

引文格式:张少飞,王文蕊,燕翔,等. 核桃青皮改性活性炭对锌离子的吸附研究[J]. 中国有色冶金, 2024, 53(4): 125-131.
ZHANG Shaofei, WANG Wenrui, YAN Xiang, et al. Study on adsorption of zinc ions by modified activated carbon from walnut green peel[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2024, 53(4): 125-131.

核桃青皮改性活性炭对锌离子的吸附研究

张少飞¹, 王文蕊¹, 燕翔¹, 王荣民^{2,3}, 聂龙英¹, 余洁¹

- 陇南师范高等专科学校 农林技术学院, 甘肃 陇南 742500;
- 生态环境相关高分子材料教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730070;
- 西北师范大学 化学化工学院, 甘肃 兰州 730070)

[摘要] 陇南市拥有大量的锌矿和锌冶炼厂, 并且拥有大量的核桃青皮资源, 基于活性炭对锌离子的吸附作用, 本文在不同温度下对核桃青皮进行了炭化, 并利用 NaCl、HCl 和 NaOH 进行改性, 然后考察了不同条件下改性核桃青皮活性炭对含锌废水中锌离子的吸附作用。分析结果表明, 500 °C 条件下炭化的核桃青皮具有最好的吸附性能, 记为 WP-500; NaOH 对 WP-500 改性效果较好, 对锌离子的吸附性能最强, 改性后的活性炭记为 WP3-500; 在 WP3-500 用量 4 g/L、温度 30 °C、时间 30 min 的条件下, WP3-500 对锌离子的去除率为 81.11%, 吸附量为 10.14 mg/g; 动力学分析表明, 准一级动力学模型可以描述 WP3-500 对锌离子的吸附行为, 其主要受物理吸附控制; 相较于玉米秸秆、花生壳和稻壳等废弃生物炭化制备吸附剂, 利用核桃青皮制备活性炭的方法更简单、成本更低, 而且对锌离子的去除效果更好。本研究为核桃青皮的资源化利用及废水中锌离子的去除提供了新思路。

[关键词] 核桃青皮; 炭化; 活性炭; 吸附; 含锌废水; 锌离子; 制备成本

[中图分类号] X758; TF804.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-6103(2024)04-0125-07

DOI: 10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2024.04.014

0 引言

陇南市拥有大量的锌矿和锌冶炼厂, 含锌废水未经妥善处理进入天然水体中, 不仅破坏了水体中动植物的生存环境, 而且对人体的健康有着巨大的危害^[1-2], 因此, 处理水中重金属锌离子成为当前研究的重点。去除废水中重金属的主要方法有化学沉淀法、离子交换法、膜过滤法和吸附法^[3-4], 其中吸附法因其具有成本低、效果好的优点而被广泛应用。

活性炭是经过炭化和活化作用制备的多孔吸附材料^[5-6], 具有较高的比表面积和大量的官能团, 能与重金属产生络合作用而吸附重金属^[7-8], 成为近年来的研究热点。

陇南市山地较多, 发展林果产业能够带动更多的农户, 核桃是当地的主要经济林果作物之一^[9-10]。核桃青皮^[11-12]属于核桃未成熟的一层较厚外果皮, 质量可达到核桃的 50% 左右, 核桃青皮副产物的产量比核桃干果的产量高^[13-14], 因此, 陇南市每年产生了大量的核桃青皮, 由于缺乏专业的技术手段不能将其及时处理而导致大量废弃, 这就造成了巨大的生物质资源浪费和环境污染^[15-16]。

本研究中, 首先将核桃青皮制备成活性炭, 再利用氯化钠、氢氧化钠和盐酸分别对活性炭进行改性, 研究了不同改性活性炭对锌离子的吸附能力, 考察了改性活性炭含量、温度和时间对锌离子吸附量的影响。研究结果表明, 氢氧化钠改性活性炭具有更好的锌离子吸附能力, 不仅降低了废水中锌离子的

[收稿日期] 2024-02-19

[第一作者] 张少飞(1988—), 男, 甘肃成县人, 博士研究生, 副教授, 主要从事农林固体废弃物综合利用研究。

[通信作者] 燕翔(1969—), 男, 甘肃礼县人, 本科, 教授, 主要从事农林固体废弃物综合利用研究。

[基金项目] 陇南市科技计划项目(2022-S·QKJ-04); 甘肃省科技计划项目(20JR5RK623); 陇南市社会化出资科技计划项目(2021-SZ-09); 陇南师范高等专科学校博士科研启动基金项目。

含量,而且提高了废弃核桃青皮的利用率,为处理废水中的锌离子和提高核桃青皮的利用提供了参考。

1 试验部分

1.1 材料与仪器

核桃青皮(采摘于甘肃省陇南市成县核桃园);氯化钠、氢氧化钠、盐酸、七水硫酸锌(分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司);二甲酚橙、六亚甲基四胺(分析纯,天津市福晨化学试剂厂)。

