

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

沉积物老化过程中 DOC 含量变化 对菲吸附-解吸的影响

焦立新^{1,2}, 孟 伟^{1,2,*}, 郑丙辉^{1,2}, 张 雷², 秦延文²

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 中国环境科学研究院国家环境保护河口与海岸带环境重点实验室, 北京 100012)

摘要:采用批量实验的方法,研究了菲在渤海湾入海河流与河口沉积物上的吸附-解吸行为,并探讨了沉积物老化培养过程中溶解性有机碳(DOC)含量变化及其对菲在沉积物上吸附-解吸的影响。结果表明:① 蓟运河沉积物(RS)中 TOC、TN 和 DOC 含量均高于北塘口沉积物(ES);RS 和 ES 中 C/N 比分别为 12.30 和 12.00,DOC/TOC 百分比分别为 3.50% 和 2.70%。② 随着培养时间延长沉积物中 DOC 含量呈现降低趋势,其中 RS 中 DOC 含量比对照(CK)降低了 24.21%—99.49%,而 ES 中 DOC 含量则比 CK 降低了 18.71%—69.14%。③ 通过 Freundlich 模型拟合,菲在 RS 上吸附的 N 值大于 ES,并且随着培养时间延长均呈现下降趋势;菲在 RS 和 ES 上吸附的 K_f 值分别在 185—792、252—530 $\mu\text{g}^{1-n}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{L}^n$ 之间,老化沉积物分别比 CK 提高了 0.50—3.28 和 0.42—1.00 倍。④ 菲在 RS 和 ES 上的吸附-解吸均表现出明显的解吸滞后现象,并且随着溶液中菲浓度的增加,滞后系数(HI)呈现降低趋势。当 $C_e = 1\mu\text{g/L}$ 时,菲在 RS 和 ES 老化沉积物上的 HI 分别比 CK 提高了 1.1—8.3 和 0.7—10.4 倍。⑤ 沉积物中 DOC 含量与 K_f 值之间呈现显著负相关关系,而与 N 值之间呈现显著正相关关系。因此,沉积物老化过程中 DOC 含量的变化很可能在菲的吸附-解吸过程中扮演着重要作用。

关键词:菲;沉积物;吸附;解吸;DOC

Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing

JIAO Lixin^{1,2}, MENG Wei^{1,2,*}, ZHENG Binghui^{1,2}, ZHANG Lei², QIN Yanwen²

1 College of Water Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 State Environmental Protection Key Laboratory of Estuary and Coastal Environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012 China

Abstract: Dissolved organic matter (DOM) is a key factor that affects the environmental behavior of hydrophobic organic contaminants (HOCs). However, the relationship between the change of its DOM and the sorption capacity of HOCs during sediment ageing is unclear. The sorption and desorption of phenanthrene (Phe) on the sediments from the river and estuary flowing into sea around Bohai Bay were investigated in batch experiments in this investigation, and its change of dissolved organic carbon(DOC) content and its effects on sorption and desorption of phenanthrene during sediment ageing were also discussed. The results indicated that: ① The properties of the sediments from Jiyun river(RS) and Beitang estuary(ES) varied greatly, and the contents of TOC, TN and DOC of the sediments from RS were 13036, 1060 and 457 mg/kg, respectively, which were higher than that from ES which were 10754, 900 and 291 mg/kg, respectively. The ratio values of C and N of the sediments from RS and ES were 12.30 and 12.00, respectively, which indicated that organic matter of the two sediments, especially for RS sediment, has been highly influenced by anthropogenic sources. The ratio values of the DOC and TOC of the sediments from RS and ES were 3.50% and 2.70%, respectively. ② The DOC contents of the RS (ranged from 2.4 to 347 mg/kg) and ES(ranged from 90 to 236 mg/kg) sediments trended to decrease with the ageing time

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2007CB407306);中国环境科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2007KYYW08)

收稿日期:2009-12-21; **修订日期:**2010-03-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mengwei@craes.org.cn

prolonging. The DOC contents of the aged sediments from RS and ES decreased from 24.21% to 99.49% and from 18.71% to 69.14%, respectively. ③ The N values of Phe sorption on RS and ES samples ranged from 0.645 to 0.913 and from 0.757 to 0.872 according to the Freundlich model, respectively, which trended to decrease with the sediment ageing time increasing. The K_F values of Phe sorption on RS and ES samples ranged from 185 to 792 $\mu\text{g}^{1-n} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{L}^n$ and 252 to 530 $\mu\text{g}^{1-n} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{L}^n$ respectively, which trended to increase with the sediment ageing increasing. The K_F values of Phe sorption on the aged sediments from RS and ES increased from 0.50 to 3.28 and from 0.42 to 1.00 times, respectively. ④ The sorption and desorption curves of Phe on RS and ES showed obvious hysteresis, and their HI decreased with the increasing of Phe concentrations in solution. Their HI values of Phe sorption on the aged RS and ES sediments increased from 1.1 to 8.3 times and from 0.7 to 10.4 times when the Phe concentrations in solution was 1 $\mu\text{g}/\text{L}$. ⑤ There were significant positive correlations between the DOC contents and their N values, and the significant negative correlations were observed between the DOC contents and their K_F values. These results indicated that the change of DOC contents during sediments ageing possibly played an important role on their Phe sorption and desorption.

