

玉米秸秆生物炭制备、表征及吸附性能研究

孙兆楠¹, 张永波², 赵鹏¹, 潘玉瑾¹, 荀连飞³, 寇巍¹

(1.营口理工学院 化学与环境工程学院, 辽宁 营口 115014; 2.生态环境部环境发展中心, 北京 100029; 3.科兴院(营口)能源科技有限公司, 辽宁 营口 115004)

摘要: 文章以玉米秸秆为原料制备生物炭,采用傅里叶变换红外光谱仪、扫描电子显微镜、比表面积测试仪等方法对其结构进行了表征,并对不同条件下生物炭对苯酚的吸附性能进行了研究。结果表明:随着碳化温度升高,生物炭微观结构完整性逐渐降低,孔径逐渐增大,表面含有大量极性官能团,对吸附溶液中的苯酚有很好的促进作用;在碳化温度为600℃,水蒸气为氛围气,玉米秸秆粒径为40目的条件下,制备的生物炭(CSBC-W600)吸附性能最佳;当CSBC-W600投加量为0.5g,反应温度为35℃,振荡频率为150r/min,吸附时间为4h,苯酚初始含量为100mg/L,反应体积为50mL时,苯酚的去除率可达99.5%。

关键词: 玉米秸秆; 碳化; 生物炭; 苯酚; 吸附性能

中图分类号: TK6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2024)12-1587-07

0 引言

据统计,2021/2022年度,全球玉米产量约为12亿t,其中美国、中国和巴西是较大的玉米生产国,玉米产量分别为3.84亿t、2.61亿t和1.01亿t^[1]。作为一种重要的生物质资源,玉米秸秆可用于发酵^[2,3]、气化^[4]、碳化制备生物炭等。玉米的谷草比一般为0.8~1.5^[5],如以1.0计算,我国玉米秸秆年产量在2.61亿t左右。因此,必须采用有效的方法对玉米秸秆进行资源化,以减轻当前农业固废处置、处理的压力。

生物质碳化是指在高温缺氧的条件下,通过热解或气化等方式将生物质转化为富含碳的固体物质的过程。对废弃的生物质进行碳化可以实现物质的高效、清洁和多元化利用,同时也有利于减少温室气体的排放^[6]。由生物质制成的生物炭具有很强的吸附能力,能够去除水体和气体中的有机污染物、重金属等^[6],因此,可将其用于生物质气化气及其副产品的净化^[7,8]。

苯酚是生物质气化焦油的主要组分之一^[9],是一种典型的芳香族有机物,即使在低浓度下也具有较高的毒性。苯酚可以抑制细胞中DNA的合成和复制^[10],其进入水体后会对水生环境和水生生物产生难以估量的影响。目前,国内外对于

去除气相中苯酚的研究主要集中在催化裂解法和吸附法,其中,催化裂解法需要高温、高压和高效的催化剂,吸附法需要选择性、稳定性和再生性好的吸附剂^[11]。生物炭具有多孔结构、高比表面积、高碳含量、低灰分等特点,有研究将其作为吸附剂用于吸附苯酚^[11]。Sun K^[12]的研究表明,Fe₃O₄修饰的生物炭对苯酚的最大吸附量为97.09mg/g。Yu Y^[13]研究发现,改性后的玉米秸秆生物炭对苯酚的最大吸附量为54.35mg/g,明显高于其他类似材料。

本文以苯酚为目标污染物,利用玉米秸秆制备了生物炭,并研究了制备条件、操作条件对苯酚吸附性能的影响,以期为玉米秸秆资源化寻求切实有效的利用途径,同时为利用生物炭吸附生物质气化焦油中的酚类物质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

主要试剂: 苯酚、氨水、氯化铵、铁氰化钾、4-氨基安替比林、溴化钾等,试剂均为分析纯,溶液的配制使用蒸馏水。

主要仪器: 723PCS型紫外-可见分光光度计、SHZ-82型气浴恒温振荡器、SXL-1200C型马弗炉、WQF-510A型傅里叶变换红外光谱仪(FT-

收稿日期: 2023-07-27。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFE0196700);辽宁省储能与能源利用技术重点实验室项目(CNNK202325);辽宁省自然科学基金联合基金(面上资助计划项目)(2023-MSLH-317, 2023-MSLH-309);营口理工学院科研启动项目(YJRC202101)。

