

水稻植株对稻田 CH₄ 排放日变化的影响^①

马 静^{1,3}, 徐 华^{1*}, 蔡祖聪¹, 八木一行²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 日本国立农业环境技术研究所, 日本筑波 305; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 2005 年采用静态箱法, 在水稻分蘖期天气晴朗的条件下, 全天观测了有、无水稻植株两种情况下稻田 CH₄ 的排放。结果表明: 无论水稻种植与否, 稻田 CH₄ 排放通量的昼夜变化均表现为单峰模式, 极大值出现在下午 14 点; 稻田 CH₄ 排放的昼夜变化与 5 cm 处土温存在显著正相关关系 ($p < 0.05$); 有水稻植株处理稻田 CH₄ 日平均排放通量显著高于无水稻植株处理 ($p < 0.05$); 有水稻植株处理的稻田 CH₄ 排放通量最佳观测时间在上午 8 ~ 10 点, 无水稻植株处理的最佳观测时间则在傍晚 18 点左右。

关键词: CH₄ 排放; 日变化; 最佳观测时间; 水稻植株

中图分类号: X511

CH₄ 是仅次于 CO₂ 的最重要的温室气体, 它对全球温室效应的贡献为 20%。以 100 年影响尺度计, 单分子 CH₄ 的增温效应是 CO₂ 的 25 倍^[1]。稻田是大气 CH₄ 的重要排放源之一。稻田 CH₄ 的年排放量为 31 ~ 112 Tg, 占全球总排放的 5% ~ 19%^[2]。旨在减少温室气体排放的《京都议定书》已于 2005 年 2 月 16 日生效, 其中将 CH₄ 列为重要的管制温室气体, 对稻田 CH₄ 排放规律的研究也就显得更为重要。

水稻植株在不同的生长季节对稻田 CH₄ 排放的影响不同。刘惠等^[3]对水稻生长中后期的稻田 CH₄ 排放进行了比较, 发现有植株参与稻田 CH₄ 昼夜平均排放通量在孕穗期显著高于无植株参与稻田, 两者在成熟期和收割后无显著差异。在水稻生长前期, 即水稻分蘖期, 通常会出现 CH₄ 排放通量高峰^[4-5], 水稻植株的参与必然会对这个时期的 CH₄ 排放产生影响, 但该方面的研究还未见报道。本试验采用静态箱法, 在水稻分蘖期天气晴朗的条件下, 全天观测了有、无水稻植株两种情况下稻田 CH₄ 的排放, 以探讨水稻植株对稻田 CH₄ 排放日变化的影响, 为稻田 CH₄ 排放规律的研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验的水稻田位于江苏省宜兴市大浦镇(31°17'N, 119°54'E)。试验土壤为黄泥土, 土壤有机质含量为 12.6

g/kg, 全 N 含量为 1.3 g/kg, 土壤 pH 6.23。田间试验于 2005 年 6 月 22 至 23 日进行, 天气晴朗, 试验小区有约 3.5 cm 的水层覆盖, 小区面积为 25 m² (8 m × 3.125 m)。

试验共设 4 个处理: ①水稻秧苗(苏优 5356)于 6 月 9 日移栽; ②不种水稻; ③6 月 1 日, 按 3.75 t/hm² 计, 将长约 10 cm 长的麦秆与稻田表层 10 cm 的土壤均匀混合, 6 月 9 日移栽水稻秧苗(苏优 5356); ④6 月 1 日将 3.75 t/hm² 10 cm 的麦秆与稻田表层 10 cm 的土壤均匀混合, 不种水稻。各处理 3 次重复, 随机区组设计。有、无植株处理均不施用 N 肥。各小区于 6 月 7 日淹水, 至日变化观测开始时各小区保持淹水状态。

