

浙江临安水稻田甲烷排放 通量的观测研究*

王木林 李兴生 程红兵
邵志清 刘奇俊

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

1990年7—9月,在浙江临安(30°14'N, 119°42'E),利用微气象学(梯度廓线)法及箱式技术对水稻田CH₄排放通量进行了同步观测,取得了中稻整个生长期内的CH₄排放资料.文章仅对箱式技术的观测结果作了介绍与分析.观测发现在整个灌溉期内,稻田CH₄释放率为3.67—16.14mg/m²·h,均值为10.58mg/m²·h. CH₄排放的季节变化明显,日变化也同样很明显.另外还发现,CH₄排放通量与水(地)温及其他气象因素,如强风、阴雨等有关.与梯度廓线法的观测结果不同,箱式观测到的CH₄排放通量变化幅度小,而平均值明显偏高.

关键词: 甲烷排放; 水稻田; 观测研究.

1 引 言

早在本世纪50年代,人们就利用太阳吸收光谱的分析确定CH₄在大气层中的存在.而大气CH₄的准确浓度乃是10年前利用气相色谱仪测定的,并发现在过去400年中CH₄浓度连续以约1%的速率增长,几乎累积增长了近3倍^[1].大气CH₄是一种十分重要的微量气体.因为它不仅象CO₂、水汽一样是辐射活性气体,吸收带为7.66μm,对地球系统的能量收支和全球气候有重要影响,而且它在大气中还参与许多大气成分的化学转化过程^[2].所以人们在对CH₄浓度长期变化趋势十分关注的同时,对大气CH₄源及其释放率的研究也非常重视^[3,4].

就全球尺度而言,大气CH₄的源主要是天然湿地,稻田,反刍动物及化石燃料生产与运输等.据最新估测,全球CH₄年排放量约500Tg(1Tg=10¹²g),其中稻田排放60—

1993年2月18日收到,1993年8月5日收到再改稿.

* 国家自然科学基金资助项目.

170Tg, 约占 20%^[5]. 稻田 CH₄ 释放过程和影响因素是十分复杂的, 精确测量释放率是件很困难的工作. 首先是人们对在土壤中生成 CH₄ 的生物化学过程还知之甚少, CH₄ 产生和氧化的相对速度尚无法确定. 其次, 影响 CH₄ 产生和输送的各种因素, 如 CH₄ 传输的方式与途径, 植物生长状况, 土质和土壤中硝酸盐、硫酸盐含量, 灌水周期, 土壤中各种细菌群体的相互影响, 各种不同类型气候条件等, 都有待作广泛系统地研究, 以确立各自的作用和相互关系.

中国是世界水稻种植大国, 对此项研究工作虽然也开展了一些^[6], 但对不同观测方法缺乏系统地对观测研究. 又因多数观测都是在条件较好的农业试验田中进行的, 其代表性也是很不够的. 本次观测选择在大田内进行, 完全接近自然状态, 因此更具有代表性.

2 场地概况

本次观测是在位于杭州以西约 50km 的临安县气象站(30°14'N, 119°42'E)附近的大片水稻田中进行的. 该水稻田东西长超过 2000m, 南北宽在 1000m 以上, 地势平坦, 南北西三面为 300—500m 丘陵环抱, 东为县城. 该地区土壤为冲积性平原, 土质呈中性. 稻田采用明渠自流灌溉, 水源为水库蓄积的自然降水, 水质亦近中性. 在水稻整个生长期, 供水充足, 未出现断流情况, 亦无人为污染.

场地距杭州湾约 100km, 地处北温带. 由于受海洋性气候的影响, 全年湿润多雨, 1990 年年降水量为 1700.1mm, 年平均气温为 16.6℃. 上述地理及气候特点在中国江南沿海地区具有较广泛的代表性.

另外, 本次观测点所在稻田的管理及水稻生长状况适中, 在该地具有代表性.

