

玉米花丝多糖提取方法及生物活性研究进展

许秀颖^{1,2} 文连奎¹ 贺阳¹ 于雷¹

(1. 吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林 长春 130118;

2. 小麦和玉米深加工国家工程研究中心, 吉林 长春 130118)

摘要:玉米花丝是玉米的干燥花柱和柱头部分,是中国传统的中草药和功能食品原料。多糖作为玉米花丝的主要功能性成分之一,具有降血糖、降血脂、抗菌消炎等功效。文章对玉米花丝多糖的提取方法和生物活性进行了综述,总结了不同提取方法的工艺参数、优缺点,玉米花丝多糖的生物活性,以及作为研究热点的生物活性作用机制。

关键词:玉米花丝;多糖;提取方法;生物活性

Research progress on extraction and biological activity of corn silk polysaccharides

XU Xiuying^{1,2} WEN Liankui¹ HE Yang¹ YU Lei¹

(1. School of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

2. National Engineering Research Center for Wheat and Corn Deep Processing, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: Corn silk, the dried style and stigma of corn, is a traditional Chinese herbal medicine and functional food ingredient. Polysaccharides, one of the main bioactive components of corn silk, exhibit hypoglycemic, hypolipidemic, antibacterial, and anti-inflammatory effects. This article reviews the extraction methods and biological activities of corn silk polysaccharides, summarizing the process parameters, advantages, and disadvantages of different extraction methods, as well as the biological activities and mechanisms of action of corn silk polysaccharides, which are current research hotspots.

Keywords: corn silk; polysaccharide; extraction method; biological activity

玉米花丝,别名玉米须、苞谷须和蜀黍须,是一种传统的中草药,属禾本科玉蜀黍属^[1]。玉米花丝中含有多种生物活性成分,主要有多糖类、黄酮类、皂苷类、甾醇类等^[2],其中,多糖类是目前研究最为广泛的生物活性物质。玉米花丝多糖是由 10 个或更多的单糖组成的大分子碳水化合物聚合物,主要由糖醛酸基团和糖酮基通过糖苷键相互连接而成^[3]。通常,多糖可以通过物理、化学、酶等手段从食物中获得^[4]。玉米花丝多糖具有与其他植物多糖相似的功能作用,如降血糖、降血脂、抗菌消炎等^[5]。但目前对玉米花丝の利用不足,通常将其作为废弃物进行焚烧处理。

研究拟对近年来玉米花丝多糖的提取方法以及生物

活性的研究进展进行综述,以期对玉米花丝高值化利用提供有效路径。

1 玉米花丝多糖的提取

1.1 水提法

水提法是最传统的提取方法,具有操作简单、对设备要求低、成本低、适合规模化加工等优点,但这种方法存在耗时长,且伴随着提取温度较高时可能会降解一些化学物质并降低多糖的活性等缺点^[6-7]。针对这种提取方式,陈燕萌等^[8]、金萍等^[9]、徐彬等^[10]使用正交试验、响应面法等方式对玉米花丝多糖的提取工艺进行了优化,综合来看,水提法的最佳提取条件为:料液比 1:15~1:16 (g/mL),水浴温度 85~90 °C,提取时间 1~2 h,提取次数

基金项目:吉林省高等教育教学改革研究课题(编号:JLJY202229549821)

通信作者:文连奎(1962—),男,吉林农业大学教授,博士。E-mail:wenliankui@163.com

收稿日期:2024-08-06 **改回日期:**2025-02-21

引用格式:许秀颖,文连奎,贺阳,等. 玉米花丝多糖提取方法及生物活性研究进展[J]. 食品与机械, 2025, 41(5): 207-215.

Citation:XU Xiuying, WEN Liankui, HE Yang, et al. Research progress on extraction and biological activity of corn silk polysaccharides [J]. Food & Machinery, 2025, 41(5): 207-215.

3 次,提取率可达 4%~5%。

1.2 酸解法

酸解法是在水提法的基础上,添加盐酸或乙酸等酸性溶液,使提取的溶液呈弱酸性,再加入乙醇溶液使带有酸性基因的多糖沉淀析出^[11]。酸性物质会破坏细胞壁的结构,破坏细胞壁蛋白与葡聚糖之间的可水解键,释放细胞内多糖,增加不同类型多糖的产生,从而提高多糖的提取率^[12]。李亚平等^[13]通过正交试验优化酸提取玉米花丝多糖的最佳提取工艺为提取温度 90 °C、盐酸浓度 0.26 mol/L、料液比 1:50 (g/mL)、提取 2 次、每次提取 80 min,此时可以得到最大的多糖提取率 33.36%,其中糖醛酸含量为 10.52%。但这种方法可能导致糖苷键断裂,降低多糖产量,且改变所得到的多糖的组成,所以应在使用时严格控制酸浓度。

1.3 超声波辅助提取法

超声波辅助提取法是使用超声波通过破碎气泡产生空化、机械和热效应,促进多糖的释放^[14]。超声波辅助提取法能够缩短提取时间、减少溶剂的使用、并降低能耗^[15]。但这种方法易破坏糖苷键并改变多糖的活性^[16]。宫春宇等^[17]通过响应面优化出最佳提取工艺为料液比 1:30 (g/mL),浸泡温度 60 °C,提取 3 次,在此条件下玉米须多糖提取率仅为 1.90%。这可能是由于浸泡过程导致了多糖的损失。而侯敏娜等^[18]同样使用响应面法对超声波辅助提取玉米花丝多糖的工艺进行了优化,得到的最佳提取工艺为料液比 1:25 (g/mL),超声时间约 33 min,超声温度约 60 °C,此时玉米花丝多糖提取率达到 5.5%,相较于水提法提高了约 1%。

1.4 酶辅助提取法

酶辅助提取法是利用酶的特异性破坏细胞壁的结构和细胞间的连接,使胞内多糖更容易流出;常用的酶为纤维素酶、果胶酶和木瓜蛋白酶,或几种酶的联合使用。酶辅助提取法具有提取条件温和、特异性强、环保、避免多糖结构被破坏等优点,但与此同时,在提取过程中需要先探究酶的最适添加量,并且存在引入新杂质的风险,影响后续的多糖纯化^[19-20]。李劲彤等^[21]通过响应面法优化了酶辅助提取法的提取工艺,使玉米花丝的多糖得率达到 8.9%。

