

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

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

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O ₃ 生成潜势	曹函玉, 潘月鹏, 王辉, 谭吉华, 王跃思 (2065)
利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态	牟莹莹, 楼晟荣, 陈长虹, 周敏, 王红丽, 周振, 乔利平, 黄成, 李梅, 李莉, 王倩, 黄海英, 邹兰军 (2071)
沈阳市降水化学成分及来源分析	张林静, 张秀英, 江洪, 张清新 (2081)
秦皇岛大气污染物浓度变化特征	刘鲁宁, 申雨璇, 辛金元, 吉东生, 王跃思 (2089)
笼养鸡生长过程 NH ₃ 、N ₂ O、CH ₄ 和 CO ₂ 的排放	周忠凯, 朱志平, 董红敏, 陈永杏, 尚斌 (2098)
碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能	王晓晖, 卜龙利, 刘海楠, 张浩, 孙剑宇, 杨力, 蔡力栋 (2107)
生物滴滤塔净化多组分废气的研究	张定丰, 房俊逸, 叶杰旭, 邱松凯, 钱东升, 戴启洲, 陈东之 (2116)
在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气	金圣, 黄立维, 李国平 (2121)
模拟大气 CO ₂ 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响	赵旭辉, 汤龙升, 史小丽, 杨州, 孔繁翔 (2126)
一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法	华祖林, 汪靛 (2134)
HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究	李燕, 李兆富, 席庆 (2139)
基于非点源污染的水质监测方案研究	吴喜军, 李怀恩, 李家科, 李强坤, 董雯 (2146)
不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究	陈玲, 刘德富, 宋林旭, 崔玉洁, 张革 (2151)
春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征	李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 张传松 (2159)
三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布	张永生, 郑丙辉, 王坤, 姜霞, 郑浩 (2166)
湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性	冯伟莹, 张生, 焦立新, 王圣瑞, 李畅游, 崔凤丽, 付绪金, 甄志磊 (2176)
刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响	侯金枝, 魏权, 高丽, 孙卫明 (2184)
反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换	李大鹏, 王晶, 黄勇 (2191)
三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征	李昆, 赵高峰, 周怀东, 刘晓茹, 余丽琴, 文武, 张盼伟 (2198)
UV 和 H ₂ O ₂ 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究	张一清, 周玲玲, 张永吉 (2205)
臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素	于丽, 张培龙, 侯甲才, 庞立飞, 李越, 贾寿华 (2210)
硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响	毛雯, 孙荣国, 王定勇, 马明, 张成 (2218)
炔雌醇氯化反应的动力学和机制研究	王斌楠, 刘国强, 孔德洋, 陆勇鹤 (2225)
金属离子对 δ-MnO ₂ 去除对叔辛基酚抑制作用的研究	李非里, 牟华倩 (2232)
核-壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除	刘建明, 李红, 熊振湖 (2240)
有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究	闫梦玥, 庞志华, 李小明, 迟建宇, 罗隽 (2249)
纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征	于红蕾, 霍守亮, 杨周生, 席北斗, 咎逢宇, 张靖天 (2256)
改性水凝胶的制备及其对 Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 吸附性能研究	吴宁梅, 李正魁 (2263)
直接大红 4BE 的磷钨酸均相光催化还原脱色	魏红, 李克斌, 李娟, 陈经涛, 张涛 (2271)
基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究	张磊, 刘平, 马锦, 张静, 张明, 吴根 (2277)
Fenton 法处理竹制品废水生化出水出水的研究	郭庆稳, 张敏, 王炜, 杨治中, 吴东雷 (2283)
二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响	李永峰, 王艺璇, 程国玲, 刘春妍 (2290)
进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究	陈志强, 邓毅, 黄龙, 温沁雪, 郭子瑞 (2295)
接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究	刘文如, 沈耀良, 丁玲玲, 丁敏 (2302)
聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究	杨敏, 卢龙, 冯涌, 方超, 李雄清 (2309)
体积溶氧传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析	李志华, 范长青, 王晓昌 (2314)
我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价	汪浩, 冯承莲, 郭广慧, 张瑞卿, 刘跃丹, 吴丰昌 (2319)
麦穗鱼物种敏感性评价	王晓南, 刘征涛, 闫振广, 张聪, 何丽, 孟双双 (2329)
不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究	雷炳莉, 文育, 王艺陪, 康佳, 刘倩 (2335)
桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究	钱建平, 张力, 李成超, 黄栋 (2344)
直流电场处理后降线藻趋光性对 Cu ²⁺ 和 Hg ²⁺ 的响应	王飞祥, 袁玲, 黄建国 (2350)
UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响	宋新章, 卜涛, 张水奎, 江洪, 王志坤, 赵明水, 刘永军 (2355)
7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 杨聘聘 (2361)
溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析	于皓, 陈川, 张莉, 王爱杰 (2368)
不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroResp TM 方法	陈晓娟, 吴小红, 刘守龙, 袁红朝, 李苗苗, 朱捍华, 葛体达, 童成立, 吴金水 (2375)
典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究	韩建刚, 曹雪 (2383)
三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究	刘意章, 肖唐付, 宁增平, 贾彦龙, 黎华军, 杨菲, 姜涛, 孙昊 (2390)
北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征	陈志凡, 赵焯, 郭廷忠, 王永峰, 田青 (2399)
季节变化对贵阳市不同功能区地表灰土重金属的影响	李晓燕 (2407)
东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征	王登阁, 崔兆杰, 傅晓文, 殷永泉, 许宏宇 (2416)
模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响	段雷, 马萧萧, 余德祥, 谭炳全 (2422)
甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究	孙明明, 滕应, 骆永明, 李振高, 贾仲君, 张满云 (2428)
胶质芽孢杆菌对印度芥菜根际土壤镉含量及土壤酶活性影响	杨榕, 李博文, 刘微 (2436)
长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征	吴小莲, 向垒, 莫测辉, 姜元能, 严青云, 李彦文, 黄献培, 苏青云, 王纪阳 (2442)
有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究	张旭, 席北斗, 赵越, 魏自民, 李洋, 赵昕宇 (2448)
北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析	王昭, 李振山, 冯亚斌, 焦安英, 薛安 (2456)
氨对垃圾焚烧飞灰浸出特性的影响及地球化学模拟	官贞珍, 陈德珍, Thomas Astrup (2464)
焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究	朱芬芬, 高冈昌辉, 大下和傲, 姜惠民, 北岛義典 (2473)
富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能	李坤彬, 李辉, 郑正, 张雨轩 (2479)
生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估	姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (2486)
基于物质流分析的钾素流动与循环研究	白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁 (2493)
《环境科学》征订启事 (2115) 《环境科学》征稿简则 (2224) 信息 (2217, 2289, 2349, 2398) 专辑征稿通知 (2478)	

