

# 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,吴水正(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)

汾水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,唐立栲,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)

# 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<sup>1,2</sup>, 于君宝<sup>1\*</sup>, 管博<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海岸带环境过程重点实验室(烟台海岸带研究所), 山东省海岸带环境过程重点实验室, 中国科学院烟台海岸带研究所滨海湿地研究室, 烟台 264003; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 应用物理分组方法研究了黄河三角洲典型碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征. 结果表明, 研究区土壤重组有机碳是土壤有机碳的主要组成部分, 土壤重组有机碳含量、土壤颗粒有机碳含量与土壤总有机碳含量都显著正相关. 研究区土壤轻组组分比例和含量范围分别在0.008%~0.15%和0.10~0.40 g·kg<sup>-1</sup>, 颗粒有机碳分配比例范围为8.83%~30.58%, 说明黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳中非保护性组分较低, 碳库相对稳定.

**关键词:** 黄河三角洲湿地; 土壤有机碳; 重组组分; 轻组组分; 颗粒有机碳; 碱蓬湿地

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0288-05

## Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in *Suaeda salsa* Wetland in the Yellow River Delta

DONG Hong-fang<sup>1,2</sup>, YU Jun-bao<sup>1</sup>, GUAN Bo<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, The Laboratory of Coastal Wetland Ecology, Yantai 264003, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Applying the method of physical fractionation, distribution characteristics of soil organic carbon and its composition in *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River delta were studied. The results showed that the heavy fraction organic carbon was the dominant component of soil organic carbon in the studied region. There was a significantly positive relationship between the content of heavy fraction organic carbon, particulate organic carbon and total soil organic carbon. The ranges of soil light fraction organic carbon ratio and content were 0.008%-0.15% and 0.10-0.40 g·kg<sup>-1</sup>, respectively, and the range of particulate organic carbon ratio was 8.83%-30.58%, indicating that the non-protection component of soil organic carbon was low and the carbon pool was relatively stable in *Suaeda salsa* wetland of the Yellow River delta.

**Key words:** Yellow River Delta Wetland; soil organic carbon; heavy fraction organic carbon; light fraction organic carbon; particulate organic carbon; *Suaeda salsa* wetland

湿地是陆地表层重要的生态系统之一, 尽管面积仅占陆地表层的4%~6%, 其有机碳储量约是陆地生态圈碳储量的20%~25%<sup>[1,2]</sup>. 湿地是碳重要的转化场所, 湿地土壤有机碳库的源、汇转换对气候变化的响应极为敏感. 土壤有机碳库可分为周转时间较短的活性库和周转时间较长的稳定库, 土壤有机碳的变化主要表现为活性有机碳库的变化<sup>[3]</sup>. 通过密度分组的方法, 可将土壤有机质分为轻组有机质(LFOM)和重组有机质(HFOM), 其中轻组有机质(土粒密度<1.8~2.0 g·cm<sup>-3</sup>)主要包括处于不同分解阶段的植物残体、小的动物和微生物<sup>[4]</sup>, 是植物残体分解后形成的一种过渡有机质库, 具有较高的周转速率, 易分解<sup>[5]</sup>. 重组有机质(土粒密度>1.8~2.0 g·cm<sup>-3</sup>)主要由与黏土矿物牢固复合的腐殖物质组成, 属于分解速度极慢的有机碳库. 利用粒径分组法可分出颗粒有机质(53~2000 μm). 颗粒有机质主要来源于分解速度中等的植物残体分

解产物, 周转期5~20 a, 分解活性介于轻组有机质和腐殖化有机物之间<sup>[6]</sup>. 轻组有机质和颗粒有机质代表了土壤有机质中的非保护性组分. 土壤有机碳的密度分组和粒径分组统称为物理分组, 物理分组方法对有机碳结构破坏程度极小, 分离的有机碳组分能够反映原状有机碳结构与功能, 尤其反映有机碳周转特征<sup>[7,8]</sup>. 因此, 采用物理分组方法分离土壤有机碳不同组分, 对揭示土壤碳过程和碳库动态变化机理具有重要的意义.

黄河三角洲滨海湿地是世界上暖温带保存最广阔、最完善、最年轻的湿地生态系统, 生态类型独特.

