

提取方法对植物多糖生物活性的影响研究进展

Effects of extraction methods on the biological activity of plant polysaccharides

黄仁贵^{1,2} 刘佳^{1,2}

HUANG Ren-gui^{1,2} LIU Jia^{1,2}

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004;

2. 稻谷及副产物深加工国家工程实验室, 湖南 长沙 410004)

(1. College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. National Engineering Laboratory for Rice and By-product Deep Processing, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:植物多糖是一类纯天然生物活性物质,其来源广泛,具有抗肿瘤、免疫调节、降血脂、降血糖、抗氧化、抗疲劳等众多活性功能。多糖的活性受种类、部位以及提取方法等因素影响。文章从植物多糖生物活性的研究现状以及提取方法对生物活性的影响两方面进行综述,以期对多糖活性的探索与利用提供参考。

关键词:植物多糖;提取;生物活性

Abstract: Plant polysaccharides are natural biological active substances, and possess a series of biological activities, including anti-tumor, immune regulation, lowering blood fat, lowering blood sugar, anti oxidation, anti-fatigue. The activities of polysaccharides are influenced by their species, parts, extraction methods and other factors. In order to provide a theoretical reference for the development and utilization of plant polysaccharides, the research status of them and the effects of extraction methods on their biological activities were reviewed in this paper.

Keywords: plant polysaccharides; extraction; bioactivity

多糖(Polysaccharide),又称为多聚糖,是由 10 个及以上的单糖分子通过糖苷键连接形成的一类天然高分子物质,广泛存在于自然界,同核酸、蛋白质和脂质并称为构成生命所必需的四大基本物质,与机体各种生理功能联系紧密。按来源,多糖分为植物多糖、动物多糖与微生物多糖。植物多糖具有抗肿瘤^[1]、免疫调节^[2]、降血脂^[3]、降血糖^[4]、抗氧化^[5]、抗疲劳^[6]等众多活性功能。多糖的生物活性受到植物种类^[7]、部位^[8]及提取方法^[9]等因素的影响。

目前,多糖的提取方法较多,如热水浸提法^[10]、超声波

辅助提取法^[11]、微波辅助提取法^[12]、酶辅助提取法^[13]、超临界萃取法^[14]等。因此,选择合适的方法对多糖进行提取,对维持或者改善其生物活性尤为重要。本文从植物多糖的活性研究及提取方法对活性的影响两方面进行综述,以期对多糖生物活性的探索和利用提供参考。

1 植物多糖的活性研究

1.1 抗氧化

1.1.1 氧化的危害 在食品加工过程中,氧化易引起食品风味、色泽的劣变,甚至导致有毒有害物质的形成。例如,油脂被氧化为醛、酮、酸等物质,产生一种令人不悦的“哈喇味”,严重影响油脂的风味、色泽;而且生成致癌物质,如氢过氧化物、二聚物,反式脂肪酸、醛等^[15]。油脂的氧化受到脂肪酸的组成、水分活度、氧气、光照及温度等因素的影响^[16]。因此,科学地调控油脂贮藏条件,可有效抑制或者减缓油脂氧化,保障品质安全。

正常情况下,机体产生自由基与自由基的清除处于动态平衡状态,但当机体自由基堆积,或者自由基清除能力下降,将会导致氧化应激,使得核酸、蛋白质等生物大分子遭到破坏,导致细胞结构与功能发生改变^[17],进而诱发多种疾病。例如,奶牛的乳房炎症是一种多因素疾病,乳房炎导致奶牛产奶量降低、牛奶品质下降及乳汁中细菌超标^[18],这无疑大大增加了牛奶的生产成本和品质风险。

1.1.2 植物多糖的抗氧化性 抗氧化性是植物多糖的重要生物活性之一,相关研究表明植物多糖具有较好的抗氧化功能。目前,有关抗氧化性研究主要集中在体外抗氧化和体内抗氧化两方面。体外抗氧化性研究主要分为化学法与细胞模型法,其中化学法由于操作简单、成本低廉等因素,出现频率较高;但是化学法没有考虑到新陈代谢中一系列的生理变化过程,难以表明多糖在机体内部的功能活性。

