

淡水和海水环境下沉积物搬运过程碳释放通量的模拟研究

彭峰¹, 唐梅², 刘昱恒³

(1. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610065; 3. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 基于室内物理模拟实验, 对长江沉积物进行淡水和海水环境下沉积物搬运过程碳释放通量实验模拟。结果表明, 模拟实验初期, 淡水和海水均为大气 CO₂ 的源, 但淡水 CO₂ 释放通量略高于海水; 淡水、海水两种环境下, CH₄ 释放通量均较小, 为弱释放-弱吸收过程。对两种环境下碳通量对比研究发现, Eh 值可能是造成淡水和海水环境下 CO₂ 通量差别的主要原因, 而 pH 值可能对 CO₂ 通量差别的影响较小。两种环境下温室气体通量差别的具体原因仍需进一步研究。通过模拟对比试验, 旨在为系统地认识长江流域水库的温室效应与减排提供科学依据, 为我国清洁水电能源发展提供理论参考。

关键词: 淡水和海水环境; CO₂ 和 CH₄ 通量; 模拟实验

中图分类号: X8 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)09-0077-05

自Rudd等报道水库是温室气体可能的净排放源^[1-3]之后, 水库温室气体排放受到越来越多的关注^[4]。一般认为, 水库温室气体是由细菌分解沉积物中的有机物, 使溶解的有机碳及其颗粒释放出温室气体^[4-5]。对于长江流域, 三峡水库未修建前, 长江携带大量的沉积物注入东海, 并被季节性变化的近海海流进一步输送到不同的沉积区^[6-7]。三峡水库一期蓄水以来, 长江水流流速减缓, 大量有机质随着大坝蓄水沉积, 向下游输送的颗粒物比蓄水前减少了60%^[8]。随着长江上游溪洛渡、向家坝、白鹤滩等在建或拟建的一批大型水利工程陆续截流或蓄水, 更多的沉积物及其有机质会被拦截。从全流域尺度看, 有机质的输入总量并没有发生变化, 只是有机质的沉积地点发生了变化。在不考虑其他因素的情况下, 温室气体的产生总量应该不会发生变化。然而, 水库和海洋两种环境显然不同, 沉积物中有机质降解释放温室气体的通量可能会有所不同。本研究通过物理模型实验研究, 对比长江沉积物在淡水和海水环境搬运中碳排放通量, 旨在为系统地认识长江流域水库的温室效应与减排提供科学依据, 为我国清洁水电能源发展提供理论参考。

1 淡水和海水环境下沉积物搬运过程碳释放通量实验模拟

海水取自中国近海(珠海), 淡水和沉积物均取自三峡库区香溪河支流回水区, 水样带回实验室立

即用 Orion 便携式多参数仪测定其 pH 值及 Eh, 淡水原始值分别为 7.28(pH), -49.4(Eh), 海水则为 7.75(pH), -53.5(Eh)。实验前将沉积物经冷冻离心机 L535R-1, 转速 5 000 r/min, 离心 20 min, 去除上覆水, 并将离心后的等量沉积物置于模拟实验装置内, 沉积物厚度约为 0.5 cm, 水深约为 80 cm, 模拟装置和监测原理及流程见图 1。本次模拟实验于 2012 年 3 月 15 日 14:00 左右开始, 通量监测分为两组: 第一

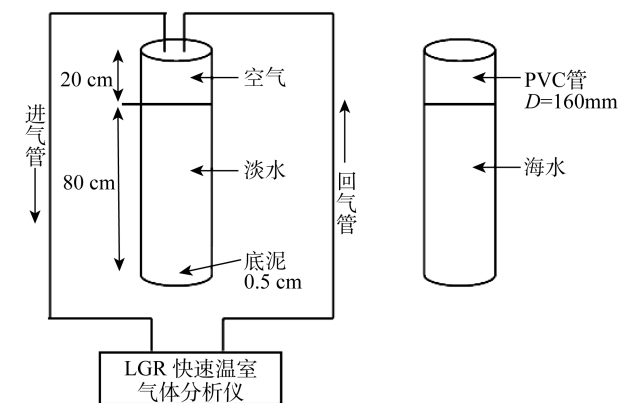


图 1 淡水和海水环境下沉积物搬运过程碳释放通量实验模拟实验装置示意图

Fig. 1 Freshwater and marine environments of sediment transport processes of carbon fluxes experimental simulation

