

# 甘蔗渣吸附剂的制备及其对 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 的吸附动力学研究\*

姜 玉<sup>1,2</sup>, 庞 浩<sup>1</sup>, 廖 兵<sup>1</sup>

(1. 中国科学院广州化学研究所//中国科学院纤维素化学重点实验室, 广东 广州 510650;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 通过用三氯氧磷对甘蔗渣进行改性, 制备了含有强吸附能力的磷酸基团的甘蔗渣吸附剂, 研究了磷酸化反应条件对离子吸附性能的影响。产物的结构通过红外光谱进行了表征, 同时也测试了所制备的甘蔗渣吸附剂的一些物理性质如表面积、孔径和平均颗粒大小。在恒温及恒定 pH 条件下, 用静态吸附法研究了磷酸化甘蔗渣对  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  的吸附动力学, 并运用 3 种动力学模型对吸附过程进行拟合, 结果表明二级动力学模型对试验数据最为吻合。所制备的改性甘蔗渣吸附剂对这 3 种离子的吸附量为  $\text{Cr}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$ 。

**关键词:** 甘蔗渣; 吸附; 动力学; 金属离子

**中图分类号:** O647 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 06-0032-06

重金属污染对生态环境和人类健康的影响日益严重, 含有重金属废水的处理已得到工业界与学术界越来越多的重视。活性炭在工业废水处理中的应用已被广泛认可, 但由于成本较高限制了应用<sup>[1]</sup>。近年来, 人们力图寻找低成本的吸附材料, 纤维素基天然高分子材料有其独特的优势。农业废弃物是来源广泛的廉价生物材料, 由于得不到有效利用, 大部分带来资源浪费和环境污染问题, 通过对其进行改性制备离子吸附剂, 可以提高其应用价值, 减少污染以及这些残留物带来的处理问题, 同时还可以增加农民或加工者的农作物价值。近年来, 一些农业废弃物已被用作离子吸附剂如麦麸<sup>[2]</sup>、锯屑<sup>[3]</sup>、稻壳<sup>[4]</sup>等。天然农业废弃物本身吸附能力较低, 难以满足工业应用, 通过对其进行改性可以提高其离子吸附能力<sup>[5]</sup>。甘蔗渣是制糖工业的废弃物, 其主要成份为纤维素和木质素。本文通过用三氯氧磷对其进行化学改性, 通过在其分子中引入磷酸基团来提高其吸附能力。研究了含有磷酸基团的甘蔗渣吸附剂对  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  的吸附动力学。

## 1 实 验

### 1.1 甘蔗渣成分测定

甘蔗渣是由广西贵港提供, 磨细后过 80 目筛, 于 100 °C 烘箱中干燥 24 h。甘蔗渣的主要成分的测定按照文献 [6] 的方法进行。

### 1.2 甘蔗渣吸附剂的制备

5 g 干燥的甘蔗渣分散到 50 mL 吡啶中, 然后在 5 min 内匀速滴加含有一定量三氯氧磷的 25 mL 二氯甲烷, 在一定温度下反应一定时间后将混合物冷却倒入冰水中, 过滤, 并用蒸馏水洗涤数次以除去未参加反应的三氯氧磷, 产物于 60 °C 干燥 24 h。

### 1.3 结构表征

甘蔗渣及其改性后产物的红外光谱采用溴化钾压片法在美国 Analect 公司的 RFX-65A 红外光谱仪上测得, 扫描波数为 400 ~ 4 000  $\text{cm}^{-1}$ 。改性甘蔗渣的表面积和孔径采用美国 Micromeritics 公司的 ASAP2010M 全自动快速比表面孔径分析仪测定, 粒度采用美国 Micromeritics 公司 Sedigraph III 5120 X 光透射沉降粒度分析仪测定。

### 1.4 吸附动力学

用静态法测试吸附性能, 准确称取 1 g 改性的甘蔗渣样品, 加入 400 mL pH 为 6 的金属离子溶液中, 于室温下搅拌。并在不同时间间隔取样, 用原子吸收光谱法 (AAS Z-5000, Japan) 测定吸附前后溶液中金属离子的浓度, 根据吸附前后离子浓度变化计算甘蔗渣吸附剂对离子的吸附量, 在  $t$  时刻的吸附量  $q_t$  (mg/g) 可以通过下式计算:

$$Q_t = (c_0 - c_t)V/m \quad (1)$$

其中,  $c_0$  是初始离子浓度, mg/L;  $c_t$  是吸附  $t$  时刻后溶液中离子浓度, mg/L;  $V$  是溶液的体积, L;