1.2 采样与分析

CH₄ 气体样品用静态箱采集, 箱高 1 m, 底面积为 0.25 m² (0.5 m × 0.5 m)。采样箱底座 (0.5 m × 0.5 m × 0.15 m) 由硬塑料制成, 上端带有 4 cm 深的水槽, 于 6 月 7 日埋设于各小区中间, 其顶端与土面齐平。测定时, 将采样箱放置在底座上端的水槽里, 确保密封。从 6 月 22 日早上 8 点开始, 每隔 2 小时采 1 次样。各采样点每次采集 4 个样品, 间隔 10 min 采样 1 次。气样采集的同时, 测定箱温、气温及 5 cm 处土温。

样品 CH₄ 浓度用带 FID 检测器的气相色谱(岛津 GC-12A)测定, 柱温 80℃, 检测器温度为 200℃。氮气作为载气, 流速 40 ml/min; 氢气为燃气, 流速 35 ml/min; 空气为助燃气, 流速 350 ml/min。CH₄ 标准气

①基金项目: 国家自然科学基金(40621001 和 40671094)和中国科学院南京土壤研究所创新领域前沿项目(ISSASIP0612)资助。

* 通讯作者(hxu@issas.ac.cn)

作者简介: 马静(1974—), 女, 四川南充人, 博士研究生, 主要从事农田温室气体排放及其减缓对策研究。E-mail: jma@issas.ac.cn

体由南京特种气体厂生产, 并经日本国立农业环境技术研究所物质循环研究室校正。

根据 CH_4 浓度与时间关系曲线计算 CH_4 排放通量。处理间比较以 3 个重复的平均值进行方差分析。相关性分析用全部观测值进行直线回归相关分析。

2 结果与分析

2.1 稻田 CH_4 排放通量及温度的昼夜变化

图 1 为 4 个处理 CH_4 排放通量的日变化。有、无水稻植株参与的情况下, CH_4 排放通量的昼夜变化均呈现相似的规律性, 表现为单峰模式, 极大值出现在下午 14 点, 与温度日变化 (图 2) 一致。这种日变化形式和以往对湖南和杭州地区早稻^[6]、太湖地区稻田^[7]及东北稻田^[8] CH_4 排放日变化的观测结果一致。大量研究表明, 稻田 CH_4 排放的日变化形式可以划分为 4 种类型^[9]: 下午极大值型、夜间极大值型、下午和夜间双峰型、随机型。在晴天且无异常扰动的情況下, 稻田 CH_4 排放一般表现为下午极大值型, 因为下午较高的温度提高了 CH_4 传输途径的传输效率, 从而导致了最大的 CH_4 排放通量^[5-6]。

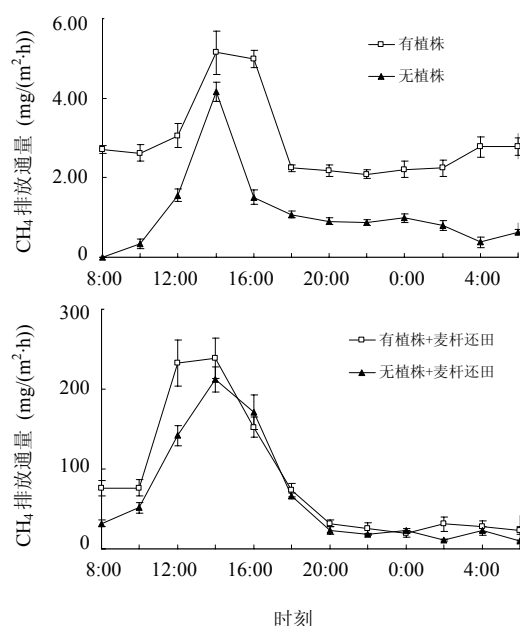


图 1 稻田 CH_4 排放的日变化

Fig. 1 Diurnal variation of CH_4 emission from rice field

有、无水稻植株的情况下, 施用秸秆处理的稻田 CH_4 日平均排放通量分别为 83.97 和 65.04 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 而不施用秸秆处理的 CH_4 日平均排放通量分别为 2.92 和 1.10 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。水稻植株的参与促进了稻田 CH_4 的排放, 方差分析达显著水平 ($p < 0.05$)。稻田 CH_4 排

