

陈媛琳,赵小倩,阮尚全,等. 改性脐橙皮对罗丹明 B 的吸附性能[J]. 江苏农业科学,2021,49(10):201-206.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.10.038

# 改性脐橙皮对罗丹明 B 的吸附性能

陈媛琳<sup>1</sup>, 赵小倩<sup>1</sup>, 阮尚全<sup>1,2</sup>, 涂俊宏<sup>1</sup>, 孙苗佳<sup>1</sup>

(1. 内江师范学院化学化工学院, 四川内江 641199; 2. 四川省高等学校果类废弃物资源化重点实验室, 四川内江 641199)

**摘要:**用磷酸和微波改性法制备脐橙皮改性吸附剂,以未改性脐橙皮作为对照,研究改性吸附剂吸附印染废水中罗丹明 B 的性能,考察吸附剂用量、吸附温度、pH 值、吸附时间、罗丹明 B 初始质量浓度对吸附性能的影响,用扫描电子显微镜(SEM)和红外光谱(SIR)表征脐橙皮改性前后的形貌特征和结构特点。结果表明,当吸附温度为 30 ℃、pH 值为 7 时,加入 0.100 g 吸附剂于 35 mL 质量浓度为 50 mg/L 的罗丹明 B 溶液中吸附 120 min,改性后的吸附率由改性前的 8.75% 提高到 93.36%。扫描电子显微镜和红外光谱表征结果显示,改性吸附剂疏松多孔,暴露了更多活性基团,并发生结构改变。吸附过程符合 Langmuir、Fredunlich 吸附等温式,符合准二级动力学模型。综合比较可知,改性脐橙皮渣具有更好的吸附性能,是一种具有潜在利用价值的生物质吸附剂。

**关键词:**脐橙皮;化学改性;吸附性能;罗丹明 B;吸附剂

**中图分类号:** O647.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)10-0201-06

印染废水具有色度、化学需氧量、pH 值、盐度、硬度高的特点,是难处理的工业废水之一,大量排放印染废水会带来环境的恶化,从而严重危害人类健康,因此其治理成为当前的重要任务。目前我国印染废水处理技术效率较低,有效率为 50% 左右<sup>[1]</sup>,处理方法有物理吸附法、化学处理法、电化学处理法、生物处理法等<sup>[2-6]</sup>。

我国农林废弃物来源广泛,开发成本低、再生性能好,用于染料废水的处理,既能充分利用资源,又能减轻环境压力。柑橘皮富含多糖、半纤维素、

纤维素、木质素等高分子化合物,通过化学方法或物理方法改性处理后,能有效地改善其结构特点并提高其吸附活性,因此改性柑橘皮成为材料领域的研究热点之一<sup>[7-10]</sup>。脐橙在我国南方广泛种植<sup>[11-12]</sup>,目前其废弃果皮的资源化研究主要集中在加工橙皮和提取色素、精油、黄酮、果胶、橙皮苷、柠檬苦素、膳食纤维等功能活性成分等方面<sup>[13-18]</sup>,用作吸附材料的报道较少,鲜见利用金堂脐橙皮渣的报道<sup>[19-22]</sup>。四川省金堂县种植脐橙起于明末清初,2017 年的种植面积已达 1.34 万 hm<sup>2</sup>,常年产量为 13 万 t,按果皮质量分数 20%~30% 计算,在食用和食品加工中产生的果皮质量为 26 000~39 000 t,合理利用将会获得良好的社会效益和经济效益。

本试验利用磷酸、微波法对废弃的四川金堂脐橙皮渣进行双改性处理,制得了改性吸附剂,并将未改性脐橙皮渣作为对照进行吸附试验,通过研究

收稿日期:2020-08-09

基金项目:四川省大学生创新训练计划(编号:X2019067);四川省教育厅自然科学基金重点项目(编号:15ZA0291)。

作者简介:陈媛琳(1998—),女,四川成都人,从事农林废弃物资源化利用研究。E-mail:782881815@qq.com。

通信作者:阮尚全,正高级实验师,从事农林废弃物资源化利用研究。E-mail:rsq2009nj@sina.com。

[18]王艳云,郭笃发. 黄河三角洲盐碱地土壤真菌多样性[J]. 北方园艺,2016(18):185-189.

[19]张 玥,胡云飞,王树茂,等. 茶园年限对根际土壤真菌群落结构及多样性的影响[J]. 应用与环境生物学报,2018,24(5):972-977.

