

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第8期

Vol.33 No.8

**2012**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源 ..... 李琦路, 李军, 刘向, 徐维海, 张干 (2533)

河北张家口市大气污染观测研究 ..... 邵平, 王莉莉, 安俊琳, 周彦丽, 王跃思 (2538)

大气中丙烷光氧化臭氧生成活性的烟雾箱模拟 ..... 黄丽华, 莫创荣, 徐永福, 贾龙 (2551)

膜生物反应器处理甲苯性能及机制 ..... 叶杞宏, 魏在山, 肖盼, 李华琴, 张再利, 樊青娟 (2558)

厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析 ..... 张红玉, 邹克华, 杨金兵, 李国学, 杨青原, 张锋 (2563)

北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究 ..... 徐志伟, 张心昱, 任玉芬, 孙晓敏, 王效科, 王升忠 (2569)

枯、平、丰水期长江3条支流表层水中多氯联苯的分布特征及风险评价 ..... 李昆, 赵高峰, 周怀东, 曾敏, 廖柏寒, 吴正勇, 张盼伟, 柳敏 (2574)

三峡库区丰水期表层水中酚类的分布特征及潜在风险 ..... 吴正勇, 赵高峰, 周怀东, 李科林, 李昆, 张盼伟 (2580)

东湖表层水体中全氟辛酸和全氟辛磺酸空间分布特征 ..... 陈静, 王琳玲, 朱湖地, 王贝贝, 刘黄诚, 曹梦华, 苗竹, 胡丽, 陆晓华, 刘光虹 (2586)

三峡库区大宁河与磨刀溪重金属污染特征 ..... 安立会, 张艳强, 郑丙辉, 刘玥, 宋双双, 李子成, 陈浩, 赵兴茹, 林进 (2592)

长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价 ..... 王岚, 王亚平, 许春雪, 安子怡 (2599)

江苏如东滩涂贝类养殖区表层沉积物中重金属来源分析及其潜在生物毒性 ..... 李磊, 王云龙, 蒋玫, 袁骥, 沈新强 (2607)

扰动强度对太湖沉积物中磷释放及其形态转化的影响 ..... 李大鹏, 黄勇 (2614)

干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用 ..... 张宇, 刘德富, 纪道斌, 杨正健, 陈媛媛 (2621)

常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响 ..... 李强, 高祥, 丁武泉, 朱启红, 欧媛, 刘瑜 (2628)

温州城市降雨径流磷的负荷及其初始冲刷效应 ..... 周栋, 陈振楼, 毕春娟 (2634)

沂蒙山区典型小流域降雨径流的磷素输出特征 ..... 于兴修, 李振炜, 刘前进, 井光花 (2644)

城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响 ..... 杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 吴金水, 胡荣桂 (2652)

基于 AnnAGNPS 模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究 ..... 边金云, 王飞儿, 杨佳, 俞洁, 楼莉萍, 俞丹萍 (2659)

基于 GIS 和 L-THIA 模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析 ..... 白凤姣, 李天宏 (2667)

黄土丘陵区坡面水蚀对降雨和下垫面微观格局的响应 ..... 卫伟, 贾福岩, 陈利顶, 吴东平, 陈瑾 (2674)

强化混凝对腐殖酸和富里酸去除对比研究 ..... 周玲玲, 张永吉, 叶河秀, 张一清 (2680)

九龙江下游水源水中新发病原微生物和抗生素抗性基因的定量 PCR 检测 ..... 王青, 林惠荣, 张舒婷, 于鑫 (2685)

布吉河丰水期总细菌和氨氧化细菌的定性和定量研究 ..... 孙海美, 白姣姣, 孙卫玲, 邵军 (2691)

曝气生物滤池工艺脱氮性能及反硝化细菌群落结构特征研究 ..... 彭晓兰, 刘聪, 陈吕军 (2701)

城市污水处理厂氧化沟工艺微生物种群分析 ..... 郭云, 杨殿海, 卢文健 (2709)

IC 反应器处理啤酒废水的效能及其微生物群落动态分析 ..... 朱文秀, 黄振兴, 任洪艳, 阮文权 (2715)

原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化 ..... 郑蓓, 葛小鹏, 于志勇, 原盛广, 张文婧, 孙景芳 (2723)

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 法对印染废水生化出水中不同种类有机物的去除效果 ..... 李新, 刘勇弟, 孙贤波, 徐宏勇, 钱飞跃, 李欣珏, 李暮 (2728)

蛋白核小球藻 *Chlorella pyrenoidosa*-15 的异养培养条件优化及污水养殖 ..... 王秀锦, 李兆胜, 邢冠岚, 李卓凝, 袁红莉, 杨金水 (2735)

“Fe<sup>0</sup>/优势脱氯菌”体系降解 2,4,6-TCP 特性及机制研究 ..... 戴友芝, 郭丽丽, 史雷, 刘智勇, 高宝钗 (2741)

树脂 D201 上粗漆酶的固定化及对孔雀石绿的脱色 ..... 戚绪亮, 刘翔, 刘波, 王林, 王小春, 方超 (2747)

TiO<sub>2</sub>/PS/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 光催化剂的低温制备及其光催化和磁回收性能 ..... 王雪姣, 任学昌, 念娟妮, 肖举强, 王刚, 常青 (2752)

微波加热下苯的催化氧化性能研究 ..... 张钰彩, 卜龙利, 王晓晖, 刘海楠, 张浩 (2759)

纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究 ..... 高丽英, 汤兵, 梁玲燕, 黄绍松, 付丰连, 罗建中 (2766)

好氧颗粒污泥沉降选择实验研究与定量描述 ..... 苏德足, 邓绣坤, 郑丽, 王畅, 金旺红, 沈俊 (2773)

超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中水解酶活性变化研究 ..... 叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝建, 许燕滨, 占星星, 刘敬勇 (2780)

微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响 ..... 宋永伟, 刘奋武, 周立祥 (2786)