作者简介:黄仁贵,男,中南林业科技大学在读硕士研究生。

通信作者:刘佳(1963—),男,中南林业科技大学教授。

E-mail: liujia3918@csuft.edu.cn

收稿日期:2016-09-05

(1) 体外抗氧化:植物多糖的体外抗氧化性研究,主要有清除自由基(DPPH、羟自由基、超氧自由基等)、还原力及细胞模型抗氧化能力评价。Chen 等^[19]研究了猪牙花多糖的抗氧化性,结果证实猪牙花多糖具有一定的抗氧化功效。Yuan 等^[20]从桑叶中提取、分离出 MLP-3a、MLP-3b 两种多糖并进行了体外抗氧化研究,结果表明两种多糖均具有良好的螯合 Fe²⁺ 以及清除 DPPH、羟自由基和超氧自由基能力,揭示出桑叶多糖作为天然抗氧化剂的潜力。山药是一种药食两用植物,从中分离出的多糖具有较好的自由基清除效果,并在所研究浓度范围内呈现出量效关系,当浓度为 400 μg/mL 时,对 DPPH 的清除率达到 83.21%^[21]。从啤特果分离出的多糖,也具有明显的清除自由基能力,揭示出啤特果多糖在食品和医药工业的应用潜力^[22]。扶雄等^[23]利用细胞模型法,评价了鸡骨草多糖的抗氧化能力,结果表明 ACPa、ACPb 两种多糖质量浓度分别达到 6.25 μg/mL 与 100.00 μg/mL 时,细胞模型抗氧化能力评价方法(Cellular antioxidant activity, CAA)的值达到 20,在此基础增加多糖浓度,CAA 值无显著变化。

(2) 体内抗氧化:体内抗氧化研究,主要依靠构建动物模型,评价机体过氧化产物以及与抗氧化相关酶的活性,反映受试物的体内抗氧化效力。莲藕是中国一种重要的水生蔬菜,罗登宏等^[24]研究了莲藕多糖在小鼠体内的抗氧化能力,研究显示莲藕多糖可显著提高小鼠重要组织中超氧化物歧化酶(SOD)活力,明显降低脂质过氧化产物丙二醛(MDA)含量,表明莲藕多糖在体内具有明显的抗氧化效果。当以 0.4、0.3 g/kg 白扁豆多糖溶液灌胃小鼠,可提高小鼠血清中 SOD 和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性,与对照组比较具有统计学差异^[25]。

1.2 降血糖

糖尿病(diabetes mellitus,DM),是由胰岛素分泌不足或者生物效力降低所致,可引起代谢紊乱,以血糖升高或者糖尿为主要症状。与传统治疗糖尿病的方法口服降糖药或者胰岛素治疗相比,植物多糖具有来源广,毒副作用小等优势,有着更大的发展前景^[26]。

Gao 等^[27]利用链脲霉素(STZ)构建糖尿病动物模型,研究了仙人掌多糖(ODFP)的降糖活性,通过组织病理学研究显示,仙人掌多糖可显著提高小鼠胰岛组织的完整性,表明 ODFP 具有一定的降糖功效。从油茶籽中分离得到的多糖,用于对四氧嘧啶造模的高血糖小鼠腹腔注射,探究得出油茶籽多糖具有一定的降血糖功效,并分析指出油茶籽多糖对 DPPH 在体内体外均有一定程度的清除力^[28]。石玉涛等^[29]通过研究两种茶叶多糖对造模后小鼠的降血糖作用,表明两种茶叶多糖可提高小鼠的葡萄糖耐量、胸腺指数与脾脏指数,促进小鼠胸腺和脾脏的发育,两种茶叶多糖具有明显的降血糖作用。

1.3 免疫调节

免疫应答、免疫器官、免疫细胞及免疫分子等组成了免疫系统^[30],当人体执行识别和消灭病毒、细菌等外来异物的防御机制免疫系统受损,易导致免疫力低下患者生病^[31],危

