

我国杭州地区秋季稻田的甲烷排放

戴爱国 王明星 沈壬兴

(中国科学院大气物理研究所)

H.Schütz W.Seiler H.Rennenberg

(联邦德国夫琅和费大气环境研究所)

吴海宝

(浙江农业大学环保系)

提 要

1987年秋季在杭州郊区采用一套全自动的观测系统,对稻田的甲烷排放进行了观测.在整个晚稻灌溉期内,稻田是大气甲烷的一个源地,其甲烷释放率最高可达 $240\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.甲烷释放率具有很强的季节性变化,在水稻成熟期之前,甲烷释放率一般在 $40\text{--}60\text{mg} \cdot \text{CH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 的水平上波动,在成熟期间则降为 $10\text{mg} \cdot \text{CH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 的水平.除移栽期外的整个水稻生长期期间的甲烷平均释放率为 $39\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.甲烷释放率具有明显的日变化,一般在午夜至凌晨3—4点达最大值,白天较低,变化也较小.这可能与水稻植物体由于其生理上的日变化引起的甲烷气体传输能力的日变化有关.实验没有观测到不同施肥(K_2SO_4 和菜饼)对甲烷释放率的明显影响.阴雨天的降温一般在2—3天后引起甲烷释放率的迅速下降,这可能是因土壤中发酵细菌如产甲烷菌数量的减少造成的.尽管甲烷释放率和土壤温度在整个生长期基本上逐步下降的,但两者之间并没有简单的正相关性.土壤中产生的甲烷气体只有一小部分释放到大气中,从土壤中冒出来的气泡往往可引起释放率的急剧上升.1985年全球稻田的甲烷释放量估计为 $1.34 \pm 3.1\text{Tg}$ ($1\text{Tg} = 10^{12}\text{g}$),其中 $121 \pm 26\text{Tg}$ 和 $30 \pm 6\text{Tg}$ 分别来自亚太地区和中国稻田.

关键词: 中国稻田; 甲烷排放率; 日变化.

一、引 言

甲烷(CH_4)是大气中对大气化学过程和气候变化有重要影响的微量气体^[1].由于最近10年来的观测发现大气甲烷浓度正以每年增加约1%的速率上升着^[2,3],近年来对大气甲

烷的观测研究越来越受到重视.*

稻田是大气甲烷的主要源地之一^[4].自 70 年代末以来,美国的 Cicerone 和联邦德国的 Seiler 等人先后对加利福尼亚和西班牙、意大利的稻田的甲烷释放率进行过一些十分有意义的野外观测和实验室研究^[5-11].这些实验结果指出,稻田能向大气释放出大量的甲烷气体,稻田的甲烷总排放量约占大气甲烷总来源的四分之一;稻田释放甲烷气体的过程是一个十分复杂的生物化学过程,主要包括土壤中有机质的厌氧分解产生甲烷气体、甲烷气体在土壤中的氧化分解以及从土壤向大气扩散释放等过程;稻田的甲烷释放率具有很强的季节性变化和明显的日变化,因而整个生长期的连续观测对于正确估算稻田的甲烷排放量是非常必要的;稻田的甲烷释放率受土壤类型、肥力、气温以及耕种方式等的影响,世界各地稻田的甲烷释放率可能相差很大,要对全球稻田的总甲烷释放量作出正确的估算,就必须对全球各个主要的稻田区的甲烷释放率进行观测.

亚太地区是全球最主要的水稻生产区,水稻面积占全球的 90%^[12].然而,直到我们的实验进行时,这一地区稻田甲烷释放率的野外观测研究还处于空白状态.中国是世界上最大的水稻生产国之一,1985 年的水稻种植面积和产量分别占全球的 22% 和 37%^[12].中国稻田主要分布在秦岭、淮河以南的平原、河谷、丘陵和山地上,其中长江中下游平原、成都平原和珠江三角洲是中国最主要的水稻产区^[13].中国的气候、土壤特性和耕种方式与其它地区有明显差异.例如,中国南方稻田生长期间的平均气温比加利福尼亚、西班牙和意大利等地的都高;中国稻田有相当一部分位于丘陵地区,为棕黄色土壤;中国农民耕种仍然以畜力和人力为主,每年一般种植早、晚两季水稻,等等.因此,对中国稻田进行甲烷释放率的观测研究是十分必要的.