实验室条件下蓝藻结皮对低温光照胁迫的响应与微结构变化 ..... 饶本强, 李华, 熊瑛, 兰书斌, 李敦海, 刘永定 (2793)

西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态 ..... 吴艳, 江长胜, 郝庆菊 (2804)

典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究 ..... 尹春艳, 骆永明, 滕应, 章海波, 陈永山, 赵永刚 (2810)

土壤铜硒复合污染中金属形态转化及其对生物有效性的影响 ..... 胡斌, 梁东丽, 赵文龙, 缪树寅 (2817)

土壤微生物群落对多环芳烃污染土壤生物修复过程的响应 ..... 张晶, 林先贵, 刘魏魏, 尹睿 (2825)

可可毛色二孢菌对焦化厂土壤多环芳烃污染修复 ..... 张志远, 王翠苹, 刘海滨, 孙红文 (2832)

广西茶山梯矿尾砂中微量元素的淋滤实验研究 ..... 蔡永兵, 李玲, 魏晓飞, 张国平, 李海霞, 付志平 (2840)

北京市近郊区土壤砷累积特征 ..... 戚浩, 王美娥, 汪自强, 欧阳志云 (2849)

抗氧化酶基因作为多环麝香污染分子标志物研究 ..... 陈春, 周启星, 刘潇威 (2855)

臭氧污染对不同品种小麦干物质与生物量碳积累与分配的影响 ..... 寇太记, 于伟伟, 朱建国, 朱新开 (2862)

尿素分解共沉淀法中反应时间对 ZnAl 类水滑石结构和磷吸附性能的影响 ..... 陆英, 程翔, 邢波, 孙中恩, 孙德智 (2868)

铅和铜离子在纳米羟基磷灰石上的竞争吸附动力学研究 ..... 胡田田, 仓龙, 王玉军, 司友斌, 周东美 (2875)

pH 和 Ni<sup>2+</sup> 对人工纳米氧化硅吸附菲的影响 ..... 罗沛, 孙红文, 张鹏 (2882)

铀在凹凸棒石上的吸附特性与机制研究 ..... 刘娟, 陈迪云, 张静, 宋刚, 罗定贵 (2889)

环丙沙星在潮土中的吸附特性 ..... 崔皓, 王淑平 (2895)

中高温区水合肼 SNCR 脱硝反应机制和特性研究 ..... 洪塗, 陈德珍, 王渡, 黄慷 (2901)

H<sub>2</sub>S 选择性催化氧化工艺及催化剂研究现状 ..... 郝郑平, 姜广玉, 张鑫, 曲思秋 (2909)

《环境科学》征稿简则 (2550)      《环境科学》征订启事 (2568)      信息 (2684, 2714, 2848, 2916)

## 西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态

吴艳<sup>1</sup>, 江长胜<sup>1,2</sup>, 郝庆菊<sup>1,2</sup>\*

(1. 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 重庆市三峡库区农业面源污染控制工程技术研究中心, 重庆 400716)

**摘要:** 以西南大学农业部紫色土生态环境重点野外科学观测试验站试验田为研究对象, 探讨了土壤有机碳 (soil organic carbon, SOC)、易氧化有机碳 (readily oxidized carbon, ROC)、可溶性有机碳 (dissolved organic carbon, DOC) 和微生物生物量碳 (microbial biomass carbon, MBC) 的季节变化。结果表明, 在油菜生长季, 紫色水稻土 SOC、ROC 及 MBC 含量具有相似的季节变化特征, 表现为在油菜生长初期和末期含量高, 而在生长中期含量低; 三者的含量均在生长末期达到最高, 分别为 16.20 g·kg<sup>-1</sup>、3.58 g·kg<sup>-1</sup> 及 309.70 mg·kg<sup>-1</sup>。DOC 含量的季节变化模态为单峰型, 在植物生长中期达到最高值 37.64 mg·kg<sup>-1</sup>。各活性有机碳组分的分配比例与其含量的季节变化趋势大致相同, ROC、DOC 分配比例以及微生物商的季节变化范围分别为 15.49%~23.93%、0.11%~0.32% 和 1.44%~2.06%。SOC 及 ROC 含量主要取决于地下 5 cm 处温度、土壤 N 含量及 pH 值, MBC 含量的主要影响因子为地下 5 cm 处温度、根系生物量及根系 C、N 含量, DOC 含量主要受土壤水分含量的限制。

**关键词:** 紫色水稻土; 土壤有机碳; 活性有机碳; 分配比例; 季节变化

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)08-2804-06

## Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China

WU Yan<sup>1</sup>, JIANG Chang-sheng<sup>1,2</sup>, HAO Qing-ju<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Eco-environments in the Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Engineering Research Center for Agricultural Non-point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** The seasonal dynamics of soil organic carbon (SOC), readily oxidized carbon (ROC), dissolved organic carbon (DOC) and microbial biomass carbon (MBC) in a purple paddy soil were studied in a long-term field experimental station in Chongqing, China. The results showed that the seasonal variations of the contents of SOC, ROC and MBC had similar trends in the rape growing season. The contents were much higher in the early and late stages than in the middle stage of the rape growth. SOC, ROC and MBC all achieved the highest values of 16.20 g·kg<sup>-1</sup>, 3.58 g·kg<sup>-1</sup> and 309.70 mg·kg<sup>-1</sup> at the end of the growing period, respectively. The seasonal change of DOC content presented as a single peak and reached to the highest value of 37.64 mg·kg<sup>-1</sup> at the middle stage of the rape growth. The temporal dynamics of the allocation ratios of ROC, MBC and DOC were similar to that of their contents. The allocation ratios of ROC, MBC and DOC were 15.49% - 23.93%, 1.44% - 2.06% and 0.11% - 0.32% during the rape growing season, respectively. The influencing factors of SOC and ROC contents were the soil temperature at 5 cm soil depth, soil total nitrogen content and pH. MBC content was jointly impacted by the soil temperature at 5 cm soil depth, root biomass and its C and N contents. DOC content was mainly affected by soil moisture.

