

## 南宁市南湖湿地秋季水-气界面温室气体( $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ ) 通量及其影响因子\*

刘 胜<sup>a,b@</sup>, 樊 璠<sup>c</sup>

(南宁师范大学 a.环境与生命科学学院;b.北部湾环境演变与  
资源利用教育部重点实验室;c.教育科学学院,广西 南宁 530001)

**摘 要:**城市湿地是湿地生态系统碳循环的重要组成部分,研究城市湿地温室气体( $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ )排放特征及其影响因素对区域的碳平衡估算以及控制温室气体排放具有重要的意义。于2019年11月到2020年1月(秋季)利用密闭箱-气相色谱法对南湖湿地水气界面( $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ )通量进行了观测,结果表明,南湖秋季水-气界面  $\text{CO}_2$  平均通量为  $-184.73 \pm 400.14 \text{ mg CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ,整体为大气  $\text{CO}_2$  的汇,南湖秋季水-气界面  $\text{CH}_4$  平均通量为  $0.96 \pm 2.2 \text{ mg CH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ,整体为大气  $\text{CH}_4$  的源。水体溶解性无机碳是影响南湖秋季水气界面  $\text{CO}_2$  通量最重要的影响因子,溶解性总磷是影响南湖秋季水气界面  $\text{CH}_4$  通量最重要的影响因子,南湖湿地秋季固定  $249.96 \text{ t CO}_2$  当量的含碳温室气体。

**关键词:**城市湿地; $\text{CO}_2$ ; $\text{CH}_4$ ;水-气界面通量;影响因子;秋季

**中图分类号:**X524 **文献标志码:**A

全球变暖已经是一个不争的事实,而引起全球变暖最主要的因素就是“温室效应”, $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 是引起“温室效应”的两种主要温室气体,两种气体对温室效应的贡献分别为70%和23%<sup>[1]</sup>。湿地是温室气体重要排放源,受全球变暖影响,湿地中储存的碳可能以 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 的形式排放到大气中,对全球变暖形成正反馈。目前国内外学者对湿地 $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ 排放的研究多集中于自然湿地,如沼泽<sup>[2]</sup>,湖泊<sup>[3]</sup>,泥炭地<sup>[4]</sup>,河口三角洲<sup>[5]</sup>等,且多位于高纬、高山、低温地区,对低纬度地区尤其是亚热带地区湿地碳循环的研究亟待加强。同时湿地温室气体的排放存在很大的不确定性,这种不确定性主要来源于不同区域不同类型湿地温室气体的排放强度,空间格局(纬度或区域分布),时间变异以及排放数据的缺乏<sup>[6-8]</sup>,所以有必要加强对数据缺乏地区湿地温室气体排放时空变异的研究。

城市湿地是指城市区域之内的海岸与河口、河岸、浅水湖沼、水源保护区、自然和人工池塘以及污水处理厂等具有水陆过渡性质的生态系统,是一种特殊的湿地类型<sup>[9]</sup>。城市湿地不同于自然湿地,受到人为因素的干扰和管理<sup>[10]</sup>,可能会影响城市湿地温室气体的排放。此外,近年来我国兴起建设湿地公园的热潮<sup>[11]</sup>,我国城市湿地公园数量逐年增多,引起社会的关注,如果管理不当,会导致城市湿地排放更多的温室气体。从城市湿地温室气体排放的角度,加强城市湿地温室气体排放及其影响因素的研究成为一个新型的课题。

目前国内外学者对湿地碳交换进行了大量研究,这些研究主要集中在湿地温室气体排放的时空变化及其影响因子方面,并取得了一系列研究成果。以湿地 $\text{CH}_4$ 排放为例,全球 $\text{CH}_4$ 排放最活跃的地区是泥炭沼泽分布的北纬 $40^\circ \sim 70^\circ$ 的温带和北方地区,以及森林沼泽分布的 $10^\circ \text{N} \sim 10^\circ \text{S}$ 之间的热带地区,各占全球 $\text{CH}_4$ 排放量的40%,其中北方沼泽占全球 $\text{CH}_4$ 排放总量的18%~38%<sup>[12]</sup>。研究表明,大气甲烷排放的2/3来自(亚)热带地区,尤其是(亚)热带湿地<sup>[13]</sup>。同时 $\text{CH}_4$ 的排放具有明显的日变化和季节变化<sup>[14]</sup>。在前人研究的基础上,Xiao等<sup>[15]</sup>完成了全国湿地碳平衡的初步估算。但对于我国南亚

收稿日期:2021-03-08

\* 基金项目:国家自然科学基金(32001172);广西科技基地和人才专项(桂科计字[2019]245号)

