

枸杞多糖的生物活性及应用研究进展

陈 柳, 段傲宜, 李宜静, 刘延鑫, 王义翠

Research Progress on Biological Activity and Application of *Lycium barbarum* Polysaccharide

CHEN Liu, DUAN Aoyi, LI Yijing, LIU Yanxin, and WANG Yicui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024100065>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

硒多糖的合成方法、结构特征和生物活性研究进展

Research Progress of Synthesis Methods, Structural Characteristics and Biological Activities of Selenium Polysaccharides

食品工业科技. 2021, 42(7): 374-381 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050188>

三七皂苷的提取、结构、生物活性及其应用研究进展

Research Progress on Extraction, Structure, Biological Activity and Application of *Panax notoginseng* Saponin

食品工业科技. 2025, 46(7): 415-424 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024040356>

海洋动物多糖的生物活性及其应用研究进展

Research Progress on Biological Activity and Application of Marine Animal Polysaccharides

食品工业科技. 2024, 45(16): 418-424 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090217>

发菜多糖的提取、纯化及生物活性研究进展

Research Progress on Extraction, Purification and Biological Activities of *Nostoc flagelliforme* Polysaccharides

食品工业科技. 2021, 42(22): 423-432 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090199>

石斛多糖的结构特征、生物活性、构效关系及产品开发进展

Research Progress on Structure Characteristics, Biological Activity, Structure-Activity Relationship and Product Development of *Dendrobium* Polysaccharides

食品工业科技. 2024, 45(15): 429-442 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090148>

五味子多糖提取、结构特征及生物活性研究进展

Progress on the Extraction, Structure Characterization and Bioactivity of *Schisandra chinensis* Polysaccharides

食品工业科技. 2024, 45(3): 1-9 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023060200>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

陈柳, 段傲宜, 李宜静, 等. 枸杞多糖的生物活性及应用研究进展 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(19): 455–467. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100065

CHEN Liu, DUAN Aoyi, LI Yijing, et al. Research Progress on Biological Activity and Application of *Lycium barbarum* Polysaccharide[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(19): 455–467. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100065

· 专题综述 ·

枸杞多糖的生物活性及应用研究进展

陈柳¹, 段傲宜², 李宜静¹, 刘延鑫², 王义翠^{1,*}

(1. 河南中医药大学药学院, 河南郑州 450046;

2. 河南中医药大学医学院, 河南郑州 450046)

摘要: 枸杞是我国传统中药材, 具有悠久的药食同源历史。枸杞多糖是从枸杞果实中分离得到的天然植物多糖, 是枸杞中关键的生物活性物质之一。根据最新科学研究, 枸杞多糖表现了广泛的生物效应, 包括抗肿瘤、抗氧化、抗炎、调节血糖、神经保护、生殖保护、保肝护肝等, 其在食品、保健及医药等相关领域具有很好的应用潜力与价值。本文检索了近年来国内外关于枸杞多糖研究的最新成果, 系统梳理了枸杞多糖的结构特征、提取工艺、生物活性和应用研究进展, 总结了现有技术的优势与局限, 以期枸杞多糖的标准化、规范化、科学开发应用提供可行性参考依据, 以便形成完整且优质的枸杞多糖产业链, 为人类健康事业贡献力量。

关键词: 枸杞多糖, 结构特征, 提取工艺, 生物活性, 研究进展

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)19-0455-13

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100065



本文网刊:

Research Progress on Biological Activity and Application of *Lycium barbarum* Polysaccharide

CHEN Liu¹, DUAN Aoyi², LI Yijing¹, LIU Yanxin², WANG Yicui^{1,*}

(1. School of Medicine, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China;

2. School of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: *Lycium barbarum* is a traditional Chinese medicinal material with a long history of homology of medicine and food. *Lycium barbarum* polysaccharide is a natural plant polysaccharide isolated from *Lycium barbarum* fruit, which is one of the key bioactive substances in *Lycium barbarum*. According to the latest scientific research, *Lycium barbarum* polysaccharide has shown a wide range of biological effects, including anti-tumor, anti-oxidation, anti-inflammation, regulation of blood glucose, neuroprotection, reproductive protection, liver protection, and so on. It has good application potential and value in food, health care, medicine and other related fields. This article reviews the latest research achievements on *Lycium barbarum* polysaccharides both domestically and internationally in recent years. It systematically organizes the structural characteristics, extraction processes, biological activities, and application development research progress of *Lycium barbarum* polysaccharides, summarizing the advantages and limitations of existing technologies. The aim is to provide feasible reference for the standardization, normalization, and scientific development and application of *Lycium barbarum* polysaccharides, in order to form a complete and high-quality *Lycium barbarum* polysaccharides industry chain and contribute to human health.

Key words: *Lycium barbarum* polysaccharide; structural characteristics; extraction process; biological activity; research progress

收稿日期: 2024-10-09

基金项目: 河南省中医药科学研究专项重点课题 (2024ZY1030); 河南省自然科学基金 (222300420484); 河南省高等学校重点科研项目 (23B360002)。

作者简介: 陈柳 (2004-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 中医学, E-mail: 1918359152@qq.com。

* 通信作者: 王义翠 (1978-), 女, 硕士, 实验师, 研究方向: 中药制药工程, E-mail: wangiycui@126.com。

枸杞(*Lycium barbarum*)又称枸杞子,属于茄科植物的干燥成熟果实,是一种药食同源中药材,其首次记载于《神农本草经》中,被列为上品。枸杞味甘、性平,归肝、肾经,具有滋补肝肾、益精明目的功效^[1-2],可治疗头晕、疲惫、食欲不振、睡眠不佳、腹痛干咳、视力模糊等^[3-4]。枸杞营养丰富,富含天然产物,如枸杞多糖、甜菜碱、黄酮和维生素等^[5]。随着人们健康意识地提高,天然植物提取物的需求也日益增加,其中枸杞多糖凭借其多种生物活性和广泛的应用前景,受到了较多的关注。

枸杞多糖是枸杞中的主要活性成分,现有研究表明,枸杞多糖具有抗肿瘤^[6]、抗氧化^[7]、抗炎^[8]、调节血糖^[9]、神经保护^[10]、生殖保护^[11]、保肝护肝^[12]等多种生物活性,具有良好的研究价值和应用潜力。本文通过查阅、检索近年来国内外关于枸杞多糖的文献,从结构特征、提取工艺、生物活性及应用开发四个方面,对其进行系统总结,为相关产品的进一步研发与应用提供科学参考。

1 枸杞多糖的结构

在结构上,枸杞多糖主要由六种单糖组成,分别是阿拉伯糖^[13]、鼠李糖^[14]、木糖^[15]、甘露糖^[16]、半乳糖^[17]和葡萄糖^[18],各单糖间通过吡喃糖这一糖苷键连接^[13-15]。枸杞多糖作为一种高度分支化的多糖,其主链由(1→6)-连接的半乳糖(Galp)构成^[19],单糖单元间通过糖苷键连接^[20],主要形式有(1→3)- β -Galp、(1→4)- β -Galp、(1→6)- α -葡聚糖以及(1→4)- α -多聚半乳糖醛酸^[21],具有多样化的分支与末端结构^[22-23]。谢雪梅等^[24]采用多种分析技术,对从不同生长阶段枸杞中提取出的多糖进行了成分分析,结果表明各生长阶段枸杞多糖的分子结构相似,均具有吡喃糖苷、-OH 和 U-D 吡喃糖等化学结构和功能基团。并且在不同生长周期提取出的枸杞多糖的分子量大致分布在 6~40 kDa 之间,呈现出先增加后减少的变化趋势^[15]。除此之外,以上表明当前关于枸杞多糖的研究主要集中在一级结构上,而对于更复杂的高级结构的探讨则相对较少,因此提示未来的研究应更多关注于枸杞多糖的高级结构。Deng 等^[25]研究发现,枸杞多糖中的四种组分(LBP-2、LBP-3、LBP-4 和 LBP-5)对 H22 细胞有抑制作用,其中 LBP-3 效果最佳,能诱导细胞凋亡、破坏线粒体膜电位、阻滞细胞周期

S 期,并在体内实验中显著抑制肿瘤生长,降低肿瘤重量,其中中等分子量(40~350 kDa)的 LBP-3 显示出最强的抗肿瘤活性。此外,若将 LBP 分为酸性(ALBP)和中性(NLBP)两种形式,则它们在理化性质上存在显著差异。ALBP 含有较多半乳糖质酸,而 NLBP 含量较低但免疫调节作用更强,能激活免疫细胞,显著抑制小鼠肿瘤生长^[26]。这进一步表明枸杞多糖的结构特性与其生物活性紧密相关,结构的微小差异即可导致其功能活性的显著变化(见表 1)。未来可从构效关系入手,深入探究枸杞多糖的结构特征,以便更好地发挥枸杞多糖的活性。

2 枸杞多糖的提取

目前,从枸杞中提取多糖主要采取以下几种技术:热水浸提、酶解提取、超声辅助提取、微波辅助提取以及多种工艺联合的提取法等^[31-33](见表 2)。热水浸提法作为传统的多糖提取方法,操作简便、安全环保、成本较低,但其提取效率有限,耗时较长、能耗较高,且受提取时间、温度及水料比等多重因素的制约,长时间的高温处理易导致多糖结构的破坏^[31-32,34]。酶解提取法则以其环境友好、高效、操作便捷、投资成本与能耗低等优势著称^[35]。然而酶的专一性高而通用性较差,且酶的特异性和选择性决定了其浓度、反应温度、作用时间以及 pH 等条件均能够影响多糖的生物活性,使得该方法对提取设备的要求较高^[36-37]。超声辅助提取法以其提取效率高、萃取时间短、溶剂消耗少及环保高效等特点而备受青睐^[38-39],超声处理还能通过改变多糖结构(例如降低分子量、断裂氢键)来增强其生物活性^[40-41],但该方法也存在设备成本高、有效作用范围有限、设备维护复杂及可能影响提取物质量等问题^[42]。微波辅助提取法则以省时、高效、节能为特点,其可均匀加热、易于控制、安全环保、适用范围广且能提高有效成分得率^[43-45]。然而,其反应周期较长,操作过程相对繁琐,选择性较差,设备成本高且存在潜在泄漏风险^[46]。微波辅助复合酶法结合了两项技术的优势,不仅提取效率高,提取物还表现出良好的抗氧化活性,但该方法同样存在工艺复杂、技术要求高等局限性^[47-48]。还可能因微波加热而导致温度分布不均匀,影响酶的活性^[49-50]。以上表明未来一方面可聚焦于提取工艺的创新,致力于开发出新颖且高效的提取制

