

# 唐古特大黄非药用部位多糖脱色工艺及其抗氧化活性研究

冯丹<sup>1,2</sup>, 龙若兰<sup>1,2</sup>, 李佩佩<sup>1,2</sup>, 李朵<sup>1,2</sup>, 孙菁<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>中国科学院西北高原生物研究所 青海省青藏高原特色生物资源研究重点实验室, 西宁 810008;

<sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:** 本文分别选取了3种活性炭、3种大孔吸附树脂和氨基氧化石墨烯等三类脱色材料对唐古特大黄非药用部位多糖溶液进行脱色工艺研究, 比较三类脱色剂下的多糖脱色率及保留率, 并采用DPPH法测定其脱色后多糖的抗氧化能力。结果显示, 在只考虑脱色率与保留率的情况下, 选择活性炭为最佳脱色剂, 脱色率与保留率分别为79.59%与88.72%。最佳脱色条件为: 200目活性炭, pH=5.0, 活性炭用量与多糖溶液体积比1:100, 保温时间20 min, 保温温度60℃。然而, 经过活性炭处理后的样品的抗氧化效率降低, 而石墨烯与树脂处理后的样品抗氧化活性则提高。因此, 在优先选择抗氧化活性的情况下, 考虑石墨烯作为最佳脱色剂, 应根据需要特定地选择脱色剂与评价指标。

**关键词:** 唐古特大黄非药用部位; 多糖; 脱色工艺; 抗氧化活性

中图分类号: R282.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2023) Suppl-0076-08

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2023.S.010

## Study on decolorization technology and antioxidant activity of polysaccharides from non-medicinal parts of *Rheum tanguticum*

FENG Dan<sup>1,2</sup>, LONG Ruo-lan<sup>1,2</sup>, LI Pei-pe<sup>1,2</sup>, LI Duo<sup>1,2</sup>, SUN Jing<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Biological Resource, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; <sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** *Rheum tanguticum* is a tall perennial herb of *Rheum* Linn. in Polygonaceae, and its non-medicinal parts have important development and utilization value, a certain amount of polysaccharides are stored in the stems and leaves. Commonly used decolorization methods of polysaccharides include activated carbon method, macroporous resin adsorption method, etc. Graphene has been widely used in recent years because of its strong adsorption capacity. In this paper, three kinds of activated carbon, three kinds of macroporous adsorption resins and amino graphene oxide were selected to discuss the decolorization technology of polysaccharide solution from the non-medicinal parts of *R. tanguticum*. Then, the decolorization rate and retention rate of polysaccharide under three kinds of decolorizing agents were compared. Meanwhile, the antioxidant capacity of decolorized polysaccharide was determined by DPPH method. The results showed that activated carbon was the best decolorizing agent when only the decolorization rate and retention rate were considered, the decolorization rate and retention rate were 79.59% and 88.72% respectively. The optimum decolorization conditions were as follows: 200 mesh activated carbon, pH = 5.0, volume ratio of activated carbon: polysaccharide solution = 1:100, soaking time 20 min, temperature 60℃. However, the antioxidant efficiency of the samples treated with activated carbon was the lowest, while the antioxidant activity of the samples treated with graphene and resin was improved. Therefore, in the case of giving priority to antioxidant activity, considering graphene as the best decolorizing agent. As a result, according to the different needs of decolorization, the decolorizing agent and evaluation index should be specifically selected.

**Key words:** *Rheum tanguticum* medicinal part; polysaccharise; decolorization process; antioxidant activity

收稿日期: 2022-06-20 接受日期: 2022-07-20

基金项目: 青海省科研基础条件平台项目(2020-ZJ-T05); 中国科学院仪器设备功能开发技术创新项目(2022gl09); 青海省重点实验室建设专项(2022-ZJ-Y18)

\* 通信作者 E-mail: sunj@nwipb.cas.cn

唐古特大黄 (*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.) 为蓼科 (Polygonaceae) 大黄属 (*Rheum* Linn.) 多年生高大草本, 系 2020 版《中华人民共和国药典》中收载的三种正品大黄之一<sup>[1]</sup>, 以干燥根及根茎入药, 具有泻下攻积、凉血解毒等功效<sup>[2]</sup>。目前, 对该药材资源的研究主要集中在根和根茎的药用部位, 导致其高大的地上非药用部位资源被大量浪费<sup>[3]</sup>。已有研究报道, 大黄的非药用部位中也含有类似根及根茎的化学成分与药理作用<sup>[4]</sup>, 说明大黄非药用部位具有重要的开发利用价值, 可通过对该部位进行开发利用, 提高资源利用效率, 探寻新的资源利用途径。

