

植物多糖抗炎作用及机理研究进展

陆可安, 付婉妹, 奚雨佳, 黄敏萱, 丁志山*

浙江中医药大学, 医学技术与信息工程学院, 浙江 杭州
Email: *1264029171@qq.com

收稿日期: 2021年5月18日; 录用日期: 2021年6月23日; 发布日期: 2021年6月30日

摘要

植物多糖作为一种同时具备多种生物活性的天然产物, 因其多靶点、低毒等特点已经成为了抗炎药物治疗领域的研究重点。本文对近年来植物多糖抗炎作用的研究加以综述, 从植物多糖对炎症相关细胞因子、iNOS和COX-2、NF- κ B相关信号通路等方面的影响阐述其抗炎机理, 并讨论植物多糖结构与抗炎药理活性的关系, 对植物多糖未来研究的发展趋势做出展望, 以期抗炎药物的研发提供理论基础。

关键词

植物多糖, 抗炎, 作用机制

Progress on Anti-Inflammatory Effects and Mechanisms of Plant Polysaccharides

Ke'an Lu, Wanmei Fu, Yujia Xi, Minxuan Huang, Zhishan Ding*

College of Medical Technology and Information Engineering, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou
Zhejiang
Email: *1264029171@qq.com

Received: May 18th, 2021; accepted: Jun. 23rd, 2021; published: Jun. 30th, 2021

Abstract

As a natural product with multiple biological activities, plant polysaccharides have become the focus of research in the field of anti-inflammatory drug therapy because of their high efficiency and low toxicity. This paper summarizes the study of anti-inflammatory effect of plant polysaccharides in recent years, and lays high emphasis on the effect of polysaccharide to inflammatory

*通讯作者。

cytokines, iNOS and COX-2, the NF- κ B pathway and so on, which could be the possible anti-inflammatory mechanisms, and discuss the relationship between the polysaccharide structure and anti-inflammatory pharmacological activities. In addition, it prospects about the development trend of future research of plant polysaccharide, in order to provide a theoretical basis for the research and development of anti-inflammatory drugs.

Keywords

Plant Polysaccharides, Anti-Inflammatory, Mechanism

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

炎症是一种具有血管系统的活体组织对致炎因子的刺激所发生的一种以防御为主的生理反应，具有两面性[1]。研究表明，许多临床常见疾病如动脉粥样硬化、坏死性小肠结肠炎、类风湿性关节炎等发病机制均与炎症相关。目前，炎症的治疗主要集中在类固醇和非甾体类抗炎药上[2]。然而，由于前者的副作用如高血压、骨质疏松症、免疫抑制、库欣综合征[3] [4] [5]和后者的出血性胃炎、上消化道溃疡、肝毒性、过敏等[6]，限制了其在抗炎方面的应用。

植物多糖，又称为植物多聚糖，由糖醛基和糖酮基通过糖苷键相互连接形成，是存在于生物体内四大基本物质之一，具有人体免疫调控、抗肿瘤、抵御病毒、降血糖、防治炎症等作用[7] [8]。而多糖因具有高效低毒、良好的生物相容性且抗炎作用效果好等优势[9]，已经逐渐成为近年抗炎药物科学的一个研究热点。因此，本文针对近年来关于植物多糖抗炎药理作用的研究加以总结，系统的阐述植物多糖抗炎的作用及机理，以期植物多糖开发为抗炎药物或辅助治疗药物提供理论基础。

2. 具有抗炎作用的植物多糖

植物多糖于植物细胞中普遍存在，能够有效维持和帮助生物体正常生命和细胞活动的正常进行和平衡运转，它们通常是保护植物细胞壁的重要组成部分。其中，植物多糖如淀粉、纤维素、多聚糖、果胶等，早已逐步成为人们各种日常生活中的重要组成部分[10]。随着研究的不断深入，越来越多具有抗炎作用的植物多糖被逐步挖掘，并在体外和动物模型中经植物多糖处理后，可显著改善其发红、发热、肿胀等机体反应。近几年来发现具有抗炎作用的植物多糖及其抗炎机理见表1。

