

长期不同施肥制度下湖南红壤晚稻田 CH₄ 的排放

刘金剑¹, 吴萍萍^{1,2}, 谢小立³, 傅心贛³, 沈其荣¹, 郭世伟^{1,*}

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 安徽 合肥 230031;

3. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要:选取湖南双季稻田长期不同施肥制度为研究对象, 采用静态箱-气相色谱法对晚稻稻田甲烷排放进行观测。研究结果表明, 不同施肥制度下的晚稻稻田甲烷排放的季节变化具有一定的规律, 晚稻生育期内 CH₄ 的排放速率呈先升高后降低的变化趋势。施入秸秆的处理 CH₄ 平均排放通量和累积排放通量大于单施化肥的处理; 单施化肥的各处理中由于养分缺失情况的不同, CH₄ 平均排放通量和累积排放量具有一定的差异。秸秆区 CH₄ 平均排放通量和累积排放量都较大, 全量化肥养分施肥区次之, 偏施养分和无肥区较小。同时还研究了长期不同施肥制度条件下各环境因素包括土壤温度、灌溉水层深度和土壤 Eh, 对 CH₄ 排放的影响。结果表明, 不同的施肥处理, 晚稻田 CH₄ 排放的季节变化和土壤 Eh 呈显著负相关, 与土壤温度呈显著正相关, 与水层深度相关不明显。

关键词:长期施肥; CH₄ 排放通量; CH₄ 累积排放量; GWP

文章编号: 1000-0933(2008)06-2878-09 中图分类号: Q142, S154, S181 文献标识码: A

Methane emission from late rice fields in Hunan red soil under different long-term fertilizing systems

LIU Jin-Jian¹, WU Ping-Ping^{1,2}, XIE Xiao-Li³, FU Xin-Gan³, SHEN Qi-Rong¹, GUO Shi-Wei^{1,*}

1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Soil and Fertilizer Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China

3 Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Changsha 410125, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2878 ~ 2886.

Abstract: By using the method of static chamber-gas chromatographic techniques, methane emission flux from late rice fields were studied under different long-term fertilizing systems. The results showed that, methane emission from late rice fields from different fertilizing systems differed with seasonal variation, and represented an increasing at the beginning and declining later on. Methane emission flux and accumulation emission flux of straw manure treatment was significantly higher than that of all other treatments; Methane emission flux and accumulation emission flux differed between different nutrients deficiencies. Methane emission flux and accumulation emission flux of straw manure treatment was higher than that of inorganic total nutrient treatment. Methane accumulation emission fluxes were the lowest under non- or partial- fertilizer treatments. The environmental factors of different long-term fertilizing systems affecting methane emission from late rice fields were discussed, including soil temperature, water depth and soil Eh. Under different long-term fertilizing systems,

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2005CB121101); 国家自然科学基金资助项目(30400279, 30671233)

收稿日期:2007-03-22; **修订日期:**2007-11-07

作者简介:刘金剑(1981 ~), 男, 山西大同人, 硕士生, 主要从事养分资源利用与管理研究. E-mail: datongliujinjian@sina.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sguo@njau.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National 973 Project of China (No. 2005CB121101) and National Natural Science Foundation of China (No. 30400279, 30671233)

Received date: 2007-03-22; **Accepted date:** 2007-11-07

Biography: LIU Jin-Jian, Master candidate, mainly engaged in utilization of resources of nutrient and management. E-mail: datongliujinjian@sina.com

there was a significantly positive correlation between CH₄ emission flux and soil temperature and a significantly negative correlation between CH₄ flux and soil Eh. No significant correlation was found between CH₄ flux and water depth.

