

蒲公英多糖提取技术及生物活性的研究进展

牛亦婷¹, 刘子彰¹, 包怡红^{1,2}, 李芳菲^{1,2*}, 于莹^{3*}

(1. 东北林业大学 生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 黑龙江省森林食品资源利用重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150040; 3. 黑龙江中医药大学 中医药研究院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 蒲公英多糖具有抗肿瘤、抗氧化、提高免疫力等多种生物活性, 具有较高的药用价值, 通常以超声波辅助浸提法为主要提取方法, 或复合酶解法等提取工艺。对超声波辅助浸提法、酶解法和微波萃取法提取蒲公英多糖及相关优化工艺进行综述, 探讨蒲公英多糖的生物活性作用及相关研究内容, 总结蒲公英多糖在食品中的应用, 并提出其未来研究的趋势。

关键词: 蒲公英; 多糖; 提取工艺; 生物活性; 食品应用

Research Progress in Extraction Methods and Biological Activities of Dandelion Polysaccharide

NIU Yiting¹, LIU Zizhang¹, BAO Yihong^{1,2}, LI Fangfei^{1,2*}, YU Ying^{3*}

(1. College of Life Sciences, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China; 2. Key Laboratory of Forest Food Resource Utilization in Heilongjiang Province, Harbin 150040, Heilongjiang, China; 3. Research Institute of Traditional Chinese Medicine, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: Dandelion polysaccharide with diverse biological activities such as anti-tumor, antioxidant, and immunity-enhancing activities has a high medicinal value. It is usually obtained by the ultrasound-assisted extraction method or complex enzyme hydrolysis method. The ultrasound-assisted extraction, enzymatic hydrolysis, and microwave-assisted extraction methods of dandelion polysaccharides were reviewed. Furthermore, the biological activities and food application of dandelion polysaccharide were summarized. Finally, the future research directions in this field were put forward.

Key words: dandelion; polysaccharide; extraction process; biological activity; food application

引文格式:

牛亦婷, 刘子彰, 包怡红, 等. 蒲公英多糖提取技术及生物活性的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(7): 204-209.

NIU Yiting, LIU Zizhang, BAO Yihong, et al. Research Progress in Extraction Methods and Biological Activities of Dandelion Polysaccharide[J]. Food Research and Development, 2024, 45(7): 204-209.

蒲公英, 又名婆婆丁、黄花地丁, 菊科蒲公英属多年草本植物, 其分布广泛、资源丰富^[1]。蒲公英中多糖含量丰富, 在其根、叶、花中均可获得, 其中根茎中多糖含量最高^[2]。蒲公英多糖包括葡萄糖、果糖、蔗糖、菊

糖等, 多糖含量占蒲公英干重的 30%~50%。多糖是一类重要的生理活性物质, 具有多种药理功能, 如蒲公英多糖具有抗菌、抗氧化、降血糖、降血脂、增强机体免疫等功能。除此之外, 多糖提取是研究多糖生物活性的

基金项目: 教育部东北林业大学省部级大学生创新创业训练计划项目(202110225332); 黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划(UPYSCT-2018235); 黑龙江中医药大学优秀创新人才支持计划(2018RCQ01); 国家自然科学基金项目(32202104); 东北林业大学人才引进科研经费项目(60201520109); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2572021BA09)

作者简介: 牛亦婷(2001—), 女(汉), 本科生, 研究方向: 功能性食品。

*通信作者: 李芳菲, 女, 讲师, 博士, 主要从事林下资源活性成分提取及应用、畜产品加工与贮藏和冷冻肉制品品质控制等方面的研究; 于莹, 女, 副研究员, 博士, 主要从事中药药效物质基础及活性研究。

重要基础,当前已知的多糖提取的方法有很多,如水醇法、超声波辅助浸提法、超滤法、酶解法、酸提法和凝胶柱层析法等^[3]。本文对蒲公英多糖的生物活性、提取工艺和应用进展进行综述,旨在为蒲公英多糖的研究提供参考。

