

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化	祁建华, 武丽娟, 高冬梅, 金川 (801)
基于重庆本地碳成分谱的 PM _{2.5} 碳组分来源分析	张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)
重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究	徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)
基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析	王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)
基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)
典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析	徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)
火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究	王占山, 潘丽波 (853)
国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性	楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)
稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)
河口湿地近地面大气 CO ₂ 浓度日变化和季节变化	张林海, 仝川, 曾从盛 (879)
三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量	李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)
施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH ₄ 、N ₂ O 和 NH ₃ 排放特征	万合峰, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 郭玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)
干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响	张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)
长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究	吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)
汾河中游浮游藻类群落特征及水质分析	王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)
基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究	陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)
三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征	李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)
黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析	于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)
太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素	揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小峰, 穆云松 (951)
黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系	董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)
纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究	杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)
铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究	唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)
磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响	张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)
预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响	赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)
陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行	付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)
冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征	黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)
烷基多苷促进污泥水解产酸的研究	陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)
高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响	操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)
兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价	李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)
珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价	郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)
海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价	李飞, 徐敏 (1035)
再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险	吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)
瓦埠湖流域庄墓镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估	李如忠, 邵阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)
三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评价	张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)
基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评价	陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)
干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究	薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)
缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入	孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)
三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响	韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)
黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例	师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)
天然林土壤有机碳及矿化特征研究	杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)
不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化	张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)
硫脲对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响	杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)
6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应	山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)
基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究	张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)
人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究	吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)
农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析	陈晓娟, 吴小江, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)
中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态	宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)
苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析	周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)
UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响	刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)
Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响	张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)
对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究	宋彩霞, 邓新平, 厉阍, 肖伟 (1176)
克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用	刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)
铅元素人为循环环境释放物形态分析	梁静, 毛建素 (1191)
污染排放与环境质量关系模型构建与应用	李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)
微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展	闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)
《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)	

河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度日变化和季节变化

张林海^{1,3}, 仝川^{1,2,3}, 曾从盛^{1,2,3}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 湿润亚热带生态地理过程省部共建教育部重点实验室, 福州 350007; 3. 福建师范大学亚热带湿地研究中心, 福州 350007)

摘要: 2011 年 12 月~2012 年 11 月对闽江河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度(摩尔分数)进行观测, 研究 CO₂ 浓度的日变化和季节变化特征, 结果表明, 闽江河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度的日变化和季节变化都呈典型的“单峰型”, 表现为“昼低夜高”和“夏低冬高”的规律, 日变幅在 16.96~38.30 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 之间. 春、夏、秋、冬这 4 个季节近地面大气 CO₂ 平均浓度分别为 (353.74 ± 18.35)、(327.28 ± 8.58)、(354.78 ± 14.76) 和 (392.82 ± 9.71) $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 而年平均浓度为 (357.16 ± 26.89) $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$. 闽江河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度的日变化与温度、风速、光合有效辐射、总辐射等主要气象因子呈负相关关系 ($P < 0.05$), 而 1 月近地面大气 CO₂ 浓度日变化与潮汐水位呈负相关, 7 月与潮汐水位呈正相关.

关键词: 近地面大气; CO₂ 浓度; 日变化; 季节变化; 闽江河口湿地

中图分类号: X14 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-0879-06 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.03.010

Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO₂ Concentration in the River Estuarine Marsh

ZHANG Lin-hai^{1,3}, TONG Chuan^{1,2,3}, ZENG Cong-sheng^{1,2,3}

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Key Laboratory of Humid Sub-tropical Eco-geographical Process of Ministry of Education, Fuzhou 350007, China; 3. Research Centre of Wetlands in Sub-tropical Regions, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Characteristics of diurnal and seasonal variations of surface atmospheric CO₂ concentration were analyzed in the Minjiang River estuarine marsh from December 2011 to November 2012. The results revealed that both the diurnal and seasonal variation of surface atmospheric CO₂ concentration showed single-peak patterns, with the valley in the daytime and the peak value at night for the diurnal variations, and the maxima in winter and minima in summer for the seasonal variation. Diurnal amplitude of CO₂ concentration varied from 16.96 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ to 38.30 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$. The seasonal averages of CO₂ concentration in spring, summer, autumn and winter were (353.74 ± 18.35), (327.28 ± 8.58), (354.78 ± 14.76) and (392.82 ± 9.71) $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, respectively, and the annual mean CO₂ concentration was (357.16 ± 26.89) $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$. The diurnal CO₂ concentration of surface atmospheric was strongly negatively correlated with temperature, wind speed, photosynthetically active radiation and total solar radiation ($P < 0.05$). The diurnal concentration of CO₂ was negatively related with tidal level in January, but significantly positively related in July.

Key words: surface atmospheric; CO₂ concentration; diurnal variation; seasonal variation; Minjiang River estuarine marsh

二氧化碳(CO₂)是大气中最重要的温室气体, 在长寿温室气体总辐射强迫中的贡献率约为 64%^[1], 对全球环境变化有重要影响, 是目前生态系统碳循环研究的热点之一. 由于工业发展、人口增加、森林砍伐等人为活动的增多等原因, 近百年来大气总 CO₂ 的浓度逐年升高. 根据 IPCC 的报告, 2005 年大气 CO₂ 浓度已经达到了 379 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 比 1960 年观察到的 313 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 高出了 66 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$. 从 1960~2005 年, 大气中 CO₂ 平均增长率是 1.4 $\mu\text{mol}\cdot(\text{mol}\cdot\text{a})^{-1}$, 其中 1996~2005 年的 10 年间, 增长率是 1.9 $\mu\text{mol}\cdot(\text{mol}\cdot\text{a})^{-1}$, 增幅明显^[2]. CO₂ 浓度增大会导致气候变暖、海平面抬升、生物多样性丧失、传染疾病增多等严重后果,

直接影响人类的生存环境和社会经济的可持续发展, 成为当前国际社会共同面临的重要课题, 受到了人们的广泛关注^[3,4].