电热恒温干燥箱(型号:202型,产地:北京科伟永兴仪器有限公司);多功能粉碎机(型号:400Y,产地:铂欧五金厂);精密电子天平(型号:SHENGBO,产地:盛博电子厂衡器有限公司);恒温水浴锅(型号:HH-S,产地:江苏正基仪器有限公司);精密pH计(型号:pHS-3B型,产地:上海精密仪器有限公司);全自动比表面和孔径分布分析仪(型号:Autosorb-1型,产地:美国康塔仪器公司);旋转蒸发器(型号:RE-52AA型,产地:上海亚荣生化仪器厂);紫外-可见分光光度计(型号:UV-2600,产地:苏州岛津仪器有限公司);扫描电子显微镜(SEM,型号:JSM-5600LV型,产地:日本JEOL公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 核桃青皮活性炭的制备

将剥离的核桃青皮用蒸馏水清洗干净,放入烘箱中,在100℃下烘2h,使用粉碎机粉碎,过80目(0.198mm)筛,得到核桃青皮粉末,将核桃青皮粉末放入马弗炉中分别在400℃、500℃和600℃条件下炭化150min,得到核桃青皮活性炭,分别记为WP-400、WP-500和WP-600。

1.2.2 改性核桃青皮活性炭的制备

首先,在3个烧杯中分别加入10g选定核桃青皮活性炭,再分别对应加入100mL 1mol/L的NaCl、HCl和NaOH溶液;然后,使用磁力搅拌器搅拌6h;最后,用蒸馏水洗涤至中性,进行过滤,放入烘箱100℃下干燥4h,即得到改性核桃青皮活性炭WP1-500、WP2-500和WP3-500。

1.2.3 核桃青皮活性炭对锌离子吸附的测定

1) 锌离子标准溶液的配制。准确称取44.15g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 置于烧杯中,用蒸馏水溶解,然后在1L的容量瓶中定容、摇匀,得到 Zn^{2+} 浓度为10mg/mL的储备液。取1.45mL的储备液于250mL

的容量瓶中定容,得58 $\mu g/mL$ 的锌离子标准溶液。

2) 显色剂的配制。称取1g二甲酚橙于烧杯中,加水溶解,转移至250mL容量瓶中,定容。

3) 缓冲溶液的配制。称取40g六亚甲基四胺溶于100mL蒸馏水中,加入适量浓盐酸,调节溶液的pH值为5.4。

4) 标准曲线的绘制。分别取0、0.5、2、4、6、8、10mL的58 $\mu g/mL$ 的锌离子标准液于7只50mL的容量瓶中,分别加入5mL缓冲溶液和3mL显色剂,定容,摇匀。锌离子的浓度分别为0、0.58、2.32、4.64、6.96、9.28、11.6 $\mu g/mL$ 。用紫外-可见分光光度计在波长为578nm下测各溶液的吸光度,绘制标准曲线,如图1所示。

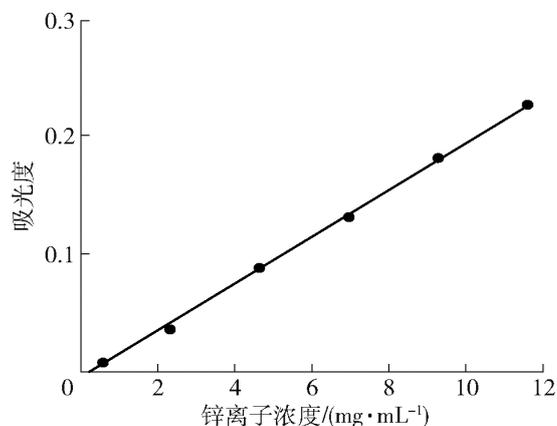


图1 锌离子溶液的标准曲线

Fig.1 Standard curve of zinc ionic solution

1.2.4 不同温度制备活性炭对 Zn^{2+} 吸附的影响

配制锌离子浓度为50 $\mu g/mL$ 的溶液150mL,分别移取50mL至3个锥形瓶中,分别加入0.2g WP-400、WP-500和WP-600活性炭,于30℃恒温,在摇床中恒温振荡30min,转速为50r/min,取上清液,测定吸光度。

1.2.5 不同改性活性炭对 Zn^{2+} 吸附的影响

配制锌离子浓度为50 $\mu g/mL$ 的溶液150mL,分别移取50mL至3个锥形瓶中,分别加入0.2g WP1-500、WP2-500和WP3-500活性炭,于30℃恒温,在摇床中恒温振荡30min,转速为50r/min,取上清液,测定吸光度。