本文将报告中国科学院大气物理研究所与联邦德国夫琅和费大气环境研究所合作,并在浙江农业大学协作下,于 1987 年秋季在杭州郊区稻田中进行的甲烷排放观测实验及其结果.

二、自动连续的稻田甲烷排放观测系统

本实验采用西德 Seiler, Conrad 和 Schütz 等人在西班牙和意大利多年稻田野外观测过程中逐步发展起来的一套由微机程序控制,主要由氢燃离子气相色谱仪(GC/FID)、进样气路和野外采集箱等组成的用来全自动地观测稻田甲烷释放通量的系统,图 1 是它的详细框图(田中的采集箱未画入).此系统包括气路和电路两部分,气路中采用了许多三通电磁阀来控制气体的流向,气体由电动气泵推动.HP9835A 微机通过专用软件和硬件,控制加在所有气阀上的电压状态,以及与 GC/FID 连接的 SP4270 积分器,从而控制整个气路的流向,最终使采样、分析、记录整个观测过程能全自动地、连续地进行.

16 个长、宽、高为 60cm、60cm、90cm 的有机玻璃采集箱置于稻田中,箱子没有底板,只有可开启的盖子,箱子由一个不锈钢架支撑.箱子底部 3—5cm 保持在水面以下,但不完全接触土壤表面.16 个采集箱分为两组,分别与系统的 A、B 两个相互独立的对称的通道连接.一次分析只对每一通道中的 4 个箱子[(1—4)/(9—12)或(5—8)/(13—16)]进行

* 本项目财政支持来自中国国家自然科学基金会、中国科学院、联邦德国联邦科技部.

采样,其余采集箱的盖子打开。

一次观测持续 90 分钟,每一通道共分析 30 个样品,其中最后两个样品为来自气瓶的甲烷标准气体。因此对每个箱子每次观测可分析 7 个样品。GC/FID 分析得出的样品甲烷浓度波峰面积等数据由积分器记录,同时被计算机读入磁带上。根据 7 个甲烷浓度值可以求出采集箱内甲烷含量的上升率,从而可求得甲烷的释放通量。每天每个观测点有 8 次通量观测数据。

分析系统采用纯度不低于 99.999% 的氢气作燃气,载气是 O_2 比 N_2 为 20% 比 80% 的合成空气,助燃气由一个洁净空气发生器提供。

系统还配有 8 个灵敏度为 $0.1^\circ C$ 的温度探头,用以监测稻田中空气、水、土壤表层的温度。

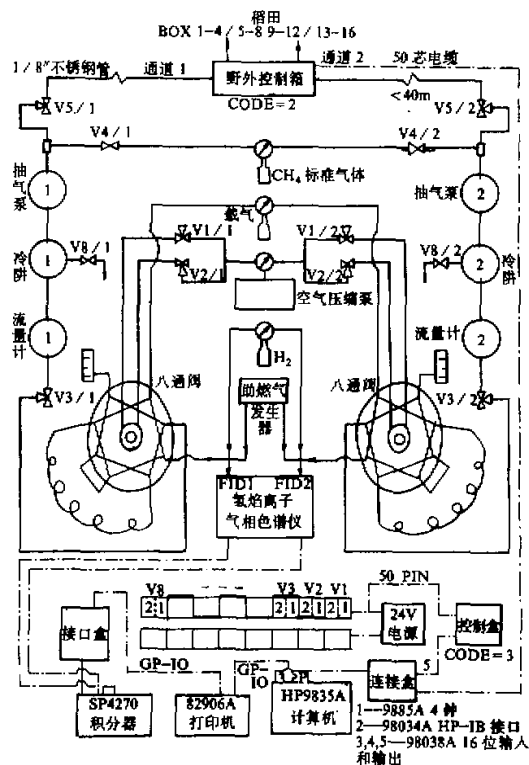


图 1 稻田甲烷排放自动连续的观测系统

此系统的特点是性能稳定,结果可靠,能实现对整个生长期稻田甲烷释放率的自动连续的监测。

三、采样和分析过程

实验观测点设在杭州市郊的浙江农业大学农场内 ($30^\circ 19' N, 120^\circ 12' E$). 农场内

的土壤由钱塘江河口冲积体发育形成,为河口海陆过渡母质.耕作层以水云母为主,高岭土为次,有机质含量为 2.5%,pH 值为 6.30.杭州年平均气温为 16.1℃,年降水量为 1400.7mm,年平均相对湿度为 82%.