作者简介: 孙兆楠(1986-),女,博士,副教授,主要从事污水处理和固体废弃物资源化利用。E-mail:280728183@qq.com

IR)、Regulus810 型扫描电子显微镜(SEM)、150B 型摇摆式中药材粉碎机、ASAP 2460 3.01 型比表面积测试仪(BET)等。

1.2 生物炭的制备

玉米秸秆取自营口市周边地区。将玉米秸秆于 105 °C 烘干后粉碎,分别过 40 目和 200 目筛子后备用。取适量玉米秸秆粉末置于马弗炉中,设定升温速率为 10 °C/min,停留时间为 2 h,分别在水蒸气和限氧氛围下,以不同碳化温度(250, 300, 400, 500, 600 °C)制备生物炭。水蒸气和限氧氛围下制备的生物炭分别记为 CSBC-WT 和 CSBC-T, T 指碳化温度,例如,水蒸气氛围下,600 °C 制备的生物炭记为 CSBC-W600。将制备好的生物炭冷却至室温后,存放于干燥器内备用。

1.3 定量分析与表征方法

苯酚含量的定量分析采用 4-氨基安替比林法。首先取 7 支 50 mL 比色管并编号,分别量取 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20 mL 的 100 mg/L 苯酚母液,加水定容到 50 mL,配制成苯酚含量分别为 2, 4, 8, 12, 16, 20, 40 mg/L 的溶液。然后按顺序依次加入 0.5 mL 缓冲剂(20 g NH₄Cl 溶于 100 mL 氨水, pH 约为 10, 4 °C 保存)、1.0 mL 4-氨基安替比林、1.0 mL 铁氰化钾,并显色反应 10 min。使用 723PCS 型紫外-可见分光光度计在 510 nm 下测定各管的吸光度,并绘制吸光度-苯酚浓度的标准曲线(曲线方程为 $y=0.1203x+0.05925$, 相关系数 $R^2=0.996$)。

玉米秸秆及不同温度下制备的生物炭分别采用比表面积分析仪、电子扫描显微镜、傅里叶红外光谱仪等对其比表面积及孔隙分布、表面结构、官能团分布等进行表征。

1.4 生物炭对苯酚吸附性能试验

称取 0.5 g 生物炭投加到装有 50 mL 的 100 mg/L 苯酚溶液的三角瓶中,将三角瓶置于恒温振荡器(温度为 25 °C, 振荡频率为 150 r/min)中,恒温震荡 24 h 后,取样,测定溶液的苯酚含量。根据式(1)计算苯酚去除率,并用于评价不同条件下制备的生物炭的吸附性能,以确定最佳制备条件。

$$R=(1-C_1/C_0)\times 100\% \quad (1)$$

式中: R 为苯酚去除率,%; C_0 为苯酚初始含量, mg/L; C_1 为经过吸附后的苯酚含量, mg/L。

采用单因素法,在不同的操作条件(投加量、反应时间、反应温度、pH 值、振荡频率、初始浓度)

下对 CSBC-W600 吸附性能进行研究,确定最佳吸附条件。以 CSBC-W600 的投加量为例,说明其对吸附苯酚性能影响的试验步骤:取 4 个 100 mL 三角瓶,分别量取 50 mL 的 100 mg/L 苯酚溶液(pH 值为 6~7),称量 0.1, 0.3, 0.4, 0.5 g 的 CSBC-W600 分别置于 4 个三角瓶中,并将三角瓶置于恒温振荡器,设置反应温度为 25 °C,振荡频率为 150 r/min,反应时间为 24 h,启动恒温振荡器,分别在 1, 2, 4, 6, 8, 24 h 取样,过滤,参照 1.3 中的方法进行苯酚含量的定量分析,以确定最佳的 CSBC-W600 投加量。

