

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM_{2.5} 郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小红 (817)

北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究 林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷 (826)

气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔 (835)

密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析 路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明 (842)

冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量 何真, 陆小兰, 杨桂朋 (849)

2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化 李绪录, 周毅频, 夏华永 (857)

渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析 周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文 (864)

青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化 王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼 (874)

漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选 徐华山, 徐宗学, 刘品 (882)

面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法 邹锐, 周环, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成 (892)

九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献 罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙 (900)

修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影 (907)

去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究 李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍 (914)

北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究 李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽 (919)

城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险 温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲 (927)

城市景观娱乐水体微生物风险评价 孙傅, 沙婧, 张一帆, 刘彦华 (933)

模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究 李伟, 赵晶, 余健, 任文辉 (943)

膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究 范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军 (950)

γ -Al₂O₃负载磷钨酸催化强化电化学法处理水中酸性大红3R的研究 岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛 (955)

活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学 杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可 (962)

ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究 杨波, 钟启俊, 李方, 田晴 (968)

O₃-BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律 余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军 (974)

规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究 王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥 (979)

连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究 牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹 (986)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅰ)——模型的建立 张超, 陈银广 (993)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅱ)——动力学模拟 张超, 陈银广 (998)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅲ)——模型的应用 张超, 陈银广 (1004)

三峡水库两条支流水-气界面CO₂、CH₄通量比较初探 李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔 (1008)

不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素 陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇 (1017)

黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素 周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利 (1026)

层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估 姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强 (1034)

海州湾滩涂重金属污染的历史记录 张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威 (1044)

草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价 张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波 (1055)

大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析 程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅 (1062)

典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估 李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶 (1067)

典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估 李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏 (1076)

城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究 陈秀端, 卢新卫, 杨光 (1086)

典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义 龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲 (1094)

生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究 张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水 (1101)

三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究 孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉 (1107)

Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素 钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西 (1114)

新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险 马子龙, 毛潇萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强 (1120)

青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源 何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花 (1129)

太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布 马召辉, 金军, 元奎奎, 王英, 姜霞, 何松浩, 李明圆 (1136)

典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析 刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍 (1142)

柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性 谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明 (1150)

机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究 牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强 (1156)

污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较 崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶 (1161)

固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响 刘敬勇, 孙水裕, 陈涛 (1166)

铸造废砂的环境毒性研究 张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰 (1174)

Cr⁶⁺生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征 侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强 (1181)

反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析 于皓, 王爱杰, 陈川 (1190)

农业废物好氧堆肥中环境因子对*nirK*、*nirS*和*nosZ*数量的影响 胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明 (1196)

蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应 林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲 (1204)

有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究 周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明 (1211)

新建核电站风险信息沟通实证研究 贺桂珍, 吕永龙 (1218)

《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)

生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究

张树楠^{1,2}, 贾兆月³, 肖润林¹, 杨凤飞⁴, 余红兵⁵, 刘锋^{1*}, 吴金水¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; 4. 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128; 5. 湖南农业大学农学院, 长沙 410128)

摘要: 对种植水生植物铜钱草、黑三棱的生态沟渠和有杂草生长的自然沟渠中 0~5 cm 和 5~15 cm 底泥属性及磷吸附特性进行比较研究。结果表明, 铜钱草 0~5 cm 底泥中草酸提取态铁、铝和磷含量均高于自然杂草和黑三棱段底泥。Freudlich 和 Langmuir 方程拟合吸附数据得出: 试验底泥的吸附、解吸平衡时磷浓度(EPC_0) 在 0.009~0.031 $mg \cdot L^{-1}$ 范围; 铜钱草 0~5 cm 底泥的 K_f 和 S_{max} 值最大, 分别为 352.2 $L \cdot kg^{-1}$ 、562.7 $mg \cdot kg^{-1}$, 表明该底泥样对磷的吸附能力最强。回归分析得出磷吸附参数与底泥属性有显著的相关性($P < 0.05$), 主要受草酸提取态铁、黏粒含量、磷饱和度的影响。可见, 水生植物对底泥属性及磷吸附能力都有影响, 在生态沟渠中优选植物种植能降低面源污染中磷流失风险。

关键词: 水生植物; 底泥; 生态沟渠; 磷; 吸附

中图分类号: X142; X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-1101-06

Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch

ZHANG Shu-nan^{1,2}, JIA Zhao-yue³, XIAO Run-lin¹, YANG Feng-fei⁴, YU Hong-bing⁵, LIU Feng¹, WU Jin-shui¹

(1. Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 4. College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 5. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Sediments properties and phosphorus (P) adsorption capacities were compared among the samples of 0-5 cm and 5-15 cm layers from the ecological ditch vegetated with *Cenetlla asiatica*, *Sparganium stoloniferum* and a natural agricultural ditch with weeds. The results showed the 0-5 cm sediment vegetated with *Cenetlla asiatica* had higher concentrations of oxalate extracted Fe, Al and P than those vegetated with *Sparganium stoloniferum* or weeds. The parameters calculated from the Freundlich and Langmuir isotherms showed the equilibrium phosphate concentration (EPC_0) ranged from 0.009 to 0.031 $mg \cdot L^{-1}$. *Cenetlla asiatica* in the 0-5 cm layer had the maximum values of 352.2 $L \cdot kg^{-1}$ and 562.7 $mg \cdot kg^{-1}$ for Freundlich adsorption constant (K_f) and Langmuir sorption maximum (S_{max}), respectively, which proved it had the highest P adsorption capacity. The regression analysis showed P sorption parameters had significant relationship to oxalate-extracted Fe, clay content and DPS ($P < 0.05$). It was thus clear that aquatic plants influenced sediment properties and P adsorption capacity, and the practice of growing proper plants in ecological ditch could reduce the risk of P loss in non-point source pollution.

