

矿区铜污染治理中秸秆生物炭 吸附性能影响因子研究

张 静¹, 崔 向 新¹, 岳 征 文², 葛 楠², 张 琪³, 李 晓 琴¹

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010019;
3. 包头市林业工作站, 内蒙古 包头 014000)

摘 要:以秸秆生物炭为试验修复材料,采用矿区野外调查和室内吸附试验结合的方法,研究了溶液 Cu^{2+} 不同初始浓度、溶液 pH、吸附时间及生物炭添加量下,秸秆生物炭对溶液中 Cu^{2+} 吸附作用的影响,并对秸秆生物炭的吸附性能进行测试,以期为修复草原铜矿区及周边污染提供参考依据。结果表明:秸秆生物炭的最佳吸附 pH 为 4.5;吸附平衡时间为 8 h;相同吸附条件下当炭添加量为 0.5 g 时,秸秆生物炭在溶液中 Cu^{2+} 浓度为 $512 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时吸附量最大,为 $17.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。因此,当矿区污染物中含量 $< 512 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,吸附环境 pH 为酸性,添加 0.5 g 秸秆生物炭,吸附 8 h,固定和吸附废水中的 Cu^{2+} 效果明显且节约成本。

关键词:秸秆生物炭;铜离子;吸附量

中图分类号:X 75 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)19-0143-07

我国北方草原矿产资源丰富,近年来随着铜矿开采力度的增加,草原矿区的污染不容忽视,脆弱的草原生态系统正面临严峻的挑战^[1-3]。铜虽是植物生长所必需的微量元素,但其含量过高会毒害植物细胞从而降低牧草产量。矿区开采过程中的选矿和矿石冶炼产生的大量烟尘携带大量的 SO_2 直接排放至大气中,经雨水冲刷降落至地面并下渗到土壤中,土壤的酸化导致重金属的活性增强,经迁移转化污染矿区周边环境。目前针对矿区重金属污染的现状,修复方法主要有物理修复技术(客土法、换土法等)、化学修复技术(改良

剂法、化学淋洗法等)、电动化修复技术、生物修复技术(植物修复、动物修复、微生物修复)^[4]。而生物炭作为一种物理与化学修复技术综合修复材料已被广泛用于矿区重金属污染的修复和治理中,其本身发达的孔隙结构和表面负电荷使得生物炭具备了很强的吸附性能^[5],能吸附水、土壤中的无机离子及有机化合物。而它的原材料主要包括各种农林业废弃物(如作物秸秆、果壳、木屑等)、畜禽养殖业废弃物(如鸡粪、牛粪)、城市污泥以及生活垃圾等^[6]。

2015 年内蒙古自治区粮食总产量达 2 800 万 t,其中玉米总产量占粮食总产量的 80%,玉米作为北方一种重要的农作物,秋收后大量玉米秸秆废弃田间或被农民直接用作生火材料,对环境造成污染,为提高玉米秸秆的利用率,将其加工成生物炭添加至土壤中不仅可提高土壤有机碳含量还可进一步增加土壤肥力^[7]。秸秆生物炭吸附重金属方面的研究多集中在不同种类秸秆炭^[7],或不同炭化温度^[8]秸秆炭对水溶液中 Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 及废水铜的吸附^[7-8],针对矿区修复的

第一作者简介:张静(1992-),女,硕士研究生,研究方向为荒漠化防治。E-mail:ztiaotiao666@163.com.

责任作者:崔向新(1962-),女,内蒙古呼和浩特人,教授,硕士生导师,现主要从事水文与水资源及荒漠化防治等研究工作。E-mail:cuixiangxin1962@163.com.