Table 1. Plant polysaccharides with anti-inflammatory effects in recent years

表 1. 近年来具有抗炎作用的植物多糖及其抗炎机理

植物多糖	拉丁名	采用模型	抗炎机制	参考文献
枸杞多糖 (2020 冯晨)	<i>Lycium barbarum</i> Polysaccharide	脂多糖(LPS)诱导 BV2 小胶质细胞模型	抑制细胞炎症因子 PGE2、IL-1 β 、IL-6 及 TNF- α 的释放	[11]
大石花菜多糖 (2019 崔明晓)	<i>Gelidium pacificum</i> <i>Okamura</i> Polysaccharide	脂多糖(LPS)诱导 THP-1 细胞毒性模型	抑制 TLR4、MyD88、TRAF6 在 mRNA 和蛋白水平表达量的上升	[12]
黄芪多糖 (2021 钟敏)	<i>Astragalus</i> Polysaccharide	5%葡聚糖酸钠诱导急性溃疡性结肠炎小鼠模型	改善肠道黏膜屏障功能以减少炎症因子的释放	[13]

Continued

辣木多糖 (2018 崔璨)	<i>Moringa oleifera</i> Polysaccharide	脂多糖(LPS)诱导 RAW264.7 体外炎症模型	抑制 iNOS 和 COX-2 的 mRNA 表 达	[14]
石斛多糖 (2020 谷仿丽)	<i>Dendrobium huoshanense</i> Polysaccharide	小鼠溃疡性结肠炎模型	降低 DAI、血清细胞因子 IL-1、 TNF- α 分泌量	[15]
黑灵芝多糖 (2020 李露)	<i>Ganoderma atrum</i> Polysaccharides	脂多糖(LPS)诱导的大鼠急 性肠道炎症模型	与 TLR4 和甘露糖受体结合, 激活 NF- κ B 信号通路	[16]
芦荟多糖 (2016 张文志)	<i>Aloe</i> Polysaccharide	大鼠 2,4,6-三硝基苯磺酸实 验性结肠炎模型	通过调节肠黏膜局部免疫 平衡发挥作用	[17]
北五味子多糖 (2020 杜兴旭)	Polysaccharides from <i>Fructus Schisandra</i> <i>chinensis</i>	高脂饮食联合小剂量链脲 佐菌素诱导的 2 型糖尿病大 鼠模型	抑制炎症增生、炎性细胞因子 IL-6、CRP、IL-1 β 、TNF- α 和 NF- κ B 的分泌	[18]
夏枯草多糖 (2021 池慧钦)	<i>Prunella vulgaris L.</i> Polysaccharide	镉诱导肾小管上皮细胞 RPTEC/TERT1 炎症模型	抑制 CAT 及 SOD 酶活性与 NF- κ B 信号通路的激活	[19]
紫甘薯多糖 (2019 TangC.)	<i>Solanum tuberosm</i> Polysaccharide	脂多糖(LPS)诱导 RAW264.7 模型	抑制 NO、IL-6、IL-1 β 和 TNF- α 的分泌, 促进 IL-10 的产生	[20]

3. 植物多糖抗炎机理

为使植物多糖更好的应用于临床抗炎药物的开发, 首先需要明确其具体抗炎机理。目前研究表明, 植物多糖可通过影响炎症相关因子、iNOS 和 COX-2 的分泌, 抑制炎症信号通路 NF- κ B 的激活及其他途径等发挥抗炎效果。

3.1. 抑制炎症相关细胞因子

植物多糖的抗炎作用与细胞因子的分泌量有关。当机体接触到外界刺激后, 能够通过一系列的信号通路诱导人体细胞产生许多促炎或抗炎细胞因子。促炎细胞因子诸如肿瘤坏死因子(TNF- α)和白细胞介素类 IL-1 β 、IL-6、IL-8 等, 能够激活中性粒细胞和淋巴细胞, 使人体血管内皮细胞通透性明显增加, 调节其他人体组织代谢活性及促炎细胞因子的合成与释放[21]。抗炎细胞因子如 IL-4、IL-5、IL-10 等, 可通过刺激淋巴细胞增殖及相关抗体合成, 阻断巨噬细胞的代谢等方式来起到抗炎的效果[22]。

