

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第5期

Vol.33 No.5

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

区域空气质量模拟中查表法的应用研究	谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮(1409)
长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用	苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健(1418)
北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究	徐小娟,李杏茹,王跃思,刘晨书,潘月鹏,王英锋(1425)
上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究	张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红(1431)
青岛市大气 PM _{2.5} 元素组成及来源研究	李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军(1438)
冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究	王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅(1446)
再悬浮装置在大气 PM _{2.5} 源谱分析中的应用	段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲(1452)
黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究	魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵(1457)
三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探	蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静(1463)
香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析	王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰(1471)
臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响	陈书涛,张勇,胡正华,史艳妹,沈小帅(1476)
托木尔峰青冰滩 72 号冰川径流水化学特征初步研究	赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰(1484)
五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究	张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林(1491)
7 条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律	卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷(1497)
巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性	李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠(1503)
北运河系地表水近 10 年来水质变化及影响因素分析	郭婧,荆红卫,李金香,李令军(1511)
东莞运河排涝对东江河网水质影响分析	孙磊,毛献忠,黄旻旻(1519)
北京平原区地下水污染源识别与危害性分级	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(1526)
地下水曝气修复过程的三维数值模拟	李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌(1532)
垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究	邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永(1540)
新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究	高明瑜,谢慧君,王文兴(1550)
营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响	齐飞,刘晓媛,徐冰冰,黄岳,封莉,张立秋(1556)
水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究	傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成(1564)
酞酸酯在模拟海河菹草微宇宙中的消减和分布特征	迟杰,杨青(1570)
电子束辐射对铜绿微囊藻毒素产生和释放的抑制作用研究	刘书宇,吴明红,姜钦鹏(1575)
青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析	李强坤,胡亚伟,罗良国(1579)
四溴双酚 A 的辐射降解研究	李杰,徐殿斗,徐刚,马玲玲,吴明红(1587)
污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究	王红娟,齐飞,封莉,张立秋(1591)
高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响	李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰(1597)
城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成 NDMA 的影响因素研究	尚晓玲,李咏梅(1604)
利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究	沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙(1609)
好氧污泥颗粒化过程中 Zeta 电位与 EPS 的变化特性	王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓姣,竺建荣(1614)
活性污泥对病毒的生物吸附特性	周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪(1621)
阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律	邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松(1625)
两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征	李婷,孟昭福,张斌(1632)
表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响	张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州(1639)
南京市 4 个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析	葛峰,郭坤,周广灿,张会娟,刘济宁,戴亦军(1646)
焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能	陈春,李文英,吴静文,李静(1652)
<i>Xanthobacter flavus</i> DT8 降解二噁烷的特性研究	金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟(1657)
未开发油气田地地表炔氧化菌空间定量分布	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(1663)
矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究	赵天涛,项锦欣,张丽杰,全学军,赵由才(1670)
长江中游干流及 22 条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险	李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,郝红(1676)
典型血吸虫病区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险	吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红(1682)
闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究	陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛(1687)
三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价	王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩(1693)
典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险	邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许政英(1700)
密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价	高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,李宏兵(1707)
湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性	杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰(1718)
基于 GIS 的某训练场土壤重金属污染评价	刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军(1725)
土壤质地和湿度对 SVE 技术修复苯污染土壤的影响	刘少卿,姜林,姚玉君,李艳霞,刘希涛,林春野(1731)
蒙脱土、高岭土和针铁矿对 DNA 吸附与解吸特征	王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰(1736)
LNAPL 在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究	潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙(1744)
亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征	董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷(1753)
蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究	任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥(1760)
固定化微生物技术修复 PAHs 污染土壤的研究进展	钱林波,元妙新,陈宝梁(1767)
《环境科学》征订启事(1483)	《环境科学》征稿简则(1620)
信息(1490,1496,1586,1743)	

