

环境因素对芦苇湿地 CH₄ 排放的影响

黄国宏¹, 李玉祥², 陈冠雄¹, 杨玉成², 赵长伟² (1. 中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态系统痕量物质生态过程开放实验室, 沈阳 110015, Email: huanggh@iae.syb.ac.cn; 2. 双台河口国家级自然保护区管理处, 盘锦 124010)

摘要: 用封闭式箱法对辽河三角洲芦苇湿地温室气体 CH₄ 排放进行了长期观测. 结果表明, CH₄ 排放有明显的季节变化规律, 平均通量为 $520 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. 土壤产 CH₄ 活性主要发生在 0~5cm 土层中, 并随土层深度的增加而显著下降. CH₄ 排放受环境因素影响很大, 土壤氧化还原电位在 -110mV 时就有 CH₄ 排放, 其排放量随氧化还原电位的下降而增加. 另外, 随着淹水深度的增加, CH₄ 排放反而减少. 在测定期内, CH₄ 排放与温度呈明显的正相关 ($R^2 = 0.196$, $n = 21$, $P < 0.05$).

关键词: 环境因素; 芦苇湿地; CH₄ 排放

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)01-05-0001

Influence of Environmental Factors on CH₄ Emission from Reed Wetland

Huang Guohong¹, Li Yuxiang², Chen Guanxiong¹, Yang Yucheng², Zhao Changwei² (1. Open Laboratory of Ecological Process of Trace Substance in Terrestrial Ecosystem, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015, China Email: huanggh@iae.syb.ac.cn; 2. Management Bureau of Shuangtaihekou National Nature Reserve, Panjin 124010, China)

Abstract: Determination of CH₄ emission from reed wetland in Liaohe delta, China using closed chamber(enclosure area 0.64 m^2) technique showed that average emission rate of CH₄ was $520 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ with significant seasonal patterns. When soil redox potential reached -110mV, CH₄ occurred and increased with its decrease. CH₄ emission was also influenced by water management and reduced with deep water cover. During the period of measurement, there was positive relation between temperature and CH₄ flux ($R^2 = 0.196$, $n = 21$, $P < 0.05$). In addition, the experimental result also showed that the methanogenic activities in 0~5cm soil layer were higher and decreased obviously with soil deepening.

Key words: environmental factor; reed wetland; CH₄ emission

目前, 国内对人工湿地 CH₄ 排放及其区域估算已有许多报道^[1~3], 对自然湿地 CH₄ 排放研究报道尚少, 且主要是实验室的研究结果, 而对芦苇湿地 CH₄ 的产生过程及其影响因素研究鲜见报道. 原因主要是芦苇植株生长过高(一般超过 2m)及土壤淹水较深(>30cm), 从而给测定带来极大困难. 本文对我国辽河三角洲芦苇湿地生态系统 CH₄ 排放及其环境因素的影响进行了较深入研究, 其结果为减少 CH₄ 排放及湿地合理开发利用提供了科学依据.

1 材料和方法

1.1 试验地点及自然状况

辽河三角洲有世界第二大苇场, 其面积为 10 万 hm^2 . 本试验地点就选在该三角洲的赵圈河苇场内($40^\circ 52' \text{ N}$, $121^\circ 35' \text{ E}$), 全场总面积 22125 hm^2 , 其中有苇面积 14866 hm^2 . 年平均气温 9°C , 平均降雨量 625 mm , 无霜期 176 d . $4 \sim 9$ 月份 $>10^\circ \text{C}$ 积温 2335°C .

1.2 采气装置及分析测试

装置为 $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} \times 150 \text{ cm}$ (或 $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} \times 250 \text{ cm}$) 4 面和顶部封闭的有机玻璃箱

基金项目: 国家自然科学基金重点基金资助项目(49631040)
作者简介: 黄国宏(1959~), 男, 博士, 研究员, 主要从事全球环境变化研究.
收稿日期: 2000-03-06

构成,顶部有 1 电扇和 1 个采气孔,底部开口罩在底座上,底座用不锈钢板制作而成,4 周有水槽,插入地下 20cm,实验时往槽里浇上水(无水层时)以防止箱子和底座的接触处漏气,试验过程中同时记录气温、地温、水温、Eh 及水深等数据,气体采回后,用日本岛津公司生产的 GC-14B 型气相色谱(氢焰检测器,气化室温度 100℃,柱温 100℃,检测器温度 200℃,纯 N₂ 为载气,标气由国家标准物质研究中心提供)测定 CH₄ 含量。

