

文章编号: 1000-0690(2000)04-0385-05

长春地区稻田甲烷排放量的估算研究

闫敏华, 华润葵, 王德宣, 马学慧

(中国科学院长春地理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 1995~1997年3年的实验研究中, 用静态箱法和气相色谱仪对长春地区不同水管理方式稻田的甲烷排放进行了采样和测量工作, 1996年和1997年逢晴天还同步进行了地面实验基地的卫星遥感数据(TM和NOAA-AVHRR数据)的接收工作。根据测算的稻田甲烷排放通量和用遥感数据提取的水稻种植面积, 估算出区域尺度的稻田甲烷排放总量。3年来的研究结果显示, 长春地区水稻种植面积为 $17.7212 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 稻田甲烷平均排放通量为 $2.984 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 长春地区稻田甲烷总排放量为 0.0203 Tg/a 。用灰关联方法分析了稻田甲烷排放的影响因子, 建立了以水稻植被指数为参数的淹灌稻田的甲烷排放通量估算模型。

关键词: 稻田甲烷排放量; 估算; 卫星遥感; 长春地区

中图分类号: S161.9 文献标识码: A

大气甲烷是一种重要的温室气体, 在全球气候的增暖效应中约占所有温室气体总效应的15%~20%^[1], 仅次于二氧化碳的作用。有研究认为^[2], 大约80%的甲烷排放来自生物源, 其中一部分来自于稻田的甲烷排放。全球甲烷排放量为 515 Tg/a , 其中稻田的排放量为 $20 \sim 50 \text{ Tg/a}$, 约占总释放量的11%(IPCC, 1992)。不同地域的稻田甲烷排放观测结果表明, 稻田甲烷排放具有较大的地域差异。自20世纪90年代以来, 由国内外学者共同努力, 已在中国的浙江、四川、北京、湖南、江苏、天津、辽宁和广东等地先后进行了稻田甲烷排放的观测和研究工作, 积累了一定的观测数据。从1994年开始, 中国科学院长春地理研究所的研究人员在吉林省的长春地区和黑龙江省的三江平原开展了湿地(包括人工湿地如稻田、天然湿地如沼泽)甲烷排放的测量和研究工作。

目前, 对全球稻田甲烷排放源估算的一种直接方法是, 在适当空间尺度内选择典型水稻区进行测量, 然后用数学权重法计算。在区域尺度内, 由于水稻种植面积的逐年变化和水管理方式及有机底肥施用习惯等差异, 现行方法估算出的区域稻田甲烷排放量存在很大的不确定性。因此, 本研究使用遥感数据, 在区域尺度范围内, 提取精确的水稻种植面

积, 结合传统计算方法, 估算出长春地区稻田甲烷排放量, 同时也对遥感数据应用与地面测量工作相结合的工作模式进行了实践, 并探讨了用水稻植被指数估算稻田甲烷排放通量的可能性, 为解决区域稻田甲烷排放量估算的不确定性问题做出有益的探索。

1 实验方法

1.1 实验地选择及其概况

研究区地处吉林省中部平原山地过渡带温和半湿润气候区内, 包括吉林省行政区划中的长春市双阳区及农安、德惠、九台、榆树等县市和吉林市永吉县万昌灌区水稻种植区。因气候背景相同, 所以采用以下原则来选择实验地: 1) 代表性; 2) 稻田面积大, 且形状规整; 3) 附近无污染源。通过在TM影像上预选, 选择位于伊通河冲积平原的新立城($43^\circ 49' \text{ N}$, $125^\circ 20' \text{ E}$)稻田和地处饮马河冲积平原的万昌($43^\circ 44' 10'' \text{ N}$, $125^\circ 53' 11'' \text{ E}$)稻田为实验地。

具体试验点设在新立城曹家屯的A、B稻田和万昌乡裴家村的C稻田, 试验点稻田的基本情况见表1。所选稻田的土壤为黑土母质发育而成。稻田的施肥方式和时间按常规方法进行, 农家肥作为底肥, 化肥作为追肥使用。A、B稻田水稻生长期的水

