



引用格式:赵大洲. 改性香蕉皮对废水中  $Pb^{2+}$  的循环吸附性能研究[J]. 轻工学报, 2018, 33(4): 37-41.

中图分类号: X52; TQ041.8; TS97 文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2096-1553.2018.04.005

文章编号: 2096-1553(2018)04-0037-05

# 改性香蕉皮对废水中 $Pb^{2+}$ 的循环吸附性能研究

## Study on the cyclic adsorption performance of $Pb^{2+}$ by modified banana peel

赵大洲

ZHAO Dazhou

陕西学前师范学院 化学与化工系, 陕西 西安 710100

*Department of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi Xueqian Normal University, Xi'an 710100, China*

### 关键词:

改性香蕉皮;  $Pb^{2+}$ ; 循环吸附

### Key words:

modified banana peel;  
 $Pb^{2+}$ ; cyclic adsorption

**摘要:**以香蕉皮为原料用乙酸对其进行改性,得到改性香蕉皮吸附剂,将改性香蕉皮吸附剂用作吸附载体,考察其对废水中  $Pb^{2+}$  的循环吸附性能。结果表明:用乙酸对香蕉皮进行改性能明显提高其比表面积和孔体积,为废水中  $Pb^{2+}$  的吸附提供了有利的条件;改性香蕉皮吸附剂对废水中  $Pb^{2+}$  的吸附性能更好,吸附效率达到 97.9%, 4 次循环吸附后,其吸附效率仍可保持在 92.1%。

收稿日期: 2017-11-30

基金项目: 2017 年度基础教育教学改革专项课题项目(17JC002); 陕西学前师范学院双语教学示范课程《环境化学》资助项目; 陕西学前师范学院 2018 年公共通识教育选修课程《纳米科技与生活》建设资助项目; 陕西学前师范学院“基础化学实验”教学团队资助项目

作者简介: 赵大洲(1985—), 男, 山西省朔州市人, 陕西学前师范学院副教授, 博士, 主要研究方向为功能无机化合物的合成与应用。

**Abstract:** The banana peel was used as raw material and modified with acetic acid to obtain modified banana peel adsorbent. The modified banana peel adsorbent was used as adsorption carrier to investigate its cyclic adsorption performance of  $Pb^{2+}$  in wastewater. The results showed that the modification of banana peel with acetic acid could significantly increase the specific surface area and pore volume, and provide favorable conditions for the adsorption of  $Pb^{2+}$  in wastewater. The modified banana peel adsorbent had better adsorption capacity for  $Pb^{2+}$  in wastewater. The adsorption efficiency reached 97.9%, and the adsorption efficiency was still up to 92.1% after 4 cycles of adsorption.

## 0 引言

随着现代工业的飞速发展,人类的生存环境越发成为21世纪公众关注的焦点.除了目前全球都重视的雾霾问题外,含重金属离子的废水的污染问题同样是亟待解决的难题之一.含重金属离子的废水污染性非常强,即便其重金属离子含量不多,也会产生不容忽视的影响.重金属离子毒性具有一定的长期性与持续性,可以通过人类日常饮用水与食物链的不断积累、生物的浓缩、生物的放大等作用,对人类的健康构成威胁<sup>[1-3]</sup>.含 $Pb^{2+}$ 的废水主要来源于电镀、涂料、塑料、印刷、农药、陶瓷、摄影、有色金属采选和冶炼、铅化合物工业、电池制造业等行业<sup>[4-7]</sup>.

正常人每日摄取 $Pb^{2+}$ 的含量需控制在0.1~0.15 mg,一旦超过该标准,就会使肾功能受损;会使体内糖、蛋白质代谢发生紊乱,引发尿蛋白症、糖尿病;会进入呼吸道,引起肺炎、肺气肿;会作用于消化系统,引起肠胃炎.铅中毒者常常伴有贫血,骨骼中有过量铅积累会使骨骼软化、变形、折断、萎缩,甚至会引起骨癌症.因此,迫切需要寻找一种低价且有效的处理方法使得废水中的 $Pb^{2+}$ 含量达到排放标准.

