

引用格式:刘蕊,张辉,罗璇,等. HNO_3 氧化改性生物炭吸附水体中阳离子和阴离子染料的影响因素[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(21): 332—338

Liu Rui, Zhang Hui, Luo Xuan, et al. Influence factors on adsorption of cationic and anionic dye from aqueous solution by HNO_3 -modified biochar [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(21): 332—338

环境科学、安全科学

HNO_3 氧化改性生物炭吸附水体中阳离子和阴离子染料的影响因素

刘蕊 张辉 罗璇 杨鸿雁

(贵州师范学院地理与旅游学院, 贵阳 550018)

摘要 以玉米秸秆和甘蔗屑为原料, 分别在 400 ℃ 和 800 ℃ 制备生物炭并利用 HNO_3 进行氧化改性。通过分析废水实际处理过程中不同吸附条件对吸附效果的影响, 研究了 HNO_3 氧化改性生物炭对阳离子和阴离子染料的吸附影响因素。结果表明: 振荡强度、温度、pH、离子强度、共存离子是影响 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料的主要因素, 且对不同性质染料影响趋势和程度不同。温度高有利于提高 HNO_3 氧化改性生物炭的吸附作用; 未达到吸附饱和前, 提高振荡强度促进吸附作用, 但达到吸附饱和后高振荡强度不利于吸附作用; 高离子强度对 HN4GZ 吸附阳离子染料有促进作用, 中、低离子强度更适合 HN4YM 和 HN8YM 对阳离子和阴离子染料的吸附处理; 弱酸性条件不利于 HN4YM 和 HN4GZ 对阳离子染料的吸附, 中性条件不利于 HN8YM 对阴离子染料的吸附; 废水中常见的阳离子/阴离子的存在对两种染料的吸附均有一定负作用, 但 HNO_3 氧化改性生物炭仍表现出令人满意的吸附效果。

关键词 HNO_3 氧化改性生物炭 阳离子染料 阴离子染料 吸附 影响因素

中图法分类号 X52; **文献标志码** B

印染废水是纺织工业产生的污染最为严重的废水, 具有色度深、有机污染浓度高、成分复杂等特点^[1]。由于染料生产种类多、并朝着抗光解、抗氧化、抗生物氧化的方向发展, 使得传统处理效果不理想^[2]。吸附是处理废水染料最常用的方法之一。生物炭作为一种新型炭质类材料, 不仅具有传统炭质类材料的吸附特点, 而且原材料易获得、制备方法简单、成本低廉, 因此近年来成为吸附材料的热门研究对象。目前, 已开展的生物炭吸附研究包括生物炭的制备和改性、吸附机理、无机污染物、有机物污染物等方面^[3]。

在所有染料中, 阳离子和阴离子染料应用最为广泛。与吸附水体中无机离子相似, 要提高两种染料的吸附效果, 吸附剂不仅应该具有多的表面相互作用官能团, 还应该具有大的比表面积和合适的孔容积^[4,5]。生物炭表面官能团数量有限, 直接利用

生物炭吸附水体中的阳离子和阴离子染料效果可能不够理想^[4]。生物炭表面官能团和孔结构可以通过控制生物炭制备温度、生物炭基质或者强酸/碱浸渍来调控^[6—10]。在生物炭诸多改性方法中, 酸碱改性方法由于操作简单且效果较好而被广泛应用, 常用的改性剂包括: H_2SO_4 、 H_3PO_4 、 HNO_3 、 NaOH 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 等^[8,11,12]。不同的改性剂对生物炭孔结构和表面化学特性的改变差异较大^[7,9,13,14], 这对生物炭吸附目标物可能会产生不同程度的影响。在前期分析 HNO_3 和 H_2O_2 氧化改性生物炭对水体中阳离子和阴离子染料的吸附效果, 发现 HNO_3 氧化改性生物炭对高浓度阳离子染料和中、低浓度的阴离子染料表现出良好的吸附效果。然而, 要将有潜力的吸附剂应用于废水的实际处理中, 吸附剂的吸附效果除了与吸附剂和吸附质的性质有关外, 吸附过程中的各吸附条件也不容忽视。目前, HNO_3 氧化改性生物炭对水体中阳离子和阴离子染料的吸附效果影响因素研究还鲜有报道。因此, 现选择 HNO_3 对玉米秸秆和甘蔗屑两种常见作物制备的生物炭进行改性, 然后对亚甲基蓝 MB 和活性艳蓝 KN-R 两种典型阳离子和阴离子染料进行吸附实验, 通过模拟