[20] Berendsen R L, Pieterse C M, Bakker P A. The rhizosphere microbiome and plant health[J]. Trends in Plant Science,2012,17(8):478-486.

[21]张 翔,宋水山,黄亚丽,等. 基于高通量测序分析河北省中南部地区耕地土壤细菌多样性[J]. 华北农学报,2018,33(4):

196-203.

[22]张萌萌,敖 红,张景云,等. 建植年限对紫花苜蓿根际土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 草业科学,2014,31(5):787-796.

[23]张萌萌,敖 红,李 鑫,等. 桑树/苜蓿间作对根际土壤酶活性和微生物群落多样性的影响[J]. 草地学报,2015,23(2):302-309.

[24]张 超,周 旭,张 海,等. 苹果专用肥对旱地果园土壤酶活性以及微生物多样性的影响[J]. 生态学杂志,2017,36(12):3485-3492.

吸附剂对染料罗丹明 B 的吸附性能,以期为金堂脐橙的综合利用提供试验方法和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要仪器与试剂

T6 新世纪紫外-可见分光光度计,购自北京普析通用仪器有限责任公司;SHA-B 水浴振荡器,购自上海玺袁科学仪器有限公司;TDL-5-A 离心机,购自上海安亭科学仪器厂;UWave-1000 微波·紫外·超声波三位一体合成萃取反应仪,购自上海新仪微波化学科技有限公司;DHG-9123A 电热鼓风干燥箱,购自上海精宏实验设备有限公司;pH-3E 酸度计,购自上海仪电科学仪器股份有限公司;WQF-510A 傅里叶红外光谱仪,购自北京北分瑞利分析仪器(集团)有限责任公司;VEGA3SBH 扫描电子显微镜,购自泰思肯贸易(上海)有限公司。 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 、HCl、NaOH、罗丹明 B 均为分析纯产品,购自成都市科龙化工试剂厂。试验用水为反渗透(reverse osmosis,RO)膜过滤水。

### 1.2 试验方法

1.2.1 吸附剂的制备 本试验所用脐橙采自四川省成都市金堂县一个脐橙生产基地 12 月的果实。采取脐橙后去皮,在电热鼓风干燥箱中于 60 ℃ 烘干。取 1 份烘干脐橙皮,加入 25% 磷酸溶液浸泡 24 h 后用 400 W 微波辐射 3 min,然后用 RO 膜过滤水洗至中性,再于 80 ℃ 烘干后粉碎、过 60 目分样筛,装袋制得脐橙皮改性吸附剂(以下简称改性吸附剂)。另取 1 份脐橙皮,在电热鼓风干燥箱中于 80 ℃ 直接烘干,粉碎后过 60 目分样筛,制得脐橙皮未改性吸附剂(以下简称未改性吸附剂)。

1.2.2 吸附剂的表征 分别取改性吸附剂、未改性吸附剂,在 SBC-12 离子溅射仪中抽真空、喷金镀膜制样,再将吸附剂置于 VEGA3SBH 扫描电子显微镜样品台上放大 2 000 倍观察并摄像,考察其形貌特性。取改性吸附剂、未改性吸附剂,加 KBr(试样与 KBr 质量比为 1:200)制样,在 WQF-510A 傅里叶红外光谱仪上,在波数为 400~4 000  $\text{cm}^{-1}$  的范围内进行光谱扫描,考察其结构特征。

1.2.3 罗丹明 B 标准曲线 准确称取 2.000 g 罗丹明 B,用 RO 膜过滤水溶解并定量转移至 1 000 mL 容量瓶中,定容后配制成 2 000 mg/L 标准溶液。移取 25.00 mL 标准溶液于 100 mL 容量瓶中,用 RO 膜过滤水定容,配制成质量浓度为

50 mg/L 的工作液。然后分别取 2.00、4.00、6.00、8.00、10.00、12.00、20.00 mL 罗丹明 B 工作液于 50 mL 容量瓶中,加 RO 膜过滤水定容、摇匀,得到 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、10.0 mg/L 标准溶液,在波长 554 nm 处测定其吸光度,得到吸光度( $y$ )与质量浓度( $x$ )的一元线性回归方程为  $y = 0.040\ 52x + 0.000\ 25$ ,  $r^2 = 0.999\ 9$ 。