常见的废水处理方法为化学法,包括化学沉淀法、离子交换法、电解法<sup>[8]</sup>等.这些方法存在成本高、有副作用等问题,因此,价廉环保的生物吸附法引起了研究者的广泛关注.生物吸附法常见的有果皮吸附法和藻类吸附法.果皮作为生活垃圾会对生活环境造成污染,也因

无法体现其作用而造成资源浪费.若能将果皮制成生物吸附材料,用于对废水中的重金属离子进行吸附处理,则可变废为宝,达到以废治废的目的. J. Anwar 等<sup>[9]</sup>进行了改性香蕉皮吸附剂的制备和对重金属 $Ge^{2+}$ 和 $Pb^{2+}$ 的吸附性能研究,其吸附量分别为5.71 mg/g和2.18 mg/g. G. Annadurai 等<sup>[10]</sup>通过强酸处理香蕉皮对含 $Pb^{2+}$ 废水进行吸附研究发现,在一定条件下具有可观的吸附量(7.97 mg/g). 胡巧开等<sup>[11]</sup>利用香蕉皮吸附剂对工业废水中的重金属 $Cr^{6+}$ 进行吸附研究,吸附效率可达91.5%. 冯宁川<sup>[12]</sup>研究了化学改性后橘子皮对重金属离子的吸附,实验结果表明,经过化学改性后的橘子皮在重金属离子的吸附上呈现出更高的适用性.鉴于此,本文拟研究改性处理后的香蕉皮吸附剂对废水中 $Pb^{2+}$ 的循环吸附效果,以期废水处理吸附材料提供新的研究思路.

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂与仪器

主要试剂:KOH,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ , HCl, 国药集团有限公司产;异丙醇,冰乙酸, $Pb(NO_3)_2$ ,北京化工厂产.以上均为分析纯.香蕉皮,二次蒸馏水,陕西学前师范学院化学实验室制.

主要仪器:JEOL JSM-6700 F型场发射扫描电子显微镜,日本电子公司产; Nicolet Impact-410 FTIR型红外光谱仪,美国Nicolet公司产; Perkin-Elmer 2400 CHN Elemental Analyzer型元素分析仪,美国珀金埃尔默公司产. Micromeritics ASAP 2010 sorptometer型自动

物理吸附仪,美国 Micromeritics 公司产。

## 1.2 实验方法

**1.2.1 香蕉皮改性** 首先称取 200 g 香蕉皮,将其洗净、剪碎置于 250 mL 去离子水中搅拌 1 h,离心分离,所得固体样品置于 55 °C 恒温烘箱中干燥 24 h 至恒重,研磨成粉末,得到香蕉皮吸附剂。然后称取 1 g 上述香蕉皮吸附剂样品,将其置于 12 mL 醇酸洗液 ( $V(\text{乙醇}):V(\text{乙酸})=5:1$ ) 中持续搅拌 6 h,离心分离;最后,将固体样品置于 90 °C 烘箱中干燥 24 h,得到改性香蕉皮吸附剂。

**1.2.2 改性香蕉皮吸附剂对废水中  $\text{Pb}^{2+}$  的循环吸附方法** 配制  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度为 600 mg/L 的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液;称取 0.1 g 改性香蕉皮吸附剂,置于 50 mL 上述  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中,调节溶液 pH 值为 6.5,常温下搅拌 7 h,离心分离,保存滤液,以待检测。吸附  $\text{Pb}^{2+}$  的改性香蕉皮吸附剂(改性香蕉皮吸附剂 -  $\text{Pb}^{2+}$ ) 分别经过 0.5 mol/L HCl 和 0.5 mL/L KOH 溶液处理后,调节溶液 pH 值为 6.5,以待循环使用。

