

新型生物质炭吸附剂对地下水中氟的去除作用

张瑞玲, 李德生, 秦松岩, 王亮, 周雅楠, 文桦, 何安

(天津理工大学环境科学与安全工程学院, 天津 300384)

摘要: 本文选用花生壳、栗子壳、核桃壳、橘子皮等生物质原料在不同温度下制备得生物质炭。通过对不同条件制备的生物质炭的除氟效果的比较, 结果发现, 以花生壳为原料在 650 °C 热解所得生物质炭除氟效果最好。并对花生壳生物质炭进行了表面结构表征。在此基础上, 研究了吸附时间、生物质炭投加量、pH 值、氟离子初始浓度等因素对花生壳生物质炭除氟效果的影响。结果表明, 最佳炭投加量为 1 g/100 mL, 最佳 pH 为 5.5~6, 吸附 60 min 左右达吸附平衡, 此时去除率达到 82.25%, 吸附量容量达 0.82 mg/g; 随着氟离子初始浓度的增加生物质炭对氟的去除率成下降趋势, 吸附容量随含氟量浓度的增加成上升趋势。花生壳生物质炭对氟离子的吸附等温线模拟结果表明, Freundlich 型和 Langmuir 型均较为符合。该花生壳生物质炭对地下水氟的最大吸附容量为 1.11 mg/g。该研究为农业废弃物资源化利用以及地下水氟污染治理提供了一条新的思路。

关键词: 生物质炭; 地下水; 除氟; 影响因素

文章编号: 1673-9078(2014)10-159-164

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.10.027

Removal of Fluoride from Groundwater Using New Biochar Adsorbents

ZHANG Rui-ling, LI De-sheng, QIN Song-yan, WANG Liang, ZHOU Ya-nan, WEN Hua, HE An

(School of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: In this study, new biochar adsorbents were first prepared from the peanut shell, chestnut shell, walnut shell, and orange peel under different pyrolysis temperatures, and then the fluoride removal effects of these new biochar adsorbents were compared. The results showed that the biochar derived from the peanut shell with pyrolysis at 650 °C provided the best defluoridation effect. The surface structure of the peanut shell-derived biochar was then characterized and the effects of factors such as the adsorption equilibrium time, dosage of biochar, pH value, and initial concentration of fluoride ions on the defluoridation of the peanut shell-derived biochar were investigated. The results indicated that the optimum dosage of the biochar was 1 g/100 mL, the optimum pH was approximately 5.5~6, the adsorption equilibrium was attained after approximately 60 min when the removal rate was 82.25%, and that the adsorption capacity was 0.82 mg/g. With an increasing initial concentration of fluoride, the fluoride removal rate showed a declining trend. However, the adsorption capacity showed an increasing trend with increasing fluoride concentration. The simulated results of the adsorption isotherm of fluoride on the peanut shell-derived biochar indicated that the experimental data fitted well with both the Langmuir and Freundlich models. The maximum absorption capacity of this peanut shell-derived biochar on fluoride in groundwater was 1.11 mg/g. This study therefore provides new prospects in the recycling use of waste agricultural biomass and defluoridation of groundwater.

Key words: biochar; groundwater; defluoridation; influencing factors

氟是人体必需的微量元素, 长期饮用缺氟或高氟水对人体都是不利的。缺氟会引起龋齿病, 而人体摄入过量的氟会引发氟中毒, 从而导致氟斑牙、氟骨症等^[1-2]。在我国, 含氟地下水分布范围广, 极大的危害了当地人民的健康状况。现有的除氟方法中大部分在除氟性能、去除效率、出水水质、二次污染及运行成

收稿日期: 2014-03-18

基金项目: 天津市应用基础与前沿技术研究计划重点项目(14JCZDJC40700);

国家自然科学基金项目(51108317); 天津市教学改革重点项目(C03-0825);

国家级大学生创新创业训练计划项目(201210060044)

作者简介: 张瑞玲(1979-), 女, 博士, 副教授, 食品加工废弃物资源化利用以及地下水污染物修复

本等方面存在着不同程度的不足。吸附法是众多氟处理方法中成本较低, 效果较好的一种常用方法, 常见的有活性炭、活性氧化铝、骨炭、蒙脱土、沸石、载铁螯合树脂、分子筛等^[3-4]。在这些吸附剂的研究过程当中, 大多会出现吸附剂原料来源较贵、或制备过程比较复杂、或受环境 pH 值和初始氟浓度影响较大、再生性和选择性较差等问题, 这些也往往使得吸附法在实际应用当中受到一定的影响^[5-6]。研制高效、廉价、安全、低能耗的除氟材料是当前氟污染治理技术的关键。