实验用田是一块面积约为 10m×20m 的普通稻田.在 1987 年种植晚稻之前,曾一度轮种过一两年的茭白,故其有机质含量较高,不过它基本上代表了杭嘉湖平原乃至整个长江中下游冲积平原上肥沃的稻田土壤类型.

为了研究不同施肥对甲烷排放量的影响,实验用田被不透水的隔板分成平行的四行,对每行进行不同的施肥处理,如图 2 所示.所有的肥料均是在翻地后插秧前撒下的.

8 月底开始正式观测,一直到 10 月底结束,两个多月内几乎每天都有观测记录,并且其中大部分时间的观测是连续 24 小时或者接近 24 小时.10 月底至 11 月上旬,稻田放水晒田,甲烷释放率接近于零.

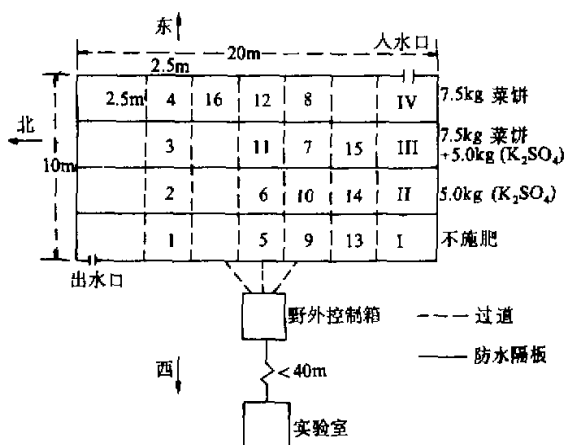


图 2 杭州稻田甲烷排放实验场地示意图

实验记录的 8 个稻田温度是土壤表面、5cm、10cm 和 15cm 深处土壤温度,同时记录采集箱内外空气(离土壤表面约 40cm)和水的温度.

实验中先后用过甲烷浓度为 4.6ppmV 和 9.8ppmV 的甲烷标准气体,它们是从联邦德国运来的,并经过了校定.

本实验的分析部分 GC/FID 灵敏度很高,实验的误差主要来自进样过程、标定过程和其后的分析计算,总的误差小于 10%.

四、观测结果及讨论

单位面积上和单位时间内稻田向大气释放的甲烷气体通量 F 可按下式计算:

$$F = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta t} = \frac{\rho \cdot V \cdot \Delta C}{A \cdot \Delta t} = \rho h \cdot \frac{\Delta C}{\Delta t},$$

式中 Δm , ΔC 分别为 Δt 时间里采集箱内增加的甲烷气体质量和混合比浓度, h , A 和 V 分别为箱子的高、底面积和体积, ρ 为甲烷气体密度, $\Delta C / \Delta t$ 为采集箱内甲烷浓度的上升率. 实验表明, 密封的采集箱内的甲烷浓度绝大多数情况是线性上升的 (见图 3). 因此, 7 个观测足以很好地确定箱内的甲烷浓度的上升率.

8 月 28 日至 10 月 31 日的观测结果表明, 甲烷释放率从 9 月初高温时的 $240 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ 到 10 月底晒田前小于 $1 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$, 变化范围很大. 观测发现, 当气温高, 土壤表层内发酵剧烈时, 往往有气泡从土壤表面冒出, 同时箱内的甲烷浓度急剧上升, 引起甲烷释放率的成倍增长. 稻田土壤表层内产生的甲烷气体在没有气泡产生的情况下, 只有一小部分释放出来, 大部分是在土壤中被氧化了. 这与 Schütz 等人的实验结果是一致的^[9-11].