1.2.6 活性炭用量对吸附 Zn^{2+} 的影响

配制锌离子浓度为50 $\mu g/mL$ 的溶液400mL,分别移取50mL至5个锥形瓶中,分别加入0.1g、0.15g、0.2g、0.25g、0.3g选定活性炭,于30℃恒温,在摇床中恒温振荡30min,转速为50r/min,取

上清液,测定吸光度。

1.2.7 温度对吸附 Zn^{2+} 的影响

配制锌离子浓度为 $50 \mu\text{g/mL}$ 的溶液 450 mL , 分别移取 50 mL 至 6 个锥形瓶中分别加入 0.2 g 选定活性炭, 分别选择 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 的温度, 在摇床中恒温振荡 30 min , 转速为 50 r/min , 取上清液, 测定吸光度。

1.2.8 时间对吸附 Zn^{2+} 的影响

配制锌离子浓度为 $50 \mu\text{g/mL}$ 的溶液 450 mL , 分别移取 50 mL 至 6 个锥形瓶中分别加入 0.2 g 选定活性炭, 吸附时间分别为 10 、 20 、 30 、 40 、 50 、 60 min 进行吸附试验, 于 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 恒温, 转速为 50 r/min , 取上清液, 测定吸光度。

1.2.9 吸附量和去除率的计算

活性炭对锌离子的吸附量 q (mg/g) 和去除率 η (%) 计算公式分别见式(1)、式(2)。

$$q = \frac{(C_0 - C_t)V}{W} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{(C_0 - C_t)}{C} \times 100\% \quad (2)$$

式中: q 为吸附量, mg/g ; C_0 和 C_t 分别为吸附前、后溶液的浓度, $\mu\text{g/mL}$; V 为吸附溶液的体积, mL ; W 为吸附溶液的质量, g ; η 为去除率, %。

1.2.10 吸附动力学拟合

采用准一级动力学模型和准二级动力学模型对 WP3-500 吸附锌离子进行拟合, 模型方程分别见式(3)、式(4)。

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_1 t \quad (3)$$

$$t/Q_t = 1/(K_2 Q_e^2) + t/Q_e \quad (4)$$

式中: t 为吸附时间, min ; Q_e 为平衡吸附量, mg/g ; Q_t 为 t 时刻生物炭对重金属的吸附量, mg/g ; K_1 为准一级动力学方程反应速率常数, min^{-1} ; K_2 为准二级动力学方程反应速率常数, $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 不同温度制备和改性活性炭的吸附量

对 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 制备的核桃青皮活性炭 WP-400、WP-500 和 WP-600 进行 BET 表征和吸附试验测定, 从表 1 中可以看出, WP-500 的比表面和吸附量最大, 因此选择 WP-500 对其改性。利用 NaCl、HCl 和 NaOH 对 WP-500 改性后得到 WP1-500、WP2-500 和 WP3-500, 对其进行表征, 从表 1

中可以看出, WP3-500 比表面积最大, 吸附量也最大。因此, 选择 WP3-500 进行吸附试验研究。

表 1 不同活性炭的吸附量

Table 1 Adsorption capacity of different activated carbon

活性炭	比表面积/ $(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	吸附量/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$
WP-400	26.33	7.91
WP-500	46.56	9.36
WP-600	42.63	8.92
WP1-500	47.58	9.16
WP2-500	51.68	9.81
WP3-500	54.44	10.14

2.2 不同温度制备和改性活性炭的 SEM 照片

图 2 是 WP、WP-400、WP-500 和 WP-600 的 SEM 照片。从核桃青皮粉末(WP, 图 2A)中可以看出, 核桃青皮颗粒紧密堆积, 颗粒表面有极小的空隙, 分别在 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 炭化后, 从 WP-400(图 2B)、WP-500(图 2C) 和 WP-600(图 2D) 中可以看出, 颗粒表面有大量的空隙, 其中 WP-500 活性炭呈多层结构, 空隙的孔径更大。

