

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.05.007

太湖沉积物再悬浮对双酚 A 吸附性能的影响

王 鹏^{1,2}, 李琼琼², 蔡赞杰³

(1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 3. 无锡国联环保能源集团有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘要:利用 PES (particle entrainment simulator) 模拟装置, 率定 PES 装置产生的切应力与水浴恒温振荡器转速之间的经验关系, 采用批量平衡法测定了不同水动力条件下沉积物对双酚 A 的吸附解吸作用及吸附动力学行为。结果表明, 双酚 A 在沉积物上的平衡吸附量不随切应力的改变而改变, 其吸附行为可用 Freundlich 模型来描述。吸附以快速吸附为主, 吸附量占总吸附量的 90% 以上, 慢速吸附对总的吸附进程的贡献很小。切应力主要在快速吸附阶段发挥作用, 快速吸附阶段的平均吸附速率与切应力呈正相关, 切应力对慢速吸附阶段的影响很小。准二级吸附动力学方程能够很好地拟合不同切应力条件下双酚 A 在沉积物上的吸附动力学曲线。

关键词:沉积物再悬浮; 双酚 A; 吸附解吸作用; 切应力; 准二级动力学模型

中图分类号: X52 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2015)05-0035-07

Effect of sediment resuspension on BPA adsorption in Taihu Lake

WANG Peng^{1,2}, LI Qiongqiong², CAI Yunjie³

(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Nanjing 210098, China;
2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Wuxi Guolian Environment & Energy Group Co., Ltd., Wuxi 214000, China)

Abstract: The empirical relationship between shear stress simulated by PES (particle entrainment simulator) and rotating speed of thermostatic water bath oscillators was established and validated by experiment. Batch equilibrium experiments were performed to assess adsorption and sorption kinetics characteristics of BPA by sediment at different hydrodynamic conditions. The results indicated that the maximum sorption amount of BPA was not affected by shear stresses. The BPA adsorption process can be expected to better fit for the Freundlich isotherm model. The adsorption process was mainly fast adsorption, which account for 90%. Slow sorption's contribution was very small. Shear stresses only played an important role in fast adsorption, its average adsorption rate was positive related with shear stresses. The adsorption kinetic curve can be fitted by the pseudo-second order model.

Key words: sediment resuspension; bisphenol A; adsorption and desorption; shear stress; pseudo-second order model

双酚 A (BPA) 是一种已知的典型环境雌激素, 它对生物体的胚胎、生殖系统以及神经系统的发育均有一定损害^[1-3], 广泛存在于土壤、污泥、水、沉积物以及生物体内^[4-6], 甚至大气中也有其踪迹^[7]。工业废水、垃圾渗滤液以及污水处理厂污水作为

BPA 的主要外源, 其尾水的排放很容易导致 BPA 释放到地表水中^[8-9]。吸附过程作为 BPA 重要的迁移传输途径之一, 浅水河道与浅水湖泊中沉积物以及水体中悬浮物很容易对其发生吸附作用。在地表水中, 尤其是浅水河道与湖泊, 风浪和人为等因素扰动

会导致沉积物大量悬浮,促使水体中颗粒态物质含量明显增加^[10-12],因此,扰动对地表水中 BPA 含量的影响极为明显。然而,迄今为止,人们对扰动作用下 BPA 的吸附规律尚不明确。

目前,对于 BPA 与固相介质(土壤、沉积物等)间相互作用的研究主要集中在水温、盐度、pH 等环境条件以及沉积物矿物组成、粒度大小和有机质含量等沉积物理化性质对其吸附行为的影响。Gallard 等^[13]在研究中发现活性炭的理化性质影响其吸附双酚 A 的能力,其中的主要影响因子为 pH 值和表面积,溶液离子强度的增加对吸附有促进作用,而活性炭中的矿物质能够削弱其吸附能力。Sun 等^[14-16]在研究中发现,河水中的可溶态有机质含量和沉积物中的总有机质含量对双酚 A 的吸附均会产生影响,双酚 A 的吸附量在沉积物和悬浮颗粒物随可溶态有机质含量的升高而降低。然而,上述研究均是在沉积物静态条件下进行,并未对水动力作用下沉积物对 BPA 吸附解吸行为的影响进行深入探讨。实际上,在地表水中,尤其是浅水湖泊,在风浪、水流等外力扰动作用下,沉积物表层再悬浮较为频繁。水动力作用下沉积物再悬浮会明显增加水体中颗粒态物质含量,增加颗粒态物质与水体中 BPA 的接触几率以及颗粒态物质之间的碰撞几率,进而影响地表水中 BPA 含量。另外,不同扰动频率与强度对水体中悬浮物含量、颗粒态物质与水分子之间的切应力、颗粒态物质与水体中 BPA 的接触几率、颗粒态物质之间的碰撞几率以及颗粒态物质间摩擦力的作用时间有显著影响。研究不同扰动频率与强度条件下沉积物对 BPA 吸附解吸作用的影响,将为完善地表水中 BPA 迁移传输理论提供理论依据。

