

杭州湾滨海湿地 CH₄ 排放通量的研究^①

王 蒙, 吴 明*, 邵学新, 盛宣才

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 国家林业局杭州湾湿地生态系统定位观测研究站, 浙江富阳 311400)

摘 要: 2013 年 4—9 月, 利用静态明箱-气相色谱法对杭州湾裸滩湿地、海三棱藨草湿地、芦苇湿地和互花米草湿地 CH₄ 排放通量进行了原位观测, 并利用室内厌氧培养法测定了 0~30 cm 深度的土壤 CH₄ 产生潜力。结果表明: 整体而言, 裸滩湿地表现为 CH₄ 的吸收源, CH₄ 排放通量春季高、夏季低; 海三棱藨草湿地、芦苇湿地和互花米草湿地表现为 CH₄ 的排放源, CH₄ 排放通量均呈现夏季高、春秋季节低的变化。平均 CH₄ 排放通量表现为: 互花米草湿地(1.589 mg/(m²·h))>芦苇湿地(0.722 mg/(m²·h))>海三棱藨草湿地(0.218 mg/(m²·h))>裸滩湿地(-0.068 mg/(m²·h)), 互花米草湿地各月 CH₄ 排放通量均显著高于其他湿地。0~30 cm 深度平均土壤 CH₄ 产生潜力表现为: 互花米草湿地(0.050 μg/(g·d))>芦苇湿地(0.042 μg/(g·d))>裸滩湿地(0.030 μg/(g·d))>海三棱藨草湿地(0.027 μg/(g·d)), 互花米草湿地各土层 CH₄ 产生潜力显著高于其他湿地(除 0~5 cm 外)。裸滩湿地土壤 CH₄ 产生潜力没有明显的空间垂直变化趋势, CH₄ 产生潜力最大值、最小值分别出现在 10~20 cm 和 5~10 cm 土层。其他 3 类湿地 0~5 cm 土层的 CH₄ 产生潜力最大, 土壤 CH₄ 产生潜力整体上随着土壤深度的增加而减小; 海三棱藨草湿地和芦苇湿地 5~10 cm 土层的 CH₄ 产生潜力最小, 互花米草湿地 20~30 cm 土层的 CH₄ 产生潜力最小。土壤 pH、有机碳和全氮含量对 CH₄ 排放通量有显著的影响。

关键词: 杭州湾湿地; CH₄ 排放通量; CH₄ 产生潜力; 土壤

中图分类号: Q149

CH₄ 是大气中增温作用仅次于 CO₂ 的第二大温室气体, 增温潜势为 CO₂ 的 21 倍^[1], 对全球变暖具有重要意义。湿地是 CH₄ 排放的主要来源, 大约占全球 CH₄ 排放量的 24.8%^[2], 其中, 自然湿地 CH₄ 排放量达到全球总 CH₄ 排放量的 21%^[3]。

近年来, 国外对湿地 CH₄ 排放的研究成果较多, 主要包括泥炭地^[4-6]、水稻田^[7]、淡水沼泽^[8]和红树林沼泽^[9]等湿地类型。国内对 CH₄ 排放的研究主要集中在人工湿地——水稻田上^[10], 对天然湿地的研究主要集中于三江平原沼泽湿地^[11]、闽江口湿地^[12]和南方红树林沼泽^[13]等。杭州湾湿地作为中国滨海湿地南北的分界线, 地处泥质型滨海湿地与岩质型滨海湿地的过渡地带, 具有一定的独特性, 但在湿地 CH₄ 排放方面的研究还很欠缺, 因此有必要在杭州湾滨海湿地开展这方面的研究。本文通过对杭州湾滨海湿地不同植被类型 CH₄ 排放通量及其影响因素和土壤 CH₄ 产生潜力的研究, 以期填补杭州湾滨海湿地在 CH₄ 产生和排放方面的研究空白, 为评估人为干扰和

气候变化对杭州湾滨海湿地的影响提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况及样点布设

杭州湾位于浙江省东部, 西接钱塘江, 东至东海, 呈喇叭口形状, 属河口海湾。气候为北亚热带季风气候, 四季分明, 年均气温 16℃, 年均降水量 1 273 mm, 日照 2 038 h, 无霜期 244 天。潮汐属不规则半日潮, 湿地主要土壤类型为盐土类的滨海盐土亚类。研究区设在杭州湾南岸慈溪三北滩涂湿地国家林业局杭州湾湿地定位观测研究站以西(图 1), 试验样区面积约为 12 km², 地理坐标为 30°17'~30°19' N、121°5'~121°7'E。

