论文

麦草制吸附剂对水体中不同阴离子的吸附性能

许醒, 高悦, 高宝玉*, 岳钦艳, 钟倩倩

水环境污染控制与资源化山东省重点实验室; 山东大学环境科学与工程学院, 济南 250100

*通讯作者, E-mail: bygao@sdu.edu.cn

收稿日期: 2009-09-28; 接受日期: 2009-11-02

摘要 采用环氧氯丙烷、乙二胺和三乙胺对麦草秸秆进行化学改性, 研究改性麦草秸秆的性能指标并重点考察其对水体中的 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附性能及效果. 研究表明, 改性麦草秸秆引入了带正电荷的胺基基团, 可以显著提高对阴离子的吸附性能; 改性麦草投加量、pH 值、吸附时间和温度对吸附性能影响较大, 吸附过程符合伪二级动力学方程和 Langmuir 等温吸附模式; 改性麦草秸秆对 NO_3^- 、 $\text{PO}_4^{3-}(\text{P})$ 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{Cr})$ 的最大吸附量分别为 53.5、62.4 和 $386.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$.

关键词
麦草秸秆
阴离子
吸附
最大吸附量

1 引言

中国有丰富的农作物秸秆资源, 年产量高达 $6 \times 10^8 \text{ t}^{[1]}$. 目前国内农作物秸秆的利用大致分为三类用途: 一是工业原料, 主要用于造纸, 约占总量的 23%; 二是牲畜饲料, 主要是作草食动物饲料, 约占总量的 24.0%; 三是直接燃料或生物质能源, 占 31.5%^[2], 其余秸秆被闲置或就地焚烧. 秸秆焚烧正在成为农业生态环境中的非点源污染源, 因此进一步加强对农作物秸秆的综合利用, 既可充分利用秸秆的价值又能减缓对环境的污染, 是当前的研究热点. 一些研究表明, 农作物秸秆可以用于制备吸附剂^[3-5]. 农作物秸秆主要由纤维素、半纤维素、胶质及其他低分子化合物组成, 以此为原料制备的吸附剂可以有效地处理各种废水^[5].

近十年来, NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (六价铬) 等阴离子对水环境的影响以及对生物体的危害逐渐被人们所关注, 因此这些有害阴离子的去除方法也得到了广泛应用和发展^[6, 7]. 吸附法具有设备简单、效果稳定、投资少等优点, 是目前研究较多的废水处理方式. 本研究通过对麦草秸秆进行改性, 合成得到一种

新型麦草阴离子吸附剂 (即改性麦草秸秆). 研究表明, 这种吸附剂对水中 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 离子具有较好的去除效果.

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

主要试剂: 麦草秸秆取自山东聊城. H_2SO_4 、 NaOH 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (AR)、二苯碳酰二肼 (AR)、丙酮、碘 (GB/T675)、环氧氯丙烷、三乙胺、乙二胺、 N,N -二甲基甲酰胺 (AR).

主要仪器: HH. S 精密恒温水浴锅 (江苏省金坛市医疗仪器厂); HY-4 调速多用振荡器 (江苏省金坛市医疗仪器厂); WFZ756 紫外可见分光光度计 (上海光谱仪器有限公司); JS94H 型微电泳仪 (上海中晨数字技术设备有限公司); Vario EL III 有机元素分析仪 (德国 Elementar 公司); AVATAR370 智能型傅立叶红外光谱仪 (美国 Nicolet 公司).

2.2 改性麦草秸秆的制备

改性麦草秸秆的合成方法具有操作简单、成本较

低、无二次污染等优点, 其具体方法如下: 麦草秸秆清洗干燥并粉碎至 100~250 μm , 称取上述秸秆 10.00 g 于三口圆底烧瓶中, 加入 5 mL N,N -二甲基甲酰胺、5 mL 环氧氯丙烷、2 mL 乙二胺和 4 mL 三乙胺在 80 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 12 h, 经清洗、抽滤和干燥后, 即得到麦草阴离子吸附剂^[3, 8, 9].