**Key words:** purple paddy soil; soil organic carbon (SOC); active organic carbon; allocation ratios; seasonal variations

土壤有机碳 (soil organic carbon, SOC) 是影响土壤质量以及农业长期持续利用的重要因子, SOC 含量的降低将导致土壤阳离子交换量、土壤团聚体稳定性以及作物产量的减少<sup>[1]</sup>。除了作为植物营养的源和汇之外, SOC 在碳循环中还发挥着重要作用。根据不同的测定方法, 活性有机碳的组分包括易氧化态有机碳 (readily oxidized carbon, ROC) 微生物生物量碳 (microbial biomass carbon, MBC)、可溶性有机碳 (dissolved organic carbon, DOC)、颗粒有机碳以及轻组有机碳等, 其中 ROC、DOC 及 MBC 是土壤活性有机碳库的重要表征指标<sup>[2,3]</sup>。

土壤活性有机碳虽然只占土壤有机碳总量的一小部分, 但却可以直接参与土壤生物化学转化过程, 是土壤微生物活动的能源和土壤养分的驱动力<sup>[4]</sup>, 对土壤养分的生物有效性及其循环转化起着非常重要的作用。目前, 在土地利用方式变化对土壤活性

收稿日期: 2011-11-07; 修订日期: 2012-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41005069, 40975095, 40805050); 中央高校基本科研业务费专项资金 (XDJK2012A005); 西南大学生态学重点学科“211”工程三期建设项目

作者简介: 吴艳 (1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为农田生态系统碳循环, E-mail: wuyan-5201314@126.com

\* 通讯联系人, E-mail: haoqingju@163.com

有机碳组分的影响方面进行了大量的研究<sup>[5]</sup>, 在农业方面, 主要集中于不同耕作方式、不同施肥方式以及不同轮作方式等对土壤活性有机碳的影响<sup>[2,6]</sup>, 而关于活性有机碳季节变化的研究较少. 本研究以西南地区紫色水稻土 SOC、ROC、DOC 和 MBC 为对象, 探讨了它们的季节变化, 以期为增加农田土壤活性有机碳及提高土壤质量提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

试验点设在西南大学农业部重庆紫色土生态环境重点野外科学观测试验站内, 该站位于西南大学试验农场, 位处东经 106°26', 北纬 30°26', 海拔 230 m, 年平均温度与降雨量分别为 18.3°C 和 1 150.4 mm. 主要降雨分布在 5 ~ 9 月, 年均日照为 1 276.7 h, 年均无霜期为 334 d. 土壤为紫色砂泥岩母质上发育的中性紫色水稻土. 其基本理化性质为: pH 7.1; 有机质 23.1 g·kg<sup>-1</sup>; 全氮 1.7 g·kg<sup>-1</sup>; 全磷 0.8 g·kg<sup>-1</sup>; 全钾 22.7 g·kg<sup>-1</sup>; 碱解氮 120.1 mg·kg<sup>-1</sup>; 有效磷 7.5 mg·kg<sup>-1</sup>; 速效钾 71.1 mg·kg<sup>-1</sup>; 黏粒 144.2 g·kg<sup>-1</sup>.

供试稻田采用水旱轮作(水稻-油菜)制度, 是四川盆地稻田传统耕作方法, 淹水平作种植水稻, 水稻收获后, 四边开沟排干稻田积水, 翻耕, 将稻茬 [2 697.0 ~ 3 532.5 kg·(hm<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>] 翻入土中, 种油菜. 油菜生长期, 尽可能地保持四边沟内无积水. 油菜收获后, 淹水, 翻耕将油菜残茬 [768.0 ~ 987.0 kg·(hm<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>] 和杂草 [6 217.5 ~ 8 004.0 kg·(hm<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>] 翻入土中, 种水稻. 施肥量为: N 125 kg·hm<sup>-2</sup> (尿素); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg·hm<sup>-2</sup> (过磷酸钙); K<sub>2</sub>O 75 kg·hm<sup>-2</sup> (氯化钾). 每年油菜和水稻的施肥都是过磷酸钙作底肥一次施用; 尿素用量的 2/3 作底肥, 1/3 作追肥; 氯化钾底肥和追肥各半.

### 1.2 样品采集与测定

试验在油菜生长季展开, 油菜于 2009 年 11 月 14 日栽种, 2010 年 4 月 24 日收割. 在油菜生长期, 分别于 2009 年 11 月 22 日、12 月 20 日、2010 年 1 月 8 日、1 月 28 日、2 月 28 日、3 月 27 日及 4 月 17 日采集 0 ~ 30 cm 表层土样. 土壤样品的采集设置 3 个样点: 靠近植株处、株间和行间, 每个样点 3 个重复, 每次采样共采集 9 个土壤样品. 每个土壤样品带回实验室经去除土壤动物、植物根系及凋落物后充分混匀, 部分新鲜土样保存于 4°C 冰箱, 部分

土样自然风干后磨细过筛, 并装袋备用.

SOC 的测定采用重铬酸钾-外加加热法<sup>[7]</sup>, ROC 采用高锰酸钾氧化-比色法测定<sup>[8]</sup>, MBC 采用氯仿熏蒸-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提法测定<sup>[7]</sup>.

土壤 DOC 含量的测定: 取过 2 mm 筛的鲜土 10.0 g 放入 100 mL 离心管中, 加入 20 mL 去离子水振荡 (220 r·min<sup>-1</sup>) 30 min 后离心 (4 000 r·min<sup>-1</sup>) 10 min, 上清液通过循环水真空泵抽滤过 0.45 μm 的微孔滤膜, 滤液直接在 Multi N/C 2100 分析仪 (耶拿, 德国) 测定<sup>[9]</sup>.

### 1.3 环境参数的测定

土壤 pH 值: 土: 水 = 1: 2.5 水浸提, 酸度计法. 土壤含水量: 铝盒烘干法<sup>[7]</sup>. 地下 5 cm 处温度为采样当天 07:00 ~ 17:00 每 2 h 所测温度的平均值.