2013 年 4—9 月, 根据资料收集和现场勘察, 在研究区无植被生长的淤泥质裸滩((bare mudflat, BM)、海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*, SM)生长区、芦苇(*Phragmites australis*, PA)生长区和互花米草(*Spartina alterniflora*, SA)生长区等 4 种典型生境类型布设样

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201404210)、国家自然科学基金项目(31000296)和“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAC13B02-2)资助。

* 通讯作者(hangzhoubay@126.com)

作者简介: 王蒙(1988—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事湿地生态学研究。E-mail: wangmngwm0416@126.com

地。每处样地随机设置 3 个样方,每个样方内布设 1 个通量观测点,每个观测点放置一个采样箱,各采样箱之间的距离不超过 25 m。每个样地植被生长面积较大、植被长势基本一致。海三棱藨草、芦苇和互花米草的平均盖度分别为 53%、80%、82%,平均高度分别为 0.3、1.9、2.35 m,地上生物量分别为 460.23、4 237、3 786.43 g/m²。

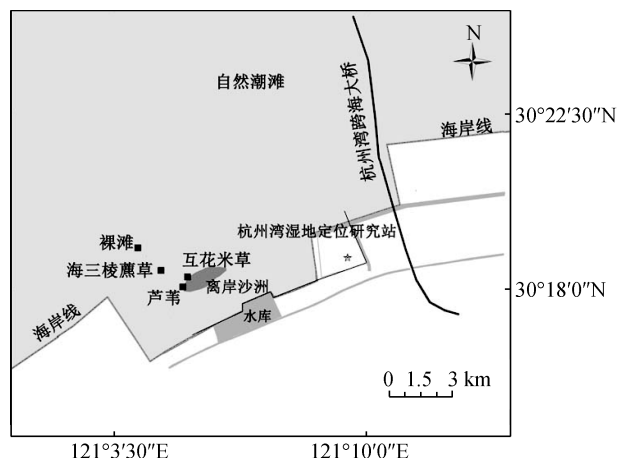


图 1 研究区地理位置
Fig. 1 Location of the study area

1.2 样品采集与分析

1.2.1 样品采集 采用静态明箱-气相色谱法采集 CH₄ 气体。静态明箱由顶箱、中箱和底座组成(中箱在植株高于 1 m 时使用)。顶箱和中箱均由 5 mm 厚的有机玻璃制成,长、宽、高分别为 0.5、0.5、1 m。顶箱上部分别安装一台小风扇和一支水银温度计以混匀箱内气体和测量箱内温度。顶箱和中箱侧壁 1/2 高处各有一个采气孔,接有采样管和三通阀,三通阀与采样袋(铝箔气袋,0.5 L,采样前抽真空)相接。底座为不锈钢材料,长、宽、高分别为 0.5、0.5、0.2 m,各侧壁距地表 15 cm 以下均匀分布 3 行直径 1 cm 左右的圆孔,以利于水分、养分和土壤生物的侧向交流。中箱和底座上端四周均有深 3 cm、宽 2 cm 的水槽,实验时往水槽里加水以防止箱体的接触处漏气。底座在整个观测期间固定在采样点。在采样日当天上午完成气体的采集。每个观测点罩箱 30 min,罩箱后立即采集第 1 个气样,之后每隔 10 min 采集 1 次,30 min 内共采集 4 个气体样品,同时记录 5 cm 和 10 cm 处的土壤温度。

通量观测的同时,在各样地内分别以 10 cm 为间隔采取 0~30 cm 的柱状土壤样品,每处样地 3 个土壤重复样品。土样于阴凉通风处风干、过筛,用于测定土壤理化性质。用铝盒以 10 cm 为间隔采取 0~30 cm 深度的鲜土样,带回实验室测定土壤含水

量。用于 CH₄ 产生潜力实验的土样取自 2013 年 9 月,以 0~5、5~10、10~20、20~30 cm 进行分层,每层 3 个重复,土样采集后于 4℃ 冰箱冷藏备用。

1.2.2 CH₄ 产生潜力的培养实验 采用厌氧培养法^[14]测定土壤 CH₄ 产生潜力。称取相当于 10 g 干土的鲜土,置于 150 ml 广口瓶中,水土比为 2.5:1,充分搅拌成泥浆状。用橡胶塞塞住瓶口,橡胶塞中间打一小孔,将套有硅橡胶软管的玻璃管插入孔中作为气体取样口。所有接口处均用 704 胶密封。所有培养瓶抽真空 15~20 min,随后向瓶内充氮气,平衡 3~5 min,如此重复 3 次,以形成充分的厌氧环境,然后密封抽气口。最后将培养样品置于 25℃ 恒温培养箱中,于无光照条件下连续培养 6 天。每个样品 3 个重复。第一次采气于培养后一天进行,以后每天用微型注射器抽取培养瓶上部空间 1 ml 的气体进行浓度分析。