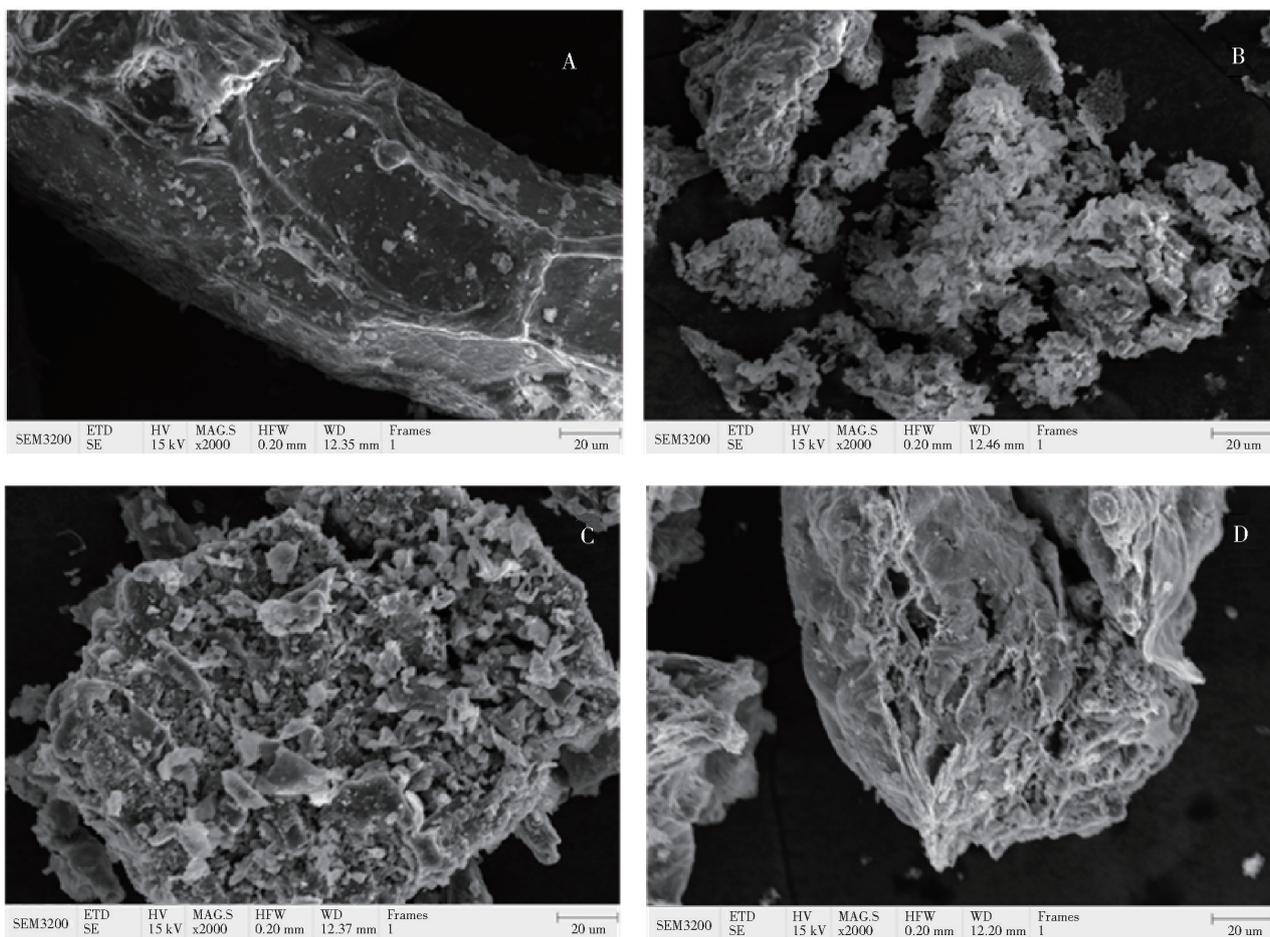
图 3 是通过 NaCl、HCl 和 NaOH 对 WP-500 改性后的 SEM 照片, 从图中可以看出, WP1-500(图 3A)、WP2-500(图 3B) 和 WP3-500(图 3C) 活性炭都有大量的空隙, WP3-500 具有更多的空隙和更大的孔径, 对于吸附锌离子具有更好的效果。

2.3 活性炭用量对 Zn^{2+} 吸附效果的影响

为了考察改性活性炭(WP3-500)用量对锌离子吸附能力的影响, 采用 0.1 g 、 0.15 g 、 0.2 g 、 0.25 g 和 0.3 g WP3-500 分别对 $50 \mu\text{g/mL}$ 锌离子溶液进行吸附, 吸附结果如图 4 所示, 从图中可以看出, 随着 WP3-500 的用量增多, 锌离子吸附量逐渐增大, 当 WP3-500 为 0.25 g 时单位质量活性炭的吸附量下降, 单位活性炭吸附成本升高, 因此, WP3-500 的最佳选用量为 0.2 g (即 4 g/L)。

2.4 温度对 Zn^{2+} 吸附效果的影响

为了考察温度对锌离子吸附能力的影响, 在 $15 \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ 下采用 WP3-500 对锌离子进行吸附, 吸附结果如图 5 所示, 从图中可以看出, 随着温度的上升, 锌离子吸附量先增大后降低, WP3-500 在 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 下对锌离子的吸附量最大, 因此, 最佳的吸附温度为 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 。