植物根系采用挖掘法<sup>[7]</sup>, 根系碳含量的测定采用重铬酸钾-外加加热法<sup>[7]</sup>; 根系氮含量的测定采用凯氏定氮法<sup>[7]</sup>.

### 1.4 数据统计与分析

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析, 各月份间的差异显著性采用单因素方差分析 (ONE-WAY ANOVA) 检验, 均值的多重比较采用 LSD 法; 变量间的相关关系采用 Pearson 相关统计方法进行分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 SOC 含量的季节动态变化

由图 1 可以看出在整个油菜生长季内 SOC 含量具有明显的季节变化 ( $P < 0.05$ ), 单因素方差分析表明, 2009 年 12 月 20 日 (15.28 g·kg<sup>-1</sup>)、2010 年 3 月 27 日 (16.20 g·kg<sup>-1</sup>) 及 4 月 17 日 (14.99 g·kg<sup>-1</sup>) 的 SOC 含量显著高于其余各月 ( $P < 0.01$ ), 即 SOC 含量在植物生长初期及末期较高, 而在生长中期较低. SOC 含量在 2010 年 2 月 28 日降到最低, 为 11.55 g·kg<sup>-1</sup>.

### 2.2 ROC 含量及其分配比例的季节动态变化

图 2 为油菜生长季土壤 ROC 含量的季节变化形式, 从中可以看出表层土壤 ROC 含量与 SOC 含量具有相似的季节变化特征, 即生长初期及末期的含量高于生长中期. 单因素方差分析表明, 土壤 ROC 含量季节变化明显 ( $P < 0.05$ ). 油菜生长季内土壤 ROC 含量为 1.86 ~ 3.58 g·kg<sup>-1</sup>. 在植物生长的初级阶段, 土壤 ROC 含量较高, 随着植物的生长, ROC 含量逐渐降低并于 1 月 28 日降到整个油菜生长季的最低值, 然后随着植物的发育成熟, ROC 含

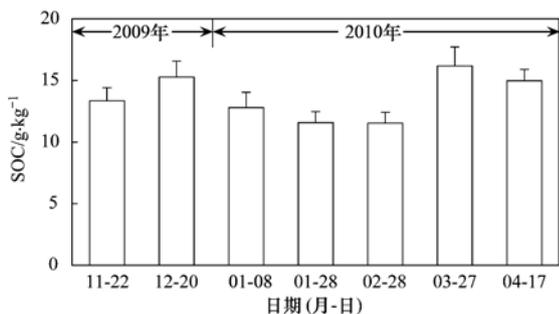


图1 SOC含量的季节动态变化

Fig. 1 Seasonal change of SOC content

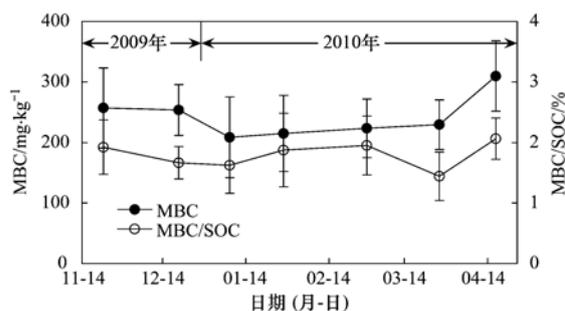


图3 土壤MBC含量及微生物商的季节动态变化

Fig. 3 Seasonal variations of MBC content and allocation ratio of MBC to SOC

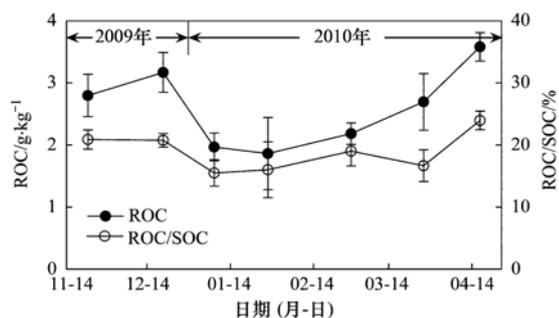


图2 土壤ROC含量及其分配比例的季节动态变化

Fig. 2 Seasonal dynamics of ROC content and allocation ratio of ROC to SOC

量又逐渐升高,于生长末期达到生长季的最高值。

土壤 ROC 分配比例的季节变化范围为 15.49% ~ 23.93%, 与其含量的季节变化趋势大致相同。

### 2.3 MBC 含量及微生物商的季节动态变化

图3为土壤MBC含量及微生物商的季节动态变化图,从中可以看出,MBC的季节变化特征与SOC及ROC相似,也是生长初期和末期的含量高于生长中期。MBC含量最低值出现在2010年1月8日,为208.52 mg·kg<sup>-1</sup>,最高值出现在2010年4月17日,为309.70 mg·kg<sup>-1</sup>。

整个油菜生长季内微生物商的变化范围为1.44% ~ 2.06%,最低值和最高值分别出现在2010年3月27日及2010年4月17日。

### 2.4 DOC 含量及其分配比例的季节动态变化

土壤 DOC 含量的季节变化模式呈单峰型(图4),生长季内 DOC 含量为 8.97 ~ 37.64 mg·kg<sup>-1</sup>。生长季内 DOC 分配比例的季节变化趋势与其含量相似(图4),生长季内 DOC 分配比例的范围为 0.11% ~ 0.32%。DOC 含量及其分配比例均于2010年1月28日达到整个生长季的最高值。