收稿日期: 2012-03-23; 修回日期: 2013-04-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2010CB955904)

通信作者: 彭峰(1988-), 男, 四川内江人, 硕士研究生, 主要从事生态水工学研究, 电话: 18428393018, E-mail: pfeng2012@sina.com

组为 9 h 连续观测, 观测时间为 2012 年 3 月 16 日 13:30~22:30; 第二组于 2012 年 3 月 20 日和 2012 年 3 月 21 日观测, 每日观测 3 次。CO₂ 和 CH₄ 通量采用 LGR-密闭式动态通量箱法测定。实验时, 用硬质塑料管充分搅拌淡水(初步模拟搬运过程), 搅拌深度为 0.7 m 左右, 搅拌时间约为 30 s(搅拌速度均匀, 以使底部沉积物悬浮起来), 然后开始监测, 监测时长为 20 min(监测过程中停止搅拌水体), 然后监测海水(处理方法与淡水完全相同)。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。

2 CO₂ 和 CH₄ 通量计算

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。采用以下公式^[9]计算温室气体扩散通量:

$$F = \frac{S_1 F_1 F_2 v}{S_2 F_3}$$

式中 F 为水-气界面的气体通量(单位: mg/(m²·h)), S_1 为箱内温室气体浓度随时间的变化率, F_1 为 $\mu\text{L/L}$ 到 $\mu\text{g/m}^3$ 的转化系数(CO₂ 为 1798.45 $\mu\text{g/m}^3$, CH₄ 为 655.47 $\mu\text{g/m}^3$), F_2 为分钟到小时的转化系数(60), v 为通量箱漂浮在水面时箱内气体的体积(单位: m³), S_2 为通量箱箱底的面积(单位: m²), F_3 为 μg 到 mg 的转化系数(1000)。

3 结果与分析

监测结果表明, 淡水和海水水-气界面 CO₂ 和 CH₄ 释放通量在 9 h 连续观测中具有明显的变化趋势(图 2)。淡水 CO₂ 和 CH₄ 通量在 13:30~15:30 左右呈倒“V”字型, 然后呈逐渐上升过程; 海水 CO₂ 通量在观测时段内呈波动状态, CH₄ 通量表现为先减小、后增加的趋势。总体上, 淡水和海水的 CO₂ 释放通量在 14:00~14:30 左右时最大, 其最大值分别为 14.900 mg/(m²·h)和 7.856 mg/(m²·h), 最小值出现的时间基本一致, 在 15:00~16:00 左右, 分别为 3.354 mg/(m²·h)和 -2.698 mg/(m²·h); 淡水、海水 CH₄ 释放通量在监测期间呈弱吸收-弱释放状态, 变化范围分别为 -0.006~0.003 mg/(m²·h)和 -0.007~-0.002 mg/(m²·h)。从全过程看: 淡水均表现为释放 CO₂, 海水则在 15:00, 18:00 左右为吸收 CO₂, 其余时段释放 CO₂, 其平均释放通

量分别为 6.842 mg/(m²·h)和 4.239 mg/(m²·h), 表明长江沉积物在淡水条件更易释放 CO₂; 淡水从 21:00 开始表现为 CH₄ 的释放, 其余时段为 CH₄ 的吸收, 海水则在整个观测过程中均表现为 CH₄ 的吸收, 其平均释放通量相同, 为 -0.004 mg/(m²·h)。

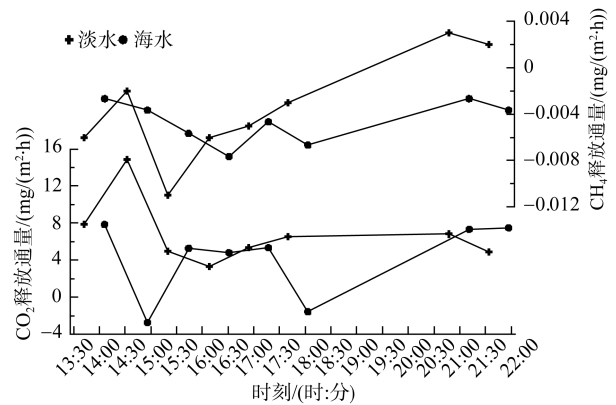


图 2 2012 年 3 月 16 日 CO₂ 和 CH₄ 通量 9 h 连续变化
Fig. 2 Variation of CO₂ and CH₄ fluxes in continuous 9 h, March 16, 2012

