

化学修饰甘薯渣对碱性品红的吸附特性

陈莉¹, 熊晓明², 李新¹

(1. 运城学院生命科学系, 山西运城 044000) (2. 邢台学院化学与化工学院, 河北邢台 054001)

摘要:以废弃甘薯渣为原料,经化学修饰处理得到了改性甘薯废渣生物吸附剂,并将用于对水溶液中印染物质碱性品红的吸附。针对改性甘薯渣加入量、粒径、碱性品红溶液初始浓度、溶液 pH、吸附温度、吸附时间各因素对吸附率的影响进行实验,对影响显著的碱性品红初始浓度、改性甘薯渣加入量、吸附时间采用二次正交旋转组合设计优化,得碱性品红初始浓度 200 mg/L、改性甘薯渣加入量 0.8 g、吸附时间 140 min 时模拟预测最大吸附率 97.66%,同条件下实测 97.38%,二者吻合。吸附平衡试验表明甘薯渣吸附剂对碱性品红吸附符合 Langmuir 和 Frundlich 模型,其最大吸附量为 37.17 mg/g。吸附动力学可用准二级动力学方程描述。BET 及 SEM 表征分析可知改性甘薯渣优化后表面疏松多孔,且褶皱增多,有利于吸附过程进行。经 FT-IR 与 EDS 得知,羟基(-OH)、羧基(-COOH)在吸附过程中起到主要作用。

关键词:修饰甘薯渣;化学修饰;碱性品红;生物吸附;吸附等温线;动力学模型

文章编号:1673-9078(2019)02-209-215

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.2.029

Adsorption Characteristics of Alkali Fuchsia by Sweet Potato Dregs by Chemical Modification

CHEN Li¹, XIONG Xiao-ming², LI Xin¹

(1. Department of Life Science, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China)

(2. College of Chemical and Chemical Engineering, Xingtai University, Xingtai 054001, China)

Abstract: The modified sweet potato residue biosorbent was obtained by chemically modifying the waste sweet potato residue as raw material, and it was used for the adsorption of the basic fuchsin of the printed matter in the aqueous solution. Effects of modified sweet potato slag addition amount, particle size, initial concentration of basic fuchsin solution, solution pH, adsorption temperature and adsorption time on the adsorption rate were investigated. The initial concentration, addition amount and time showed significant effects. By using quadratic orthogonal rotating combination design, the optimum initial concentration, addition amount and time were determined as 200 mg/L, 0.8 g and 140 min, respectively. The measured adsorption rate was 97.38%, which is similar to the predicted maximum value of 97.66%. The adsorption equilibrium test showed that the adsorption of sweet potato residues on basic fuchsin was consistent with Langmuir and Frundlich model, and the maximum adsorption capacity was 37.17 mg/g. The adsorption kinetics can be described by quasi - second order kinetic equations. BET test and SEM observation showed that the modified sweet potato residue was optimized for porous surface and increased wrinkles, which was beneficial to the adsorption process. According to FTIR and EDS, hydroxyl and carboxyl groups play major roles in the adsorption process.

Key words: modified sweet potato; chemical modification; basic fuchsin; biosorption; adsorption isotherm; kinetics model

纺织印染业,作为我国的支柱产业,排放的印染废水在工业废水中占很大比例,也是当前我国主要的、难处理的和对环境破坏极大地工业废水之一^[1]。据初步统计我国印染废水每天的排放量为 300~400 万 m³,人为排放的纺织废水中含有很多助剂、酸类和碱类、还有重金属离子化合物等,受印染废水影响,

收稿日期:2018-10-30

基金项目:山西省社科联 2018 年度重点课题研究项目(SSKLZDKT 2018120);山西省“1331”工程重点学科项目(098-091704)

作者简介:陈莉(1980-),女,副教授,在读博士生,研究方向:生物资源利用

水体透光量会减少,且大多数离子物质均有巨毒,对人和动植物生存影响较大^[2-4]。

其中,碱性品红微溶于水,溶于乙醇及酸类。碱性品红常用于生产墨水以及生物和细菌细胞的染色等,还应用于棉、麻、羊毛、衣服、特种纸张的染色上。水资源的短缺及日益扩大的污染问题日趋扩大为世界难题,当前世界上处理印染废水方面主要有絮凝、臭氧化、活性炭吸附等方法,虽处理效果不错,但因其中多属于不可再生资源或带来环境的二次污染等问题,从而限制大范围应用。其中活性炭的生产带来大量树木的砍伐而造成生态资源的破坏或影响动植物

