

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

**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

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究 ..... 窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)

厦门城区大气颗粒物 PM<sub>10</sub> 中有机酸源谱特征分析 ..... 杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴永平(8)

兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析 ..... 李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)

气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的影响 ..... 王鸿,朱天乐,王美艳(21)

麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较 ..... 汪军,王德建,张刚,王远(27)

单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物 ..... 陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)

碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究 ..... 张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)

夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布 ..... 王敏,张洪海,杨桂朋(45)

2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析 ..... 闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)

基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测 ..... 李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)

基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究 ..... 郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)

重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究 ..... 徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)

区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型 ..... 陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)

秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征 ..... 李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)

湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用 ..... 蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)

丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价 ..... 张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)

汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布 ..... 李晋昌,张红,石伟(116)

黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估 ..... 张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)

胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征 ..... 刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)

基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选 ..... 卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)

海洋细菌 *Marinobacter adhaerens* HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用 ..... 王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)

水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响 ..... 苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)

化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响 ..... 高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)

无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析 ..... 王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)

天然有机物的相对分子量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响 ..... 胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)

不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响 ..... 徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)

基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究 ..... 曾宪委,刘建国,聂小琴(182)

负载型 TiO<sub>2</sub> 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究 ..... 张小娜,周少奇,周晓(188)

污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析 ..... 吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)

微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响 ..... 刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)

不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N<sub>2</sub>O 产生量的影响 ..... 韩雪,高大文(204)

模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 ..... 谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)

嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换 ..... 白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栉,何宝燕,李跃鹏(217)

阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究 ..... 夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)

活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究 ..... 孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)

北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析 ..... 杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛(237)

北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究 ..... 齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)

北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估 ..... 千志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)

多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用 ..... 霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)

利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌 ..... 吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)

不同白腐真菌复配方式对产酶的影响 ..... 孟瑶,梁红,高大文(271)

不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响 ..... 张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)

垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响 ..... 霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)

黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征 ..... 董洪芳,于君宝,管博(288)

丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究 ..... 方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)

重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究 ..... 陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟(302)

无定形 Fe(OH)<sub>3</sub> 和 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 共沉淀态 As 的化学提取 ..... 陈义萍,王少锋,贾永锋(308)

铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响 ..... 李华,黄建国,袁玲(315)

污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究 ..... 段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)

高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能 ..... 李坤权,李焯,郑正,桑大志(328)

基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究 ..... 田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)

微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展 ..... 侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)

**2012 城市生态学术研讨会会议论文**

北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征 ..... 何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)

北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征 ..... 唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)

北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析 ..... 任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)

洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析 ..... 虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维(379)

低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析 ..... 施晓清,李笑诺,杨建新(385)

北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究 ..... 邓俊,徐琬莹,周传斌(395)

人工湿地在应用中存在的问题及解决措施 ..... 黄锦楼,陈琴,许连煌(401)

《环境科学》征订启事(26) 《环境科学》征稿简则(68) 信息(76,144,301,400) 专辑征稿通知(394)

# 垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响

霍莉莉<sup>1,2</sup>, 邹元春<sup>1</sup>, 郭佳伟<sup>1,2</sup>, 吕宪国<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院湿地生态与环境重点实验室, 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 通过测定和计算兴凯湖地区沼泽湿地及由其垦殖而来的旱田和水田土壤剖面有机碳含量和密度及土壤剖面不同深度土壤溶液中可溶性有机碳含量, 分析了垦殖对兴凯湖周边沼泽湿地土壤有机碳垂直分布及土壤剖面截留可溶性有机碳的影响。结果表明, 垦殖显著影响湿地 0~40 cm 土壤有机碳含量, 大豆田和水稻田 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土壤有机碳含量与湿地相比分别降低了 79.07% 和 82.01%、79.01% 和 82.28%、79.86% 和 92.90%、37.49% 和 78.05%; 40 cm 以下土层土壤有机碳含量垦殖前后差异不显著。大豆田和水稻田有机碳密度相比沼泽湿地分别降低了 25.50% 和 47.35%, 但三者 1 m 深土壤中大部分的有机碳均是储存在 0~50 cm 土层中。垦殖前后土壤有机碳含量与深度之间的关系均可用指数函数来描述, 垦殖改变了土壤有机碳含量但并未改变其随土壤深度的变化规律。垦殖为大豆田土壤剖面对可溶性有机碳的截留效果较湿地和水稻田更明显, 沼泽湿地和水稻田对可溶性有机碳的截留效果大致相当。