A: WP 的 SEM 照片, B: WP-400 的 SEM 照片, C: WP-500 的 SEM 照片, D: WP-600 的 SEM 照片

图 2 不同温度下制备活性炭的 SEM 照片

Fig. 2 SEM photos of activated carbon prepared at different temperatures

2.5 时间对 Zn²⁺ 吸附效果的影响

为了考察吸附时间对锌离子吸附能力的影响,进行了 0 ~ 60 min 的吸附测试试验,从图 6 可以看出,随着时间的延长,WP3-500 对锌离子的吸附量逐渐增大,然而在吸附 30 min 后,单位 WP3-500 吸附速率明显下降,因此,选择最佳的吸附时间为 30 min。为了进一步研究 WP3-500 对锌离子的吸附动力学,采用常用的准一级动力学模型(公式(3))和准二级动力学模型(公式(4))进行拟合,结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出,准一级动力学模型拟合相关系数 $R = 0.9897$,拟合吸附量 $Q_{cal} = 12.55$,与 Q_0 相差不大,拟合程度较高;而准二级动力学模型拟合相关系数 $R = 0.9749$,拟合吸附量 $Q_{cal} = 15.75$,与 Q_0 相差较大,拟合程度较低。因此,可以用准一级动力学模型描述 WP3-500 对锌离子的吸附动力学行为,说明吸附过程受物理吸附控制,主要包括色散力、静电力和诱导力等作用。

