DOI: 10.11895/j.issn.0253-3820.171279

氧化石墨烯对磺胺甲恶唑和磺胺甲基嘧啶的吸附性能研究

王栋纬[1] 宋燕西*[1,2] 冶晓凡[1] 钱 国[1] 汪舒怡[1] 程 贞[1]
[1](东华大学环境科学与工程学院, 国家环境保护纺织污染防治工程技术中心, 上海 201620)
[2](复旦大学聚合物分子工程国家重点实验室, 上海 200433)

摘 要 采用改进的 Hummers 法制备得到氧化石墨烯(GO),以两种磺胺类抗生素——磺胺甲恶唑(SMZ)和磺胺甲基嘧啶(SMR)为探针分子,研究了氧化石墨烯的吸附特性。利用傅立叶变换红外光谱(FT-IR)和扫描电镜(SEM)对所制备的氧化石墨烯进行表征。考察了溶液 pH 值、吸附时间、初始浓度对氧化石墨烯吸附性能的影响,通过吸附动力学和吸附热力学对其吸附性能进行了研究。结果表明,酸性和碱性条件有利于氧化石墨烯对 SMZ 和 SMR 的吸附,当 pH=1 时吸附效果最佳; 氧化石墨烯对 SMZ 和 SMR 吸附平衡时间分别为 100 和 120 min,最大吸附容量分别为 138.50 和 96.06 mg/g; 吸附行为均符合准二级动力学方程,表明此吸附过程以化学吸附为主,与 Langmuir 等温方程式拟合度良好。氧化石墨烯作为富集分离材料用于湖水中 SMZ 和 SMR 的富集分离,获得了较好的结果。

关键词 氧化石墨烯; 磺胺甲恶唑; 磺胺甲基嘧啶; 吸附性能

1 引 言

近年来,抗生素被大量应用在临床及畜禽和水产养殖过程中[1~3],通过抗生素生产过程、污水、市政有机肥和对闲置或过期药品的不当处置[4,5],最终在土壤和水体中大量残留,严重影响人类健康和生态平衡[6,7]。目前,去除水中抗生素常用的方法有生物法、高级氧化和吸附法等[4]。吸附法多采用多孔材料作为吸附剂去除废水中的抗生素,是一种相对简单高效的处理方法,且不会产生有毒中间产物[8],其适用范围广、成本低且易于实施,而寻找成本低、吸附效果好的吸附剂尤为重要[9]。

石墨烯的理论比表面积大[2],氧化石墨烯(GO)不仅含有石墨烯的 sp^2 碳骨架结构,而且还具有丰富的含氧基团,可通过 π-π 相互作用、氢键等分子间作用力实现对不同化合物的选择性吸附[10],是当前吸附剂研究的热点。Yang 等[11]研究了氧化石墨烯对亚甲基蓝的吸附性能,最大吸附容量为 714 mg/g; Wu 等[12]通过改进的 Hummers 方法制备氧化石墨烯,用于去除重金属离子 Cu^{2+}, 最大吸附容量为117.5 mg/g, 远高于碳纳米管和活性炭; Ghadim 等[13]研究了氧化石墨烯对四环素的吸附性能,最大吸附容量为 323 mg/g。然而,利用氧化石墨烯吸附富集分离磺胺类抗生素的研究尚未见报道。

本研究采用改进的 Hummers 法制备氧化石墨烯,研究其对磺胺甲恶唑(SMZ)和磺胺甲基嘧啶(SMR)的吸附性能,并进一步考察了氧化石墨烯对实际湖水样品中的 SMZ 和 SMR 的富集分离性能。本研究结果为氧化石墨烯在样品富集分离前处理以及抗生素的生产和环境治理方面提供了数据参考。

2 实验部分

2.1 仪器与试剂

NEXUS-670 傅立叶变换红外光谱仪(美国 Nicolet 公司); 日立 TM-1000 台式扫描电镜(日立高新技术公司); TU-1810 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司); HJ-3 控温磁力搅拌器(江苏金坛市金城国胜实验仪器厂); DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器(巩义市予华仪器有限责任公司); PHSJ-4F 智能型 pH 计(南京卓恒科学仪器有限公司); SC-3612 低速离心机(安徽中科中佳科学仪器有