1.2.3 样品分析及测定 野外采集的 CH₄ 气体采用 Agilent 6820 气相色谱仪检测,甲烷检测器为 FID,载气为 N₂,流速为 30 ml/min,燃气为 H₂,流速为 30 ml/min,助燃气为空气,流速为 400 ml/min,检测器温度为 200℃,分离柱温度为 55℃。室内厌氧培养产生的 CH₄ 气体采用配置 FID 检测器的 Agilent 7890 进行测定,色谱柱为 80/100 目 porapak Q 填充柱,柱长为 2 m。载气为 N₂,流速为 40 ml/min;燃气为 H₂,流速为 40 ml/min;助燃气为空气,流速为 400 ml/min,柱温为 55℃,检测器温度为 250℃。

土壤 pH 和电导率分别使用 pH 计和电导率仪在水土比 5:1 的条件下进行测定^[15]。土壤有机碳和全氮分别采用重铬酸钾容量法和半微量开氏法测定,土壤含水量采用烘干法测定。土壤理化性质见表 1。

1.2.4 计算方法 CH₄ 排放通量的计算公式^[16]为:

$$F = \frac{M}{V} \frac{dc}{dt} H \frac{273}{273+T} \quad (1)$$

式中: F 为 CH₄ 排放通量(mg/(m²·h)); M 为 CH₄ 的摩尔质量(g); V 为标准状态下 1 mol CH₄ 的体积(L); $\frac{dc}{dt}$ 为采样期间静态箱内 CH₄ 的浓度变化率; H 为静态箱高度(m); T 为静态箱内的平均温度(℃)。

土壤 CH₄ 产生潜力的计算公式^[7]为:

$$P = \frac{dc}{dt} \frac{V_H}{W_S} \frac{MW}{MV} \frac{T_{st}}{(T_{st}+T)} \quad (2)$$

式中: P 为土壤 CH₄ 产生潜力(μg/(g(干重)·d)); $\frac{dc}{dt}$ 为培养瓶内气相 CH₄ 浓度单位时间的变化(mg/(g·d)); V_H 为培养瓶内上部空间体积(L); W_S 为干土重(g);

表 1 杭州湾湿地土壤基本理化性质
Table 1 Soil basic physical and chemical properties in Hangzhou Bay wetland

样地	土壤层次(cm)	土壤 pH	电导率(mS/cm)	土壤含水量(g/kg)	土壤有机碳(g/kg)	土壤全氮(g/kg)
BM	0~10	8.89±0.10 a	1.70±0.38 a	483.0±13.4 a	6.52±1.03 b	0.53±0.06 b
	10~20	9.01±0.13 a	1.33±0.42 a	479.2±5.44 a	6.44±1.42 ab	0.49±0.07 b
	20~30	8.96±0.10 a	1.33±0.18 a	490.5±7.75 a	6.44±1.35 ab	0.52±0.10 b
SM	0~10	8.77±0.09 ab	1.97±0.45 a	407.5±64.4 a	5.97±0.78 b	0.51±0.07 b
	10~20	8.89±0.09 a	1.61±0.45 a	376.3±30.0 a	5.79±1.04 ab	0.47±0.09 b
	20~30	8.89±0.11 ab	1.51±0.42 a	386.0±21.1 b	5.22±0.87 b	0.46±0.08 b
PA	0~10	8.87±0.19 a	1.61±0.59 a	388.1±32.5 a	5.89±0.97 b	0.51±0.03 b
	10~20	9.00±0.13 a	1.20±0.34 a	382.6±49.9 a	5.34±0.85 b	0.48±0.04 b
	20~30	9.00±0.13 a	1.10±0.28 a	380.6±38.8 b	5.62±0.97 ab	0.50±0.07 b
SA	0~10	8.69±0.08 b	1.74±0.68 a	500.0±65.2 a	7.95±0.98 a	0.72±0.10 a
	10~20	8.75±0.08 b	1.35±0.49 a	437.7±29.3 ab	6.91±1.07 a	0.65±0.08 a
	20~30	8.77±0.07 b	1.35±0.41 a	492.8±57.1 a	6.94±1.18 a	0.65±0.09 a

注：表中同列数据后不同小写字母表示同一土层不同植被类型间差异在 $P<0.05$ 水平显著。

MW 为 CH_4 的分子量(g); MV 为标准状态下 1 mol 气体的体积(L); T 为培养温度($^{\circ}\text{C}$), T_{st} 为标准温度(K)。

