

水溶性有机物对土壤吸附-解吸菲的影响

吴文铸, 占新华, 周立祥*

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要:以 Tween-80 为对照, 有机物料猪粪(pig manure, PM)、绿肥(green manure, GM)和污泥(sewage sludge, SS)为水溶性有机物(dissolved organic matter, DOM)的提取原料, 菲(Phe)为多环芳烃(PAHs)的代表, 采用序批试验研究了不同来源 DOM 对土壤吸附与解吸 Phe 的影响. 结果表明, 供试 DOM 均能明显降低 Phe 在土壤上的吸附. 在 DOM 试验浓度范围内($0 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 土壤对 Phe 的吸附量与 DOM 浓度之间呈极显著负直线相关关系($r_{\text{PM}} = -0.9888$, $r_{\text{SS}} = -0.9826$, $r_{\text{Tween-80}} = -0.9743$, $r_{\text{GM}} = -0.9905$). 菲的吸附等温线可用 Freundlich 方程定量描述. 供试 3 种 DOM 抑制土壤吸附 Phe 和促进土壤吸附 Phe 的解吸的强弱顺序为: 猪粪 DOM > 污泥 DOM > 绿肥 DOM. 本研究结果表明, 农业土壤中水溶性有机物能明显活化土壤中的 PAHs, 增强其在土壤中的移动性.

关键词: 菲; 水溶性有机物; 吸附; 解吸; 土壤

中图分类号: X53; X131.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)02-0267-05

Effect of Dissolved Organic Matter on Phenanthrene Sorption-Desorption in Soil System

WU Wen-zhu, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang

(College of Resource and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Batch experiments were conducted to investigate effect of dissolved organic matter (DOM) on the adsorption and desorption behavior of Phenanthrene (Phe) in a soil-water system. It was found that three natural DOM derived from pig manure (PM), sewage sludge (SS), green manure (GM) and a kind of surfactant Tween-80 can reduced sorption of Phenanthrene significantly onto the tested soil. Within the selected concentration of the Phenanthrene and DOM in this study, the sorption quantity has a negative-linear correlativity with the concentration of DOM ($r_{\text{PM}} = -0.9888$, $r_{\text{SS}} = -0.9826$, $r_{\text{Tween-80}} = -0.9743$, $r_{\text{GM}} = -0.9905$). The inhibition of Phenanthrene sorption caused by DOM of PM origin was more significant than that of SS origin and GM origin for the same soil. Phenanthrene sorption isotherm could be described well by the Freundlich equation. It implied that DOM can affect the environmental behaviors of Phenanthrene in soil.

Key words: Phe; DOM; sorption; desorption; soil

多环芳烃(PAHs)因具有较强的致癌和致突变性, 许多国家都将其列入优先污染物的黑名单或灰名单中. PAHs 在环境中的行为引起人们的极大关注. 土壤或沉积物对 PAHs 的吸附-解吸是影响 PAHs 在环境中的迁移性、生物可降解性、毒性及生物有效性的重要因素^[1]. 水溶性有机物(DOM)是环境中非常重要的一类活性有机质成分. 研究证实 DOM 具有表面活性^[2], 能充当有机、无机污染物的运移载体, 促进污染物在环境中的迁移^[3-5].

研究表明, DOM 的存在能促进土壤中 PAHs 的迁移, McCarthy 等报道了 PAHs 等疏水性有机污染物易与 DOM 的疏水性组分结合, 导致 PAHs 等有机污染物在环境中的迁移和扩散^[6], 并能加速其在土壤剖面中的垂直移动^[7]. 但目前关于 DOM 的研究大多是土壤和商业腐殖质, 而对于农业上常用有机物料如绿肥、猪粪和污水污泥等的 DOM 对 PAHs 迁移性的影响则尚鲜见报道. 有机肥的施用和有机固体废

物的土地利用是土壤和水体环境中 DOM 的重要来源. 因此, 开展农业上常用有机物料产生的 DOM 对 PAHs 在土壤中吸附-解吸的影响研究, 对于农产品的安全生产、PAHs 污染土壤的风险评价及修复和阻控 PAHs 对地表与地下水体的污染具有十分重要的意义.