**关键词:** 土壤有机碳; 可溶性有机碳; 垦殖; 垂直分布; 截留; 湿地

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0283-05

## Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC

HUO Li-li<sup>1,2</sup>, ZOU Yuan-chun<sup>1</sup>, GUO Jia-wei<sup>1,2</sup>, LÜ Xian-guo<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Contents and density of soil organic carbon (SOC) in soil profiles and dissolved organic carbon (DOC) of soil solution in different soil depths in wetland, soybean and paddy field reclaimed from the wetland around Xingkai Lake were determined to investigate how reclamation of wetland for soybean and rice farming impacts vertical distribution of SOC and retention of DOC. SOC contents in 0-40 cm soil layers were significantly influenced. SOC contents in 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm soil layers in soybean and paddy field were 79.07% and 82.01%, 79.01% and 82.28%, 79.86% and 92.90%, 37.49% and 78.05% respectively lower than those in wetland. Before and after reclamation, SOC contents in soil layers deeper than 40 cm were not significantly different. SOC densities in soybean and paddy field were 25.50% and 47.35% respectively lower than those in wetland. However, either in wetland or farm land, most of the SOC storage in 0-100 cm soil layer was stored in 0-50 cm soil layer. The relationships between SOC content and soil depth in wetland and two farm lands all could be described by exponential functions; cultivation did not change the variation of SOC content with soil depth. The retention of DOC was more obvious for soybean farming than wetland and rice farming, and that was roughly the same for wetland as rice farming.

**Key words:** soil organic carbon (SOC); dissolved organic carbon (DOC); reclamation; vertical distribution; retention; wetland

土壤有机碳 (SOC) 是大气中 CO<sub>2</sub> 的重要潜在碳源或碳汇<sup>[1]</sup>, SOC 储量多于大气圈和生物圈碳储量之和<sup>[2]</sup>, 其微小变化都可显著地引起大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的改变<sup>[3]</sup>. 大多关于 SOC 的研究只考虑了 10~30 cm 的表土, 极少研究包括了更深层的土壤<sup>[4,5]</sup>. 然而, 大量的 SOC 可能储存在 30 cm 以下的土层中<sup>[6]</sup>, 20 cm 内 SOC 储量只占 1 m 深总储量的约 40%<sup>[7]</sup>; 1 m 深以下的土层有固定 760~1 520 Pg 碳的潜力<sup>[6]</sup>, 如果在现有的基础上加深 1 m, SOC 储量会增加 60%<sup>[8]</sup>. 下层 SOC 的化学组成具有土壤类型特殊性, 受土壤过程的影响, 与土壤矿物相互

作用可使其变得稳定, 而且由于氧气、养分和能量供应的限制, 微生物量和活性随土壤深度增加而降低, 下层 SOC 不易被分解<sup>[9]</sup>. 土壤有机质 C:N 随土层深度增加而下降, 但是稳定的 C 和 N 同位素比例却增加, 与表层有机质相比, 下层土壤有机质富集了生物驱动的碳化合物, 能量富集的植物物质已被耗

收稿日期: 2012-03-08; 修订日期: 2012-05-04

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05050508); 国家自然科学基金项目 (40830535, 40901051, 41171092, 41101092)

作者简介: 霍莉莉 (1986~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为湿地生态系统碳循环, E-mail: huoliliforgood@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: luxg@neigae.ac.cn

尽,表明深层土壤有机质是经过高度加工的<sup>[10]</sup>.因此,SOC的周转时间和化学难降解性随深度增加而增加<sup>[4,6]</sup>.60~80 cm SOC由于受到生物和物理保护,能保存上百万年,即使是在很适宜的环境条件下,深层SOC也很难矿化分解<sup>[9]</sup>.认识深层土壤中较稳定的有机碳库对于理解气候变化和人类活动对陆地碳循环的影响至关重要<sup>[11]</sup>,SOC的垂直分布引起了人们的关注.