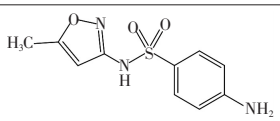
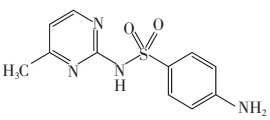
2017-09-28 收稿; 2017-11-27 接受
本文系国家自然科学基金项目(No. 51278095)、复旦大学聚合物分子工程国家重点实验室开放研究课题基金(No. K2014-11)、东华大学研究生创新基金(No. 113-06-0019057)和东华大学大学生创新训练项目资助。
* E-mail: syx@dhu.edu.cn

限公司)；CRGII 高速冷冻离心机(上海赵迪生物科技有限公司)；HT-211B 卧式恒温摇床(金坛市城西春兰实验仪器厂)；SHZ-D(Ⅲ)循环水式真空泵(上海卫凯仪器设备有限公司)。

磺胺甲恶唑(SMZ,纯度≥99.0%)、磺胺甲基嘧啶(SMR,纯度≥99.0%),购自上海依赫生物科技有限公司，分子结构及理化性质见表 1；石墨粉(分析纯,天津登科化学试剂有限公司)；$KMnO_4$、$NaNO_3$、H_2O_2 均购自国药集团化学试剂有限公司；NaOH、HCl、H_2SO_4 均购自平湖化工试剂厂。所有试剂除特殊说明外均为分析纯。

表 1 磺胺类抗生素的分子结构与理化性质[14]

Table 1 Molecular structure and physical and chemical properties of sulfonamide antibiotics

磺胺类抗生素 Sulfonamides antibiotic	分子结构 Molecular structure	相对分子质量 Relative molecular mass	$\lg K_{ow}$	$pK_{a,1}$	$pK_{a,2}$
磺胺甲恶唑 Sulfamethoxazole(SMZ)		253.3	0.89	1.85	5.60
磺胺甲基嘧啶 Sulfamerazine(SMR)		264.3	0.14	2.06	6.90

2.2 氧化石墨烯的制备[15~17]

采用改进的 Hummers 法制备氧化石墨烯,具体操作如下:量取 12 mL 浓 H_2SO_4 至三口烧瓶,冰浴中冷却至 4℃以下,加入 0.5 g 石墨粉和 0.25 g $NaNO_3$，反应 1 h 后缓慢加入 2.5 g $KMnO_4$；继续反应 2 h 后,控制反应温度 38℃,搅拌反应 5 h。缓慢加入 25 mL 去离子水,在 85℃下搅拌反应 0.5 h,加入 70 mL 去离子水中止反应,并加入 20 mL 30% (V/V) H_2O_2,反应 15 min 后加入 20 mL 10% (V/V) HCl,得到氧化石墨烯的悬浮液。500 r/min 下离心 3 min,取上层悬浮液并加入 5% HCl,10000 r/min 离心 10 min,收集沉淀,用 5% HCl 离心处理 3 次,再用去离子水洗至中性，在 60℃下干燥。

2.3 氧化石墨烯的表征

采用 KBr 压片法,将干燥后的氧化石墨烯与 KBr 以质量比 1∶150 混合,研磨后压片,用傅立叶变换红外光谱仪测定,扫描波数为 500~4000 cm^{-1}。用扫描电镜观察氧化石墨烯形貌特征。

2.4 吸附实验

称取适量氧化石墨烯，加入 50 mL 80 mg/L 的 SMZ 和 SMR 溶液中,待吸附平衡后,10000 r/min 离心 5 min,上清液经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后,用紫外分光光度计在 270 nm 波长处测定吸附后溶液中抗生素浓度,每个样品重复测定 3 次,取平均值。根据吸附前后溶液浓度变化,计算平衡吸附容量:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad (1)$$

其中:Q_e为吸附平衡时 GO 的平衡吸附容量(mg/g)(在稀溶液中吸附容量与表观吸附容量近似相等[18])；C_0为吸附前抗生素的质量浓度(mg/L)；C_e为吸附平衡时抗生素的质量浓度(mg/L)；V 为抗生素溶液的体积(L)；m 为吸附剂 GO 的用量(g)。