1.5 生物炭平衡吸附量的测定

以吸附温度为 35 °C 为例研究生物炭的平衡吸附量。投加 0.5 g 的 CSBC-W600,吸附处理苯酚初始含量分别为 20, 50, 100, 150, 200, 300, 400 mg/L 的苯酚溶液 50 mL,为保障吸附反应达到平衡,将三角瓶置于恒温振荡器中,振荡频率为 150 r/min,恒温振荡 24 h 后,取样,按照 1.3 中的定量分析方法测定苯酚吸附平衡时的含量,根据式(2)计算生物炭平衡吸附量。

$$q_e=(C_0-C_e)V/M \quad (2)$$

式中: q_e 为生物炭平衡吸附量, mg/g; C_e 为吸附平衡时的苯酚含量, mg/L; V 为苯酚溶液的体积, L; M 为生物炭投加量, g。

2 结果与讨论

2.1 制备条件对生物炭吸附苯酚性能的影响

秸秆粒径和碳化温度等制备条件对生物炭的吸附性能有着直接影响。因此,在生物炭投加量为 0.5 g,吸附温度为 25 °C,振荡频率为 150 r/min,苯酚初始含量为 100 mg/L 的条件下反应 24 h,考察碳化温度、氛围气、秸秆粒径对生物炭吸附苯酚效果的影响,结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出:整体而言,在秸秆粒径相同的条件下,水蒸气氛围下制备的生物炭对苯酚的吸附能力强于限氧氛围下制备的生物炭;在氛围气相同的条件下,生物炭对苯酚的吸附能力随着秸秆粒径的增大而增大,这主要是由于粒径大的玉米秸秆制备的生物炭具有更多微孔结构,有利于吸附苯酚,该结果与严姗姗的研究结果基本一致^[14];生物炭对苯酚的吸附能力均随着碳化温度的升高而升高,主要是因为较高的碳化温度有助于生物炭孔隙的形成,可提供更多的吸附点位。当

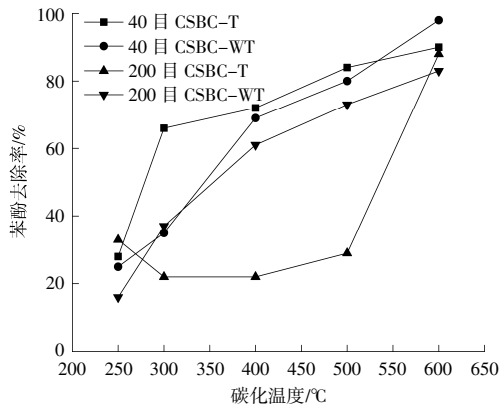


图1 制备条件对生物炭吸附性能的影响

Fig.1 Effect of preparation conditions on adsorption performance of biochar

秸秆粒径为 40 目,碳化温度为 600 °C 时,水蒸气氛围下制备的 CSBC-W600 吸附性能最佳,此时苯酚去除率可达 98%。因此,选取 40 目玉米秸秆制备的 CSBC-W600 作为后续的研究对象。

2.2 生物炭特性分析

2.2.1 扫描电镜分析

碳化温度与生物炭的结构密切相关,不同碳化温度下形成的生物炭的 SEM 图如图 2 所示。

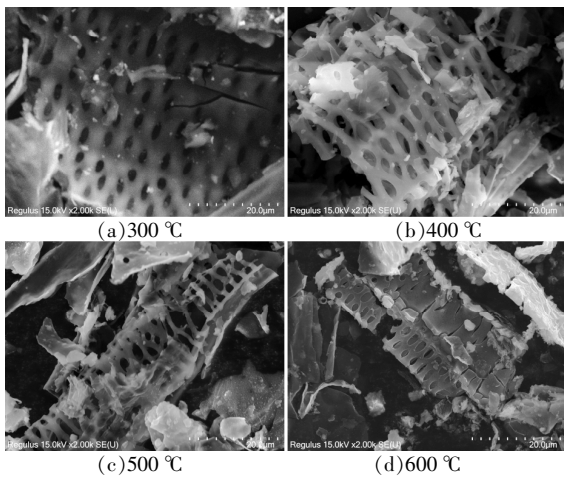


图2 不同温度下制备生物炭的 SEM 图

Fig.2 SEM images of biochar prepared at different temperatures

从图 2 可以看出:CSBC-W300 和 CSBC-W400 的结构相似,孔径较小,孔隙分布均匀且没有明显的微观断裂;相较于 CSBC-W300 和 CSBC-W400,CSBC-W500 和 CSBC-W600 的孔径变大,甚至连接结构发生了断裂。研究表明,当炭化温度高于 600 °C 后,炭结构的完整性就会下降^[15],因此,为了得到较完整的炭结构,炭化温度不宜高