1 材料及方法

1.1 实验材料

沉积物样品取自太湖北部梅梁湾的表层底泥(0~20cm),去除碎石、败叶等杂物,自然风干后研磨,过 100 目筛,置于密封容器中 4℃ 储存备用。经测定,沉积物 pH 7.35、有机碳(foc)1.28%、含水率 43.95%、黏粒(<0.01 mm)质量比 45.5g/kg、CEC 23.5 mmol/kg。沉积物中均未检出双酚 A。所用试剂均为分析纯,BPA 的分子量为 228 g/mol,25℃ 时的溶解度为 381 mg/L,辛醇/水分配系数 $\log K_{ow}$ 为 3.18。

实验仪器包括沉积物再悬浮振荡器(particle entrainment simulator,以下简称 PES 装置)、AUY120 分析天平、pHS-3C 酸度计、SHZ-82A 型数显水浴恒温振荡器、DHG-9203A 型电热恒温鼓风干燥箱、

KDC-160HR 型台式高速冷冻离心机、KQ-3200E 型超声波清洗机、2100Q 便携式浊度仪、LS13320MW/ALM 型激光粒度分析仪、UV-7504PC 紫外可见分光光度计。

1.2 实验方法

1.2.1 切应力率定实验

采用 Rouse 发明的沉积物再悬浮振荡器^[17]模拟沉积物床面剪切力对泥沙夹带的作用。Tsai 等^[18]曾将 Rouse 发明的沉积物再悬浮振荡器应用于模拟美国五大湖沉积物再悬浮,近年来被广泛应用于河口、海岸以及湖泊沉积物再悬浮特征与污染物在沉积物-水界面间的迁移规律研究中^[19]。

该装置由一个直径 12.7 cm 的有机玻璃筒和变速马达驱动的振荡隔栅构成。通过马达旋转带动曲轴,使隔栅以 2.54 cm 的振幅在沉积物上方上下振动,用来模拟外力扰动条件,装置示意图见图 1。在试验过程中,通过调整马达转速改变隔栅的振荡频率,模拟不同外力条件下天然水体底部产生的切应力。Tsai 等^[18]利用 PES 装置对美国五大湖沉积物再悬浮进行模拟实验,发现浅水湖泊最为常见的底部切应力分布范围为 0.2~0.5 N/m²。通过不同切应力条件下水体中悬浮物浓度参数,计算模拟恒温振荡器的振荡频率与沉积物表面等价切应力间的经验关系,确定了恒温振荡器在 0.2、0.3、0.4 和 0.5 N/m² 的等价切应力水平下的振荡频率分别为 113、116、125 和 137 r/min,试验中所用到的 PES 振荡器与 Tsai 等进行率定的仪器规格完全一致。一些研究人员对华盛顿州普捷湾和纽约州哈地森河中沉积物均进行了 PES 扰动试验,结果表明 PES 的率定结果是可靠的,且浅水湖泊最为常见的底部切应力分布范围为 0~0.53 N/m²^[17,20]。

