

## EM对稻田甲烷排放抑制作用的初步研究\*

苗曼倩 朱超群 莫天麟 王月莲

(南京大学大气科学系, 南京 210093)

比嘉照夫

(琉球大学农学系, 日本)

### 提 要

该文主要讨论采用有效微生物菌剂(Effective Microorganisms)抑制稻田甲烷气体排放的试验结果. 试验表明: 第一年中抑制作用明显, 平均在59%以上, 并且使负通量(即稻田成为吸收大气中 $\text{CH}_4$ 的汇)的出现频率增加. 这可能是EM中含有的光合细菌作用所致. 试验还表明使用EM时可以取代化肥使产量增加.

**关键词:** 有效微生物 甲烷排放率 抑制作用

### 引 言

大气中的痕量气体 $\text{CH}_4$ 的含量及其变化对大气化学过程和气候变化具有重要影响. 70年代以来许多国家都开展了大量的观测研究工作, 发现大气中 $\text{CH}_4$ 的浓度正以每年约1%的速率上升着<sup>[1,2]</sup>, 这将导致全球系统的能量收支改变, 造成气候变暖.

稻田是全球尺度大气 $\text{CH}_4$ 的主要源之一. 稻田的 $\text{CH}_4$ 总排放量约占大气 $\text{CH}_4$ 总量的四分之一, 所以研究稻田甲烷排放的规律十分重要. 中国是世界上最大的水稻产区之一, 中国科学院大气物理研究所与联邦德国等国合作, 自1987年以来做了大量的观测研究工作, 取得了重要的进展. 尽管如此, 如何准确估计稻田 $\text{CH}_4$ 的排放量(即通量), 以及有效地控制 $\text{CH}_4$ 的排放仍然是重要课题.

EM是有效微生物菌剂, 它不含有害的化学成分, 无毒副作用, 不污染环境, 可促进谷物生长, 提高产量和口味的改善. 因此, 用EM作为肥料或配制成饲料, 不仅在日本广泛推广, 而且已在泰国、马来西亚、巴西、美国、台湾等地应用. 中国已经引进并已初步试验成功. EM中含有光合细菌, 使光合作用在土壤和水中进行. 光合细菌在光作用下以地表面热量作为能量, 一方面合成抗氧化物质、氨基酸、糖类和各种生理活性物质来促进植物生长; 另一方面它还有用氢来还原碳的作用. 值得注意的是, 在还原碳的过程中光合菌并不是以水作为氢源, 而是利用其它氢源, 如 $\text{CH}_4$ 气体, 吡啶, 3-甲基吡啶, 甲硫醇和其它有机酸类等<sup>[3]</sup>. 据此, 我们开展了EM抑制稻田 $\text{CH}_4$ 排放的实验研究. 初步研究表明EM可以

\* 系日本株式会社EM研究机构协作项目.  
1997-08-06收到, 1998-02-14收到再改稿.

有效地减少稻田中  $\text{CH}_4$  气体的排放量。

## 1 试验方法

试验地点在江苏省南京市郊江浦县建设乡(32°3'N, 118°39'E), 试验水稻品种为 6427 号粳稻(属晚稻或算麦茬稻), 1996 年 7 月 3 日移栽, 10 月 15 日前后收割。

实验方法采用一般常用的密闭箱法, 通过人工手动采样和气相色谱仪分析气体样品的浓度。本实验主要研究其相对变化, 对这种方法的优缺点不作详细讨论。

选择两块土壤和种植品种相同的稻田。其中一田块(以下简称 A 点)在移栽前一周, 追施 EM 固体肥料(未施化肥和农药)。所用的种子预先用 EM 溶液浸泡。管理方法与其它田块相同。另一测点称作 B 点, 一切管理均按常规方法。

观测分 5 个阶段, 观测日数共 28 天: 第一阶段, 移栽—返青, 3 天(7 月 3~5 日); 第二阶段, 返青—分蘖, 3 天(7 月 7~9 日); 第三阶段, 分蘖—拔节, 10 天(7 月 17~26 日); 第四阶段, 拔节—孕穗, 7 天(8 月 4~10 日); 第五阶段, 孕穗—扬花, 5 天(8 月 17~21 日)。每隔 3h 观测一次(除午夜 2:00 外), 每次 40min, 取 3~4 次样品。