收稿日期: 2012-03-07; 修订日期: 2012-06-20

基金项目: 山东省自然科学基金杰出青年基金项目(JQ201114); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-223); 中国科学院百人计划项目; “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAC02B01)

作者简介: 董洪芳(1984~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为湿地生物地球化学.

\* 通讯联系人, E-mail: junbaoyu@gmail.com; jbyu@yic.ac.cn

近年来对黄河三角洲海滨湿地生态系统生源元素生物地球化学行为研究逐渐增多<sup>[9-15]</sup>, 而其机制研究还需进一步深入. 因此本研究目的是应用物理分组方法, 分析黄河三角洲典型碱蓬湿地土壤有机碳的结构和功能, 以期为进一步深入探讨黄河三角洲湿地碳元素生物地球化学循环过程提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况与土壤样品采集

研究区是以保护黄河口新生湿地生态系统和珍稀濒危鸟类为主体的黄河三角洲国家级自然保护区. 该区属温带季风型大陆性气候, 四季分明, 冷热干湿界限极明显, 春季干旱多风回暖快, 夏季炎热多雨, 秋季凉爽多晴天, 冬寒少雪多干燥. 年平均气温 12.1℃, 无霜期 196 d, 年平均降水量为 551.6 mm, 70% 的降水集中于 7、8 月, 年均蒸发量 1962 mm. 土壤为隐域性潮土和盐土土类, 主要植被有草本植物芦苇 (*Phragmites australis*)、翅碱蓬 (*Suaeda salsa*)、荻 (*Triarrhena sacchariflora*)、补血草 (*Limonium sinense*)、蒲草 (*Typha angustifolia*) 等; 普遍存在的灌木仅柺柳 (*Tamarix chinensis*) 1 种; 天然乔木仅旱柳 (*Salix matsudana*) 1 种, 且仅在黄河河道两岸有少量分布<sup>[9,15]</sup>. 供试土壤样品于 2010 年 5 月采自山东省东营市黄河三角洲自然保护区内的潮间带典型碱蓬湿地 (中潮滩和低潮滩). 土壤剖面样品的采集自上而下分层进行, 每层 10 cm, 采样深度为 60 cm. 随机选择 3 个重复点采样, 将对应土层的 3 份土壤混合, 作为该采样点表层土壤的代表性样品带回实验室. 样品经自然风干后, 用四分法取一部分, 剔除可见的植物残体, 经研磨制备 2 mm 的待测样品.

### 1.2 土壤物理组分的分离和测定方法

密度组分分离采用改进的比重法<sup>[16]</sup>. 取研磨过 2 mm 孔径土壤筛的干土 5.0 g, 放置于 25 mL 1.8 g·cm<sup>-3</sup> ZnBr<sub>2</sub> 溶液中, 振荡 5 min, 再采用超声波 (400 J·mL<sup>-1</sup>) 振荡 3 min 后, 用离心机离心, 虹吸法取上清液, 过滤, 重复操作 5 次. 所得样品用 100 mL 0.01 mol·L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> 溶液洗涤, 再用 200 mL 蒸馏水反复冲洗, 得到轻组组分. 剩余部分为重组组分, 用 100 mL 0.01 mol·L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> 溶液洗涤, 再用 200 mL 蒸馏水反复冲洗. 60℃ 下烘干, 称量. 计算烘干样品质量占土壤样品质量的比例后, 再取出部分样品用于分析有机碳含量. 根据计算的比例和有机碳含量, 计算各组分中有机碳在整个样品中的含量. 以各组分有机碳含量值除以土壤有机碳总含量得到

各组分有机碳的分配比例.

颗粒组分有机碳分离首先取研磨过 2 mm 孔径土壤筛的干土 20.0 g, 把土样放在 100 mL 焦磷酸钠 ( $(\text{NaPO}_3)_6$ ) (5 g·L<sup>-1</sup>) 的水溶液中. 摇匀后用振荡器 (120 r·min<sup>-1</sup>) 振荡 18 h. 把土壤悬液过 53 μm 筛, 反复用蒸馏水冲洗, 留在筛子上的部分为 > 53 μm 的颗粒组分, 其所含有机碳为颗粒组分有机碳 (POC). 60℃ 下烘干, 称量. 通过分析烘干样品中有机碳含量, 计算颗粒有机质中的有机碳含量, 再换算为单位质量土壤样品的对应组分有机碳含量. 以颗粒有机质中有机碳含量值除以土壤有机碳总含量得到颗粒有机碳的分配比例.