1.3 土壤产甲烷活性测定

10g 采自芦苇根际或不同深层的新鲜土壤,置于 80ml 瓶中,密封并用 N₂ 置换瓶中原有的空气,35℃ 黑暗培养 1d,测定气相中 CH₄ 形成量,同时测定瓶中土壤含水量。

2 结果与讨论

2.1 CH₄ 排放季节变化

图 1 表明,芦苇湿地 CH₄ 排放有明显的季节变化规律。淹水前,由于气候干燥,土壤含水量低,缺乏嫌气条件,土壤是大气 CH₄ 的汇,即吸收 CH₄。淹水后并随着淹水期的延长以及气温不断升高,芦苇植株生长发育旺盛,CH₄ 排放

量也逐渐加大,出现多个排放高峰并一直持续到 10 月底(图 1)。这期间也是 CH₄ 的主要排放期,通量为 426 ~ 2734 μg·m⁻²·h⁻¹。随后 CH₄ 排放明显减少直至到零排放。原因是土壤积水较少,温度低,限制了甲烷菌的活动。从全年排放规律上看,芦苇地与东北水稻田 CH₄ 排放的季节变化规律相似,但排放量却低于水稻田^[3],其原因在于稻田每年施用有机肥而芦苇地的 CH₄ 产生主要靠死亡后的芦苇残体在嫌气环境下经厌氧水解细菌和产氢产乙酸细菌的分解后形成 CH₄ 的前体物质 H₂/CO₂、乙酸等简单无机和有机碳化合物,再由产甲烷细菌转化而成。因此,芦苇地 CH₄ 产生及排放的季节变化就与芦苇植株在土壤中的残留量以及活根系的生长状况密切相关。测定结果表明,芦苇残体在嫌气条件下经微生物作用会缓慢分解,形成褐黑色腐殖层(含有机质 3% ~ 6%)^[4]。另外,土壤中 CH₄ 的产生还会受到芦苇植株光合作用的影响,进而影响到根系向土壤中分泌有机酸、糖、氨基酸等有机物质。有报道指出,死根及根分泌物能增强植物排放 CH₄^[5]。因此,以上这些过程都将促进土壤中 CH₄ 的形成及向大气中的排放,其促进程度随季节变化而变化。

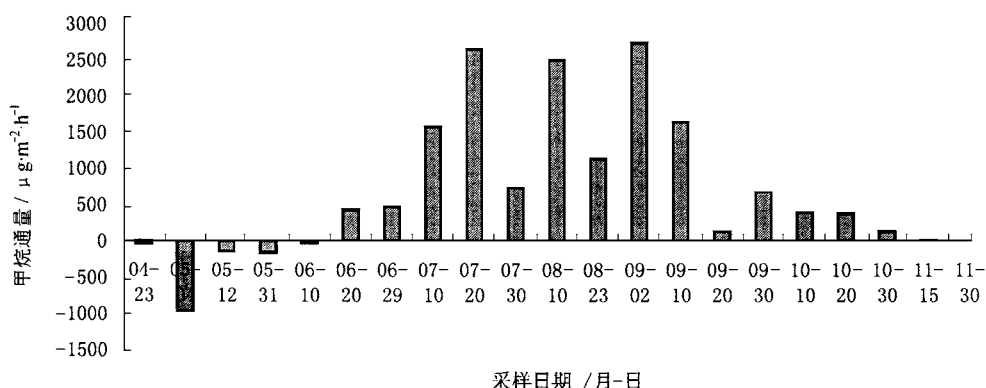


图 1 芦苇湿地 CH₄ 排放季节变化

Fig. 1 Seasonal patterns of methane emission from reed wetland

2.2 不同土层的产甲烷活性

产甲烷细菌是一类形态多样且具有特殊细胞成分的严格厌氧菌,位于自然界碳循环厌氧

食物链的末端,因而它的存活环境直接影响到 CH₄ 产生率。研究结果表明^[6],土壤 Eh 低于 -150 ~ -200 mV 时,产甲烷菌才能将土壤有机

质转化为甲烷.因此,土壤淹水是甲烷产生的必要条件之一.从图 2 中可以看出,根际土壤产甲烷活性最高.这主要是由于该土壤中有较多的基质提供给产甲烷菌的原故.另外产甲烷细菌除了存在于根际土壤,它还存在于植株根系表面,而靠近根基的根系部分上各种产甲烷微生物的数量明显高于根尖部分^[7].对不同土层的产甲烷活性研究结果表明(图 2),芦苇湿地的 CH_4 产生主要是在 0 ~ 5 cm 土层中,这与上官行健^[7]及 Dave 等^[6]在水稻田的研究结果相似.该层土壤产甲烷活性较高的原因是,土壤表面本身就存在腐殖层,再加上芦苇凋落物和死根以及根分泌物也都主要存在于土壤近表层,因此淹水后经微生物分解而容易形成 CH_4 .已有报道指出,许多湿地的近表层有最大的 CH_4 产生速率^[9].不同土层产甲烷活性的差别与该