3 观测方法

3.1 仪器装置

箱式技术是用来测定土壤、水体及动植物群体排放微量气体成分通量的最常用的手段之一^[7]. 本次观测是利用自制的一种有机玻璃箱(长 55cm, 宽 55cm, 高 90cm, 有机玻璃厚 7mm), 箱子底面开口, 盖子上装有进气口、取样管、搅拌风扇(~220V)及密封圈等. 盖子可自由开启. 观测期间将箱子固定在稻田中, 使箱子底口在水面以下 3—5cm, 距地面 2—3cm 左右, 以使箱子内外水自由流动. 在开始观测时, 把箱子盖关闭、密封, 然后每隔一定时间间隔测定一次箱内 CH₄ 浓度, 再根据箱内 CH₄ 浓度随时间的变化率来计算箱所覆盖稻田的 CH₄ 释放率. 利用薄膜泵并通过箱盖上的取样管将空气样注入取样袋内. 采用火焰离子化—气相色谱法(FID—GC)测量样品中 CH₄ 浓度. 另外在靠近取样箱约 10cm 处安装一个铂电阻温度感应探头(±0.1℃), 以监测稻田地表水的温度变化.

3.2 观测方法

每日观测 6—8 次, 两次间隔为 3—4 小时. 一次观测持续时间为 1 小时, 共取样 5 次, 每

隔 15 分钟(即在箱子加盖密封后 0、15、30、45 及 60 分)取样一次。每次取样前打开风扇工作 30 秒,使箱内空气充分混合,并用箱内少量空气冲洗样品袋 1—2 次。每只袋取样 500ml,同时取一个平行样。每次观测结束后立即将箱盖打开,以使箱内水稻生长更接近自然状态。样品 CH_4 浓度的分析是利用我们进行对流层大气 CH_4 背景浓度观测研究时建立的方法。每次测量需样品量 50ml,同一样品重复测量 3—5 次,对色谱峰面积积分并取平均值。标准气 CH_4 的体积比为 1.53×10^{-6} ($\pm 1\%$, Air)。定体积进样 2ml,检测灵敏度为 5×10^{-9} ,精度为 $\pm 0.3\%$,分析周期 2 分钟,完全能满足稻田 CH_4 排放通量观测的需要。

4 结果与讨论

4.1 稻田 CH_4 排放通量

CH_4 排放通量(F_{CH_4})是指单位时间内,单位面积稻田向大气释放 CH_4 的数量。可按下式计算, $F_{\text{CH}_4} = \rho_{\text{CH}_4} \cdot H \cdot \Delta c / \Delta t$,其中 H 为观测箱高度(m), ρ_{CH_4} 为 CH_4 密度($0.703 \times 10^{-3} \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 30°C), $\Delta c / \Delta t$ 为箱内 CH_4 浓度的增长率。图 1 为 7 月 2 日 20:00—21:00,7 月 17 日 21:30—22:30 及 8 月 11 日 22:30—23:30 三次观测所获得的箱内 CH_4 浓度(体积比)的增长情况。通过作直线回归,得到 r 分别为 0.990, 0.999, 0.999,可见箱内 CH_4 的浓度基本呈线性增长。计算 F_{CH_4} 结果分别为 4.21 ± 0.56 , 15.89 ± 0.47 和 $8.00 \pm 0.42 \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

表 1 给出了 7 月 2 日—8 月 22 日共 46 次观测统计计算的结果。在此期间, CH_4 排放通量的范围为 3.67 — $16.14 \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,均值为 $10.58 \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,年平均释放率为 $25.4 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。与近期其他作者报告的观测结果相比(见表 2)可见,这个结果与美国 1981 年 California 及 1989 年 Texas 稻田的 CH_4 释放率接近^[8,9],是西班牙 1984 年 Utrera^[10]稻田及日本 1990 年稻田 CH_4 释放率 2 倍^[11],且明显低于 1983 年美国 California 稻田及 1985—1986 年意大利 Vercelli 稻田的 CH_4 释放率^[12]。另外,戴爱国等 1987 年在杭州某农业大学稻田观测 CH_4 排放估测其年释放率为 $93 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,1988—1990 年,王明星等在四川乐山观测到的稻田 CH_4 通量为 $216 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。均高于本次观测的结果^[13]。

