bioactivities. Recently, its structural characteristics and biological activity have become the focus of researchers. In this work, the extraction methods, structural characteristics, bioactivity, and structure-activity relationship of HCP are highlighted. Taken together, the article is not only beneficial to promote the application and development of *Houttuynia cordata* Thunb and polysaccharide resources, but also provides reference for further investigation involved in the structure-activity relationship of HCP.

Key words: *Houttuynia cordata* polysaccharide; extraction method; structural characteristic; biological activity; structure-function relationship

鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb)最早记载于《名医别录》,属于三白草科植物蕺菜的地上干燥部分或者新鲜全株^[1],又名肺形草、热草、狗心草、臭灵丹、折耳根等,因叶揉搓后具有腥臭味,故通常称其为鱼腥草。其归肝、肺二经;《名族药志一》表述其全草主治感冒、肺气肿、肺炎、支气管炎、胃肠炎、血尿以及消化不良等病症^[2]。鱼腥草是中国传统的中草

药之一,也是餐桌上常见的野生蔬菜,主要产于我国长江流域以南地区,包括江西、贵州、浙江、江苏、安徽、四川等省。鱼腥草茎、根和叶子均可食用,其具有丰富的纤维素、油脂等营养成分以及 V_C、V_E、B 族维生素和锌、锰、硒、铁等微量元素,是我国以至亚洲具有药用价值和营养意义的本土植物。鱼腥草含挥发油、水溶性多糖、黄酮类化合物等多种活性成

收稿日期: 2020-06-11

基金项目: 国家自然科学基金地区项目(81860713);国家自然科学基金面上项目(31872900);国家重点研发计划项目(2019YFC1604904);“三区”人才计划科技特派员项目(No.0210208651)。

作者简介: 宋也好(1992-),女,硕士研究生,研究方向: 营养保健与功能食品, E-mail: 2466406175@qq.com。

* 通信作者: 李文娟(1982-),女,博士,教授,研究方向: 天然产物活性功能与研发, E-mail: liwenjuan8211@126.com。

分,具有祛痰止咳、消痈排脓、清热解毒、镇痛抗炎等功能,已被《中国药典》收录并确定为药食两用的品种之一^[3]。

鱼腥草一直有“中药抗生素”之称,已有大量研究证实鱼腥草具有多种活性功能。Li 等^[4]研究显示鱼腥草挥发油可以抑制水肿渗出液中前列腺素 E₂ 和 MDA 含量,明显减轻二甲苯导致的小鼠耳水肿、甲醛致小鼠足水肿状态。Wang 等^[5]用鱼腥草挥发油处理糖尿病模型大鼠 8 周以后,发现鱼腥草可以通过升高脂联素含量,降低结缔组织生长因子水平,对糖尿病大鼠产生积极影响。Lee 等^[6]设计实验研究鱼腥草黄酮类化合物对小鼠肺炎的影响,结果表明鱼腥草黄酮类化合物具有治疗肺部疾病的潜在功能。Kang 等^[7]研究显示鱼腥草乙酸乙酯提取物能抑制高脂饮食大鼠血脂指标及游离脂肪酸上升,并缓解肝脏组织的病理损伤。

前期有关鱼腥草的研究大多数集中在挥发油、生物碱和黄酮类化合物等,而对鱼腥草水溶性多糖结构与活性的研究较少。随着科研工作者对药食两用植物的关注,鱼腥草多糖(*Houttuynia cordata* polysaccharide, HCP)的结构与生物活性也成为了当今研究热点。HCP 是鱼腥草的主要活性成分之一,在其药理活性发挥中起着至关重要的作用。近年来,已经有研究发现 HCP 含有葡萄糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、半乳糖醛酸等丰富的单糖组成成分,并证实其具有消炎抑菌、抗病毒、免疫调节、肠道保护及抗氧化等多种活性功能^[8]。

本文主要综述了鱼腥草的重要活性成分 HCP 的提取方法、结构特征、生物活性以及构效关系的研究进展,并进行了阐述与归纳,这有利于鱼腥草资源的利用,还可为多糖产品的开发提供有益参考。

1 鱼腥草多糖的提取及结构特征

1.1 鱼腥草多糖的提取

目前,有关 HCP 的提取方法多种多样,主要的提取方法包括热水浸提法、酸/碱提取法、酶法、超声波、微波以及超高压提取法,具体方法总结见表 1。不同的提取方法各有优缺点,例如热水浸提法操作方便,有利于工厂进行大批量产出,但是提取的多糖纯度不高,含有各种杂质分子。酸法有利于碱性多糖的