采样箱箱高 110cm, 截面积 60cm×60cm, 用化学特性稳定的透明有机玻璃制成, 文献[4]对此方法之优缺点作了详细叙述。为了克服因箱体面积较小而造成排放值的随机性, 箱内安装风扇。用人工采样, 避免抽气管路对箱内气压等的影响, 从而降低了采样过程中的误差。

在采集箱内外同高度和土壤 0cm、5cm 深处安装了温度自动测量仪。仪器的精度为 0.1℃, 同时, 还采集了表层的土壤样品, 进行 pH 值和有机质含量的分析。

单位面积单位时间稻田向大气释放的甲烷通量  $F(\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$ , 或称作排放率可以由下式计算

$$F = M \cdot \rho \cdot \frac{V}{A} \frac{dc}{dt} \quad (1)$$

式中,  $\frac{dc}{dt}$  是甲烷气体体积混合比变化率,  $M$  是  $\text{CH}_4$  的克分子量,  $\rho$  是空气密度, 实际上,  $\rho = p/RT$ ,  $p$  为气压,  $R$  为普适气体系数,  $T$  为箱内气温,  $V$  为采样箱体积,  $A$  是箱的截面积。式(1)已对采样体积作了温度和气压订正, 使计算结果具有可比性。

## 2 结果分析

### 2.1 稻田 $\text{CH}_4$ 排放的日变化

有关稻田  $\text{CH}_4$  通量的日变化, 王明星等<sup>[5,6]</sup>和上官行健等<sup>[7]</sup>作了较系统的分析, 指出中国稻田  $\text{CH}_4$  排放的日变化有 4 种类型, 通常出现的是午后峰值型, 在杭州和湖南均观测到, 这类分布主要发生在晴天。第二种是夜间峰值型, 只在杭州晚稻生长期观测到, 而在湖南晚稻生长期从未出现过。他们认为此差别来自于水稻品种的不同。第三种为午后夜间双峰型, 出现于杭州晚稻生长期。第四种为不规则型, 出现在阴雨天和冷空气过境的天气。

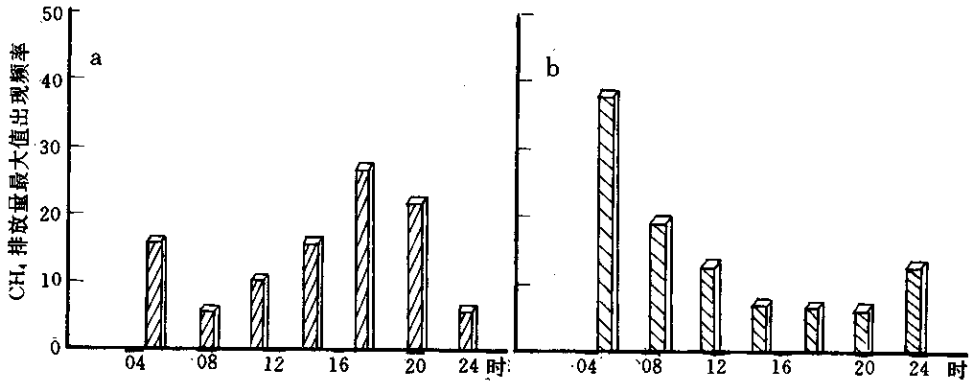


图1 CH<sub>4</sub>排放量最大值出现频率的统计分布  
(a)A点(b)B点(横坐标为地方时,下同)