的繁衍。

生物吸附剂因其价格低廉, 环保可回收利用等优势逐渐受到人们的重视^[5,6]。而固体废弃物易获得, 且回收成本低, 如加以利用可有效防止污染环境。如改性绿茶、植物秸秆经燃烧后的灰末被用于吸附染料溶液^[7], 香蕉皮被用于吸附重金属离子^[8,9]。虽经筛选所得些许生物材料对特定污染物有良好吸附能力, 但这些生物材料往往来源不广泛, 甚至一些材料收集、运输和存储不易, 限制其规模化制作及使用。

甘薯渣作为加工制作粉条的废弃物, 一部分作为饲料进入动物养殖, 很大一部分都被丢弃掩埋以致污染环境, 其来源广泛价格低廉, 对其进行表面改性吸附碱性品红可大大提高治理印染废水的能力^[10]。该研究以废弃甘薯渣为原料, 对其进行化学修饰以制备生物吸附剂, 用以净化印染废水中碱性品红污染物, 与其他类似研究相比, 来源更广泛、改性成本低、易于收集等特点。研究了碱性品红在修饰甘薯渣上的生物吸附剂动力学特性, 重点考察溶液的 pH、吸附时间等主要因素对修饰甘薯渣吸附碱性品红的影响, 建立了相应的吸附动力学模型。这对碱性品红印染废水的处理、回收和控制具有一定的生产实践意义。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

试剂: 碱性品红、氢氧化钠、盐酸、无水乙醇(均为天津市大茂化学试剂厂)、蒸馏水(自制)

仪器: 笔式酸度计 PHS-3BW(上海精密科学仪器有限公司); 紫外分光光度计 UV1102(上海棱谱仪器仪表有限公司); 分样筛 PHS-3C(上海精宏实验设备有限公司); 电热恒温鼓风干燥箱 101A-1E(上海实验仪器总厂); 数控超声波清洗器 KQ500DE(昆山市超声仪器有限公司); 数显恒温水浴锅 HH-4(天津华北实验仪器有限公司); 小型高速粉碎机 WB110(北京维博创机械设备有限公司); 扫描电子显微镜 S-4800(日本日立公司); 傅立叶红外光谱仪 TENSOR 27(德国

布鲁克公司); 粉末压片机 769YP-15A(天津市科高新技术公司); X-能谱仪 GENESIS APOLLO X/XL(日本日立公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 甘薯渣吸附剂制备方法

甘薯渣收集→沸水煮 25~30 min→漂洗多次至中性→0.15 mol/L 氢氧化钠溶液 60 ℃水浴 25~30 min→漂洗多次至中性→无水乙醇脱色 10~15 h→漂洗多次至中性→70~80 ℃干燥→粉碎过筛→成品

1.2.2 单因素试验

经试验获最优甘薯渣吸附剂后, 针对影响吸附的甘薯渣加入量(0.3、0.5、0.7、0.9、1.1、1.3、1.5、1.8 g)、甘薯渣颗粒径大小(40、60、80、100、120、150 目)、碱性品红溶液初始浓度(50、180、200、300、400 mg/L)、溶液 pH(3、4、5、6、7、8、9、10、11)、吸附温度(20 ℃、25 ℃、30 ℃、40 ℃、50 ℃)、吸附时间(20、40、60、80、100、120、140、160、180 min)六因素作单因素试验, 探究各因素对碱性品红吸附影响。

将改性甘薯渣加入到 50 mL、pH 8 碱性品红溶液中, 一定温度下静置吸附一段时间, 过滤后测其吸光度, 计算吸附量和吸附率^[11]。其中单因素实验的固定值为: 改性甘薯渣加入量 0.9 g、颗粒径大小 80 目、碱性品红初始浓度 300 mg/L、pH=8、吸附时间 120 min、常温吸附。

$$\text{吸附量 } q = (C_0 - C) \times V / M \quad (1)$$

$$\text{吸附率}(\%) = (C_0 - C) \times 100\% / C_0 \quad (2)$$

其中: q 吸附量(mg/g); C_0 碱性品红溶液的初始浓度(mg/L); C 甘薯渣吸附后平衡浓度(mg/L); V 碱性品红溶液体积(L); M 加入改性甘薯渣质量(g)。

1.2.3 二次正交旋转组合设计

据单因素实验结果, 针对改性甘薯渣吸附率 3 个关键因素经由模拟计算获各影响因素最佳吸附条件, 设零水平, 编制因素水平编码表(表 1)。

表 1 三因素水平编码表

Table 1 Horizontal code table of three factors

水平编码值	X ₁ : 碱性品红初始浓度/(mg/L)	X ₂ : 吸附时间/min	X ₃ : 甘薯渣加入量/g
-1.682	200	100	0.8
-1	250	110	0.9
0	300	120	1.0
1	350	130	1.1
1.682	400	140	1.2
水平间隔值	50	10	0.1

