

皂角米多糖纯化工艺及吸湿保湿特性研究

蒲龙林¹ 姚秋萍^{1,2} 吴雯雯¹ 杨 静¹ 严 敏^{1,2}

(1. 贵州民族大学民族医药学院, 贵州 贵阳 510025;

2. 贵州少数民族医药资源开发与利用国家民委重点实验室, 贵州 贵阳 510025)

摘要: [目的] 探究皂角米多糖的纯化工艺及其吸湿、保湿特性。 [方法] 通过静态吸附—解吸试验, 考察 8 种不同极性大孔树脂对皂角米多糖吸附率和解吸率的影响, 筛选出最佳大孔树脂。以吸附、解吸效果为指标, 探究大孔树脂纯化皂角米多糖工艺参数。以丙三醇、海藻酸钠和壳聚糖为对照, 测定皂角米多糖在相对湿度 43%, 81% 时的吸湿性能以及在相对湿度为 43% 和干燥硅胶环境下的保湿性能。 [结果] 最佳大孔树脂为 D101; 皂角米多糖的最佳纯化工艺为上样质量浓度 2.00 mg/mL, 上样流速 2 BV/h, 上样体积 1.5 BV, 洗脱剂体积分数 70%, 洗脱剂体积 2 BV, 此时皂角米多糖含量从 51.90% 提高至 82.40%。在相对湿度 43%, 81% 下放置 60 h, 皂角米多糖吸湿率分别为 $(20.35 \pm 0.006)\%$, $(36.56 \pm 0.005)\%$; 在相对湿度 43%、干燥硅胶环境下放置 60 h, 皂角米多糖保湿率分别为 $(84.66 \pm 0.014)\%$, $(60.18 \pm 0.007)\%$ 。 [结论] 皂角米多糖可以通过大孔树脂进行纯化, 且具有良好的吸湿保湿性能。

关键词: 皂角米多糖; 大孔树脂; 纯化工艺; 吸湿性; 保湿性

Study on purification process and moisture absorption and moisture retention characteristics of *Gleditsia sinensis* seed polysaccharides

PU Longlin¹ YAO Qiuping^{1,2} WU Wenwen¹ YANG Jing¹ YANG Min^{1,2}

(1. School of Ethnic Medicine, Guizhou Minzu University, Guiyang, Guizhou 510025, China;

2. Key Laboratory of Development and Utilization of Ethnic Minority Medical Resources State

Ethnic Affairs Commission, Guiyang, Guizhou 510025, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to optimize the purification process and evaluate the moisture absorption and retention properties of *Gleditsia sinensis* seed polysaccharides. [Methods] The adsorption and desorption performance of eight macroporous resins with varying polarities were compared using a static adsorption-analysis test to identify the optimal resin. Purification parameters for the selected resin were optimized based on adsorption and desorption efficiency. Moisture absorption and retention properties were evaluated under conditions of 43% and 81% relative humidity and in a dry silica gel environment, using glycerol, sodium alginate, and chitosan as references. [Results] D101 resin demonstrated the best purification performance. The optimal purification concentration of 2.00 mg/mL, a flow rate of 2 BV/h, a sample volume of 1.5 BV, an eluent concentration of 70%, and an eluent volume of 2 BV. Under the control of these conditions, the polysaccharide content increased from 51.90% to 82.40%. The moisture absorption rates of the polysaccharides were $(20.35 \pm 0.006)\%$ and $(36.56 \pm 0.005)\%$ at 43% and 81% relative humidity, respectively. The moisture retention rates were $(84.66 \pm 0.014)\%$ and $(60.18 \pm 0.007)\%$ under 43% relative humidity and dry silica gel conditions, respectively. [Conclusion] *G. sinensis* seed polysaccharides can be effectively purified using macroporous resin and exhibit excellent moisture absorption and retention properties, highlighting their potential for various applications.

Keywords: *Gleditsia sinensis* seed polysaccharides; macroporous resin; purification process; hygroscopicity; moisture retention

皂角米, 又名雪莲子、皂角仁, 为蔷薇目豆科植物皂角米可入药, 对于癌症有一定治疗效果, 如抗乳腺癌^[2]、诱导肝癌细胞凋亡^[3]等。多糖为皂角米的主要成分, 可以降低

基金项目: 贵州省科技计划项目(编号: 黔科合支撑[2021]一般 136); 贵州省林业科学基础研究项目(编号: 202109)

通信作者: 姚秋萍(1977—), 女, 贵州民族大学教授, 博士。E-mail: wonderyqp@aliyun.com

收稿日期: 2024-03-08 改回日期: 2024-12-08

低淀粉食品的升糖指数^[4],具有抗糖尿病及其并发症^[5]、抗病毒^[6]、抗菌消炎^[7]、降脂^[8]等作用。皂角米多糖作为一种新型的半乳甘露聚糖资源^[9-10],其结构和功能上与商业用途的瓜尔豆胶、刺槐豆胶等相似,可作为增稠剂、稳定剂和絮凝剂应用于食品、医药等领域。