提取,碱法有利于酸性多糖的提取,但没有控制好提取条件会破坏多糖结构,对多糖造成一定损失。相对于常规的水提醇沉法,酶法虽然操作更加复杂,但是其作用条件温和,不会造成结构破坏,还会提高其提取率和利用率,是安全有效的提取方式。另外,辅助提取法例如超声波有利于热不稳定的物质提取,微波法和超高压法可以节约提取时间和溶剂,能提高多糖得率和提取效率。目前,多糖提取会将各种基础方法进行联合使用,以此获得活性最高且提取方式最佳的多糖成分^[9]。

1.2 鱼腥草多糖的结构特征

多糖是一种极性强的大分子化合物,一般会经过醇沉、脱蛋白、脱色、透析、分离纯化等处理步骤获得纯度较高的多糖物质。研究多糖的一级或高级结构的方法主要有化学分析法与仪器分析法等,化学分析方法包括甲基化反应法、水解法、Smith 降解法以及高碘酸氧化法等;仪器分析法包括红外/紫外光谱法、高效凝胶渗透色谱法(HPGPC)、高效阴离子色谱法、气相色谱-质谱法以及核磁共振等^[18]。HCP 的结构特征主要见表 2,根据前人研究可以看出,不同分析方法获得的 HCP 的单糖组成种类差异较大,综合分析可知 HCP 是一种酸性果胶类多糖;主要单糖组成为甘露糖、阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖和半乳糖醛酸。不同方法提取得到的 HCP 分子量差异较大,分子量范围约为 5~500 kDa;且其糖残基主要是由 1,4-连接的 GalpA 或 Galp 和 1,4-连接的 Glcp 构成。

2 鱼腥草多糖的生物活性

2.1 抗氧化作用

过多的自由基会通过氧化作用攻击健康细胞,加速机体衰老,并导致多种疾病的发生与发展。HCP 已被广泛证明具有重要的抗氧化作用,其氧化机制主要包括直接清除自由基、激活抗氧化系统、抑制自由基的形成^[28]。来林康等^[29]对 HCP 进行体外抗氧化实验,结果显示其对 DPPH 自由基、·OH 和超氧阴离子自由基的清除率分别达到了 60.43%、46.17% 和 57.50%。马新方等^[30]对 HCP 进行体内抗氧化实验,发现 HCP 中、高剂量组能够升高小鼠体内抗氧

表 1 HCP 的提取
Table 1 Extraction of *Houttuynia cordata* polysaccharide

提取方法	提取条件	得率(%)	文献来源
热水浸提法	料液比1:32(g/mL), 提取温度81 ℃, 提取时间1.86 h	5.22	[10]
碱提法	氢氧化钠浓度0.2 mol/L, 提取温度65 ℃, 提取时间3 h	/	[11]
酸提法	pH=3.0, 提取温度60 ℃, 提取时间3 h	/	[12]
木瓜蛋白酶法	酶添加量2.0%, pH=7.0, 提取温度60 ℃, 提取时间2.5 h	7.85	[13]
胰蛋白酶法	胰蛋白酶含量2.5%, 提取温度45 ℃, 浸提2.4 h	5.56	[14]
超声波提取法	料液比1:25(m/V), 超声提取温度80 ℃, 超声提取时间40 min	5.82	[15]
超高压提取法	料液比1:20(g/mL), 超高压时间4.5 min, 超高压压力320 MPa	5.85	[16]
微波提取法	料液比1:50(m/V), 微波处理时间8 min, 微波功率260 W	7.28	[17]