通过 23 组实验, 每组设置 3 次重复, 测不同件下吸附率并取其平均值, 经软件分析得出回归方程及最优组合。

1.2.4 横向比较

取 5 组 250 mL 锥形瓶分别加入 50 mL 的 200、250、300、350、400 mg/L 碱性品红溶液, 各加 0.8 g 改性甘薯渣、活性炭、大孔吸附树脂 AB-8、硅藻纯, pH 8, 室温静置吸附 140 min。过滤后测吸光度并计算吸附率。

1.2.5 数据处理方法

采用 DPS 数据处理系统 (V9.50) 对相关数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

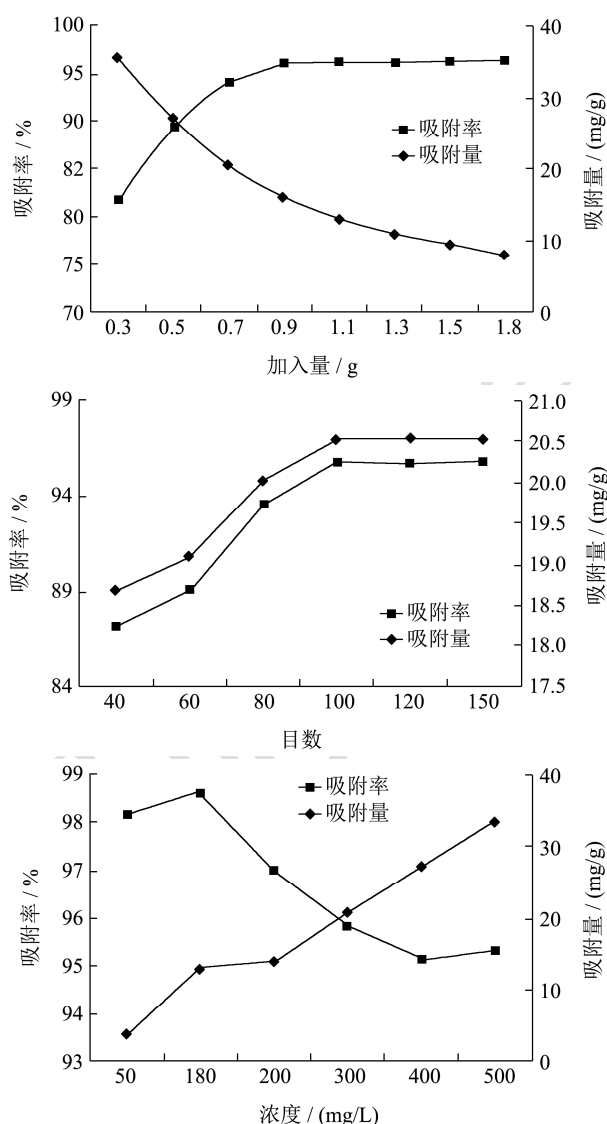


图 1 单因素试验结果

Fig.1 Results of singer factor test

(1) 吸附率随改性甘薯渣加入量增加于一定范围内增加, 0.9~1.1 g 吸附率高达 96.00%。甘薯渣对碱性品红吸附量随加入量增加逐渐降低, 可能有效吸附官能团随加入量增加而增加, 而浓度保持不变, 从而单位质量上改性甘薯渣对碱性品红吸附量减少。

(2) 渣粒径 100 目时, 吸附效果最好, 吸附率 95.70%, 吸附量 20.51 mg/g。随粒径变小吸附率与吸附量均呈现上升趋势。粒径越小颗粒比表面积越大, 可与碱性品红接触面积也越大, 因此吸附效果越好。

(3) 随碱性品红溶液初始浓度增大, 吸附率呈现先增后降的趋势, 而吸附量随浓度增大持续增加, 可能因随溶液浓度增大碱性品红分子数增多, 单位质量甘薯渣吸附碱性品红量也增多。

(4) 随 pH 值增加, 甘薯渣对碱性品红吸附率和

吸附量均先增后减, pH=8 时有最大吸附率 97.16% 及最大吸附量 20.82 mg/g。

(5) 改性甘薯渣对碱性品红吸附率及吸附量随温度升高先升后降, 30 °C 时最大吸附率 96.35% 及最大吸附量 20.65 mg/g。故吸附过程在室温下为宜。

(6) 改性甘薯渣对碱性品红吸附率随吸附时间增加而增大趋于稳定, 60 min 吸附率达 92.26%, 吸附量变化趋势相同。吸附初期, 碱性品红与改性甘薯渣活性位点迅速结合, 甘薯渣表面活性位点基本与碱性品红结合后, 故吸附量逐步趋于稳定。