深层SOC的一个重要来源就是可溶性有机碳(DOC)的垂直迁移.由于土壤碳的有效固存时间是几十年,表层易分解的碳必须进入稳定库或者进入更深的土层,DOC淋失在碳从表面迁移及其与土壤矿物固定在一起的过程中发挥着重要作用<sup>[12]</sup>.从20~100 cm土壤溶液中丢失的可溶性有机质(DOM)很大部分是被土壤截留变成了更稳定的碳<sup>[12,13]</sup>.Kalbitz等<sup>[14]</sup>指出O层和A层土壤中易变性DOM被优先去除,这导致更多难分解的碳淋失到下层,在下层这些生物难利用的DOM与矿物表面相互作用更降低了生物可利用性;对森林土壤有机质动态的研究表明残体和腐殖质是DOM主要来源,下层矿质层是碳库.0~10 cm表土层内,大部分碳被生物氧化的速度太快而不能及时变成被有效保护的碳,表土中来源于植物残体的碳与矿质层结合从而被物理固定的重要方式就是DOC淋失<sup>[15,16]</sup>.DOC运动到40 cm以下矿质化土壤中的量在针叶森林中占年碳输入量的22%,湿草甸土20 cm以下有机碳的量占年C输入量的2%.来源于DOC的运动和截留过程的碳占森林1 m深总矿质化土壤碳的20%,占湿草甸的9%<sup>[12]</sup>.由此可见,不同的土地利用/覆被会影响DOC的垂直迁移和土壤对DOC的截留.DOC对土壤剖面中碳分布的影响依赖于气候(降雨的数量是时间),土壤条件(土壤结构/质地,营养状态和pH),植被类型(根分布和残体数量质量)<sup>[9,12,13]</sup>,而土地利用/覆被变化会对这些因素造成影响.

20世纪50年代以来,三江平原沼泽湿地经历了多次大面积垦殖,湿地农田化现象严重<sup>[17]</sup>,垦殖后旱作(大豆)或水作(水稻).其中兴凯湖地区对沼泽湿地进行农业垦殖的时间较早,兴凯湖农场始建于1955年,该地区沼泽湿地农业开发较早属于土地利用/覆被剧烈变化的典型区域.为此,本研究分析了兴凯湖地区沼泽湿地及其垦殖而来的旱田和水田土壤剖面有机碳分布及土壤剖面不同深度土壤溶液中可溶性有机碳含量,试图分析垦殖前后湿地

土壤有机碳的含量和密度垂直分布以及土壤对可溶性有机碳的截留状况,揭示不同土地利用方式对土壤有机碳垂直分布规律和土壤有机碳固存的影响,以期丰富三江平原碳循环研究,为土地利用剧烈变化情景下对三江平原区域土壤有机碳库进行精确估算和预测提供数据支撑,为在兼顾固碳减排和保证粮食生产的原则下调整优化区域土地利用结构提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区设在中国科学院兴凯湖湿地生态研究站(132°20'0"E,45°21'55"N)附近,属温带大陆性季风气候,为湿润半湿润地区,年平均气温3.1℃,1月平均气温-19.2℃,7月平均气温21.2℃,无霜期150 d左右,年降水量约750 mm,集中于夏季,约占全年降水的70%;冬季多暴风雪天气,封冻期从11月~次年3月<sup>[18]</sup>.研究站附近有天然沼泽湿地(主要覆盖植物是狭叶甜茅)和已垦湿地农田,种植大豆和水稻.大豆和水稻均为一年一季连作,秋末翻耕,深度约20 cm,不施有机肥,施无机肥氮磷钾.

### 1.2 采样方法

2011年在研究区内选取天然沼泽湿地及其相邻的大豆田和水稻田样地,土壤类型为泥炭沼泽土,大豆田(开垦50 a)和水稻田(开垦为大豆田35 a后改水15 a)均由天然沼泽湿地开垦而来.土壤溶液水样采用中国科学院南京土壤研究所研制的陶土管土壤溶液定点实时采集装置<sup>[19]</sup>,于2011年3月在3块样地内分别距地表20、60和100 cm预埋设陶土管,距地表相同距离呈环形埋设3个陶土管作为重复,于2011年7月采样,采样时利用真空泵抽气造成棕色集水瓶中负压,原位抽取24 h,个别难以抽取者二次加压.所采土壤溶液冷藏于采样箱中,及时送往实验室测定DOC浓度.2011年9月末作物收获后在每块样地内呈“S”型布设3个采样点,挖深为100 cm的土壤剖面,自下而上间隔10 cm分层采集0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90、90~100 cm土样,共采集土壤样品90个.