生物质炭是一种将废弃生物质在缺氧或无氧的环境下转化为具有发达孔隙结构, 巨大比表面积以及

丰富表面官能团的, 近些年最具发展潜力的新材料新能源之一^[7-8]。世界上的生物质资源相当丰富, 但是由于保存和转化技术的落后导致生物质资源浪费严重, 如秸秆等农业废弃物在田间焚烧, 食品加工的壳、皮等被当作垃圾填埋, 不仅污染了环境, 还造成了生物质资源的巨大浪费。生物质炭作为一类新型环境功能材料在固碳减排、土壤改良及环境修复等领域随着人们对其认识的深入已逐渐显示出一定的潜力^[9-11], 但有关生物质炭对地下水中氟的去除方面却鲜有研究。本文以核桃壳、栗子壳、花生壳、橘子皮为原料制备生物质炭, 探究其对氟的吸附性能。该研究对防治地方性氟病, 保障高氟地下水区人民的用水安全, 改善人体健康状况具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本论文采用氟化钠、盐酸等药品为分析纯。制备生物质炭所用花生壳、核桃壳、栗子壳、橘子皮均购于农贸市场。

1.2 生物质炭制备方法

取收集的生物质, 经破碎后过 100 目筛, 烘干后将其移入管式电阻炉, 以氮气作为保护气, 在不同温度 (300 °C、500 °C、650 °C、850 °C) 下热解炭化, 并恒温一小时, 冷却至 100 °C 以下关闭氮气, 即得到相应温度的炭化粗产物。制得的粗产品先用 1% 盐酸浸泡, 用以去除灰分, 然后用蒸馏水反复冲洗至 pH 值为 6 左右, 经烘干后备用。

1.3 溶液中氟离子浓度的测定

采用离子色谱仪 (ICS2000, 美国戴安公司) 测定氟离子浓度。测定时, 水样经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后进样, 以保留时间定性, 峰高定量。

分析条件如下, 淋洗液: 20 mmol/L KOH 溶液; 流速: 1.0 mL/min; 进样体积: 25 μL

抑制器电流: 50 mA; 柱温: 30 °C; 池温: 30 °C

2 结果与讨论

2.1 不同来源生物质炭对氟离子去除效果影响

氮气保护下将花生壳、栗子壳、橘子皮、核桃壳分别于 650 °C 制备得到生物质炭。取不同来源生物质

炭各 1.0 g 投加到 100 mL 浓度为 10 mg/L 氟化钠溶液中, 振荡反应 2 h。取上清液经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后采用离子色谱仪检测溶液中氟离子浓度。结果如图 1。

同等条件下制备的不同来源的生物质炭对地下水氟的去除效果不同。由图 1 可以看出, 花生壳生物质炭对氟的去除效果最好, 氟吸附容量 q 达到 0.82 mg/g, 去除率能够达到 82.25%; 核桃壳生物质炭对氟的去除率为 60.82%, 氟吸附容量为 0.61 mg/g; 橘子皮生物质炭对氟的去除率为 47.89%, 氟吸附容量为 0.48 mg/g; 栗子壳生物质炭对氟的去除率与实验组原料相比最低, 为 43.82%, 氟吸附容量为 0.44 mg/g。可见, 原料不同, 本身的元素组成不同, 表面结构不同, 在炭化的过程中, 成孔效果就会有较大的差别, 生物质炭的物理性质自然会有不同, 对氟的去除效果存在较大差异, 因此本实验选择花生壳作为后期生物质炭制备原料。