Key Words: phenanthrene; sorption; desorption; sediment; dissolve organic carbon

在水环境系统中,疏水性有机污染物(HOCs)在沉积物上的强烈吸附作用被认为是控制其最终归宿的主要物理化学过程^[1-3]。有机质作为沉积物中的主要组成部分通常在 HOCs 吸附-解吸过程中扮演着重要作用^[4-5],并且总有机碳(TOC)含量和有机质性质均是影响 HOCs 吸附-解吸行为的关键因素^[6-10]。沉积物中溶解性有机质(DOM)包含了大部分腐殖化程度较低的有机质组分,与其它有机质相比,其具有更高的水溶性和生物活性。尽管环境中 DOM 含量很少,仅占有机质总量中很小的一部分,但它们可影响到溶液中 HOCs 的浓度,制约其在水生系统中的迁移、降解以及生物毒性等化学和生物学行为^[11-14]。有研究报道,内源 DOM 可抑制 HOCs 在土壤上的吸附作用^[15]。但也有研究表明,DOM 的疏水性有机组分能够吸附在土壤有机质上,从而促进土壤对 HOCs 的进一步吸附^[16-17]。DOM 是最活跃的有机质组分,土壤/沉积物堆肥过程中 DOM 更容易受到微生物活动的影响而发生明显的化学和生物转化^[18-19]。很多研究表明,污泥堆肥显著降低了其水溶性有机碳(WSOC)含量,并且腐殖酸、富里酸含量和组成也发生了明显改变^[20-23]。尽管如此,国内外很少有关沉积物老化培养后 DOM 变化对 HOCs 吸附-解吸行为影响的报道。本文通过近似模拟沉积物环境,研究沉积物老化培养过程中溶解性有机碳含量变化对菲吸附-解吸行为的影响,对揭示 HOCs 在环境中的行为具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 仪器和化学试剂

高效液相色谱仪(Aglent Technologies, 1200)、GC/MS(GC-7890N/MS-5975, Agilent Technologies)、和全自动凯氏定氮仪。菲购置于 Alfa Aesar 公司,纯度为 98%,甲醇为色谱纯,NaN₃和氯化钾均为分析纯。

1.2 沉积物样品采集与制备

沉积物样品采自渤海湾蓟运河(RS, N39°7.018', E117°43.602')和北塘口(ES, N39°7.021', E117°43.602')。蓟运河为渤海湾北部主要入海河流之一,曾经是水陆运输的要冲和黄金水道。北塘口是蓟运河和永定新河的海河口,二者都是渤海陆源污染的主要通道。2007 年 5 月利用抓斗采泥器在蓟运河和北塘口 2 个站点采集表层 0—20 cm 的沉积物样品。每个站点沉积物样品采集后充分混合,用铝盒封装、冷藏并及时带回实验室冷冻干燥后备用。沉积物样品老化培养过程为:称取 20 g 过 18 目筛的沉积物干样置于 100 mL 玻璃离心瓶内,加入 40 mL 蒸馏水,用旋盖旋紧后在恒温箱内(28 °C, 避光)静态培养。分别在培养 0、30、120、300 d 后取样,所有沉积物样品真空冷冻干燥后过 100 目细筛置于干燥期内备用。

1.3 吸附-解吸实验

准确称取 0.1000 g 的菲,溶于甲醇(HPLC)后,用 100 mL 棕色容量瓶定容,用封口膜密封后在 4 °C 冰箱

内暗室储存。菲在沉积物上的吸附和解吸过程采用批量实验的方法。其详细过程为:用高浓度的菲-甲醇储备液和背景溶液配制成初始菲浓度为 0.02—1.0 mg/L 系列浓度的吸附液(溶液中甲醇含量控制在 1% 以内)。背景溶液 CaCl_2 (0.01 mol/L) 作为主要矿质成分, NaN_3 (200 mg/L) 溶液抑制微生物的活性。称取备用沉积物样品 0.2500 g 置于洁净的玻璃离心瓶内,准确加入不同浓度的吸附液。将所有离心瓶用具有聚四氟胶垫的瓶盖旋紧,一次性放入恒温摇床内(25 °C、200 r/min)避光振荡 3 d(预备实验表明所有沉积物样品在 3 d 内均已达到吸附和解吸平衡),之后 1500 r/min 离心 30 min。在高效液相色谱仪上测定平衡溶液中菲的浓度。加入菲的初始浓度和平衡溶液中菲浓度差减法得到菲在沉积物上的吸附量。解吸实验将上述过程达到平衡后的溶液离心后,用吸管小心移去上清液,尽量全部取出。在吸附实验前后,离心管用万分之一天平称重,差减法计算残留液质量,以此来估算残留液中菲对解吸实验的影响,其影响误差控制在 5% 以内。然后在离心瓶内加入与吸附实验等量的 CaCl_2 (0.01 mol/L) 和 NaN_3 (200 mg/L) 溶液,在恒温摇床内(25 °C、200 r/min)避光振荡 3 d。上清液中菲浓度为解吸实验平衡浓度。通过初始吸附量和解吸平衡浓度计算得到解吸后吸附量。