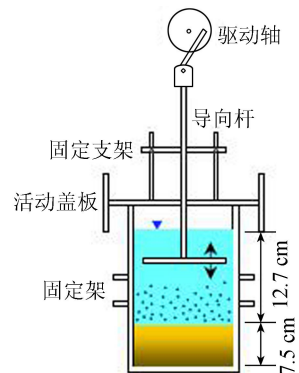


图 1 沉积物再悬浮振荡器示意图

1.2.2 吸附/脱附实验

1.2.2.1 吸附/脱附等温线试验

在 5 个 50 mL 具塞锥形瓶中加入 (2.000 0 ± 0.000 2) g 沉积物样品以及 20 mL 不同质量浓度

(10、20、40、80、100 mg/L) 的 BPA 溶液,加塞密封,在(25±1)℃不同水动力条件下(75、100、125 和 150 r/min)恒温振荡 24h(预实验表明 24 h 已达吸附平衡)至平衡,离心 10 min(6 000 r/min),取上层清液用紫外分光光度计在 276 nm 测定它们的平衡浓度。BPA 溶液中含有 0.005 mol/L 的 CaCl₂ 和 100 mg/L 的 NaN₃ 杀菌剂。为了保证实验的准确度,实验选用水土比 1:10,可以控制有机物吸附去除率为 20%~90%。所有实验均重复 3 次。空白实验表明,实验中有有机物的挥发、降解等损失小于 3%。因此根据初始浓度和平衡浓度的差计算有机物的吸附量。

解吸实验利用吸附等温线实验样品,待测定完上清液中 BPA 的浓度后,弃去上清液,并用称重法确定上清液质量,换算出上清液体积,加入等体积的 CaCl₂0.005 mol/L 和 NaN₃100 mg/L 配置成的电解质溶液替换进行解吸实验。在不同的切应力下 25℃恒温振荡至平衡(预实验表明 48h 解吸基本达到平衡)后,将第一次解吸后的样品悬浮液离心分离,上清液待测,利用称重法计算得到加入上清液质量,并换算得到体积,再加入等量的电解质溶液继续解吸,重复上述步骤,直到吸附量不再变化为止,共连续进行 3~5 次。

根据 BPA 的初始质量浓度(ρ_0)与平衡质量浓度(ρ_e)之差,可以计算出太湖底泥对 BPA 的吸附量(q)。

$$q = \frac{(\rho_0 - \rho_e)V}{W} \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: q 为吸附量,mg/g; ρ_0 和 ρ_e 分别为吸附前后溶液中 BPA 的质量浓度,mg/L; V 为吸附液的体积,mL; W 为沉积物的质量,g。

1.2.2.2 不同切应力作用下 BPA 在沉积物上的吸附实验

通过改变水浴恒温振荡器的转速,以此来模拟不同沉积物-水界面底部切应力对双酚 A 在沉积物上吸附的影响。实验过程与吸附动力学实验和吸附等温线实验类似,分别在 5 个具塞锥形瓶中加入 2 g 沉积物样品和 20 mL 不同质量浓度(10、20、40、80、100 mg/L)的双酚 A 溶液。分别在 75、100、125、150 r/min(对应等价切应力见表 1)振荡,每个振荡频率分别振荡 1 h、2 h、4 h、8 h 和 24 h,其他过程同 1.2.1。

表 1 水浴恒温振荡器转速与等价切应力的对应情况

序号	振荡频率/(r·min ⁻¹)	切应力/(N·m ⁻²)
1	0	0.00
2	75	0.15
3	100	0.22
4	125	0.40
5	150	0.51

2 结果与讨论

2.1 切应力与 BPA 吸附量的关系

2.1.1 吸附等温线

对不同切应力下 BPA 的平衡吸附量进行测定,实验结果表明,不同切应力下 BPA 的平衡质量浓度基本相同,数据之间的相对误差在 1%~4.9%,故认为切应力的改变不会影响 BPA 在沉积物上的平衡吸附量。

分别用线性模型和非线性的 Freundlich 模型对实验数据进行拟合,拟合结果见表 2。在线性模型中,主要是以分配作用为主,分配作用中分配系数 K_d 与 $\log K_{ow}$ 、溶解度 S_w 之间存在重要的关系; K_d 与 $\log K_{ow}$ 呈正相关,与溶质水溶解度 S_w 呈负相关。当溶质浓度较高时或 ρ_e/S_w 相当高时,其 K_d 也较高,此时才能判断吸附机理是否是分配作用。而双酚 A 水溶解度($S_w = 381$ mg/L)相对较高,则其分配系数较低,从而可以判断分配作用在沉积物吸附双酚 A 的过程中并非起到主要作用。

表 2 双酚 A 吸附/脱附等温线拟合结果

类型	线性模型 $q = K_d \rho_e$		Freundlich 模型 $q = K_f \rho_e^n$		
	K_d	R^2	K_f	n	R^2
吸附	6.196	0.9755	22.294	0.674	0.9960
脱附	10.345	0.9148	41.770	0.483	0.9915