收稿日期: 1999-05-17; 修订日期: 2000-03-30

基金项目: 吉林省科学技术委员会青年基金资助项目(吉科合字第9634161号)、中国科学院长春净月遥感站基金资助项目(站字第9504号)

作者简介: 闫敏华(1964-), 女, 理学硕士, 副研究员, 主要从事气候变化和温室气体研究。

管理方式为“浅-晒-浅-晒”间歇灌水方式。万昌 C 稻田自插秧后基本上保持淹水状态,直到 9 月初水稻灌浆完成后撒水晒田。试验点稻田周围 1~

1.5 km 里范围内除了沙石路外都种满了水稻,没有其它明显人为源。

表 1 试验点稻田的基本情况
Table 1 Basic conditions of experimental plots

试验点	土壤类型	土壤有机质 (g/kg)	土壤 pH 值	灌溉水 pH 值	有机肥		化肥量(kg/(hm ² ·a))			水稻品种
					用量	施用时间	纯 N	纯 P	纯 K	
A 稻田	水稻土	20.6	6.9	6.9	30	1994	150	20	80	通系
B 稻田		21.5	6.9	6.9	(m ³ /hm ²)	1995	200	20	50	35
C 稻田		26.5	6.7	7.0		1996、1997				

1.2 样品采集

研究区每年 5 月末至 10 月初种植水稻。在 1995 年、1996 年和 1997 年的水稻生长季内,在试验点进行了稻田气体样品的采集工作。

稻田气体采集采用静态箱技术手工采集,每周固定采样两次。1996 年和 1997 年除固定采样外,还增加了与遥感数据接收同步的晴天采样。地面相关要素的观测项目有:距地 1 m 高度气温、水温、水稻叶温、箱内温度、土壤温度、路面温度、水的 pH 值、水稻高度、水稻覆盖率、积水深度和箱的高度。

1.3 样品分析

样品分析采用北京分析仪器厂制造的 SQ208 型气相色谱仪,标准气(浓度为 11.635 7 μg/L)由北京分析仪器厂提供,分析柱为 13X(60·80 目)分子筛填充柱,分析时柱温 80℃,检测室温度 130℃,检测器为氢火焰检测器,人为分析相对误差小于 1%。

2 长春地区稻田甲烷排放量估算

2.1 实验地稻田甲烷排放通量测算

在实验室中,用气相色谱仪测出样品的甲烷浓度,用每次采样的 4 个等时间距的稻田甲烷浓度变化,计算出稻田甲烷浓度变化率。

单位面积和单位时间稻田向大气释放的甲烷气体通量 F 的计算公式为

$$F = M \times H / V \times \Delta c / \Delta t \times 273 / (273 + T) \quad (1)$$

式中, F 为甲烷排放通量 [mg/(m²·h)]; M 为甲烷的分子量 ($M = 16$ g/mol); H 为采样箱高度 (m); V 为标准状态下 1 摩尔甲烷的体积 ($V = 22.4$ L/mol); $\Delta c / \Delta t$ 为甲烷浓度变化率; T 为采样箱内温度 (℃)。