1 蒲公英多糖的提取工艺

当前,蒲公英多糖常采用的提取方法有超声波辅助浸提法、酶解法、微波萃取法等。

1.1 超声波辅助浸提法

超声波辅助浸提活性物质时,当气压达到一定值后产生的空化作用会使溶液中的气泡振动,从而破坏原料细胞,溶出多糖^[4-5]。超声波辅助浸提法的提取条件温和、仪器简单易得、不添加其他有害物质并且提取效率较高^[6],然而超声波的功率、料液比、温度、提取时间对多糖得率均有很大影响。其中,对于优化超声波浸提蒲公英多糖工艺的研究也很多。张静等^[7]确定蒲公英根多糖提取的最优工艺参数为料液比 1:40 (g/mL)、提取温度 80 °C,3 h 内提取 2 次,此时原料的多糖得率可达 8.945%。郭慧静^[8]使用超声波辅助浸提法提取新疆野生蒲公英全草多糖,在超声处理 63 min、温度 73 °C、功率 120 W、料液比 1:25 (g/mL) 条件下,多糖得率可达 14.27%。与热水浸提法相比,超声波辅助浸提法可以缩短提取时间、提高得率。

1.2 酶解法

酶的催化作用使原料分解,该作用方式直接且提取时间短。酶解法中,固态酶相比于液态酶具有耗能低、对环境友好、成本低的优点,但研究鲜见。赵阳等^[9]采用单因素试验结合 Box-Behnken 响应面分析固态酶分解工艺对蒲公英多糖含量的影响,得到的蒲公英最佳固态酶解工艺为果胶酶酶解蒲公英,辅料麸皮添加量 10%、酶解时间 12.3 h、酶解温度 57.6 °C、酶添加量 1 532 U/g、含水量 55%,此条件下的蒲公英多糖产量最高,为 218.21 mg/g。Chen 等^[10]比较了酶解法与超声波辅助浸提法提取蒲公英多糖,结果显示当料液比 1:15 (g/mL)、提取时间 2 h、提取温度 65 °C 时,超声波辅助浸提法的提取效果优于酶解法。使用酶解法提取蒲公英多糖时,由于蒲公英内部结构完好,难以提取,因而提取率不高,但是相比于热水浸提法,酶解法节约了反应时间、减少了资源消耗。

1.3 微波萃取法

微波可以破坏植物原料的细胞壁,使细胞内的多糖析出,微波萃取技术可用于辅助提取蒲公英多糖^[11]。郝艳霜等^[12]采用微波萃取技术对蒲公英多糖进行了提取,结果显示,与常规水煮法相比,微波萃取技术所得到的蒲公英多糖在含量、纯度、提取时间等方面均有较大改善。郭希娟等^[13]通过响应面试验,以蒲公英多糖得率为

指标,优化微波萃取工艺参数,以料液比 1:17 (g/mL) 处理原料 14 min,提取率可达 74.34%。

2 蒲公英多糖的生物活性

2.1 调节肠道菌群活性

很多天然植物多糖对肠道菌群具有良好的调节作用。研究发现,蒲公英多糖也具有调节肠道菌群的作用,但鲜有文献报道。石丹等^[14]用蒲公英多糖治疗小鼠的肠道菌群失调,对比丽珠肠乐治疗剂的治疗效果,探究蒲公英多糖对调节肠道菌群紊乱的影响。通过建立林可霉素诱导的小鼠肠黏膜损伤模型,并在动物水平上对其进行干预,发现蒲公英多糖对林可霉素诱导的小鼠肠黏膜损伤有一定的修复作用。周亚妮等^[15]选择溃疡性结肠炎合并菌群失调小鼠探究蒲公英多糖对肠道调节的作用,采用酶联免疫吸附分析法,对小鼠血清中尿酸、一氧化氮含量、血清中白细胞介素、肿瘤坏死因子的表达进行测定。研究发现,经蒲公英多糖作用后,小鼠肠道内微生物失调得到改善,并认为蒲公英多糖具有调节肠道菌群的功效。