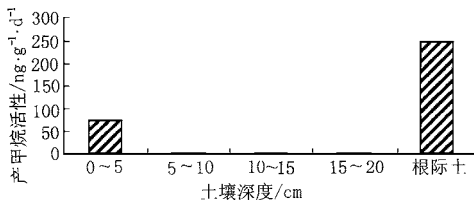


图 2 不同深层土壤产甲烷活性

Fig. 2 Methanogenic activities of different soil layer

层产甲烷菌、甲烷氧化菌的数量与活性.芦苇田有机物状况以及植株根的分泌物及氧化能力有直接的关系.但近年来由于芦苇的枯枝落叶被用作薪柴取走,减少了苇田的有机肥源,造成速效养分缺乏.为增加芦苇产量,苇田也开始施尿素,施肥量大约在 225 ~ 300 kg/hm² 尿素,可增产芦苇 1500 ~ 2250 kg.而氨态氮肥的施入,不仅能为产甲烷菌提供营养而且在土壤表层对甲烷氧化有抑制作用^[10],从而也能增强 CH_4 向大气中的排放.这也许是近表层土壤产甲烷活性较高的另一原因.

2.3 温度对 CH_4 排放的影响

温度对土壤微生物活性和 CH_4 产生都有重要影响.它主要是制约有机质的分解、调节参与 CH_4 形成的微生物活性,同时对 CH_4 的再氧

化起着至关重要的作用.一些研究结果表明,甲烷排放变化与温度变化密切相关^[11].Schutz 发现,在不同时期, CH_4 排放日变化与稳定深层的土壤温度有较好的相关,然而在不同时期与甲烷排放率相关的温度却发生在不同的深度.但是,甲烷排放率的季节变化则与土壤温度相关性较差^[12]或没有明显的相关关系.本研究结果表明(图 3), CH_4 排放与温度季节变化呈显著的正相关($R^2 = 0.196$, $n = 21$, $P < 0.05$).随着温度升高,不仅能促进芦苇植株生长,加速 CH_4 向大气排放,而且也增强了土壤微生物活性,使土壤中的氧消耗加快,氧化还原电位下降,有利于产甲烷细菌的生长及 CH_4 产生量的增加.但是,由于影响 CH_4 产生及排放的因素比较复杂,也许某些因素限制 CH_4 产生后,即使提高温度 CH_4 也不会再形成.再有,不同温度对土壤不同微生物的影响不同,进而会影响到土壤有机质分解产物的不同.这使许多学者的研究结果也不完全一致.

2.4 土壤氧化还原电位对 CH_4 形成的影响

土壤氧化还原电位(Eh)是影响甲烷产生的重要因素之一.芦苇地淹水后,其中的溶解氧很快被消耗掉,因此随着有机物的降解及土壤中 NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} 等的依次被还原, Eh 也将逐渐降低.当 Eh 降至 -150 ~ -200 mV 以下时,就可以产生 CH_4 ^[13].Jakobsen 等(1981)在 Eh 为 -120 mV 时观测到了少量的 CH_4 产生^[14].而本测定结果表明, Eh 在 -110 mV 时就有 CH_4 排放(图 4).这也许是芦苇地长期淹水后,土壤中 SO_4^{2-} 被还原的同时也伴随着 CH_4 的部分产生,因为乙酸、 H_2 、甲酸等是硫酸盐还原菌和产甲烷菌的共同基质.其实,产甲烷菌在土壤中是早已存在的, Wagner 等(1997)指出,在典型通气和嫌气的沼泽地土层中,产甲烷细胞数是类似的^[15].而 Peters 和 Conrad(1996)指出, Eh 大约在 0 ~ 70 mV 时, CH_4 就开始产生^[16].在纯培养 *Methanosarcina barkeri* 中也发现同样的结果^[17].实际上,在建立厌氧条件后,尽管一些铁或硫还没有被还原

且 Eh 仍然在较高的情况下,CH₄ 产生就开始了^[18].所以,虽然产甲烷菌在土壤中已经存在,但其活性却受到不同环境条件的影响,主要是温度、土壤结构、土壤理化性质、Eh 以及生长的植物等.但是,尽管环境因素较为复杂,在大田中,只要满足产甲烷的必要条件,土壤中产甲烷菌就可以产生 CH₄,而并不一定严格受 Eh 调控.