本研究选用农业上常用有机物料——猪粪、绿肥和污水污泥作为 DOM 的提取材料, 以表面活性剂吐温(Tween-80)为对照, 以 Phe 为多环芳烃的代表, 通过室内序批试验研究不同来源 DOM 存在下土壤对 PAHs 的吸附和解吸, 以期阻控土壤中 PAHs 向作物、地表和地下水体的传输及 PAHs 污染土壤的修复和更科学地进行 PAHs 污染土壤的生态风险评估提供科学依据.

收稿日期: 2006-01-20; 修订日期: 2006-03-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(20377024, 40571073)

作者简介: 吴文铸(1983~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境化学, E-mail: kingwz@sohu.com

* 通讯联系人, E-mail: lxzhou@njau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 供试材料

(1)土壤 供试土壤为下蜀黄土发育的表层水稻土(0~20 cm),采自江苏省南京市江宁区秣陵镇,

其基本理化性质列于表 1.

(2)试剂 Tween-80(化学纯)、菲(分析纯,购自 Fluka 公司,纯度>97%)、甲醇(色谱纯)、NaN₃(化学纯)、KCl(化学纯).

(3)供试物料 绿肥(幼嫩蚕豆地上部, *Vicia*

表 1 供试土壤的理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of the tested soil

土壤	pH (H ₂ O)	有机碳 /g·kg ⁻¹	全 N(以 N 计) / g·kg ⁻¹	全 P(以 P ₂ O ₅ 计) /g·kg ⁻¹	CEC /cmol·kg ⁻¹	粘粒含量/% (<0.002 mm)	砂粒含量/% (>0.05 mm)
水稻土	6.7	19.4	1.90	1.30	20.2	51.4	9.5

faba L.)、猪粪(采自南京农业大学养殖场)和污泥(采自无锡芦村污水处理厂,为二级处理脱水干化污泥).

1.2 试验方法

1.2.1 Phe 分析方法

Waters600-2487 高效液相色谱仪分析,紫外检测器检测.色谱操作条件 Waters Nova-Pak-C18 液相色谱柱(3.9 mm×150 mm),流动相为甲醇/水=80/20(体积比);流速 1 mL·min⁻¹;柱温 30℃;进样量 20 μL.外标法定量.

1.2.2 有机物料中水溶性有机物(DOM)的提取

绿肥、猪粪和污泥分别采用 1:40、1:10、1:10 的固液比[物料干重(g):超纯水体积(mL)],在 25℃下 200 r·min⁻¹的水平恒温振荡机上振荡 16 h,然后于 4℃、12 000 r·min⁻¹下离心 20 min,上清液过 0.45 μm 的滤膜,滤液中的有机物即为 DOM.DOM 浓度采用 TOC 仪(TOC-5000A,岛津)测定水溶性有机碳(DOC)^[8]表示.

1.2.3 不同 DOM 浓度对土壤 Phe 吸附量的影响

称取若干份相同质量(0.25 g)的土壤于玻璃离心管中,依次移入 Phe 甲醇溶液(最终溶液中甲醇/水控制在 1%以内)、KCl 溶液、NaN₃ 溶液(防止微生物的降解)、DOM 或吐温溶液,调节土壤悬液 pH 与土壤 pH 一致,溶液的最终体积为 25 mL,其中 Phe 浓度为 1 000 μg·L⁻¹,KCl 为 0.01 mol·L⁻¹,NaN₃ 为 100 mg·L⁻¹,绿肥、猪粪、污泥 DOM 和吐温的浓度(以 C 计,下同)均分别为 0、50、100、150、200、300 mg·L⁻¹.置于水平恒温振荡机上以 180 r·min⁻¹,25℃黑暗中(防止菲的光解,下同)恒温振摇 2 h 后取下(预备试验得知 2 h 即达到平衡,下同).在离心机上以 3 500 r·min⁻¹ 的转速离心 15 min,上清液过 0.45 μm 滤膜后测定 Phe 浓度.

1.2.4 DOM 浓度对土壤 Phe 吸附等温线的影响

称取若干份相同质量(0.25 g)的土壤于一系列玻璃离心管中,分别移入系列浓度的 Phe 甲醇溶液,使得溶液中 Phe 浓度为 200、400、600、800、1 000 和 1 200 μg·L⁻¹.然后加入 KCl 溶液、NaN₃ 溶液、吐温及不同 DOM, KCl 和 NaN₃ 浓度同 1.2.3 节,DOM 和吐温浓度为 200 mg·L⁻¹.其余步骤同 1.2.3 节.