2.2 抗菌活性

蒲公英多糖能够抑制大肠杆菌、沙门氏菌等细菌的活性,同时还能起到抑制细菌生长的效果。Wang^[16]用纤维素酶辅助提取蒲公英水溶性多糖,发现蒲公英总糖含量为 95.6% (质量比)、浓度为 100 mg/mL 时,其对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌有较高的抑制作用。Lin 等^[17]对水溶性蒲公英多糖进行化学修饰后得到羧甲基化衍生物,发现用 10 mg/mL 的多糖及其衍生物处理李斯特菌后,单增李斯特菌群数量减少。随后,将蒲公英多糖和其羧甲基化衍生物掺入聚氧化乙烯 (polyethylene oxide, PEO) 纳米纤维基质中,制备出具有抗菌性的纳米纤维。经试验论证,发现纳米纤维对李斯特菌表现出良好的抗菌效果,其中衍生物纳米纤维的抗菌效果更优。罗琴琪^[18]用二氧化钛纳米管装载蒲公英多糖,以无水乙醇/二甲亚砜 (methyl sulfoxide, DMSO) 作为有机溶剂溶解蒲公英多糖,通过物理吸附法将多糖负载于阳极氧化的钛片,在钛片表面培养牙龈卟啉单胞菌,进行体外抗菌试验,探究它们对于牙龈卟啉单胞菌生长的作用。在经过台盼兰染色后,在显微镜下观察到了细菌的分布情况,发现在装载了蒲公英多糖的试验组中,死亡菌的数量多于对照组,因此认为在二氧化钛上装载了蒲公英多糖的活性涂层能够抑制单胞菌生长,从而起到抗菌作用。李爽等^[19]以纯化蒲公英多糖作为对照组,以乙酰化蒲公英多糖作为试验组,开展大肠杆菌和金黄色葡萄球菌体外抑菌试验,研究发现,乙酰化蒲公英多糖的抗菌性优于蒲公英纯化多糖,且多糖浓度越高,抗菌性越强。这与 Lin 等^[17]发现衍生物抗菌性更强的结论一致。

2.3 抗肿瘤活性

植物多糖还广泛应用于肿瘤抑制领域,对肿瘤和癌细胞的生长有良好抑制作用^[20-23]。Chen等^[10]从蒲公英中提取出了一种新型中性多糖,测出其总糖含量为90.16%,通过评估蒲公英中性多糖对肝癌细胞的抑制作用,发现蒲公英中性多糖具有抗肿瘤活性。Ren等^[24]发现蒲公英多糖在体内、外均能表现出抗肿瘤活性。伤口愈合和Transwell细胞体外侵袭实验的结果显示,蒲公英多糖可以在体外抑制人脐静脉内皮细胞(human umbilical vein endothelial cells, HUVECs)的活动;蛋白质印迹和免疫荧光染色结果显示蒲公英多糖能够抑制缺氧诱导因子。因此,蒲公英多糖在体内、外会通过调节血管内皮生长因子/缺氧诱导因子1 α (vascular endothelial growth factor/hypoxia-inducible factor 1 α , VEGF/HIF-1 α)的表达来发挥抗肿瘤活性。李健等^[25]首次发现蒲公英多糖可以维持机体的铁稳定和抑制肿瘤细胞的增生。在人体肝癌细胞中铁调素异常表达时,蒲公英多糖通过抑制铁调素表达来抑制肝癌和乳腺癌细胞的增生。Zhang等^[26]从蒲公英多糖中分离出具有中等抗肿瘤活性的菊粉果糖以提升菊粉果糖的抗肿瘤活性。同时,用斑马鱼移植肿瘤进行体外抗肿瘤与斑马鱼体内抗肿瘤试验,结果表明,菊粉果糖硒纳米粒子颗粒可以抑制斑马鱼体内肿瘤细胞的增殖与迁移,且相对于菊粉颗粒更加稳定、抗肿瘤活性得到提升。

2.4 提高免疫能力及抗炎活性

近年来,多项研究发现将蒲公英多糖加入饲料中,可以有效增强小鼠、仔鸡、鲤鱼等实验动物的免疫力,间接表明蒲公英多糖对人体免疫能力有增强作用。高慧婕等^[27]研究蒲公英多糖对小鼠免疫功能的影响,发现其可增强小鼠免疫功能。实验采用4组动物模型:一组动物给予生理盐水,即生理盐水组;另一组动物为正常对照组;另两组分别给予相同剂量的环磷酰胺和蒲公英多糖,分别为环磷酰胺组和蒲公英多糖组。每天分别向生理盐水组和环磷酰胺组灌输生理盐水和环磷酰胺,向蒲公英多糖组灌输80 mg/kg的蒲公英多糖,8 d后,对小鼠的免疫应答强度进行了检测,结果显示,小鼠的血清肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor, TNF- α)的表达水平得到提高。王留等^[28]通过对比摄入正常饲料、摄入含黄芪多糖饲料与摄入含蒲公英提取物饲料的肉仔鸡的免疫水平,发现蒲公英提取物可以显著提高肉仔鸡的免疫水平。Ren等^[29]通过观察蒲公英多糖注射处理的H22肿瘤小鼠的脾指数、脾生发中心反应和T细胞活化指数,评估其提高免疫能力的水平。结果表明,蒲公英多糖对小鼠体内免疫功能有提升作用。Yu等^[30]以建鲤饲料为基底,发现随着蒲公英多糖浓度(0.0~2.0 g/kg)的增加,建鲤免疫酶活性、免