注: K_f 为吸附速率常数。

此外,由表 2 中相关系数 R^2 可知,线性模型的拟合程度没有 Freundlich 模型的拟合程度高,因此选用 Freundlich 模型对双酚 A 单溶质吸附等温线进行拟合,其拟合曲线见图 2。从图 2 可知,双酚 A 在沉积物上的吸附等温线呈非线性,说明吸附过程以表面吸附为主,模型中指数因子 $n < 1$,从机理上分析,沉积物的表面吸附点位存在能量上的非均匀性,因此双酚 A 分子优先占据高能量点位,再依次占据较低能量的吸附点位。

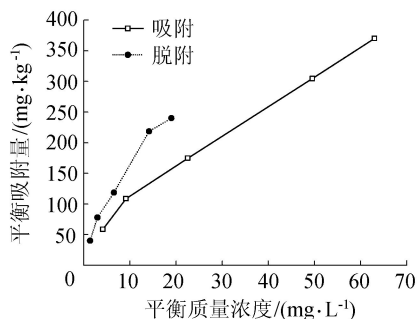


图 2 双酚 A 在沉积物上的吸附/脱附等温线

有机化合物在沉积物上的吸附主要受到沉积物组分的影响,线性吸附主要是由沉积物中的无机矿

物和无定型炭引起的;而沉积物中具有较大比表面积的炭黑(或称作孔隙填充相)时,即使其含量较低,也会造成吸附等温线偏离线性,引起非线性吸附。张长等^[20]在研究湘江沉积物上双酚 A 的吸附特征时,通过剥除沉积物炭黑物质,比较剥除炭黑前后双酚 A 的吸附等温线,发现双酚 A 在剥除炭黑的沉积物样品上呈现良好的线性吸附,但吸附容量大大降低,说明双酚 A 在沉积物上的吸附主要是由沉积物中的有机质引起的。

2.1.2 脱附等温线

双酚 A 在沉积物上的脱附等温线见图 2,利用线性模型和 Freundlich 模型对脱附等温线进行拟合,其拟合结果见表 2。由表 2 可见, Freundlich 模型对脱附等温线的拟合效果较好,相关系数 $R^2 > 0.99$ 。在实验中解吸达到平衡的时间为 48 h 左右,远比吸附平衡时间长,在经过 4 次解吸实验之后,仍有 47% ~ 75% 的双酚 A 吸附在沉积物上,其残留比例与初始质量比呈负相关(图 3),这与 Sander 等^[21]研究得出随初始质量浓度增加,吸附质对多环芳烃的亲性和性减弱,释放比例增加是一致的;张先明等^[22]在研究天然土壤中菲的解吸特征时,也得到了类似的结果。

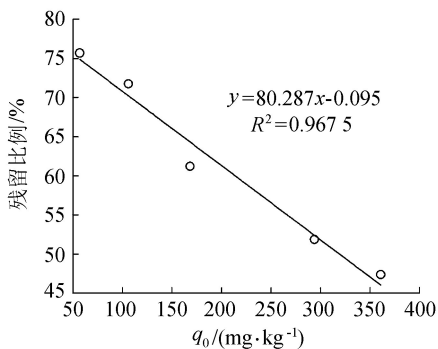


图 3 土壤双酚 A 初始质量比与残留比例对应关系

由图 2 可见,脱附等温线并没有与吸附等温线重合,脱附等温线的指数因子(n 值)小于吸附等温线的指数因子,说明双酚 A 的吸附-解吸存在滞后性,即吸附和解吸之间存在不可逆性,在解吸阶段,沉积物和双酚 A 之间的亲性和性强于吸附阶段,因而造成了解吸脱附的滞后性。关于解吸滞后性,有关学者给出了多种模型理论,有学者^[23-24]最先提出了“墨水瓶”理论来解释滞后性,该理论是根据多孔固体吸附剂对气体分子的吸附解吸现象而提出的,在吸附阶段,只有当压力能够使气体分子在微孔隙底部发生凝聚时,孔隙才能被填满;而在解吸阶段,只有当压力至能够使孔隙瓶颈处液面发生蒸发时,分子才能从孔隙中释放出来。简而言之,对于沉积物中的微孔隙,溶剂分子进去容易出来难。

目前较为普遍认为导致吸附-解吸滞后性的解释是孔变形理论。该理论认为当吸附质进入有机质玻璃相微孔隙中时,会转变为亚稳态并引起微孔发生不可逆形变,使解吸路径不同于吸附路径,导致解吸的滞后性^[25-26]。