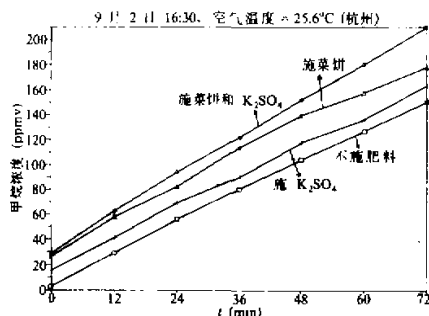


图 3 采集箱内甲烷浓度的
线性上升

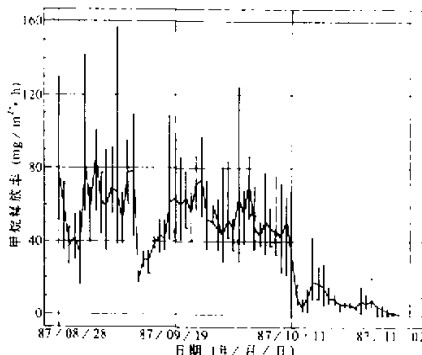


图 4 稻田甲烷释放率的
季节变化

我们的实验结果还表明, 不同时间不同观测点的稻田甲烷释放率各不相同, 变化具有随机性. 因此只有对其作大量的观测才能得出比较有意义的结论.

观测资料表明, 日平均甲烷通量在 9 月上旬 (分蘖期) 和 9 月 20—25 日 (开花期前后) 较高, 日平均值高达 $70-80 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$, 而在 10 月底田中水分减少时, 甲烷释放率只有几个 $\text{mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$. 观测结果还表明, 4 块分隔开的稻田上的甲烷释放率平均看来没有明显差异, 看不出不同施肥的影响. 图 4 点出了第 4 个观测点的甲烷释放率日平均值的季节变化, 其它观测点也与之类似. 图中竖线是日变化范围, 可以看出, 甲烷释放率高时, 日变化范围也大.

图 5 画出了第 3 和第 7 两个观测点的甲烷释放率的季节变化, 以及稻田气温、土壤表面温度和 15cm 深处土壤温度的季节变化. 从图 5 中可以看出, 温度和甲烷释放率在整个生长期是逐步下降的, 这是晚稻甲烷释放率的重要特征. 但是温度与甲烷释放率的关系非常复杂, 并非简单的线性关系.

图 5 表明, 在 8 月底和 9 月初, 气温和土壤温度在 $24-25^\circ\text{C}$ 以上, 此时田中有机质也较丰富, 因此发酵剧烈, 甲烷释放率高, 在 $70-80 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ 水平上波动. 随着气温和土壤有机质含量的下降, 甲烷释放率也逐渐降低, 直至 10 月底收割前, 甲烷排放停止.

图 5 中另一显著特征是甲烷释放率具有一些十分明显的短期 (几天) 波动, 这种波动

在温度记录上也存在,仔细分析后发现,甲烷释放率与温度的波动之间存在一个 2—3 天的时间滞后现象.这一时间滞后可能主要是由于土壤中参与有机质发酵过程的各种细菌如产甲烷菌等的繁殖增减过程需要一定时间而造成的.9 月 9—11 日为阴雨天气,气温下降了 7—8℃,土壤温度也下降了 3—4℃,土壤表层中参与发酵的细菌数目大量减少,造成了 9 月 12—15 日甲烷释放率的急剧下降.气温的波动主要与天气变化有关,阴雨天气往往可以引起气温的急剧下降,从而使甲烷释放率产生明显的波动.