多糖是一类重要的生物活性物质, 通常情况下, 植物来源的多糖常富含色素, 会影响多糖的纯度、定性定量分析及活性等, 故需要进行脱色处理<sup>[5]</sup>。目前, 常用的多糖脱色方法有活性炭法、过氧化氢法、大孔树脂吸附法等<sup>[6]</sup>。其中, 活性炭法条件温和, 操作简单, 不改变多糖结构; 过氧化氢脱色法效率高, 但易破坏多糖的结构和活性; 大孔树脂法易再生, 但是对色素具有选择性<sup>[7-9]</sup>。自 2004 年起, 石墨烯以其奇特的物理化学性能引起了科学家们的关注, 它以单层碳原子紧密堆积成二维晶格结构, 具有巨大的比表面积, 从而有超强的吸附性能<sup>[10]</sup>。石墨烯对多糖有很强的吸附能力和脱色效率, 并且具有可持续、低成本、无损等特点<sup>[11]</sup>。

研究表明, 大黄非药用部位茎叶中也贮藏着一定量的多糖<sup>[12]</sup>。大黄多糖具有降血糖、保护消化系统、抗肿瘤、抗氧化等药理作用<sup>[13]</sup>, 但是目前尚未开展唐古特大黄非药用部位多糖脱色工艺及脱色后多糖活性研究。因此, 为探究唐古特大黄多糖的最佳脱色工艺, 以及不同脱色剂对多糖抗氧化作用的影响, 本研究以唐古特大黄非药用部位茎叶为研究载体, 对其非药用部位的多糖进行脱色工艺研究, 分别利用石墨烯、活性炭与大孔树脂等三类不同脱色剂对大黄非药用部位多糖进行了脱色处理条件的优化, 并测定比较了三种方法处理前后抗氧化活性的变化, 从而优选出唐古特大黄非药用部位多糖脱色的最佳材料及最优条件, 可为大黄非药用部位资源的深入开发利用提供科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 样品来源

于 7~8 月植物生长旺盛时候, 采集茎叶等地上非药用部位, 用纯水冲洗、干燥, 粉碎后待分析用。

原植物经中国科学院西北高原生物研究所孙菁研究员鉴定为蓼科 (Polygonaceae) 大黄属 (*Rheum* Linn.) 植物唐古特大黄 (*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)。

### 1.2 仪器与试剂

N-1100 旋转蒸发仪 (上海爱朗仪器有限公司); Agilent Cary60 紫外分光光度计 (安捷伦科技有限公司)。

棒状活性炭 (天津市百世化工有限公司); 200 目活性炭 (上海麦克林生化科技有限公司); 粉末活性炭 (天津市光复科技发展有限公司); D101 型大孔吸附树脂、AB-8 型大孔吸附树脂、X-5 型大孔吸附树脂 (天津市光复精细化工研究所); 氨基氧化石墨烯 (实验室自制); D-无水葡萄糖对照品 (成都普菲德生物有限公司, 纯度 > 98%); 1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH, APEX-BIO 公司)。三氯甲烷、盐酸、浓硫酸 (白银良友化学试剂有限公司); 无水乙醇 (天津市富宇精细化工有限公司); 正丁醇 (天津市大茂化学试剂厂); 苯酚 (上海麦克林生化科技有限公司); NaOH (四川西陇科学有限公司), 上述试剂均为分析纯。

### 1.3 多糖的制备

将样品用蒸馏水超声提取 (提取条件: 料液比 1: 20, 温度 70 °C, 功率 100 W, 时间 50 min) 后过滤, 将滤渣重复提取再次过滤, 合并两次滤液后离心, 得上清液进行抽滤、旋蒸, 而后加入 3~4 倍体积的无水乙醇使多糖沉淀, 最后冷冻干燥, 研磨成细粉, 置于自封袋中 4 °C 冷藏待用。

### 1.4 脱蛋白

取 1% 的大黄茎叶多糖溶液加入 1/3 体积的 Sevage 试剂, 振荡混合, 在 9 000 r/min 转速下离心 5 min, 弃去中间变性蛋白层和下层有机层, 上层水相在 250~280 nm 范围内检测紫外无吸收, 即可确定蛋白除净, 移取所有上清液。

### 1.5 脱色条件优化

#### 1.5.1 活性炭脱色条件优化

取质量浓度为 1 g/100 mL 脱蛋白后的多糖溶液 20 mL 于三角瓶中, 调节 pH 值, 加入活性炭后保温、过滤, 重复上述步骤 3 次, 进行脱色条件优化 (见表 1)。