模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响

段雷¹, 马萧萧¹, 余德祥², 谭炳全²

(1. 清华大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. 重庆市沙坪坝气象局, 重庆 400030)

摘要: 在重庆铁山坪马尾松林内施加与大气氮沉降量相当的硝酸铵 (NH_4NO_3) 和硝酸钠 (NaNO_3), 研究氮沉降加倍对土壤溶液可溶性有机物浓度的影响, 分析氮沉降对森林土壤碳库的潜在作用. 2005 年起为期 5a 的现场观测表明, 施氮后凋落物层土壤溶液的可溶性有机碳 (DOC) 浓度和通量在起初 2a 内与对照样区相比有明显升高, 但之后反而降低. 施氮还会降低凋落物层土壤溶液的 DOC 与 DON (可溶性有机氮) 比值, 以及矿质土壤上层的 DOC 浓度, 但对矿质土壤下层的 DOC 淋溶通量几乎没有影响. 总体来看, 在试验期内氮沉降对土壤碳库无显著影响, 但土壤有机物可能有从富碳有机物向富氮有机物转化的趋势, 氮沉降的成分 (NH_4^+ 和 NO_3^-) 对土壤有机物的影响则没有明显差异.

关键词: 可溶性有机物; 可溶性有机碳 (DOC); 土壤碳库; 氮沉降; 氮饱和; 马尾松林

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2422-06

Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil

DUAN Lei¹, MA Xiao-xiao¹, YU De-xiang², TAN Bing-quan²

(1. State Joint Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Chongqing Shapingba Meteorological Bureau, Chongqing 400030, China)

Abstract: The impact of nitrogen deposition on the dynamics of carbon pool in forest soil was studied through a field experiment at Tieshanping, Chongqing in Southwest China. The changes of dissolved organic matter (DOM) concentration in soil water in different soil layers were monitored for five years after addition of ammonium nitrate (NH_4NO_3) or sodium nitrate (NaNO_3) at the same dose as the current nitrogen deposition to the forest floor. The results indicated that the concentration and flux of dissolved organic carbon (DOC) were increased in the first two years and then decreased by fertilizing. Fertilizing also reduced the DOC/DON (dissolved organic nitrogen) ratio of soil water in the litter layer and the DOC concentration of soil water in the upper mineral layer, but had no significant effect on DOC flux in the lower soil layer. Although there was generally no effect of increasing nitrogen deposition on the forest carbon pool during the experimental period, the shift from C-rich to N-rich DOM might occur. In addition, the species of nitrogen deposition, i. e., NH_4^+ and NO_3^- , did not show difference in their effect on soil DOM with the same equivalence.

