

· 研究进展 ·

天麻多糖提取分离方法和药理作用研究进展

王朝群, 杨燕, 唐超, 何希瑞* (遵义医科大学珠海校区生物工程系, 珠海 519041)

摘要 目的: 对天麻多糖的提取分离方法及药理作用的相关研究进行汇总分析, 以期为天麻多糖的开发研究提供参考。方法: 以“天麻多糖”“提取分离”“药理作用”“*Rhizoma Gastrodiae polysaccharide*”及“*Gastrodia elata polysaccharide*”等为关键词查阅相关文献, 对天麻多糖的提取纯化工艺、结构特征、结构修饰及主要药理作用等进行综述。结果与结论: 天麻多糖是天麻中主要的一类活性成分, 不仅含量高, 且毒副作用较低, 是目前药物开发和研究的热点之一。天麻多糖的提取方法有多种, 常见的主要有热水浸提法、超声波辅助提取法、微波辅助提取法和酶提法。基于这些方法得到的多为天麻粗多糖, 需进一步分离纯化, 而常用的分离纯化方法有Sevage法、大孔树脂吸附层析法和凝胶层析法。提取纯化方法的多样性会导致天麻多糖结构产生差异, 进而导致其药理活性的多样性。天麻多糖具有抗氧化、抗肿瘤、免疫调节、抗衰老、改善脑缺血、改善记忆力、降血压、降血脂和抑菌等多种药理活性。结构修饰天麻多糖具有抗氧化和抗肿瘤等药理作用。因此, 天麻多糖可广泛应用于医药、食品及保健品等领域, 具有重要的研究和开发价值, 但其高级结构与药理作用之间的内在联系及作用机制有待进一步深入研究。

关键词: 天麻多糖; 提取; 分离纯化; 结构; 药理作用

中图分类号: R95; R961.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-7777(2022)04-0417-12

doi:10.16153/j.1002-7777.2022.04.007

Research Progress on Extraction, Separation and Pharmacological Activities of *Rhizoma Gastrodiae Polysaccharide*

Wang Chaoqun, Yang Yan, Tang Chao, He Xirui* (Department of Bioengineering, Zhuhai Campus of Zunyi Medical University, Zhuhai 519041, China)

Abstract Objective: To summarize and analyze the relevant researches on the extraction and separation methods and pharmacological activities of *Rhizoma Gastrodiae polysaccharide* (RGP) in order to provide references for the further development and research of RGP. **Methods:** Relevant literature was collected by searching and consulting "RGP", "extraction and separation", "pharmacological activities", "*Rhizoma Gastrodiae polysaccharide*", "*Gastrodia elata polysaccharide*", etc. as key words, and the extraction and purification processes, structural characteristics and modifications and the main pharmacological effects of RGP were reviewed. **Results and Conclusion:** Polysaccharide, as one of the main and important active ingredients in *Gastrodia elata* with high content and low side effects has become one of the hotspots in drug development and researches at present. There are many extraction methods of polysaccharides from *Gastrodia elata*, of which the commonly-used

基金项目: 贵州省科技计划项目 (编号 黔科合基础-ZK[2021]一般550); 贵州省科技计划项目 (编号 黔科合平台人才[2018]5772-074); 贵州省科技计划项目 (编号 黔科合平台人才[2019]-017); 遵义市科技计划项目 (编号 遵市科合HZ字(2020)78号)

作者简介: 王朝群 Tel: 18085513230; E-mail: 1652655389@qq.com

通信作者: 何希瑞 Tel: (0756) 7623365; E-mail: xiruihe6105194@163.com

extraction methods include hot-water extraction, ultrasonic-assisted extraction, microwave-assisted extraction and enzyme extraction. However, most of the extracted RGP using these methods are crude polysaccharides, which need further separation and purification. The commonly-used separation and purification methods of RGP include Sevage method, microporous resin adsorption chromatography and gel chromatography. The diversity of extraction and purification methods will lead to the structure differences of RGP, and then lead to the diversity of its pharmacological activities. Recent studies have proved that RGP has varieties of pharmacological activities, including anti-oxidation, anti-tumor, immune regulation, anti-aging, improving cerebral ischemia, improving memory, lowering blood pressure and glucose, anti-bacterial activities, etc. studies have found that the structure-modified RGP also has anti-oxidant and anti-tumor activities. Therefore, RGP can be widely used in medicines, food and health care products, and it has important research and development values. However, the internal relationship and mechanism of action between advanced structure and pharmacological actions need to be further studied.

Keywords: Rhizoma Gastrodiae polysaccharide; extraction; separation and purification; structure; pharmacological activities

中药天麻 (Gastrodiae Rhizoma) 又名赤箭、定风草、独摇芝, 为兰科植物天麻 (*Gastrodia elata* Bl.) 的干燥块茎, 是我国传统的中药材之一。天麻味甘, 性平, 归肝经, 具有息风止痉、平抑肝阳、祛风通络的功效。临床上常用于小儿惊厥、记忆力减退、坐骨神经病、癫痫等疾病的预防和治疗, 也广泛用于保健品及食品领域, 且需求量巨大。野生天麻主要分布在我国四川、广东、云南及贵州等地^[1-2]。研究表明, 天麻中含有80多个化合物, 主要成分为天麻素、香草醇和天麻多糖等^[3]; 现代药理研究表明, 天麻及其提取物具有镇静、降血糖、抗抑郁、抗病毒、降血脂、抗惊厥等广泛的生物活性。其中, 天麻多糖具有调节免疫力、抗肿瘤、抗氧化和抗衰老等活性, 已成为现阶段的研究热点话题之一^[4]。本文对采收期和加工炮制方法对天麻多糖含量的影响、天麻多糖的提取纯化工艺、结构特点与表征方法及药理作用等方面的研究进行分析总结, 以期为天麻多糖的深入研究和开发利用提供参考与借鉴。

1 采收期与加工炮制方法对天麻多糖含量的影响

随着天麻多糖药理研究的不断深入, 天麻多糖的市场需求不断扩大, 探究天麻的最佳采收期和最佳加工炮制方法具有重要意义。

1.1 采收期对天麻多糖含量的影响

马凤伟等^[5]在液料比 34 : 1、提取温度 77 °C、提取时间 78 min 的提取条件下分别对立冬、冬至、立春采收期的贵州乌天麻进行提取, 发现冬至采收

期的乌天麻多糖含量最高, 立冬次之。刘天睿等^[6]对10月、11月和次年3月采收的四川乌天麻进行提取, 发现11月采收期的乌天麻多糖含量最高, 次年3月次之。但是, 关于采收时期对天麻多糖含量影响的研究较少, 未来应该加强这方面的研究。