害健康。因此,增强机体免疫调节能力,对维持机体健康有着十分重要的意义。汪名春等^[32]从莴苣茎提取出水溶性多糖,在小鼠巨噬细胞 RAW264.7 给药试验研究中显示,莴苣茎水溶性多糖可明显提高巨噬细胞活力和吞噬能力,刺激巨噬细胞产生 NO。桔梗多糖可增加由环磷酸腺苷诱导的免疫抑制小鼠脾脏、胸腺指数,提高血清白介素-2(IL-2)、肿瘤坏死因子-α(TNF-α)含量,增强免疫功能^[33]。Du 等^[34]研究了沙枣果肉中多糖的免疫调节活性,结果表明 EAP、EAP-1a 和 EAP-1b 3 种多糖可刺激巨噬细胞释放 NO,提高巨噬细胞的吞噬活性,并在研究浓度范围内具有剂量效应。Li 等^[35]研究表明黄芪多糖利于脾淋巴细胞增值,具有显著免疫调节活性。

植物多糖还具有抗疲劳^[36-37]、降血脂^[38-39]、抗肿瘤^[40]等生物活性,在食品与医药工业中有着巨大的发展潜力。目前,对植物多糖的生物活性研究,主要集中在功能评估,而对于多糖具有相应生物活性的机理研究较少,有待进一步研究与探索。

2 提取方法对植物多糖活性的影响

2.1 对多糖得率的影响

表 1 列举了提取方法对植物多糖得率的影响。

由表 1 可知,与传统的热水浸提法相比,酶法提取、微波提取、超声波提取、超临界萃取以及超声波—酶法提取的得率普遍提高,分离效果更好。在竹荪^[41]、桑葚^[46]及白茅根^[47]多糖的提取研究中,超声—复合酶法提取的得率均高

表 1 提取方法对多糖得率的影响

Table 1 Effect of extraction methods on the yield of polysaccharides

文献	多糖来源	提取方法	多糖得率/%
[41]	竹荪	热水浸提法	9.77
		超声波法	6.64
		复合酶法	11.27
		超声复合酶法	16.35
[42]	桔梗	热水浸提法	25.57
		超声波提取法	34.16
		微波提取法	31.30
[43]	芦荟	超临界 CO ₂ 萃取	85.10
[44]		复合酶法	5.65
[45]		微波法	3.42
[46]	桑葚	酶法提取	14.77
		超声提取	14.49
		酶—超声联合提取	16.86
[47]	白茅根	纤维素酶法提取	2.05
		超声波提取	1.51
		超声波—酶法提取	2.52
[48]	鼓槌石斛	热水提取	6.73
		纤维素酶辅助提取	8.41

于超声波法、复合酶法提取,表明二者联合对竹荪、桑葚及白茅根多糖具有更好的提取效果。在芦荟多糖的提取研究中,超临界萃取法的多糖得率远高于复合酶法、微波法提取的得率^[43-45],但此法成本高,不利于大量提取。酶法提取利用酶软化细胞壁,降低多糖溶出进入溶剂的难度,从而提高提取效率,常用的有果胶酶、纤维素酶及木瓜蛋白酶等;超声波提取,是利用超声波巨大的空化作用与强烈的振动,加速预提取成分进入溶剂,利于提取。酶法提取与超声波提取相比,具有反应条件温和、耗能少及对设备要求低等优势^[44]。

2.2 对多糖抗氧化性的影响

多糖的提取方法较多,每种方法均有相应的特点,得出的多糖具有不同的抗氧化功效。蛹虫草经沸水浴、超声波和微波 3 种方法提取后制成精多糖,当其浓度为 1.0 mg/mL 时,由 3 种方法得到的多糖对羟自由基的清除率分别为 95.36%,74.46%,97.11%,超声波法得到的蛹虫草多糖对羟自由基的清除效果相对较差^[49]。采用超声波辅助法与热水浸提法提取槐米多糖,前者提取的多糖对超氧自由基和羟自由基的清除率分别为 70.78%,75.34%,热水浸提的多糖相应清除率分别为 62.28%,70.45%,前者的抗氧化性略高于后者^[50]。在龙眼多糖的提取与抗氧化研究中,酶提法得到的龙眼多糖抗氧化效果最好,超声波法次之,碱提法得到的多糖抗氧化效果相对较差^[51]。陈卫云等^[52]对比了超声波微波酶解协同提取与热水提取两种方法得到的多糖的抗氧化性,发现超声微波酶解协同提取的荔枝多糖的总抗氧化力和清除 DPPH、ABTS⁺ 自由基的能力分别是热水法的 2.00,6.40,7.83 倍。