Key words: dissolved organic matter; dissolved organic carbon (DOC); soil carbon pool; nitrogen deposition; nitrogen saturation; Masson pine forest

近年来,随着氮氧化物 (NO_x) 和氨 (NH_3) 排放的快速增长,我国氮沉降问题日益突出^[1]. 过量的氮沉降会引发诸如土壤酸化、森林生态系统氮饱和以及生物多样性改变等环境问题^[2,3],在世界范围内已引起广泛关注,国外已经开展了许多针对氮沉降对森林结构和功能影响的研究^[4,5],其中一些研究发现氮沉降会对森林土壤有机物的分解与淋溶产生影响^[6,7].

森林生态系统是全球最大的碳储存库,而森林土壤有机碳库是森林生态系统中储量最大的有机碳库^[8]. 可溶性有机物 (dissolved organic matter, DOM) 具体描述时用 DOC (dissolved organic carbon) 和 DON (dissolved organic nitrogen) 等表示^[9],在森林生态系统的生物化学过程如土壤风化^[10] 和植物营养吸收^[11] 等中起重要作用,是森林土壤活性碳库的重要组分,在维护碳平衡和全球气候中发挥重要

作用.

基于我国氮沉降的发展趋势和森林土壤有机物的生态重要性,开展氮沉降对森林土壤有机物的影响研究具有重要意义. 本研究选择我国氮沉降较高地区典型的森林土壤,喷洒 NH_4NO_3 和 NaNO_3 以模拟氮沉降,观测氮沉降增加以及组成 (NH_4^+ 和 NO_3^-) 改变对土壤 DOM 的影响,分析氮沉降对森林土壤碳库的潜在作用.

1 材料与方法

1.1 试验样区

收稿日期: 2012-09-14; 修订日期: 2012-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (20877047); 环境保护公益性行业科研专项 (200909003)

作者简介: 段雷 (1972 ~), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为大气污染控制, E-mail: lduan@tsinghua.edu.cn

在重庆市郊的铁山坪林场内进行野外试验. 该地区酸雨污染严重, 降水年均 pH 值在 4.0 左右, 硫沉降高达 $16 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, 氮沉降则超过 $4.0 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ ^[12]. 土壤为山地黄壤, 基本性质参见文献[12].

2004 年在同一片马尾松林(树龄 40 a 左右)内设立 9 块 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的样区, 研究氮沉降对土壤和植被的影响^[13]. 每块样区内布设 1 个平板式和 3 个陶杯式土壤水采样器. 平板式土壤水采样器布于凋落物层下(记为 S0 层), 3 个陶杯式土壤水采样器分别布于矿质土层中 10、20 和 30 cm 深度(分别记为 S1 层、S2 层和 S3 层)中, 布设方法参见文献[13].

1.2 试验方法

9 块样区分别进行 3 种不同的处理, 分别为对照区(记为 REF)、施加 NH_4NO_3 样区(记为 AN)和施加 NaNO_3 样区(记为 SN), 每种处理设 3 个重复. 所用试剂 NH_4NO_3 和 NaNO_3 均为成都市科龙化工试剂厂生产, 纯度为分析纯. 施加量^[12]近似取当地 2003 年的氮沉降量 $4.0 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, 每月相应样区的实际投加量为 $100 \text{ g NH}_4\text{NO}_3$ 和 200 g NaNO_3 , 分别相当于 $4.2 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 和 $4.0 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 的氮输入. 从 2005 年 1 月起每月月初将每个样区所需的药剂量溶解在 5 L 水中(相当于全年仅增加 0.6 mm 的降水量, 水量改变的影响可忽略不计), 以背式喷雾器均匀喷洒在林地当中. 对照样区不进行任何处理.

1.3 样品分析方法

2005 年 1 月开始对土壤溶液和穿透水进行采样和分析, 各样区每周采样 1 次, 记录水样体积, 冰箱 4℃ 保存. 每 4 周的样品合并作为月平均样品, 分别测定其 pH 值(SevenGo-SG2 pH 计)、总氮(碱性过硫酸钾紫外分光光度法, GB 11894-89)、硝酸盐氮(NO_3^- -N)和氨氮(NH_4^+ -N)浓度(戴安 ICS-2000 离子色谱仪). 土壤水 DOC 浓度测定是在波长 254 nm 下测定吸光度 D_{254} , 利用 D_{254} 与 DOC 的线性关系确定 DOC 浓度^[14-16]. DON 浓度为土壤溶液总氮减去总无机氮(DIN, 由于 NO_3^- -N 可以忽略, 即 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 之和)的差值.

1.4 数据分析方法

截至 2009 年已经进行了整 5 a 的观测(之后试验仍在进行, 其间存在个别时段因重庆地区干旱, 一些样区未采集到土壤溶液). 用单因素方差法判断每月土壤溶液 DOC 浓度在不同处理之间的差异显著性, 用成对 *t* 检验(基于每月相同处理样区的平均

浓度)揭示每年土壤溶液 DOC(或 DON)年均浓度(各月算术平均值)在处理间的差异显著性, 用 Pearson 系数反映矿质层 DOC 浓度与 pH 值的相关关系, 以上分析方法均利用 SPSS 软件. 凋落物层 DOC 淋溶通量由 DOC 浓度和渗滤液量相乘得到; 矿质层 DOC 淋溶通量为 S3 层 DOC 浓度与土壤渗滤液量(近似取当地降水量的一半^[17], 基于穿透水采样体积可计算降水量)的乘积.