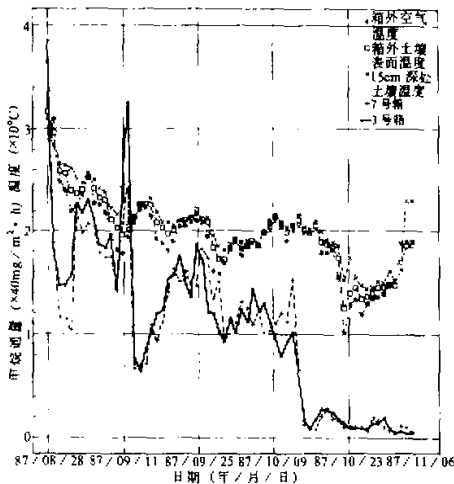


图 5 甲烷释放率与温度的关系

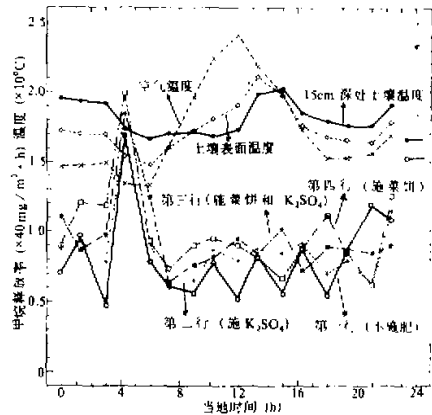


图 6 甲烷释放率与温度的日变化

观测发现各点的甲烷释放率从 10 月 12 日起,突然从 40—60mg/m²·h 下降至 20mg/m²·h 以下(见图 4, 5).在温度记录上,10 月 10—12 日有一个幅度较小的波谷,此时土壤中有机质含量也已显著减少,很可能是这两个因素造成了 10 月 11—14 日甲烷释放率的急剧下降.在此之后,甲烷释放率降为 10mg·CH₄/m²·h 的低水平,直至 10 月下旬晒田时甲烷排放基本停止.

除了很强的季节性变化外,我们观测到的稻田甲烷释放率还有明显的日变化.图 6 画出了 9 月 28 日的比较典型的稻田甲烷释放率和稻田环境温度的日变化.可以看出,在凌晨 3—5 点甲烷释放率有一个明显的最大值,白天甲烷释放率较低,波动变化也较小,午后的高温并没有在下午形成高甲烷释放率.这一结果与文献报道的情形不太一致.一般说来,高温有利于土壤中有机质发酵产生甲烷气体,Holzapfel-Pschorn 和 Seiler^[8]在意大利稻田中进行的观测也发现甲烷释放率的日变化与表层土壤温度的日变化位相一致.我们这里观测到的甲烷释放率与温度日变化位相不一致的情况,可能与水稻植物体的传输能力的日变化有关.如文献[8]所述,释放到大气中的甲烷气体只占土壤中细菌产生的甲烷的一小部分,图 6 所示的明显的日变化,不太可能是土壤中甲烷产生率的日变所致.另一方面,水稻植物体的生理过程具有明显的日变化,其根部对周围物质成分的吸收在日夜间是有变化的.白天植物体生理过程较夜间剧烈,对营养成分的需求也较为强烈,这可能抑制

根系对甲烷气体的吸收,水稻吸收和传输甲烷气体是一个十分复杂的过程,与水稻植物体的生理过程有密切关系,有待进一步的实验研究.

表 1 稻田甲烷排放的观测结果

作 者	甲烷释放率 ($\text{g} \cdot \text{CH}_4 / \text{m}^2$)		全球甲烷 排放量 ($10^{12} \text{g} / \text{a}$)	实验地点 和时间
	平均每天	每年*		
Koyama(1963)		206	190	实验室结果,1963 年
Cicerone 和 Shetter (1981)	0.18	42	59	加利福尼亚(40.2° N) 1979 年 6—8 月
Cicerone 等 (1983)	0.25	25		加利福尼亚 1982 年 5—9 月
Seiler 等(1984)	0.1	12	35—59	西班牙,1983 年
Holzappel-Pschorn 和 Seiler(1986)	0.38	54	70—170	意大利,1983 年
Schütz 等(1987)	0.28	~ 34		意大利,1985,1986 年
本文结果	0.93	93	103—165	中国杭州(30° 19' N) 1987 年 8 月至 10 月

* 指单季水稻整个生长期间的排放,一般由日平均释放率与生长期天数相乘得出.

