

文章编号: 1000-5862(2019)01-0084-06

4 种煅烧活化贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附性能研究

王 征 仝 壮, 王燕诗, 陈林倩, 罗盛旭*

(热带岛屿资源先进材料教育部重点实验室, 海南大学材料与化工学院, 海南 海口 570228)

摘要: 以海南常见的芒果螺壳、海白螺壳、贵妃芋螺壳和鲍鱼壳为原料, 经过洗净、除杂质、烘干、粉碎和过筛等预处理, 再经高温煅烧活化制备成吸附剂。以 IR、SEM 等方法对吸附剂结构进行表征, 并探讨了吸附剂用量、吸附时间和温度等单因素对贝壳粉吸附 Pb^{2+} 的影响和相关的吸附等温线。结果表明: 煅烧活化贝壳粉以多孔状碳酸钙形式存在, 具有较大的比表面积; 吸附剂用量、吸附时间和温度等因素对 4 种吸附剂的吸附过程有较大影响, 在优化影响因素下, 4 种贝壳粉均表现出对 Pb^{2+} 较强的吸附作用, 其中芒果螺贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附效果最佳; 4 种贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附均符合 Freundlich 等温吸附模型, 其中芒果螺、海白螺和贵妃芋螺贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附为优惠性吸附。

关键词: 贝壳粉; 铅; 吸附; 影响因素; 吸附模型

中图分类号: O 647. 3; X 522 **文献标志码:** A **DOI:** 10. 16357/j. cnki. issn1000-5862. 2019. 01. 14

0 引言

重金属污染问题一直以来备受人们关注。据估计, 全世界每年排放到环境中的各种重金属多达数百万吨, 其中铅约为 35 万 $\text{t}^{[1]}$ 。铅毒性较大, 即使在浓度很低的情况下也会造成环境污染, 且随着食物链的富集, 最终会对人体和其他动植物产生严重的危害^[2-3]。在对废水中 $\text{Pb}(\text{II})$ 进行处理时, 常用的方法有化学沉淀、膜分离、离子交换和吸附法等^[4]。化学沉淀法以其方法简单、易操作等优点应用较为广泛, 但对于重金属离子浓度较低的废水, 其处理效果较差; 膜分离法、离子交换法对去除水中铅离子效果较好, 但成本较高; 活性炭吸附法因其高效及易操作等优点, 在实际生产过程中应用较为普遍^[5-7]。但由于活性炭价格昂贵, 使其大规模应用受到了限制, 所以寻找高效廉价的吸附剂来代替活性炭迫在眉睫。

海南地处热带地区, 水产养殖业发达, 仅 2011 年, 海南地区贝类总产量就达到 279. 37 万 $\text{t}^{[8]}$ 。除极少数种类贝壳经加工后成为珍贵药材或工艺品外, 绝大部分被作为废弃物直接丢弃, 既浪费资源, 又破坏了生态环境^[9]。本文以海南 4 种常见贝类的贝壳为原料, 经过洗净、除杂质、烘干、粉碎和过筛等预处

理, 再经高温煅烧活化制备贝壳粉吸附剂, 以 IR、SEM 等方法对贝壳粉煅烧前后的组成和结构进行表征, 并探讨吸附剂用量、吸附时间和温度等因素对 Pb^{2+} 吸附的影响, 阐明贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附热力学机制, 为贝壳类资源有效利用提供相关途径和理论基础。

1 实验部分

1.1 材料、试剂与仪器

芒果螺壳、海白螺壳、贵妃芋螺壳、鲍鱼壳均由海口永顺海产品加工市场提供。硝酸铅、氢氧化钠为分析纯试剂, 硝酸为优级纯试剂。

EL204-IC 型电子天平、FE20 型 pH 计, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; JP-400B 型高速多功能粉碎机, 湖南凯达科学仪器有限公司; GWA-UN 型超纯水器、TAS-990 原子吸收分光光度计, 北京普析通用仪器公司; SHA-CA 数显水浴恒温振荡器, 北京永光明医疗仪器有限公司; 高温箱式马弗炉, 上海精钊机械设备有限公司; S-3000N 型扫描电子显微镜, 日本日立; BRUKER TENSOR27 傅里叶变换红外光谱仪, 德国 Bruker 公司; DHG-9423A 型电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司。