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(31400482);水利部公益资助项目(201001039)。

收稿日期:2017-03-13

研究较少。基于此,该研究以 CuSO_4 中 Cu^{2+} 为污染源,模拟矿区铜污染,利用秸秆生物炭在不同吸附条件下对 CuSO_4 溶液中的 Cu^{2+} 的吸附性能进行试验初探,以期对矿区铜污染的进一步修复提供理论依据及科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区位于朱日和镇峰雷铜矿区及周边,全年盛行西北风,平均风速为 $5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,属于干旱性大陆气候,该地区年均蒸发量较大,年降水量 $170 \sim 190 \text{ mm}$,苏尼特右旗大多数年份中都会遭受不同程度的干旱胁迫^[9],土壤种类以栗钙土为主,植物种类较少,覆盖度仅有 $20\% \sim 40\%$,多以旱生草本植物为主^[10]。

1.2 试验材料

试验所用的秸秆生物炭(caragana biochar)为市售。供试仪器有恒温振荡箱(HZS-HA)、原子吸收分光光度计(TAS-990)、酸度计(PB-10)。供试药品试剂: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 NaOH 溶液($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、 HNO_3 ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、 NaNO_3 ($0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)^[11]。

1.3 试验方法

1.3.1 取土方法

以尾矿库为中心,沿西北、东北、东南、西南4个方向500 m范围内进行土壤样品的采集,每个方向由矿区中心向外沿着样线布设5个主样点,每个采样点采用多点取样混合四分法取出一个代表样的方法,土壤采样深度为 $0 \sim 5 \text{ cm}$ ^[12]。

1.3.2 试验设计

1)溶液初始浓度对秸秆生物炭吸附性能的影响:矿区中心位置的铜含量为 $996.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,根据矿区周边500 m范围内的土壤铜含量的测定结果(最小值为西北 $11.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大值为西南 $539.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),模拟矿区周边的污染情况,设定初始溶液的浓度分别为 6.4 、 64.0 、 128.0 、 192.0 、 256.0 、 512.0 、 $640.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (分别称取不同质量 0.025 、 0.250 、 0.500 、 0.750 、 1.000 、 2.000 、 2.500 g 的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$,利用 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 定容至 1 L 则得到不同

浓度的 CuSO_4 溶液,其中 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 为背景电解质);溶液 pH 为 4.5 ;秸秆生物炭添加质量为 0.5 g ;吸附时间为 24 h ;恒温振荡箱($25 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $180 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$)^[13],每处理3次重复。

2)吸附时间对秸秆生物炭吸附性能的影响:溶液初始浓度选取已设定梯度范围内的中间值 $192 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为代表试验浓度;溶液初始 pH 为 4.5 ;秸秆生物炭添加质量为 0.5 g ;吸附时间为 0.5 、 1 、 2 、 4 、 8 、 16 、 24 h ;恒温振荡箱($25 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $180 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$),每处理3次重复。

3)溶液初始 pH 对吸附性能的影响:溶液初始浓度为 $192 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;初始溶液 pH 为 2.5 、 3.5 、 4.5 、 5.5 、 6.5 、 7.5 ;秸秆生物炭添加质量为 0.5 g ;吸附时间为 24 h ;恒温振荡箱($25 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $180 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$),每处理3次重复。

4)生物炭添加量对秸秆生物炭吸附性能的影响:溶液初始浓度选取最接近矿区周边污染最大值 $512 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为试验浓度;初始溶液 pH 为 4.5 ;秸秆生物炭添加质量为 0.5 、 1.0 、 2.0 g ;吸附时间为 24 h ;恒温振荡箱($25 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $180 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$),每处理3次重复。

1.3.3 操作流程

量取不同初始浓度的 CuSO_4 溶液 30 mL ,利用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaOH}$ 和 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HNO}_3$ 调节初始溶液 pH 至指定值,加入离心管,称取指定质量的秸秆生物炭置于 50 mL 的离心管中,将离心管置于恒温振荡箱^[13],振荡吸附指定时间后取出离心管过滤并测定溶液中 Cu^{2+} 浓度,并计算秸秆生物炭对溶液中 Cu^{2+} 的吸附量及吸附率。

吸附量 $q_e = V(C_0 - C_e)/m$ 。式中, $q_e(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$ 为平衡时单位生物炭吸附溶液中重金属的量; $C_0(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ 为初始溶液的重金属离子质量浓度; $C_e(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ 为平衡时溶液的重金属离子质量浓度; $V(\text{L})$ 为 Cu^{2+} 溶液的体积; $m(\text{g})$ 为生物炭质量。

吸附率 $H(\%) = (C_0 - C_e)/C_0 \times 100$ 。式中, $C_0(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ 为初始溶液的重金属离子质量浓度; $C_e(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ 为平衡时溶液的重金属离子质量浓度。