多糖的活性功能与其结构密切相关,受到多糖分子量、糖苷键、化学组成及立体构象等因素的影响^[53]。酶提取法反映条件温和、能够较大幅度地保持多糖结构的完整性,维持多糖的抗氧化功能。Chen 等^[54]研究了酶法提取与无酶提取得到黄芪多糖的抗氧化功效,结果显示酶法提取的抗氧化能力约为无酶提取的 2 倍。但是,酶法提取成本较高,对反应温度、作用时间、体系 pH 值及浓度等因素比较敏感。超声波法提取可在一定程度提高多糖提取的效率,而其作用较为剧烈,对多糖的结构可能存在一定的破坏性,从而影响多糖的活性功能。从天然产物中提取具有效果良好的抗氧化剂,对现代食品与医药业具有十分重要的意义;因此,寻找科学合理的多糖提取方法,对天然抗氧化剂的研究与应用显得尤为重要。

2.3 对多糖降血糖活性的影响

为抗击高血糖这一健康杀手,从天然产物中提取具有降血糖功能性物质具有深远意义。邢东旭等^[55]对比研究了热水浸提与微波两种方法提取桑叶多糖对降血糖功效的影响;结果表明,微波多糖组具有更好的降血糖效果,其中微波萃取多糖的高剂量组可极显著降低小鼠血糖浓度,基本恢复胰岛细胞的正常形态,血清中 SOD 活性和血清、肝脏中的 MDA 含量与正常组无明显差别,说明微波提取较热水浸提可获得更高降血糖活性的桑叶多糖。利用水提醇沉与超滤两种工艺从番石榴中获得 2 种多糖,二者均能显著降低小鼠血糖浓度,有效缓解糖尿病小鼠多饮多食的习性,改善小鼠

外观与精神状态^[56]。利用不同的溶剂分级提取的绿茶多糖,得到水溶性多糖、草酸盐溶多糖和碱溶性多糖 3 种多糖,降血糖活性研究^[57]表明水溶性绿茶多糖降血糖效果最好,酶提茶多糖与水提茶多糖降血糖活性差异显著,且酶提茶多糖效果更加明显。植物多糖降血糖的作用机理,可能是改善了胰岛 β 细胞的功能,促进肝糖原合成以降低血糖浓度或者降低对胰岛素的要求^[58]。

2.4 对多糖免疫活性的影响

宫春宇等^[59]研究了龙须菜多糖的提取工艺及免疫活性,结果表明室温浸提的多糖较高温高压浸提的多糖更能刺激淋巴细胞的增值,具有更强的免疫活性,可能是高温高压促进了杂质的溶出,抑制了多糖的免疫活性。朱地琴等^[60]更加具体地研究了提取温度对龙须菜粗多糖免疫活性的影响,发现 100 ℃ 条件下提取多糖的免疫活性仅为 50 ℃ 的 70% 左右,此研究结果与文献^[59]一致。在 60 ℃ 条件下,姜玥等^[61]考察了利用超声波辅助提取和热水提取得到多糖的免疫活性,发现在 200 μ g/mL 和 400 μ g/mL 时,超声波辅助提取茯苓多糖对巨噬细胞的增值作用、刺激小鼠腹腔分泌 TNF- α 效果均显著优于水提茯苓多糖,表明超声波辅助提取的茯苓多糖具有更强的免疫调节活性。