1.2 加工炮制工艺对天麻多糖含量的影响

鲜天麻易腐烂、发霉, 不易存储, 因此天麻的加工炮制方法对天麻的品质和存放具有较大影响。李刚凤等^[7]探讨不同加工方法 (热风干燥、红外干燥、微波干燥、直接水煮干燥、隔水蒸制干燥、真空冷冻干燥) 对天麻多糖含量的影响, 发现蒸制后热风干燥的天麻多糖含量最高为39.9%。唐文文等^[8]探讨直接烘干、煮制烘干、蒸制烘干、蒸制后明矾浸泡烘干及蒸制后发汗烘干等加工方法对天麻多糖含量的影响, 发现蒸制后发汗烘干的天麻加工炮制品多糖含量最高为27.67%。祝洪艳等^[9]探讨古代炮制方法 (蒺藜法、姜制法、酒制法) 和现代蒸制方法对天麻多糖含量的影响, 发现天麻蒺藜制品的多糖含量为3.25 mg · mL⁻¹。因此, 不同的加工炮制方法对天麻多糖的含量有一定影响, 但是天麻最佳加工炮制工艺有待进一步研究。

2 天麻多糖的提取与纯化工艺

天麻多糖的提取是进一步纯化、结构表征和药理研究的前提, 因此天麻多糖的最佳提取方法是当前的研究热点之一。目前, 天麻多糖的提取方法主要有热水浸提法、超声波辅助提取法、微波辅助提取和酶提取法。天麻多糖不同提取工艺的提取效率见表1。

表1 天麻多糖不同提取工艺的提取效率

工艺条件	提取方法			
	热水浸提	超声波辅助提取	微波辅助提取	酶提取
提取时间/h	1	0.5	0.5	1
提取温度/℃	60	60	70	50
料液比/(g·mL ⁻¹)	1:40	1:40	1:40	---
功率/W	---	250	500	---
加酶量/mg	---	---	---	20
溶液pH	---	---	---	5
提取率/%	31.4	57.15	10.40	50.315

2.1 热水浸提法

热水浸提法是我国较传统的多糖提取方法，具有操作方便、所需仪器较少、绿色环保^[9]等优点，但其提取率低、耗时长。王庆等^[10]采用水提醇沉法在料液比1:37，70℃条件下提取四川天麻2.5 h，天麻多糖提取率为22.38%。汪瑞敏^[11]等在料液比1:37，58℃条件下提取贵州天麻36 min，天麻多糖提取率为10.11%。刘明庆等^[12]采用水提醇沉法在料液比1:40，60℃的条件下提取安徽天麻1 h，天麻多糖提取率为31.4%，且发现在提取温度达60℃后，温度对天麻多糖的提取率无显著影响；提取时间达60 min后，提取时间对天麻多糖的提取率无显著影响。该方法与王庆等人的方法相比，多糖提取率较高，考虑是天麻的产地不同所致。张梦娟^[13]对天麻多糖提取工艺进行研究，发现在料液比1:37，58℃的条件下提取36 min，天麻多糖提取率为9.25%。通过对比上述方法所得多糖的提取率，发现天麻多糖热水浸提法的最佳条件为料液比1:40，提取温度60℃，提取时间1 h。上述研究表明，提取时间和来源地的不同对提取率有影响，但最佳提取时间和产地对天麻多糖的提取率的影响未见文献报道，有待进一步的研究。

2.2 超声波辅助提取法

超声波辅助提取法^[14]提取效率高，耗时短。王庆等^[10]利用超声波辅助提取法提取天麻多糖，提取率为33.09%。汪瑞敏等^[11]在250 W，料液比1:40，60℃的条件下超声提取30 min，多糖提取率为57.15%。曹小燕等^[15]发现在超声温度50℃，料液比1:40，提取时间30 min，超声功率300 W的条件下，柠檬酸盐缓冲溶液与水分别为浸提溶剂

时，天麻多糖提取率为36.21%和30.18%，表明柠檬酸盐缓冲液提取率更高。杨天友等^[16]在料液比1:25，40℃的条件下超声提取35 min，天麻多糖提取率为34.4%。基于以上分析可以发现超声波辅助提取法的提取率优于热水浸提法。

2.3 微波辅助提取法

微波辅助提取法^[17]是细胞通过微波吸收能量使植物极性分子产生摩擦，细胞壁破裂，内容物流出的方法。汪瑞敏等^[11]利用微波辅助提取法在500 W条件下处理天麻120 s后，按料液比1:40，温度70℃，提取30 min，天麻多糖提取率为10.40%。李志英等^[18]对天麻多糖的微波辅助提取条件进行探讨，发现在500 W，料液比1:40，70℃的条件下微波提取120 s，天麻多糖的提取率为6.86%。可见，微波辅助提取法所得天麻多糖的提取率均较低。

2.4 酶提取法

酶辅助提取是利用酶的专一性特点，降解多糖细胞组织，加速多糖溶出的方法^[19]，该法提取率高，耗时短，但成本高，条件苛刻，经济效益差。王庆等^[10]在pH=5，纤维素酶20 mg，50℃条件下提取60 min，提取率为50.315%。谭沙等^[20]在pH=4.5，酶8 mg·g⁻¹，40℃条件下提取110 min，提取率为46.63%。可见，酶提取法提取率均较高，但是在提取的过程中需控制溶液pH、酶的种类和用量，成本较高。

综合比较而言，超声波辅助提取和酶提取法提取率较高，但是现有的研究仅将天麻多糖的含量作为主要依据，而未充分考虑各种提取方法对天麻中多糖的结构的影响。特别是酶辅助提取法在提取

过程中可能会引起多糖降解,导致提取得到的多糖结构发生变化,从而进一步影响其药理活性。事实上,不同提取方法对天麻多糖的抗氧化活性有一定影响。例如,王庆等^[10]研究不同提取方法对天麻多糖抗氧化活性影响时发现,在1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除、2-2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS)自由基清除和铁离子还原能力(FRAP)等研究中发现,不同方法提取的天麻多糖呈现的抗氧化活性也不同。在DPPH和FRAP试验中,不同方法的天麻多糖抗氧化活性为超声波辅助法>酶法>热水浸提法;而在ABTS试验中为酶法>超声波辅助法>热水浸提法。可见,天麻多糖的提取工艺与其药理活性密切相关,在未来的研究中应对提取工艺、多糖结构与功效关系予以关注。