Key words: aquatic plant; sediment; ecological ditch; phosphorus; adsorption

农业面源污染已成为水体氮、磷的重要污染源, 构建农业环境污染的“源头控制”技术体系对减少下游水体养分负荷、改善环境质量具有重要意义^[1]。沟渠分布广泛, 是面源污染进入河流、湖泊等水体的重要通道。同时沟渠因长时间积水、湿化具有类似生态湿地功能^[2,3]。但直到近期, 国内外才开展沟渠系统在净化水体污染物及改善水质环境等方面的研究。自 2003 年美国农业沟渠管理协会成立, 沟渠系统的环境意义在科研领域引起更多关注^[4]。近年来, 国内也报道了利用沟渠工程技术对农业面源污染控制和水质保护的研究^[5~7]。已有研

究表明, 人工生态沟渠是一项新的“最佳管理措施 (best management practices)”, 可作为面源污染“源头控制”的生态拦阻技术^[8]。

沟渠中底泥与水体之间污染物的交换是影响水体污染物迁移的重要过程。已有不少研究表明, 沟

收稿日期: 2012-04-22; 修订日期: 2012-09-24

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD14B17); 国家自然科学基金项目(41101478); 中国科学院、国家外国专家局创新团队国际合作伙伴计划项目(KZCX2-YW-T07, 20100491005-8)

作者简介: 张树楠(1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为面源污染生态控制, E-mail: zhang-shu-nan@163.com

* 通讯联系人, E-mail: liufeng@isa.ac.cn

渠系统可通过底泥吸附消纳水中溶解和颗粒态磷,降低下游水体的磷负荷^[9,10]。另外,水生植物对水质净化具有重要作用。除植物本身直接吸收氮、磷营养元素外,植物存在还可降低水流速,增加水体颗粒物沉降,改变沉积物的分布与理化特性,进而减缓养分在沟渠中运输,加速氮、磷界面交换和传递,增加对流经水体中养分的拦截效应^[5,11~14]。据报道,有植物生长的沟渠系统能够有效地控制磷素流失,截留颗粒态磷量达到 70%^[10]。但目前有关生态沟渠底泥对磷的吸附特性及其水生植物种植对该吸附过程影响的研究报道不多^[15]。本研究以运行近 3 年的生态沟渠及上游自然沟渠的底泥为对象,比较生态沟渠中植物种植对底泥属性及其对磷吸附、拦截效应的差异,以期生态沟渠的科学建设、管理及其在水体环境污染控制与修复的有效利用中提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于金井河流域(113°18'~113°26' E, 28°30'~28°39' N),该流域面积为 135 km²,主要分布在湖南省长沙县金井镇。当地属于亚热带季风气候,为典型的江南丘岗地貌,成土母质主要是花岗岩。2009 年初,将水稻种植区中一条自然农用排水沟渠(沟底生长土著杂草)下方 200 m 段清淤后,构

建生态沟渠(见图 1)。生态沟渠工程呈倒梯形结构,上口宽 4 m,沟渠底设置为“二级结构”,其中,一级宽为 2.8 m、二级宽为 2.1 m,深 1 m。在生态沟渠中,由上至下依次种植铜钱草、黑三棱等多种多年生水生植物,各植物区用波浪形挡板隔开。2010 年,在生态沟渠出水口处安装了水流量计,2010~2011 年沟渠基流期的平均水流量为 92.7 m³·d⁻¹。

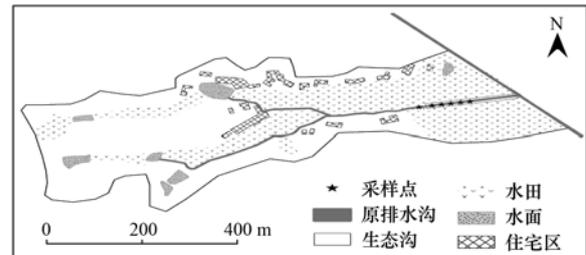


图 1 生态沟渠地理位置

Fig. 1 Location of the ecological ditch

1.2 样品采集与分析

2011 年 7 月,在铜钱草、黑三棱段及生态沟渠上方 15 m 处原自然沟渠段(有杂草生长)均匀布设 5 个采样点(见图 2),按 0~5 cm 和 5~15 cm 分层用自制管状采泥器采集混合样品。去除混合样中植物组分和其它杂质后,样品于室温、通风干燥处自然风干,磨细,过 10 目和 100 目筛后,分装入自封袋,于 4℃ 保存备用。

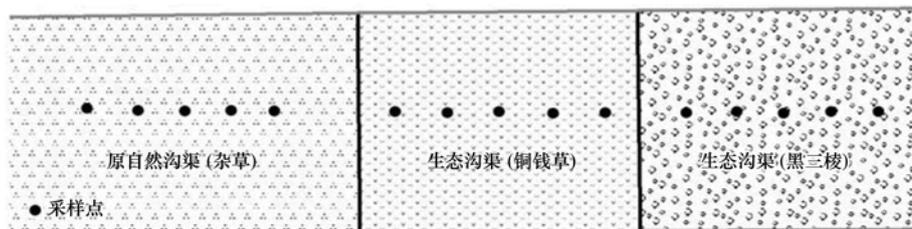


图 2 采样点分布示意

Fig. 2 Map of sampling location

试验分析方法:用比重计法测定底泥的颗粒组成(黏粒 ≤ 0.002 mm);按水土质量比 2.5:1 用含玻璃电极的 pH 计测定底泥 pH 值;重铬酸钾法测定有机质含量;溶液 PO_4^{3-} -P 浓度采用钼酸铵分光光度法测定;另外,称 1 g 过 10 目筛的底泥样,加入 50 mL 草酸缓冲液(含 0.175 mol·L⁻¹ 草酸铵和 0.1 mol·L⁻¹ 草酸),用往返式恒温振荡器避光振荡 2 h,将提取液过滤后,用 ICP-OES (700 Series, Agilent Technologies) 同时测定铁、铝和磷含量^[16]。

