

文章编号: 1000-5862(2014)04-0429-05

# 鄱阳湖典型沉水植物分布区 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 释放日变化特征

聂兰琴, 付 珊, 吴 琴, 胡启武\*

(江西师范大学地理与环境学院 江西 南昌 330022)

**摘要:** 为进一步准确评估鄱阳湖湿地碳平衡, 探讨不同湿地类型碳排放特征与控制因子, 在鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区选择典型沉水植物分布区进行了  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  释放的昼夜变化观测. 结果表明: 1)  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  释放均具有明显的单峰型日变化模式, 释放速率变化范围分别为  $172.43 \sim 365.40 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $16.92 \sim 31.57 \text{ mg CH}_4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 2) 温度是影响  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  释放的主要因子,  $\text{CO}_2$  释放速率与土壤温度之间相关性最显著, 而  $\text{CH}_4$  释放速率与水温相关性最显著;  $\text{CO}_2$  释放基于气温和土壤温度的敏感性指数  $Q_{10}$  分别为 2.6、3.0; 3) 观测日沉水植物分布区碳排放以  $\text{CO}_2$  为主, 约占总碳排放的 77.2%,  $\text{CH}_4$  约占 22.8%, 考虑到两者的增温潜能, 沉水植物区  $\text{CH}_4$  释放引起的温室效应高于  $\text{CO}_2$ .

**关键词:** 鄱阳湖; 沉水植物区;  $\text{CO}_2$ ;  $\text{CH}_4$

**中图分类号:** Q 149

**文献标志码:** A

## 0 引言

湿地处于水陆过渡区域, 其面积仅占陆地表面的 5% ~ 8%, 但其碳库储量约占全球土壤碳库的 18% ~ 30%<sup>[1]</sup>. 由于长期处于淹水或水分过饱和状态, 湿地土壤对气候变暖的反馈可能会更高<sup>[2]</sup>, 因而在全球气候变化研究中占有重要地位. 湿地在吸收大气二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 的同时, 又是大气甲烷 ( $\text{CH}_4$ ) 的最大天然释放源<sup>[3]</sup>. 尽管湿地  $\text{CH}_4$  释放的绝对量低于  $\text{CO}_2$ , 但  $\text{CH}_4$  的增温潜势是  $\text{CO}_2$  的 25 倍<sup>[3]</sup>. 因此在综合考虑湿地碳平衡或湿地温室气体排放对气候变暖的影响时, 必须同时考虑  $\text{CO}_2$  与  $\text{CH}_4$  2 种含碳温室气体. 受不同气候区、不同类型湿地  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  野外通量观测信息缺乏的制约, 全球及区域尺度湿地碳平衡评估存在极大的不确定性. 迄今为止, 有关湿地  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  等温室气体排放研究多集中于高纬度、高海拔等低温区域<sup>[4]</sup>, 中低纬度等暖热地区的湿地碳循环研究亟待加强.

我国湿地类型多、分布广, 总面积达 6 594 万  $\text{hm}^2$ , 居世界第 4 位<sup>[5]</sup>. 自 20 世纪 90 年代以来, 一些学者相继开展了中国天然湿地的碳循环研究<sup>[6-8]</sup>. 这些研究在地域和湿地类型上多集中于东

北三江沼泽湿地和青藏高原泥炭湿地, 对长江中下游地区大量的湖泊湿地缺乏关注. 鄱阳湖由于其独特的自然地理条件以及与长江复杂的水情关系发育了大量的湖泊湿地, 其面积超过了洞庭湖或太湖的全湖面积<sup>[9]</sup>. 研究表明鄱阳湖流域自 20 世纪 90 年代以来气温明显上升, 以 1961—1990 年的平均气温为基准, 1991—2003 年的平均气温上升约 0.42  $^{\circ}\text{C}$ , 未来 50 年增温将达到 1.62  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[10-11]</sup>. 近年来, 在气候变暖与人类活动的双重影响下, 鄱阳湖湿地有明显干旱化的趋势<sup>[12]</sup>, 在此情景下开展鄱阳湖湿地  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  释放研究, 其结果对于理解亚热带暖热地区湿地类型对气候变化的响应与反馈将具有重要意义. 沉水植物带是鄱阳湖湿地植被的重要组成部分, 约占全湖植被总面积的 49.7%<sup>[13]</sup>, 在整个鄱阳湖湿地碳平衡中扮演重要角色. 本研究通过观测典型沉水植物分布区  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  通量日变化规律与影响因子, 为准确量化整个鄱阳湖湿地“碳汇”功能提供基础数据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区设置在鄱阳湖典型湿地分布区——赣江

收稿日期: 2014-02-25

基金项目: 国家自然科学基金 (31270522, 40803022), 江西省教育厅青年基金 (GJJ13212) 和江西省研究生创新基金 (YC2013-S076) 资助项目.