植物多糖可通过抑制促炎细胞因子的释放与促进抗炎细胞因子的合成减轻炎症反应。甘草多糖通过作用于 IEC-6 增强 IL-7 细胞因子的分泌, 促进 T 淋巴细胞增殖[23]。薛丹[24]根据炎症的不同时期表现, 采用不同动物模型探讨皱皮木瓜多糖的抗炎活性及其机制; 通过体外脂多糖(LPS)诱导巨噬细胞 NR8383 建立体外炎症模型, 皱皮木瓜多糖能显著降低细胞上清促炎细胞因子 TNF- α 、IL-1 β 和 COX-2 及细胞内 NO 含量水平($P < 0.05$), 且呈剂量依赖性。唐开锋等[25]通过建立小鼠急性胰腺炎(AP)模型发现, 经枸杞多糖处理后的实验组胰腺系数降低, 其机制血清中 IL-6、IL- β 、TNF- α 含量降低, 其机制可能与抑制炎症因子、氧化应激分子和 NF- κ B 信号通路的激活有关。当归多糖能显著抑制促炎细胞因子的表达, 对大鼠佐剂性关节炎有治疗作用[26]; 巴西姬松茸多糖通过调节 Toll 样受体 TLR4 和 TLR2 以及增加 TNF- α 和 IL-1 β 的产生来增加人类单核细胞的活性[27]。

3.2. 抑制 iNOS 和 COX-2 的表达

一氧化氮合酶(nitricoxidesynthase, NOS)是催化一氧化氮(NO)合成的关键酶, 其包括 nNOS、eNOS 和 iNOS 三种亚型。其中, iNOS 能在炎症状态下被迅速诱导并产生 NO, 通过刺激 NO 的合成而加速细胞死亡, 因此抑制 iNOS 表达水平能够明显抑制炎症反应和氧化应激[28]。植物多糖能通过下调 iNOS 的表

达水平从而抑制 NO 的产生,起到抗炎的作用。赵晴晴等人[29]用 LPS 诱导小胶质细胞,给予不同浓度的竹节参多糖,结果显示,与 LPS 模型组相比,3.125、6.25、12.5、25、50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 竹节参多糖均能不同程度抑制 NO 释放量,浓度越高,对 NO 释放的抑制程度越强,且能减少 IL-1 β 、TNF- α 、iNOS 的表达。

环氧酶(Cyclooxygenase, COX)家族包括 COX-1 和 COX-2 两种亚型。COX-2 可介导血管内皮的炎症反应,产生活性氧导致内皮细胞功能紊乱和血管收缩[30]。当组织受到 IL-1, TNF, TGF- α 等多种炎症及细胞因子、氧化应激、内毒素或致癌物等多种致病因素刺激时,COX-2 的表达迅速上调[31]。银杏叶多糖能不同程度抑制 COX-2、iNOS 的分泌与表达,从而起到抗炎作用[32]。

环氧合酶-2 (COX-2)和诱导型一氧化氮合酶(iNOS)可作为参与人体组织缺血后炎症反应的重要组成分子,在炎症反应过程中两者之间紧密关联。Romana-Souza 等[33]在压疮创面愈合实验中发现 COX-2 蛋白表达的减少可能与 iNOS 和 PGE2 蛋白表达的减少有关。

3.3. 调控 NF- κ B 相关信号通路

植物多糖可通过阻断 NF- κ B 通路或抑制 NF- κ B 的激活达到抗炎的目的。NF- κ B 是一种大量存在于真核细胞中、对细胞的生长、分化、凋亡及炎症反应等过程中具有重要的可调节作用的蛋白质分子[34]。在未受到外界刺激时,细胞内的 NF- κ B 以无活性的形式留存于胞浆中。但当细胞外信号因子和受体相互结合时,蛋白激酶 IKK 被激活,激活后可分别使 I κ B- α 和 I κ B- β 的特异性位点丝氨酸磷酸化,触发 I κ B 的泛素化和降解,随即 NF- κ B 被激活。NF- κ B 被激活后能促进促炎因子 TNF- α 、IL-1、IL-6 等释放,这些因子的释放会又会进一步加强 NF- κ B 的活化,二者相互影响,加速炎症反应的发生[35]。因此可通过抑制其磷酸化、阻断其核定位及与 DNA 的结合、抑制靶基因表达等活性表达方式阻断 NF- κ B 信号通路的方式减轻炎症的发生。