2.3 吸附实验方法

在 250 mL 锥形瓶中分别加入一定浓度的不同阴离子溶液, 加入定量改性麦草秸秆后, 在振荡强度为 120 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 条件下振荡一定时间, 过滤取滤液, 然后根据式(1)计算不同条件下改性麦草秸秆对阴离子的表观吸附量:

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

式中, q 为吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), C_0 为吸附前浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), C_e 为吸附平衡后浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), V 为溶液体积(L), m 为吸附剂质量(g).

3 结果与讨论

3.1 改性麦草的表征

3.1.1 麦草秸秆改性前后带电情况的变化

分别将改性前后的麦草秸秆颗粒分散于水中, 用微电泳仪测定不同 pH 值下颗粒表面带电情况(图 1). 经测定, 在整个 pH 值范围内, 原麦草秸秆表面均带负电荷, 且随着 pH 值的升高, Zeta 电位越来越负; 改性后麦草秸秆表面均带正电荷, 有利于对阴离子的吸附^[4]. 但随着 pH 值的升高, Zeta 电位趋于减小. 这是由于麦草秸秆改性后仍含有较多的羧基团, 羧基团易受 pH 值影响, 且 pH 值越大, 羧基团所表现出的负电位值越大, 从而导致改性后麦草秸秆正电位值逐渐减小.

3.1.2 麦草秸秆改性前后元素含量的变化

表 1 为麦草秸秆改性前后元素含量的变化情况. 由表 1 可知, 麦草秸秆改性前后 C、H 的含量变化不明显, 但 N 含量变化显著, 这是因为在麦草秸秆的改

图 1 不同 pH 值下麦草改性前后 Zeta 电位变化分析

表 1 秸秆改性前后元素含量变化情况

麦草秸秆	N 含量 (%)	C 含量 (%)	H 含量 (%)
改性前	0.35	41.11	6.102
改性后	3.463	44.84	6.823

性过程中, 秸秆与三乙胺反应引入胺基基团, 因而改性后麦草秸秆中氮元素含量得到显著提高.

3.1.3 麦草秸秆改性前后的 FTIR 图谱分析

由图 2 可知, 未改性的麦草秸秆在 3385 cm^{-1} 处有强振动, 为 -OH 振动, 说明未改性麦草秸秆中含有较多的羟基集团; 在 2930 cm^{-1} 处为 $\text{CH}_3\text{-CO-}$ 振动, 是木质素结构中酮基的特征振动; 1625 cm^{-1} 处的振动, 为木质素结构中芳香环的特征振动. 改性麦草秸秆在 1350 cm^{-1} 处有强吸收峰, 为 C-N 叔胺的特征振

图 2 麦草秸秆改性前后的 FTIR 图谱分析

动, 说明改性麦草秸秆已经引入胺基集团^[4].

3.2 改性麦草秸秆对不同阴离子的吸附性能

3.2.1 改性麦草秸秆的投加量影响

不同投加量的改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附效果如图 3 所示. 结果表明, 随着改性麦草秸秆投加量的增加, NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的去除率逐渐升高. 改性麦草秸秆的投加量为 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的去除率分别为 24.8%, 51.1%和 59.2%左右; 当投加量达到 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 去除率的升高趋势开始减缓; 投加量继续增加至 $4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 去除率基本达到平衡, 此时改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的去除率分别为 84.4%, 93.8%和 97.7%. 在实际应用中, 推荐改性麦草秸秆的投加量为 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

3.2.2 pH对吸附性能的影响

NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 在不同 pH 值下的存在形态见表 2. 由表 2 可知, 随着 pH 值的升高, 水溶液中

图 3 改性麦草秸秆的投加量与不同阴离子去除率的关系. NO_3^- : $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; PO_4^{3-} : $50 \text{ mg(P)} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$: $200 \text{ mg(Cr)} \cdot \text{L}^{-1}$; 20°C ; pH: 4.5

表 2 不同 pH 值下 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的存在形态

pH 值范围	2~3	3~6	6~10	10~12
NO_3^-	NO_3^-			
PO_4^{3-}	H_3PO_4 H_2PO_3^- HPO_3^{2-}	H_3PO_4 H_2PO_3^- HPO_3^{2-} PO_4^{3-}	H_2PO_3^- HPO_3^{2-} PO_4^{3-}	
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	HCrO_4^- $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ CrO_4^{2-}	CrO_4^{2-}	

的 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 逐渐向 CrO_4^{2-} 转化, 当 pH 值大于 6 时, 溶液中的六价铬主要以 CrO_4^{2-} 的形态存在, 因此 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的 pH 值范围控制在 2~6 之间.