第一作者:刘胜(1983—),男,安徽安庆人,助理研究员(liusheng882006@126.com)。

热带地区湿地温室气体排放的研究相对缺乏, Nature 最新研究表明中国西南(云南、贵州、广西)地区碳汇被低估, 西南地区每年产生碳汇 3.5 亿 t, 约占全国陆地碳汇的 31.5%<sup>[16]</sup>。进行不同类型湿地的  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  通量以及影响因子的观测, 是准确评估中国湿地  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  排放量以及碳汇的关键。研究表明温度、水文条件和空气气压控制着甲烷排放的日变化和季节变化, 而水文条件和温度则解释了甲烷排放放在微观和宏观尺度上的空间变异<sup>[17]</sup>, 同时温度、水位和基质质量(Substrate availability)被认为是影响湿地土壤  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  释放最重要的三个因子<sup>[18-20]</sup>。尽管目前对湿地碳交换过程各种潜在的影响因子比较清楚, 但不同湿地类型碳交换过程的主要控制因子是否存在差异, 以及各种影响因子之间存在着怎样的交互作用还有待于进一步研究。

城市湿地是陆地湿地生态系统碳库的重要组成部分。目前, 世界上有超过 1/2 的人口居住在城市, 预计 2050 年将达到 2/3。城市化趋势导致全球淡水发生了重大改变——“城市水体综合症”: 较高的营养和污染负荷、连通性改变、集水区表面不透水、河岸硬化及河道改变等症状。城市水体的温室气体排放必然对这些变化做出响应, 然而, 城市淡水  $\text{CH}_4$  排放的经验数据很少, 既没有包括在全球排放预算中, 也没有系统评估城市所有潜在  $\text{CH}_4$  排放源。国外学者 Ortega<sup>[21]</sup> 对德国首都柏林湖泊、河流、溪流、池塘甲烷排放的速率和驱动因素进行了研究, 发现池塘是甲烷排放的热点, 多种因素联合控制着城市水体甲烷的排放, Martinez—Cru<sup>[22]</sup> 对墨西哥城城市水体甲烷排放进行了研究, 发现城市化引起水质指标的变化是影响水体甲烷排放的重要因素, 国内 Yu<sup>[23]</sup> 和 Wang<sup>[24]</sup> 分别对上海和重庆市的城市河流温室气体排放进行了研究, 发现城市化增加了河流的  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  排放。城市化直接或间接的影响了湿地的温室气体排放, 亚热带城市湿地温室气体排放形式如何? 影响因子又是什么? 这些问题仍然不是很清楚。

本研究以南亚热带南宁市内最大城市湿地南湖为研究对象, 通过漂浮静态箱—气相色谱法对秋季南湖水气界面温室气体  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  通量进行了观测, 并对相关影响因子进行了分析, 估算该城市秋季湿地温室气体排放量并与其他湿地类型进行比较, 为控制城市湿地温室气体排放、建设低碳城市提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

南宁地处北回归线南侧, 属亚热带季风气候区。南湖( $22^{\circ}48'51''\text{N}$ ,  $108^{\circ}21'18''\text{E}$ )位于南宁市中心区, 是南宁市城区内最大的城市景观湿地, 湖面呈东北—西南走向的狭长型; 全湖由南湖九拱桥和南湖大桥自西向东人为划分为上湖、中湖、下湖三个湖段。整个湖面长 3.8 km, 宽 250~380 m, 面积 107  $\text{hm}^2$ , 平均水深 1.5 m, 湖面容积约为  $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ <sup>[25]</sup>。

南湖近岸区会有水生植物分布, 甲烷排放较高<sup>[20]</sup>, 但是由于湖泊面积宽广, 湖心面积非常大, 若以近岸区的  $\text{CH}_4$  通量代表整个湖泊  $\text{CH}_4$  通量将会过高估计湖泊水体对大气  $\text{CH}_4$  的贡献<sup>[26]</sup>, 因此将采样点主要选择在湖泊的湖心区。

在南湖湖心设置采样点, 并设置了 4 个重复, 实验于 2019 年 11 月 16 日—2020 年 1 月 18 日(秋季)进行,

### 1.2 样品采集和分析方法

#### 1.2.1 气体样品的采集和分析

本实验采用漂浮静态暗箱—气象色谱法监测南湖湿地秋季  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  排放特征。在监测开始前, 将特制的汽车内胎缓慢放到水面, 使之在水面漂浮起来, 再把顶部密封, 底部中通的圆柱形暗箱, 放入轮胎中部的圆形钢槽中, 并用水充满钢槽, 阻隔空气进入箱体, 这个过程尽量减少水面的搅动。实验中为避免箱体晃动飘走, 所以在底部内胎系上绳索, 在监测期间固定绳子。