2.2 一次方差分析

利用 DPS 对实验结果进行分析得浓度(X_1)、时间(X_2)、加入量(X_3)及吸附率(Y)数学模型回归方程:

$$Y = 95.7796 - 0.61411X_1 + 0.50361X_2 + 0.19274X_3 - 0.00291X_{12} - 0.19383X_{22} - 0.17969X_{32} - 0.26375X_1X_2 + 0.12375X_1X_3 - 0.02125X_2X_3$$

可知 X_1 , X_2 达 1% 水平极显著, 其他项均有一定差异性。经方差分析, 可求 $F_1 = MS_{失拟} / MS_{误差} = 1.5704 < F_{0.05}(5,8) = 3.69$, 未达显著水平, 因此可忽略不可预估因素对实验结果的影响; $F_2 = MS_{回归} / MS_{剩余} = 6.0269 > F_{0.01}(9,13) = 4.19$, 达极显著水平, 模型成立。改性甘薯渣对碱性品红吸附率与加入量、时间、温度的相关指数 $R^2 = \text{回归平方和} / \text{总平方和} = 80.67\%$, 而其他因素影响和误差占 19.33%。

对回归系数作显著性检验, 剔除 $\alpha=0.10$ 水平不显著项, 对剩余项二次方差分析, 得简化回归方程: $Y = 95.7796 - 0.61411X_1 + 0.50361X_2$ 。

2.3 优化验证及双因子互作分析

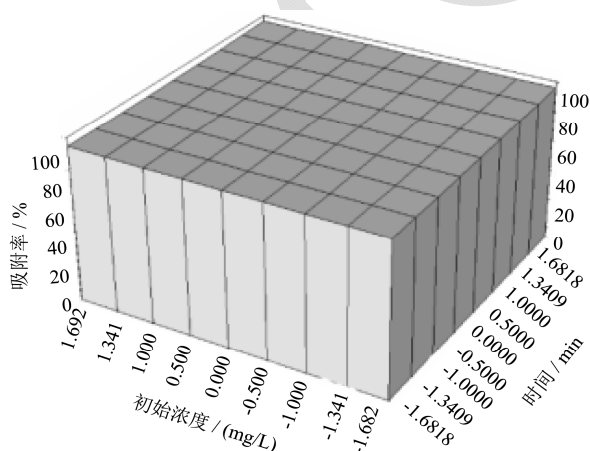


图2 浓度(X_1)与时间(X_2)对吸附率的影响

Fig.2 Effect of concentration (X_1) and time (X_2) on adsorption rate

经软件对试验数据分析得 Y 最大时, 三因素水平

(-1.682, 1.682, -1.682), 即加入量 0.8 g、时间 140 min、浓度 200 mg/L, 预测吸附率 Y_{Max} 97.66%。该吸附条件下, 实测吸附率 97.38%, 实际值/模型最佳值 = 0.997, 接近于 1, 则此最佳组合可靠。

双因子互作中, X_1X_2 影响较其余相对显著。浓度(X_1)与时间(X_2)对吸附率(Y)影响 (其他因子零水平) 如图 2, 时间不变, 改性甘薯渣对碱性品红吸附率随浓度增加逐渐增大; 浓度不变时, 改性甘薯渣对碱性品红吸附率随时间增加呈缓慢下降趋势, 且浓度 200 mg/L, 吸附时间 140 min 时, 有最大吸附率 97.8998%。

2.4 吸附等温线

常用的吸附模型有 Langmuir 和 Freundlich 等温式^[12,13]。

Langmuir 等温式:

$$\frac{C}{q} = \frac{C}{q_m} + \frac{1}{q_m b} \quad (3)$$

Freundlich 等温式:

$$q = KC^{1/n} \quad (4)$$

式中: C 平衡浓度(mg/L); q 吸附量(mg/g); q_m 饱和吸附量(mg/g); b 吸附平衡常数。K 为 Freundlich 常数; $1/n$ 吸附指数 ($n > 1$)。