土壤有机碳物理组分分配比例:  $P_w = \text{FOC}/\text{SOC}$  式中,  $P_w$  为土壤有机碳物理组分分配比例; FOC 为土壤物理组分有机碳含量 (g·kg<sup>-1</sup>); SOC 为土壤有机碳含量 (g·kg<sup>-1</sup>).

### 1.3 数据处理

数据处理用 SPSS 16.0, 采用 Origin Pro 7.5 软件进行绘图.

## 2 结果与分析

### 2.1 有机碳密度组分的剖面分布

分组过程中分离出的轻组有机质由于量少而无法直接测定其碳含量, 因此, 本研究采用的轻组碳含量为总有机碳含量减去重组碳含量 (表 1). 图 1 为研究区土壤轻组组分和重组组分占整个土壤质量的比例. 分析结果表明, 中潮滩碱蓬湿地轻组分比例范围 0.008% ~ 0.02%, 低潮滩碱蓬湿地轻组分比例范围 0.03% ~ 0.15%, 相应的轻组有机碳含量范围分别为 0.10 ~ 0.19 g·kg<sup>-1</sup> 和 0.16 ~ 0.40 g·kg<sup>-1</sup>, 低潮滩碱蓬湿地中轻组分比例及轻组碳含量明显高于中潮滩碱蓬湿地. 中潮滩土壤轻组组分大部分聚集在土壤表层, 随土层深度的增加而下降. 低潮滩湿地土壤轻组组分比例峰值在 50 ~ 60 cm 土层. 此外, 该研究区 (中潮滩、低潮滩) 土壤重组组分比例均高于 99%.

由图 2 可以看出, 重组中集中了 90% 以上的土壤有机碳, 即该研究区土壤有机碳的主要组成部分是重组有机碳. 重组有机碳在土壤剖面分布特征与土壤有机碳分布特征一致, 随土壤深度呈一定的高低波动变化, 没有表现出明显的规律性. 低潮滩土壤有机碳及重组有机碳含量高于中潮滩区域. 相关分析表明, 土壤轻重组分比例与 SOC 没有相关性, 而土壤重组有机碳含量与 SOC 显著正相关 ( $P < 0.01$ ).

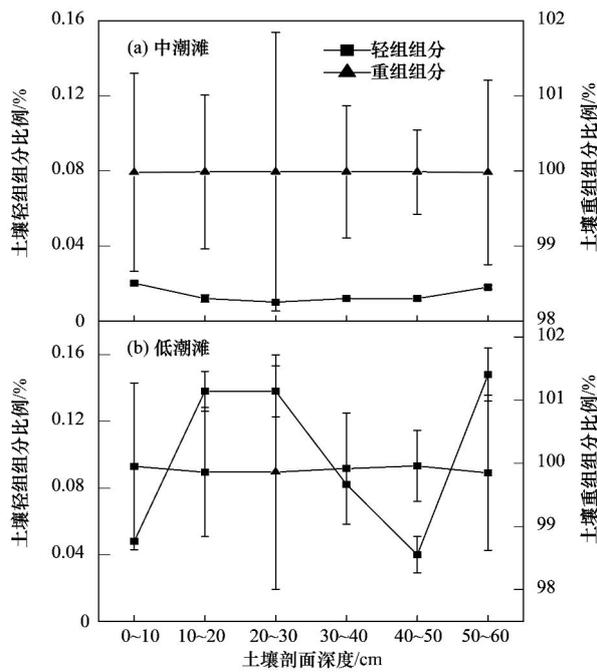


图1 黄河三角洲中潮滩碱蓬湿地和低潮滩碱蓬湿地土壤有机碳轻组组分与重组组分比例

Fig. 1 Ratio of physical fractions in the middle tidal flat and low tidal flat *Suaeda salsa* wetland of the Yellow River delta