Key Words: long-term fertilization; CH₄ emission flux; CH₄ accumulation emission flux; global warming potential

CH₄是仅次于二氧化碳的最重要的温室气体之一^[1],在大气中的浓度虽然远小于 CO₂,但其单位分子增温潜能大约是二氧化碳的 32 倍^[2]。自工业革命以来,大气中 CH₄浓度在不断增加,已逐渐成为全球变暖的主要因素。稻田是大气 CH₄的主要排放源之一,约占大气 CH₄总来源的 10% ~ 20%^[3]。中国稻田面积约占世界稻田面积的 22%,正确估算 CH₄的排放通量,研究稻田 CH₄的排放规律以及减缓措施是农业环境科学家面临的一大课题。

施肥是影响稻田甲烷排放量的重要田间管理措施,同时肥料也是保证作物高产的基础^[4],因而研究不同施肥制度对稻田温室气体排放的影响具有深远意义。大量研究结果表明,由于能为甲烷产生提供易分解的有机物质,施用有机肥料能够增加甲烷的释放量,但在长期不同施肥试验的基础上对温室气体排放的测定少见报道^[5]。此外,不同养分对稻田 CH₄排放的影响机制仍存在争议,不同研究者观测得到的结果也不尽一致。同时,在某种养分亏缺状态下的气体排放规律尚不明确。因此,本试验在前人研究基础上对长期不同施肥制度下,湖南红壤晚稻田 17a 长期定位试验田进行温室气体排放规律的监测,以阐明长期定位试验下不同施肥制度对湖南红壤晚稻稻田温室气体排放的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验在中国科学院湖南省桃源农业生态站试验场内进行,当地位于东经 111°33', 北纬 28°55', 年平均气温为 16.5℃, 降水量为 1447.9mm, 日照 1531.4h, 太阳辐射 102.1 × 4.183kJ/cm², 所选试验地为长期定位施肥试验地, 开始于 1990 年, 以“早稻-晚稻-绿肥”种植制度为基础。土壤属于第四纪红色粘土发育而成的晚稻土, 试验前土壤的基本理化性状见表 1。2006 年晚稻季开始进行温室气体排放的观测。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 Basic properties of experimental soil

有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K (g·kg ⁻¹)	速效氮 Avail. N (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Avail. P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Avail. K (mg·kg ⁻¹)	pH
23.2	1.4	0.6	14.9	53.4	14.7	67.7	5.74

试验分 6 个处理, 3 个重复, 每小区面积为 33.2m², 晚稻供试品种为杂交金优 207。各处理内容如下: ①CK 不施肥; ②NP 施化学 N、P 肥; ③NK 施化学 N、K 肥; ④NPK 施化学 N、P、K 肥; ⑤OM 施加化学 N、P、K 肥 + 早稻秸秆还田; ⑥JF 施加 2/3 化学 N、P 肥 + 1/3 化学 K 肥 + 1/2 早稻秸秆还田。化肥区肥料类型包括尿素、普通过磷酸钙和氯化钾; OM 处理的早稻收获后将稻草用铡刀切成 8 ~ 10 cm 长草段, 随即翻埋入相应的小区之中作晚稻基肥, JF 处理则只留一半稻草翻耕埋入相应的小区, 另一半移出试验区之外。晚稻生长季的常规化肥施用量见表 2, 其中各处理 P 肥在早稻生育季前一次性施入。

1.2 试验方法

试验采用静态箱法测定, 采样箱由 5mm 厚 PVC 板制成, 规格为 67cm × 67cm × 110cm, 外部包有海绵和锡箔纸, 以防止太阳照射导致的箱内气温变化过大。箱体上部有 4cm 深水槽, 测定时加水以密封, 箱盖上装有两个 12V 小风扇以充分混匀箱内气体, 并留有一孔插温度计, 用来观测箱内温度变化, 箱体中部安有抽气孔, 采样时用注射器抽取箱内气体。测定仪器使用岛津气相色谱仪 (GC-12A), 检测器为 FID。每次取气的同时测定稻田水层深度、土壤氧化还原电位及 10cm 土壤温度。