2.2 切应力与 BPA 吸附速率的关系

2.2.1 吸附动力学模型

分别用 Lagrange 准一级和准二级动力学模型对 BPA 的吸附动力学数据进行拟合。

准一级动力学模型:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

准二级动力学模型:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

式中: q_t 为吸附 t 时的吸附量, mg/kg ; q_e 为最大吸附量, mg/kg ; k_1 为一级吸附速率常数, min^{-1} ; k_2 为二级吸附速率常数, $\text{kg}/(\text{mg} \cdot \text{min})$; t 为吸附时间, min 。

试验数据经准一级动力学模型拟合,其拟合结果较差,相关系数 R^2 为 0.73 ~ 0.91;准二级动力学模型拟合结果较好,相关系数 R^2 均在 0.98 以上,其拟合曲线见图 4。

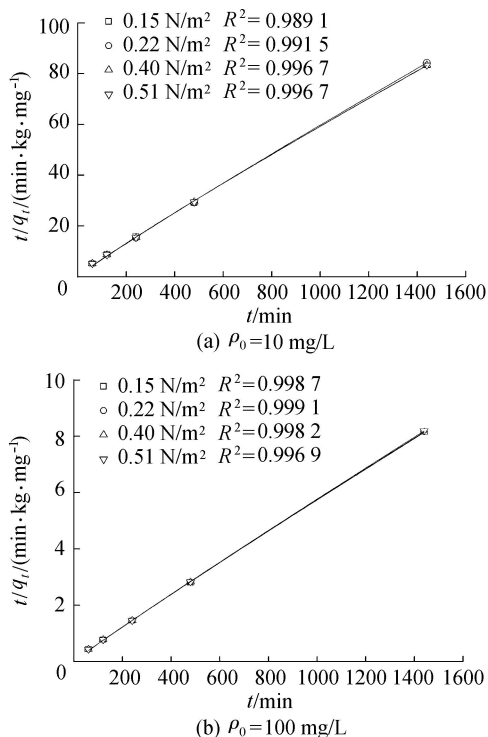


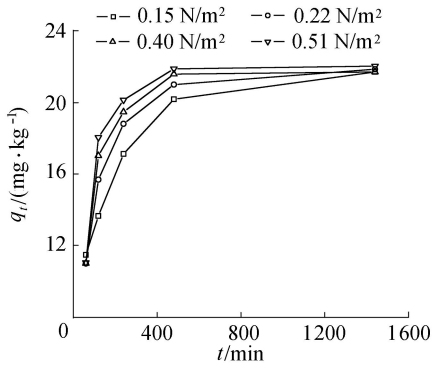
图 4 不同质量浓度双酚 A 的准二级吸附动力学曲线

由图 4 可知,准二级模型对双酚 A 在沉积物上的吸附动力学拟合程度很好,拟合得到的 q_e 与实测值较为接近,相关系数均在 0.989 以上。在同一初始质量浓度下,速率常数 k_2 随切应力的增大而增大,说明切应力的增大加快了沉积物对 BPA 的吸附速率。有研究表明,切应力的增加会促进上覆水中

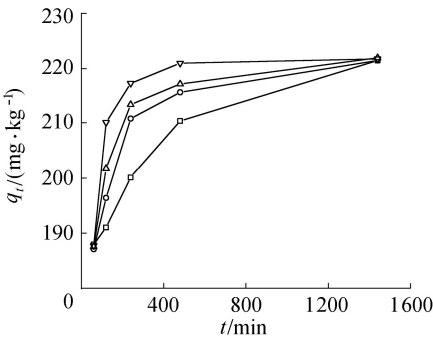
悬浮物浓度增加,沉积物再悬浮通量与切应力之间成指数上升关系^[27-28],因此,切应力的增加,强化了水体中颗粒态物质对水体中 BPA 的吸附作用,从而加快了沉积物对水体中 BPA 的吸附速率。

2.2.2 切应力对 BPA 吸附速率的影响

预实验表明 24 h 吸附均已达到平衡。因此,可将 24 h 内沉积物对 BPA 的吸附量作为 BPA 在沉积物上的最大吸附量。图 5 为不同质量浓度 BPA 在各切应力下的吸附平衡曲线。