1.2.4 吸附试验 分别称取一定量改性吸附剂、未改性吸附剂于 100 mL 锥形瓶中,再加入 35.00 mL 一定浓度的罗丹明 B 溶液,用保鲜膜封口后戳 1 个小孔以便平衡瓶内外的压力,将锥形瓶置于水浴中振荡,在一定 pH 值、温度下振荡吸附一定时间,然后于 4 000 r/min 离心分离 10 min,在波长为 554 nm 处测定离心液的吸光度,并计算其吸附率。

1.2.5 单因素试验 以吸附溶液体积为 35 mL、改性吸附剂(或未改性吸附剂)用量为 0.100 g、罗丹明 B 的质量浓度为 50 mg/L、pH 值为 7(未改性吸附剂的 pH 值为 4.8)、吸附时间为 120 min、吸附温度为 30 ℃ 作为固定水平,改变其中某一因素水平,按照“1.2.4”节中的方法进行吸附试验,考查各因素独立变化时对吸附率的影响。因素水平分别做如下设计:吸附剂用量设为 0.010、0.020、0.040、0.060、0.080、0.100、0.150、0.200 g,罗丹明 B 初始质量浓度设为 20、50、80、100、150、200、300、400 mg/L,pH 值设为 3、4、5、6、7、8、9、10,吸附时间设为 30、60、90、120、150、180、210、240 min,吸附温度设为 20、30、40、50、60、70、90 ℃。

1.2.6 吸附量与吸附率的计算 吸附量、吸附率按以下公式计算:

$$\text{吸附量计算公式: } Q_e = (C_0 - C_e) V / m;$$

$$\text{吸附率计算公式: } R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%。$$

式中: $Q_e$  为吸附量,mg/g; $R$  为吸附率,%; $C_0$  为初始质量浓度,mg/L; $V$  为溶液体积,L; $m$  为吸附剂质量,g; $C_e$  为吸附平衡时的质量浓度,mg/L。

1.2.7 等温吸附分析 参照文献[23]的方法,取初始质量浓度为 20、50、80、100、150、200、300、400 mg/L 的罗丹明 B 溶液,加入 0.100 g 改性或未改性吸附剂,当 pH 值为 7 时(未改性吸附剂试验的 pH 值为 4.8)、温度为 30 ℃ 时进行吸附试验,以  $C_e/Q_e$  为纵坐标、 $C_e$  为横坐标拟合绘制 Langmuir 吸附等温线,以  $\ln Q_e$  为纵坐标、 $\ln C_e$  为横坐标绘制 Freundlich 吸附等温线。

$$\text{Langmuir 方程为: } \frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{C_e}{q_m}。$$

式中:  $C_e$  为平衡浓度, mg/L;  $Q_e$  为平衡时的吸附量, mg/g;  $q_m$  为吸附剂的最大吸附量, mg/g;  $K_L$  为 Langmuir 常数, 与吸附剂和吸附质之间的亲和力有关。

$$\text{Freundlich 方程为: } \ln Q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e。$$

式中:  $K_F$  为 Freundlich 常数, 是与吸附剂吸附容量有关的参数;  $1/n$  为吸附指数,  $n$  是与吸附分子与吸附剂表面作用强度有关的参数。

1.2.8 吸附动力学分析 参照文献[24]中的方法, 取 0.100 g 改性或未改性吸附剂, 在 pH 值为 7 (未改性吸附剂试验的 pH 值为 4.8)、温度为 30 ℃ 的条件下, 加入 35 mL 质量浓度为 50 mg/L 的罗丹明 B 溶液, 考察时间变化下的吸附动力学特性, 用准一级动力学方程、准二级动力学方程模型对数据进行拟合。准一级动力学以  $\ln(Q_e - q_t)$  为纵坐标、时间  $t$  为横坐标进行作图分析, 准二级吸附动力学以  $t/q_t$  为纵坐标、 $t$  为横坐标进行作图分析,  $q_t$  为  $t$  时的吸附量。

### 1.3 数据处理

用 Origin 7.5 软件对试验数据作图, 试验重复 2~3 次, 用标准偏差表达试验结果的离散性。

## 2 结果与分析

### 2.1 吸附剂表征结果

由图 1、图 2 可知, 吸附剂在改性前后的形貌有较大变化, 未改性吸附剂表面光滑, 相对平整, 吸附点位相对较少; 改性吸附剂表面的纤维素断裂, 结构疏松且多孔, 比表面积增大, 纤维素断裂后暴露出了更多活性官能团, 活性位点数增加, 从而利于提高吸附效果。