2018年3月3日收到

贵州省教育厅自然科学研究项目

(黔教合 KY 字[2015]432号)资助

第一作者简介:刘蕊(1984—),女,博士,副教授。研究方向:污染控制原理与生态修复及环境健康风险。E-mail: martinaluu@sina.com。

废水处理过程中可能出现的吸附条件的改变,如振荡强度、离子强度、废水温度、pH、共存阳离子/阴离子,对 HNO₃ 氧化改性生物炭吸附水体中阳离子和阴离子染料的影响因素进行研究。该结果不仅为 HNO₃ 氧化改性生物炭用于处理水体中阳离子和阴离子染料确定最佳吸附效果提高理论依据,同时对提高该生物炭对阳离子和阴离子染料的吸附效果及后续吸附机制的研究具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 实验材料与仪器

试剂:亚甲基蓝(MB)(天津市致远化学试剂有限公司)、活性艳蓝(KN-R)(上海慈太龙实业有限公司)、HNO₃(65%)(西陇化工有限公司)、NaCl(上海化学试剂总厂)、NaOH(上海化学试剂总厂)、NH₄Cl(天津市永大化学试剂有限公司)、MgCl₂(国药集团化学试剂有限公司)、NaNO₃(天津市永大化学试剂有限公司)、NaHCO₃(成都市科龙化工试剂厂)、HA(酷尔生物),以上均为化学分析纯(AR),N₂为普通纯。

仪器与材料:MXG1200—40S 管式炉(上海微型炉业有限公司)、UV—722 分光光度计(上海菁华科技仪器有限公司)、雷磁 PHS—3C pH 计(上海精密科学仪器有限公司)、雷磁 ZDJ—4B 电位滴定仪(上海精密科学仪器有限公司)SHA—C 水浴恒温振荡器(江苏金坛市中大仪器厂)、AL104 电子天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司)、CS101—1 电热鼓风干燥箱(重庆市试验设备厂)、0.45 μm 滤膜(上海市新亚净化器件厂)。

1.2 氧化改性生物炭的制备

玉米秸秆来自贵阳市乌当区一农田,甘蔗屑来自天津一农贸市场。二者自然风干,前者粉碎后过 2 mm 筛,后者直接过 2 mm 筛,其中小于 2 mm 的玉米秸秆和甘蔗屑用于生物炭制备。

根据氧化改性生物炭对阳离子染料和阴离子染料的吸附效果研究结果,实验选择 HNO₃ 氧化改性的 400 ℃ 制备的玉米秸秆生物炭和甘蔗生物炭(HN4YM 和 HN4GZ)用于阳离子染料(MB)的吸附影响因素研究;选择 HNO₃ 氧化改性的 800 ℃ 制备的玉米秸秆生物炭(HN8YM)用于阴离子染料(KN-R)的吸附影响因素研究。3 种生物的具体制备方法见文献[15]。

1.3 吸附效果影响因素

根据氧化改性生物炭对阳离子和阴离子染料吸附效果的研究结果,选择 700 mg/L MB(pH 自然值为 4.75)和 60 mg/L KN-R(pH 自然值为 5.70)进行

影响因素试验(除 pH 实验外,其他影响因素实验均保持溶液初始 pH 为各染料相同浓度下的自然 pH 值)。HN4YM、HN4GZ、HN8YM 均以 1:500 比例^[15—17]分别与两种染料进行混合,然后在不同振荡强度、温度、pH、离子强度和共存离子条件下进行吸附实验。实验结束后,立即将上清液过 0.45 μm 滤膜,然后利用 UV-722 分光光度计分别在 662 nm 和 592 nm 处测定两种染料的浓度。所有实验均设置 3 个重复。

1.3.1 振荡强度的影响

调节振荡强度分别为 0 r/min(静置)、60 r/min、120 r/min、180 r/min,保持室温(25 ℃ ± 0.5 ℃),振荡 48 h 达到吸附平衡后测定溶液中剩余染料浓度。

1.3.2 温度的影响

调节恒温水浴振荡器的温度分别为 25 ℃ ± 0.5 ℃、45 ℃ ± 0.5 ℃、65 ℃ ± 0.5 ℃,振荡强度保持 120 r/min,振荡 48 h 达到吸附平衡后测定溶液中剩余染料浓度。