近年来, 不同国家和地区相继建立了主要温室气体的监测站网, 在大气 CO₂ 浓度监测和研究方面取得较大的发展, 但是主要集中在近岸海域和岛屿^[5,6]、森林^[7~9]、草原^[10,11]、沙漠^[12]、农田^[13]、内陆湿地^[14,15]等生态系统, 很少涉及河口盐沼生态系统的监测和研究. 湿地碳储量约占全球陆地土壤

收稿日期: 2013-07-02; 修订日期: 2013-08-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(31000262, 41071148); 福建省科技厅重点项目(2013Y0033)

作者简介: 张林海(1978~), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为生态与环境, E-mail: dqgl200809@163.com

有机碳库的 1/3, 充当着碳的源、汇和转换器的功能^[16], 其 CO_2 浓度变化深刻影响全球碳循环过程. 河口盐沼湿地是咸淡水交汇、陆海邻接的交错区, 具有独特的结构与功能, 作为生态系统重要组成部分, 了解盐沼湿地 CO_2 浓度规律是全面解析沿海地区碳循环不可或缺的重要环节. 闽江河口是中国福建沿海典型的开放式感潮河口湿地, 盐沼植被丰富, 生物多样性较高, 其 CO_2 释放以及大气 CO_2 浓度的变化规律等是值得探究的问题. 本实验以闽江河口最大的鳝鱼滩湿地作为研究区, 观测近地面大气 CO_2 浓度的昼夜变化和季节变化特征, 分析大气 CO_2 浓度变化规律及其主要影响因素, 以期为进一步了解湿地生态系统气候变化以及典型河口湿地碳循环的研究提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于福建省福州市长乐市闽江河口鳝鱼滩湿地, 地处闽江入海口(图 1), 地理坐标为 $119^\circ 34' 12'' \sim 119^\circ 41' 40'' \text{E}$, $26^\circ 00' 36'' \sim 26^\circ 03' 42'' \text{N}$, 面积约 $3\,129\text{ hm}^2$. 该湿地位于亚热带与中亚热带的过渡地带, 雨量充沛, 多年平均降水量为 $1\,346\text{ mm}$; 受海陆热力性质差异、沿海地势特点及台湾海峡的影响, 夏季盛行偏南风, 冬季则盛行偏北风. 湿地终年受潮汐影响, 属正规半日潮. 土壤中含盐量较高, pH 值偏酸性. 其临江濒海, 水草茂盛, 生物多样性较高, 区内短叶荇菜 (*Cyperus malaccensis*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、互花米草 (*Spartina alterniflora*) 等维管束植被有较大面积分布^[17].

1.2 研究方法

采样点设置在鳝鱼滩五门闸附近的观鸟台, 四周主要以覆盖良好的盐沼植被为主, 植被冠层高度 $1.2 \sim 2.8\text{ m}$, 采样高度距地面 10 m 左右. 在线观测仪器采用意大利 LSI 公司生产的 LSI-LASTEM E-Log 全自动数据采集器, 数据的测定和校准、数据记录和存储均由数据采集器完成. 主要监测指标有 CO_2 浓度 ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)、大气湿度 (%)、大气温度 ($^\circ\text{C}$)、风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、光合有效辐射 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)、总辐射 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)、潮汐水位 (m) 等, 其中 CO_2 为 GMM222 系列探头, 标定后测量范围在 $0 \sim 3\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 之间, 其浓度精度在 3% 观测值范围, CO_2 平均值浓度的不确定度用标准误差表示.

该观测系统每 0.5 h 测量一组数据, 并自动记

录最大值 (Max)、最小值 (Min) 和平均值 (Ave). 将采集的观测数据整理后剔除测量过程中的异常值 (仪器故障、人为活动因素、自然因素等), 对 24 h 的浓度时均值求取算术平均值得到日浓度均值, 同理计算月、季、年均值, 其中以 12、1、2 月代表冬季; 3、4、5 月代表春季; 6、7、8 月代表夏季; 9、10、11 月代表秋季. 采用的数据时段为 2011 年 12 月 1 日 ~ 2012 年 11 月 30 日. 该仪器于 2010 年 7 月安装校准后, 于 2011、2013 年 8 月进行原厂校准. 对比各年夏、冬半年的数据, 发现 2012 夏半年漂移较大, 因此根据 2010 年 CO_2 浓度和温度的相关关系和线性方程, 结合 2012 年的温度数据, 修正插补 2012 年 6 ~ 10 月的 CO_2 浓度值^[18]. 考虑同一季节内不同月份之间仍然存在 CO_2 浓度及气象因子日变化的实际差异, 本研究以气温最高、湿地植物生长旺盛的 7 月和气温最低、植物生长休眠季节的 1 月的日变化数据为例, 分析影响 CO_2 浓度日变化的相关气象因子, 对 CO_2 浓度年变化相关因子则采用每月平均数据进行分析.

