

白术多糖提取分离、化学组成和药理作用的研究进展

杨 颖, 魏梦昕, 伍耀业, 杨思婕, 谢佳雨, 周冰倩, 张 雯, 狄留庆, 王令充*

南京中医药大学药学院, 江苏 南京 210023

摘 要: 白术是我国传统的中草药, 属于药食同源性药材, 在临床中应用广泛。白术多糖作为白术的一种重要药用成分, 具有高效、低毒、药理作用明确等作用优势, 且具有多种药理活性, 是目前药物开发和研究的热点之一, 但其获取方式以及结构特点各实验室研究均存在差异。就国内外文献对白术多糖的提取方式、分离纯化过程、化学组成及主要药理作用的研究进行分析总结, 对白术多糖的研究前景进行展望, 以期对白术多糖进一步的开发利用提供参考。

关键词: 白术; 多糖; 提取; 分离纯化; 结构; 药理作用

中图分类号: R284.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2021)02-0578-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.02.032

Research progress on extraction separation, chemical constitution and pharmacological activities of polysaccharide extracted from *Atractylodes macrocephala*

YANG Ying, WEI Meng-xin, WU Yao-ye, YANG Si-jie, XIE Jia-yu, ZHOU Bing-qian, ZHANG Wen, DI Liu-qing, WANG Ling-chong

College of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China

Abstract: *Atractylodes macrocephala*, a traditional Chinese herbal medicine that can be used as food, is widely used in clinical practice. As an important medicinal component of *A. macrocephala*, polysaccharide has the advantages of high efficiency, low toxicity, clear pharmacological effect and many pharmacological activities. It is one of the hot spots in drug development and research at present, but its acquisition method and structural characteristics are different in laboratory research. In this paper, the extraction method, separation and purification process, chemical composition, and main pharmacological effects of polysaccharide from *A. macrocephala* were analyzed and summarized, and the research prospect of polysaccharide from *A. macrocephala* was prospected, in order to provide reference for further development and utilization of polysaccharide from *A. macrocephala*.

Key words: *Atractylodes macrocephala* Koidz.; polysaccharide; extraction; separation and purification; structure; pharmacological action

白术 *Atractylodes macrocephala* Koidz. 别名于术、桴蓰、浙术、冬白术、吴术、杨桴、片术、苍术等, 为多年生菊科草本植物, 根茎入药, 主要分布于四川、云南、贵州等山区湿地。白术味苦、甘, 性温, 归脾、胃经, 具有健脾益气、燥湿利水、止汗和安胎的功效, 主要用于脾虚食少、腹胀泄泻、痰饮眩悸、水肿、自汗和胎动不安^[1]。现代研究证实白术具有多种药理活性, 包括改善肠胃功能、抗炎、抗氧化、抗衰老、抗肿瘤、抗骨质疏松、抗菌以及保护神经和保护肝脏。植物化学评估显示, 白术药材中含有苯丙烷、黄酮、固醇、苯醌和多糖等各类

化学成分^[2]。然而, 这些化合物中还有很多未进行系统的生物活性评价, 特别是白术多糖成分, 尽管其在药材中含量较高, 但至今还未对其组成和结构进行系统性研究和全面总结。本文主要对白术多糖的提取方式、分离纯化过程、化学组成及主要药理作用的研究进行分析总结, 对白术多糖的研究前景进行展望, 以期对白术多糖进一步的开发利用提供参考。

1 白术多糖的提取和分离纯化

1.1 白术多糖的提取

白术多糖提取的主要评价指标是以葡萄糖计

收稿日期: 2020-03-24

基金项目: 江苏省高等学校自然科学研究重大项目 (18KJA360008)

作者简介: 杨 颖 (1995—), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 研究方向为白术多糖成分的结构与功能。E-mail: 982801527@qq.com

*通信作者: 王令充 (1979—), 男, 河南南阳人, 副研究员, 博士, 研究方向为中药多糖成分的结构与功能。E-mail: 993wlc@njucm.edu.cn

的多糖得率,其检测方法包括蒽酮硫酸法和苯酚硫酸法。谭敏等^[3]通过稳定性、精密度和回收率等试验对苯酚硫酸法和蒽酮硫酸法测定白术多糖含量进行了比较,结果发现苯酚硫酸法优于蒽酮硫酸法。苯酚硫酸法标准品的选择主要取决于多糖的单糖组成,文献考证发现,白术多糖含量测定一般以葡萄糖绘制标准曲线,一些文献选用果糖^[4-5],还有极少数选用混标(葡萄糖、甘露糖、氨基半乳糖和鼠李糖)^[6]。以苯酚硫酸法测定白术多糖含量进行比对,发现 5%苯酚溶液用量为 1~10 mL,相应的浓硫酸用量为 5~50 mL,检测手段为分光光度计波长为(489±4.6) nm。亦可使整个显色反应体系缩小 10 倍,采用酶标仪替代。

