

北京地区春季稻田甲烷排放的研究

张剑波 邵可声 李 智 唐孝炎

禹仲举

(北京大学环境科学中心, 北京 100871)

(北京大学技术物理学系, 北京 100871)

摘要 观测不同农业管理条件下, 北京地区春季稻田甲烷的排放通量。以当地农民所惯用的管理方式为代表, 排放通量为 $8.7 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。甲烷排放有季节性变化, 以分蘖期和扬花期为峰值, 土壤氧化还原电位的变化与甲烷排放有很好的相关性。施用过量的有机肥会增加排放, 采用科学的间歇灌溉方式可以增产并降低甲烷的排放。旱直播技术虽可大大降低甲烷排放但影响水稻产量, 有待进一步的研究。

关键词 稻田甲烷, 排放通量, 农业管理。

由于世界人口的增长与生产活动的迅速发展, 大气中二氧化碳、甲烷等温室气体的浓度明显增加。

在几种温室气体中, 甲烷在大气中起到独特的作用。大气中的 1000g 甲烷对温度变暖的作用相当于 1000g 二氧化碳的 70 倍。根据模式计算, 全球温度升高的 20% 来源于甲烷的贡献, 而且其浓度在逐年升高^[1-2]。

另外, 甲烷在大气中能稳定存在, 寿命也比较长, 可与 OH 自由基反应, 影响对流层中 OH 自由基和 O_3 浓度的变化从而影响整个对流层的化学反应过程^[3]。因而研究甲烷的源, 确定甲烷的源强对研究甲烷的浓度变化趋势有重要意义。

甲烷的重要源是生物源, 受人为影响的主要是稻田、反刍类动物和固体废弃物。近年来, 各国的科学家对各种源进行了估算, 一般认为总的排放大约在 $(400-600) \times 10^{12} \text{ g/a}$, 60%—70% 的排放来自人为源, 而农业排放则占总排放的 50%, 占人为排放的 70%。而全球的 20% 甲烷来源于稻田^[4-6]。

1981 年 Cicerone^[7] 等首次报道了稻田甲烷排放速率的直接测定结果, 发现甲烷排放主要通过水稻植物体排放, 而通过气泡和扩散作用的排放占很少一部分。此后, 科学家们分别在意大利, 美国, 日本等地测定甲烷的稻田排放通量, 试图对全球的稻田甲烷排放量进行估算, 但由于影响甲烷稻田排放的因素很多, 不同地区的甲烷排放

速率差异很大, 要想得到比较准确的估算结果, 现有的数据还远远不够, 尤其中国方面的数据还很缺乏。

本文的研究目的在于: 测定北京地区春季稻田甲烷的排放通量, 并观测不同农业处理方式对甲烷排放的影响。

1 实验部分

1.1 样品的采集和处理

采集样品使用有机玻璃静态封闭箱。箱规格分别为 $45 \times 45 \times 50$ 、 $45 \times 45 \times 80$ 、 $45 \times 45 \times 120 \text{ cm}$, 在水稻的不同生长期使用。在每个采样点固定放置一个不锈钢底座作为水封, 采样时, 把采样箱罩在保持有水封的底座上, 箱内装有小风扇以使箱内的气体均匀一致。每个采样点每次采样品 5 个, 样品量 30ml。

样品带回实验室后立即分析。仪器为 SHIMADZUGC-7A, 2m 长不锈钢柱, 填料为 GDX-502, FID 检测器。标准样品为美国 NBS 提供的 4×10^{-6} 和 1×10^{-6} 甲烷标气以及中国计量科学院配制的 10.6×10^{-6} 和 100×10^{-6} 甲烷标气。

用 5 个样品的甲烷浓度对采样间隔时间作线性回归, 求其斜率 dc/dt , 其表示该采样点的甲烷排放速度, 然后用公式:

收稿日期: 1994-02-05

$$F = \frac{MP}{RT} \times H \times dc/dt$$

求出该采样点的甲烷排放通量 F 。式中, M 为甲烷分子量, P 为采样时的大气压, T 为采样时的气温, R 为气体常数, H 为采样箱的有效高度, 等于箱高扣除水深。