收稿日期: 2018-08-03

基金项目: 国家自然科学基金(21767008)和热带岛屿资源先进材料教育部重点实验室开放基金(AM2017-41)资助项目。

通信作者: 罗盛旭(1964-), 男, 海南三亚人, 教授, 博士, 主要从事环境化学、重金属污染与控制方面的研究。E-mail: shx-luo525@126.com

1.2 贝壳粉的制备

将贝壳用去离子水洗净后置于 $0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液中浸泡 1 h,以除去附着在贝壳表面的杂物,再用去离子水清洗干净,放入干燥箱中烘干 24 h.将洗净干燥的贝壳粉碎后过 100 目筛,然后将贝壳粉置于马弗炉中在 500°C 下煅烧活化 1 h.

1.3 贝壳粉的结构表征

1.3.1 IR 表征 采用溴化钾压片法分别测定 4 种贝壳粉在煅烧前后的红外光谱.将样品粉末和磨细的溴化钾以 1:100 的比例混合后在玛瑙研钵中研磨均匀,置于手动压片机上制成透明薄片,按如下条件进行测试:分辨率 4 cm^{-1} ,扫描 16 次,扫描范围 $400 \sim 4\,000 \text{ cm}^{-1}$.

1.3.2 SEM 表征 分别取 4 种贝壳粉,对其煅烧前后的样品进行 SEM 表征.表征时,将样品置于硅胶带上,喷金后用 S-3000N 型扫描电镜观察记录贝壳粉的表面微观结构.

1.4 贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附性能研究

1.4.1 建立测定 Pb^{2+} 含量的标准曲线 准确称取硝酸铅固体 1.5985 g 置于烧杯中,用少量去离子水溶解后定容于 1 L 容量瓶中,配置成浓度为 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铅标准溶液.用 $0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸溶液将铅标准溶液稀释并配制成 Pb^{2+} 质量浓度分别为 $5, 10, 20, 30, 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铅标准系列溶液,用火焰原子吸收法测定标准系列溶液的吸光度 $A_{\text{Pb}^{2+}}$,以 $A_{\text{Pb}^{2+}}$ 对 Pb^{2+} 的质量浓度 $c_{\text{Pb}^{2+}}$ 绘制标准曲线.

测定条件: TAS-990 原子吸收分光光度计,燃气流量 $1\,500 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 、高度 5.0 mm 、位置 -0.5 mm 、工作灯电流 2.0 mA 、光谱带宽 0.4 nm 、负高压 300 V .

Pb^{2+} 的标准曲线方程为 $y = 0.020\,38x + 0.009\,06$, $R^2 = 0.999\,83$.标准曲线如图 1 所示.在 Pb^{2+} 质量浓度为 $5 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内,线性关系良好.

1.4.2 吸附量计算 贝壳粉吸附剂对水溶液中 Pb^{2+} 的吸附量计算公式为 $q = (C_0 - C)V/m$,其中 q 为吸附量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), C_0 为吸附前金属离子的质量浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), C 为吸附后金属离子的质量浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), V 为溶液体积 (L), m 为贝壳粉吸附剂的质量 (g).

1.4.3 吸附剂用量对 Pb^{2+} 的吸附效果影响 将 4 种贝壳粉分别取 $0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10$ 和 0.12 g ,分别加至 100 mL 浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Pb^{2+} 溶液中,调节 pH 值至 7.0 ,在 30°C 下恒温震荡,震荡条件为 120 rpm 24 h 后取出过滤,得滤液测吸光度,平行测 3 次,取平均值,计算吸附量.

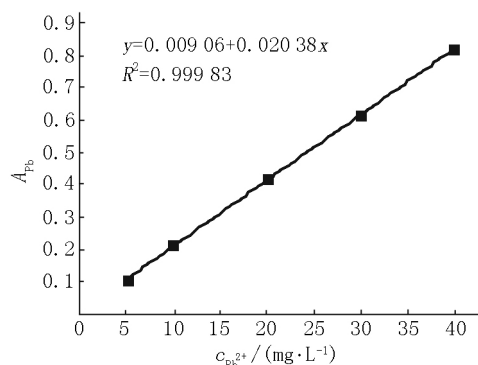


图1 测定 Pb^{2+} 含量的标准曲线

1.4.4 时间对 Pb^{2+} 的吸附效果影响 将 4 种贝壳粉分别取 9 份 0.06 g ,分别加至 100 mL 浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Pb^{2+} 溶液中,调节 pH 值至 7.0 ,分别在 30°C 下恒温震荡,震荡条件为 120 rpm ,分别在 $5, 10, 30 \text{ min}$, $1, 2, 6, 12, 18$ 和 24 h 后取出过滤,得滤液测吸光度,平行测 3 次,取平均值,计算吸附量.