1.3.3 pH 的影响

除 700 mg/L MB 和 60 mg/L KN-R 的自然 pH 外,用稀 NaOH 溶液和稀 HNO₃ 溶液分别将它们的初始 pH 调节到 2、4、7、9、11,保持室温(25 ℃ ± 0.5 ℃),振荡强度 120 r/min,振荡 48 h 达到吸附平衡后测定溶液中剩余染料浓度。

1.3.4 离子强度

用 1 mol/L NaCl 分别调节染料溶液的离子强度到 0 mol/L(未加 NaCl)、0.001 mol/L、0.01 mol/L、0.1 mol/L,保持室温(25 ℃ ± 0.5 ℃),振荡强度 120 r/min,振荡 48 h 达到吸附平衡后测定溶液中剩余染料浓度。

1.3.5 共存离子的影响

为了分析竞争阳离子/阴离子在吸附中对阳离子染料和阴离子染料的吸附影响,选择水体中普遍共存的 Na⁺、Mg²⁺、NH₄⁺、有机质(胡敏酸 HA)及它们的混合物分别用于 700 mg/L MB 溶液的吸附试验;选择水体中普遍共存的 Cl⁻、NO₃⁻、HCO₃⁻、有机质(胡敏酸 HA)及它们的混合物分别用于 60 mg/L KN-R 溶液的吸附试验。考虑到共存离子通常存在于废水中,因此本实验各离子浓度以典型废水中离子浓度为依据^[18],其中 Na⁺、Mg²⁺、NH₄⁺、有机质(胡敏酸 HA)浓度分别为 400 mg/L(NaCl)、400 mg/L(MgCl₂)、200 mg/L(NH₄Cl)、2 mg/L(HA)、Cl⁻、NO₃⁻、HCO₃⁻、有机质(胡敏酸 HA)浓度分别为 50 mg/L(NaCl)、15 mg/L(NaNO₃)、80 mg/L(NaHCO₃)、2 mg/L(HA)。保持室温(25 ℃ ± 0.5 ℃),振荡强度 120 r/min,振荡 48 h 达到吸附平

衡后测定溶液中剩余染料浓度。

1.4 阳离子染料和阴离子染料的吸附量

根据式(1)分别计算 HN4YM、HN4GZ 及 HN8YM 在 1.3 节各因素作用下对阳离子和阴离子染料的吸附量。

$$Q = \frac{(C_0 - C_e)V}{1000M} \quad (1)$$

式(1)中, Q 为吸附达到平衡时的吸附量, mg/g; C_0 为染料溶液初始时的浓度, mg/L; C_e 为吸附达到平衡时染料溶液的浓度, mg/L; V 为染料溶液的体积, mL; M 为吸附剂的质量, g。

1.5 HNO_3 氧化改性生物炭的零电荷点 pH_{pzc}

pH_{pzc} 是表征生物炭表面酸碱性的参数, 是指水溶液中固体表面净电荷为零时的 pH。采用酸碱电位滴定法进行测定^[19]。

2 结果与讨论

2.1 振荡强度对 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料的影响

不同振荡强度条件下 HNO_3 氧化改性生物炭对阳离子和阴离子染料的吸附量变化如图 1 所示。从图 1 可以发现, 无论 HN4YM 和 HN4GZ 吸附 MB 还是 HN8YM 吸附 KN-R, 当振荡强度由 0 r/min 增加到 120 r/min 时, 它们对各自染料的吸附量也相应增加, 并且 HN4YM 和 HN4GZ 对 MB 表现出相似的吸附能力。该结果可以由生物炭表面吸附机理解释。由于生物炭液相吸附发生在吸附剂表面, 而生物炭的吸附一般分为 3 个联系阶段, 即膜扩散、空隙内扩散、吸附剂内的表面吸附, 其中膜扩散为快吸附阶段, 对吸附影响最大。该阶段的吸附速度与生物炭周围液体搅动程度关系密切, 增加液体和生物炭之间的相对速度, 可使生物炭表面固定液膜的厚度变薄, 加速了扩散速度。因此, 当振荡强度增加时, 加快了生物炭对染料的吸附, 从而增加了吸附量。然而, 当振荡强度继续增加时, 只有 HN8YM 对 KN-R 的吸附量继续增加, HN4GZ 和 HN4YM 对 MB 的吸附量则呈减少趋势。该结果可能与 HN4YM、HN4GZ、HN8YM 对不同染料的最大吸附量不同有关。