采样频率为每周一次, 每次采样时间为上午 9:00—11:00。准备采样前, 先把箱体顶部排气口和开

关打开排气一分钟,之后用透明的细长橡胶管,连接箱体顶部的排气口与进气口混气一分钟,混气结束后把排气口和开关关闭,然后用 100mL 的注射器从进气口中采集第一个样品(80mL),收集到 0.1 升的真空铝箔采样袋中,并在气袋上注明采样点信息、采样时间,然后放在不透光的箱子中进行储存。每隔十分钟进行一次采样,每个监测点采集四个气体样品,四个监测点每次共采集 16 个气样。同时在现场记录当日的气温、采样点的水温、箱内温度、风速等。采集的气体样品 24 小时内用气相色谱仪(Agilent 4890D, Agilent Technologies, USA)分析。 $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  通量计算式为<sup>[27]</sup>:

$$F = \rho \frac{dc}{dt} \cdot H \cdot \left( \frac{273}{273 + T} \right)$$

式中: $F$ : $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  的排放通量  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;  $\rho$ :在标准状况下 1 摩尔  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  的密度; $dc/dt$ : $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  浓度随时间变化率; $H$ :箱内顶部到水面的高度(cm); $T$ :静态箱内的温度( $^{\circ}\text{C}$ )。

### 1.2.2 水化学指标的采集和分析

现场采用有机玻璃采水器(CG-0025L-JG, Grasp, China),采样深度为水面以下 50cm。水体 pH 用 pH 计(PH-100, Li Chen, China)测定。水体电导率用电导率仪(DDS-307A, INESA Scientific Instrument, China)测定。水体溶解氧用溶解氧测定仪(JPB-607A, INESA Scientific Instrument, China)测定。水样中的总氮、总磷、氨氮、硝态氮指标的测定参考《湖泊富营养化调查规范》<sup>[28]</sup>。水体中叶绿素  $a$  (chl  $a$ )含量经 90%热乙醇提取后用分光光度法测定。溶解性无机碳(DIC, 主要是  $\text{HCO}_3^-$ )用碱度试剂盒(德国 Merck 公司)滴定,滴定精度为 0.01 mg/L;溶解性有机碳(DOC)将水样过 0.45 $\mu\text{m}$  滤膜后用总有机碳分析仪(Multi N/C 2100, Analytik Jena AG, Germany)。溶解性总氮(DTN)、溶解性总磷(DTP)采用碱性过硫酸钾法测定。

### 1.2.3 数据分析

相关分析选择 Pearson 相关分析,逐步多元线性回归分析被用来分析影响  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  排放通量的影响因子。所有统计分析用 SPSS 20.0 (SPSS Institute Inc., Chicago, IL, USA) 软件完成,绘图用 Sigma Plot 11.0 program (Systat Software, Inc., San Jose, CA, USA)完成,显著性水平设定为  $\alpha = 0.05$ 。文中数据均为平均值 $\pm$ 标准差, $n = 4$ 。

## 2 结果

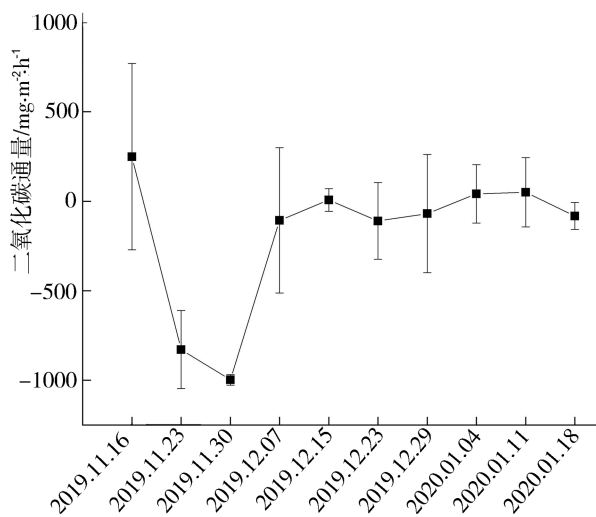
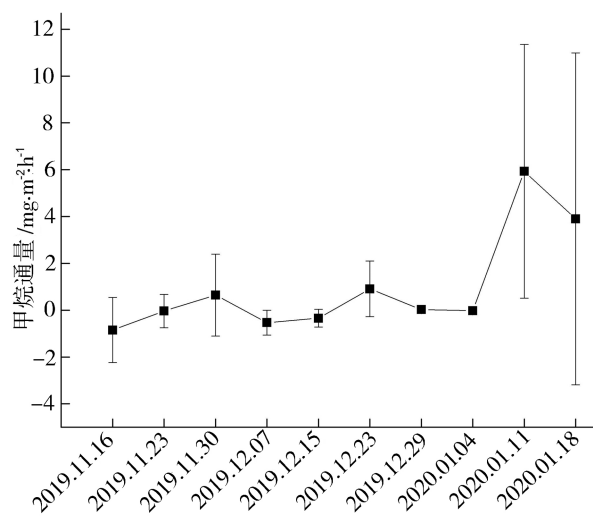
### 2.1 南湖秋季水体基本理化性质