1.2.5 DOM 对土壤中 Phe 解吸的影响

称取若干份相同质量(0.25 g)的土壤于一系列玻璃离心管中,依次加入 Phe、KCl 和 NaN₃,使其浓度分别为 1 000 μg·L⁻¹,0.01 mol·L⁻¹与 100 mg·L⁻¹,溶液总体积为 25 mL.振荡至吸附平衡后,取出离心,弃去上清液,用超纯水洗涤残渣 3 次.土壤对 Phe 的吸附量用差减法求得.而后分别加入吐温或 DOM、KCl 及 NaN₃ 溶液,浓度分别为 100、0.01、100 mg·L⁻¹,总体积 25 mL.25℃恒温振摇 2 h 后取下(预备试验得知 2 h 即达到平衡),离心过滤后测上清液 Phe 的浓度.

统计分析采用方差分析中的新复极差测验和成对数据 *t*-检验^[9].

2 结果与讨论

2.1 不同 DOM 及浓度对土壤吸附 Phe 的影响

DOM 存在条件下,Phe 在土壤中吸附的变化如图 1 所示.由图 1 可知,DOM 和 Tween-80 的存在都抑制了 Phe 在土壤中的吸附,且对土壤吸附 Phe 的抑制作用大小随其浓度的增加而增大.在 DOM 浓度为 0~300 mg·L⁻¹ 范围内,添加猪粪 DOM 的处理 Phe 在土壤上的吸附量降幅为 18.3 μg·g⁻¹,达 20.9%;污泥 DOM 处理 Phe 吸附量降幅为 12.9 μg·g⁻¹,达 14.9%;Tween-80 与绿肥 DOM 处理的降幅分别为 8.5 μg·g⁻¹ (9.7%)和 7.9 μg·g⁻¹ (9.0%).由此可知

在试验浓度范围内,同浓度处理的 DOM 及 Tween 对 Phe 在土壤上吸附的抑制作用的大小顺序为:猪粪 DOM > 污泥 DOM > Tween-80 > 绿肥 DOM,且差异显著(成对数据 t 检验, $p < 0.05$).

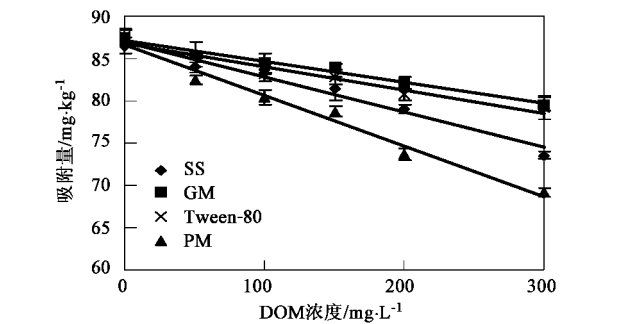


图 1 不同浓度的 DOM 和 Tween-80 对 Phe 在土壤中吸附量的影响
Fig.1 Changes of the adsorption of Phe on the soil with different DOM and Tween-80 concentrations

图 1 显示,Phe 在土壤上的吸附量与 DOM 浓度之间呈负线性相关关系.线性拟合的相关系数分别为猪粪 -0.9888 ,污泥 -0.9826 ,绿肥 -0.9905 ,吐温 -0.9743 ,相关关系极显著($|r| > r_{0.01,4} = 0.917$).回归直线的斜率可表征 DOM 抑制土壤吸附 Phe 作用的强度,即斜率越小或斜率的绝对值越大,该 DOM 的抑制作用越大.由回归直线的斜率也可得出 DOM 抑制 Phe 吸附的上述强弱顺序.如在 PAHs 污染的农田上施入这些有机物料,即可用所拟合的线性回归方程进行预测 PAHs 的活化程度及其环境风险.