1.5 微波辅助提取法

与传统方法相比,微波辅助提取法是一种相对较新的提取方式,是指在交变电磁场的作用下,极性物质会发生强烈的极性振荡,导致电容性细胞膜结构键的破坏和断裂,以及细胞和分子间氢键的松弛,从而对细胞造成严重破坏,使多糖等物质加速浸出和扩散,从而提高多糖的提取率^[22]。这种提取方式具有提取时间短、产量高、成品优、溶剂消耗低等优点^[23-24],但是这种提取方式可能会改变多糖的活性,且需要特定的设备^[25]。刘东琦等^[26]使用微波辅助提取法提取了玉米花丝多糖,多糖提取率为 1.56%,并对其抗氧化活性、降血糖活性、抗菌活性进行了

研究。

1.6 复合提取法

由于单独提取方式的局限性,现阶段对于多糖的提取更多采用复合的提取方式,如酶—超声辅助提取法、酶—微波辅助提取法、超声—微波辅助提取法等,这些复合的提取方式相较于水提法等单一的提取方式,能够显著缩短提取时间,且提高多糖提取率,所以复合的提取方法将是未来主流的提取方式。

1.6.1 酶—微波辅助提取法 酶—微波辅助提取法是在提取的过程中,在提取液中加入纤维素酶、木瓜蛋白酶等不同种类的酶之后,再对提取液进行微波处理,这样对于坚韧的细胞组织,微波场能够增强酶促细胞破碎的效果,有效强化提取过程,缩短提取时间,增加提取率,并且产生的化学废弃物更少^[27-28],这既能够避免水提法所消耗的大量时间,又能够充分利用酶促反应所提高的提取效果^[29]。陈珊珊等^[30]使用复合酶协同微波辅助的提取方式对玉米花丝多糖进行了提取,通过响应面法优化得到最佳的提取工艺为微波功率 490 W、微波提取时间 4 min、料液比 1:26 (g/mL)、 $m_{\text{纤维素酶}}:m_{\text{木瓜蛋白酶}}=1:1$,两种酶的总用量为玉米花丝质量的 2%,在此条件下多糖的提取率最高,达 7.96%。

1.6.2 微波—超声波辅助提取法 微波—超声波辅助提取法是最近几十年逐渐开发的较新型的复合提取方式,它实现了快速、均匀、低温的提取方式,并克服了两种提取方式单独使用的不足^[31]。Yang 等^[32]使用微波—超声波辅助提取法对废弃姜叶中的多糖进行了提取,并对比了热水提取法、微波提取法、超声波提取法的提取率,发现微波—超声波辅助提取法可以破坏姜叶的微观结构来促使多糖的流出,从而增加多糖提取率。陈珊珊等^[33]使用微波—超声波辅助提取法对玉米花丝多糖进行了提取,并对工艺进行了优化,多糖提取率约为 6%。相较于水提法,对于多糖的提取率有了明显的提升。说明微波—超声波辅助提取法可以通过对微观结构的破坏来增加多糖的提取率。

1.6.3 酶—超声波辅助提取法 酶—超声波辅助提取法是向提取液中添加相应的辅助酶之后,再对提取液进行超声波处理,在酶作用的情况下,超声波再次促使细胞壁的破坏,以促使多糖的流出,增加多糖的提取率。这种方法既能保留酶辅助提取法的温和、环保等优点,又增加了超声波对细胞壁的破碎效果,是当今使用较多的一种提取方式^[34]。Chen 等^[35]使用酶—超声波辅助提取法对玉米花丝多糖的提取工艺进行了优化,并对多糖的结构以及生物活性进行了研究,最终得到提取工艺为超声时间约 35 min、料液比 1:30 (g/mL)、超声温度约 65 °C,多糖提取率可达 7%。刘东琦等^[26]使用相同的方法,但使用了 α -淀粉酶和中性蛋白酶,得到了 9.53% 的多糖提取率。说明相较于单一的提取方式,酶—超声波辅助提取的方式显

著提升了多糖的提取率,而且酶的种类不同也会影响提取率。

通过表1所整理玉米花丝多糖的提取方式,发现单一的提取方式都有着各自的优缺点,虽然操作简单,但通常提取率不高。复合的提取方式能够在一定程度上提高多

糖提取率,综合来看,酶—超声波辅助提取法是日前提取率最高的方式,但目前对于玉米花丝多糖深共晶溶剂萃取、水性两相萃取等提取方式的研究甚少,所以采用复合的提取方式与这些新兴的提取方式的联合提取可能是未来发展的主要方向。

表1 玉米花丝多糖的提取工艺

Table 1 Extraction technology of polysaccharides from corn silk

提取方法	提取条件	优点	缺点	参考文献
水提法	料液比1:16 (g/mL)、提取时间4 h、提取次数3次、提取温度85 °C,提取率为4.79%	操作简单	耗时长	[9]
酸解法	料液比1:50 (g/mL)、每次提取时间80 min、提取2次、提取温度90 °C、盐酸浓度0.26 mol/L,得率为33.36%,提取的粗多糖中糖醛酸含量为10.52%	能耗低	可能破坏多糖	[11]
超声波辅助提取法	料液比约1:25 (g/mL)、超声时间30 min、提取3次、超声温度60 °C,提取率为5.5%	缩短提取时间、减少溶剂使用量	可能改变多糖的活性	[17]
酶辅助提取法	料液比1:30 (g/mL)、提取时间2 h、提取温度90 °C,提取率为8.9%	条件温和	容易引入杂质	[21]
微波辅助提取法	料液比1:8 (g/mL)、微波时间10 min、微波功率900 W,提取率为1.56%	提取时间短、产量高	设备费用昂贵	[26]
酶—微波辅助提取法	料液比1:26 (g/mL)、微波功率490 W、微波提取时间4 min、酶用量为总质量的2%,提取率为7.96%	缩短提取时间、增加提取率、减少化学废弃物	设备费用昂贵	[30]
微波—超声波辅助提取法	料液比1:37.75 (g/mL)、微波功率451.81 W、反应时间18.40 min,提取率为5.97%	提取温度低、速度快	容易改变多糖活性	[33]
酶—超声波辅助提取法	料液比1:10 (g/mL)、超声温度70 °C、超声时间约17 min、添加1.8%的 α -淀粉酶和1.8%的中性蛋白酶,提取率为9.53%	提取条件温和、环保	可能改变多糖的化学组成、形貌特征和构象	[26]