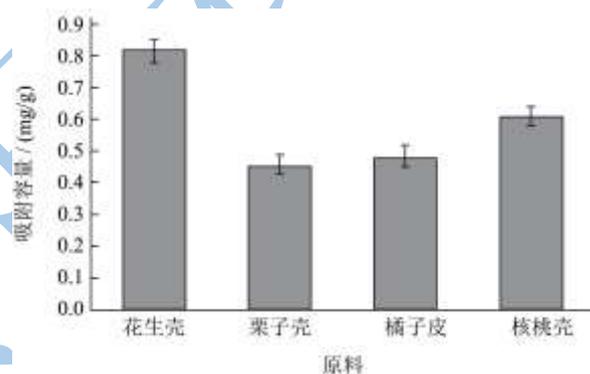


图 1 不同来源生物质炭对氟离子去除效果

Fig.1 Effect of different materials on defluoridation efficiency

2.2 不同热解炭化温度对氟离子去除效果影响

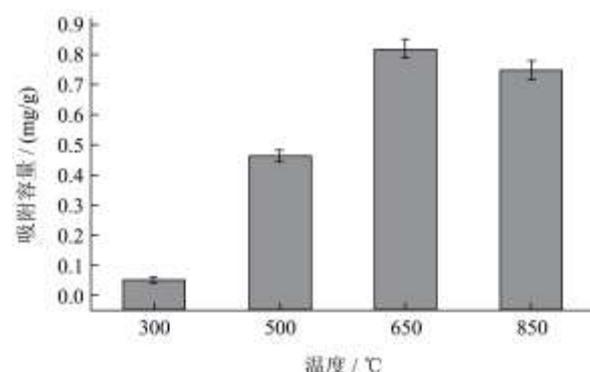


图 2 不同热解温度生物质炭对氟离子去除效果

分别称取热解温度为 300 °C、500 °C、650 °C、850 °C 制备的花生壳生物质炭 1.0 g, 投加到 100 mL

浓度为 10 mg/L 氟化钠溶液中, 振荡反应 2 h。取上清液经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后采用离子色谱仪检测溶液中氟离子浓度。结果如图 2。

生物质炭的组成和结构特征很大程度上决定了它对于污染物的吸附性能。而制备温度对生物质炭的成分及结构有着决定性作用。文中比较了 300 $^{\circ}\text{C}$ 、500 $^{\circ}\text{C}$ 、650 $^{\circ}\text{C}$ 以及 850 $^{\circ}\text{C}$ 四种温度下恒温一小时制备的生物质炭对氟离子的去除效果。其中 650 $^{\circ}\text{C}$ 制备的花生壳炭除氟效果最佳, 去除率达 82.25%, 氟吸附容量 q 最大, 为 0.82 mg/g。分析原因主要是生物质原料在热解过程中生物质中的有机成分的化学键断裂并重排, 同时伴随各种挥发性物质和高沸点物质的产生, 生成难降解的多芳香烃类。当温度较低时生物质的结构还较为紧密, 没有形成发达的空隙结构, 芳香烃类物质或具有活性的官能团都还较少。随着温度升高多芳香烃类物质进一步缩聚形成稠环芳烃, 稠环芳烃进一步脱氢生成类石墨结构, 出现少量石墨状微晶片层, 微小的石墨晶体杂乱排列形成大量无定型碳, 生物质炭正是由于存在大量无定型碳、芳香烃类物质以及活性官能团而具有较好的吸附性能。随着温度的进一步升高, 尤其达到 800 $^{\circ}\text{C}$ 以后, 随着石墨状微晶的进一步长大, 碳材料的石墨化程度逐渐增高。炭化反应以缩聚反应为主, 碳结构趋于规整、有序, 丧失了一些开口孔隙和表面积, 由非致密向致密结构转变, 活性点减少, 会影响到生物质炭材料的吸附性能^[12-13]。并且温度太高, 炭的得率会有所减少, 耗能也增加。因此选用 650 $^{\circ}\text{C}$ 为该除氟生物质炭的最佳制备温度。该现象在对重金属吸附的过程的研究中也得到了同样的结果^[14]。

2.3 花生壳生物质炭结构表征

利用扫描电镜 (SEM) 对不同温度制备的花生壳生物质炭表面微观形貌特征进行了研究, 如图 3。(a) 为原花生壳的扫描电镜图片, 从图中可以看出, 花生壳本身具有一定的褶皱构造, 另外表面也具有少量的孔隙, 是制备生物质炭的较好的来源。(b) 为 300 $^{\circ}\text{C}$ 烧制的花生壳生物质炭, 相对于原花生壳来说, 出现了更多的孔结构。但是温度相对较低, 只是出现一些较大的孔隙, 还有部分孔结构还没有彻底烧透, 只是表面出现很多凹坑。(c) 为 500 $^{\circ}\text{C}$ 烧制的花生壳生物质炭, 此时, 花生壳表面出现了更多的褶皱, 更多的孔隙结构, 为污染物的吸附提供了更多的表面积。(d) 为 650 $^{\circ}\text{C}$ 烧制的花生壳生物质炭, 该温度下, 在炭表面已经形成了发达的类似蜂窝状、孔径大小不一的孔隙结构, 并且孔隙烧制的非常通透, 大孔起到了通道