于 600 °C。

图 3 为 CSBC-W600 吸附苯酚前、后的 SEM 图。

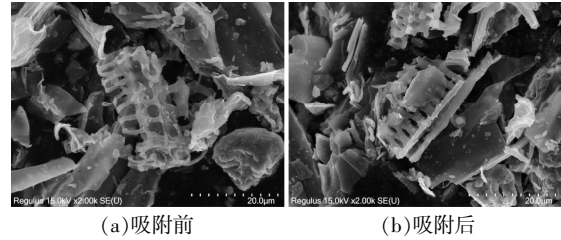


图3 CSBC-W600 吸附苯酚前、后的 SEM 图

Fig.3 SEM images of CSBC-W600 before and after phenol adsorption

从图 3 可以看出,CSBC-W600 吸附苯酚前、后没有发生明显的结构变化,表明 CSBC-W600 的结构稳定性较好,属于良好的吸附材料。由于 CSBC-W600 平均孔径较大而苯酚分子较小,通过电子扫描电镜观察到的表面吸附情况变化不明显。

2.2.2 红外光谱分析

图 4 为 CSBC-W600 吸附苯酚前、后的 FT-IR 图。

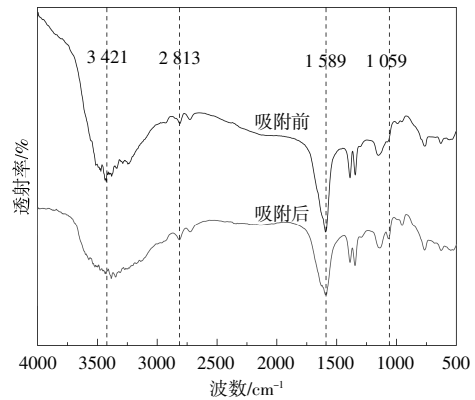


图4 CSBC-W600 吸附苯酚前、后的 FT-IR 图

Fig.4 FT-IR image of CSBC-W600 before and after phenol adsorption

在 CSBC-W600 的 FT-IR 图谱中,3 421 cm^{-1} 处对应-OH 的伸缩振动,1 589 cm^{-1} 处对应 C=C 的伸缩振动以及 C=O 的对称或非对称伸缩振动,2 813 cm^{-1} 处为-CH₂ 的伸缩振动,这表明 CSBC-W600 表面官能团种类丰富,有利于与苯酚发生相互作用从而实现较好的吸附效果^[14]。1 059 cm^{-1} 处对应 C-O 或 C-O-C 的伸缩振动,在 CSBC-W600 吸附苯酚后,1 059 cm^{-1} 处的峰位发生了明显的变化,主要是含氧官能团-C-O 振动引起,可

能和苯环与羟基官能团的结合构成多种类型的化合物并形成羰基苯酚官能团有关^[6]。

2.2.3 比表面积分析

图 5 为 CSBC-W600 的 N₂ 吸附-脱附等温线和孔径分布图。

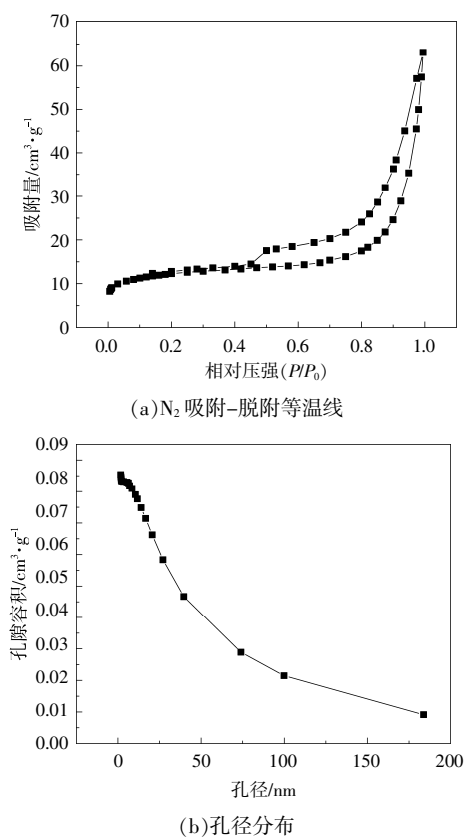


图 5 CSBC-W600 的 N₂ 吸附-脱附等温线和孔径分布
Fig.5 N₂ adsorption-desorption isotherm and pore size distribution of CSBC-W600