Yajuan Bai 等人[36]研究发现龙眼果肉多糖能抑制 NF- κ B 活性。Qiu Li 等人[37]研究发现紫锥菊酸性多糖可以抑制 TNF- α 和 IL-6 水平的增加,抑制 NF- κ B 活性。Yan Meng 等人[38]研究发现,党参多糖可以显著降低 IL-6、TLR4、TNF- α 和 NF- κ B 在炎症细胞中的表达,抗炎活性更佳,其机制可能与抑制 TLR4/NF- κ B 途径的活化有关[39]。

4. 植物多糖结构与抗炎药理活性的关系

植物多糖的化学结构是其发挥生物活性的重要物质基础,多糖的化学结构不同,其抗炎效果也不同。多糖分子的一级结构、侧链结构、所带电荷、空间构象以及组成单糖上的取代基和取代位置乃至分子量大小、溶解性能都可以影响其生物活性[40]。

鼠尾藻均一多糖 STP-I 和 STP-III 的相对分子质量分别是 29 kDa 和 350 kDa,通过透射电子显微镜可以观察到 STP-I 是网格状结构,而 STP-III 是线状且螺旋缠绕结构。活性试验表明,线状缠绕的鼠尾藻多糖 STP-III 较网格状的 STP-I 能更好地抑制相关炎症相关因子的表达[41]。王昭晶等[42]从金耳、银耳、脑耳和血耳的水提粗提物中分离纯化得到主要多糖 TABW-II、TFBW-II、TEPW-II 和 TSPW-I。TSPW-I 对脂多糖诱导小鼠巨噬细胞 RAW264.7 产生炎症因子肿瘤坏死因子 TNF- α 、白细胞介素 IL-6 和环氧合酶 COX-2 的抑制作用最强且形成更加伸展的链缠绕结构。研究表明相对分子质量大和更加伸展的线状缠绕链结构具有更好的抗炎作用。

多糖的主链、支链或者高级结构的变化都会影响其生物活性,因此人们可以通过结构修饰来改变其生物学活性[43]。结构修饰是指通过物理、化学或者生物学的方法改变多糖的空间结构、单糖组成、分子量大小、取代基种类和糖链的连接方式等,从而获得不同活性衍生物的方法,研究较多的是化学修饰,包括硫酸化、磷酸化、羧甲基化、乙酰化、烷基化、碘化修饰等[44]。王筱霏[45]采用体外检测和体内验

证相结合的方法,发现氯磺酸吡啶法比硫酸化法修饰黄芪多糖体外抗炎活性好。雷袁等[46]从血满草叶片中分离纯化出了一种均一性酸性双重血满草酸性多糖 SPS-1 并制备其硫酸化衍生物 SSPS-1, SPS-1 与 SSPS-1 均具有抗炎活性且 SSPS-1 在同浓度下抗炎效果更好。

5. 展望

如今,越来越多的人倾向于选择天然药物进行疾病预防和医疗应用[47]。传统的抗炎药选择性较差,副作用明显,临床应用受到较大限制,寻找新的抗炎药物势在必行。而植物多糖作为自然资源的重要组成部分,具备生物相容性、可化学修饰、毒副作用小的特点,因此,探究植物多糖抗炎药理活性及其机理能为新型抗炎药物的研发提供方向。此外,由于我国地域辽阔,植物种类繁多,仅高等植物就有三万多种,为利用、筛选具有抗炎效果的植物多糖提供了丰富的资源基础;并且,人们已掌握多种有关植物多糖的结构分析的技术和研究方法。虽然近年来人们对于植物多糖的研究开发取得了一定进展,但也存在许多问题:植物多糖工业化生产的提取利用率较低;关于植物多糖抗炎的研究主要停留在简单的抗炎活性筛选上,未深入作用机制;不明确的组成及构效关系严重阻碍了糖类药物的研究与在临床的进一步开发[48];大多数报道都是在体外或动物身上进行,缺乏临床研究[49]。上述存在的缺陷都为此后植物多糖抗炎研究工作的开展指明了方向。我们应将研究扩展到更多植物中去,为新药物的研发提供理论及物质基础。