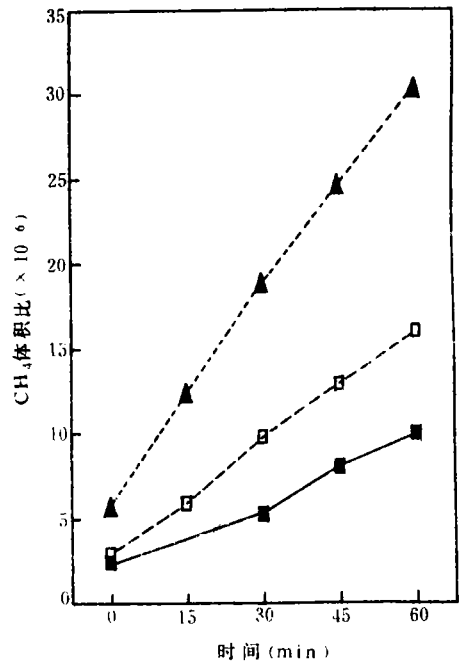


图 1 箱内 CH_4 浓度增长(实线:7 月 2 日 20—21 时,点线:7 月 17 日 21:30—22:30,虚线:8 月 11 日 22:30—23:30)

表 1 1990 年 CH₄ 排放通量的观测结果

观测期间 (月、日)	观测周期 (小时)	观测 次数	通量 (mg · m ⁻² · h ⁻¹)		
			极小值	极大值	平均
7 月 2 日—8 月 22 日	1	46	3.67	16.14	10.58 ± 3.48

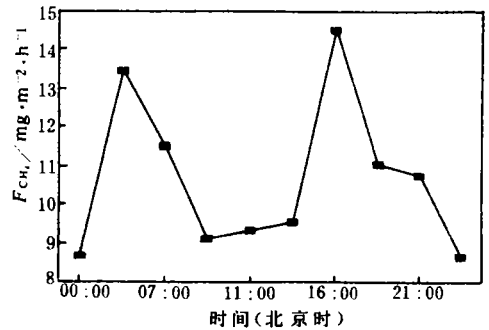
表 2 水稻田 CH₄ 释放率的观测资料

观测地点	CH ₄ 释放率 (g · m ⁻² · a ⁻¹)	资料来源
Texas, USA, 1989	4.52 ± 1.31—15.94 ± 1.82	Sass et al, 1990
Utrera, Spain, 1984	12.0	Seiler et al, 1984
California, USA 1981,	21.8	Cicerone et al, 1981
1983	42.0	Cicerone, 1983
Japan, 1990	11.5	Yagi and Minami, 1990
Vercelli, Italy, 1985, 1986	33.0 (未施肥), 12—43.0 (施 矿物肥), 24—77.0 (施稻草肥)	Schutz et al, 1989
杭州 (30°19'N, 120°12'E), 中国, 1987	93.0	戴爱国等, 1991
临安 (30°14'N, 119°42'E), 中国, 1990	25.4	王木林等, 1991
四川, 乐山, 中国, 1988—1990	216.0	王明星等, 1993

上述不同作者观测结果的差异颇大,其原因除各自的观测手段、程序和处理方法不同外,主要是由各地土(水)质、气候及耕作方式(如灌溉与施肥)不同造成的。另外,土壤中存在硫酸盐和硝酸盐可以抑制产甲烷菌的活动,降低 CH₄ 的释放;而醋酸盐则相反,可促进 CH₄ 排放;土壤透气性也是影响 CH₄ 排放的重要原因,因产甲烷菌在富氧环境中处于休眠状态。

4.2 稻田 CH₄ 排放通量的日变化

稻田近地面大气 CH₄ 浓度的日变化是很明显的,白天低,夜间高,极值一般分别出现在 12:00—15:00 和 20:00—06:00。夜间稳定天气条件下,其体积比比白天高约 1—3 × 10⁻⁶。CH₄ 在近地面大气层中的累积,除与近地面大气层稳定度有关外,还与稻田 CH₄ 释放率的日变化直接有关。图 2 给出的是水稻整个生长季节内 F_{CH₄} 平均值的日变化。尽管不同季节 F_{CH₄} 值日变化的幅度很大,但日变化的趋势是很相似的。基本上是呈双峰值,一般极大值出现在 15:00—20:00,次极大值则出现在 03:00—07:00;极小值分别出现在 09:00—12:00 与 23:00—02:00。可见上述日

图 2 CH₄ 通量平均值的日变化

变化规律与 1988 年 6 月 21—22 日在杭州稻田^[13]及 1985—1986 年在意大利稻田进行日变化观测的结果十分接近,并具有典型意义。另外发现日变化的幅度随水稻不同的生长发育期而异,移栽—返青期及开花—抽穗期日变化幅度相对较小。