表 2 HCP 的结构特征

Table 2 Structural characteristics of *Houttuynia cordata* polysaccharide

分离、纯化方法	相对分子量(kDa)	单糖组成(与摩尔质量比)	主要糖残基类型	文献来源
高效液相色谱法	/	甘露糖:鼠李糖:葡萄糖醛酸:半乳糖醛酸: 葡萄糖:木糖:半乳糖:阿拉伯糖= 1.8:17.2:6.8:29.4:5.3:2.1:24.0:13.5	/	[19]
固相萃取、高效液 相色谱法	/	鼠李糖、木糖、阿拉伯糖、 果糖、甘露糖和葡萄糖	/	[20]
凝胶层析法 Waters Sep-pak C ₁₈ 固相萃取小柱	/	木糖:果糖:阿拉伯糖:半乳糖= 2.209:1.587:1.000:2.092	/	[21]
Toyopearl 柱层析法、 GC-MS 色谱	HCP1、HCP2、HCP3= 486.86、9.48 和 5.76	HCP1:甘露糖:葡萄糖:半乳糖= 1.407:1:3.755, HCP2:甘露糖:葡萄糖= 2.919:1, HCP3:甘露糖	/	[22]
DEAE 层析法、高效液相、 Sephacryl S-300 凝胶柱	43	半乳糖醛酸:半乳糖:葡萄糖:木糖= 1.56:1.49:1.26:1.11	α -1,4-linked GalpA、 β -1,4-linked Galp、 β -1,4-linked Glcp 和 β -1,4-linked Xylp	[23]
HCGPC 法	/	葡萄糖:半乳糖:阿拉伯糖:鼠李糖= 3.40:2.14:1.17:1	/	[24]
DEAE-Cellulose 和 Sephacryl S-300 柱	21.7	鼠李糖、半乳糖醛、半乳糖和阿拉伯糖	1,4-linked- α -D-GalpA 和 1,2,4-linked- α -L-Rhap	[25]
DEAE Sepharose CL-6B 和 Sephacryl S-400 HR 柱层析	60	半乳糖醛酸	1,4-linked- α -D-galacturonic acid	[26]
DEAE-Cellulose 和 Superdex 柱层析	HCPS1:274.53, HCPS3:216.38	鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖、葡萄糖、 葡萄糖醛酸、半乳糖、半乳糖醛酸和木糖	末端 Rhap; 1,5-linked Arafi; 1,3,6- linked 和 1,4,6-linked Manp; 1,3-linked, 1,3,6-linked, 1,4,6-linked 和 1,3,4,6- linked Glcp; 1,4-linked 和 1,6-linked Galp	[27]

化物酶 SOD 和 GSH-Px 含量,降低 MDA 含量,呈现较好的抗氧化效果。刘光建等^[31]建立肝损伤模型探究 HCP 对肝损伤小鼠各种脏器组织的抗氧化作用,结果显示 HCP 能抑制小鼠肝脏、心脏、肾脏、脑组织中 MDA 水平上升,表明 HCP 对肝损伤小鼠机体内各脏器具有良好的抗氧化活性。Tian 等^[19]比较了 HCP 和各种有机溶剂提取物的抗氧化能力,结果显示鱼腥草水溶性提取物对 DPPH 自由基、·OH 及超氧自由基清除率最高,表明 HCP 是鱼腥草抗氧化作用的主要活性成分之一,并且发现 HCP 的清除效果高于有机溶剂提取物。Hsu 等^[32]发现鱼腥草水提取物可以降低糖尿病小鼠的活性氧、蛋白羰基、IL-6 和 TNF- α 等水平,鱼腥草水提取物能提高糖尿病小鼠心脏和肾脏的抗氧化能力。

2.2 抑菌作用

从植物中提取的化合物被用于改善症状和治疗感染已有数千年的历史。鱼腥草是世界上最受欢迎的药食两用植物之一,HCP 作为一种抗微生物感染的治疗制剂具有巨大的开发潜力,研究发现 HCP 对细菌有较好的抑制效果,吴红森等^[33]采用琼脂扩散法研究了 HCP 的抑菌作用,结果显示当 HCP 浓度达到 20.50 $\mu\text{g/mL}$ 对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有较好的抑制效果;且雒江茵等^[34]研究也显示 HCP 对这两种细菌具有明显的抑制作用。此外,HCP 对于真菌也具有重要的抑制作用。陈晓清^[35]研究发现 HCP 对四种细菌(金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、变形杆菌)和三种真菌(黑曲霉、桔青霉、啤酒酵母)均有抑制作用,且 HCP 抗细菌活性高于

其抗真菌活性,表明 HCP 具有广谱抑菌活性。Lim 等^[36]研究发现鱼腥草和其他中草药混合水提物能抑制人单核细胞(THP-1)中促炎因子 TNF- α 、IL-8、IL-1 β 和 IL-6 产生和痤疮丙酸杆菌的生长,表明 HCP 呈现较好的抗炎和抗菌活性。Kim 等^[37]研究了鱼腥草水提取物对 264.7 巨噬细胞(RAW264.7)内沙门氏菌的影响,结果显示鱼腥草水提取物使感染伤寒沙门菌的 RAW264.7 细胞内 NO 和 iNOS 的 mRNA 表达量明显上升,还能剂量依赖性的减弱伤寒沙门菌的毒力,表明鱼腥草水提取物具有较好的抑菌活性并能治疗细菌感染相关疾病。