(a) $\rho_0=10 \text{ mg/L}$



(b) $\rho_0=100 \text{ mg/L}$

图 5 不同质量浓度双酚 A 在不同切应力下的吸附平衡曲线

由图 5 可见,相同切应力下不同质量浓度的 BPA 在沉积物上的吸附速率变化趋势基本相同;不同切应力下的吸附平衡曲线大体相似,但仍存在差异。在吸附开始的 1 h 内,吸附量迅速增加,随着吸附逐渐趋于平衡,吸附速率逐渐减慢,这与关伟^[29]在研究中的发现基本相似。8 h 后吸附量达到最大吸附量的 95% 以上,并持续缓慢增加,24 h 时吸附量基本不再变化。在吸附开始 1 h 内吸附速率均迅速上升,曲线基本重合,随着吸附作用继续进行,高切应力(0.40 N/m² 和 0.51 N/m²)下的吸附速率明显高于低切应力(0.15 N/m² 和 0.22 N/m²)下的吸附速率。

BPA 吸附过程分为快速吸附阶段和慢速吸附阶段,其中 0~2 h 为快速吸附阶段,2~24 h 为慢速吸附阶段。为了更加明确切应力对 BPA 吸附速率变化的影响,参考孟昭福等^[30-31]研究有机修饰壤土

对苯酚的吸附动力学的方法,定义并计算以下参数,其中所有速度参数单位均为 mg/(kg·min)。

a. 定义 $V_{快}$ 为快速吸附阶段的平均吸附速率,其值为快速吸附阶段吸附曲线斜率; $V_{慢}$ 为慢速吸附阶段的平均吸附速率,其值为慢速吸附阶段吸附曲线斜率。

b. 定义 $t_{转}$ 为快速吸附阶段与慢速吸附阶段转折的时间, min。

结果表明,高切应力下 $t_{转}$ 的值明显小于低切应力下的值,约为低切应力下 $t_{转}$ 的 1/2,高切应力下 $V_{快}$ 却明显大于低切应力下的值,约为低切应力下的 2 倍;而慢速吸附阶段的平均吸附速率远小于快速吸附阶段,且不同切应力下的平均吸附速率相差较小,这说明切应力主要在快速吸附阶段发挥作用,快速吸附阶段的平均吸附速率与切应力呈正相关,切应力对慢速吸附阶段的影响很小;同时说明快速吸附在 BPA 的吸附过程中发挥主要的作用,而慢速吸附对总吸附量贡献很小。

3 结论

a. BPA 在沉积物上的平衡吸附量不随切应力的改变而改变,BPA 的吸附等温线呈非线性,利用 Freundlich 模型能够获得很好的拟合结果。

b. 不同切应力下 BPA 在沉积物上的吸附在 24h 均已达到平衡,BPA 在沉积物上的吸附主要以快速吸附为主,其吸附量占总吸附量的 90% 以上,慢速吸附对总的吸附进程的贡献很小。

c. 准二级动力学模型能够很好地对 BPA 在沉积物上的吸附动力学行为进行拟合。

d. 切应力的增加会使上覆水中悬浮物浓度增加,强化了颗粒态物质与水体中 BPA 的接触几率,加快了沉积物对水体中 BPA 的吸附速率。在快速吸附阶段切应力对其吸附速率影响较大,快速吸附阶段的平均吸附速率与切应力呈正相关,在慢速吸附阶段,切应力对其吸附速率的影响几乎可以忽略不计。

参考文献:

[1] VANDENBERG L N, MAFFINI M V, SONNENSCHNEIN C, et al. Bisphenol-A and the great divide: a review of controversies in the field of endocrine disruption [J]. Endocrine Reviews. 2009, 30(1): 75-95.
[2] MATTHEWS J B, TWOMEY K, ZACHAREWSKI T R. In vitro and in vivo interactions of bisphenol A and its metabolite, bisphenol A glucuronide, with estrogen receptors α and β [J]. Chemical Research in Toxicology, 2001, 14(2): 149-157.