表 2 2006 年晚稻生长季化肥施用量
Table 2 Fertilizer application rates of late rice in 2006

肥料品种 Fertilization	施肥时期 Fertilization stage	施肥量 Fertilization applied rate ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)					
		CK	NP	NK	NPK	OM	JF
晚稻 Late rice	移栽前 Before transplanting	0	40.7	40.7	40.7	40.7	33.9
	栽后 15~20d After transplanting 15~20d	0	50.8	50.8	50.8	50.8	40.7
	孕穗初期 Booting initial period	0	2.7	2.7	2.7	2.7	1.5
K	移栽前 Before transplanting	0	0	131.9	153.6	153.6	79.5

1.3 试验内容

晚稻移栽后第 6 天起,每周采集气体 2 次,分别在周一和周四 9:00~11:00。采样时间是在关箱后的 0、10、20、30min,同时记录采样箱内温度变化。

甲烷排放通量计算公式如下:

$$F = 273 / (273 + T) \cdot dc/dt \cdot \rho \cdot h$$

式中, F 为甲烷排放通量($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), T 为采样过程中采样箱内的平均温度($^{\circ}\text{C}$), dc/dt 为采样内甲烷气体的浓度变化率, ρ 为标准状态下甲烷的密度($0.719 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), h 是采样箱的箱罩的净高度(m)。

2 结果与分析

2.1 长期不同施肥制度下晚稻田 CH_4 排放规律

2.1.1 长期不同施肥制度对晚稻田 CH_4 排放季节变化的影响

从图 1 可以看出,各处理间 CH_4 的季节排放趋势基本相同,移栽后一周内各处理即达到排放最高峰,排放高峰大约持续 10d 左右。排放通量的峰值最大是 OM 处理,达到 $197.34 \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,其次是秸秆用量为 OM 处理 1/2 的 JF 处理,其排放通量最大值为 $101.39 \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。OM 与 JF 处理排放通量的最大值都大于单施化肥的处理;单施化肥处理排放通量最大值的顺序是 $\text{NPK} > \text{CK} > \text{NK} > \text{NP}$ 。其原因可能是晚稻生长初期气温较高,基肥分解充分,且前季稻草还田使得土壤中有机质含量较高,这些条件有利于土壤中产甲烷菌活性的增高,导致大量 CH_4 的产生和排放,从而使有机肥料施用的 OM 和 JF 处理的排放通量的最高值远大于单施化肥的各处理。排放高峰过后,各处理的 CH_4 排放量都逐渐降低,在移栽后 12d 左右,晚稻进入分蘖期,各处理的排放通量都高于同处理晚稻的齐穗期,主要是由于植物的通气组织比较发达,传输 CH_4 的净效应比较大造成