1.3 数据处理

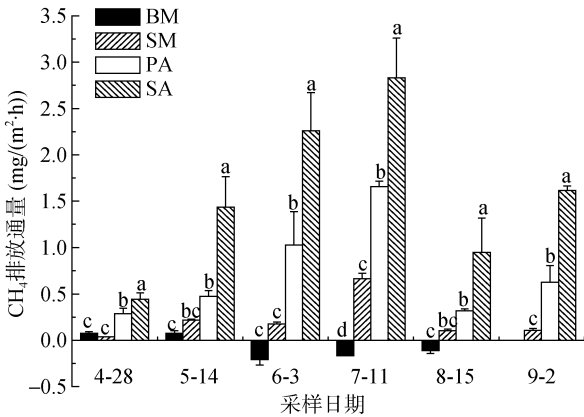
采用 Excel 软件和 SPSS18.0 软件对数据进行处理和统计分析,采用单因素方差分析和 LSD 法进行差异显著性检验($P<0.05$),采用 Pearson 法进行相关性分析。

2 结果

2.1 CH₄ 排放通量的季节变化

各类湿地 CH_4 排放通量的季节变化如图 2 所示。BM 湿地整体上表现为 CH_4 的“汇”, CH_4 排放通量为 $-0.209 \sim 0.075 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 平均值为 $-0.068 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, CH_4 排放通量 4 月最大, 6 月最小。SM 湿地表现为 CH_4 的排放源, CH_4 排放通量为 $0.039 \sim 0.663 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 平均值为 $0.218 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, CH_4 排放通量 4 月最小, 7 月最大; CH_4 排放通量的季节变化为: 夏季>春季>秋季。PA 湿地表现为 CH_4 的排放源, CH_4 排放通量为 $0.286 \sim 1.658 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 平均值为 $0.722 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, CH_4 排放通量 4 月最小, 7 月最大; CH_4 排放通量的季节变化为: 夏季>秋季>春季。SA 湿地表现为 CH_4 的排放源, CH_4 排放通量为 $0.444 \sim 2.831 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 平均值为 $1.589 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 其各月 CH_4 排放通量均显著高于其他湿地, CH_4 排放通量 4 月最小, 7 月最大; CH_4 排放通量的季节变化为: 夏季>秋季>春季。

观测期间, 平均 CH_4 排放通量表现为: SA 湿地>PA 湿地>SM 湿地>BM 湿地, 4 类湿地 CH_4 排放通量之间差异显著($P<0.05$)。除 4 月和 6 月外, 4 类湿地各



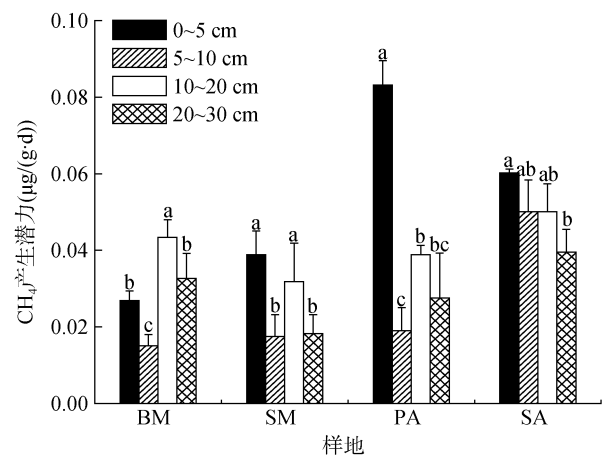
(图中不同小写字母表示同一采样时间不同湿地 CH_4 排放通量差异显著($P<0.05$))

图 2 杭州湾湿地 CH_4 排放通量的季节变化
Fig. 2 Seasonal variations of CH_4 emission fluxes in Hangzhou Bay wetland

月 CH_4 排放通量差异显著($P<0.05$)。

2.2 土壤 CH₄ 产生潜力

图 3 为不同植被类型下的土壤 CH_4 产生潜力。由图 3 可知, BM 湿地 10~20 cm 土层的 CH_4 产生潜力最大, 为 $0.043 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 5~10 cm 土层最小, 为 $0.015 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 平均值为 $0.030 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{d})$; 10~20 cm 土层 CH_4 产生潜力与其他土层差异显著, 0~5 cm 与 20~30 cm 土层 CH_4 产生潜力差异不显著, 但都与 5~10 cm 土层 CH_4 产生潜力差异显著。SM 湿地和 PA 湿地土壤 CH_4 产生潜力最大值均出现在 0~5 cm 土层, 分别为 0.039 、 $0.083 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 最小值均出现在 5~10 cm 土层, 分别为 0.018 、 $0.019 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 平均值分别为 0.027 、 $0.042 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{d})$ 。SM 湿地 0~5 cm 与 10~20 cm 土层、5~10 cm 与 20~30 cm 土层间 CH_4