- [3] OKA T, ADATI N, SHINKAI T, et al. Bisphenol A induces apoptosis in central neural cells during early development of *Xenopus laevis* [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2003, 312(4) : 877-882.
- [4] 郑西来, 张俊杰, 陈蕾. 再悬浮条件下沉积物内源磷迁移-转化机制研究进展 [J]. *水科学进展*, 2013, 24(2) : 287-295. (ZHENG Xilai, ZHANG Junjie, CHEN Lei. Advances in the study of migration and transformation mechanisms of endogenous phosphorus via sediment resuspension [J]. *Advances in Water Science*, 2013, 24(2) : 287-295. (in Chinese))
- [5] MARAGOU N C, LAMPI E N, THOMADIS N, et al. Determination of bisphenol A in milk by solid phase extraction and liquid chromatography-mass spectrometry [J]. *Journal of Chromatography A*, 2006, 1129(2) : 165-173.
- [6] BERKNER S, STRECK G, HERRMANN R. Development and validation of a method for determination of trace levels of alkylphenols and bisphenol A in atmospheric samples [J]. *Chemosphere*, 2004, 54(4) : 575-584.
- [7] FU P, KAWAMURA K. Ubiquity of bisphenol A in the atmosphere [J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158(10) : 3138-3143.
- [8] RODRIGUEZ-MOZAZ S, De ALDA M L, BARCELÓ D. Analysis of bisphenol A in natural waters by means of an optical immunosensor [J]. *Water Research*, 2005, 39(20) : 5071-5079.
- [9] COORS A, JONES P D, GIESY J P, et al. Removal of estrogenic activity from municipal waste landfill leachate assessed with a bioassay based on reporter gene expression [J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, 37(15) : 3430-3434.
- [10] 罗激葱, 秦伯强. 太湖波浪与湖流对沉积物再悬浮不同影响的研究 [J]. *水文*, 2003, 23(3) : 1-4. (LUO Liancong, QIN Boqiang. Comparison between wave effects and current effects on sediment resuspension in Lake Taihu [J]. *Hydrology*, 2003, 23(3) : 1-4. (in Chinese))
- [11] DOMAGALSKI J L, KUIVILA K M. Distributions of pesticides and organic contaminants between water and suspended sediment, San Francisco Bay, California [J]. *Estuaries*, 1993, 16(3) : 416-426.
- [12] SCHNEIDER A R, PORTER E T, BAKER J E. Polychlorinated biphenyl release from resuspended Hudson River sediment [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(4) : 1097-1103.
- [13] GALLARD H, LECLERCQ A, CROU? J. Chlorination of bisphenol A: kinetics and by-products formation [J]. *Chemosphere*, 2004, 56(5) : 465-473.
- [14] SUN W L, NI J R, LIU T T. Effect of sediment humic substances on sorption of selected endocrine disruptors [C] // *The Interactions Between Sediments and Water* Berlin ; Springer Netherlands, 2006 : 219-227.
- [15] 孙卫玲, 倪晋仁, 郝鹏鹏, 等. 泥沙对双酚 A 的吸附及其影响因素研究 [J]. *环境科学学报*, 2005, 24(6) : 975-981. (SUN Weiling, NI Jinren, HAO Pengpeng, et al. Sorption of bisphenol A on sediments [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 24(6) : 975-981. (in Chinese))
- [16] SUN W L, NI J R, O'BRIEN K C, et al. Adsorption of bisphenol A on sediments in the Yellow River [J]. *Water, Air & Soil Pollution*, 2005, 167(1/2/3/4) : 353-364.
- [17] ABDELRHMAN M A, PAUL J F, DAVIS W R. Analysis procedure for and application of a device for simulating sediment entrainment [J]. *Marine Geology*, 1996, 129(3) : 337-350.
- [18] TSAI C, LICK W. A portable device for measuring sediment resuspension [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 1986, 12(4) : 314-321.
- [19] LATIMER J S, DAVIS W R, KEITH D J. Mobilization of PAHs and PCBs from in-place contaminated marine sediments during simulated resuspension events [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, 49(4) : 577-595.
- [20] 张长, 曾光明, 余健, 等. 双酚 A 在湘江沉积物上的吸附特征 [J]. *中国环境科学*, 2006(5) : 550-554. (ZHANG Chang, ZENG Guangming, YU Jiang, et al. Sorption characteristics of bisphenol A on Xiangjiang River sediments [J]. *China Environmental Science*, 2006(5) : 550-554. (in Chinese))
- [21] SANDER M, PIGNATELLO J J. Characterization of charcoal adsorption sites for aromatic compounds: insights drawn from single-solute and bi-solute competitive experiments [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39(6) : 1606-1615.
- [22] 张先明, 潘波, 刘文新, 等. 天然土壤中菲的解吸行为特征研究 [J]. *环境科学*, 2007, 28(2) : 272-277. (ZHANG Xianming, PAN Bo, LIU Wenxin, et al. Desorption behavior characteristics of phenanthrene in natural soils [J]. *Environmental Science*, 2007, 28(2) : 272-277. (in Chinese))
- [23] HARNED H S, OWEN B B. *The physical chemistry of electrolytic solutions* [M]. Washington D C: American Chemical Society, 1950.
- [24] MCBAIN J W. An explanation of hysteresis in the hydration and dehydration of gels [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1935, 57(4) : 699-700.
- [25] HASSETT J J, MEANS J C, BANWART W L, et al. Sorption of dibenzothiophene by soils and sediments [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1980, 9(2) : 184-186.
- [26] LUTHY R G, AIKEN G R, BRUSSEAU M L, et al. Sequestration of hydrophobic organic contaminants by geosorbents [J]. *Environmental Science & Technology*,