目前,有关皂角米多糖的研究主要集中在提取工艺上,如热水浸提法、酶法等^[11],但提取的粗多糖中常含有色素、蛋白质等杂质^[12],影响了后续的分离纯化。大孔树脂为多孔微球立体,其吸附效果好^[13],同时还具有脱色、脱蛋白的双重作用^[14],被广泛用于多糖、多酚等纯化工艺中,如张宏妍等^[15]采用大孔树脂 D135 纯化百合多糖,纯度达到 89.62%,纯化产率为 75.57%;吴萍香等^[16]利用大孔树脂 D101 纯化艾草多酚,多酚纯度由 21.42% 提升到 69.19%。

多糖类物质结构中常含有大量羟基,能够与水分子形成氢键而结合水分,具有一定的吸湿、保湿功效,且具有安全、刺激性低等特点^[17-18],被广泛应用于日化产品等领域。李彩霞等^[19-21]研究表明,大多数多糖具有良好的吸湿、保湿性能,如槐角多糖、银耳多糖和黄精多糖等。皂角米多糖是一种天然活性多糖,目前尚未有其纯化工艺和吸湿保湿性能的报道。研究拟以吸附率和解吸率为指标,筛选大孔树脂,探究皂角米多糖的纯化工艺,并对其吸湿性和保湿性进行研究,为扩大皂角米多糖的应用领域提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

皂角米:贵州省织金县猫场镇新寨村;

壳聚糖:食品级,浙江金壳药业股份有限公司;

中性蛋白酶:食品级,北京索莱宝科技有限公司;

葡萄糖:分析纯,天津市优谱化学试剂有限公司;

海藻酸钠:化学纯,国药集团化学试剂有限公司;

丙三醇:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

硅胶、大孔树脂 D101、HPD-600、AB-8、H103、NKA-9、LSA-21、DM301、S-8:郑州和成新材料科技有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 试验仪器

集热式恒温水浴锅:DF-101S 型,上海力辰邦西仪器科技有限公司;

台式大容量冷冻离心机:TDL-8M 型,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;

真空冷冻干燥机:LGJ-12 型,宁波新艺超声设备有限公司;

纯水机:PCA-RUP20 型,成都浩康有限公司;

双束紫外可见分光光度计:TU-1901 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

恒温摇床:THZ-100 型,上海以恒科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 皂角米多糖的制备 取 10.00 g 粉碎的皂角米,加入 600 mL 蒸馏水浸泡过夜,加入 0.10 g 中性蛋白酶,40 ℃ 保温 1 h,随即升温至 80 ℃ 孵育 4 h,4 000 r/min 离心 15 min,取上清液浓缩至总体积的 1/4,95% 乙醇醇沉,沉淀依次用无水乙醇洗涤,烘干。

1.3.2 皂角米多糖含量测定 根据苯酚—硫酸法^[22-23],按式(1)计算多糖含量。

$$Q = \frac{C \times V \times F}{M} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Q ——多糖含量,%;

V ——样品溶液体积,mL;

C ——样品溶液中多糖质量浓度,mg/mL;

F ——稀释倍数;

M ——样品质量,g。

1.3.3 大孔树脂的筛选 取 8 种不同型号的大孔树脂 D101、AB-8、LSA-21、H103、NKA-9、DM301、S-8、HPD-600,用纯水去除杂质,乙醇浸泡 24 h,用纯水多次洗涤至 pH 值为 7.0^[24]。取 2.00 g 大孔树脂,分别加入 2.00 mg/mL 的皂角米多糖溶液,20 ℃ 恒温摇床 120 r/min 振摇 24 h,测定吸光度。吸附后,过滤并洗涤大孔树脂,加入 75% 乙醇溶液,继续振摇 24 h,测定吸光度,分别按式(2)~式(4)计算吸附量、吸附率和解吸率。

$$B = (Q_0 - Q_1) V / m, \quad (2)$$

$$R_1 = [(Q_0 - Q_1) / Q_0] \times 100\%, \quad (3)$$

$$R_2 = [Q_2 / (Q_0 - Q_1)] \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

B ——吸附量,mg/g;

R_1 ——吸附率,%;

R_2 ——解吸率,%;

m ——大孔树脂质量,g;

Q_0 ——未反应的多糖质量浓度,mg/mL;

Q_1 ——吸附后溶液中的多糖质量浓度,mg/mL;

Q_2 ——解吸后溶液中的多糖质量浓度,mg/mL;