如果 5 个样品得到的相关系数 r 优于 0.878, 则认为在置信水平 $\alpha=0.05$ 的情况下, 该数据是可靠的。

1.2 试验田的农业处理

实验从 1991 年春季开始至秋季结束, 试验田选在北京的西北郊, 颐和园以北 1km 处。该地区长期种植春季稻(单季稻), 并以清洁的京密引水渠的水灌溉。

试验田长 27.6m, 宽 21.5m, 分成 5 种处理方式。试验田平均划分为 15 个小区, 每小区 4×

8m², 每种处理方式有 3 块相同的小区, 随机分布(图 1)。5 种处理方式以施肥、灌溉及播种方式的不同来比较农业处理对甲烷排放的影响(表 1)。其中处理 3、4 和 5, 每个小区所施底肥量与当地农田的施肥量相当。处理 5 的 3 个小区在 4 月 20 日旱播种, 其余 12 个小区于 5 月 18 日插秧; 秧苗的秧龄 45d。

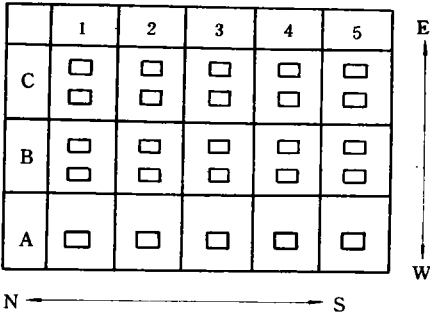


图 1 试验田采样点分布图

表 1 农业处理及甲烷排放通量

处理	1	2	3	4	5
底肥(猪粪) ¹⁾	96	0	48	48	48
面肥(尿素) ¹⁾	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
分蘖肥(尿素) ¹⁾	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
扬花肥(尿素) ¹⁾	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
播种方式	移栽	移栽	移栽	移栽	旱种
随机小区	A1, B5, C2	A5, B1, C3	A4, B3, C4	A2, B4, C5	A3, B2, C1
灌溉方式					
7 月 4 日前	淹灌	淹灌	淹灌	淹灌	淹灌
7 月 4 日至 19 日	烤田	烤田	烤田	烤田	烤田
7 月 19 日后	科灌	科灌	科灌	科灌	科灌
CH ₄ 排放通量 [mg/(m ² ·h)]	20.4	6.7	8.7	10.0	2.6
水稻产量(kg/hm ²)	4590	5130	4545	4395	3630

1) 施肥单位为 kg/小区

5 月 18 日插秧到 6 月 28 日, 15 个小区都采用淹灌方式, 以促进分蘖和抑制杂草生长。6 月 28 日到 7 月 19 日, 15 个小区均停止灌水, 称为烤田, 目的在于抑制秧苗的无效生长。7 月 19 日后, 除处理 4 采用淹灌外, 其余各小区采用间歇灌溉方式, 使稻田保持干湿交替的状态, 即灌 1 次水后, 任其自然落干, 3—5d 后再次灌水, 如此重复至水稻成熟。水稻在 10 月 3 日收割。

试验田土壤属沙壤土, 有机物含量 3.23%, 全氮含量 0.106%, P₂O₅ 为 0.213%, K₂O 为 1.51%, 速效氮为 82.9×10⁻⁶, 速效磷为 11.2×10⁻⁶(P₂O₅), 速效钾为 86.8×10⁻⁶(K₂O)。底肥的有机质含量为 23.0%, 含全氮为 1.04%, P₂O₅ 为 2.17%, K₂O 为 1.57%。

1.3 采样点的设计

试验田分为 2 组。处理 1、2 和 3 作为 1 组, 均采用间歇灌溉, 施以不同量的底肥, 比较不同施肥情况对甲烷排放的影响。另 1 组为处理 3、4 和 5, 其施肥情况相同, 用以比较不同灌溉和播种方式对甲烷排放的影响(表 1)。2 组交替隔田

采样,于 6:00—8:00 和 18:00—20:00 各采样 1 次。每个处理有 5 个采样点(图 1),把 10 次排放通量的平均值作为该处理方式的日排放通量。采样从 5 月 23 日到 9 月 26 日,共 127d,采集样品 13000 多个。