1.4 项目测定

土壤中重金属含量采用盐酸-硝酸-高氯酸消解后原子吸收分光光度计(TAS-990)测定;平衡

溶液中的 Cu^{2+} 稀释定容后利用原子吸收分光光度计(TAS-990)测定;溶液初始 pH 利用酸度计(PB-10)测定。

1.5 数据分析

利用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据录入和分析,每处理取 3 次重复的平均值,利用 Origin 9.1 软件画图;利用 SAS 9.2 软件进行单因素方差分析及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 溶液初始浓度对秸秆生物炭吸附性能的影响

从图 1 可以看出,秸秆生物炭对溶液中的 Cu^{2+} 的吸附量随着溶液初始浓度的增加呈现先增加后减少的趋势,当浓度为 $512\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时吸附量达到峰值为 $17.06\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,吸附率则为先降后升又降的趋势,当浓度为 $192\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时吸附率最大为 94.47% 。对各个浓度下的吸附量及吸附率进行单因素方差分析结果得出,浓度为 $512\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的吸附量与其它各个浓度下的吸

附量均存在极显著差异($P<0.001$),当浓度为 $192\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的吸附率与其它各浓度下的吸附率呈现极显著差异($P<0.001$)。对不同初始浓度下秸秆生物炭对 Cu^{2+} 的吸附量和吸附率结果进行拟合如表 1 所示,其中吸附量和吸附率的拟合曲线均为 $R^2=0.275<0.5$,拟合效果并不理想。

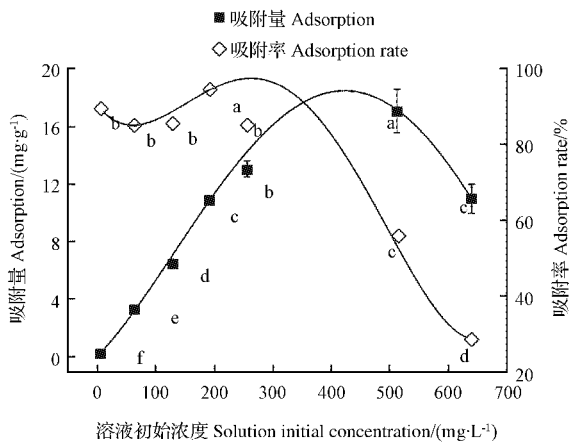


图 1 溶液不同初始浓度下秸秆生物炭对 Cu^{2+} 吸附量及吸附率的变化

Fig. 1 Change of adsorption and adsorption rate of Cu^{2+} on straw biochar in different concentrations

表 1 溶液不同初始浓度下秸秆生物炭对溶液中 Cu^{2+} 吸附量及吸附率的拟合方程

Table 1 Fitting equation of adsorption and adsorption rate of Cu^{2+} on straw biochar in different concentrations

影响因子 Impact factors	拟合方程 Fitting equation	R^2
吸附量 q_e	$y=-25.04+27.36x-7.71x^2+0.95x^3-0.04x^4$	0.275
吸附率 η	$y=217.34+237.46x-66.94x^2+8.29x^3-0.38x^4$	0.275

2.2 时间对秸秆吸附性能的影响

由图 2 可知,随吸附时间的延长,秸秆生物炭对溶液中 Cu^{2+} 的吸附量及吸附率均呈逐渐增加的趋势,吸附时间为 $0.5\sim4.0\text{ h}$ 时,其吸附量的增加速率大于 $4\sim8\text{ h}$ 时吸附量的增加斜率;到 8 h 时,曲线出现拐点,吸附量及吸附率均达到峰值,为 $10.78\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 93.54% 。之后时间段的吸附量及吸附率基本保持不变,则吸附时间为 8 h 时吸附达到动态平衡。对各时间下吸附量及吸附率进行单因素方差分析得出,吸附时间为 8 h 后的吸附量及吸附率与其它各时间下的吸附量及吸附率均存在极显著差异($P<0.001$)。对秸秆生物炭的吸附量及吸附率进行拟合,如表 2 所示,秸秆生物炭对溶液中的 Cu^{2+} 的吸附量及吸附率拟合曲线均为 $R^2=0.996>0.990$,拟合效果较好。