根据吸附等温实验结果表明, HN4YM 和 HN4GZ 对 MB 的最大吸附量为 230.00 mg/g, HN8YM 对 KN-R 的最大吸附量为 21.00 mg/g。由于 120 r/min 时, HN4YM 和 HN4GZ 对 MB 的吸附量达到饱和 (HN4YM 吸附量为 233.40 mg/g, HN4GZ 吸附量为 231.72 mg/g), 所以提高振荡强度不仅不会继续增加吸附量, 反而由于过快的振荡强度, 造成

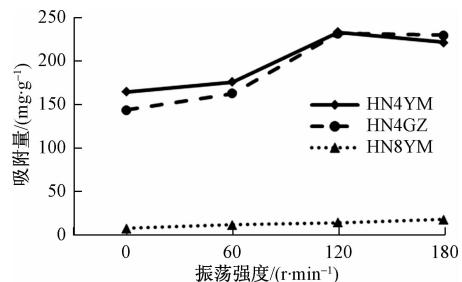


图 1 振荡强度对 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子/阴离子染料的影响

Fig. 1 Effect on oscillation intensity on adsorption of cationic and anionic dye by HNO_3 -modified biochar

染料与吸附剂表面剧烈碰撞导致解吸大于吸附现象的出现。

2.2 温度对 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料的影响

吸附是放热过程, 从理论上讲升温将不利于吸附量的增加。但是本研究发现, 当染料温度从室温 (25 °C) 增加到 65 °C 时, HN4YM 和 HN4GZ 对 MB 的吸附量、HN8YM 对 KN-R 的吸附量均有显著提高 (图 2)。这与于富玲^[20]和水远敏^[21]利用活性炭对染料吸附性能的研究结果一致。根据液相吸附中的“溶剂置换”理论, 升温加快了染料的迁移速度, 同时也加速了吸附剂表面吸附水分子的解吸^[22]; 另一方面, 随着温度的升高, 吸附溶液的黏度下降, 吸附速率增大, 吸附量随温度的增加而增加。另外, 化学吸附需要一定活化能, 当吸附剂表面的活性位点未被完全占据之前, 温度升高将增加活化分子数目, 进而有利于提高吸附量。因为 HNO_3 氧化改性生物炭对 MB 和 KN-R 的吸附是多因素共同完成的, 这些因素的综合作用使得它们对两种染料的吸附量随温度升高而增加。

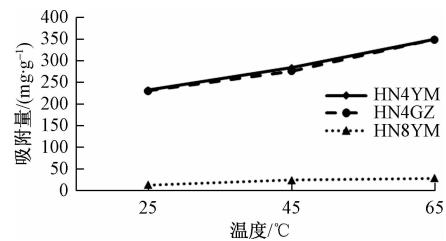


图 2 温度对 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子/阴离子染料的影响

Fig. 2 Effect on temperature on adsorption of cationic and anionic dye by HNO_3 -modified biochar

2.3 pH 对 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料的影响

HN4YM 和 HN4GZ 对阳离子染料 MB 的吸附量与 pH 的关系如图 3(a) 所示。两种氧化改性生物炭

对 MB 的吸附量随 pH 的增加呈先减少后增加的趋势。在不同 pH 条件下,不仅氧化改性生物炭表面所带电荷、电量不同,而且其孔结构也会发生变化。通常 pH 低于 ZCP,氧化改性生物炭表面带正电性; pH 高于 ZCP 则表面带负电性^[23]。根据表 1 可知,在低 pH 下随 pH 增加有利于降低 HN4YM 和 HN4GZ 对 MB 的静电斥力,理论上可以促进 MB 的吸附量。然而,研究结果表明 pH = 2 时的吸附量明显高于 pH = 4 或 pH = 4.75 时的吸附量,其原因可以归结为 pH 越低越有利于氧化改性生物炭孔结构变得疏松和膨胀,增大了孔隙率,传质能力增加^[24],使得 pH 越低该因素导致的吸附促进作用越明显。当 pH 由弱酸性向碱性增加时,HN4YM 和 HN4GZ 的表面负电性逐渐增强,同时与 MB 竞争表面活性电位的 H⁺逐渐减少,这两方面的共同作用可解释 pH > 5 时,MB 的吸附量随 pH 增加逐渐增加的原因。