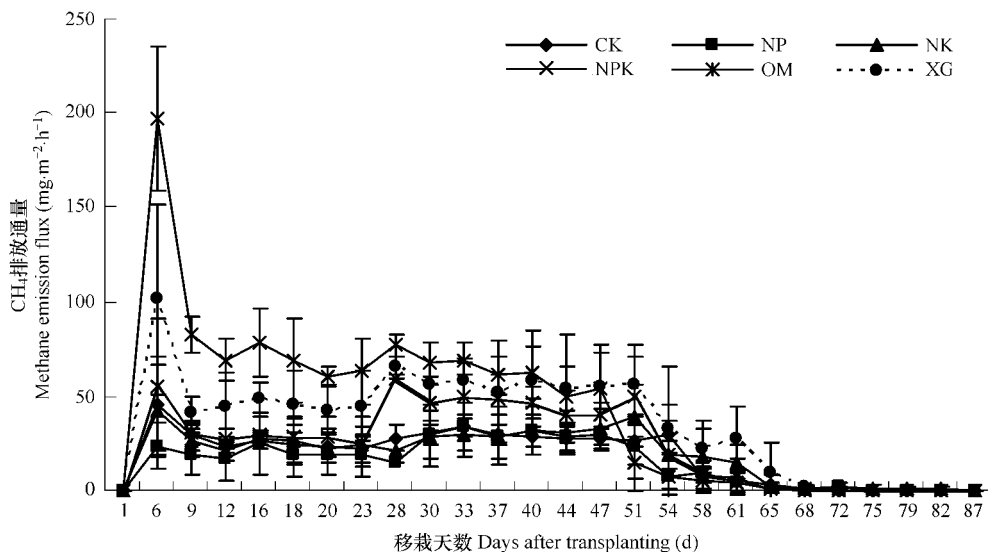


图 1 2006 年晚稻田 CH_4 排放通量的季节变化

Fig. 1 The seasonal variation of CH_4 emission in late paddy rice in 2006

的。在晚稻齐穗期,由于根系和腐烂物质给土壤提供了较多的产 CH₄基质,此时排放通量虽然小于分蘖期,但却大于晚稻生育后期。齐穗期后,CH₄排放量开始急剧下降,到收割前排放量大多小于 1mg·m⁻²·h⁻¹,此时水田内已基本处于无水状态,土壤透气性较高,产生的 CH₄大部分被氧化。移栽后期大约 60d 时,可以观察到各处理都有一个较小 CH₄排放峰,可能是由于灌跑马水的缘故。

2.1.2 长期不同施肥制度对晚稻田 CH₄累积排放量的影响

表 3 显示,不同施肥处理对晚稻田甲烷排放有一定的影响,施入秸秆处理比单施化肥处理的平均排放通量要大。其中 OM 处理平均排放通量最大,达到了 41.93 mg·m⁻²·h⁻¹;JF 的平均排放通量少于 OM 处理。单施化肥的各处理中,NPK 处理略大于其它缺素处理,养分缺乏对 CH₄排放通量有一定影响,它们之间排放通量的顺序是 NK > CK > NP。

从季节累积排放量的结果来看,6 个处理中 OM 处理的季节累积排放量达到了 898.03 kg·hm⁻²,同 CK 相比,增加了 134.6%,JF 处理次之。比较单施化肥的各处理,养分缺乏可以影响晚稻植株 CH₄的累积排放量,NPK、NK 的 CH₄排放量都高于 CK 处理,季节累积排放量分别增加了 36.7% 和 4.3%,NP 处理 CH₄排放量则小于 CK,降低了 19%,差异不显著,可能是稻田 CH₄排放具有很大的空间变异性的缘故。

表 3 不同施肥制度下晚稻田 CH₄排放量

Table 3 Methane emission fluxes under different fertilizing systems

处理 Treatment	平均排放通量 Average emission flux (mg·m ⁻² ·h ⁻¹)	季节累积排放量 Accumulation emission fluxes (kg·hm ⁻²)	增加量 Increment (kg·hm ⁻²)	增加百分比 Increasing yield (%)
CK	18.77c	382.79c	-	-
NP	15.24c	310.09c	-72.70	-19.0
NK	19.64c	399.18c	16.39	4.3
NPK	26.30bc	523.26bc	140.47	36.7
OM	41.93a	898.03a	515.24	134.6
JF	37.19ab	752.37ab	369.58	96.5

数据后有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) the means in the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$)

2.1.3 长期不同施肥制度晚稻各生育期 CH₄排放累积贡献率

表 4 显示,不同的施肥处理,移栽期和分蘖期占整个晚稻生育期的排放比例较大,说明其排放量基本集中在前期。在移栽期,各施肥处理气体累积排放量的比例顺序是 OM > JF > CK > NK > NPK > NP。在各生育期中,分蘖期的 CH₄累积排放量最大,OM 处理甚至达到了整个排放量的一半以上。此时期 CH₄累积排放量的顺序为 OM > NP > NPK > CK > JF > NK;在孕穗期,相对于加有机物料的 OM 和 JF 处理,各无机肥料处理的气体排放量在此时期的比例较大,其中缺少 K 养分的 NP 处理比例最大。到了齐穗成熟期,各处理的排放比例都较小。