2.3 抗病毒作用

越来越多的研究表明,植物多糖具有低毒低耐药特性,因此,关于 HCP 的抗病毒活性也逐渐受到广泛关注。已有研究表明鱼腥草水提取物对单纯疱疹病毒(HSV)和严重呼吸系统综合症病毒等具有抑制效果。Cheng 等^[23]评价 HCP 对鼠诺如病毒(MNV-1)的抗病毒活性,研究结果显示 HCP 可以减少 MNV-1 斑块形成,当多糖剂量为 500 $\mu\text{g/mL}$ 时,机体内 MNV-1 染毒性降到无法检测的水平,优于鱼腥草乙醇提取物的抗病毒活性,且放射透视镜等显示 HCP 能使病毒颗粒变形与膨胀,从而抑制 MNV-1 在靶细胞中的渗透。刘苗苗等^[38]通过体外实验证实了鱼腥草水提取物和 HCP 对肠道病毒(EV71)、呼吸道合胞病毒(RSV)和柯萨奇病毒 B 组 3 型(CV-B3)这三种病毒均有不同程度的抑制作用。陈晓庆^[39]发现鱼腥草水提取物对 HSV 具有显著抑制作用,且半数抑制浓度可达 50 $\mu\text{g/mL}$ 。Chen 等^[40]研究表明鱼腥

草热水提取物可以通过抑制 NF- κ B 信号转导通路激活来抑制 II 型单纯疱疹病毒(HSV-2)的感染。Chiang 等^[41]研究发现鱼腥草热水提取物对 HSV 具有明显的抑制作用,结果显示其对 HSV-1 和 HSV-2 的半数有效量分别为 822.4 和 362.5 μ g/mL。从以上研究中可知,HCP 具有广谱的抗病毒作用,对多种病毒均有抑制作用,且可以通过直接杀灭、阻止病毒对细胞的吸附与穿入、抑制病毒的复制等直接抗病毒作用或增强免疫功能等间接抗病毒作用。

2.4 抗炎作用

天然中草药已被广泛证明具有良好的抗炎作用,它可以对抗导致身体系统严重异常的炎症反应,HCP 也被证明可以发挥较好的抗炎效果。前人研究发现鱼腥草煎剂能改善甲醛致老鼠足肿胀和耳肿胀程度^[42-43],对炎症引起的组织水肿和炎症细胞渗出均有明显的抑制效果。HCP 可以协同抗炎途径中的生物活性酶、抑炎细胞因子或干扰炎症途径中的环氧合酶、肿瘤坏死因子、白细胞介素、一氧化氮、丝裂原活化蛋白、核转录因子等的表达与释放,从分子水平或细胞水平发挥抗炎活性^[44]。Xu 等^[45]研究表明 HCP 能抑制急性肺炎损伤(ALI)小鼠体内的补体激活产物 C5a 生成,降低炎症介质 NO、IL-6、TNF- α 和 IL-1 β 水平,从而缓解炎症反应。Lu 等^[46]也发现 HCP 能够抑制 ALI 大鼠的发热,降低补体激活产物在肺中沉积,降低 WBC 数量并减少肺泡灌洗液的蛋白渗出以及缓解肺水肿状态,明显改善 ALI 模型大鼠的肺损伤。Chen 等^[47]研究发现鱼腥草水提物可以降低肝脏 MDA、ROS 和氧化谷胱甘肽水平,升高肝脏 GSH-Px、CAT 和 SOD 等抗氧化物酶活性,抑制肝细胞色素 P450 2E1 含量,降低 IL-6、单核细胞趋化蛋白-1(MCP-1)等水平,能抑制糖尿病小鼠机体的氧化应激水平和炎症反应。Cai 等^[48]研究了鱼腥草水提物与骨髓来源的内皮祖细胞(ECPs)联合对 LPS 诱导的急性肺损伤的影响,结果显示鱼腥草与 ECPs 联合使用可降低炎症介质 iNOS 和内皮素(ET-1)的表达,也证实了鱼腥草水提物是通过降低炎症介质表达来抑制机体炎症反应。

2.5 免疫调节作用

植物多糖的免疫调节作用已受到广泛关注,具有这些作用的多糖也被称为生物反应调节剂。因此,对 HCP 免疫调节活性的研究也是鱼腥草生物活性研究中最活跃的领域之一。HCP 发挥免疫调节作用的主要机制是增强或激活免疫细胞如淋巴细胞、巨噬细胞的活性,促进免疫细胞内细胞因子的产生。姜韵^[49]采用体外抗凝血与靶点实验证实 HCP 能与补体激活的关键组分 C3 和 C4 反应,提示 HCP 具有良好的体内抗补体活性。Lau 等^[50]研究表明鱼腥草水提物能剂量依赖性促进小鼠脾淋巴细胞增值,提高脾淋巴细胞中 IL-2 和 IL-10 水平,并上调 CD4⁺与 CD8⁺ T 细胞的比例,表明鱼腥草水提物能调节机体