3 结果与讨论

3.1 氧化石墨烯的红外光谱分析

氧化石墨烯的红外光谱如图 1 所示,3432 cm^{-1}处的吸收峰为羟基官能团 (—OH) 的特征振动吸收峰；1725 cm^{-1}处为氧化石墨烯片层边缘羧基、羰基中的 C═O 伸缩振动；1630 cm^{-1}为 C═C 振动吸收峰；1407 cm^{-1}的峰归属于结构中 C—H 振动；1240 cm^{-1}为环氧基 (C—O—C) 的特征吸收峰；1110 cm^{-1}为 C—O 的伸缩振动吸收峰[16]。由图 1 可知,氧化石墨烯存在羧基和羟基等含氧官能团。

3.2 氧化石墨的扫描电镜分析

氧化石墨烯的扫描电镜如图 2 所示,氧化石墨烯片层结构明显,片层间隙较大,且为多层结构,为获

得良好的吸附性能提供了条件。

3.3　溶液 pH 值对氧化石墨烯吸附性能的影响

实验发现,GO 在不同 pH 值的水溶液中呈现不同的状态,在强酸或强碱条件下,GO 更易于团聚沉淀; 在中性条件下,GO 在水溶液中呈分散状态。室温下,取 50 mL 初始浓度为 80 mg/L 的 SMZ 和 SMR 溶液,改变溶液的 pH 值(1 ~ 13),考察 GO 对 SMZ 和 SMR 吸附性能的影响。如图 3 所示,pH = 7 时的吸附容量最低,当 pH 由 7→13 以及由 7→1 变化时,吸附容量不断增加,两种抗生素在 pH = 1 时,吸附容量最大。推测磺胺分子在不同 pH 值水溶液中呈现不同形态的原因为: 溶液 pH<p$K_{a,1}$时,磺胺分子带有较多正电荷; p$K_{a,1}$<溶液 pH<p$K_{a,2}$时,所带正电荷减少; 溶液 pH>p$K_{a,2}$时,磺胺分子趋向于游离态。在强酸性条件下,磺胺分子与 GO 表面既存在氢键及疏水相互作用,又存在带正电的磺胺分子与 GO 表面带负电的含氧官能团之间的静电相互作用,因此吸附容量最大; 随着溶液 pH 值增加,静电相互作用减小,因此吸附容量不断减少,当 pH = 7 时达到最小,当 pH>7 时,GO 边缘及片层间羧基和羟基不断解离,负电荷不断增多,静电斥力使 GO 片层分离[17],不仅增大了比表面积,同时使 GO 内部的疏水层暴露,游离态的磺胺分子与 GO 之间的疏水作用增加,强碱性条件下,在疏水相互作用及氢键等分子间相互作用的影响下,分散在水溶液中的 GO 吸附磺胺并絮凝沉淀下来,因此当 pH 由 7→13 变化时吸附容量不断增加。另一方面,在相同 pH 值条件下,GO 对 SMZ 的吸附容量大于对 SMR 的吸附容量,这是因为 SMZ 的分配系数(lgK_{oW} = 0.89)高于 SMR(lgK_{oW} = 0.14),更容易通过分配作用吸附到 GO 上。

3.4　吸附时间对氧化石墨烯吸附性能的影响

室温下,抗生素的初始浓度为 80 mg/L, pH = 1 时,氧化石墨烯对 SMZ 和 SMR 的吸附量随时间变化如图 4 所示,在 10 min 内吸附速率较快,之后吸附速率变慢; 氧化石墨烯对 SMZ 和 SMR 的吸附平衡时间分别为 100 与 120 min。

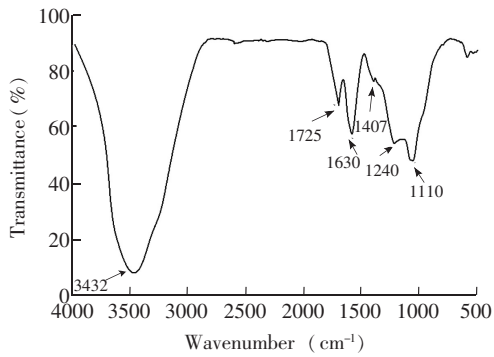


图 1　氧化石墨烯红外光谱图

Fig. 1　Fourier transform-infrared (FT-IR) spectrum of graphene oxide (GO)