通信作者: 胡启武 (1979-) 男, 安徽池州人, 副教授, 博士, 主要从事湿地生物地球化学循环的研究.

三角洲前沿地带的南矶湿地国家级自然保护区,经纬度坐标为  $28^{\circ}52'05'' \sim 29^{\circ}06'50''$  N,  $116^{\circ}10'33'' \sim 116^{\circ}25'05''$  E. 南矶湿地保护区总面积约  $330 \text{ km}^2$ , 除南山岛和矾山岛(乡行政机构所在地,面积仅  $4 \text{ km}^2$ ) 外,其余为洲滩和水域. 洲滩淹没时间受鄱阳湖水文情势影响存在较大的年际差异,一般在 2~5 个月不等,非淹水时间长达 7~10 个月. 多年平均气温为  $17.6^{\circ}\text{C}$ , 平均降水量为  $1450 \sim 1550 \text{ mm}$  [14].

沉水植物区通量观测样地设置在保护区三泥湾附近的湖滩洼地,水深  $40 \sim 80 \text{ cm}$ , 沉水植物以穗花狐尾藻(*Megriphyllum spicatum*)、轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*) 为优势种,伴生种有金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、菹草(*Potamogeton crispus*)、苦草(*Vallisneria spiralis* Ass) 等 [14].

### 1.2 气体样品的采集与通量计算

通量观测采用密闭静态箱-气相色谱法,采样箱长、宽、高规格为  $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ . 采样箱外粘贴一层  $3 \text{ cm}$  的泡沫隔热板,外覆白色防雨布,以防止太阳辐射下箱内温度的升高而影响观测结果. 箱顶壁安装 2 个搅拌风扇,箱侧面分别安装电源插头、取气接口和便携式温度计探头,并配有 F46 采气管线及采气三通阀. 样品采集用  $100 \text{ mL}$  注射器,在  $30 \text{ min}$  内每  $10 \text{ min}$  采集 1 次气体样品(每次共采集 4 个气体样品). 样品采集后注入气袋运回实验室利用 Agilent 4890D 气相色谱仪进行  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  气体浓度分析,并计算  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  释放速率. 通量观测的同时记录气温、箱内温度、水温、土壤  $5 \text{ cm}$  温度等环境因子,其中温度测定采用 JM624 便携式温度计. 具体观测时间为 2009 年 7 月 21~22 日的 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00, 22:00, 1:00, 4:00, 7:00. 观测前 1d 在试验点架设固定支架(支架支点离水面  $5 \text{ cm}$ ),以使水、土扰动最小化. 通量观测时,将采样箱扣于支架上.  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  释放速率采用下式计算:

$$F = \rho \frac{V}{A} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} \frac{dC_t}{dt},$$

其中  $\rho$  为标准状态下的被测气体密度;  $A$  为箱子覆盖的面积;  $V$  为箱内空气体积;  $T_0$  和  $P_0$  分别为标准状况下的空气绝对温度和气压;  $C$  为  $t$  时刻箱内被测气体的体积混合比浓度;  $t$  为时间;  $P$  为采样地点的气压;  $T$  为采样时的绝对温度.

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2003、SPSS 11.5 软件进行数据处

理、制图及统计分析. 采用 Pearson 相关系数分析了温度与  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  释放速率之间的相关性,并用 1 元线性回归及指数方程进行了拟合,显著性水平设定为 0.05.

## 2 结果与分析

### 2.1 气温、土壤温度、水温变化

观测日气温、土壤温度、水温平均值分别为  $32.5^{\circ}\text{C}$ 、 $33.0^{\circ}\text{C}$ 、 $31.0^{\circ}\text{C}$ , 土壤温度与气温之间在统计学意义上呈显著正相关( $r = 0.97$ ,  $n = 10$ ,  $P < 0.01$ ), 水温与气温之间相关性则不显著. 气温、土壤温度、水温均具有明显的日变化模式,气温在 13:00 左右达到最大值,土壤温度与水温最高值则分别滞后 2~4 h(见图 1).