### 1.3 分析方法

由于陶土头孔隙约为0.2 μm,因此不需要对土壤溶液样品做0.45 μm滤膜过滤的前处理,即可直接采用日本岛津TOC-VCPH仪测定DOC含量.土样运回实验室室温条件下风干,样品完全风干后以

四分法取样并研磨过 100 目筛,采用重铬酸钾外加热法测定 SOC 含量<sup>[20]</sup>;土壤容重测定采用环刀法。

#### 1.4 数据处理

采用 SPSS 13.0 中单因素方差分析模块对不同土地利用类型间的变量进行 LSD 显著性差异检验;采用 OriginPro 7.5 绘图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 垦殖对湿地土壤有机碳含量垂直分布的影响

由图 1 可以看出,沼泽湿地垦殖后,0~40 cm 土层土壤有机碳含量降低,大豆田和水稻田 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土壤有机碳含量与湿地相比分别降低了 79.07% 和 82.01%、79.01% 和 82.28%、79.86% 和 92.90%、37.49% 和 78.05%;40~50 cm 大豆田略高于沼泽湿地,湿地略高于水稻田,50~100 cm 土层沼泽湿地、大豆田和水稻田土壤有机碳含量差异不明显。垦殖显著影响沼泽湿地上层 0~40 cm 土壤有机碳含量。垦殖后通过植物残体输入到土壤中的有机质减少,垦殖后土壤水热状况的改变会增加土壤有机质的分解,土壤有机碳含量降低<sup>[21]</sup>。0~50 cm 土层大豆田土壤有机碳含量高于水稻田。据调查,生长季末大豆田产生的枯落物(枯叶和叶柄)量比水稻田高( $624.17 \pm 107.97$ )  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ;虽然收割后水稻田残留根茬量比大豆田高( $556.95 \pm 59.44$ )  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ,但是大豆田枯落物和根茬较水稻根茬更易腐解,第二年耕种时为避免影响农业机械平整土地会把尚未腐解的稻茬清除或者直接焚烧,所以 0~50 cm 大豆田土壤有机碳含量高于水稻田。

沼泽湿地、大豆田和水稻田土壤有机碳含量均随土层加深而降低,且 0~50 cm 随深度增加降低趋势更明显,50 cm 以下随深度增加有机碳含量变化不大。沼泽湿地土壤有机碳含量在 0~30 cm 土层随深度增加降低的幅度较 30~50 cm 小,即 30 cm 处是个陡降点,这是因为此类泥炭沼泽土形成的富含有机碳的泥炭层正好处在 0~30 cm 左右的深度,30 cm 以下是青灰色的潜育层,有机碳含量较低。大豆田和水稻田的土壤有机碳含量的陡降点分别在 40 cm 和 20 cm 处,这与其耕作管理方式有关(见图 1)。大豆田在苗期为提高产量要在垄间进行“蹚地”,即在垄间深耕一次,这种翻动将表层的有机碳带到了较深的土层;而水稻田插秧之前只在 0~20 cm 的表层进行打浆,相比大豆田,对土壤扰动较浅。这也是大豆田 0~40 cm 的 4 个