#### 1.5.2 大孔吸附树脂脱色条件优化

分别称取 D101、AB-8、X-5 这 3 种类型大孔吸附树脂各 200 g, 用 5% HCl 浸泡 4 h, 然后用蒸馏水

冲洗至 pH 值为 6.0,再用 5% NaOH 浸泡 4 h,蒸馏水冲洗至 pH 值为 8.0,用 95% 的乙醇浸泡 12 h,最后蒸馏水冲洗至无醇味,烘箱中 50 ℃ 烘干备用。取

多糖溶液 20 mL 置于三角瓶中,调节 pH 值,依次加入不同类型大孔吸附树脂,40 ℃ 恒温振荡水浴 2 h (150 r/min),进行脱色条件优化,结果见表 2。

表 1 活性炭脱色条件优化

Table 1 Optimization of activated carbon decolorization

水平 Level	因素 Factor				
	活性炭种类 Types of activated carbon	样液 pH 值 Sample pH	活性炭用量 Activated carbon dosage(%)	保温时间 Soaking time(min)	温度 Temperature(℃)
1	棒状	2.0	0.5	5	20
2	200 目	3.0	1.0	10	30
3	粉末	4.0	1.5	20	40
4	-	5.0	2.0	30	50
5	-	6.0	2.5	40	60

表 2 大孔吸附树脂脱色条件优化

Table 2 Optimization of macroporous adsorption resin decolorization

水平 Level	因素 Factor		
	树脂种类 Type of resin	样液 pH Sample pH	树脂用量 Resin dosage(g/mL)
1	D101	2.0	0.1
2	AB-8	3.0	0.2
3	X-5	4.0	0.3
4	-	5.0	0.4
5	-	6.0	0.5

### 1.5.3 氨基氧化石墨烯脱色条件优化

取多糖溶液 20 mL 置于三角瓶中,调节 pH 值,加入氨基氧化石墨烯,磁力搅拌 5 min,以 12 000 r/min 的转速离心 10 min,得到脱色条件优化结果(见表 3)。

表 3 氨基氧化石墨烯脱色条件优化

Table 3 Optimization of amino graphene oxide

水平 Level	因素 Factor		
	石墨烯比例 Graphene proportion	样液 pH 值 Sample pH	温度 Temperature(℃)
1	8:1	2.0	20
2	10:1	3.0	30
3	13.3:1	4.0	40
4	20:1	5.0	50
5	40:1	6.0	60

### 1.6 脱色率的测定

分别测定脱色前后溶液在 450 nm 下的吸光度

值,按照公式(1)计算多糖脱色率。

$$\text{脱色率} = \frac{\text{脱色前吸光度} - \text{脱色后吸光度}}{\text{脱色前吸光度}} \times 100\% \quad (1)$$

### 1.7 保留率的测定

配制 0.15 mg/mL 的葡萄糖标准溶液。分别移取标准品溶液 200、400、600、800、1 000、1 200  $\mu\text{L}$  于 6 只试管中,然后用蒸馏水补足至 2 000  $\mu\text{L}$ ,摇匀后加入 5% 苯酚溶液 1 mL,混匀后缓慢加入浓硫酸 5 mL,冷却至室温进行显色反应。测定时,以 1 mL 蒸馏水作为空白对照,在 490 nm 处测定 6 只试管中溶液的吸光度,绘制标准曲线。按照公式(2)计算多糖保留率。

$$\text{保留率} = \frac{\text{脱色后多糖含量}}{\text{脱色前多糖含量}} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.8 DPPH 清除活性测定

以优化后的三种材料处理条件对多糖溶液进行脱色,并对处理前后的样品进行 DPPH 自由基清除活性的测定。用无水乙醇配制成浓度为 0.2 mmol/mL 的 DPPH 溶液,4 ℃ 保存备用。用蒸馏水分别配制浓度为 0.4、0.5、0.8、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mg/mL 的稀释液,分别量取不同浓度的稀释液 2 mL 和 2 mL DPPH 溶液于试管中,充分混匀,避光反应 30 min。以 2 mL 无水乙醇和 2 mL DPPH 反应液为空白对照组,在 517 nm 处读取吸光度值。DPPH 清除率按照下式计算。

$$\text{DPPH 清除率} = 1 - \frac{A_{\text{样品}} - A_{\text{空白}}}{A_{\text{DPPH 溶液}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中  $A_{\text{样品}}$  表示 DPPH 溶液与被测样品的吸光

度,  $A_{\text{空白}}$  表示不含 DPPH 溶液的提取物的吸光度, 而  $A_{\text{DPPH溶液}}$  表示用蒸馏水代替样品配制的 DPPH 溶液的吸光度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 标准曲线结果