改性麦草秸秆对不同阴离子的去除率随初始 pH 的变化曲线见图 4. 由图 4(a)可知, pH 由 2.0 上升至 4.0 时, 改性麦草秸秆对 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 的去除急剧增大; pH 在 4.0~10.0 范围内, 去除率变化不明显; 随着 pH 的进一步增大, 去除率反而有所降低, 这是由于当 pH 大于 10 时, 水体中的 OH^- 将急剧增加, 与 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 发生竞争吸附, 从而导致吸附效果降低^[10, 11].

图 4(b) 显示了改性麦草秸秆对 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附效果随 pH 的变化情况. 由图 4(b) 可知, 随着 pH 的增加, 改性麦草秸秆对 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附效果有所降低. 其原因是在较强的酸性条件下, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 溶液主要以 HCrO_4^- 形式存在, 能够与吸附剂形成较为稳定的化合物^[12]. 随着 pH 的进一步增加, 溶液中六价铬以

图 4 pH 值与不同阴离子去除率的关系. NO_3^- , $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; PO_4^{3-} , $50 \text{ mg(P)} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, $200 \text{ mg(Cr)} \cdot \text{L}^{-1}$; 20°C ; 吸附剂投加量: $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 CrO_4^{2-} 等负离子为主, 由于改性麦草秸秆上的胺基团与 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的亲合力弱于对 OH^- 的亲合力, 从而导致去除率进一步降低^[13].

降低 pH 值有利于 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的去除, 但过低的 pH 值也会给水体造成酸污染. 因此, 在实际处理中 pH 值应控制在 4~5 左右.

3.2.3 吸附动力学

图 5 为改性麦草秸秆对不同阴离子的吸附量随时间 t 的变化曲线. 由图 5 可知, 改性麦草秸秆在 0~15 min 内, 对 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附量急剧增加, 在 15 min 内即完成了总吸附量的 85%左右. 随着吸附时间的进一步增加, 吸附量趋于平缓, 在 25~30 min 左右达到平衡. 因此, 改性麦草秸秆对 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附均为快速吸附过程.

分别用伪一级动力学方程和伪二级动力学方程对实验结果进行拟合. 结果见表 3.

伪一级动力学方程可用下式表示^[14]:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

伪二级动力学方程可表示为:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

式中, q_e 、 q_t 分别为平衡时和 t 时刻改性麦草秸秆对阴离子的吸附量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); k_1 为伪一级吸附速率常数(min^{-1}); k_2 为伪二级吸附速率常数 $[\text{g} \cdot (\text{mg} \cdot \text{min})^{-1}]$.

伪一级动力学方程认为颗粒内传质阻力是吸附的限制因素, 而伪二级动力学方程可描述整个吸附过程, 认为吸附的限制因素是吸附机制, 而不是传质. 从表 3 可知, 改性麦草秸秆对 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附更符合伪二级动力学方程. 这说明伪二级动

图 5 常温下 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 吸附量与随时间的变化关系. 吸附剂投加量, $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; pH, 4.5; 20°C

表 3 动力学拟合参数

吸附质	伪一级方程拟合参数			伪二级方程拟合参数		
	q_e ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	k_1 (min^{-1})	R_2	q_e ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	k_2 ($\text{g} \cdot (\text{mg} \cdot \text{min})^{-1}$)	R_2
NO_3^-	31.9	0.265	0.991	29.3	0.185	0.9998
$\text{PO}_4^{3-}(\text{P})$	43.9	0.277	0.983	39.2	0.152	0.9996
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{Cr})$	81.9	0.254	0.972	73.1	0.095	0.9991

力学模型包含吸附的所有过程, 如外部液膜扩散、表面吸附和颗粒内部扩散等, 都有可能在吸附过程中时发生^[15].

3.2.4 吸附等温线

为考察温度对 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 吸附效果的影响, 分别在 20°C 、 30°C 和 40°C 下测定改性麦草秸秆对 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附等温线, 实验结果见图 6. 对图 6 中的数据进行 Langmuir 和 Freundlich 等温方程拟合^[16], 拟合结果见表 4.