V ——反应前的多糖体积,mL。

1.3.4 大孔树脂动态吸附 在层析柱(1.6 cm×40 cm)中装载预处理的大孔树脂 D101,分别考察上样质量浓度(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mg/mL)、上样流速(1, 2, 3, 4, 5 BV/h)、上样体积(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 BV)、洗脱剂体积分数(50%, 60%, 70%, 80%, 90%)、洗脱剂用量(1, 2, 3, 4, 5 BV)对皂角米多糖吸附率和解吸率的影响^[25],并分别按式(5)、式(6)计算吸附率和解吸率。

$$R_1 = \frac{A_0 B_0 - A_1 B_1}{A_0 B_0} \times 100\%, \quad (5)$$

$$R_2 = \frac{A_0 B_0}{A_0 B_0 - A_1 B_1} \times 100\%, \quad (6)$$

式中:

R_1 ——吸附率,%;

R_2 ——解吸率,%;

A_0 ——洗脱前质量浓度,mg/mL;

A_1 ——洗脱后质量浓度,mg/mL;

B_0 ——洗脱前体积,mL;

B_1 ——洗脱后体积,mL。

1.3.5 皂角米多糖吸湿、保湿特性

(1) 吸湿特性:将称量瓶置于含饱和碳酸钠溶液(相对湿度 43%)的干燥器内,分别加入皂角米多糖、对照物(壳聚糖、丙三醇、海藻酸钠),每份 0.5 g,将干燥器于 20℃恒温箱中放置 0,1,2,4,8,12,24,36,48,60 h,称重。分别以饱和碳酸钾溶液(相对湿度 60%)、饱和硫酸铵溶液(相对湿度 81%)替换干燥器中的饱和碳酸钠溶液,重复试验^[26-28],并按式(7)计算吸湿率。

$$E = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\%, \quad (7)$$

式中:

E ——吸湿率,%;

m_0 ——放置前样品质量,g;

m_1 ——放置后样品质量,g。

(2) 保湿特性:将称量瓶置于含饱和碳酸钠溶液(相对湿度 43%)的干燥器内,分别加入皂角米多糖、对照物(壳聚糖、丙三醇、海藻酸钠),每份 0.5 g,加入 40%的去离子水,将干燥器于 20℃恒温箱中放置 0,1,2,4,8,12,24,36,48,60 h,称重。以干硅胶替换干燥器中的饱和碳酸钠溶液,重复试验^[29-30],并按式(8)计算保湿率。

$$F = \frac{H_n}{H_0} \times 100\%, \quad (8)$$

式中:

F ——保湿率,%;

H_0 ——放置前样品质量,g;

H_n ——放置后样品质量,g。

1.4 数据处理

试验均重复 3 次,结果以平均值±标准差表示,借助 Origin 2023 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 大孔树脂吸附率和解吸率

由表 1 可知,大孔树脂 D101 的吸附率和解吸率优于其他型号的树脂。因此,选择大孔树脂 D101 对皂角米多糖进行纯化。

2.2 大孔树脂 D101 动态吸附

2.2.1 上样质量浓度 由图 1 可知,当上样质量浓度<2.0 mg/mL 时,皂角米多糖的吸附能力较弱;当上样质量

表 1 8 种树脂吸附和解吸结果

Table 1 Results of adsorption and resolution of 8 kinds of resins

大孔树脂类型	吸附率/%	解吸率/%
D101	74.56	70.33
AB-8	69.36	55.43
LSA-21	71.71	52.14
H103	66.56	67.36
NKA-9	71.96	65.96
DM301	57.92	64.65
S-8	69.85	64.83
HPD-600	66.41	70.24

浓度为 2.0 mg/mL 时,其吸附能力达到最佳(98.16±0.005)%;当上样质量浓度>2.0 mg/mL 时,皂角米多糖的吸附率降至(75.35±0.004)%。其原因可能是上样质量浓度的升高,影响了多糖与树脂的吸附,造成杂质增多、树脂过载和堵塞等现象,吸附率下降^[31-32]。因此,上样质量浓度选择 2.0 mg/mL 较合适。

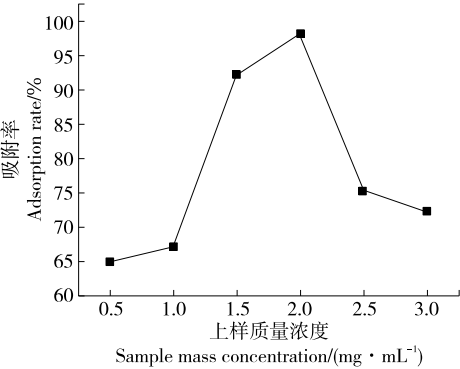


图 1 上样质量浓度对吸附率的影响

Figure 1 Effects of the loading mass concentration on the adsorption rate

2.2.2 上样流速 由图 2 可知,当上样流速为 2 BV/h 时,大孔树脂对皂角米多糖的吸附率最大,为(82.0±0.016)%。上样流速过慢会导致已完全吸附的大孔树脂在洗脱液的作用下重新被洗脱,从而达不到去除杂质的目的。上样流速过快则会缩短相互作用的时间,导致大孔树脂对杂质吸附不完全。因此,上样流速选择 2 BV/h。