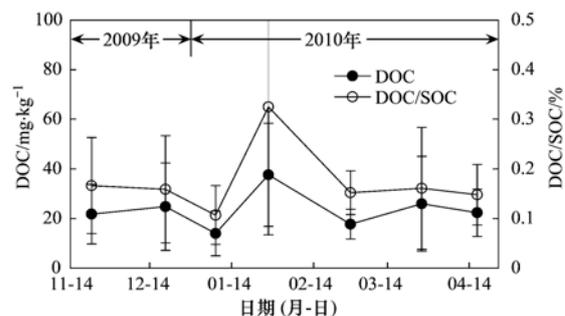


图4 土壤DOC含量及其分配比例季节动态变化

Fig. 4 Seasonal changes of DOC content and allocation ratio of DOC to SOC

### 2.5 影响因素

相关分析表明,土壤温湿度、pH值、全氮含量以及植物根系均是影响土壤碳含量的重要因子。由表1可以看出,SOC、ROC及MBC含量与地下5cm处温度均呈极显著正相关,另外,SOC和ROC还均与土壤全氮含量及pH值呈极显著正相关;MBC含量与根系生物量以及根系C、N含量呈极显著正相关,DOC含量与土壤水分含量显著正相关。

表1 土壤碳组分含量与影响因子的相关系数<sup>1)</sup>

Table 1 Correlation coefficients between soil carbon content and environmental factors

类型	地下5 cm处温度	土壤水分含量	根系生物量	土壤全氮含量	土壤pH	根系C含量	根系N含量	土壤C/N
SOC	0.648**	-0.290	0.019	0.780**	0.636**	-0.024	-0.292	0.030
ROC	0.689**	-0.130	0.142	0.386**	0.433**	0.113	-0.133	0.261
DOC	-0.056	0.267*	0.066	0.208	0.010	0.030	0.186	-0.374
MBC	0.383**	-0.133	0.428**	0.094	0.191	0.402**	0.409**	0.175

1) \*表示P&lt;0.05, \*\*表示P&lt;0.01

### 3 讨论

土壤有机碳主要来源于植物、动物、微生物残体和根系分泌物,并处于不断分解与形成的动态过程中,SOC 的含量是反映土壤质量的一个重要指标,能直接影响土壤肥力和作物的生长,也是土地持续利用的指标之一。虽然有研究认为 SOC 背景值较高,短期研究难以监测其变化趋势<sup>[8,10,11]</sup>,但本研究发现 SOC 含量具有非常明显的季节变化,侯翠翠等<sup>[12]</sup>的研究表明,小叶章湿地表层 SOC 含量季节变化明显;展茗等<sup>[13]</sup>的研究也表明不同稻作模式下 SOC 含量季节变化特征显著,均与本研究的結果一致。

土壤 ROC 来源于植物凋落物的分解、根系分泌物、土壤有机质的水解、土壤微生物本身及其代谢产物,其中植物凋落物的分解及根系分泌物是其主要来源<sup>[14]</sup>。MBC 是指土壤中体积  $< 5 \sim 105 \mu\text{m}^3$  活的细菌、真菌、藻类和土壤微动物体内所含的碳,是土壤有机质中最活跃和最易变化的部分<sup>[15]</sup>。本研究发现 SOC、ROC 及 MBC 含量具有相似的季节变化模态,即植物生长初期及生长末期的含量高于生长中期。2009 年 11 ~ 12 月,植物生长初期,一方面由于上季作物残茬还田,并经过两月休田,新鲜有机质含量较高;另一方面由于植物生长初期植株发育缓慢,对养分的需求较少,有机质的分解较少,所以土壤中 SOC、ROC 及 MBC 含量较高。2010 年 1 ~ 2 月,是植物生长中期,在此阶段植物生长旺盛,需要更多的营养物质满足其生长发育的需求,从而加速了土壤有机质的分解,尤其是土壤中 ROC 和 MBC 这类活性有机质更易于矿化,导致土壤 SOC、ROC 及 MBC 含量迅速降低;而且在这段时间内根系脱落物及地表枯落物较少,这也是导致该时期土壤中 SOC、ROC 及 MBC 含量较低的一个重要原因。2010 年 3 ~ 4 月,植物生长末期,此时油菜已逐渐成熟,地表凋落物、根皮脱落以及根系分泌物增多,为 SOC、ROC 及 MBC 提供了丰富的来源;而且植物成熟后对营养物质的需求减少,土壤碳的分解减弱,因而 SOC、ROC 和 MBC 的含量在生长季末期达到最高。

土壤 DOC 含量呈单峰型季节变化,峰值出现在植物生长中期(图 4)。相关分析发现土壤 DOC 含量与土壤水分含量显著正相关(表 1)。Kalbit 等<sup>[16]</sup>认为,枯落物的淋溶产物、植物根系分泌物、土壤中积累的固态有机碳的淋溶、微生物的代谢产物和

消耗都会影响 DOC 的季节变化。DOC 既可源自有机物质的直接溶解,也可来源于土壤微生物的生命活动,较高的微生物活性能提高土壤 DOC 的含量,同时死的微生物能转化为 DOC<sup>[17,18]</sup>。有研究认为,降水及土壤水含量是影响土壤 DOC 含量的重要因子,其中降水是决定 DOC 季节变化的主要因子之一<sup>[19,20]</sup>。降水及土壤水分含量主要是通过间接影响微生物活性而影响土壤 DOC 含量<sup>[21]</sup>。同时土壤含水量的增加能提高 SOC 的溶出、导致团聚体的分散,进而增加 DOC 含量<sup>[22]</sup>。

土壤活性有机碳占总有机碳的比例比活性有机碳的含量更能体现土壤活性碳库的状况,土壤全碳中活性有机碳所占比例越高,说明土壤碳的活性越大,稳定性越差<sup>[23]</sup>。ROC 分配比例(RC/SOC)从 SOC 自身分解特征方面指示有机碳活性强度,比值越大说明 SOC 活度越强,SOC 被分解矿化的潜力大<sup>[10,11]</sup>。微生物商(MBC/SOC)主要从分解转化有机碳的能力方面指示 SOC 活性特征,该值大表明土壤微生物活性高,容易分解和利用 SOC<sup>[24]</sup>。本研究发现土壤活性有机碳组分的分配比例均与其含量具有相似的季节变化趋势,表明其季节分配比例主要是由活性有机碳组分的含量来控制。展茗等<sup>[13]</sup>的研究表明水稻土表层土壤 ROC、DOC 分配比例以及微生物商分别为 21.39%、4.73%、2.46%;周程爱等<sup>[25]</sup>的研究分别为 3.83%、0.48%和 0.85%,本研究结果分别为 18.95%、0.17%和 1.79%。不同的研究结果差异比较大,这可能是由于土壤类型以及农田管理措施等的不同所致。