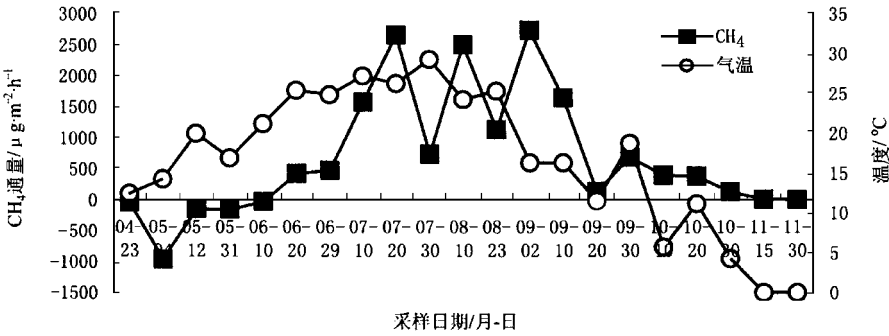


图 3 温度对芦苇湿地 CH₄ 排放的影响

Fig.3 Effect of temperature on methane emission from reed wetland

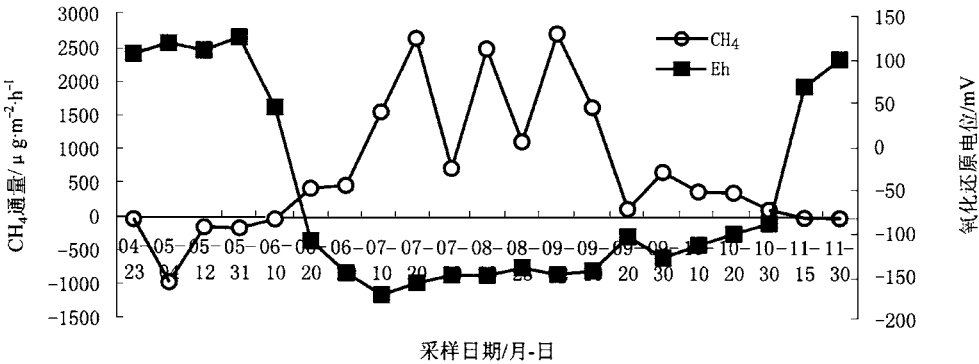


图 4 土壤氧化还原电位对芦苇湿地 CH₄ 排放的影响

Fig.4 Effect of soil Eh on methane emission from reed wetland

2.5 水深对 CH₄ 形成及排放的影响

水层的深浅是影响甲烷从土壤进入大气的-一个主要因素.有报道指出,随着人工湿地水稻田水层厚度的增加甲烷排放反而减少^[19].本研究在芦苇湿地也获得了类似的结果(图 5).水层的影响可以从它对生物学特性的影响加以解释.淹水后,土壤中厌氧状况得以加强,易于有机质分解,同时厌氧状况又增强了土壤中产甲烷菌活性,促进 CH₄ 形成,再通过芦苇植株、气泡或以扩散的形式释放出土壤.但随着水层的加深,会影响到植株光合作用及传输 CH₄ 的能

力等正常生理代谢活动,并且土壤中已产生的 CH₄ 在通过气泡或扩散形式穿越水层时,被氧化掉的量增大,从而减少了 CH₄ 向大气中的排放.

3 结语

- (1) 芦苇湿地 CH₄ 排放与温度呈显著正相关($R^2 = 0.196$, $n = 21$, $P < 0.05$).
- (2) 土壤 Eh 对 CH₄ 产生有很大影响,在 -110 mV 时,CH₄ 开始排放并随着土壤 Eh 继续降低而增加.

(3) 水分管理影响 CH_4 排放.在一定淹水深度下,易于 CH_4 形成及排放,而随着水层的加深, CH_4 排放明显减少.

(4) 土壤近表层富含产甲烷基质,所以在 0 ~ 5cm 土层中的产甲烷活性最高,而随着土层深度的增加,产甲烷活性明显下降.