的作用, 使氟离子能够进入到内部的微孔和中孔, 从而对其进行吸附去除。使生物质炭的性能大大提高。

(e) 为 850 $^{\circ}\text{C}$ 烧制的花生壳生物质炭, 也出现了丰富的孔隙结构, 但整个表面结构趋于致密, 孔相对也较小。对不同温度花生壳生物质炭的结构表征也能从另外一个侧面对不同温度制备的炭材料的性能有所解释。

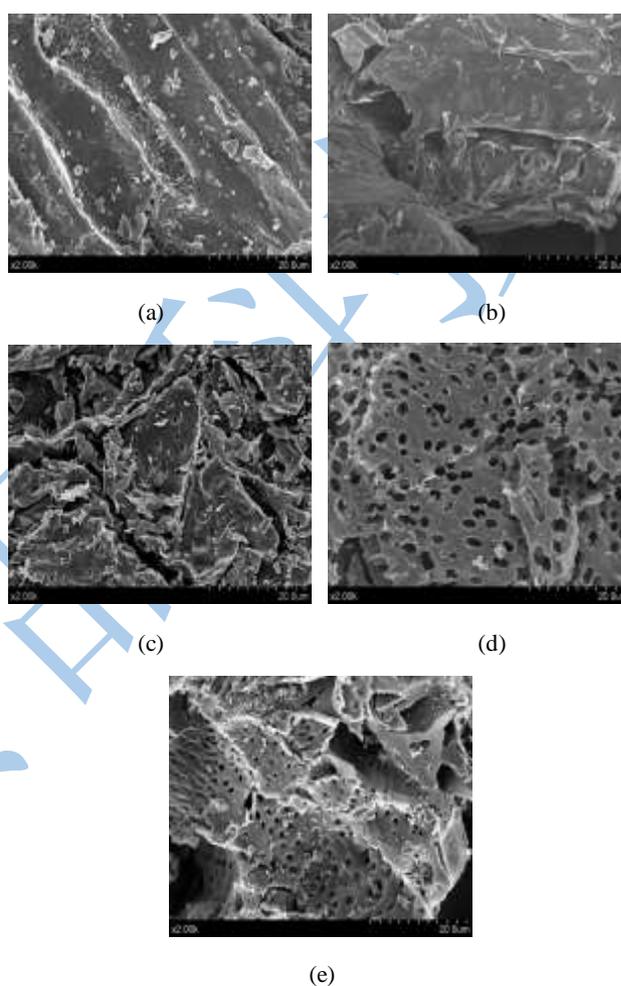


图 3 花生壳生物质炭的 SEM 图

Fig.3 SEM images of peanut shell-derived biochar products

注: (a): 原花生壳; (b): 300 $^{\circ}\text{C}$ 花生壳生物质炭; (c): 500 $^{\circ}\text{C}$ 花生壳生物质炭; (d): 650 $^{\circ}\text{C}$ 花生壳生物质炭; (e): 850 $^{\circ}\text{C}$ 花生壳生物质炭。

2.4 反应时间对除氟效果的影响

取 1.0 g 650 $^{\circ}\text{C}$ 制备的花生壳生物质炭投加到 100 mL 浓度为 10 mg/L 氟化钠溶液中进行振荡反应。考察反应时间分别为 5、20、40、60、90、120 min 对于生物质炭对除氟效果的影响。结果如图 4。

由上图可得, 随着反应时间增加, 生物质炭对氟离子去除率不断增加, 在初始阶段, 尤其在 40 min 之内, 吸附率基本呈直线增加, 之后增加速度有所减慢,

到 60 min 时基本达到吸附平衡, 去除率达到 82.25%, 吸附容量达到 0.82 mg/g。这表明花生壳生物质炭对氟的吸附是一个快速反应的过程, 可在短时间内完成。据分析, 开始时吸附速度高主要是因为对氟离子的去除主要发生在生物质炭表面上, 由于孔径较大, 通道顺畅, 有利于吸附的进行。随着吸附过程的深入, 氟离子逐渐经过渡孔进入到生物质炭内部的微孔, 孔径变小, 氟离子在内部传质速度减慢, 去除率随时间缓慢增加, 直到达到吸附平衡状态。