表 1 枸杞多糖的结构表征及生物活性对比

Table 1 Structural characterization and biological activity comparison of *Lycium barbarum* polysaccharides

名称	相对分子质量(Da)	结构特征	生物活性	参考文献
LBP1B-S-2	8.0×10^4	主链(1→3/6)- β -Gal, 侧链(1→4)- α -GalA, (1→6)- β -Gal, (1→5)- α -Ara, 末端 α/β -Ara(1→, β -Gal(1→, α -Rha(1→	抗血栓	[27]
LFP-1	1.78×10^4	主链(1→3)- β -Gal, (1→4)- α -GalA, 侧链(1→3/4/6)- β -Gal, (1→3/5)- α -Ara, (1→2,4)- α -Rha, 末端 α -Ara(1→, β -Gal(1→	神经保护	[28]
LBGP70	9.5×10^4	主链(1→6)- β -Gal, 侧链(1→3/4/5)- α -Ara, (1→3/6)- β -Gal, 末端 α -Ara(1→, β -Gal(1→	抗衰老	[29]
LBP-W	1.13×10^5	主链(1→6)- β -Gal, 侧链(1→3/6)- β -Gal, (1→3/5)- α -Ara, 末端 α -Ara(1→, β -Gal(1→, α -Rha(1→	抗肥胖	[30]

表 2 LBP 不同提取方法的工艺参数及优缺点

Table 2 Process parameters, advantages and disadvantages of different LBP extraction methods

序号	提取方法	工艺参数	优点	缺点	参考文献
1	热水浸提法	提取温度为70~100 ℃, 料液比 1 : 10~1 : 35, 时间为2~7 h	操作简单, 提取成本低, 适用于大规模的工业化生产	提取率低, 溶剂需求量大, 浸提时间长	[31-32,34]
2	酶解提取法	料液比1:20(g:mL), 提取温度 90 ℃, 浸提2次	提取条件温和, 效率高, 能较好保持多糖原有生物活性	酶专一性高, 通用性较差, 影响因素多, 提取设备要求高	[35]
3	超声辅助提取法	料液比1:20(g:mL), 提取温度 90 ℃, 浸提2次	提取效率高、萃取时间短、溶剂消耗少及环保高效, 增强多糖生物活性	设备成本高、有效作用范围有限、设备维护复杂、可能影响提取物质量	[38-42]
4	微波辅助提取法	料液比1:20(g:mL), 提取温度 90 ℃, 浸提2次	省时、高效、节能, 可均匀加热、易于控制、安全环保、适用范围广且能提高有效成分得率	反应周期较长, 操作过程繁琐, 选择性较差, 设备成本高且存在潜在泄漏风险	[43-46]
5	微波辅助复合酶法	pH为5.2, 温度为52 ℃, 复合酶(纤维素酶:果胶酶:蛋白酶)质量比=3:1:2	提取率高, 提取温度较低, 提取物具有较好的抗氧化活性	工艺复杂, 技术要求高, 可能影响酶活性, 对底物可能产生影响	[47-50]

备流程;另一方面,也可通过整合与优化现有工艺,发挥各方法之间的协同作用,从而有效减少因单一提取工艺可能引发的多糖结构破坏或活性成分的流失。

而不同的提取介质也会对枸杞多糖的提取率造成一定的影响。Quan 等^[51]通过对比分析热水(100 ℃)、超声水(30~40 ℃)、亚临界水(110 ℃)及超声增强亚临界水(110 ℃)对枸杞多糖提取效率的影响,结果发现超声增强亚临界水法的提取率最高为 14%,而热水浸提法的提取效率最低,仅为 7.6%。这表明未来在提取介质上可选用亚临界水,并可结合其他的提取工艺,以便减少因提取导致的枸杞原材料的浪费。此外,不同的提取技术对多糖的结构存在显著影响,从而影响其生物活性^[52]。王生琳等^[53]比较了五种提取方法(冷水浸提、冷水浸提滤渣后再用沸水回流提取、50% 乙醇超声波提取、50% 乙醇提取滤渣后再用 25% 乙醇超声波提取、热水浸提)所得到的枸杞多糖的结构和生物活性,研究结果显示 50% 乙醇提取滤渣后再用 25% 乙醇超声波提取所得到的枸杞多糖在活性方面表现最为突出,具有更强的降血脂能力,并在亚硝化反应和乙酰胆碱酯酶活性

抑制方面具有明显的效果。这一研究成果表明提取工艺对于枸杞多糖的生物活性具有一定的影响,未来可从“提取-活性”的角度来开展相关研究,以便制备出结构稳定、活性强的枸杞多糖。

3 枸杞多糖的生物活性

3.1 抗肿瘤

随着经济的不断增长和人民生活质量的逐步提升,我国居民的疾病谱发生了明显变化,恶性肿瘤已成为影响公众健康的主要问题之一^[54]。因此,探索高效、低毒且副作用小的天然抗肿瘤药物显得尤为重要。现有研究表明,枸杞多糖展现了一定的抗肿瘤潜力,可以作为治疗或辅助治疗某些癌症的有效天然成分^[6]。

枸杞多糖的抗肿瘤活性主要体现在其能够抑制肿瘤细胞增殖、促进细胞凋亡,并通过调节关键信号通路来逆转肿瘤细胞的耐药性(见图 1)^[55-57]。Deng 等^[55]和朱敬生等^[56]的研究发现,枸杞多糖能够抑制小鼠实体瘤的生长。而艾芳芳等^[57]则进一步探讨了枸杞多糖对结肠癌的影响,发现枸杞多糖能够通过抑制磷酸甘露糖异构酶(Phosphomannose isomerase,

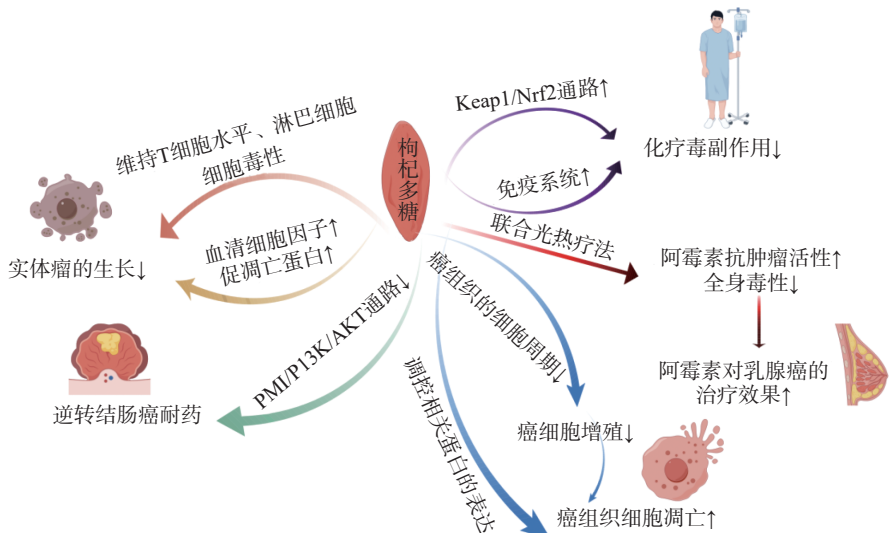


图 1 枸杞多糖的抗肿瘤活性及作用机制

Fig.1 Anti tumor activity and mechanism of *Lycium barbarum* polysaccharide

PMI)/磷脂酰肌醇 3-激酶(Phosphatidylinositol 3-kinase, PI3K)/苏氨酸蛋白激酶(Protein kinase B, AKT)通路逆转结肠癌耐药,为研究枸杞多糖增敏化疗作用的分子机制研究奠定了基础。韩永红等^[58]又对枸杞多糖的抗肝癌活性进行研究,结果发现枸杞多糖对肝癌细胞具有一定的临床疗效,其能够抑制肝癌模型大鼠癌组织细胞增殖,促进癌组织细胞的凋亡,进而发挥抗肝癌的活性。因此,以上提示未来可针对其他多种类型的肿瘤进行研究,以便发掘枸杞多糖抗肿瘤的广谱性,探究枸杞多糖抗肿瘤的共同作用通路或作用机制。

除此之外,枸杞多糖与其他方式结合能更好地发挥抗肿瘤活性。如将枸杞多糖和光热材料结合所制备成的一种纳米颗粒药物递送系统,一方面可充分利用枸杞多糖的抗肿瘤活性,另一方面可结合光热疗法,从而有效提高对乳腺癌的治疗效果^[59]。而李晓鲲等^[60]则将枸杞多糖与化疗药物替莫唑胺和贝伐单抗相结合,结果提示与化疗组相比,接受枸杞多糖联合化疗的组别其肿瘤重量明显减轻,表明枸杞多糖能够有效抑制肿瘤生长,对恶性脑胶质瘤具有较好的疗效。以上提示未来可进一步探索枸杞多糖与化疗药物的联合应用,同时,开发枸杞多糖的靶向递送系统应用前景广阔。

综上,枸杞多糖在抗肿瘤领域展现出巨大的潜力。未来应进一步加强枸杞多糖在抗肿瘤方面的深入研究,探索其具体作用机制,以期开发出更安全、有效的抗肿瘤药物提供科学理论支持。同时,也应积极探索枸杞多糖与其他治疗方法的联合应用,以期为患者提供更为全面、有效的治疗方案。

3.2 抗氧化

枸杞多糖具有抗氧化的功能活性(见图2)^[7]。周旋等^[61]的研究揭示了枸杞多糖对小鼠红细胞的保护作用,结果发现枸杞多糖能够清除小鼠血清中的羟基自由基,并抑制肝组织生成丙二醛(Malondialdehyde, MDA),其可通过降低机体内的氧化应激水平,进而改善机体内血液循环,抗氧化活性与枸杞多糖含量正相关,这为研究其在不同浓度下的抗氧化效

