

冬水田休闲期温室气体排放通量的研究

马秀梅^{1,2}, 朱 波¹, 杜泽林², 郑循华³

(1.中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2.重庆化工设计研究院, 重庆 400039; 3.中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要:冬水田生态系统在西南地区大面积存在,长期淹水,其温室气体排放可能对中国温室效应有重要贡献。采用静态箱-气相色谱法对川中丘陵地区冬水田休闲期温室气体排放通量进行了原位观测研究,获得冬水田休闲期 CH₄、CO₂、N₂O 的平均排放通量依次为 5.37 mg·m⁻²·h⁻¹、81.88 mg·m⁻²·h⁻¹、0.01 μg·m⁻²·h⁻¹。同时研究发现,冬水田休闲期温室气体排放通量具有明显的动态变化,土壤温度和水分在很大程度上影响着 3 种温室气体的排放通量。研究还表明,改冬水田为水旱轮作可减少甲烷排放。

关键词:冬水田; 休闲期; 三种温室气体; 排放通量

中图分类号:S152.6 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2005)06-1199-04

CH₄, CO₂ and N₂O Emissions from the Year-round Flooded Paddy Field at Fallow Season

MA Xiu-mei^{1,2}, ZHU Bo¹, DU Ze-lin², ZHENG Xun-hua³

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610441, China; 2. Chongqing Chemistry Design Research Institute, Chongqing 400039, China; 3. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The year-round flooded paddy field was widely distributed in the southwestern China. The emission of CH₄, CO₂, N₂O might be an important contribution to greenhouse gases in China, so it was necessary to know the emission fluxes of CH₄, CO₂, N₂O from this ecosystem. CH₄, CO₂, N₂O were measured by static chamber-gas chromatographic techniques in non-cropping season of this year-round flooded paddy field in hilly area of the central Sichuan Basin. The results indicated that during non-cropping season, the mean emission fluxes of CH₄, CO₂, N₂O from wintry paddy field were 5.37 mg·m⁻²·h⁻¹, 81.88 mg·m⁻²·h⁻¹ and 0.01 μg·m⁻²·h⁻¹ respectively, and the emission fluxes of CH₄, CO₂, N₂O showed obvious dynamic characteristics, mainly influenced by temperature and water level of paddy field. There had significant exponential relationships between emission fluxes of CH₄ and 5cm soil temperature, air temperature. Meanwhile, the water level of paddy field had great effects on emission fluxes of CH₄ and CO₂. Changing the year-round flooded paddy field to the rotation of rice-wheat or rice-rape could be an effective way for reducing the release of CH₄.

Keywords: year-round flooded paddy field, fallow season, CH₄, CO₂, N₂O Green house gas emission fluxes

CH₄、CO₂、N₂O 是大气中重要的温室气体,它们对全球气候变暖的增温贡献分别是 15%、60%、5%。近年来,人类活动加剧了温室气体的排放,其中农业生

产的贡献占相当大比例。据估计大气中 70%的 CH₄、20%的 CO₂、90%的 N₂O 来源于农业活动和土地利用方式的转换等过程。冬水田作为一种独特的农田生态系统在西南地区广泛存在,其特点是春季种水稻,9 月水稻收割后蓄水保田休闲直到次年 5 月移栽水稻。目前,关于冬水田种植水稻时期 CH₄ 的排放已有研究^[1-3],而冬水田休闲期内 3 种温室气体的排放研究却少见报道。研究冬水田休闲期温室气体排放有利于了解我国温室气体排放格局,可为温室气体减排提供科

收稿日期:2005-03-06

基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-01B);
国家自然科学基金重点项目(40331014)

作者简介:马秀梅(1978—),女,辽宁人,助理工程师,主要从事农业生态
系统碳循环方面的研究和化工项目环境影响评价研究。

联系人:朱 波 E-mail:bzhu@imde.ac.cn

学依据。为此,在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站选择典型冬水田养地,定位观测了冬水田整个休闲期的 CH₄、CO₂、N₂O 排放特征。

1 研究方法

1.1 试验地概况

试验地选择在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站(105°27'E,31°16'N)的冬水田长期样地内,海拔 400 m,中亚热带季风气候,年均气温 17.3℃,多年平均降雨量 836 mm。从 2003 年 9 月 23 日开始对冬水田休闲期进行温室气体的排放研究。试验田土壤为侏罗纪蓬莱镇组紫色砂页岩风化物上发育的淹育水稻土,基本土壤理化性状为 pH8.13、有机质 21.03 g·kg⁻¹、全氮 1.22 g·kg⁻¹、有效氮 89.22 mg·kg⁻¹、有效磷 7.66 mg·kg⁻¹、有效钾 72.96 mg·kg⁻¹。