**1.2.3 循环吸附能力表征** 取吸附后的滤液进行 ICP 检测,改性香蕉皮吸附剂对  $\text{Pb}^{2+}$  多次循环吸附能力的表征采用如下方法:

$$\eta = (C_i - C) / C_i \times 100\%$$

其中,  $\eta$  表示吸附效率,  $C_i$  和  $C$  分别表示初始溶液和吸附后溶液中  $\text{Pb}^{2+}$  的质量浓度/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

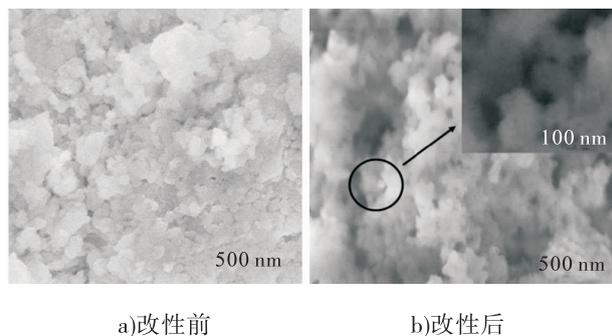
## 1.3 测试条件

采用 SEM 对样品的表面形貌进行表征:将样品置于硅片上,喷金,加速电压 30 kV;使用 FTIR 对样品的结构进行分析:KBr 压片,室温下,测量范围 400 ~ 4000  $\text{cm}^{-1}$ ;  $\text{N}_2$  吸附 - 脱附数据采集在液氮条件下于 -196 °C 下进行实验,测试前样品经 150 °C 真空处理,比表面积采用 BET 方法计算,孔径分布采用 BJH 方法计算,孔容采用 t-plot 方法计算。

## 2 结果与讨论

### 2.1 样品表面形貌分析

图 1 为香蕉皮改性前后香蕉皮吸附剂的 SEM 图。从图 1 中可以清晰地观察到,二者均呈粗糙多孔结构。图 1b) 中内部插图 of 改性香蕉皮吸附剂的高分辨 SEM 图,由该图可以看出,改性香蕉皮吸附剂的多孔结构更为疏松,这为吸附  $\text{Pb}^{2+}$  提供了有利条件。



a)改性前

b)改性后

图 1 改性前后香蕉皮吸附剂的 SEM 图

Fig. 1 SEM images of banana peel adsorbent before and after modification

### 2.2 样品的结构分析

图 2 为香蕉皮吸附剂、改性香蕉皮吸附剂的 FTIR 图。由图 2 可知,二者在 3340 ~ 3650  $\text{cm}^{-1}$  处出现的较强衍射峰均归属于 -OH 的振动吸收峰,在 2850  $\text{cm}^{-1}$  和 2951  $\text{cm}^{-1}$  处出现的衍射峰均归属于 - $\text{CH}_x$  的对称和不对称吸收峰,在 1451  $\text{cm}^{-1}$  处出现的衍射峰归属于芳香环的吸收峰,与氧原子连接后,芳香环的反对称振动引起的吸收峰出现在 1559  $\text{cm}^{-1}$  处。从改性香蕉皮吸附剂的 FTIR 图可以明显观察到,在 1100  $\text{cm}^{-1}$  处出现的较强衍射峰归属于羧基中的 C=O 振动吸收峰,在 1250  $\text{cm}^{-1}$  处出现的较强衍射峰归属于羧基中的 C-OH 振动吸收峰,这说明香蕉皮已经成功被改性。