2.2.3 上样体积 由图 3 可知,吸附率随着上样体积的增大呈先升高后降低的趋势。当上样体积为 1.5 BV 时,吸附率最大,说明大孔树脂对多糖的吸附量已达到饱和。因此,上样量选择 1.5 BV 较合适。

2.2.4 洗脱剂体积分数 由图 4 可知,随着洗脱剂体积分数的增加,皂角米多糖的解吸率呈先升高后下降趋势,其中 70% 乙醇的解吸率最大,可能是适当提高乙醇体积分数

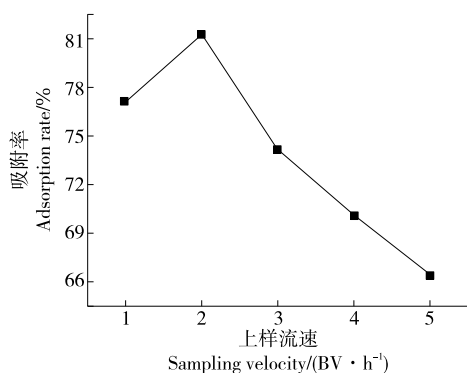


图2 上样流速对吸附率的影响

Figure 2 Effects of the loading flow rate on the adsorption rate

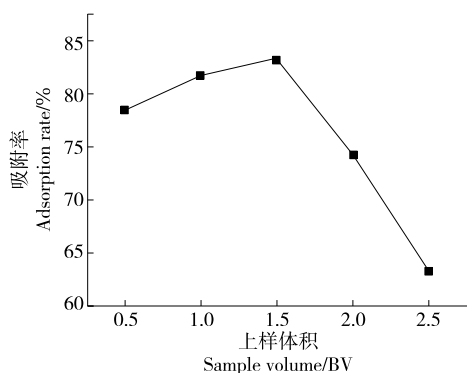


图3 上样体积对吸附率的影响

Figure 3 Effects of loading volume on the adsorption rate

有利于降低大孔树脂对皂角米多糖的吸附能力,同时洗脱过程中以蒸馏水为介质,乙醇体积分数越高,含水量越低,因此很难将黏附在大孔树脂上的多糖洗脱出来^[33]。当乙醇体积分数>70%时,高浓度的乙醇会减弱多糖与树脂之间的作用力^[34]。因此,洗脱剂体积分数选择70%较合适。

2.2.5 洗脱剂体积 由图5可知,当洗脱剂体积为2 BV

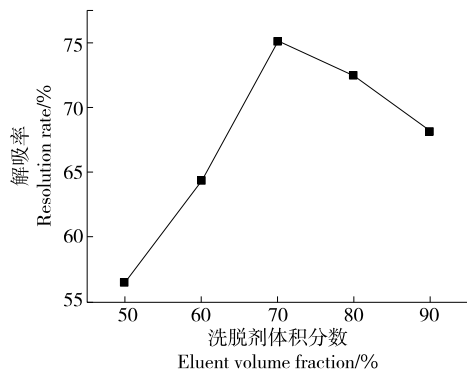


图4 洗脱剂体积分数对解吸率的影响

Figure 4 Effects of the eluate volume fraction on the resolution rate

时,解吸率最大,为 $(73.49 \pm 0.018)\%$,说明该洗脱剂体积可以将多糖最大程度地解吸出来。随着洗脱剂体积的增加,多糖解吸率逐渐下降,可能是较大的洗脱剂体积能够将吸附的部分多糖洗脱下来,同时所含杂质也可能被部分洗脱,从而影响多糖总体的纯化效果^[35]。因此,选择2 BV的洗脱剂体积较佳。

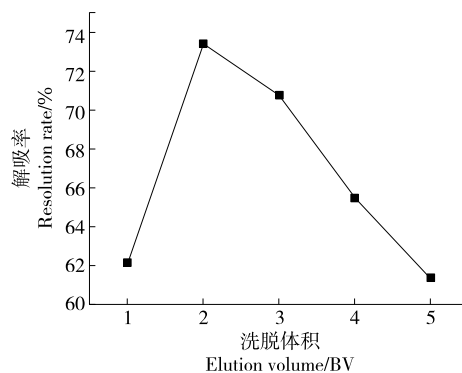


图5 洗脱体积对解吸率的影响

Figure 5 Effects of elution volume on resolution rate

2.2.6 验证性实验 按照最佳条件对皂角米多糖进行纯化,其吸附率为 $(69.57 \pm 3.736)\%$,解吸率为 $(84.83 \pm 2.143)\%$,回收率为 $(58.71 \pm 1.260)\%$,皂角米多糖含量从51.90%提高至82.40%,说明大孔树脂D101对皂角米多糖的吸附—解吸效果较好,工艺参数稳定。