1.4.5 温度对 Pb^{2+} 的吸附效果影响 将 4 种贝壳粉分别取 4 份 0.06 g ,分别加至 100 mL 浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Pb^{2+} 溶液中,调节 pH 值至 7.0 ,分别在 $20, 30, 40$ 和 50°C 下恒温震荡,震荡条件为 120 rpm 24 h 后取出过滤,得滤液测吸光度,平行测 3 次,取平均值,计算吸附量.

1.4.6 吸附等温线 将 4 种贝壳粉分别取 6 份 0.06 g ,分别加至 100 mL 浓度为 $5, 30, 50, 100, 150$ 和 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Pb^{2+} 溶液中,调节 pH 值至 7.0 ,在 30°C 下恒温震荡,震荡条件为 120 rpm 24 h 后取出过滤,得滤液测吸光度,平行测 3 次,取平均值,计算吸附量.

1.5 数据处理

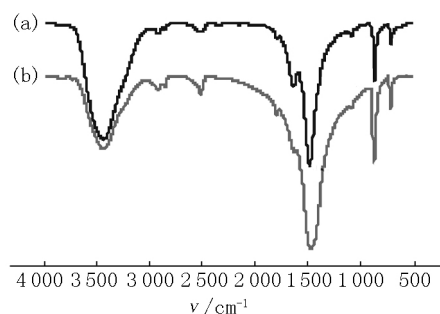
采用 Microsoft Excel 2010 进行平均值计算,采用 Origin 9.0 进行作图及模型拟合.

2 结果与讨论

2.1 IR 表征

图 2 ~ 图 5 为 4 种贝壳粉煅烧前后的 IR 谱图.对比可知,4 种贝壳粉 IR 谱图峰形和波数基本相同,说明贝壳粉基本成分相同.煅烧前后 IR 谱图的主要峰形和波数不变,个别峰有些小的变化,可推测其主要成分及相关作用.以芒果螺为例,段烧前(a 曲线) $710.58, 860.18, 1\,082.36, 1\,470.30, 2\,853.41$ 和 $2\,920.28 \text{ cm}^{-1}$ 等处均为 CO_3^{2-} 的震动峰,通过与文石碳酸钙吸收峰对比,除 860.18 cm^{-1} 处的峰位与文石碳酸钙的 854.5 cm^{-1} 相比蓝移 5.68 cm^{-1} 外,其余峰位与文石碳酸钙均相同^[10].此外,图中

2 497.65 cm^{-1} 和 2 545.85 cm^{-1} 处为含 C—H、—OH 的有机物振动引起的吸收峰. 据此推测, 贝壳粉主要成分为文石型碳酸钙及部分有机质, 由于有机质与文石碳酸钙之间存在较强的络合作用, 使文石碳酸钙的吸收峰发生了位移^[11]. 煅烧后 (b 曲线), 1 082.36 cm^{-1} 处的吸收峰弱化, 860.18 cm^{-1} 处的吸收峰蓝移至 877.69 cm^{-1} 处, 这说明部分碳酸钙晶型发生转变, 由文石型向方解石型转化^[12]. 此外, 2 497.65 cm^{-1} 和 2 545.85 cm^{-1} 处的有机物峰消失, 说明加热后有机质分解.



(a) 煅烧前的 IR 谱图 (b) 煅烧后的 IR 谱图. 下同.