1.3 底泥磷等温吸附和吸附动力学试验

底泥磷等温吸附试验步骤如下:称取 0.5 g 过 100 目筛的底泥于 100 mL 聚丙烯材质离心管,加入 20 mL 含 P 0、0.1、1、3、6、10、20 和 50 mg·L⁻¹ 溶液(用 0.01 mol·L⁻¹ KCl 配置),加 2 滴 0.1% 氯仿抑制微生物作用,在 25℃ 恒温振荡(200 r·min⁻¹) 24 h。然后,离心(4000 r·min⁻¹, 10 min)、过 0.45 μm 滤膜,测定滤液中 PO_4^{3-} -P 含量。

吸附动力学试验参照 Zhou 等^[17] 试验方法,简述如下:称取 1 g 风干土壤或底泥,置于 250 mL 锥形瓶中,加入 150 mL 用 0.01 mol·L⁻¹ KCl 配置含磷

浓度为 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 溶液,各底泥样做 3 个重复,加 2 滴 0.1% 氯仿抑制微生物作用,在 25°C 恒温振荡 ($200 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$)。分别于 0、0.25、0.5、1、2、5、8、12、24、48 和 72 h 取出三角瓶,静置 15 min 后,吸取上层清液 5 mL,过 $0.45 \mu\text{m}$ 膜,测定滤液中 PO_4^{3-} -P 含量。

1.4 吸附参数计算

吸附参数采用 Freundlich 和 Langmuir 方程计算。

Freundlich 方程:

$$S_1 = K_f c_t^{1/n} \quad (1)$$

式中, S_1 为试验中底泥吸附的磷量, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; K_f 为磷吸附能参数, $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$; c_t 为 24 h 振荡后溶液平衡浓度, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; n 为相关因子。

Langmuir 方程:

$$S_1 = S_{\max} K_c c_t / (1 + K_c c_t) \quad (2)$$

式中, S_{\max} 为磷吸附最大值, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; K_c 为键能常数, $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$ 。

底泥没有净吸附或解吸时水体溶解性磷酸盐的浓度(吸附/解吸平衡浓度)即为 EPC_0 ,其计算方法参照文献[18]。

1.5 数据分析

底泥对磷的等温吸附与吸附动力学过程用 Microsoft Excel 2003 软件作图。在 Microcal Origin 8.0 软件中对磷的等温吸附数据进行 Freundlich 和 Langmuir 方程拟合。用 SPSS 13.0 软件进行底泥属性与等温吸附参数的一元线性回归分析,统计检验的显著性水平 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 水生植物对沟渠底泥属性影响

铜钱草、黑三棱、自然杂草这 3 个不同植物段沟渠底泥的部分理化属性见表 1。与其它植物段底泥比较,铜钱草 0~5 cm 底泥中全磷和草酸提取态铁、铝、磷含量最高。不同深度底泥属性具有以下

特点:3 个植物段的 0~5 cm 层底泥中黏粒含量都小于 5~15 cm 层,而其它属性是 0~5 cm 层大于 5~15 cm 层(杂草段底泥中草酸提取铝含量例外);铜钱草 2 层底泥的有机碳、全磷和有效磷含量差异最大,差值分别达到 $5.09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.197 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $3.28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,且铜钱草 5~15 cm 底泥中有机碳含量最低,说明铜钱草对其底泥的影响主要在 <5 cm 深度范围;而杂草段 0~5 cm 与 5~15 cm 两层底泥中有机碳及其它属性值差异较小,说明杂草段底泥在 0~15 cm 分布较均匀;总体上,同一植物段 2 个深度底泥样的 pH 差异不大。

本研究生态沟渠清淤了原自然沟渠中大部分底泥,同时,种植的水生植物除将自身代谢物输入底泥外,还能够促进水体中颗粒物沉降^[14],因而生态沟渠中底泥形成及其属性受其中生长水生植物的影响。铜钱草 0~5 cm 底泥的有机碳含量比黑三棱的高,这与铜钱草生长快、生物量大,以致将更多的代谢、凋落物输入底泥有关。铜钱草还提高了底泥中草酸提取铁的含量。生态沟渠底泥黏粒组分大于自然沟渠,表明水生植物地下部生长形成的物理性拦截网络增加了水体中细颗粒组分在沟渠中吸附、沉积。0~5 cm 和 5~15 cm 两层底泥属性差异也反映了沟渠底泥的形成和属性受其中水生植物的影响。生态沟渠构建早期植物生物量少于后期,因此,底泥(5 cm 以下的底泥)中受种植植物的影响较少。这与人工湿地有机质累积规律一致,即植物生长是湿地底泥中有机质累积的主要影响因素,新建人工湿地由于其中植物生物量不大或还没有足够的时间来富集有机质,该湿地底泥中有机质会低于周边自然湿地^[19]。另外,3 个试验沟渠植物具有不同的根系特性^[20],铜钱草是须根植物,主要生长在底泥表层,对试验中 5~15 cm 底泥影响小,这与铜钱草 2 个不同深度底泥的属性差异很大结果一致。由于黑三棱与铜钱草底泥的母质来源一致,5~15 cm 深度的黑三棱底泥比铜钱草的有机质含量高,说明黑三棱比