2.3 皂角米多糖的吸湿性

由图6可知,在相对湿度为43%,81%条件下,各样品的吸湿率均随时间的增加而增加,其中丙三醇的吸水性最强,其次是皂角米多糖,壳聚糖的吸湿能力相对较弱。根据图6(a),相对湿度43%下放置0~24 h,丙三醇吸湿率的增速最快,24 h时吸湿率已达 $(29.81 \pm 0.011)\%$ 。而皂角米多糖、壳聚糖和海藻酸钠的吸湿率在24 h后趋于平缓,皂角米多糖的吸湿率高于海藻酸钠和壳聚糖的。随着时间的延长,皂角米多糖和海藻酸钠的吸湿率逐渐增加。相对湿度为43%时,皂角米多糖的吸湿率低于丙三醇的,但高于壳聚糖和海藻酸钠的,说明其分子表面吸收水分后产生溶胀,阻止了内部分子继续吸收水分^[36]。同时,水分蒸腾过程和吸水过程同步进行,当两者达到动态平衡时,吸湿率趋于稳定。

图6(b)显示,相对湿度81%下放置0~24 h,丙三醇的吸湿率远高于壳聚糖,24 h时,皂角米多糖的吸湿率为 $(22.34 \pm 0.005)\%$,高于海藻酸钠和壳聚糖的。放置24 h后,皂角米多糖和海藻酸钠的吸湿率均缓慢增加,壳聚糖的吸湿率趋于平缓。综上,各样品在相对湿度43%下的吸湿能力均小于相对湿度81%下的,说明环境湿度越大,样品的吸湿率越大。

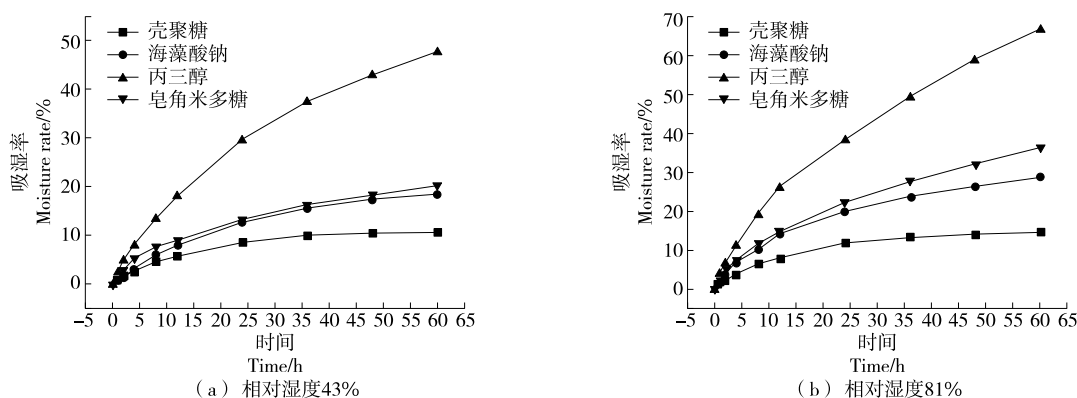


图6 各样品在相对湿度为43%,81%中的吸湿率

Figure 6 The hygroscopic rate of each sample in the relative humidity of 43% and 81% respectively

2.4 皂角米多糖的保湿性

由图7可知,各样品在相对湿度43%下的保湿能力均大于干硅胶环境。图7(a)显示,0~60 h内,各样品的保湿率均随时间变化呈下降趋势,其中皂角米多糖的下降趋势较为缓慢,而海藻酸钠的下降趋势更为迅速。60 h时,皂角米多糖和海藻酸钠的保湿率分别为 $(84.66 \pm 0.014)\%$ 和 $(75.29 \pm 0.003)\%$ 。由图7(b)可知,0~12 h内,各样品的

保湿率急剧下降。12~60 h内,皂角米多糖的保湿率从 $(66.40 \pm 0.013)\%$ 下降至 $(60.18 \pm 0.007)\%$,且各样品的下降趋势逐渐趋于稳定,保湿率大小为丙三醇>皂角米多糖>海藻酸钠>壳聚糖。与海藻酸钠相比,皂角米多糖和丙三醇中的亲水基团可以显著减少水分有效扩散系数,进而减弱水分的扩散速率,表现出良好的持水保湿作用^[21]。