2.5 天麻多糖的分离纯化

上述方法得到的多是粗多糖,通常是由一个或多个单糖组分、蛋白质或色素组成。天麻粗多糖通常需要进一步分离纯化。多糖的分离纯化方法一般包括脱蛋白、脱色和层析柱分离等。多糖常用的脱蛋白方法有三氟三氯乙烷法、三氯乙酸法、Sevage法(正丁醇:氯仿)、蛋白酶法和Sevage联合蛋白酶法;脱色方法有树脂吸附法、活性炭吸附法和氧化法;除其他杂质的方法有透析、超声离心、超

滤法等^[21-22]。由于酶的活性影响因素较多,且可能影响多糖的活性或导致多糖降解等。因此,目前Sevage法使用较多。

在脱蛋白和脱色的基础上进一步纯化可得到相对分子质量均一的多糖。常用的纯化方法有大孔吸附树脂层析法、离子交换层析法和凝胶层析法^[12,23-28]。刘明庆等^[12]用Sephadex G-75柱对天麻粗多糖进行层析,得到相对分子质量不同的GEP I和GEP II。刘玉潭等^[25]用DEAE-52纤维柱对脱蛋白和脱色后的天麻粗多糖进行层析,得到相对分子质量均一、纯度较高的精制多糖。陈琛等^[26-27]利用大孔树脂D101进行一级纯化,DEAE-52离子交换色谱二级纯化后得到6个多糖组分GEP(1-6),Sephadex G-100葡聚糖凝胶色谱三级纯化得到相对分子质量均一、纯度高的天麻多糖组分GEP1-G和GEP2-G,二者的含量分别为97.3%和98.1%。程素盼^[28]利用中空纤维超滤膜将天麻粗多糖初步分段,然后采用DEAE-52纤维柱层析和凝胶G-100柱层析得到相对分子质量均一的天麻多糖WTM-2、WTM-3、WTM-4、WTM-5和WTM-6。但是,现有研究缺乏对多糖组分结构的探究,因此未来的研究方向重点为多糖组分化学结构的研究。天麻粗多糖的纯化工艺详见表2。

表2 天麻多糖不同纯化工艺比较

步骤	方法	组分及含量	优点	缺点	参考文献
除蛋白	三氟三氯乙烷法	---	除蛋白效率高	溶剂易挥发	[21]
	三氯乙酸法	---	溶剂用量少、除蛋白效率较高	多糖降解损失	[21-22]
	Sevage法	---	范围广、成本低、较好避免多糖降解	除蛋白效率不高、影响多糖活性	[21-22]
	蛋白酶法	---	除蛋白效果好		[21]
除色	树脂吸附法	---	吸附酚类有色物质	多糖损失较少	[21-22]
	活性炭吸附法	---	吸附色素类	多糖损失较多	[21-22]
	氧化法	---	用于多糖与色素结合	多糖损失	[21-22]
除其他杂质纯化	透析、超声离心、超滤法	---	除无机离子、低聚糖	---	[21]
	大孔树脂层析	多糖-65.7%	工艺简单、成本低、效果好	多糖活性降低	[23-26]
	离子交换层析法	GEP(1-6)	初级纯化、纯化率高	影响纯化因素较多	[23-26]
	凝胶层析法	GEP1-97.3%; GEP2-98.1%	高级纯化	工艺繁琐、耗时长、得率低	[23-26]

3 天麻多糖结构分析

多糖结构较为复杂,一般分为初级结构(相对分子质量、单糖组成、糖苷键链接方式和顺序等)和高级结构。天麻多糖的结构解析有助于研究其构效关系,但是目前国内外对天麻多糖结构分析方面的文献报道较少,且多为初级结构分析。

3.1 天麻多糖相对分子质量的测定

目前,从天麻中分离的多糖组分主要有GeB40、GeB80、WTM-2、WTM-3、WTM-5、WTM-6、GBI-1、GBI-2和GBI-3等。天麻多糖相对分子质量的测定方法主要有红外光谱法、多角度激光散射法(SEC-MALS)、高效液相色谱法(HPLC)、高效液相凝胶色谱法(HPGPC)及粘度法等^[13,28-36]。天麻多糖的相对分子质量见表3。

3.2 天麻多糖单糖组成的测定

天麻多糖单糖组成多采用色谱法进行分析。张梦娟^[13]采用离子色谱法分析得出,GeB40由L-鼠李糖、D-半乳糖、D-葡萄糖、D-木糖和D-甘露糖5种单糖组成,摩尔数之比为29:1:42:11:2;GeB80由L-鼠李糖、D-半乳糖和D-葡萄糖3种单糖组成,摩尔数之比为2.5:1:25。程素盼^[28]利用亲水作用色谱-蒸发光散射法(HILIC-ELSD)测得WTM-2、WTM-3、WTM-5和WTM-6等组分,WTM-2、WTM-3、WTM-5均由木糖、果糖、葡萄糖及葡萄糖醛酸组成,其中,WTM-2的组成比例为4.12:1:72.43:0.24,WTM-3为3.19:1:74.21:0.25,WTM-5为5.13:1:70.07:0.34;WTM-6由木糖、果糖、甘露糖、葡萄糖及葡萄糖醛酸按0.57:1:0.24:69.62:0.35组成。周本宏等^[33]采用GC法分析发现GEP II由葡萄糖和甘露糖组成。朱晓霞等^[35]采用GC法和衍生化法分析得出GPsa是由鼠李糖、甘露糖、葡萄糖按1:1.07:67.24组成。洪其明^[36]测得GBI-1、GBI-2、GBI-3、GB II均由葡萄糖组成;GB III和GBIV由葡萄糖、半乳糖、鼠李糖组成;GBV由葡萄糖和半乳糖按57:43组成。李超^[37]采用薄层色谱法、纸色谱和离子色谱法分析出GBP-WI、GBP-W II和GBP-A,GBP-

WI和GBP-W II均由鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、甘露糖组成;GBP-WI中各组分之比为1.27:5.41:76.49:6.32:10.51;GBP-W II中各组分之比为2.32:8.49:62.44:10.22:16.53;GBP-A由鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、甘露糖、岩藻糖和果糖组成,且各组分之比为1.17:2.25:64.9:17.25:10.65:1.87:1.61。从以上研究可知,不同提取方法获得的天麻多糖其单糖组分及其比例均存在一定差异,但均有葡萄糖组分。