香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析

王亮¹, 肖尚斌^{1*}, 刘德富^{1*}, 陈文重¹, 王雨春², 陈小燕¹, 段玉杰¹

(1. 三峡大学水利与环境学院, 宜昌 443002; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 采用 LGR-密闭式动态通量箱法对三峡水库香溪河库湾夏季水-气界面温室气体 (CO_2 和 CH_4) 通量进行了 24 h 连续观测. 结果表明, 观测点处水-气界面 CO_2 和 CH_4 的释放通量具有明显的日变化特征, 且二者的日变化过程呈较强的负相关性. 监测期间, CO_2 的吸收和释放过程明显, CH_4 全天均为释放状态, 其全天平均通量分别为 $0.336 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $0.088 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$. 分析发现, 水-气界面碳通量与温度、pH、叶绿素 a、气压、辐照强度的相关性明显, 而 Eh 对碳通量的影响并不显著, 其中, CO_2 与各环境因子的相关性较 CH_4 更为密切.

关键词: 水-气界面; 温室气体通量; 影响因素; 三峡水库; 香溪河库湾

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1471-05

Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors

WANG Liang¹, XIAO Shang-bin¹, LIU De-fu¹, CHEN Wen-zhong¹, WANG Yu-chun², CHEN Xiao-yan¹, DUAN Yu-jie¹

(1. College of Hydraulic and Environment Engineering, Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. Department of Water Environment, Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: With the LGR-Airtight Floating Dynamic Flux Chamber method, a 24-hour continuous monitoring was carried out to understand the greenhouse gases fluxes across the water-air interface of the Xiangxi River Bay, the Three-Gorges Reservoir in summertime. It indicated that the fluxes of CO_2 and CH_4 across the water-air interface appeared an obvious diurnal variation, and they showed a good negative correlation. The absorption and emission process of CO_2 showed strong diurnal alteration during the experimental period, whereas CH_4 was emitted all day. The average fluxes of CO_2 and CH_4 were $0.336 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ and $0.088 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, respectively. The fluxes of carbon had good correlation with temperature, pH, chlorophyll a, air-pressure, light intensity, but no obvious correlation with Eh. Furthermore, the correlation of CO_2 with environment factors was better than that of CH_4 .

Key words: water-air interface; greenhouse gases flux; influencing factors; Three-Gorges Reservoir; Xiangxi River Bay

长期以来,水电一直被认为是清洁、无碳排放能源的典范而得到大规模推广^[1],到目前为止,全球所有水库的表面积约为 $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ^[2],与全球天然湖泊表面积大致相当^[3].自有报道称^[4-6]水库是温室气体可能的净排放源之后,水库温室气体排放受到越来越多的关注.近年来也有研究证实,所有的水库均向大气中释放 CO_2 和 CH_4 ^[2].因此,水库温室气体排放的全球影响成为了一个不可回避的科学问题.目前,国外关于水库在温室气体排放中的作用和对大气中温室气体浓度升高的贡献率研究较多^[7-10],但大都集中在热带雨林、南美等地.2000年以后,我国逐步开展了温室气体监测方法和碳通量的研究,但总体上研究相对滞后,特别是针对水库中温室气体产生与释放的研究极少.因此,在我国开展水库水-气界面温室气体通量研究,对于了解水库温室气体通量变化规律及影响因素,综合评价水库温室气体排放的全球影响具有巨大的理论价值和现实

意义.本研究运用 LGR-密闭式动态通量箱法对三峡水库香溪河库湾水-气界面温室气体通量进行了 24 h 连续监测,初步探讨了水-气温室气体通量的日变化过程及影响因素,以期为正确地认识三峡水库的温室气体排放通量提供初步依据,并为进一步的研究提供参考.