1.4 分析方法

平衡溶液中菲的浓度参考 Gao 等^[24]研究方法。沉积物样品中总有机碳(TOC)和总氮(TN)含量分别采用重铬酸钾外加热法和凯氏定氮法测定^[25];沉积物中 DOM 用去离子水提取(水:土为 10:1)。其详细过程为:称取冷冻干燥后的沉积物样品 5.00 g 置于离心管中,准确移入 50 mL 去离子水,在恒温摇床内(25 °C、200 r/min)振荡 16 h,12000 r/min 离心,上清液过 0.45 μm 滤膜,用 TOC 仪测定提取液中溶解性有机碳(DOC)浓度,通过计算得到沉积物中 DOC 含量。沉积物中多环芳烃(PAHs)含量用加速溶剂萃取仪萃取和 GC/MS 分析。主要步骤为:称取 2.000 g 备用样品与一定量的无水 Na_2SO_4 混合,置于加速溶剂萃取池内。所用萃取溶剂为正己烷/二氯甲烷混合液(1:1),萃取温度 125 °C,压力 10.3 MPa,每个样品萃取 5 min,循环 2 次,总萃取液体积为 70 mL。萃取液在旋转蒸发仪上(30 °C)浓缩至 1 mL,之后过装有无水硫酸钠和硅胶的层析柱净化,以正己烷预洗,再以正己烷/二氯甲烷混合液(1:1)洗脱,收集洗脱液在 30 °C 恒温旋转蒸发仪上浓缩定容至 0.5 mL。GC/MS 色谱柱为 HP-5MS 石英毛细管色谱柱(30 μm $\times$ 250 μm $\times$ 0.25 μm),进样口温度 250 °C,接口温度 290 °C,不分流进样。升温程序:初温 60 °C,保持 2 min,然后以 10 °C/min 速率升温到 120 °C,再以 4 °C/min 速率升温至 290 °C,保持 10 min。实验前做初始精密度和回收率实验,PAHs 回收率为 72%—96%。以上实验重复 3 次,所有数据均采用 SPSS16.0 和 SYSTAT10.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 沉积物的基本特征与培养过程中 DOC 含量变化

渤海湾入海河流(RS)和河口(ES)两个站点沉积物的基本理化特征存在明显差异。由表 1 可见,RS 样品中 TOC、TN 和 DOC 含量分别为 13040、1060、456 mg/kg,是 ES 样品中相应指标的 1.21、1.18、1.59 倍。可见,河流沉积物有机质含量明显高于河口沉积物。RS 和 ES 样品中 C/N 比率分别为 12.30 和 12.00,显著高于大多数海洋沉积物(C/N 在 6 至 10 之间)。RS 样品中 DOC/TOC 百分比(3.50%)显著高于 ES 样品(2.70%)。另外,RS 样品中菲含量较高,是 ES 样品中的 1.73 倍。上述结果表明,两个站点沉积物均受到人类源有机质输入的影响,相比而言,河流沉积物污染较为严重,并且沉积物有机质处于相对较低的成熟阶段。尽管如此,RS 和 ES 两个站点粒径分布无明显差异,均以粉砂粒为主,而粘粒和粗砂粒含量较低(图 2)。

表 1 蓟运河与北塘口沉积物的基本性质

Table 1 Characteristic of the sediments from RS and ES around Bohai Bay

样品	TOC/(mg/kg)	TN/(mg/kg)	DOC/(mg/kg)	Phe/(mg/kg)	C/N	DOC/TOC/%	pH
RS	13036	1060	457	3.20	12.30	3.50	7.6
ES	10754	900	291	1.85	12.00	2.70	7.9

总有机碳 TOC;总氮 TN;溶解性有机碳 DOC;菲 Phe;碳/氮比 C/N ratios;溶解性有机碳所占总有机碳含量的百分比 DOC/TOC;酸碱度 pH 值

RS 和 ES 中 DOC 含量随着沉积物老化培养时间延长呈现显著下降趋势(图 1)。由图 1 可见,RS 在培养 30、120、300 d 后 DOC 含量分别为 347、233、2.4 mg/kg,比 CK(456 mg/kg)降低了 24.2%—99.5%。而 ES 在培养 30、120、300 d 后 DOC 含量分别为 236、154、90 mg/kg,比 CK(290 mg/kg)降低了 18.7%—69.1%。可见,RS 在老化培养过程中 DOC 含量变化幅度较大。