\* 收稿日期: 2008-06-19

基金项目: 国家“863”资助项目 (2007AA10074); 广东省自然科学基金资助项目 (E06200692)

作者简介: 姜玉 (1982 年生), 女, 博士研究生; 通讯联系人: 廖兵; E-mail: liaobing@gic.ac.cn

$m$  是加入的吸附剂的质量, g。

## 2 结果与讨论

### 2.1 改性条件对离子吸附量的影响

#### 2.1.1 三氯氧磷用量的影响

在反应温度和反应时间分别为  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $120\text{ min}$  的条件下, 研究了三氯氧磷的用量对离子吸附性能的影响。体系中所加入的三氯氧磷的体积为  $0\sim 12.5\text{ mL}$ , 相对于甘蔗渣用量的比率为  $0\sim 2.5\text{ mL/g}$ 。结果如图 1 所示。随着三氯氧磷用量的增加, 离子吸附性能逐渐增大, 这主要是由于三氯氧磷用量的增加, 增大了其与甘蔗渣中羟基基团的碰撞几率, 在分子中引入更多高吸附性的磷酸基团。但是当三氯氧磷和甘蔗渣用量的比率超过  $1\text{ mL/g}$  时, 反应体系中残留的三氯氧磷较多。三氯氧磷和甘蔗渣用量的比率  $1\text{ mL/g}$  是磷酸化反应中三氯氧磷的最佳用量。

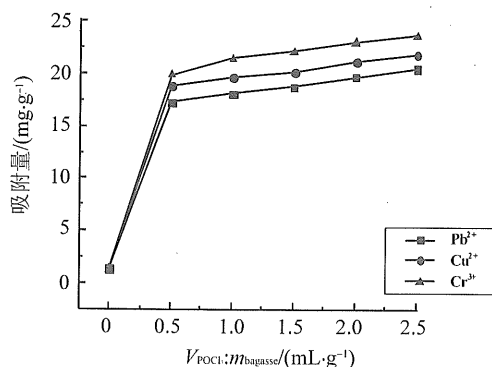


图1 三氯氧磷用量对离子吸附性能的影响

Fig. 1 Effect of phosphorus oxychloride on the adsorption amount of metal ions

#### 2.1.2 反应时间的影响

在反应温度为  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 三氯氧磷和甘蔗渣用量比为  $1\text{ mL/g}$  的条件下, 反应时间对离子吸附量的影响如图 2 所示。从图中可以看出, 3 种离子的吸附量与时间的关系有着相同的趋势。当反应时间从 0 增加到  $30\text{ min}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  3 种离子的吸附量从最初的  $1.32\text{ mg/g}$  分别增加到  $15.23$ 、 $16.88$  和  $17.61\text{ mg/g}$ , 而反应时间超过  $30\text{ min}$  后, 随着反应时间的延长, 离子吸附量变化很小。虽然反应后期对离子吸附量影响较小, 但为了使磷酸化反应进行的更加充分, 最佳反应时间选定为  $120\text{ min}$ 。

#### 2.1.3 反应温度的影响

在反应时间和三氯氧磷和甘蔗渣用量比分别为  $120\text{ min}$  和  $1\text{ mL/g}$  的条件下, 反应温度对离子吸附量的影响如图 3 所示。从图中可以看出反应温度对

离子吸附量的影响很小, 当温度超过  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  后, 离子吸附量变化很小, 所以磷酸化改性甘蔗渣的最佳温度为  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