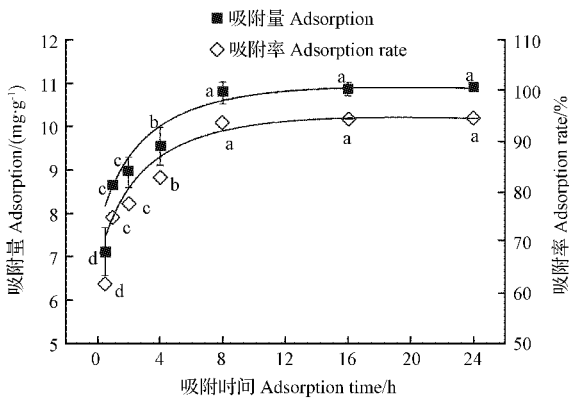


图 2 溶液不同吸附时间下秸秆生物炭对 Cu^{2+} 吸附量及吸附率的变化

Fig. 2 Change of adsorption capacity and adsorption rate of Cu^{2+} on straw biochar under the different adsorption time

表 2 不同吸附时间下秸秆生物炭对溶液中 Cu²⁺ 吸附量及吸附率的拟合方程

Table 2 Fitting equation of Cu²⁺ adsorption capacity and adsorption rate of straw biochar under the different adsorption time

影响因子 Impact factors	拟合方程 Fitting equation	R ²
吸附量 q_e	$y=(7.54+4x)/(1+0.34x+8.39x^2)$	0.996
吸附率 η	$y=(65.44+34.81x)/(1+0.34x+8.39x^2)$	0.996

2.3 pH 对秸秆生物炭吸附性能的影响

如图 3 所示,随着 pH 的增加,秸秆生物炭对溶液中的 Cu²⁺ 的吸附量呈现先增加后缓慢减小的趋势,吸附率则呈先增后迅速降低的趋势。当 pH 为 4.5 时,吸附量及吸附率均为最大,分别为 10.88 mg · g⁻¹, 94.47%; 当 pH 为 2.5 时,吸附量及吸附率最小,分别为 9.50 mg · g⁻¹, 82.42%。对不同 pH 下的吸附量及吸附率进行单因素方差分析得出, pH 为 4.5 时吸附量及吸附率与 pH 为 2.5 和 7.5 时吸附量及吸附率存在显著性差异 ($P<0.05$), 与其它 pH 下的吸附量及吸附率差异均不显著 ($P>0.05$)。由表 3 可知,不同 pH 下的吸附量及吸附率进行拟合方程为二元四次方程,溶液不同 pH 下秸秆生物炭对 Cu²⁺ 的吸附量拟合方程 $R^2=0.275$, 吸附率的拟合方程 $R^2=0.275$, 均 $R^2<0.5$, 拟合效果并不理想。

表 3 溶液不同 pH 对秸秆生物炭吸附 Cu²⁺ 吸附量及吸附率的拟合方程

Table 3 Fitting equation of Cu²⁺ adsorption capacity and adsorption rate of straw biochar on different solutions pH

影响因子 Impact factors	拟合方程 Fitting equation	R ²
吸附量 q_e	$y=-25.04+27.36x-7.71x^2+0.95x^3-0.04x^4$	0.275
吸附率 η	$y=-217.34+237.46x-66.94x^2+8.29x^3-0.38x^4$	0.275

2.4 添加量对秸秆生物炭吸附性能的影响

图 4 表明,溶液中 Cu²⁺ 浓度为 512 mg · L⁻¹ 时,随着添加量的增加,秸秆生物炭对溶液中 Cu²⁺ 吸附量呈现骤降的趋势,吸附率则呈现逐渐升高的趋势。添加量为 0.5 g 时吸附量最大为 17.06 mg · g⁻¹, 添加量为 2 g 时吸附率最大为 94.78%。对不同添加量下的吸附量及吸附率进行单因素方差分析得出,各个添加量下吸附量及吸附率均存在极显著差异 ($P<0.001$)。表 4 为不同添加量下的秸秆生物炭的吸附量及吸附率的拟合方程,其中吸附量为直线回归方程,且 $R^2=0.999$, 拟合效果极好。不同添加量下秸秆生物炭对溶液中 Cu²⁺ 的吸附率的拟合方程则为幂指数方程, $R^2=0.773$ 。