果及“量-效”关系提供了新方向。Hu等^[62]研究发现枸杞多糖能通过作用于心肌和血管中 Kelch 样 ECH 相关蛋白 1(Kelch-like ECH-associated protein-1, Keap1)/核因子 E2 相关因子 2(Nuclear factor E2-related factor 2, Nrf2)通路,进而调控机体内的氧化应激水平,修复机体运动引起的过度氧化应激和炎症引起的组织损伤和细胞凋亡,其研究进一步证实了枸杞多糖具有一定的抗氧化活性。除此之外,枸杞多糖还能通过发挥其抗氧化活性有效缓解运动员的疲劳,调节机体免疫功能。跆拳道运动员在连续服用 6 周的枸杞多糖后,机体内 MDA 含量显著降低,而超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)和过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性显著提高^[63]。提示未来研究可以深入探索枸杞多糖在运动营养补充剂或功能性运动饮品领域的潜在应用,以便开发出风味优良且能缓解运动后疲劳之优质产品。

枸杞多糖通过抗氧化作用在神经系统疾病的治疗中也展现出一定的优势。在家蚕实验中,枸杞多糖已被证明能够发挥缓解多巴胺能神经元的变性以及其他神经系统疾病的功能^[64]。以上提示未来可将枸杞多糖与神经治疗药物如抗癫痫药、抗帕金森药、抗抑郁药等联合应用,有望弥补单一疗法的不足,提高药物的临床疗效。此外,研究表明,枸杞多糖通过其抗氧化特性,能够有效对抗体内自由基,减轻氧化应激反应,从而保护细胞免受损伤,进而改善卵巢中的微环境,减缓随着年龄增长而出现的功能衰退,维持卵母细胞的质量和数量,并且有助于保持激素水平的稳定^[65]。这些效果共同作用,使得枸杞多糖在延缓卵巢衰老方面表现出积极的作用。枸杞多糖具有良好的抗氧化活性,能够在一定程度上缓解自然衰老过程中卵巢功能的退化,为开发抗衰老药物或保健品提供了科学依据。

综上,枸杞多糖具有显著的抗氧化和抗衰老作用,展现出开发新型抗衰产品的巨大潜力。未来应进一步加强枸杞多糖在抗氧化和抗衰老方面的深入研究,探索其具体作用机制,为开发出更安全、有效的抗氧化和抗衰老产品提供科学理论支持。

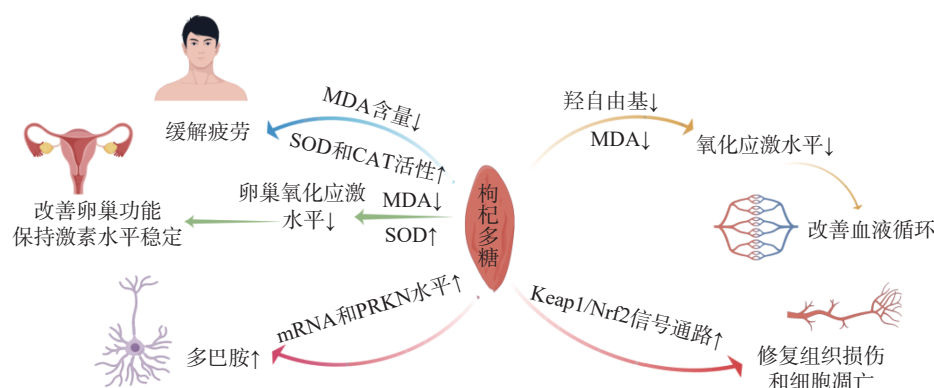


图2 枸杞多糖的抗氧化活性及作用机制

Fig.2 Anti-oxidation activity and mechanism of *Lycium barbarum* polysaccharide

3.3 抗炎

炎症是机体对刺激所做出的重要生理反应, 而寻找具有抗炎活性的天然成分一直是医药研究领域的热点。枸杞多糖作为枸杞主要的有效成分之一, 具有良好的抗炎活性(见图 3)^[8,66]。核因子 κ B (Nuclear factor κ B, NF- κ B) 是一种关键的转录因子, 能够调控炎症反应。研究表明, 枸杞多糖通过抑制 NF- κ B 的表达及其核内转移, 降低促炎细胞因子如肿瘤坏死因子- α (Tumor necrosis factor- α , TNF- α)、白细胞介素-6 (Interleukin-6, IL-6) 和白细胞介素-1 β (Interleukin-1 β , IL-1 β) 的水平, 从而展现抗炎效果^[66]。Wang 等^[67] 的实验进一步证实了枸杞多糖的抗炎效果, 其结果发现枸杞多糖能够通过信号传导与转录激活因子 1 (Signal transducers and activators of transcription 1, STAT1) 和 6 (Signal transducer and activator of transcription 6, STAT6) 通路调节巨噬细胞的极化, 显著减轻右旋葡聚糖硫酸钠诱导的结肠炎小鼠的体重降低等相关症状, 并改善结肠缩短和疾病活动指数, 从而预防和缓解炎症性肠病。因此, 未来可加强对枸杞多糖抗炎作用机制的研究, 进一步探究和挖掘重要的作用通路, 以便发挥枸杞多糖的抗炎作用的多样性。

综上, 枸杞多糖对多种炎症具有一定的治疗效果。未来应从枸杞多糖的抗炎广谱性入手, 加强其在

炎症性疾病治疗中的深入研究。通过探索其具体作用机制, 为开发出新型、天然的植物抗炎药物及相关产品提供科学理论支持, 从而为炎症性疾病的治疗提供更为安全、有效的选择。

3.4 调节血糖

糖尿病是现代社会中普遍存在的慢性代谢性疾病, 其类型多样且治疗周期漫长, 相较于传统的降糖药物, 以药食同源原料为基础研发的产品因具有安全性高、无副作用、性质稳定及作用温和等特点, 受到广泛关注^[68-70]。其中, 枸杞多糖因其调节血糖的生物活性, 为血糖管理提供了新的思路(见图 4)^[9]。Du 等^[71] 通过大鼠模型实验发现, 枸杞多糖处理显著改善了大鼠的体重增长, 并降低了它们的空腹血糖水平, 且显著增强了糖尿病大鼠的胰岛素分泌能力, 这表明枸杞多糖对高血糖状态下的胰岛 β 细胞损伤具有保护作用, 从而有助于维持正常的血糖水平。而在针对 2 型糖尿病患者的临床试验中, 研究者观察到经过枸杞多糖给药 3 个月后, 患者的血清葡萄糖水平显著降低, 胰岛素生成指数和高密度脂蛋白水平升高, 表明枸杞多糖是一种潜在的治疗 2 型糖尿病的良好辅助药物^[72]。除此之外, 在糖尿病模型大鼠的实验中, 枸杞多糖通过葡萄糖转运蛋白 4 (Glucose transporter-4, GLUT4) 的转位和激活来改善大鼠的胰岛素抵抗, 同时, 枸杞多糖还可通过激活 PI3-K 和

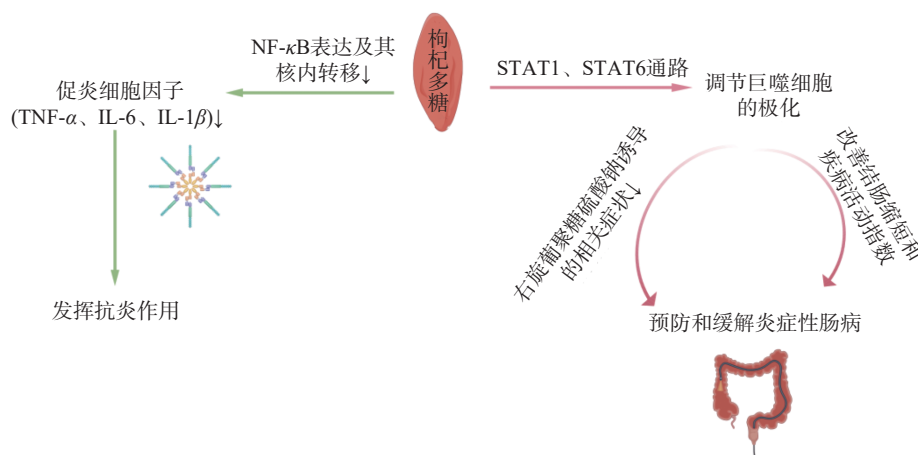


图 3 枸杞多糖的抗炎活性及作用机制

Fig.3 Anti-inflammation activity and mechanism of *Lycium barbarum* polysaccharide

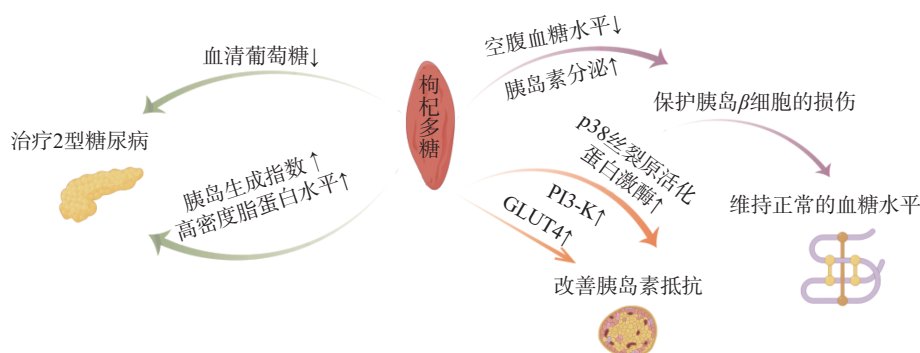


图 4 枸杞多糖的调节血糖活性及作用机制

Fig.4 Regulation of blood glucose activity and mechanism of *Lycium barbarum* polysaccharide

p38 丝裂原活化蛋白激酶信号通路来进一步发挥调节血糖的功能^[73]。

综上所述,枸杞多糖在调节血糖中的应用前景广阔。未来的研究应进一步深入探讨其对于血糖调节的作用机制及其长期疗效,以期为糖尿病患者提供更安全、有效的治疗选择。此外,结合其他药食同源原料,开发更多具有协同效应的复合食品等,将有助于改善糖尿病患者的生活质量。