另外,植物多糖的提取方法对多糖降血脂^[62]、抗肿瘤、抗菌功效亦存在一定程度的影响,彭梅等^[63]研究了热水浸提法和超声波辅助提取法对仙茅多糖提取率及抗肿瘤活性的影响,结果显示多糖抑瘤率分别为 64.50% 和 51.10%,热水提取法获得的多糖具有更强的抗肿瘤活性。在提取方法对柿多糖生物活性影响的研究中,报道^[64]称不同提取方法对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌抑制作用不同,其中由微波法与超声波法获得的多糖抑制效果优于碱提、酸提、反复冻融、水提取的效果,水提多糖的抑菌能力最低。

3 结语

中国在植物多糖方面的研究虽起步较晚,但近年来取得了巨大进展,目前已从不同植物提取出 300 余种多糖,并对上百种多糖进行了结构与生物活性研究^[65]。但是,与多糖相关的研究并非仅停留在开发更多活性多糖来源的横向发展,应当加强对多糖抗氧化、抗疲劳、降血脂等功能的机理研究,纵向深层次发展。植物多糖结构复杂,对任何结构的修饰以及不同位置的修饰都有可能改变分子量、链构象、黏度值等,从而改变活性功能。不同的提取方法均有各自的特点,会在一定程度影响多糖链构象、黏度值等,影响多糖生物活性。因此,采用科学合理的提取方法,尽可能维持多糖结构的完整性,对保证多糖相应高效生物活性至关重要。另外,通过对多糖结构的修饰也可影响相应生物活性,例如富硒茶叶多糖^[66]、多糖硫酸化^[67],都在不同程度改善了多糖抗氧化性质。不论修饰过的多糖具有多么强的活性功能,对其进行严谨、科学的毒理学评价都是必不可少的。

参考文献

[1] 李冠业. 龙葵多糖分离纯化、结构鉴定及抗 H22 肿瘤活性研究

[D]. 南京：南京农业大学，2010：63-69.

[2] 胡日查. 黄秋葵多糖分离、纯化及其免疫调节活性研究[D]. 海口：海南大学，2015：30-72.

[3] 韦璐，秦小明，林华娟，等. 金花茶多糖的降血脂功能研究[J]. 食品科技，2008(7)：247-249.

[4] 唐华丽，孙桂菊，陈忱. 枸杞多糖的化学分析与降血糖作用研究进展[J]. 食品与机械，2013，29(6)：244-247，252.

[5] 亓树艳，王荔，莫晓燕. 大枣多糖的提取工艺及抗氧化作用研究[J]. 食品与机械，2012，28(4)：117-120.

[6] 王佳. 人参多糖抗疲劳和抗抑郁作用及其机制的研究[D]. 长春：东北师范大学，2010：40-55.

[7] 王士苗. 不同南瓜品种果实提取物降血糖作用研究[D]. 新乡：河南科技学院，2015：9-41.

[8] 王寅秀. 不同部位人参中多糖含量随海拔变化规律及其活性比较研究[D]. 长春：吉林农业大学，2011：31-38.

[9] 高行恩，王洪新. 不同提取方法对山药多糖含量及其体外抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业，2015，41(7)：256-262.

[10] 傅冬和，张影，曾婷玉，等. 洋葱水溶性多糖的提取工艺研究[J]. 食品与机械，2013，29(1)：125-127.

[11] ZHU Cai-ping, ZHAI Xi-chuan, LI Lin-qiang, et al. Response surface optimization of ultrasound-assisted polysaccharides extraction from pomegranate peel[J]. Food Chemistry, 2015, 177: 139-146.

[12] 张雪春，田智宇，王振兴，等. 核桃青皮多糖微波辅助提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械，2016，32(7)：146-151.

[13] 石奇. 酶辅助提取金银花中绿原酸与多糖的工艺研究[J]. 应用化工，2015，44(7)：1 268-1 271.

[14] 马成林. 铁皮石斛叶超临界 CO₂ 萃取、成分分析及免疫功能初步研究[D]. 南京：南京农业大学，2014：15-36.