采用方差分析 (ANOVA) 中单因素 LSD 法检验不同季节、不同月份 CO_2 浓度的差异. 用显著性水平 P 推断处理间的差异程度, $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 表示在不同区组间具有极显著和显著差异. 统计分析和图像绘制使用 SPSS 13.0 及 Excel 2003 软件.

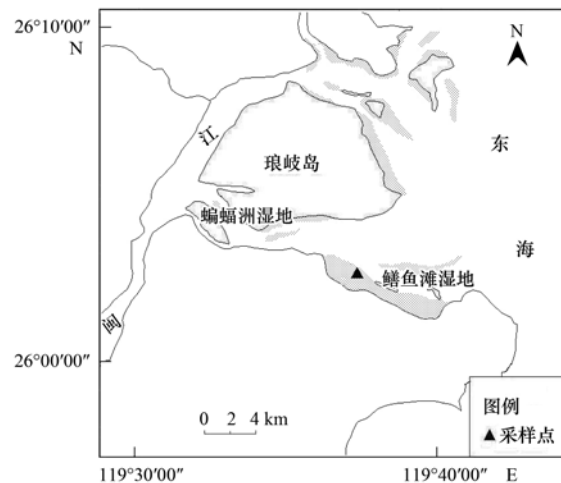


图 1 研究区采样点位置示意

Fig. 1 Location of the sampling site

2 结果与分析

2.1 近地面大气 CO_2 浓度的日变化

闽江河口湿地不同月份近地面大气 CO_2 浓度的日变化规律比较一致, 均呈“单峰型”变化(图 2). CO_2 浓度在傍晚开始缓慢升高, 一般在日出前

后达到最大值,之后开始迅速下降,在午后达到最低值,日落后又开始升高。各个季节每日达到极值的时段略有区别,其中秋冬季节 CO₂ 浓度的最大值出现在 06:00 ~ 07:00,春夏季节,随着日出时间的提前,最大值的时间也相应提前出现在 04:00 ~ 06:00;

秋冬季节最小值的时间出现在 12:30 ~ 14:00,春夏季节则推迟出现在 13:30 ~ 16:00。近地面大气 CO₂ 浓度的日变幅在 16.96 ~ 38.30 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 之间,不同月份的日变幅差异较大,其中日变幅最小在 1 月,最大在 4 月。

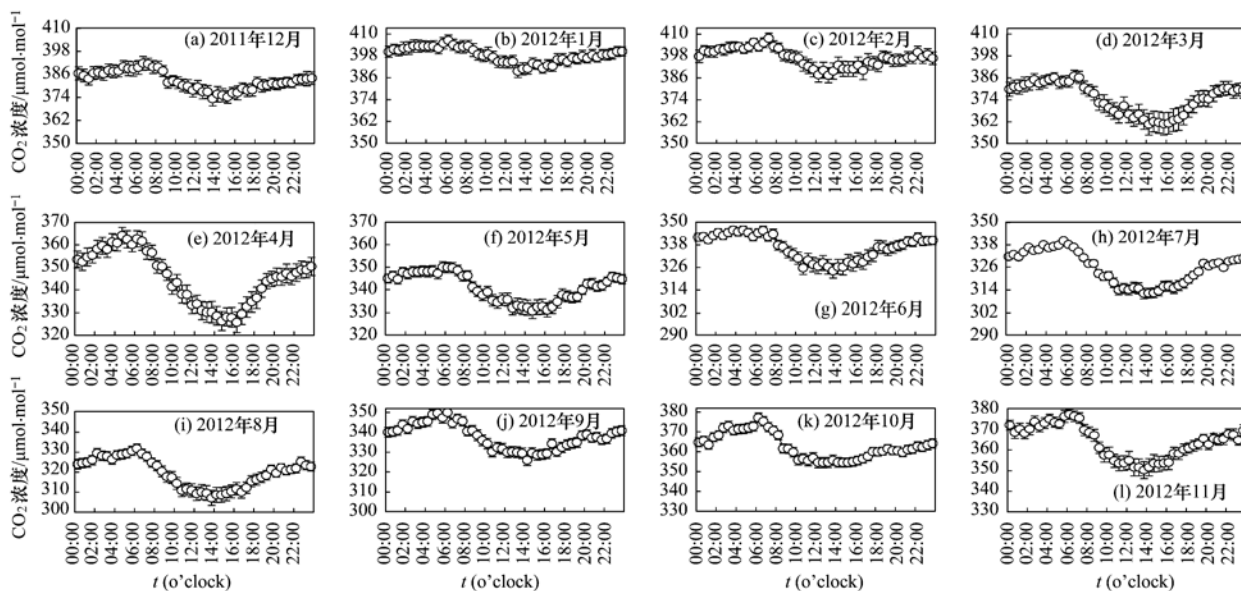


图 2 12 个月近地面大气 CO₂ 浓度的日变化

Fig. 2 Diurnal variations of the mean CO₂ concentration in twelve months

2.2 近地面大气 CO₂ 浓度的月份和季节变化

闽江河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度也呈典型的“单峰型”变化(图 3)。大气 CO₂ 浓度在 1 月最高,平均值为 $(398.46 \pm 4.26) \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$; 8 月最低,平均值为 $(319.63 \pm 7.43) \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。CO₂ 浓度的季节变化特征为:冬季最高,之后迅速下降,在夏季达到最低值,秋季开始又逐步升高。在观测时段内,春、夏、秋、冬这 4 个季节 CO₂ 平均浓度分别为 (353.74 ± 18.35) 、 (327.28 ± 8.58) 、 (354.78 ± 14.76) 和 $(392.82 \pm 9.71) \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。同日变幅相比,CO₂ 浓度的季节变幅较大,夏秋季节的变化比