疫因子含量有明显提升,结果表明蒲公英多糖可以提高建鲤的机体免疫功能,可进一步应用于水产饲料。此外,还推测蒲公英多糖具有可以增强抗体分泌细胞的功能,促进细胞免疫物质分泌,提升机体免疫功能。但对于蒲公英多糖提高免疫酶活性和免疫因子含量的机理并没有确切说明。赵阳^[31]制备蒲公英粗多糖,并将肉仔鸡分为3组,其中饲喂基础日粮为对照组,两组试验组分别为在基础日粮中添加1 000 mg/kg未酶解蒲公英产物和1 000 mg/kg酶解蒲公英产物,研究饲喂蒲公英酶解物42 d对肉鸡的生产性能及免疫力的影响。结果表明,在肉仔鸡粮中加入蒲公英粗多糖可以提高肉鸡的免疫功能。

近年来,对于植物多糖的抗炎活性研究主要集中在药食同源多糖^[32],蒲公英多糖作为一种具有多种生理活性的药食同源多糖,得到了广泛关注。周亚妮等^[15]建立小鼠溃疡性结肠炎模型,以40只小鼠为研究对象,在林可霉素剂量相同的情况下,对照组与模型组分别给予相同剂量的生理盐水,丽珠肠乐组给予相同的剂量浓度,蒲公英多糖组给予相同剂量的处理。通过测量小鼠体内炎症因子,发现蒲公英多糖组炎症因子水平显著降低,抗炎因子水平升高,说明蒲公英多糖具有一定的抗炎作用。

2.5 抗氧化活性

植物多糖的抗氧化活性体现在两方面。一方面,植物多糖可以直接清除羟基自由基并抑制脂肪氧化。蒲公英多糖可有效清除自由基,达到良好的抗氧化作用^[33]。郭慧静等^[34]发现蒲公英多糖可以显著提升人体的抗氧化能力,且在前期研究中,测定了蒲公英多糖对自由基的清除能力及超氧化物歧化酶活性,发现蒲公英多糖的还原能力与其浓度呈正相关。另一方面,植物多糖可以通过提升抗氧化酶的活性,配合氧化所需的金属离子、降低丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量以提高总抗氧化能力来发挥抗氧化作用^[35]。康文锦等^[36]发现小鼠经过蒲公英多糖灌胃后,体内超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性、总抗氧化能力明显提高、MDA含量显著下降,且小鼠肝脏组织多种超氧化物歧化酶基因的表达量明显提升。这与Zhao等^[37]利用添加蒲公英多糖的日饲料喂养暴露在六价铬下28 d的亚洲蟾蜍,发现蒲公英多糖提高了亚洲蟾蜍体内抗氧化酶活性并促进了抗氧化相关基因的表达,抑制其体内丙二醛的生成的研究结果一致。

2.6 调节血糖活性

糖尿病是一种由多项危险因素共同作用,以血糖升高为主要临床表现的代谢性疾病^[38]。而植物多糖具有降低血糖的生物活性,主要通过以下途径发挥作用:1)抑制应激活化蛋白激酶(c-Jun N-terminal kinase,

JNK)的激活以降低胰岛细胞的凋亡,从而降低体内的血糖;2)抑制胰岛 β 细胞凋亡、保护和修复胰岛 β 细胞以促进胰岛素分泌;3)抑制体内淀粉酶、葡萄糖苷酶的活性,抑制多糖转化为可吸收的单糖^[39]。郭慧静等^[40]对提取的粗多糖进行纯化,以体外抑制 α -葡萄糖苷酶活性为指标,测量蒲公英多糖的降糖活性。结果表明,纯化后多糖对葡萄糖苷酶的抑制较纯化前更强,且随着多糖浓度的增加,抑制能力也随之提高。Wu等^[41]研究发现蒲公英叶多糖具有抑制 α -葡萄糖苷酶的作用,能够有效调节血糖。侯丽然等^[42]研究发现蒲公英多糖具有降低糖尿病小鼠血糖的功能。