如图 3 所示, 3 月 20 日, 淡水 CO₂ 通量基本呈直线下降过程, 下降速率为 0.575 mg/(m²·h), CH₄ 通量呈倒“V”字型变化, 下午 16:30 左右最大, 为 0.007 mg/(m²·h), 晚上 22:10 最小, 为 -0.002 mg/(m²·h); 海水 CO₂ 和 CH₄ 通量变化趋势与海水刚好相反, 即 CO₂ 通量基本呈直线上升趋势, 上升速率为 0.129 mg/(m²·h), CH₄ 通量呈“V”字型变化, 下午 16:30 左右最小, 为 -0.002 mg/(m²·h), 晚上 22:10 最大, 为 0.001 mg/(m²·h)。对比海水和淡水碳通量发现, 3 月 20 日淡水 CO₂ 通量明显小于海水, 而海水 CH₄ 通量明显大于淡水。3 月 21 日, 海

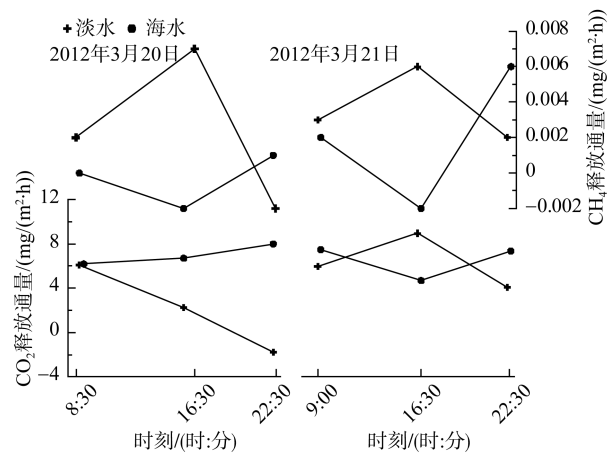


图 3 2012 年 3 月 20 日~3 月 21 日 CO₂ 和 CH₄ 通量变化
Fig. 3 Variation of CO₂ and CH₄ fluxes, March 20, to 21, 2012

水 CO₂ 和 CH₄ 通量均呈“V”字型, 而淡水 CO₂ 和 CH₄ 通量却均呈倒“V”字型变化趋势; 总体上, 海水 CO₂ 通量略大于淡水, 其全天平均释放通量分别为 6.510 mg/(m²·h)和 6.348 mg/(m²·h), 淡水 CH₄ 平均释放通量为 0.004 mg/(m²·h), 为海水 CH₄ 平均释放通量的 2 倍。

4 讨论

沉积物中有机质的分解是产生温室气体的主要来源, 在有氧条件下, 好氧细菌分解被淹没的或溶解的有机质, 主要产生 CO₂, 在缺氧条件下, 产甲烷菌活动占优势, 分解有机质主要产生 CH₄ 及少量 CO₂^[10]。从表 1 可以看出, 淡水环境下, 3 次监测的 CO₂ 通量平均值较为接近, 而海水环境下 3 次监测结果却有较大变化, 3 月 16 日、3 月 20 日 CO₂ 通量均小于淡水, 3 月 21 日与淡水 CO₂ 通量平均值相当。

表 1 淡水和海水两种环境下温室气体平均释放通量
Tab. 1 Average freshwater and marine environment and greenhouse gas emission flux

日期 (月日)	平均释放通量(mg/(m ² ·h))			
	淡水		海水	
	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄
3 月 16 日	6.842	-0.004	4.239	-0.004
3 月 20 日	6.966	-0.002	2.185	0.002
3 月 21 日	6.348	0.004	6.510	0.002