3.5 神经保护

天然活性成分与化学药物的联合应用能够维持药物原有疗效,并有效减轻药物化学成分所带来的副作用^[74]。枸杞多糖通过多种机制调控神经细胞的增殖、分化与存活,展现出强大的神经保护作用(见图5)^[75-77]。体内外实验研究显示,枸杞多糖可以通过调节 PI3K/AKT/糖原合酶激酶 3 β (Glycogen synthase kinase 3 β , GSK3 β)信号通路,减轻脑缺血导致的小鼠运动功能障碍,并抑制神经细胞的凋亡^[75-76]。随着中药在神经退行性疾病中的潜在神经保护作用日益受到关注,枸杞多糖神经保护效果也得到了进一步验证。在探讨枸杞多糖对大鼠慢性高血压症的神经保护作用时,研究结果显示,无论在治疗前还是治疗后进行干预,枸杞多糖都能发挥长期的神经保护作用,并有效保留视网膜的结构和功能^[77]。此外,王亿龙等^[78]的研究指出,枸杞多糖能够通过调节哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(Mammalian target of rapamycin, mTOR)信号通路,对放射性脑损伤海马神经元大鼠模型产生神经保护作用。而 Yang 等^[79]的研究则进一步证实,枸杞多糖能够激活血红素加氧酶-1(Heme oxygenase-1, HO-1)信号通路,从而对光诱导的小鼠海马神经元细胞(Hippocampus neuronal cell line, HT22)产生神经保护作用。

综上,枸杞多糖作为一种天然活性成分,具有较好的神经保护作用。未来的研究应深入探索枸杞多糖在调节关键信号通路、抑制神经细胞凋亡以及促进神经再生等方面的具体作用。此外,应加强枸杞多糖与其他神经保护产品的联合应用研究,以期发现新

的协同效应,提高治疗效果并减少副作用。

3.6 生殖保护

枸杞多糖具有提高精子质量、修复卵巢损伤以及改善生殖系统的整体健康状况等功效,在生殖健康领域展现了独特的保健与改善作用(见图6)^[80-82]。Hu 等^[13]的研究指出枸杞多糖能够阻断热应激对睾丸支持细胞增殖活性的抑制作用,并改善血睾屏障的结构完整性。此外,枸杞多糖还通过增加雄激素受体的表达和激活 AKT 信号通路,抵抗热应激诱导的睾丸支持细胞损伤。对于乙醇诱导的精子毒性和睾丸变性,枸杞多糖亦展现出显著的生殖保护作用,其可通过降低胶原蛋白的表达,改变精子发生过程中蛋白质生物合成,从而影响生精上皮细胞状态^[80]。除此之外,枸杞多糖在精子冷冻保存技术上也发挥着重要作用。Yan 等^[81]发现在甘油-蛋黄-柠檬酸精子冻存剂中添加枸杞多糖,可降低 DNA 片段化指数,提高精子前进速度和线粒体膜电位。在精子冻融过程中,改良的冷冻保存剂增加了 Bcl-2 的含量,同时降低了 B 细胞白血病淋巴瘤相关蛋白基因(BCL2-Associated X, Bax)、细胞色素 C 和半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶-3(Caspase-3)的含量。这些结果证实了枸杞多糖对精子线粒体结构和功能的保护作用,为进一步研究有利于提高冷冻保存精子活力的天然保护剂提供了理论依据。

在女性生殖健康方面,枸杞多糖同样表现出显著的保健功效。王恒泉等^[82]的实验证明,枸杞多糖能够减少雌性大鼠体内的氧化应激,通过调控脂肪酸合成酶(Fatty acid synthase, Fas)-脂肪酸合成酶配体(Fatty acid synthase ligands, FasL)信号通路来抑制细胞凋亡,从而对雌性生殖系统起到保护作用。此外,枸杞多糖还能修复反复超排卵引起的卵巢损伤,提高卵巢储备能力、卵母细胞质量和卵巢功能,其机制与清除氧化产物,增加抗苗勒管激素(Anti-müllerian hormone, AMH)蛋白表达密切相关^[83]。这些研究揭示了枸杞多糖对雌性生殖功能的保护作用,可能主要归因于其降低机体内氧化应激水平的能力。

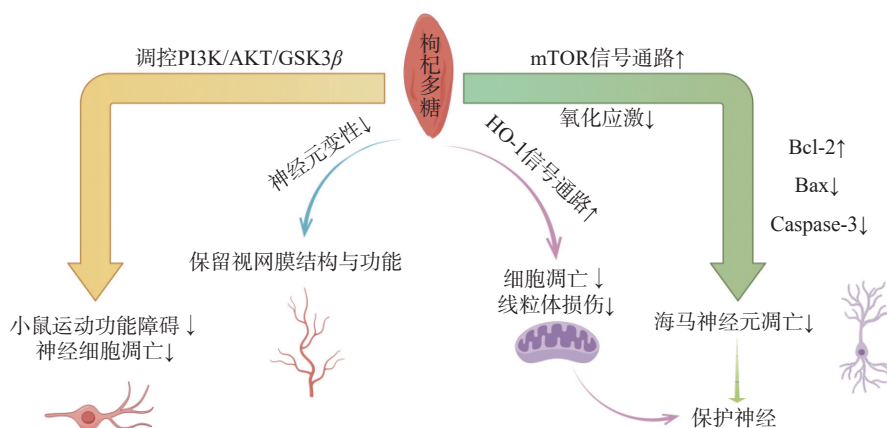


图5 枸杞多糖的神经保护活性及作用机制

Fig.5 Neuroprotection activity and mechanism of *Lycium barbarum* polysaccharide

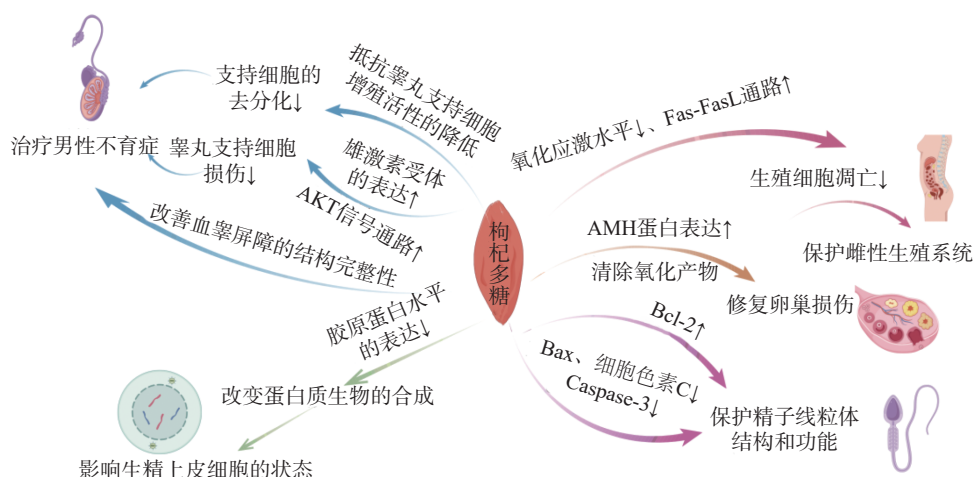


图 6 枸杞多糖的生殖保护活性及作用机制

Fig.6 Reproductive protection activity and mechanism of *Lycium barbarum* polysaccharide

综上, 枸杞多糖在生殖健康领域展现出独特的保健与改善作用。未来的研究应更加深入地探索其在生殖保护中的作用机制, 特别是在提高生殖细胞质量、保护生殖组织以及调节生殖激素水平方面的具体作用, 以便开发出更安全、更有效的天然生殖保健产品, 以期为提高人类生殖健康水平做出贡献。

3.7 保肝护肝

枸杞多糖具有保肝护肝的功能活性(见图 7)^[12]。已有研究表明枸杞多糖能有效降低机体内丙氨酸氨基转移酶水平, 同时增加肠道微生物群丰度, 从而发挥保肝护肝的功效^[84]。除此之外, 枸杞多糖与有氧运动的结合能够维持肠道菌群平衡, 恢复肠道屏障, 对肝脏产生益处, 这一机制与激活腺苷酸活化蛋白激酶(Adenosine monophosphate activated protein kinase, AMPK), 增加控制肝脏脂肪酸氧化的过氧化物酶体增殖物激活受体(Peroxisome proliferator-activated receptor α , PPAR α)及激活因子过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活 1 α (Peroxisome proliferator activated receptor γ coactivator-1 α , PGC-1 α)的表达密切相关^[85-86]。这些发现为未来聚焦于肝-肠轴的深入探

索, 以及肠道菌群调节与肝脏保护之间关系的进一步研究提供了重要依据。

在乙醇诱导的肝细胞损伤方面, 枸杞多糖保护肝脏的作用也得到了充分证实。Wei 等^[87]研究发现, 枸杞多糖能够减少细胞凋亡, 调节氧化应激相关指标的水平, 并增加 Nrf2 蛋白的核表达, 显著上调 Nrf2 蛋白及其下游蛋白如 HO-1、NAD(P)H 醌还原酶 1(NAD(P)H quinone dehydrogenase 1, NQO1)和谷氨酸-半胱氨酸连接酶催化亚基(Glutamate-cysteine ligase catalytic subunit, GCLC)在细胞核中的表达水平, 从而对乙醇诱导的肝细胞损伤起到保护作用。此外, 李永盛等^[88]的研究进一步指出, 分子量范围为 5~10 kDa 的枸杞多糖在保护乙醇诱导的肝细胞损伤方面展现出最强的肝保护活性。因此, 以上提示未来可针对枸杞多糖的分子量进行进一步细分, 以期探究出不同分子量的枸杞多糖在功效作用上的优势。

人体持续摄入邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯后, 也可能导致肝脏解毒酶的异常变化和肝功能障碍。有研究表明, 枸杞多糖能够下调肝脏中孕烷 X 受体