冬春季也更剧烈,冬夏季的 CO₂ 浓度差异可达 $65.54 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。方差分析进一步表明,各个月 CO₂ 浓度的平均值均存在显著差异,1、2 月的 CO₂ 浓度显著较高,7、8 月显著较低($P < 0.05$)。

2.3 影响 CO₂ 浓度变化的主要环境因子及相关分析

CO₂ 浓度受到多种气象条件影响,1 月近地面大气 CO₂ 浓度的日变化与湿度、温度、风速、光合有效辐射、总辐射都有负相关关系,并达到显著性检验水平($P < 0.05$),其中与温度、风速、光合有效辐射、总辐射的相关性较强,相关系数分别达到 -0.947 、 -0.706 、 -0.679 和 -0.659 (表 1);另外,CO₂ 浓度的日变化与潮汐水位也呈负相关关系($P < 0.01$)。7 月 CO₂ 浓度的日变化与气象因子关系更为密切,其中与湿度、温度、风速、光合有效辐射、总辐射都有极显著负相关关系($P < 0.01$),相关系数分别达到 -0.899 、 -0.992 、 -0.894 、 -0.811 和 -0.805 ,相关程度较高(表 2)。与 1 月不同的是,7 月 CO₂ 浓度的日变化与潮汐水位呈正相关关系($P < 0.05$),但是相关系数不高。对月均大气 CO₂ 浓度及主要大气环境因子进行相关关系分析,表明月均 CO₂ 浓度与湿度、温度、光合有效辐射、风速、总辐射呈负相关关系(表 3),并且与湿

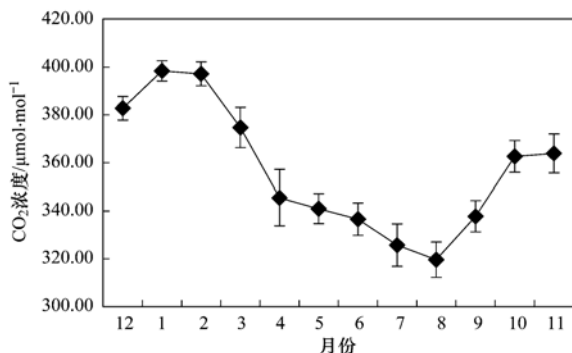


图 3 各月近地面大气 CO₂ 浓度均值变化

Fig. 3 Variations of monthly CO₂ concentration

度、光合有效辐射、风速的相关系数较高 ($P < 0.01$).

表 1 1 月大气 CO₂ 浓度日变化及主要环境因子相关关系

Table 1 Correlation between main environmental factors and the diurnal CO₂ concentration in January

项目	湿度	温度	风速	光合有效辐射	总辐射	潮汐水位
相关系数(R)	-0.285	-0.947	-0.760	-0.679	-0.659	-0.417
样本数(n)	48	48	48	48	48	48
显著性水平(P)	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表 2 7 月大气 CO₂ 浓度日变化及主要环境因子相关关系

Table 2 Correlation between main environmental factors and the diurnal CO₂ concentration in July

项目	湿度	温度	风速	光合有效辐射	总辐射	潮汐水位
相关系数(R)	-0.899	-0.992	-0.894	-0.811	-0.805	0.282
样本数(n)	48	48	48	48	48	48
显著性水平(P)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05

表 3 月均大气 CO₂ 浓度及主要大气环境因子相关关系

Table 3 Correlation between main environmental factors and the monthly CO₂ concentration

项目	湿度	温度	风速	光合有效辐射	总辐射	潮汐水位
相关系数(R)	-0.043	-0.963	-0.656	-0.901	-0.516	0.219
样本数(n)	12	12	12	12	12	12
显著性水平(P)	>0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

3 讨论

3.1 CO₂ 浓度的日变化和季节变化

闽江河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度的日变化呈典型的“单峰型”规律,表现为“昼低夜高”的趋势,这与温带森林^[18]、高寒湿地^[15]、典型草原^[10]、长江三角洲^[19]等生态系统的比较一致,但是与内陆沙漠生态系统表现为 CO₂ 浓度的高值段出现在光照强烈、温度较高的白天有明显差异^[12],同太湖流域 CO₂ 浓度日变化剧烈,呈“双峰态”的变化也有很大不同^[20]. 其主要原因是闽江河口湿地水草丰盛、盐沼植被覆盖较好,白天植被的光合作用较强,大量吸收空气中的 CO₂. 虽然大量的研究认为,亚热带植物光合作用在中午存在“午休”现象^[21,22],但这种现象并没有使午后 CO₂ 浓度升高,实际观测结果也表明 CO₂ 浓度的日最小值一般都出现在午后,原因是午后强烈的太阳辐射使下垫面受热,易产生不稳定层结的对流、湍流天气,大气容易扩散使中午边界层最高,CO₂ 混合相对均匀,导致 CO₂ 浓度降低. 夜间由于观测点离城镇中心较远,受工农业生产和交通运输活动产生 CO₂ 的影响较小,大气 CO₂ 浓度主要受控于土壤、植被呼吸作用而导致浓度逐渐升高. 夜间大气条件稳定,不利于空气扩散,较低的边界层高度也促进近地面排放的 CO₂ 浓度的积累.