1997,31(12): 3341-3347.

[27] 王鹏,王胜艳,郝少盼,等. 模拟扰动条件下太湖沉积物的再悬浮特征[J]. 水科学进展,2010(3): 399-404. (WANG Peng, WANG Shengyan, HAO Shaopan, et al. Characteristics of sediment resuspension in Taihu Lake under simulative disturbing sonditions [J]. Advances in Water Science,2010(3): 399-404. (in Chinese))

[28] 张彬,李涛,刘会娟,等. 模拟扰动条件下太湖水体悬浮物的结构特性[J]. 环境科学,2007,28(1): 70-74. (ZHANG Bin, LI Tao, LIU Huijuan, et al. Structural characteristics of suspended solids in Taihu Lake under simulative disturbing conditions [J]. Environmental Science,2007,28(1): 70-74. (in Chinese))

[29] 关伟. 几种酚类化合物在黄河水体沉积物上的吸附行为的初步研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学,2004.

[30] 孟昭福,邓晶,杨淑英,等. 有机修饰(楼)土对苯酚的吸附动力学[J]. 环境科学,2009(1): 191-199. (MENG Zhaofu, DENG Jing, YANG Shuying, et al. Adsorptiom kinetics of Phenol on organic modified Lou Soil [J]. Environmental Science, 2009 (1): 191-199. (in Chinese))

[31] 孟昭福,张一平. 有机修饰改性土对镉离子的吸附及温度效应[J]. 土壤学报,2005(2): 238-246. (MENG Zhaofu, ZHANG Yiping. Cd²⁺ adsorption of organic modified soils and its temprature effect [J]. Acat Pedologica Sinica, 2005(2): 238-246. (in Chinese))

(收稿日期:2014-12-03 编辑:彭桃英)

· 征订启事 ·

欢迎订阅 2016 年《环境监控与预警》杂志

《环境监控与预警》是经中华人民共和国新闻出版总署批准,由江苏省环境保护厅主管、江苏省环境监测中心主办、南京大学环境学院和江苏省环境监测协会共同协办的期刊。期刊面向全国公开发行人,国内统一刊号 CN32-1805/X,国际标准刊号 ISSN1674-6732。

本刊致力于传播和推广先进的环保科技成果,聚焦环境前沿科技,介绍国内外环境监测、环境预警、环境信息等领域的新技术、新成果、新发展,跟踪国家及地方的环境政策、环境标准的变化。读者对象主要是从事环境管理、环境监测、环境监察、环境信息、环境治理、环境科学研究及其他领域的环境工作者。常设栏目有:前沿评述、环境预警、监测技术、解析评价、监管新论等。

本刊为双月刊,大 16 开国际标准版,60 页,每逢双月 15 日出版。国内定价(含邮费)15 元/期,全年 90 元。

订阅方法:

1. 邮局订阅:邮发代号:28-414。

2. 自行订阅:汇款后将回执单传真或 e-mail 至以下联系人(回执单下载地址:<http://www.hjjkyyj.com>)。

联系人:朱滢

电话(传真):025-86575218

电子邮箱:hjjkyyj@163.com

汇款方式:

1. 银行汇款:江苏省环境监测协会(收款单位名称)

开户行:中行凤凰花园城支行 账号:523558192511

2. 邮局汇款:南京市凤凰西街 241 号《环境监控与预警》编辑部

朱滢(收款人) 邮编:210036

《环境监控与预警》编辑部

二〇一五年十月