药材来源会显著影响白术多糖的提取结果。不同产地的白术提取的多糖质量分数不同。邱细敏等^[4,7]采用水提醇沉提取白术多糖,用苯酚硫酸法测定多糖含量,考察平江、怀化、浙江 3 地白术多糖的含量差异,结果表明平江与浙江白术中多糖差异很小,高于怀化。张晨光^[8]使用苯酚硫酸法对来自贵州余庆、浙江临安、安徽亳州和江西安福 4 个产地白术的多糖含量进行测定,结果 4 个产地多糖含量分别为 29.39%、24.98%、23.62%、21.12%。除了产地之外,采收期也对白术多糖含量有影响。陈磊等^[9]对不同生长期的白术多糖含量进行了动态变化研究,发现不同时期多糖含量变化较大,9 月底~10 月底含量最高,确定该时间段为最佳采收期。

提取方法对于白术多糖提取结果也有很大的影响。为了使得多糖得率达到最优,应对提取方法进行工艺优化。白术多糖的提取可采用水煎煮法、超声波辅助提取法、复合酶提取法和微波辅助提取法。水煎煮法是多糖提取最常用的方法,可操作性强、经济环保。白术多糖水煎煮工艺考察因素主要有提取温度、提取时间、料液比、提取次数,料液比对于多糖得率的影响要大于提取时间。白术多糖最佳提取工艺,料液比在 1:10~1:50、提取温度在 80~100 ℃、浸提时间在 1.5~3 h、提取次数在 1~2 次。多糖得率在 3.13%~35.10%,提取结果的差异可能是由于原料、工艺参数和多糖含量测定方法不同而导致的。超声波辅助提取法具有提取时间短、能耗低、效率高等特点。超声波辅助提取白术多糖的工艺考察类似于水煎煮法,超声功率也纳入主要的因素,该法最佳提取工艺,料液比在 1:15~1:20、提取温度在 50~80 ℃、浸提时间在

40 min~3.3 h,多糖得率高达 7.59%~11.29%。复合酶法很好的解决了传统水煎煮法提取温度过高、提取率低的问题。侯轩等^[10]利用复合酶(纤维素酶和果胶酶)提取白术多糖,采用正交实验对酶解 pH 值、酶解温度、酶量、以及酶解时间进行了优化,确定最佳提取工艺:酶解 pH 为 5.0,酶解温度为 50 ℃,复合酶量为 0.7%,酶解时间为 50 min,此时,多糖得率为 43.00%。微波辅助提取法提取率高,用时短,但仪器昂贵,不适合大规模生产。王洁^[11]采用 L₂₅(5⁴)正交表对微波功率、乙醇浓度、提取水量、提取时间 4 个因素进行优化,确定最佳工艺为预先使用 70%乙醇水除杂,再使用提取物 50 倍水、微波炉 800 W 提取 15 min,此时,多糖得率可达 29.15%。对白术多糖的提取方法与结果总结见表 1。

1.2 白术多糖的分离纯化

通过简单的提取过程得到的多糖制品称为粗多糖。粗多糖一般是不同质的集合体,通常包括 1 个或多个多糖组分以及蛋白质或色素等杂质。粗多糖可以通过一系列分离纯化技术得到高质量分数的精制多糖,主要包括脱色、脱蛋白以及组分分离过程。依据分离方法的不同,白术多糖分离纯化工艺有 3 种,其一是应用最为广泛的柱色谱分离,主要有 DEAE-52 纤维柱、葡聚糖凝胶柱和大孔树脂柱。白术多糖的分离纯化工艺总结见表 2。

还可采用乙醇分步沉淀法以及超滤法对白术多糖进行分离分级。Sun 等^[33]采用乙醇分步沉淀法得 3 个分级白术多糖 RAMPS60c、RAMPS70c 和 RAMPS80c,多糖质量分数分别为 78.4%、82.4%、77.6%;Xu 等^[34]采用乙醇分步沉淀法分别得到 3 种白术多糖组分 RAMP60、RAMP70 和 RAMP80,其中 RAMP60 不溶于水,RAMP70、RAMP80 所含碳水化合物质量分数分别为 96.05%、97.67%。周家容等^[35]利用超滤膜法将白术多糖按照相对分子质量不同分为 5 个组分,并用于抗氧化研究。Feng 等^[36]采用 3000 超滤膜得到多糖质量分数为 91.23%的白术多糖。

2 白术多糖的结构

对已有涉及白术多糖结构研究的文献进行归纳总结,依据结构是否明确对白术多糖产物进行归类。表 3 中总结了结构研究还不太明确的白术多糖产物,列出它们的多糖质量分数、相对分子质量、单糖组成以及可能存在的糖苷键类型。这些多糖的相对分子质量为 1867~1.36×10⁵。这些产物的单糖

表 1 白术多糖的提取方法与结果

Table 1 Methods and results of extraction of polysaccharides from *Atractylodes atractylodes*