闽江河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度在夏季最

低,主要是因为夏季是植物生长季节,闽江河口生长茂盛的芦苇和互花米草等大型盐沼植物,光合作用强烈,植物吸收大量 CO₂,降低大气 CO₂ 浓度. 这也表明海陆交界的湿地生态系统近地面大气 CO₂ 浓度仍主要受植被生长和光合作用影响. 大气层结稳定性对 CO₂ 浓度变化也有很大影响,研究表明,本区夏季受台风和热带辐合带天气系统影响^[23];同时该地区 1 年中 7~8 月出现逆温的几率最低,仅为 30% 左右,因此热湍流效应明显,大气水平输送和垂直交换能力强^[24],导致 CO₂ 扩散较快,浓度进一步降低. CO₂ 浓度在冬季最高,是由于植物枯萎,光合作用减弱,减少了大气 CO₂ 的吸收,此时土壤释放的 CO₂ 明显大于植物吸收. 此季节气压高,湿度和温度相对较低,大气层结较为稳定,CO₂ 的扩散微弱,也是导致 CO₂ 浓度高的原因之一.

本研究还观测到生长季节的最高 CO₂ 浓度值出现时间较非生长季节提前,而生长季节最低 CO₂ 浓度值较非生长季节推后,主要是由于夏季白昼变长、日出提前和最高温度延迟造成.

闽江河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度变化于 307.10~407.67 μmol·mol⁻¹ 之间,年平均浓度为 (357.16±26.89) μmol·mol⁻¹,低于慕士塔格地区(高原山地)^[25]、北京(森林公园)^[26]、太湖(湖泊)^[20]、锡林浩特(草原)^[10]、帽儿山(温带森林)^[18]、天津近海(海洋)^[27]、厦门(城市近郊)^[28]

等生态系统的平均值, 高于高寒湿地^[15] 的平均值。湿地生态系统排放 CO₂ 较少是因为植被光合作用吸收大量 CO₂, 另外过湿的环境导致土壤缺氧, 不利于微生物的好氧活动; 湿地积水环境也阻止了土壤、微生物的呼吸作用产生的 CO₂ 排向大气, 导致 CO₂ 的释放速率较缓慢; 湿地由于强烈的水分物理运动过程导致微弱的 CO₂ 吸收^[15], 这都可能降低大气 CO₂ 浓度。相对于生态系统呼吸释放的 CO₂, 湿地植物通过光合作用能够积累更多的泥炭土壤, 表明河口湿地是全球生态系统中 CO₂ 重要的汇, 因此河口湿地在生态系统碳循环中起着关键性作用, 保护湿地对维持全球环境的稳定性也有重要意义。

3.2 影响 CO₂ 浓度的主要气象、水文因素

通过对影响 CO₂ 浓度主要气象因素的相关分析可知, 无论是 1 月和 7 月, 温度、风速、光合有效辐射、总辐射都是影响 CO₂ 浓度日变化的重要因素, 同时温度、风速、光合有效辐射还是影响月均大气 CO₂ 浓度的主要因素。这表明受人类活动影响较小的自然湿地生态系统, 温度、光合有效辐射可以很好地指示绿色植物的生长、碳代谢活动, 以及在生长季和非生长季、昼和夜的光合作用强度, 因此与 CO₂ 浓度呈显著负相关。大气湿度在 7 月与大气 CO₂ 浓度日变化有显著负相关关系, 但是在 1 月则相关系数很小, 这是由于闽江河口湿地气候类型为亚热带季风湿润气候, 7 月水热充足, 雨热同期, 降水增加导致植物生长更为旺盛, 光合作用强烈, 明显降低 CO₂ 浓度; 1 月由于植物枯萎, 对水分的需求减少, 大气湿度对光合作用不敏感, 进而对 CO₂ 的浓度影响下降。1 月和 7 月风速也显著影响大气 CO₂ 浓度的日变化, 风速越大, 大气扩散条件较好, 利于 CO₂ 浓度的下降。闽江河口湿地大部分时间以低于 8 m·s⁻¹ 的和风、微风为主, 这种风速条件对 CO₂ 浓度变化的影响更加明显^[19]; 此外, 闽江河处于亚热带湿润季风区, 夏季受海洋性气团影响的东南风为主, 并常受台风、湍流等天气系统影响, 风速较大, 进一步加剧了夏季的 CO₂ 浓度下降。

潮汐是河口湿地特有的水文过程, 其特殊的涨落周期不仅仅影响水位、盐度等水文特征, 还直接影响河口湿地的土壤呼吸和碳循环^[29]。以往研究表明无论是生长季还是非生长季, 小潮从生态系统释放到大气 CO₂ 均高于大潮期, 高水位抑制生态系统呼吸和阻碍 CO₂ 的传输^[30]; 闽江河口湿地也测定出涨落潮过程(潮水水淹过程) CO₂ 排放通量均显著小于涨潮前和落潮后地表落出阶段 CO₂ 排

放通量^[31]。本研究表明, 1 月冬季大气 CO₂ 浓度与水位有负相关关系, 但是 7 月夏季大气 CO₂ 浓度与水位却是弱的正相关关系, 潮汐仅能解释 34.5% 的大气 CO₂ 浓度变化规律, 说明潮汐影响大气 CO₂ 浓度的因素比较复杂, 还受其他条件的制约。另外, 虽然 CO₂ 排放通量并不代表大气 CO₂ 浓度, 但可以肯定的是潮汐主要是通过影响土壤、植物和微生物的好氧呼吸, 以及影响 CO₂ 的生成、传输和释放而导致大气 CO₂ 浓度的产生变化。不过鉴于潮汐的复杂性, 大气 CO₂ 浓度与潮汐的关系有待于进一步研究。