1.2 田间观测

水稻常规种植收获后,随机安装气体采样箱底座,(每个箱体底座内留有水稻根茬)进行休闲期的采样观测,3 次重复。

各测点同步观测温室气体净排放通量,每周 2 次观测,时间为 9:00~11:00。温室气体通量测定的同时进行底座水深、气温、土壤温度等环境要素的观测。其中,水深直接由直尺测得;气温、地表温度、箱内温度和 5 cm 地温由 JM 便携式测温表测定。

1.3 气体样品采集和分析

采样箱由顶箱、中段箱和地箱组成。采样时地箱水槽内加水密封,顶箱和中段箱外包有保温被,防止在太阳辐射下箱内温度升高。顶箱上端装有 2 个空气搅拌小风扇、取气体样品接口。扣箱后立刻用 100 mL 注射器采集第 1 次样品,每隔 10 min 取 100 mL 气体保存,扣箱 30 min,共取 4 次。采样后立即将样品带回实验室分析。

采用 CA-5 气体样品进样仪进样,利用 HP5890 II 型气相色谱仪进行分析。CH₄、CO₂ 检测器为氢火焰离子化检测器(FID),检测器温度为 200℃;N₂O 检测器为电子捕获检测器,温度为 330℃,炉温为 55℃。

1.4 通量计算

气体的通量表示单位时间、单位面积观测箱内该气体浓度的变化。CO₂ 和 CH₄ 通量利用下式求得:

$$F=60/100\rho\cdot H\cdot P/1\,013\cdot 273/(273+T)\cdot dC_i/dt\quad (1)$$

N₂O 通量利用下式求得:

$$F=60/100\,000\rho\,H\cdot P/1\,013\cdot 273/(273+T)\cdot dC_i/dt\quad (2)$$

式中: F 为被测气体排放通量,mg·m⁻²·h⁻¹; ρ 为标

准状态下被测气体的密度,g·L⁻¹; H 为箱高,cm; P 为采样点的气压,10⁵Pa; T 为采样时箱内平均温度,℃; t 是采样时间,min; dC_i/dt 为采集箱内被测气体体积混合比浓度变化率,μL·L⁻¹·min⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 3 种温室气体排放通量的动态变化

2.1.1 冬水田 CH₄ 排放的动态变化

冬水田常年淹水,CH₄ 产生于土壤的厌氧环境中,厌氧细菌分解土壤有机质,产生 H₂、CO₂ 和乙酸等小分子化合物,这些化合物在 CH₄ 细菌的作用下产生甲烷^[4];土壤中 CH₄ 累积到一定浓度开始通过液相扩散传到大气,然而并不是所有产生的 CH₄ 都能传输到大气,在传入大气前,部分甲烷在土壤-水界面已被氧化,因此,冬水田甲烷排放是土壤 CH₄ 产生、氧化和传输三个过程相互作用的结果。

冬水田休闲期 CH₄ 排放存在着明显的动态变化。受温度和地表水深的影响,整体呈现出高→低→高的变化趋势,其中 11 月、12 月的排放通量很高,因为长势良好的再生稻(即水稻收割后又生出的稻茬)增加了 CH₄ 的一个排放途径;2 月 CH₄ 的排放量最低,主要是因为 5 cm 土壤温度下降到了 8℃,低的温度不仅抑制了产 CH₄ 菌的活动,还在一定程度上限制了土壤有机质的分解;进入 3 月,气温开始回升,适宜的温度、丰富的基质又为产 CH₄ 细菌提供了良好的活动条件,CH₄ 排放呈现增长趋势。冬水田休闲期 CH₄ 排放通量平均值为 5.37 mg·m⁻²·h⁻¹,见图 1。

2.1.2 冬水田 CO₂ 排放的动态变化

冬水田休闲期 CO₂ 排放通量与气温变化趋势相似。水稻收割后,虽有稻茬生长,但因气温低,且逐渐下降,稻茬生长的呼吸作用有限,同时土壤微生物活动减弱,CO₂ 排放通量呈减小趋势;但 11 月稻茬再生