由图 3 可知, 改性前的脐橙皮在 3 368  $\text{cm}^{-1}$  附

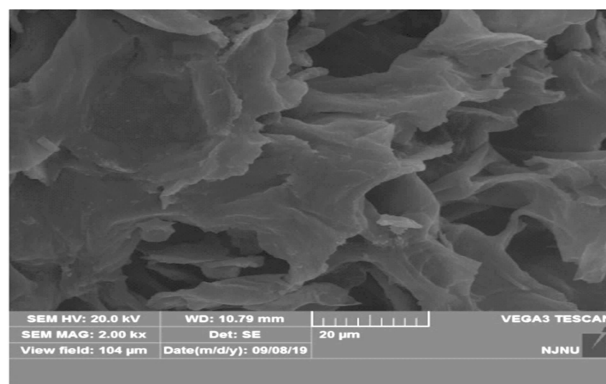


图1 未改性脐橙皮的扫描电镜结果

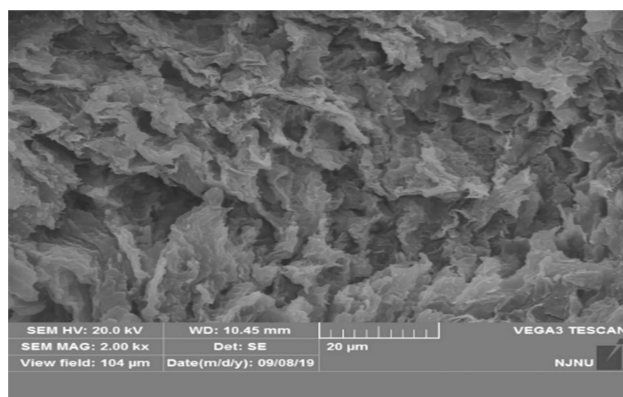


图2 改性脐橙皮的扫描电镜结果

近的吸收峰较强且宽, 是来自脐橙皮中大量纤维素、果胶等官能团的羟基( $-\text{OH}$ ), 改性后的吸收峰移动至 3 391  $\text{cm}^{-1}$ , 吸收峰依旧强且宽; 2 365  $\text{cm}^{-1}$  处的伸缩振动变化不大, 但透光率改变较大; 1 643、1 743  $\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰说明出现了  $\text{C}=\text{O}$  的伸缩振动, 这 2 处的吸收峰都略小, 可能由于羰基与其他官能团发生了反应; 增加的波数为 2 851、2 912  $\text{cm}^{-1}$ , 此外的双峰可能是由  $\text{P}-\text{OH}$  中的  $\text{O}-\text{H}$  伸缩振动引起; 波数为 1 631、1 735  $\text{cm}^{-1}$  处的峰由  $\text{P}=\text{O}$  的伸缩振动引起; 波数为 1 066  $\text{cm}^{-1}$  处的峰可能是由于  $\text{P}-\text{O}-\text{C}$  的伸缩振动引起, 使得改性后的脐橙皮渣具有磷酸的相关特性。