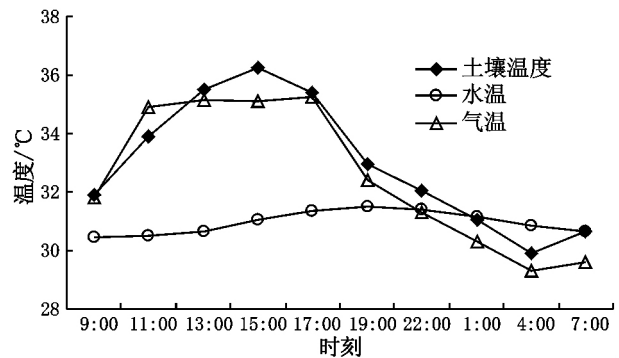


图 1 通量观测日沉水植物分布区气温、土壤温度、水温变化特征

### 2.2 $\text{CO}_2$ 释放日变化

沉水植物区  $\text{CO}_2$  释放表现出明显的单峰型日变化模式,夜间释放速率明显低于白天,变化范围为  $172.43 \sim 365.40 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,平均值为  $237.29 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ . 最高值出现在 13:00,最低值出现在凌晨 4:00,最高值约为最低值的 3 倍(见图 2(a)).  $\text{CO}_2$  释放速率与气温、土壤温度在统计学意义上均呈显著正相关关系,与水温之间相关性不显著. 土壤温度与  $\text{CO}_2$  释放速率之间的相关性较显著,成为  $\text{CO}_2$  释放的最主要的影响因子,指数方程能很好地拟合两者之间的关系(见图 2(b)). 鄱阳湖沉水植物区的  $\text{CO}_2$  平均释放速率明显低于同一研究区苔草草洲土壤及生态系统  $\text{CO}_2$  释放速率 [15],也低于青藏高原、三江平原等一些地区的沼泽化草甸 [16-17],这主要是由于鄱阳湖沉水植物区的生物量相对于苔草草洲明显偏低,以及淹水深度大于相关研究区的沼泽化草甸所导致的.