(图中不同小写字母表示同一湿地不同土层之间 CH₄ 产生潜力差异显著($P<0.05$))

图 3 杭州湾湿地不同植被类型下的土壤 CH₄ 产生潜力
Fig. 3 CH₄ production potentials of soil under different vegetation types in Hangzhou Bay wetland

产生潜力差异不显著,其他各土层间差异显著;PA 湿地各土层间的 CH₄ 产生潜力具有显著差异。SA 湿地土壤 CH₄ 产生潜力最大值和最小值分别出现在 0~5 cm 和 20~30 cm 土层,分别为 0.060、0.040 μg/(g·d),

平均值为 0.050 μg/(g·d);5~10 cm 与 10~20 cm 土层间差异不显著,但都与其他土层间差异显著。SA 湿地除 0~5 cm 土层外的其他各土层 CH₄ 产生潜力均显著高于其他湿地。

平均 CH₄ 产生潜力表现为:SA 湿地>PA 湿地>BM 湿地>SM 湿地。BM 湿地和 SM 湿地之间无显著差异,但都与 PA 湿地和 SA 湿地间差异显著($P<0.05$)。整体上,有植被生长的 SM 湿地、PA 湿地和 SA 湿地土壤 CH₄ 产生潜力随着土壤深度的增加而减小,而 BM 湿地土壤 CH₄ 产生潜力由表层至底层没有明显的变化趋势。

2.3 杭州湾湿地环境因子与 CH₄ 排放通量的相关性分析

由表 2 可知,土壤 pH 与 CH₄ 排放通量呈显著的负相关($P<0.05$),土壤有机碳和全氮含量分别与 CH₄ 排放通量呈显著的正相关($P<0.05$)和极显著的正相关关系($P<0.01$),土壤含水量和电导率均与 CH₄ 排放通量呈正相关,5、10 cm 地温与 CH₄ 排放通量相关性不明显。

表 2 CH₄ 排放通量与环境因子的相关关系
Table 2 Correlations between CH₄ emission flux and environment factors

	CH ₄ 排放通量	pH	电导率	土壤含水量	土壤有机碳	土壤全氮	5 cm 地温	10 cm 地温
CH ₄ 排放通量	1							
pH	-0.454*	1						
电导率	0.348	-0.551*	1					
土壤含水量	0.177	-0.190	0.162	1				
土壤有机碳	0.415*	-0.373	-0.098	0.545**	1			
土壤全氮	0.548**	-0.389	-0.025	0.524*	0.788**	1		
5 cm 地温	0.015	-0.320	0.348	0.054	-0.037	0.020	1	
10 cm 地温	0.043	-0.366	0.463*	0.057	-0.078	-0.061	0.956**	1

注:* 表示在 $P<0.05$ 水平显著相关,** 表示 $P<0.01$ 水平极显著相关。

3 讨论

3.1 CH₄ 排放通量的季节变化

本研究中,SM 湿地、PA 湿地和 SA 湿地的 CH₄ 排放通量均表现为夏季高,春秋季节低,这与以往的研究结果基本一致^[12,17-18]。土壤温度对湿地 CH₄ 产生和排放有重要影响,它通过直接影响 CH₄ 产生过程微生物菌群的数量、结构和活性来影响 CH₄ 的产生^[19]。湿地 CH₄ 主要通过土壤-水-植物体系向大气进行传输^[20],植物传输是植物生长区域 CH₄ 传输的主要形式^[21],土壤温度影响植物对 CH₄ 的传输^[22]。SM 湿地、PA 湿地和 SA 湿地 CH₄ 排放通量夏季高可能是因为夏季较高的温度可以加速土壤中有

机质分解和微生物活性,促进 CH₄ 的排放^[23-24]。同时,植物光合作用旺盛,通气组织发育成熟,气体“通道”较多,且植物对 CH₄ 传输的阻力较低^[25],利于 CH₄ 向大气中的排放,即夏季,植物可以为 CH₄ 的产生和排放提供更多的底物和传输通道^[17]。春秋季节 CH₄ 排放通量低可能是因为春秋季节气温和土壤温度均较低,低温抑制产 CH₄ 菌的活性^[12],不利于 CH₄ 的产生。且春季植物光合作用较弱,通气组织尚未发育成熟且数量相对较少,CH₄ 主要通过气泡传输和液相扩散释放到大气中^[26],其传输速率和 CH₄ 传输量明显低于气体通过植物的传输^[26-27];秋季植物地上部分枯萎凋落,传输通道减少,植物对 CH₄ 的传输阻力也增强^[25],不利于 CH₄ 的排放。BM 湿地 CH₄ 主