Langmuir 方程:

图 6 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附等温线. pH, 4.5; 振荡时间, 120 min; 吸附剂投加量, $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

表 4 吸附等温模式拟合参数

吸附质	温度 (K)	Langmuir 方程			Freundlich 方程		
		$Q_{\max}$ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	K_L ($\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$)	R^2	K_f	$1/n$	R^2
NO_3^-	293	53.5	0.0527	0.989	5.22	2.42	0.979
	303	52.1	0.0386	0.991	4.98	2.30	0.981
	313	50.9	0.0314	0.993	4.13	1.99	0.963
PO_4^{3-}	293	62.4	0.0715	0.998	7.23	2.72	0.985
	303	59.6	0.0472	0.997	7.50	2.90	0.971
	313	58.1	0.0371	0.995	6.38	2.25	0.954
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	293	386.2	0.104	0.999	24.5	7.73	0.973
	303	367.6	0.171	0.999	26.3	6.75	0.984
	313	332.6	0.266	0.998	28.7	4.14	0.967

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_{\max}} + \frac{1}{bQ_{\max}} \frac{1}{C_e} \quad (4)$$

Freundlich 方程:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (5)$$

式中: C_e 为平衡质量浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); Q_e 为平衡吸附容量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); $Q_{\max}$ 为最大吸附容量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); b 为吸附强度($\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$); K_F ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 为吸附系数; $1/n$ 为吸附指数.

由上述结果可知: 与 Freundlich 等温模式相比, Langmuir 等温模式能更好地描述改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的等温吸附效果. 同时可以看到, 随着温度的升高, 改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 的最大吸附量逐渐降低, 而对 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的最大吸附量却逐渐增加; 表明改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 的吸附是一个放热过程, 而对 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附则是吸热过程. 同时, 改性麦草秸秆对 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的最大吸附量为 $386.2 \text{ mg (Cr)} \cdot \text{g}^{-1}$, 远高于对 NO_3^- ($53.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 和 PO_4^{3-} ($62.4 \text{ mg (P)} \cdot \text{g}^{-1}$) 的最大吸附量; 这说明 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 与

表 5 不同吸附剂对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的最大吸附量

吸附剂	$Q_{\max} (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$		
	NO_3^-	$\text{PO}_4^{3-}(\text{P})$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{Cr})$
改性麦草秸秆	53.5	62.4	386.2
稻谷壳改性吸附剂 ^[3, 16]	62.4	37.2	204
活性炭 ^[17]	6.8	5.8	—
Amberlite IRA-900 ^[18]	71.6	42.1	153.3

改性麦草秸秆上的胺基基团之间的亲和力明显强于 NO_3^- 和 PO_4^{3-} .

3.2.5 与不同吸附剂的吸附性能比较

表 5 所示为其他吸附剂对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的最大吸附量. 由表 5 可知, 改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附性能具有较高水平, 与一些商业吸附剂的吸附性能相当, 甚至更高. 这说明以麦草秸秆为原料, 制备新型离子吸附剂并用于去除水体中有毒的阴离子, 具有较高的实际应用价值.

4 结论

(1) 麦草秸秆经化学改性, 引入带正电荷的胺基基团, 极大提高了麦草秸秆的吸附性能.

(2) 改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附过程受投加量、吸附时间、温度、pH 值的影响. 吸附在 25~30 min 左右达到平衡, 为快速吸附. 改性麦草秸秆投加量为 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 在 4~5 范围内, 吸附效果较好.

(3) 改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的吸附符合伪二级动力学方程和 Langmuir 等温吸附模式.

(4) 改性麦草秸秆对 NO_3^- , PO_4^{3-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 具有较强的吸附性能, 最大吸附量分别为 53.5 、 62.4 和 $386.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$.

致谢 本工作得到国家自然科学基金(50878121)、“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAJ08B05-2)和国家“十一五”水污染控制与管理重大技术专项(2008ZX07010-008-002)资助, 特此一并致谢.

参考文献

- 1 Jin XC, Wang SR, Pang Y, Zhao H, Zhou XN. The adsorption of phosphate on different trophic lake sediments. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects*, 2005, 254: 241—248
- 2 李京京, 白金明, Rdph O. 中国生物质资源可获得性评价. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 17—18
- 3 Orlando US, Baes AU, Nishijima W. Preparation of agricultural residue anion exchangers and its nitrate maximum adexchange capacity.