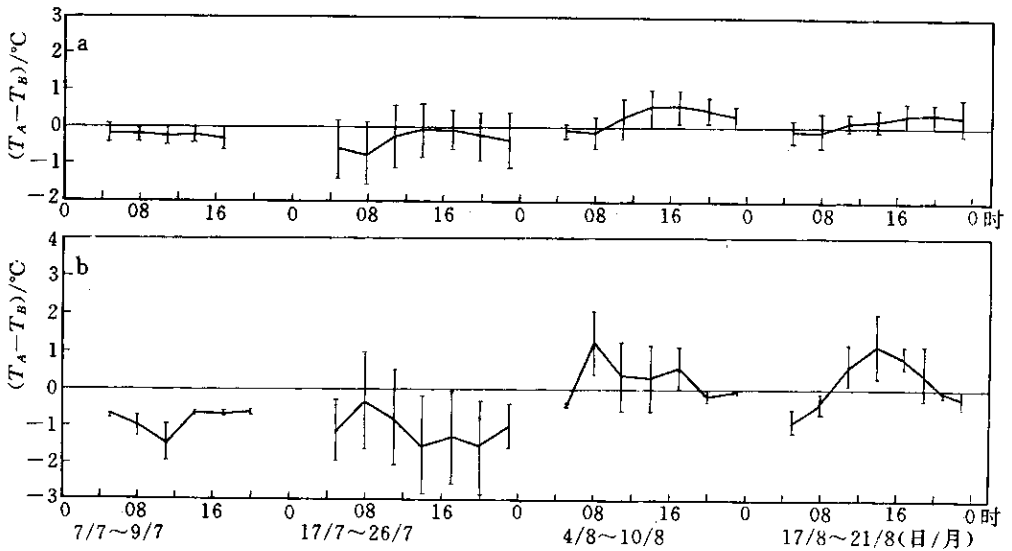


图2 两观测点(a)土壤温度差和(b)箱内气温差的时间分布

1996年夏天,南京地区低温多雨,对稻田CH<sub>4</sub>排放规律有一定影响,日变化规律有些紊乱.但在分蘖—孕穗期间,CH<sub>4</sub>排放量最大值出现频率的统计分布(见图1)具有一定规律.从图1(b)可见,B点的CH<sub>4</sub>通量日变化属于夜间峰值型.图1(a)A点的CH<sub>4</sub>通量日变化却属于第一类午后峰值型.在同一地方相同稻种,而日变化类型却不同.对此,我们认为日变化类型可能是与土壤的成分与结构有关.因为EM的重要作用之一是改良土壤,使土壤从腐败型向发酵型转化.腐败型的土壤中有机质以热和气体的形式向大气中释放,引起污染,其自身被分解和转化,使土壤有机质回到低水平的平衡.而发酵型土壤中,有机质可以以水溶性物质而贮存,作为有机能被作物利用,不会产生气体和热量,不造成污染<sup>[3]</sup>.稻田表层5cm层的土壤pH值和有机质含量列于表1.由表1可见,A点由于施用了EM技术,比一般土壤更接近于中性,有机质含量高于B点.土壤开始向发酵型方向转

化,当然这种转化是长期的.一般认为土壤温度或气温对稻田  $\text{CH}_4$  排放有影响<sup>[4]</sup>.两个观测点的土壤表层温度和采集箱内的气温也呈现出差别.图2给出本次试验期内土壤表层温度差  $\Delta T_{\pm} = (T_A - T_B)_{\text{scm}}$ ,和箱内气温差  $\Delta T_{\text{气}} = (T_A - T_B)_{\text{气}}$ .在第二和第三阶段,稻田内有水的情况下,A点的土壤温度和气温均低于B点.自拔节期之后,稻田内无水(晒田).白天A点的土温和气温都高于B点.孕穗期之后稻田再度有水,温差状态与前一生长长期情况相似.温度差异也会影响稻田  $\text{CH}_4$  排放的规律.

表1 观测点土壤的pH值和有机质含量\*

|               |   | 7月    |       |       |       | 8月    |       |       |       |       |       |
|---------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               |   | 9日    | 18日   | 22日   | 25日   | 5日    | 7日    | 9日    | 18日   | 20日   | 22日   |
| pH            | A | 7.49  | 7.48  | 7.06  | 7.22  | 7.58  | 7.54  | 7.69  | 7.41  | 7.55  | 7.20  |
|               | B | 7.72  | 7.54  | 7.14  | 7.65  | 7.68  | 7.61  | 7.76  | 7.77  | 7.78  | 7.80  |
| 有机质<br>(g/kg) | A | 26.41 | 20.67 | 24.08 | 22.39 | 22.42 | 22.23 | 21.90 | 21.70 | 22.54 | 22.19 |
|               | B | 23.97 | 27.74 | 26.77 | 27.75 | 26.45 | 28.41 | 25.58 | 27.37 | 28.47 | 28.35 |

\* 中国科学院南京土壤研究所的分析结果

## 2.2 EM的抑制作用

A,B两田块间的垂直距离为51.5m,均为麦茬稻田.前一年种植水稻和当年种植麦子的品种均是相同的.播种前泡田期间的土壤之pH值A、B两点分别为7.61和7.72,有机质含量分别为24.89和23.97g/kg,基本相同.周围环境也基本一致,只是A田块的东北方向灌(排)水沟上游约15m处有一粪池,逢大雨天有污水流入沟内(选点时未注意到).试验期间常吹偏东风.为此,从7月9日大雨之后,我们把水沟与田块隔断,并在A、B两点均测量了本底.取本底样的位置位于采样箱上风向田埂上.结果表明绝大多数(约占76.8%)的情况下,A点的本底浓度高于B点.表2列出3个主要生长期本底浓度差( $C_A - C_B$ )<sub>\*</sub>的平均值.可见,两点的差别不大.