表 4 晚稻各生育期 CH₄累积排放量的贡献率

Table 4 The percentage of Methane accumulation emission flux during late rice

处理 Treatment	移栽返青期 Transplanting (kg·hm ⁻²)	百分比 Percentage (%)	分蘖期 Tillering (kg·hm ⁻²)	百分比 Percentage (%)	孕穗期 Booting (kg·hm ⁻²)	百分比 Percentage (%)	齐穗成熟期 Maturity (kg·hm ⁻²)	百分比 Percentage (%)
CK	60.16bc	15.7	179.64c	46.9	93.80b	24.5	49.18ab	12.8
NP	32.40c	10.4	150.68c	48.6	97.19ab	31.3	29.83b	9.6
NK	55.51c	13.9	169.42c	42.4	108.80ab	27.3	65.46ab	16.5
NPK	70.66bc	13.5	253.77bc	48.5	147.35ab	28.2	51.47ab	9.8
OM	242.78a	27.1	466.59a	52.0	168.31ab	18.7	20.35b	2.3
JF	124.48b	16.5	340.89b	45.3	186.14a	24.7	100.86a	13.4

数据后有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) the means in the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$)

2.2 长期不同施肥制度下晚稻田 CH₄排放的环境影响因素

2.2.1 稻田水层深度对长期不同施肥制度下 CH₄排放季节变化的影响

稻田水层起着密闭作用,造成土壤缺氧,从而影响土壤 CH₄的生成、氧化及向大气的排放,水深和 CH₄排放有一定的相关性。有研究发现水深到 10cm 时能增加甲烷排放,但再增加则减少排放^[6],这可能是因为水层深度增大到一定程度时会减少 CH₄向大气中排放的缘故。从图 2 可以看出不同的施肥处理,稻田水层深度在 2~10cm 之间,此时 CH₄排放通量都保持较高水平,后期落水干田时,各处理 CH₄排放通量都较小。统计分析表明晚稻田各处理的 CH₄排放通量与晚稻田水层深度相关性不显著,水深的季节变化不能说明晚稻田 CH₄排放通量的季节变化。