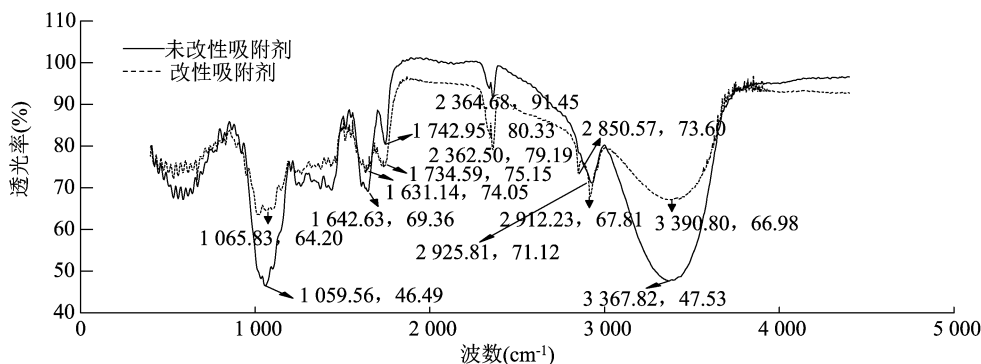


图3 吸附剂的红外光谱

## 2.2 单因素试验结果

2.2.1 改性前后的吸附率结果对比 由图 4 可以看出,在吸附温度为 30 ℃、pH 值为 7、吸附剂用量为 0.100 g、罗丹明 B 质量浓度为 50 mg/L、体积为 35 mL 时吸附 120 min,改性后的吸附剂对染料罗丹明 B 的去除率大幅度提升,吸附率达到了 93.36%,而改性前仅为 8.75%。这可能由于改性后的吸附剂增加了磷酸基团,同时在微波处理过程中也增加了吸附剂的孔隙数量及比表面积,从而使吸附能力大大提升。

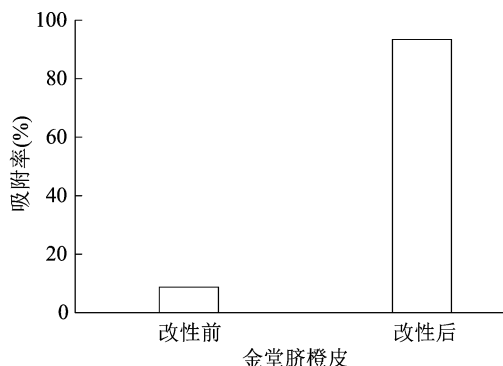


图4 吸附剂改性前后对罗丹明B吸附率的比较

2.2.2 吸附剂用量对吸附率的影响 由图 5 可知,当改性或未改性吸附剂用量在 0.010、0.020、0.040、0.060、0.080、0.100、0.150、0.200 g 范围内变化时,改性吸附剂极大地提高了对罗丹明 B 的吸附率。当改性吸附剂与未改性吸附剂的用量小于 0.04 g 时,吸附率随着吸附剂用量的增加几乎呈直线增长,原因是吸附剂用量的增加增大了接触面积和活性位点。当改性吸附剂用量大于 0.04 g 后,对罗丹明 B 的吸附率趋于平衡。对于未改性吸附剂而言,其对罗丹明 B 的吸附率仍然随着吸附剂用量的增加而缓慢提高,但吸附效果仍不如改性吸附剂。

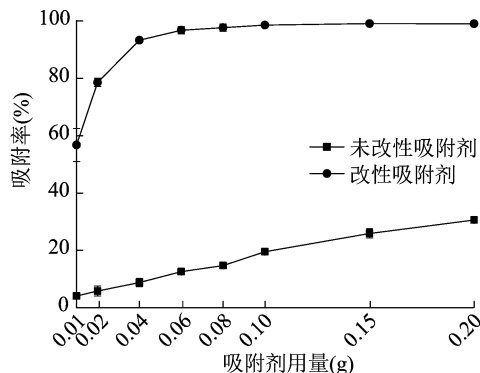


图5 吸附剂用量对吸附率的影响

2.2.3 罗丹明 B 浓度对吸附率的影响 由图 6 可知,当罗丹明 B 质量浓度在 20、50、80、100、200、

300、400 mg/L 范围内变化时,改性吸附剂对罗丹明 B 的吸附性能远大于未改性吸附剂。当罗丹明 B 质量浓度为 20 ~ 100 mg/L 时,改性吸附剂的吸附率变化不大,可能是吸附未达到饱和。当罗丹明 B 质量浓度大于 200 mg/L 时,吸附率几乎呈线性下降趋势,原因是当吸附剂用量一定时,吸附达到平衡,已无多余吸附活性位点。

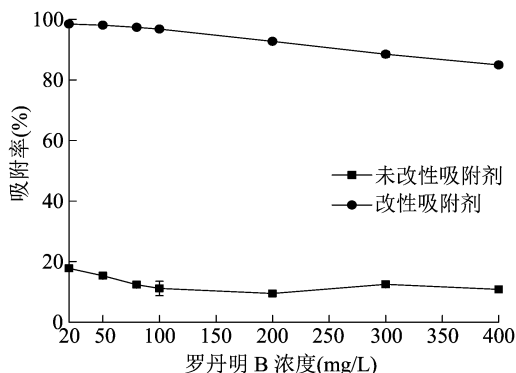


图6 罗丹明 B 质量浓度对吸附率的影响

2.2.4 pH 值对吸附率的影响 由图 7 可知,当将溶液 pH 值分别调至 3、4、5、6、7、8、9、10 时,改性吸附剂吸附罗丹明 B 的能力远大于未改性吸附剂。pH 值的改变对改性吸附剂性能的影响很小,吸附率均在 96% 以上,有很好的吸附效果;未改性吸附剂的吸附效果随着 pH 值的增加而减小,之后趋于平衡。为了不增加试剂投入、减小对环境的污染,在使用该吸附剂时,不需要调节染料废水的 pH 值。