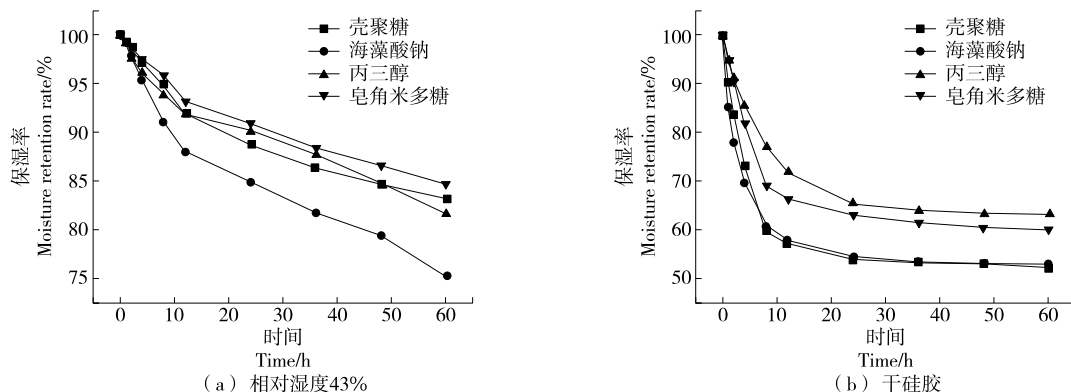


图7 各样品在相对湿度为43%和干硅胶环境中的保湿率

Figure 7 The moisture retention rate of each sample in the environment of 43% relative humidity and dry silica gel

3 结论

以黔产皂角米为原料,采用水提醇沉法提取了皂角米多糖。通过静态吸附—解吸试验筛选出最佳大孔树脂D101。皂角米多糖的最佳纯化工艺条件为上样质量浓度 2.0 mg/mL ,上样流速 2 BV/h ,上样体积 1.5 BV ,洗脱剂质量分数 70% ,洗脱剂用量 2 BV ,此条件下大孔树脂D101的吸附率为 $(69.57 \pm 0.031)\%$,解吸率为 $(84.83 \pm 0.017)\%$,回收率为 $(58.71 \pm 0.010)\%$,多糖含量从 51.90% 提高至 82.40% 。吸湿保湿结果显示,在相对湿度43%,81%条件下,皂角米多糖的吸湿率低于丙三醇的,但高于壳聚糖和海藻酸钠的。在相对湿度43%条件下,皂角米

多糖的保湿率最高;在干硅胶条件下,皂角米多糖的保湿率高于海藻酸钠和壳聚糖的,说明皂角米多糖具有较好的吸湿保湿性能。试验对皂角米多糖的纯化工艺和吸湿保湿性能进行了研究,但存在纯化过程中多糖回收率相对较低的问题。

参考文献

- [1] 胡祥, 刘云, 杨晶晶, 等. 滇皂角米成分分析及饮品制作[J]. 食品工业, 2020, 41(10): 57-62.
- HU X, LIU Y, YANG J J, et al. Analysis component and drink production of perisperms from *Gleditsia japonica* var. *delavayi* [J]. The Food Industry, 2020, 41(10): 57-62.