表2 水稻主要生长期各采样时间的本底差平均值

| 日/月       | 05:00  | 08:00  | 11:00  | 14:00 | 17:00 | 20:00 | 23:00 |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 18/7~26/7 | 0.018  | 0.068  | 0.041  | 0.005 | 0.002 | 0.044 | 0.044 |
| 5/8~10/8  | -0.001 | -0.006 | -0.009 | 0.009 | 0.048 | 0.004 | 0.015 |
| 18/8~22/8 | -0.005 | -0.007 | -0.008 | 0.026 | 0.049 | 0.031 | 0.059 |

图3给出了第二和第三两个观测期的 $\text{CH}_4$ 排放的日变化曲线.由于7月7日和9日午后均下中雨,故第二观测期只给出8日的结果(见图4(a)).A点(实线)的 $\text{CH}_4$ 排放量最大值为 $21.9\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ .B点最大值达 $110\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ .一般晚稻 $\text{CH}_4$ 的极大值出现在播种后的10天(即分蘖初期)<sup>[7]</sup>.所以B点出现 $110\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 值较大是不奇怪的.而且A点的排放量明显低于B点.这是EM作用的结果.这种抑制作用在第三阶段(即分蘖—拔节)也是十分明显的.由于7月9日连降大雨,江浦县许多稻田被水淹,稻田中的EM被稀释了,并且有部分粪水流入A点田中.故17日A点通量高于B点.于是17日15:00又喷洒了EM溶液.以后每次遇到中等以上的降雨后,均补洒EM溶液.从图4(b)和(c)可以清楚看到,当补洒了EM溶液后,A点的 $\text{CH}_4$ 排放量很快变得比B点少.20日20:00以后又降大雨,21日有小雨.7月22日上午A点的 $\text{CH}_4$ 通量超过B点,当

11:00追施EM肥料(其它稻田施化肥). A点的CH<sub>4</sub>排放再次变小. 第四和第五观测期的情况类似(图略), 不一一列举.

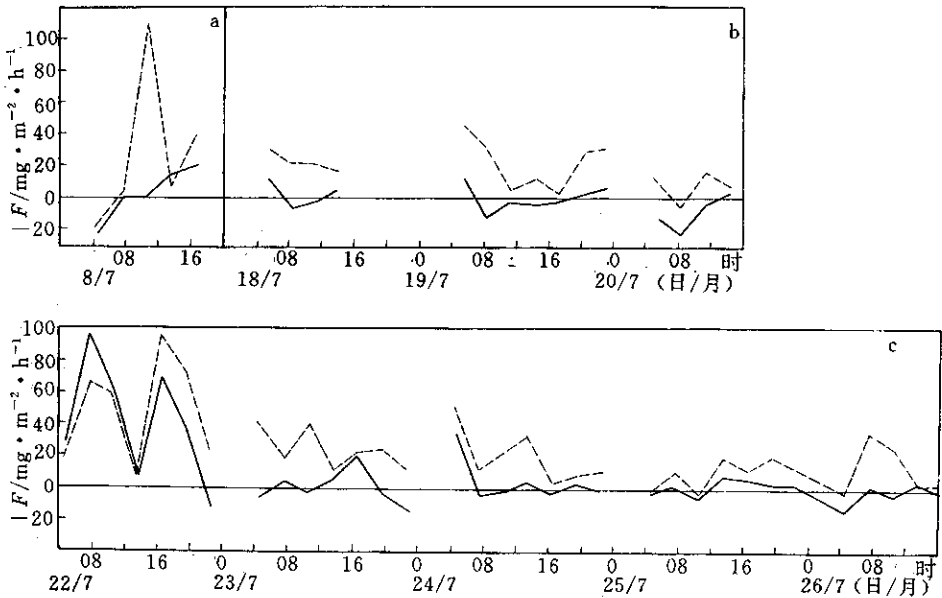


图3 两观测点CH<sub>4</sub>排放量的日变化(a)第二观测期,(b)(c)第三观测期  
(实线:A点,虚线:B点,下同,图中纵坐标F为CH<sub>4</sub>排放量)