以标准葡萄糖浓度为横坐标, 以吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 如图 1 所示, 得回归方程:  $y = 0.00363 + 2.07600x$  ( $R^2 = 0.9997$ ), 结果表明回归直线对观测值的拟合程度良好。

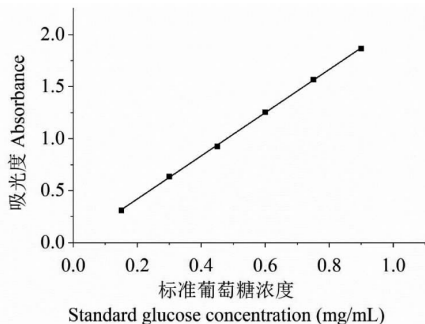


图 1 多糖含量测定标准曲线

Fig. 1 Standard curve of polysaccharide content determination

### 2.2 不同脱色剂脱色结果

#### 2.2.1 活性炭

活性炭脱色优化结果如图 2 所示。图 2A 为活性炭种类筛选结果, 采用三种不同种类的活性炭进行多糖进行脱色处理, 结果显示, 活性炭种类不同对

多糖脱色率和保留率均有较大影响。其中, 棒状活性炭的多糖保留率高达 98.70%, 但脱色率仅有 8.48%。200 目活性炭脱色率最高为 84.88%, 保留率为 53.88%。为同时确保保留率与脱色率, 选取 200 目活性炭作为最佳活性炭脱色材料。

图 2B 给出了样液 pH 值对多糖脱色效果的影响。由图可知, 随着 pH 值降低, 多糖脱色率逐渐增大, 保留率则下降。当 pH 值为 5.0 时, 多糖保留率达到 50.93%, 并且脱色率为 87.02%。因此, 选取 pH = 5.0 作为最佳脱色 pH 值。

图 2C 显示了活性炭用量对多糖脱色效果的影响。由图中可以得到, 随着活性炭用量的增加, 多糖脱色率先增大后减小再增大, 多糖保留率则随着活性炭用量增加呈下降的趋势。当活性炭用量为 1% 时, 脱色率和保留率分别达到 86.84% 和 65.06%。因此, 选取活性炭用量与多糖溶液体积比为 1% 作为最佳的活性炭用量。

保温时间对多糖处理效果的影响如图 2D 所示, 多糖脱色率在 20 min 时达到 82.22%, 多糖保留率达到 67.52%。虽然不是脱色率与保留率最好的保温时间, 但是出于节约成本等综合考虑, 选取 20 min 作为最佳保温时间。

图 2E 显示了温度对多糖处理效果的影响。由图知, 多糖脱色率在 60 °C 时达到 87.7%, 保留率在 60 °C 时也达到最大。因此, 选取 60 °C 作为最佳脱色处理温度。

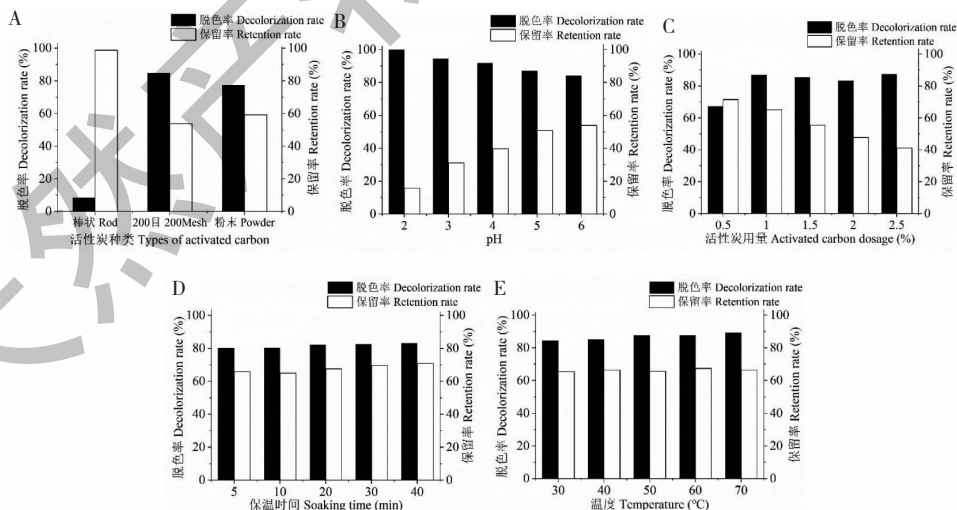


图 2 多糖的活性炭脱色结果

Fig. 2 Decolorization results of polysaccharide by activated carbon

由上述结果可知, 采用活性炭处理的最佳脱色条件为: 200 目活性炭, pH 值 5.0, 活性炭用量与多糖溶液体积比为 1:100, 保温时间 20 min, 保温温度