3 蒲公英多糖在食品中的应用

蒲公英多糖目前多用于饲料以及药品中,且应用于食品中的多为粗多糖提取物^[43],我国对蒲公英多糖在食品中应用的研究较少,并且多以初加工为主。熊亚琴等^[44]利用从蒲公英中提取的活性成分与灵芝、发芽糙米制成复合饮料,复合饮料具有保健功能,满足功能饮品的品质与口感要求,但其具体功效并未得到验证。邢爽等^[45]以蒲公英多糖含量为指标,设计制作出一款含有蒲公英多糖的糯米糍,确定了蒲公英多糖的浸取时间、添加量与糯米糍制作的最佳工艺条件。宁乐等^[5]利用响应面设计,对蒲公英多糖的提取工艺进行了优化,并在提取的蒲公英多糖的基础上,设计出了一款蒲公英多糖饮料。刘珊珊^[46]以蒲公英为原料,酶解法处理蒲公英后测得多糖得率为32.97%、总黄酮得率为15.03%、抗氧化能力为92.31%,利用酶解液配制的类咖啡风味饮品不仅具有咖啡风味,还具有独特的蒲公英风味,拓宽了蒲公英的利用途径与蒲公英成分深加工产业的发展。

近年来,具有保健功效的多糖口服液产品不断面世,蒲公英多糖以其丰富的生物活性、原料简单易得的优点,也可应用于此类产品中。但目前对蒲公英多糖保健食品的研究较少,开发蒲公英多糖精深加工产品具有广阔的发展前景。Cui等^[47]发现从山苍子中提取出的山苍子精油状态不稳定、易挥发,其作为金黄色葡萄球菌的抗菌剂效果不佳,但使用蒲公英多糖作为负载,通过超声辅助将精油包裹在 β -环状糊精的空腔中,再通过静电纺织将其负载于蒲公英多糖的纳米纤维中,发现精油的抗菌效果得到了提升,具有了更加长效的性能。这说明蒲公英多糖具有用作负载物质的潜质,可与其他有效抗菌物质复合使用。此外,蒲公英提取物中多糖可以被应用于食物保鲜材料的研制,张变玲等^[48]使用醇沉法提取蒲公英活性成分后,将其与壳聚糖复合制成膜材料,并对青椒进行涂膜处理,发现青椒水分流失减少,有效降低了青椒营养成分的损失,蒲公英壳聚糖复合后显著提高了壳聚糖的保鲜效果。

4 结语

蒲公英多糖的提取工艺虽然在不断优化,但仍以单一方法或超声波辅助浸提法为主,酶解法提取工艺与其他工艺复合提取等提取方法仍有待进一步探索与优化。

近年来,虽研发出含有蒲公英多糖的食品,但并没有探究含蒲公英多糖食品在体内是否能够发挥作用,因此其在体内发挥的生理活性仍需进一步研究证实。上述蒲公英多糖在食品行业中的研究表明,蒲公英多糖不仅在食品、饲料等方面有较高价值,其在食品保鲜材料、抑菌材料等方面也具有广阔的研究前景。

参考文献:

- [1] 刘炜熹,陈帅,刘磊,等. 蒲公英多糖的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 214-219.
LIU Weixi, CHEN Shuai, LIU Lei, et al. Research progress on dandelion polysaccharides[J]. Food Research and Development, 2020, 41(10): 214-219.
- [2] 张小洁,丛利家,范红艳. 蒲公英多糖的药理作用研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2015, 36(5): 378-381.
ZHANG Xiaojie, CONG Lijia, FAN Hongyan. Progress in pharmacological effect of dandelion polysaccharide[J]. Journal of Jilin Medical College, 2015, 36(5): 378-381.
- [3] 刘婷,张继秀,李先哲,等. 蒲公英的开发与利用[J]. 沈阳药科大学学报, 2019, 36(5): 450-458.
LIU Ting, ZHANG Jixiu, LI Xianzhe, et al. The progress on development and utilization of dandelion[J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2019, 36(5): 450-458.
- [4] 庄越. 实用药物制剂技术[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1999.
ZHUANG Yue. Practical pharmaceutical preparation technology [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1999.
- [5] 宁乐,郑楠,蔡建岩,等. 蒲公英多糖的提取及其饮料的研制[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 86-89, 94.
NING Yue, ZHENG Nan, CAI Jianyan, et al. Study on extraction of polysaccharide from dandelion and development of its beverage[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(12): 86-89, 94.
- [6] 彭传友,廖立敏. 中心组合设计优化超声波提取枇杷叶多糖研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(12): 9-15.
PENG Chuanyou, LIAO Limin. Study on optimization of ultrasonic extraction of polysaccharides from loquat leaf by center combination design[J]. China Food Additives, 2021, 32(12): 9-15.
- [7] 张静,温暖,刘阳洋,等. 蒲公英根多糖提取及蒲公英多糖饮料的研制[J]. 农产品加工, 2018(1): 13-17.
ZHANG Jing, WEN Nuan, LIU Yangyang, et al. Extraction of polysaccharide from the dandelion root and development of its beverage [J]. Farm Products Processing, 2018(1): 13-17.
- [8] 郭慧静. 蒲公英多糖的提取、分离纯化、鉴定及其生物活性的初步研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2019.
GUO Huijing. Extraction, isolation, purification, characterization and its biological activity of polysaccharide from *Taraxacum mongolicum*[D]. Shihezi: Shihezi University, 2019.
- [9] 赵阳,刘娜,王园,等. 蒲公英多糖酶解辅助提取工艺优化及其单糖组成分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 199-206.
ZHAO Yang, LIU Na, WANG Yuan, et al. Optimization of enzymolysis assisted extraction process of dandelion polysaccharide and its monosaccharide composition analysis[J]. Science and Tech-