2 玉米花丝多糖的纯化与鉴定

粗提取过后的多糖中含有色素、蛋白质等大分子物质,影响玉米花丝多糖的纯度,所以首先要经过脱色、脱蛋白等步骤的处理。

2.1 脱色、脱蛋白

多糖中存在色素有两个主要原因:①原材料中存在类黄酮、叶绿素、叶黄素、类胡萝卜素和深色酚类物质;②提取过程中产生的色素^[36]。这些色素的存在严重影响了后续对多糖的研究,因此在对多糖进行粗提取后必须进行脱色处理。

多糖脱色常采用的方法一般有活性炭脱色、 H_2O_2 脱色、反胶束溶液脱色、大孔吸附树脂脱色等方法^[37]。由于活性炭脱色的过程中对多糖的损失较大且最终难以将活性炭分离, H_2O_2 脱色会破坏多糖的结构、官能团,还会造成污染,所以目前所用最多的是大孔吸附树脂法。赵鹤鹏^{[38]20-21}采用AB-8型大孔树脂进行脱色处理,脱色率达到65.94%;赵文竹^[39]采用反胶束溶液进行脱色,脱色率可达91.43%。

多糖中的蛋白质同样会影响多糖的性质与纯度,但

目前去除蛋白质的方法已经较为成熟。从多糖中去除蛋白质的方法有很多,如三氯乙酸法、盐酸法、Sevage试剂法和树脂吸附法等。杨夏^[40]采用了三氯乙酸法进行脱蛋白处理;赵鹤鹏^{[38]21-22}采用Sevage法进行了脱蛋白处理,脱蛋白率达到了67.33%。

2.2 多糖的纯化

提取后的粗多糖纯度较低,通常要经过纯化处理。李东波等^[41-42]使用DEAE-52纤维素柱进行玉米花丝多糖的纯化,李亚平^[43]在此基础上使用Sephadex G-150对玉米花丝多糖进一步分离,获得了5个不同组分的玉米须多糖。最后再将玉米花丝多糖进行透析处理,去除剩余的大分子物质等,得到纯度较高的玉米花丝多糖。

3 玉米花丝多糖的生物活性评价

3.1 降血糖活性

糖尿病是一种慢性代谢疾病,其特征是血糖持续升高、葡萄糖耐量受损等^[44]。据统计,2019年全球糖尿病患者约为4.63亿人(9.3%),预计到2045年将达到7亿人(10.9%)^[45]。但通过胰岛素等药物对其进行治疗会对人体造成不同程度的伤害,所以从植物中提取具有降血糖

活性的成分是目前热点问题。玉米花丝是中国传统的中药,具有多种功效,其中降血糖一般作为玉米花丝的主要用途^[46]。Guo 等^[47]提取了玉米花丝多糖后进行了 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制试验,并研究了对 L6 骨骼肌肌管细胞的降血糖活性以及通过 PI3K/Akt 信号通路的潜在机制。试验证明了相对分子质量为 62.16 的多糖具有最高的降血糖活性,并表明玉米花丝多糖参与了 PI3K/Akt 信号通路的调控,促进 GLUT4 向质膜的易位而导致的大鼠 L6 骨骼肌细胞葡萄糖摄取量增加。Pan 等^[48]则使用提取出的相对分子质量为 45.5 的玉米花丝多糖进行了动物试验以证明降血糖的功能,结果表明,玉米花丝能够减小 2 型糖尿病小鼠的体重减轻的情况,降低血糖和血清胰岛素水平,并改善葡萄糖耐受不良的症状;同时能够调节血清中游离脂肪酸和糖化血清蛋白的水平,还能修复由糖尿病引起的器官损伤。Jia 等^[49]使用 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{3+} 与玉米花丝多糖进行了结合,并发现 Zn^{2+} 与多糖结合后对 α -葡萄糖苷酶具有更高的抑制作用,这可能是由于 Zn^{2+} 与多糖结合后改变了构型,导致暴露了更多的一OH 和一COOH,提高了生物活性。同时,也说明了玉米花丝多糖的降血糖活性有着更多的研究的可能。

3.2 抗氧化活性

人体总是在产生自由基,而过多的自由基会对身体产生危害。当生物体暴露于来自外部环境的有害刺激时,体内各种蛋白酶的分泌失控,导致生物系统中的活性氧(reactive oxygen species, ROS)与抗氧化防御系统之间的不平衡,从而进一步诱导细胞和组织水平的病理变化^[50]。而 ROS 可以被抗氧化剂抑制,玉米花丝多糖具有一定的抗氧化作用,可作为天然的抗氧化剂。

李亚平^[43]从吉林省种植的玉米花丝中提取出了相对分子质量为 586 和 813 的多糖,并对其体外抗氧化活性进行了探究。结果表明,玉米花丝多糖对 DPPH 自由基、ABTS 自由基、羟自由基具有良好的清除能力。Jia 等^[51]使用了不同方式对玉米花丝多糖进行提取,并对其抗氧化能力进行了测定。结果表明,水提法和超声波辅助提取法比酸提法和碱提法提取的多糖对 DPPH 自由基、ABTS 自由基、羟自由基的清除能力更强,这可能是由于不同的提取方式改变了多糖中单糖含量的占比,从而导致了其生物活性的变化。多糖的抗氧化活性不是由单一的因素决定的。单糖组成是影响多糖的抗氧化活性的重要因素之一,拥有较高的半乳糖/阿拉伯糖含量的多糖通常具有较高的抗氧化活性,氢供体也是影响抗氧化活性的一个重要因素,相同质量浓度下,低相对分子质量的多糖具有更多的游离羟基,从而发挥更强的氢供体能力^[52]。

Guo^[53]探究了玉米花丝多糖对 H_2O_2 影响的 L6 骨骼肌细胞的氧化损伤,结果表明,相对分子质量为 61.3 的玉米花丝多糖可以通过提高超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷

胱甘肽过氧化物酶活性来保护细胞免受氧化应激,也就是说玉米花丝多糖可以通过酶氧化防御机制保护细胞免受氧化应激。同时,通过对线粒体膜电位进行研究,发现玉米花丝多糖能够在氧化条件下通过保护线粒体的完整性对细胞进行保护。