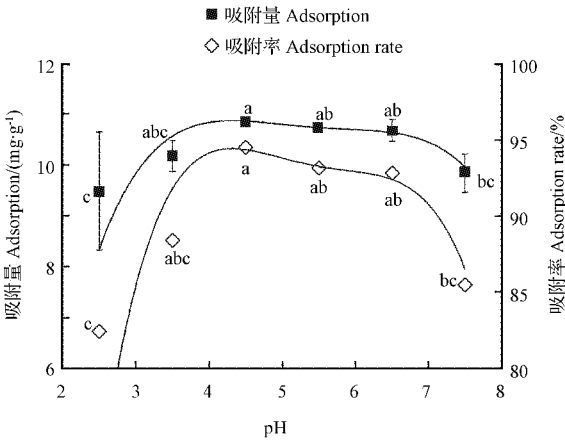


图 3 溶液不同 pH 下秸秆生物炭对 Cu²⁺ 吸附量及吸附率的变化

Fig. 3 Change of adsorption capacity and adsorption rate of Cu²⁺ on straw carbon in different solutions pH

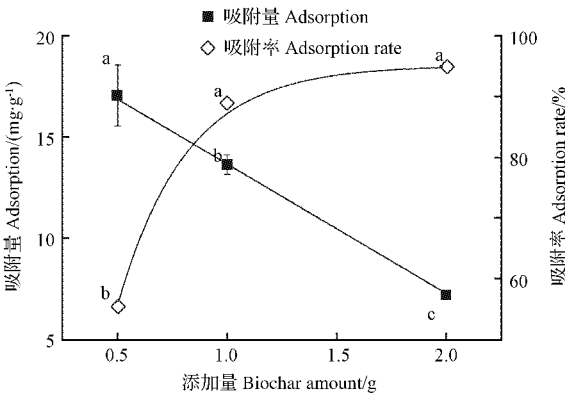


图 4 不同添加量下秸秆生物炭对 Cu²⁺ 吸附量及吸附率的变化

Fig. 4 Change of adsorption capacity and adsorption rate of Cu²⁺ on straw biochar under the different biochar amount

表 4 炭不同添加量对秸秆生物炭吸附 Cu²⁺ 吸附量及吸附率的拟合方程

Table 4 Fitting equation of Cu²⁺ adsorption capacity and adsorption rate of straw biochar on different biochar amount

影响因子 Impact factors	拟合方程 Fitting equation	R ²
吸附量 q_e	$y=20.07-6.93x$	0.999
吸附率 η	$y=95.09-197.73e^{-x/0.31}$	0.773

2.5 秸秆生物炭的吸附性能与各影响因子的相关性分析

由表 5 可知,秸秆生物炭的吸附量与溶液初始浓度、时间呈显著正相关关系,与添加量呈显著

负相关关系,与 pH 无相关性。吸附率与初始浓度呈显著负相关关系,与时间呈显著正相关关系,与 pH 无相关性。

表 5 秸秆生物炭吸附量及吸附率与各影响因子的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between adsorption capacity and adsorption rate of straw biochar and the other influence factors

影响因子 Impact factors	初始浓度 Initial concentration	pH	时间 Time	添加量 Biochar amount
吸附量 q_e	0.764 1 *	0.298 43	0.790 35 *	-0.999 84 *
吸附率 η	-0.149 7 *	0.298 43	0.790 35 *	0.840 62

注: * 表示在 $P<0.05$ 水平下显著相关。

Note: * show significant correlation at $P<0.05$ level.