加入 DOM 后土壤对 Phe 吸附减少的原因可能是加入的 DOM 与土壤相互作用,减少了土壤中 Phe 的吸附位点或与 Phe 通过 $\text{NH}-\pi$ 、 $\pi-\pi$ 、分配和疏水作用形成配合物促进了 Phe 在溶液中的溶解所致^[10]. Magge 等发现,在土壤等多孔介质中,浓度不足 $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 DOM 便可使 Phe 在土壤中的吸附系数降低 1.8 倍以上^[11]; Kögel-Knabner 等发现 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 DOM 可使苯并[a]芘的土壤解吸率提高 25 倍^[12].

DOM 是一类成分复杂的混合物,不同来源的 DOM,其性质与组成差异很大,这包括脂肪链和苯环含量、亲水/疏水性组分、分子量组成与分布以及元素组成比例(C、H、O、N、S)等. DOM 对有机化合物的亲和力大小很大程度上取决于 DOM 的分子量组成,尤其是它们的大分子组分^[11], DOM 的大分子组分主要包括结构尚未明确的复杂有机物,如高分子量的富里酸、胡敏酸、多糖、多肽等,疏水有机污染物与这部分 DOM 组分的结合类似于它们在高分

子有机化合物疏水区的分配吸附. DOM 中大分子量组分含量越高,其内部疏水区也越多,对疏水有机污染物的亲和力也越大^[13,14],同时有报道 DOM 中所含的大分子疏水性组分能与 PAHs 形成配合物^[15,16],一般 DOM 的大分子疏水性组分含量越高,与 PAHs 的配合能力越强,它对土壤 PAHs 吸附的抑制作用也越大.本试验所用的 3 种 DOM 的疏水性组分含量猪粪为 73.4%,污泥为 66.7%,绿肥为 45.7%,大分子组分(相对分子质量 > 8000)含量猪粪为 41.25%,污泥为 23.33%,绿肥为 7.36%,脂肪链和苯环含量的高低顺序为猪粪 DOM > 污泥 DOM > 绿肥 DOM^[17].这与图 1 所示各 DOM 对土壤 Phe 吸附的抑制作用大小顺序一致.因此,笔者认为 DOM 对 Phe 在土壤中吸附的影响大小是由它自身性质决定的. DOM 可通过分配、疏水等作用增强 PAHs 在土壤中的移动性,从而增大了土壤中 PAHs 的环境风险.

2.2 不同来源 DOM 对 Phe 吸附等温线的影响

不同来源 DOM 对 Phe 吸附等温线的影响见图 2. 无论 DOM 存在与否,Phe 在土壤上的吸附均表现为“S”形非线性吸附,而不是线性分配的过程.其总体趋势为随着平衡溶液中 Phe 浓度的增加,土壤 Phe 的吸附量也增加.在一定浓度范围内,吸附量的增加呈突跃形式. Huang 等^[18]也报道了类似的结果.

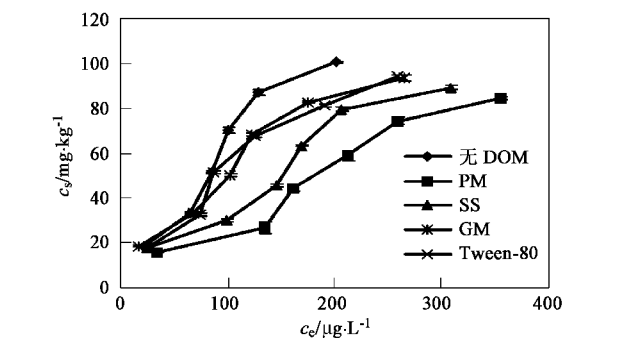


图 2 不同来源 DOM 和 Tween-80 对 Phe 吸附等温线的影响
Fig.2 Phe sorption isotherm of the soil with and without the addition of $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ DOC (GM, SS, PM, and Tween-80)

图 2 中各吸附等温线均经 Freundlich 方程($\lg c_s = \lg K_f + \frac{1}{n} \lg c_e$)拟合.其中, c_s 为单位质量土壤吸附的 Phe 量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), c_e 为平衡溶液浓度. K_f 和 $1/n$ 是常数, K_f 是与最大吸附量有关的常数,代表吸附容量(但不代表最大吸附量的真值). $1/n$ 反映吸附的非线性程度^[19].拟合结果列于表 2.