免疫反应。Cheng 等^[26]从鱼腥草中获得了一种果胶多糖 HCP-2,生物活性实验显示 HCP-2 能够增加人外周血单核细胞中对先天免疫系统具有重要作用的 IL-1 β 、TNF- α 、巨噬细胞炎性蛋白 MIP-1 α 、MIP-1 β 和趋化因子分泌水平,表明 HCP-2 可以作为一种免疫增强剂。Lu 等^[27]从鱼腥草中提取了多糖成分并分离纯化出两个组分 HC-PS1 和 HC-PS3,研究发现其可以通过经典/替代途径与 C2、C4、C5 相互作用抑制补体系统激活,半抑制质量浓度分别是 0.272 和 0.318 mg/mL,表明 HCP 可以治疗与补体系统过度激活相关的疾病。Kim 等^[51]研究了鱼腥草水提物对 LPS 刺激的巨噬细胞的免疫调节作用,发现鱼腥草水提物能够促进巨噬细胞产生 NO 和促炎细胞因子,并上调环氧合酶 COX-2 和 iNOS 的表达来增强免疫功能。

2.6 肠道保护作用

此外,HCP 还能通过改变肠道菌群、重构肠道结构,从而起到肠道保护作用。王帅珂^[52]等进行了鱼腥草粗多糖对葡聚糖硫酸钠(DSS)诱导肠炎的影响实验,结果发现 HCP 能够改善小鼠腹泻和粪便粘稠、不定型等肠炎症状,且抑菌实验显示 HCP 对金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌有明显抑制效果。Zhu 等^[24]研究了 HCP 对病毒感染小鼠肺炎和肠道损伤的影响,结果显示 HCP 能够减轻肠粘膜水肿和肠绒毛断裂等病理损伤,能增加肠内免疫球蛋白 A(IgA)与紧密连接蛋白 ZO-1 表达以及降低肠内杯状细胞数量,表明 HCP 通过增强小鼠肠道粘膜屏障来发挥肠道保护作用。Chen 等^[53]研究发现甲型 H1N1 病毒感染可致小鼠肠道菌群发生紊乱,而 HCP 能缓解 H1N1 流感病毒感染引起的小鼠肠道损伤,通过降低致病菌属弧菌和芽孢杆菌的相对丰度重新平衡肠道菌群,恢复小鼠肠道内环境稳态,表现出肠道保护作用,这与 HCP 降低小鼠肠道促炎因子 IL-1 β 、提高抑炎因子 IL-10 水平以及抑制肠道 TLR2 和 TLR4 的表达有关。

2.7 其他作用

鱼腥草还具有防辐射、心血管保护、抗过敏等作用。王洪生等^[54]发现新鲜 HCP 具有较好的抗辐射作用,能对 X 射线辐射后的大鼠造血功能和免疫功能有保护作用。Liu 等^[55]研究表明鱼腥草水提取能改善高脂血症小鼠的主动脉内皮损伤,主要是通过上调胸腔血管内皮损伤细胞中线粒体复合物和 FoxO1/PGC-1 α 的表达并抑制机体 p38 MAPK 途径发挥作用。Eun 等^[56]研究发现鱼腥草水提物可以抑制免疫球蛋白 E(IgE)导致的全身性被动皮肤过敏反应,主要是通过抑制细胞因子和肥大细胞中 IgE-Fc 受体 I (Fc ϵ RI)依赖性信号级联反应来发挥抗过敏作用。Satthakarn 等^[57]用不同浓度的鱼腥草水提物处理原代牙龈上皮细胞(GECs)18 h,结果发现鱼

腥草水提物能剂量依赖性上调 GECs 中 β 防御素 2(hBD2) 和分泌性白细胞蛋白酶抑制因子(SLPI) 基因表达, 促进炎症细胞因子 IL-8、IL-2、趋化因子 CCL20 和干扰素 IFN- γ 的产生, 提示鱼腥草可用于预防和治疗由免疫介导的口腔疾病。