60 °C。按照上述优化条件对多糖进行处理, 并测定了多糖脱色率和多糖保留率, 得到多糖平均脱色率为 79.59%, 平均保留率为 88.72%。

### 2.2.2 大孔吸附树脂

大孔吸附树脂脱色优化结果如图3所示。选取了三种不同类型大孔吸附树脂 D101、AB-8 和 X-5, 考察树脂种类对多糖脱色效果的影响作用, 结果如图3A所示。可见, 不同种类大孔吸附树脂对多糖脱色率和保留率均有影响作用。三种树脂的多糖保留率均达到84%以上, 而又以 D101 型大孔吸附树脂的脱色率最高, 因此选取 D101 型作为最佳大孔吸附树脂。

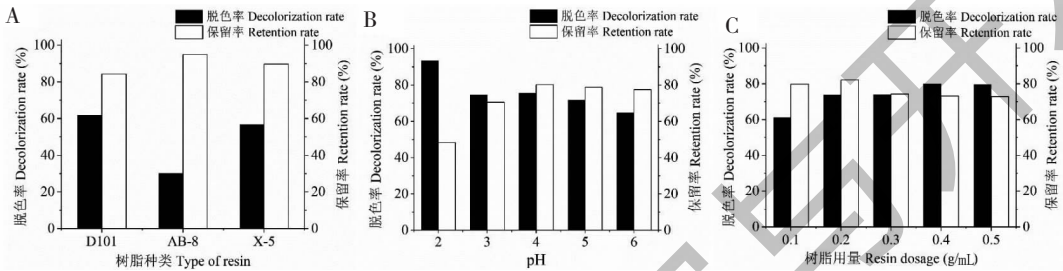


图3 多糖的树脂脱色结果

Fig. 3 Decolorization results of polysaccharide by resin

由上述结果可知, 采用大孔吸附树脂为脱色剂时的最佳处理条件为: D101 型大孔吸附树脂, pH 值 4.0, 树脂用量 0.2 g/mL。按照上述优化条件对多糖进行处理, 并测定了多糖脱色率和多糖保留率, 得到平均脱色率为 65.51%, 平均保留率为 87.93%。

### 2.2.3 氨基氧化石墨烯

氨基氧化石墨烯脱色优化结果如图4所示。图4A显示了石墨烯比例对多糖的脱色效果。可见, 多糖脱色率随着氨基氧化石墨烯比例的增加而不断增加, 但多糖保留率随着脱色剂比例的增加反而下降。考虑在脱色剂比例在 13.3:1 时, 多糖脱色率达到 36.96%, 保留率达到 86.58%, 出于节约成本等综

图3B给出了样液 pH 值对多糖脱色效果的影响。由图知, 随着 pH 值降低, 多糖脱色率整体呈增大趋势, 多糖保留率呈下降趋势。当 pH = 4.0 时, 多糖保留率最高, 且多糖脱色率达到 75.71%, 因此选取 pH = 4.0 作为最佳脱色处理 pH 值。

树脂用量对多糖处理效果的影响见图3C, 多糖保留率在 0.2 g/mL 时脱色率最高, 此时脱色率达到 73.78%, 因此选取树脂用量为 0.2 g/mL 作为最佳用量。

合考虑, 选择多糖溶液与氨基氧化石墨烯体积比为 13.3:1 时较好。

不同样液 pH 值对多糖溶液处理效果的影响如图4B所示, 由图知, 随着 pH 值降低, 多糖脱色率呈现上升的趋势, 而多糖保留率则逐渐下降。pH = 3.0 时的多糖脱色率与保留率均达到 70.00% 附近, 因此选择 pH = 3.0 时为最佳 pH 值。

图4C给出了不同温度对多糖的处理效果, 可以看出, 随着温度的升高, 多糖脱色率波动范围在 3% 以内, 多糖保留率波动范围在 7% 内。因此, 虽然 20℃ 不是最佳保留率, 出于节约成本考虑, 选取 20℃ 作为最佳脱色温度。