### 2.3 样品对废水中 $\text{Pb}^{2+}$ 的循环吸附性能分析

图 3 为香蕉皮吸附剂、改性香蕉皮吸附剂和改性香蕉皮吸附剂 -  $\text{Pb}^{2+}$  这三种样品的吸

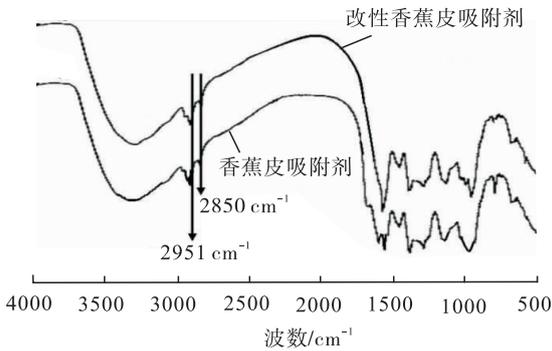


图2 改性前后香蕉皮吸附剂的 FTIR 图  
Fig. 2 FTIR spectra of banana peel adsorbent before and after modification

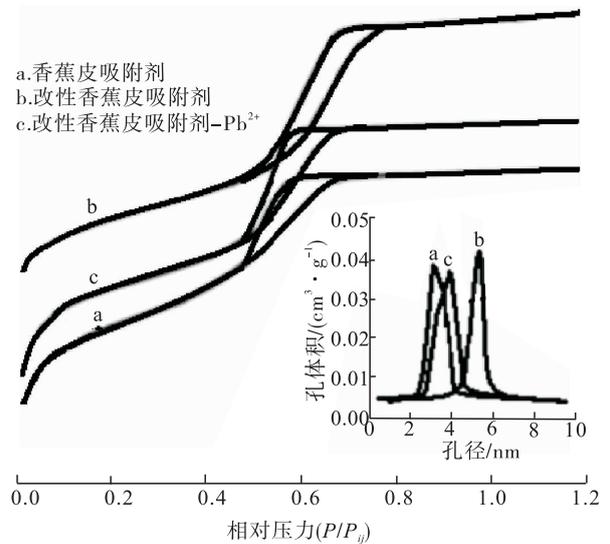


图3 改性前后香蕉皮吸附剂和  
改性香蕉皮吸附剂 - Pb<sup>2+</sup> 三种样品的  
吸附 - 脱附等温曲线图

Fig. 3 Adsorption-desorption isotherm curves of three samples of banana peel adsorbent before and after modification, modified banana peel adsorbent-Pb<sup>2+</sup>

附 - 脱附等温曲线图(内部的插图为三种样品对应的孔径分布曲线). 从图3中可以看出, 三种样品均属于 IV 型等温线, 孔径分布很窄, 表明三种样品均具有典型的介孔结构. 表1为这三种吸附剂样品的相关数据. 由表1可知, 香蕉皮吸附剂的比表面积、孔体积和平均孔径分别为 488 m<sup>2</sup>/g, 0.35 cm<sup>3</sup>/g 和 2.9 nm; 改性后, 其参数分别升高到 858 m<sup>2</sup>/g, 0.76 cm<sup>3</sup>/g 和 4.6 nm, 较大的比表面积和孔体积也为吸附 Pb<sup>2+</sup> 提供了有利的条件. 改性香蕉皮吸附剂吸附 Pb<sup>2+</sup> 后, 比表面积、孔体积和平均孔径分别下降到 508 m<sup>2</sup>/g, 0.52 cm<sup>3</sup>/g 和 3.3 nm.

表1 三种吸附剂样品的相关数据

Table 1 Data on three adsorbent samples

样品	BET 比表面积 / (m <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> )	孔体积 / (cm <sup>3</sup> · g <sup>-1</sup> )	孔径 / nm
香蕉皮吸附剂	488	0.35	2.9
改性香蕉皮吸附剂	858	0.76	4.6
改性香蕉皮吸附剂 - Pb <sup>2+</sup>	508	0.52	3.3

表2 香蕉皮改性前后的吸附数据

Table 2 The adsorption data of the banana peel before and after modification

项目	香蕉皮吸附剂	改性香蕉皮吸附剂循环吸附次数/次			
		1	2	3	4
初始 Pb <sup>2+</sup> 浓度 / (mg · L <sup>-1</sup> )	600	600	600	600	600
吸附后 Pb <sup>2+</sup> 浓度 / (mg · L <sup>-1</sup> )	54.5	12.5	19.0	35.4	47.5
吸附效率 / %	90.9	97.9	96.8	94.1	92.1