3.3 肾脏保护作用

肾脏作为人体排除体内废物、调节体内水、电解质浓度、过滤血液杂质的重要器官,其重要性不言而喻。但日常生活中的各种不良习惯都会导致对肾脏造成不同的损伤。苑丽艳^[54]从玉米花丝中提取了中性多糖和酸性多糖,并探究了两种多糖对肾脏的保护作用,发现两种多糖可以通过抑制尿酸的分泌并降低黄嘌呤氧化酶来预防肾小球和肾小管损伤,并通过对比,发现中性多糖比酸性多糖的效果更好,这可能是由于中性玉米花丝多糖拥有较低的相对分子质量和较高的葡萄糖含量。Wang 等^[55]通过动物试验探究了玉米花丝酸性多糖对肾脏的保护作用,发现多糖能够有效避免小鼠体重的减轻,显著降低尿蛋白、血尿素氮和肌酐的水平,并通过降低血清中甘油三酯和总胆固醇含量来发挥对肾脏的保护作用,通过体外细胞试验证明了酸性玉米花丝多糖通过抑制 PI3K/AKT/mTOR 通路来抑制细胞凋亡来改善膜性肾病的机制。说明无论是从细胞试验角度或是动物试验角度,都可以证明玉米花丝多糖对肾脏的保护作用。

3.4 抗癌活性

癌症依旧是目前困扰全世界的难题,相较于昂贵的治疗方式以及对身体的严重损害,开发新型、温和的生物活性物质抑制癌细胞的生长是未来的趋势。Zhu 等^[56]提取出了 5 种不同相对分子质量的玉米花丝多糖,发现相对分子质量为 1 480 的多糖可以显著抑制 A549 细胞的生长,说明了玉米花丝多糖具有着良好的抗肺癌能力,结合此多糖的结构分析,这可能是由于高分支度、高相对分子质量以及较高的葡萄糖和半乳糖含量所导致的,也就是说玉米花丝多糖的抗癌活性是由不同的分支度、相对分子质量和单糖的含量所改变的^[57]。李亚平^[43]提取出了相对分子质量为 813 的玉米花丝多糖,并通过抑制 HeLa 细胞的增殖证明了多糖具有对宫颈癌的抑制作用,并发现多糖是以剂量依赖性而非时间依赖性来抑制癌细胞的增殖。

3.5 肝脏保护活性

肝脏是易受各种伤害的腹腔内器官。由于生活方式、饮食和环境的不断变化,肝损伤的患病率在过去几年中不断上升。Zhang 等^[58]从玉米花丝中提取了 3 种不同的多糖,并对相对分子质量为 1.93×10^5 的多糖进行了乙醇损伤 HL-7702 细胞的保护试验。结果证明,玉米花丝多糖可以通过刺激促炎性细胞因子发挥抗炎功能,可能是由于此多糖具有较高的葡萄糖醛酸含量,导致了白细

胞介素-6的水平显著降低,从而显示出更好的保肝活性;并确定了多糖可以通过半胱天冬酶级联反应保护酒精诱导的肝损伤,并介导线粒体细胞凋亡途径。Wu等^[59]使用植物乳杆菌对两种高度支化的玉米花丝多糖进行发酵,并通过CCl₄诱导损伤的AML-12细胞活性来从体外的角度验证玉米花丝多糖的肝脏保护能力;并以此为基础,通过动物试验,验证了在体内发酵后的玉米花丝多糖能够通过保护肝脏细胞不受破坏来达到保护肝脏的目的。舒涛等^[60]通过动物试验验证了玉米花丝多糖能够抑制高脂饮食诱导的非酒精性脂肪肝的发生发展,并推断可能与其对miR-146a/NOX4/ROS通路的调控有关。

3.6 其他生物活性

玉米花丝多糖还有其他的一些生物活性,如抗炎活性、止血功能、降血脂活性、抑菌活性等。杨夏^[40]提取出了相对分子质量为12.93的玉米花丝多糖,并在体外与胆汁酸进行结合,发现多糖可以与牛磺胆酸钠和甘氨酸去氧胆酸钠具有较好的结合能力,并通过动物试验进行验证,发现多糖可以通过调节血清中甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白的水平对血脂水平进行控制,并推断出可能是由于多糖较低的相对分子质量以及较高的半乳糖醛酸含量所导致的。朱蕴文^[61]发现在玉米花丝多糖的干预下,活化部分凝血活酶时间、凝血酶原时

间、凝血酶时间均可显著缩短,从而验证了玉米花丝多糖在体外的止血活性。于小磊等^[62]通过抑菌试验,证实了玉米花丝多糖对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌以及各种真菌均具有一定的抑制效果。金萍等^[9]也验证了玉米花丝多糖对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、黑曲霉有着良好的抑制效果。魏浩^[63]研究了玉米花丝多糖对阿尔兹海默症的治疗效果,通过Morris水迷宫对大鼠的学习、记忆能力进行了检测,发现玉米花丝多糖能够明显提高阿尔兹海默症大鼠的记忆水平,且在玉米花丝多糖干预后,大鼠海马组织的乙酰胆碱转移酶含量升高,胆碱酯酶含量降低,导致乙酰胆碱含量增加,从而达到对阿尔兹海默症的治疗效果。

玉米花丝多糖的功能活性汇总如表2所示。

4 玉米花丝多糖在食品中的应用现状及未来趋势

目前,玉米花丝多糖主要应用于多糖饮品、多糖胶囊、面条以及复合保健饮料等产品中^[64-67],其中以开发功能性保健饮品的产品居多。加工方法通常是玉米花丝多糖提取后,辅以菊花、荷叶等辅料进行调配,最终获得多糖产品。朱蕴文^[61]通过层次分析法和响应面法,对玉米花丝的提取工艺进行了优化,在料液比1:35(g/mL),提取温度50 min、提取3次的条件下,可使多糖等有效成