- nology of Food Industry, 2021, 42(16): 199-206.
- [10] CHEN X Y, JI H Y, ZHANG C F, et al. Optimization of extraction process from *Taraxacum officinale* polysaccharide and its purification, structural characterization, antioxidant and anti-tumor activity[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14(1): 194-206.
- [11] 马红梅. 藏蒲公英多糖提取工艺及其纳米制剂的免疫试验初步研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- MA Hongmei. Extraction of polysaccharide from *Taraxacum tibetanum* Hand. - mazz and the preliminary study of immunity test about nano preparation of polysaccharide[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
- [12] 郝艳霜, 耿梅英, 冯志华, 等. 蒲公英多糖微波提取工艺试验[J]. 中国兽医杂志, 2009, 45(9): 62-63.
- HAO Yanshuang, GENG Meiyang, FENG Zhihua, et al. Microwave extraction technology of dandelion polysaccharide[J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2009, 45(9): 62-63.
- [13] 郭希娟, 马萍, 刘远洋. 响应面法优化微波辅助提取蒲公英多糖工艺的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2014, 26(3): 40-44, 57.
- GUO Xijuan, MA Ping, LIU Yuanyang. Optimization on microwave-assisted extraction of dandelion polysaccharide by response surface methodology[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2014, 26(3): 40-44, 57.
- [14] 石丹, 张宇. 蒲公英多糖对小鼠肠道微生态的调节作用[J]. 微生物学免疫学进展, 2016, 44(3): 49-53.
- SHI Dan, ZHANG Yu. Investigation of regulation from dandelion polysaccharides on mouse intestinal microecology[J]. Progress in Microbiology and Immunology, 2016, 44(3): 49-53.
- [15] 周亚妮, 郭耀东, 刘成飞, 等. 蒲公英多糖对溃疡性结肠炎合并菌群失调小鼠肠道菌群调节及抗炎作用研究[J]. 生物医学工程与临床, 2022, 26(4): 414-419.
- ZHOU Yani, GUO Yaodong, LIU Chengfei, et al. Regulation and anti-inflammatory effects of dandelion polysaccharide on intestinal microflora in mice with ulcerative colitis combined flora imbalance[J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2022, 26(4): 414-419.
- [16] WANG H B. Cellulase-assisted extraction and antibacterial activity of polysaccharides from the dandelion *Taraxacum officinale*[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 103: 140-142.
- [17] LIN L, ZHU Y L, LI C Z, et al. Antibacterial activity of PEO nanofibers incorporating polysaccharide from dandelion and its derivative[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 198: 225-232.
- [18] 罗琴琪. 二氧化钛纳米管负载蒲公英多糖的生物活性和抗菌性研究[D]. 广州: 暨南大学, 2019.
- LUO Qinqi. Study on biological activity and antibacterial activity of dandelion polysaccharide loaded on titanium dioxide nanotubes[D]. Guangzhou: Jinan University, 2019.
- [19] 李爽, 赵宏, 王宇亮, 等. 蒲公英多糖乙酰化修饰、体外抗氧化及抑菌作用研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 18-25.
- LI Shuang, ZHAO Hong, WANG Yuliang, et al. Antioxidant and anti-bacteria effects of acetylated *Taraxacum mongolicum* polysaccharide[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 18-25.
- [20] 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.
- BIAN Liang, CHEN Huaguo, ZHOU Xin. Recent advances in understanding the antitumor activity of polysaccharides from plants[J]. Food Science, 2020, 41(7): 275-282.
- [21] 程婷婷, 陈贵元. 植物多糖提取及抗肿瘤研究进展[J]. 亚太传统医药, 2022, 18(2): 225-229.