温室气体排放包括温室气体的产生过程、传输过程和转化过程^[10]。任何影响这三个过程的因子都可能直接或间接地影响温室气体的释放, 比如光照、pH、Eh、温度、水温、风速、浮游生物、水体水质等。由于是室内物理模型实验, 光照、温度、风速等因素相同, 而在监测过程中两种水体水温差异甚微, 因此, pH、Eh 可能是造成淡水和海水环境下不同 CO₂ 释放通量的重要因素。连续 9 h 监测中, 淡水和海水均为弱碱性环境(图 4), 淡水 pH 值范围为 7.61~7.96, 海水 pH 值范围为 7.58~7.66, 淡水 pH 值较海水 pH 值均大; 3 次监测中, 淡水和海水均为弱碱性环境(图 5), 随着实验的进行, pH 总体呈先增大后减小趋势, 淡水 pH 值范围为 7.71~7.81, 海水 pH 值范围为 7.54~7.61。有研究表明, pH 对土壤 CO₂ 的释放影响不显著^[11-12], 且两种环境下, pH 值的差值也较小, 因此, pH 可能不是造成两种环境下 CO₂ 通量显著差别的原因。连续 9 h 监测中, 淡水和海水 Eh 值均呈波动变化(图 4), 且淡水 Eh 值均高于海水; 3 次监测中, 3

月 2 日淡水 Eh 值均高于海水, 3 月 21 日淡水前后两次均高于海水, 中间一次低于海水(图 5), 其中, 3 月 16 日、3 月 20 日, 两种环境下 Eh 差异变动较大, 3 月 21 日, Eh 值变化较为剧烈, 两种环境下差别较小, 这与在淡水和海水环境下 CO₂ 通量平均值的差值情况较为一致, 因此, Eh 值可能是引起淡水和海水环境下不同 CO₂ 释放通量的重要原因。此外, 土壤有机质的分解受 Eh 的制约, Eh 越低, 有机质分解越不彻底, 产生的碳通量就减小^[13], 监测中发现, Eh 值在两种环境下均表现为随着时间的增长, 总体上呈先增加后减小趋势, 从而随着实验时间的延长, 两种环境下 CO₂ 通量可能会逐渐减小。

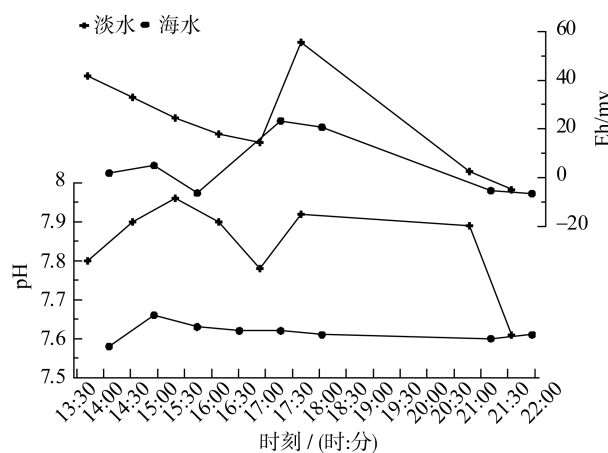


图 4 2012 年 3 月 16 日 pH 和 Eh 值 9 h 连续变化
Fig. 4 9 h continuous changes of pH and Eh values, March 16, 2012

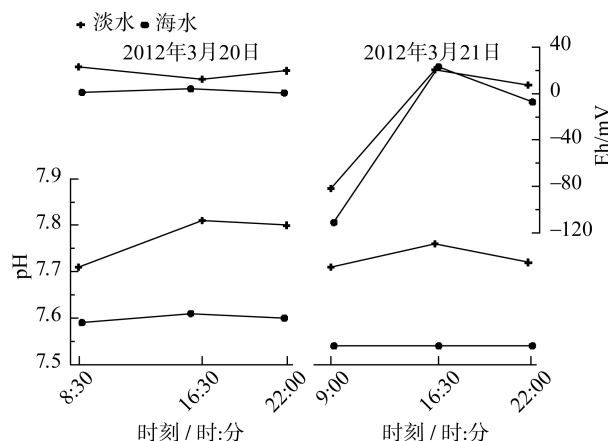


图 5 2012 年 3 月 20 日~3 月 21 日 pH 和 Eh 变化
Fig. 5 Variation of pH and Eh, March 20 to 21, 2012