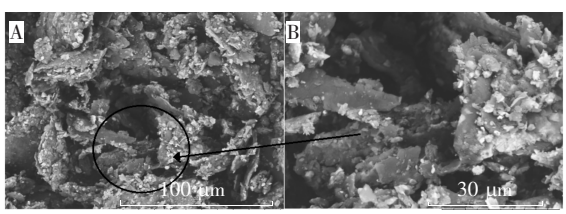


图 2　氧化石墨烯扫描电镜图

Fig. 2　Scanning electron microscopy (SEM) images of GO

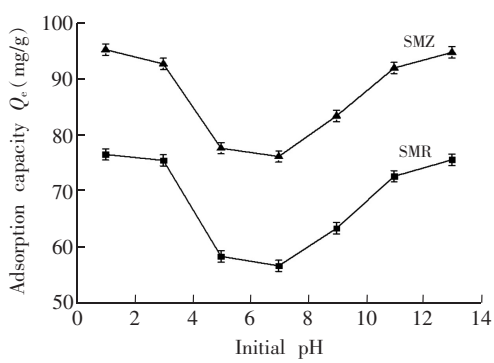


图 3　初始 pH 值对氧化石墨烯吸附磺胺甲恶唑(SMZ)和磺胺甲基嘧啶(SMR)的影响

Fig. 3　Effect of initial pH value on adsorption of sulfamethoxazole (SMZ) and sulfamerazine (SMR) by GO

利用准一级和准二级动力学模型对实验获得的吸附数据进行动力学拟合分析。准一级动力学模型(2)与准二级动力学模型(3)的表达式如下:

$$\ln(Q_e - Q_t) = -k_1 t + \ln Q_e \tag{2}$$

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} \tag{3}$$

式中: Q_e 为平衡吸附容量(mg/g); Q_t 为任意时刻的吸附容量 (mg/g); t 为吸附时间 (min); k_1 和 k_2 分别为准一级和准二级动力学模型的吸附速率常数(g/(mg · min))。表 2 列出了利用准一级和准二级动力学模型对实验数据进行拟合的结果,准二级动力学模型对 SMZ 和 SMR 的实验数据拟合的相关系数

(r^2) 分别为 0.9998 和0.9995,明显高于准一级动力学模型的 r^2 值(<0.90),说明 GO 对 SMZ 和 SMR 的吸附更符合准二级动力学方程; 由准二级动力学计算得到的平衡吸附容量 $Q_{e,(cal)}$ 分别为 102.04 和 82.97 mg/g, 而实际吸附容量值 $Q_{e,(exp)}$ 分别为 101.39 和79.47 mg/g,故准二级动力学模型的吸附容量值更接近实际吸附容量值。与准一级动力学模型相比,准二级动力学模型更适合描述 GO 吸附 SMZ 和 SMR 的动力学过程,说明 GO 对两种抗生素的吸附过程是以化学吸附为主[19]。

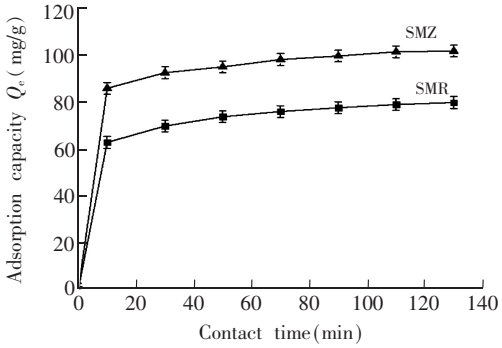


图 4 反应时间对氧化石墨烯吸附磺胺甲恶唑和磺胺甲基嘧啶的影响

Fig. 4 Effect of contact time on adsorption of SMZ and SMR by GO

3.5 温度及初始浓度对氧化石墨烯吸附性能的影响

考察了不同温度(25℃、35℃和 45℃)下,吸附时间分别为 100 和120 min,pH = 1 时,GO 对 SMZ 和 SMR 吸附容量的变化(图 5)。当 SMZ 和 SMR 的初始浓度为 80 mg/L, 温度由 25℃升至 45℃时,GO 对 SMZ 和 SMR 的吸附容量分别由 90.39 和 79.02 mg/g 增至 96.86 和 88.45 mg/g,表明升高温度有利于 GO 对 SMZ 和 SMR 的吸附, 吸附过程为吸热过程。随着初始浓度的升高,吸附容量越来越大。