3.3 天麻多糖糖苷键类型测定

目前对于天麻多糖结构的研究主要体现在糖苷键的连接方式和糖残基的组成上。程素盼^[28]利用红外光谱(IR)和核磁共振(NMR)测得WTM-2、WTM-3、WTM-5和WTM-6是 α -吡喃糖环结构,以1 \rightarrow 4链接为主链。采用甲基化-GC-MS法、高碘酸氧化法、FT-IR及NMR法,测得PGE为 α -吡喃糖环结构,主要以1 \rightarrow 4链接的葡萄糖为主链,分支可能是1 \rightarrow 3链接的葡萄糖、1 \rightarrow 4,6链接的葡萄糖和1 \rightarrow 6链接的葡萄糖末端^[29-30]。Huo JY等^[31]采用LC/MS、FT-IR、NMR等方法测得GEP-1含有1,3,6-连接的 α -GlcP、1,4-连接的 α -GlcP、1,4-连接的 β -GlcP和1,4,6-连接的 α -GlcP。Jian Ming等^[32]采用GC-MS、高碘酸氧化法等测得PGEB-3H以(1 \rightarrow 4)- α -D-葡萄糖为主链, α -1,6链接的葡萄糖为分支。周本宏等^[33]采用IR和¹H-NMR法测得GEP II含有1 \rightarrow 6糖苷键、 α -(1 \rightarrow 4)糖苷键及可能存在1 \rightarrow 2糖苷键。陈霞^[34]采用GC-MS、IR、NMR法测得WGE的主链和支链均以 α -(1 \rightarrow 4)方式连接。朱晓霞等^[35]采用IR法和NMR法测得GPsa是以 α -(1 \rightarrow 4)连接的吡喃型葡萄糖为主链。洪其明^[36]分析得出GBI-1、GBI-2、GBI-3、GB II均是以 α -D-1,4连接方式为主链的葡萄糖,GB III和GBIV主链均由1,4-连接的(葡萄糖残基、半乳糖残基、半乳糖醛酸残基)、1,2-连接的鼠李糖残基和1,2,4-连接的鼠李糖残基构成。天麻多糖的初级结构分析详见表3。

表3 天麻多糖的结构表征

组分名称	相对分子质量	单糖组成	物质的量比	糖苷键类型
GeB40 ^[13]	—	Rha-Gal-Glc-Xyl-Man	29 : 1 : 42 : 11 : 2	α -型糖苷键
GeB80 ^[13]	—	Rha-Gal-Glc	2.5 : 1 : 25	α -型糖苷键
WTM-2 ^[28]	4.041×10^4	Xyl-Fru-Glc-Gluc	4.12 : 1 : 72.43 : 0.24	α -1,4-Glcp
WTM-3 ^[28]	3.043×10^4	Xyl-Fru-Glc-Gluc	3.19 : 1 : 74.21 : 0.25	α -1,4-Glcp
WTM-5 ^[28]	1.702×10^4	Xyl-Fru-Glc-Gluc	5.13 : 1 : 70.07 : 0.34	α -1,4-Glcp
WTM-6 ^[28]	1.276×10^4	Xyl-Fru-Man-Glc-Gluc	0.57 : 1 : 0.24 : 69.62 : 0.35	α -1,4-Glcp
PGE ^[29-30]	1.54×10^6	Glc	—	α -1,4-Glcp; α -1,3-Glcp; α -1,4,6-Glcp; α -1-Glcp
GEP-1 ^[31]	2.015×10^4	Glc	—	α -1,3,6-Glcp; α -1,4-Glcp; β -1,4-Glcp; α -1,4,6-Glcp;
PGEb-3H ^[32]	2.88×10^4	Glc	—	α -1,4-Glc; α -1,6-Glc
GEP II ^[33]	2.92×10^3	Glc:Man	—	1,4-糖苷键; 1,2-糖苷键; α -1,4-糖苷键
WGE ^[34]	7.0×10^5	Glc	—	α -1,4-Glc
GBI-1 ^[35]	1.46×10^4	Glc	—	α -1,4-Glc
GBI-2 ^[36]	8.7×10^3	Glc	—	α -1,4-Glc
GBI-3 ^[36]	7×10^3	Glc	—	α -1,4-Glc
GB II ^[36]	4.3×10^2	Glc	—	α -1,4-Glc
GB III ^[36]	1.9×10^4	Gal-Rha-Glc	—	1,4-(Glc, Gal, GalA) 残基; 1,2-Rha 残基; 1,2,4-Rha 残基
GBIV ^[36]	8.7×10^4	Gal-Rha-Glc	—	1,4-(Glc, Gal, GalA) 残基; 1,2-Rha 残基; 1,2,4-Rha 残基
GBV ^[36]	1×10^5	Glc-Gal	57 : 43	残基
GPsa ^[35]	4.97×10^5	Rha-Man-Glc	1 : 1.07 : 67.24	α -1,4-Glcp
GBP-WI ^[37]	—	Rha-Gal-Glc-Xyl-Man	1.27 : 5.41 : 76.49 : 6.32 : 10.52	—
GBP-W II ^[37]	—	Rha-Gal-Glc-Xyl-Man	2.32 : 8.49 : 62.44 : 10.22 : 16.53	—
GBP-A ^[37]	—	Rha-Gal-Glc-Xyl-Man-Fuc-Fru	1.17 : 2.25 : 64.9 : 17.25 : 10.65 : 1.87 : 1.61	—

注: Glc-葡萄糖; Gal-半乳糖; Man-甘露糖; Fru-果糖; Rha-鼠李糖; Xyl-木糖; Gal-半乳糖醛酸; Gluc-葡萄糖醛酸; Glcp-吡喃葡萄糖; Fuc-岩藻糖。

4 天麻多糖的药理作用

研究表明,天麻多糖在抗氧化、抗肿瘤、免疫调节、抗衰老、改善记忆力、改善脑缺血、降血

压、抗菌、降血脂等方面表现出较好的药理活性。但现有的药理活性研究还处于初级阶段,其作用机制、构效关系及量效关系等并未见报道,亟待深入

研究。

4.1 抗氧化作用

张双奇等^[38]采用分光光度法探讨天麻多糖对DPPH和羟基自由基(OH·)清除力的影响,发现浓度为 $3.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,DPPH和OH·的清除率为40.52%和36.52%。侯敏娜等^[39]采用DPPH法和ABTS法对天麻多糖进行体外抗氧化研究,发现浓度为 $2.6 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,DPPH和ABTS的清除率为67.46%和62.34%。陈琛等^[27]采用分光光度法和邻苯三酚自氧化法探讨天麻多糖、GEP1-G和GEP2-G对DPPH、 $\text{O}_2^{\cdot -}$ 及OH·清除力的影响,研究发现天麻多糖、GEP1-G和GEP2-G在浓度为 $1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时对DPPH的清除率分别为22.3%、44.5%、25.6%, $\text{O}_2^{\cdot -}$ 的清除率为11.89%、33.32%、21.55%,OH·的清除率分别为19.6%、39.5%和22.8%。