- Chemosphere*, 2002, 48: 1041—1046
- 4 Wang Y, Gao BY, Yue WW, Yue QY. Adsorption kinetics of nitrate from aqueous solutions onto modified wheat residue. *Colloids Surf A*, 2007, 308: 1—5
 - 5 Piero V, Gianpietro V. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass Bioenergy*, 2007, 25: 235—255
 - 6 Mohamed AMO. Development of a novel electro-dialysis based technique for lead removal from siltyclay polluted soil. *J Hazard Mater*, 2002, 90: 297—310
 - 7 Fernandez-Olmo I, Fernandez JL, Irabien A. Purification of dilute hydrofluoric acid by commercial ion exchange resins. *Sep Purif Technol*, 2007, 56: 118—125
 - 8 Orlando US, Okuda T, Nishijima W. Chemical properties of anion exchangers prepared from waste natural materials. *React Funct Polym*, 2003, 55: 311—318
 - 9 Orlando US, Baes AU, Nishijima W, Okada M. Comparative effectivity of different types of neutral chelating agents for preparing chelated bagasse in solvent-free conditions. *J Clean Prod*, 2004, 12: 753—757
 - 10 Malik PK. Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36. *Dyes and Pigments*, 2003, 56(3): 239—249
 - 11 Radulescu E, Nedeff V, Stanciu C, Cantemir G. Studies regarding the sorption of nitroso-R-salt on Purolite A 600-PL resin (part I). *MOCM*, 2007, 13(3): 235—240
 - 12 Dakiky M, Khamis M, Manassra M. Selective adsorption of chromium (VI) in industrial wastewater using low-cost abundantly available adsorbents. *Adv in Environ Res*, 2002, 6(4): 5332540
 - 13 Bhattacharya AK, Naiya TK, Monda SN, Das SK. Adsorption, kinetics and equilibrium studies on removal of Cr(VI) from aqueous solutions using different low-cost adsorbents. *Chem Engine J*, 2008, 137(3): 5292541
 - 14 Yang X, Al-Duri B. Kinetic modeling of liquid2phase adsorption of reactive dyes on activated carbon. *J Colloid Interface Sci*, 2005, 287(1): 25—34
 - 15 Eren Z, Acar FN. Adsorption of Reactive Black 5 from an aqueous solution: equilibrium and kinetic studies. *Desalination*, 2006, 194(123): 1—10
 - 16 余梅芳, 胡晓斌, 姚健萍, 朱小英. 稻壳制活性炭及其对污水中铬的吸附能力研究. *西北农业学报*, 2007, 16(1): 26—29
 - 17 Park HJ, Na CK. Preparation of anion exchanger by amination of acrylic acid grafted polypropylene nonwoven fiber and its ion-exchange property. *J Colloid Interf Sci*, 2006, 301: 46—54
 - 18 Baes AU, Okuda T, Nishijima W, Shoto E, Okada M. Adsorption and ion exchange of some groundwater anion contaminants in an amine modified coconut coir. *Water Sci Technol*, 1997, 35(7): 89—95

Adsorption studies on the removal of anions from aqueous solutions onto adsorbent prepared from wheat straw

XU Xing, GAO Yue, GAO BaoYu, YUE QinYan & ZHONG QianQian

Shandong Key Laboratory of Water Pollution Control and Resource Reuse; School of Environmental Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China

Abstract: Modified wheat straw (MWS) was prepared by the grafting of epichlorohydrin, triethylamine and ethylenediamine onto WS. Characterizations of MWS and its adsorption capacities for NO_3^- , PO_4^{3-} and $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ were investigated. The results indicate that amine groups with positive-charge have been introduced into the structure of MWS, and significantly increase its anion adsorption property. The functions of MWS dosage, the solution pH, the contact time and temperature show great influence on the adsorption process, and the adsorption is well fitted with the Langmuir equation and pseudo second-order model. More over, the maximum adsorption capacity of MWS for NO_3^- , PO_4^{3-} (P) and $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (Cr) are 53.5、62.4 and 386.2 mg g^{-1} , respectively.

Keywords: wheat straw, anion, adsorption, maximum adsorption capacity