参考文献

- [1] Han, Y.K., Kim, Y.S., Natarajan, S.B., Kim, W.S., Hwang, J.W., Jeon, N.J., *et al.* (2016) Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects of *Chaenomeles sinensis* Leaf Extracts on LPS-Stimulated RAW 264.7 Cells. *Molecules*, **21**, Article No. 422. <https://doi.org/10.3390/molecules21040422>
- [2] Bai, R., Yao, C., Zhong, Z., Ge, J., Bai, Z., Ye, X., *et al.* (2021) Discovery of Natural Anti-Inflammatory Alkaloids: Potential Leads for the Drug Discovery for the Treatment of Inflammation. *European Journal of Medicinal Chemistry*, **213**, Article ID: Article ID: 113165. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2021.113165>
- [3] Ma, L., Liu, T.W., Wallig, M.A., Dobrucki, I.T., Dobrucki, L.W., Nelson, E.R., *et al.* (2016) Efficient Targeting of Adipose Tissue Macrophages in Obesity with Polysaccharide Nanocarriers. *ACS Nano*, **10**, 6952-6962. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.6b02878>
- [4] Grennan, D. and Wang, S. (2019) Steroid Side Effects. *JAMA*, **322**, 282. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.8506>
- [5] Kohsaka, H. (2013) Mechanism, Diagnosis, and Treatment of Steroid Myopathy. *BrainNerve*, **65**, 1375-1380.
- [6] Philipsborn, P., Renke, B., Jacob, B., Drees, S., Geffert, K., Movsisyan, A., *et al.* (2020) Adverse Effects of Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs in Patients with Viral Respiratory Infections: Rapid Systematic Review. *BMJ Open*, **10**, e040990. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-040990>
- [7] Kalinina, T.S., Zlenko, D.V., Kiselev, A.V., Litvin, A.A. and Stovbun, S.V. (2020) Antiviral Activity of the High-Molecular-Weight Plant Polysaccharides (Panavir®). *International Journal of Biological Macromolecules*, **161**, 936-938. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.031>
- [8] 孟庆龙, 金莎, 刘雅婧, 潘景芝, 崔文玉. 植物多糖药理功效研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(11): 335-341.
- [9] Yu, Y., Shen, M., Song, Q. and Xie, J. (2018) Biological Activities and Pharmaceutical Applications of Polysaccharide from Natural Resources: A Review. *Carbohydrate Polymers*, **183**, 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.009>
- [10] 梁欢, 黄进, 王丽, 陈稷, 田孟良. 药用植物多糖的研究进展[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(15): 3080-3092.
- [11] 冯晨, 于洋. 枸杞多糖对 LPS 诱导 BV2 小胶质细胞的抗炎活性及 NF- κ B 信号通路的调控作用[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 304-309, 319.
- [12] 崔明晓. 大石花菜多糖的分离、结构表征及其抗炎活性研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- [13] 钟敏, 李昕宇, 郝佳美, 任建武. 正北芪多糖对结肠炎小鼠的抗炎作用研究[J/OL]. 食品工业科技, 2021: 1-13. <http://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090241>, 2021-02-04.
- [14] 崔璨, 王欣宇, 苑广伟, 刘泽平, 陈晓阳, 王磊. 辣木叶多糖 MLP100-3 的提取纯化与体外抗炎活性研究[J]. 暨

