

台风对闽江河口湿地土壤甲烷产生潜力的影响研究

王维奇¹, 王 纯²

(1. 福建师范大学 地理研究所, 福建 福州 350007; 2. 福州市金桥高级中学, 福建 福州 350004)

摘要: 揭示台风对湿地土壤甲烷产生的影响对全球气候变化研究具有重要意义。采用厌氧培养法对闽江河口芦苇湿地土壤受台风影响下的甲烷产生潜力(J)进行模拟实验。研究结果表明: 受台风的影响, 甲烷产生潜力经历了升高—下降—稳定—下降 4 个阶段; 花枯落物输入与根、茎、叶枯落物输入后芦苇湿地土壤甲烷产生潜力差异极显著($P < 0.01$); 台风影响下不同土层甲烷产生潜力大小顺序为 $J_{5-10} > J_{0-5} > J_{10-15} > J_{15-20} > J_{20-25} > J_{25-30}$; 台风对甲烷产生潜力具有明显的促进作用。

关键词: 芦苇湿地; 甲烷产生潜力; 台风; 闽江河口

中图分类号: X144

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)09-0091-05

天然湿地甲烷排放占全球甲烷排放总量的 21% 以上^[1]。以往国际上关于全球甲烷排放的研究多聚焦在面积较大的泥炭湿地, 对于众多面积小、分散分布的潮汐湿地没有给予更多的关注, 特别是缺乏中国潮汐湿地甲烷方面的数据^[2]。湿地土壤甲烷产生是甲烷排放的先决条件。温度、底物、氧化还原电位、土壤含水量、电子受体等均影响甲烷产生过程^[3-6], 其中底物是甲烷产生过程发生的物质基础, 水分状况是土壤厌氧条件形成的前提。

台风是闽江河口湿地常见的天气现象, 主要集中在 6~10 月, 一方面可带来连续的降水, 增强湿地土壤的厌氧条件, 降低氧化还原电位, 提高甲烷产生菌活性; 另一方面, 使得植物大量地断株, 枯落物在地表覆盖厚厚的一层, 提供了大量的底物来源, 为甲烷产生提供充足的物质和能量, 与此同时, 可缓解甲烷产生菌与电子受体还原菌之间的底物竞争压力, 促进甲烷产生。因此, 这种大剂量的水分和底物输入将有利于土壤甲烷的产生, 但受台风的影响, 湿地植物不同构件枯落物输入对土壤甲烷产生的影响是否存在明显的差异, 不同土层对台风造成的水分和枯落物输入的响应规律又如何? 尚不清楚。作为我国东南沿海地区重要的河口湿地之一, 闽江河口湿地具有较大的代表性, 芦苇(*Phragmites australis*)是该区主要的优势植物之一, 初级生产力和枯落物的产生量均较高。

基于此, 本研究为了阐明湿地土壤甲烷产生过程对台风的响应, 开展了台风对甲烷产生潜力影响的持续效应、台风影响下不同构件枯落物对甲烷产

生潜力的影响、不同土壤层次对台风的响应特征、台风影响下甲烷产生潜力的调节因子研究, 为准确评价台风对湿地生态系统甲烷代谢的影响提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区为闽江河口区面积最大的鳝鱼滩湿地。气候暖热湿润, 年平均气温 19.3℃, 年平均降水量约 1 346 mm^[7]。湿地水源包括天然降水、闽江河水、潮水^[8]。台风是闽江河口区主要的天气现象, 多集中在 6~10 月。芦苇是该区域主要的优势大型挺水植物之一, 其生长旺盛季节株高 1.5~2 m, 密度约 200 株/m², 芦苇湿地地上和地下生物量之和达 2 266~4 602 g/m²^[9], 受到台风影响后芦苇枯落物会在地表覆盖厚厚一层。本研究土壤采样地点位于鳝鱼滩湿地中部的芦苇湿地(119°37'31"E, 26°01'46"N), 芦苇湿地土壤和枯落物理化特征见表 1, 2。

1.2 样品采集与实验分析

2007 年 1 月, 在鳝鱼滩中部芦苇湿地采样点用 100 cm 长, 5 cm 内径的不锈钢土壤采样器采集土壤样品, 每个土层 3 个重复(5 cm 间隔), 将同一土层土