稻田 CH₄ 排放的日变化趋势可以利用 CH₄ 产生、输送和转化机制定性地加以解释。主要考虑气温及太阳辐射的影响。在 50℃ 以下,气温越高越有利于产甲烷菌的活动,即在深层土壤中 CH₄ 的产率亦越高,这是形成 CH₄ 峰值排放的必要条件。但是 CH₄ 的高产率不一定总伴随 CH₄ 的高排放,因为新生 CH₄ 在浅土层和水中被溶解氧氧化,同时温度愈

高愈有利于 CH_4 的氧化过程的进行. 深层土壤中生成的 CH_4 , 通过分子扩散, 气泡和水稻植物体三种途径传输排放到大气中. 由于氧化作用, 分子扩散和气泡两者输送不足总排放量的 10%, 而 90% 的 CH_4 排放是通过水稻植株的导气组织, 即茎秆细胞壁间的空隙输送完成的. 气温和土壤温度升高, 水稻生长旺盛, 可促进水稻植物体内的气体交换. 因此, 气温升高既有利于 CH_4 生成亦有利于 CH_4 的排放. 然而强烈的太阳辐射会造成水稻生物活动的减弱, 甚至植物叶孔完全关闭, 阻断了 CH_4 的输送渠道, 这是 F_{CH_4} 的相位滞后于气温的原因之一. 图 3 为 CH_4 排放通量与地表水温 ($T_{\text{H}_2\text{O}}$) 的日变化, 由图 3 可见两者呈正相关, 但 F_{CH_4} 滞后于 $T_{\text{H}_2\text{O}}$ 约 1—2 小时. 其他各日的观测结果也都有类似的情况.

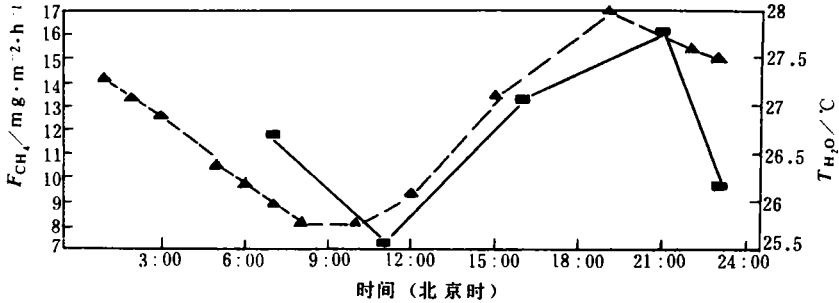


图 3 CH_4 排放通量(实线)与地表水温(虚线)的日变化

4.3 稻田 CH_4 排放通量的季节变化

稻田的 CH_4 释放率除具有上述日变化外, 还存在很强的季节性变化(如图 4). 由图 4 可见, 整个观测期间的 CH_4 释放可大致划分为三个阶段. 其中 7 月上旬为上升期, 7 月中旬到 8 月初为高峰期, 8 月中旬后为下降期, 即低排放期. 7 月 9 日, 16 日和 8 月 12 日出

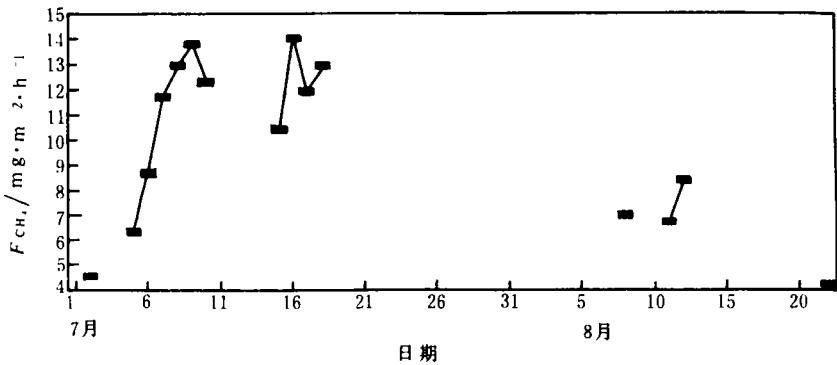


图 4 CH_4 释放率随季节的变化

现了三次峰值排放日, F_{CH_4} 值分别为 13.81, 14.03 和 8.44 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. 上述三个阶段分别与水稻生长的返青期, 分蘖发育期和抽穗开花期相对应. 表明稻田的 CH_4 排放主要取决于土壤有机质的含量和水稻生长发育的不同阶段. 前期 F_{CH_4} 上升快, 也主要是由于麦茬翻入地下, 而土壤有机质含量丰富和水稻生长发育旺盛所致. 后期的缓慢下降, 是