- [2] YU J Q, LI G, MU Y, et al. Anti-breast cancer triterpenoid saponins from the thorns of *Gleditsia sinensis*[J]. Natural Product Research, 2019, 33(16): 2 308-2 313.
- [3] CAI Y, ZHANG C Z, ZHAN L, et al. Anticancer effects of *Gleditsia sinensis* extract in rats transplanted with hepatocellular carcinoma cells[J]. Oncology Research, 2019, 27(8): 889-899.
- [4] PAN L C, SUN Y Y, ZHANG X L, et al. Structure, antioxidant property and protection on PC12 of a polysaccharide isolated and screened from *Abelmoschus esculentus* L. Moench (okra) [J]. Natural Product Research, 2022, 36(6): 1 441-1 447.
- [5] 张泉荣, 贺一铭, 张文秀, 等. 植物皂荚中皂荚多糖的研究进展[J]. 科学技术创新, 2019(29): 57-58.
ZHANG Q R, HE Y M, ZHANG W X, et al. Research progress of *Gleditsia sinensis* polysaccharides in plant *Gleditsia sinensis* [J]. Scientific and Technological Innovation, 2019(29): 57-58.
- [6] SÁNCHEZ-LEÓN E, BELLO-MORALES R, LÓPEZ-GUERRERO J A, et al. Isolation and characterization of an exopolymer produced by *Bacillus licheniformis*: in vitro antiviral activity against enveloped viruses[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 248: 116737.
- [7] SUN M Z, LI Y M, WANG T X, et al. Isolation, fine structure and morphology studies of galactomannan from endosperm of *Gleditsia japonica* var. *delavayi*[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 184(6): 127-134.
- [8] DO M H, LEE H B, OH M J, et al. Polysaccharide fraction from greens of *Raphanus sativus* alleviates high fat diet-induced obesity[J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128395.
- [9] SUN M Z, SUN Y W, LI Y M, et al. Physical properties and antidiabetic potential of a novel galactomannan from seeds of *Gleditsia japonica* var. *delavayi*[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 46(7): 546-555.
- [10] 陈琛, 李鑫鑫, 魏唯, 等. 大孔树脂纯化天麻多糖的工艺研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2018, 55(5): 1 109-1 115.
CHEN S, LI X X, WEI W, et al. Macroporous adsorption resins for the purification of polysaccharides from *Gastrodia elata* Bl[J]. Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 2018, 55(5): 1 109-1 115.
- [11] 于晓红, 吴宪玲, 付薇, 等. 西洋参多糖脱色脱蛋白方法研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(11): 145-149.
YU X H, WU X L, FU W, et al. Decoloration and deproteinization of polysaccharides from American ginseng[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(11): 145-149.
- [12] HE B L, GUO L Q, ZHENG Q W, et al. A simple and effective method using macroporous resins for the simultaneous decoloration and deproteinisation of *Cordyceps militaris* polysaccharides[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(5): 1 741-1 751.
- [13] ABUDUWAILI A, NUERXIATI R, MUTAILIFU P, et al. Isolation, structural modification, characterization, and bioactivity of polysaccharides from *Folium Isatidis*[J]. Industrial Crops and Products, 2022, 176: 114319.
- [14] 张洪坤. 大孔树脂吸附纯化茯苓多糖工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(23): 67-71.
ZHANG H K. Purification of polysaccharides extract from *Poria cocos* using macroporous resin[J]. Food Research and Development, 2017, 38(23): 67-71.
- [15] 张宏妍, 李晗熙, 国宇晴, 等. 利用大孔吸附树脂纯化东北刺人参不定根多糖的研究[J]. 延边大学农学报, 2023, 45(3): 9-17, 24.
ZHANG H Y, LI H X, GUO Y Q, et al. Purification of polysaccharides from *Oplopanax elatus* adventitious roots using microporous absorption resin[J]. Agricultural Science Journal of Yanbian University, 2023, 45(3): 9-17, 24.
- [16] 吴萍香, 魏明, 丁凯莉, 等. 大孔树脂纯化艾草多酚及其对 α -葡萄糖苷酶活性抑制作用[J]. 食品与机械, 2023, 39(7): 13-19.
WU P X, WEI M, DING K L, et al. Purification of polyphenols from wormwood by macroporous resin and inhibitory activity of its against α -glucosidase[J]. Food & Machinery, 2023, 39(7): 13-19.
- [17] 景永帅, 金娜, 张丹参, 等. 3种海藻多糖的理化性质和护肤功效研究[J]. 日用化学工业, 2021, 51(2): 121-126, 138.
JING Y S, JIN S, ZHANG D S, et al. Study on the physical and chemical properties and skin care effects of three seaweeds polysaccharides[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2021, 51(2): 121-126, 138.
- [18] 沈晨露, 孔昊, 郭嘉文, 等. 复合酶法提取石莲花多糖及其护肤特性研究[J]. 化学与医药工程, 2022, 43(1): 41-45.
SHEN C L, KONG H, GUO J W, et al. Study on extraction of horseleek polysaccharide by compound enzyme and its skin care characteristics[J]. Chemical and Pharmaceutical Engineering, 2022, 43(1): 41-45.
- [19] 李彩霞, 郑雪, 高海宁, 等. 槐角多糖表征及抗氧化吸湿保湿性能研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 17-22.
LI C X, ZHENG X, GAO H N, et al. Structural characterization and antioxidant, moisture-absorbing and moisture-retention properties of polysaccharides of *Sophora japonica* L.[J]. Food & Machinery, 2017, 33(12): 17-22.
- [20] 安星亮, 赵永亮, 王欢, 等. 银耳多糖提取工艺的响应面法优化及抗氧化和保湿性研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(15): 123-130.
AN X L, ZHAO Y L, WANG H, et al. Optimization of extraction process for *Tremella fuciformis* polysaccharides by response surface methodology and its antioxidant and moisturizing properties [J]. Food Research and Development, 2022, 43(15): 123-130.
- [21] 程茜菲, 张玩涛, 王飞娟, 等. 黄精多糖提取工艺优化及其吸湿、保湿性能研究[J]. 中国野生植物资源, 2024, 43(2): 20-25.
CHENG Q F, ZHANG W T, WANG F J, et al. Study on optimization of extraction process and hygroscopicity and moisture retention of polysaccharides from polygonati rhizoma [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2024, 43(2): 20-25.