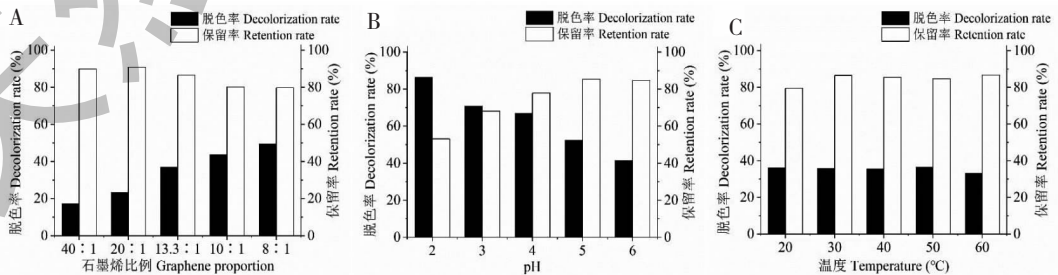


图4 多糖的石墨烯脱色结果

Fig. 4 Decolorization results of polysaccharide by graphene

由上述结果可知, 采用氨基氧化石墨烯为脱色剂时的最佳处理条件为: 多糖溶液与氨基氧化石墨

烯体积比为 13.3:1, pH 值为 3.0, 脱色温度为 20℃。在此条件下, 大黄非药用部位多糖溶液的脱色

率可达 91.90%,多糖保留率为 69.20%。

## 2.3 抗氧化活性

### 2.3.1 活性炭脱色条件下 DPPH 结果

活性炭处理前后 DPPH 测定结果如表 4 和图 5 所示。活性炭处理前  $IC_{50}$  值为 0.471 mg/mL,处理后的  $IC_{50}$  值为 1.871 mg/mL。可见,活性炭处理前 DPPH 清除率在 1 mg/mL 时达到拐点,经脱色处理后在 6 mg/mL 时达到拐点,抗氧化效率大大降低。

### 2.3.2 树脂脱色条件下 DPPH 结果

树脂处理前后 DPPH 测定结果如表 4 所示,图示见图 5。树脂处理前  $IC_{50}$  值为 0.471 mg/mL,处理后的  $IC_{50}$  值为 0.858 mg/mL。与树脂处理前的样品相比,在浓度低于 2 mg/mL 时,脱色前 DPPH 清除率略大于脱色后,但样品浓度高于 2 mg/mL 时,脱

色后 DPPH 清除率大于脱色前,脱色后最终的 DPPH 清除率大于脱色前,为 97.89%。

### 2.3.3 石墨烯脱色条件下 DPPH 结果

石墨烯处理前后 DPPH 测定结果如表 4 所示,图示见图 5。石墨烯处理前  $IC_{50}$  值为 0.416 mg/mL,处理后的  $IC_{50}$  值为 0.810 mg/mL。石墨烯处理后的样品与树脂处理后的样品 DPPH 清除率基本一致。值得注意的是,在浓度低于 2 mg/mL 时,脱色前 DPPH 清除率略大于脱色后,但样品浓度高于 2 mg/mL 时,脱色后 DPPH 清除率大于脱色前,脱色后最终的 DPPH 清除率大于脱色前,为 95.54%。因此,使用石墨烯脱色后的高浓度多糖溶液具有较强的抗氧化活性。

表 4 不同脱色剂处理前后抗氧化活性结果比较

Table 4 Comparison of antioxidant activity before and after treatment with different materials

浓度 Concentration (mg/mL)	DPPH 清除率 DPPH clearance rate (%)				
	活性炭及树脂处理前 Before activated carbon and resin treatment	活性炭处理后 After activated carbon treatment	树脂处理后 After resin treatment	石墨烯处理前 Before graphene treatment	石墨烯处理后 After graphene treatment
0.4	37.0359	12.47	24.04	39.35	27.72
0.5	45.97	14.08	27.88	45.06	33.06
0.8	69.29	19.69	40.26	70.32	46.91
1	77.13	26.17	52.91	79.50	54.62
2	80.30	45.22	84.74	80.75	80.78
3	83.12	61.36	93.21	82.40	91.95
4	84.15	75.73	97.19	83.43	94.32
5	85.62	82.49	97.89	84.15	94.85
6	-	92.06	-	84.57	95.36
8	-	95.84	-	-	-

注:“-”表示达到平衡后未继续测定。

Note:“-” means that the determination is not continued after reaching equilibrium.

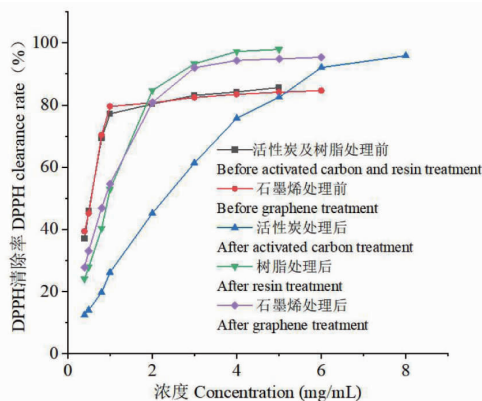


图 5 不同脱色剂处理前后 DPPH 自由基清除率

Fig. 5 DPPH free radical scavenging rate before and after different material treatments