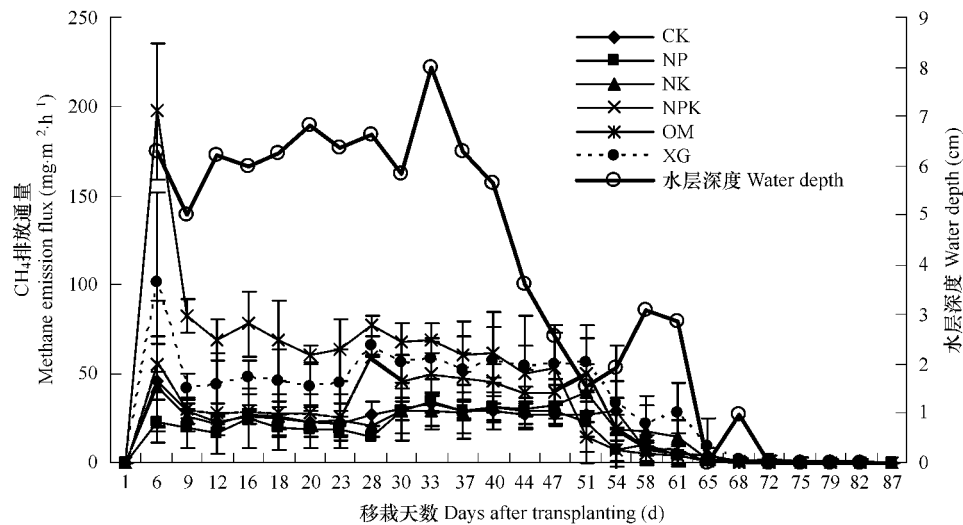


图2 水层深度对不同施肥处理下 CH₄排放的影响

Fig. 2 Effect of water depth on CH₄ emission under different fertilizing systems

2.2.2 土壤 Eh 对长期不同施肥制度下 CH₄排放季节变化的影响

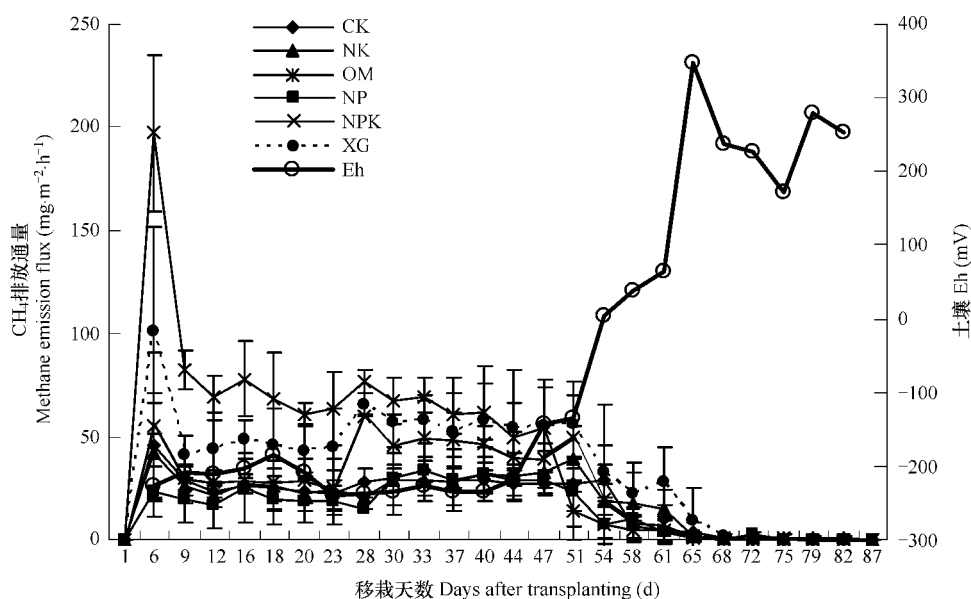
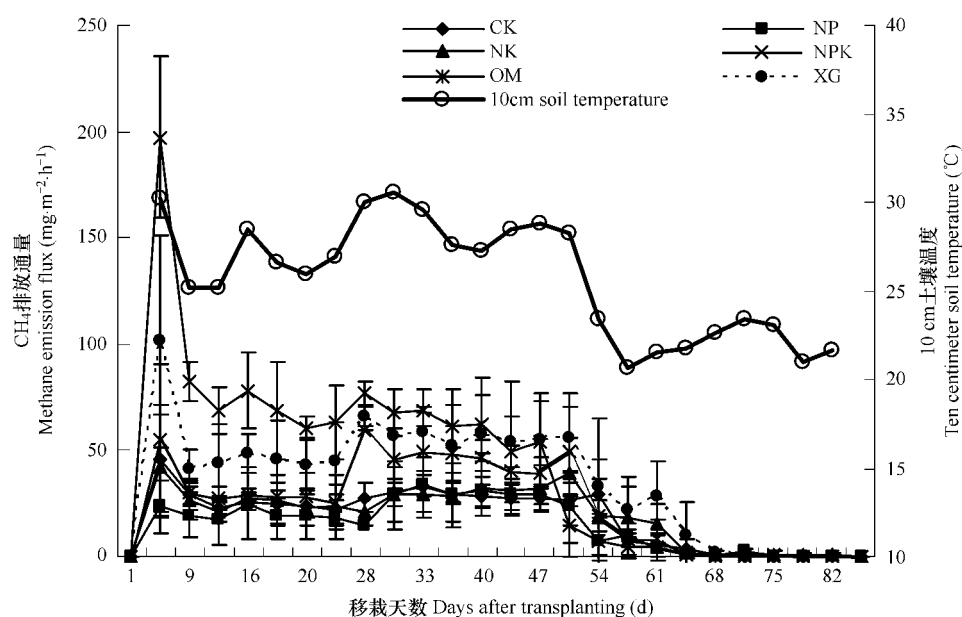
甲烷是极端还原条件下产甲烷微生物的活动产物,土壤 Eh 是影响 CH₄排放量的重要因素之一。Cicerone 等已发现了土壤氧化还原电位与稻田 CH₄排放的相关性^[7]。本测定结果表明,不同的施肥制度 CK、NP、NK、NPK、OM 和 JF 的 CH₄排放都与土壤 Eh 呈显著负相关($r = -0.894, -0.891, -0.892, -0.881, -0.746$ 和 $-0.882, n = 24, P < 0.01$), CH₄排放高峰期土壤氧化还原电位低, CH₄排放低时土壤氧化还原电位高。图 3 表明,水稻生长前期一直处于淹水状态,此时土壤 Eh 很低,大多在 -200mV 左右, CH₄排放通量处于高峰期。后期随着排水落干,稻田水层深度逐渐下降直至出现干裂,土壤 Eh 逐渐上升,此时产甲烷菌的生长和活动受到抑制,使得 CH₄排放通量持续下降。