图 2 芒果螺贝壳粉煅烧前后 IR 图谱

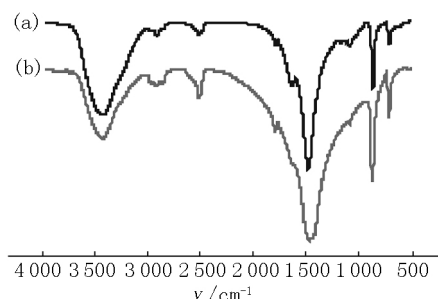


图 3 海白螺贝壳粉煅烧前后 IR 图谱

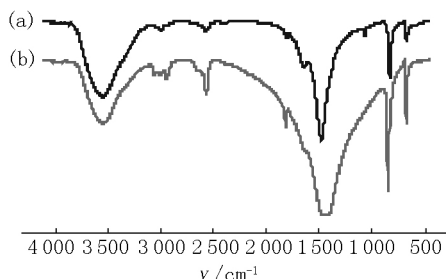


图 4 贵妃芋螺贝壳粉煅烧前后 IR 图谱

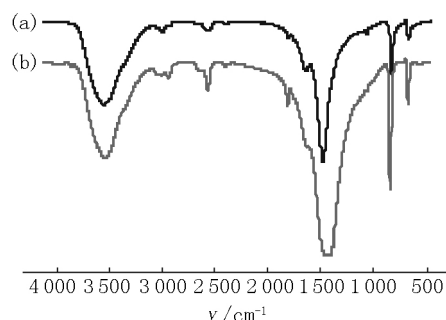


图 5 鲍鱼壳粉煅烧前后 IR 图谱

煅烧后的贝壳粉 IR 谱图显示, 其中不存在除

CO_3^{2-} 以外的其他基团, 且标准大气压下碳酸钙分解温度为 530 $^{\circ}\text{C}$, 本实验条件控制在 500 $^{\circ}\text{C}$ 煅烧, 贝壳粉中碳酸钙并未分解, 因此煅烧后的贝壳粉吸附剂主要成分应为碳酸钙, 其后续对 Pb^{2+} 的吸附过程中, 应不存在以离子交换、络合反应和化学沉淀等为主要形式的化学吸附, 将以物理吸附为主.

2.2 SEM 表征

图 6 ~ 图 9 为 4 种贝壳粉煅烧前后的扫描电镜图 (左图为煅烧前, 右图为煅烧后). 由图显示, 对于每一种贝壳粉, 在煅烧之前均质地紧密, 只有少量孔径存在; 而经过煅烧活化后的贝壳粉表面存在大量孔径, 比表面积显著增大. 这表明贝壳粉组织中原有有机质经过高温煅烧后分解, 其余未分解的成分即形成多孔状结构. 此外, 在相同倍数的电镜照片下显示, 煅烧后的芒果螺贝壳粉表面孔状结构分布比海白螺壳、贵妃芋螺壳和鲍鱼壳等贝壳粉更均匀且致密, 前者的比表面积明显大于后 3 者, 前者的吸附效果也应优于后 3 者. 因此, 多孔状结构的存在使煅烧后的贝壳粉具有良好的吸附能力.

2.3 贝壳粉对水中 Pb^{2+} 的吸附性能研究

2.3.1 吸附剂用量对 Pb^{2+} 的吸附性能影响 图 10 为 4 种煅烧活化贝壳粉在一定的吸附剂用量范围内, 对 Pb^{2+} 的吸附量的影响情况. 图 10 显示 4 种煅烧活化贝壳粉随吸附剂用量增大, 吸附量均呈现先增大后缓慢减小的趋势, 其中芒果螺壳、海白螺壳均在吸附剂用量达到 0.6 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时吸附效果为最佳, 贵妃芋螺壳和鲍鱼壳在用量达到 0.8 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时吸附效果为最佳, 对应的最佳吸附量为 18.971 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (芒果螺壳) > 13.996 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (海白螺壳) > 10.755 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (鲍鱼壳) > 10.381 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (贵妃芋螺壳). 呈现这些吸附规律的主要原因可能是: 吸附剂用量较少时, 随着用量的增加, 吸附剂的吸附位点增加, 吸附 Pb^{2+} 的绝对量增加; 当吸附剂用量增大到一定程度时, 由于吸附位点继续增加且 Pb^{2+} 的浓度显著降低, 多数吸附位点并没有达到吸附饱和状态^[13]; 与 SEM 表征情况对照显示, 多孔状结构越致密, 孔径数量越多, 其比表面积越大, 吸附效果越好^[14]. 显然 4 种煅烧活化贝壳粉的吸附效果与其 SEM 表征图像的情况基本一致.