收稿日期: 2010-03-25; 修回日期: 2011-07-09

基金项目: 国家自然科学基金(31000209); 福建省自然科学基金(2010J01139); 福建师范大学地理科学学院旗山学者资助项目

作者简介: 王维奇(1982-), 男, 辽宁沈阳人, 助理研究员, 博士研究生, 从事湿地生物地球化学循环研究, 电话: 13459193831, E-mail: wang-weiqi15@163.com

壤样放入自封袋中,密封送回实验室。芦苇枯落物采于 2006 年 12 月,地上部分采用收获法,按照茎、叶、花分开采集,地下部分采用挖掘法,并将根分为表层(0~15 cm)和相对深层(15~30 cm)。采回的鲜土风干并研磨(挑除大的根物质与杂质),过 100 目筛;枯落

物样品用粉碎机粉碎成粉末。土壤和植物碳质量比与氮质量比的测定采用碳、氮元素分析仪(Elementar Vario ELIII),磷质量比采用钼锑抗比色法(UV-2450)测定,电导率和 pH 值测定分别采用 2265FS 便携式电导率/温度计, IQ150 便携式 pH/氧化还原电位计。

表 1 芦苇湿地土壤理化性质

Tab. 1 Soil properties of *P. australis* wetland

土壤层次 (cm)	全碳质量比 (g/kg)	全氮质量比 (g/kg)	全磷质量比 (g/kg)	pH 值	电导率(mS/cm)
0~5	16.73	1.76	0.77	6.45	3.82
5~10	15.78	1.70	0.59	6.54	3.14
10~15	15.74	1.68	0.48	6.50	3.41
15~20	17.02	1.73	0.51	6.42	3.85
20~25	17.10	1.67	0.49	6.46	3.82
25~30	16.53	1.55	0.80	6.45	3.91

注:样本数: $n=3$

表 2 芦苇湿地枯落物理化性质

Tab. 2 Litter properties of *P. australis* wetland

枯落物	全碳质量比 (g/kg)	全氮质量比 (g/kg)	全磷质量比 (g/kg)
茎	424.12	11.31	0.36
叶	411.17	14.93	0.57
花	451.61	13.47	0.42
0~15 cm 根	387.59	10.99	0.66
15~30 cm 根	371.99	9.15	0.57

注:样本数: $n=3$

土壤甲烷产生潜力(J)对台风的响应模拟实验采用厌氧培养法^[10]。采用大剂量的底物和水分输入,将 3 g 研磨后的土样放入 18 mL 培养瓶,同时加入土样质量 3%的枯落物(分别加入植物花、叶、茎、0~15 和 15~30 cm 根枯落物),并加入约覆盖培养样品 2 cm 的蒸馏水,设置对照,共 5 种处理实验,每一个处理 3 个重复,将样品在近似原位温度的 30℃下培养(采样点 6~10 月白天平均气温 30.4℃)。实验周期为 110 d,第一次测定是在培养后的第 5 天,之后每隔 7 d 测定 1 次培养土样的甲烷产生潜力,气样采用岛津 GC-2010 气相色谱仪分析。

1.3 数据处理

甲烷产生潜力的计算采用甲烷浓度随着时间的变化率求得^[10]。台风对甲烷产生潜力的影响差异性检验采用 SPSS13.0-One-Way ANOVA 分析,环境因子与甲烷产生潜力的相关性分析采用 SPSS13.0-Pearson 相关分析。