3 讨论

关于秸秆生物炭的吸附性能的影响因子研究,最常见的影响因子有吸附温度、初始浓度、吸附时间、pH、炭添加量等。而该研究选取了最常见的 4 种影响因子^[14]。

初始浓度的高低对生物炭吸附重金属存在很大的影响,该研究根据对矿区周边土壤铜污染情况设置梯度为 $6.4\sim640\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,涵盖矿区周边土壤污染铜含量的最大值与最小值,在石夏颖^[15]的研究中将 Cu²⁺ 初始浓度设定为 $10\sim300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,随着初始浓度的增加,吸附量随之增加,但并未达到平衡。与该研究的随着初始浓度的增加吸附量也随之增加并未达到平衡的结果相一致。CHOI 等^[16]和高伟等^[17]研究不同的吸附剂对 Cu²⁺ 的吸附,表明随着溶液 Cu²⁺ 初始浓度的增加,去除率随之增加,吸附量开始增加到浓度较高时,却增长缓慢。与该研究溶液中 Cu²⁺ 初始浓度为 $640\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,秸秆生物炭的吸附量随之降低但并未降到最低的结果相一致。由于溶液由 CuSO₄·5H₂O 配制而成,溶液中 Cu²⁺ 越多意味着 SO₄²⁻ 越多,初始溶液 pH 设定为 4.5,呈酸性,溶液中的 SO₄²⁻ 与水溶液中 H⁺ 结合成 H₂SO₄,使得溶液的酸性越强,而生物炭本身呈碱

性,强酸抑制了生物炭的吸附性能,使得初始溶液中 Cu²⁺ 浓度过高反而会抑制生物炭对 Cu²⁺ 的吸附性能。

由于 pH 过低,当 $\text{pH}<4.5$ 时,溶液中存在大量的 H⁺ 处于正价点位会与 Cu²⁺ 的正价电位竞争,此时生物炭的吸附量和吸附率即会降低,要使 pH 增大,将溶液中加入 NaOH,OH⁻ 逐渐增多会中和溶液中原有的 H⁺,说明强酸环境会抑制秸秆生物炭对 Cu²⁺ 的吸附作用;试验过程中,当吸附 pH 5.5 时溶液中开始出现蓝色的絮状沉淀,此时随着 pH 的增大,由于与 H⁺ 中和后剩余的 OH⁻ 与 Cu²⁺ 使得溶液中以离子形态存在铜逐渐减少,进而影响生物炭对 Cu²⁺ 的吸附,当溶液 pH 呈碱性之后溶液中过多的 OH⁻ 会减少溶液中原有的 Cu²⁺ 进而使得吸附量减少,吸附率降低^[11,18]。由于生物炭呈现碱性,而弱酸性溶液更有利于生物炭对 Cu²⁺ 的吸附。根据 LIU 等^[19] 的研究,当吸附环境呈现强酸性时,生物炭表面的官能团会与溶液中的 H⁺ 结合,便无法与溶液中的金属阳离子络合;随着溶液中 pH 不断升高,溶液中的 H⁺ 减少,官能团便与金属离子络合,此时生物炭对溶液中金属的吸附能力随之升高;而当 pH 超过 5 时,去除率又会下降,这主要是由于金属离子生成水溶性羟基络合物的缘故^[20]。

该研究中,当吸附时间为8 h后,吸附量及吸附率增长缓慢基本保持不变,与佟雪娇等^[21]就针对不同反应时间对不同热解温度制备生物炭对 Cu^{2+} 的吸附性能研究中,当混合反应时间为8 h时,反应达到平衡的结果保持一致。玉米秸秆对溶液中 Cu^{2+} 的吸附较慢,到8 h吸附达到平衡,与李瑞月等^[7]利用秸秆生物炭对溶液中的 Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 吸附到8 h达到动态平衡的结果相类似。而石夏颖^[15]将胡麻、油菜、秸秆、油渣4种炭运用于混合溶液体系中对 Cu^{2+} 吸附只到4 h就平衡,而该研究中的秸秆生物炭对单一溶液中的 Cu^{2+} 到8 h吸附达到动态平衡,造成吸附平衡时间不同的原因是由于不同种类的生物炭间的性质不同导致对溶液中重金属离子的吸附平衡时间有所不同。

吸附剂添加量的多少不仅关系着生物炭吸附重金属的多少,而且关系着吸附成本。该研究中随着吸附剂添加量的增加,吸附量随之减少、吸附率逐渐增加,与蒋艳艳^[22]研究的随着3种生物炭投加量的增加, Cu^{2+} 和 Cd^{2+} 的吸附率也逐渐增加。王桂仙等^[23]的研究中,随着竹炭添加量由 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加到 $0.30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,竹炭对 Cu^{2+} 的吸附量随之减小,吸附率随之升高的结果相一致。并不是生物炭添加量越多对溶液中的 Cu^{2+} 的吸附量越多,适当的添加量不仅会提高吸附性能而且可节省成本。