南湖秋季平均水温为  $19.04 \pm 2.86^{\circ}\text{C}$ ,溶解氧平均值为  $6.25 \pm 0.76 \text{mg/L}$ ,电导率平均值为  $157.6 \pm 23.9 \mu\text{S/cm}$ ,水体 pH 为  $7.99 \pm 0.29$ ,溶解性无机碳( $\text{HCO}_3^-$ )为  $1.55 \pm 0.2 \text{mmol/L}$ ,溶解性有机碳(DOC)为  $3.07 \pm 1.04 \text{mg/L}$ ,总氮、总磷、铵态氮、硝态氮分别为  $1.08 \pm 0.21 \text{mg/L}$ ,  $0.13 \pm 0.05 \text{mg/L}$ ,  $0.27 \pm 0.05 \text{mg/L}$ ,  $0.54 \pm 0.12 \text{mg/L}$ ,溶解性总氮(DTN)、溶解性总磷(DTP)分别为  $0.84 \pm 0.09 \text{mg/L}$ ,  $0.08 \pm 0.04 \text{mg/L}$ ,叶绿素  $a$  为  $2.14 \pm 0.77 \text{mg/m}^3$ 。

### 2.2 南湖湿地秋季水-气界面 $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ 变化

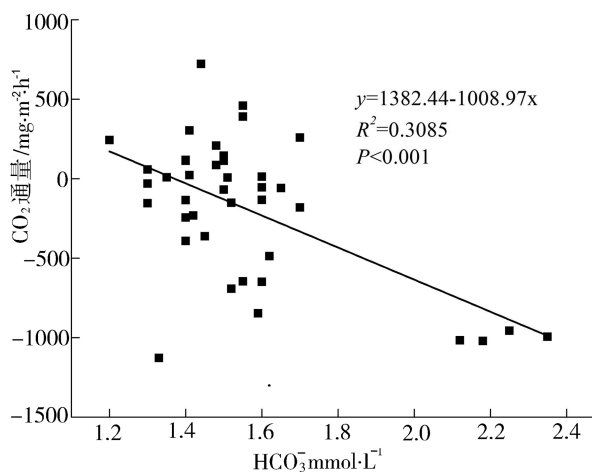
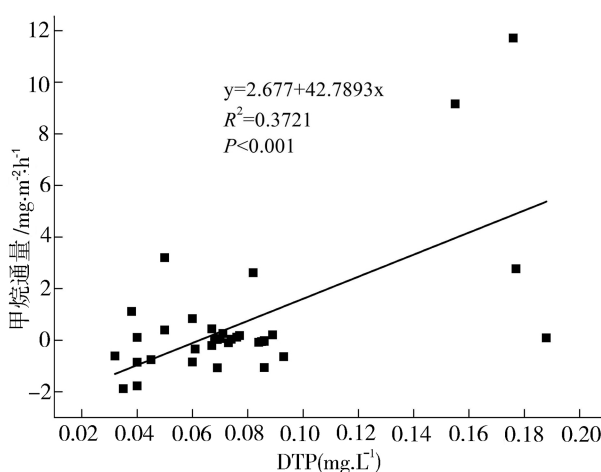
南湖湿地秋季水-气界面  $\text{CO}_2$  通量在 2019 年 11 月 16 日达到最大,为  $248.58 \pm 520.11 \text{mg CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,于 2019 年 11 月 30 日达到最低值,为  $-997.97 \pm 29.43 \text{mg CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,南湖秋季水-气界面  $\text{CO}_2$  平均通量为  $-184.73 \pm 400.14 \text{mg CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,整体为大气  $\text{CO}_2$  的汇(图 1)。

南湖湿地秋季水-气界面  $\text{CH}_4$  通量在 2020 年 1 月 11 日达到最大,为  $5.93 \pm 5.42 \text{mg CH}_4/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,于 2019 年 11 月 16 日达到最低值,为  $-0.85 \pm 1.39 \text{mg CH}_4/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,南湖秋季水-气界面  $\text{CH}_4$  平均通量为  $0.96 \pm 2.2 \text{mg CH}_4/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,整体为大气  $\text{CH}_4$  的源(图 2)。