2 结果与讨论

2.1 台风对甲烷产生潜力影响的持续效应

台风对土壤甲烷产生潜力具有明显的促进作用(图 1),其影响效应随着时间的延长而发生变化。在培养的前 5 d,土壤甲烷产生潜力对台风的响应不显著,可能是因为台风导致的枯落物输入,需要一定的时间才能分解为甲烷产生前体,在培养第 12 天、第 19 天或第 26 天甲烷产生潜力分别出现了峰值。台风影响下的土壤甲烷产生潜力经历了升高-下降-稳定-再下降 4 个阶段。甲烷产生潜力的升高,主要是枯落物输入后,随着其分解过程的发生,易降解的碳迅速分解,为甲烷的产生提供了必要而充足的底物来源,此外,作为生产者的甲烷产生菌的数量和活性也得到了有效的激发,而后随着易降解碳浓度的降低,甲烷产生潜力也逐渐下降,随着时间的进一步推移,相对难分解的碳组分也开始不断地分解,使得甲烷产生潜力所需底物浓度维持在了一个相对稳定的水平,甲烷产生潜力进入稳定状态,这个稳定状态大约维持 50 d 左右,而后甲烷产生潜力不断降低,主要是底物供应量受到了限制。台风对甲烷产生潜力影响的持续效应可维持近 90 d。