- 南大学学报(自然科学与医学版), 2018, 39(5): 410-418, 425.
- [15] 谷仿丽, 黄仁术, 何晓梅. 霍山石斛多糖对溃疡性结肠炎小鼠的抗炎作用[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(14): 176-177, 237.
- [16] 李露. 基于代谢组学探讨黑灵芝多糖对急性肺损伤大鼠的保护作用[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- [17] 张文志, 欧水平, 吴会超, 于庆生. 芦荟多糖对实验性结肠炎大鼠肠黏膜的保护作用及其机制研究[J]. 实用医学杂志, 2016, 32(3): 352-355.
- [18] 杜兴旭, 乔子敬, 杨硕, 许智莹, 杨波, 李贺, 陈建光, 王春梅. 五味子多糖对 2 型糖尿病大鼠血清中炎症因子的影响及其作用机制[J]. 吉林大学学报(医学版), 2020, 46(1): 50-55.
- [19] 池慧钦, 黎姿茵, 宋佳, 赖月妃, 王延, 杨佳妮, 万宇, 何志妮, 卫秦芝, 吴炜亮, 杨杏芬. 夏枯草粗多糖对镉诱导肾小管上皮细胞炎症反应的调节作用[J/OL]. 现代食品科技, 2021, 37(6): 1-9.
<https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.0138>
- [20] Tang, C., Sun, J., Liu, J., Jin, C., Wu, X., Zhang, X., *et al.* (2019) Immune-Enhancing Effects of Polysaccharides from Purple Sweet Potato. *International Journal of Biological Macromolecules*, **123**, 923-930.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.187>
- [21] Nosenko, M.A., Ambaryan, S.G. and Drutskaya, M.S. (2019) Proinflammatory Cytokines and Skin Wound Healing in Mice. *Molecular Biology*, **53**, 741-754. <https://doi.org/10.1134/S0026893319050121>
- [22] Wojdasiewicz, P., Poniowski, L.A. and Szukiewicz, D. (2014) The Role of Inflammatory and Anti-Inflammatory Cytokines in the Pathogenesis of Osteoarthritis. *Mediators of Inflammation*, **2014**, Article ID: 561459.
<https://doi.org/10.1155/2014/561459>
- [23] Peter, A.A., Yu, B., Peter, G.M., Chu, X., Zhang, Y., Uzayisenga, R., *et al.* (2016) Immunomodulatory and Anticancer Potential of Gan Cao (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) Polysaccharides by CT-26 Colon Carcinoma Cell Growth Inhibition and Cytokine IL-7 Upregulation *in Vitro*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, **16**, Article No. 206.
<https://doi.org/10.1186/s12906-016-1171-4>
- [24] 薛丹. 皱皮木瓜多糖的制备及抗类风湿关节炎药理活性研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 第二军医大学, 2015.
- [25] 唐开锋, 王剑虹, 余家奇. 枸杞多糖在 AP 小鼠体内抗炎、抗氧化应激的作用机制[J]. 中国老年学杂志, 2020, 40(21): 4653-4656.
- [26] 任伟钰, 郑宜鳌, 张月梅, 刘东玲, 刘永琦. 当归多糖药理作用的研究进展[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(10): 2484-2487.
- [27] Priscila, R.M., Ângela, M.V., Andrea, V.S., Márjorie, A.G. and Ramon, K. (2017) *Agaricus brasiliensis* Polysaccharides Stimulate Human Monocytes to Capture *Candida albicans*, Express Toll-Like Receptors 2 and 4, and Produce Pro-Inflammatory Cytokines. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, **23**, Article No. 17. <https://doi.org/10.1186/s40409-017-0102-2>
- [28] Król, M. and Kepinska, M. (2020) Human Nitric Oxide Synthase-Its Functions, Polymorphisms, and Inhibitors in the Context of Inflammation, Diabetes and Cardiovascular Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**, Article No. 56. <https://doi.org/10.3390/ijms22010056>
- [29] 赵晴晴, 王婷, 袁丁, 何梦含, 望金欣, 何毓敏, 周志勇. 竹节参多糖对 LPS 致小胶质细胞炎症反应的作用[J]. 中药材, 2019, 42(6): 1409-1412.
- [30] 赵洪伟, 车楠, 黄超, 姜今植, 李良昌. Notch1 信号激活核因子 κ B(NF- κ B)参与小鼠 RAW264.7 巨噬细胞炎症介质释放[J]. 细胞与分子免疫学杂志, 2017, 33(10):1310-1315.
- [31] Kuwano, T., Nakao, S., Yamamoto, H., Tsuneyoshi, M., Yamamoto, T., Kuwano, M., *et al.* (2004) Cyclooxygenase 2 Is a Key Enzyme for Inflammatory Cytokine-Induced Angiogenesis. *FASEB Journal*, **18**, 300-310.
<https://doi.org/10.1096/fj.03-0473com>
- [32] 张丽娇, 高立宏, 费瑞. 银杏叶多糖对炎症小鼠 TNF- α 表达的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医(下半月), 2018(8): 172-173.
- [33] Bruna, R.S., Jeanine, S.S., Luana, G.B. and Monte-Alto-Costa, A. (2016) Selective Inhibition of COX-2 Improves Cutaneous Wound Healing of Pressure Ulcers in Mice through Reduction of iNOS Expression. *Life Sciences*, **153**, 82-92.
<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2016.04.017>
- [34] Sun, S.C. (2017) The Non-Canonical NF- κ B Pathway in Immunity and Inflammation. *Nature Reviews Immunology*, **17**, 545-558. <https://doi.org/10.1038/nri.2017.52>
- [35] Yi, W., Wen, Y., Tan, F., Liu X, Lan, H., Ye, H., *et al.* (2019) Impact of NF- κ B Pathway on Theapoptosis-Inflammation-Autophagy Crosstalk in Human Degenerative Nucleus Pulposus Cells. *Aging*, **11**, 7294-7306.
<https://doi.org/10.18632/aging.102266>