侯晓龙等^[15]探讨了活性炭、沸石等 5 种物理吸附剂在不同吸附剂用量下对 Pb^{2+} 的吸附效果, 其中最大吸附量为 2 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 而本文制备的 4 种煅烧活化贝壳粉吸附剂对 Pb^{2+} 的吸附效果明显更优.

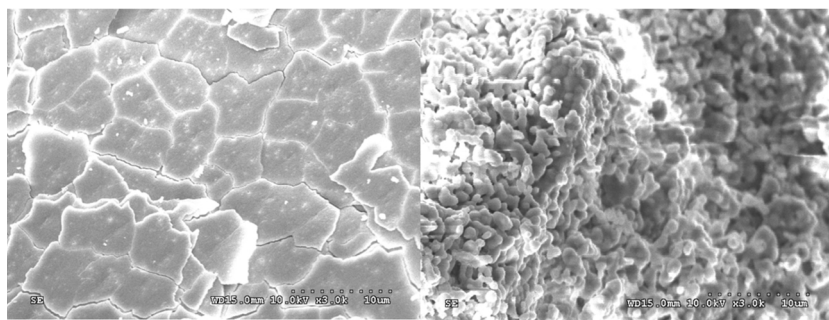


图 6 芒果螺贝壳粉 500 °C 煅烧前后 SEM 图

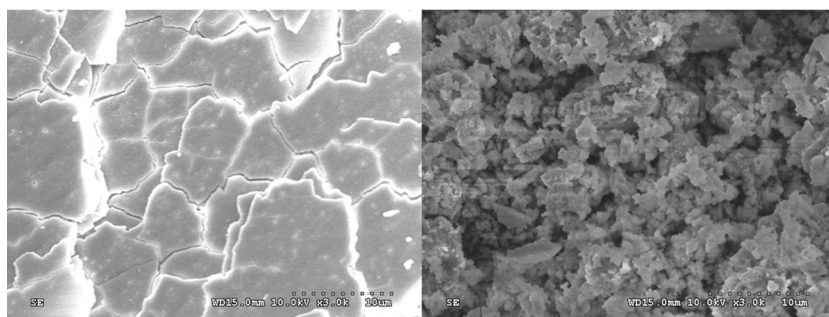


图 7 海白螺贝壳粉 500 °C 煅烧前后 SEM 图

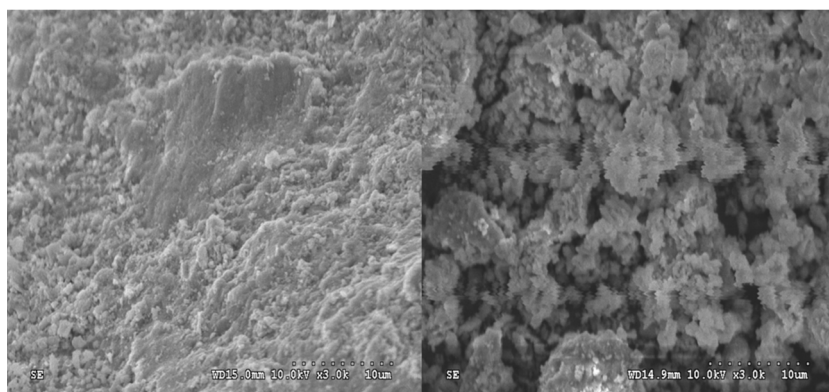


图 8 贵妃芋螺贝壳粉 500 °C 煅烧前后 SEM 图

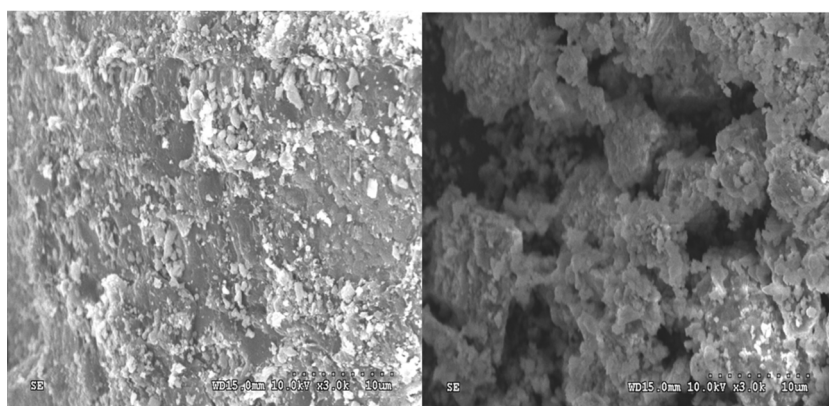
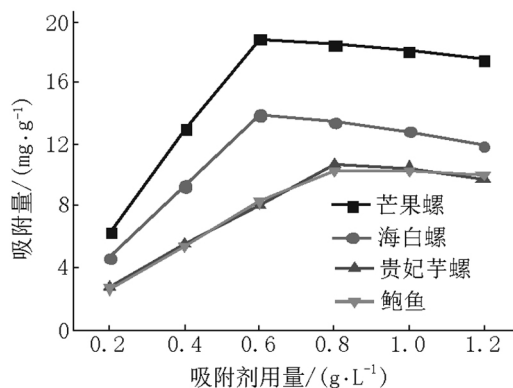
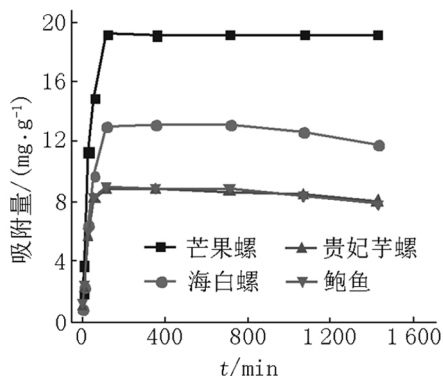


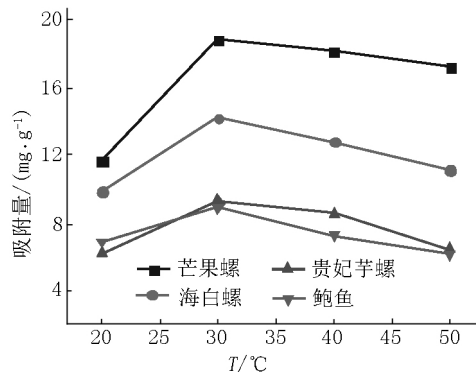
图 9 鲍鱼壳粉 500 °C 煅烧前后 SEM 图