表 2 Freundlich 方程拟合 Phe 吸附等温线的参数¹⁾

Table 2 Freundlich constants for Phenanthrene sorption isotherms in soils in the present or absence of DOM

参数	Control	GM	PM	SS	Tween-80
K_f	382	223	177	195	275
$1/n$	0.815	0.631	0.755	0.686	0.742
R	0.977**	0.978**	0.952**	0.960**	0.978**

1) ** 表示相关关系极显著, 相关系数临界值 $r_{0.05,4} = 0.811$, $r_{0.01,4} = 0.917$

从表 2 可以看出, Freundlich 方程能较好地描述图 2 中 Phe 的吸附等温线. 表中 K_f 值和 $1/n$ 值也较好地反映出不同来源的 DOM 对土壤吸附 Phe 的影响. 据表中 K_f 值可知, 与对照比较, 猪粪、污泥和绿肥 DOM 及 Tween-80 分别使 Phe 吸附容量降低 53.8%、49.1%、41.7% 和 28.1%. 表中 $1/n$ 值基本在 Huang 等^[18]报道 0.65 ~ 0.90 范围之内. $1/n$ 值的结果说明 DOM 存在条件下, 尚能被土壤吸附的 Phe 与土壤的亲合力较对照强. 与对照相比, 加入 100 mg·L⁻¹ DOM 后土壤的 Phe 吸附量都有不同程度的降低, 且 Phe 吸附量降低随着平衡溶液中 Phe 浓度的增加而增大. 不同来源 DOM 对土壤吸附 Phe 的影响也不同, 其影响大小顺序为猪粪 DOM > 污泥 DOM > Tween-80 > 绿肥 DOM. 这与 2.1 的结果相一致.

2.3 不同来源 DOM 对土壤中 Phe 解吸的影响

从图 3 可以看出, 添加 DOM 能明显促进 Phe 从土壤上的解吸. 但 DOM 来源不同, 其解吸的效果也有所差异. 与对照相比, 添加猪粪 DOM、污泥 DOM、绿肥 DOM 和吐温后, Phe 的解吸率分别比对照提高了 13.3%、8.4%、3.8% 和 7.1%. 除绿肥 DOM 外, 其余处理均达显著性水平($p < 0.05$). DOM 对土壤 Phe 的解吸效果与其性质有关, 尤其是其分子结构和疏水性组分的含量. DOM 中大分子疏水性组分含量越高, 与 PAHs 的配合能力则越强, 其对土壤 Phe 的解

吸效果也越明显. 因此, DOM 中大分子以及疏水性馏分含量顺序就决定了试验所用的 3 种 DOM 和 Tween-80 对土壤吸附 Phe 的解吸的大小顺序: 猪粪 DOM > 污泥 DOM > Tween-80 > 绿肥 DOM.

3 结论

(1) 本试验所采用的 3 种 DOM 均能明显抑制 Phe 在土壤上的吸附. DOM 浓度越高, 对吸附作用的抑制越显著. DOM 浓度与 Phe 在土壤上的吸附量之间呈极显著的负直线相关关系.

(2) 3 种 DOM 对抑制土壤吸附 Phe 影响的大小顺序为: 猪粪 DOM > 污泥 DOM > 绿肥 DOM, 这与 DOM 中大分子疏水性组分含量、脂肪链和苯环含量的高低顺序一致.

(3) DOM 能促进土壤吸附 Phe 的解吸. DOM 中脂肪链与苯环所占比例越大, 疏水性组分含量越高, 其促进 Phe 解吸的能力也越强. 因此, 农业土壤中水溶性有机物能明显增强土壤中 PAHs 的活动性, 应引起注意.

参考文献:

[1] Kile D E, Chiou C T, Zhou H D, *et al.* Partition of nonpolar organic pollutants from water to soil and sediment organic matter [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1995, **19**: 1401 ~ 1406.

[2] 占新华, 万寅婧, 周立祥. 水溶性有机物对土壤中菲的生态毒性影响 [J]. *环境科学*, 2004, **25**(3): 120 ~ 124.

[3] Madhun Y A, Young J L, Freed V H. Binding of herbicide by water-soluble organic materials from soil [J]. *J. Environ. Qual.*, 1986, **15**: 64 ~ 68.