SOC、ROC 及 MBC 的含量与地下 5 cm 处温度极显著正相关,随着温度的升高而升高(表 1)。温度是控制微生物活性和土壤有机碳转化的关键因素,温度的季节性变化及其对微生物活性的影响是导致土壤有机碳及其活性组分季节变化的主要因子。一方面,温度的升高导致微生物活性增强,有机质分解加速,从而使土壤碳含量降低<sup>[26]</sup>;另一方面,温度的升高及有机质输入量的增加能显著提高土壤活性有机碳含量<sup>[27]</sup>。在油菜生长期间,上季作物的残茬还田,以及在作物成熟期,地表凋落物、根系脱落以及根系分泌物增多,均使大量的新鲜有机质进入土壤,随着温度的升高微生物活性也增强,微生物分解这些新鲜有机质从而使得 SOC、ROC 和 MBC 含量升高<sup>[28]</sup>。展茗<sup>[13]</sup>及周程爱<sup>[25]</sup>等的研究也都发现土壤温度是影响土壤 ROC 及 MBC 含量的重要因素。

根系生物量及根系 C、N 含量能够增加土壤 MBC 含量(表 1)。根系生物量能够为微生物提供能源基质,同时根系生物量也直接影响根系分泌物,根系分泌物和衰亡的根造成土壤微生物群系数量和活性差异<sup>[29]</sup>。土壤 MBC 含量在作物生长季内的波动性主要与作物的生长发育过程有关,土壤微生物活性与有机质及生物量显著正相关,即作物根系分泌和残体归还量的增多会刺激土壤微生物的增长,从而使土壤 MBC 含量增加<sup>[13]</sup>。土壤水热条件、营养条件、土壤结构、地上及地下生物量不同,输入到土壤表层的有机质有差别,导致土壤微生物的数量、活性差异,最终导致土壤 MBC 含量的变化<sup>[30]</sup>。

土壤 pH 影响土壤微生物的种类及活性,土壤碳含量与土壤 pH 的关系需要界定在一定的 pH 值范围内来研究才有意义<sup>[31]</sup>。本文研究中土壤 pH 值的变化范围 5.30 ~ 7.22,土壤样品的 pH 值大多小于 7,土壤偏酸性,pH 值的升高使得微生物活性增强,加大了对还田残茬、地表脱落物、根系脱落及根系分泌物等新鲜有机质的分解能力,从而使 SOC 及 ROC 含量升高。

#### 4 结论

(1)SOC、ROC 和 MBC 含量具有相似的季节变化特征,表现为在油菜生长初期及末期高于生长期;DOC 含量的季节变化模态为单峰型。

(2)土壤活性有机碳组分的分配比例均与其含量具有相似的季节变化趋势,表明其季节分配比例主要是由活性有机碳组分的含量来控制。

(3)SOC 及 ROC 含量主要取决于地下 5 cm 处温度、土壤全氮含量及 pH 值,MBC 含量的主要影响因子为地下 5 cm 处温度、根系生物量及根系 C、N 含量,DOC 含量主要受土壤水分含量的限制。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Freixo A A, Machado P L, 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.
- [ 2 ] Liang B C, MacKenzie A F, Schnitzer M, *et al.* Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, **26**(2): 88-94.
- [ 3 ] 万忠梅, 宋长春, 杨桂生, 等. 三江平原湿地土壤活性有机碳组分特征及其与土壤酶活性的关系[J]. *环境科学学报*, 2009, **29**(2): 406-412.
- [ 4 ] 万忠梅, 郭岳, 郭跃东. 土地利用对湿地土壤活性有机碳的影响研究进展[J]. *生态环境学报*, 2011, **20**(3): 567-570.
- [ 5 ] Wang L L, Song C C, Song Y Y, *et al.* Effects of reclamation of natural wetlands to a rice paddy on dissolved carbon dynamics in the Sanjiang Plain, Northeastern China [ J ]. *Ecological Engineering*, 2010, **36**(10): 1417-1423.
- [ 6 ] Melero S, López-Garrido R, Murillo J M, *et al.* Conservation tillage: Short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions[J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, **104**(2): 292-298.
- [ 7 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 228-233.
- [ 8 ] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, **46**(12): 1459-1466.
- [ 9 ] Ghani A, Dexter M, Perrott K W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation [ J ]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, **35**(9): 1231-1243.
- [ 10 ] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, **12**(4): 459-465.
- [ 11 ] 戴全厚, 刘国彬, 薛莲, 等. 侵蚀环境坡耕地改造对土壤活性有机碳与碳库管理指数的影响[J]. *水土保持通报*, 2008, **28**(4): 17-21.
- [ 12 ] 侯翠翠, 宋长春, 李英臣, 等. 不同水分条件下小叶章湿地表土有机碳及活性有机碳组分季节动态[J]. *环境科学*, 2011, **32**(1): 290-297.
- [ 13 ] 展茗, 曹凌贵, 江洋, 等. 不同稻作模式下稻田土壤活性有机碳变化动态[J]. *应用生态学报*, 2010, **21**(8): 2010-2016.
- [ 14 ] Bolan N S, Baskaran S, Thiagarajan S. An evaluation of the measure method dissolved organic carbon in soils, manures, sludge and stream water[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1996, **27**(13-14): 2732-2737.
- [ 15 ] Anderson T H, Domsch K H. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, **22**(2): 251-255.
- [ 16 ] Kalbit K, Solinger S, Park J H, *et al.* Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review[J]. *Soil Science*, 2000, **165**(4): 277-304.
- [ 17 ] Gödde M, David M B, Christ M J, *et al.* Carbon mobilization from the forest floor under red spruce in the northeastern USA [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, **28**(9): 1181-1189.
- [ 18 ] Bååth E. Thymidine incorporation into macromolecules of bacteria extracted from soil by homogenization-centrifugation [ J ]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, **24**(11): 1157-1165.
- [ 19 ] 张金波, 宋长春, 杨文燕. 小叶章湿地表土水溶性有机碳季节动态变化及影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(10): 1397-1402.
- [ 20 ] Iqbal J, Hu R G, Feng M L, *et al.* Microbial biomass, and dissolved organic carbon and nitrogen strongly affect soil