放是稻田土壤中 CH_4 的产生、再氧化以及向大气传输 3 个过程相互作用的结果, 水稻植株强烈影响决定稻田 CH_4 排放量的这 3 个过程^[10-11]: 水稻根系分泌物和脱落物为产 CH_4 微生物提供有机基质; 大气中的 O_2 通过水稻植株的通气组织进入根部, 在水稻根际形成好氧微区域氧化 CH_4 ; 土壤中产生的 CH_4 通过水稻植株的通气组织向大气排放。Holzapfel-pschorn 等^[12]研究发现, 种植水稻后促进了稻田 CH_4 的排放, 其排放速率高于未种稻的土壤。

图 2 为气温和 5 cm 处土温的日变化。土温的日变化趋势与气温基本一致, 而有水稻植株处理的土温略高于无水稻植株的处理。相关分析表明, 稻田 CH_4 排放通量与 5 cm 处土温存在显著正相关关系 ($r = 0.671 \sim 0.916$, $p < 0.05$)。土壤温度是影响稻田 CH_4 排放的一个重要因素, 土壤产 CH_4 菌活性、土壤有机质分解速率及土壤 CH_4 产生和向大气传输速率皆随土壤温度的升高而增加^[13]。以往大量研究也表明, 稻田 CH_4 排放昼夜变化与土壤温度昼夜变化之间存在显著相关性^[14-15]。

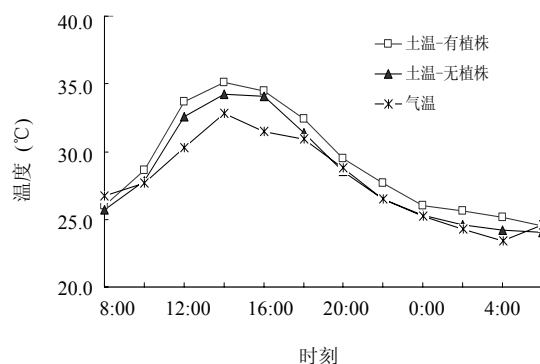


图 2 稻田温度的日变化

Fig. 2 Diurnal variation of temperature in paddy field

2.2 CH_4 排放最佳观测时间

稻田 CH_4 排放具有很大的时空变异性, 为了增强稻田 CH_4 排放观测结果的代表性, 应当选择一天中最具代表性的时刻进行测量。一天中各个时刻 CH_4 排放通量的矫正系数可以用下式进行计算^[5,16]:

$$C_i = F_{\text{avg}}/F_i$$

式中, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, n 为一天中进行观测的次数, 各次观测之间的时间相等; C_i 为矫正系数; F_{avg} 为 CH_4 日平均排放通量; F_i 为第 i 次观测的 CH_4 排放通量。