提取方法	考察因素	评价指标	考察方法	结果			文献
				因素影响程度排序	最佳工艺	最大多糖提取率/%	
水煎煮法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取次数 (C)、粒度 (D)	多糖得率	正交实验	生白术: D>C>A>B 焦白术: A>C>D>B	A (1:24)、B (1 h)、C (2 次)、D (2~4 mm)	生白术: 28.4 焦白术: 22.7	12
水煎煮法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取次数 (C)	多糖得率	正交实验	A>B>C	A (1:25)、B (1 h)、C (2 次)	2.79	13
水煎煮法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取温度 (C)、提取液 pH (D)	未提及	正交实验	A>C>B>D	A (1:30)、B (2 h)、C (100 °C)、D (6)	21.50	11
水煎煮法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取次数 (C)、提取温度 (D)	多糖得率	单因素考察+ 响应面分析	未提及	A (1:24)、B (3.3 h)、C (2 次)、D (94 °C)	3.13	14
水煎煮法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取温度 (C)、提取次数 (D)	多糖得率	单因素考察+ 二次正交旋转组合设计	未提及	A (1:30)、B (3 h)、C (80 °C)、D (1 次)	8.47	15
水煎煮法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取温度 (C)、提取次数 (D)	多糖得率	单因素考察+ 正交实验	未提及	A (1:20)、B (3 h)、C (90 °C)、D (1 次)	3.48	16
水煎煮法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取温度 (C)	多糖得率	正交实验	C>A>B	A (1:10)、B (3 h)、C (100 °C)	21.22	17
水煎煮法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取次数 (C)	多糖得率	正交实验	C>A>B	A (1:10)、B (1.5 h)、C (2 次)	35.10	18
超声波辅助提取法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取温度 (C)	多糖得率	正交实验	A>C>B	A (1:20)、B (45 min)、C (50 °C)	11.29	19
超声波辅助提取法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取温度 (C)、颗粒度 (D)	多糖得率	单因素考察+ 响应面分析法	未提及	A (1:15)、B (70 min)、C (80 °C)、D (20 目)	7.59	20
超声波辅助提取法	料液比 (A)、提取时间 (B)、提取温度 (C)、超声功率 (D)	多糖得率	单因素实验+ 正交实验	A>B>C>D	A (1:20)、B (40 min)、C (55 °C)、D (65 W)	8.52	21
微波辅助提取法	料液比 (A)、提取时间 (B)、乙醇浓度 (C)、微波功率 (D)	多糖得率	正交实验	A>C>B>D	A (1:50)、B (15 min)、C (70%)、D (800 W)	29.15	11
复合酶法	酶解温度 (A)、酶解 pH (B)、酶解时间 (C)、酶量 (D)	多糖得率	单因素实验+ 正交实验	A>D>B>C	A (50 °C)、B (5.0)、C (50 min)、D (0.7%)	43.00	10

表 2 采用柱色谱分离白术多糖组分的分离纯化过程及结果

Table 2 Separation and purification of polysaccharides from *A. japonicus* by column chromatography and its results

分离纯化过程				结果		文献
脱色	脱蛋白	柱色谱	多糖名称	多糖纯度		
无	酶法、Sevage 法	Sephadex G-75	AMP	均质多糖, 糖质量分数为 95.2%		6, 22
无	无	DEAE-纤维素柱	AMP-B	糖质量分数为 50.3%		23
H ₂ O ₂ 法	Sevage	DEAE 纤维素柱	AMP	均质多糖		24
H ₂ O ₂ 法	三氯乙酸	DEAE 纤维素柱	RAMP	精制多糖		25
无	无	732 强酸性阳离子交换树脂、硼酸型 DEAE 纤维素柱	PSAM-1、PSAM-2	均质多糖		26
无	无	硼酸型 DE-52 纤维柱、Sephadex G-200	AM-1、AM-2	均质多糖		27
无	无	DEAE-纤维素、Sephadex G-200 凝胶色谱柱	UAM	均质多糖		28
无	Sevage	DEAE-纤维素、Sephacryl S-100 凝胶色谱柱	PAM	均质多糖		29
无	Sevage	DEAE-纤维素柱、Sephadex LH-20 凝胶柱	YY13008	均质多糖		30
无	无	大孔吸附树脂 D101	RAMPS	糖质量分数为 86.20%		31
无	无	AB-8 大孔树脂	YPF-P	糖质量分数>91%		32

表 3 结构不明确的白术精制多糖的结构信息

Table 3 Structural information of refined polysaccharides from *A. japonicus* with ambiguous structures