1 研究区概况

香溪河位于鄂西,距三峡大坝 20 多 km,是三峡水库湖北库区的最大支流,也是三峡坝首的第一大支流,流域面积为 3099 km^2 .受三峡水库蓄水的影

收稿日期: 2011-07-16; 修订日期: 2011-10-11

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB955904); 国家自然科学基金项目(51179205); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07104-001, 2008ZX07104-004); 湖北省环境保护专项(2008hb08)

作者简介: 王亮(1986~),男,硕士研究生,主要研究方向为生态水工学, E-mail: wlsj2008@163.com

* 通讯联系人, E-mail: shangbinx@163.com; dliu@189.cn

响,香溪河河口至上游白沙河之间的河段被回水淹没,形成典型的峡谷型水库水域.观测点位于兴山县峡口镇,处于香溪河中游,距离香溪河河口约 18 km (图 1),水深约为 20 m,受香溪河上游来水及长江干流倒灌水体的影响较小,能够较好的代表香溪河形成库湾后的环境状态.监测期间,水库水位为 150 m 左右.

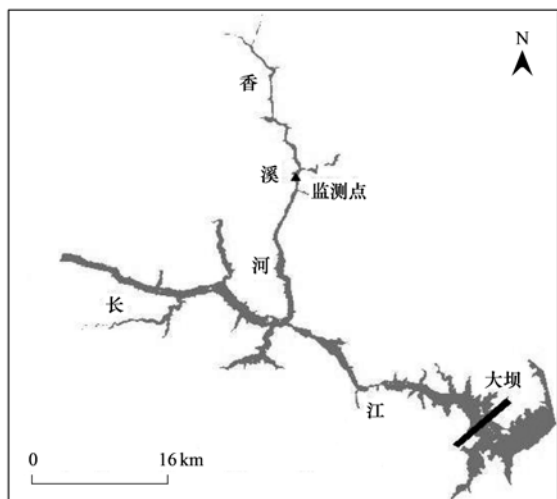


图 1 监测点分布示意

Fig. 1 Distribution of the sampling site

2 材料与方法

2.1 通量监测

观测时间为 2010 年 8 月 23 日 12:30 ~ 8 月 24 日 12:00,每半小时观测一次温室气体通量(下午 16:30 ~ 19:00 供电不稳定,观测频次略有变化),天气为阴天,风浪较小. CO_2 和 CH_4 通量采用 LGR-密闭式动态通量箱法测定.分析仪器为 LGR-100 型快速温室气体 ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) 分析仪(主要技术指标重复性: CH_4 $1 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, CO_2 $0.2 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, H_2O $100 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$; 精度:小于读数的 1%; 测量范围: CH_4 $0.1 \sim 20 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, CO_2 $200 \sim 4000 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, H_2O $7000 \sim 70000 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$). 气样采集设备为通量箱,箱体(直径 30 cm,高 50 cm)采用不锈钢材质,箱顶设有微型风扇以便于使箱内的空气混合均匀,为了不使箱内温度在采样过程中升高过快,箱外设有保温层,在保温层外贴有反光膜,箱体顶部设有两根硅导管与仪器相连(图 2).采样前,将箱口朝上大约 5 min,以便箱内充满空气,采样时将采样箱置于水面,使箱口浸入水中,保证箱内空气与外界隔绝.在通量监测同时,采用气压计(DYM3-01)测定监测点的气温、气压,采用照度计(TES-1330A)测定瞬时辐

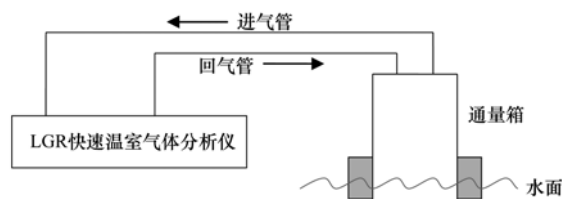


图 2 LGR-密闭式动态通量箱连接示意

Fig. 2 Schematic plot of LGR- airtight dynamic floating chamber method

照强度,采用数字温度计(TP3001)测定表层水体的水温,采用 Orion 便携式多参数仪测定 pH、Eh 等,并采集表层水样带回实验室鉴定藻种,根据《水和废水监测分析方法》(第四版)测定叶绿素 a 浓度.