[15] 曹文明，薛斌，袁超，等. 油脂氧化酸败研究进展[J]. 粮食与油脂，2013，26(3)：1-5.

[16] 张明成. 油脂氧化机理及抗氧化措施的介绍[J]. 农业机械，2011(8)：49-52.

[17] 罗成，周达，鲁晓翔. 天然产物抗氧化机理的研究进展[J]. 食品工业科技，2009，30(4)：335-339.

[18] 吴永霞，董国忠，贾亚伟. 氧化应激对奶牛的危害及其防治[J]. 中国饲料，2011(4)：32-35.

[19] CHEN Chun-li, RENA Kasimu, XIE Xiang-yun, et al. Optimised extraction of Erythronium sibiricum bulb polysaccharides and evaluation of their bioactivities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 82(10)：1-7.

[20] YUAN Qing-xia, XIE Yu-feng, WEI Wang, et al. Extraction optimization, characterization and antioxidant activity in vitro of polysaccharides from mulberry (Morus alba L.) leaves[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 128(5)：52-62.

[21] JU Ying, XUE Yan, HUANG Jian-lei, et al. Antioxidant Chinese yam polysaccharides and its pro-proliferative effect on endometrial epithelial cells[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 66(1)：81-85.

[22] WANG Yong-gang, WANG Fan, MA Xue-qing, et al. Extraction, purification, characterization and antioxidant activity of polysaccharides from Piteguo fruit[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 77(9)：467-475.

[23] 扶雄，吴少微，孟赫诚，等. 鸡骨草多糖的分离纯化及抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技，2013，29(7)：1 559-1 564.

[24] 罗登宏，周桃英，袁仲，等. 莲藕多糖的降血糖活性及对体内抗氧化能力的影响[J]. 安徽农业科学，2011，39(6)：3 334-3 335，3 385.

[25] 弓建红，许小华，王俊敏，等. 白扁豆多糖对正常小鼠体内抗氧化和免疫实验研究[J]. 食品工业科技，2010，31(9)：337-338.

[26] 刘月冉，耿越. 植物多糖降血糖作用机制研究[J]. 食品与药品，2012，14(1)：64-67.

[27] GAO Jie, HAN Yu-lu, JIN Zheng-yu, et al. Protective effect of polysaccharides from Opuntia dillenii Haw. fruits on streptozotocin-induced diabetic rats [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 124(1)：25-34.

[28] 张宽朝，马皖燕，文汉. 油茶籽多糖降血糖作用的初步研究[J]. 食品工业科技，2014，35(2)：337-339，345.

[29] 石玉涛，余志，陈玉琼，等. 2 种茶叶多糖降血糖效果的比较[J]. 华中农业大学学报，2015，34(2)：113-119.

[30] 陈佩杰. 急性运动对机体免疫系统的影响[J]. 上海体育学院学报，2000，24(1)：41-46.

[31] 邓丽梅，刘征彦. 中医补阳法在治疗免疫力低下中的应用[J]. 内蒙古中医药，2016(4)：34-35.

[32] 汪名春，聂陈志鹏，朱培蕾，等. 莴苣茎水溶性多糖的单糖组成及免疫调节活性研究[J]. 食品与机械，2016，32(5)：148-151，219.

[33] 贾林，陆金健，周文雅，等. 桔梗多糖对环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠的免疫调节[J]. 食品与机械，2012，28(3)：112-114.

[34] DU Hong-tao, CHEN Jun-cheng, TIAN Shan, et al. Extraction optimization, preliminary characterization and immunological activities in vitro of polysaccharides from Elaeagnus angustifolia L. Pulp[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 151: 348-357.

[35] LI Rui, CHEN Wei-chang, WANG Wei-peng, et al. Extraction, characterization of Astragalus polysaccharides and its immune modulating activities in rats with gastric cancer[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 78(4)：738-742.

[36] NI Wei-hua, GAO Ting-ting, WANG Hai-liang, et al. Anti-fatigue activity of polysaccharides from the fruits of four Tibetan plateau indigenous medicinal plants[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2013, 150(2)：529-535.