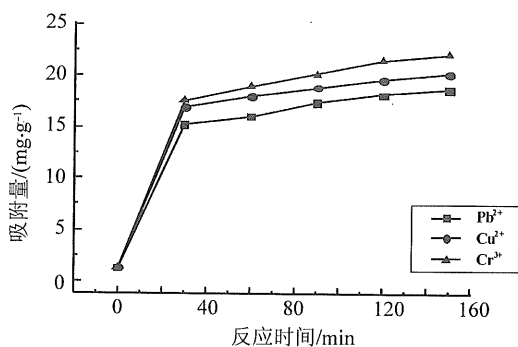


图2 磷酸化时间对离子吸附性能的影响

Fig. 2 Effect of phosphorylation time on the adsorption amount of metal ions

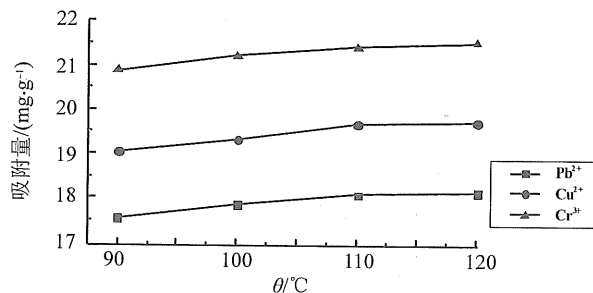


图3 磷酸化温度对离子吸附性能的影响

Fig. 3 Effect of phosphorylation temperature on the adsorption amount of metal ions

### 2.2 吸附剂的表征

甘蔗渣是一种含有许多复杂有机成分的生物质材料, 其主要成分为纤维素、半纤维素和木质素。实验测定所用甘蔗渣中纤维素、半纤维素和木质素的质量百分数分别为  $47.2\%$ 、 $27.8\%$  和  $17.4\%$ 。甘蔗渣中灰份的质量百分数为  $4.4\%$ 。甘蔗渣分子中含有多种功能基团如  $-\text{OH}$ 、 $-\text{COOH}$  和  $-\text{NH}_2$  等, 通过用三氯氧磷对其化学改性, 可以引入磷酸基团。图 4 给出了未处理和经过磷酸化处理后的甘蔗渣的红外谱图。  $3400\text{ cm}^{-1}$  波数出现的强而宽的吸收峰归属于  $\text{O}-\text{H}$  和  $\text{N}-\text{H}$  的伸缩振动,  $2930\text{ cm}^{-1}$  波数的吸收峰归属于  $\text{C}-\text{H}$  的伸缩振动。  $1740$  和  $1630\text{ cm}^{-1}$  波数分别出现了自由羧基中  $\text{C}=\text{O}$  伸缩振动吸收峰和形成分子间氢键的羧基中  $\text{C}=\text{O}$  的吸收峰<sup>[7]</sup>。在  $1100\text{ cm}^{-1}$  波数出现了纤维素中  $\beta-(1-4)$  糖苷键中  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  的吸收峰<sup>[8]</sup>。与未处理的甘蔗渣红外谱图 a 相比, 在磷酸化甘蔗渣的谱图 b 中增加了  $1169$  和  $927\text{ cm}^{-1}$  两个

新的吸收峰,分别归属于P-O和PLxO的伸缩振动<sup>[9]</sup>,这说明经过磷酸化处理后在其分子中引入了磷酸基团。此外,对所制备的甘蔗渣离子吸附剂的一些物理性质也进行了表征,表面积为 $79.28 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ,长度为 $116.49 \text{ }\mu\text{m}$ ,孔积率为0.29。