表1 土壤轻组组分特征

Table 1 Content of light fraction of soil organic carbon

研究区	土壤剖面深度/cm	轻组有机碳含量 (LFOC)/g·kg <sup>-1</sup>	轻组有机碳分配比例 (P <sub>LF</sub> )/%
中潮滩碱蓬湿地	0~10	0.17 ± 0.09	5.65 ± 2.94
	10~20	0.10 ± 0.06	4.06 ± 2.21
	20~30	0.19 ± 0.06	3.88 ± 1.27
	30~40	0.15 ± 0.01	3.33 ± 0.25
	40~50	0.13 ± 0.04	4.73 ± 1.60
	50~60	0.16 ± 0.06	4.77 ± 1.74
低潮滩碱蓬湿地	0~10	0.16 ± 0.03	4.79 ± 0.86
	10~20	0.40 ± 0.06	6.49 ± 0.99
	20~30	0.37 ± 0.05	8.17 ± 1.09
	30~40	0.21 ± 0.03	7.15 ± 1.11
	40~50	0.20 ± 0.07	6.09 ± 2.17
	50~60	0.29 ± 0.06	8.80 ± 1.80

## 2.2 土壤颗粒组分有机碳剖面分布特征

土壤颗粒组分比例是粒径在 53 ~ 2 000 μm 土粒质量占整个土壤质量的比例,颗粒有机碳比例是土壤中颗粒有机碳含量占土壤有机碳含量的比例。由表 2 可以看出,中潮滩碱蓬湿地土壤颗粒组分比例范围是 10.03% ~ 50.59%,10 ~ 20 cm 土层土壤颗粒组分分配比例最高;低潮滩碱蓬湿地土壤颗粒组分比例范围为 3.29% ~ 32.57%,10 ~ 20 cm 土层土壤颗粒组分分配比例最低。在剖面分布上,0

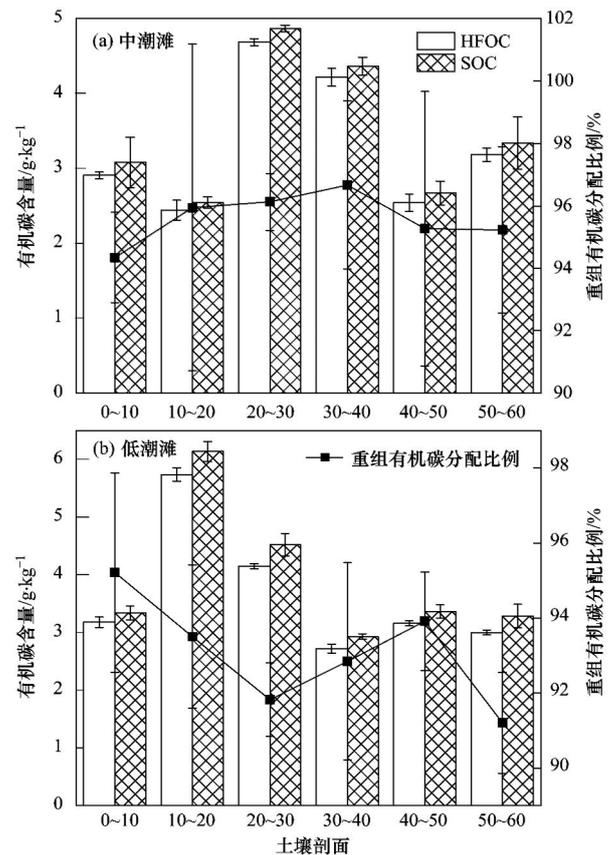


图2 中潮滩和低潮滩碱蓬湿地的土壤重组有机碳含量及分配比例比较

Fig. 2 Comparison of the content and proportion of HFOC in the middle tidal flat and low tidal flat *Suaeda salsa* wetland of the Yellow River delta