3 构效关系

前人研究表明多糖的单糖组成、相对分子量、糖苷键类型、取代度以及空间构象等都能影响其活性的发挥, 因此多糖的初级结构及其高级结构均会直接或间接影响其活性功能作用^[58]。虽然大量研究报道 HCP 具有多种生物学活性, 但是由于其结构的多样性与复杂性以及结构测定的困难性, 导致 HCP 构效关系的相关报道不多。Tian 等^[19] 发现 HCP 含有丰富单糖组成, 主要包括半乳糖、半乳糖醛酸、鼠李糖、阿拉伯糖、葡萄糖醛酸等八种单糖, 其较强的抗氧化能力可能与酸性水溶性成分及丰富单糖含量有关。Cheng 等^[23] 从鱼腥草水溶性提取物中纯化出了一种分子量小于 50 kDa 的多糖成分(HP), 分析发现其主要含有 α -1,4-连接的 GalpA、 β -1,4-连接的 Galp、 β -1,4-连接的 Glcp 和 β -1,4-连接的 Xylp 残基; 而 1,4-连接的 Galp 和 Galp A 残基可能是酸性果胶类多糖成分 HP 发挥抗病毒活性的重要残基类型。

4 展望

近年来, 科研工作者已经对鱼腥草多糖(HCP)的提取方法、结构特征和生物活性进行了大量的研究, 取得了一定的成果。但是有关 HCP 的精细结构解析包括一级结构特征、溶液特征、空间构象以及经修饰后多糖结构及活性变化的研究并不多见。目前大多数研究仅仅局限于 HCP 的分子量和单糖组成以及可能含有的残基部分或者仅仅研究其生物活性功能, 而其结构与其生物活性的关系研究鲜有报道。目前, 原子吸收、X 光衍射技术、核磁共振等越来越多的先进分析检测技术以及利用计算机模拟多糖的三维结构等方法可用于 HCP 的精细结构研究, 可积极从分子水平、受体水平、基因调控水平以及通过化学修饰手段研究 HCP 的构效关系, 这将有利于深入剖析 HCP 的活性作用机制。总之, 本综述将有利于鱼腥草资源的深度开发以及为鱼腥草多糖产品的应用提供理论基础。

参考文献

- [1] Li J J, Chen G D, Fan H X, et al. Houttuynoid M, an anti-HSV active houttuynoid from *Houttuynia cordata* featuring a bis-houttuynin chain tethered to a flavonoid core[J]. *J Nat Prod*, 2017, 80(11): 3010–3013.
- [2] 冯堃, 秦昭, 王文蜀, 等. 鱼腥草保健功能及开发利用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(7): 189–193.
- [3] Hemalatha S, Kumar M, Prasad S. A current update on the phytopharmacological aspects of *Houttuynia cordata* Thunb[J]. *Pharmacognosy Reviews*, 2014, 8(15): 22–35.
- [4] Li W, Fan T, Zhang Y, et al. *Houttuynia cordata* Thunb. volatile oil exhibited anti-inflammatory effects *in vivo* and inhibited

nitric oxide and tumor necrosis factor- α production in LPS-stimulated mouse peritoneal macrophages *in vitro*[J]. *Phytotherapy Research*, 2013, 27(11): 1629–1639.