图1 南湖湿地秋季水-气界面  $\text{CO}_2$  变化图2 南湖湿地秋季水-气界面  $\text{CH}_4$  变化

### 2.3 南湖湿地秋季水-气界面 $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ 和水化学指标的关系

Pearson 相关分析显示南湖水气界面  $\text{CO}_2$  通量和水体溶解性无机碳有极显著的负相关 ( $P < 0.001$ ) (图 3), 水气界面  $\text{CH}_4$  通量和溶解性总磷具有极显著的正相关 ( $P < 0.001$ ) (图 4)。逐步多元回归分析表明, 南湖水气界面  $\text{CO}_2$  通量 =  $1383.916 - 1019.2 \times (\text{HCO}_3^-)$ ,  $F = 17.094$ ,  $R^2 = 0.335$ ,  $P < 0.001$ , 水体溶解性无机碳是影响南湖秋季水气界面  $\text{CO}_2$  通量的重要影响因子, 单独解释了  $\text{CO}_2$  通量的 33.5%; 南湖水气界面甲烷通量 =  $-2.677 + 42.789 \times (\text{DTP})$ ,  $F = 21.737$ ,  $R^2 = 0.39$ ,  $P < 0.001$ , 溶解性总磷是影响南湖秋季水气界面  $\text{CH}_4$  通量的重要影响因子, 其单独解释了  $\text{CH}_4$  通量的 39%。南湖水气界面  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  通量和 DOC、叶绿素  $a$  等其他水化学指标均无显著相关性 ( $P > 0.05$ )。

图3 南湖水气界面  $\text{CO}_2$  通量和无机碳的相关图4 南湖水气界面  $\text{CH}_4$  通量和溶解性总磷的相关性

## 3 讨论

### 3.1 南湖湿地 $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ 通量和其他地区比较

将本研究同国内外其他研究进行比较(表 1), 南湖湿地秋季  $\text{CO}_2$  呈吸收状态, 不同于鄱阳湖、三江平原的  $\text{CO}_2$  排放状态<sup>[29-31]</sup>, 也低于中国以及全球的  $\text{CO}_2$  通量值<sup>[7, 32]</sup>, 但和同纬度的广州海珠湖湿地以及北京顺义区的 Chaobai 河相比,  $\text{CO}_2$  通量均呈吸收状态<sup>[10, 33]</sup>。南湖湿地秋季  $\text{CH}_4$  通量为大气的“源”,  $\text{CH}_4$  通量低于福建人工湿地、鄱阳湖、三江平原、芬兰、美国佛罗里达州城市湿地公园、澳大利亚昆士兰

水库以及中国湖泊的  $\text{CH}_4$  排放通量<sup>[7,20,30,31,34-37]</sup>, 高于广州海珠湖、三峡水库、以及全球湖泊的甲烷排放量<sup>[38-40]</sup>, 这些差异可能跟气候、植被、水化学指标等有关, 非常复杂。

表 1 南湖湿地  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  通量和其他地区比较

观测点	区域	年均气温( $^{\circ}\text{C}$ )	二氧化碳通量 ( $\text{mg CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )	甲烷通量 ( $\text{mg CH}_4/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )	采样时间	参考文献
广西南湖	水气界面	21.6	$-184.73 \pm 400.14$	$0.96 \pm 2.2$	秋季	本研究
广州海珠湖	湖滨带	22.3	-297.95	0.15	2013.12—2014.11	[10,38]
福建福州	人工湿地	20.9	nd	8.78	2017.3	[34]
三峡水库	水气界面	17	nd	0.26	春、夏、冬	[39]
鄱阳湖	湖滨带	18	2936.84	7.13	10 月一次年 5 月	[20, 29]
北京顺义区	水气界面	17.3	36.43	2.48	2010.11—2011.10	[30],[33]
	Chaobai River	11.5	-64.75	5.56	6—9 月	
三江平原	毛果藁草	1.9	548.04	12.8	6 月一次年 4 月	[31]
芬兰	Pond	12.7	22	7.6	6—8 月	[35]
美国佛罗里达	Open water	13.2	nd	5.13	4—9 月	[36]
澳大利亚昆士兰	水库	25	nd	5.38	1—12 月	[37]
中国	水气界面	nd	68.38	1.36	分析文献	[7]
	湖滨带	nd	179.59	6.75	分析文献	[7]
全球	湖泊	nd	52.83	0.29	分析文献	[32,40]

nd: 原文献无此数据; No data in the reference

南宁地处亚热带南缘, 根据气温及物候现象, 南宁市无冬季<sup>[41]</sup>, 本研究在南宁秋季进行, 因此对南湖秋季水气界面  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  通量的测定可得知水体含碳气体排放的下限, 进而为准确估算水体温室气体的排放奠定坚实基础。考虑到在 100 年的时间尺度上  $\text{CH}_4$  的增温潜式为  $\text{CO}_2$  的 34 倍<sup>[7]</sup>, 以秋季南湖  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  排放通量为基准, 经估算南湖湿地秋季共固定 249.96t  $\text{CO}_2$  当量的含碳温室气体。