2 结果和讨论

实验表明,不同的施肥量,不同的灌溉和播种方式对稻田甲烷排放的影响是十分显著的。

2.1 施肥与甲烷排放量的关系

处理 1 施用过量的有机底肥,甲烷的排放量最高,达 $20.4 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,处理 2 不使用有机肥,排放率为 $6.7 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,处理 3 施用有机肥的量与当地农民的用量相当,排放量为 $8.7 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。从上述结果可以看出,大量有机肥的施用促进甲烷排放。这是由于在深层土壤的无氧环境中,厌氧细菌的活动首先使土壤有机质腐败,产生乙酸或产生氢气和二氧化碳,乙酸或氢气和二氧化碳都可以在产甲烷细菌的作用下产生甲烷。表明可被利用的有机物供给是甲烷产率的重要控制因子。一般说来,甲烷产率是以产甲烷菌的食物为限制条件的,因而有机物的增加使甲烷产率增加。

2.2 甲烷排放的季节变化

测得的甲烷排放季节变化为双峰型(图 2),这和国外文献报道的情况是一致的^[8]。第一个峰出现在水稻分蘖期前后。分蘖期前,由于施肥和前一年的残根枯叶,土壤中有机物含量较高,经过厌氧发酵过程产生大量的甲烷,在分蘖期,水稻植株呼吸旺盛,通过水稻植物体的排放是甲烷排放的主要途径,因而甲烷的排放达到了一个峰值。分蘖期后,土壤中原有的有机物含量下降,甲烷的排放也下降。随着水稻的生长,其根系逐渐发达,根系流出物或根系本身为土壤提供有机物,使甲烷在水稻扬花期附近出现第二个峰值。同时甲烷的排放,还受到土壤温度变化的影响,在本实验过程中使用热传感温度计,每次采样时同时测定土壤温度和气温(图 3)。由于大部分产甲烷菌对温度变化很敏感,其最佳繁殖温度在 $30—40^\circ\text{C}$,故温度是控制甲烷产率的重要环境条

件。从测定结果可以看到甲烷排放高峰与土壤温度的升高是相关的。

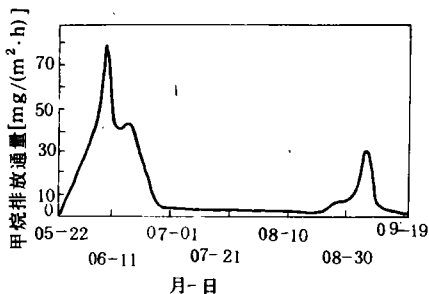


图 2 稻田甲烷排放变化曲线(处理 4)

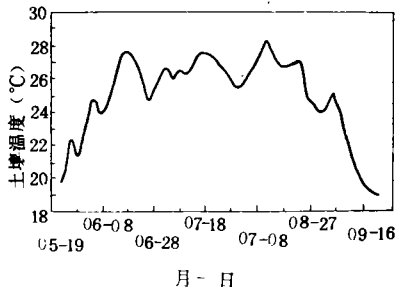


图 3 土壤的温度变化

2.3 灌溉和播种方式对甲烷排放的影响

处理 3 采用间歇灌溉方式,排放通量 $8.7 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;处理 4 采用淹灌的方法,这是农民的常规做法,即保持田中有水层,甲烷排放通量为 $10.0 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;处理 5 采用旱播种的方式,甲烷排放量为 $2.6 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。淹灌处理高于间歇灌溉处理的甲烷排放,这是由于间歇灌溉处理,使土壤间歇地落干,厌氧状态有所破坏,不利于厌氧细菌的繁衍,从而降低了甲烷产生的速率。对于旱直播的稻田,从 4 月 20 日播种到 5 月 16 日灌水前的这段时间里,随着秧苗的生长,土壤中有机物含量下降,且没有形成厌氧环境,有机物主要被非厌氧细菌分解,故灌水之后,甲烷的排放率并不高,再是旱直播稻田土壤的通气性好,对厌氧细菌的生存不利,从而不利于甲烷的生成。从测量结果可以看到,对于处理 3,由于在扬花期正是采用间歇灌溉的阶段,与处理 4(图 2)相比较,其第二个排放高峰受到抑制,整个排放量降低(图 4)。

另外从农业生产方面来讲,间歇灌溉是一个

既可提高水稻产量,节约用水又可降低甲烷排放的方法。而旱直播技术虽可大大降低甲烷排放,但由于田中杂草易蔓延,消耗养分,影响水稻生长状况,造成产量下降。有必要研究新的高产品种,配合除草技术,旱直播将是控制甲烷排放的有前途的方法。