4.2 抗肿瘤作用

王强等^[40]建立 H_{22} 肿瘤模型,发现天麻多糖在 $90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时显著抑制瘤体生长,抑制率为27.6%,且天麻多糖干预后小鼠的胸腺和脾指数均升高。刘现辉等^[41]建立 H_{22} 肿瘤模型,采用称重法和流式细胞术检测发现天麻多糖在 $320 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, H_{22} 细胞抑瘤率为44.7%,Caspase-3、8、9水平升高,G0/G1期肿瘤细胞百分比上升,G2/M期肿瘤细胞百分比下降。程素盼等^[28]采用比色法研究天麻多糖组分(WTM-2、WTM-3、WTM-5、WTM-6)对不同肿瘤细胞的抑制作用,结果发现WTM-2、WTM-3、WTM-5、WTM-6对HepG2抑制率分别为22.95%、16.46%、5.90%、4.74%,Hela抑制率为21.02%、13.37%、13.11%、10.30%,A549的抑制率为-0.15%、-0.42%、-0.29%、15.18%。可见,不同天麻多糖组分对HepG2和Hela的抑制作用不同,这可能与其结构有较大的关系,有待进一步探讨。

4.3 免疫调节作用

李晓冰等^[42]建立免疫缺陷模型,采用酶联免疫吸附法、分光光度法发现天麻多糖能调节小鼠免疫球蛋白(IgA、IgG、IgM)、溶血素水平,增加胸腺及脾指数,表明天麻多糖具有免疫调节作用。李峰等^[43]建立免疫性肝损伤模型,采用酶联免疫法探讨了天麻多糖对小鼠天门冬氨酸氨基转移酶(AST)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、一氧化氮(NO)、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛

(MDA)、肿瘤坏死因子 α (TNF- α)及白细胞介素-1(IL-1)含量及肝脏指数、脾指数、胸腺指数、T、B淋巴细胞增殖的影响,结果发现小鼠的脾指数、胸腺指数、T、B淋巴细胞增殖能力均上升,肝脏指数、AST、ALT、NO、TNF- α 、IL-1和MDA含量均下降,表明天麻多糖的保肝作用可能与调节机体的免疫功能有关。

4.4 抗衰老作用

孔小卫等^[44]建立衰老模型,采用黄嘌呤氧化法、紫外分光光度法探讨天麻多糖对小鼠血清、心、肝、脑组织中SOD、MDA、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的影响。结果显示,小鼠SOD、GSH-Px、CAT活性均上升,MDA含量下降。王新梅等^[45]建立衰老模型,采用酶联免疫吸附法、蛋白质印迹法探讨天麻多糖对小鼠骨骼肌组织中氧化应激相关指标SOD、MDA、CAT、GSH-Px、8-羟基脱氧鸟苷(8-OHdG)含量及凋亡因子Caspase-3、泛素化因子(MAFbx、MURF-1)mRNA表达和蛋白水平的的影响。结果发现天麻多糖干预小鼠SOD、CAT、GSH-Px含量均上升,而MDA、8-OHdG含量均下降,Caspase-3、mMAFbx和MuRF-1的mRNA表达和蛋白水平均下降,表明天麻多糖可能通过抑制细胞凋亡、调节氧化应激水平和泛素蛋白酶系统发挥抗衰老作用,但其抗衰老的分子机制尚未明确。

4.5 改善脑缺血作用

天麻多糖能促进脉栓塞模型大鼠脑缺血灶周围额叶皮质巢、脑源性神经营养因子(BDNF)和干细胞因子(SCF)表达^[46-47]。在局灶性脑缺血大鼠模型上,天麻多糖可促进大鼠Meynert基底核内和下丘脑室旁核(PVN)的BDNF、SCF及血管内皮生长因子(VEGF)蛋白表达^[48-49]。可见,天麻多糖对脑缺血有一定的保护作用。

4.6 对脑瘫的改善作用

史华等^[50]采用Y型迷宫、酶联免疫吸附法探讨天麻多糖对脑瘫模型幼鼠记忆力、NO、乙酰胆碱脂酶(AchE)、5-羟色胺、去甲肾上腺素(NE)、 γ -氨基丁酸(GABA)、一氧化氮合酶(eNOS)含量的影响。结果显示,天麻多糖可增强脑瘫幼鼠记忆力、上调NO、5-HT、NE、GABA、eNOS含量和下调AchE含量。王新琳等^[51]发现天麻多糖能提升脑瘫模型幼鼠智力、抑制神经

胞凋亡和B细胞淋巴瘤-2基因相关X蛋白(Bax)表达、促进B细胞淋巴瘤-2基因(Bcl-2)表达。可见,天麻多糖具有抗脑瘫和改善脑瘫幼鼠智力的作用,且这种作用可能与抑制神经细胞凋亡、调控大脑神经递质转运有关。

4.7 降血压作用

缪化春等^[52]建立高血压大鼠模型,探讨天麻多糖对大鼠心率、血压、尿量、血清中NO、血浆内皮素(ET)和血管紧张素Ⅱ(AngⅡ)水平的影响,结果显示小鼠的尿量和心率无明显变化,血压、ET和AngⅡ水平均降低,NO水平升高。陈春娟^[29]利用血管紧张素转化酶(ACE)活性体外检测法,探讨天麻多糖粗多糖和纯多糖对ACE水平的影响,结果显示天麻粗多糖和纯多糖对ACE抑制率为31.7%和74.4%,表明天麻多糖具有潜在的降血压作用。Zhu ZY等^[30]研究发现,当天麻多糖浓度为 $1\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,对ACE抑制率为74.4%。综上,天麻多糖有降血压作用,作用机制可能与促进NO生成,抑制ACE活性、ET和AngⅡ释放有关。

4.8 抗菌作用

陈琛等^[53]采用薄层平板琼脂糖孔穴扩散法和微量肉汤稀释法发现天麻多糖对 G^- 、 G^+ 和真菌均有抑制作用。张梦娟^[13]研究发现,天麻多糖组分GeB40和GeB80对细菌和真菌均有抑制作用。可见,天麻多糖及其组分均具广谱的抗菌活性。