~20 cm 土层中潮滩碱蓬湿地土壤颗粒组分比例显著高于低潮滩碱蓬,20 ~ 60 cm 剖面上规律相反。

在垂直剖面上,两种类型碱蓬湿地土壤颗粒有机碳含量呈现明显的层次结构,0 ~ 30 cm > 30 ~ 60 cm。POC 分配比例在土壤深度上有差异,在中潮滩呈 M 分布,在低潮滩随土壤深度增加而降低。二者比较而言,除表层土壤外,中潮滩湿地土壤颗粒有机碳含量及颗粒有机碳分配比例高于低潮滩。

相关分析表明(表 3),土壤颗粒组分比例与颗粒碳含量有显著负相关性( $P < 0.05$ ),土壤颗粒组分有机碳含量与 SOC 显著正相关( $P < 0.01$ )。

## 3 讨论

土壤轻组有机质对土壤有机质周转有重要作用,是植物养分的短期储存库,是土壤中不稳定有机碳库的重要组成部分。前人研究发现,在 0 ~ 110 cm 土层轻组有机碳平均分配比例农田为 31.6%,牧草地为 33.8%,天然次生林为 23% ~ 35%,而落叶松

表 2 土壤颗粒组分特征

Table 2 Characteristics of soil particulate fraction of organic carbon

类型	土层 /cm	土壤有机碳含量 /g·kg <sup>-1</sup>	土壤颗粒组分比例 /%	土壤颗粒组分碳含量/g·kg <sup>-1</sup>	土壤颗粒有机碳含量/g·kg <sup>-1</sup>	土壤颗粒有机碳分配比例/%
中潮滩碱蓬湿地	0~10	3.08 ± 0.33	25.25 ± 2.30	2.98 ± 0.29	0.75 ± 0.07	24.42 ± 2.39
	10~20	2.54 ± 0.88	50.59 ± 4.57	1.54 ± 0.27	0.78 ± 0.13	30.58 ± 5.28
	20~30	4.87 ± 0.04	10.03 ± 1.42	7.75 ± 0.31	0.78 ± 0.03	15.97 ± 0.64
	30~40	4.36 ± 0.12	13.69 ± 1.27	3.22 ± 0.33	0.44 ± 0.05	10.12 ± 1.05
	40~50	2.67 ± 0.16	22.26 ± 1.72	3.07 ± 0.27	0.68 ± 0.06	25.61 ± 2.21
	50~60	3.34 ± 0.35	15.59 ± 1.76	3.18 ± 0.25	0.50 ± 0.04	14.84 ± 1.15
	平均值	3.48 ± 0.18	22.90 ± 2.17	3.62 ± 0.29	0.66 ± 0.06	20.26 ± 2.12
低潮滩碱蓬湿地	0~10	3.34 ± 0.12	25.32 ± 2.56	3.69 ± 0.27	0.94 ± 0.07	28.03 ± 2.02
	10~20	6.14 ± 0.18	3.29 ± 0.12	16.44 ± 0.88	0.54 ± 0.03	8.83 ± 0.47
	20~30	4.52 ± 0.19	14.52 ± 1.23	5.29 ± 0.29	0.77 ± 0.04	16.99 ± 0.94
	30~40	2.93 ± 0.04	32.57 ± 3.16	1.18 ± 0.25	0.39 ± 0.08	13.15 ± 2.74
	40~50	3.36 ± 0.12	26.24 ± 2.46	1.57 ± 0.31	0.41 ± 0.08	12.23 ± 2.42
	50~60	3.29 ± 0.2	18.16 ± 1.98	2.20 ± 0.29	0.40 ± 0.05	12.19 ± 1.61
	平均值	3.93 ± 0.14	20.02 ± 1.92	5.06 ± 0.38	0.58 ± 0.06	15.24 ± 1.70

表 3 土壤颗粒组分比例与颗粒有机碳及 SOC 的相关系数<sup>1)</sup>

Table 3 Correlation coefficients of soil particulate fraction ratio, soil particulate organic carbon and SOC

	SOC	颗粒组分比例	土壤颗粒组分碳含量	土壤颗粒有机碳含量	土壤颗粒有机碳分配比例
SOC	1	-0.0797**	0.892**	-0.594*	0.249
颗粒组分比例		1	-0.674*	0.651*	0.039
土壤颗粒组分碳含量			1	-0.356	0.425
土壤颗粒有机碳含量				1	0.502
土壤颗粒有机碳分配比例					1