表 2 准一级与准二级动力学方程参数

Table 2 Parameters of pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models

	准一级动力学方程 Pseudo-first-order model			准二级动力学方程 Pseudo-second-order model		
	Q (mg/g)	k_1	r^2	Q_e(mg/g)	k_2	r^2
SMZ	39.17	–0.0406	0.8951	102.04	0.0101	0.9998
SMR	35.41	–0.0364	0.8805	81.97	0.0026	0.9995

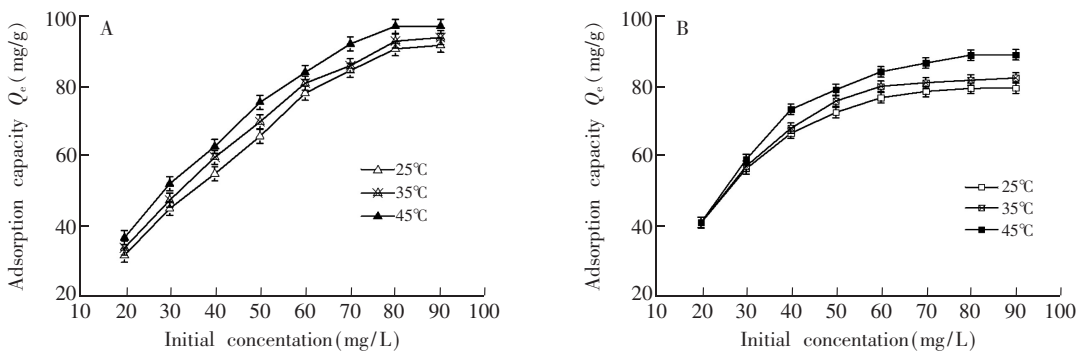


图 5 初始浓度对氧化石墨烯吸附磺胺甲恶唑(A)和磺胺甲基嘧啶(B)的影响

Fig. 5 Effect of initial concentration on adsorption of SMZ (A) and SMR (B) by GO

采用 Langmuir 与 Freundlich 吸附等温模型对氧化石墨烯吸附两种磺胺类坑生素的数据进行拟合,结果见表3。Langmuir 吸附等温模型(4)和 Freundlich 吸附等温模型(5)如下:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{Q_m K_L} \tag{4}$$

$$\ln Q_e = \ln K_F + \frac{1}{n}\ln C_e \tag{5}$$

式中: Q_m为饱和吸附容量 (mg/g); K_L和 K_F分别为 Langmuir 平衡系数(L/mg)和 Freundlich 平衡系数($mg^{1-1/n} \cdot L^{1/n}/g$); n 为 Freundlich 经验常数。从表 3 可知,Langmuir 模型拟合的相关系数(r^2)大于 Freundlich 模型的相关系数,所以 Langmuir 模型能够更好地描述 GO 吸附两种抗生素的吸附过程, 此模型描述的吸附过程是基于均匀表面的吸附,吸附质以单分子层形式排列,所以在GO吸附SMZ与SMR

表 3　Langmuir 和 Freundlich 吸附等温模型参数
Table 3　Adsorption isotherm constants for SMZ 和 SMR adsorption onto GO

	Temperature (K)	Langmuir 吸附等温模型 Langmuir isotherm constant			Freundlich 吸附等温模型 Freundlich isotherm constant		
		Q_m(mg/g)	K_L(L/mg)	r^2	K_F ($mg^{1-1/n} \cdot L^{1/n}/g$)	n	r^2
SMZ	298	125.47	0.0720	0.9869	18.5009	2.2580	0.9672
	308	127.22	0.0556	0.9939	17.2272	2.2605	0.9521
	318	138.50	0.0410	0.9732	10.9789	1.7778	0.9571
SMR	298	84.89	0.2676	0.9996	42.0080	6.0107	0.9107
	308	88.03	0.2660	0.9994	42.7265	5.7947	0.8787
	318	96.06	0.2302	0.9990	33.7800	3.8155	0.8733