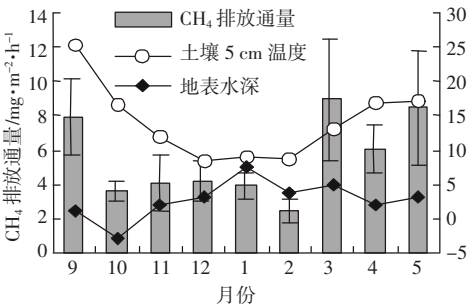


图 1 冬水田 CH₄ 排放通量的动态变化

Figure1 Dynamics of CH₄ emission from the non-cropping wintry paddy field

突然旺盛,水稻植株呼吸又使冬水田 CO₂ 排放呈现了 1 个高峰;3 月,气温开始回升,土壤微生物活性加剧,加上植物残体的分解,CO₂ 排放通量呈增加趋势,到休闲期结束。同时测得休闲期冬水田的平均排放通量为 81.88 mg·m⁻²·h⁻¹,见图 2。

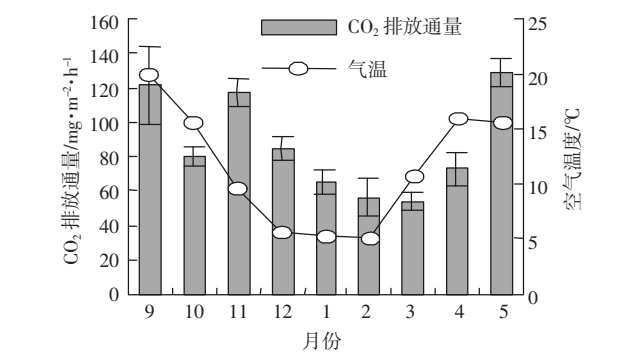


图 2 冬水田 CO₂ 排放通量的动态变化
Figure 2 Dynamics of CO₂ emission from the non-cropping wintry paddy field

2.1.3 冬水田 N₂O 排放的动态变化

冬水田休闲期 N₂O 的排放通量很小或出现负值,这与徐华^[5]、陈冠雄^[6]等报道的结果一致。原因是土壤 N₂O 的产生主要源于反硝化细菌参与下的反硝化作用,但反硝化作用产生的 N₂O 又可被还原酶还原为 N₂,加上冬水田水层对 N₂O 向大气扩散的阻隔及其对 N₂O 的少量溶解,使 N₂O 排放量降低。冬水田休闲期 N₂O 排放通量平均值为 0.01 μg·m⁻²·h⁻¹,见图 3。

2.2 冬水田温室气体排放通量与环境因子的相关性

3 种温室气体的产生机理和排放过程各不相同,影响因素也各有侧重,由于 3 种温室气体的产生和排放与土壤微生物有着密切的关系,所以温度和水分成了限制它们的共同因子。从表 1 可以看出,CH₄ 排放通量与温度有着很好的相关性,特别是与地表温度和

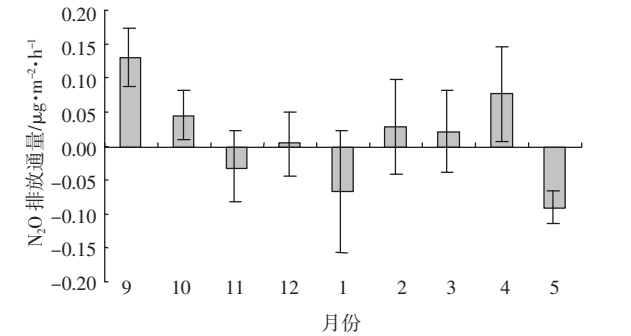


图 3 冬水田 N₂O 排放通量的动态变化
Figure 3 Dynamics of N₂O emission from the non-cropping wintry paddy field

空气温度都达到了 0.01 水平显著。CH₄ 排放通量与地下温度和气温呈极显著的指数关系:

$$Y=1.044\ 5\exp(0.112\ 8X_1)\ r^2=0.909\ 6,\ n=43\quad (3)$$

$$Y=1.535\ 2\exp(0.104\ 3X_2)\ r^2=0.952\ 3,\ n=43\quad (4)$$

式中:Y 为 CH₄ 排放通量,mg·m⁻²·h⁻¹;X₁ 为土壤 5 cm 温度,℃;X₂ 为空气温度,℃。

这与陶战等^[7]研究的结果是一致的,他们发现 CH₄ 排放通量与 5 cm 土壤温度呈指数函数极显著相关。于心科^[8]等指出气温对稻田 CH₄ 的排放有明显的控制作用,它是除耕作方式之外影响稻田 CH₄ 产生与排放的最主要因素。