多糖	质量分数/%	相对分子质量	单糖组成	构型及糖苷键	文献
AMP-B	50.3	未提及	葡萄糖-半乳糖-甘露糖-阿拉伯糖-鼠李糖 (3.0 : 2.5 : 1.3 : 3.5 : 1.0)	未提及	23
AMP	未提及	4360	未提及	未提及	24
RAMP	未提及	未提及	阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖 (比例未提及)	未提及	25
RAMPS	86.2	未提及	鼠李糖-阿拉伯糖-木糖-甘露糖-葡萄糖-半乳糖 (1.00 : 2.49 : 2.07 : 4.94 : 11.33 : 1.35)	未提及	31
PAM	未提及	28 773	鼠李糖-葡萄糖-甘露糖-木糖-半乳糖 (0.03 : 0.25 : 0.15 : 0.41 : 0.15)	未提及	29
PRAM2	81.9	19 600	鼠李糖-木糖-阿拉伯糖-葡萄糖-甘露糖-半乳糖 (1 : 1.3 : 1.5 : 1.8 : 2.1 : 3.2)	未提及	37
YPF-P	>91	3500	D-甘露糖-D-葡萄糖-D-半乳糖-阿拉伯糖 (1 : 239 : 18.6 : 19.3)	未提及	32
YY13008	未提及	8458	果糖-葡萄糖 (40 : 1)	$\beta(2 \rightarrow 1)$ 果糖苷键, $\alpha(1 \rightarrow 2)$ 葡萄糖苷键	30
AMP	95.21	8374	葡萄糖-半乳糖-鼠李糖-甘露糖 (7.36 : 1.00 : 3.05 : 1.52)	$\alpha(1 \rightarrow 4)$ 糖苷键和 $\beta(1 \rightarrow 4)$ 糖苷键	6、22
RAMPS	未提及	1.09×10^5	葡萄糖、甘露糖、阿拉伯糖、半乳糖、木糖、核糖、鼠李糖 (比例未提及)	(1 $\rightarrow$ 6) 葡萄糖苷键	38
RAMPtp	95.66	1867	葡萄糖、甘露糖、鼠李糖、阿拉伯糖和半乳糖的质量分数为 60.67%、14.99%、10.61%、8.83%、4.90%	$\beta(1 \rightarrow 3)$ 半乳糖苷键, $\beta(1 \rightarrow 6)$ 半乳糖苷键	34
PSAM-1	未提及	1.36×10^5	半乳糖-鼠李糖-阿拉伯糖-甘露糖 (0.68 : 3.38 : 1 : 4.20)	阿拉伯糖端基碳主要为 α -构型, 半乳糖主要为 β -构型	26
PSAM-2	未提及	1.04×10^5	木糖-阿拉伯糖-半乳糖 (9.33 : 0.64 : 1)	含有 β -呋喃糖醛酸	26
AM-1	未提及	3.1×10^4	甘露糖	均为 β -构型	27
AM-2	未提及	1.1×10^4	果糖	均为 β -构型	27
APA	未提及	2100	阿拉伯糖-葡萄糖 (1.00 : 4.57)	带有吡喃糖环的 α -型、 β -型糖苷键	36

组成也有所不同,单糖种类有 7 种,分别为葡萄糖、半乳糖、甘露糖、阿拉伯糖、鼠李糖、木糖、果糖。其中葡萄糖、半乳糖和甘露糖出现的比例最高,均可达到 68.7%,阿拉伯糖出现率达 62.5%,鼠李糖出现率达 43.8%,木糖出现率达 31.3%。有 9 种多糖进行了糖苷键的探究,很少提及单糖之间是如何通过糖苷键进行连接的。郭志欣^[6]对 AMP 进行了糖苷键的详细研究,发现 AMP 主链部分由葡萄糖、鼠李糖与甘露糖构成,1 $\rightarrow$ 3、1 $\rightarrow$ 6、1 $\rightarrow$ 4,6 键型的葡萄糖为主要键型,其次为 1 $\rightarrow$ 3 键型的鼠李糖和 1 $\rightarrow$ 3,6 键型的甘露糖;葡萄糖形成支链或主链的末端残基,主链分支点残基是(1 $\rightarrow$ 4,6)葡萄糖和(1 $\rightarrow$ 3,6)甘露糖,平均每 6 个残基中有 1 个分支;全糖中平均每 10 个己糖残基中有 5 个非还原性末端

或 1 $\rightarrow$ 6 糖苷键。

第 2 类多糖是已经有明确结构式的精制白术多糖,见图 1。这 2 种精制多糖相对分子质量很小,单糖组成简单,连接方式有规律。Wang 等^[29]通过对白术多糖 UAM 结构进行研究,发现其相对分子质量为 2921,主要以 β -D-1 $\rightarrow$ 3 和 β -D-1 $\rightarrow$ 3,6 连接,且具有一定的重复分支结构,支链为葡萄糖,位于主链葡萄糖的 C-6 位上。它不具有复杂的螺旋结构,金属离子、变性剂、温度都可以使其构象改变,它在溶液中通常以无规则线团形式存在^[39]。Lin 等^[40]分离得到 1 个白术多糖,相对分子质量为 2265,推测该多糖为聚合度在 20 以内的寡糖。经过各种仪器方法,分析出该糖为具有 α -D-吡喃葡萄糖基-[(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-呋喃果糖糖基]_n-1-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-呋喃果糖