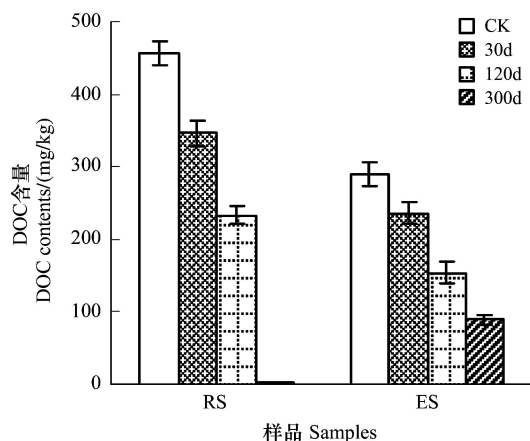


图 1 培养过程中 RS 和 ES 样品中 DOC 含量变化

Fig.1 The DOC contents of RS and ES samples during ageing

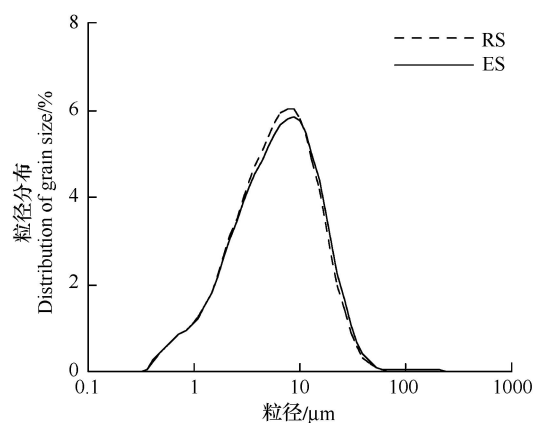


图 2 RS 和 ES 样品的粒径分布

Fig.2 Distribution of grain size in RS and ES samples

2.2 吸附等温线

疏水性有机化合物(HOCs)在土壤/沉积物上的吸附等温线通常可用 Freundlich 模型来描述:

$$q_e = K_F C_e^N \quad (1)$$

式(1)中, q_e 是系统达到平衡时溶质吸附在单位吸附剂上的吸附量(mg/kg); C_e 是溶质在平衡溶液中的浓度($\mu\text{g/L}$); K_F 是 Freundlich 模型中与吸附能力和吸附强度有关的参数($\mu\text{g}^{1-N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{L}^N$); N 是 Freundlich 指数因子,指相对于线性等温线的偏离程度。图 3 和表 2 分别显示了菲在 RS 和 ES 及老化培养后样品上的吸附等温线和相应的 Freundlich 方程拟合参数。由表 2 可见,菲在 RS 和 ES 对照样品上吸附的 Freundlich 指数 N 值分别为 0.913 和 0.872,均表现出明显的非线性吸附特征。随着沉积物培养时间延长,菲在 RS 和 ES 样品上吸附的非线性程度均明显增大。其中,菲在 RS 老化样品上吸附的 N 值变化在 0.645—0.817 之间,而在 ES 老化样品上吸附的 N 值变化在 0.757—0.813 之间。菲在沉积物上的吸附能力因子 K_F 值因沉积物类型和老化培养时间长短有关。相比较而言,菲在 RS 对照样品上吸附的 K_F 值($185 \mu\text{g}^{1-N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{L}^N$)显著低于 ES 对照样品($252 \mu\text{g}^{1-N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{L}^N$)。随着沉积物培养时间的延长,菲在 RS 和 ES 样品上吸附的 K_F 值均呈现增加趋势。在沉积物培养 30、120、300 d 后,菲在 RS 样品上吸附的 K_F 值分别比 CK 样品提高了 0.20、1.70、3.28 倍,而 ES 样品则分别提高了 0.41、0.74、1.00 倍。可见,不同类型沉积物老化培养后对菲的吸附能力均显著增强,并且 RS 样品表现更为明显。

2.3 解吸等温线

菲在 RS 和 ES 及其老化培养后样品上的吸附-解吸等温线能用 Freundlich 方程很好的拟合(图 2、表 2)。与等温吸附过程相比,菲在沉积物上解吸的非线性程度和 K_F 值均较大,并且吸附-解吸过程存在明显的滞后现象。Huang 等^[26]提出了滞后系数 HI (Hysteresis indices):

$$HI = \frac{q_e^D - q_e^S}{q_e^S} \Big|_{T, C_e} \quad (2)$$

式(2)中, q_e^S 和 q_e^D 分别为吸附和解吸过程中,一定温度(T)和浓度(C_e)下,吸附质在土壤/沉积物上的浓度。在 25 °C 和 C_e 为 1、10 和 100 $\mu\text{g/L}$ 条件下计算了菲的滞后系数 HI 值(表 2)。由表 2 可见,不同沉积物样品的 HI 值均随着溶液中菲浓度的增加呈现降低趋势。以 C_e 为 1 $\mu\text{g/L}$ 为例,菲在 ES 对照样品上吸附-解吸的