4 结论

(1) 闽江河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度的日变化呈典型“单峰型”规律, 表现为“昼低夜高”的趋势, CO₂ 浓度的日最小值一般都出现在午后, 最高值出现在日出前后。大气 CO₂ 浓度的日变幅在 16.96 ~ 38.30 μmol·mol⁻¹ 之间。

(2) 不同季节湿地近地面大气 CO₂ 浓度也呈典型的“单峰型”。CO₂ 浓度冬季最高, 之后迅速下降, 在夏季达到最低值。CO₂ 浓度季节变幅较大, 冬夏季的 CO₂ 浓度相差 65.54 μmol·mol⁻¹。闽江河口湿地 CO₂ 年平均浓度为 (357.16 ± 26.89) μmol·mol⁻¹, 低于其他生态系统, 表明是全球生态系统中 CO₂ 重要的汇。

(3) 1 月近地面大气 CO₂ 浓度的日变化与温度、风速、光合有效辐射、总辐射的相关性较强, 并与潮汐水位呈负相关关系; 7 月 CO₂ 浓度的日变化与湿度、温度、风速、光合有效辐射、总辐射都有极显著负相关关系, 与潮汐水位呈正相关关系。

致谢: 本实验得到福建师范大学亚热带湿地研究中心团队及成员的大力支持, 一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 中国气象局气候变化中心. 中国温室气体公报 [EB/OL]. <http://www.ccchina.gov.cn/WebSite/CCChina/UpFile/File1366.pdf>, 2013-01-14.
- [2] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3] Massot M, Clobert J, Ferriere R. Global warming, dispersal inhibition and extinction risk [J]. Global Change Biology, 2008, 14(3): 461-469.
- [4] Witze A. Climate change: Losing Greenland [J]. Nature, 2008, 452(7189): 798-802.
- [5] Frankignoulle M, Borges A V. European continental shelf as a significant sink for atmospheric carbon dioxide [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2001, 15(3): 569-576.

- [6] Tsutsumi Y, Mori K, Ikegami M, *et al.* Long-term trends of greenhouse gases in regional and background events observed during 1998-2004 at Yonagunijima located to the east of the Asian continent[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(30): 5868-5879.
- [7] Matamala R, Schlesinger W H. Effects of elevated atmospheric CO₂ on fine root production and activity in an intact temperate forest ecosystem[J]. *Global Change Biology*, 2000, **6**(8): 967-979.
- [8] Jassal R S, Black T A, Drewitt G B, *et al.* A model of the production and transport of CO₂ in soil: predicting soil CO₂ concentrations and CO₂ efflux from a forest floor[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, **124**(3-4): 219-236.
- [9] 吴家兵, 关德新, 赵晓松, 等. 长白山阔叶红松林二氧化碳浓度特征[J]. *应用生态学报*, 2005, **16**(1): 49-53.
- [10] 王英舜, 史激光. 典型草原区生长季大气 CO₂ 浓度特征分析[J]. *中国农学通报*, 2010, **26**(13): 363-365.
- [11] Gilmanov T G, Soussana J F, Aires L, *et al.* Partitioning European grassland net ecosystem CO₂ exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, **121**(1-2): 93-120.
- [12] 邵天杰, 赵景波, 郁科科, 等. 腾格里沙漠民勤沙丘 CO₂ 浓度与昼夜变化规律研究[J]. *环境科学*, 2010, **32**(12): 3004-3010.
- [13] Li J, Yu Q, Sun X M, *et al.* Carbon dioxide exchange and the mechanism of environmental control in a farmland ecosystem in North China Plain[J]. *Science in China (Series D): Earth Sciences*, 2006, **29**(2): 226-240.
- [14] 白军红, 邓伟, 余国营, 等. 向海湿地贴地气层中 CO₂ 日平均浓度空间分异特征[J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(1): 75-79.
- [15] 李英年, 徐世晓, 赵亮, 等. 青海海北高寒湿地近地层大气 CO₂ 浓度的变化特征[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, **21**(6): 108-113.
- [16] 白军红, 肖蓉, 王庆改, 等. 付老文泡湿地贴地气层中 CO₂ 日平均浓度沿环境梯度的空间分异特征[J]. *地球与环境*, 2009, **37**(4): 342-346.
- [17] 刘剑秋, 曾从盛, 陈宁. 闽江河口湿地研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 19-56.
- [18] 焦振, 王传宽, 王兴昌. 温带落叶阔叶林冠层 CO₂ 浓度的时空变异[J]. *植物生态学报*, 2011, **35**(5): 512-522.
- [19] 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 等. 长江三角洲背景地区 CO₂ 浓度变化特征研究[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(6): 973-979.
- [20] 嵇晓燕, 杨龙元, 王跃思, 等. 太湖流域近地表主要温室气体本底浓度特征[J]. *环境监测管理与技术*, 2006, **18**(3): 11-15.
- [21] 徐敏, 郑思俊, 孙卿, 等. 上海新江湾地区废弃地低干扰植物群落优势树种的光合生理生态特征[J]. *西北植物学报*, 2012, **32**(9): 1850-1857.
- [22] 王荣, 郭志华. 木荷幼苗对常绿阔叶林不同光环境的光合响应[J]. *林业科学研究*, 2007, **20**(5): 688-693.
- [23] 王宏, 陈晓秋, 余永江, 等. 福州近地层臭氧分布及其与气象要素的相关性[J]. *自然灾害学报*, 2012, **21**(4): 175-181.
- [24] 林长城, 林祥明, 邹燕, 等. 福州气象条件与酸雨的关系研究[J]. *热带气象学报*, 2005, **21**(3): 330-336.
- [25] 郑伟, 姚檀栋, 徐柏青. 慕士塔格夏季近地表大气 CO₂ 浓度变化特征[J]. *冰川冻土*, 2005, **27**(2): 213-219.
- [26] 潘剑彬, 董丽, 廖圣晓, 等. 北京奥林匹克森林公园 CO₂ 浓度特征研究[J]. *北京林业大学学报*, 2011, **33**(1): 30-35.
- [27] 孔少飞, 陆炳, 韩斌, 等. 天津近海大气中 CH₄, N₂O 和 CO₂ 季节变化分析[J]. *中国科学(D 辑): 地球科学*, 2010, **40**(5): 666-676.
- [28] 李燕丽, 穆超, 邓君俊, 等. 厦门秋季近郊近地面 CO₂ 浓度变化特征研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(5): 2018-2024.
- [29] Heinsch F A, Heilman J L, McInnes K J, *et al.* Carbon dioxide exchange in a high marsh on the Texas Gulf Coast: effects of freshwater availability[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, **125**(1-2): 159-172.
- [30] 马安娜, 陆健健. 长江口崇西湿地生态系统的二氧化碳交换及潮汐影响[J]. *环境科学研究*, 2011, **24**(7): 716-721.
- [31] 仝川, 鄂焱, 廖稷, 等. 闽江河口潮汐沼泽湿地 CO₂ 排放通量特征[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(12): 2830-2840.