表 1 中数据难以反映冬水田 CO₂ 排放通量与温度的相关性,然而图 2 表明温度与冬水田 CO₂ 排放有着很大的相似性,原因是温度和水共同作用下,冬水田水深(相对箱体底座)对 CO₂ 排放通量产生了更大的影响,见图 4。同时由于水的热容量大,对土壤温度变化的缓冲减弱了温度因素的直接影响。

2.3 与同期两季田的比较

表 1 冬水田温室气体排放通量与环境因子的相关性
Table 1 Correlations between emission flux of greenhouse gas and surface water and temperature

	水深	地下温度	地表温度	气温
CH ₄ 排放通量	-0.189	0.359*	0.396**	0.408**
CO ₂ 排放通量	-0.339*	0.228	0.295	0.280
N ₂ O 排放通量	-0.151	0.267	0.296	0.275

注:**P<0.01,*P<0.05,N=43。

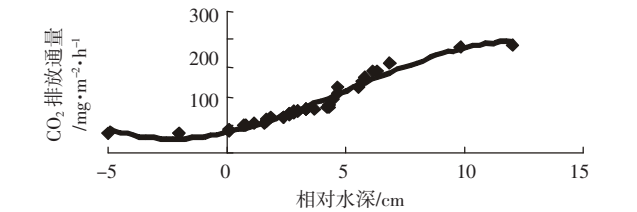


图 4 CO₂ 排放通量与相对水深的关联性
Figure 4 Correlation between emission flux of CO₂ and relative depth of surface water

冬水田是紫色土丘陵区农田生态系统的重要类型,仅试验站所在县——盐亭县就有 3 311 hm²,根据其休闲期各温室气体的平均排放通量,可以粗略地看出整个休闲期 3 种温室气体的总排放量是很大的,尤其是 CH₄ 的排放。由表 2 可见,与同期水旱轮作相比,冬水田休闲既增大了 CH₄ 排放量,又少一季收获量,无论从社会效益还是从经济效益上来说都是不利的。

表 2 不同耕作方式下的温室气体平均排放通量和作物产量

Table 2 Mean emission fluxes of CH₄, CO₂, N₂O and crop yields under different cropping systems

耕作方式	CH ₄ 排放通量 /mg·m ⁻² ·h ⁻¹	CO ₂ 排放通量 /mg·m ⁻² ·h ⁻¹	N ₂ O 排放通量 /mg·m ⁻² ·h ⁻¹	产量 /kg·hm ⁻²
冬水田休闲	5.82	80.46	0.004	0
稻油轮作-油菜	0.01	551.72	0.274	11.46
稻麦轮作-小麦	-0.04	266.16	0.12	1.97

3 小结

冬水田休闲期 3 种温室气体排放都存在着明显的动态变化,CH₄、CO₂ 的整体排放规律为高→低→高;冬水田在休闲期是 CH₄、CO₂ 的重要排放源。

影响 3 种温室气体排放的环境因子很多,其中起决定作用的是土壤水分和温度。CH₄ 与地下温度、地表温度、气温都有很显著的相关性;CO₂ 则与地表水深有着很好的相关性。

对冬水田整个休闲期的观测研究表明,CH₄ 的排

放不可忽视,在条件允许的情况下,将冬水田改为水-旱轮作不失为温室气体减排的有效方法之一。

参考文献:

[1] 王明星,李 晶,郑循华. 稻田甲烷排放及产生、转化、输送机理[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 600-612.

[2] 魏朝富,高 明,黄 勤. 耕作制度对西南地区冬水田甲烷排放的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 157-165.

[3] 蔡祖聪,沈光裕,颜晓元. 土壤质地、温度和 Eh 对稻田甲烷排放的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 145-154.

[4] Takai Y. Themechanism of methane formation in flooded paddy soil[J]. *Soil Sci and Plant Nutr*, 1970, 16: 238-244.

[5] 徐 华,邢光熹,蔡祖聪,等.土壤水分状况和氮肥施用及品种对稻田 N₂O 排放的影响[J].应用生态学报, 1994, 10(2): 186-188.

[6] 陈冠雄,黄国宏,黄 斌,等.稻田 CH₄ 和 N₂O 的排放及养和施肥的影响[J].应用生态学报, 1995, 6(4): 378-382.

[7] 陶 战,杜道灯,周 毅. 不同农作措施对稻田甲烷排放通量的影响[J]. 农业环境保护, 1995, 14(3): 101-104.

[8] 于心科,李 宁,李春园,等. 温度对稻田甲烷排放的影响[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 54-56.