- CHENG Tingting, CHEN Guiyuan. Review on the extraction and anti-tumor of plant polysaccharides[J]. Asia-Pacific Traditional Medicine, 2022, 18(2): 225-229.
- [22] 肖岚, 彭壮, 易健, 等. 玉竹多糖抗肿瘤活性及其机制研究[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(10): 2368-2372.
- XIAO Lan, PENG Zhuang, YI Jian, et al. Study on anti-lung tumor activity and mechanisms of *Polygonatum* polysaccharide[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2018, 29(10): 2368-2372.
- [23] 牛虎. 蒲公英多糖对乳腺癌细胞增殖和凋亡的影响[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- NIU Hu. Effects of polysaccharide from *T. mongolicum* on proliferation and apoptosis of breast cancer cells[D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [24] REN F, WU K X, YANG Y, et al. Dandelion polysaccharide exerts anti-angiogenesis effect on hepatocellular carcinoma by regulating VEGF/HIF-1 α expression[J]. Frontiers in Pharmacology, 2020, 11: 460.
- [25] 李健, 任峰, 杨赞, 等. 蒲公英多糖在制备抑制肝癌细胞血管生成药物中的应用: CN109692182A[P]. 2019-04-30.
- LI Jian, REN Feng, YANG Yun, et al. Application of dandelion polysaccharides in preparation of drugs for inhibiting angiogenesis of hepatocellular carcinoma cells: CN109692182A[P]. 2019-04-30.
- [26] ZHANG S J, SONG Z T, SHI L J, et al. A dandelion polysaccharide and its selenium nanoparticles: Structure features and evaluation of anti-tumor activity in zebrafish models[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 270: 118365.
- [27] 高慧婕, 李晓, 李春霞, 等. 蒲公英多糖对免疫抑制小鼠的免疫增强作用及对 TNF- α 的调节[J]. 济宁医学院学报, 2016, 39(6): 391-394.
- GAO Huijie, LI Xiao, LI Chunxia, et al. Immunoenhancement of taraxacum polysaccharides on immunological function in immunosuppression mice and the regulation of TNF- α [J]. Journal of Jining Medical University, 2016, 39(6): 391-394.
- [28] 王留, 刘秀玲. 蒲公英水提物对肉仔鸡免疫功能和血清抗氧化功能的影响[J]. 饲料研究, 2018(3): 20-23.
- WANG Liu, LIU Xiuling. Effects of dandelion water extract on immune function and serum antioxidant function of broilers[J]. Feed Research, 2018(3): 20-23.
- [29] REN F, LI J, YUAN X, et al. Dandelion polysaccharides exert anticancer effect on hepatocellular carcinoma by inhibiting PI3K/AKT/mTOR pathway and enhancing immune response[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 55: 263-274.
- [30] YU Z, ZHAO L, ZHAO J L, et al. Dietary *Taraxacum mongolicum* polysaccharide ameliorates the growth, immune response, and antioxidant status in association with NF- κ B, Nrf2 and TOR in Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. Aquaculture, 2022, 547: 737522.
- [31] 赵阳. 蒲公英酶解产物的制备及其对肉仔鸡生长性能和免疫功能的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- ZHAO Yang. Preparation of enzymatic hydrolysis products of dandelion and their effects on growth performance and immune function of broilers[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [32] 刘闯, 吴现华, 刘静, 等. 植物多糖抗炎活性机制及其构效关系研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(11): 415-425.
- LIU Chuang, WU Xianhua, LIU Jing, et al. Research progress on anti-inflammatory activity mechanism and structure-activity relationship of plant polysaccharides[J]. Science and Technology of