表 1 试验底泥的部分理化属性

Table 1 Selected physico-chemical properties of sediments

不同植物段底泥	有机碳 / $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	全磷 / $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	有效磷 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	草酸提取态/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			pH (1:1)	黏粒 /%	DPS /%
				铁	铝	磷			
铜钱草 0~5 cm	10.5	0.580	5.97	2 298	423	84.0	6.34	42.9	3.09
铜钱草 5~15 cm	5.40	0.382	2.69	1 317	381	42.3	6.57	45.3	2.49
黑三棱 0~5 cm	9.61	0.386	4.64	1 319	289	38.9	6.08	34.5	2.42
黑三棱 5~15 cm	6.81	0.299	3.85	995	281	27.1	5.72	47.3	2.12
杂草 0~5 cm	11.7	0.494	7.39	1 707	294	79.0	5.33	28.2	3.95
杂草 5~15 cm	9.44	0.408	5.47	1 649	363	60.7	5.7	31.3	3.02

铜钱草扎入底泥较深的根系增加了深层底泥的有机碳含量. 自然沟渠段底泥是长期淤积而成, 底泥受当地自然杂草多年生长影响. 0~5 cm 和 5~15 cm 这 2 个不同深度底泥属性值差异较小, 表明杂草对 0~15 cm 层底泥的影响一致, 使得 0~15 cm 底泥具有较均匀的分布特性.

2.2 底泥对磷的等温吸附与吸附动力学过程

底泥对磷的等温吸附过程如图 3 所示. 随着平衡溶液中磷浓度增加(0.004 5~40.68 mg·L⁻¹), 底泥对磷的吸附量也依次升高(3.6~575.6 mg·kg⁻¹). 底泥对溶液磷的吸附量结果表明: 杂草(0~5 cm 和 5~15 cm)与黑三棱(0~5 cm)对磷的吸附量低, 黑三棱(5~15 cm)和铜钱草(5~15 cm)次之, 铜钱草(0~5 cm)底泥对磷的吸附量最大. 上述结果说明铜钱草(0~5 cm)底泥具有较强的磷吸附能力, 这可能和铜钱草密集根系有关, 密集的根系拦截了更多的细颗粒(包括铁、铝等胶体), 有关铜钱草磷吸附的详细机制还有待进一步研究.

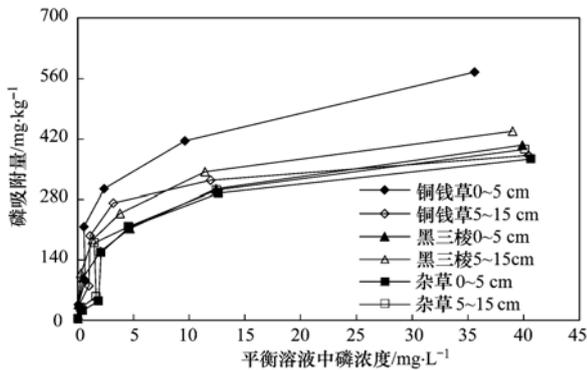


图 3 底泥对磷的等温吸附曲线

Fig. 3 Phosphorus adsorption isotherm of the test sediments

底泥对磷的吸附动力学过程有 3 个阶段: 快吸附、慢吸附、接近动态吸附平衡(见图 4). 在 0~2 h, 6 种试验底泥快速吸附溶液中的磷, 吸附磷量为 136.6~199.4 mg·kg⁻¹, 占各底泥总吸附磷量的 47.8%~65.3%. 在 2~24 h, 底泥对磷吸附速度变慢, 铜钱草(0~5 cm)底泥在此阶段对磷吸附速度

最快. 铜钱草(0~5 cm)底泥在 24 h 内对磷吸附达到动态吸附平衡状态. 在 24~72 h, 试验底泥对磷的吸附量不多, 占底泥总吸附磷量的 8.4%~13.1%^[21].

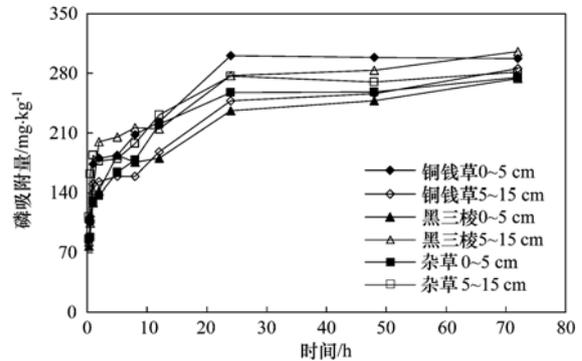


图 4 底泥对磷的吸附动力学曲线

Fig. 4 Kinetic curves of phosphorus adsorption by sediments

2.3 生态沟渠底泥对磷的吸附与截留效应

用 Langmuir 和 Freundlich 方程拟合底泥对磷等温吸附数据, 拟合度检验都达到了极显著水平($P < 0.001$), 结果见表 2. 铜钱草(0~5 cm)底泥的磷吸附最大值(S_{max})和磷吸附能参数(K_f)最大, 黑三棱(0~5 cm)底泥的最小. 铜钱草 0~5 cm、5~15 cm 底泥与黑三棱 5~15 cm 底泥具有较高的 K_c 值($>0.5 L \cdot mg^{-1}$), 杂草底泥样 K_c 值最低. 生态沟渠 2 个植物段底泥吸附/解吸平衡浓度(EPC_0)值比杂草段的低很多. 比较不同深度底泥样对磷的吸附参数表明, 除铜钱草 0~5 cm 底泥的磷吸附参数 K_f 、 S_{max} 和 K_c 值比 5~15 cm 底泥的值高外, 黑三棱和杂草段底泥都是 5~15 cm 底泥的磷吸附参数值高于 0~5 cm 层底泥.