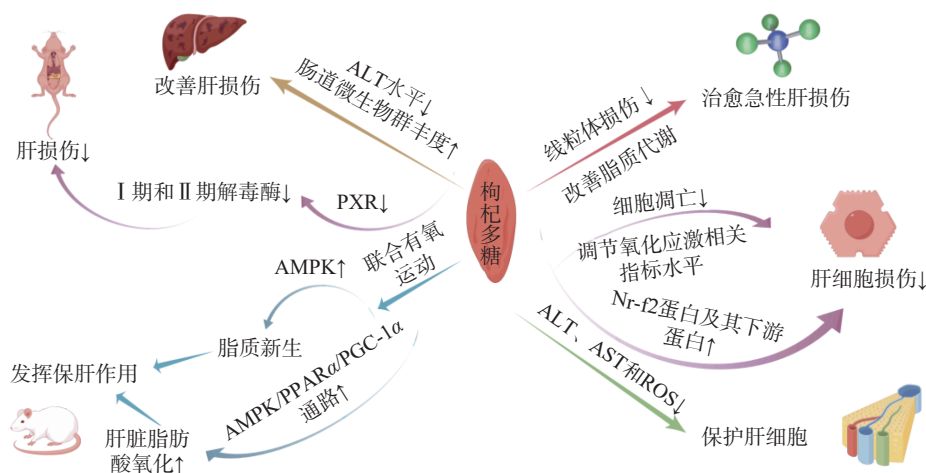


图 7 枸杞多糖的保肝护肝活性及作用机制

Fig.7 Liver protection activity and mechanism of *Lycium barbarum* polysaccharide

(Pregnane X receptor, PXR)的表达,进而下调下游 I 期和 II 期解毒酶,从而改善由邻苯二甲酸二(2-乙基基)酯诱导的一系列肝脏异常^[89]。而枸杞多糖在保肝护肝方面的生物活性还体现在其对线粒体损伤的改善作用上。以四氯化碳诱导的急性肝损伤模型为例,给予 20 mg/kg 枸杞多糖治疗后,线粒体损伤有效减轻,脂质代谢明显改善,机体肝脏结构损伤和过度纤维化情况得到缓解^[90]。

综上,枸杞多糖具有显著的保肝护肝作用,其独特的生物活性和对肝脏健康的积极影响为开发新型保肝护肝产品提供了科学依据。当今社会部分人群由于生活作息不规律、长期酗酒和频繁熬夜等不良生活习惯,可能导致肝脏损伤,因此早期的预防和治疗极具意义。鉴于枸杞多糖在保肝护肝方面的显著功效,其在食品、保健品及其他功能性产品开发领域具有广阔的市场前景,可在未来的产品开发中融入枸杞多糖,以便在保持产品风味的同时,实现“寓药于食”。

4 枸杞多糖的应用

枸杞多糖在食品保健领域和生物医药领域均展现出广泛的应用潜力^[91-93]。在食品保健领域,涵盖了从肉类加工到乳制品开发,从软糖研制到代餐产品,从益生元作用到酸奶创新等多个方面,展示了其广泛的潜力和多功能性。在生物医药领域,增强药物疗效、降低毒性的研究为干眼症改善、牙周组织修复以及白癜风等疾病的治疗带来了新思路。

4.1 食品保健领域

枸杞多糖在食品保健领域展现出广泛的应用潜力,其抗疲劳、抗氧化、调节血糖、调节菌群、保肝护肝等生物活性为其在功能性食品和保健品的开发中提供了坚实的科学基础。枸杞多糖能够提高机体的非特异性免疫功能,在延缓衰老、降血脂、降血糖、抗酒精损伤等方面具有显著作用^[91]。特别是在抗疲劳方面,枸杞多糖泡腾片的开发提高了其生物利用率,并具有缓解长时间工作和运动引起的疲劳的功能^[92]。此外,枸杞多糖的抗氧化活性使其在降低氧化应激水平方面具有潜力,可以用于制备抗氧化以及改善运动后疲劳的产品。例如,周春晖等^[93]将枸杞多糖与越橘相结合,制备出一款具有抗氧化功能活性的软糖,进一步优化了软糖的感官得分。而谢陆鸣^[94]将枸杞多糖与人参黄精等相组培,制备成了一种速溶固体颗粒,该颗粒不仅能改善内分泌和神经系统功能,改善大脑功能,还能通过其抗氧化应激活性来有效改善机体疲劳。相较于其他保健产品,该产品具有人体伤害小,抗疲劳作用强,疲劳不易反复等优势。以上研究表明,未来可进一步深入探究枸杞多糖抗疲劳的保健功效,以便为新型功能性饮品等产品的开发提供参考依据。

在食品加工领域,枸杞多糖的应用也极具潜力。在牛排加工中添加枸杞多糖,不仅能增加牛排的

鲜甜风味和营养价值,还能有效降低因食用肉制品而导致的血脂快速升高,对减脂健身人群和高血脂人群特别有益^[95]。此外,枸杞多糖作为一种新型益生元,能够促进肠道有益菌的增殖,如双歧杆菌、乳杆菌和拟杆菌,进而促进短链脂肪酸的产生,如乙酸、丙酸和正丁酸等^[96]。以龙眼干、枸杞干和红枣干为原料开发的营养餐粉,能够显著促进乳酸杆菌属、双歧杆菌属、拟杆菌属和阿克曼氏菌等肠道菌的增殖,具有调节肠道菌群作用^[97]。枸杞多糖与酸奶结合,开发一种新型的具有护肝解酒功能的酸奶,具有延长小鼠醉酒时间和缩短醒酒时间的效果,同时降低血清中谷丙转氨酶和谷草转氨酶水平,保护肝脏免受酒精损伤^[98-99]。枸杞多糖还被用于开发具有降压效果的硬糖,有助于降低高血压患者血压水平,预防高血压^[100]。在乳制品领域,含有枸杞多糖的奶酪展现出较低的脂肪含量、较高的水分和更柔软的质地,适合减脂健身人群,也为开发符合消费者偏好的山羊奶奶酪产品提供了新的可能性^[101]。枸杞多糖在冻干鸡汤中的应用,不仅提供了低热量、可快速食用、保质期长、味美、营养丰富的产品,还兼具美容养颜等健康有益的特点^[102]。

综上,枸杞多糖具有广泛的营养价值和保健功能,在食品保健领域应用前景良好。然而当前枸杞多糖的研究仍多停留在实验室阶段,其在实际生产中的应用尚显不足。未来应注重枸杞多糖生物活性的深入研究,拓展其在食品保健领域的应用范围。同时紧跟市场需求,创新产品形态,丰富产品线,以实现枸杞多糖食品保健价值的最大化。从而不仅能够推动枸杞多糖从实验室到市场的转化,还能为消费者提供更多健康、优质的食品选择,满足日益增长的健康需求。

4.2 生物医药领域

在生物医药领域,枸杞多糖的应用同样展现出广阔的前景。夏宇等^[103]以枸杞多糖为载体构建的紫杉醇纳米粒,不仅显著增强了紫杉醇的抗肿瘤疗效,还有效降低了其治疗过程中的毒性,为多糖纳米载体的应用开辟了新的路径。在眼科疾病治疗方面,枸杞多糖滴眼液在改善干眼症及抑制眼表炎症方面表现出色,为眼用制剂的研发提供了新的思路^[104]。此外,枸杞多糖在口腔疾病治疗中也展现出独特的优势。其通过靶向向下丘脑细胞外信号调节激酶 1/2 (ERK1/2)信号通路,促进人牙周韧带干细胞成骨,并减少炎症,为牙周治疗提供了新的潜在靶点^[105]。在白癜风治疗领域,枸杞多糖对转录激活因子(STAT)3-血清热休克蛋白(HSP)70-趋化因子配体 9(CXCL9)/趋化因子配体 10(CXCL10)通路的抑制作用,为白癜风患者的临床治疗提供了新的理论依据^[106]。但目前相关产品依旧处于试验阶段,未来仍需进行多中心、大样本的随机对照实验,以确保产品的稳定性和安全性。

综上所述, 枸杞多糖在生物医药领域的应用潜力巨大, 未来的研究应进一步加强对枸杞多糖的药理机制的探索, 以期促进枸杞多糖在新药开发中的应用, 为现有治疗方案提供补充和优化, 从而在疾病治疗和健康促进方面发挥其独特价值。

5 总结与展望

枸杞多糖作为一种天然活性物质, 具有复杂的分子架构与多元化的功能特性, 具有广阔的应用前景。本文综述了枸杞多糖的结构特征、提取方法, 及其在抗肿瘤、抗氧化、抗炎、调节血糖、神经保护、生殖保护、保肝护肝等方面的生物活性。鉴于当前研究中的不足与挑战, 本文提出以下展望, 旨在为枸杞多糖的深入探索与高效利用提供可行性参考依据。

a. 结构解析与功能食品开发: 鉴于多糖结构解析的复杂性, 当前技术条件下, 精确描绘枸杞多糖的高级分子结构仍具挑战性, 这直接限制了人们对其的深入理解。未来应深入研究枸杞多糖的精细结构, 并探索其结构特征与功能性食品中生物活性之间的联系, 尤其应特别关注活性片段、活性中心如何影响其在食品中的应用效果, 以及如何通过结构调整来增强其功能性。

b. 食品应用与健康效益: 枸杞多糖已在细胞和动物模型中显示出潜在的健康益处, 但作为食品成分的应用研究相对较少。因此, 未来研究应加强枸杞多糖在食品中的应用研究, 包括其在食品配方中的稳定性、生物利用度以及对人体健康的直接影响。也可通过多中心、大样本的临床试验, 评估枸杞多糖作为功能性食品成分的安全性和功效, 为其在食品工业中的应用提供科学依据。

c. 食品配方与协同效应: 初步研究表明, 枸杞多糖与其他食品成分联合使用可能具有协同效应, 但具体机制尚不清楚。未来的研究应聚焦于枸杞多糖与其他食品成分的相互作用, 阐明其在食品配方中的协同效应及其对健康益处的增强机制, 以期为开发新型功能性食品提供策略和思路, 优化食品配方, 提升产品的健康价值。

综上所述, 枸杞多糖的深入开发与应用需克服产品研发深度不足、应用领域狭窄及机制研究匮乏等难题。未来通过不断优化提取工艺、深化结构功能研究、加强临床转化力度及探索联合用药策略, 有望构建起一个理论基础坚实、产品形态丰富的枸杞多糖产业链体系, 为人类的健康事业贡献更多力量。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

[1] 邓清月, 吕芳, 董英, 等. 枸杞多糖中医药研究概况: 文献计量学分析[J]. 中草药, 2023, 54(9): 2852–2862. [DENG Q Y, LÜ F, DONG Y, et al. Overview of traditional Chinese medicine research on *Lycium barbarum* polysaccharides: A bibliometric analysis[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(9): 2852–2862.]