CONTENTS

Concentration and Community Diversity of Microbes in Bioaerosols in the Qingdao Coastal Region	QI Jian-hua, WU Li-jing, GAO Dong-mei, <i>et al.</i> (801)
Carbon Source Apportionment of PM _{2.5} in Chongqing Based on Local Carbon Profiles	ZHANG Can, ZHOU Zhi-en, ZHAI Chong-zhi, <i>et al.</i> (810)
Observation of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Beibei District, Chongqing	XU Peng, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (820)
A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties	WANG Yuan, DENG Jun-ying, SHI Lan-hong, <i>et al.</i> (830)
Analysis and Assessment of Atmospheric Pollution Based on Accumulation Characterization of Heavy Metals in <i>Platanus acerifolia</i> Leaves	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (839)
Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise	XU Zhi-rong, WANG Peng, WANG Zhe-ming, <i>et al.</i> (847)
Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants; a Numerical Simulation	WANG Zhan-shan, PAN Li-bo (853)
On Road Particle Emission Characteristics of a Chinese Phase IV Natural Gas Bus	LOU Di-ming, CHENG Wei, FENG Qian (864)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanols in Smoke from Rice and Maize Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (870)
Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO ₂ Concentration in the River Estuarine Marsh	ZHANG Lin-hai, TONG Chuan, ZENG Cong-sheng (879)
Partial Pressure and Diffusion Flux of Dissolved Carbon Dioxide in the Mainstream and Tributary of the Central Three Gorges Reservoir in Summer	LI Shuang, WANG Yu-chun, CAO Man, <i>et al.</i> (885)
Emission of CH ₄ , N ₂ O and NH ₃ from Vegetable Field Applied with Animal Manure Composts	WAN He-feng, ZHAO Chen-yang, ZHONG Jia, <i>et al.</i> (892)
Effects of Different Iron Oxides on Methane Emission in Paddy Soil as Related to Drying/Wetting Cycles	ZHANG Tian-jiao, TANG Jia, ZHUANG Li, <i>et al.</i> (901)
Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea	WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, <i>et al.</i> (908)
Phytoplankton Community Structure and Assessment of Water Quality in the Middle and Lower Reaches of Fenhe River	WANG Ai-ai, FENG Jia, XIE Shu-lian (915)
Lake Algae Chemotaxonomy Technology Based on Fluorescence Excitation Emission Matrix and Parallel Factor Analysis	CHEN Xiao-na, HAN Xiu-rong, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (924)
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas	LI Lu-lu, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> (933)
Distribution of Phosphorus in Surface Sediments from the Yellow River Estuary Wetland	YU Zi-yang, DU Jun-tao, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (942)
Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun	CHUAI Xiao-ming, YANG Liu-yan, CHENG Shu-bo, <i>et al.</i> (951)
Linking Optical Properties of Dissolved Organic Matter with NDMA Formation Potential in the Huangpu River	DONG Qian-qian, ZHANG Ai, LI Yong-mei, <i>et al.</i> (958)
Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Aquifer by Nano Zero-valent Iron; Debromination Kinetics and Pathway	YANG Yu-han, XU Wei-wei, PENG Si-kan, <i>et al.</i> (964)
Influencing Factors and Reaction Mechanism of Chloroacetic Acid Reduction by Cast Iron	TANG Shun, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (972)
Effect of Phosphorus Recovery on Phosphorous Bioaccumulation/Harvesting in an Alternating Anaerobic/Aerobic Biofilter System	ZHANG Shun, TIAN Qing, TANG Man-lin, <i>et al.</i> (979)
Effects of Pretreatment Methods on Corncob as Carbon Source for Denitrification	ZHAO Wen-li, HAO Rui-xia, LI Bin, <i>et al.</i> (987)
Start-Up by Inoculation and Operation of a CANON Reactor with Haydite as the Carrier	FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, QIU Fu-guo (995)
Diversity of Operation Performance and Microbial Community Structures in MBRs and CAS Processes at Low Temperature	HUANG Fei, MEI Xiao-jie, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1002)
Enhanced Hydrolysis and Acidification of Waste Activated Sludge by Alkyl Polyglycosides	CHEN Can, SUN Xiu-yun, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1009)
Effect of Substrate Concentration on Pathogen Indicators Inactivation During Thermophilic Anaerobic Digestion	CAO Hong-qing, ZHANG Fei-fei, LI Jian, <i>et al.</i> (1016)
Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Lanzhou	LI Ping, XUE Su-yin, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1021)