### 3.2 南湖湿地 $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ 通量的影响因素

本研究表明, 南湖秋季水体溶解性无机碳含量是影响水气界面  $\text{CO}_2$  通量最重要的影响因子。一般而言, 在软水湖泊水气界面  $\text{CO}_2$  的排放主要受湖泊新陈代谢的影响, 即由于受到外源有机碳的输入, 湖泊生态系统的呼吸作用超过了生态系统的初级生产力, 导致了湖泊  $\text{CO}_2$  的超饱和和  $\text{CO}_2$  的大量排放<sup>[42,43]</sup>。但是在硬水(或岩溶水)湖泊中, 陆源无机碳的输入可能会影响湖泊  $\text{CO}_2$  的排放<sup>[44,45]</sup>, 地表水和地下水中  $\text{CO}_2$  的输入以及碳酸盐的沉淀所产生的  $\text{CO}_2$  会影响湖泊的新陈代谢过程, 进而会影响整个湖泊的净  $\text{CO}_2$  排放<sup>[45]</sup>。Finlay 等<sup>[46]</sup>对加拿大 Saskatchewan 省六个硬水湖泊的  $\text{CO}_2$  排放研究发现, 由于受到可溶性无机碳输入的影响, 其  $\text{CO}_2$  排放要高于大多数北方湖泊; Knoll 等<sup>[47]</sup>对美国 Ohio 州两个岩溶水库研究发现, 尽管岩溶水库是大气  $\text{CO}_2$  的排放源, 但整个水库仍是净自养状态, 这是因为岩溶水库  $\text{CO}_2$  的通量受到可溶性无机碳的影响。如果可溶性无机碳的输入过高,  $\text{CO}_2$  的排放将取决于流域无机碳的输入, 而湖泊的代谢作用将扮演一个次要角色。本研究中南湖湿地  $\text{CO}_2$  通量和水体溶解性无机碳达到极显著相关关系, 可能是碳酸盐岩矿物的溶解与沉淀影响了南湖湿地秋季  $\text{CO}_2$  的排放。本研究发现南湖水气界面  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  通量和 DOC、叶绿素 *a* 均无显著相关性( $P > 0.05$ ), 证明了有机质的矿化和藻类的新陈代谢活动均不是影响南湖秋季水气界面  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  通量的因素<sup>[48]</sup>。本研究中溶解性总磷是影响南湖秋季水气界面  $\text{CH}_4$  通量的重要影响因子, 氮磷营养盐是浮游植物主要的营养源, 其促进了浮游植物的生长, 为湖泊甲烷的生成提供了底物。

## 4 结 语

本研究表明南湖秋季整体为大气  $\text{CO}_2$  的汇, 水体溶解性无机碳是影响南湖秋季水气界面  $\text{CO}_2$  通量

最重要的影响因子,这和大多数地区湖泊水-气界面温室气体排放通量的主要调控环境因子为“温度”明显不同。另外本研究只是进行了秋季的观测,在其他季节,甚至更长时间(年际尺度),南湖是否为大气  $\text{CO}_2$  的汇?  $\text{CO}_2$  排放的影响因子是否会发生变化还需要进一步的验证,同时增加温室气体排放观测频率。本研究表明南湖湿地是大气  $\text{CH}_4$  的源,溶解性总磷是影响南湖秋季水气界面  $\text{CH}_4$  通量最重要的影响因子,意味着以后在城市湿地的管理中要注意加强水体磷的控制,减少甲烷的排放。