拟合方程中参数可反映磷在底泥中吸附特征. 最大磷吸附量(S_{max})反映了底泥对磷的吸附能力, 高 S_{max} 值指示底泥对外界输入磷的吸附、固定能力强^[22]. 本研究底泥的 S_{max} 在 391~563 mg·kg⁻¹ 范围, 高于已报道的我国成都紫色土区沟渠底泥的 S_{max} (122.72~293.23 mg·kg⁻¹) 和美国马里兰州一

表 2 底泥对磷等温吸附拟合参数

Table 2 Phosphorus sorption parameters of the test sediments

不同植物段底泥	Freundlich 方程			Langmuir 方程			EPC_0 /mg·L ⁻¹
	$K_f/L \cdot kg^{-1}$	n	r^2	$S_{max}/mg \cdot kg^{-1}$	$K_c/L \cdot mg^{-1}$	r^2	
铜钱草 0~5 cm	352.2	0.205	0.934	562.7	0.517	0.927	0.021
铜钱草 5~15 cm	295.8	0.165	0.855	391.5	0.567	0.936	0.009
黑三棱 0~5 cm	171.9	0.264	0.996	418.6	0.279	0.956	0.025
黑三棱 5~15 cm	234.3	0.215	0.986	423.9	0.546	0.946	0.012
杂草 0~5 cm	133.9	0.322	0.854	426.6	0.181	0.94	0.031
杂草 5~15 cm	149	0.302	0.872	429.2	0.225	0.917	0.017

个长期用猪尿粪施肥的农场中 8 个沟渠底泥样的 S_{\max} 值 ($81 \sim 232 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[18,23]; 但比爱尔兰的韦克斯福德和沃特福德州两处理养殖废水的人工湿地底泥 S_{\max} ($538 \sim 1707 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和香港新建人造湿地底泥的 S_{\max} ($478 \sim 858 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 低^[16,19]。另外, 香港新建人造湿地的磷吸附能参数 (K_f) 为 $417 \sim 672 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$, 也高于本研究的 K_f 结果 ($133 \sim 352 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$)。可见, 试验生态沟渠底泥固定磷的能力比较强, 比部分已报道的自然沟渠吸附磷能力强, 比一些人工湿地底泥的弱。

键能常数 (K_c) 代表固体表面与被吸附物之间结合能力的强弱。据报道, 河道底泥比稻田土壤的 K_c 值高, 高 K_c 值表示底泥与磷的结合能力强, 因此, 前者吸附磷的能力强于后者^[21]。细颗粒含量高的底泥比表面积大, 对磷酸盐结合能力也较强^[24], 本研究中 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 底泥比 $5 \sim 15 \text{ cm}$ 底泥的 K_c 值小, 可能与它们的黏粒含量差异有关。比较同一深度层底泥, 生态沟渠底泥 K_c 值比自然沟渠的高, 说明前者与磷的结合能力比后者强。

底泥在没有净吸附和解吸时的溶液磷浓度 (EPC_0) 反映底泥对外源磷的吸附、固定能力与潜在的自身磷释放风险。低的 EPC_0 值反映了底泥具有较强的对外源磷的缓冲能力。试验底泥的 EPC_0 值为 $0.009 \sim 0.031 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 比已报道我国的大辽河底泥的 EPC_0 ($0.05 \sim 0.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 和美国佛罗里达州的印第安纳河流中部分底泥样的 EPC_0 ($0.01 \sim 3.74 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 低, 说明本试验底泥有较强吸附磷的能力, 且本身释放磷风险也不高, 可作为环境污染水体中磷吸收“库”^[25,26]。各试验底泥的 EPC_0 中: 铜

钱草 $5 \sim 15 \text{ cm} < \text{黑三棱 } 5 \sim 15 \text{ cm} < \text{杂草 } 5 \sim 15 \text{ cm} < \text{铜钱草 } 0 \sim 5 \text{ cm} < \text{黑三棱 } 0 \sim 5 \text{ cm} < \text{杂草 } 0 \sim 5 \text{ cm}$, 表明自然沟渠底泥对外源磷的吸附能力弱于生态沟渠底泥, 其潜在释放磷的风险也高于生态沟渠底泥。

2.4 底泥的磷吸附特性与属性的关联性分析

底泥对磷的吸附主要表现为铁、铝氧化物对磷的化学吸附、沉淀及黏粒对磷的表面吸附^[24,26,27]。无定型铁、铝氧化物能为磷的吸附提供丰富的磷吸附表面积^[19], 富含无定型铁、铝氧化物的底泥对水中磷的吸附与去除能力更强^[10]。底泥中黏粒含量对磷的吸附特性也有影响, 细颗粒含量低的底泥, 由于吸附表面积小, 对磷酸盐结合能力也就较弱^[24]。有报道黏粒含量与铁、铝氧化物有显著的相关性, 因此, 黏粒组分含量高的底泥具有吸附更多磷的能力^[16,21]。还有研究发现除细颗粒含量与磷吸附有关外, 有机质含量和离子强度也与底泥磷吸附能力有正相关性^[28]。总之, 较高的 EPC_0 和 S_{\max} 与无定型/弱晶格型铁、黏粒含量及磷饱和度 (DPS) 有显著的相关性, 表明富含无定型铁和黏粒组分的底泥能作为环境污染水体中的磷吸收“库”^[26]。