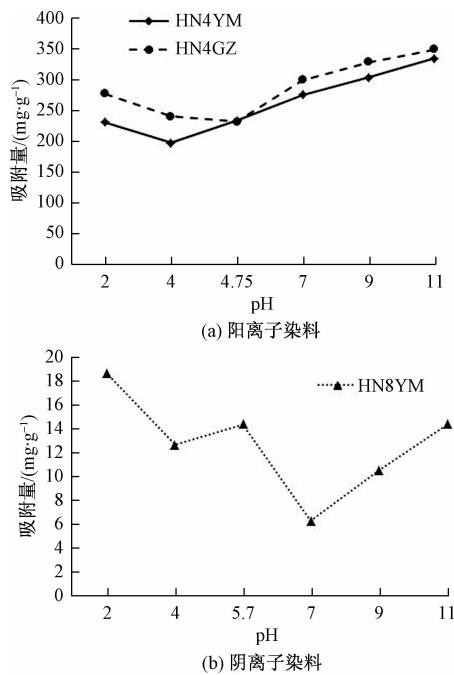


图 3 pH 对 HNO₃ 氧化改性生物炭吸附阳离子染料

Fig. 3 Effect on pH on adsorption of cationic and anionic dye by HNO₃-modified biochar

图 3(b)表明了不同 pH 条件下 HN8YM 对阴离子染料 KN-R 的吸附变化。pH = 7 是 KN-R 吸附量发生变化的转折点。当溶液由酸性向中性变化时,KN-R 的吸附量随 pH 的增加而减少。其原因可能是因为在 pH < 7 时,HN8YM 表面带正电性,正电荷量随 pH 增加逐渐减少(表 1),因此对阴离子染料吸附作用逐渐减弱。当溶液 pH > 7 时,虽然 HN8YM 表面开始呈负电性且负电荷逐渐增多,由于与阴离子染料之间的静电斥力将不利于 KN-R 的

吸附。但是本研究结果显示继续提高溶液 pH,KN-R 吸附量随 pH 增加而增加,其原因可以解释为溶液碱性增强同样会促进氧化改性生物炭孔结构疏松膨胀,有利于提高 KN-R 的吸附作用,并且这一作用机制随碱性的增强主导作用越显著。

综合以上结果,由于不同 pH 对 HNO₃ 氧化改性生物炭性质影响不同,以及染料性质的差别,最终导致 HNO₃ 氧化改性生物炭对染料的吸附作用因 pH 不同有一定差异,其中弱酸性条件不利于 HN4YM 和 HN4GZ 对阳离子染料的吸附,中性条件不利于 HN8YM 对阴离子染料的吸附。

表 1 HN4YM、HN4GZ、HN8YM 的零电荷点

Table 1 pH_{pzc} of HN4YM, HN4GZ, HN8YM

生物炭	HN4YM	HN4GZ	HN8YM
pH _{pzc}	3.93	4.70	6.89

2.4 离子强度对 HNO₃ 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料的影响

图 4 表明了以 NaCl 为电解质、在不同浓度下对 MB 和 KN-R 的吸附影响。通常离子强度对吸附作用的影响是表面化学反应、表面电反应、憎水效应等因素共同作用的结果。对于阳离子染料 MB 而言,当离子强度从 0 ~ 0.01 mol/L 时,HN4YM 和 HN4GZ 吸附量表现出先减少后增加的变化趋势。在低浓度离子强度条件下,表面电反应起主要作用。

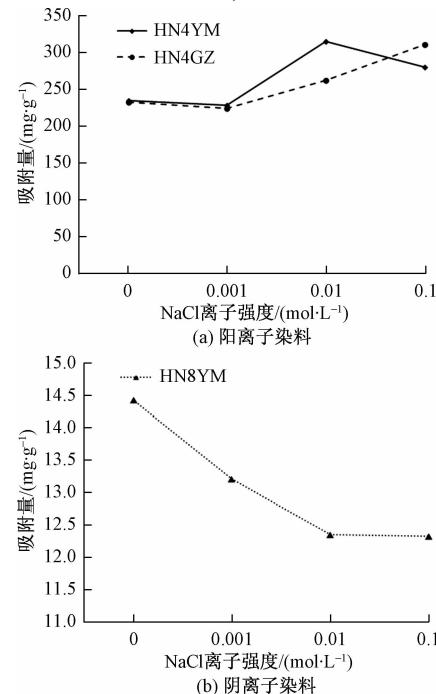


图 4 离子强度对 HNO₃ 氧化改性生物炭吸附阳离子/阴离子染料的影响

Fig. 4 Effect of ionic strength of adsorption on cationic and anionic dye by HNO₃-modified biochar