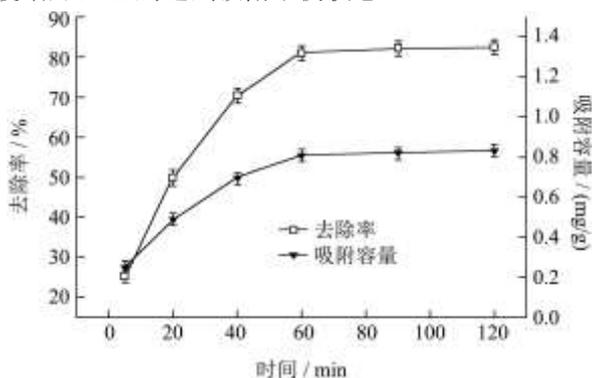


图 4 不同时间生物质炭除氟效果

Fig.4 Effect of contact time on defluoridation efficiency

2.5 不同生物质炭投加量对除氟效果影响

分别取 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 g 花生壳炭, 吸附去除 100 mL 10 mg/L 氟离子溶液, 振荡反应 90 min, 过滤后测其剩余氟离子浓度, 结果如图 5

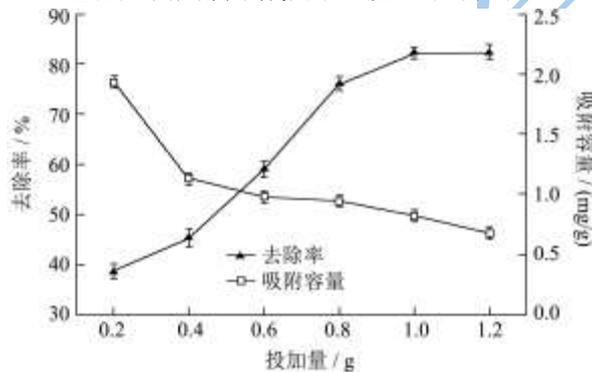


图 5 生物质炭投加量对除氟效果的影响

Fig.5 Effect of adsorbent dosages on defluoridation efficiency

由图 5 可得, 随着花生壳生物质炭用量的不断增加, 其对氟离子的去除率逐渐增大, 添加 0.2 g 时的去除率仅为 38.6%, 当生物质炭用量为 1 g 时, 去除率达到 82.25%, 继续增加炭的用量, 去除率增大减慢。去除率增大的同时, 生物质炭对氟的吸附容量在逐渐降低, 也就是, 生物质炭的投加量越少, 吸附越充分, 吸附量越大。添加 0.2 g 时, 炭的吸附容量达到了 1.93 mg/g; 投加量为 1 g 时, 炭吸附容量为 0.82 mg/g; 投加量增加到 1.2 g 时, 炭的吸附容量降低为 0.68 mg/g。

因此, 采用生物质炭除氟时, 既要考虑到生物质炭的利用率, 又要结合实际经济效益, 合理确定炭的用量, 本实验采用 1 g/100 mL 为最佳投加量。

2.6 氟离子初始浓度对除氟效果的影响

研究了在花生壳生物质炭投加量为 1.0 g/100 mL 氟化钠溶液、振荡反应时间为 90 min, 氟离子初始浓度分别为 3、5、8、10、15、20 mg/L 的条件下, 花生壳生物质炭对于氟离子的去除效果。结果如图 6。

由图 6 可得, 随着氟离子初始浓度的增加, 生物质炭对氟的去除率成下降趋势, 氟离子浓度为 3 mg/L 时, 去除率能达到 90.64%, 当浓度为 20 mg/L 时, 去除率下降至 63.21%。而生物质炭的吸附容量随原水含氟量浓度的增加成上升趋势, 由 0.27 mg/g 增大到 1.26 mg/g。这是因为 F 与吸附剂表面的接触机会增大; 当含氟量达到一定的数值时, 曲线趋缓, 吸附容量增加的绝对值减小, 表明生物质炭的吸附活性位逐渐被填满。另外, 根据剩余氟浓度值数据分析, 在该除氟条件下, 当氟离子初始浓度小于 6 mg/L 时, 该生物质炭可将水中氟离子浓度降到生活饮用水标准 1.0 mg/L 以下, 如果水中氟离子浓度较大时, 可采用两级或多级处理, 使出水达标。