20 °C 时, 以吸附量 q (mg/g) 对平衡浓度 c (mg/L) 作吸附等温曲线图 (图 3)。

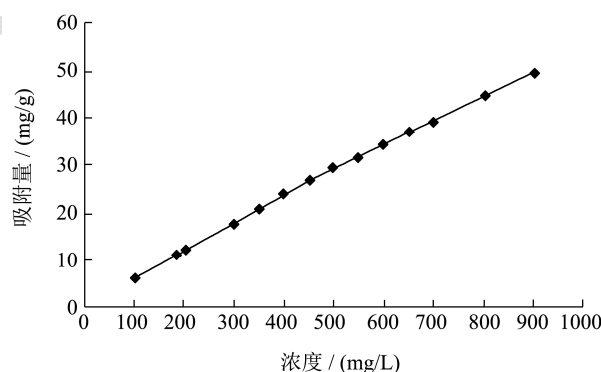


图3 碱性品红的吸附等温线

Fig.3 Adsorptions isotherms of basic fuchsin

Langmuir 方程 $y = 0.0269x + 0.3417$, $R^2 = 0.9838$ 。

Freundlich 方程 $y = 0.4679x + 1.6936$, $R^2 = 0.9864$ 。两方程拟合的吸附等温线的相关系数 R^2 均大于 0.98, 都能很好描述甘薯渣生物吸附剂对碱性品红印染物质的吸附行为。其中, Freundlich 方程拟合的等温线与实验数据更吻合, 即 Freundlich 方程能更好描述甘薯渣吸附剂对碱性品红的吸附^[14]。一般认为, n 与吸附体系的性质有关, 当 $0.1 < n < 0.5$ 时, 有利于吸附; $1/n > 2$ 时难以吸附。拟合方程中, $1/n = 0.47$, 表明吸附行为

利于发生。最大吸附容量 37.1747 mg/g。

表 2 Langmuir 和 Freundlich 等温式的相关参数

Table 2 Related parameters of Langmuir and Freundlich

isothermal equations		
Langmuir 等温式		
$q_m/(mg/g)$	$b/(L/mg)$	R^2
37.1747	0.07872	0.9838
Freundlich 等温式		
K	n	R^2
49.3856	2.1372	0.9864

2.5 吸附动力曲线

一般用准一级速率方程，准二级速率方程拟合：

agergren 准一级动力学模型^[15]：

$$\lg(q_e - q_t) = \lg q_e - k_1 t / 2.303 \quad (5)$$

Ho 准二级动力学模型^[16]：

$$t/q_t = 1/(k_2 q_e^2) + t/q_e \quad (6)$$

式中： q_e 平衡吸附量 (mg/g)； q_t 吸附 t 时吸附量 (mg/g)； k_1 准一级吸附速率常数 (/min)； k_2 准二级吸附速率常数 (g/mg·min)。

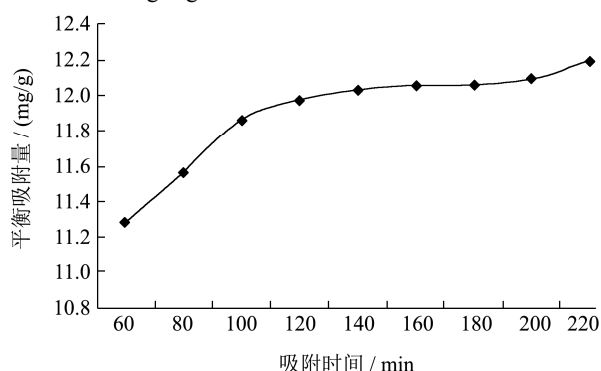


图 4 碱性品红的吸附动力学曲线

Fig.4 Adsorptions kinetics plot of basic fuchsin

表 3 准一级/准二级反应动力学参数

Table 3 The relevant parameter of Pseudo first/second order

Kinetics		
准一级动力曲线		
$k_1/(/min)$	$q_e/(mg/g)$	R^2
0.0058	8.9475	0.8791
准二级动力曲线		
$k_2(g/mg.min)$	$q_e/(mg/g)$	R^2
0.014	12.4688	0.9999

以吸附量 (mg/g) 对吸附时间 t (min)作吸附动力学曲线 (图 4)，可知改性甘薯渣对碱性品红吸附量随吸附进行而吸附量上升，即改性甘薯渣对碱性品红结合力较强。准一级速率方程 $y=-0.0134x+0.9517$ ，

$R^2=0.8791$ ；准二级速率方程 $y=0.0802x+0.4592$ ， $R^2=0.9999$ ，高于准一级速率方程。平衡时吸附量 12.4688 mg/g。改性甘薯渣对碱性品红吸附规律遵循准二级动力学模型，吸附过程为化学吸附所控制^[15]。