根据式 (1) 就可以计算出实验地的稻田甲烷排放通量(图 1)。

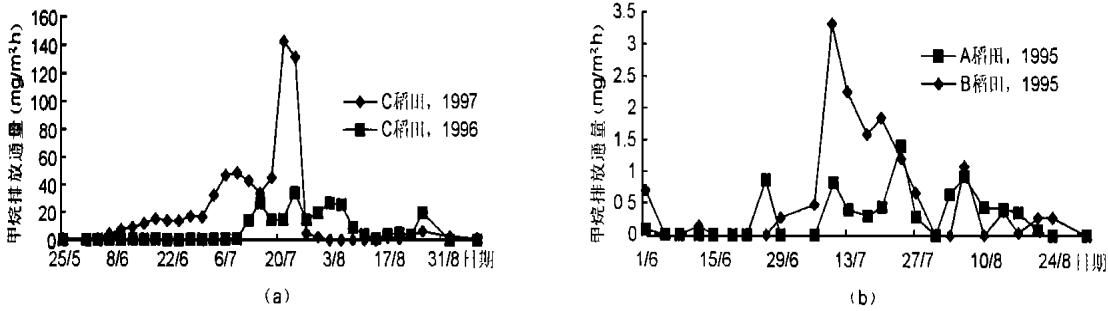


图 1 水稻生长期的稻田甲烷排放通量变化, (a) 万昌 C 稻田, (b) 新立城 A、B 稻田
Fig. 1 Changes of methane emission fluxes, (a) C rice field in Wanchang, (b) A and B rice fields in Xinlicheng

2.2 研究区稻田甲烷排放量估算

用 3 年观测和分析得到的数据,计算出稻田甲烷排放通量,再用数学权重法统计出水稻生长季的

稻田甲烷平均排放通量。1995 年间歇灌水方式的 A、B 稻田的平均甲烷排放通量分别为 0.271 mg/(m²·h)和 0.707 mg/(m²·h),两者的平均值为

0.489 mg/(m²·h)。1996 年和 1997 年持续淹水的 C 稻田的平均甲烷排放通量分别为 4.896 mg/(m²·h) 和 9.216 mg/(m²·h), 两年的平均值为 7.056 mg/(m²·h)。根据不同灌溉方式及稻田在研究区中所占面积比例, 计算出长春地区稻田甲烷平均排放通量, 其值为 2.984 mg/(m²·h)。长春地区稻田甲烷平均排放通量较国内其它地区现有资料^[3] 属偏低水平。

求算 3 年的水稻生长季单位面积稻田甲烷排放通量的累计值(积分值), 结果为: 1995 年间歇灌水稻田的值是 1.204 mg/m²(A 稻田为 0.706 mg/m², B 稻田为 1.701 mg/m²); 1996 年和 1997 年淹灌稻田的值分别为 16.117 mg/m² 和 35.482 mg/m², 两者平均值是 25.799 mg/m²。

用遥感数据从 1997 年 TM 影像上提取长春地区各水稻种植区的面积, 然后根据两种灌溉方式稻田所占的面积权重和它们的水稻生长季单位面积的稻田甲烷排放通量的累计值, 计算出水稻生长季的长春地区各水稻种植区的稻田甲烷排放量及长春地区的稻田甲烷总排放量(表 2)。

表 2 长春地区稻田甲烷排放量估算

Table 2 Estimation of methane emission of rice fields of Changchun area

地名	水稻种植面积 (× 10 ⁸ m ²)	稻田甲烷排放量 (Tg/a)
农安	0.9373	0.0010
德惠	6.2440	0.0084
长春	1.9213	0.0012
万昌	1.3573	0.0035
九台	3.5000	0.0030
榆树	3.7613	0.0032
合计	17.7212	0.0203

3 稻田甲烷排放影响因子分析和估算模型建立

3.1 因子分析

稻田甲烷的排放过程是非常复杂的, 因此, 引起稻田甲烷排放季节变化的原因还不十分清楚。许多研究者提出了推测^[6-10], 认为稻田甲烷排放的季节变化不仅和土壤、空气和水的温度有关, 而且更重要的是和水稻的生长过程有关。例如, 稻田甲烷排放的季节变化和水稻高度增长率就有很好的关系。实验表明, 一般在水稻田中, 通过水稻植物体的输送是

甲烷输送的最主要途径, 大约 90% 的排放量是沿着这条路径完成的, 由气泡完成的输送不到排放量的 10%, 而由分子扩散完成的输送还不到总排放量的 1%^[9]。受这些研究成果的启示, 找出能反映水稻生长信息的因子是至关重要的, 而遥感数据水稻植被指数 NDVI (Normalization Difference Vegetation Index) 是指示水稻的生长状态及水稻植被空间密度的最佳因子。NDVI 是归一化差值植被指数, 其值为近红外波段与可见光红波段数值之差和这两个波段数值之和的比值。NDVI 与植物分布密度呈线性相关, 当植物覆盖率小于 15% 时, 其数值高于裸土的 NDVI 值, 植物覆盖率由 25% ~ 80% 时, NDVI 值随植被量呈线性增加, 植物覆盖率大于 80% 时, NDVI 值对植被检测灵敏度下降。