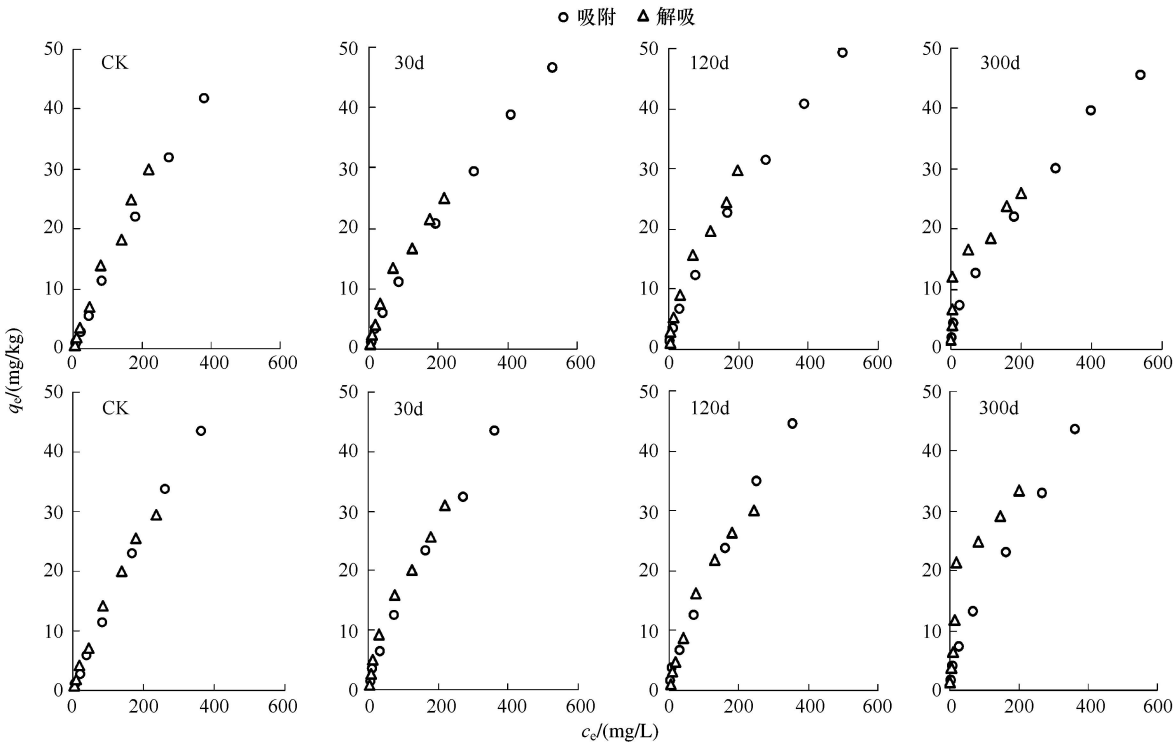


图3 菲在沉积物上的吸附-解吸等温线

Fig.3 Sorption and desorption isotherm of phenanthrene on sediments
上:RS 样品; 下:ES 样品

HI 值为 0.651,显著高于 RS 对照样品(0.453)。沉积物经过老化培养后解吸滞后现象更加明显,其中菲在 ES 老化样品上吸附-解吸的 *HI* 比对照样品提高了 1.00—10.37 倍,而在 RS 老化样品上吸附-解吸的 *HI* 直比对照样品提高了 1.12—8.29 倍。

表2 菲在沉积物上的吸附-解吸等温式参数

Table 2 Sorption and desorption isotherm parameters of phenanthrene on sediments										
样品 Samples	时间 Time	吸附等温线 Sorption isotherm			解吸等温线 Desorption isotherm			滞后系数 Hysteresis indices		
		K_F	N	R^2	K_F	N	R^2	$C_e = 1$ /($\mu\text{g/L}$)	$C_e = 10$ /($\mu\text{g/L}$)	$C_e = 100$ /($\mu\text{g/L}$)
RS	CK	185 (21) ¹⁾	0.913 (0.019)	0.999	269 (79)	0.875 (0.057)	0.992	0.453 (0.115)	0.330 (0.103)	0.218 (0.045)
	30d	278 (27)	0.817 (0.016)	0.999	710 (140)	0.663 (0.039)	0.992	1.556 (0.324)	0.790 (0.236)	0.254 (0.052)
	60d	499 (29)	0.738 (0.010)	1.000	979 (180)	0.639 (0.037)	0.993	0.960 (0.285)	0.560 (0.219)	0.242 (0.022)
	90d	792 (132)	0.645 (0.028)	0.996	4125 (1108)	0.343 (0.057)	0.924	4.210 (0.896)	1.597 (0.343)	0.294 (0.039)
	300d	440 (38)	0.787 (0.015)	0.999	928 (180)	0.641 (0.038)	0.992	1.109 (0.151)	0.506 (0.105)	0.076 (0.008)
ES	CK	252 (46)	0.872 (0.031)	0.997	416 (71)	0.786 (0.033)	0.997	0.651 (0.129)	0.354 (0.056)	0.111 (0.009)
	30d	356 (48)	0.813 (0.023)	0.998	819 (167)	0.670 (0.040)	0.992	1.304 (0.236)	0.659 (0.098)	0.195 (0.046)
	60d	440 (38)	0.787 (0.015)	0.999	928 (180)	0.641 (0.038)	0.992	1.109 (0.151)	0.506 (0.105)	0.076 (0.008)
	90d	503 (94)	0.757 (0.032)	0.997	4229 (1428)	0.395 (0.072)	0.900	7.404 (1.335)	2.659 (0.673)	0.593 (0.089)
	300d	440 (38)	0.787 (0.015)	0.999	928 (180)	0.641 (0.038)	0.992	1.109 (0.151)	0.506 (0.105)	0.076 (0.008)