2.6 横向比较分析

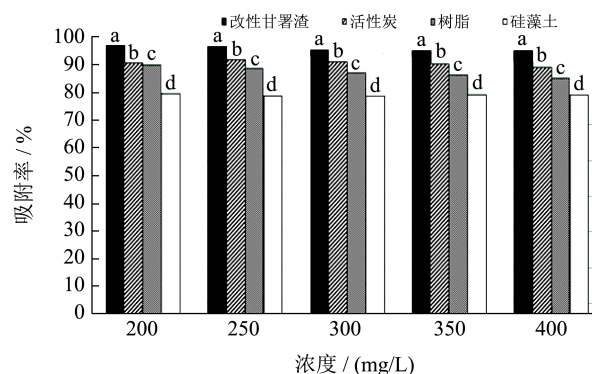


图 5 各材料对碱性品红的吸附效果比较

Fig.5 Compare adsorption effect of different material

注：柱形图上的不同字母代表在 5%水平上的不同差异， $a>b>c>d$ ，字母不同代表差异达显著水平。

不同材料吸附效果比较结果 (图 5) 可知不同材料、不同浓度及二者互作对吸附效果并未显著差异 ($F_{材料}=1150.940$ ，概率值 $p=0.0001<p<0.01$ ； $F_{浓度}=46.0030$ ，概率值 $p=0.0001<p<0.01$ ； $F_{材料 \times 浓度}=4.1960$ ，概率值 $p=0.0003<p<0.01$)。同条件改性甘薯渣对碱性品红吸附效果极显著优于活性炭、大孔树脂 AB-8 和硅藻土，活性炭次之，硅藻土最差，则改性甘薯渣对碱性品红吸附上具明显优势。

2.7 表征分析

通过 BET 试验可知，比表面积 $25.2300 \text{ m}^2/\text{g}$ ，孔隙率 0.8640，容积密度 $0.5650 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，微孔容积 0.196 cm^3 ，说明改性后甘薯渣有较大孔径，可提供吸附位点。

甘薯渣不同状态的 SEM 图可知 (图 6)，原始甘薯渣表面较平滑、空隙较少，最优处理后甘薯渣表面有褶皱，粗糙多孔，空隙较大，这些结构是吸附反应的活性位点，有利于碱性品红吸附。吸附后甘薯渣表面与吸附前较平滑，孔隙少，则空隙被碱性品红填充。因此，改性甘薯渣对碱性品红吸附有物理吸附作用。

甘薯渣红外光谱图 (图 7) 所示，原始甘薯渣的红外光谱 (图 7a) 3447.7 cm^{-1} 处为 -OH 伸缩振动，甘薯渣中含大量糖类物质，-OH 振动相对显著； 2026.6 cm^{-1} 处为 CH 键伸缩振动，可能因甘薯中如蛋白质、维生素、碳水化合物等成分； 1648 cm^{-1} 处为 -C=O-键面振动吸收峰； 1400 cm^{-1} 处吸收峰主要来自于羧酸

C-O 伸缩振动引起; 573 cm^{-1} 和 602 cm^{-1} 处为脂肪胺吸收峰表明甘薯渣中含脂肪。

经改性后甘薯渣红外光谱(图 7b)可知, 3447.6 cm^{-1} 处-OH 伸缩振动形成吸收峰并左移, 羟基振动峰少许减弱, 可能甘薯渣中糖类有效去除。602 cm^{-1} 处峰值较原始消失, 则脂肪类物质被处理。

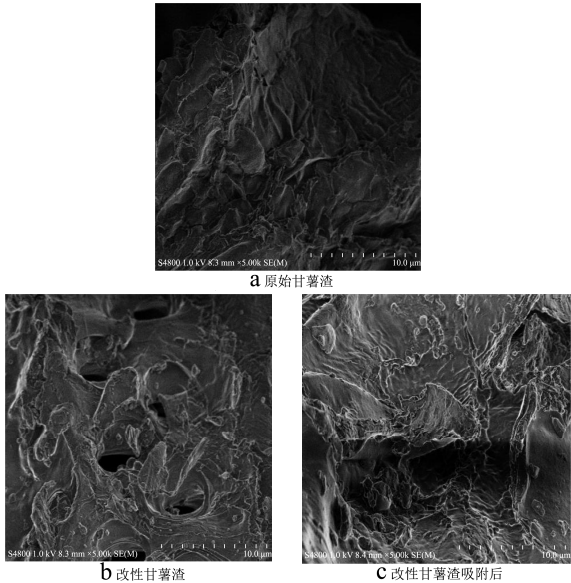


图 6 不同材料电镜图对比

Fig.6 SEM of different material

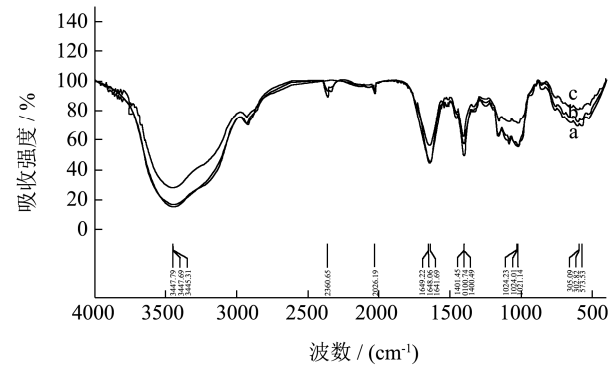


图 7 甘薯渣的红外光谱

Fig.7 FT-IR of sweet potato residue

改性甘薯渣吸附碱性品红后红外光谱(图 7c)所示, 1400 cm^{-1} 处 C-O 伸缩振动相对强度减弱, 说明可能羧基对吸附有影响。与图 7b 比较 1401 cm^{-1} 处峰值消失, 说明 C-H 键振动明显减弱, 可能参与碱性品红吸附过程。