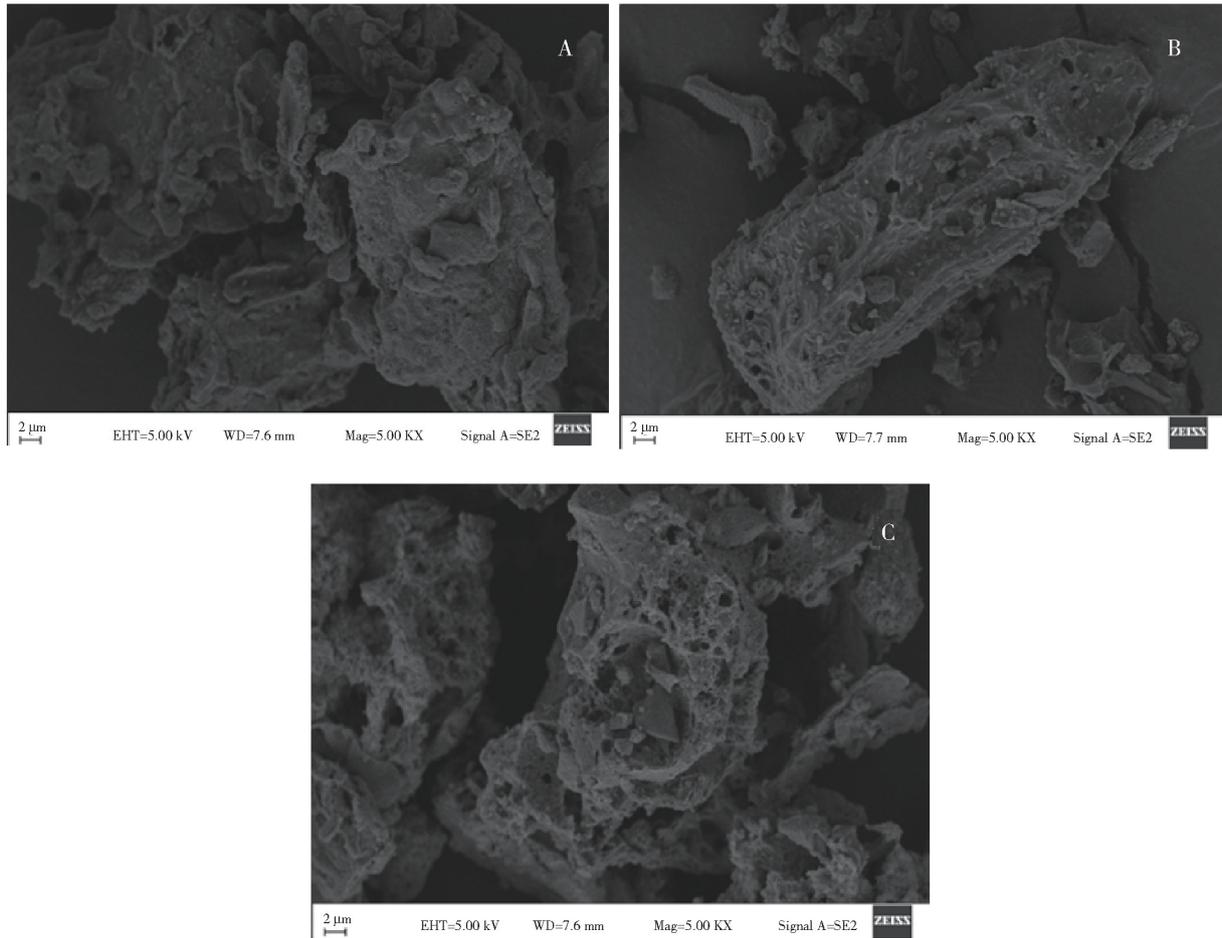
2.6 不同改性生物质活性炭的吸附量和成本

玉米秸秆、花生壳和稻壳是生活中较多的废弃

生物质材料,利用这些生物质材料能够制备不同的活性炭,对比分析改性核桃青皮活性炭、改性玉米秸秆、花生壳和稻壳活性炭的吸附量和成本见表 3。从表 3 可以看出,Song 等^[17]将蒙脱石负载到玉米秸秆活性炭表面制备改性玉米秸秆活性炭,这种改性方法简单,成本较低,改性活性炭对锌离子的最大吸附量为 8.16 mg/g;Shukla 等^[18]通过特定染料对花生壳活性炭进行改性,改性花生壳活性炭对锌离子的最大吸附量为 9.57 mg/g;程德义等^[19]通过巯基乙酸改性稻壳活性炭去除废水中的锌离子,结果表明改性稻壳活性炭对锌离子的最大吸附量为 11.26 mg/g。因此,对比以上改性生物质活性炭,利用氢氧化钠对核桃青皮进行改性,这种改性方法不仅简单和廉价,而且对锌离子的吸附效果最好,最大吸附量为 11.41 mg/g。

3 结论

针对陇南市拥有大量的锌矿和锌冶炼厂,并且拥有大量的核桃青皮资源的情况,本文对核桃青皮



A: WP1-500 的 SEM 照片, B: WP2-500 的 SEM 照片, C: WP3-500 的 SEM 照片

图 3 不同改性核桃青皮活性炭的 SEM 照片

Fig. 3 SEM photos of different modified walnut green peel activated carbon

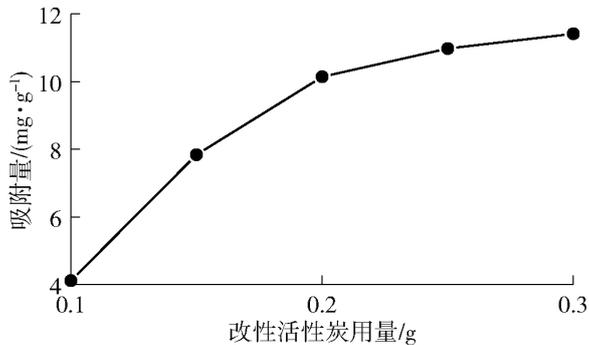


图 4 活性炭用量对锌离子吸附的影响

Fig. 4 Effect of activated carbon dosage on zinc ion adsorption capacity

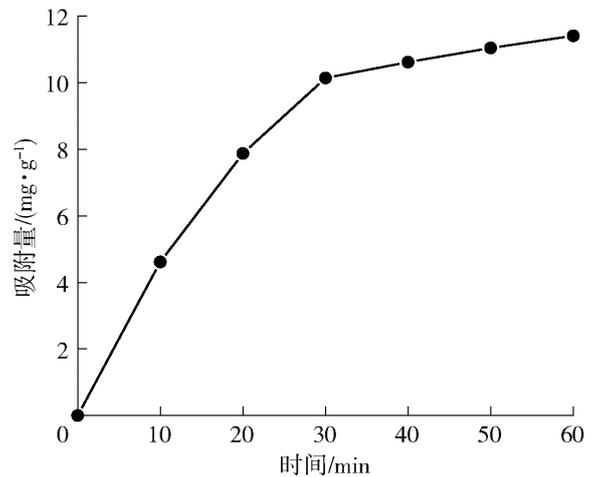


图 6 时间对锌离子吸附的影响

Fig. 6 Effect of time on adsorption of zinc ions

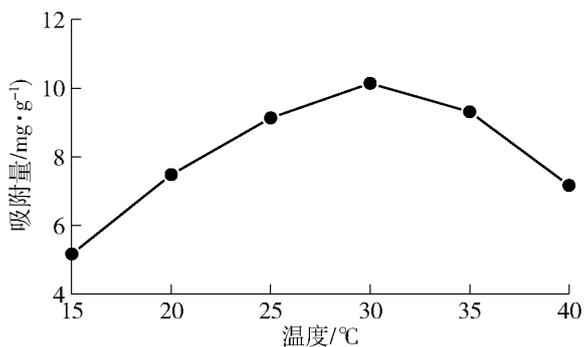


图 5 温度对锌离子吸附的影响

Fig. 5 Effect of temperature on adsorption of zinc ions

进行了炭化,并考察核桃青皮活性炭对含锌废水中锌离子的吸附作用,得到以下主要结论。

1)将核桃青皮制备成活性炭用于吸附废水中的锌离子可有效提高资源利用率。以核桃青皮(WP)作为原料在400℃、500℃和600℃制备活性炭WP-400、WP-500和WP-600,考察锌离子吸附性能,结果表明WP-500具有最好的吸附性能。