的过程中单分子层吸附占主导地位[20]。在本研究中,不同温度下 GO 对 SMZ 和 SMR 的 Freundlich 等温线 n 值均大于 1,说明 GO 在 SMZ 和 SMR 上的吸附是有利的[21]。GO 对 SMZ 和 SMR 在 Langmuir 模型下的最大吸附容量分别为 138.50 和 96.06 mg/g,优于活性炭[22]、碳纳米管[23]、松木炭[24]等吸附材料。

3.6　实际水样中氧化石墨烯对两种抗生素的吸附性能

某湖水及自来水样品分别经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,测定原始水样中的 SMZ 和 SMR 含量。用过滤后的湖水和自来水水样配制 3 种不同浓度(30,60 和 90 mg/L) 的 SMZ 与 SMR 溶液,在室温下,pH=1,吸附时间 120 min,吸附平衡后计算 GO 对 SMZ 和 SMR 的吸附容量。结果表明,GO 对 3 个浓度的湖水水样的 SMZ 吸附容量分别为 42.12、59.99 和80.31 mg/g, 略低于在自来水中的吸附容量(44.20、65.76 和 87.55 mg/g)。GO 对 3 个浓度湖水水样的 SMR 吸附容量分别为 37.41、56.97 和 75.38 mg/g,略低于在自来水中的吸附容量(39.18、63.10 和 81.99 mg/g),说明 GO 可用于环境水样中 SMZ 和 SMR 的吸附分离。

4　结 论

氧化石墨烯(GO)能够有效吸附 SMZ 和 SMR, GO 对 SMZ 的吸附性能优于 SMR。pH=1,GO 用量 20 mg,初始浓度为 80 mg/L,吸附时间分别在 100 与 120 min 时,GO 对 SMZ 和 SMR 的最大吸附容量分别为 138.50 mg/g 和 96.06 mg/g。两者吸附动力学均符合准二级动力学模型,等温吸附过程可用 Langmuir 模型拟合。本研究制备的氧化石墨烯可作为萃取材料用于 SMZ 和 SMR 的富集分离等分析样品前处理过程,作为吸附材料可用于水中磺胺类污染物的吸附分离。

References

1　Barraclough D, Kearney T, Croxford A. *Environ. Pollut.*, **2005**, 133(1): 85-90
2　Yu F, Ma J, Bi D. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **2015**, 22(6): 4715-4724
3　Boxall A B A. *EMBO J.*, **2004**, 5(12): 1110-1116
4　Yu F, Li Y, Han S, Ma J. *Chemosphere*, **2016**, 153: 365-385
5　GUO Xin-Yan, WANG Na, HAO Li-Jun, ZHI Yong, XU Jing, WANG Zan-Chang, SHAN Zheng-Jun. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2015**, 43(1): 13-20
郭欣妍, 王 娜, 郝利君, 智 勇, 许 静, 王沓畅, 单正军. 分析化学, **2015**, 43(1): 13-20
6　Zhang H B, Luo Y Mi, Wu L H, Huang Y J, Peter C. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **2015**, 22(8): 5908-5918
7　Halling-Sorensen B. *Chemosphere.*, **2000**, 40(7): 731-739
8　Putra E K, Pranowo R, Sunarso J, Indraswati N, Ismadji S. *Water Res.*, **2009**, 43(9): 2419-2430
9　Ahmed M B, Zhou J L, Ngo H H, Guo W S. *Sci. Total Environ.*, **2015**, 532: 112-126
10　Pei S F, Cheng H M. *Carbon*, **2012**, 50(9): 3210-3228
11　Yang S T, Chen S, Chang Y L, Cao A N, Liu Y F, Wang H F. *J. Colloid Interface Sci.*, **2011**, 359(1): 24-29
12　Wu W Q, Yang Y, Zhou H H, Ye T T, Huang Z Y, Liu R, Kuang Y F. *Water Air Soil Pollut.*, **2013**, 224(1): 1372
13　Ghadim E E, Manouchehri F, Soleimani G, Hosseini H, Kimiagar S, Nafisi S. *Plos One*, **2013**, 8(11): e79254
14　Qiang Z M, Adams C. *Water Res.*, **2004**, 38(12): 2874-2890