2.2 CO_2 和 CH_4 通量计算方法

温室气体的释放通量是指单位时间内单位面积上温室气体浓度的变化量,正值表示气体从水体向大气排放,负值表示水体吸收大气中该气体.温室气体分析仪现场实时观测箱内温室气体浓度随时间的变化,本研究用以下公式^[11]计算扩散通量:

$$\text{Flux} = \frac{\text{slope} \times F_1 \times F_2 \times \text{volume}}{\text{surface} \times F_3}$$

式中, Flux 为水-气界面的气体通量 [$\text{mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$], slope 为箱内温室气体浓度随时间的变化率, F_1 为 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 到 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的转化系数 (CO_2 为 $1798.45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, CH_4 为 $655.47 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), F_2 为秒到小时的转化系数(3 600), volume 为静态箱漂浮在水面时箱内气体的体积 (m^3), surface 为通量箱箱底的面积 (m^2), F_3 为 μg 到 mg 的转化系数(1 000).

3 结果与分析

观测点处水-气界面的 CO_2 和 CH_4 释放通量具有明显的交替变化规律(图 3). 昼间 CO_2 和 CH_4 释放通量的变化范围较大,分别为 $-29.475 \sim 22.764 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$ 和 $0.041 \sim 0.219 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$. 24 h 内 CO_2 的吸收和释放过程明显,从下午 13:30 ~ 19:30、夜间 22:00 ~ 02:30 为吸收过程,其余时间为释放过程. CH_4 的通量全天均为正值,表明水体向大气释放 CH_4 . 总体上, CO_2 和 CH_4 的释放强度较小,其全天平均释放通量分别为 $0.336 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$ 和 $0.088 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$. CO_2 通量昼、夜差异较大,昼间平均释放通量为 $0.687 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$,夜间为 $-0.133 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$,而 CH_4 昼、夜差异不明显.

CO_2 和 CH_4 通量日变化过程呈较强的负相关, 相关系数为 -0.773 , 且 CO_2 和 CH_4 释放强度极值的出现时间较为接近, CO_2 释放通量在上午 09:00 左右达到全天最大, 下午 15:30 左右最小; CH_4 释放通量在下午 15:00 左右达到最大, 上午 11:00 左右最小。

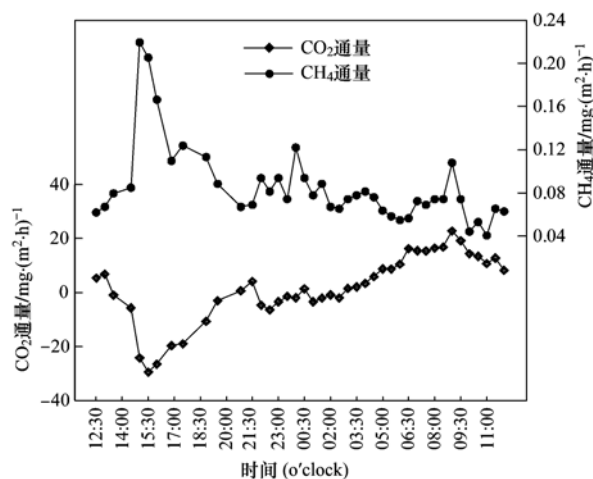


图3 CO_2 和 CH_4 的通量日变化

Fig. 3 Diurnal variation of CO_2 and CH_4 flux

4 讨论

水库温室气体排放通量由气体产生和传输过程共同决定, 对于 CH_4 气体来说, 氧化过程也是一个重要的决定因素^[12]. 而这些过程受诸多因素的影响, 比如水库年龄、气候、下垫面条件、pH、Eh、风速、浮游生物等。