[4] 凌婉婷, 徐建民, 高彦征, 等. 溶解性有机质对土壤中有机污染物环境行为的影响 [J]. *应用生态学报*, 2004, **15**(2): 326 ~ 330.

[5] Jordan R N, Yonge D R, Hathhorn W E. Enhanced mobility of Pb in the presence of dissolved natural organic matter [J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 1997, **29**: 59 ~ 80.

[6] Mccarthy J F, Williams T M, Ling L, *et al.* Mobility of natural organic matter in a sandy aquifer [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1993, **27**: 667 ~ 676.

[7] Mccarthy J F. Interactions between polycyclic aromatic hydrocarbons and dissolved humic material: binding and dissociation [J]. *Environ. Toxicol. Chem.*, 1985, **4**: 511 ~ 521.

[8] Zhou L X, Wong J W C. Microbial decomposition of dissolved organic matter derived from organic wastes and its control during sorption experiment [J]. *J. Environ. Qual.*, 2000, **29**(6): 1852 ~ 1856.

[9] 南京农业大学. 田间试验和统计方法[M]. (第二版). 北京: 中国农业出版社, 1999. 63 ~ 233.

[10] 占新华. 农业土壤中水溶性有机物对多环芳烃(菲)环境行为影响及其机制研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2005.

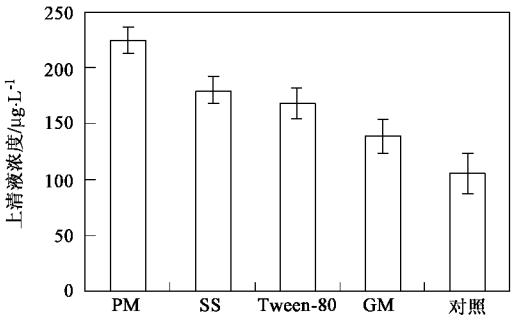


图 3 不同来源 DOM 和 Tween-80 对解吸的影响

Fig.3 Changes of the desorption of Phenanthrene on the soil with DOM and Tween-80 concentrations

- [11] Magee B R, Leonard W L, Lbmley A T, *et al.* Transport of dissolved organic molecules and their effect on the transport of phenanthrene in porous media [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1991, **25**: 323 ~ 331.
- [12] Kögel-Knabner I, Kai U T, Bernd R. Desorption of PAHs from soil in the presence of dissolved organic matter: effect of solution composition and aging [J]. *J. Environ. Qual.*, 2000, **29**: 906 ~ 916.
- [13] Chiou C T, Malcolm R L, Brinton T I, *et al.* Water solubility enhancement of some organic pollutants and pesticides by dissolved humic and fulvic acids [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1986, **20**: 502 ~ 508.
- [14] Raber B, Kögel K I, Stein C, *et al.* Partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons to dissolved organic matter from different soils [J]. *Chemosphere*, 1998, **36**(1): 79 ~ 97.
- [15] Weigand H, Kai U T. Flow and reactivity effects on dissolved organic matter transport in soil column [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1998, **62**: 1268 ~ 1274.
- [16] Totsche K U, Danzer J, Ingrid K. Dissolved organic matter-enhanced retention of PAHs in soil miscible displacement experiments [J]. *J. Environ. Qual.*, 1997, **26**: 1090 ~ 1100.
- [17] 占新华. 农业土壤中水溶性有机物对多环芳烃(菲)环境行为影响及其机制研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2005. 45 ~ 54.
- [18] Huang W, Young T M, Schlautman M A, *et al.* A distributed reactivity model for sorption by soils and sediments. 9. General isotherm nonlinearity and applicability of the dual reactive domain model [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1997, **31**: 1703 ~ 1710.
- [19] Miller M M, Wasik S P, Huang G L, *et al.* Relationships between octanol-water partition coefficient and aqueous solubility [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1985, **19**: 522 ~ 529.

欢迎订阅 2007 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想,理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国工程索引 EI;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA): Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA): Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS): Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2007 年为 16 开本,40 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号: CN11-1895/X 国际标准刊号: ISSN 0250-3301

国外发行代号: M 0205 国内邮发代号: 2-821

编辑部地址: 北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编: 100085

电话: 010-62941102; 传真: 010-62849343; E-mail: hjkx@rcees.ac.cn; 网址: www.hjkx.ac.cn