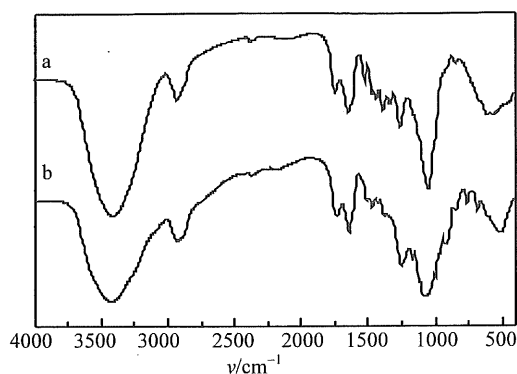


图4 FT-IR谱图(a)未处理甘蔗渣和(b)磷酸化甘蔗渣

Fig. 4 FT-IR spectra of (a) untreated bagasse and (b) phosphorylated bagasse

### 2.3 吸附时间的影响

吸附动力学描述了溶质吸附速率和吸附时间之间的关系。图5为在室温下pH值为6,吸附剂添加量为 $2.5 \text{ g/L}$ ,离子浓度为 $80 \text{ mg/L}$ 条件下,磷酸化甘蔗渣吸附剂对 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 的吸附动力学曲线。由图中可以看出,改性的磷酸化甘蔗渣对 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 的吸附曲线都是单一平滑和连续的,这说明离子在吸附剂表面为单分子层吸附<sup>[10]</sup>。同时还可以看出对离子的吸附过程主要分为两个阶段,初始吸附速率很快,当吸附时间超过120 min后,随着吸附时间的延长,离子吸附量变化很小。这主要是由于在吸附初期,溶液中吸附剂表面的吸附空位较多,金属离子可以容易的与这些空位结合,因此有较高的吸附速率。此外,离子的吸附驱动力主要是由固液界面的离子浓度梯度决定的,在吸附初期离子浓度梯度较大,提供较大的驱动力,可以克服吸附过程中离子在液相和固相之间的传递阻力,使得离子吸附较快。随着吸附时间的延长,由于吸附剂表面的吸附空位逐渐减少,同时固液界面的离子浓度梯度逐渐降低,所以吸附速率降低。

同时从图5中可以看出,甘蔗渣离子吸附剂对 $\text{Cr}^{3+}$ 的吸附量最大,其次是 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 。这可能是因为金属离子所带正电荷的不同以及离子半径大小不同。Nada等<sup>[11]</sup>研究表明离子吸附剂的吸附能力与离子电荷和水合半径有关。 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 三种离子中, $\text{Cr}^{3+}$ 有三个正电荷,而 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 只有两个正电荷,所以 $\text{Cr}^{3+}$ 的吸附量较大。同时

由于 $\text{Pb}^{2+}$ 的离子半径和有效水合离子半径相对较大,它们与离子吸附剂发生相互作用相对要困难一些,因此 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附量相对较小。

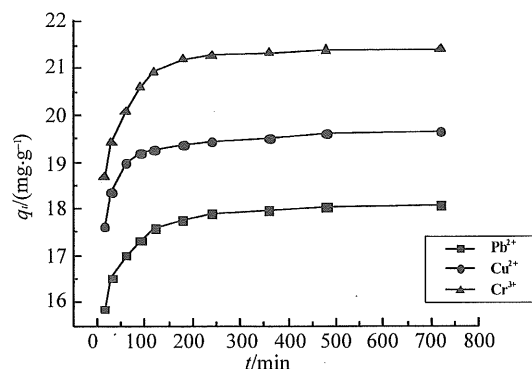


图5 吸附时间对 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 吸附性能的影响

Fig. 5 Effect of contact time on the adsorption amount of  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$

### 2.4 吸附动力学

改性的磷酸化甘蔗渣吸附剂对 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 的吸附动力学数据可以用一级吸附速率方程<sup>[12]</sup>、二级吸附速率方程<sup>[13]</sup>和颗粒内扩散方程<sup>[14]</sup>等模型进行拟合。

#### 2.4.1 一级吸附动力学

一级动力学模型是以吸附速率由吸附剂表面的自由吸附位置数目决定的假设为基础的,可以用下式表示:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (2)$$

其中 $q_t$ 和 $q_e$ 分别是 $t$ 时刻和平衡时单位重量吸附剂上的离子吸附量,  $\text{mg/g}$ ;  $k_1$ 是一级吸附速率常数,  $\text{min}^{-1}$ 。通过积分可以得到其线性方程:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303}t \quad (3)$$

通过对 $\log(q_e - q_t)$ 和时间 $t$ 作图(图6),可以从斜率和截距分别得到平衡吸附量 $q_{e1}$ 和速率常数 $k_1$ ,结果如表2所示。

#### 2.4.2 二级吸附动力学

二级动力学模型是以吸附速率由吸附剂表面上未被占有的吸附空位数目的平方值决定的假设为基础的,可以用公式4表示:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (4)$$

其中 $k_2$ 是二级吸附速率常数( $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )。通过对方程4积分( $t=0$ 到 $t=t$ 和 $q_t=0$ 到 $q_t=q_t$ ),可以得到二级动力学模型的线性方程:

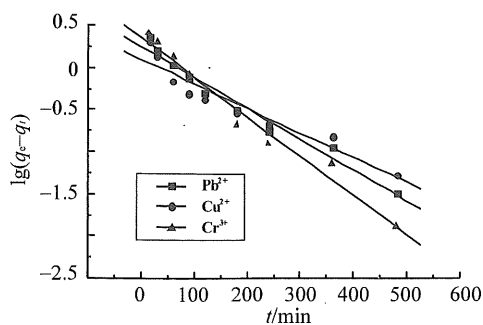


图6  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  吸附一级动力学  
Fig. 6 Pseudo-first-order sorption kinetic of  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5)$$

将  $q_t/t=0$  可以得到离子的初始吸附速率  $h_0$ :

$$h_0 = k_2 q_e^2 \quad (6)$$

动力学参数  $q_{e2}$ , 速率常数  $k_2$  以及初始吸附速率  $h_0$  可以从图7中得到, 结果如表2所示。

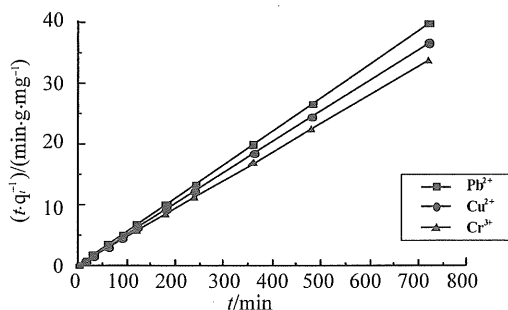


图7  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  吸附二级动力学  
Fig. 7 Pseudo-second-order adsorption kinetic of  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$

#### 2.4.3 颗粒内扩散

在吸附过程中, 颗粒内扩散速率常数  $k_p$  ( $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1/2}$ ) 可以通过颗粒内扩散方程求得:

$$q_t = k_p t^{1/2} \quad (7)$$

$q_t$  对  $t^{1/2}$  (图8) 所作直线方程的斜率即为  $k_p$  值。

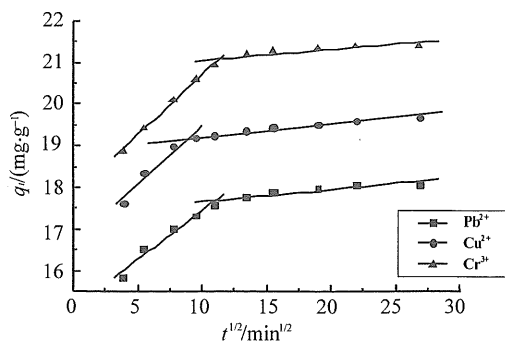


图8  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  吸附的颗粒内扩散

Fig. 8 Intra-particle diffusion plot for  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$

表2 甘蔗渣吸附剂对  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  的吸附动力学常数

Tab. 2 Kinetic constants for the adsorption of  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$  on the modified bagasse at room temperature

| 元素               | $q_{e \text{ exp}}$<br>( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )       | 一级吸附动力学                                  |                                                                  |            |
|------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------|
|                  |                                                                  | $k_1/\text{min}^{-1}$                    | $q_{e1}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$                         | $R^2$      |
| $\text{Pb}^{2+}$ | 18.5703                                                          | $8.47 \times 10^{-3}$                    | 1.775                                                            | 0.9859     |
| $\text{Cu}^{2+}$ | 19.6605                                                          | $6.73 \times 10^{-3}$                    | 1.2462                                                           | 0.9564     |
| $\text{Cr}^{3+}$ | 21.4024                                                          | $10.8 \times 10^{-3}$                    | 2.252                                                            | 0.9861     |
| 元素               | $k_2/\text{min}^{-1}$                                            | 二级吸附动力学                                  |                                                                  |            |
|                  |                                                                  | $q_{e2}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$ | $h_0/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$      | $R^2$      |
| $\text{Pb}^{2+}$ | $18.76 \times 10^{-3}$                                           | 18.1356                                  | 6.1694                                                           | 0.9999     |
| $\text{Cu}^{2+}$ | $23.55 \times 10^{-3}$                                           | 19.6889                                  | 9.1299                                                           | 0.9999     |
| $\text{Cr}^{3+}$ | $17.91 \times 10^{-3}$                                           | 21.4823                                  | 8.2658                                                           | 0.9999     |
| 元素               | $k_{p1}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1/2})$ | 颗粒内扩散                                    |                                                                  |            |
|                  |                                                                  | $R_{p1}^2$                               | $k_{p2}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1/2})$ | $R_{p2}^2$ |
| $\text{Pb}^{2+}$ | 0.2353                                                           | 0.9838                                   | 0.0295                                                           | 0.9246     |
| $\text{Cu}^{2+}$ | 0.2785                                                           | 0.9724                                   | 0.0330                                                           | 0.9485     |
| $\text{Cr}^{3+}$ | 0.2929                                                           | 0.9982                                   | 0.0260                                                           | 0.8536     |