2.2.3 土壤温度对长期不同施肥处理下 CH₄排放季节变化的影响

土壤温度是影响稻田 CH₄排放的重要环境因子,大多数产甲烷菌活动的最适温度为 $35 \sim 37^\circ\text{C}$,温度低于最适温度时,产甲烷菌的活性随土壤温度升高而提高,因此甲烷排放与土壤温度密切相关^[8~10]。本研究结果表明,不同的施肥制度 CK、NP、NK、NPK、OM 和 JF 处理的 CH₄排放都与 10 cm 土壤温度季节变化呈显著正相关($r = 0.859, 0.867, 0.816, 0.927, 0.747$ 和 $0.874, n = 24, P < 0.01$)。从图 4 可以看出,移栽后 50d 内土壤 10cm 温度在 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 之间波动,此时属于产甲烷菌适宜的温度范围, CH₄排放通量随着温度的升高而增加。后期温度变化范围较小,在 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 之间波动,稻田水分管理处于自然落干时期,温度的变化不是主要的影响因子, CH₄排放减弱。

3 结论

3.1 晚稻在移栽之后的短短几天内便达到排放高峰期,之后逐渐下降。本试验晚稻 CH₄排放的规律与前人

图3 土壤 Eh 对不同施肥处理下 CH_4 排放的影响Fig. 3 Effect of soil Eh on CH_4 emission under different fertilizing systems图4 土壤温度对不同施肥处理下 CH_4 排放的影响Fig. 4 Effect of soil temperature on CH_4 emission under different fertilizing systems

研究的结果基本相同,长期不同施肥制度对稻田 CH_4 排放通量存在一定影响,有秸秆施入的 OM 和 JF 处理最高排放通量较单施化肥高。在晚稻分蘖期,各处理达到排放通量最高值的时间也不一样,这可能与晚稻植株在各施肥处理下的生育进程不同有关。秸秆还田区 CH_4 排放量峰值出现后的数天内,其排放通量都高于其他各处理,秸秆对甲烷释放量的贡献主要集中在分蘖期,与有机质腐解速度有关^[11]。也可能与此时水稻具有较强的光合作用且尚未进入生殖生长期,光合作用产物尚未流向谷物积累而又有较多的根系分泌有关。水分对甲烷排放也有很大影响,一般认为土壤中甲烷的排放随水分含量的增加而增加,现在较多采用将晒田和间歇灌溉作为稻田甲烷减排的措施之一。