- [36] Bai, Y.J., Jia, X.C., Huang, F., Zhang, R., Dong, L., Liu, L., *et al.* (2020) Structural Elucidation, Anti-Inflammatory Activity and Intestinal Barrier Protection of Longan Pulp Polysaccharide LPIIa. *Carbohydrate Polymers*, **246**, Article No. 116532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116532>
- [37] Li, Q., Yang, F., Hou, R., Huang, T. and Hao, Z. (2020) Post-Screening Characterization of an Acidic Polysaccharide from *Echinacea Purpurea* with Potent Anti-Inflammatory Properties *in Vivo*. *Food & Function*, **12**, e179651. <https://doi.org/10.1039/D0FO01367F>
- [38] Meng, Y., Xu, Y., Chang, C., Qiu, Z., Hu, J., Wu, Y., *et al.* (2020) Extraction, Characterization and Anti-Inflammatory Activities of an Inulin-Type Fructan from *Codonopsis pilosula*. *International Journal of Biological Macromolecules*, **163**, 1677-1686. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.117>
- [39] 孟燕, 徐玉洁, 张宝徽, 常聪, 郑国华, 吴勇. 党参多糖不同组分的抗炎活性及机制研究[J]. 中国药房, 2020, 31(11): 1348-1352.
- [40] 谭西, 周欣, 陈华国. 植物多糖构效关系研究进展[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(21): 4104-4109.
- [41] 王昭晶, 罗焯辉, 聂开颖. 网格状与线状鼠尾藻多糖抗炎作用研究[J]. 中国海洋药物, 2019, 38(2): 17-23.
- [42] 王昭晶, 罗焯辉, 曾亚威. 4种银耳属多糖的理化特征、微观结构及其抗氧化和抗炎症作用研究[J]. 中国药学杂志, 2019, 54(21): 1788-1793.
- [43] Wang, C., Zou, P., Yang, C., Liu, L., Cheng, L., He, X., *et al.* (2019) Dynamic Modifications of Biomacromolecules: Mechanism and Chemical Interventions. *Science China Life Sciences*, **62**, 1459-1471. <https://doi.org/10.1007/s11427-019-9823-1>
- [44] Chen, F. and Huang, G. (2018) Preparation and Immunological Activity of Polysaccharides and Their Derivatives. *International Journal of Biological Macromolecules*, **112**, 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.169>
- [45] 王筱霏. 黄芪多糖及其硫酸化修饰产物体内外抗炎活性研究[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [46] 袁雷, 钟政昌, 刘瑜, 刘浩博. 血满草酸性多糖分离纯化、硫酸化修饰及抗炎活性研究[J]. 分析实验室, 2020, 39(6): 649-653.
- [47] Qu, J., Huang, P., Zhang, L., Qiu, Y., Qi, H., Leng, A., *et al.* (2020) Hepatoprotective Effect of Plant Polysaccharides from Natural Resources: A Review of the Mechanisms and Structure-Activity Relationship. *International Journal of Biological Macromolecules*, **161**, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.196>
- [48] 边亮, 陈华国, 周欣. 植物多糖的抗肿瘤活性研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 275-282.
- [49] Hou, C.Y., Chen, L., Yang, L.Z. and Ji, X. (2020) An Insight into Anti-Inflammatory Effects of Natural Polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, **153**, 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.315>