和其它稻田甲烷释放观测结果(见表 1)相比,杭州的甲烷释放率是相当高的,平均值为 $39 \pm 4 \text{mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ 或 $0.93 \pm 0.10 \text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$,是意大利稻田释放率的 3.3 倍;加利福尼亚稻田的 3.7 倍.根据我们的结果估算^[15],1985 年全球稻田甲烷释放量约为 $134 \pm 31 \text{Tg}$,其中亚太地区和中国稻田释放量分别为 $121 \pm 26 \text{Tg}$ 和 $30 \pm 6 \text{Tg}$.上述结果与 Holzappel-Pschorn 和 Seiler 基于他们从意大利的观测中得出的稻田释放率与表层土壤温度的相关性推算出的结果是一致的,不过更接近于他们估算范围的上限.对于我们的上述结果,有以下几点需要加以注意:一是我们对插秧后的 3 至 4 周(8 月份)的甲烷释放率没有观测数据,它们很可能比平均值高得多,因此 $0.93 \pm 0.10 \text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$ 的释放率很可能只是一个下限;二是我们观测的是晚稻生长期间的甲烷排放,与 Cicerone 和 Seiler 等人观测的单季稻的甲烷排放有差别,例如气温在整个生长期间的变化趋势就基本上相反;三是亚太地区稻田一般种植早晚两季水稻,早稻和晚稻的生长条件(如气温、土壤肥力等)有较大的差异,其甲烷释放率很可能不太一样.事实上,我们 1988 年对早稻生长期间甲烷释放率的观测结果表明,早稻期间的甲烷释放率要比这里报道的结果低得多;再有一点是亚太地区以至中国境内的稻田的性质各地变化很大,某一地区的观测结果的代表性是有限的.我们 1988 年在四川乐山观测的稻田甲烷释放率要比这里的结果高 2 倍多.上述情况表明,要对亚太地区稻田甲烷释放量进行比较可靠的估算,还必须进行更多的观测实验.

五、结 论

中国杭州地区肥沃稻田 1987 年晚稻生长期间的甲烷释放率在 $0—240 \text{mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$

之间, 平均值为 $39 \pm 4 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ 或 $0.93 \pm 0.10 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。据此推算出 1985 年全球稻田的甲烷释放量为 $134 \pm 31 \text{ Tg}$, 其中 $121 \pm 26 \text{ Tg}$ 和 $30 \pm 6 \text{ Tg}$ 分别来自亚太地区和中国稻田。

稻田甲烷释放率在水稻生长期变化很大。在 10 月上旬以前的整个水稻分蘖期、开花期等生长阶段, 除了可能是阴雨天气引起的短暂? 低释放率外, 一般都在 $40 \sim 60 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ 水平上波动; 在 10 月中旬, 甲烷释放率急剧下降至 $10 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ 的水平。10 月下旬以后甲烷释放率逐渐减少至零。阴雨天气引起的温度下降和土壤肥力的下降可能是稻田甲烷释放率急剧下降的主要因素。温度与甲烷释放率之间没有明显的简单的正相关性, 温度的突然变化与甲烷释放率的波动之间有一定的正相关性, 但存在一个 2—3 天的时间滞后。

稻田的甲烷释放率具有明显的日变化, 一般在凌晨 3—5 点或午夜达到一个很强的最大值, 白天排放率较小, 波动也较小。这可能与水稻植物体生理上的日变化引起的水稻植物体对甲烷气体传输能力的日变化有关。