4.1 水温和气温与 CO_2 和 CH_4 通量的关系

气温不仅直接影响 CO_2 和 CH_4 的排放, 而且还可通过对水温的调节, 间接对 CO_2 和 CH_4 的排放产生影响^[13]. 受太阳辐射等因素的影响, 气温变化较大, 昼夜温差达到 9.5°C , 由于水体比热较大, 水温 24 h 内的变化较小, 但水温受气温影响比较明显 (图 4). 气温与 CO_2 和 CH_4 通量的相关系数分别为 -0.319 和 0.315 (表 1), 没有明显的相关性, 表明气温变化对碳通量的影响较小. 但水温与 CO_2 和 CH_4 通量的相关性比较强, 相关系数分别为 -0.744 和 0.629 . 可见, 水温是影响碳通量的一个重要因素. 这可能是因为水温升高, 增强水生生物的活性, 同时, 水温升高是辐照强度增强的结果, 因此, 水温升高有利于水生生物的光合作用, 加强对 CO_2 的吸收. 此外, 温度对 CH_4 的浓度有重要影响^[14]. 水温升高使得 O_2 和 CH_4 在水体中的溶解度减小^[15], 微生物活性增强, 进而导致 CH_4 气体的释放增加^[16].

4.2 pH 与 CO_2 和 CH_4 通量的关系

pH 值与水体有机质的分解、微生物的活动和水生生物的代谢等密切相关^[12, 17, 18], 是影响 CO_2 和 CH_4 产生和排放过程的重要因素之一^[19]. 另外, 水库中 pH 值的变化影响到水体中各类物质的迁移和转化过程^[16]. 观测时间段内, 水体呈弱碱性, pH 值平均为 8.5, 并随时间变化 (图 4). 水-气界面 CO_2 通量与 pH 呈强的负相关, 相关系数为 -0.873 (表 1), 这主要是因为当 pH 值较高时, 水体中游离 CO_2 就会转变为碳酸盐, 水体中 CO_2 分压降低, 导致水中溶解的 CO_2 处于不饱和状态, 促使大气中 CO_2 进入到水体中^[12]. CH_4 释放通量与 pH 值的相关性相对较弱, 相关系数为 0.581 (表 1).

4.3 叶绿素 a 与 CO_2 和 CH_4 通量的关系

叶绿素 a 含量是浮游植物数量的重要指标, 它直接反应水库的初级生产能力^[20]. 观测时间段内, 叶绿素 a 变化明显, 总体上呈上升趋势 (图 4), 与 CO_2 通量呈正相关关系, 相关系数为 0.623 (表 1). CH_4 通量与叶绿素 a 相关性较弱, 相关系数为 -0.485 (表 1). 经藻种分析鉴定, 本次观测中优势藻种为蓝藻. 由于浮游蓝藻往往有伪空泡, 具有漂浮功能^[21], 有利于藻类在表层聚集和生长, 增加光合作用和呼吸作用强

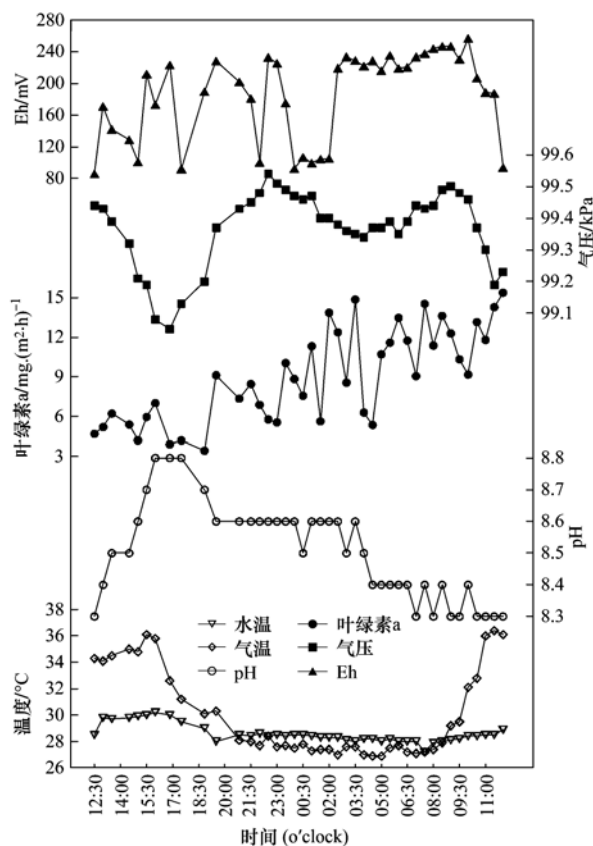


图4 各环境因子日变化

Fig. 4 Diurnal variation of influencing factors

表 1 香溪河库湾水-气界面 CO₂ 和 CH₄ 通量与各环境因子间的相关系数¹⁾
Table 1 Correlation coefficient of influencing factors with the flux of CO₂ and CH₄ across the
water-air interface of the Xiangxi River Bay