X-能谱分析(表 4 及图 8)可知, 改性甘薯渣主要含 C、O、Ca、Na、Mg 等多种元素, 改性甘薯渣吸附碱性品红后元素比例有变化, 其中 Na 元素明显增多, 而碱性品红中含 Na, 说明对其吸附反应可行。同时, Mg、Ca 元素增加, Al 元素含量相对减少, 推测吸附过程中包括正负离子间静电吸引物理吸附, 及以羟基、羧基等基团为主的活性官能团的配位反应,

以及离子交换作用的化学吸附。

表 4 改性甘薯渣吸附前后 X-能谱分析

Table 4 EDS analysis on modified sweet potato residue before and after basic fuchsin absorption (%)

元素	吸附前	吸附后	元素	吸附前	吸附后
C	48.663	45.691	Al	0.329	未检出
O	48.790	48.743	S	0.255	0.498
Na	0.382	1.099	Ca	1.136	3.068
Mg	0.445	0.901			

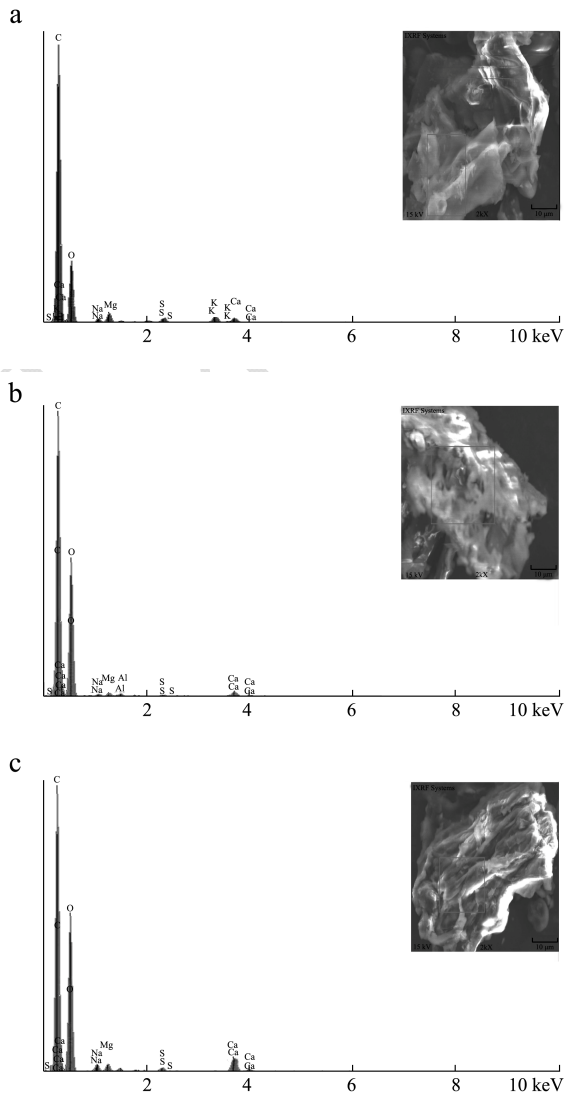


图 8 不同状态甘薯渣能谱图

Fig.8 Different state sweet potato residue energy spectrum

注: a: 原始甘薯渣; b: 改性后甘薯渣; c: 改性甘薯渣吸附后。

3 结论

3.1 经碱热烫化学修饰后的甘薯渣对碱性品红吸附规律较好符合 Freundlich 方程描述规律, 吸附过程为多活性位点多层吸附, 具有吸附速率快、吸附率高、

吸附量大的特点,在最佳条件下(改性甘薯渣加入量 0.8 g、吸附时间 140 min、碱性品红浓度 200 mg/L),理论吸附率 97.66%,实测 97.38%;

3.2 吸附平衡试验研究表明甘薯渣吸附剂对碱性品红的吸附行为符合 Langmuir 和 Freundlich 等温模型。

吸附动力学可用准二级动力学方程描述 ($R^2 \approx 1$);

3.3 改性甘薯渣表面粗糙、疏松多孔且较大的比表面积有利于碱性品红的吸附;EDS 及 FT-IR 分析可知,羟基(-OH)、羧基(-COOH)在吸附过程中起到主要作用,推测吸附过程中包括正负离子间静电吸引物理吸附,以及以羟基、羧基等基团为主的活性官能团的配位反应,以及离子交换作用的化学吸附。