因为土壤有机质含量降低和水稻生长发育减慢的结果. 影响 CH_4 季节性排放的另一个重要因素是稻田的灌水周期. 在晒田(7 月 19—25 日)和 8 月下旬稻田逐渐停止灌水期间,随着田内 H_2O 深的降低, CH_4 排放率迅速下降直至为零. 至于叠加在季节性变化大趋势上的峰(或谷)值排放及几天时间尺度的排放率的波动,主要是由天气条件变化引起的,如 7 月 10—15 日的 F_{CH_4} 值的下降是与同期出现了一次降水过程有关. 另外发现每次较强降水过后,都会出现 CH_4 排放的谷值.

致谢:浙江临安大气污染本底监测站的孙凤祥等同志参加了现场观测,电力环保所的黄诗坚高级工程师对微气象观测给予了指导;另外,还得到周秀骥研究员的指教,在此一并致谢.

参 考 文 献

- 1 Khalil M. A. K. and Rasmussen R. A. Climate-induced feedbacks for global cycles of methane and Nitrous Oxide. *Tellus ser. B*, 1989, **41**:554—559.
- 2 Cicerone R. J. and Oremland R. S. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochem. Cycles*, 1988, **2**:299—327.
- 3 Moore T. R. and Knowles R. Methane emissions from fen, bog and swamp peatland in Quebec. *Biogeochemistry*, 1990, **11**:45—61.
- 4 Sass R. L., Fisher F. M., Harcombe P. A. and Turner F. T. Methane Production and emission in a TEXAS rice field. *Global Biogeochemical Cycles*, 1990, **4**(1):47—68.
- 5 EPA. Methane emissions and opportunities for control. Workshop Results of Intergovernmental panel on Climate Change, EPA(USA)/400/ 9—90/007, September, 1990.
- 6 王明星, Schütz H., Rasmussen R. A. 中国 CH_4 排放量的估算. *大气科学*, 1993, **17**(1):52—64.
- 7 Keller M., Kaplan W. A. and Wofsy S. C. Emission of N_2O , CH_4 and CO_2 from tropical forest soils. *J. Geophys. Res.*, 1986, **91**:11791—11802.
- 8 Cicerone R. J. and Shetter J. D. Sources of atmospheric methane measurements in rice paddies and a discussion. *J. Geophys. Res.*, 1981, **86**:7203—7209.
- 9 Cicerone R. J., Shetter J. D. and Delwiche C. C. Seasonal variation of methane flux from a California rice paddy. *J. Geophys. Res.*, 1983 **88**:11022—11024.
- 10 Seiler W., Holzapfel-Pschorn A., Conrad R. and Scharffe D. Methane emission from rice paddies. *J. Atmos. Chem.*, 1984, **1**:241—268.
- 11 Yagi K. and Minami K. Effects of Organic matter application on methane emission from Japanese paddy fields, in soils and the greenhouse effect. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1990, **36**:599—610.
- 12 Schütz H., Holzapfel-Pschorn A., Conrad R., Rennenberg H. and Seiler W. A 3—year continuous record on the influence of daytime, season and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy. *J. Geophys. Res.*, 1989, **94**:16405—16416.
- 13 戴爱国, 王明星. 我国杭州地区秋季稻田的甲烷排放. *大气科学*, 1991, **15**(1):102—109.

AN OBSERVATIONAL STUDY OF METHANE EMISSION OF RICE PADDIES IN ZHEJIANG LIN'AN

Wang Mulin Li Xingsheng Cheng Hongbing
Shao Zhiqing Liu Qijun

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

Methane (CH_4) flux from rice paddies was observed in Linan ($34^{\circ}14'N, 119^{\circ}42'E$) of Zhejiang province by using the static chamber during July through September 1990. Methane flux in the range of 3.67—16.14 $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ was obtained during the irrigating period. The averaged methane emission flux is 10.58 $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. The CH_4 release rates are shown that there is a strong diurnal variation with a maximum value at night or in the early morning and a minimum value in daytime. A seasonal variation of CH_4 flux from rice paddies exhibits a rapid rising from rice plant tilling to heading periods. Then, CH_4 emission decreases with water level in the rice paddies. In addition, methane emission is also related to the natural conditions, such as temperature, wind speed and rain.

Key words: Methane emission; Rice paddies; Observational study.