项目	气温	水温	pH	叶绿素	气压	光照	Eh
CO ₂	-0.319 *	-0.744 **	-0.873 **	0.623 **	0.587 **	-0.555 **	0.396 **
CH ₄	0.315 *	0.629 **	0.581 **	-0.485 **	-0.480 **	0.556 **	-0.252

1) * 表示 0.05 置信水平显著相关(2-tailed); ** 表示 0.01 置信水平显著相关(2-tailed)

度. 当太阳辐射较强时, 光合作用随着藻类的不断聚集而加强, 使 CO₂ 通量不断减小; 同时, 光合作用释放出 O₂, 可能促进 CH₄ 的氧化, 导致 CH₄ 通量也不断减小. 但由于监测期间天气为阴天, 太阳辐射较弱, 光合作用强度较小, 呼吸作用强度大于光合作用强度, 因此, CO₂ 通量随着叶绿素 a 的上升而上升, 但呼吸作用对 CH₄ 产生及迁移的影响较小, 从而 CH₄ 通量与叶绿素 a 相关性不明显.

4.4 气压与 CO₂ 和 CH₄ 通量的关系

气压是影响气体在水体中溶解度的重要参数^[22]. 在本次观测中, 气压比较稳定, 平均值为 99.37 kPa, 变化范围在 99.05 ~ 99.54 kPa 之间(图 4), 对碳通量的影响较为明显, 与 CO₂ 通量的相关系数为 0.587, 与 CH₄ 通量的相关系数为 -0.480(表 1). 这可能是因为空气中 CO₂ 含量很少, 气压的变化对 CO₂ 的溶解度影响较小, 但气压升高时, 会增加 O₂ 在水体中的溶解度. 因为在有氧条件下, 好氧细菌的活动占优势, 分解水中的有机碳主要产生 CO₂^[23], 而且 CH₄ 在好氧条件下可以被甲烷氧化菌氧化成 CO₂^[12,24]. 因此, 当气压升高时, 水体中溶解氧增加, 从而导致 CO₂ 通量增大, CH₄ 通量减小.

4.5 其他因素与 CO₂ 和 CH₄ 通量的关系

辐照强度和 Eh 与碳通量的关系见表 1. 辐照强度可以通过调节光合作用强度、气温、水温等来影响碳通量; Eh 值是氧化剂和还原剂的电位差, 是衡量环境氧化还原能力强弱的指标, 是有机质分解的制约因素, 直接关系到 CH₄ 的产生及在迁移过程中的转化, 对 CH₄ 和 CO₂ 排放的影响显著^[25~27]. 因此, 辐照强度、Eh 是碳通量的重要影响因素. 对三者进行相关性分析发现, 辐照强度与 CO₂ 和 CH₄ 通量关系明显, 相关系数分别为 -0.555 和 0.556, 但 Eh 值与 CO₂ 和 CH₄ 通量相关关系较弱, 这主要是因为监测期间, 风速和风向随机性较大, 对水体的扰动程度也具有随机性, 使表层水体氧的含量不断发生变化, 从而使 Eh 值具有随机性.