表2 玉米花丝多糖的功能活性

Table 2 Functional properties of corn silk polysaccharides

功能特性	作用机理	参考文献
降血糖活性	通过对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用,延缓碳水化合物的吸收,从而降低血糖;并通过调控PI3K/Akt信号通路,促进GLUT4向质膜的易位而导致的大鼠L6骨骼肌细胞葡萄糖摄取量增加,从而降低血糖	[47]
	降低血糖和血清胰岛素水平;调节血清中游离脂肪酸和糖化血清蛋白的水平来降低血糖	[48]
抗氧化活性	通过清除DPPH自由基、ABTS自由基、羟自由基,从而达到抗氧化的目的	[43]
	提高超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶的活性来保护细胞免受氧化应激;在氧化条件下通过保护线粒体的完整性对细胞进行保护	[53]
肾脏保护作用	抑制尿酸的分泌并降低黄嘌呤氧化酶来预防肾小球和肾小管损伤	[54]
	降低尿蛋白、血尿素氮和肌酐的水平,并通过降低血清中甘油三酯和总胆固醇含量来发挥对肾脏的保护作用;通过抑制PI3K/AKT/mTOR通路来抑制细胞凋亡来改善膜性肾病	[55]
抗癌活性	抑制HeLa细胞的增殖,从而抑制宫颈癌	[43]
	抑制A549细胞的生长,从而抑制肺癌	[56]
降血脂活性	调节血清中甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白的水平来进行对血脂水平的控制	[40]
保肝活性	通过刺激促炎性细胞因子发挥抗炎功能,导致白细胞介素-6的水平显著降低,从而显示出更好的保肝活性;通过半胱天冬酶级联反应保护酒精诱导的肝损伤	[58]
	通过对miR-146a/NOX4/ROS通路的调控,从而抑制高脂饮食诱导的非酒精性脂肪肝的发生发展	[60]
止血活性	缩短活化部分凝血活酶时间、凝血酶原时间、凝血酶时间,从而验证了止血效果	[61]
抑菌活性	玉米花丝多糖对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌、不同真菌均具有良好的抑制效果	[62]
阿尔兹海默症的治疗效果	通过增加乙酰胆碱含量,从而提高阿尔兹海默症大鼠的记忆水平	[63]

分大量析出;并以提取的多糖为原料,以 *D*-异抗坏血酸钠、三氯蔗糖、黄原胶、环糊精为辅料,调配成玉米花丝植物饮料;该饮料对 α -葡萄糖苷酶的抑制率可达(74.0±2.2)%,可有效延缓碳水化合物的吸收,从而降低血糖。综合来看,玉米花丝多糖饮品相比于市面上的常规饮料,不仅保证了口感,且因富含多糖等功能性成分具有一定的降血糖效果,更符合现代人们的健康饮食需求。刘静波等^[68-69]采用水提醇沉法提取玉米花丝多糖,并将其开发成玉米花丝饮品和玉米花丝软胶囊,验证了两种产品均具有降血糖、降血脂、降胆固醇活性,为玉米花丝资源在功能性食品中的开发与利用奠定了理论基础。

现阶段,植物多糖在食品行业中的应用已经较为广泛,如复合饮品、压片糖果、营养餐粉、泡腾片等产品^[70-72],且这些产品的促进肠道益生菌增殖和调节肠道菌群等功能性也进行了验证。玉米花丝多糖作为玉米副产物高值化加工的产品之一,是具有降血糖、降血脂等功能性的水溶性多糖,未来可进一步优化玉米花丝多糖的提取方法,提高其提取效率,将其应用于主食和休闲食品中,在赋予产品功能性的同时,丰富了产品种类,有力促进玉米花丝资源的高值化利用。

5 总结与展望

玉米花丝中以多糖为主的生物活性物质,具有降血糖、降血脂、抗氧化等多种功效,在临床应用及保健食品开发方面具有巨大的应用潜力。目前,市场上已经出现了一些关于玉米花丝的产品,如玉米须茶、玉米须饮料、含有玉米须活性物质的无乳糖牛奶等,但由于多糖较低的提取率以及繁琐的提取步骤限制了其开发与应用。因此,在后续的研究中,需进一步对玉米花丝多糖功能活性作用机制方面进行深入探讨;研究不同物理、化学、生物等方法对玉米花丝多糖进行物性修饰,以及与淀粉、蛋白质、多酚等其他不同组分之间相互作用机制,进而为开发精准营养以及个性化产品提供理论依据,有效助力玉米花丝资源的高效利用。

参考文献

- [1] 宋有洪, 吴菲, 吴玉银, 等. 玉米花丝药用价值研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(2): 12-23.
SONG Y H, WU F, WU Y Y, et al. Progress on the medicinal values of the maize silk[J]. Journal of China Agricultural University, 2020, 25(2): 12-23.
- [2] 何子涵, 吴星霖, 向志宇, 等. 玉米须生物活性成分、功效与提取方法的研究进展[J]. 北方农业学报, 2023, 51(4): 96-104.
HE Z H, WU X L, XIANG Z Y, et al. Research progress on corn silk bioactive components, efficacy and extractising method[J]. Journal of Northern Agriculture, 2023, 51(4): 96-104.
- [3] 宫春宇, 邢悦, 单佳明, 等. 玉米须多糖超滤制备工艺及成分

分析[J]. 食品科技, 2020, 45(6): 249-253.