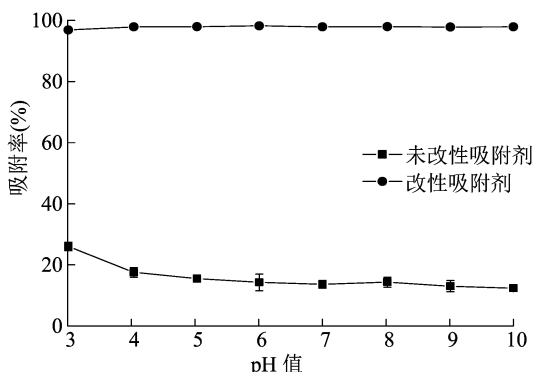


图7 pH 值对吸附率的影响

2.2.5 吸附时间对吸附率的影响 由图 8 可知,当将吸附时间分别调至 30、60、90、120、150、180、210、240 min 时,改性吸附剂吸附罗丹明 B 的能力远强于未改性吸附剂,二者在 30 min 内均可以达到吸附平衡,吸附 30 min 时的吸附率分别为 98.09%、18.87%,在本试验条件下,改性吸附剂的吸附率始终接近 100%,而未改性吸附剂的则在 20% 左右。

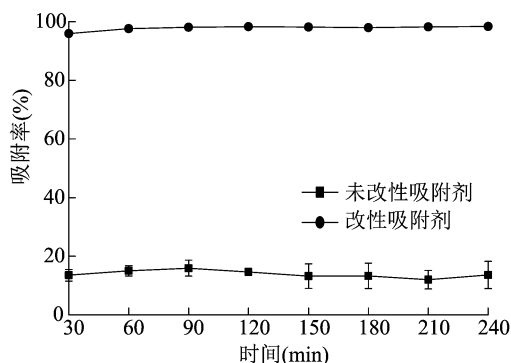


图8 吸附时间对吸附率的影响

2.2.6 温度对吸附率的影响 由图 9 可知,当吸附温度分别为 20、30、40、50、60、70、90 ℃时,随着温度的升高,改性吸附剂的吸附量与吸附率的变化都不大,而未改性吸附剂受温度的影响相对较大,原因可能是温度变化会影响吸附剂的吸附热动力及吸附热容,致使吸附剂的吸附能力发生了变化。而改性吸附剂可能是因为改变了材料的原有结构,使得其吸附性能受温度的影响较小,从而有较好的温度适应性。在吸附温度为 40 ℃时进行比较,吸附率可由改性前的 20.76% 提高到 99.29%。

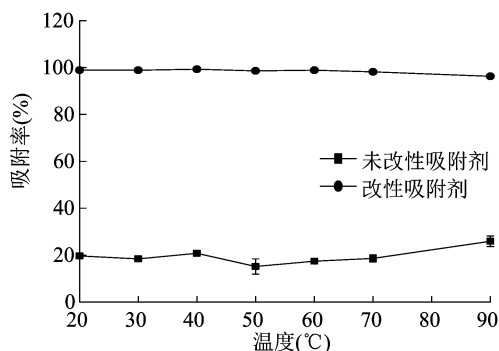


图9 温度对吸附率的影响

### 2.3 吸附等温线分析

将罗丹明 B 质量浓度为 20、50、80、100、200、300、400 mg/L 的试验数据用于吸附等温线的拟合。由图 10、图 11、表 1 可知,罗丹明 B 的 Langmuir 吸附等温式中的  $r^2$  为 0.965 13, Freundlich 吸附等温式中的决定系数( $r^2$ )为 0.976 47,说明吸附剂对罗丹明 B 的吸附属于 Langmuir 和 Freundlich 型的复合吸附,即单层吸附和吸附剂表面的非均质吸附同时存在。

### 2.4 吸附动力学分析

吸附动力学是吸附量随时间的变化关系,将吸附时间设为 30、60、90、120、150、180、210、240 min 用于吸附动力学的拟合。由图 12、图 13、表 2 可以