要来自沉积物中发生的生物地球化学反应^[28]。BM 湿地 CH_4 排放通量春季高、夏季低的原因可能是夏季土壤温度较高,土壤中各种微生物活性都较强,土壤有机碳大量被非 CH_4 产生途径的微生物分解利用,产 CH_4 菌可利用的底物少, CH_4 的产生少,且土壤水分含量高,产生的 CH_4 在通过土壤-水释放到大气的过程中受到的阻力较大,并在排放的过程中被全部氧化;春季温度较低,产 CH_4 菌的活性相比其他微生物较强,对有机碳的分解利用能力相对较强,利于 CH_4 的产生,且春季土壤表层的水分含量低, CH_4 排放受到的阻力小,产生的 CH_4 很快排放到大气中,而不至于被全部氧化,从而表现出 CH_4 的排放。

3.2 不同植被类型湿地的 CH_4 排放通量

本研究中,平均 CH_4 排放通量表现为 SA 湿地>PA 湿地>SM 湿地>BM 湿地,这可能与不同植物间通气组织、根系结构及植被影响下土壤有机碳含量等的差异有关。

植物在 CH_4 排放过程中起着提供底物、传输 CH_4 及氧气的作用^[29]。PA 和 SA 湿地根系发达,根系分泌物和脱落物较多,可以刺激有机碳的分解,为 CH_4 产生提供更多的底物^[30]。且 PA 和 SA 湿地生长比较旺盛,通气组织发达,植物对 CH_4 的传输作用较强,利于 CH_4 的排放。SM 湿地地下根系分布较浅,根系分泌物较少,不利于 CH_4 的大量产生,且植株地上部分矮小,缺少发达的通气组织,对 CH_4 的传输能力较弱,使得 CH_4 排放通量较小。土壤有机碳及其矿化产物土壤氮可以为 CH_4 产生提供底物和能量来源^[31],促进 CH_4 的产生。本研究中,土壤有机碳和全氮与 CH_4 排放通量有显著的正相关。BM 湿地受潮水的影响较大,土壤环境条件比较复杂,产 CH_4 菌对有机碳的利用率较低或土壤有机碳对 CH_4 产生的影响被其他因素所掩盖,且 CH_4 主要通过土壤-水排放到大气中,在此过程中易被氧化,从而使得具有较高有机碳和全氮含量的 BM 湿地的 CH_4 排放通量较小。PA、SA 植株生长特性和土壤性质没有明显差异,土壤有机碳和全氮含量的差异可能是造成两者 CH_4 排放通量不同的主要原因。

3.3 不同土壤层次的 CH_4 产生潜力

土壤中的 CH_4 是在严格的厌氧条件下,由产 CH_4 菌作用于产 CH_4 底物的结果。充足的底物供应和适宜的生长环境是 CH_4 形成的先决条件^[29]。本研究中,植被生长下的 3 类湿地 0~5 cm 土层的 CH_4 产生潜力最大,可能是因为 0~5 cm 土层含有较丰富的产 CH_4 底物。由于采样时间为 9 月,植物地上部分开始枯萎、凋落,部分枯落物落入地表后,

在潮水的作用下,枯落物中的可溶性成分可在短期内快速淋溶到土壤表层,其他成分经过较长时间也可以逐渐释放并残留在土壤表层,在土壤微生物的作用下转化为产 CH_4 前体,为高 CH_4 产生潜力提供了物质条件^[32]。BM 湿地无植被覆盖,受潮水的冲刷作用,土壤中产 CH_4 菌可利用的有效形态易被潮水带走或被淋失到深层土壤中^[33],导致表层土壤产 CH_4 基质较少,从而使得 BM 湿地表层土壤 CH_4 产生潜力低于其他土层,这可能也是 BM 湿地表层土壤 CH_4 产生潜力低于其他湿地的原因。关于土壤 CH_4 产生潜力的主要层次,目前的研究结论基本一致。Dasselaar 和 Oenema^[4]的研究表明,0~5 cm 土层深度产生的 CH_4 占总量的 70%, CH_4 产生能力随着土壤深度的增加而大大降低。Avery 等^[34]认为 0~10 cm 是 CH_4 产生的主要发生层。Bergman 等^[5]研究进一步发现 5~10 cm 土层 CH_4 产生活性较强。本研究与前人的研究结果基本一致。