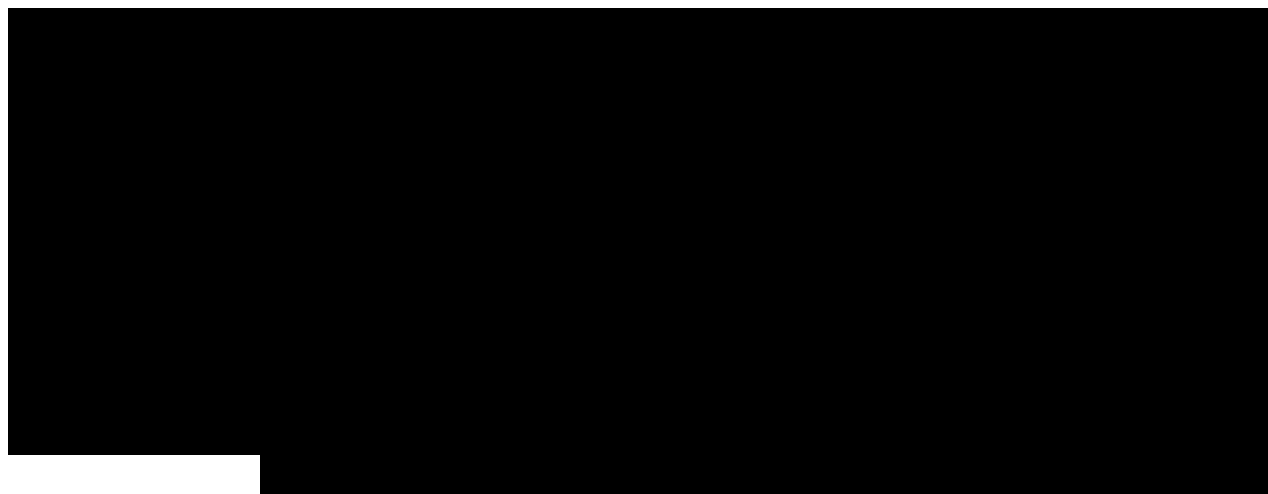


图 1 结构明确的 2 种白术多糖

Fig. 1 Two structurally distinct polysaccharides from *A. japonicus*

糖苷 ($n=3\sim 20$) 的菊粉型多糖。

3 白术多糖的药理作用

白术多糖具有抗肿瘤、免疫调节、神经系统保护、胃肠黏膜保护、肝脏保护以及抑菌、降血糖、抗氧化等药理作用。虽然相关研究均有报道,但不难发现几乎所有的研究均浮于表面,仅是简单的药效学评价,机制探讨及构效关系研究几乎没有。本文将对目前白术多糖药理作用研究进行归纳总结,以期为其进一步的作用机制相关研究提供一定的理论基础。

3.1 抗肿瘤作用

张小平等^[41]发现 UAM 对人白血病 K562 细胞的增殖具有抑制作用,抑制率最高可达 42.701%。王鹤等^[42]发现白术多糖能够诱导胃癌 SGC-7901 细胞凋亡。周剑等^[43]发现白术多糖粗制品对小鼠肝癌 H22 细胞具有明显的抑制作用,推测可能是通过增强免疫功能而实现的。朱云等^[44]认为白术多糖 PAM 对肝癌 HepG2 细胞增殖和侵袭能力具有抑制作用,验证可能是通过 Wnt/ β -catenin 信号通路发挥作用的。冯子芳等^[45]认为 PAM 对结肠癌细胞具有抑制作用。银瑞等^[46]研究发现白术多糖具有肺癌保护作用。

3.2 免疫调节作用

杨锦涛等^[47]认为 PAM 可以作用于免疫系统的各个环节,包括免疫器官、免疫细胞和免疫分子。对于免疫器官来讲,PAM 增加动物机体脾脏和胸腺质量,拮抗免疫器官损伤并且作用于肠道黏膜免疫系统;对于免疫细胞,PAM 能够促进 T 细胞和 B 细胞增殖、促进单核吞噬细胞的吞噬率和增殖率、

促进树突状细胞表面分子的表达且影响其吞噬能力及其细胞因子的分泌;对于免疫分子,白术多糖主要在细胞因子、补体分子和抗体分子方面发挥作用。

3.3 神经系统保护作用

马庆华等^[48]通过水提醇沉得到乳白色白术多糖,研究其对 D-半乳糖致衰大鼠大脑皮质神经细胞 DNA 损伤和抗氧化作用的影响,结果表明,白术多糖给药组大鼠较衰老模型组大鼠大脑皮质神经细胞丙二醛水平显著下降,谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性显著降低 ($P<0.01$ 、 0.05),DNA 损伤明显降低 ($P<0.01$)。石娜等^[49]的研究对其结论进行了确证。白术多糖可能通过下调脑灶区一氧化氮合酶的表达,而减轻创伤性脑损伤后继发性脑水肿的程度^[50]。胡微煦等^[51]研究发现白术多糖(多糖质量分数 95%)在 0.025~0.1 g/L 对 SD 胎鼠大脑皮层神经细胞缺氧性凋亡具有抑制作用。