2.3.2 吸附时间对 Pb^{2+} 的吸附性能影响 图 11 为 4 种煅烧活化贝壳粉在一定的吸附时间范围内, 对 Pb^{2+} 的吸附量随吸附时间变化的情况. 图 11 显示 4 种贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附量均在 2 h 左右达到吸附饱和状态, 随后保持吸附平衡; 当吸附时间超过 12 h 后, 芒果螺贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附量基本保持不变, 而海白螺、贵妃芋螺和鲍鱼吸附量均略微下降,

表明 Pb^{2+} 在后 3 者表面发生少量脱附. 按照吸附质分子尺寸和吸附剂分子尺寸之间的关系, 当吸附质分子尺寸远小于孔径大小时, 孔径越大, 达到吸附饱和后表面分子越容易脱附^[16]. 4 种贝壳粉吸附剂表面孔径均远大于 Pb^{2+} 尺寸, 但由 SEM 表征可以看出, 海白螺、贵妃芋螺和鲍鱼表面孔径均大于芒果螺, 所以 Pb^{2+} 在其表面更易发生脱附.

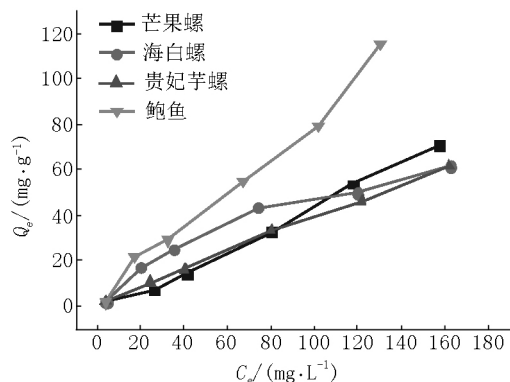
图 10 吸附剂用量对 Pb^{2+} 吸附量的影响图 11 吸附时间对 Pb^{2+} 吸附量的影响