图 3 为矫正系数随时间的分布。由图 3 可见: 有水稻植株参与的情况下, 上午 8 ~ 10 点的矫正系数最

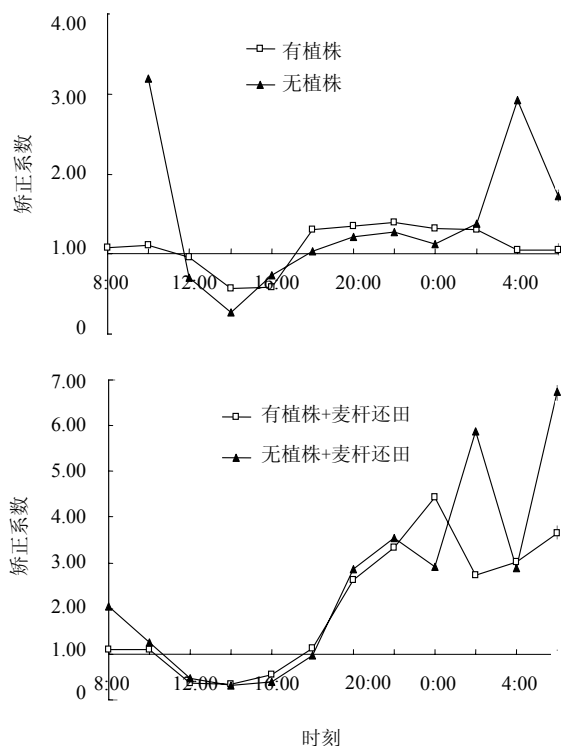


图3 矫正系数随时间的分布

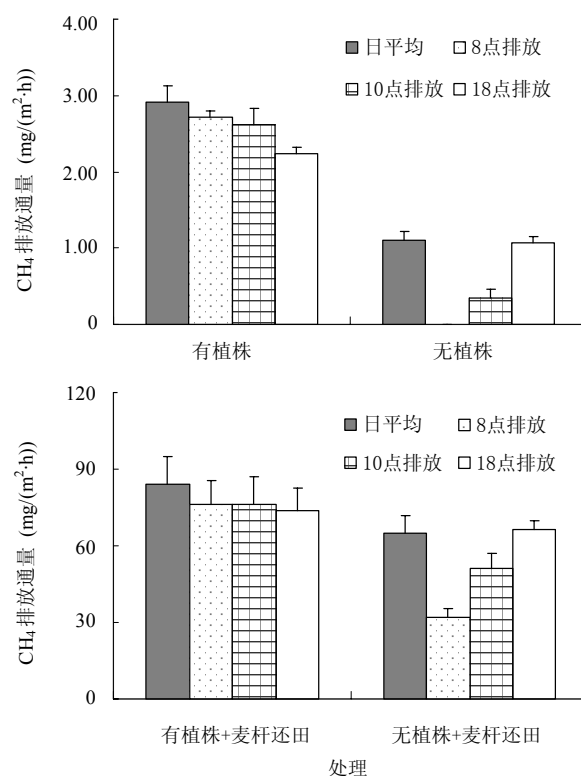
Fig. 3 Diurnal variation of correction coefficient

接近 1, 即这一时间段里的排放通量最能代表一天的平均排放量; 而无水稻植株的情况下, 傍晚 18 点的矫正系数等于 1, 即这一时刻的排放通量可以直接用于代表日排放状况。因此, 可以把上午 8~10 点左右定为有水稻植株处理的最佳观测时间, 把傍晚 18 点左右定为无水稻植株处理的最佳观测时间。

有水稻植株处理的稻田 CH₄ 排放最佳观测时间不同于无水稻植株的处理, 这可能与稻田 CH₄ 的排放途径有关。稻田 CH₄ 的排放途径有以下 3 种: 通过植株的通气组织传输、气泡及液相扩散^[4, 11]。有水稻植株参与的情况下, 稻田 CH₄ 排放主要是通过水稻植株的通气组织完成; 而不种水稻的土壤, CH₄ 主要通过冒气泡排放到大气中^[12]。传输途径的不同可能影响不同时刻的 CH₄ 排放通量 (图 4), 进而影响最佳观测时间的选择。

3 结论

在水稻分蘖期天气晴朗的条件下, 稻田 CH₄ 排放昼夜变化明显, 表现为单峰模式, 极大值出现在下午 14 点, 与温度日变化一致。土壤温度是影响稻田 CH₄ 排放的一个重要因素, 相关分析表明, 稻田 CH₄ 排放通量与 5cm 处土温存在显著正相关 ($p < 0.05$)。水稻植株的参与显著促进了稻田 CH₄ 的排放 ($p < 0.05$)。上