5 结论

对三峡水库香溪河库湾水-气界面 CO₂ 和 CH₄

通量的连续监测结果表明, 观测点处水-气界面 CO₂ 和 CH₄ 的释放通量具有明显的日变化特征, 二者的日变化过程呈明显的负相关性, 其释放强度极值的出现时间较为接近. 24 h 内 CO₂ 的吸收和释放过程明显, 下午 13:30 ~ 19:30、夜间 22:00 ~ 02:30 为吸收过程, 其余时间为释放过程, CH₄ 全天均为释放状态. CO₂ 和 CH₄ 通量均较小, 其全天平均释放通量分别为 0.336 mg·(m²·h)⁻¹ 和 0.088 mg·(m²·h)⁻¹. 通过影响因素分析发现, 夏季水-气界面碳通量与温度、pH、叶绿素 a、气压、辐照强度的相关性明显, 而 Eh 对碳通量的影响并不显著, 其中, 各环境因子与 CO₂ 的相关性较 CH₄ 更为密切. 但水-气界面碳通量是多种因素共同作用的结果, 目前还难于确定是哪个因素占主要地位, 需要进一步开展三峡水库的碳通量研究.

参考文献:

[1] Victor D G. Strategies for cutting carbon[J]. Nature, 1998, **395** (6705): 837-838.
[2] Louis V L S, Kelly C A, Duchemin é, et al. Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate[J]. BioScience, 2000, **50**(9): 766-775.
[3] Gleick P H. Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources[M]. Oxford: Oxford University Press, 1993.
[4] Kelly C A, Rudd J W M, Louis V L S, et al. Turning attention to reservoir surfaces, a neglected area in greenhouse studies[J]. EOS Transactions, 1994, **75**(29): 332-332.
[5] MacIntyre S, Wanninkhof R, Chanton J. Trace gas exchange across the air-water interface in freshwater and coastal marine environments[M]. Biogenic Trace Gases: Measuring Emissions from Soil and Water, 1995. 52-97.
[6] Duchemin E, Lucotte M, Canuel R, et al. Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of the boreal region[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1995, **9**(4): 529-540.
[7] Tuomola L, Niklasson T, Silva E C, et al. Fish mercury development in relation to abiotic characteristics and carbon sources in a six-year-old, Brazilian reservoir[J]. Science of the Total Environment, 2008, **390**(1): 177-187.
[8] Thorp J H, Delong M D. The riverine productivity model: an heuristic view of carbon sources and organic processing in large river ecosystems[J]. Oikos, 1994, **70**(2): 305-308.