2.3.3 温度对 Pb^{2+} 的吸附性能影响 图 12 为 4 种煅烧活化贝壳粉在一定温度范围内, 温度对 Pb^{2+} 吸附量的影响情况. 图 12 显示 4 种煅烧活化贝壳粉吸附剂对 Pb^{2+} 的吸附量变化均随着温度的升高呈先增大后减小的趋势, 且在 20 ~ 30 °C 时吸附量显著增大. 当温度超过 30 °C 以后, 随着温度的升高, 吸附量缓慢减小. 呈现这种吸附规律的主要原因是: 当温度较低时, 随着温度的升高, 分子热运动加快, 金属离子与多孔状结构接触几率随之增加, 吸附作用显著增强; 当温度较高时, 由于分子热运动的加剧, 导致对吸附平衡的破坏, 吸附容量有所减小, 表现为物理吸附性能的特性^[17].

图 12 温度对 Pb^{2+} 吸附量的影响

2.3.4 吸附等温线 在研究 Pb^{2+} 的平衡吸附量与 Pb^{2+} 的平衡浓度的关系中, 得到 4 种煅烧活化贝壳粉的吸附等温线(见图 13).

采用多种吸附模型对 Pb^{2+} 的上述吸附数据进行拟合^[18], 以探讨 4 种煅烧活化贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附热力学机制. 结果表明 Freundlich 模型对 Pb^{2+} 吸附的拟合效果最好. Freundlich 等温式为 $Q_e = KC_e^{1/n}$, 其中 Q_e 为平衡吸附量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), K 为 Freundlich 常数, C_e 为平衡浓度 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), n 为浓度指数. 4 种煅烧活化贝壳粉对 Pb^{2+} 的 Freundlich 拟合参数见表 1. 当浓度指数 $1 < n < 10$ 时, 该吸附为优惠性吸附. 显然, 芒果螺壳、海白螺壳和贵妃芋螺壳 3 种贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附均属于优惠性吸附.

图 13 4 种煅烧活化贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附等温曲线表 1 煅烧活化的贝壳粉吸附 Pb^{2+} 的 Freundlich 模型参数

样品	Freundlich 等温吸附方程	R^2	K	n
芒果螺	$y = 0.964 5x + 0.331 5$	0.960	2.145 4	1.036 8
海白螺	$y = 0.881 5x + 0.058 9$	0.950	1.145 2	1.134 4
贵妃芋螺	$y = 0.912 9x - 0.233 2$	0.999	0.584 5	1.095 4
鲍鱼	$y = 1.107 5x - 0.265 9$	0.950	0.542 1	0.902 9

3 结论

以海南常见的 4 种废弃贝壳为原料, 经过粉碎、过筛、高温煅烧活化制备成贝壳粉吸附剂, 以 IR 和 SEM 等方法对吸附剂的组成及结构进行表征. 结果

表明: 经 500 °C 煅烧活化后的贝壳粉主要成分为 CaCO_3 , 呈多孔状结构, 比表面积显著增大, 吸附性能增强. 探讨了吸附剂用量、吸附时间、温度等因素对贝壳粉吸附 Pb^{2+} 的影响表明, 3 因素对贝壳粉吸附 Pb^{2+} 的效果均有显著影响. 在优化影响因素下, 4 种贝壳粉均表现出对 Pb^{2+} 较强的吸附作用, 其中芒

果螺贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附效果明显优于另外 3 种。通过对吸附等温曲线进行拟合显示 4 种煅烧活化贝壳粉吸附剂对 Pb^{2+} 的吸附均符合 Freundlich 模型, 其中芒果螺、海白螺和贵妃芋螺 3 种贝壳粉对 Pb^{2+} 的吸附为优惠性吸附。研究结果为贝壳类资源的有效利用提供相关的途径和理论基础。