2.2 台风影响下芦苇不同构件枯落物输入对甲烷产生潜力的影响

台风造成的芦苇不同构件枯落物输入后甲烷产生潜力出现峰值所需要的时间及大小均有所不同(图 1)。

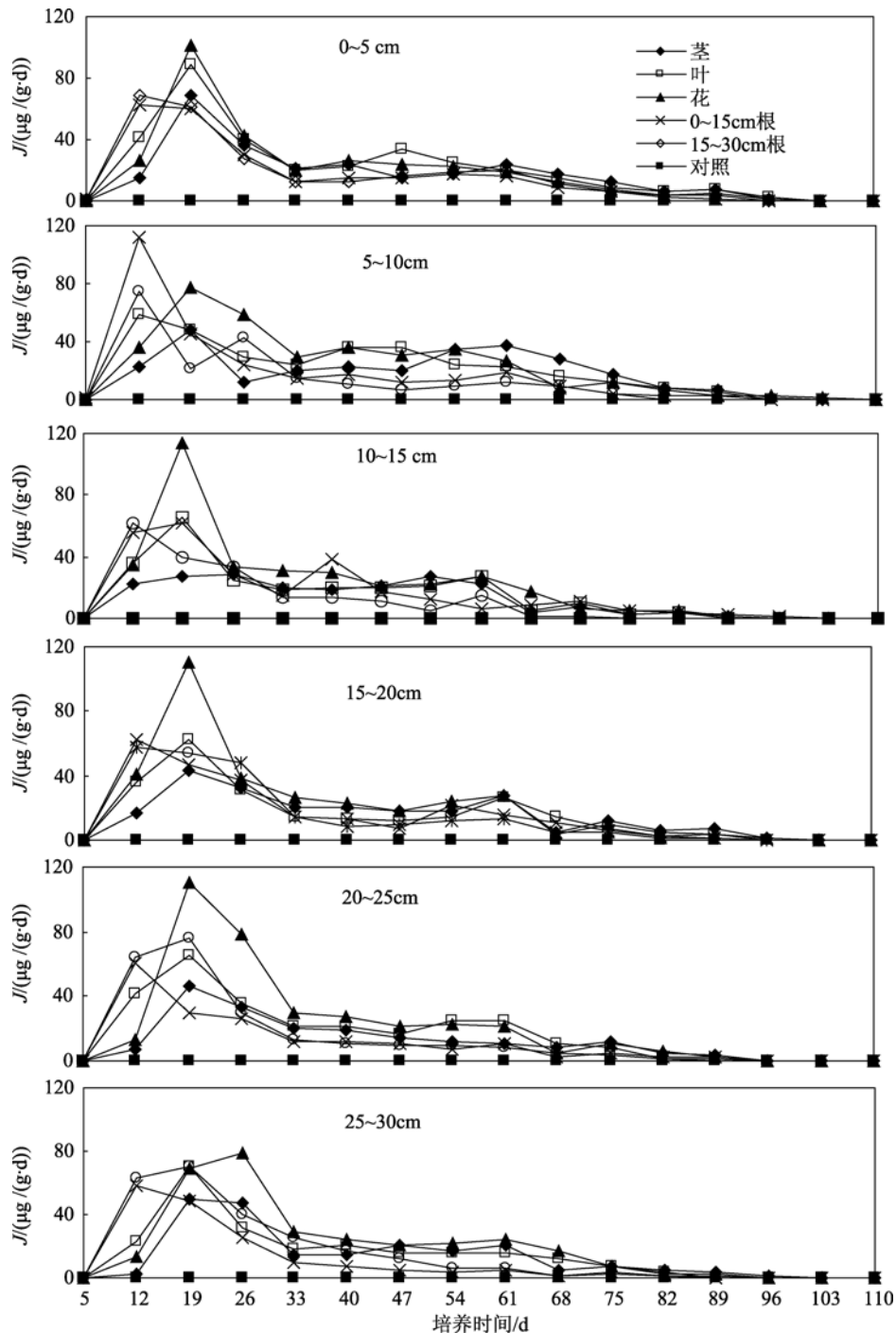


图 1 台风对不同层次土壤甲烷产生潜力的影响

Fig. 1 Effects of typhoon on methane production potentials at different soil layers

茎枯落物输入后甲烷产生潜力峰值出现的时间对于多数土层为培养后的第 19 天, 只是在 10~15 cm 土层出现在第 26 天($27.86 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$)。叶和花枯落物输入后甲烷产生潜力峰值出现的时间对于多数土层同样均为培养后的第 19 天, 对于叶枯落物, 在 5~10 cm 土层, 峰值是出现在第 12 天($58.77 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$); 对于花

枯落物, 在 25~30 cm 土层, 峰值是出现在第 26 天($78.8669 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$)。根枯落物的输入使得甲烷产生潜力出现峰值的时间, 大多数土层为培养后的第 12 天, 对于 0~15 cm 根枯落物输入后的甲烷产生潜力, 仅在 10~15 cm 土层是出现在第 19 天($62.11 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$), 对于 15~30 cm 根枯落物输入后的甲烷产生潜力, 在

20~25 cm 和 25~30 cm 土层是出现在第 19 天(76.38 和 69.86 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$)。不同构件枯落物碳含量及分解速率存在的差异,可能是导致不同构件枯落物输入后甲烷产生潜力峰值出现时间不尽相同的原因。

综合考虑 0~30 cm 土层输入不同构件后,平均甲烷产生潜力从大到小的顺序为输入花枯落物>输入叶枯落物>输入 0~15 cm 土层根>输入茎枯落物>输入 15~30 cm 土层根,其甲烷产生潜力分别为 20.96, 17.21, 14.44, 14.32 和 14.31 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$, 均明显高于对照土壤的甲烷产生潜力(0.0561 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$)。其对土壤甲烷产生潜力的促进主要有以下 3 点原因: 第一, 为甲烷产生提供底物来源和良好的厌氧环境, 提高了产甲烷微生物的活性和数量, 进而提高甲烷产生量; 第二, 加速电子受体的还原过程, 减少了甲烷产生过程中的竞争机制, 与此同时也使得环境中的氧化还原电位得以降低, 促进甲烷产生; 第三, 刺激有机碳的转化^[11]。

对整个观测期枯落物输入对甲烷产生潜力的促进作用作统计分析发现, 枯落物输入后土壤甲烷产生潜力与对照土壤间差异极显著($P<0.01$); 花枯落物输入后土壤的甲烷产生潜力与根、茎和叶枯落物输入后的土壤甲烷产生潜力间差异极显著($P<0.01$)。

2.3 不同层次土壤甲烷产生潜力对台风的响应

台风的影响不仅使得土壤的甲烷产生潜力发生改变, 同时也会对原有不同层次土壤的甲烷产生潜力垂直变化模式造成影响, 在未受到台风影响的条件下, 湿地土壤甲烷产生潜力的大小为: $J_{0-5}>J_{10-15}>J_{5-10}>J_{20-25}>J_{15-20}>J_{25-30}$, 而受到台风的影响后, 甲烷产生潜力的垂直变化规律为: $J_{5-10}>J_{0-5}>J_{10-15}>J_{15-20}>J_{20-25}>J_{25-30}$, 造成这种变化的原因可能是底物和水对甲烷产生潜力的协同影响。