在 pH = 4.75 的 MB 溶液中, HN4YM 和 HN4GZ 表面带负电性,有利于对阳离子染料的吸附。但随着溶液中 Na^+ 的不断增加, HN4YM 和 HN4GZ 的电负性将被中和,继而减弱了它们对 MB 的吸附。当溶液中离子浓度超过 0.001 mol/L 时,憎水效应和染料的二聚作用发挥主要作用^[5],有利于染料分子的吸收。最终导致阳离子染料吸附量在较高离子强度时显著增加。当离子强度增加到 0.1 mol/L 时, HN4GZ 对 MB 的吸附量继续增加,而 HN4YM 对 MB 的吸附量则显著降低。这可能是由于与 HN4GZ 相比, HN4YM 在 0.01 ~ 0.1 mol/L NaCl 的离子强度条件下,盐的屏蔽起到主要作用,即盐的存在会屏蔽吸附剂与染料之间的静电作用,进而降低了吸附剂对染料的吸附效果。与阳离子染料 MB 不同,在一定离子强度范围内(0 ~ 0.01 mol/L), HN8YM 对阴离子染料 KN-R 的吸附效果随离子强度增加而降低。这主要与盐屏蔽作用在该离子强度范围起主要作用有关。当溶液离子强度足够高时,离子对 KN-R 吸附的促进作用(憎水效应和二聚作用)与削弱作用达到平衡,吸附效果最低但趋于稳定。以上结果表明,离子强度影响阳离子和阴离子染料吸附的机制有差异。低离子强度有利于 HN8YM 对阴离子染料的吸附,而为了减少盐在染料吸附中带来的屏蔽作用,HN4YM 不适宜在高离子强度条件下吸附阳离子染料。

2.5 共存阳离子/阴离子对 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料的影响

废水中除了含有待吸附处理的物质外,也会存在种类及含量各异的其他影响吸附效果的物质。对于本研究的阳离子染料和阴离子染料废水而言,不同阳离子、阴离子及有机物的存在可能会对 HNO_3 氧化改性生物炭的吸附效果带来影响。不同阳离子存在对 MB 吸附的影响如图 5(a)所示。结果表明,除 Mg^{2+} 和混合成分存在未对 MB 的吸附效果表现出显著的制约作用外,其他阳离子和 HA 存在均在一定程度上抑制了 MB 的吸附作用。相似的抑制作用也发生在阴离子存在条件下[图 5(b)],阳离子/阴离子的存在引起了它们与 MB/KN-R 对 HNO_3 氧化改性生物炭表面活化位的竞争的结果。这也进一步证明 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料时离子交换机制发挥了一定作用。此外, HCO_3^- 的存在对 KN-R 染料的吸附抑制作用最强,其原因可能同 HCO_3^- 的加入使得溶液 pH 趋于中性有关。共存阳离子/阴离子的存在虽然对吸附阳离子和阴离子染料有负作用,但 HNO_3 氧化改性生物炭对含有共存离子的阳离子和阴离子染料废水仍保持良好的吸附效果。

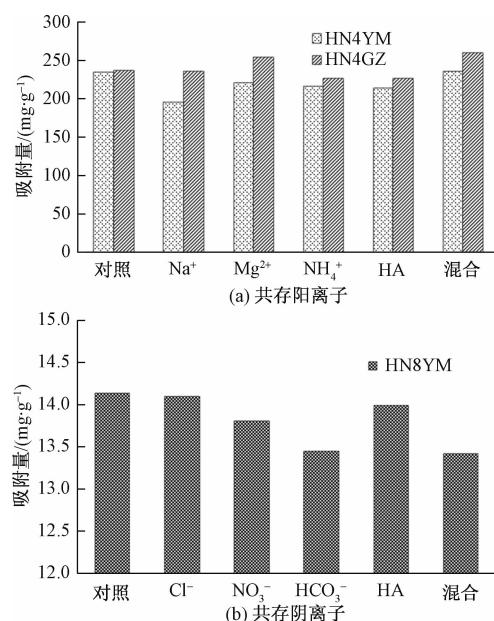


图 5 共存阳离子和共存阴离子对 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子/阴离子染料的影响

Fig. 5 Effect of coexisting cations/anions on adsorption of cationic and anionic dye by HNO_3 -modified biochar

3 结论

振荡强度、温度、离子强度、pH、共存离子是影响 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料的主要因素,且对不同性质染料影响趋势和程度不同。

(1) 在未达到饱和吸附量之前,提高振荡强度有助于提高 HNO_3 氧化改性生物炭对两种染料的吸附作用;达到饱和吸附量后,继续提高振荡强度将对吸附作用起到抑制作用。