- [5] Wang H Y, Bao J L. Effect of *Houttuynia cordata* aetherolea on adiponectin and connective tissue growth factor in a rat model of diabetes mellitus[J]. *J Tradit Chin Med*, 2012, 32(1): 58–62.
- [6] Lee J H, Ahn J, Kim J W, et al. Flavonoids from the aerial parts of *Houttuynia cordata* attenuate lung inflammation in mice[J]. *Archives of Pharmacol Research*, 2015, 38(7): 1304–1311.
- [7] Kang H, Koppula S. *Houttuynia cordata* alleviates high-fat diet-induced non-alcoholic fatty liver in experimental rats[J]. *Pharm Biol*, 2015, 53(3): 414–422.
- [8] Yang L, Jiang J. Bioactive components and functional properties of *Houttuynia cordata* and its applications[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2009, 47(12): 1154–1161.
- [9] Wu H, Shang H, Guo Y, et al. Comparison of different extraction methods of polysaccharides from cup plant (*Silphium perfoliatum* L.)[J]. *Process Biochemistry*, 2020, 90: 241–248.
- [10] 潘巧灵, 姜波, 于静, 等. 响应曲面法优化鱼腥草多糖提取工艺及抗氧化活性测定[J]. *现代园艺*, 2018(19): 16–18.
- [11] 嵇文亚. 碱法提取鱼腥草多糖的工艺研究[J]. *现代中医药*, 2008(2): 61–63.
- [12] 嵇文亚, 孟江, 徐玉茵. 酸法提取鱼腥草多糖工艺研究[J]. *河南中医学院学报*, 2008(3): 22–24.
- [13] 刘淑蕊, 薛兴阳, 周苏娟, 等. 基于 BP 神经网络对木瓜蛋白酶法提取鱼腥草多糖工艺的优化[J]. *广东药学院学报*, 2013, 29(2): 130–133.
- [14] 杜晶, 注册. 胰蛋白酶法提取鱼腥草多糖工艺的优化[J]. *中国社区医师*, 2018, 34(14): 18–19.
- [15] 李利华. 鱼腥草多糖超声波提取工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(5): 2571–2573.
- [16] 谢银军, 吴香梅, 张培旗. 超高压提取鱼腥草多糖最佳工艺研究[J]. *北方园艺*, 2013(10): 153–155.
- [17] 张建新. 微波提取鱼腥草水溶性多糖清除自由基特性的研究[J]. *食品科技*, 2006(8): 115–117.
- [18] Zhang J, Wen C, Duan Y, et al. Advance in *Cordyceps militaris* (Linn) link polysaccharides: Isolation, structure, and bioactivities: A review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 132: 906–914.
- [19] Tian L, Zhao Y, Guo C, et al. A comparative study on the antioxidant activities of an acidic polysaccharide and various solvent extracts derived from herbal *Houttuynia cordata*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 83(2): 537–544.
- [20] 闫建荣, 杨亚玲, 刘谋盛. 固相萃取高效液相色谱测定鱼腥草、甜茶中的糖[J]. *自然科学版*, 2007(4): 404–407.
- [21] 王素萍, 杨亚玲, 李晚谊, 等. 鱼腥草多糖提取工艺及成分分析研究[J]. *自然科学版*, 2008(4): 396–400.
- [22] 黎海梅, 杜阳敏, 陈俊, 等. 鱼腥草叶多糖的抗氧化性及抑菌特性[J]. *天然产物研究与开发*, 2017, 29(10): 1745–1751.
- [23] Cheng D, Sun L, Zou S, et al. Antiviral effects of *Houttuynia cordata* polysaccharide extract on murine norovirus-1 (MNV-1)—A human norovirus surrogate[J]. *Molecules*, 2019, 24(9): 1835–1848.
- [24] Zhu H, Lu X, Ling L, et al. *Houttuynia cordata* polysaccharides ameliorate pneumonia severity and intestinal injury in mice with influenza virus infection[J]. *Journal of*

Ethnopharmacology, 2018, 218: 90–99.

[25] Han K, Jin C, Chen H, et al. Structural characterization and anti-A549 lung cancer cells bioactivity of a polysaccharide from *Houttuynia cordata*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 120: 288–296.

[26] Cheng B, Chan J Y, Chan B C, et al. Structural characterization and immunomodulatory effect of a polysaccharide HCP-2 from *Houttuynia cordata*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 103: 244–249.

[27] Lu Y, Zhang J J, Huo J Y, et al. Structural characterization and anti-complementary activities of two polysaccharides from *Houttuynia cordata*[J]. *Planta Med*, 2019, 85(13): 1098–1106.

[28] Shingnaisui K, Dey T, Manna P, et al. Therapeutic potentials of *Houttuynia cordata* Thunb. against inflammation and oxidative stress: A review[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2018, 220: 35–43.

[29] 朱林康, 邓尚贵. 鱼腥草多糖提取工艺及抗氧化活性研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(35): 12646–12649.

[30] 马新方, 李勇. 鱼腥草多糖体内抗氧化活性研究[J]. *中医研究*, 2011, 24(2): 19–20.

[31] 刘光建, 王璐, 王菲菲, 等. 鱼腥草多糖对小鼠肝、肾、心肌和脑组织抗氧化作用的研究[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2011, 17(8): 207–210.

[32] Hsu C, Yang H, Ho J, et al. *Houttuynia cordata* aqueous extract attenuated glycolytic and oxidative stress in heart and kidney of diabetic mice[J]. *European Journal of Nutrition*, 2016, 55(2): 845–854.

[33] 吴红森, 王晓鹏, 王磊, 等. 鱼腥草多糖的抑菌作用[J]. *中国野生植物资源*, 2012, 31(5): 24–26.

[34] 雒江菡, 于瑞洪, 阎红. 鱼腥草多糖提取工艺及抑菌活性研究[J]. *化学与生物工程*, 2017, 34(11): 27–29.

[35] 陈晓清. 鱼腥草与茵陈多糖提取物的抗菌活性[J]. *微量元素与健康研究*, 2007(5): 17–18.

[36] Lim Y, Kim Y S, Kim J, et al. Properties of herbal extracts against *Propionibacterium acnes* for biomedical application, 2012[C]. SPIE, 2012.

[37] Kim G S, Kim D H, Lim J J, et al. Biological and antibacterial activities of the natural herb *Houttuynia cordata* water extract against the intracellular bacterial pathogen salmonella within the RAW 264.7 macrophage[J]. *Biol Pharm Bull*, 2008, 31(11): 2012–2017.