$q_{e \text{ exp}}$  为  $q_e$  的实验值;  $q_{e1}$  和  $q_{e2}$ : 分别为一级和二级动力学的  $q_e$  的计算值

表2给出了甘蔗渣吸附剂对3种离子的吸附动力学数据。一般在理想的情况下, 平衡吸附量的实验值  $q_{e \text{ exp}}$  应该等于计算值  $q_{e \text{ cal}}$ , 从表中可以看出通过二级动力学模型计算得到的  $q_{e2}$  与实验值  $q_{e \text{ exp}}$  很接近, 而从一级动力学模型计算出的  $q_{e1}$  与实验值  $q_{e \text{ exp}}$  相差很大。这说明了二级动力学模型比一级动力学模型更适用于甘蔗渣离子吸附剂对金属离子的吸附过程, 这与 Saygideger 的研究结果一致<sup>[15]</sup>。从以上结果可以看出这三种离子吸附数据与二级动力学模型有较好的一致性, 其相关系数达到0.9999。颗粒内扩散模型的相关因子也比二级动力学模型要低, 这主要归因于以下两点: 首先, 相对于溶液中的离子数量, 从溶液中除去的离子不可忽略; 其次, 颗粒内扩散在很大程度上依赖于吸附体系中固相浓度。从图8可以看出  $q_t$  对  $t^{1/2}$  曲线有不同的线性阶段, 第一阶段是外表面吸附; 第二阶段是平衡吸附, 在进行较快的外表面吸附阶段后, 外表面吸附达到饱和后, 金属离子通过粒子间扩散进入吸附剂颗粒内部进行内表面吸附<sup>[16]</sup>。从表2可以看出, 第一阶段的外表面吸附速率常数  $k_{p1}$  要比第二阶段通过粒子间扩散到吸附剂内部进行的内表面速率常数  $k_{p2}$  大, 这与前面分析的初始阶段吸附速率较快, 而后吸附速率降低的结果相一致。

### 3 结 论

通过磷酸化改性可以将制糖工业的废弃物甘蔗渣制备成含有磷酸基团的离子吸附剂, 可以用于除去废水中的  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  等重金属离子。通过研究改性条件对离子吸附性能的影响, 发现磷酸化改性的最佳反应条件为: 反应时间 120 min, 反应温度 110  $^{\circ}\text{C}$ , 三氯氧磷和甘蔗渣用量比为 1 mL/g。所制备的甘蔗渣离子吸附剂对离子的吸附过程分为初始的表面吸附和平衡吸附两个阶段, 其中初始吸附速率较大。甘蔗渣吸附剂对离子吸附动力学与二级吸附动力学模型有较高的一致性 ( $R^2 = 0.9999$ ), 对这 3 种离子的吸附效果为  $\text{Cr}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$ 。