4 结论

秸秆生物炭对溶液中 Cu^{2+} 的吸附量随着溶液初始浓度的增加而增加,当溶液浓度为 $512 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,吸附量达到最大为 $17.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,之后随着浓度的升高而降低,吸附率随着溶液浓度的增加先降低后升高又降低,矿区修复过程中污染物浓度过高($>512 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)时,30 mL中0.5 g的秸秆生物炭已不足以去除溶液中 Cu^{2+} 。

当吸附时间为8 h时,吸附达到平衡,此后的吸附量与吸附率均保持不变,因此在矿区修复过程中添加秸秆生物炭的吸附时间并非越长越好,8 h即为吸附最佳时间。

溶液的初始pH为4.5时秸秆生物炭的吸附量和吸附率均最佳,因此弱酸环境更有利于生物

炭对 Cu^{2+} 的吸附。矿区污染修复的过程调查污染物的pH对除去重金属污染尤为重要。

添加量在0.5~2.0 g,秸秆生物炭的吸附量下降,而吸附率上升。因此矿区修复的过程中为去除固定更多的重金属离子并非添加量越多越好,而是根据当地重金属的含量和分布找出适合于当地重金属污染修复的最佳添加量,从而节省成本。

秸秆生物炭的吸附量与溶液初始浓度、时间呈显著正相关关系($P < 0.05$),与添加量呈现显著负相关关系($P < 0.05$),吸附率与初始浓度呈显著负相关关系,与时间呈显著正相关关系($P < 0.05$),因此在矿区重金属污染修复的过程中调节生物炭的吸附时间和污染环境的pH尤为重要。

参考文献

- [1] 叶锦华,梅燕雄,董颖,等.中国西部铜矿资源勘查开发现状和潜力及接替区选区[J].矿床地质,2014(3):511-520.
- [2] 朝鲁孟其其格,萨如拉,马玉兰,等.锡林郭勒盟草原矿区开发现状及生态治理研究初探[J].内蒙古草业,2011(4):12-15.
- [3] 柴祯.废杂铜冶炼过程中污染物迁移转化规律研究[D].北京:中国矿业大学,2014.
- [4] 串丽敏,赵同科,郑怀国,等.土壤重金属污染修复技术研究进展[J].环境科学与技术,2014(S2):213-222.
- [5] 王丽渊,丁松爽,刘国顺.生物质炭土壤改良效应研究进展[J].中国土壤与肥料,2014(3):1-6.
- [6] 廉菲,宋正国,于志红,等.不同来源生物黑炭特性对比及其在农业环保中的应用[J].环境科学与技术,2013(11):103-107,135.
- [7] 李瑞月,陈德,李恋卿,等.不同作物秸秆生物炭对溶液中 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 的吸附[J].农业环境科学学报,2015(5):1001-1008.
- [8] 安增莉,侯艳伟,蔡超,等.水稻秸秆生物炭对 $\text{Pb}(\text{II})$ 的吸附特性[J].环境化学,2011(11):1851-1857.
- [9] 杨婷婷.荒漠草原生物量动态及碳储量空间分布研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [10] 乌兰娜,钟晓云,石静杰,等.内蒙古苏尼特右旗森林资源特点浅议[J].内蒙古林业调查设计,2016(5):10-13.
- [11] 李力,陆宇超,刘娅,等.玉米秸秆生物炭对 $\text{Cd}(\text{II})$ 的吸附机理研究[J].农业环境科学学报,2012(11):2277-2283.
- [12] 赵仁鑫,郭伟,包玉英,等.内蒙古草原白乃庙铜矿区土壤重金属污染特征研究[J].土壤通报,2012(2):496-500.
- [13] 唐行灿,陈金林,李文庆.生物炭对 Cu^{2+} 的吸附特性及其影响因素[J].安徽农业科学,2014(5):1467-1470.
- [14] 万柳,徐海林.活性炭吸附法处理重金属废水研究进展[J].能源环境保护,2011(5):20-22.
- [15] 石夏颖.油料作物生物炭的制备、表征及其对 $\text{Cr}(\text{VI})$ 和 $\text{Cu}(\text{II})$ 的吸附性能研究[D].兰州:兰州交通大学,2014.