[2] QIANG X, XIA T, GENG B, et al. Bioactive components of *Lycium barbarum* and deep-processing fermentation products[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2023, 28(24): 8044.

[3] WANG B, HAN L, LIU J M, et al. *Lycium genus* polysaccharide: An overview of its extraction, structures, pharmacological activities and biological applications[J]. Separations, 2022, 9(8): 197.

[4] XIAO Z, DENG Q, ZHOU W, et al. Immune activities of polysaccharides isolated from *Lycium barbarum* L. What do we know so far?[J]. Pharmacology & Therapeutics, 2022, 229: 107921.

[5] PENG J, WANG L, WANG M, et al. Yeast synthetic biology for the production of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2021, 15:26(6): 1641.

[6] DENG X, LUO S, LUO X, et al. Fraction from *Lycium barbarum* polysaccharides reduces immunotoxicity and enhances antitumor activity of doxorubicin in mice[J]. Integrative cancer therapies, 2018, 17(3): 860–866.

[7] 刘鹏, 李达, 纪海玉, 等. 枸杞多糖的提取及其体外抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(10): 111–116. [LIU P, LI D, JI H Y, et al. Purification and antioxidant activity characterization of *Fructus Lycii* polysaccharides[J]. Food Research and Development, 2022, 43(10): 111–116.]

[8] 韩丽娜, 范艳丽, 田建文. 枸杞多糖抗炎作用及其机制进展[J]. 现代免疫学, 2018, 38(4): 342–345. [HAN L N, FAN Y L, TIAN J W. Anti-inflammatory effect of *Lycium barbarum* polysaccharide and its mechanism progress[J]. Current Immunology, 2018, 38(4): 342–345.]

[9] ZHAO C, ZHAO H, ZHANG C C, et al. Impact of *Lycium barbarum* polysaccharide on the expression of glucagon-like peptide 1 *in vitro* and *in vivo*[J]. International Journal of Biological Macromolecules (Basel, Switzerland), 2023, 224: 908–918.

[10] NI Y, HU Y, ZHU L, et al. *Lycium barbarum* polysaccharide-derived nanoparticles protect visual function by inhibiting RGC ferroptosis and microglial activation in retinal ischemia–reperfusion mice[J]. Advanced Healthcare Materials, 2024, 12: e2304285.

[11] ZHENG H, LIANG X, ZHOU H, et al. Integrated gut microbiota and fecal metabolome analyses of the effect of *Lycium barbarum* polysaccharide on D-galactose-induced premature ovarian insufficiency[J]. Food & Function, 2023, 14(15): 7209–7221.

[12] 车招娣, 周正群, 肖佳. 宁夏枸杞子治疗肝脏疾病的作用机制[J]. 科学通报, 2022, 67(Z1): 351–363. [CHE Z D, ZHOU Z Q, XIAO J. Mechanisms of wolfberry in the treatment of liver diseases[J]. Chinese Science Bulletin, 2022, 67(Z1): 351–363.]

[13] HU S, LIU D, LIU S, et al. *Lycium barbarum* polysaccharide ameliorates heat-stress-induced impairment of primary sertoli cells and the blood-testis barrier in rat via androgen receptor and Akt phosphorylation[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2021, 5574202.

[14] QI Y, DUAN G, FAN G, et al. Effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on cell signal transduction pathways[J]. Biomedicine & Pharmacotherapie, 2022, 147: 112620.

[15] 张喜康, 赵宇慧, 刘军, 等. 枸杞不同生长期多糖的理化特性及结构分析[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 158–164. [ZHANG X K, ZHAO Y H, LIU J, et al. Physicochemical properties and structural analysis of *Lycium barbarum* L. polysaccharides at different growth stages[J]. Food Science, 2020, 41(16): 158–164.]

[16] 段月, 刘敦华, 李世瑶, 等. 不同生长期枸杞多糖变化规律及特性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 55–59. [DUAN Y, LIU D H, LI S Y, et al. Study on variation regularity and characteristics of *Lycium barbarum* polysaccharide in different mature stage[J].

Food & Machinery, 2016, 32(12): 55–59.]

[17] DUAN J L, LIU M Q, LIU Y N, et al. Comparative study on physicochemical characterization and immunomodulatory activities of neutral and acidic *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. *Biomed Pharmacother*, 2024, 181: 117659.

[18] WANG J, LI S, ZHANG H, et al. A review of *Lycium barbarum* polysaccharides: Extraction, purification, structural-property relationships, and bioactive molecular mechanisms[J]. *Carbohydr Res*, 2024, 544: 109230.

[19] YUAN Y, WANG Y B, JIANG Y, et al. Structure identification of a polysaccharide purified from *Lycium barbarum* fruit[J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, 82: 696–701.

[20] ZENG W, CHEN L, XIAO Z, et al. Comparative study on the structural properties and bioactivities of three different molecular weights of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. *Molecules*, 2023, 10, 28(2): 701.

[21] MIGUEL M D G. Chemical and biological properties of three poorly studied species of *Lycium* genus-short review[J]. *Metabolites*, 2022, 12(12): 1265.

[22] NIU Y, ZHANG G, SUN X, et al. Distinct role of *Lycium barbarum* L. polysaccharides in oxidative stress-related ocular diseases[J]. *Pharmaceuticals (Basel, Switzerland)*, 2023, 16(2): 215.

[23] ZENG P, LI J, CHEN Y, et al. The structures and biological functions of polysaccharides from traditional Chinese herbs[J]. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 2019, 163: 423–444.

[24] 谢雪梅, 张晓林, 王健. 枸杞多糖的组成成分与分析[J]. *中药材*, 2020, 43(7): 1647–1650. [XIE X M, ZHANG X L, WANG J. Composition and analysis of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2020, 43(7): 1647–1650.]

[25] DENG X, LI X, LUO S, et al. Antitumor activity of *Lycium barbarum* polysaccharides with different molecular weights: An *in vitro* and *in vivo* study[J]. *Food Nutr Res*, 2017, 61(1): 1399770.

[26] ZHANG Q, LÜ X, WU T, et al. Composition of *Lycium barbarum* polysaccharides and their apoptosis-inducing effect on human hepatoma SMMC-7721 cells[J]. *Food Nutr Res*, 2015, 59: 28696.

[27] ZHOU L, HUANG L, YUE H, et al. Structure analysis of a heteropolysaccharide from fruits of *Lycium barbarum* L. and anti-angiogenic activity of its sulfated derivative[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 108: 47–55.

[28] ZHANG F, ZHANG X, GUO S, et al. An acidic heteropolysaccharide from *Lycii fructus*: Purification, characterization, neurotrophic and neuroprotective activities *in vitro*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 249: 116894.

[29] HUANG W, ZHAO M, WANG X, et al. Revisiting the structure of arabinogalactan from *Lycium barbarum* and the impact of its side chain on anti-ageing activity[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 286: 119282.

[30] YANG Y, CHANG Y, WU Y, et al. A homogeneous polysaccharide from *Lycium barbarum*: Structural characterizations, anti-obesity effects and impacts on gut microbiota[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 31, 183: 2074–2087.

[31] ZHOU S, RAHMAN A, LI J, et al. Extraction methods affect the structure of goji (*Lycium barbarum*) polysaccharides[J]. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 2020, 25(4): 936.

[32] WANG Z, SUN Q, FANG J, et al. The anti-aging activity of *Lycium barbarum* polysaccharide extracted by yeast fermentation: *In*

vivo and *in vitro* studies[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, 209(Pt B): 2032–2041.

[33] 王梓轩, 李娅琦, 郭慧清, 等. 三种常见枸杞子中多糖提取方法研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(1): 207–213. [WANG Z X, LI Y Q, GUO H Q, et al. Research progress on extraction methods of polysaccharide from three varieties of Chinese wolfberry[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(1): 207–213.]

[34] 周秀蓉. 不同方法提取枸杞多糖的化学性质及其对运动疲劳的影响[J]. *基因组学与应用生物学*, 2019, 38(11): 5352–5356. [ZHOU X R. The chemical properties of *Lycium barbarum* polysaccharide extracted by different methods and its effect on exercise fatigue[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2019, 38(11): 5352–5356.]

[35] 李晶, 王远, 罗瑞峰, 等. 不同提取工艺对黑果枸杞糖类物质的影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(9): 175–182. [LI J, WANG Y, LUO R F, et al. Effect of different extraction technology on the sugars of *Lycium ruthenicum* Murr[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(9): 175–182.]

[36] 井勇慧, 李桥, 康丽, 等. 响应面法优化山楂多酚微粒制备工艺[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(20): 187–195. [JING Y H, LI Q, KANG L, et al. Optimization of preparation process for hawthorn polyphenol microparticles based on response surface methodology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(20): 187–195.]

[37] TIAN X, LIANG T, LIU Y, et al. Extraction, structural characterization, and biological functions of *Lycium barbarum* polysaccharides: A review[J]. *BioMolecules (Basel, Switzerland)*, 2019, 9(9): 389.

[38] 许英瑞, 朱妍丽, 薛元泰, 等. 黑枸杞多糖的提取及其对副干酪乳杆菌 L9、嗜热链球菌 G2 生长特性及抗氧化能力的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(17): 179–185. [XU Y R, ZHU Y L, XUE Y T, et al. Optimized ultrasonic extraction of *Lycium ruthenicum* polysaccharides and its effect on the growth and antioxidant capacity of *Lactobacillus paracasei* L9 and *Streptococcus thermophilus* G2[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(17): 179–185.]

[39] 佟欣. 超声辅助提取黑枸杞多糖及其体外抗氧化、抗肿瘤活性研究[J]. *食品工业*, 2024, 45(5): 135–140. [TONG X. Ultrasonic-assisted extraction of *Lycium ruthenicum* polysaccharide and its antioxidant and antitumor activities *in vitro*[J]. *The Food Industry*, 2024, 45(5): 135–140.]

[40] GU J, ZHANG H, WEN C, et al. Purification, characterization, antioxidant and immunological activity of polysaccharide from *Sagittaria sagittifolia* L[J]. *Food Res Int*, 2020, 136: 109345.

[41] CHEMAT F, ROMBAUT N, SICAIRE A G, et al. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review[J]. *Ultrason Sonochem*, 2017, 34: 540–560.

[42] KONG T, LIU S, FENG Y, et al. Slit dual-frequency ultrasound-assisted pulping of *Lycium barbarum* fresh fruit to improve the dissolution of polysaccharides and *in situ* real-time monitoring[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, 98: 106509.