3.4 胃肠黏膜保护作用

伍婷婷等^[52]研究发现白术多糖 AMPK 能够提高大鼠小肠上皮 IEC-6 细胞钙离子水平以促进细胞迁移和 E-钙黏蛋白表达,从而促进胃肠黏膜损伤修复。曹艳霞等^[53]发现多糖质量分数大于 95% 的白术多糖能够增强 B 淋巴细胞瘤-2 蛋白表达,且减少 Bcl-2 相关 X 蛋白表达,从而对运动应激性溃疡大鼠胃黏膜起到保护作用。尚秋辰^[54]发现白术多糖之所以能够给修复大肠杆菌腹泻模型小鼠肠道黏膜,主要原因是白术多糖调节部分肠道黏膜修复因子,从而促进肠道黏膜修复。

3.5 肝脏保护作用

白术多糖对肝脏缺血再灌注损伤具有保护作

用,其作用机制可能包括以下几个方面:白术多糖抑制核因子 κB 的表达、干扰氧自由基对肝脏的破坏^[55]、减少炎症因子 IL-1 的生成^[56]以及显著拮抗肝细胞线粒体损伤^[57]。夏建萍等^[58]发现白术多糖对脂肪肝的干预作用主要与脂肪酸转运蛋白和载脂蛋白 B100 相关。车财妍等^[59]研究发现白术多糖能够防治单纯高脂饮食诱导的大鼠非酒精性脂肪性肝炎,主要是因为白术多糖能够显著改善肝细胞脂肪变性及空泡样变,降低肝组织三酰甘油、游离脂肪酸水平,以及血清丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶水平。钱隆等^[60]研究发现白术多糖对环磷酰胺诱导的雏鹅肝脏损伤的缓解,可能有 Toll 样受体 4 信号通路的参与。

3.6 其他作用

白术多糖还具有抑菌^[61-62]、降血糖^[24,63]、抗氧化^[22,36,64-65]等药理作用。

4 总结与展望

从中药中提取多糖作为有效成分进行研究开发已成为热点。中药多糖的研究开发主要包括多糖的提取、分离纯化、结构鉴定以及活性评价几个部分。研发目标与思路虽然清晰,但分析与评价方面的技术障碍仍然成为限制。本文以白术为例,详细的介绍了白术多糖的提取、分离纯化方法,结构鉴定结果与药理活性研究进展。到目前为止,白术来源、提取、分离纯化方法选择存在较大变化,以致于最终得到的白术多糖结构以及活性也存在一定的差异。白术多糖结构的研究不少,但是真正得到一级结构的却很少。白术多糖的结构仍需进一步研究。白术多糖具有抗肿瘤、抗衰老、降血糖等多种生理活性,无疑将会成为开发健康产品的最佳原料选择,白术多糖产品会具有非常广阔的市场前景。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 岳美颖,潘媛,敖慧.白术化学、药理与临床研究进展[J].亚太传统医药,2016,12(5):66-68.
- [2] 王涵,杨娜,谭静,等.白术化学成分、药理作用及临床应用的研究进展[J].甘肃医药,2018,37(1):23-26.
- [3] 谭敏,邱细敏.白术多糖含量两种测定方法的比较[J].现代中药研究与实践,2012,26(2):73-75.
- [4] 邱细敏,卢岳华,沈品,等.不同产地白术多糖含量测定[J].中国药业,2005,14(4):40-41.
- [5] 陈文,李丽立,张平,等.平白术多糖与氨基酸提取及含量测定研究[J].时珍国医国药,2007,18(4):815-817.
- [6] 郭志欣.白术多糖的提取纯化及其结构研究[D].长

春:东北师范大学,2008.