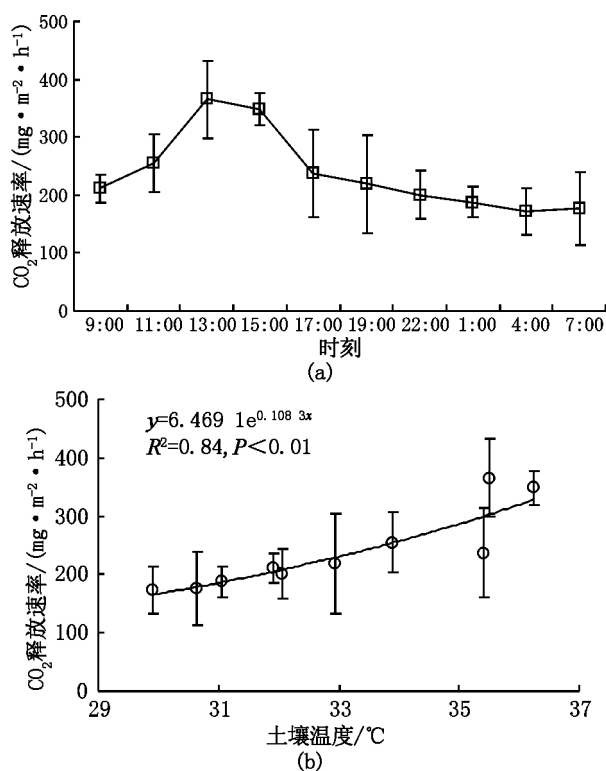


图2 沉水植物区  $\text{CO}_2$  释放日变化及与土壤温度的关系

### 2.3 $\text{CH}_4$ 释放日变化

沉水植物区  $\text{CH}_4$  通量以释放为主,与  $\text{CO}_2$  变化特征相似,  $\text{CH}_4$  也表现出明显的单峰型日变化模式,变化范围为  $16.92 \sim 31.57 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,平均值为  $25.43 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ .  $\text{CH}_4$  释放最高值出现在 15:00,最低值出现在早晨 7:00 (见图 3(a)).  $\text{CH}_4$  释放速率与气温、土壤温度的相关性均不显著,但与水温之间在统计学意义上呈显著正相关 ( $r = 0.71$ ,  $n = 10$ ,  $P < 0.05$ ),1 元线性函数能较好地拟合 2 者之间的关系 (见图 3(b)). 湿地厌氧环境下  $\text{CH}_4$  产生后可以通过植物通气组织、气泡和液相扩散等 3 种途径释放到大气中. 由于沉水植物区植物完全沉于水底,因而水-气界面的  $\text{CH}_4$  释放主要通过气泡和液相扩散的途径. 鄱阳湖沉水植物区  $\text{CH}_4$  释放速率高于同一研究区苔草草洲淹水期 ( $2.64 \sim 19.16 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) [18],这可能是由于苔草草洲季节性淹水,而沉水植物区则常年处于淹水状态,具有更强的厌氧环境,从而更有利于  $\text{CH}_4$  的产生与释放. 此外,鄱阳湖沉水植物区  $\text{CH}_4$  释放也高于国内一些冷区湿地,如青藏高原若尔盖湿地中的木里苔草沼泽 ( $2.87 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )、乌拉苔草沼泽 ( $4.51 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )、青海海北乱海子 ( $2.46 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )、三江平原毛果苔草沼泽 ( $17.29 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot$

$\text{h}^{-1}$ ) 以及辽河三角洲淹水后的芦苇湿地 ( $0.128 \sim 2.734 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) [19-21]. 在淹水或水分过饱和的情形下,温度是影响不同区域  $\text{CH}_4$  释放空间差异的最主要因素,鄱阳湖地处亚热带,年均温度为  $17.6^\circ\text{C}$ ,显著高于上述地区.