[43] 许飞利, 王丹凤, 刘志博. 微波法提取黑果枸杞多糖工艺条件优化[J]. *商洛学院学报*, 2023, 37(6): 69–74. [XU F L, WANG F D, LIU Z B, et al. Optimization for extraction technology of *Lycium ruthenicum* polysaccharides by microwave methodology[J]. *Journal of Shangluo University*, 2023, 37(6): 69–74.]

[44] POLLINI L, ROCCHI R, COSSIGNANI L, et al. Phenol profiling and nutraceutical potential of *Lycium* spp. leaf extracts ob-

- tained with ultrasound and microwave assisted techniques[J]. *Antioxidants (Basel)*, 2019, 8(8): 260.
- [45] CHENG N, WANG H, HAO H, et al. Research progress on polysaccharide components of *Cistanche deserticola* as potential pharmaceutical agents[J]. *Eur J Med Chem*, 2023, 245(Pt1): 114892.
- [46] HAO W, WANG S F, ZHAO J, et al. Effects of extraction methods on immunology activity and chemical profiles of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2020, 185: 113219.
- [47] 陈建双, 苗惠, 杨雪, 等. 微波辅助复合酶法提取枸杞多糖及其抗氧化活性研究[J]. *粮食与油脂*, 2024, 37(2): 132-136, 162.
- [CHEN J S, MIAO H, YANG X, et al. Study on the extraction of *Lycium barum* L. polysaccharides by microwave assisted complex enzyme method and its antioxidant activity[J]. *Cereals & Oils*, 2024, 37(2): 132-136, 162.]
- [48] 薛俊礼, 吕洋, 杨艳艳, 等. 微波辅助复合酶法提取北五味子多糖的工艺研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(6): 61-67, 73.
- [XUE J L, LÜ Y, YANG Y Y, et al. Study on extraction technology of *Schisandra chinensis* Baill. polysaccharide using microwave-assisted complex enzymatic method[J]. *Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition)*, 2020, 41(6): 61-67, 73.]
- [49] WEN L, ZHANG Z, SUN D W, et al. Combination of emerging technologies for the extraction of bioactive compounds[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2020, 60(11): 1826-1841.
- [50] 司洲, 陈昊翔, 樊梓鸾. 五味子多糖提取、结构特征及生物活性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(3): 1-9.
- [SI Z, CHEN H X, FAN Z L. Progress on the extraction, structure characterization and bioactivity of *schisandra chinensis* polysaccharides[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(3): 1-9.]
- [51] QUAN N, WANG Y D, LI G R, et al. Ultrasound-microwave combined extraction of novel polysaccharide fractions from *Lycium barbarum* leaves and their *in vitro* hypoglycemic and antioxidant activities[J]. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 2023, 28(9): 3880.
- [52] 梁小飞, 张芳, 姜胤秀, 等. 枸杞多糖构-效关系研究进展与展望[J]. *中国中药杂志*, 2023, 48(9): 2387-2395.
- [LIANG X F, ZHANG F, JIANG Y X, et al. Structure-activity relationship of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2023, 48(9): 2387-2395.]
- [53] 王生琳, 宰清勇, 陈华国, 等. 5 种枸杞多糖生物活性的比较研究[J]. *中国中药杂志*, 2024, 49(1): 110-122.
- [WANG S L, ZAI Q Y, CHEN H G, et al. Comparison on biological activities of *Lycium barbarum* polysaccharides extracted with five methods[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2024, 49(1): 110-122.]
- [54] ZHAN Q Q, LIU Q Y, YANG X, et al. Effects of silencing neuropilin-2 on proliferation, migration, and invasion of colorectal cancer HT-29[J]. *Bioengineered*, 2022, 13(4): 11042-11049.
- [55] DENG X, LUO S, LUO X, et al. Polysaccharides from Chinese herbal *Lycium barbarum* induced systemic and local immune responses in H22 tumor-bearing mice[J]. *Journal of Immunology Research*, 2018, 2018: 3431782.
- [56] 朱敬生, 吴卫东, 任爽, 等. 有氧运动联合枸杞多糖在抑制小鼠 H₂₂ 肝肿瘤过程中 mTOR 作用的研究[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2021, 28(5): 338-343.
- [ZHU J S, WU W D, REN S, et al. Effect of aerobic exercise and *Lycium barbarum* polysaccharide on expression of mTOR in H22 tumor-bearing mice[J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2021, 28(5): 338-343.]
- [57] 艾芳芳, 肖红燕, 汪芳, 等. 枸杞多糖联合奥沙利铂可逆转结肠癌干细胞的耐药[J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(1): 74-79.
- [AI F F, XIAO H Y, WANG F, et al. Reversal effect of *Lycium barbarum* polysaccharide in combination with oxaliplatin on drug resistance of colon cancer stem cells[J]. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 2024, 28(1): 74-79.]
- [58] 韩永红, 刘兴祥. 枸杞多糖促进大鼠肝癌组织细胞的凋亡[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(2): 7-11.
- [HAN Y H, LIU X X. Promoting apoptosis of *Lycium barbarum* polysaccharides of hepatocarcinoma cells in rats[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(2): 7-11.]
- [59] SUN L, ZUO C, LIU X, et al. Combined photothermal therapy and *Lycium barbarum* polysaccharide for topical administration to improve the efficacy of doxorubicin in the treatment of breast cancer[J]. *Pharmaceutics*, 2022, 14(12): 2677.
- [60] 李俊晓, 荆丽丽, 姜人豪, 等. 枸杞多糖对恶性脑胶质瘤化疗效果影响的研究[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2020, 27(18): 1503-1507.
- [LI X K, JING L L, JIANG R H, et al. Effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on the chemotherapy omalignant glioma of the brain[J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2020, 27(18): 1503-1507.]
- [61] 周旋, 梁晓婕, 王亚军, 等. 枸杞提取液主要成分含量与体外抗氧化活性的相关性[J]. *食品工业*, 2020, 41(5): 211-214.
- [ZHOU X, LIANG X J, WANG Y J, et al. Correlation of main components content of wolfberry extract and antioxidant activity *in vitro*[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(5): 211-214.]
- [62] HU X, MU L, ZHU L, et al. *Lycium barbarum* polysaccharides attenuate cardiovascular oxidative stress injury by enhancing the Keap1/Nrf2 signaling pathway in exhaustive exercise rats[J]. *Molecular Medicine reports*, 2021, 24(3): 643.
- [63] 马俊杰, 张文杰, 杨英, 等. 枸杞多糖对跆拳道运动员免疫功能及抗氧化功能的作用[J]. *中国应用生理学杂志*, 2019, 35(6): 513-516.
- [MA J J, ZHANG W J, YANG Y, et al. Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on the immune function and antioxidant of taekwondo athletes[J]. *Chinese Journal of Applied Physiology*, 2019, 35(6): 513-516.]
- [64] SONG J, LIU L, LI Z, et al. *Lycium barbarum* polysaccharide improves dopamine metabolism and symptoms in an MPTP-induced model of Parkinson's disease[J]. *BMC Medicine*, 2022, 20(1): 412.
- [65] 张妍, 李杨, 高娜娜, 等. 3 种中药多糖对自然衰老小鼠卵巢功能的延缓作用[J]. *中国兽医杂志*, 2024, 60(9): 114-121.
- [ZHANG Y, LI Y, GAO N N, et al. The delaying effects of three traditional Chinese medicine polysaccharides on ovarian function in naturally aging mice[J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2024, 60(9): 114-121.]
- [66] 谢文, 陈华国, 赵超, 等. 枸杞多糖的生物活性及作用机制研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(5): 349-359.
- [XIE W, CHEN H G, ZHAO C, et al. Recent progress in understanding the bioactivity and mechanism of action of *Lycium barbarum* polysaccharide[J]. *Food Science*, 2021, 42(5): 349-359.]
- [67] WANG J, GAO H, XIE Y, et al. *Lycium barbarum* polysaccharide alleviates dextran sodium sulfate-induced inflammatory bowel disease by regulating M1/M2 macrophage polarization via the STAT1 and STAT6 pathways[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2023, 14: 1044576.
- [68] 鲍少杰, 乔东, 尹茂源, 等. 天然食材中的降血糖活性成分研究[J]. *美食研究*, 2021, 38(2): 73-77.
- [BAO S J, QIAO D, YIN M Y, et al. Hypoglycemic active ingredients in natural food[J]. *Journal of Researches on Dietetic Science and Cultur*, 2021, 38(2):

73-77.]