- [7] 邱细敏,唐小异,刘胜姿,等.白术多糖葡萄糖的含量测定[J].湖南师范大学学报:医学版,2004,1(1):47-49.
- [8] 张晨光.白术多糖含量测定研究[J].世界最新医学信息文摘,2016,16(89):27.
- [9] 陈磊,裘连君,侯一杰,等.不同生长期白术多糖的含量测定[J].时珍国医国药,2010,21(4):858-859.
- [10] 侯轩,周家容,田允波.复合酶法提取白术多糖的工艺研究[J].广东化工,2008,35(12):91-94.
- [11] 王洁.白术多糖提取方法的筛选及其对樱桃谷鸭饲用价值的研究[D].长沙:湖南农业大学,2007.
- [12] 乔小云,姚峰,李俏,等.影响白术多糖提取工艺的因素探讨[J].中成药,2001,23(4):293-294.
- [13] 马艳,杨安东,文筱.白术多糖提取工艺研究[J].中药材,2006,29(10):1104-1106.
- [14] 刘军海,任惠兰,官波,等.响应面分析法优化白术多糖提取工艺[J].中成药,2008,30(5):667-670.
- [15] 李昕,张静.二次正交旋转组合优化白术水溶性多糖提取工艺[J].食品工业科技,2009,30(8):161-164.
- [16] 付祥平,龚千锋.正交设计优选白术多糖提取工艺[J].江西中医药大学学报,2014,26(3):63-65.
- [17] 胡长玉,徐有志.祁白术多糖提取工艺研究[J].生物学杂志,2010,27(4):57-59.
- [18] 袁海梅,李鸿翔,彭腾.正交试验法优选白术多糖的提取工艺[J].成都大学学报:自然科学版,2015,34(3):217-219.
- [19] 刘胜姿,邱细敏.超声提取白术多糖的工艺研究[J].企业技术开发,2010,29(9):32.
- [20] 郑莹丽,杨朝霞,余高照,等.响应面分析法优化白术多糖超声提取工艺[J].中国药业,2014,23(18):60-62.
- [21] 吴铭,韩丹,郭立泉.白术多糖的提取及其抗氧化活性的研究[J].食品研究与开发,2015,36(21):42-44.
- [22] 梁中焕.硫酸化修饰对白术多糖理化性质及生物活性影响的研究[D].长春:东北师范大学,2008.
- [23] 单俊杰,田庚元.白术糖复合物 AMP-B 的理化性质及降血糖活性的研究[J].药学学报,2003,38(6):438-441.
- [24] 侯轩,周家容,田允波.白术多糖的提取、分离纯化及分子量的测定[J].仲恺农业工程学院学报,2009,22(2):18-21,30.
- [25] 谭敏,邱细敏,陆艳艳,等.平白术多糖的分离纯化及 IR、GC 分析[J].湖南师范大学学报:医学版,2010,7(1):14-16.
- [26] 池玉梅,李伟,文红梅,等.白术多糖的分离纯化和化学结构研究[J].中药材,2001,24(9):647-648.
- [27] 顾玉诚,任丽娟,张岚.白术多糖的研究 I. AM-1、2 的分离纯化与性质[J].中草药,1992,23(10):507-508.
- [28] 王艳丽.超声对白术多糖结构及生物活性的影响[D].西安:陕西师范大学,2012.
- [29] Wang R J, Zhou G S, Wang M Y, et al. The metabolism of polysaccharide from *Atractylodes macrocephala* Koidz and its effect on intestinal microflora [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2014, 2014: 926381.
- [30] 王一寓,刘嘉伟,司马贞华,等.白术多糖调节 IEC-6 细胞迁移活性成分的分离和表征[J].高等学校化学学