4 结论

观测期间,杭州湾 4 类湿地 CH_4 通量具有不同的排放规律。整体上,裸滩湿地为 CH_4 的“汇”。海三棱藨草湿地、芦苇湿地和互花米草湿地为 CH_4 的“源”。平均 CH_4 排放通量为互花米草湿地>芦苇湿地>海三棱藨草湿地>裸滩湿地。土壤 pH、全氮含量、温度和有机碳含量对湿地 CH_4 排放通量有重要影响。0~30 cm 深度平均土壤 CH_4 产生潜力表现为:互花米草湿地>芦苇湿地>裸滩湿地>海三棱藨草湿地。植被生长下 CH_4 产生潜力整体上随着土壤深度的增加而减小。无植被生长的裸滩湿地土壤 CH_4 产生潜力随土壤深度的增加没有明显的变化趋势。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[M]. New York: Cambridge University Press, 2007
- [2] Kapoor D. Sources and Sinks of Methane: Future Concentrations and Impact on Global Warming(Master's thesis)[D]. Oakland: University of Pittsburgh, 2005
- [3] Bartlett KB, Harriss RC. Review and assessment of methane emissions from wetland[J]. Chemosphere, 1993, 26 (1/2/3/4): 261-320
- [4] Dasselaar A, Oenema O. Methane production and carbon mineralization of size and density fractions of peat soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(6): 877-886
- [5] Bergman I, Klarqvist M, Nilsson M. Seasonal variation in rates of methane production from peat of various botanical origins: Effects of temperature and substrate quality[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2000, 33(3): 181-189

- [6] Putkinen A, Juottonen H, Juutinen S, Tuittila ES, Fritze H, Yrjälä K. Archaeal rRNA diversity and methane production in deep boreal peat[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2009, 70(1): 87–98
- [7] Wassmann R, Neue HU, Bueno C, Lantin RS, Alberto MCR, Buendia LV, Bronson K, Papen H, Renenberg H. Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substrates[J]. Plant and Soil, 1998, 203(2): 227–237
- [8] Sutton-Grier AE, Megonigal JP. Plant species traits regulate methane production in freshwater wetland soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(2): 413–420
- [9] Gonsalves MJ, Fernandes CEG, Fernandes SO, Kirchman DL, Bharathi PAL. Effects of composition of labile organic matter on biogenic production of methane in the coastal sediments of the Arabian Sea[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 182(1/2/3/4): 385–395
- [10] 岳进, 梁巍, 吴杰, 史奕, 黄国宏. 黑土稻田 CH_4 和 N_2O 排放及减排措施研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2 015–2 018
- [11] 郝庆菊, 王跃思, 宋长春, 刘广仁, 王毅勇, 王明星. 三江平原湿地 CH_4 排放通量研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 194–199
- [12] 仝川, 曾从盛, 王维奇, 闫宗平, 杨红玉. 闽江河口芦苇潮汐湿地甲烷通量及主要影响因子[J]. 环境科学学报, 2009, 29(1): 207–216
- [13] 叶勇, 卢昌义, 林鹏. 海南岛和厦门红树林 CH_4 排放的时空变化[J]. 大气科学, 2000, 24(3): 152–156
- [14] Yuan JJ, Ding WX, Liu DY, Xiang J, Lin YX. Methane production potential and methanogenic archaea community dynamics along the *Spartina alterniflora* invasion chronosequence in a coastal salt marsh[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(4): 1817–1829
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 12–14
- [16] 王德宣, 丁维新, 王毅勇. 若尔盖高原与三江平原沼泽湿地 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
- [17] Duan XN, Wang XK, Mu Y, Ouyang ZY. Seasonal and diurnal variations in methane emissions from Wuliangsu Lake in arid regions of China[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(25): 4 479–4 487
- [18] 黄璞玮, 于洪贤, 柴龙会, 柴方营, 张万峰. 扎龙芦苇湿地生长季的甲烷排放通量[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1 219–1 224
- [19] Schimel JP, Gullledge J. Microbial community structure and global trace gases[J]. Global Change Biology, 1998, 4(7): 745–758
- [20] 陈槐, 周舜, 吴宁, 王艳芬, 罗鹏, 石福孙. 湿地甲烷的产生、氧化及排放通量研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 726–733
- [21] 段晓男, 王效科, 欧阳志云. 维管植物对自然湿地甲烷排放的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3 375–3 382
- [22] Ding WX, Cai ZC, Wang DX. Preliminary budget of methane emissions from natural wetlands in China [J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(5): 751–759
- [23] 丁维新, 蔡祖聪. 温度对甲烷产生和氧化的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 604–608
- [24] 李海防, 夏汉平, 熊燕梅. 土壤温室气体产生与排放影响因素研究进展[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1 781–1 788
- [25] Kohl JG, Henze R, Köhl H. Evaluation of the ventilation resistance to convective gas-flow in the rhizomes of natural reed beds of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud[J]. Aquatic Botany, 1996, 54(2/3): 199–210
- [26] Minoda T, Kimura M, Wada E. Photosynthates as dominant source of CH_4 and CO_2 in soil water and CH_4 emitted to the atmosphere from paddy fields[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1996, 101(D15): 21 091–21 097
- [27] Chanton JP, Whiting GJ, Showers WJ, Crill PM. Methane flux from *Peltandra virginica*: Stable isotope tracing and chamber effects[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1992, 6(1): 15–31
- [28] 汪青, 刘敏, 侯立军, 程书波. 崇明东滩湿地 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放的时空差异[J]. 地理研究, 2010, 29(5): 935–946
- [29] 丁维新. 沼泽湿地及其不同利用方式下甲烷排放机理研究(博士学位论文)[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2003
- [30] 丁维新, 蔡祖聪. 植物在 CH_4 产生、氧化和排放中的作用[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1 379–1 384
- [31] 徐华, 蔡祖聪, 八木一行. 水稻土 CH_4 产生潜力及其影响因素[J]. 土壤学报, 2008, 45(1): 98–104
- [32] 姜欢欢, 孙志高, 王玲玲, 孙万龙, 孙文广, 宋红丽. 黄河口潮滩湿地土壤甲烷产生潜力及其对有机物和氮输入响应的初步研究[J]. 湿地科学, 2012, 10(4): 451–458
- [33] 牟晓杰. 黄河口滨岸潮滩湿地系统氮生物循环特征与循环模式研究[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2010
- [34] Avery GB, Shannon RD, White JR, Martens CS, Alperin MJ. Controls on methane production in a tidal freshwater estuary and a peatland: Methane production via acetate fermentation and CO_2 reduction[J]. Biogeochemistry, 2003, 62(1): 19–37