4.9 改善记忆力

明建等^[54]建立小鼠记忆损伤模型,采用Morris水迷宫实验和比色法发现天麻水溶性多糖(PGEB-3-H)改善小鼠记忆力,升高乙酰胆碱(ACh)含量,抑制MDA的生成,显示出一定的改善记忆作用。史华等^[50]研究发现天麻多糖可通过调控大脑的神经递质来增强脑瘫大鼠的记忆。但是,这些活性的研究处于初级阶段,对其药理机制、体内代谢等都亟待深入研究。

4.10 降血脂作用

Jian Ming等^[32]建立高脂血症模型,探讨PGEB-3-H对总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)的影响。结果显示,PGEB-3-H可降低TC和TG含量,升高HDL-C水平,但对LDL-C含量无明显影响。可见,PGEB-3-H有潜在的降血脂作用,且与调节胆固醇含量有关。

4.11 抗眩晕作用

虞磊等^[55]发现天麻多糖能有效地缩短眩晕模型小鼠逃避电击的时间,说明天麻多糖具有一定的抗眩晕活性,但其药理作用研究有待深入探究。

5 结构修饰天麻多糖的制备及药理活性

天麻多糖的药理活性与其分子结构密不可分,不同的分子结构有不同的药理活性,所以对天麻多糖进行结构修饰以增强其活性和研究新活性有重要意义。多糖的结构修饰有硫酸酯化修饰、羧甲基化修饰、乙酰化修饰和磷酸化修饰等^[56],天麻多糖的结构修饰主要是硫酸酯化修饰^[57]。

5.1 硫酸酯化天麻多糖的制备

5.1.1 氯磺酸-吡啶法制备硫酸酯化天麻多糖

在磁力搅拌条件下,将氯磺酸缓慢加入到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的无水吡啶中,室温下搅拌30 min,制备酯化试剂。适量天麻多糖粉末加入到甲酰胺中,在磁力搅拌下滴加酯化试剂,反应结束后冰水浴至 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,再加入NaOH溶液中和,离心,透析,蒸发浓缩后加入3倍体积的95%乙醇,离心,干燥即得硫酸酯化天麻多糖^[57]。

5.1.2 氨基磺酸-甲酰胺法制备硫酸酯化天麻多糖

适量天麻多糖粉末加入到甲酰胺中,加热条件下磁力搅拌30 min,多糖溶解后加入氨基磺酸继续搅拌6 h,结束后 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷却2 h,室温下加入NaOH溶液至中性后加入3倍体积的95%乙醇沉淀,沉淀透析3 d,透析液冷冻干燥即得硫酸酯化天麻多糖。利用三氯乙酸法测得GEPs和GEPⅡ.s的硫酸酯化取代度分别为0.59和0.64;经IR和NMR确证硫酸酯化完成^[57]。

5.2 硫酸酯化天麻多糖药理活性

5.2.1 抗氧化活性

周本宏等^[58]采用分光光度法和邻苯三酚自氧化法测定发现GEPs和GEPⅡ.s对DPPH、OH·和 O_2^- 的清除率均强于天麻多糖。可见,多糖组分结构修饰后的抗氧化活性有增强趋势。但是,结构修饰天麻多糖的活性研究较少,且现有研究对单一组分和结构修饰多糖的药理活性及机制研究较少,有待进一步研究。

5.2.2 抗肿瘤活性

章柏钰等^[59]采用荧光染色法和划痕实验发现GEPs在 $0.1\sim 1.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 剂量范围内有效促进C6细胞凋亡,降低C6细胞存活率和愈合率。GEPs明显

抑制C6细胞生长,抑制C6的迁移,但是现有的研究未能阐明其抗肿瘤的作用机制。天麻多糖及其结构修饰物的主要药理活性见表4。

表4 天麻多糖的主要药理活性

药理活性	成分	测试指标	影响	参考文献
抗氧化	GEP	DPPH、OH·	DPPH 和 OH· 清除率 40.52%、36.52%	[38]
	GEPS	DPPH、OH·	DPPH 和 OH· 清除率 53.13%、50.95%	[58]
	GEP	DPPH、ABTS	DPPH 和 ABTS 清除率 67.46%、62.34%	[39]
	GEP1-G	DPPH、O ₂ ^{-·} 、OH·	DPPH、O ₂ ^{-·} 、OH· 清除率 44.50%、33.32%、39.50%	[27]
	GEP2-G	DPPH、O ₂ ^{-·} 、OH·	DPPH、O ₂ ^{-·} 、OH· 清除率 25.60%、21.55%、22.8%	[27]
抗肿瘤	GEP	小鼠 H ₂₂ 肿瘤模型	抑瘤率 27.6%	[40]
	GEP	抑瘤率、caspase-3,8,9	抑瘤率 44.7%、caspase-3,8,9 水平 ↑	[41]
	WTM-2	HepG2、Hela、A549	HepG2、Hela、A549 抑制率 22.95%、21.02%、-0.15%	[28]
	WTM-3	HepG2、Hela、A549	HepG2、Hela、A549 抑制率 16.46%、13.37%、-0.42%	[28]
	WTM-5	HepG2、Hela、A549	HepG2、Hela、A549 抑制率 5.90%、13.11%、-0.29%	[28]
	WTM-6	HepG2、Hela、A549	HepG2、Hela、A549 的抑制率 4.74%、10.30%、15.18%	[28]
免疫调节	GEP	IgG、IgA、IgM、溶血素水平、胸腺及脾指数	IgG ↑、IgA ↑、IgM ↑、溶血素水平 ↑、胸腺和脾脏指数 ↑	[42]
	GEP	AST、ALT、NO、SOD、MDA、TNF-α、IL-1	AST ↓、ALT ↓、NO ↓、SOD ↓、MDA ↓、TNF-α ↓、IL-1 ↓	[43]
抗衰老	GEP	SOD、CAT、GSH-Px、MDA	SOD ↑、CAT ↑、GSH-Px ↑、MDA ↓	[44]
	GEP	8-OHdG、Caspase-3、泛素化因子 mRNA 表达水平	8-OHdG ↓、Caspase-3 ↓、泛素化因子 mRNA 表达水平 ↓	[45]
改善脑缺血	GEP	BDNF、SCF	BDNF ↑、SCF ↑	[46-47]
	GEP	BDNF、SCF、VEGF	BDNF ↑、SCF ↑、VEGF ↑	[48-49]
脑瘫改善作用	GEP	NO、AchE、5-HT、NE、GABA、eNOS	NO ↑、5-HT ↑、NE ↑、AchE ↓、GABA ↑、eNOS ↑、	[50]
	GEP	Bcl-2、Bax	Bcl-2 ↑、Bax ↓	[51]
降血压	GEP	NO、ET、AngII	NO ↑、ET ↓、AngII ↓	[52]