土层和水稻田 0~20 cm 的 2 个土层土壤有机碳含量相对均匀的原因。

垦殖虽然改变了各土层土壤有机碳含量,但是并未改变其随土壤深度的变化规律(见图 1)。随剖面深度土壤有机碳稳定性不同,现在模拟土壤碳的全球模型的缺点是无法确定碳垂直分布的异质性。把土壤看作均质的碳库,随时间和深度都具有恒定的特征和动态,忽略土壤有机碳的垂直异质性会导致全球模型预测错误,在很多情况下,土壤有机碳的垂直分布异质性对土壤碳循环都有很重要的影响,不应该被忽视<sup>[22]</sup>。近来对土壤有机碳垂直分布的研究常用固定的函数将表土有机碳外推到更深土层<sup>[4]</sup>。利用较浅土层有机碳的垂直分布做出数学公式,能够探究深层土壤有机碳的情况,促进对深层土壤有机碳收支的了解。Hilinski<sup>[23]</sup>在 CENTURY 模型中应用了一个指数函数将表土有机碳含量外推到深层土壤中,也有采用对数、幂函数,多项式函数等等来描述 1 m 深土壤有机碳分布的<sup>[24]</sup>。沼泽湿地、大豆田和水稻田土壤有机碳含量与深度的关系均可用指数函数来描述,只是具体函数形式不同:

$$\text{沼泽湿地 } y = 308.21\exp(-x/38.78) - 35.40 \\ (R^2 = 0.90, P < 0.01)$$

$$\text{大豆田 } y = 121.06\exp(-x/208.81) - 74.51 \\ (R^2 = 0.91, P < 0.01)$$

$$\text{水稻田 } y = 44.65\exp(-x/24.21) + 2.72 \\ (R^2 = 0.88, P < 0.01)$$

因此,在湿地大面积垦殖,土地利用变化剧烈的情景下采用模型对兴凯湖地区土壤有机碳库进行估算和预测时可针对不同土地利用方式采用具体的指数函数将表土有机碳含量外推到深层,以使模拟结

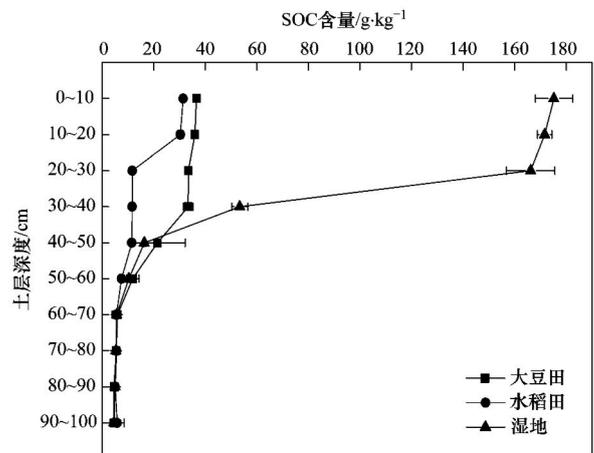


图 1 垦殖前后土壤有机碳含量垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of SOC content before and after reclamation

果更精确.

## 2.2 垦殖对湿地土壤有机碳密度垂直分布的影响

沼泽湿地、大豆田和水稻田土壤有机碳密度分别为31 803.19、23 692.08和16 744.26  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ,大豆田和水稻田有机碳密度相比沼泽湿地分别降低了25.50%和47.35%,大豆田土壤有机碳密度高于水稻田,这与王丽丽等<sup>[25]</sup>对三江平原的研究结论一致. 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 这4个土

层大豆田和水稻田土壤有机碳密度都低于沼泽湿地,40~50 cm和50~60 cm土层大豆田有机碳密度最高,水稻田最低,沼泽湿地居中;60 cm以下土层三者差异不显著(见表1,  $P < 0.05$ ). 沼泽湿地、大豆田和水稻田0~50 cm土层土壤有机碳密度占1 m深土壤总有机碳密度的比例分别为:87.24%、81.19%和76.83%,土壤有机碳大部分储存在0~50 cm土层中.