#### 参考文献:

- [1] PANDA G C, DAS S K, BANDOPADHYAY T S, et al. Adsorption of nickel on husk of *Lathyrus sativus*: Behavior and binding mechanism [J]. *Colloid Surfaces: B*, 2007, 57: 135 - 142.
- [2] SINGH K K, SINGH A K, HASAN S H. Low cost bio-sorbent 'wheat bran' for the removal of cadmium from wastewater: Kinetic and equilibrium studies [J]. *Bioresour Technol*, 2006, 97: 994 - 1001.
- [3] AJMAL M, KHAN A H, AHMAD S. Role of sawdust in the removal of copper (II) from industrial wastes [J]. *Water Res*, 1998, 32: 3085 - 3091.
- [4] BENAÏSSA H, ELOUCHDI M A. Removal of copper ions from aqueous solutions by dried sunflower leaves [J]. *Chem Eng Process*, 2007, 46: 614 - 622.
- [5] MARSHALL W E, WARTELE L H, BOLER D E, et al. Enhanced metal adsorption by soybean hulls modified with citric acid [J]. *Bioresour Technol*, 1999, 69: 263 - 269.
- [6] VERVERIS C, GEORGHIOU K, DANIELIDIS D, et al. Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements [J]. *Bioresour Technol*, 2007, 98: 296 - 301.
- [7] MINAMISAWA M, MINAMISAWA H, YOSHIDA S, et al. Adsorption behavior of heavy metals on biomaterials [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52: 5606 - 5611.
- [8] SUFLET D M, CHITANU G C, POPA V I. Phosphorylation of polysaccharides: New results on synthesis and characterization of phosphorylated cellulose [J]. *React Funct Polym*, 2006, 66: 1240 - 1249.
- [9] MAJUMDAR S, ADHIKARI B. Polyvinyl alcohol-cellulose composite: a test sensing material [J]. *Bull Mater Sci*, 2005, 28: 703 - 712.
- [10] RAJI C, ANIRUDHAN T S. Chromium (IV) adsorption by sawdust: kinetics and equilibrium [J]. *Indian J Chem Technol*, 1997, 4: 228 - 236.
- [11] NADA A M A, HASSAN M L. Phosphorylated cation-exchangers from cotton stalks and their constituents [J]. *J Appl Polym Sci*, 2006, 89: 2950 - 2954.
- [12] HO Y S, MCKAY G. The adsorption of lead (II) ions on peat [J]. *Water Res*, 1999, 33: 578 - 584.
- [13] HO Y S, MCKAY G. The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat [J]. *Water Res*, 2000, 34: 735 - 742.
- [14] YANG X Y, BUSHRA A D. Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes on activated carbon [J]. *J Colloid Interface Sci*, 2005, 287: 25 - 34.
- [15] SAYGIDEGER S, GULNAZ O, ISTIFLI E S. Adsorption of Cd (II), Cu (II), Ni (II) ions by *Lemna minor* L: effect of physicochemical environment [J]. *J Hazard Mater*, 2005, B126: 96 - 104.
- [16] SUN Q, YAN L. The adsorption of basic dyes from aqueous solution on modified peat - resin particle [J]. *Water Res*, 2003, 37: 1535 - 1544.

## Preparation of Bagasse Adsorbents and Investigation of their Adsorption Kinetic of Pb ( II ), Cu ( II ) and Cr ( III )

JIANG Yu<sup>1,2</sup>, PANG Hao<sup>1</sup>, LIAO Bing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Cellulose and Lignocellulosics Chemistry//Guangzhou Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** An adsorbent was prepared based on bagasse by modification with phosphorus oxychloride in the presence of pyridine, for the purpose of introducing some functional phosphorylated groups to enhance its adsorption ability toward heavy metal ions. The effects of preparation conditions on the Pb ( II ), Cu ( II ) and Cr ( III ), and adsorption properties of the Pb ( II ), Cu ( II ), Cr ( III ) by the bagasse adsorbent were investigated. The structure of the modified materials was characterized using Fourier Transform Infrared (FT-IR) analysis. The surface area, porosity and particle mean size were also measured. Batch experiments of Pb ( II ), Cu ( II ) and Cr ( III ) adsorption on the bagasse adsorbent were performed at the constant temperature and pH value. The pseudo-first-order, pseudo-second-order and intra-particle diffusion models were used to determine the adsorption kinetics of Pb ( II ), Cu ( II ) and Cr ( III ). The result showed that the data determined from pseudo-second-order model fitted well with the experiment value. The maximal adsorption capacities varied in the following order: Cr ( III ) > Cu ( II ) > Pb ( II ).

**Key words:** bagasse; adsorption; kinetics; metal ions