2 结果与讨论

2.1 土壤溶液 DOC 浓度的月变化

不同处理下凋落物层和矿质土层的土壤溶液 DOC 浓度的月变化如图 1 所示. 可以看出, 土壤溶液 DOC 浓度存在明显的季节变化. 随着土壤深度的增加, 各样区土壤溶液 DOC 浓度均表现出显著的下降趋势, 一般认为这是由于土壤有机质的分解速率很低, 同时上层淋溶下来的 DOM 被矿质层吸附的结果^[18].

在试验开始后的最初半年内(2005 年 1 ~ 7 月), 两组加氮样区的凋落物层(S0 层)DOC 浓度与对照样区相比, 显著增加(每个样区月浓度用单因素方差分析, $P < 0.05$). 但之后, 两者的差异则不再显著, 从数值来看, 2007 年后施氮样区甚至低于对照样区.

施氮样区矿质土层上层(S1 层)DOC 月均浓度从数值看低于对照样区, 但差异不显著. S2 和 S3 层施氮样区 DOC 浓度与对照样区也无明显差别. 总的来看, 施氮 5 a 对土壤矿质层的月均 DOC 浓度没有明显影响.

2.2 土壤溶液 DOC 浓度的年均值变化

土壤溶液 DOC 浓度的年均值可以更清楚地显示不同处理间的差异和年际变化. 如图 2 所示, 在处理后的前 2 a(2005 ~ 2006 年), 施氮样区的凋落物层(S0 层)DOC 年均浓度高于对照样区, 特别是 AN 样区, 2006 年差异显著. 不过 2007 年后, 施氮样区的 DOC 年均值反而低于对照样区, 差异均显著($P < 0.05$). 已有研究表明, 凋落物层土壤溶液中 DOC 浓度是凋落物层有机物淋溶和分解、土壤呼吸以及根际过程(如根分泌和根死亡分解)等诸多因素综合作用的结果^[19], 其中许多过程都可能受氮沉降影响. 本研究中, 凋落物层 DOC 浓度在施氮初期上升可能与土壤有机物矿化速率加强^[20]和土壤呼吸作用下降^[21]有关. 此外本研究中施加 NH_4NO_3 和 NaNO_3 后, S0 层土壤溶液 pH 快速升高^[13]可能也