续表 4

药理活性	成分	测试指标	影响	参考文献
抗菌	GEP	G ⁻ 、G ⁺ 、真菌	G ⁻ ↓、G ⁺ ↓、真菌 ↓	[53]
	GeB40	细菌、真菌	细菌 ↓、真菌 ↓	[13]
	GeB80	细菌、真菌	细菌 ↓、真菌 ↓	[13]
改善记忆力	PEGP-3-H	ACh、MDA	ACh ↑、MDA ↓	[54]
降血脂	PEGP-3H	TC、TG、LDL-C、HDL-C	TC ↓、TG ↓、LDL-C 无变化、 HDL-C ↑	[32]
抗眩晕	GEP	逃避电击时间	逃避电击时间 ↓	[55]

注：↑促进或升高；↓抑制或降低。

6 总结与展望

天麻作为一味药食同源的中药材，广泛应用于药品、食品和保健品等领域。天麻多糖是天麻的主要成分之一，因具有抗氧化、抗肿瘤、免疫调节和提高记忆力等多方面的药理活性，资源丰富和易获得等优点，目前备受医疗、保健等领域学者的关注。本文通过系统地分析和总结天麻的采收期、加工炮制方法、天麻多糖的提取纯化工艺、结构分析和药理活性的相关研究，对天麻多糖的进一步研究与合理应用提供参考。天麻多糖的研究还处于初级阶段，有很多问题亟待解决：1) 天麻多糖的药理活性与其相对分子质量大小、单糖的组成及糖苷键连接方式等有着密切的关系，且目前对天麻多糖的初级结构研究较多，而对其高级结构和构效关系的研究较少；2) 药理活性的作用机制还未完全明确；3) 不同提取分离方法和加工炮制方法对天麻多糖的含量及结构产生的影响尚未明确；4) 天麻多糖的结构与其毒性的关系有待进一步研究。综上所述，未来对天麻多糖的研究应从优化提取工艺、改进纯化方法出发，重点研究天麻多糖结构和功能的相互关系及作用机制，进一步扩宽其在食品、保健品及药品等领域的应用。

参考文献：

- [1] 柳威, 邓林华, 祁东利, 等. 天麻及其有效成分的药理作用概述[J/OL]. 中药药理与临床: 1-13[2021-04-08]. <https://doi.org/10.13412/j.cnki.zyyl.20210120.003>.
- [2] 郑捷, 孙朋朋, 胡爱军, 等. 天麻多糖的提取及其饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(4): 123-129.

- [3] Zhan HD, Zhou HY, Sui YP, et al. The Rhizome of *Gastrodia elata* Blume—an Ethnopharmacological Review[J]. *J. Ethnopharmacol*, 2016(189): 361-385.
- [4] 张梦娟, 徐怀德, 安兴国. 天麻多糖的超声波提取工艺研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(4): 91-95.
- [5] 马凤伟, 李莹, 潘成, 等. 不同采收期乌天麻中多糖的提取及含量测定[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 47-51, 90.
- [6] 刘天睿, 陈向东, 王忠巧, 等. 彝良乌天麻最佳采收期初步研究[J]. 中药材, 2019, 42(9): 1985-1988.
- [7] 李刚凤, 黎光富, 康明, 等. 不同加工方法对德江天麻多糖含量的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(9): 21-24.
- [8] 唐文文, 王丹丹, 沈易华. 鲜天麻及其不同炮制品有效成分含量比较[J]. 江西化工, 2021, 37(5): 29-32.
- [9] 祝洪艳, 蒋然, 何忠梅, 等. 不同乌天麻炮制品中天麻素、天麻昔元和天麻多糖的含量分析[J]. 中国药理学杂志, 2017, 52(23): 2062-2065.
- [10] 王庆, 李丹丹, 潘芸芸, 等. 提取方法对天麻多糖提取率及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 146-150.
- [11] 汪瑞敏, 朱秋劲, 张春花, 等. 不同提取方法对天麻多糖抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(3): 208-213.
- [12] 刘明庆, 罗洁丽. 天麻多糖提取工艺及纯化研究[J]. 中国药师, 2011, 14(11): 1593-1596.
- [13] 张梦娟. 天麻多糖的提取纯化及活性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2007.
- [14] 张晓芳, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 杜仲多糖的提取方法