晴天(云量 N < 3, 日照时数 h > 8)的观测数据具有典型性和代表性。在 3 年的观测日中, 只有 1997 年观测日的晴天率最高, 其中晴天占观测日 65%, 而阴天(云量 N > 8, 日照时数 h < 3)率仅为 7.7%。又因为只有在晴天才能获取到完整的下垫面的遥感数据, 所以选用正常灌溉条件下的 1997 年晴天实测数据进行因子筛选和建立模型。

灰关联分析是一种衡量因素间关联程度大小的量化方法。运用这种方法, 可以得到各因子与稻田甲烷排放通量的关联程度。

取晴天天气条件下的 9 组数据, 以稻田甲烷排放通量为比较序列, 水稻植被指数、水稻植物高度、1 m 高度气温、5 cm 土温、10 cm 土温和水温为参考序列, 进行灰关联分析。分析结果为, 比较序列与参考序列的关联度分别为 0.748, 0.614 8, 0.602 2, 0.600 9, 0.601 9 和 0.600 3。6 个因子中, 唯有水稻植被指数的关联度最大, 因此, 选择水稻植被指数为建模因子。

3.2 建立模型

水稻植被指数随水稻生长从水稻插秧期开始逐渐增大, 至孕穗期达到最大值后, 又逐渐减小(图 2)。水稻孕穗期后, 水稻植被指数因水稻覆盖率增加和稻穗低头等原因, 测量时灵敏度下降, 所以这时段的水稻植被指数不再适合建模时使用, 因此所建模型不能估算水稻孕穗期后的稻田甲烷排放量。经计算从水稻插秧至孕穗期结束的稻田甲烷排放通量的 3 年累计值均达到整个水稻生长季累计值的 95% 以上, 所以用有效时段的水稻植被指数建立模型是有意义的。

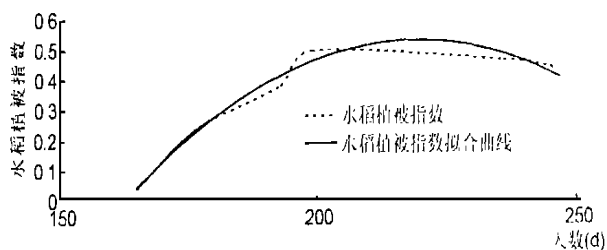


图2 1997年万昌水稻植被指数随时间变化

Fig. 2 Change of rice NDVI with time, Wanchang, 1997

在水稻植被指数从初值到最大值的时间区间内,用实测数据建立稻田甲烷排放量估算模型。

首先,建立稻田甲烷排放通量和水稻植被指数的关系

$$y = -21.7766 + 239.0742x \quad (2)$$

式中 y 为晴日稻田甲烷排放通量 $[\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$, x 为水稻植被指数。样本数 $n=16$, 相关系数 $r=0.8781$ 。经检验,信度 $\alpha=0.001$ 时,水稻植被指数与稻田甲烷排放通量的线性关系是显著的。

然后,由稻田甲烷排放通量和水稻种植面积推算整个水稻生长季的区域稻田甲烷排放量

$$Y = A \cdot \int_{t_1}^{t_2} y \, dt \quad (3)$$

式中 Y 为水稻生长季稻田甲烷排放总量(g); A 是水稻种植区的稻田总面积(m^2); y 是晴日稻田甲烷排放通量 $[\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$; t 是天数(d); t_1 和 t_2 分别是稻田甲烷首次排放日和最后排放日所对应的天数(d)。

充分考虑水稻归一化植被指数的特点、稻田甲烷排放季节变化规律和稻田各生育期稻田甲烷排放量占总排放量的比例等因素,认为(3)式最合理的积分区间应选在水稻植被指数初值日至最大值日时段。此区间内,水稻植被指数是时间的函数(图3),将(2)式代入(3)式,得到稻田甲烷排放量的估算模型

$$Y = 6.0398A \cdot \left\{ \int_{t_1}^{t_2} [x(t) - 0.091] \, dt - 0.6235 \right\} \quad (4)$$