- Food Industry, 2022, 43(11): 415-425.
- [33] 任汉书, 朱文卿, 郑媛媛, 等. 蒲公英的功能性成分及生物活性研究进展[J]. 食品与药品, 2022, 24(2): 193-201.
REN Hanshu, ZHU Wenqing, ZHENG Yuanyuan, et al. Research progress on functional components and biological activities of taraxaci herba[J]. Food and Drug, 2022, 24(2): 193-201.
- [34] 郭慧静, 陈国刚, 赵志永. 蒲公英多糖的分级醇沉及其降血糖和抗氧化活性研究[J]. 农产品加工, 2021(7): 1-5, 10.
GUO Huijing, CHEN Guogang, ZHAO Zhiyong. Ethanol fractional precipitation of dandelion polysaccharides and its hypoglycemic antioxidant activity[J]. Farm Products Processing, 2021(7): 1-5, 10.
- [35] 宋晨光. 植物多糖抗氧化活性研究进展[J]. 中国果菜, 2022, 42(4): 25-33.
SONG Chenguang. Advances in antioxidant activity of plant polysaccharides[J]. China Fruit & Vegetable, 2022, 42(4): 25-33.
- [36] 康文锦, 徐兴军, 刘佳人, 等. 蒲公英多糖对小鼠体内抗氧化酶活性及相关基因表达的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(12): 5910-5915.
KANG Wenjin, XU Xingjun, LIU Jiaren, et al. Effects of dandelion polysaccharide on antioxidant enzyme activity and related gene expression in mice[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(12): 5910-5915.
- [37] ZHAO L, ZHAO J L, BAI Z H, et al. Polysaccharide from dandelion enriched nutritional composition, antioxidant capacity, and inhibited bioaccumulation and inflammation in *Channa asiatica* under hexavalent chromium exposure[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 201: 557-568.
- [38] 冯兴中. 中医药防治糖尿病临床应用及科学研究述评[J]. 北京中医药, 2022, 41(3): 224-229.
FENG Xingzhong. Clinical application and research review of traditional Chinese medicine in the prevention and treatment of diabetes[J]. Beijing Journal of Traditional Chinese Medicine, 2022, 41(3): 224-229.
- [39] 东韦正. 植物多糖降血糖作用及其机理研究进展[J]. 医学食疗与健康, 2022, 20(12): 145-148.
DONG Weizheng. Research progress on hypoglycemic effect and mechanism of plant polysaccharides[J]. Medical Diet and Health, 2022, 20(12): 145-148.
- [40] 郭慧静, 张伟达, 陈国刚. 蒲公英多糖脱色脱蛋白方法及其降血糖活性研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(3): 24-28.
GUO Huijing, ZHANG Weida, CHEN Guogang. Decoloration and deproteinization of polysaccharides from dandelion and its hypoglycemic activity[J]. Food Research and Development, 2020, 41(3): 24-28.
- [41] WU D T, LI F, FENG K L, et al. A comparison on the physicochemical characteristics and biological functions of polysaccharides extracted from *Taraxacum mongolicum* by different extraction technologies[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2022, 16(4): 3182-3195.
- [42] 侯丽然, 孙丽娜, 侯巍, 等. 蒲公英多糖的提取及降糖作用的研究[J]. 黑龙江医药科学, 2010, 33(6): 36-37.
HOU Liran, SUN Lina, HOU Wei, et al. Extraction and hypoglycemic function of dandelion polysaccharide[J]. Heilongjiang Medicine and Pharmacy, 2010, 33(6): 36-37.
- [43] 王新策, 孙斐, 傅茂润, 等. 蒲公英功能活性及在食品中的应用研究[J]. 中国果菜, 2021, 41(2): 28-33.
WANG Xince, SUN Fei, FU Maorun, et al. Study on the functional activity of dandelion and its application in food[J]. China Fruit & Vegetable, 2021, 41(2): 28-33.
- [44] 熊亚琴, 罗建光. 灵芝发芽糙米蒲公英复合饮料研制[J]. 农产品加工, 2023(2): 5-9.
XIONG Yaqin, LUO Jianguang. Processing technology of dandelion compound beverage made from germinated brown rice fermented by *Ganoderma lucidum*[J]. Farm Products Processing, 2023(2): 5-9.
- [45] 邢爽, 陆宁, 方颂平, 等. 基于多糖的蒲公英糯米糍的研制[J]. 食品工业, 2021, 42(4): 119-124.
XING Shuang, LU Ning, FANG Songping, et al. Development of dandelion glutinous rice dumpling based on polysaccharide[J]. The Food Industry, 2021, 42(4): 119-124.
- [46] 刘珊珊. 类咖啡风味蒲公英根产品研究与开发[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
LIU Shanshan. Research and development of coffee-like flavor dandelion root products[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2018.
- [47] CUI H Y, ZHANG C H, LI C Z, et al. Preparation and antibacterial activity of *Litsea cubeba* essential oil/dandelion polysaccharide nanofiber[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 140: 111739.
- [48] 张变玲, 刘耀成, 周琦, 等. 壳聚糖结合蒲公英提取物涂膜保鲜青椒研究[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2016, 26(4): 60-63.
ZHANG Bianling, LIU Yaocheng, ZHOU Qi, et al. Effect of chitosan combined with dandelion extract coating on green peppers[J]. Journal of Hunan Institute of Engineering (Natural Science Edition), 2016, 26(4): 60-63.

加工编辑:张昱

稿稿日期:2023-05-15