- respiration in different land uses: A case study at Three Gorges Reservoir Area, South China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, **137**(3-4): 294-307.
- [21] 黄黎英, 曹建华, 周莉, 等. 不同地质背景下土壤溶解有机碳含量的季节动态及其影响因子[J]. *生态环境*, 2007, **16**(4): 1282-1288.
- [22] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系[J]. *土壤学报*, 2004, **41**(4): 544-551.
- [23] Xu X, Zhou Y, Ruan H H, *et al.* Temperature sensitivity increases with soil organic carbon recalcitrance along an elevational gradient in the Wuyi Mountains, China [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, **42**(10): 1811-1815.
- [24] 唐国勇, 黄道友, 童成立, 等. 红壤丘陵景观单元土壤有机碳和微生物生物量碳含量特征[J]. *应用生态学报*, 2006, **17**(3): 429-433.
- [25] 周程爱, 张于光, 肖焯, 等. 土地利用变化对川西米亚罗林土壤活性碳库的影响[J]. *生态学报*, 2009, **29**(8): 4542-4547.
- [26] 潘新丽, 林波, 刘庆. 模拟增温对川西亚高山人工林土壤有机碳含量和土壤呼吸的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, **19**(8): 1637-1643.
- [27] 徐小峰. 小叶章根际微生态系统有机碳动态模拟研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2004. 41.
- [28] Murata T, Tanaka H, Yasue S, *et al.* Seasonal variations in soil microbial biomass content and soil neutral sugar composition in grassland in the Japanese Temperate Zone [J]. *Applied Soil Ecology*, 1999, **11**(2-3): 253-259.
- [29] Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimations[A]. In: Bollag J M, Stotzky G, (eds. ). *Soil Biochemistry*[C]. New York: Marcel Dekker, 1990: 357-396.
- [30] 王洋, 刘景双, 窦晶鑫, 等. 三江平原典型小叶章湿地土壤微生物量碳的动态变化特征[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2009, **35**(6): 691-698.
- [31] 俞元春, 李淑芬. 江苏下蜀林区土壤溶解有机碳与土壤因子的关系[J]. *土壤*, 2003, **35**(5): 424-428.