1) 标准偏差

3 讨论

微生物作用下土壤/沉积物有机质可发生各种化学和生物转化过程^[18-20]。大多数微生物主要利用水溶性有机物,因此 DOM 作为土壤/沉积物中最活跃的有机质组分在培养过程中更容易被微生物降解而消耗。已有大量研究证明,在污泥堆肥过程中水溶性有机碳(WEOC)含量始终呈现下降趋势^[20-23],本研究中也得到了一致的结论。即随着沉积物老化培养时间的延长,RS 和 ES 样品中 DOC 含量显著降低(图 1),表明培养过程中微生物活动大量消耗了沉积物中 DOM,从而导致沉积物逐渐成熟老化。尽管如此,RS 样品 DOC 含量下降幅度显著高于 ES,并且在培养 300 d 后 DOC 含量几乎减小到 0,而 ES 样品中仍具有较高的 DOC 含量。这主要与两种类型沉积物样品存在的环境特点和 DOM 的性质有关。RS 沉积物样品采自入海河流,由于频繁受到人类活动的影响,沉积物中输入了大量的新鲜有机质,从而有利于微生物降解。而 ES 样品采样点位于河流入海口,受人类活动干扰相对较少。因此 ES 沉积物样品腐殖化程度较高,并且很可能包含了较多的具有复杂大分子结构的 DOM,培养过程中很难被微生物利用。除此之外,由于 ES 样品中盐度的存在,DOM 的微生物有效性很可能会降低,其机理需要在进一步研究中探讨。

有机质是控制 HOCs 在土壤/沉积物上吸附-解吸作用的主导因素,不仅取决于土壤/沉积物中 TOC 含量,还与有机质组成和性质有关^[2,5-9]。前人研究表明,HOCs 在土壤/沉积物无定形有机质上的吸附为线性分配作用,而在凝聚态有机质上吸附呈现出明显的非线性特征^[26-29]。也有研究发现,凝聚态有机质比无定形有机质具有更强的吸附 HOCs 的能力^[30-31]。本研究中发现,尽管 RS 样品中具有最高的 TOC 含量,但其对菲吸附的 K_F 值则低于 ES 样品,并且 ES 样品对菲吸附的非线性更明显。这很可能与 RS 样品中较高的 DOC 含量和 DOC/TOC 比率有关(表 1)。溶解性有机质(DOM)作为有机质组成的一部分显著影响着 HOCs 在土壤/沉积物上的吸附行为。有研究报道,在高 HOCs 污染环境中 DOM 提高了 HOCs 的水溶性和迁移能力^[16-17]。也有研究发现,内源 DOM 抑制了菲在土壤上的吸附作用,而外源 DOM 对菲吸附的影响与 DOC 含量有关^[32]。Magge 等^[33]发现,在土壤等多孔介质中 60 mg/L 的 DOM 可使菲在土壤中的吸附系数降低 1.8 倍。另外,也有研究发现污泥堆肥过程中对菲的吸附能力和非线性增强也与 DOM 变化有关^[34]。本文进一步研究发现,随着沉积物老化培养时间延长,其对菲的吸附能力和非线性均显著增强,并且沉积物中 DOC 含量与 K_F 值呈现显著负相关关系,而与 N 值呈现显著正相关关系(图 4)。表明老化培养过程中沉积物 DOC 含量降低很可能是导致其对菲吸附能力增强的重要因素之一。但也有研究发现,污泥堆肥过程中腐殖酸类物质的性质和元素组成均发生了明显变化^[17,35]。因此,在培养过程中沉积物对菲吸附能力的增强也可能与沉积物组成和性质的改变有关,其机理有待进一步研究。