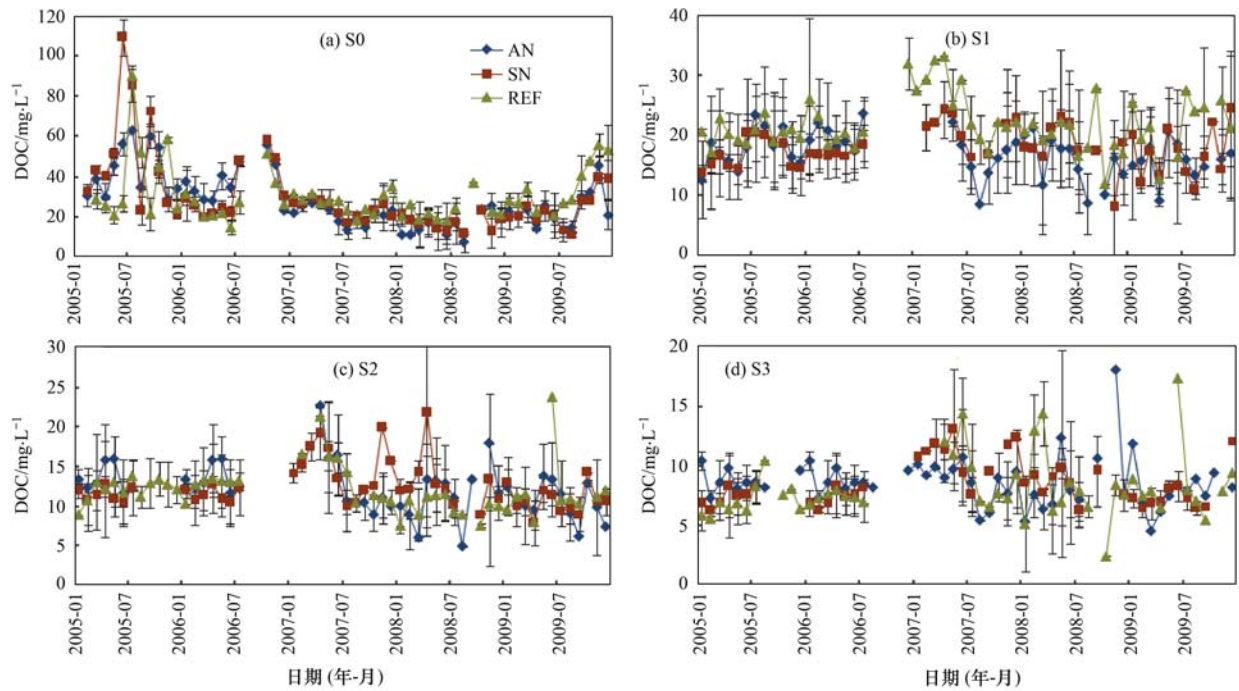
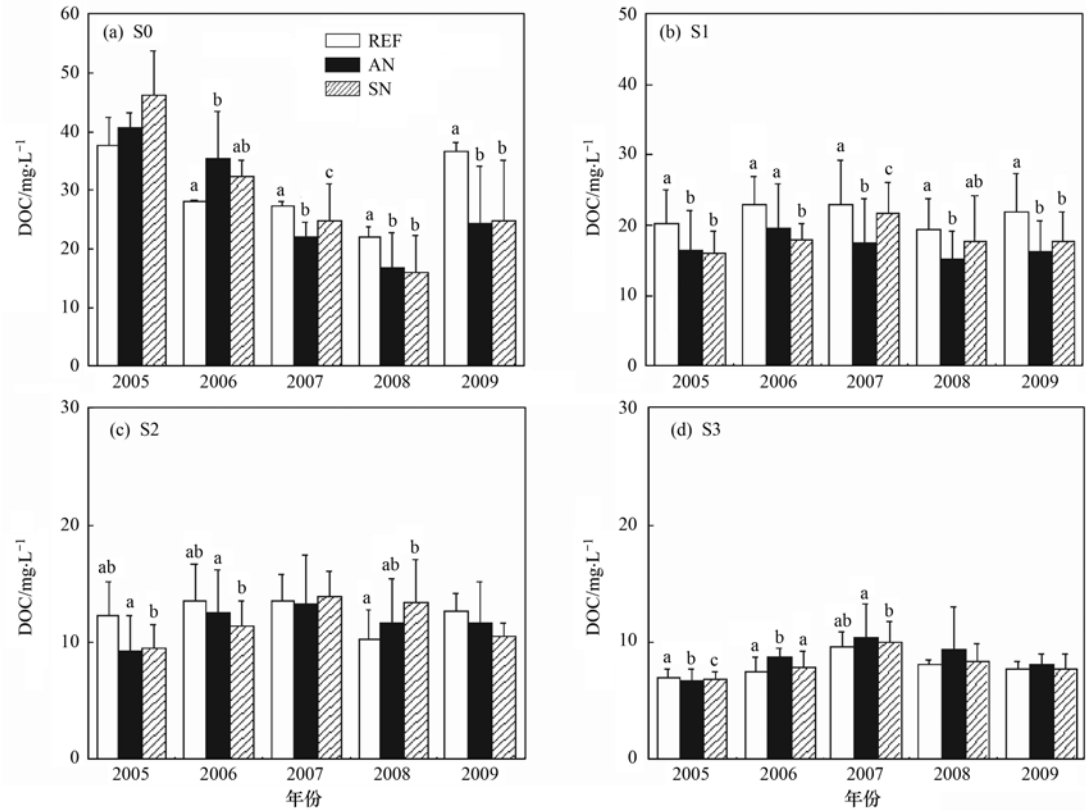


图 1 土壤溶液 DOC 浓度的月变化

Fig. 1 Monthly variation of DOC concentration in soil water



误差线表示标准差,成对 t 检验,每一年度不同字母表示不同处理之间的差异显著, $P < 0.05$

图 2 土壤溶液 DOC 年均浓度

Fig. 2 Annual average DOC concentration in soil water

是 DOC 浓度升高的重要因素,因为之前的许多实验室与野外研究结果指出:①凋落物层有机物一般都带有酸性基团,pH 升高后,这些基团离解释放 H^+ ,使得有机物更易溶解^[18,22];②土壤溶液 pH 值提高,增强了土壤微生物活性,提高了 DOM 的生成速率^[23].但是,2007 年后 DOC 浓度下降,原因则可能是:①随着氮的不断输入,无机氮的固持作用加强,

增加 DOC 的消耗^[2];②微生物群落发生改变,在氮长期输入情况下,微生物群落中真菌活性降低,酚氧化酶产量降低,而酚氧化酶的减少会引起 DOC 的降低^[24,25].因此,总的看来,凋落物层土壤溶液 DOC 浓度可能由生物过程控制,而化学条件不是决定因素,故 DOC 浓度与 pH 值的相关关系并不明显,如图 3 所示.