式中 $x(t)$ 为水稻植被指数随时间变化函数。

1997年C稻田首次甲烷排放日为6月5日,最大值排放日为7月23日,将日期换算成天数,其积分区间为(156, 204),代入(4)式,计算值为单位面积40.2716g,而实测值为单位面积36.3422g,误差为10.8%。

4 结语

长春地区稻田甲烷平均排放通量为 $2.984 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,与国内其它地区相比属偏低水平。长春地区的稻田甲烷总排放量为 0.0203 Tg/a 。本研究建立了淹灌稻田的甲烷排放量估算模型,这个估算模型还需在今后的研究工作中进一步检验和修正,另外,间歇灌溉稻田的估算模型还有待建立。用遥感数据可以快速、准确地获取动态变化的水稻种植面积和稻田植被指数,再应用估算模型就可算出区域尺度的稻田甲烷排放量。这种方法充分体现了遥感技术的优越性,如果作为一种温室气体监测手段,其社会效益和经济效益是巨大的。

参考文献:

- [1] 丁一汇. IPCC 第二次气候变化科学评估报告的主要科学成果和问题[J]. 地球科学进展, 1997, 12(2): 158~163.
- [2] 陈德章, 王明星. 稻田 CH_4 排放和土壤、大气条件的关系[J]. 地球科学进展, 1993, 8(5): 37~46.
- [3] 蔡祖聪. 中国稻田土壤甲烷排放估计[A]. 陈宜瑜(主编). 中国湿地研究[C]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995. 79~85.
- [4] 崔保山. 三江平原沼泽地 CH_4 排放规律及估算[J]. 地理科学, 1997, 17(1): 93~95.
- [5] 上官行健, 等. 稻田甲烷的排放规律[J]. 地球科学进展, 1993, 8(5): 23~36.
- [6] 许炳雄, 等. 广州地区稻田甲烷排放通量研究[J]. 环境科学研究, 1997, 10(4): 10~13.
- [7] 陈德章, 等. 我国西南地区的稻田 CH_4 排放[J]. 地球科学进展, 1993, 8(5): 47~54.
- [8] Schutz H, Holzapfel P, Schorn A, Corad R, Rennenberg H, Seiler W. A 3-year continuous record on the influence of daytime emission rates from a Italian rice paddy[J]. J. Geophys Res, 1989, 94: 16405~16416.
- [9] 上官行健, 王明星. 稻田甲烷排放影响因子的研究进展[J]. 中国农业气象, 1993, 14(4): 48~53.
- [10] 王明星. 大气化学[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 6, 101.

Study on Estimation of Methane Emission from Rice Fields in Changchun Area

YAN Mir hua, HUA Run kui, WANG De xuan, MA Xue -hui

(*Changchun Institute of Geography, C A S, Changchun, Jilin 130021*)

Abstract: The fluxes of CH₄ emission from rice fields were measured by the method of static chamber in Changchun area in 3 consecutive years. The research results show that the mean flux of CH₄ emission was 2.984 mg/(m²•h) and the total amount of CH₄ emission was 0.0203 Tg/a from the rice fields in Changchun area.

Estimation of methane emission is a new application field of remote sensing. The estimating method of rice methane emission is as follows: 1) TM and NOAA AVHRR data are used to measure rice area and to predict its change tendency; 2) rice NDVI values are got during various rice growth phases based on remote sensing of rice condition of growth; 3) the optimum correlation factor is elected according to gray system theory; 4) empirical formula between rice NDVI and CH₄ fluxes of rice field is set up; 5) rice methane emission is estimated by rice area and NDVI.

The method is used to estimate methane emission of rice field for the first time in Changchun area in 1996 and 1997. The results are acceptable after examination.

Key words: Estimation; Methane emission of rice field; NDVI; Changchun area