Ecological Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Aquatic Ecosystems of Pearl River Estuary	GUO Qiang, TIAN Hui, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> (1029)
Source Characteristics and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Surface Sediments of Haizhou Bay	LI Fei, XU Min (1035)
Health Risk Induced by Estrogens During Unplanned Indirect Potable Reuse of Reclaimed Water from Domestic Wastewater	WU Qian-yuan, SHAO Yi-ru, WANG Chao, <i>et al.</i> (1041)
Distribution Characteristics and Erosion Risk of Nitrogen and Phosphorus in Soils of Zhuangmu Town in Lake Wabuhu Basin	LI Ru-zhong, ZOU Yang, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1051)
Distribution and Risk Assessment of Mercury Species in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	ZHANG Cheng, CHEN Hong, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (1060)
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Residential Communities Built on Brownfields	CHEN Xing, MA Jian-hua, LI Xin-ning, <i>et al.</i> (1068)
Study on Ecological Risk Assessment Technology of Fluoride Pollution from Arid Oasis Soil	XUE Su-yin, LI Ping, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1075)
Rainfall Process and Nitrogen Input in Three Typical Forests of Jinyun Mountain	SUN Su-qi, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> (1081)
Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China	HAN Li-yang, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (1091)
Changes and Influencing Factors of the Soil Organic Carbon in Farmland in the Last 30 Years on Hilly Loess Plateau; A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie, <i>et al.</i> (1098)
Organic Carbon and Carbon Mineralization Characteristics in Nature Forestry Soil	YANG Tian, DAI Wei, AN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1105)
Dynamic Change of Phosphorus Leaching of Neutral Purple Soil at Different Re-wetting Rate	ZHANG Si-lan, SHI Xiao-jun, GUO Tao (1111)
Effects of Thiourea on pH and Availability of Metal Ions in Acid Red Soil	YANG Bo, WANG Wen, ZENG Qing-ru, <i>et al.</i> (1119)
Growth Responses of Six Leguminous Plants Adaptable in Northern Shaanxi to Petroleum Contaminated Soil	SHAN Bao-qin, ZHANG Yong-tao, CAO Qiao-ling, <i>et al.</i> (1125)
Plant N Status in the Alpine Grassland of the Qinghai-Tibet Plateau; Base on the N:P Stoichiometry	ZHANG Ren-yi, XU Dang-hui, CHEN Ling-yun, <i>et al.</i> (1131)
Development and Succession of Artificial Biological Soil Crusts and Water Holding Characteristics of Topsoil	WU Li, CHEN Xiao-guo, ZHANG Gao-ke, <i>et al.</i> (1138)
Carbon Dioxide Assimilation Potential, Functional Gene Amount and RubisCO Activity of Autotrophic Microorganisms in Agricultural Soils	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, JIAN Yan, <i>et al.</i> (1144)
Dynamics of Microbes and Enzyme Activities During Litter Decomposition of <i>Pinus massoniana</i> Forest in Mid-subtropical Area	SONG Ying, GU Xi-rong, YAN Hai-yuan, <i>et al.</i> (1151)
Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Camphor (<i>Cinnamomum camphora</i>) Tree Bark from Southern Jiangsu, China	ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, <i>et al.</i> (1159)
Combined Stress of Enhanced UV-B Radiation and 1,2,4-Trichlorobenzene Contamination on the Growth of Green Vegetable	LIU Cui-ying, FAN Jian-ling, XU Xiang-hua (1164)
Effect of Ectomycorrhizae on Heavy Metals Sequestration by Thermostable Protein in Rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Under Cu and Cd Stress	ZHANG Ying-wei, CHAI Li-wei, WANG Dong-wei, <i>et al.</i> (1169)
Isolation and Characterization of a Halotolerant <i>p</i> -nitroaniline Degrading Strain S8	SONG Cai-xia, DENG Xin-ping, LI Tian, <i>et al.</i> (1176)
Optimized Cultivation of a Bioflocculant M-C11 Produced by <i>Klebsiella pneumoniae</i> and Its Application in Sludge Dewatering	LIU Jie-wei, MA Jun-wei, LIU Yan-zhong, <i>et al.</i> (1183)
Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China	LIANG Jing, MAO Jian-su (1191)
Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model	LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (1198)
Advances in the Pathway and Molecular Mechanism for the Biodegradation of Microcystins	YAN Hai, WANG Hua-sheng, LIU Xiao-lu, <i>et al.</i> (1205)

《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)

2014年3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 15, 2014

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