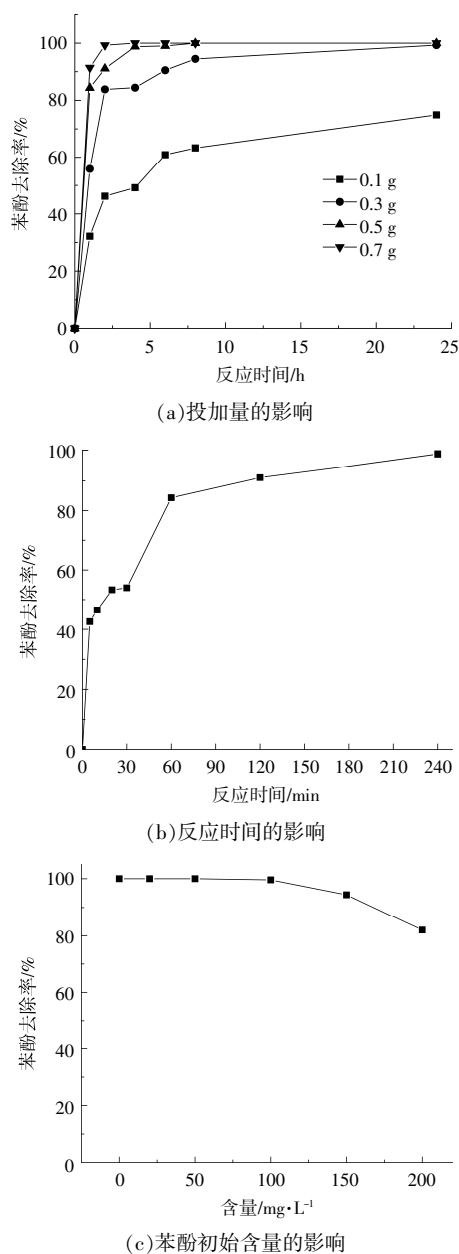
从图 5 (a) 可以看出:CSBC-W600 的 N₂ 吸附-脱附等温线为 IV 形曲线,在低压区存在拐点,在高压区吸附不重合,有明显的回滞环;随着相对压强的增加,吸附量也逐渐增加,出现拐点时,表示单层吸附已达到饱和,当相对压强继续增大时,开始进行多层吸附;当相对压强为 0.8 时,因毛细凝聚而导致吸附量迅速增加,表明 CSBC-W600 的结构中存在介孔和大孔。

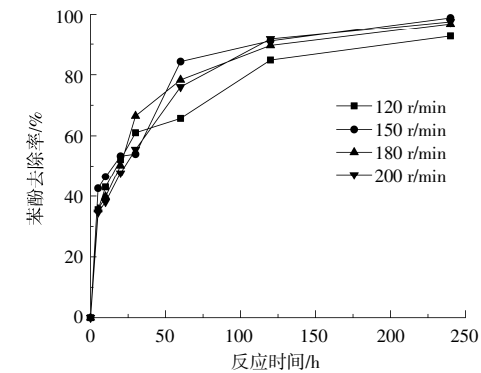
经过比表面积测试仪的测定分析,CSBC-W600 的比表面积为 41.084 m²/g,平均孔径为 9.630 nm,总孔体积为 0.098 cm³/g,微孔体积为 0.009 cm³/g。CSBC-W600 的总孔体积大于微孔体积,这与 CSBC-W600 具有介孔和大孔结构相一致。CSBC-W600 的比表面积较大,可为苯酚分子

提供较多的吸附点位。同时,苯酚分子的直径为 0.69 nm,远小于 CSBC-W600 的平均孔径,这有助于苯酚分子在 CSBC-W600 孔隙内的扩散^[7]。