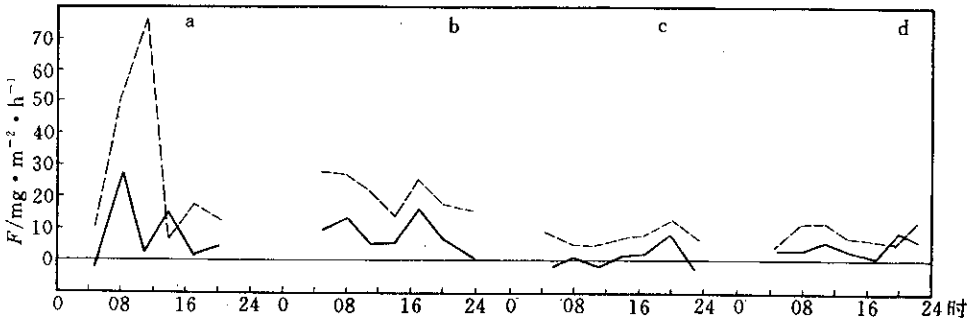


图4 两观测点CH<sub>4</sub>排放量的平均日变化(说明同图3)

图4给出各个观测期的平均日变化规律. 由图4可见EM对稻田CH<sub>4</sub>排放的抑制作用是明显的.

图5是CH<sub>4</sub>排放量的日平均值. 图5下方的直方图表示CH<sub>4</sub>排放量的相对减少率:

$$E = \frac{F_A - F_B}{F_B} \times 100\% \quad (2)$$

式中F表示CH<sub>4</sub>排放量. 一般情况下,  $F_A < F_B$ , 故E是负的, 表示相对减少率. 由图5可见, 最大的抑制作用出现在分蘖—拔节期间. 拔节—孕穗阶段, 稻田内基本无水(即晒田). CH<sub>4</sub>排放量明显减小. 孕穗—扬花期虽然稻田中再次灌水, 但排放量仍然较低. 平均而言, 各观测阶段均是A点的CH<sub>4</sub>排放量低于B点. EM的抑制作用是存在的. 表3列出了4

个生长阶段  $E$  的统计情况。

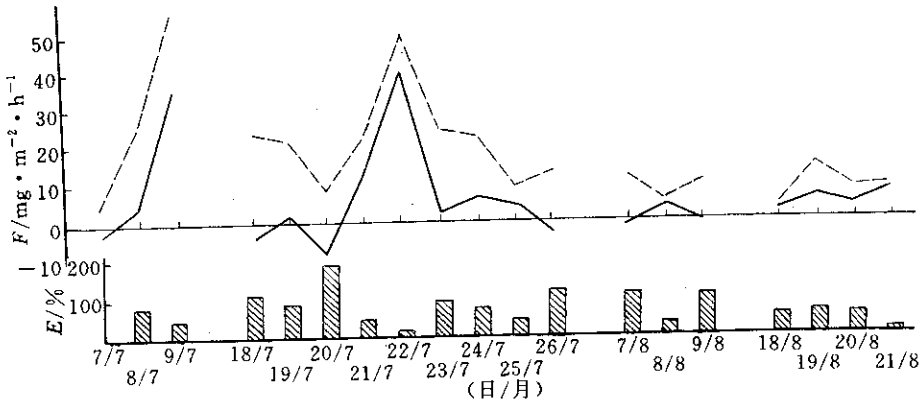


图 5 A 点(实线)和 B 点(虚线)CH<sub>4</sub> 通量的日平均值和 CH<sub>4</sub> 通量的相对减少率

表 3 使用 EM 后排放率的相对抑制率

|                       | 返青—分蘖 | 分蘖—拔节  | 拔节—孕穗  | 孕穗—扬花  |
|-----------------------|-------|--------|--------|--------|
| $E_{\text{mean}}(\%)$ | -59.1 | -95.4  | -116.6 | -71.3  |
| $E_{\text{max}}(\%)$  | -98.7 | -278.9 | -280.0 | -127.6 |
| $E_{\text{min}}(\%)$  | -21.7 | -14.1  | -11.1  | -16.7  |