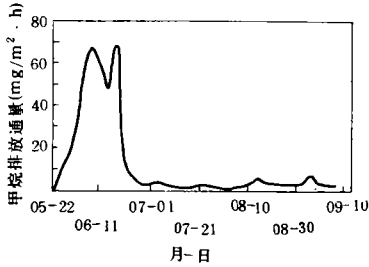


图 4 稻田甲烷排放变化曲线(处理 3)

2.4 土壤的氧化还原电位与甲烷排放的关系

水稻生长过程中,需特殊的田间水层管理,使土壤比较长时间地处于厌氧环境中,氧化还原电位低,厌氧细菌得以繁衍,为甲烷的生成创造了条件。采样过程中,使用自制的白金电极,以甘

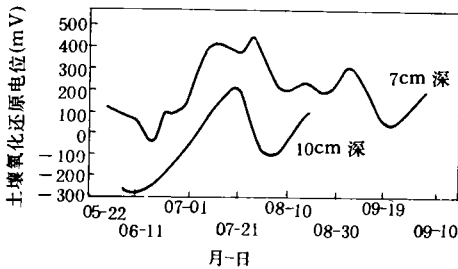


图 5 土壤的氧化还原电位变化

汞电极为参比电极,分别测量了土壤表层下 7cm

和 10cm 处的氧化还原电位(图 5)。测量结果表明土壤的氧化还原电位与甲烷的排放有很好的相关性,甲烷排放高峰期氧化还原电位低,甲烷排放低时土壤的氧化还原电位高。土层越深,氧化还原电位也低一些。

3 小结

农业管理措施对甲烷的排放影响很大,施用过量的有机肥增加甲烷排放,采用间歇灌溉可以增产并降低甲烷排放。旱直播技术虽可大大降低甲烷排放但影响水稻产量,有待进一步研究。北京地区春季稻田的甲烷排放率,以当地农民所惯用的管理方式为代表,为 $8.7 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。甲烷排放有季节性变化,以分蘖期和扬花期为峰值,土壤的温度变化和氧化还原电位的变化与甲烷排放有很好的相关性。

致谢 本工作得到中国农业科学院作物所的过益先先生,王步军先生,国家环保局的梁思翠先生,北京大学环境科学中心大气室和技术物理系环境化学教研室其他人士的支持和帮助,在此表示感谢。

参考文献

- 1 Black D R et al. . J. Atmos. Chem. . 1986, 4(1): 43
- 2 Rasmussen R A et al. . J. Geophys. Res. . 1981, 86: 9826
- 3 Levine J S et al. . Nature. 1985, 318: 254
- 4 Holzapfel-pschorn A et al. . J. Geophys. Res. . 1986, 91: 11803
- 5 Wang M X et al. . ACTA Metro Sinica. 1990, 4(3): 266
- 6 Khalil M A et al. . Atmos. Environ. . 1985, 19: 397
- 7 Cicerone R J et al. . J. Geophys. Res. . 1981, 86: 7203
- 8 Cicerone R J et al. . J. Geophys. Res. . 1983, 88: 11022

• 环境信息 •

国际开发银行应为环境投资提供软贷款

中东欧国家环境部长们最近在丹麦哥本哈根一次会议说,国际开发银行应为环境投资提供软贷款。这次会议是由丹麦环境部长斯文德·奥肯召集的。16 个东欧国家的部长以及世界银行、欧洲重建与开发银行、北欧投资银行和欧洲联盟委员会的代表出席了该会。据奥肯说,除非

以极为有利的条件批准贷款,否则,不可能找到必要的筹措资金。在波罗的海,去除最严重的污染源,需要多达 150 亿美元。

淮海译自 ES&T, 1994, 28(7), 306A

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(5), 1994, pp. 19—22

A typical region with various types of topography extended from the Taihang Mountains to the ancient course of the Yellow River was selected to study the relationship between the contents of the available species of six trace elements in soil, which were essential for plants to grow, and the topographical changes. The results show that the level of water soluble boron species in soil was increasing with the topography dropping; the level of easily reducible manganese species changed in consistence with the topography; the level of molybdenum species was the lowest in mountainous areas and lowlands; the level of zinc was generally lower in most areas; and the level of copper was middle or higher in all the soils of various topographies. The results obtained provide a scientific basis for the application of trace elements fertilizers to soil and the studies to find the causes for abundance or deficiency of various elements in different topographies.