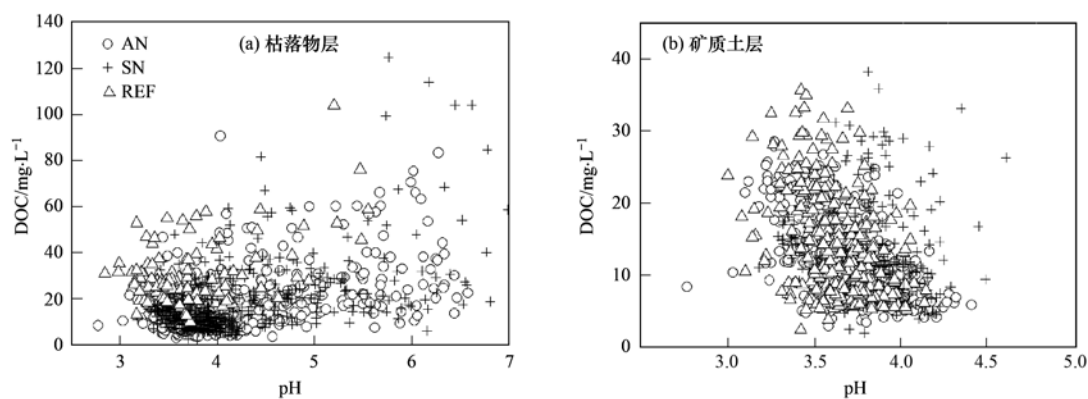


图 3 土壤溶液 DOC 浓度与 pH 值的相关性

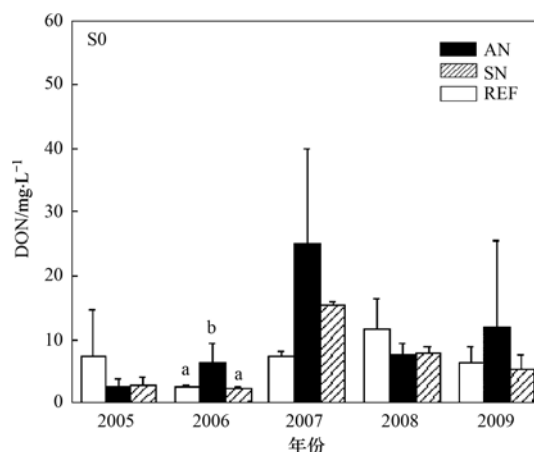
Fig. 3 Relationship between DOC concentration and pH value in soil water

从图 2 中还可以看出,矿质土层 DOC 浓度年际变化小于凋落物层.在 S1 层,施氮样区 DOC 年均值显著低于对对照样区($P < 0.05$),但 S2 和 S3 层没有类似的情况.矿质土层(特别是下层)与凋落物层 DOC 浓度完全不同的变化情况验证了 Froberg 的结论,即矿质层土壤 DOC 的主要来源是自身有机物的分解,而不是上层土壤有机质的淋溶^[26].这个过程取决于土壤有机质在土壤固、液两相间的平衡,受到土壤溶液性质特别是 pH 值影响.分析矿质土层土壤溶液 DOC 浓度与 pH 值的关系[图 3(b)],结果显示两者呈负相关,Pearson 相关系数分别为 -0.548 (AN)、 -0.166 (SN)和 -0.422 (REF).可能原因有:①pH 升高, H^+ 竞争作用减小,土壤溶液中有有机物与金属离子较易形成络合物,降低 DOC 浓度^[18];②pH 升高使得土壤微生物活性增强土壤呼吸作用增强,有机物矿化速率加快,DOM 消耗增加^[18].根据 Aber 等^[2]的研究,氮固持作用需要消耗大量的活性碳,所以氮缺乏时土壤溶液中 DOC 浓度增加,氮饱和时 DOC 浓度下降.本研究中 S1 层 DOC 浓度随氮输入的增加而下降反映土壤可能已发生氮饱和,这与无机氮淋溶(主要是 NO_3^-)的增加^[13]是一致的.

2.3 土壤溶液 DON 浓度的年均值变化

由于矿质土层中相对很高的 DIN 浓度及相对较低的 DON 浓度,用差减法计算土壤水 DON 会产

生较大的误差,因此本研究仅分析 DON 浓度较高的凋落物层的 DON 动态,如图 4 所示.可以看出,土壤溶液中 DON 浓度与 DOC 浓度变化情况并不一致.从数值上看,2005 年施氮样区 DON 浓度比对照样区低,但 2006 年开始,AN 样区 DON 年均值高于对照样区(2008 年例外),不过差异仅 2006 年显著,SN 样区则无明显变化.从结果看,凋落物层 DON 淋溶对 NH_4^+ 沉降的响应可能较 NO_3^- 明显,这也与 DIN 的情况相同^[13].