(2) 在所有影响因素中,温度对 HNO_3 氧化改性生物炭吸附阳离子和阴离子染料影响最简单。无论阳离子还是阴离子染料,高温有利于提高它们的吸附效果。

(3) 高离子强度对 HN4GZ 吸附阳离子染料有促进作用。但对于 HN4YM 和 HN8YM 而言,高离子强度将增加盐在染料吸附中的屏蔽作用,因此中、低离子强度更适合 HN4YM 和 HN8YM 对阳离子和阴离子染料的吸附处理。

(4) pH 影响了 HNO_3 氧化改性生物炭的性质,导致它们对阳离子和阴离子染料在不同 pH 下吸附效果表现出显著差异。弱酸性条件不利于 HN4YM 和 HN4GZ 对阳离子染料的吸附,中性条件不利于 HN8YM 对阴离子染料的吸附。

(5) 利用 HNO_3 氧化改性生物炭实际处理阳离子和阴离子染料废水时,虽然废水中常见的阳离子/

阴离子的共存对两种染料的吸附处理均有一定负作用,但仍表现令人满意的吸附效果。

参 考 文 献

- 1 于清跃. 印染废水处理研究进展. 工业安全与环保, 2011;37(8): 41—43
Yu Qingyue. Advances in the treatment of printing and dyeing wastewater. Industrial Safety and Environmental Protection, 2011; 37 (8): 41—43
- 2 王金成. 微波辐射处理染料活性艳蓝 KN-R 的研究. 大连:大连理工大学, 2001
Wang Jincheng. Research of treating reactive brilliant blue KN-R by microwave radiation. Dalian:Dalian University of Technology, 2001
- 3 Mohan D, Sarswat A, Yong S O, et al. Organic and inorganic contaminants removal from water biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent——A critical review. Bioresource Technology, 2014; 16: 191—202
- 4 Xue Y W, Gao B, Yao Y, et al. Hydrogen peroxide modification enhances the ability of biochar (hydorchar) produced from hydrothermal carbonization of peanut hull to remove aqueous heavy metals: Bath and column tests. Chemical Engineering Journal, 2012; 200—202: 673—680
- 5 Qiu Y P, Zhen G Z Z, Zhou Z L, et al. Effectiveness and mechanisms of dye adsorption on a straw-based biochar. Bioresource Technology, 2009; 100: 5348—5351
- 6 马楠, 田耀金, 杨广平, 等. 改性活性碳纤维电芬顿降解苯酚废水性能研究. 环境科学, 2014;35(7): 2627—2632
Ma Nan, Tian Yaojin, Yang Guangping, et al. Modification of activated carbon fiber for electro-fenton degradation of phenol. Environmental Science, 2014;35(7): 2627—2632
- 7 Shim J W, Park S J, Ryu S K. Effect of modification with HNO₃ and NaOH on metal adsorption by pitch-based activated carbon fibers. Carbon, 2001;39(11): 1635—1642
- 8 Li L, Liu S Q, Liu J X. Surface modification of coconut shell based activated carbon for the improvement of hydrophobic VOC removal. Journal of Hazardous Materials, 2011;192(2): 683—690
- 9 Wen H C, Yang K, Ou K L, et al. Effects of ammonia plasma treatment on the surface characteristics of carbon fibers. Surface and Coatings Technology, 2006;200(10): 3166—3169
- 10 Martinez F, Pariente I, Brebou C, et al. Chemical surface modified-activated carbon cloth for catalytic wet peroxide oxidation of phenol. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2014; 89(8): 1182—1188
- 11 张梦竹, 李琳, 刘俊新, 等. 碱改性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究. 环境科学, 2013; 34(1): 39—44
Zhang Mengzhu, Li Lin, Liu Xinjun, et al. Surface characteristics of alkali modified activated carbon and the adsorption capacity of methane. Environmental Science, 2013;34(1): 39—44
- 12 Shaarani F W, Hameed B H. Ammonia-modified activated carbon for the adsorption of 2, 4-dichlorophenol. Chemical Engineering Journal, 2011;169(1—3): 180—185
- 13 刘寒冰, 杨兵, 薛南冬. 酸碱改性活性炭及其对甲苯吸附的影响. 环境科学, 2016;37(9): 3670—3678
Liu Hanbing, Yang Bing, Xue Nandong. Effects of acidic and basic modification on activated carbon for adsorption of toluene. Environmental Science, 2016;37(9): 3670—3678
- 14 曹晓强, 张浩, 黄学敏. 微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究. 环境科学, 2013;34(7): 2546—2551
Cao Xiaoqiang, Zhang Hao, Huang Xuemin. Combination process of microwave desorption-catalytic combustion for toluene treatment. Environmental Science, 2013;34(7): 2546—2551
- 15 Yao Y, Gao B, Inyang M, et al. Removal of phosphate from aqueous solution by biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings. Journal of Hazardous Materials, 2011;190: 501—507
- 16 Zhang M, Gao B, Yao Y, et al. Synthesis, characterization, and environmental implications of graphene-coated biochar. Science of the Total Environment, 2012;435: 567—572
- 17 Inyang M D, Gao B, Ding W C, et al. Enhanced lead sorption by biochar derived from anaerobically digested sugarcane bagasse. Separation Science and Technology, 2011;46: 1950—1956
- 18 Yao Y, Gao B, Chen J J, et al. Engineered biochar reclaiming phosphate from aqueous solutions: Mechanisms and potential application as a slow-release fertilizer. Environmental Science and Technology, 2013;47: 8700—8708
- 19 孟冠华, 李爱民, 张全兴. 活性炭的表面含氧官能团及其对吸附影响的研究进展. 离子交换与吸附, 2007;23(1): 88—94
Meng Guanhua, Li Aimin, Zhang Quanxing. Studies on the oxygen-containing groups of activated carbon and their effects on the adsorption character. Ion Exchange and Adsorption, 2007; 23 (1): 88—94
- 20 于富玲. 颗粒活性炭吸附染料的影响因素和分形特征的研究. 北京:北京林业大学, 2005
Yu Fuling. Study on influence factors and fractal characteristics of dye compounds absorbed onto granular activated charcoal. Beijing: Beijing Forestry University, 2005
- 21 水远敏. 活性炭、木炭、改性污泥对偶氮染料吸附性能研究. 北京:北京交通大学, 2009
Shui Yuanmin. Azo-dye adsorption of active carbon, charcoal, modified sludge. Beijing:Beijing Jiaotong University, 2009
- 22 Gokmen V, Serpen A. Equilibrium and kinetic studies on the adsorption of dark colored compounds from apple juice using adsorbent resin. Journal of Food Engineering, 2002;53(3): 221—227
- 23 Yang R T, 马丽萍, 宁平, 等. 吸附剂原理与应用. 北京:高等教育出版社, 2010
Yang R T, Ma Liping, Ning Ping, et al. Adsorbents fundamentals and applications. Beijing:Higher Education Press, 2010
- 24 雷晓玲, 黄芳, 陈垚, 等. 活性炭对典型染料的吸附性能研究. 工业水处理, 2013;33(5): 57—60
Lei Xiaoling, Huang Fang, Chen Yao, et al. Research on the adsorption effect of activated carbon on typical dyes. Industrial Water Treatment, 2013;33(5): 57—60