模型实验中, 水深仅为 80 cm, 而且在监测前充分搅拌水体, 导致水体溶解氧较高, 从 Eh 值也可以看出, 两种环境总体表现为氧化状态, 而产甲烷菌

是专性严格厌氧菌,不能在有氧气处生存^[14],因此,3次监测中淡水和海水环境下CH₄产生量均十分微弱(表1)。水生系统中CO₂和CH₄的产生及释放十分复杂,要弄清两种环境下温室气体通量差别的具体原因还需要进一步的细致研究。

5 结论

模拟实验初期,CO₂和CH₄通量处于不断变化的过程。总体来说,淡水和海水CO₂通量为正值,表明两种水体下均为大气CO₂的源(即向大气释放CO₂),但淡水CO₂释放通量略高于海水,两种环境下,CH₄释放通量均较小,表现为弱释放-弱吸收过程。

对比研究发现,Eh值可能是造成淡水和海水环境下CO₂通量差别的主要原因,而pH值可能对CO₂通量差别的影响较小。对于CH₄,实验装置及模拟操作是引起其通量较小的原因。水生系统中CO₂和CH₄的产生及释放十分复杂,要弄清两种环境下温室气体通量差别的具体原因还需要进一步的细致研究。

参考文献:

- [1] Kelly C, Rudd J S, Louis V, et al. Turning attention to reservoir surfaces, a neglected area in greenhouse studies[J]. *EOS Transactions*, 1994, 75: 332-332.
- [2] Canuel R, Chamberland A. Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of the boreal region[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9(4): 529-540.
- [3] 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.
- [4] Fearnside P M. Do hydroelectric dams mitigate global warming The case of Brazil's Curuá-Una Dam[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2005, 10(4): 675-691.
- [5] Galy-Lacaux C, Delmas R, Kouadio G, et al. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(2): 503-517.
- [6] 郭志刚, 杨作升. 东海陆架北部泥质区沉积动力过程的季节性变化[J]. *青岛海洋大学学报: 自然科学版*, 1999, 29(3): 507-513.
- [7] 郭志刚, 张东奇. 冬, 夏季东海北部悬浮体分布及海流对悬浮体输运的阻隔作用[J]. *海洋学报*, 2002, 24(005): 71-80.
- [8] Yang S L, Zhang J, Zhu J, et al. Impact of dams on Yangtze River sediment supply to the sea and delta intertidal wetland response[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110(F3): F03006.
- [9] Lambert M, Fréchet J L. Analytical techniques for measuring fluxes of CO₂ and CH₄ from hydroelectric reservoirs and natural water bodies[J]. *Greenhouse Gas Emissions—Fluxes and Processes*, 2005, 15(5): 37-60.
- [10] 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.
- [11] 杜静, 林咸永, 章永松. 农业废弃物分解产生CO₂的影响因素研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 501-505.
- [12] 吴雅琼, 刘国华, 傅伯杰, 等. 森林生态系统土壤CO₂释放随海拔梯度的变化及其影响因子[J]. *生态学报*, 2007, 27(11): 4678-4685.
- [13] 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]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(23): 2473-2477.
- [14] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

A simulation of carbon fluxes from sediment transportation in freshwater and seawater

PENG Feng¹, TANG Mei², LIU Yu-heng³

(1. College of Hydraulic & Environment Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. Water Resources and Hydropower College, China Sichuan University Chengdu 610065 China; 3. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Received: Mar.,23,2012

Key words: freshwater and marine environments; CO₂ and CH₄ fluxes; simulation experiment

Abstract: Using laboratory physical simulation experiment we investigated the carbon release fluxes in the Changjiang River sediment in the seawater environment and the freshwater environment, respectively. The results showed that the atmospheric CO₂ came from freshwater and seawater, and the release fluxes of CO₂ in freshwater were higher than that in seawater. In both these two environments, the release fluxes of CH₄ were small, at the same time, the uptake fluxes of CH₄ were small, too. By comparison of the carbon fluxes in these two environments, we found that the variation of Eh values was possibly a most important factor attributing to the difference in fluxes of CO₂. On the contrary, the variation of pH values possibly had little influence on the difference of CO₂ fluxes. The concrete reasons which caused the difference in greenhouse gas fluxes in these two environments should be further studied. The results of laboratory physical simulation experiment, are very helpful to understanding of the greenhouse effect of the reservoir in the Changjiang River basin and provide a scientific basis for emission reduction, and provide theoretical reference for clean water and electricity energy development in China.

(本文编辑: 刘珊珊)