1) \*\*表示  $P < 0.01$ ; \*表示  $P < 0.05$ ;  $N = 12$

人工林为 30.7% ~ 34.4%<sup>[8]</sup>; 洞庭湖湿地湖草滩地表层 0~10 cm 轻组碳分配比例在 20% 以上, 而芦苇滩地和垦殖水田表层 0~10 cm 的有机碳以稳定的重组碳为主 (>90%)<sup>[17]</sup>; 小叶章沼泽化草甸土壤轻组碳分配比例为 33.8%, 重组碳分配比例为 66.2%<sup>[18]</sup>. 与之相比, 本研究区土壤轻组分含量极少, 约为 0.008% ~ 0.15%, 低潮滩碱蓬湿地轻组分比例高于中潮滩碱蓬湿地轻组分比例. 土壤轻组有机质主要来源于不同分解阶段的植物残体<sup>[19]</sup>, 因而其大小和组成具有季节波动性, 植物凋落物以及凋落物的分解速率将影响轻组有机质的含量. 在碱蓬生长初期, 碱蓬湿地土壤中轻组有机质含量极低主要是由于研究区受潮汐海流影响严重, 潮间带水动力混合作用强烈, 带走大量地表植物枯落物及残体. 相对而言, 低潮滩区域土壤有机碳含量及轻组分比例高于中潮滩区域, 一方面可能受生物活动的影响, 低潮滩区域常年有大量潮汐蟹、蝼蛄等动物活动, 动物的一系列行为如挖洞、搅拌、再混合、捕食, 使得部分植物残体由地表浸入到地下; 另一方面, 受潮汐涨落影响, 泥沙输移和冲淤变化频繁, 地表动植物残体及表层沉积物不断沉降, 增加了土壤

中有机碳及轻组分的含量. 重组有机碳含量决定土壤碳库的稳定性和土壤质量. 本研究表明, 该研究区土壤有机碳的主要组成部分是重组有机碳, 属于分解速度极慢的有机碳库, 土壤碳库比较稳定. 低潮滩土壤有机碳及重组有机碳含量高于中潮滩区域, 可能受外源输入的影响, 潮汐海流带来营养物质堆积导致.

土壤颗粒组分比例反映了土壤中非保护结构部分的相对数量, 土壤颗粒有机碳含量反映了土壤中非保护性有机碳数量, 颗粒有机碳比例则反映了土壤中非保护性有机碳或非稳定性有机碳的相对数量<sup>[6]</sup>. 颗粒有机碳的比例越高, 有机碳中不稳定部分越高. 颗粒有机物受土壤外界条件的影响很敏感, 提高这部分碳在土壤中被抵押的比例, 对提高团聚体稳定性和缓解大气 CO<sub>2</sub> 浓度的上升尤为重要<sup>[20]</sup>. 研究表明, 森林(0~35 cm)的颗粒有机碳分配比例为 55% ~ 68%<sup>[21]</sup>, 0~110 cm 土层颗粒有机碳平均分配比例农田为 27%, 牧草地为 22%<sup>[8]</sup>, 而本研究区 0~60 cm 土壤颗粒有机碳平均分配比例 (15.24% ~ 20.26%) 略低于其他土地利用类型土壤. 中潮滩碱蓬湿地土壤颗粒组分比例大于低潮

滩,说明中潮滩湿地土壤中非保护结构部分较高。且由于植物根系分布、水分、pH值和土壤有机碳含量等的差异,土壤颗粒有机碳分配比例在土壤剖面上的分布也不同,中潮滩土壤颗粒有机碳平均分配比例高于低潮滩。

#### 4 结论

黄河三角洲新生碱蓬湿地非保护性有机碳分配比例低,稳定碳库(重组有机碳)比例高,说明该研究区土壤有机碳比较稳定。受潮汐海流影响,黄河三角洲典型碱蓬湿地土壤轻组组分含量及轻组碳分配比例很低,低潮滩碱蓬湿地土壤中轻组分高于中潮滩。土壤有机碳的主要组成部分是重组有机碳。该研究区土壤颗粒有机碳分配比例较低( $<31\%$ ),说明土壤中非保护性有机碳的相对数量较低。相关分析表明土壤重组有机碳含量、土壤颗粒有机碳含量与土壤总有机碳含量都显著正相关( $P < 0.01$ )。