15 Hummers W S, Offeman R E. *J. Am. Chem. Soc.*, **1958**, 80(6): 1339-1339
16 Qi Y C, Yang M L, Xu W H, He S, Men Y. *J. Colloid Interface Sci.*, **2016**, 486: 84-96
17 Rourke J P, Pandey P A, Moore J J, Bates M, Kinloch I A, Young R J, Wilson N R. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2011**, 50(14): 3173-3177
18 ZHAO Zhen-Guo. *Application Principle of Adsorption*. Beijing: Chemical Industry Press, **2005**: 175
赵振国. 吸附作用应用原理. 北京: 化学工业出版社, **2005**: 175
19 SHI Shui-Hong, SONG Yan-Xi, SHEN Xiao-Ting, CHEN Xu-Tao, SUN Wen-Peng. *J. Instrum. Anal.*, **2016**, 35(7): 883-887
时水洪, 宋燕西, 沈晓婷, 陈旭涛, 孙文鹏. 分析测试学报, **2016**, 35(7): 883-887
20 Yaneva Z, Koumanova B, Georgieva N. *J. Agric. Sci. T echnol.*, **2011**, 3(4): 354-358
21 SUN Wen-Peng, SONG Yan-Xi, WANG Dong-Wei, ZHANG Zi-Qin, QIAN Guo. *J. Instrum. Anal.*, **2017**, 36(6): 788-793
孙文鹏, 宋燕西, 王栋纬, 张紫琴, 钱 国. 分析测试学报, **2017**, 36(6): 788-793
22 XIE Sheng, LI Juan-Ying, ZHAO Qing-Xiang. *J. Environ. Eng.*, **2012**, 6(2): 483-488
谢 胜, 李娟英, 赵庆祥. 环境工程学报, **2012**, 06(2): 483-488
23 Zhao H, Liu X, Cao Z, Shi X D, Yang Y, Zhou J L, Xu J. *J. Hazard. Mater.*, **2016**, 310: 235-245
24 Xie M X, Chen W, Xu Z Y, Zheng S R, Zhu D Q. *Environ. Pollut.*, **2014**, 186: 187-194

Study on Adsorption of Two Sulfonamide Antibiotics by Graphene Oxide

WANG Dong-Wei[1], SONG Yan-Xi*[1,2], YE Xiao-Fan[1], QIAN Guo[1], WANG Shu-Yi[1], CHENG Zhen[1]
[1](*State Environmental Protection Engineering Center for Pollution Treatment and Control in Textile Industry, School of Environmental Science and Technology, Donghua University, Shanghai* 201620, *China*)
[2](*State Key Laboratory of Molecular Engineering of Polymers, Fudan University, Shanghai* 200433, *China*)

Abstract Graphene oxide (GO) was prepared by modified Hummers method with graphite as raw materials and used as adsorbent for sulfamethoxazole (SMZ) and sulfamerazine (SMR) in aqueous solutions. The graphene oxide was characterized by fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). The effects of pH value, adsorption time, initial concentration and temperature on the adsorption property of GO to two sulfonamide antibiotics were investigated and combined with the physical and chemical properties of two kinds of antibiotics. The result showed the maximum adsorption capacity were 138.50 mg/g and 96.06 mg/g at pH=1, adsorbent dosage of 20 mg, 45℃, adsorption time of 100 min and 120 min for SMZ and SMR, respectively. The adsorption data of SMZ and SMR fitted well with the Pseudo-second-order kinetics model and the Langmuir isotherm model. The adsorption properties of GO were evaluated with lake water and tap water as real samples and good results were obtained. GO could be used as enrichment and separation materials for sample pretreatment and removing pollutant in wastewater.

Keywords Graphene oxide; Sulfamethoxazole; Sulfamerazine; Adsorption performance

(Received 28 September 2017; accepted 27 November 2017)

This work was supported by the National Natural Science Fundation of China (No. 51278095), Fudan University State Key Laboratory of Polymer Molecular Engineering Open Research Fund (No. K2014-11), Donghua University Graduate Innovation Fund (No. 113-06-0019057) and Donghua University innovation training program for Undergraduate Students.