本研究底泥对磷的吸附参数与自身的理化性质相关性结果 (表 3) 表明: 生态沟渠底泥比自然沟渠底泥的磷吸附能力强, 这与底泥中无定型铁和铝、有机质、黏粒 (%) 等含量较高有关。铜钱草植物段的底泥与其它 2 个植物段底泥的 S_{\max} 差异明显, 该差异主要受底泥的草酸提取态 Fe 和黏粒含量影响。黑三棱 $5 \sim 15 \text{ cm}$ 底泥对磷吸附能力较强主要与其黏粒含量较高有关。

表 3 吸附参数与底泥属性的回归分析结果

Table 3 Regression analysis of adsorption parameters and sediment properties

磷吸附参数	回归拟合方程	R^2	显著水平	Durbin-Watson
K_f	$8.90 \times [\text{clay}\%] - 117.6$	0.657	0.05	2.57
S_{\max}	$0.113 \times [\text{Fe}_{\text{ox}}] + 267.7$	0.697	0.039	1.02
K_c	$0.022 \times [\text{clay}\%] - 0.449$	0.975	0.001	1.37
EPC_0	$-0.001 \times [\text{clay}\%] + 0.038$	0.809	0.015	1.68
EPC_0	$-0.009 \times [\text{DPS}\%] - 0.018$	0.824	0.012	1.41

3 结论

(1) 生态沟渠种植的铜钱草和黑三棱在不同程度上影响了底泥的形成和属性特征。铜钱草 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 底泥中全磷和草酸提取态铁、铝等含量最高。

(2) 铜钱草 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 底泥有最高的磷吸附量 (S_{\max}) 和磷吸附能参数 (K_f), 表明该底泥有最强的

磷吸附能力。

(3) 底泥磷吸附参数与底泥草酸提取态铁、黏粒含量和磷饱和度有显著的相关性, 表明水生植物通过改变底泥属性, 进而影响底泥的磷吸附特性。

(4) 在农业区构建生态沟渠对农业面源污染磷流失的拦截效应优于原自然沟渠, 生态沟渠能更有效地消纳水体中磷负荷。

参考文献:

- [1] Smith V H, Tilman G D, Nekola J C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems[J]. *Environmental Pollution*, 1999, **100** (1-3): 179-196.
- [2] Needelman B A, Kleinman P J A, Strock J S, *et al.* Improved management of agricultural drainage ditches for water quality protection: an overview [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, **62** (4): 171-178.
- [3] Bennett E R, Moore M T, Cooper C M, *et al.* Vegetated agricultural drainage ditches for the mitigation of pyrethroid-associated runoff[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2005, **24** (9): 2121-2127.
- [4] Fouss J L, Sullivan M. Agricultural drainage management systems task force [A]. In: Starrett S (Ed.). *World Environmental and Water Resources Congress 2009* [C]. Virginia: American Society of Civil Engineers, 2009. 4068-4077.
- [5] 徐红灯, 席北斗, 王京刚, 等. 水生植物对农田排水沟渠中氮、磷的截留效应[J]. *环境科学研究*, 2007, **20** (2): 84-88.
- [6] 姜翠玲, 崔广柏, 范晓秋, 等. 沟渠湿地对农业非点源污染物的净化能力研究[J]. *环境科学*, 2004, **25** (2): 125-128.
- [7] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非点源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果[J]. *生态学杂志*, 2005, **24** (11): 1371-1374.
- [8] Cooper C M, Moore M T, Bennett E R, *et al.* Innovative uses of vegetated drainage ditches for reducing agricultural runoff [J]. *Water Science and Technology*, 2004, **49** (3): 117-123.
- [9] Kröger R, Holland M M, Moore M T, *et al.* Agricultural drainage ditches mitigate phosphorus loads as a function of hydrological variability [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2008, **37** (1): 107-113.
- [10] Olli G, Darracq A, Destouni G. Field study of phosphorus transport and retention in drainage reaches [J]. *Journal of Hydrology*, 2009, **365** (1-2): 46-55.
- [11] Schulz M, Kozerski H P, Pluntke T, *et al.* The influence of macrophytes on sedimentation and nutrient retention in the lower River Spree (Germany) [J]. *Water Research*, 2003, **37** (3): 569-578.
- [12] Madsen J D, Chambers P A, James W F, *et al.* The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes[J]. *Hydrobiologia*, 2001, **444** (1-3): 71-84.
- [13] Bouldin J L, Farris J L, Moore M T, *et al.* Vegetative and structural characteristics of agricultural drainages in the Mississippi Delta landscapes [J]. *Environmental Pollution*, 2004, **132** (3): 403-411.
- [14] Reddy K R, Kadlec R H, Flaig E, *et al.* Phosphorus retention in streams and wetlands: a review [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1999, **29** (1): 83-146.
- [15] 陈海生, 王光华, 宋仿根, 等. 生态沟渠对农业面源污染物的截留效应研究 [J]. *江西农业学报*, 2010, **22** (7): 121-124.
- [16] Dunne E J, Culleton N, O'Donovan G, *et al.* Phosphorus retention and sorption by constructed wetland soils in Southeast Ireland [J]. *Water Research*, 2005, **39** (18): 4355-4362.
- [17] Zhou A M, Tang H X, Wang D S. Phosphorus adsorption on natural sediments: modeling and effects of pH and sediment composition [J]. *Water Research*, 2005, **39** (7): 1245-1254.
- [18] Luo Z X, Zhu B, Tang J L, *et al.* Phosphorus retention capacity of agricultural headwater ditch sediments under alkaline condition in purple soils area, China [J]. *Ecological Engineering*, 2009, **35** (1): 57-64.
- [19] Lai D Y F, Lam K C. Phosphorus sorption by sediments in a subtropical constructed wetland receiving stormwater runoff [J]. *Ecological Engineering*, 2009, **35** (5): 735-743.
- [20] Lai W L, Wang S Q, Peng C L, *et al.* Root features related to plant growth and nutrient removal of 35 wetland plants [J]. *Water Research*, 2011, **45** (13): 3943-3950.
- [21] 王丽香, 吕家珑, 庄舜尧, 等. 我国东部河网地区土壤与河道底泥对磷的吸附特性比较研究 [J]. *土壤*, 2009, **41** (3): 402-407.
- [22] Cyr H, McCabe S K, Nürnberg G K, *et al.* Phosphorus sorption experiments and the potential for internal phosphorus loading in littoral areas of a stratified lake [J]. *Water Research*, 2009, **43** (6): 1654-1666.
- [23] Vaughan R E, Needelman B A, Kleinman P J, *et al.* Vertical distribution of phosphorus in agricultural drainage ditch soils [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2007, **36** (6): 1895-1903.
- [24] 李敏, 王光谦, 倪晋仁, 等. 长江口沉积物对磷酸盐吸附的等温模型 [J]. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2005, **45** (9): 1206-1208, 1212.
- [25] Lin C Y, Wang Z G, He M C, *et al.* Phosphorus sorption and fraction characteristics in the upper, middle and low reach sediments of the Daliao river systems, China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **170** (1): 278-285.
- [26] Pant H K, Reddy K R. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, **30** (4): 1474-1480.
- [27] Vymazal J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands [J]. *The Science of the Total Environment*, 2007, **380** (1-3): 48-65.
- [28] Wang S R, Jin X C, Bu Q Y, *et al.* Effects of particle size, organic matter and ionic strength on the phosphate sorption in different trophic lake sediments [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, **128** (2-3): 95-105.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} over Eastern China from MODIS Aerosol Optical Depth Using the Back Propagation Neural Network	GUO Jian-ping, WU Ye-rong, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (817)
Comparison of Atmospheric Particulate Matter and Aerosol Optical Depth in Beijing City	LIN Hai-feng, XIN Jin-yuan, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i> (826)
Impacts of Meteorological Factors on Atmospheric Methane Mole Fractions in the Background Area of Yangtze River Delta	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, GU Jun-qiang, <i>et al.</i> (835)
Dispersion and Analysis of Odor Pollution in Landfill Area Under the Enclosed Operation Condition	LU Peng, WU Shi-xing, DAI Zhi-feng, <i>et al.</i> (842)
Distribution Characteristics and Sea-Air Fluxes of Volatile Halocarbons in the East China Sea in Winter	HE Zhen, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng (849)
Intra- and Inter-annual Variabilities of Particulate Organic Matter in the Mires Bay from 2000 to 2010	LI Xu-lu, ZHOU Yi-pin, XIA Hua-yong (857)
Phytoplankton Assemblages and Their Relation to Environmental Factors by Multivariate Statistic Analysis in Bohai Bay	ZHOU Ran, PENG Shi-tao, QIN Xue-bo, <i>et al.</i> (864)
Characteristics and Evolution of Hydrochemical Compositions of Freshwater Lake in Tibetan Plateau	WANG Peng, SHANG Ying-nan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (874)
Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads and Optimization of the Best Management Practices (BMPs) in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, LIU Pin (882)
An Object-Oriented Intelligent Engineering Design Approach for Lake Pollution Control	ZOU Rui, ZHOU Jing, LIU Yong, <i>et al.</i> (892)
Contribution of Plant Litters to Sediments Organic Matter in Julong River Estuary Wetland	LUO Zhuan-xi, QIU Zhao-zheng, WANG Zhen-hong, <i>et al.</i> (900)
Application of Tiered Approach to Assess the Impact of Backfilling Remediated Soil on Groundwater	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (907)