2.4 台风影响下土壤甲烷产生潜力的影响因素分析

对培养期不同土层的平均甲烷产生潜力与相应土层的理化特征和相应的枯落物元素含量做相关分析。统计分析结果表明, 土壤氮质量比、碳氮比和电导率对整个培养期平均甲烷产生潜力的影响极为显著($r=0.711$, $P<0.01$; $r=-0.821$, $P<0.01$; $r=-0.591$, $P<0.01$), 此外, pH 值也对甲烷产生潜力具有显著影响($r=0.513$, $P<0.05$)。甲烷产生潜力与枯落物碳质量比、氮质量比、氮磷比之间具有极显著正相关关系($r=0.784$, $P<0.01$; $r=0.702$, $P<0.01$; $r=0.603$, $P<0.01$),

碳氮比与甲烷产生潜力呈显著负相关关系($r=-0.533$, $P<0.05$)。

综上所述, 甲烷产生潜力与土壤和枯落物氮质量比均呈现极显著正相关, 与碳氮比呈负相关, 可见氮质量比和碳氮比对台风影响下的甲烷产生潜力具有良好的指示作用。

3 结论

台风的发生提高了芦苇湿地土壤甲烷产生潜力, 其影响具有一定的持续性; 花枯落物输入与根、茎、叶枯落物输入后芦苇湿地土壤甲烷产生潜力差异极显著($P<0.01$); 台风造成的水分和底物的输入改变了芦苇湿地土壤甲烷产生潜力原有的垂直变化模式。

参考文献:

- [1] Bartlett K B, Harris R C. Review and assessment of methane emissions form wetlands[J]. Chemosphere, 1993, 26: 261-320.
- [2] Chmura G L, Anisfeld S C, Cahoon D R, et al. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2003, 17: 1111-1120.
- [3] Chasar L S, Chanton J P. Radiocarbon and stable carbon isotopic evidence for transport and transformation of dissolved organic carbon, dissolved inorganic carbon and CH_4 in a northern Minnesota peatland[J]. Global Biogeochemical Cycle, 2000, 14: 1095-1108.
- [4] Dunfield P, Knowles R, Dumont R, et al. Methane production and consumption in temperate and subarctic peat soils: response to temperature and pH[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25: 321-326.
- [5] 丁维新, 蔡祖聪. 沼泽甲烷排放及其主要影响因素[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 619-625.
- [6] Achtnich C, Bak F, Conrad R. Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulphate reducers and methanogens in anoxic paddy soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 1995, 19: 65-72.
- [7] 郑彩红, 曾从盛, 陈志强, 等. 闽江河口区湿地景观格局演变研究[J]. 湿地科学, 2006, 4(1): 29-34.
- [8] 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: 331-334.
- [9] 张林海, 曾从盛, 全川. 闽江河口湿地芦苇和互花米

- 草生物量季节动态研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(2): 25-33.
- [10] Wassmann R, Neue H U, Bueno C, et al. Methane production capacities of different rice soil derived from inherent and exogenous substrates[J]. Plant and Soil, 1998, 203: 227-237.
- [11] Sorrell B, Brix H, Schierup H, et al. Die-back of *Phragmites australis*: influence on the distribution and rate of sediment methanogenesis[J]. Biogeochemistry, 1997, 36: 173-188.

Effects of typhoon on methane production potential from the Minjiang River Estuary wetland soil

WANG Wei-qi¹, WANG Chun²

(1. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Fuzhou Jinqiao Senior Middle School, Fuzhou 350004, China)

Received: Mar., 25, 2010

Key words: *Phragmites australis* wetland; methane production potential; typhoon; the Minjiang River Estuary

Abstract: It is very important to clarify the effect of typhoon on wetland soil methane production in the research of global climate change. Methane production potential (J) from *Phragmites australis* wetland soil was measured under the effect of typhoon in the Minjiang River Estuary using the anaerobic incubation measurement method. The whole course of methane production potential variation was consisted of increment, decline, stabilization, and decline. There was significant difference of methane production potential between flower adding and the adding of root, stem, or leaf litters ($P < 0.01$). The order of methane production potential at various soil layers after typhoon were $J_{5-10} > J_{0-5} > J_{10-15} > J_{15-20} > J_{20-25} > J_{25-30}$. Typhoon significantly enhanced the methane production potential.

(本文编辑: 刘珊珊)