[37] TAN Wei, YU Ke-qiang, LIU Yan-yan, et al. Anti-fatigue activity of polysaccharides extract from Radix Rehmanniae Preparata[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, 50(1)：59-62.

[38] 黄明圈，上官新晨，徐明生，等. 青钱柳多糖降血脂作用的研究[J]. 江西农业大学学报，2011，33(1)：157-161.

[39] 张赛男. 金线莲多糖降血脂功能的实验研究[J]. 云南中医中药杂志，2014，35(12)：64-66.

[40] 张峰，高群，孔迅雷，等. 黄精多糖抗肿瘤作用的实验研究[J]. 中国实用医药，2007，2(21)：95-96.

[41] 张素斌，李晓平. 竹荪多糖提取方法的比较研究[J]. 食品工业科技，2013，34(14)：246-250.

[42] 于侃超，杨晓杰，李娜，等. 桔梗多糖提取方法的比较[J]. 高师理科学刊，2014，34(3)：71-73.

[43] 朱俊玲, 卢智. 超临界 CO₂萃取芦荟多糖工艺的优化[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 5 794-5 795.

[44] 李亚辉, 马艳弘, 黄开红, 等. 响应面法优化复合酶提取芦荟多糖工艺及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 63-68.

[45] 安胜欣, 王纪纪, 唐小琼, 等. 微波辅助提取芦荟多糖的研究[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2012, 32(3): 37-40.

[46] 刘胜利, 刘晓露, 黄锁义, 等. 桑葚多糖提取方法的比较[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(5): 2 699-2 700, 2 705.

[47] 丘丹萍, 邹勇芳, 黄锁义, 等. 白茅根多糖提取方法的比较研究[J]. 中国酿造, 2010(1): 108-110.

[48] PAN Li-hua, WANG Jian, YE Xing-qian, et al. Enzyme-assisted extraction of pol-ysaccharides from *Dendrobium chrysotoxum* and its functional properties and immunomodulatory activity[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2): 1 149-1 154.

[49] 翁梁, 温鲁, 杨芳, 等. 不同提取方法对蛹虫草多糖抗氧化性的影响[J]. 食品科技, 2008, 33(11): 180-182.

[50] 范巧宁, 赵珮, 高晓梅, 等. 不同提取方法对槐米多糖抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(21): 273-277.

[51] 赵晨淦, 刘钧发, 冯梦莹, 等. 不同提取方法对龙眼多糖性质的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(10): 1 298-1 301, 1 305.

[52] 陈卫云, 张名位, 魏振承, 等. 不同方法提取荔枝多糖抗氧化活性的比较[J]. 食品工业科技, 2012(4): 192-194, 199.

[53] QI Hui-min, ZHAO Ting-ting, ZHANG Quan-bin, et al. Antioxidant activity of different molecular weight sulfated polysaccharides from *Ulva pertusa* Kjellm (Chlorophyta)[J]. Journal of Applied Phycology, 2005, 17(6): 527-534.

[54] CHEN Hua-guo, ZHOU Xin, ZHANG Jun-zeng. Optimization of enzyme assisted extraction of polysaccharides from *Astragalus membranaceus*[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 111(5): 567-575.

[55] 邢东旭, 廖森泰, 刘吉平, 等. 热水浸提和微波萃取桑叶多糖的药效比较及降血糖机制初探[J]. 蚕业科学, 2008, 34(3): 529-533.

[56] 吴建中, 郭开平, 陈静, 等. 番石榴多糖的降血糖作用研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(6): 80-82.

[57] 王元凤, 金征宇. 不同溶剂分级提取的茶多糖的组成及降血糖活性[J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(5): 813-817.

[58] 杨少波, 张其安, 王娟. 降血糖天然食品资源及其降血糖机理研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 211-215.

[59] 宫春宇, 张劲松, 唐庆九, 等. 室温下龙须菜多糖提取工艺及免疫活性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(10): 38-41.

[60] 朱地琴, 潘迎捷, 唐庆九, 等. 不同提取水温对龙须菜多糖的得率、组成和免疫活性的影响[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2012, 31(5): 395-401.