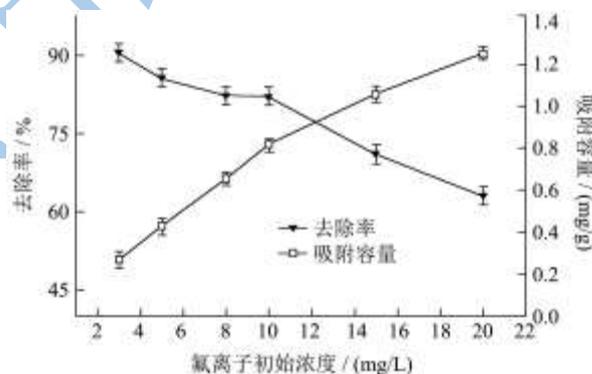


图 6 不同氟离子初始浓度的生物质炭除氟效果

Fig.6 Effect of the initial concentration of fluoride ion on defluoridation efficiency

2.7 pH 值对除氟效果的影响

分别取 1.0 g 花生壳生物质炭于各三角瓶中, 加入 100 mL 浓度为 10 mg/L 氟化钠溶液, 用盐酸或氢氧化钠调节溶液 pH 分别为 3.5、4.5、5.5、6、7、8、9.5, 振荡反应 90 min, 考察不同 pH 值对于除氟效果的影响, 结果如图 7。

由图 7 可得, 在酸性条件下, 花生壳生物质炭除氟效果较好, 在 pH 为 5.5~6 达到最大, 去除率达 82.25%, 吸附容量达到 0.82 mg/g; 而当 pH>6 时, 随着 pH 升高, 去除率迅速降低。分析原因, 氟的吸附

通常在酸性环境内,而解吸氟的作用通常在碱性环境内进行。酸性条件下, F 易与 H⁺ 结合生成 HF、HF²⁻。HF 属于弱电解质,酸性条件下,形成动态平衡。在水溶液中, H⁺ 与 F⁻ 优先生成 HF, 其次依次是 Li⁺、Na⁺、K⁺、Be²⁺、Mg²⁺、Ca²⁺ 等具有惰性气体电子构型 (d⁰) 的金属阳离子。所以在 pH 太小的酸性环境中不容易通过生物质炭表面的一些活性基团对 F⁻ 起作用。随着 pH 的增加, 其去氟效率逐渐增大, 在 pH 为 5.5~6 时花生壳生物质炭的除氟效率达到最佳。当 pH>6 时, 水溶液中游离的 F⁻ 为主要形式存在。随着 pH 值的继续增加, OH⁻ 的大量存在, 氟离子在生物质炭表面的解析速度大于吸附速度, 去除率大大降低。Asheesh 等人研究了甘蔗渣、木屑、小麦秸秆生物质炭对氟的影响, 其最佳 pH 也是在 6 左右, 其对氟的去除率分别达到了 56.4%、49.8% 和 40.2%^[15]。

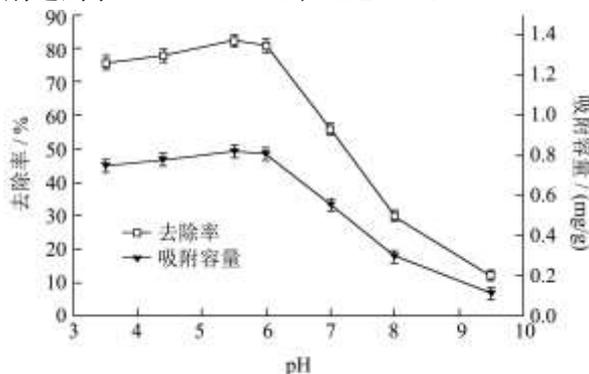


图 7 不同溶液 pH 的生物质炭除氟效果

Fig.7 Effect of pH on defluorination efficiency

2.8 吸附等温线

吸附等温线表示的是在一定温度条件下, 当吸附达到平衡时, 吸附剂的吸附容量(q)与溶液中溶质的平衡浓度(p)之间的关系曲线。它反映了吸附剂在一定条件下对吸附质的吸附能力。由采用吸附条件为: 温度 25 °C, 水样体积 100 mL, 生物质炭投加量 1.0 g, 吸附时间 90 min, 实验数据取自 2.6。