- [9] Tilman D, Hill J, Lehman C. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass[J]. *Science*, 2006, **314** (5805): 1598-1600.
- [10] Wyckoff A W, Roop J M. The embodiment of carbon in imports of manufactured products: implications for international agreements on greenhouse gas emissions [J]. *Energy Policy*, 1994, **22** (3): 187-194.
- [11] Lambert M, Fréchet J L. Analytical techniques for measuring fluxes of CO₂ and CH₄ from hydroelectric reservoirs and natural water bodies [J]. *Environmental Science and Engineering, Greenhouse Gas Emissions-Fluxes and Processes*, 2005, 37-60, doi: 10.1007/978-3-540-26643-3_3.
- [12] 赵小杰, 赵同谦, 郑华, 等. 水库温室气体排放及其影响因素[J]. *环境科学*, 2008, **29**(8): 2377-2384.
- [13] 王东启, 陈振楼, 王军, 等. 夏季长江口潮间带 CH₄、CO₂ 和 N₂O 通量特征[J]. *地球化学*, 2007, **36**(1): 78-88.
- [14] Stadmark J, Leonardson L. Emissions of greenhouse gases from ponds constructed for nitrogen removal [J]. *Ecological Engineering*, 2005, **25**(5): 542-551.
- [15] 丁建平, 程静, 杨建明. 溶解性气体对开式循环凝汽器运行特性的影响[J]. *热力透平*, 2004, **33**(1): 41-45.
- [16] 杨妍, 刘丛强, 吴攀, 等. 猫跳河流域梯级开发水库夏季甲烷排放研究[J]. *贵州水力发电*, 2009, **23**(3): 12-16.
- [17] Krumbein W E. Photolithotropic and chemoorganotrophic activity of bacteria and algae as related to beachrock formation and degradation (Gulf of Aqaba, Sinai) [J]. *Geomicrobiology Journal*, 1979, **1**(2): 139-203.
- [18] Dumestre J F, Vaquer A, Gosse P, *et al.* Bacterial ecology of a young equatorial hydroelectric reservoir (Petit Saut, French Guiana) [J]. *Hydrobiologia*, 1999, **400**: 75-83.
- [19] 陈永根, 李香华, 胡志新, 等. 中国八大湖泊冬季水-气界面 CO₂ 通量[J]. *生态环境*, 2006, **15**(4): 665-669.
- [20] Paasche E. On the relationship between primary production and standing stock of phytoplankton [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1960, **26**(1): 33-48.
- [21] 张永生, 孔繁翔, 于洋, 等. 蓝藻伪空胞的特性及浮力调节机制[J]. *生态学报*, 2010, **30**(18): 5077-5090.
- [22] Dunnivant F M, Elzerman A W. Aqueous solubility and Henry's law constant data for PCB congeners for evaluation of quantitative structure-property relationships (QSPRs) [J]. *Chemosphere*, 1988, **17**(3): 525-541.
- [23] Rosa L P, dos Santos M A. Certainty & uncertainty in the science of greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs [M]. *WCD Thematic Review Environmental Issues II*, 2.
- [24] Rigler E, Zechmeister-Boltenstern S. Oxidation of ethylene and methane in forest soils-effect of CO₂ and mineral nitrogen [J]. *Geoderma*, 1999, **90**(1-2): 147-159.
- [25] Singh S N, Kulshreshtha K, Agnihotri S. Seasonal dynamics of methane emission from wetlands [J]. *Chemosphere-Global Change Science*, 2000, **2**(1): 39-46.
- [26] 刘泽雄, 朱瑞琴, 姚顺, 等. 闽江河口咸草湿地冬季甲烷和二氧化碳通量及影响因子分析[J]. *湿地科学与管理*, 2010, **6**(3): 46-49.
- [27] 宋长春, 阎百兴, 王跃思, 等. 三江平原沼泽湿地 CO₂ 和 CH₄ 通量及影响因子[J]. *科学通报*, 2003, **48**(23): 2473-2477.

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment	XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, <i>et al.</i> (1409)
Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model	SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities	XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity	ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, <i>et al.</i> (1431)
Element Compositions and Source of PM _{2.5} Aerosols in Qingdao	LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, <i>et al.</i> (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter	WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, <i>et al.</i> (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in PM _{2.5} Source Profile Analysis	DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou	WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, <i>et al.</i> (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors	WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, <i>et al.</i> (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland	CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qingbiantan, Tomur Peak	ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, <i>et al.</i> (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorus in Wudalianchi Lake, China	ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake	LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiuli Stream in Lake Chaohu	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, <i>et al.</i> (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years	GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, <i>et al.</i> (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage	SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process	LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, <i>et al.</i> (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers	ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, <i>et al.</i> (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid	GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of <i>Nostoc flagelliforme</i>	QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with <i>Hydrodictyon reticulatum</i> on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i>	FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, <i>et al.</i> (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in <i>Potamogeton crispus</i> L. Microcosm of Haihe River	CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of <i>Microcystis aeruginosa</i> by Irradiation of Electron Beam	LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis	LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, <i>et al.</i> (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob	WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, <i>et al.</i> (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland	LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, <i>et al.</i> (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage	SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source	SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, <i>et al.</i> (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge	WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, <i>et al.</i> (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge	ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, <i>et al.</i> (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes	DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics	LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon	ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, <i>et al.</i> (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis	GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, <i>et al.</i> (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment	CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, <i>et al.</i> (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by <i>Xanthobacter flavus</i> DT8	JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse	ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, <i>et al.</i> (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City	CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period	WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone	DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, <i>et al.</i> (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream	GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, <i>et al.</i> (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS	LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, <i>et al.</i> (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene	LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, <i>et al.</i> (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite	WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method	PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis	DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, <i>et al.</i> (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor	REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique	QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《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5月15日 33卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 5 May 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

国内外公开发行人