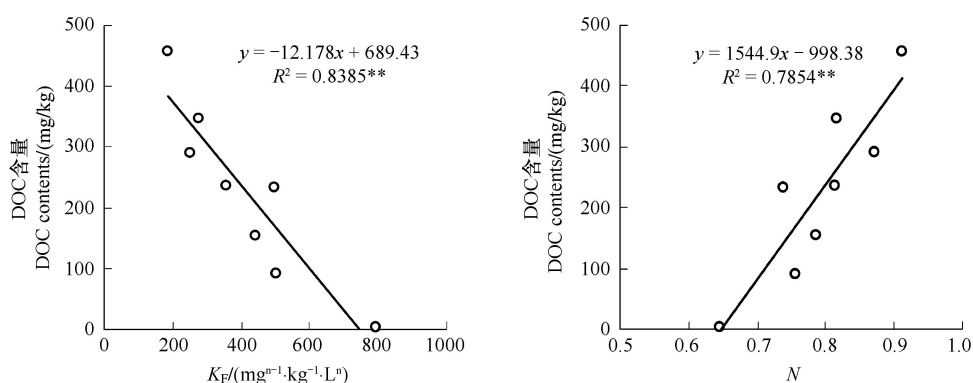


图 4 吸附等温式参数(K_F 和 N)与 DOC 含量之间的相关关系

Fig. 4 Correlations between sorption parameters (K_F and N) and DOC contents

* * 表示相关极显著

HOCs 在土壤/沉积物有机质“软碳”区域的吸附过程主要是线性分配作用,而在有机质“硬碳”区域的吸

附过程既包括线性分配作用同时也包括在有机质孔隙中“填充”作用^[26-27, 29]。实验中观测到的解吸滞后现象主要是溶质分子在吸附剂表面发生分子重排或向内部扩散而被锁定,从而导致不可逆吸附,或者是填充到有有机质“硬质”孔隙的部分溶质分子的慢解吸作用^[36]。本研究中两种类型沉积物样品对菲的吸附均存在吸附-解吸滞后现象,并且 ES 的解吸滞后系数 HI 值显著高于 RS, 主要与 ES 沉积物有机质具有较高的成熟度有关。沉积物老化培养后对菲吸附-解吸的 HI 值比 CK 样品显著增加,并且老化培养 300 d 后的沉积物样品对菲吸附-解吸的 HI 值显著高于培养时间较短的沉积物。可见,沉积物有机质的老化程度对菲吸附-解吸滞后现象影响较大。通常土壤/沉积物中有机质“老化”时间越长,则有机质的聚合程度越高,腐殖化程度越高,吸附-解吸过程中的滞后现象越明显。相反,如果土壤/沉积物处于有机质腐殖化的早期或者包含了相当一部分无定形结构的橡胶态有机质,则吸附-解吸过程中的滞后现象越弱^[7]。

References:

- [1] Xiao B H, Yu Z Q, Huang W L, Song J Z, Peng P A. Black carbon and kerogen in soils and sediments. 2. Their roles in equilibrium sorption of less-polar organic pollutants. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38 (22): 5842-5852.
- [2] Zhou Y M, Liu R X, Tang H X. Sorption interaction of phenanthrene with soil and sediment of different particle sizes and in various CaCl_2 solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, 270(1): 37-46.
- [3] Cornelissen G, Gustafsson Ö. Sorption of phenanthrene to environmental black carbon in sediment with and without organic matter and native sorbates. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(1): 148-155.
- [4] Chiou C T, Peters L J, Freed V H. A physical concept of soil-water equilibria for nonionic organic compounds. *Science*, 1979, 206 (4420): 831-832.
- [5] Chiou C T, Porter P E, Schmedding D W. Partition equilibria of nonionic organic compounds between soil organic matter and water. *Environmental Science & Technology*, 1983, 17(4): 227-231.
- [6] Carmo A M, Hundal L S, Thompson M L. Sorption of hydrophobic organic compounds by soil materials: application of unit equivalent Freundlich coefficients. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34(20): 4363-4369.
- [7] Liang C S, Dang Z, Liu C Q, Huang W L. Study on sorption-desorption equilibria and hysteresis of phenanthrene by soil and sediment. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(3): 329-335.
- [8] Karapanagioti H K, Kleinedam S, Sabatini D A. Impacts of Heterogeneous organic matter on phenanthrene sorption: equilibrium and kinetic studies with aquifer material. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34(23): 406-414.
- [9] Karapanagioti H K, Childs J, Sabatini D A. Impacts of heterogeneous organic matter on phenanthrene sorption: Different soil and sediment samples. *Environmental Science & Technology*, 2001, 35 (23): 4684-4690.
- [10] Karapanagioti H K, Sabatini D A. Impacts of heterogeneous organic matter on phenanthrene sorption: Different aquifer depths. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34(12): 2453-2460.
- [11] Weissenfels W D, Klewer H J, Langhoff J. Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by soil particles: influence on biodegradability and biotoxicity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1992, 36(5): 689-696.
- [12] Moon J W, Goltz M N, Ahn K H, Park J W. Dissolved organic matter effects on the performance of a barrier to polycyclic aromatic hydrocarbon transport by groundwater. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2003, 60(3/4): 307-326.
- [13] Wu W Z, Zhan X H, Zhou L X. Effect of dissolved organic matter on phenanthrene sorption-desorption in soil system. *Environmental Science*, 2007, 28(2): 267-271.
- [14] Taylor E, Cook B B, Tarr M A. Dissolved organic matter inhibition of sonochemical degradation of aqueous polycyclic aromatic hydrocarbons. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1999, 6(4): 175-183.
- [15] Xiong W, Ling W T, Gao Y Z, Li Q L, Dai J Y. Effects of dissolved organic matter on phenanthrene adsorption by soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (2): 431-435.
- [16] Kile D E, Chiou C T. Water solubility enhancements of DDT and trichlorobenzene by some surfactants below and above the critical micelle concentration. *Environmental Science & Technology*, 1989, 23: 832-838.
- [17] McGinley P M, Katz L E, Weber W J. Competitive sorption and displacement of hydrophobic organic contaminants in saturated subsurface soil systems. *Water Resources Research*, 1996, 32(12): 3571-3577.
- [18] Said-Pullicino D, Kaiser K, Guggenberger G, Gigliotti G. Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: Distribution between stable and labile organic matter pools. *Chemosphere*, 2007, 66(11): 2166-2176.