1. 常用吸附等温线类型

(1) Freundlich 型

水处理中污染物浓度相对较低时常用此模型。该方程的线性化公式如下:

$$\lg q = \lg K + \frac{1}{n} \lg \rho \quad (1)$$

(2) Langmuir 型

该模型认为吸附质与吸附剂之间的吸附是由弱的化学吸附造成的。Langmuir 方程的线性化形式为:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_e K} \times \frac{1}{\rho} + \frac{1}{q_e} \quad (2)$$

注: q 为平衡吸附容量, mg/g; ρ 为平衡浓度 mg/L; q_e 为最大吸附容量, mg/g; K、n 为常数拟合结果分别如图 8、9。

2. 吸附等温线拟合结果

由以上图表可以得, 花生壳炭对氟离子的吸附 Freundlich 方程和 Langmuir 方程拟合度基本相同, 均较为符合。根据 Langmuir 方程对等温吸附的拟合结果可知, 花生壳生物质炭对氟的最大吸附容量为 1.11 mg/g。陈涛等人报道的改性粘土除氟剂, 对氟的去除效果仅为 0.2 mg/g^[16]。

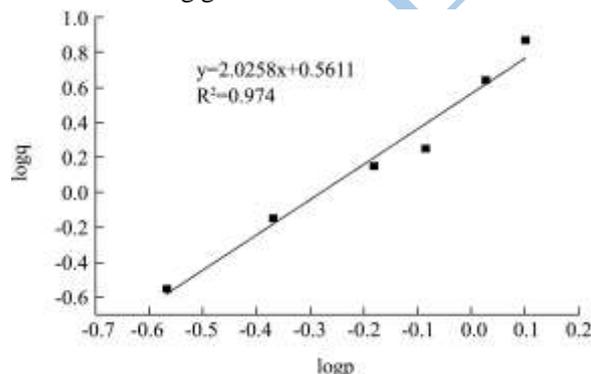


图 8 Freundlich 方程

Fig.8 Freundlich isotherm

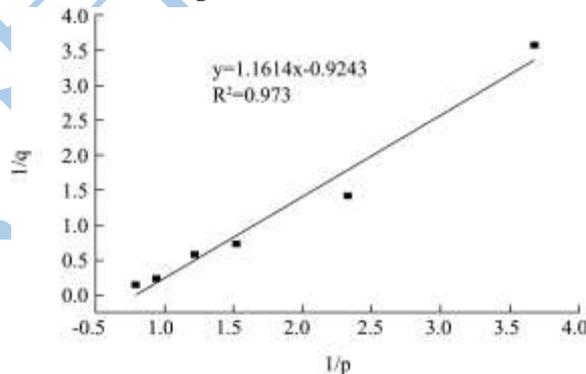


图 9 Langmuir 方程

Fig.9 Langmuir isotherm

表 1 吸附等温线拟合结果

Table 1 Fitting results of adsorption isotherm model

类型	相关系数	参数	值
Freundlich 型	R ² =0.974	K	3.64
		n	0.5
Langmuir 型	R ² =0.973	K	0.78
		q _e	1.11

3 结论

本文以花生壳、栗子壳、核桃壳、橘子皮为原料制备生物质炭, 并对产品的除氟效果加以比较, 最终以花生壳炭为考察对象, 研究其对含氟水的吸附性能, 得出以下结论:

3.1 同等条件下制备的不同来源的生物质炭对地下

水氟的去除效果不同。花生壳生物质炭对氟的去除效果最好,其次为核桃壳生物质炭、橘子皮生物质炭,栗子壳生物质炭对氟的去除率与实验组原料相比最低,本实验选择花生壳作为后期生物质炭制备原料。

3.2 比较了 300 °C、500 °C、650 °C 以及 850 °C 四种温度下恒温一小时制备的生物质炭对氟离子的去除效果。其中 650 °C 制备的花生壳炭除氟效果最佳。

3.3 花生壳炭对氟去除的最优条件: 吸附剂投加量 1 g/100 mL, 吸附时间 60 min 基本可以达到吸附平衡, pH 为 5.5~6, 氟离子初始浓度为 10 mg/L 时, 去除率达 82.25%, 吸附量 q 为 0.82 mg/g。