Study on CH₄ Emission Fluxes in Hangzhou Bay Coastal Wetland

WANG Meng, WU Ming^{*}, SHAO Xue-xin, SHENG Xuan-cai

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Wetland Ecosystem Research Station of Hangzhou Bay, State Forestry Administration, Fuyang, Zhejiang 311400, China)

Abstract: CH₄ emission fluxes from communities of *Scirpus mariqueter*, *Phragmites australis*, *Spartina alterniflora* and bare mudflat in Hangzhou Bay coastal wetland were monitored *in situ* using the static chamber-gas chromatography method from April to September of 2013. CH₄ production potentials of the 0–30 cm soil depth from the wetlands were also measured by the indoor anaerobic incubation method. The results indicated that there were remarkable seasonal variations of CH₄ emission fluxes for all the studied wetlands during the observation period. Overall, the bare mudflat wetland was an absorption source of CH₄, and the CH₄ emission flux was higher in spring than that in summer. The other wetlands were emission sources of CH₄. The CH₄ emission flux was higher in summer than in spring and autumn in all the wetlands with vegetation. The average CH₄ emission flux was 1.589 mg/(m²·h) for the *S. alterniflora* wetland, 0.722 mg/(m²·h) for the *P. australis* wetland, 0.218 mg/(m²·h) for the *S. mariqueter* wetland and –0.068 mg/(m²·h) for the bare mudflat wetland. CH₄ emission flux was higher from the *S. alterniflora* wetland than any of the other wetlands in all the months. The average CH₄ production potential from 0–30 cm soil depth from all the studied wetlands was 0.050 μg/(g·d) for the *S. alterniflora* wetland, 0.042 μg/(g·d) for the *P. australis* wetland, 0.030 μg/(g·d) for the bare mudflat wetland and 0.027 μg/(g·d) for the *S. mariqueter* wetland. CH₄ production potential of soil from the *S. alterniflora* wetland was significantly higher than those of the other wetlands among all soil layers (except for 0–5 cm layer). In the bare mudflat wetland, the highest and lowest values of CH₄ production potential were found in the 10–20 cm and 5–10 cm soil layers, and no obvious spatial vertical changing trend was detected in all the soil layers. Generally, the CH₄ production potential in the three wetlands with vegetation decreased with soil layer depths with the largest value in the 0–5 cm soil layer. The lowest CH₄ production potential was found in the 20–30 cm soil layer for the *S. alterniflora* wetland, the 5–10 cm soil layer for the *P. australis* wetland and the *S. mariqueter* wetland. Soil pH, soil organic carbon and total nitrogen were the important factors affecting the CH₄ emission significantly in all of the wetlands studied.

Key words: Hangzhou Bay wetland, CH₄ emission flux, CH₄ production potential, Soil