Removal of Nitrate from Groundwater Using Permeable Reactive Barrier	LI Xiu-li, YANG Jun-jun, LU Xiao-xia, <i>et al.</i> (914)
Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District	LI Hai-yan, XU Bo-ping, XU Shang-ling, <i>et al.</i> (919)
Occurrence and Risk Assessment of Five Selected PPCPs in Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water	WEN Zhi-hao, DUAN Yan-ping, MENG Xiang-zhou, <i>et al.</i> (927)
Microbial Risk Assessment of Urban Water Bodies for Aesthetical and Recreational Uses	SUN Fu, SHA Jing, ZHANG Yi-fan, <i>et al.</i> (933)
Study on Removal of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate by Using of Small-Scale Biological Aerated Filter	LI Wei, ZHAO Jing, YU Jian, <i>et al.</i> (943)
Mechanism of Membrane Fouling and Filtration Characteristics in a Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment	FAN Ju-hong, YU Su-lin, ZHANG Pei-shuai, <i>et al.</i> (950)
Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al ₂ O ₃	YUE Lin, WANG Kai-hong, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (955)
Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G	YANG Mei-mei, ZHOU Shao-qi, LIU Dan, <i>et al.</i> (962)
Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-deweeding and Dyeing-printing Wastewater	YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, <i>et al.</i> (968)
Study on the Pollutants Removal Performance Along the Advanced Treatment in Tannery Wastewater by O ₃ -BAF	YU Bin, LIU Rui, CHENG Jia-di, <i>et al.</i> (974)
Effect of Pilot UASB-SFSBR-MAP Process for the Large Scale Swine Wastewater Treatment	WANG Liang, CHEN Chong-jun, CHEN Ying-xu, <i>et al.</i> (979)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Municipal Wastewater and Studies on Its Characteristics Under the Continuous Flow	NIU Shu, DUAN Bai-chuan, ZHANG Zuo-li, <i>et al.</i> (986)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (I) : Model Constitution	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (993)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (998)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (III) : Model Application	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (1004)
Comparative Study on Water-air CO ₂ , CH ₄ Flux in Two Tributaries in the Three Gorges Reservoir, China	LI Zhe, BAI Lei, GUO Jin-song, <i>et al.</i> (1008)
Factors Influencing the Spatial Variability in Soil Respiration Under Different Land Use Regimes	CHEN Shu-tao, LIU Qiao-hui, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1017)
Differences in Soil Respiration Between Cropland and Grassland Ecosystems and Factors Influencing Soil Respiration on the Loess Plateau	ZHOU Xiao-gang, ZHANG Yan-jun, NAN Ya-fang, <i>et al.</i> (1026)
Application and Benefit Evaluation of Tiered Health Risk Assessment Approach on Site Contaminated by Benzene	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, LIANG Jin, <i>et al.</i> (1034)
History of Heavy Metal Pollution from Tidal Flat in Haizhou Bay	ZHANG Rui, ZHANG Fan, LIU Fu-cheng, <i>et al.</i> (1044)
Accumulation, Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment of Caohai Plateau Wetland, Guizhou Province	ZHANG Qing-hai, LIN Chang-hu, TAN Hong, <i>et al.</i> (1055)
Assessment and Correlation Analysis of Heavy Metals Pollution in Soil of Dajinshan Island	CHENG Fang, CHENG Jin-ping, SANG Heng-chun, <i>et al.</i> (1062)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Stream Sediments from a Typical Nonferrous Metals Mining City	LI Ru-zhong, JIANG Yan-min, PAN Cheng-rong, <i>et al.</i> (1067)
Contamination and Health Risk for Heavy Metals via Consumption of Vegetables Grown in Fragmentary Vegetable Plots from a Typical Nonferrous Metals Mine City	LI Ru-zhong, PAN Cheng-rong, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1076)
Correlativity Study of the Distribution of Soil Magnetic Susceptibility and the Heavy Metal Contents in Xi'an City	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, YANG GUANG (1086)
Distribution Characteristics and Environmental Significance of Heavy Metals in Soil Particle Size Fractions from Tropical Forests in China	GONG Cang, XU Dian-dou, CHENG Hang-xin, <i>et al.</i> (1094)
Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch	ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, <i>et al.</i> (1101)
Fractions and Adsorption Characteristics of Phosphorus on Sediments and Soils in Water Level Fluctuating Zone of the Pengxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir	SUN Wen-bin, DU Bin, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1107)
Sorption Behavior of Triton X-100 on Loess and Affecting Factors	ZHONG Jin-kui, ZHAO Bao-wei, ZHU Kun, <i>et al.</i> (1114)
Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk	MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (1120)
Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake	MA Zhao-hui, JIN Jun, QI Xue-kui, <i>et al.</i> (1136)
Characteristics of Organic Pollutants in the Sediments from a Typical Electronics Industrial Zone	LIU Jin, DENG Dai-yong, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (1142)
Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Exhaust Particles from a Diesel Car	TAN Pi-qiang, ZHOU Zhou, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (1150)
Characterization of PAHs in Fly Ashes from Coke Production	MU Ling, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (1156)
Comparison of PAHs Distribution in Stabilized Sludge by Sludge Drying Bed and Reed Bed	CUI Yu-bo, SUN Hong-jie, RAN Chun-qiu, <i>et al.</i> (1161)
Effects of Adsorbents on Partitioning and Fixation of Heavy Metals in the Incineration Process of Sewage Sludge	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, CHEN Tao (1166)
Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand	ZHANG Hai-feng, WANG Yu-jue, WANG Jin-lin, <i>et al.</i> (1174)
Construction and Properties of a Microbial Whole-cell Sensor CB10 for the Bioavailability Detection of Cr ⁶⁺	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xu-liang, <i>et al.</i> (1181)
Structure and Dynamics of Microbial Community in the Denitrifying Sulfide Removal Process	YU Hao, WANG Ai-jie, CHEN Chuan (1190)
Effects of Physico-chemical Parameters on the Abundance of the Denitrification-associated Genes <i>nirK</i> , <i>nirS</i> and <i>nosZ</i> During Agricultural Waste Composting	HU Chun-xiao, CHEN Yao-ning, ZHANG Jia-chao, <i>et al.</i> (1196)
Impact of PAHs on the Expression of PRDX in Earthworm (<i>Eisenia fetida</i>)	LIN Kang-li, ZHENG Sen-lin, SONG Yu-fang, <i>et al.</i> (1204)
Preparation of OMC-Au/L-Lysine/Au Modified Glassy Carbon Electrode and the Study on Its Detection Response to Hydroquinone and Catechol	ZHOU Yao-yu, TANG Lin, LI Zhen, <i>et al.</i> (1211)
Risk Communication in Construction of New Nuclear Power Plant	HE Gui-zhen, LÜ Yong-long (1218)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行