表2 WP3-500 吸附锌离子的动力学拟合参数

Table 2 Kinetic fitting parameters for WP3-500 adsorption to zinc ions

模型拟合参数	$Q_e / (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	准一级动力学模型			准二级动力学模型		
		K_1 / min^{-1}	$Q_{\text{cal}} / (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	R^2	$K_2 / (\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$	$Q_{\text{cal}} / (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	R^2
数值	11.41	0.07	12.55	0.9897	0.0031	15.75	0.9749

表3 不同改性生物质活性炭的吸附量和成本

Table 3 The adsorption capacity and cost of different modified biomass activated carbons

改性生物质活性炭	最大吸附量	成本
改性玉米秸秆活性炭	8.16 mg/g	使用蒙脱土改性,改性方法简单,成本较低
改性花生壳活性炭	9.57 mg/g	使用特定染料改性,改性方法复杂,成本较高
改性稻壳活性炭	11.26 mg/g	使用巯基乙酸改性,改性方法复杂,成本较高
改性核桃青皮活性炭	11.41 mg/g	使用氢氧化钠改性,改性方法简单,价格低廉

2) 利用 NaCl、HCl 和 NaOH 对 WP-500 进行改性,分别制备 WP1-500、WP2-500 和 WP3-500 活性炭,深入探究不同改性活性炭对锌离子的吸附性能,结果表明 WP3-500 具有最好的吸附性能。

3) 在 WP3-500 用量 4 g/L、温度 30 °C、时间 30 min 的条件下,改性活性炭对锌离子的吸附效果最好,锌离子去除率为 81.11%,吸附量为 10.14 mg/g,准一级动力学模型表明 WP3-500 对锌离子的吸附主要受物理吸附控制。

4) 陇南市核桃青皮产量较大、资源丰富,对比玉米秸秆、花生壳和稻壳等废弃生物质材料制备的活性炭,利用核桃青皮废弃生物质材料制备活性炭方法简单、价格低廉,这种活性炭对锌离子具有更好的吸附效果。本研究为核桃青皮的资源化利用及废水中锌离子的去除提供了新思路。

[参考文献]

[1] 祝宗礼. 陇南长江流域水环境现状分析与可持续发展[J]. 水利科技与经济, 2013, 19(10): 48-50.
ZHU Zongli. Analysis of the current situation of water environment and sustainable development in the longnan yangtze river basin [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2013, 19(10): 48-50.

[2] 周晶, 侯言东, 聂融. 陇南铅锌矿周边地区所产茶叶的金属元素分布调查[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(5): 440-441.
ZHOU Jing, HOU Yandong, NIE Rong. Investigation on the distribution of metal elements in tea produced in the surrounding areas of longnan lead zinc mine [J]. Journal of Environmental Health, 2011, 28(5): 440-441.

[3] 王悦, 杜小雨, 黄鑫, 等. 废水中重金属离子的处理方法及研究现状[J]. 印染, 2023, 49(9): 91-96.
WANG Yue, DU Xiaoyu, HUANG Xin, et al. Treatment methods and research status of heavy metal ions in wastewater [J]. China

Dyeing & Finishing, 2023, 49(9): 91-96.

[4] QASEM N A A, MOHAMMED R H, LAHAL D U, et al. Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review [J]. Npj Clean Water, 2021, 36(4): 1-15.

[5] HEIDARINEJAD Z, DEHGHANI M H, HEIDARI M, et al. Methods for preparation and activation of activated carbon: a review [J]. Environmental Chemistry Letters, 2020, 18: 393-415.

[6] 谢婉婷, 杨耀森, 唐课程, 等. 改性活性炭对饮用水中 Cr(VI) 吸附性能的研究 [J]. 工业水处理, 2020, 40(7): 87-90.
XIE Wanting, YANG Yaosen, TANG Moucheng, et al. Adsorption characteristics of Cr(VI) in drinking water with modified activated carbon [J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(7): 87-90.

[7] SHEN Zhenghua, XING Xiangdong, WANG Sunxuan, et al. Effect of K-modified blue coke-based activated carbon on low temperature catalytic performance of supported Mn-Ce/activated carbon [J]. ACS Omega, 2022, 7(10): 8798-8807.

[8] 燕翔, 杨建东, 韩丽, 等. 壳聚糖/磁性核桃壳生物炭的制备及其对高浓度 Pb(II) 的吸附 [J]. 中国有色冶金, 2023, 52(5): 135-145.
YAN Xiang, YANG Jiandong, HAN Li, et al. Preparation of chitosan supported magnetic walnut shell biochar and its adsorption properties on high concentration of Pb(II) [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2023, 52(5): 135-145.

[9] 王一峰, 赵淑玲, 王让军, 等. 甘肃成县核桃种质资源晚霜冻害调查 [J]. 中国果树, 2020, 20(1): 120-124.
WANG Yifeng, ZHAO Shuling, WANG Rangjun, et al. Investigation on late frost damage of walnut germplasm resources in Chengxian, Gansu Province [J]. China Fruits, 2020, 20(1): 120-124.