- [22] 杨豆豆, 田茂琳, 苏满春, 等. 油橄榄叶多糖含量测定方法的研究[J]. 甘肃农业科技, 2017(11): 48-50.
- YANG D D, TIAN M L, WAN M C, et al. Study on determination of olive leaf polysaccharide using phenol sulfuric acid method[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2017(11): 48-50.
- [23] 吴家玲, 龚晓莹, 陈晓嘉, 等. 黑木耳中粗多糖检测前处理条件的研究[J]. 现代食品, 2021, 27(12): 217-220.
- WU J L, GONG X Y, CHEN X J, et al. Study on pretreatment conditions of crude polysaccharide in black fungus[J]. Modern Food, 2021, 27(12): 217-220.
- [24] 付金. 黔产皂角米多糖提取, 分离纯化及体外降脂活性研究[D]. 贵阳: 贵州民族大学, 2021.
- FU J. Study on extraction, isolation, purification and lipid-lowering activity of polysaccharides from seed of *Glesitsia sinensis* in Guizhou[D]. Guiyang: Guizhou University for nationalities, 2021.
- [25] 陈锦桃, 蔡延渠, 董碧莲, 等. 原桃胶及其多糖提取物的吸湿保湿性能研究[J]. 广东药科大学学报, 2018, 34(4): 422-424, 429.
- CHEN J T, CAI Y Q, DONG B L, et al. Study on the moisture-absorption and moisture-retention properties of peach gum and its polysaccharose[J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2018, 34(4): 422-424, 429.
- [26] 蔡延渠, 董碧莲, 邓剑壕, 等. 改良桃胶多糖的吸湿保湿性能及体外透皮吸收研究[J]. 广州中医药大学学报, 2018, 35(4): 711-716.
- CAI Y Q, DONG B L, DENG J H, et al. Study on moisture-absorption and moisture-retention properties and in-vitro percutaneous absorption of improved peach gum polysaccharose[J]. Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2018, 35(4): 711-716.
- [27] 陈景斯, 李奕彤, 王晓佳, 等. 油茶果壳多糖乙醇提取工艺的优化及其吸湿保湿性能[J]. 中成药, 2019, 41(5): 970-974.
- CHEN J S, LI Y T, WANG X J, et al. Ethanol extraction process optimization for polysaccharides from *Camellia oleifera* fruit shells and the moisture-absorption, moisture-retention properties[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2019, 41(5): 970-974.
- [28] 谷仿丽, 姜雪萍, 陈艳君, 等. 霍山石斛多糖吸湿保湿性能及皮肤刺激性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(10): 1 701-1 705.
- GU F L, JIANG X P, CHEN Y J, et al. Study on moisture-absorption-retention capacity and skin irritation of polysaccharide from *Dendrobium huoshanense*[J]. Natural Product Research and Development, 2018, 30(10): 1 701-1 705.
- [29] 何杜朋, 陈锦桃, 崔旭兰, 等. 银杏叶多糖的吸湿保湿性能及体外透皮吸收特性研究[J]. 广州中医药大学学报, 2019, 36(12): 2 021-2 026.
- HE D P, CHEN J T, CUI X L, et al. Study on moisture-absorption, moisture-retention properties and transdermal absorption *in vitro* of *Ginkgo biloba* leaves polysaccharose[J]. Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2019, 36(12): 2 021-2 026.
- [30] 陈肖珍, 张莹. 山药多糖的吸湿、保湿及体外透皮吸收特性研究[J]. 药学服务与研究, 2019, 19(3): 185-187, 221.
- CHEN X Z, ZHANG Y. Study on the moisture absorption/moisture retention of yam polysaccharides and its transdermal features *in vitro*[J]. Pharmaceutical Care and Research, 2019, 19(3): 185-187, 221.
- [31] 邱晓月, 景永帅, 李朋月, 等. 祁白芷多糖脱色工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 6 074-6 081.
- QIU X Y, JING Y S, LI P Y, et al. Study on optimization of decolorization process and antioxidant activity of polysaccharide from *Angelicae dahurica*[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(18): 6 074-6 081.
- [32] 张玉, 李进, 吕海英, 等. 响应面试验优化新疆野生准噶尔山楂残渣中多糖纯化工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 22-28.
- ZHANG Y, LI J, LÜ H Y, et al. Optimization of purification process for crude polysaccharides from the pomace of wild *Crataegus songorica* in Xinjiang by response surface methodology[J]. Food Science, 2015, 36(12): 22-28.
- [33] 郭静, 赵鸿燕, 李莉, 等. 油樟叶多糖的大孔树脂纯化工艺研究[J]. 离子交换与吸附, 2023, 39(2): 147-156.
- GUO J, ZHAO H Y, LI L, et al. Purification technology of polisaccharide from *Cinnamoum longepaniculatum* leaves by macroporous resin[J]. Ion Exchange and Adsorption, 2023, 39(2): 147-156.
- [34] 赵丹洁, 唐鹏, 田冬梅, 等. 金线莲多糖纯化工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 116-123.
- ZHAO D J, TANG P, TIAN D M, et al. Study on purification technology and antioxidant activity of polysaccharides from *Anoectochilus roxburghii*[J]. Food Research and Development, 2021, 42(20): 116-123.
- [35] 詹梦茹, 王彦斌, 康淑荷, 等. 党参多糖的大孔树脂纯化及其美白、吸湿保湿性能[J]. 林产化学与工业, 2023, 43(3): 79-88.
- ZAN M R, WANG Y B, KANG S H, et al. Purification of polysaccharides from *Codonopsis pilosula* by macroporous adsorption resin and its whitening, moisture absorption and moisturizing properties[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2023, 43(3): 79-88.