## CONTENTS

Levels and Sources of Gaseous Polybrominated Diphenyl Ethers in Air over the Northern South China Sea .....	LI Qi-lu, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (2533)
Observation and Analysis of Air Pollution in Zhangjiakou, Hebei .....	SHAO Ping, WANG Li-li, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2538)
Smog Chamber Simulation of Ozone Formation from Atmospheric Photooxidation of Propane .....	HUANG Li-hua, MO Chuang-rong, XU Yong-fu, <i>et al.</i> (2551)
Mechanism and Performance of a Membrane Bioreactor for Treatment of Toluene Vapors .....	YE Qi-hong, WEI Zai-shan, XIAO Pan, <i>et al.</i> (2558)
Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting .....	ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, <i>et al.</i> (2563)
Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water .....	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (2569)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods .....	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2574)
Distribution Characteristics and Potential Risks of Phenols in the Rainy Season Surface Water from Three Gorges Reservoir .....	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2580)
Spatial Distribution of Perfluorooctanoic Acids and Perfluorinate Sulphonates in Surface Water of East Lake .....	CHEN Jing, WANG Lin-ling, ZHU Hu-di, <i>et al.</i> (2586)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in Daninghe River and Modaoxi River of Three Gorges Reservoir Areas .....	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2592)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Yangtze River .....	WANG Lan, WANG Ya-ping, XU Chun-xue, <i>et al.</i> (2599)
Analysis of the Source, Potential Biological Toxicity of Heavy Metals in the Surface Sediments from Shellfish Culture Mudflats of Rudong Country, Jiangsu Province .....	LI Lei, WANG Yun-long, JIANG Mei, <i>et al.</i> (2607)
Effect of Disturbance Intensity on Phosphorus Release and Its Transformation in the Sediment from Taihu Lake .....	LI Da-peng, HUANG Yong (2614)
Effects of Intrusions from Three Gorges Reservoir on Nutrient Supply to Xiangxi Bay .....	ZHANG Yu, LIU De-fu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2621)
Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of <i>Acorus calamus</i> in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir .....	LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i> (2628)
Pollution Load and the First Flush Effect of Phosphorus in Urban Runoff of Wenzhou City .....	ZHOU Dong, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan (2634)
Output Characteristics of Rainfall Runoff Phosphorus Pollution from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area .....	YU Xing-xiu, LI Zhen-wei, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (2644)
Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions .....	YANG Feng, WANG Peng-ju, YANG Shan-shan, <i>et al.</i> (2652)
Simulation of Nitrogen and Phosphorus Loss in Siling Reservoir Watershed with AnnAGNPS .....	BIAN Jin-yun, WANG Fei-er, YANG Jia, <i>et al.</i> (2659)
GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen .....	BAI Feng-jiao, LI Tian-hong (2667)
Response of Sloping Water Erosion to Rainfall and Micro-earth Pattern in the Loess Hilly Area .....	WEI Wei, JIA Fu-yang, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (2674)
Comparison Study of Enhanced Coagulation on Humic Acid and Fulvic Acid Removal .....	ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji, YE He-xiu, <i>et al.</i> (2680)
Real-time PCR Detection and Quantification of Emerging Waterborne Pathogens (EWPs) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Downstream Area of Jiulong River .....	WANG Qing, LIN Hui-rong, ZHANG Shu-ting, <i>et al.</i> (2685)
Quantitative and Qualitative Analysis of Total Bacteria and Ammonia-oxidizing Bacteria in Buji River in Wet Season .....	SUN Hai-mei, BAI Jiao-jiao, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (2691)
Study on the Nitrogen Removal Performance and the Characteristics of Denitrification Bacterial Community Structure of Biological Aerated Filter .....	PENG Xiao-lan, LIU Cong, CHEN Li-jun (2701)
Analysis of Microbial Community Structure at Full-scale Wastewater Treatment Plants by Oxidation Ditch .....	GUO Yun, YANG Dian-hai, LU Wen-jian (2709)
Performance and Microbial Community Dynamic Characteristics of an Internal Circulation Reactor Treating Brewery Wastewater .....	ZHU Wen-xiu, HUANG Zhen-xing, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (2715)
Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization .....	ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, <i>et al.</i> (2723)
Study on Removal Effect of Different Organic Fractions from Bio-treated Effluent of Dye Wastewater by UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Process .....	LI Xin, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, <i>et al.</i> (2728)
Optimization of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 Photoheterotrophic Culture and Its Use in Wastewater Treatment .....	WANG Xiu-jin, LI Zhao-sheng, XING Guan-lan, <i>et al.</i> (2735)
Characteristics and Mechanism of 2,4,6-TCP Degradation by the "Fe <sup>0</sup> /Enriched-Bacteria" System .....	DAI You-zhi, GUO Li-li, SHI Lei, <i>et al.</i> (2741)
Immobilization of Crude Laccase onto Anion Exchange Resin and Its Application in Decoloration of Malachite Green .....	QI Xu-liang, LIU Xiang, LIU Bo, <i>et al.</i> (2747)
Low-Temperature Preparation of TiO <sub>2</sub> /PS/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> and Its Photocatalytic Activity and Magnetic Recovery .....	WANG Xue-jiao, REN Xue-chang, NIAN Juan-ni, <i>et al.</i> (2752)
Study on Catalytic Oxidation of Benzene by Microwave Heating .....	ZHANG Yu-cai, BO Long-li, WANG Xiao-hui, <i>et al.</i> (2759)
Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge .....	GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, <i>et al.</i> (2766)
Experimental and Modeling Research on the Settlement of Aerobic Granular Sludge .....	SU Kui-zu, DENG Xiu-kun, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2773)
Analysis of Hydrolytic Enzyme Activities on Sludge Aerobic/Anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment .....	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2780)
Effect of Microbial Nutrient Concentration on Improvement of Municipal Sewage Sludge Dewaterability Through Bioleaching .....	SONG Yong-wei, LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang (2786)
Response of the Artificial Cyanobacterial Crusts to Low Temperature and Light Stress and the Micro-structure Changes Under Laboratory Conditions .....	RAO Ben-jiang, LI Hua, XIONG Ying, <i>et al.</i> (2793)
Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China .....	WU Yan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2804)
Pollution Characteristics and Accumulation of Antibiotics in Typical Protected Vegetable Soils .....	YIN Chun-yan, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (2810)
Transformation and Influences of Copper and Selenium Fractions on Heavy Metals Bioavailability in Co-contaminated Soil .....	HU Bin, LIANG Dong-li, ZHAO Wen-long, <i>et al.</i> (2817)
Response of Soil Microbial Community to the Bioremediation of Soil Contaminated with PAHs .....	ZHANG, Jing, LIN Xian-gui, LIU Wei-wei, <i>et al.</i> (2825)
Bioremediation of PAHs Contaminated Soil from Beijing Coking Plant by <i>Lasiodiplodia theobromae</i> .....	ZHANG Zhi-yuan, WANG Cui-ping, LIU Hai-bin, <i>et al.</i> (2832)
Leaching Experiments on the Release of Trace Elements from Tailings of Chashan Antimony Mine, Guangxi, China .....	CAI Yong-bing, LI Ling, WEI Xiao-fei, <i>et al.</i> (2840)
Accumulation Characteristics of Arsenic in Suburban Soils of Beijing .....	QI Jie, WANG Mei-e, WANG Zi-qiang, <i>et al.</i> (2849)
Antioxidant Enzyme Gene Expression as Molecular Biomarkers of Exposure to Polycyclic Musks .....	CHEN Chun, ZHOU Qi-xing, LIU Xiao-wei (2855)
Effects of Ozone Pollution on the Accumulation and Distribution of Dry Matter and Biomass Carbon of Different Varieties of Wheat .....	KOU Tai-ji, YU Wei-wei, ZHU Jian-guo, <i>et al.</i> (2862)
Influence of Reaction Time of Urea Hydrolysis-Based Co-precipitation on the Structure of ZnAl Layered Double Hydroxides and the Phosphate Adsorption .....	LU Ying, CHENG Xiang, XING Bo, <i>et al.</i> (2868)
Competitive Adsorption Kinetics of Aqueous Pb <sup>2+</sup> and Cu <sup>2+</sup> on Nano-HAP Surfaces .....	HU Tian-tian, CANG Long, WANG Yu-jun, <i>et al.</i> (2875)
Effects of pH and Ni <sup>2+</sup> on Sorption Behavior of Phenanthrene on Engineered Nano-Silica .....	LUO Pei, SUN Hong-wen, ZHANG Peng (2882)
Adsorption Characteristics and Mechanism of Uranium on Attapulgite .....	LIU Juan, CHEN Di-yun, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2889)
Adsorption Characteristics of Ciprofloxacin in Ustic Cambosols .....	CUI Hao, WANG Shu-ping (2895)
Kinetic Mechanism and Characteristics Researches for Hydrazine-based NO <sub>x</sub> Removal at Moderate to High Temperatures .....	HONG Liu, CHEN De-zhen, WANG Du, <i>et al.</i> (2901)
Current Research Situation of H <sub>2</sub> S Selective Catalytic Oxidation Technologies and Catalysts .....	HAO Zheng-ping, DOU Guang-yu, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (2909)

# 《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)

2012年8月15日 33卷 第8期

## ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 8 Aug. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行