使用 EM 技术后,平均减少率在 59% 以上.抑制作用以分蘖—拔节最显著.显然拔节—孕穗期间  $E_{\text{mean}}$  超过 100%,但 CH<sub>4</sub> 通量值本身较小.凡是  $E$  值超过 100% 时,都对应于 A 点的 CH<sub>4</sub> 排放量出现负值,意思是土壤吸收大气中的 CH<sub>4</sub> 气体.这种现象在一些文献中也有报道.印度旱稻地区,不仅发现 CH<sub>4</sub> 通量极小,干旱的稻田土壤还可以吸收 CH<sub>4</sub><sup>[4]</sup>.日本 Minami(1990)<sup>[8]</sup>发现稻田土壤水的渗透率越大,CH<sub>4</sub> 排放越低,原因可能是渗透水溶解能提高氧化还原电位,改变土壤的有机营养.上官行健(1993)<sup>[4]</sup>在观测中也发现:常湿润地一旦干涸较长时间之后再维持湿润,则在一合适时间里 CH<sub>4</sub> 排放会很小,甚至为负值.

在前文中已经提及,EM 中的光合菌可以利用大气中的 CH<sub>4</sub> 等物质内含有的氢来还原碳.所以使稻田上方大气中 CH<sub>4</sub> 通量出现负值是完全可能的.每个观测期(除第一、二阶段,样品数太少不作统计外)出现负通量的频率列于表 4 中.

该表资料表明 EM 技术抑制稻田 CH<sub>4</sub> 的排放是有效的.尤其是分蘖—拔节期内追施 EM 固体肥料后,抑制作用更显著,出现负通量的频率大大提高.

那么 EM 的抑制作用与降温作用(即 A 点的土壤温度和气温低于 B 点)是否有关? 图 6 给出了  $\Delta F(=F_B - F_A)$  与  $\Delta T_{\text{气}}$  以及  $E$  与  $\Delta T_{\text{气}}$  的关系图.从图 6 可以看到,虽然两者关系不十分明确,但趋势是明显的,抑制作用越强则温差也较大.

表 4 各生长期出现负通量( $F < 0$ )的频率

|   | 分蘖—拔节 | 拔节—孕穗 | 孕穗—扬花 |
|---|-------|-------|-------|
| A | 38.5  | 28.9  | 13.8  |
| B | 3.5   | 7.9   | 0     |

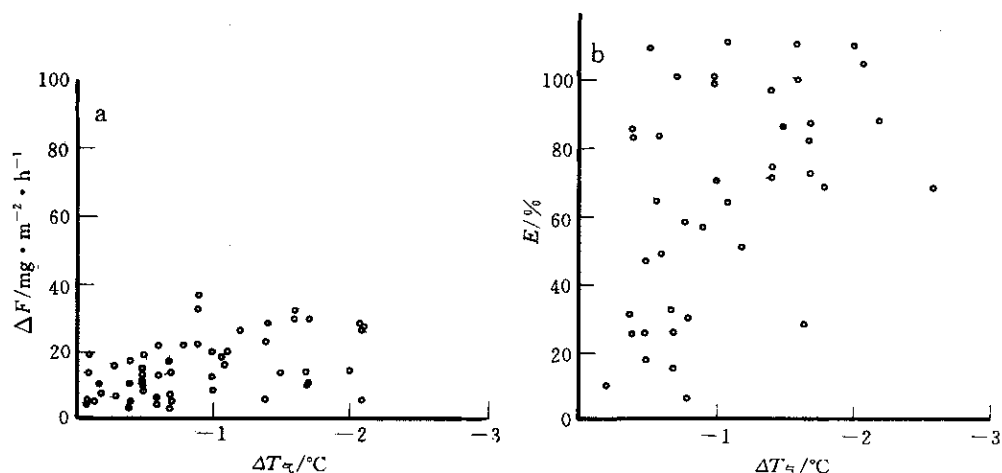


图6 两观测点CH<sub>4</sub>(a)通量差 $\Delta F$ 和(b)相对减少率 $E$ 与温差之间的关系

### 2.3 EM对水稻生长的影响

EM的技术目的,在于实现不依靠农药化肥也增产的目标.本次试验A点没有使用任何化肥,其产量的情况列于表5.由表可见,A点水稻的产量和质量均优于B点.按千粒重考虑,产量可增加10.3%.按5穴的总重量计,可增产25.1%.所以用EM技术来抑制稻田的CH<sub>4</sub>是一条可行的道路.