- GONG C Y, XING Y, SHAN J M, et al. Ultrafiltration technology and composition analysis of corn silk polysaccharide [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(6): 249-253.
- [4] DONG Y H, WANG Z X, CHEN C, et al. A review on the hypoglycemic effect, mechanism and application development of natural dietary polysaccharides[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253(6): 127267.
- [5] ZHANG Z Y, WANG S, LIU Q, et al. Extraction, purification, structural characteristics, and pharmacological activities of the polysaccharides from corn silk: a review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 274: 133433.
- [6] TEPSONGKROH B, THAIHUTTAKIJ C, SUPAWONG S, et al. Impact of high pressure pre-treatment and hot water extraction on chemical properties of crude polysaccharide extract obtained from mushroom (*Volvariella volvacea*) [J]. Food Chemistry: X, 2023, 19:100864.
- [7] HUANG G L, CHEN F, YANG W J, et al. Preparation, deproteinization and comparison of bioactive polysaccharides [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109: 564-568.
- [8] 陈燕萌, 招幸辰, 张鹏. 响应面优化水提法提取玉米须多糖的工艺研究[J]. 山东化工, 2021, 50(11): 49-52, 57.
CHEN Y M, ZHAO X C, ZHANG P. Study on the technology of extracting corn silk polysaccharide by response surface optimization water extraction method[J]. Shandong Chemical Industry, 2021, 50(11): 49-52, 57.
- [9] 金萍, 刘政, 于小磊. 响应面法优化玉米须多糖提取工艺及抑菌效果的研究[J]. 食品工业, 2022, 43(8): 97-102.
JIN P, LIU Z, YU X L. Optimization of extraction process and antibacterial effect of corn whisker polysaccharide by response surface methodology[J]. The Food Industry, 2022, 43(8): 97-102.
- [10] 徐彬, 连帅, 袁建彬, 等. 新鲜玉米须多糖提取工艺及体外抗菌、抗氧化活性研究[J]. 饲料研究, 2018(5): 48-53.
XU B, LIAN S, YUAN J B, et al. Study on extraction technology of polysaccharide from fresh corn whisker and its antibacterial and antioxidant activities *in vitro*[J]. Feed Research, 2018(5): 48-53.
- [11] 韩宗鑫, 陈文, 王湘君, 等. 酸解法提取仙人掌多糖测定研究综述[J]. 内江科技, 2020, 41(11): 97-98.
HAN Z X, CHEN W, WANG X J, et al. Review on the determination of polysaccharides from cacti by acid hydrolysis [J]. Nei Jiang Ke Ji, 2020, 41(11): 97-98.
- [12] GENG X R, GUO D D, WU B, et al. Effects of different extraction methods on the physico-chemical characteristics and biological activities of polysaccharides from *Clitocybe squamulosa*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 259(2): 129234.
- [13] 李亚平, 周鸿立. 玉米须多糖酸提取工艺及其抗氧化活性的研究[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(8): 86-90.
LI Y P, ZHOU H L. Acidic extraction and antioxidant activity

- of polysaccharides from corn silk[J]. *Cereals & Oils*, 2020, 33(8): 86-90.
- [14] YU W C, LI J F, XIONG Y, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of *Imperata cylindrica* polysaccharides and evaluation of its anti-oxidant and amelioration of uric acid stimulated cell apoptosis[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2024, 104: 106844.
- [15] WANG J, ZHANG A Y, HU Y L, et al. Polysaccharides from fructus corni: extraction, purification, structural features, and biological activities[J]. *Carbohydrate Research*, 2024, 538: 109072.
- [16] XUE H K, WANG W L, BIAN J Y, et al. Recent advances in medicinal and edible homologous polysaccharides: extraction, purification, structure, modification, and biological activities [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, 222: 1 110-1 126.
- [17] 宫春宇, 单佳明, 余世锋, 等. 超声波提取玉米须多糖工艺及活性研究[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(5): 85-89.
- GONG C Y, SHAN J M, YU S F, et al. Study on ultrasonic extracting process and bioactivity of polysaccharides from *Stigma maydis*[J]. *Cereals & Oils*, 2020, 33(5): 85-89.
- [18] 侯敏娜, 李永梅, 辛新. 响应曲面法优化超声一辅助提取玉米须多糖的工艺研究[J]. *世界中医药*, 2017, 12(8): 1 923-1 926, 1 932.
- HOU M N, LI Y M, XIN X. Optimization of ultrasonic assisted extraction of polysaccharides from corn silk by response surface methodology[J]. *World Chinese Medicine*, 2017, 12(8): 1 923-1 926, 1 932.
- [19] 王晴, 钱玉梅, 李红侠, 等. 玉米须多糖高效提取工艺及生物活性研究[J]. *佳木斯大学学报(自然科学版)*, 2020, 38(2): 110-113, 163.
- WANG Q, QIAN Y M, LI H X, et al. Study on efficient extraction process for polysaccharides from corn silk and its biological activity[J]. *Journal of Jiamusi University (Natural Science Edition)*, 2020, 38(2): 110-113, 163.
- [20] LI Z, ZHANG Z Y, DING J, et al. Extraction, structure and bioactivities of polysaccharide from root of *Arctium lappa* L.: a review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 265(2): 131035.
- [21] 李劲彤, 王婧怡, 康凯, 等. 玉米须多糖提取及抗氧化性分析[J]. *中国食品工业*, 2022(20): 90-92, 47.
- LI S T, WANG J Y, KANG K, et al. Extraction of polysaccharide from corn whisker and analysis of antioxidant activity[J]. *China Food Industry*, 2022(20): 90-92, 47.
- [22] TENG H, HE Z G, HONG C Z, et al. Extraction, purification, structural characterization and pharmacological activities of polysaccharides from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): a review[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2024, 324: 117809.
- [23] 张琰, 宋金玉. 缓冻协同微波辅助提取玉米须多糖工艺的研究[J]. *山西职工医学院学报*, 2018, 28(5): 79-80.
- ZHANG Y, SONG J Y. Study on technology of slow freezing and microwave assisted extraction of polysaccharide from corn whisker[J]. *Journal of Shanxi Medical College for Continuing Education*, 2018, 28(5): 79-80.
- [24] MENG H H, WU J J, SHEN L, et al. Microwave assisted extraction, characterization of a polysaccharide from *Salvia miltiorrhiza* Bunge and its antioxidant effects via ferroptosis-mediated activation of the Nrf2/HO-1 pathway[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, 215: 398-412.
- [25] MIRZADEH M, ARIANEJAD M R, KHEDMAT L. Antioxidant, antiradical, and antimicrobial activities of polysaccharides obtained by microwave-assisted extraction method: a review[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 229: 115421.
- [26] 刘东琦, 韩雪, 石俊姣, 等. 玉米须多糖不同提取方法对体外活性的影响[J]. *农产品加工*, 2021(7): 36-38.
- LIU X Q, HAN X, SHI J J, et al. Effects of different extraction methods in vitro activity of polysaccharides from *stigmata maydis*[J]. *Farm Products Processing*, 2021(7): 36-38.
- [27] YIN C M, FAN X Z, FAN Z, et al. Optimization of enzymes-microwave-ultrasound assisted extraction of *Lentinus edodes* polysaccharides and determination of its antioxidant activity [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 111: 446-454.
- [28] WANG H Z, LI Y, REN Z H, et al. Optimization of the microwave-assisted enzymatic extraction of *Rosa roxburghii* Tratt. polysaccharides using response surface methodology and its antioxidant and α -D-glucosidase inhibitory activity[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 112: 473-482.
- [29] CHENG Z Y, SONG H Y, YANG Y J, et al. Optimization of microwave-assisted enzymatic extraction of polysaccharides from the fruit of *Schisandra chinensis* Baill[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015, 76: 161-168.
- [30] 陈珊珊, 宋冬晶, 李欣欣. 玉米须多糖复合酶协同微波提取工艺优化及体外发酵研究[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(10): 104-108.
- CHEN S S, SONG D J, LI X X. Study on the optimization of corn silk polysaccharide compound enzyme synergistic microwave extraction process and *in vitro* fermentation[J]. *Cereals & Oils*, 2021, 34(10): 104-108.
- [31] ZHANG Y L, LEI Y, QI S R, et al. Ultrasonic-microwave-assisted extraction for enhancing antioxidant activity of *Dictyophora indusiata* polysaccharides: the difference mechanisms between single and combined assisted extraction [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, 95: 106356.
- [32] YANG J C, DONG S Y, ZHOU X, et al. Polysaccharides from waste *Zingiber mioga* leaves: ultrasonic-microwave-assisted extraction, characterization, antioxidant and anticoagulant potentials[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, 101: 106718.