## 参考文献:

- [1] IPCC.Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge:Cambridge University Press, 2013.
- [2] HERGOUALC'H K,DEZZEO N,VERCHOT L V,et al. Spatial and temporal variability of soil  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{CH}_4$  fluxes along a degradation gradient in a palm swamp peat forest in the Peruvian Amazon[J]. Global Change Biology, 2020, DOI:10.1111/gcb.15354.
- [3] HU QIWU,WU QIN,YAO BO,et al. Ecosystem respiration and its components from a Carex meadow of Poyang Lake during the drawdown period[J]. Atmospheric Environment, 2015,100: 124-132.
- [4] YAN LIANG,ZHANG XIAODONG,WU HAIDONG,et al. Disproportionate Changes in the  $\text{CH}_4$  Emissions of Six Water Table Levels in an Alpine Peatland[J]. Atmosphere, 2020,11(11):1165.
- [5] JEFFREY L C,MAHER D T,JOHNSTON S G,et al. Wetland methane emissions dominated by plant-mediated fluxes: Contrasting emissions pathways and seasons within a shallow freshwater subtropical wetland[J]. Limnology and Oceanography, 2019, 9999:1-18 .
- [6] SAUNOIS M, BOUSQUET P, POULTER B,et al. The global methane budget: 2000—2012[J]. Earth System Science Data, 2016, 8(2): 697-751.
- [7] LI SIYUE, BUSH R T, SANTOS I R. et al. Large greenhouse gases emissions from China's lakes and reservoirs[J]. Water Research, 2018, 147:13-24.
- [8] BARBOSA P M,MELACK J M,AMARAL J H F, et al. Dissolved methane concentrations and fluxes to the atmosphere from a tropical floodplain lake[J]. Biogeochemistry, 2020, 148(9).
- [9] 王建华, 吕宪国. 城市湿地概念和功能及中国城市湿地保护[J].生态学杂志, 2007, 26(4):555-560.
- [10] 徐志伟, 肖荣波, 邓一荣, 等. 广州海珠湖城市湿地  $\text{CO}_2$  通量特征[J].应用与环境生物学报, 2016, 22(1): 13-19.
- [11] 吴后建, 但新球, 王隆富, 等. 中国国家湿地公园的空间分布特征[J].中南林业科技大学学报, 2015, 35(6):50-57.
- [12] CRILL P, BARTLETT K B, ROULET N. Methane flux from boreal peatlands[J].Suo., 1992, 43:173-182.
- [13] SAUNOIS M,JACKSON R B,BOUSQUET P, et al.The growing role of methane in anthropogenic climate change [J]. Environmental Research Letters, 2016, 11(12):120-207.
- [14] PENG H J,GUO Q,DING H W,et al. Multi-scale temporal variation in methane emission from an alpine peatland on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau and associated environmental controls [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2017:276-277
- [15] XIAO D R, DENG L,KIM D G,et al. Carbon budgets of wetland ecosystems in China[J]. Global Change Biology, 2019, 25:2061-2076.
- [16] WANG Jing,FENG Liang,PALMER P I, et al. Large Chinese land carbon sink estimated from atmospheric carbon dioxide data[J]. Nature, 2020, 586:720-723.
- [17] WEI D,WANG X D. Uncertainty and dynamics of natural wetland  $\text{CH}_4$  release in China: Research status and priorities[J]. Atmospheric Environment, 2017, 154:95-105.
- [18] MOORE T R, DALVA M. The influence of temperature and water table on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peatland soils[J]. Journal of Soil Science, 1993. 44: 651-664.
- [19] KELLER J, WHITE J R, BRIDGHAMZ S D, et al. Climate change effects on carbon and nitrogen mineralization in peatlands through changes in soil quality[J]. Global Change Biology, 2004,10:1053-1064.
- [20] LIU S, CHEN Y W, LIU J F. Methane emissions from the littoral zone of Poyang lake during drawdown periods [J]. Journal of Freshwater Ecology, 2019, 34(1): 37-48.
- [21] ORTEGA S H,GONZÁLEZ-QUIJANO C R, CASPER P, et al. Methane emissions from contrasting urban freshwaters: Rates, drivers, and a whole-city footprint[J]. Global Change Biology, 2019, 25(12):4234-4243.