Influence Factors on Adsorption of Cationic and Anionic Dye from Aqueous Solution by HNO₃-Modified Biochar

LIU Rui, ZHANG Hui, LUO Xuan, YANG Hong-yan

(School of Geography and Tourism, Guizhou Education University, Guiyang 550018, China)

[Abstract] Biochar from cornstalk and sugarcane bagasse was produced in 400 °C and 800 °C and then was modified by HNO₃. Analyzing the effects of different adsorption conditions on adsorption, the influence factors on cationic and anionic dye adsorbed by HNO₃-modified biochar were researched. Results indicated that oscillation intensity, temperature, pH, ionic strength and coexisting cations/anions were the key factors that can impact adsorption, and their effects on adsorption varied by the characteristics of dye. The positive effect of HNO₃-modified biochar could be found with increasing temperature. The same tendency was also happened with increasing oscillation intensity before HNO₃-modified biochar saturated dye. However, when HNO₃-modified biochar saturated dye, high oscillation intensity had adverse effect on adsorption. For ionic strength, there was an increase in the ability of adsorption of HN4GZ on cationic dye in high ionic strength, but the adsorption of HN4YM and HN8YM on cationic and anionic dye would be better in mid and low ionic strength than that in high ionic strength. The negative effect of HN4YM, HN4GZ on cationic dye and HN8YM on anionic dye was showed in mild acidic and neutral condition, respectively. In addition, although the coexisting cations/anions had negative effects, the experimental results appeared that biochar prepared in this work was still very effective in reclaiming cationic and anionic dye from wastewater.

[Key words] HNO₃-modified biochar cationic dye anionic dye adsorption influence factors