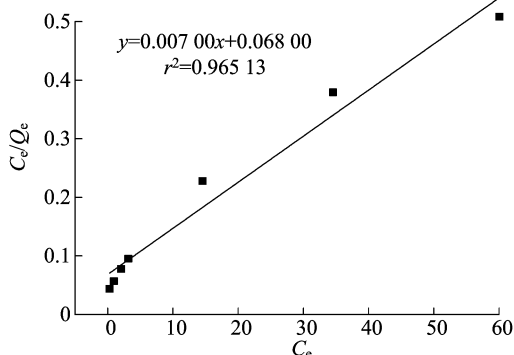


图10 Langmuir 吸附等温方程

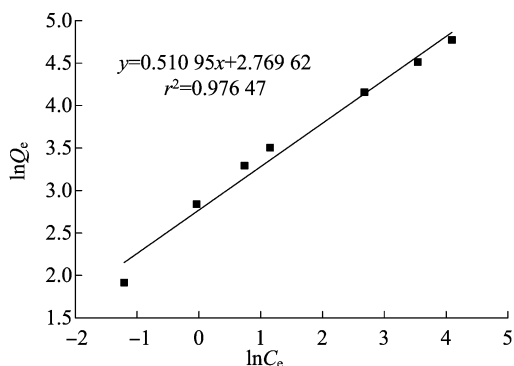


图11 Freundlich 吸附等温方程

表 1 罗丹明 B 的 Langmuir 吸附等温式和 Freundlich 吸附等温式相关参数

等温式	参数	取值
Langmuir 吸附等温式	$q_m$ (mg/g)	142.857 1
	$K_L$	0.102 94
	$r^2$	0.965 13
Freundlich 等温式	$K_F$	15.952 57
	$N$	1.957 1
	$r^2$	0.976 47

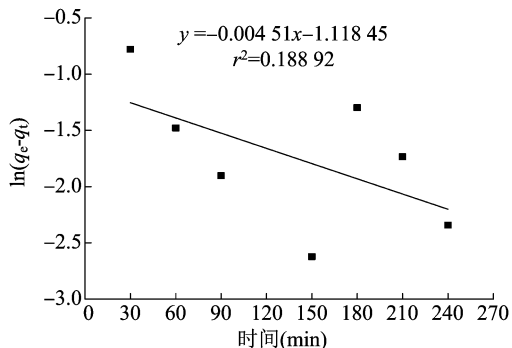


图12 准一级动力学模拟

看出,罗丹明 B 准一级吸附动力学模型的  $r^2$  为 0.188 92,准二级吸附动力学模型的  $r^2$  为 0.999 87,说明改性金堂脐橙皮吸附剂吸附罗丹明 B 更符合准二级吸附动力学,吸附速率被化学吸附所控制。

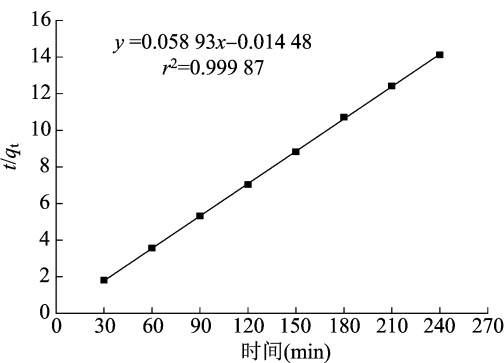


图13 准二级动力学模拟

表 2 罗丹明 B 的准一级准二级动力学模拟图的相关参数

等温式	参数	取值
准一级动力学模型	$K_1$	0.004 5
	$q_e$	0.326 8
	$r^2$	0.188 9
准二级动力学模型	$K_1$	0.239 8
	$q_e$	16.969 2
	$r^2$	0.999 9

3 结论

金堂脐橙皮通过磷酸、微波双改性制备成改性吸附剂,增加了吸附剂的活性基团和比表面积,能显著提高其吸附性能,快速达到吸附平衡,并且受罗丹明 B 质量浓度、pH 值、吸附时间、温度的影响小。当吸附温度为 30 ℃、pH 值为 7 时,加入 0.100 g 吸附剂于 35 mL 质量浓度为 50 mg/L 的罗丹明 B 溶液中吸附 120 min,改性后的吸附率可由改性前的 8.75% 提高到 93.36%,改性吸附剂吸附罗丹明 B 的规律符合 Langmuir 等温模型和 Freundlich 等温模型。改性金堂脐橙皮渣对染料废水中罗丹明 B 具有良好的吸附能力,是一种具有潜在利用价值的生物吸附材料。

参考文献:

[1] 谭 军,许海军,韦晓燕,等. 印染废水深度处理及回收技术现状与发展[J]. 化工管理,2019(35):71-72.