## 2.4 三种脱色剂脱色效果的比较

根据前述材料选择的实验结果,最终选取 200 目活性炭、D101 型大孔吸附树脂和氨基氧化石墨烯等三种脱色剂进行脱色效果的比较,结果如表 5 所示。可知,三种材料的处理效果存在差异,其中多糖脱色率最大者为氨基氧化石墨烯,为 91.90%,其次为活性炭,脱色率为 79.59%;保留率最高的为活性炭,为 88.72%,石墨烯的保留率最低。综合脱色率与保留率,选取活性炭为最优脱色剂,最优脱色条件为:200 目活性炭,pH = 5.0,活性炭用量与多糖溶液体积比 1:100,保温时间 20 min,保温温度 60 °C。因植物材料及其所含多糖成分的不同,选择的脱色

剂也有所不同。Zhao 等<sup>[14]</sup>用大孔吸附树脂对姬松茸多糖进行脱色,脱色率达 88.5%、多糖保留率为 69.5%。Yang 等<sup>[15]</sup>用树脂对藏红花进行脱色,其脱色率和多糖回收率分别为 86.59% 和 80.54%。

通过 DPPH 实验得到,石墨烯处理后的样品 IC<sub>50</sub> 值为 0.810 mg/mL,抗氧化效率最高,其次为树脂。经过活性炭处理后的样品的 DPPH 清除 IC<sub>50</sub> 值为 1.871 mg/mL,说明其抗氧化效率最低。最大 DPPH 清除率最高的为树脂处理后样品(97.89%),其次为石墨烯,活性炭在 8 mg/mL 的浓度下也未达到反应终点,因此未进行最大 DPPH 清除率测定。

表 5 不同脱色剂处理的效果比较

Table 5 Comparison of effects of different material treatments

样品 Sample	脱色率 Decolorization rate(%)	保留率 Retention rate(%)	最大 DPPH 清除率 Maximum DPPH clearance rate(%)	拐点浓度 Concentration inflection point (mg/mL)	IC <sub>50</sub> (mg/mL)
活性炭及树脂处理前 Before activated carbon and resin treatment	-	-	85.62	1	0.471
石墨烯处理前 Before graphene treatment	-	-	84.57	1	0.416
活性炭处理后 After activated carbon treatment	79.59	88.72	-	6	1.871
树脂处理后 After resin treatment	65.51	87.93	97.89	2	0.858
石墨烯处理后 After graphene treatment	91.90	69.20	95.36	2	0.810

注:“-”表示未测定。

Note:“-” means not determined.

多糖脱色率及保留率常作为脱色剂优劣的评价指标<sup>[16-18]</sup>,而在本实验结果中,氨基氧化石墨烯与大孔树脂脱色后的唐古特大黄非药用部位多糖对 DPPH 自由基的清除率高于脱色前,可见经石墨烯与大孔树脂脱色后的多糖具有更好的抗氧化能力,但脱色效果较好的活性炭经脱色处理后抗氧化能力反而有所下降,脱色率与保留率值比活性炭的低。Shao 等<sup>[19]</sup>采用过氧化氢与活性炭对百蕊草多糖进行脱色,证明不同的脱色方法对百蕊草多糖的性质有不同的影响。经过过氧化氢脱色比活性炭脱色后的抗氧化能力更强,而活性炭脱色过程更温和,能更好地保留多糖的大分子结构。Hui 等<sup>[20]</sup>以败酱草粗多糖为原料,比较过氧化氢和活性炭对败酱草多糖的脱色效果,得出活性炭的脱色效果较好,脱色率和得率分别为 50.21% 和 70.36%,而脱色后败酱草多糖的清除能力强于未脱色多糖。

## 3 结论

通过采用活性炭、大孔吸附树脂、氨基氧化石墨烯三种不同脱色剂对唐古特大黄非药用部位多糖进行脱色,结果以大孔吸附树脂法脱色率较低,在只考虑脱色率与保留率的情况下,选择活性炭为最佳脱色剂,脱色率与保留率分别为 79.59% 与 88.72%。然而,经过活性炭处理后的样品的抗氧化效率降低,而石墨烯与树脂处理后的样品抗氧化活性则提高。因此,在优先选择抗氧化活性的情况下,考虑石墨烯作为最佳脱色剂。结果说明,简单地用多糖保留率及脱色率虽然能评价脱色剂的优劣,但是不能完全地评价脱色剂对多糖品质的影响,鉴于多糖抗氧化能力等功效,还应与抗氧化能力等评定相结合,根据应用目的不同特定地选择脱色剂与评价指标。