误差线表示标准差,成对 t 检验,每一年度不同字母表示不同处理之间的差异显著, $P < 0.05$

图 4 凋落物层土壤溶液 DON 年均浓度

Fig. 4 Annual average DON concentration in soil water of litter layer

凋落物层土壤溶液中 DOC 和 DON 浓度的比值 (DOC/DON) 如表 1 所示. 对照样区凋落物层土壤溶液的 DOC/DON 在 4.5 ~ 10.2 之间. Brookshire 等^[27]对温带森林的研究发现,当土壤碳氮比高于 20 时,地表水 DOC/DON 与土壤碳氮比相当,而当土壤碳氮比低于 20(氮饱和发生)时,地表水 DOC/DON 则从 20 左右快速下降. 2007 年后施氮样区土壤溶液的 DOC/DON 更是低于对照样区(但 AN 和 SN 样区差异不大),表明在高氮沉降条件下土壤可能已经发生氮饱和,土壤凋落层有机物有从富碳有机物向富氮有机物演变的趋势. Fang 等^[28]在广东鼎湖山的研究同样发现模拟氮沉降会降低土壤溶液的 DOC/DON.

表 1 凋落物层土壤溶液的 DOC/DON

Table 1 Annual DOC/DON ratio of soil water in litter layer			
年份	REF	AN	SN
2005	6.8	25.7	23.2
2006	10.2	7.2	13.3
2007	4.5	1.2	3.3
2008	4.5	3.9	3.2
2009	5.8	2.4	5.4

2.4 土壤 DOC 通量变化

凋落物层 DOC 的淋溶通量可以比浓度更好地反映土壤碳库的动态变化,如图 5 所示. DOC 淋溶通量呈季节性变化,夏秋季高,主要因为夏季降水量较高导致淋溶增强,另外较高的温度增加土壤微生物活性,加快有机物分解速度,DOM 淋溶加速^[22].

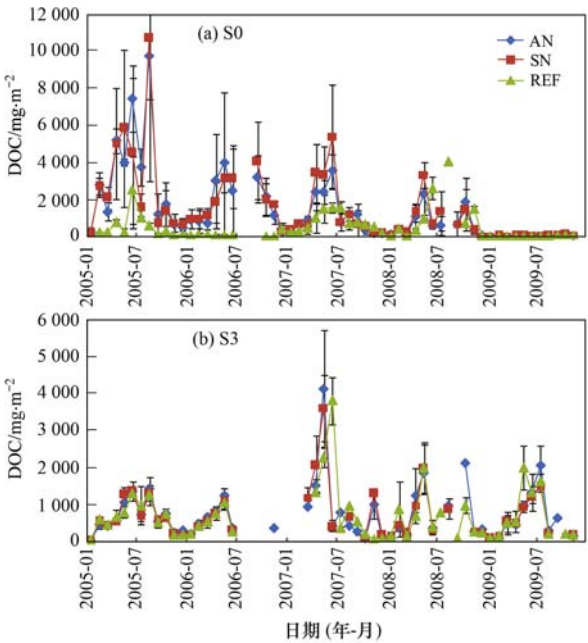


图 5 土壤溶液凋落物层和矿质层 S3 层 DOC 通量月变化

Fig. 5 Monthly variation of DOC flux in litter layer and S3 layer

相对于对照样区,加氮样区凋落物层 DOC 通量明显增加,2005 年最为显著,但此后几年增加量呈下降趋势,至 2008 年后基本相同. 在持续的氮输入情况下,土壤矿质层 DOC 淋溶通量几乎没有发生变化,表明氮沉降对矿质层 DOM 淋溶尚无影响.

3 结论

(1)氮沉降增加可能在较短期内使凋落物层土壤溶液 DOC 浓度和通量明显升高,但之后反而降低,对矿质土层的 DOC 淋溶及土壤碳库无显著影响.

(2)氮沉降增加可能降低凋落物层土壤溶液的 DOC/DON,土壤凋落层的有机物有从富碳有机物向富氮有机物转化的趋势.

(3)氮沉降的成分(NH_4^+ 和 NO_3^-) 对土壤有机物的影响没有明显差异.

参考文献:

[1] Liu X J, Duan L, Mo J M, *et al.* Nitrogen deposition and its ecological impact in China: an overview [J]. Environmental Pollution, 2011, **159**(10): 2251-2264.

[2] Aber J D, McDowell W, Nadelhoffer K, *et al.* Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems: Hypotheses revisited [J]. BioScience, 1998, **48**(11): 921-934.

[3] Stevens C J, Dise N B, Mountford J O, *et al.* Impact of nitrogen deposition on the Species Richness of Grasslands [J]. Science, 2004, **303**: 1876-1879.

[4] Wright R F, Rasmussen L. Introduction to the NITREX and EXMAN Projects [J]. Forest Ecology and Management, 1998, **101**(1-3): 1-7.

[5] Emmett B A, Boxman D, Bredemeier M, *et al.* Predicting the effects of atmospheric nitrogen deposition in conifer stands: evidence from the NITREX ecosystem-scale experiments [J]. Ecosystems, 1998, **1**(4): 352-360.