[38] 刘苗苗, 崔清华, 范路路, 等. 鱼腥草多糖的制备及其体外抗病毒活性研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2020, 32(1): 110–117.

[39] 陈晓庆. 天然产物抗单纯疱疹病毒感染活性评价及机理研究[D]. 南京: 南京大学, 2014.

[40] Chen X, Wang Z, Yang Z, et al. *Houttuynia cordata* blocks HSV infection through inhibition of NF- κ B activation[J]. *Antiviral Research*, 2011, 92(2): 341–345.

[41] Chiang L, Chang J, Chen C, et al. Anti-herpes simplex virus activity of *Bidens pilosa* and *Houttuynia cordata*[J]. *The American journal of Chinese Medicine*, 2003, 31(3): 355–362.

[42] 李淑红, 王京仁, 成钢, 等. 四种中草药对小鼠抗炎作用比较研究[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(4): 892–894.

[43] 王新, 张秀英. 9 种中药抗炎作用的实验观察[J]. *中国兽医杂志*, 2007(1): 35–36.

[44] 宋也好, 游慧婷, 姚于飞, 等. 鱼腥草多糖对脂多糖诱导大鼠慢性炎症肺损伤的保护作用[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(6): 1–8.

[45] Xu Y, Zhang Y, Ou Y, et al. *Houttuynia cordata* Thunb. polysaccharides ameliorates lipopolysaccharide-induced acute lung injury in mice[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2015, 173: 81–90.

[46] Lu Y, Jiang Y, Ling L, et al. Beneficial effects of *Houttuynia cordata* polysaccharides on “two-hit” acute lung injury and endotoxic fever in rats associated with anti-complementary activities[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2018, 8(2): 218–227.

[47] Chen W, Yang C, Yin M. Protective effects from *Houttuynia cordata* aqueous extract against acetaminophen-induced liver injury[J]. *BioMedicine*, 2014, 4(1): 5–9.

[48] Cai D, Zhou H, Liu W, et al. Protective effects of bone marrow derived endothelial progenitor cells and *Houttuynia cordata* in lipopolysaccharide-induced acute lung injury in rats[J]. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 2013, 32(6): 1577–1586.

[49] 姜韵. 鱼腥草的抗补体活性成分及其药理作用[D]. 上海: 复旦大学, 2011.

[50] Lau K, Lee K, Koon C, et al. Immunomodulatory and anti-SARS activities of *Houttuynia cordata*[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2008, 118(1): 79–85.

[51] Kim J, Park C, Lim Y, et al. *Paeonia japonica*, *Houttuynia cordata*, and *Aster scaber* water extracts induce nitric oxide and cytokine production by lipopolysaccharide-activated macrophages[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2009, 12(2): 365–373.

[52] 王帅珂, 吕英杰, 张月鹏, 等. 蒲公英和鱼腥草粗多糖对小鼠 DSS 诱导性肠炎的功能恢复研究[J]. *自然科学版*, 2020, 33(1): 79–84.

[53] Chen M Y, Li H, Lu X X, et al. *Houttuynia cordata* polysaccharide alleviated intestinal injury and modulated intestinal microbiota in H1N1 virus infected mice[J]. *Chin J Nat Med*, 2019, 17(3): 187–197.

[54] 王洪生, 洪佳璇, 冯丙江, 等. 鲜鱼腥草多糖与总黄酮抗辐射作用机制的对比[J]. *自然科学*, 2015, 35(4): 29–32.

[55] Liu X, Cao K, Lv W, et al. Aqueous extract of *Houttuynia cordata* ameliorates aortic endothelial injury during hyperlipidemia via FoxO1 and p38 MAPK pathway[J]. *Journal of Functional Foods*, 2019, 62: 103510–103517.

[56] Han E H, Park J H, Kim J Y, et al. *Houttuynia cordata* water extract suppresses anaphylactic reaction and IgE-mediated allergic response by inhibiting multiple steps of Fc ϵ RI signaling in mast cells[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2009, 47(7): 1659–1666.

[57] Sathakarn S, Chung W O, Promsong A, et al. *Houttuynia cordata* modulates oral innate immune mediators: Potential role of herbal plant on oral health[J]. *Oral Diseases*, 2015, 21(4): 512–518.

[58] Yin J Y, Nie S P, Guo Q B, et al. Effect of calcium on solution and conformational characteristics of polysaccharide from seeds of *Plantago asiatica* L[J]. *Carbohydr Polym*, 2015, 124: 331–336.