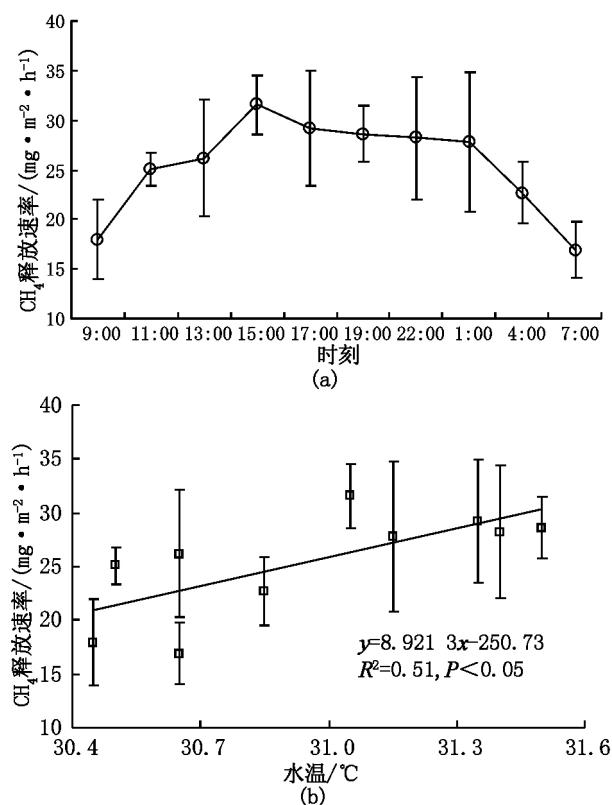


图3 沉水植物区  $\text{CH}_4$  释放日变化及与水温的关系

## 3 讨论

$Q_{10}$  是全球或区域碳循环模型预测生态系统碳库变化及其对全球变暖反馈的关键参数,该参数被定义为当温度上升  $10^\circ\text{C}$  时  $\text{CO}_2$  释放速率增加的倍数,它反映了生态系统及其不同组分  $\text{CO}_2$  释放对于温度变化的敏感性 [22]. 研究表明发育于不同气候区的湿地生态系统  $\text{CO}_2$  释放的  $Q_{10}$  值具有较大的空间变异,如北方湿地  $Q_{10}$  值范围为  $1.6 \sim 4.1$  [23-24],青藏高原湿地的  $Q_{10}$  值则为  $2.0 \sim 8.9$  [25]. 根据鄱阳湖沉水植物区  $\text{CO}_2$  释放与气温及土壤温度的指数关系,分别计算了基于气温与土壤温度的温度敏感性指数  $Q_{10}$ . 其中,基于气温的  $Q_{10}$  值为 2.6,基于土壤温度的  $Q_{10}$  值为 3.0,说明沉水植物区  $\text{CO}_2$  释放对于土壤温度的变化更加敏感. 此外,从  $Q_{10}$  的数值来看,鄱阳湖沉水植物区  $\text{CO}_2$  释放的温度敏感性与上述青藏高原、北方苔原等冷区湿地具有可比性. 与同一研究区的苔草草洲相比较,其基于气温的  $Q_{10}$  值稍高,但

基于土壤温度的  $Q_{10}$  值则明显偏低<sup>[15]</sup>.

近年来,鄱阳湖水位过低且持续时间延长,湿地干旱化趋势明显<sup>[12]</sup>. 在影响湿地土壤有机碳分解的诸多因子中,水分是其中的关键因子. 研究表明当湿地水位下降到基底表面以下导致湿地土壤出露发生好氧分解时,土壤  $\text{CO}_2$  释放速率显著增加,湿地可能由碳“汇”转变成碳“源”. 此外,湿地土壤碳库分解的温度敏感性( $Q_{10}$ )也可能因为湿地水文情势的变化而发生相应地变化. 如 I. Takeshi 等<sup>[26]</sup>对泥炭分解的温度敏感性的研究中发现,泥炭累积厚度与水位变化之间的反馈会增加泥炭分解的温度敏感性,加速土壤碳库的损失. 沉水植物区作为鄱阳湖全湖植被最大的分布区,其  $\text{CO}_2$  释放对温度变化具有较高的敏感性. 在气候变暖与湿地旱化的情形下,其未来碳库变化有必要进一步深入研究.

沉水植物区碳排放来源于沉水植物本身的呼吸作用以及微生物对土壤有机质分解所释放的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ . 观测日沉水植物区土壤-植物系统  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  的日释放量分别为  $1.55 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $0.46 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ . 从数值上看,以  $\text{CO}_2$  气体形式释放的碳约占总碳排放量的 77.2%,以  $\text{CH}_4$  气体形式释放的碳约占总碳排放量的 22.8%,两者之间相差约 54.4%. 考虑到  $\text{CH}_4$  的增温潜能是  $\text{CO}_2$  的 25 倍,沉水植物区温室气体排放对气候变暖的贡献中  $\text{CH}_4$  远大于  $\text{CO}_2$ .