表5 两观测点产量参数值的对比

|                                | 样品数<br>(穴) | 总粒数<br>(粒) | 穗长<br>(cm) | 瘪粒数<br>(粒) | 空壳<br>(粒) | 空壳率<br>(%) | 空瘪率<br>(%) | 总重量<br>(g) | 千粒重<br>(g) |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| A                              | 5          | 4929       | 22         | 68         | 233       | 4.5        | 6.1        | 131.6      | 28.9       |
| B                              | 5          | 4825       | 20         | 261        | 1102      | 21.3       | 28.2       | 105.2      | 26.2       |
| $\Delta X$<br>(= $X_A - X_B$ ) |            | 104        | 2          | -193       | -869      | -16.8      | -22.1      | 26.4       | 2.7        |
| $\Delta X/X_B \times 100\%$    |            | 2.2        | 10         | -73.9      | -78.8     |            |            | 25.1       | 10.3       |

注:  $X$ 代表某参数,下标代表采样点.

## 3 讨论

通过本次的野外测试与分析,EM有效微生物可以抑制水稻田甲烷排放量,第一年平均在59%以上.并使水稻产量明显提高.EM不污染环境,且具有强烈的抗氧化作用和产生抗氧化物质的力量,这对自然界恢复生态系统的活力和消除化肥和农药的危害,是十分重要的.但是其本身的作用机理尚在进一步探索之中.另一方面稻田的CH<sub>4</sub>的生成和输送等过程也是十分复杂的.本课题是一项系统工程研究,尚须与农业部门配合,进行较长期的实验研究.

致谢:本工作在蒋燕霞高级工程师指导下,得到南京电力环保所的领导 and 林成安、郝天明、刘捷同志的大力帮助,南京大学龙斯玉教授和张银珍同志在实验稻田中也给予协助,在此一并表示感谢.

## 参 考 文 献

- 1 Blake D R, Rowland F S. Continuing world wide increase in tropospheric methane. *Science*, 1988, **239**: 1129~1131.
- 2 Steele L P, Fraser P J, Rasmussen R A, et al. The global distribution of methane in the troposphere. *J. Atmos. Chem.*, 1987, **5**: 125~171.
- 3 Teruo Higa. An earth saving revolution. Sunmark Publishing Inc., 1-32-13, Takdanobaba, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan, 1996, 336.
- 4 上官行健. 稻田甲烷产生和排放过程的研究. 中国科学院大气物理研究所博士论文, 1993, 96~112.
- 5 Wang M X, Dai A G, Shen R X. CH<sub>4</sub> emission from a Chinese rice paddy field. *Acta Meteorologica Sinica*, 1990, **4**: 265~274.
- 6 戴爱国, 王明星, 沈任兴等. 我国杭州地区秋季稻田的 CH<sub>4</sub> 排放, 大气科学, 1991, (1): 102~110.
- 7 Shangguan X J, et al. The feature of methane emission from a paddy field in the central china region. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1994, **18**(3): 358~365.
- 8 Minami K. Effect of agricultural management on methane emission from rice paddies, Contribution to IGBP workshop, Trace Gas Exchange in a Global Perspective (Trace gas exchange in rice cultivation especially CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O), Stockholm, Sweden, February 1990, 19~23.

## PRELIMINARY STUDY ON THE SUPPRESSION EFFECT OF EM ON METHANE EMISSIONS IN PADDY FIELDS

Miao Manqian Zhu Chaoqun Mo Tianlin Wang Yuelian  
(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Teruo Higo

(EM Research Organization, Japan)

### Abstract

This paper mainly discusses the experimental results of the suppression effect on methane gas (CH<sub>4</sub>) released from the paddy field by the Effective Microorganism (EM), and the results show that the suppression effect was more remarkable, averagely more than 59% being decreased in the first year. Moreover, the frequency of negative flux which represents the paddy field as the sink to absorb CH<sub>4</sub> from atmosphere increased. It may result from the action of photosynthetic bacteria contained in EM. Furthermore, the experiment revealed that the EM could get a raise in yield of crop without chemical fertilizer.

**Key words:** Effective Microorganism (EM) Methane emission rate Suppression effect