- [33] 陈珊珊, 宋冬晶, 葛鹏玲. 玉米须多糖的微波-超声波协同提取工艺优化探究[J]. 食品安全导刊, 2021(15): 142-145.
CHEN S S, SONG D J, GE P L. Optimization of microwave-ultrasonic collaborative extraction process of corn whisker polysaccharide[J]. China Food Safety Magazine, 2021(15): 142-145.
- [34] JIAO X, ZHANG M Y, ZHANG M, et al. Ultrasound-assisted enzymatic extraction, structural characterization, and anticancer activity of polysaccharides from *Rosa roxburghii* Tratt fruit[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 259(1): 127926.
- [35] CHEN S H, CHEN H X, TIAN J G, et al. Enzymolysis-ultrasonic assisted extraction, chemical characteristics and bioactivities of polysaccharides from corn silk[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 101: 332-341.
- [36] TAO L, ZHANG J W, LAN W F, et al. Polysaccharide decolorization: methods, principles of action, structural and functional characterization, and limitations of current research [J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 138: 284-296.
- [37] 郑婷婷, 吕建彪, 龚婉莹, 等. 白及叶多糖脱色脱蛋白质方法及其抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(3): 86-90, 105.
ZHENG T T, LYU J B, GONG W Y, et al. Study on the decolourisation and deproteinization methods of polysaccharides from *Bletilla striata* leaves and its antioxidant activity[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(3): 86-90, 105.
- [38] 赵鹤鹏. 玉米须多糖的制备及其生物活性研究[D]. 吉林: 吉林化工学院, 2017.
ZHAO H P. Studies on the preparation and biological activities of polysaccharides from stigma maydis[D]. Jilin: Jilin Institute of Chemical Technology, 2017.
- [39] 赵文竹. 玉米须多糖结构鉴定及其降血糖活性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011: 56-57.
ZHAO W Z. Research on the structure preliminary identification and hypoglycemic effect of polysaccharides from corn silk[D]. Changchun: Jilin University, 2011: 56-57.
- [40] 杨夏. 玉米须多糖的降血脂活性及纳米囊泡研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018: 15.
YANG X. Study on hypolipidemic activity and nano-vesicles development of corn silk polysaccharides[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018: 15.
- [41] 李东波. 玉米花丝多糖结构及功能研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016: 17-18.
LI D B. Composition and function of polysaccharide isolated from corn silk[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2016: 17-18.
- [42] 陈书涵. 玉米须多糖的物理化学性质及其生物活性的研究[D]. 天津: 天津大学, 2014: 15.
CHEN S H. Studies on the physicochemical properties and bioactivity of corn silk polysaccharides[D]. Tianjin: Tianjin University, 2014: 15.
- [43] 李亚平. 玉米须多糖结构表征及其生物活性的研究[D]. 吉林: 吉林化工学院, 2019: 34-36.
LI Y P. Structural characterization and biological activity of polysaccharides from corn silk[D]. Jilin: Jilin Institute of Chemical Technology, 2019: 34-36.
- [44] LIU C H, LIU F, XIONG L. Medicinal parts of mulberry (leaf, twig, root bark, and fruit) and compounds thereof are excellent traditional Chinese medicines and foods for diabetes mellitus [J]. Journal of Functional Foods, 2023, 106: 105619.
- [45] AKHLAGHIPOUR I, NASIMI SHAD A, ASKARI V R, et al. How caffeic acid and its derivatives combat diabetes and its complications: a systematic review[J]. Journal of Functional Foods, 2023, 110: 105862.
- [46] JIA Y N, WANG Y J, LI R L, et al. The structural characteristic of acidic-hydrolyzed corn silk polysaccharides and its protection on the H₂O₂-injured intestinal epithelial cells[J]. Food Chemistry, 2021, 356: 129691.
- [47] GUO Q W, CHEN Z Q, SANTHANAM R K, et al. Hypoglycemic effects of polysaccharides from corn silk (*Maydis stigma*) and their beneficial roles via regulating the PI3K/Akt signaling pathway in L6 skeletal muscle myotubes [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 121: 981-988.
- [48] PAN Y X, WANG C, CHEN Z Q, et al. Physicochemical properties and antidiabetic effects of a polysaccharide from corn silk in high-fat diet and streptozotocin-induced diabetic mice[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 164: 370-378.
- [49] JIA Y N, LI N N, WANG Q R, et al. Effect of Fe (III), Zn (II), and Cr (III) complexation on the physicochemical properties and bioactivities of corn silk polysaccharide[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 189: 847-856.
- [50] LV R Z, DONG Y F, BAO Z J, et al. Advances in the activity evaluation and cellular regulation pathways of food-derived antioxidant peptides[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 122: 171-186.
- [51] JIA Y N, GAO X D, XUE Z H, et al. Characterization, antioxidant activities, and inhibition on α -glucosidase activity of corn silk polysaccharides obtained by different extraction methods[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 163: 1 640-1 648.
- [52] YUAN D, LI C, HUANG Q, et al. Ultrasonic degradation effects on the physicochemical, rheological and antioxidant properties of polysaccharide from *Sargassum pallidum*[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 239: 116230.
- [53] GUO Q W. 玉米须多糖活性以及与黄酮相互作用的研究[D]. 天津: 天津大学, 2019: 36-40.
GUO Q W. Investigation on the bioactivities of corn silk polysaccharides and their binding interaction with flavonoids from corn silk[D]. Tianjin: Tianjin University, 2019: 36-40.
- [54] 苑丽艳. 玉米花丝降尿酸因子的优选与其靶向作用研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2021: 52-57.