Key words: topography, trace elements, soil.

Study on the Methane Emission from Spring Rice Fields in Beijing. Zhang Jianbo et al. (Center for Environ. Sciences, Dept. of Technical Physics, Peking University, Beijing 100871); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(5), 1994, pp. 23—26

The emission of methane (CH_4) from spring rice fields under different field managements was measured in Beijing in 1991. Under the traditional practice of local agricultural management, the CH_4 emission flux was found to have a mean value of $8.7 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. The seasonal variation in CH_4 emission was observed with the peak values occurred in the tillering and flowering phases. The redox potential in soil was found to be correlated with CH_4 emission. The organic manures applied in field resulted in an increased CH_4 emission. Intermittent irrigation on a scientific basis to have an alternating dry and flooded paddy may be an effective way to increase rice yield and to reduce CH_4 emission. Direct dry-sowing technology may largely out down CH_4 emission but may reduce rice yield that needs to be further studied.

Key words: methane emission, rice field, emission flux, field management.

Study on the Photolysis of Dimethyl Sulfide and the Rate Constant of Forming Dimethyl Disulfide. Zhong Jinxian, Yang Wenxiang et al. (Research Center for Eco- Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(5), 1994, pp. 27—30

Dimethyl sulfide (DMS) was irradiated with a low pressure mercury lamp and then the photolytic products were detected with a Fourier transform infrared spectroscope in a long path cell of 20m at different times. The results show that dimethyl sulfide was photolyzed to form dimethyl disulfide and ethane by following a first order reaction, with a

rate constant of $8.70 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ for the formation of dimethyl disulfide. A system of $\text{DMS} + \text{H}_2\text{O}_2$ and a system of $\text{DMS} + \text{NO}$ were also studied by using the same method. It was found that in the presence of sufficient H_2O_2 , DMS was photolyzed to form CH_2O and $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$. In the case of $\text{DMS} + \text{NO}$, the photolytic products were CH_3SSCH_3 , C_2H_6 and CH_3SNO .

Key words: dimethyl sulfide, photolysis, rate constant of reaction.

Pilot Study on the Industrialized Production of chrome Pig Iron Smelted from a Sintered Chrome Slag Ore. Liu Dayin and Zhou Caixin et al. (Dept. of Environ. Eng., Huangshi College 435000); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(5), 1994, pp. 31—34

A pilot study on the industrialized production of chrome pig iron was carried out in a small-sized blast furnace of 30 m^3 by using a sintered ore of chrome slag as flux. $\text{Cr}(\text{VI})$ in chrome slag was reduced at a rate of near 100% and more than 94% of total chromium were reduced metallizationally. The consumption of slag per tonne of product iron was 2.298t on average with the maximum of 2.785t. For smelting a chrome pig iron containing more than 10% Cr, it was necessary to simultaneously add chromite in order to increase the level of chromium. By keeping the furnace temperature at over 1480K, controlling the alkalinity at a lower level and adding the subsidiary burden to reduce the melting point of furnace slag, the mobility of furnace slag was significantly improved that resulted in the successful separation of iron from slag. The secondary pollution during the pilot study was monitored and it was found that it was necessary to control the dispersion of blast furnace gas in order to reduce the deposition of dust from the production process.

Key words: chrome slag, use of waste as a resource, blast furnace, iron smelting, chrome pig iron.

Study on the Application of Activated Coal Ashes in Rubber Products. Lu Yaojiao, Zhang Jishuang et al. (Dept. of Environ. Eng., Hunan University, Changsha 410082); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(5), 1994, pp. 35—39

A study was carried out on the application of many kinds of activated pulverized coal ashes to replace activated calcium carbonate, light calcium carbonate or medium- super carbon black as fillers or reinforcers in rubber products. The results show that better activating agents are one of key factors to obtain the activated pulverized coal ashes of high quality, and the particle sizes and surface properties of the coal ashes are the major factors affecting the mechanical performances of composite materials. The use of both better activators and dry grinding activation processes can incorporate the above factors to obtain more preferable activated coal ashes, allowing them to be well compatible with organic components, which are coupled with its