表1 垦殖前后土壤有机碳密度<sup>1)</sup>

Table 1 Density of SOC before and after reclamation

土层深度/cm	土壤有机碳密度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$			土层深度/cm	土壤有机碳密度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$		
	大豆田	水稻田	湿地		大豆田	水稻田	湿地
0~10	4 176.31(b)	3 656.71(b)	6 216.45(a)	50~60	1 675.35(a)	964.66(b)	1 370.10(ab)
10~20	4 258.52(b)	4 025.13(b)	6 529.61(a)	60~70	862.56(a)	734.81(a)	747.95(a)
20~30	3 898.00(ab)	1 799.13(b)	7 768.97(a)	70~80	731.58(a)	751.96(a)	706.16(a)
30~40	3 962.57(a)	1 773.68(b)	5 132.86(a)	80~90	598.89(a)	664.96(a)	656.51(a)
40~50	3 030.44(a)	1 610.13(a)	2 095.74(a)	90~100	609.59(a)	808.08(a)	578.85(a)
0~100	23 692.08(b)	16 744.26(b)	31 803.19(a)	— <sup>2)</sup>	—	—	—

1) 括号内为标准误差,每一行中不同小写字母表示同一土层不同垦殖利用方式间差异显著( $P < 0.05$ ); 2) “—”表示无数据

## 2.3 垦殖对湿地土壤截留可溶性有机碳的影响

由图2可知,20 cm处沼泽湿地土壤溶液可溶性有机碳含量介于大豆田和水稻田之间,大豆田高于水稻田.这是因为可溶性有机碳大部分来源于植物残体<sup>[26]</sup>,大豆田相比水稻田表层残留较多的易腐解的枯落物,产生较多的可溶性有机碳;水分是可溶性有机碳沿土壤剖面向下迁移的动力<sup>[27]</sup>,大豆田相比有地表积水的沼泽土壤水分条件不利于可溶性有机碳垂直向下迁移,产生的可溶性有机碳容易在表土部分滞留<sup>[13,28]</sup>,因此虽然沼泽湿地植物残体较大豆田多,但是20 cm处土壤溶液中可溶性有机碳含量却低于大豆田;60 cm处沼泽湿地和大豆田高

于水稻田;100 cm处水稻田介于沼泽湿地和大豆田之间,大豆田低于水稻田.

沼泽湿地土壤溶液可溶性有机碳含量随深度增加逐渐降低;大豆田和水稻田土壤溶液可溶性有机碳含量随深度变化趋势均与沼泽湿地相同.沼泽湿地、大豆田和水稻田可溶性有机碳向下迁移过程中均被土壤吸附截留<sup>[29]</sup>.沼泽湿地、大豆田和水稻田土壤溶液可溶性有机碳含量20~60 cm的降低幅度分别为:17.65%、26.97%和8.49%,20~100 cm的降低幅度分别为19.14%、54.54%和19.44%;大豆田对可溶性有机碳的截留效果较有积水的沼泽湿地和水稻田更明显,沼泽湿地和水稻田土壤对可溶性有机碳的截留效果大致相当.

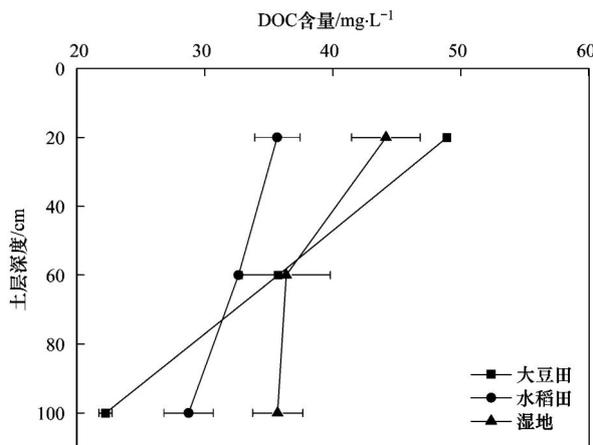


图2 垦殖前后土壤溶液中可溶性有机碳含量随深度的变化

Fig. 2 Variation of DOC concentration with soil depth before and after reclamation

## 3 结论

(1) 垦殖显著降低湿地0~40 cm土壤有机碳含量,垦殖前后土壤有机碳含量在0~50 cm随深度增加降低更明显,50 cm以下随深度增加有机碳含量变化不大;垦殖降低了湿地土壤有机碳密度,且大豆田土壤有机碳密度高于水稻田,三者1 m深土壤有机碳均是大部分储存在0~50 cm土层中.

(2) 垦殖改变了湿地剖面土壤有机碳含量,但是并未改变土壤有机碳含量随土壤深度的变化规律,垦殖前后土壤有机碳含量与深度之间的关系均可用指数函数来描述.