取吸附后的滤液进行 ICP 检测, 香蕉皮改性前后的吸附数据见表2. 由表2可知, 香蕉皮改性前后的吸附剂对 Pb<sup>2+</sup> 离子的吸附效率分别为 90.9% 和 97.9%, 4 次循环吸附后的吸附效率可达 92.1%, 高于文献中的吸附效率 (90.2%)<sup>[9]</sup>, 这说明通过改性有效地提高了香蕉皮吸附剂对重金属 Pb<sup>2+</sup> 离子的吸附能力.

### 3 结论

本文用乙酸对香蕉皮吸附剂进行改性, 并以所得改性香蕉皮吸附剂作为吸附载体, 对废水中重金属离子 Pb<sup>2+</sup> 的吸附性能进行研究. 结果表明: 改性后的香蕉皮吸附剂的比表面积、孔

体积和平均孔径分别由原来的 488 m<sup>2</sup>/g, 0.35 cm<sup>3</sup>/g 和 2.9 nm 升高到 858 m<sup>2</sup>/g, 0.76 cm<sup>3</sup>/g 和 4.6 nm, 较大的比表面积和孔体

积为吸附  $\text{Pb}^{2+}$  提供了有利的条件. 通过改性能有效提高香蕉皮吸附剂对重金属  $\text{Pb}^{2+}$  离子的吸附能力, 改性后的香蕉皮吸附剂对  $\text{Pb}^{2+}$  离子的吸附效率由原来的 90.9% 升高到 97.9%, 4 次循环吸附后的吸附效率仍可达 92.1%, 高于文献中的吸附效率(90.2%).

利用改性香蕉皮吸附剂对废水中的重金属离子进行吸附, 为废水中重金属的处理提供了新的吸附材料, 是一项既环保又经济的举措, 具有很好的实践意义和推广价值.

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] ZHANG P Y, ZHANG Q, WHISTLER R. L-arabinose release from arabinoxylan and arabinogalactan under potential gastric acidities [J]. Cereal Chemistry, 2003, 80(3): 252.
- [3] 许振, 李云春, 姜友军, 等. 核桃壳粉对水溶液中  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附[J]. 环境工程学报, 2012, 6(12): 4504.
- [4] 徐海生, 赵元凤, 吕景才. 水环境中重金属的生物积累研究及应用[J]. 四川环境, 2006, 25(3): 101.
- [5] 李宝磊, 朱天菊, 刘光全, 等. 实验室重金属废水
- 水处理研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(1): 75.
- [6] 李延秀, 刘学文, 马国立. 实验室废水处理装置研究与设计[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(15): 216.
- [7] 鲍金勇, 赵建国, 杨公明. 我国水果果皮的利用现状和前景[J]. 食品研究与开发, 2005, 20(1): 186.
- [8] KONG W, REN J, WANG S, et al. Removal of heavy metals from aqueous solutions using acrylic-modified sugarcane bagasse-based adsorbents: equilibrium and kinetic studies [J]. Bioresources, 2014, 9(2): 3184.
- [9] ANWAR J, SHAFIQUE U, UZ-ZAMAN W, et al. Removal of  $\text{Pb}(\text{II})$  and  $\text{Cd}(\text{II})$  from water by adsorption on peels of banana [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(6): 1752.
- [10] ANNADURAI G, JUANG R S, LEE D J. Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels [J]. Water Science and Technology, 2003, 47(1): 185.
- [11] 胡巧开, 余中山. 改性香蕉皮吸附剂对六价铬的吸附[J]. 工业用水与废水, 2012, 43(5): 67.
- [12] 冯宁川. 橘子皮化学改性及对重金属离子吸附行为的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.