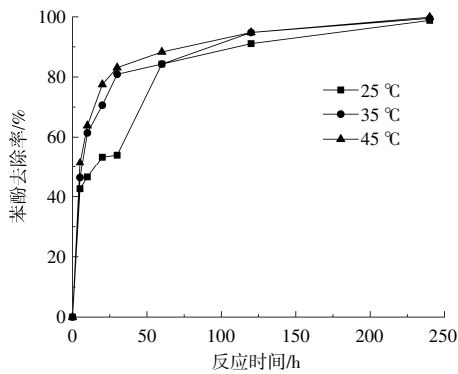
2.3 操作条件对 CSBC-W600 吸附苯酚性能的影响

CSBC-W600 的投加量、反应时间、苯酚初始含量、振荡频率、反应温度、初始 pH 值等操作条件,通过影响苯酚在溶液中和生物炭内部的扩散速率以及 CSBC-W600 表面电位的正负和表面活化能,进而对 CSBC-W600 吸附苯酚的性能产生影响。因此,本文考察了不同操作条件下 CSBC-W600 对苯酚去除效果的影响,结果如图 6 所示。

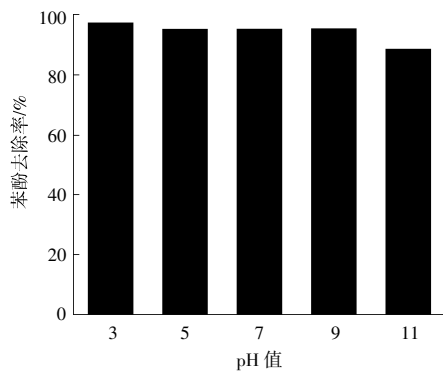




(d)振荡频率的影响



(e)反应温度的影响



(f)pH值的影响

图6 操作条件对CSBC-W600吸附苯酚性能的影响

Fig.6 Effect of operating conditions on adsorption performance of CSBC-W600 for phenol

由图6(a)可知,随着CSBC-W600投加量的增加,苯酚去除率也随之增加,且CSBC-W600投加量越大,达到苯酚吸附平衡的时间越短。这是因为随着CSBC-W600投加量的增加,其提供的吸附位点数量随之增多,达到苯酚吸附平衡所需的时间随之缩短。当CSBC-W600的投加量为0.1 g时,反应24 h后,苯酚去除率可达75.92%;当CSBC-W600的投加量分别为0.3,0.5,0.7 g时,反应24 h后,苯酚的去除率均达到99%以上;当CSBC-W600的投加量为0.5 g时,反应4 h后基本

达到了吸附平衡。综合考虑投加量、平衡时间与去除率之间的关系,确定CSBC-W600的投加量为0.5 g。

由图6(b)可知:0~60 min为快速吸附阶段,该阶段吸附速率较快,主要是因为CSBC-W600表面有大量的吸附位点,在分子热运动和苯酚浓度差的作用下,苯酚被快速吸附;在60~240 min,苯酚去除率逐渐趋于平衡,这是因为低挥发性小分子有机物在低浓度下的吸附主要以孔隙填充为主^[7]。因此,确定适宜的反应时间为240 min。

由图6(c)可知:当苯酚初始含量由20 mg/L增加到100 mg/L时,苯酚去除率基本保持不变,表明苯酚分子数量低于CSBC-W600提供的吸附位点数量,吸附位点处于富余状态,对苯酚有很好的吸附效果;当苯酚初始含量由100 mg/L增加到200 mg/L时,苯酚分子数量高于CSBC-W600提供的吸附位点数量,吸附效果下降,苯酚去除率有所下降。因此,确定适宜的苯酚初始含量为100 mg/L。

由图6(d)可知:当振荡频率由120 r/min增加到150 r/min时,苯酚去除率有所提升,这是因为适当提升振荡频率可加速生物炭吸附苯酚的外扩散过程,有利于苯酚分子快速到达生物炭表面;当振荡频率由150 r/min增加到200 r/min时,苯酚去除率略有波动但影响并不显著,表明过大的振荡频率不仅对提升吸附效果无益反而会增加电能的消耗。因此,确定适宜的振荡频率为150 r/min。