- 报, 2015, 36(2): 299-305.
- [31] Xie F, Li Y T, Su F, *et al.* Adjuvant effect of *Atractylodis macrocephalae* Koidz. polysaccharides on the immune response to foot-and-mouth disease vaccine [J]. *Carbohydr Polym*, 2012, 87(2): 1713-1719.
- [32] 王少杰, 巴娟, 张勇军, 等. 白术多糖的分子量及其单糖组成分析 [J]. 中国兽药杂志, 2019, 53(5): 26-32.
- [33] Sun W J, Meng K, Qi C H, *et al.* Immune-enhancing activity of polysaccharides isolated from *Atractylodis macrocephalae* Koidz [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, 126: 91-96.
- [34] Xu W, Guan R, Shi F S, *et al.* Structural analysis and immunomodulatory effect of polysaccharide from *Atractylodis macrocephalae* Koidz. on bovine lymphocytes [J]. *Carbohydr Polym*, 2017, 174: 1213-1223.
- [35] 周家容, 田允波, 侯轩. 超滤膜分离白术多糖及其抗氧化活性的研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(4): 79-82.
- [36] Feng Y Y, Ji H Y, Dong X D, *et al.* An alcohol-soluble polysaccharide from *Atractylodes macrocephala* Koidz induces apoptosis of Eca-109 cells [J]. *Carbohydr Polym*, 2019, 226: 115136.
- [37] Han B, Gao Y, Wang Y L, *et al.* Protective effect of a polysaccharide from *Rhizoma Atractylodis Macrocephalae* on acute liver injury in mice [J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, 87: 85-91.
- [38] Fan W T, Zhang S J, Hao P, *et al.* Structure characterization of three polysaccharides and a comparative study of their immunomodulatory activities on chicken macrophage [J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 153: 631-640.
- [39] 王艳丽, 张静. 白术多糖的溶液构象及其变化 [J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2012, 40(3): 98-103.
- [40] Lin Z, Liu Y F, Qu Y, *et al.* Characterisation of oligosaccharides from Baizhu by HILIC-MS [J]. *Nat Prod Res*, 2015, 29(13): 1194-1200.
- [41] 张小平, 孙润广. 超声提取白术多糖对 K562 细胞增长抑制的研究 [J]. 声学技术, 2013, 32(4): 268-270.
- [42] 王鹤, 陈拥军, 张中华. 白术多糖对胃癌细胞 SGC-7901 凋亡的影响 [J]. 中国民族民间医药, 2015, 24(24): 10-11.
- [43] 周剑, 苏德春, 宋国权. 白术多糖对 H22 肝癌小鼠抗肿瘤作用实验研究 [J]. 亚太传统医药, 2015, 11(17): 9-10.
- [44] 朱云, 李成, 林鑫盛, 等. 白术多糖对肝癌细胞增殖及侵袭的抑制作用及其机制 [J]. 南方医科大学学报, 2019, 39(10): 1180-1185.
- [45] 冯子芳, 唐仕华, 郭莉佳, 等. 白术多糖通过激活免疫细胞抑制小鼠结肠癌 HT-29 细胞原位移植瘤的生长 [J]. 中国肿瘤生物治疗杂志, 2019, 26(11): 1209-1213.
- [46] 银瑞, 王俊钢. 白术多糖对肺癌模型大鼠免疫功能的调节作用及机制研究 [J]. 中国医药生物技术, 2019, 14(6): 527-533.
- [47] 杨锦涛, 程希, 陈红伟, 等. 白术多糖免疫调节作用机制的研究进展 [J]. 中国兽药杂志, 2018, 52(6): 80-85.
- [48] 马庆华, 张鹏霞, 郭红艳, 等. 白术多糖对 D-半乳糖致衰老大鼠神经细胞抗氧化作用研究 [J]. 中国老年学杂志, 2006, 26(12): 1658-1660.
- [49] 石娜, 苏洁, 杨正标, 等. 白术多糖对 D-半乳糖致衰老模型小鼠的抗氧化作用 [J]. 中国新药杂志, 2014, 23(5): 577-581.
- [50] 王光伟, 丰 昀, 邱细敏, 等. 白术多糖对大鼠创伤性脑损伤后脑水肿的影响及其机制探讨 [J]. 中草药, 2009, 40(6): 948-950.
- [51] 胡微煦, 向勤, 付爱珍, 等. 白术多糖对神经细胞毒性及缺氧诱导的神经细胞凋亡的影响 [J]. 中药药理与临床, 2014, 30(3): 89-91.
- [52] 伍婷婷, 李茹柳, 曾丹, 等. 白术多糖调控钙离子以促进细胞迁移及 E-钙黏蛋白表达的研究 [J]. 中药新药与临床药理, 2017, 28(2): 145-150.
- [53] 曹艳霞, 白光斌. 白术多糖对运动应激性溃疡大鼠抗氧化作用和胃黏膜 Bcl-2, Bax 表达影响的实验研究 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2016, 46(4): 553-557.
- [54] 尚秋辰. 白术多糖对大肠杆菌腹泻模型小鼠肠道黏膜修复机理研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2017.
- [55] 张培建, 金成, 郎洁, 等. 白术多糖对自体肝移植大鼠缺血再灌注损伤的影响 [J]. 中国中西医结合杂志, 2010, 30(11): 1193-1196.
- [56] 张培建, 张杰, 卜平, 等. 白术多糖对缺血再灌注损伤大鼠肝脏的保护作用 [J]. 中国普通外科杂志, 2011, 20(1): 62-66.
- [57] 张杰, 刘歆农, 张培建, 等. 白术多糖预处理对大鼠肝脏缺血再灌注损伤后肝细胞线粒体结构的影响 [J]. 肝胆胰外科杂志, 2011, 23(1): 4-6.
- [58] 夏建萍, 应豪, 胡爱荣, 等. 非酒精性脂肪性肝病肝脏脂肪转运环节的变化及白术多糖的干预作用 [J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(4): 461-463.
- [59] 车财妍, 李红山, 应豪, 等. 白术多糖对非酒精性脂肪性肝炎的防治作用研究 [J]. 中华中医药学刊, 2017, 35(7): 1801-1803, 1924.
- [60] 钱隆, 刘洋, 李冰心, 等. 白术多糖可能通过 Toll 样受体 4 信号通路缓解环磷酸腺苷诱导的雏鹅肝脏损伤 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(2): 764-774.
- [61] 樊敏欢, 梁日深. 白术多糖对嗜水气单胞菌抑菌效果的影响 [J]. 中国畜牧兽医文摘, 2017, 33(5): 59.
- [62] 文贵辉, 李丽立, 张彬, 等. 白术粗多糖对樱桃谷鸭肠道微生物的影响 [J]. 饲料研究, 2010(7): 55-58.
- [63] 李燕, 陈素红, 吉星, 等. 白术多糖对自发性 2 型糖尿病小鼠血糖及相关指标的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(10): 162-165.
- [64] 刘婕. 黄芪多糖和白术多糖及其硒化衍生物增强免疫和抗氧化活性的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [65] 徐丽珊, 金晓玲, 邵邻相. 白术及白术多糖对小鼠学习记忆和抗氧化作用的影响 [J]. 科技通报, 2003, 19(6): 513-515.

[责任编辑 崔艳丽]