4 参考文献

- [1] Toranjian A, Marofi S. Evaluation of statistical distributions to analyze the pollution of Cd and Pb in urban runoff [J]. *Water Science and Technology*, 2017, 75 (9): wst2017054.
- [2] Armid A, Shinjo R, Ruslan R, et al. Distributions and pollution assessment of heavy metals Pb, Cd and Cr in the water system of Kendari Bay, Indonesia [J]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, 172: 012002.
- [3] Karimi A, Haghnia G H, Hadadian H, et al. Lithogenic and anthropogenic pollution assessment of Ni, Zn and Pb in surface soils of Mashhad plain, northeastern Iran [J]. *Catena*, 2017, 157: 151-162.
- [4] 门彬, 王东升. 重金属废水处理方法综述 [J]. *中国建设信息(水工业市场)*, 2011(8): 65-68.
- [5] 石长恩. 弱碱性阴离子交换树脂去除饮用水中微量重金属离子及再生试验研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [6] Tatykostodes V C, Fauduet H, Porte C, et al. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris* [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2003, 105(1): 121-142.
- [7] Kadirvelu K, Namasivayam C, Thamaraiselvi K. Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste [J]. *Bioresource Technology*, 2001, 76(1): 63-65.
- [8] 李海晏, 陈涛, 张海燕, 等. 中国贝类养殖对海洋碳循环的贡献评估 [J]. *海洋科学*, 2014, 38(5): 39-45.
- [9] 宋萃, 张雷, 刘莹莹, 等. 贝壳资源综合开发利用的研究概况 [J]. *广州化工*, 2016, 44(24): 24-26.
- [10] 丁世磊. 天然文石质生物陶瓷的傅里叶变换红外光谱研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2006.
- [11] 夏静芬, 钱国英, 陈亮, 等. 傅里叶变换红外光谱法对珍珠粉和贝壳粉的研究 [J]. *光谱实验室*, 2010, 27(2): 524-528.
- [12] 赵东辉. 基于生物矿化的不同晶型与形貌碳酸钙研究 [D]. 郑州: 河南大学, 2009.
- [13] 王砚, 谭文峰, 冯雄汉, 等. 水钠锰矿对几种重金属离子的吸附及其与锰氧化度和吸附位点的关系 [J]. *环境科学*, 2011, 32(10): 3128-3136.
- [14] 冯玥, 王密灵, 柳欢欢, 等. 活性炭表面性质对染料废水生化出水深度净化效果的影响 [J]. *工业水处理*, 2013, 33(6): 75-79.
- [15] 侯晓龙, 刘爱琴, 蔡丽平. 5 种物理吸附剂对模拟废水中重金属的吸附效果 [J]. *亚热带农业研究*, 2012, 8(2): 105-112.
- [16] 范明霞, 张智. 活性炭孔径分布和表面化学性质对吸附影响的研究进展 [J]. *煤炭加工与综合利用*, 2011(1): 49-54.
- [17] 张淑琴, 童仕唐. 活性炭对重金属离子铅镉铜的吸附研究 [J]. *环境科学与管理*, 2008, 33(4): 91-94.
- [18] 吴焕领, 魏赛男, 崔淑玲. 吸附等温线的介绍及应用 [J]. *染整技术*, 2006, 28(10): 12-14.

The Adsorption of Pb^{2+} on Water by Four Shell Powders

WANG Zheng, TONG Zhuang, WANG Yanshi, CHEN Linqian, LUO Shengxu*

(Key Laboratory of Ministry of Education of Advanced Materials of Tropical Island Resources, College of Materials and Chemical Engineering, Hainan University, Haikou Hainan 570228, China)

Abstract: The shells of four kinds of shell mango snail, sea white snail, snail and abalone, which are common in Hainan, are used as raw materials and are prepared by pulverization, calcination and other pretreatment. The structure and morphology of the four adsorbent materials are characterized by IR and SEM. The effects of adsorbent dosage, adsorption time and temperature on the adsorption of Pb^{2+} by shell powder and the adsorption isotherm of shell powder on Pb^{2+} are investigated by means of oscillating adsorption. The results show that the shell powder after calcination existed in the form of porous calcium carbonate. The adsorption amount, adsorption time and temperature of the adsorbent have a great influence on the adsorption process of the four adsorbents. The adsorption effect of mango snail shell powder on Pb^{2+} is better than that. The other three shell powders and the adsorption of Pb^{2+} by the four shell powders are in accordance with the Freundlich isotherm adsorption model.

Key words: shell; characterization; adsorption capacity; adsorption isotherm; Freundlich model

(责任编辑: 刘显亮)