- [22] MARTINEZ-CRUZ K, GONZALEZ-VALENCIA R, SEPULVEDA-JAUREGUI A, et al. Methane emission from aquatic ecosystems of Mexico City[J]. Aquatic Sciences, 2017, 79(1):159-169.
- [23] YU Z J, WANG D Q, LI Yangjie, et al. Carbon dioxide and methane dynamics in a human-dominated lowland coastal river network (Shanghai, China)[J]. Journal of Geophysical Research Biogeosciences, 2017, 122:1738-1758.
- [24] WANG X F, HE Yixin, CHEN Huai, et al. CH<sub>4</sub> concentrations and fluxes in a subtropical metropolitan river network: Watershed urbanization impacts and environmental controls[J]. Science of The Total Environment, 2018, 622-623:1079-1089.
- [25] 吴延志,陈宗永.南宁市南湖浮游动物生物多样性分析及水质评价[J].福建农业科技, 2019,(07):19-24.
- [26] 陈永根,白晓华,李香华,等. 中国 8 大湖泊冬季水-气界面甲烷通量初步研究[J].湖泊科学, 2007,19(1): 11-17.
- [27] 丁维新.沼泽湿地及其不同利用方式下甲烷排放机理研究[D].南京:中国科学院南京土壤研究所, 2003.
- [28] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [29] 刘胜,陈宇炜.退水期鄱阳湖藯草(*Carex cinerascens*)和藜蒿(*Artemisia selengensis*)洲滩湿地 CO<sub>2</sub> 通量变化及其影响因子[J]. 湖泊科学, 2017, 29(6): 1412-1420.
- [30] 刘丽香. 鄱阳湖温室气体排放规律与模拟[D].北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2012.
- [31] SONG Changchun, YAN Baixing, WANG Yuesi, et al. Fluxes of carbon dioxide and methane from swamp and impact factors in Sanjiang Plain, China[J]. Chinese Science Bulletin,2003,48(24):2749-2753.
- [32] TRANVIK L J, DOWNING J A, COTNER J B, et al. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate[J]. Limnology and Oceanography,2009,54: 2298-2314.
- [33] HE Baonan, HE Jiangtao, WANG Jian, et al. Characteristics of GHG flux from water-air interface along a reclaimed water intake area of the Chaobai River in Shunyi, Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2018, 172:102-108.
- [34] 孙红英, 辛全伟, 林兴生, 等. 人工湿地植物种类及多样性对甲烷释放及功能基因丰度的影响[J]. 生态学报, 2019,39( 22):8565-8574.
- [35] HUTTUNEN J T, VÄISÄNEN T S, HEIKKINEN M, et al. Exchange of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O between the atmosphere and two northern boreal ponds with catchments dominated by peatlands or forests[J]. Plant and Soil,2002, 242: 137-146. DOI:10.1023/A:1019606410655.
- [36] MORIN T H, BOHRER G, STEFANIK K C, et al. Combining eddy-covariance and chamber measurements to determine the methane budget from a small, heterogeneous urban floodplain wetland park[J]. Agricultural & Forest Meteorology,2017,237:160-170.
- [37] GRINHAM A, DUNBABIN M, ALBERT S. Importance of sediment organic matter to methane ebullition in a subtropical freshwater reservoir[J]. Science of the Total Environment, 2018, 621:1199-1207.
- [38] 徐志伟, 肖荣波, 邓一荣, 等. 广州市城市湿地 CH<sub>4</sub> 通量特征研究[J]. 广东化工, 2015, 42(16):9-12.
- [39] CHEN Huai, YUAN Xingzhong, CHEN Zhongli, et al. Methane emissions from the surface of the Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Geophysical Research, 2011, 116, D21306.
- [40] BASTVIKEN D, TRANVIK L J, DOWNING J A, et al. Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink[J]. Science, 2011, 331:50.
- [41] 王宏志, 林榕庚.广西南宁市物候季节的划分和自然历[J].广西林业科技,1990, 2: 1-12.
- [42] COLE J J, CARACO N F, KLING G W, et al. Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes[J]. Science, 1994, 265(5178):1568-1570.
- [43] SOBEK S, TRANVIK L J, COLE J J. Temperature independence of carbon dioxide super saturation in global lakes [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2005, 19: GB2003.
- [44] Rantakari M and Kortelainen P. Controls of organic and inorganic carbon in randomly selected Boreal lakes in varied catchments[J]. Biogeochemistry,2008, 91:151-162.
- [45] STETS E G, STRIEGL R G, AIKEN G R, et al. Hydrologic support of carbon dioxide flux revealed by whole-lake carbon budgets[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres,2009,114: G01008.
- [46] FINLAY K, LEAVITT P R, WISSEL B, et al. Regulation of spatial and temporal variability of carbon flux in six hard-water lakes of the northern Great Plains[J]. Limnology and Oceanography, 2009, 54: 2553-2564.
- [47] KNOLL LB, VANNI M J, RENWICK W H, et al. Temperate reservoirs are large carbon sinks and small CO<sub>2</sub> sources; Results from high-resolution carbon budgets[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2013, 27(1): 52-64.
- [48] XING Yangping, XIE Ping, YANG Hong, et al. Methane and carbon dioxide fluxes from a shallow hypereutrophic

subtropical Lake in China[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(30):5532-5540.

## Autumn Water-air Interface Flux ( $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ ) and Influencing Factors of Greenhouse Gas of Nanning Nanhu Lake Wetland

LIU Sheng<sup>a,b</sup>, FAN Fan<sup>c</sup>

(a.School of Environmental and Life Science; b.Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resources Utilization of Ministry of Education;c.School of Education Science, Nanning Normal University, Nanning 530001, China)

**Abstract:** Urban wetland is an important part of carbon cycle in wetland ecosystem. It is of great significance to study the characteristics and influencing factors of greenhouse gas ( $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ ) emissions from urban wetlands for estimating regional carbon balance and controlling greenhouse gas emissions. The air water interface ( $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ ) flux of Nanhu Wetland was observed by closed chamber gas chromatography from November 2019 to January 2020. The results showed that the average  $\text{CO}_2$  flux at the water air interface of Nanhu Lake in autumn was  $-184.73 \pm 400.14 \text{ mg CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , which was the sink of atmospheric  $\text{CO}_2$ . The average  $\text{CH}_4$  flux at the water-gas interface of Nanhu Lake in autumn was  $0.96 \pm 2.2 \text{ mg CH}_4/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , which was the source of atmospheric  $\text{CH}_4$ . Dissolved inorganic carbon (DIC) is the most important factor affecting  $\text{CO}_2$  flux at the air-water interface of Nanhu Lake in autumn. Dissolved total phosphorus (DTP) is the most important factor affecting  $\text{CH}_4$  flux at the air-water interface of Nanhu Lake in autumn. In autumn, 249.96t  $\text{CO}_2$  equivalent carbon containing greenhouse gases were fixed in Nanhu Wetland.

**Key words:** urban wetland; carbon dioxide; methane; water-air flux; impact factors; autumn

[责任编辑:黄天放]