[6] Vestgarden L S, Abrahamsen G, Stuanes A O. Soil solution response to nitrogen and magnesium application in a Scots pine forest [J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, **65**(6): 1812-1823.

[7] McDowell W H, Magill A H, Aitkenhead-Peterson J A, *et al.* Effects of chronic nitrogen amendment on dissolved organic matter and inorganic nitrogen in soil solution [J]. Forest Ecology and Management, 2004, **196**(1): 29-41.

[8] Dixon R K, Wisniewski J. Global forest systems: An uncertain response to atmospheric pollutants and global climate change? [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1995, **85**(1): 101-110.

[9] Herbert B E, Bertsch P M. Characterization of dissolved and colloidal organic matter in soil solution: A review [A]. In: Kelly J M, McFee W W (Eds.). Carbon Forms and Functions in Forest Soils [M]. Madison: SSSA, 1995. 33-68.

- [10] Adamo P, Violante P. Weathering of rocks and neogenesis of minerals associated with lichen activity [J]. Applied Clay Science, 2000, **16**(5-6): 229-256.
- [11] Lipson D, Nasholm T. The unexpected versatility of plants: organic nitrogen use and availability in terrestrial ecosystems[J]. Oecologia, 2001, **128**(3): 305-316.
- [12] 杨永森, 段雷, 靳腾, 等. 石灰石和菱镁矿对酸化森林土壤修复作用的研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(9): 1878-1883.
- [13] 林岩, 段雷, 杨永森, 等. 模拟氮沉降对高硫沉降地区森林土壤酸化的贡献[J]. 环境科学, 2007, **28**(3): 640-646.
- [14] 段雷, 周益, 杨永森, 等. 酸化及化学修复剂对森林土壤有机物淋溶的影响[J]. 环境科学, 2008, **29**(2): 440-445.
- [15] Lvarsson H J M. Temporal variations in the concentration and character of dissolved organic matter in a highly colored stream in the coastal zone of Northern Sweden [J]. Arch Hydrobiology, 1994, **132**(1): 45-55.
- [16] Laudon H, Köhler S, Buffam I. Seasonal TOC export from seven boreal catchments in northern Sweden [J]. Aquatic Science, 2004, **66**(2): 223-230.
- [17] Larssen T, Duan L, Mulder J. Deposition and leaching of sulfur, nitrogen and calcium in four forested catchments in China: Implications for acidification [J]. Environmental Science and Technology, 2011, **45**(4): 1192-1198.
- [18] Schwesig D, Kalbitz K, Matzner E. Effects of aluminium on the mineralization of dissolved organic carbon derived from forest floors[J]. European Journal of Soil Science, 2003, **54**(2): 311-322.
- [19] McDowell W H. Dissolved organic matter in soils-future directions and unanswered questions[J]. Geoderma, 2003, **113**(3-4): 179-186.
- [20] Bergkvist B, Folkeson L. Soil acidification and element fluxes of a *Fagus sylvatica* forest as influenced by simulated nitrogen deposition[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1992, **65**(1-2): 111-133.
- [21] Smemo K A, Zak D R, Pregitzer K S. Chronic experimental NO₃-deposition reduces the retention of leaf litter DOC in a northern hardwood forest soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, **38**(6): 1340-1347.
- [22] Qualls R G, Haines B L. Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystem[J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, **55**(4): 1112-1123.
- [23] Andersson S, Nilsson S I. Influence of pH and temperature on microbial activity, substrate availability of soil-solution bacteria and leaching of dissolved organic carbon in a mor humus[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, **33**(9): 1181-1191.
- [24] Frey S D, Knorr M, Parrent J L, *et al.* Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests[J]. Forest Ecology and Management, 2004, **196**(1): 159-171.
- [25] Møller J, Miller M, Kjølter A. Fungal-bacterial interaction on beech leaves: Influence on decomposition and dissolved organic carbon quality[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, **31**(3): 367-374.
- [26] Fröberg M. Processes controlling production and transport of dissolved organic carbon in forest soils [D]. Uppsala: Doctoral thesis of Swedish University of Agricultural Sciences, 2004.
- [27] Brookshire E N J, Valett H M, Thomas S A, *et al.* Atmospheric N deposition increases organic N loss from temperate forests[J]. Ecosystems, 2007, **10**(2): 252-262.
- [28] Fang Y T, Zhu W X, Gundersen P, *et al.* Large loss of dissolved organic nitrogen from nitrogen-saturated forests in subtropical China[J]. Ecosystems, 2009, **12**(1): 33-45.

CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH ₃ , N ₂ O, CH ₄ and CO ₂ Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO ₂ Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation of the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Huai-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, GAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H ₂ O ₂ Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrained the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by δ -MnO ₂	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Phosphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe ²⁺ on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototoxic Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr ⁶⁺ and Hg ²⁺	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp TM	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- β -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

《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6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 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