- YUAN L Y. Study on optimization and its targeting effect of hypouricemic factors from corn silk[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2021: 52-57.
- [55] WANG X Z, HUANG L Y, QI Y, et al. Nutritional intervention with acidic stigma maydis polysaccharide (ASMP-1) in membranous nephropathy: targeting the PI3K/AKT/ mTOR pathway[J]. Food Bioscience, 2023, 56: 103278.
- [56] ZHU Y W, LI Y P, LI X, et al. Activities of polysaccharide fractions from corn silk: hemostatic, immune, and anti-lung cancer potentials[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 262(2): 130156.
- [57] ZHANG Y, NIE R N, LIU W X, et al. Sulfation on polysaccharides from *Zizania latifolia* extracted using ultrasound: Characterization, antioxidant and anti-non-small cell lung cancer activities[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2024, 103: 106803.
- [58] ZHANG Y, YAO L M, LIU Y F, et al. Acidic polysaccharide from corn silk: structural & conformational properties and hepatoprotective activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 236: 123851.
- [59] WU Y X, SONG Y, LI R T, et al. The protective effect of two highly branched polysaccharides from corn silk fermented by *Lactobacillus plantarum* against acute liver injury[J]. Carbohydrate Polymers, 2025, 347: 122799.
- [60] 舒涛, 王浩然, 李恩丞, 等. 玉米须多糖对非酒精性脂肪肝大鼠肝脏 miR-146a/NOX4/ROS 通路的影响[J]. 黑龙江医药科学, 2020, 43(4): 10-12.
- SHU T, WANG H R, LI E C, et al. Effects of corn silk polysaccharide on miR-146a/NOX4/ROS pathway in liver of rats with nonalcoholic fatty liver disease[J]. Heilongjiang Medicine and Pharmacy, 2020, 43(4): 10-12.
- [61] 朱蕴文. 玉米须凝血有效部位的筛选及其降糖植物饮料的研究[D]. 吉林: 吉林化工学院, 2023: 49-50.
- ZHU Y W. Screening of effective sites for blood clotting in corn silk and study of hypoglycemic plant beverage[D]. Jilin: Jilin Institute of Chemical Technology, 2023: 49-50.
- [62] 于小磊, 孟鑫, 丁楠, 等. 玉米花丝多糖的提取制备与抑菌作用研究[J]. 中国饲料, 2021(3): 32-36.
- YU X L, MENG X, DING N, et al. Study on the extraction, preparation and bacteriostasis of corn silk polysaccharide[J]. China Feed, 2021(3): 32-36.
- [63] 魏浩. 玉米须多糖对老年痴呆症大鼠学习记忆能力的影响及机制[J]. 中医临床研究, 2022, 14(34): 33-35.
- WEI H. Effects and mechanism of corn silk polysaccharide on learning and memory ability of senile dementia rats[J]. Clinical Journal of Chinese Medicine, 2022, 14(34): 33-35.
- [64] 黄晓梅, 伍兴武, 吴琼峰, 等. 玉米须多糖的提取及其对面条品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(6): 64-67.
- HUANG X M, WU X W, WU Q F, et al. Extraction of corn silk polysaccharides and its effect on noodle quality[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(6): 64-67.
- [65] 张春蕊, 董金泉, 冯雪瑶, 等. 玉米须多糖饮品的研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(17): 9-13.
- ZHANG C R, DONG J Q, FENG X Y, et al. The study of corn silk polysaccharide extraction drink[J]. Food Research and Development, 2014, 35(17): 9-13.
- [66] 延英, 李耿, 王秀丽. 玉米须多糖胶囊的制备[J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(17): 25-27.
- YAN Y, LI G, WANG X L. Preparation of corn stigma polysaccharide capsule[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2010, 16(17): 25-27.
- [67] 滕蓉. 玉米须玫瑰茄复合保健饮料的研制[J]. 山东化工, 2021, 50(20): 36-37, 40.
- TENG R. Development of compound health drink with corn silk and hibiscus sabdariffa[J]. Shandong Chemical Industry, 2021, 50(20): 36-37, 40.
- [68] 刘静波, 林松毅. 玉米花丝软胶囊的制备方法: CN200810050635.7[P]. 2012-01-11.
- LIU J B, LIN S Y. Preparation method of corn silk soft capsule: CN200810050635.7[P]. 2012-01-11.
- [69] 刘静波, 林松毅. 玉米花丝饮品及其制备方法: CN200810050578.2[P]. 2012-01-11.
- LIU J B, LIN S Y. Corn silk beverage and its preparation method: CN200810050578.2[P]. 2012-01-11.
- [70] 吴丝雨, 陈鸿, 余智煜, 等. 羊肚菌多糖的体外消化、酵解特性及泡腾片制备[J/OL]. 食品工业科技. (2024-10-21) [2025-02-20]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024060445>.
- WU S Y, CHEN H, YU Z Y, et al. *In vitro* digestion and fermentation characteristics of *Mochella* polysaccharides and the preparation of effervescent tablets[J/OL]. Science and Technology of Food Industry. (2024-10-21) [2025-02-20]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024060445>.
- [71] 周文君. 龙眼、枸杞、红枣多糖的益生活性及其营养餐粉研发[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 28-30.
- ZHOU W J. Probiotic activity of polysaccharides from Longan, Goji and jujube and development of nutritional meal powder[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2021: 28-30.
- [72] 陈月星, 李慧心, 李亚文, 等. 罗汉果粗多糖的提取工艺优化及其压片糖果的研制[J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 158-165.
- CHEN Y X, LI H X, LI Y W, et al. Optimization of extraction process of crude polysaccharide from *Siraitia grosvenorii* and development of pressed candy[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 158-165.