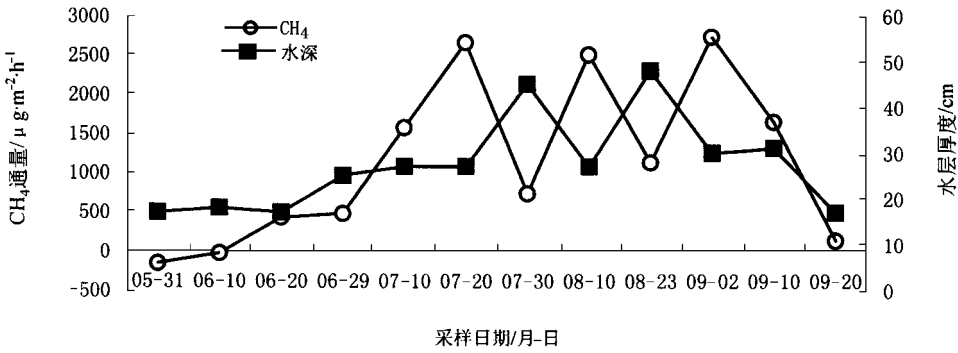


图 5 水深对芦苇湿地 CH_4 排放的影响

Fig.5 Effect of deep water cover on methane emission from reed wetland

参考文献:

1 Wang Mingxing, Dai Aaiguo et al. Estimate on Methane Emission from China. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1993, 17(1) :49 ~ 62 .

2 陈宗良, 高金和, 袁怡. 不同农业管理方式对北京地区稻田甲烷排放的影响研究. 环境科学研究, 1992, 5(4) :1 ~ 7 .

3 陈冠雄, 黄国宏, 黄斌等. 稻田 CH_4 和 N_2O 的排放及养萍和施肥的影响. 应用生态学报, 1995, 6(4) :378 ~ 382 .

4 刘永思等. 黄河北岸鸭绿江大洋河口地区的苇田土壤. 芦苇科技通讯, 1984, (8) :8 ~ 17 .

5 Sass R L, F M Fisher. Methane production and emission from a Texas rice field. Global Biogeochem. Cycles, 1990, (4) :47 ~ 68 .

6 Dave B, Ronald D J. Potential rates of methanogenesis in sawgrass marshes with peat and marl soils in the Everglades. Soil Biol. Biochem., 1992, 24(1) :21 ~ 27 .

7 闵航, 陈美慈等. 水稻田甲烷释放特性及其生物学机理. 农村生态环境, 1993, (增刊) :28 ~ 32 .

8 上官行健, 王明星等. 稻田土壤中的 CH_4 产生. 地球科学进展, 1993, 8(5) :1 ~ 12 .

9 Williams R T, Crawford R L. Methane production in Minnesota peatlands. Applied Environmental Microbiology, 1984, 47:1266 ~ 1271 .

10 Bosse U et al. Inhibition of methane oxidation by ammonium in the surface layer of a littoral sediment. FEMS Microbiology Ecology, 1993, (13) :123 ~ 134 .

11 Dunfield P, Knowles R et al. Methane production and consumption in temperate and subarctic peat soils. Soil Biol. Biochem., 1993, 25:321 ~ 326 .

12 Schutz H et al. The effect of temperature on methane emissions from paddy soil. Biogeochem., 1990, 11:77 ~ 83 .

13 Neue H U et al. Soils and the greenhouse effect. Chichester: John Wiley, 1990. 457 ~ 466 .

14 Jakobsen P et al. Sulfide and methane formation in soils and sediments. Soil Science, 1981, 132:279 ~ 287 .

15 Wagner D, Pfeiffer E-M. Two temperature optima of methane production in a typical soil of the Elbe river marshland. FEMS Microbiology Ecology, 1997, 22:145 ~ 153 .

16 Peters V, Conrad R. Sequential reduction processes and initiation of CH_4 production upon flooding of oxic upland soils. Soil Biol. Biochem., 1996, 28:371 ~ 382 .

17 Fetzer S, Conrad R. Effect of redox potential on methanogenesis by Methanosarcina barkeri. Archives of Microbiology, 1993, 160:108 ~ 113 .

18 Yao H, Conrad R. Thermodynamics of methane production in different rice paddy soils from China, the Philippines and Italy. Soil Biol. Biochem., 1999, 31:463 ~ 473 .

19 Wang M X et al. Methane production, emission and possible control measures in the rice agriculture. Advances in Atmospheric Sciences, 1993, 10(3) :307 ~ 314 .