[10] 马艺杰, 苏世平, 李毅, 等. 核桃不同品种间抗寒能力比较 [J]. 果树学报, 2018, 35(8): 987-996.
MA Yijie, SU Shiping, LI Yi, et al. Cold tolerance of different walnut varieties [J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(8): 987-996.

- [11] 朱晓丽,程燕萍,申烨华,等.核桃青皮生物炭对重金属的吸附效应分析[J].环境科学,2023,44(10):5599-5609.
ZHU Xiaoli, CHENG Yanping, SHEN Yehua, et al. Adsorption performance of walnut green husk biochar for heavy metals[J]. Environmental Science, 2023, 44(10): 5599-5609.
- [12] YU Moxin, ZHU Bowen, YU Jianxin, et al. A biomass carbon prepared from agricultural discarded walnut green peel: investigations into its adsorption characteristics of heavy metal ions in wastewater treatment [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2023, 13: 12833-12847.
- [13] WANG Xuemei, YI Fan, ZHANG Wentai, et al. Optimization of the application of walnut green peel pigment in wool fiber dyeing and fixing process under microwave-assisted condition [J]. Journal of Natural Fibers, 2022, 19(13): 4854-4867.
- [14] ZHOU Yifei, YAN Lei, HOU Junhua. Nanosheets with high-performance electrochemical oxygen reduction reaction revived from green walnut peel[J]. Molecules, 2022, 27(1): 1-10.
- [15] MUSHTAQ Umar, BHAT Sehar Saleem, PARRAY Arif Ali, et al. A simple, economical and environmental-friendly method for staining protein gels using an extract from walnut-husk [J]. Chemico-Biological Interactions, 2020, DOI: 10.1016/j.cbi.2020.109310.
- [16] FORDOS Summaia, ABID Namrah, GULZAR Muhammad, et al. Recent development in the application of walnut processing by-products (walnut shell and walnut husk) [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2023, 13: 14389-14411.
- [17] SONG Jingpeng, ZHANG Shuaishuai, LI Guixiang, et al. Preparation of montmorillonite modified biochar with various temperatures and their mechanism for Zn ion removal [J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 391: 121692.
- [18] SHUKLA S R, PAI Roshan S. Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on dye loaded groundnut shells and sawdust [J]. Separation and Purification Technology, 2005, 43: 1-8.
- [19] 程德义,杜超,黄兆琴,等. 巯基化稻壳炭吸附废水中 Zn(II) 试验研究[J]. 环境工程技术学报, 2018, 8(5): 519-526.
CHENG Deyi, DU Chao, HUANG Zhaoqin, et al. Adsorption of Zn(II) from wastewater by sulfhydryl rice husk carbon [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2018, 8(5): 519-526.

Study on adsorption of zinc ions by modified activated carbon from walnut green peel

ZHANG Shaofei¹, WANG Wenrui¹, YAN Xiang¹, WANG Rongmin^{2,3}, NIE Longying¹, YU Jie¹

(1. Agricultural and Forestry Technical College, Longnan Teacher's College, Longnan 742500, China;

2. Key Laboratory of Eco-Environment-Related Polymer Materials of Ministry of Education, Lanzhou 730070, China;

3. College of Chemistry & Chemical Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Longnan City has a large number of zinc mines and zinc smelters, and has a large number of walnut green peel resources. Based on the adsorption of zinc ions by activated carbon, in this paper, walnut green peel was carbonized at different temperatures, the activated carbon was modified by NaCl, HCl and NaOH, and the adsorption effect of modified activated carbon on zinc ions in wastewater containing zinc was investigated under different conditions. The results showed that the walnut green peel carbonized at 500 °C had the best adsorption property, which was denoted as WP-500. WP-500 modified by NaOH had the strongest adsorption capacity for zinc ions, and the modified activated carbon was denoted as WP3-500. When the dosage of WP3-500 was 4 g/L, the temperature was 30 °C, and the time was 30 min, the removal rate of WP3-500 for zinc ions was 81.11%, and the adsorption capacity was 10.14 mg/g. The results of kinetic analysis show that the quasi-first-order kinetic model can describe the adsorption behavior of WP3-500 on zinc ions, which is mainly controlled by physical adsorption. Compared with the preparation of adsorbents from waste biological materials such as corn straw, peanut husk and rice husk, the preparation of activated carbon from walnut green peel is simpler and cheaper, and the removal effect of zinc ions is better. This study provides a new idea for the resource utilization of walnut green peel and the removal of zinc ions from wastewater.

Key words: walnut green peel; carbonization; activated carbon; adsorption; zinc wastewater; zinc ion; preparation cost