## 4 参考文献

- [1] Smith L C, MacDonald G M, Velichko A A, et al. Siberian peatlands a net carbon sink and global methane source since the Early Holocene [J]. *Science*, 2004, 303(5/6): 353-356.
- [2] Fissore C, Giardina C P, Kolka R K, et al. Soil organic carbon quality in forested mineral wetlands at different mean annual temperature [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, 41(3): 458-466.
- [3] IPCC. Climatechange 2007: The physical science basis. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [4] Kayranli B, Scholz M F, Mustafa A, et al. Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review [J]. *Wetlands*, 2010, 30(1): 111-124.
- [5] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望 [J]. *地理科学进展*, 2002, 21(2): 111-120.
- [6] 金会军, 吴杰, 程国栋, 等. 青藏高原湿地  $\text{CH}_4$  排放评估 [J]. *科学通报*, 1999, 44(16): 1758-1762.
- [7] Ding Weixin, Cai Zucong, Tsuruta H. Plant species effects on methane emissions from freshwater marshes [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(18): 3199-3207.
- [8] Song Changchun, Xu Xiaofeng, Tian Hanqin, et al. Ecosystem-atmosphere exchange of  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  and ecosystem respiration in wetlands in the Sanjiang Plain, Northeastern China [J]. *Global Change Biology*, 2009, 15(3): 692-705.
- [9] 刘信中, 叶居正. 江西湿地 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [10] 郭华, 姜彤, 王国杰, 等. 1961-2003 年间鄱阳湖流域气候变化趋势及突变分析 [J]. *湖泊科学*, 2006, 18(5): 443-45.
- [11] 郭华, 殷国强, 姜彤. 未来 50 年鄱阳湖流域气候变化预估 [J]. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(1): 73-78.
- [12] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(6): 597-605.
- [13] 官少飞, 郎青, 张本. 鄱阳湖水生植被 [J]. *水生生物学报*, 1987, 11(1): 9-21.
- [14] 刘信中, 樊三宝, 胡斌华. 江西南矶山湿地自然保护区综合科学考察 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [15] 胡启武, 幸瑞新, 朱丽丽, 等. 鄱阳湖苔草湿地非淹水期  $\text{CO}_2$  释放特征 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1431-1436.
- [16] 王德宣, 宋长春, 王跃思, 等. 若尔盖高原泥炭沼泽湿地  $\text{CO}_2$  呼吸通量特征 [J]. *生态环境*, 2005, 14(6): 880-883.
- [17] 杨继松, 刘景双, 孙丽娜, 等. 三江平原草甸湿地土壤呼吸和枯落物分解的  $\text{CO}_2$  释放 [J]. *生态学报*, 2008, 28(2): 805-810.
- [18] 胡启武, 朱丽丽, 幸瑞新, 等. 鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征 [J]. *生态学报*, 2011, 31(17): 4851-4857.
- [19] 王德宣, 丁维新, 王毅勇. 若尔盖高原与三江平原沼泽湿地  $\text{CH}_4$  排放差异的主要环境影响因素 [J]. *湿地科学*, 2003, 1(1): 63-67.
- [20] Hirota M, Tang Yanhong, Hu Qiwu, et al. Methane emissions from different vegetation zones in a Qinghai-Tibetan Plateau wetland [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(5): 737-748.
- [21] 黄国宏, 肖笃宁, 李玉祥, 等. 芦苇湿地温室气体甲烷 ( $\text{CH}_4$ ) 排放研究 [J]. *生态学报*, 2001, 21(9): 1494-1497.
- [22] Luo Yiqi. Terrestrial carbon cycle feedback to climate warming [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2007, 38: 683-712.
- [23] Bubier J L, Bhatia G, Moore T R, et al. Spatial and temporal variability in growing-season net ecosystem carbon dioxide exchange at a large peatland in Ontario, Canada [J]. *Ecosystems*, 2003, 6(4): 353-367.
- [24] Bubier J L, Crill P M, Moore T R, et al. Seasonal patterns

- and controls on net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in a boreal peatland complex [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1998, 12(4): 703-714.
- [25] Hirota M, Tang Yanhong, Hu Qiwu, et al. Carbon dioxide dynamics and controls in a deep-water wetland on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Ecosystems*, 2006, 9(4): 673-688.
- [26] Takeshi I, Dunn A L, Wofsy S C, et al. High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback [J]. *Nature Geoscience*, 2008, 1(11): 763-766.

## The Diurnal Variation of Carbon Dioxide and Methane Emission from Typical Submerged Plant Zone in Poyang Lake

NIE Lan-qin, FU Shan, WU Qin, HU Qi-wu\*

(School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** For further accurate evaluation of carbon balance in Poyang lake wetland and to discuss the characteristics and control factors of carbon emissions from different wetland types. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) fluxes were measured in a wetland dominated by submerged plant species in the national nature reserve, Nanji wetlands of Poyang Lake. Our results indicated that both CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> showed clear diurnal variation pattern. The emission rate of CO<sub>2</sub> ranged from 172.43 to 365.40 mg · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>. The flux rate of CH<sub>4</sub> varied from 16.92 to 31.57 mg · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>. Moreover, temperature was the main effect factor of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes. The flux rate of CO<sub>2</sub> was significantly positively related to soil temperature. But CH<sub>4</sub> emission showed significant positive correlation with water temperature. The value of Q<sub>10</sub> which reflected temperature sensitivity of CO<sub>2</sub> emission was 2.6 for air temperature and 3.0 for soil temperature, respectively, which suggested CO<sub>2</sub> emission from submerged plants zones was more sensitive to soil temperature change than air temperature. Additionally, on the measurement day, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> accounted for 77.2% and 22.8% of total carbon emission, respectively. However, due to much higher global warming potential of CH<sub>4</sub> than CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> contributed more than CO<sub>2</sub> in greenhouse effect for submerged plants zones.

**Key words:** Poyang lake; submerged plants zone; carbon dioxide; methane

(责任编辑: 曾剑锋)