- [69] 蒋慧兰, 孙亚茹, 魏择裕, 等. 4 种降血糖药食同源原料研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(8): 213-218. [JIANG H L, SUN Y R, WEI Z Y, et al. Research progress in 4 blood sugar-lowering medicinal materials with edible value[J]. *Food Research and Developmen*, 2023, 44(8): 213-218.]
- [70] YAO Q, ZHOU Y, YANG Y, et al. Activation of Sirtuin1 by *Lyceum barbarum* polysaccharides in protection against diabetic cataract[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2020, 261: 113165.
- [71] DU M, HU X, KOU L, et al. *Lyceum barbarum* polysaccharide mediated the antidiabetic and antinephritic effects in diet-streptozotocin-induced diabetic Sprague Dawley rats via regulation of NF- κ B[J]. *Biomed Res Int*, 2016, 2016: 3140290.
- [72] CAI H, LIU F, ZUO P, et al. Practical application of antidiabetic efficacy of *Lyceum barbarum* polysaccharide in patients with type 2 diabetes[J]. *Med Chem*, 2015, 11(4): 383-90.
- [73] ZHAO R, QIU B, LI Q, et al. LBP-4a improves insulin resistance via translocation and activation of GLUT4 in OLETF rats[J]. *Food Funct*, 2014, 5(4): 811-820.
- [74] XU L, LIU H, RANG Y, et al. *Lyceum barbarum* polysaccharides attenuate nonylphenol and octylphenol-induced oxidative stress and neurotransmitter disorders in PC-12 cells[J]. *Toxicology*, 2024, 505: 153808.
- [75] 王敏, 刘建勋, 姚明江, 等. 抗脑缺血后神经损伤中药及其药理学研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(3): 513-517. [WANG M, LIU J X, YAO M J, et al. Advances in research on pharmacological and neuroprotective effects of traditional Chinese medicine after cerebral ischemia[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2020, 45(3): 513-517.]
- [76] 曾德洁, 陈增辉, 丁乾坤, 等. 天然来源的多糖在干预神经发育障碍中的应用前景[J]. *上海交通大学学报(医学版)*, 2024, 44(6): 779-787. [ZENG D J, CHEN Z H, DING Q K, et al. Prospect of naturally derived polysaccharides in intervention in neurodevelopmental disorders[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University(Medical Science)*, 2024, 44(6): 779-787.]
- [77] LAKSHMANAN Y, WONG F S Y, ZUO B, et al. Posttreatment intervention with *Lyceum barbarum* polysaccharides is neuroprotective in a rat model of chronic ocular hypertension[J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2019, 60(14): 4606-4618.
- [78] 王亿龙, 刘青峰. 枸杞多糖对大鼠放射性脑损伤海马神经元凋亡的保护作用及其对 PI3K/Akt/mTOR 信号通路影响[J]. *中国公共卫生*, 2019, 35(8): 1043-1045. [WANG Y L, LIU Q F. Effect of *Lyceum barbarum* polysaccharide protecting against apoptosis of hippocampal neurons and on PI3K/Akt/mTOR signaling pathway in rats with radiation-induced brain injury[J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2019, 35(8): 1043-1045.]
- [79] YANG Y, YU L, ZHU T, et al. Neuroprotective effects of *Lyceum barbarum* polysaccharide on light-induced oxidative stress and mitochondrial damage via the Nrf2/HO-1 pathway in mouse hippocampal neurons[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 251: 126315.
- [80] LIU C, GU J, MA W, et al. *Lyceum barbarum* polysaccharide protects against ethanol-induced spermiotoxicity and testicular degeneration in *Immp21^{-/-}* mice[J]. *Andrologia*, 2020, 52(4): e13554.
- [81] YAN B, ZHANG X, WANG J, et al. Inhibitory effect of *Lyceum barbarum* polysaccharide on sperm damage during cryopreservation[J]. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 2020, 20(4): 3051-3063.
- [82] 王恒泉, 柴茹, 周健, 等. 枸杞多糖对 2, 4-二氯苯氧乙酸所致雌性大鼠生殖系统损伤的保护作用[J]. *环境与职业医学*, 2021, 38(11): 1270-1277. [WANG H Q, CHAI R, ZHOU J, et al. Protective effect of *Lyceum barbarum* polysaccharide on reproductive system injury of female rats induced by 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid[J]. *Journal of Environmental and Occupational Medicine*, 2021, 38(11): 1270-1277.]
- [83] LIU B, WANG J L, WANG X M, et al. Reparative effects of *Lyceum barbarum* polysaccharide on mouse ovarian injuries induced by repeated superovulation[J]. *Theriogenology*, 2020, 145: 115-125.
- [84] GAO L L, LI Y X, MA J M, et al. Effect of *Lyceum barbarum* polysaccharide supplementation in non-alcoholic fatty liver disease patients: Study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2021, 22(1): 566.
- [85] GAO L L, MA J M, FAN Y N, et al. *Lyceum barbarum* polysaccharide combined with aerobic exercise ameliorated nonalcoholic fatty liver disease through restoring gut microbiota, intestinal barrier and inhibiting hepatic inflammation[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 183: 1379-1392.
- [86] LI D D, MA J M, LI M J, et al. Supplementation of *Lyceum barbarum* polysaccharide combined with aerobic exercise ameliorates high-fat-induced nonalcoholic steatohepatitis via AMPK/PPAR α /PGC-1 α pathway[J]. *Nutrients*, 2022, 14(15): 3247.
- [87] WEI J, ZHANG L, LIU J, et al. Protective effect of *Lyceum barbarum* polysaccharide on ethanol-induced injury in human hepatocyte and its mechanism[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2020, 3: e13412.
- [88] 李永盛, 王茂鹤, 刘建飞, 等. 枸杞多糖对乙醇诱导肝细胞损伤的保护作用研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2020, 32(4): 549-556. [LI Y S, WANG M H, LIU J F, et al. Protective effects of *Lyceum barbarum* polysaccharides on ethanol-induce chepatocyte injury[J]. *Natural Product Research and Development*, 2020, 32(4): 549-556.]
- [89] LIU R J, HE Y J, LIU H, et al. Protective effect of *Lyceum barbarum* polysaccharide on di-(2-ethylhexyl) phthalate-induced toxicity in rat liver[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28(18): 23501-23509.
- [90] HUANG J, BAI Y, XIE W, et al. *Lyceum barbarum* polysaccharides ameliorate canine acute liver injury by reducing oxidative stress, protecting mitochondrial function, and regulating metabolic pathways[J]. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2023, 24(2): 157-171.
- [91] 段昊, 刘改改, 松伟, 等. 枸杞子在我国保健食品中的应用[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(6): 12-23. [DUAN H, LIU G G, SONG W, et al. Application of fruits of *Lyceum barharum* L. in health food in China[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(6): 12-23.]
- [92] 张得钧, 彭岩枫, 杨永晶, 等. 一种抗疲劳的枸杞多糖泡腾片、制备方法及应用: 中国, CN202310049400.0[P]. 2023-06-02. [ZHANG D J, PENG R F, YANG Y J, et al. An anti-fatigue *Lyceum barbarum* polysaccharide effervescent tablet, preparation method and application: China, CN202310049400.0[P]. 2023-06-02.]
- [93] 周春晖, 丘智聪, 詹臻哲, 等. 一种枸杞越橘软糖研制及抗氧化活性研究的方法: 中国, CN202310720301.0[P]. 2023-09-12. [ZHOU C H, QIU Z C, ZHAN Z Z, et al. A method for the development and antioxidant activity of wolfberry blueberry soft candy: China, CN202310720301.0[P]. 2023-09-12.]
- [94] 谢陆鸣. 一种抗疲劳的方便食品人参黄精固体颗粒: 中国,

- CN202110816217. X[P]. 2021-12-07. [XIE L M. An anti-fatigue convenient food ginseng *Polygonati Rhizoma* solid granules; China, CN202110816217. X[P]. 2021-12-07.]
- [95] 郑用红, 万多兵. 牛排加工用配料、基于该配料制备的牛排及其制备方法: 中国, CN202111614063.2[P]. 2023-11-14. [ZHENG Y H, WAN D B. Ingredients for steak processing, steak prepared based on this ingredient and its preparation method; China, CN202111614063.2[P]. 2023-11-14.]
- [96] 赵谋明, 范家琪, 林恋竹, 等. 一种益生活性复合多糖及其制备方法与应用: 中国, CN202210391930.9[P]. 2022-06-28. [ZHAO M M, FAN J Q, LIN L Z, et al. A probiotic composite polysaccharide and its preparation method and application; China, CN202210391930.9[P]. 2022-06-28.]
- [97] 黄菲, 周文君, 易阳, 等. 龙眼-枸杞-红枣营养餐粉的研制及其体外调节肠道菌群作用[J]. 现代食品科技, 2022, 38(2): 143-154, 244. [HUANG F, ZHOU W J, YI Y, et al. Development of longan-goji-jujube nutritional meal replacement powder and its regulatory effects on intestinal microbiota *in vitro*[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 143-154, 244.]
- [98] 耿燕, 郭琳, 许正宏, 等. 一种护肝解酒的枸杞多糖酸奶及其制备方法: 中国, CN201911048629.2[P]. 2020-01-14. [GENG Y, GUO L, XU Z H, et al. A *Lycium barbarum* polysaccharide yoghurt for protecting liver and relieving alcoholism and its preparation method; China, CN201911048629.2[P]. 2020-01-14.]
- [99] 覃引, 何晓亮, 张建昆, 等. 黄精-枸杞复合酸奶工艺条件优化及其品质分析[J]. 中国酿造, 2022, 41(8): 156-162. [QIN Y, HE X L, ZHANG J K, et al. Optimization of technology conditions and quality analysis of *Polygonatum sibiricum*-*Lycium barbarum* compound yoghurt[J]. China Brewing, 2022, 41(8): 156-162.]
- [100] 郑俊霞, 杨超, 王立抗, 等. 一种降压硬糖及其制备方法: 中国, CN201910797502.4[P]. 2019-10-22. [ZHENG J X, YANG C, WANG L K, et al. A hypotensive hard candy and its preparation method; China, CN201910797502.4[P]. 2019-10-22.]
- [101] TAN X, SUN Z, YE C, et al. The effects of dietary *Lycium barbarum* extract on growth performance, liver health and immune related genes expression in hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀) fed high lipid diets[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2019, 87: 847-852.
- [102] 王军, 邓文文, 姚璐璐, 等. 低热量枸杞多糖冻干鸡汤及其冷冻加工方法: 中国, CN201911206475.5[P]. 2020-03-06. [WANG J, DENG W W, YAO L L, et al. Low-calorie *Lycium barbarum* polysaccharide freeze-dried chicken soup and its freezing processing method; China, CN201911206475.5[P]. 2020-03-06.]
- [103] 夏宇, 王小欢, 韩美华, 等. 以枸杞多糖为载体的紫杉醇纳米粒的制备及治疗乳腺癌的研究[J]. 中草药, 2024, 55(17): 5812-5821. [XIA Y, WANG X H, HAN M H, et al. Preparation of paclitaxel nanoparticles used *Lycium barbarum* polysaccharide as carrier and study on the treatment of breast cancer[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2024, 55(17): 5812-5821.]
- [104] QIN D, DENG Y, WANG L, et al. Therapeutic effects of topical application of *Lycium barbarum* polysaccharide in a murine model of dry eye[J]. Frontiers in Medicine, 2022, 9: 827594.
- [105] LAI S, LIU C, LIU C, et al. *Lycium barbarum* polysaccharide-glycoprotein promotes osteogenesis in hPDLSCs via ERK activation[J]. Oral Diseases, 2023, 29(8): 3503-3513.
- [106] PENG L, LU Y, GU Y, et al. Mechanisms of action of *Lycium barbarum* polysaccharide in protecting against vitiligo mice through modulation of the STAT3-Hsp70-CXCL9/CXCL10 pathway[J]. Pharmaceutical Biology, 2023, 61(1): 281-287.