[2] 赵 倩,王广智,张 宁,等. 改性活性炭技术处理印染废水的研究进展[J]. 上海纺织科技,2019,47(4):4-8,39.

[3] 胡必清,朱亚伟. 印染废水的化学法处理研究进展[J]. 印染,2016,42(13):46-50.

[4] 吕伟伟,姚继明,张 维. 印染废水的电化学氧化脱色研究进展

[J]. 针织工业,2019(4):53-57.

[5] 张 兵. 生物技术处理印染废水研究进展[J]. 印染助剂,2019,36(4):10-12.

[6] 隋聚艳. 天然高分子絮凝剂处理印染废水研究进展[J]. 印染助剂,2018,35(1):16-21.

[7] 黄瑶瑶. 农业废弃物作为生物质吸附剂对废水处理的研究进展[J]. 应用化工,2017,46(2):173-178.

[8] 刘雪梅,吴 凡,章海亮,等. 农林废弃物生物吸附剂处理重金属废水的研究进展[J]. 应用化工,2019,48(11):2703-2707,2713.

[9] 卢 颖,代学明,南国英. 改性农林废弃物吸附印染废水的性能及其优选[J]. 河北建筑工程学院学报,2019,37(4):136-139.

[10] 王 琼,黄丽媛,黄 玲,等. 生物质废弃物柚子皮作为潜在吸附剂用于废水处理[J]. 湖南工业大学学报,2019,33(6):89-94.

[11] 米兰芳,吕树萍,马 冬,等. 我国脐橙品种的来源及特性[J]. 赣南师范大学学报,2019,40(6):80-84.

[12] 张俊艳,林高山,张丽芳,等. 基于 3S 技术的四川省脐橙适宜区分布研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(22):284-292.

[13] 段振华. 脐橙加工利用技术研究进展[J]. 食品研究与开发,2016,37(24):199-202.

[14] 钟观林,林 琴,林尊贤,等. 赣南脐橙皮中有效成分的提取与结构鉴定[J]. 赣南师范大学学报,2020,41(3):65-67.

[15] 沈 锐,谢青松,赵壮志,等. 响应面优化脐橙皮中果胶的提取工艺及理化性质分析[J]. 食品研究与开发,2018,38(4):77-83.

[16] 王晓君,张秀玲,陈少华,等. 微波辅助复合酶法提取脐橙皮中总黄酮的工艺优化[J]. 食品工业科技,2017,38(8):172-177.

[17] 黄 茜,李建凤,廖立敏. 超声波辅助提取脐橙皮多糖研究[J]. 食品研究与开发,2016,37(19):40-43.

[18] 张 娟,陈海燕,曹艳平. 赣南脐橙皮精油的提取、成分分析及抗氧化性研究[J]. 食品科技,2016,41(12):220-224.

[19] 张旻杰,艾芳珍,朱业晋,等. 脐橙皮渣活性炭对水中低浓度 Cu(Ⅱ)的吸附性能[J]. 应用化工,2016,45(8):1492-1495.

[20] 朱业晋,刘 颖,刘 立. 不同活化剂制备的脐橙皮渣活性炭对 Cr(VI)的吸附研究[J]. 赣南师范学院学报,2015,36(6):58-60.

[21] 朱业晋,林立强,谢 成,等. 脐橙皮活性炭对亚甲基蓝的吸附[J]. 赣南师范学院学报,2012,33(6):42-44.

[22] 赵 华,陈爱华,张耀海,等. 甲醛改性脐橙皮对重金属 Pb(Ⅱ)的吸附[J]. 食品科学,2012,33(19):57-61.

[23] 韩承辉,谢伟芳,阮小燕,等. 柚子皮基活性炭对水溶液中 Cu(Ⅱ)的吸附及机制研究[J]. 有色金属(冶炼部分),2019(12):84-91.

[24] 王彦飞,李海普,杨兆光. 改性棕榈生物炭的制备及其对水体磷酸盐的吸附性能[J]. 科技风,2020(10):188-191.