[61] 姜玥, 潘利华, 罗建平. 超声辅助提取对茯苓多糖免疫活性的影响[J]. 食用菌学报, 2012, 19(4): 79-82.

[62] 翟蓉, 吕丽爽, 金邦荃. 何首乌多糖降血脂作用的研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 87-90, 101.

[63] 彭梅, 唐健波, 肖雄, 等. 提取方法对仙茅多糖提取率及抗肿瘤活性的影响[J]. 中成药, 2014, 36(9): 1 985-1 988.

[64] 张雅利, 梁花香, 曹娜. 提取方法对柿多糖提取率及生物活性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(6): 18-22.

[65] 陈丽华. 龙眼壳多糖的提取、分离纯化与性质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 1.

[66] WANG Yuan-feng, LI Yong-fu, LIU Yang-yang, et al. Extraction, characterization and antioxidant activities of Se-enriched tea polysaccharides[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 77(2): 76-84.

[67] CHEN Yi, ZHANG Hui, WANG Yuan-xing, et al. Sulfated modification of the polysaccharides from *Ganoderma atrum* and their antioxidant and immunomodulating activities[J]. Food Chemistry, 2015, 186(1): 231-238.

(上接第 165 页)

HPD-722 4 种树脂吸附能力最强。通过动态吸附试验比较这 4 种树脂可得出, HPD-722 树脂对头花蓼多酚有较高的吸附量, 而且易于解吸, 其产物总多酚含量高, HPD-722 树脂更适合于头花蓼总多酚的分离提纯。通过对 HPD-722 大孔吸附树脂进行动态工艺参数研究, 可得出体系最佳优化条件为: 上样浓度控制在 2.0~4.5 mg/mL, 上样流速为 2 BV/h, 用体积为 7.5 BV 树脂体积的 50%乙醇溶液集中洗脱。本研究仅纯化头花蓼总多酚, 其总多酚中所含的成分等有待进一步的检测鉴定。

参考文献

[1] 贵州省食品药品监督管理局. 贵州省中药材民族药材质量标准[S]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003: 147.

[2] 王洪平, 曹芳, 杨秀伟. 头花蓼地上部分的化学成分研究[J]. 中草药, 2013, 44(1): 24-30.

[3] 张丽娟, 廖尚高, 詹哲浩, 等. 头花蓼酚酸类化学成分研究[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(8): 1 946-1 947.

[4] 刘瑜新, 宋晓勇, 康文艺, 等. 头花蓼对多重耐药金黄色葡萄球

菌抗菌作用研究[J]. 中成药, 2014, 36(9): 1 817-1 821.

[5] 曹芳, 谭辉, 邓先扩. 头花蓼化学成分及其黄酮类化合物含量的研究进展[J]. 黔南民族医专学报, 2012, 25(2): 121-125.

[6] 李占彬, 杨鸿波, 谭红, 等. 贵州特色中药头花蓼中六种酚酸类有效成分的 HPLC—MS/MS 同时测定[J]. 时珍国医国药, 2015, 26(4): 850-852.

[7] 熊建华, 汤凯洁, 罗秋水, 等. 大孔吸附树脂纯化金银花叶总多酚的工艺优化[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 52-55, 67.

[8] 唐丽丽, 刘邻渭, 孙丽芳, 等. 大孔树脂对石榴皮中多酚物质的吸附研究[J]. 食品与机械, 2011, 32(5): 48-51.

[9] 封帆, 张永萍, 宋信莉, 等. 大孔吸附树脂纯化丹参总酚酸的工艺研究[J]. 中南药学, 2011, 1(1): 27-30.

[10] 崔紫姣, 张彩云, 刘彬彬, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定甜茶总多酚含量[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(3): 158-160.

[11] 居正英, 赵慧芳, 吴文龙. Folin-Ciocalteu 比色法测定测定核桃青皮中多酚含量条件的优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 122-125.

[12] 牛广财, 闫公昕, 朱丹, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定沙棘酒中总多酚含量的工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 80-83, 142.