由图6(e)可知:在反应初始阶段,苯酚去除率随着反应温度的升高而升高,主要是因为此阶段的苯酚含量较高,反应温度的升高有助于增强苯酚分子的热运动和加速其传质的过程,增大了生物炭与苯酚分子的碰撞,故苯酚去除率增加;当反应60 min后,反应温度对CSBC-W600吸附苯酚的效果影响不显著,因为此时苯酚含量逐渐降低至吸附殆尽。相对而言,反应温度为35 °C时对苯酚吸附效果提升明显,因此,在后续吸附试验中,确定反应温度为35 °C。

由图6(f)可知,当初始pH值为3~9时,苯酚去除率基本保持不变,当初始pH值为11时,苯酚去除率下降,表明初始pH值对CSBC-W600吸附苯酚的效果略有影响,且酸性条件下的苯酚吸

附效果优于碱性条件。由于苯酚溶液的初始 pH 值为 6~7, 考虑到调试 pH 值过程投加药剂会增加处理成本, 后续试验中对苯酚溶液的初始 pH 值不进行调整^[18]。

综上可知, 在 CSBC-W600 投加量为 0.5 g, 反应温度为 35 ℃, 振荡频率为 150 r/min, 反应时间为 4 h, 苯酚初始含量为 100 mg/L, 苯酚溶液体积为 50 mL 的条件下, CSBC-W600 对苯酚的去除率可达 99.5%。为说明试验的重现性和结果的稳定性, 在上述最优反应条件下重复进行 CSBC-W600 吸附苯酚溶液试验 6 次, 苯酚去除率分别为 99.5%, 99.0%, 98.0%, 99.2%, 97.0%, 99.5%, 说明 CSBC-W600 吸附苯酚效果较为稳定, 具有可操作性。

2.4 循环再生利用

生物炭吸附苯酚后可通过热处理、水洗等方式进行再生循环利用, 本实验通过热解的方式对 CSBC-W600 进行再生处理。鉴于苯酚的分解温度为 320~420 ℃, 将稳定性试验后收集的 CSBC-W600 烘干并在 420 ℃ 下二次热解得到再生生物炭, 在最佳工艺条件下进行第一次循环再生利用的试验, 按照同样的方式进行二次回收利用, 两次回收利用时, 苯酚去除率分别为 99.9% 和 88%。由此可见, CSBC-W600 在经历 1 次回收-烘干-碳化-吸附后, 对苯酚的吸附效果略有提升, 而在经历 2 次回收后, 其对苯酚的吸附效果有所下降, 但苯酚去除率仍可达到 88%。这可能是因为二次热解有助于优化生物炭内部孔径分布, 但经过多次热解后, 炭结构可能发生坍塌。上述试验表明, 通过热解处理的方式对生物炭进行再生利用, 可达到较为理想的吸附效果, 但应控制循环利用次数。

3 结论

本文以玉米秸秆为原料, 通过碳化制备生物炭。在水蒸气为氛围气的条件下, 以 600 ℃ 的碳化温度和 40 目的秸秆粒径制备的 CSBC-W600 对苯酚的吸附效果最佳。CSBC-W600 具有介孔/大孔结构, 可为苯酚分子提供较多的吸附点位, 同时富含多种极性官能团, 有利于与苯酚发生相互作用实现较好的吸附效果。

在 CSBC-W600 投加量为 0.5 g, 反应温度为 35 ℃, 振荡频率为 150 r/min, 反应时间为 4 h 的条件下, 吸附处理 100 mg/L 的苯酚溶液 50 mL, 苯酚