参考文献

- [1] 马万征,谢越,王艳,等.印染废水处理技术的现状及其发展趋势[J].应用化工,2012,41(12):2154-2159
MA Wan-zheng, XIE Yue, WANG Yan, et al. The current status and advances in treatment technologies of printing and dyeing wastewater [J]. Applied Chemical Industry, 2012, 41(12): 2154-2159
- [2] 李紫薇,李小敏,袁圣银,等.棉杆对水中碱性品红的吸附研究[J].水处理技术,2015,41(4):66-70
LI Zi-wei, LI Xiao-min, YUAN Shen-yin, et al. Adsorption of cotton plutonium on basic Fuchsin in water [J]. Technology of Water Treatment, 2015, 41(4): 66-70
- [3] Ofomaja A. Kinetic study and sorption mechanism of methylene blue and methyl violet onto mansonia (*Mansonia altissima*) wood sawdust [J]. Chemical Engineering Journal, 2008, 143(1/3): 85-95
- [4] 朱振华,李小敏,张艺,等.改性橘皮对水中碱性品红的吸附[J].江苏农业科学,2015,43(5):334-336
ZHU Zhen-hua, LI Xiao-min, ZHANG Yi, et al. Fuchsin modified orange peel on the water absorption [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2015, 43(5): 334-336.
- [5] 刘侠,张智芳,陈碧,等.枣核对水溶液中亚甲基蓝,碱性品红的吸附性能研究[J].食品工业科技,2015,36(6):304-308
LIU Xia, ZHANG Zhi-fang, CHEN Bi, et al. Study on adsorption performance of jujube core on methylene blue and basic fuchsin in aqueous solution [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(6): 304-308
- [6] 曹旭坤,白晓宇.印染废水的危害及处理方法.资源节约与环保,2013,7:136-137
CAO Xun-kun, BAI Xiao-yun. Harm and treatment method of printing and dyeing wastewater [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2013, 7: 136-137
- [7] Mane V S, Mall D I, Srivastava C V. Kinetic and equilibrium isotherm studies for the adsorptive removal of Brilliant Green dye from aqueous solution by rice husk ash [J]. Environ Manage, 2007, 84(4): 390
- [8] Renata S D Castro, Laercio Caetano, Guilherme Ferreira, et al. Banana peel applied to the solid phase extraction of copper and lead from river water: Preconcentration of metal ions with a fruit waste [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50: 3446-3451
- [9] 李卓厉,蔡晓敏,徐仪洁,等.改性绿茶去除水中碱性品红的研究[J].茶叶科学,2016,36(6):639-645
LI Zhuo-li, CAI Xiao-min, XU Yi-jie, et al. Adsorption of basic fuchsin by modified green tea [J]. Journal of Tea Science, 2016, 36(6): 639-645
- [10] 陈莉,司慧,靳峰,等.改性甘薯渣对亚甲基蓝的吸附特性及吸附机制[J].环境工程学报,2016,8(8):4277-4283
CHEN Li, SI Hui, JIN Feng, et al. Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of methylene blue by modified sweet potato [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 8(8): 4277-4283
- [11] 王巧玲,敖晓奎.速溶茶渣处理含铬(VI)离子废水研究[J].湖南有色金属,2010,26(2):43-46
WANG Qiao-ling, AO Xiao-kun. Studies on the treatment of chromium ion by instant tea dregs in wastewater [J]. Hunan Nonferrous Metals, 2010, 26(2): 43-46
- [12] Iqbal M, Squeed A, Iqbal Zafaris. FT-IR spectro-photometry, kinetics and adsorption isotherms modeling, ion exchange, and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd^{2+} and Pb^{2+} removal by mango peel waste [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 164(1): 161-171
- [13] 相波,李义久.吸附等温式在重金属吸附性能研究中的应用[J].有色金属,2007,59(1):77-80
XIANG Bo, LI Yi-jiu. Applications of isothermal adsorption equations to heavy metal ions adsorption phenomena [J]. Nonferrous Metals, 2007, 59(1): 77-80
- [14] 郭学益,公琪琪,梁沙,等.改性柿子生物吸附剂对铜和铅的吸附性能[J].中国有色金属学报,2012,22(2):599-603
GUO Xue-yi, GONG Qi-qi, LIANG Sha, et al. Adsorption properties of modified persimmon biosorbent on Cu^{2+} and Pb^{2+} [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2012, 22(2): 599-603
- [15] Hoy S, McKay G. Pseudo-second order model for sorption processes [J]. Process Biochem, 1999, 34: 451-465

现代食品科技