致谢:本研究得到“中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站”的大力支持。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Parish F, Looi C C. Wetlands, biodiversity and climate change. Opinions and needs for enhanced linkage between the Ramsar conventions on wetland [R]. Convention on biological diversity and UN framework convention on climate change. Tokyo, 1999.
- [ 2 ] Maltby E, Immirzi P. Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils-regional and global perspectives[J]. *Chemosphere* 1993, **27**(6): 999-1023.
- [ 3 ] Krull E S, Baldock J A, Skjemstad J O. Importance of mechanisms and processes of the stabilisation of soil organic matter for modelling carbon turnover [J]. *Functional Plant Biology*, 2003, **30**(2): 207-222.
- [ 4 ] Golchin A, Oades J M, Skjemstad J O, *et al.* Soil structure and carbon cycling[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, **32**(5): 1043-1068.
- [ 5 ] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J]. *Global Change Biology*, 2000, **6**(3): 317-327.
- [ 6 ] Cambardella C, Elliott E. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, **58**(1): 123-130.
- [ 7 ] Christensen B T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover[J]. *European Journal of Soil Science*, 2001, **52**(3): 345-353.
- [ 8 ] 吴建国, 张小全, 王彦辉, 等. 土地利用变化对土壤物理组份中有机碳分配的影响[J]. *林业科学*, 2002, **38**(4): 19-29.
- [ 9 ] 于君宝, 陈小兵, 孙志高, 等. 黄河三角洲新生滨海湿地土壤营养元素空间分布特征[J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(4): 855-861.
- [ 10 ] 吕学军, 刘庆, 陈印平, 等. 黄河三角洲土地利用方式对土壤可溶性有机碳、氮的影响[J]. *农业现代化研究*, 2011, **32**(4): 505-508.
- [ 11 ] 董凯凯, 王惠, 杨丽原, 等. 人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征[J]. *生态学报*, 2011, **31**(16): 4778-4782.
- [ 12 ] 丁喜桂, 叶思源, 王吉松. 黄河三角洲湿地土壤、植物碳氮稳定同位素的组成特征[J]. *海洋地质前沿*, 2011, **27**(2): 66-71.
- [ 13 ] 陈印平, 夏江宝, 王进闯, 等. 黄河三角洲盐碱地人工林土壤可溶性有机氮含量及特性[J]. *水土保持学报*, 2011, **25**(4): 121-124, 130.
- [ 14 ] 于君宝, 陈小兵, 毛培利, 等. 新生滨海湿地土壤微量营养元素空间分异特征[J]. *湿地科学*, 2010, **8**(3): 213-219.
- [ 15 ] 董洪芳, 于君宝, 孙志高, 等. 黄河口滨岸潮滩湿地植物-土壤系统有机碳空间分布特征[J]. *环境科学*, 2010, **31**(6): 1594-1599.
- [ 16 ] Freixo A A, De A Machado P L O, Dos Santos H P, *et al.* Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil [J]. *Soil and Tillage Research*, 2002, **64**(3-4): 221-230.
- [ 17 ] 张文菊, 彭佩钦, 童成立, 等. 洞庭湖湿地有机碳垂直分布与组成特征[J]. *环境科学*, 2005, **26**(3): 56-60.
- [ 18 ] 张金波, 宋长春, 杨文燕. 三江平原沼泽湿地开垦对表土有机碳组分的影响[J]. *土壤学报*, 2005, **42**(5): 857-859.
- [ 19 ] Barrios E, Buresh R J, Kwesiga F, *et al.* Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, **61**(3): 826-831.
- [ 20 ] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. *土壤学报*, 2004, **41**(4): 618-623.
- [ 21 ] 吴建国, 艾丽, 田自强, 等. 祁连山中部土壤颗粒组份有机质碳含量及其与海拔和植被的关系[J]. *生态环境*, 2008, **17**(6): 2358-2365.

## 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