去除率可达到 99.5%。采用热处理的方式可对 CSBC-W600 进行有效的再生利用。以玉米秸秆为原料制备的生物炭对苯酚表现出良好的吸附性能, 为后续耦合生物质气化工工艺提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 2022 年中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [2] 王立闯, 郝娇, 李延吉, 等. 玉米秸秆对鸡粪厌氧发酵过程及酶活性的影响规律研究[J]. 可再生资源, 2021, 39(11): 1441-1446.
- [3] 刘中军, 丁岳峰, 于钦, 等. 不同粒径玉米秸秆与猪粪混合厌氧发酵特性研究[J]. 可再生资源, 2020, 38(10): 1301-1306.
- [4] 薛俊杰, 徐嘉龙, 马中青, 等. 烘焙预处理对玉米秸秆气化产物特性的影响[J]. 煤炭学报, 2023, 48(6): 2340-2350.
- [5] Niu Y Q, Lv Y, Lei Y. Biomass torrefaction: Properties, applications, challenges, and economy[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, 115: 109395.
- [6] Jha S, Sakhiya A K, Aier I, et al. Copper (II) removal from aqua solution using rice straw derived biochar[J]. Materials Today, 2021, 43: 740-745.
- [7] Wang Y, Cui S, Yuan H. Influence of biochar properties on sorption of phenanthrene in aqueous solution[J]. Bioresource Technology, 2018, 247: 1094-1101.
- [8] Li X, Zhang S, Zhang J. Preparation of biochar from corn straw and its application in the removal of phenol from aqueous solution[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021, 9(2): 104918.
- [9] Tang J, Gong Y, Liu Y, et al. Characteristics and mechanism of phenol adsorption on graphene oxide nanosheets[J]. Environmental Pollution, 2019, 254: 112926.
- [10] Villegas L G C, Mashhadi N, Chen M, et al. A short review of techniques for phenol removal from wastewater[J]. Current Pollution Reports, 2016, 2(3): 157-167.
- [11] 费永鑫, 马会强, 李爽. 改性活性污泥生物炭对水中苯酚吸附性能研究[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2022, 42(3): 19-24.
- [12] Sun K, Wang M, Wang L, et al. Enhanced removal of phenol from aqueous solution by Fe₃O₄-decorated biochar derived from corn straw[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 384: 121376.
- [13] Yu Y, Wei X, Zhang Y, et al. Adsorption of phenol from aqueous solution using modified corn straw biochar[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 309:

- 112293.
- [14] 严姗姗,楚生玺,许昊,等.不同粒径生物炭对苯酚及生物油的吸附性能[J].林业工程学报,2023,8(4):95-101.
- [15] 张维莉.玉米秸秆炭材料的制备及其重金属吸附性能研究[D].株洲:湖南工业大学,2018.
- [16] 费永鑫,马会强,李爽.改性活性污泥生物炭对水中苯酚吸附性能研究[J].辽宁石油化工大学学报,2022,42(3):19-24.
- [17] 段佳男,叶志伟,王曦,等.改性稻壳水热炭对苯酚的吸附[J].应用化工,2022,51(1):17-27.
- [18] 梁妮,刘凯,孔颖,等.碳基材料与挥发性有机污染物相互作用行为和机制研究进展[J].环境工程,2023,41(7):260-270.

Preparation, characterization and adsorption performance of corn straw biochar

Sun Zhaonan¹, Zhang Yongbo², Zhao Peng¹, Pan Yujin¹, Xun Lianfei³, Kou Wei¹

(1.College of Chemistry and Environmental Engineering, Yingkou Institute of Technology, Yingkou 115014, China; 2.Environmental Development Center of the Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China; 3.Kexing Institute (Yingkou) Energy Technology Co., Ltd., Yingkou 115004, China)

Abstract: In the article, biochar was prepared from corn stover, and its structure was characterised by Fourier transform infrared spectroscopy, scanning electron microscope and specific surface area tester, and the adsorption performance of biochar on phenol under different conditions was investigated. The results showed that the microstructural integrity of the biochar gradually decreased and the pore size gradually increased with the increase of carbonation temperature, and the surface contained a large number of polar functional groups, which had a good promotion effect on the adsorption of phenol in solution; the best adsorption performance was obtained for the biochar prepared at a carbonation temperature of 600 °C, with water vapour as the ambient gas and corn stover with a particle size of 40 mesh; the best adsorption performance was achieved when the dosage of CSBC-W600 was 0.5 g, the reaction temperature was 35 °C, the oscillation frequency was 150 r/min, the adsorption time was 4 h, the initial concentration of phenol was 100 mg/L, and the reaction volume was 50 mL, 99.5% of phenol was removed.

Keywords: corn straw; carbonization; biochar; phenol; adsorption performance