3.4 花生壳炭对氟离子的等温吸附模拟结果表明, Freundlich 型和 Langmuir 型均较为符合。计算得对氟的最大吸附容量为 1.11 mg/g。

参考文献

- [1] Surendra R, Gurcharan D. Fluoride contamination in drinking water-a review [J]. Resources and Environment, 2013, 3(3): 53-58
- [2] 张金辉,李思,李萍,等.国内外含氟废水吸附处理方法研究进展[J].水处理技术,2013,39(5):7-12
ZHANG Jin-hui, LI Si, LI Ping, et al. The review on domestic and overseas adsorption treatment of fluorine waste water [J]. Technology of Water Treatment, 2013, 39(5): 7-12
- [3] Yue Shan, Huaming Guo. Fluoride adsorption on modified natural siderite: optimization and performance [J]. Chemical Engineering Journal, 2013, 223: 183-191
- [4] Leyva R R, Rivera-U J, Medellin C. Kinetic modeling of fluoride adsorption from aqueous solution onto bone char [J]. Chemical Engineering Journal, 2010, 158(3): 458-467
- [5] M Shihabuddeen, S Malyekkal, P Sanjay, et al. Enhanced fluoride removal from drinking water by magnesia-amended activated alumina granules [J]. Chemical Engineering Journal, 2008, 140(1-3): 183-192
- [6] S M Malyekkal, A K Sharma, L Philip. Manganese-oxide-coated alumina: a promising sorbent for defluoridation of water [J]. Water Research, 2006, 40(19): 3497-3506
- [7] Zheng Wei, Guo Mingxin, Chow Teresa, et al. Sorption properties of greenwaste biochar for two triazine pesticides [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 181(1-3): 121-126
- [8] Chen Bao liang, Chen Zai ming, Lv Shao fang. A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate [J]. Bioresour. Technol., 2011, 102(2): 716-723
- [9] Sohi S P, Krull E, Lopez-Capel E, et al. A review of biochar and its use and function in soil [J]. Advances in Agronomy, 2010, 105: 47-82
- [10] Mahtab A, Anushka U R, Jung E L, et al. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review [J]. Chemosphere, 2014, 99(3): 19-33
- [11] 董瑞,肖凯军,任源.H₃PO₄法制备核桃壳活性炭及其处理啤酒废水的研究[J].现代食品科技,2011,27(8):960-964
DONG Rui, XIAO Kai-jun, REN Yuan. Preparation of activated carbons with phosphoric acid method from walnut hull and its application in brewery wastewater treatment [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(8): 960-964
- [12] 黄彪,陈学榕,江茂生,等.不同炭化条件下炭化物的结构与性能表征[J].光谱学与光谱分析,2006,26(3):455-459
HUANG Biao, CHEN Xue-rong, JIANG Mao-sheng, et al. Structural and property characteristics of chinese fir wood charcoal prepared under various conditions [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 26(3): 455-459
- [13] 柳来栓,刘振宇,黄张根,等.炭化温度对蜂窝活性炭孔结构和强度的影响[J].中北大学学报(自然科学版), 2009, 30(3): 245-250
LIU Lai-shuan, LIU Zhen-yu, HUANG Zhang-gen, et al. Effect of carbonization temperature on the porosity and mechanical property of activated carbon honeycomb monoliths [J]. Journal of North University of China (Natural Science Edition) 2009, 30(3): 245-250
- [14] 俞力家.花生壳制活性炭及其用于脱铬的研究[D].河南工业大学,2010
YU Li-jia. Study on the preparation of peanut shell activated carbon and its performances for removal of chromium ions [D]. Henan university of technology, 2010
- [15] Asheesh K Y, Rouzbeh A, Asha G, et al. Removal of fluoride from aqueous solution and groundwater by wheat straw, sawdust and activated bagasse carbon of sugarcane [J]. Ecological Engineering, 2013, 52: 211-218
- [16] 陈涛,韩卓育,贾旭,等.改性粘土除氟剂处理高氟地下水研究[J].环境污染与防治,2009,31(9):40-44
CHEN Tao, HAN Zhuo-yu, JIA Xu, et al. Treatment of high fluorine contained groundwater by modified clay as defluoridation reagent [J]. Environmental Pollution and Control, 2009, 31(9): 40-44