(3) 大豆田对可溶性有机碳的截留效果较有积

水的沼泽湿地和水稻田更明显, 沼泽湿地和水稻田土壤对可溶性有机碳的截留效果大致相当。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Post W M, Mann L K. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation. In: Bouwman A F (Ed. ). Soils and the greenhouse Effect[M]. New York: John Wiley and Sons Inc, 1990. 401-406.
- [ 2 ] Grace J. Understanding and managing the global carbon cycle [J]. Journal of Ecology, 2004, **92**(2): 189-202.
- [ 3 ] Sundquist E T. The global carbon dioxide budget[J]. Science, 1993, **259**(5097): 934-941.
- [ 4 ] Meersmans J, Van Wesemael B, De Ridder F, *et al.* Changes in organic carbon distribution with depth in agricultural soils in northern Belgium, 1960- 2006 [J]. Global Change Biology, 2009, **15**(11): 2739-2750.
- [ 5 ] Conant R T, Paustian K. Potential soil carbon sequestration in overgrazed grassland ecosystems [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2002, **16**(4): 1143-1151.
- [ 6 ] Lorenz K, Lal R. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons[J]. Advances in Agronomy, 2005, **88**: 35-66.
- [ 7 ] Baisden W T, Parfitt R L. Bomb <sup>14</sup>C enrichment indicates decadal C pool in deep soil? [J]. Biochemistry, 2007, **85**(1): 59-68.
- [ 8 ] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world [J]. European Journal of Soil Science, 1996, **47**(2): 151-163.
- [ 9 ] Fontaine S, Barot S, Barré P, *et al.* Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply[J]. Nature, 2007, **450**(7167): 277-280.
- [ 10 ] Rumpel C, Kögel-Knabner I. Deep soil organic matter-a key but poorly understood component of terrestrial C cycle[J]. Plant and Soil, 2011, **338**(1-2): 143-158.
- [ 11 ] Wang S, Huang M, Shao X M, *et al.* Vertical distribution of soil organic carbon in China[J]. Environmental Management, 2004, **33**(S1): 200-209.
- [ 12 ] Sanderman J, Amundson R. A comparative study of dissolved organic carbon transport and stabilization in California forest and grassland soils[J]. Biogeochemistry, 2008, **89**(3): 309-327.
- [ 13 ] Strahm B D, Harrison R B, Terry T A, *et al.* Changes in dissolved organic matter with depth suggest the potential for postharvest organic matter retention to increase subsurface soil carbon pools[J]. Forest Ecology and Management, 2009, **258**(10): 2347-2352.
- [ 14 ] Kalbitz K, Kaiser K. Contributions of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2008, **171**(1): 52-60.
- [ 15 ] Baisden W T, Amundson R, Cook A C, *et al.* Turnover and storage of C and N in five density fractions from California annual grassland surface soils [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2002, **16**(4): 1117, doi: 10.1029/2001GB001822.
- [ 16 ] Ewing S A, Sanderman J, Baisden W T, *et al.* Role of large-scale soil structure in organic carbon turnover: Evidence from California grassland soils[J]. Journal of Geophysical Research, 2006, **111**: G03012, doi: 10.1029/2006JG000174.
- [ 17 ] 王宗明, 宋开山, 刘殿伟, 等. 1954~2005年三江平原沼泽湿地农田化过程研究[J]. 湿地科学, 2009, **7**(3): 208-217.
- [ 18 ] 曾涛. 兴凯湖湿地生态旅游资源评价、监测与开发研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [ 19 ] 邹元春, 吕宪国, 姜明. 不同水文情势下环形湿地土壤铁的时空分布特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(7): 2059-2064.
- [ 20 ] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 33.
- [ 21 ] 宋长春, 王毅勇, 阎百兴, 等. 沼泽湿地开垦后土壤水热条件变化与碳、氮动态[J]. 环境科学, 2004, **25**(3): 150-154.
- [ 22 ] Braakhekke M C, Reichstein M, Kruijt B, *et al.* The importance of vertical heterogeneity in soil organic matter for determining soil respiration and carbon sequestration with global ecosystem models [A]. In: American Geophysical Union, Fall Meeting 2007[C]. B23D-1576.
- [ 23 ] Hilinski T E. Implementation of exponential depth distribution of organic carbon in the CENTURY model[EB/OL]. <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century5/reference/html/Century/exp-c-distrib.htm>, 2001.
- [ 24 ] Jobbágy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation [J]. Ecological Applications, 2000, **10**(2): 423-436.
- [ 25 ] 王丽丽, 宋长春, 葛瑞娟, 等. 三江平原湿地不同土地利用方式下土壤有机碳储量研究[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(6): 656-660.
- [ 26 ] Müller M, Alewell C, Hagedorn F. Effective retention of litter-derived dissolved organic carbon in organic layers [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, **41**(6): 1066-1074.
- [ 27 ] Schulze K, Borken W, Matzner E. Dynamics of dissolved organic <sup>14</sup>C in throughfall and soil solution of a Norway spruce forest[J]. Biogeochemistry, 2010, **106**(3): 461-473.
- [ 28 ] Wickland K P, Neff J C, Aiken G R. Dissolved organic carbon in Alaskan boreal forest: sources, chemical characteristics, and biodegradability[J]. Ecosystems, 2007, **10**(8): 1323-1340.
- [ 29 ] Rosenqvist L, Kleja D B, Johansson M B. Concentrations and fluxes of dissolved organic carbon and nitrogen in a *Picea abies* chronosequence on former arable land in Sweden [J]. Forest Ecology and Management, 2010, **259**(3): 275-285.

## CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China .....	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> ( 1 )
Compositions of Organic Acids in PM <sub>10</sub> Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere .....	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> ( 8 )
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong .....	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> ( 15 )
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO <sub>x</sub> and SO <sub>2</sub> from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption .....	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan ( 21 )
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region .....	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> ( 27 )
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer .....	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> ( 34 )
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane .....	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> ( 39 )
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea .....	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng ( 45 )
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010 .....	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> ( 51 )
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters .....	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> ( 61 )
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data .....	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> ( 69 )
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave .....	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> ( 77 )
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources .....	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> ( 84 )
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River .....	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> ( 91 )
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River .....	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> ( 98 )
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir .....	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> ( 108 )
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir .....	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei ( 116 )
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River .....	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> ( 121 )
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taotzi Bay and Sishili Bay .....	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> ( 129 )
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin .....	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> ( 137 )
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i> .....	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> ( 145 )
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters .....	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> ( 150 )
Effects of Allochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> ( 156 )
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility .....	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> ( 163 )
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process .....	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> ( 169 )
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors .....	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> ( 177 )
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron .....	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin ( 182 )
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO <sub>2</sub> on Malachite Green .....	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao ( 188 )
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant .....	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> ( 194 )
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge .....	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> ( 198 )
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N <sub>2</sub> O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge .....	HAN Xue, GAO Da-wen ( 204 )
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> .....	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> ( 209 )
Characteristic and Ion Exchanges During Cu <sup>2+</sup> and Cd <sup>2+</sup> Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> .....	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> ( 217 )
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides .....	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> ( 226 )
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina .....	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> ( 231 )
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City .....	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> ( 237 )
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing .....	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> ( 244 )
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment .....	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> ( 251 )
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis ( MERA) .....	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> ( 257 )
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization .....	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> ( 263 )
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions .....	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen ( 271 )
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon .....	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> ( 277 )
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC .....	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> ( 283 )
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta .....	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo ( 288 )
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland .....	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> ( 293 )
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil .....	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> ( 302 )
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) <sub>3</sub> and Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng ( 308 )
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi .....	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling ( 315 )
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions .....	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> ( 321 )
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons .....	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> ( 328 )
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis .....	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> ( 336 )
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor .....	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> ( 347 )
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing .....	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> ( 357 )
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient .....	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> ( 364 )
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City .....	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> ( 373 )
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou .....	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> ( 379 )
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors .....	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin ( 385 )
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing .....	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin ( 395 )
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands .....	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang ( 401 )

# 《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1月15日 34卷 第1期

## ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 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

国内外公开发行人