## 参考文献

1 Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the

- People's Republic of China(中华人民共和国药典)[M]. Beijing:China Medical Science Press,2020;1088.
- 2 Fu YD,Zhang J,Liu Y, et al. Analysis on bidirectional regulation of purging and astringency about raw and steamed products of *Rhei Radix et Rhizoma* and their active components[J]. *Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志)*,2019,25:127-132.
  - 3 Zhang WG,Jia CY,Wang D, et al. Resource Value discovery and utilization of wastes in industrialization of *Rhei Radix et Rhizoma*[J]. *Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志)*,2021,27:214-222.
  - 4 Chen YY,Tang YP,Chen JQ, et al. Research progress and utilization strategy on resource chemistry of *Rhei Radix et Rhizoma*[J]. *Chin Tradit Herb Drugs(中草药)*,2018,49:5170-5178.
  - 5 Li Y,Wang Y,Zuo SY. A review on decolorization technology of plant-based polysaccharides[J]. *Mod Chem Ind(现代化工)*,2018,38:31-35.
  - 6 Zeng J,Fang HL,Liang CW, et al. Optimization of decolorization process and adsorption properties of crude polysaccharide from *Ficus carica* L. [J]. *Chin Tradit Pat Med(中成药)*,2022,44:537-542.
  - 7 Tan QY,Yuan YJ,Wang D, et al. Comparative on several decolorization methods of *Dendrobium candidum*[J]. *Food Ind(食品工业)*,2019,40:43-47.
  - 8 Liu W,Liu QN,Zhang L, et al. Optimization of decoloration process by macroporous resins and its chemical properties of strawberry polysaccharides[J]. *Sci Technol Food Ind(食品工业科技)*,2020,41:38-51.
  - 9 Yang SM,Xiong ZJ,Wang ZJ, et al. Optimization of decolorization technology of *Lycopus lucidus* Turcz. polysaccharides by response surface methodology and its antioxidant activity[J]. *Cereals Oils(粮食与油脂)*,2022,35:111-115.
  - 10 Cheng Y,Zuo YH,Fan XF. Study on preparation and adsorption performance of graphene[J]. *China Ceramics(中国陶瓷)*,2017,53:14-20.
  - 11 Shi S,Zhang WT,Liu XN, et al. A sustainable and nondestructive method to high-throughput decolor *Lycium barbarum* L. polysaccharides by graphene-based nano-decoloration[J]. *Food Chem*,2021,338:12774.
  - 12 Zhang YC,LI L. The localization characteristics of rhubarb polysaccharide in stems and leaves of *Rheum tanguticum* Maxim. et Balf. var. *liupanshanense* Cheng et Kao[J]. *Bull Bot Res(植物研究)*,2009,29:753-756.
  - 13 Xie Y,Li GW, Ma YM. Research progress in rhubarb polysaccharides[J]. *Chin New Drug J(中国新药杂志)*,2010,19:755-758.
  - 14 Zhao XT, Xie JB, Pan BC, et al. Optimization decoloration process of *Agaricus blazei* Murill polysaccharide by response surface methodology[J]. *Sci Technol Food Ind(食品工业科技)*,2016,37:207-212.
  - 15 Yang J,Tong YP,Zhu KM, et al. Optimization of mechanochemical-assisted extraction and decoloration by resins of polysaccharides from petals of *Crocus sativus* L [J] *J Food Process Pres*,2018,42:e13369.1-e13369.11.
  - 16 Zhu J,Jia YN. Decolorization technique optimization for *Boletus edulis* polysaccharides and the antioxidant activity[J]. *Chin Tradit Pat Med(中成药)*,2018,40:825-830.
  - 17 Liu FG,Feng SX,Zhang J, et al. Optimization of pectinase extraction and decoloration process of *Chelidonium majus* polysaccharide[J]. *Chin Tradit Pat Med(中成药)*,2018,40:1622-1626.
  - 18 Yang Y,Xie JY,Zhou BQ, et al. Processing optimization on decolorization of the crude polysaccharide from *Atractylodes macrocephala* Koidz. [J]. *Food Sci Technol(食品科技)*,2020,45:169-173.
  - 19 Shao LJ, Sun Y, Liang J, et al. Decolorization affects the structural characteristics and antioxidant activity of polysaccharides from *Thesium chinense* Turcz.; comparison of activated carbon and hydrogen peroxide decolorization[J]. *Int J Biol Macromol*,2020,155:1084-1091.
  - 20 Hui HP,Li XD,Shi YB, et al. Study on decolorization process for polysaccharide from *Herba Patriniae* and antioxidation activity[J]. *Mod Chem Ind(现代化工)*,2021,41:S231-S240.