- [16] CHOI J, KOMARNENI S, JONG H. Reactions of Cu^{2+} and Pb^{2+} with Mg/Al layered double hydroxide[J]. Applied Clay Science, 2007, 37(1-2): 143-148.
- [17] 高伟, 何少华, 风迎春. 膨润土在重金属废水处理中的应用[J]. 矿业工程, 2005, 3(3): 52-54.
- [18] MANGUN C L, BENAK K R, ECONOMY J, et al. Surface chemistry pore size and adsorption properties of activated carbon fibers and precursors treated with ammonia[J]. Caon, 2001, 39: 1809-1820.
- [19] LIU Z, ZHANG F. Removal of lead from water using biochars pre-pared from hydrothermal liquefaction of biomass[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 167(1/3): 933-939.
- [20] 王晓佩, 薛英文, 程晓如, 等. 生物炭吸附去除重金属研究综述[J]. 中国农村水利水电, 2013(12): 51-56.
- [21] 佟雪娇, 李九玉, 袁金华, 等. 稻草炭对溶液的 Cu^{2+} 的吸附作用[J]. 环境化学, 2012, 31(1): 64-68.
- [22] 蒋艳艳. 生物炭吸附固定镉、铜效果的研究[D]. 荆州: 长江大学, 2014.
- [23] 王桂仙, 张启伟. 竹炭对水溶液中铜(II)的吸附特性研究[J]. 沈阳化工大学学报, 2010(2): 126-129.

Influencing Factors of Straw Biochar Adsorption Performance in Copper Pollution Treatment

ZHANG Jing¹, CUI Xiangxin¹, YUE Zhengwen², GE Nan², ZHANG Qi³, LI Xiaoqin¹

(1. College of Desert Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019; 2. Institute of Water Resources for Pastoral Area, MWR, Hohhot, Inner Mongolia 010019; 3. Baotou Municipal Forestry Station, Baotou, Inner Mongolia 014000)

Abstract: Combined with field investigation and adsorption test indoor, the straw biochar were used as the repairing material, and the effect of some factors of the straw biochar adsorption such as the initial concentration of Cu^{2+} , the pH of the solution, the adsorption time and the biochar addition were researched. In order to provide some theoretical basis for the restoration of the copper pollution in the grassland copper mine area. The results showed that the best adsorption pH of straw biochar was 4.5; the adsorption equilibrium time was 8 hours; under the same adsorption conditions, when the carbon amount was 0.5 g, the maximum adsorption capacity was $17.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Therefore, when the content of pollutants was less than $512 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in the mining area, the pH was 4.5 of adsorption environment, adding 0.5 g of straw biochar, after 8 hours, that would cost saving and reach an obvious result when used the straw biochar restore and adsorb the Cu^{2+} in wastewater.

Keywords: straw biochar; Cu^{2+} ; adsorption

西红柿空心的症状、原因及防治方法

信息广角

症状:西红柿空心也叫空洞果,主要表现为果实外观不圆整,表面呈棱角状,表皮厚薄不匀。果实内胎座组织发育不充实,果实与胎座组织分离,形成空腔。果实水分少、质量轻、品质差。空洞果多出现于西红柿生长后期,秋季塑料大棚和温室栽培更为常见。

发病原因:①气温过高或过低引起受精不良,种子退化,胎座组织发育不充实;②温度过高且持续时间过长,果实发育过快;③果实膨大期,偏施氮肥、植株徒长、后期水肥管理不及时、使用植物生长调节剂浓度过高、光照不良等,致使果实膨大后养分供应不足。

防治方法:①加强肥水管理,增施有机肥,注意氮、磷、钾肥的配合施用,避免氮肥过多;②适时摘心,过早摘心易使植株养分分配发生变化,茎叶与果实发育不协调,导致果实各部分膨大一致,从而出现空洞果;③使用植物生长调节剂浓度要适宜,且下层花序处理后,上层花序也必须进行处理,使养分在上、下层果穗间合理分配;④保护地栽培要注意调节适宜的温度和光照条件。

(来源:中国农业推广网)