- [19] Said-Pullicino D, Erriquens F G, Gigliotti G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, 2007, 98(9): 1822-1831.
- [20] Bernal M P, Paredes C, Sánchez-Monedero M A, Cegarra J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 1998, 63: 91-99.
- [21] Chefetz B, Hatcher P G, Hadar Y, Hatcher P G. Characterization of dissolved organic matter extracted from composted municipal solid waste. *Soil Science Society of American Journal*, 1998, 62: 326-332.
- [22] Zmora-Nahum S, Markovitch O, Tarchitzky J, Chen Y N. Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(11): 2109-2116.
- [23] Marhuenda-Egea F C, Martínez-Sabater E, Jordá J, Moral R, Bustamante M A, Paredes C, Pérez-Murcia M D. Dissolved organic matter fractions formed during composting of winery and distillery residues: Evaluation of the process by fluorescence excitation-emission matrix. *Chemosphere*, 2007, 68(2): 301-309.
- [24] Gao Y Z, Xiong W, Ling W T, Xu J M. Sorption of phenanthrene by soils contaminated with heavy metals. *Chemosphere*, 2006, 65(8): 1355-1361.
- [25] Lu R K. *Agricultural and Chemical Analysis for Soil*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1999: 106-150.
- [26] Huang W L, Weber W J. Distributed reactivity model for sorption by soils and sediments. 10. Relationships between desorption hysteresis and the chemical characteristics of organic domains. *Environmental Science & Technology*, 1997, 31(9): 2562-2569.
- [27] Weber W J, McGinley P M, Katz L E. A distributed reactivity model for sorption by soils and sediments. 1. Conceptual basis and equilibrium assessments. *Environmental Science & Technology*, 1992, 26(10): 1955-1962.
- [28] Xing B S, Pignatello J J. Dual-mode sorption of low-polarity compounds in glassy poly(vinyl chloride) and soil organic matter. *Environmental Science & Technology*, 1997, 30(1): 1-11.
- [29] Huang W, Young T M, Schlautman M A, Yu H, Weber W J. A distributed reactivity model for sorption by soils and sediments. 9. General isotherm nonlinearity and applicability of the dual reactive domain model. *Environmental Science & Technology*, 1997, 31(6): 1703-1710.
- [30] Sun K, Ran Y, Yang Y, Xing B S. Sorption of phenanthrene by nonhydrolyzable organic matter from different size sediments. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(6): 1961-1966.
- [31] Ran Y, Sun K, Yang Y, Xing B S, Eddy Z. Strong sorption of phenanthrene by condensed organic matter in soils and sediments. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(11): 3952-3958.
- [32] Gao Y Z, Xiong W, Ling W T, Wang X R, Li Q L. Impact of exotic and inherent dissolved organic matter on sorption of phenanthrene by soils. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 140(1/2): 138-144.
- [33] Magee B R, Lion L W, Lemley A T. Transport of dissolved organic macromolecules and their effect on the transport of phenanthrene in porous media. *Environmental Science & Technology*, 1991, 25(2): 323-331.
- [34] Oleszczuk P. Sorption of phenanthrene by sewage sludge during composting in relation to potentially bioavailable contaminant content. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 161(2/3): 1330-1337.
- [35] Plaza C, Xing B S, Fernández J M. Binding of polycyclic aromatic hydrocarbons by humic acids formed during composting. *Environmental Pollution*, 2009, 157(1): 257-263.
- [36] Huang W L, Yu H, Weber W J. Hysteresis in the sorption and desorption of hydrophobic organic contaminants by soils and sediments. 1. A comparative analysis of experimental protocols. *Journal of Contaminant Hydrology*, 1998, 31(1/2): 129-148.

参考文献:

- [7] 梁重山, 党志, 刘丛强, 黄伟林. 菲在土壤/沉积物上的吸附-解吸过程及滞后现象的研究. *土壤学报*, 2004, 41(3): 329-335.
- [13] 吴文铸, 占新华, 周立祥. 水溶性有机物对土壤吸附-解吸菲的影响. *环境科学*, 2007, 28(2): 267-271.
- [15] 熊巍, 凌婉婷, 高彦征, 李秋玲, 代静玉. 水溶性有机质对土壤吸附菲的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 431-435.
- [25] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 106-150.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许可证	京海工商广字第 8013 号		