观测没有发现在水稻移栽前撒下的化肥 (K_2SO_4) 和有机肥 (菜饼) 对稻田甲烷释放率的明显影响。

致谢: 任丽新同志对本文的实验给予了大力支持, 周秀骥教授曾对本文的初稿进行过修改, 谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Ramanathan, V., Cicerone, R.J., Singh, H.B. and Kiehl, J.T., 1985, Trace gas trends and their role in climate change, *J. Geophys. Res.*, **90**, 5547—5566.
- [2] Blake, D.R. and Rowland, F.S., 1988, Continuing world wide increase in tropospheric methane, *Science*, **239**, 4844.
- [3] Steele, L.P., Fraser, P.J., Rasmussen, R.A., Khalil, M.A.K., Conway, T.J., Crawford, A.J., Gammon, R.H., Masarie, K.A. and Thonning, K.W., 1987, The global distribution of methane in the troposphere, *J. Atmos. Chem.*, **5**, 125—171.
- [4] Seiler, W., 1984, Contribution of biological processes to the global budget of CH_4 in the atmosphere, in Klug, M.J. and Reddy, C.A. (eds.), *Current perspectives in microbial ecology*, Amer. Soc. of Meteo., 468—477.
- [5] Cicerone, R.J. and Shetter, J.D., 1981, Sources of atmospheric methane: measurements in rice paddies and a discussion, *J. Geophys. Res.*, **86**, C8, 7203—7209.
- [6] Cicerone, R.J., Shetter, J.D. and Dilwiche, C.C., 1983, Seasonal variation of methane flux from a Californian rice paddy, *J. Geophys. Res.*, **88**, 11022—11024.
- [7] Seiler, W., Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R. and Scharffe, D., 1984, Methane emission from rice paddies, *J. Atmos. Chem.*, **1**, 241—268.
- [8] Holzapfel-Pschorn, A. and Seiler, W., 1986, Methane emission during a cultivation period from an Italian rice paddy, *J. Geophys. Res.*, **91**, 11803—11814.
- [9] Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R. and Seiler, W., 1985, Production, oxidation and emission of methane in rice paddies, *FEMS Microbiol. Ecol.*, **31**, 343—351.
- [10] Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R. and Seiler, W., 1986, Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil, *Plant and Soil*, **92**, 223—233.
- [11] Schütz, H., Seiler, W. and Conrad, R., 1988, Processes involved in the formation and emission of methane in rice paddies, *Biogeochemistry* (待发表).
- [12] Food and Agricultural Organization (FAO), 1985, *Production Yearbook 1985*, Vol. **39**, Rome, 112—113.
- [13] Cheng Hongzhou, 1981, Geophysical distribution of paddy soils in China, in: *Proceedings of Symposium on Paddy Soil*, Institute of Soil Science, Academia Sinica (ed.), Science Press, Beijing—Springer Verlag, Berlin.

101-107.

- [14] Koyama, T., 1963, Gaseous metabolism in lake sediments and paddy soils and the production of atmospheric methane and hydrogen, *J. Geophys. Res.*, **68**, 3971-3973.
- [15] 戴爱国, 1988, 我国杭州地区秋季稻田的甲烷排放, 中国科学院大气物理研究所硕士论文, 126.

METHANE EMISSION FROM A RICE PADDY IN HANGZHOU OF CHINA DURING GROWING SEASON OF LATE RICE

Dai Aiguo Wang Mingxing, Shen Renxing

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences*)

H.Schütz W.Seiler H.Rennenberg

(*Fraunhofer-Institute for Atmospheric Environmental Research, FRG*)

and Wu Haibao

(*Zhejiang Agricultural University*)

Abstract

Methane release rates from a rice paddy were measured in the suburbs of Hangzhou / China by using an automatic and continuous measuring system in 1987 during a almost complete growing season of late rice. The rice paddy was a source of atmospheric methane with maximum CH_4 release rates up to $240 \text{ mg} \cdot \text{CH}_4 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ during the time of flooding. A seasonal variation with high flux rate in the order of $40-60 \text{ mg} \cdot \text{CH}_4 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ before ripening and the low flux rates of $10 \text{ mg} \cdot \text{CH}_4 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ during the ripening stage was observed. Over the growing period, except transplanting stage, the averaged CH_4 release rate is $39 \text{ mg} \cdot \text{CH}_4 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$. The release rates showed strong diurnal variation with highest values being at midnight or at very early morning and much lower values at the daytime which is possibly related to the diurnal variation of CH_4 gas transporting ability caused by rice plants. Significant differences of the CH_4 release rates between the unfertilized field plots and the plots with chemical (K_2SO_4) fertilizer and with organic (rapeseed cakes) fertilizers were not observed. The decreasing temperature in overcast and rainy days generally caused rapid decreasing of CH_4 release rates in 2-3 days, it is probably due to the decrease of the amount of methanogenic bacteria inside the soil. There is no simple correlation between the CH_4 release rates and the soil temperatures, although both of them declined in the whole growing season. Only a small part of the CH_4 gas produced inside the soil released into the atmosphere, and gas bubbles emitted occasionally from the soil could cause steep rise in CH_4 release rates. The global annual CH_4 emission from rice paddies was estimated to be in the order of $100-160 T_g$ ($T_g = 10\text{g}$) for 1985, $92-142 T_g$ and $23-35 T_g$ of which were from Asia and China, respectively.