- 及药理作用研究进展[J]. 中国新药杂志, 2021, 30 (4): 347-351.
- [15] 曹小燕, 杨海涛. 缓冲溶液浸提天麻多糖工艺的优化及抗氧化性研究[J]. 应用化工, 2016, 45 (8): 1461-1465.
- [16] 杨天友, 刘金涛, 李刚凤. 超声波辅助提取德江天麻多糖工艺优化[J]. 中国酿造, 2015, 34 (12): 117-121.
- [17] 杨莉, 陈文宁, 郑娟霞, 等. 海藻多糖的提取、分离纯化及其在食品工业的应用研究[J/OL]. 食品工业科技: 1-27[2021-04-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.ts.20201025.1738.002.html>.
- [18] 李志英, 双少敏, 张海容, 等. 微波法提取天麻多糖的研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2008, 31 (4): 573-576.
- [19] 赵二劳, 刘乐, 徐未芳, 等. 生姜多糖提取及其功能活性研究现状[J]. 中国调味品, 2021, 46 (1): 180-183.
- [20] 谭沙, 朱仁威, 张静, 等. 酶法提取天麻多糖工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2017, 38 (15): 50-53.
- [21] 王庆, 肖瑶, 张荣梓, 等. 天麻多糖提取分离纯化及生物活性的研究进展[J]. 铜仁学院学报, 2017, 19 (6): 19-24.
- [22] 杨茂会, 周欣, 谯政文, 等. 黄精多糖提取、分离纯化及生物活性研究进展[J/OL]. 食品工业科技: 1-13[2021-11-25]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021060142>.
- [23] 张胜, 李湘洲, 吴志平, 等. 植物多糖分离纯化与含量测定方法研究进展[J]. 林产化学与工业, 2009, 29 (S1): 238-242.
- [24] 赵可, 李汉清, 蒋嘉焯, 等. 关白附多糖纯化工艺优化及抑制结肠癌肝转移[J/OL]. 世界科学技术-中医药现代化: 1-8 [2021-11-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5699.R.20211104.1400.008.html>.
- [25] 刘玉潭, 梁华, 蔡永萍, 等. 天麻多糖提取纯化方法及性质的初步研究[J]. 激光生物学报, 2007 (4): 495-500.
- [26] 陈琛, 李鑫鑫, 魏唯, 等. 大孔树脂纯化天麻多糖的工艺研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2018, 55 (5): 1109-1115.
- [27] 陈琛, 李鑫鑫, 徐尤美, 等. 天麻多糖的分离纯化与抗氧化活性研究[J]. 中国临床药理学杂志, 2018, 34 (18): 2203-2206.
- [28] 程素盼. 天麻多糖分离纯化、结构表征及抗肿瘤活性研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2019.
- [29] 陈春娟. 天麻多糖的结构分析及ACE抑制活性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2018.
- [30] Zhu ZY, Chen CJ, Sun HQ, et al. Structural Characterisation and ACE-inhibitory Activities of Polysaccharide from *Gastrodia elata* Blume [J]. *Natural Product Research*, 2019, 33 (12): 1721-1726.
- [31] Huo JY, Lei M, Li F, et al. Structural Characterization of a Polysaccharide from *Gastrodia elata* and Its Bioactivity on Gut Microbiota[J]. *Molecules*, 2021, 15 (26): 4443.
- [32] Ming J, Liu J, Wu SR, et al. Structural Characterization and Hypolipidemic Activity of a Polysaccharide PGEB-3H from the Fruiting Bodies of *Gastrodia elata* Blume[C]. //SREE Conference on Engineering Modelling and Simulation. Society for Resources, Environment and Engineering, 2012 (37): 169-173.
- [33] 周本宏, 杨兰, 袁怡, 等. 天麻中一种酸性杂多糖的分离纯化和结构鉴定[J]. 中国医院药学杂志, 2009, 29 (23): 2002-2006.
- [34] 陈霞. 天麻多糖WGE的抗血管生成构效关系研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2011.
- [35] 朱晓霞, 张勇, 罗学刚. 天麻多糖的结构表征[J]. 食品研究与开发, 2010, 31 (9): 52-56.
- [36] 洪其明. 天麻多糖结构及生物活性研究[D]. 上海: 上海中医药大学, 2009.
- [37] 李超. 天麻化学成分研究[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2007.
- [38] 张双奇, 刘琳, 何念武, 等. 超声辅助提取陕产天麻多糖的工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 中国农学通报, 2021, 37 (9): 131-136.
- [39] 侯敏娜, 侯少平. 陕产天麻多糖抗氧化活性实验研究[J]. 陕西农业科学, 2018, 64 (6): 31-32, 71.
- [40] 王强, 张沂, 李佳, 等. 天麻多糖通过影响小鼠免疫系统抑制肿瘤生长[J]. 免疫学杂志, 2014, 30 (6): 566-568.
- [41] 刘现辉, 郭晓娜, 展俊平, 等. 天麻多糖对H₂荷瘤小鼠细胞周期及caspase蛋白活性的影响[J]. 中国老年学杂志, 2015, 35 (20): 5681-5682.
- [42] 李晓冰, 展俊平, 张月腾, 等. 天麻多糖对环磷酰胺所致免疫功能低下小鼠体液免疫功能的影响[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36 (5): 1027-1028.

- [43] 李峰, 朱洁平, 王艳梅, 等. 天麻多糖对小鼠免疫性肝损伤的保护作用[J]. 中药药理与临床, 2015, 31(1): 111-113.
- [44] 孔小卫, 柳听义, 关键. 天麻多糖对亚急性衰老模型小鼠自由基代谢的影响[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2005, 29(2): 95-99.
- [45] 王新梅, 刘坤祥. 天麻多糖对小鼠骨骼肌衰老作用的实验研究[J]. 遵义医学院学报, 2019, 42(2): 135-140.
- [46] 赵健, 黄锐, 李怀斌, 等. 电针及天麻多糖对局灶性脑缺血大鼠缺血灶周围额叶皮质巢蛋白、干细胞因子表达的影响[J]. 针刺研究, 2015, 40(2): 108-112.
- [47] 黄锐, 赵健, 吴锋, 等. 电针联合天麻多糖对脑缺血大鼠基底外侧杏仁核巢蛋白、脑源性神经营养因子表达的影响[J]. 针刺研究, 2016, 41(3): 230-234.
- [48] 王薇, 缪化春, 吴锋, 等. 天麻多糖结合电针抑制脑缺血大鼠Meynert基底核神经元损伤和上调BDNF、SCF及VEGF表达[J]. 中国组织化学与细胞化学杂志, 2017, 26(2): 122-128.
- [49] 刘敏, 缪化春, 李怀斌, 等. 针药结合对脑缺血大鼠下丘脑室旁核脑源性神经营养因子和血管内皮生长因子表达的影响[J]. 针刺研究, 2016, 41(2): 119-123.
- [50] 史华, 何琦, 娄元俊, 等. 天麻多糖对脑瘫幼鼠脑内神经递质的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(23): 140-145.
- [51] 王新琳, 刘沛东, 张亮, 等. 天麻多糖对脑瘫幼鼠模型脑组织神经细胞凋亡基因表达的影响[J]. 中国临床药理学杂志, 2019, 35(18): 2062-2064.
- [52] 缪化春, 沈业寿. 天麻多糖的降血压作用[J]. 高血压杂志, 2006, 14(7): 531-534.
- [53] 陈琛, 李鑫鑫, 付向东, 等. 汉中天麻多糖抗菌活性研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(11): 156-159.
- [54] 明建, 曾凯芳, 吴素蕊, 等. 天麻多糖PGEB-3-H对东莨菪碱所致小鼠学习记忆障碍的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 246-249.
- [55] 虞磊, 沈业寿, 缪化春. 天麻多糖与蜜环菌多糖抗眩晕症作用研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2006, 13(8): 29-30.
- [56] 谭西, 周欣, 陈华国. 多糖结构修饰研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 341-349, 356.
- [57] 王伦, 张兴国, 李晓倩. 天麻主要活性成分及其结构修饰研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(5): 1146-1149.
- [58] 周本宏, 谭珺, 张婵, 等. 硫酸酯化天麻多糖的制备及其抗氧化活性[J]. 中国医院药学杂志, 2017, 37(17): 1685-1691.
- [59] 章柏钰, 谭珺, 郭咸希, 等. 硫酸酯化天麻多糖抗脑胶质瘤活性的研究[J]. 中国药师, 2020, 23(2): 227-231.

(收稿日期 2021年11月14日 编辑 郑丽娥)