图4 稻田 CH₄ 日平均、8 点、10 点及 18 点排放通量Fig. 4 The diurnal average of CH₄ flux and CH₄ flux at 8, 10 and 18 o'clock

午 8~10 点左右为有水稻植株处理的最佳观测时间, 而无水稻植株处理的最佳观测时间为傍晚 18 点左右。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Ch02.pdf
- [2] IPCC. Climate change 2007: Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Ch07.pdf
- [3] 刘惠, 赵平, 林永标, 饶兴权, 王跃思. 华南丘陵区农林复合生态系统早稻田 CH₄ 和 N₂O 排放通量的时间变异. 生态环境, 2006, 15(1): 58-64
- [4] 马毅杰, 陈家坊等. 水稻土物质变化与生态环境. 北京: 科学出版社, 1999: 123-141
- [5] 王明星. 中国稻田甲烷排放. 北京: 科学出版社, 2001: 83-150
- [6] 上官行健, 王明星, 沈壬兴. 稻田 CH₄ 的排放规律. 地球科学进展, 1993, 8(5): 23-36
- [7] 郑循华, 王明星, 王跃思, 沈壬兴, 上官行健, Kogge M, Heyer J, Papen H. 华东稻田 CH₄ 和 N₂O 排放. 大气科学, 1997, 21(2): 231-237
- [8] 陈冠雄, 黄国宏, 黄斌, 吴杰, 于克伟, 徐慧, 薛晓华. 稻田 CH₄ 和 N₂O 的排放及养萍和施肥的影响. 应用生态学报, 1995,

- 6(4): 378–382
- [9] 王明星, 李晶, 郑循华. 稻田甲烷排放及产生、转化、输送机理. 大气科学, 1998, 22(4): 600–612
- [10] 贾仲君, 蔡祖聪. 水稻植株对稻田甲烷排放的影响. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2049–2053
- [11] 陈怀满等. 土壤中化学物质的行为与环境质量. 北京: 科学出版社, 2002: 308–335
- [12] Holzapfel-pschorn A, Conrad R, Seiler W. Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. Plant and Soil, 1986, 92: 223–233
- [13] 徐华, 蔡祖聪, 李小平. 土壤 Eh 和温度对稻田甲烷排放季节变化的影响. 农业环境保护, 1999, 18(4): 145–149
- [14] 上官行健, 王明星, 沈壬兴. 温度对稻田 CH₄ 排放日变化及季节变化的影响. 中国科学院研究生院学报, 1994, 11(2): 214–224
- [15] Wang B, Neue HU, Samonte HP. Factors controlling diel patterns of methane emission via rice. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1999, 53: 229–235
- [16] Zheng XH, Wang MX, Wang YS, Shen RX, Li J. Comparison of manual and automatic methods for measurement of methane emission from rice paddy fields. Advances in Atmospheric Sciences, 1998, 15(4): 569–579

Diurnal Variation of CH₄ Emission from Rice Field as Affected by Rice Plant

MA Jing^{1,3}, XU Hua¹, CAI Zu-cong¹, YAGI Kazuyuki²

(¹ State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

² National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba 305, Japan;

³ Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In 2005, diurnal variations of CH₄ fluxes from rice-vegetated and non-rice-vegetated fields at tillering stage and under clear weather condition was monitored using a closed chamber technique. The results showed that the variation pattern of CH₄ emitted from all the fields followed a single-peak mode with the peak appearing at 14 o'clock in the afternoon. Significant positive correlations were found between CH₄ flux and soil temperature at 5 cm ($p < 0.05$). The diurnal mean CH₄ flux from rice-vegetated field was significantly higher than that from non-rice-vegetated field ($p < 0.05$). About 8 ~ 10 o'clock was recommended as the optimum sampling time for rice-vegetated plot, while about 18 o'clock was recommended as the optimum sampling time for non-rice-vegetated plot.

Key words: CH₄ emission, Diurnal variation, Optimum sampling time, Rice plant