3.2 长期不同施肥制度对 CH₄ 排放具有一定的影响。本研究结果表明晚稻 CH₄ 平均排放速率以秸秆还田区最高,单施化肥区次之,缺素处理的 NP 最低。其中两秸秆还田区 CH₄ 排放速率的均值是化肥区的 1.94 倍,是无肥区的 2.11 倍。同为缺素处理,NK 处理的 CH₄ 排放量要大于 NP 处理,可能原因是经过早稻的生育期,土壤中某些难溶形态的 P 得到活化,缓解了晚稻的缺 P 现象,所以 NK 处理 P 缺乏相对得到缓解。李琳等的试验结果表明晚稻 CH₄ 排放速率以秸秆还田区最高,化肥区次之,无肥区最低^[12]。吕琴等在黄松稻田上的研究发现 NK、NP 和 NPK 处理的甲烷排放通量高于长期不施肥处理,认为虽然尿素能抑制土壤的好氧甲烷氧化活性,而一定量的磷和钾能促进黄松稻田的甲烷氧化活性^[13,14],因而混合施肥后,钾或磷能缓解由尿素引起的抑制作用。由于长期定位施肥和轮作下不施肥影响了稻田土壤肥力和土壤理化性状,因而甲烷氧化活性和甲烷排放量也发生变化,能增加土壤有机质含量的定位施肥也能促进土壤甲烷氧化活性和甲烷排放通量^[15]。因长期不平衡或缺素施肥会导致土壤微量元素有效含量下降、土壤肥力和土壤腐殖质理化性状,从而降低水稻田土壤甲烷氧化活性和甲烷排放量。

3.3 环境因素对长期不同施肥制度下晚稻田 CH₄ 排放有显著的影响。研究表明,不同的施肥制度,晚稻田 CH₄ 排放通量季节变化都与 10cm 土壤温度和土壤 Eh 的季节变化趋势显著相关,水层深浅和 CH₄ 排放的相关性比较差。土壤 Eh 与甲烷排放之间存在一个明显的消长关系,CH₄ 排放高峰期土壤氧化还原电位低,CH₄ 排放低时土壤氧化还原电位高,随着土壤 Eh 的升高 CH₄ 排放逐渐下降。土壤温度升高,不仅能促进水稻植株生长,加速 CH₄ 向大气排放,而且增强了土壤微生物活性,使土壤中的氧消耗加快,氧化还原电位下降,有利于产甲烷细菌的生长及 CH₄ 产生量的增加。徐华等认为,大田 0~15cm 深度土温可存在 1~4h 的滞后^[16]。土壤温度与 CH₄ 排放有很好的相关性可能由于其缓和了导致温度突变的影响因素的作用。水深的季节变化不能说明不同施肥制度下晚稻田 CH₄ 排放通量的季节变化,可能是由于水深促进了 CH₄ 的生成,但却减少了向大气中排放的缘故。稻田淹水后,土壤中缺氧状况得以加强,易于有机质分解,同时缺氧状况又增强了土壤中产甲烷菌活性,促进 CH₄ 形成,再通过水稻植株、气泡或以扩散的形式释放到土壤。但水层的加深,也使土壤中已产生的 CH₄ 在通过气泡或扩散形式穿越水层时,被氧化掉的量增大,从而减少了 CH₄ 向大气中的排放。

3.4 全球增温潜势(GWP)作为一种相对的指标常用来估计不同温室气体对气候系统的潜在效应。在 GWP 的估算中,CO₂ 常用来作为参考气体,CH₄ 的排放量通过 GWP 值转换成 CO₂ 的等效量。在 20a 的时间尺度上,单位质量 CH₄ 全球增温潜势为 CO₂ 的 62 倍;500a 时间尺度其 GWP 则为 CO₂ 的 7 倍。若以 1CO₂kg·hm⁻² 的 GWP 为 1,可以求得不同施肥处理下 CH₄ 排放的 GWP 值^[17]。

表 5 显示,无论从 20a 还是 500a 的时间尺度上,施入有机肥料的 GWP 都是最高,秸秆用量较少的 JF 的 GWP 要低于比 OM 处理。相对于 CK,只有 NP 处理的 GWP 是降低的,其他处理都是增加的。无论在 20a 还是 500a 的尺度上,其 GWP 的顺序都是 OM > JF > NPK > NK > CK > NP。

表 5 不同施肥制度下 CH₄ 排放对温室效应的影响
Table 5 Effect of CH₄ emission under different fertilizing systems on GWP

处理 Treatment	经济产量 Economical yield (kg·hm ⁻²)	全球增温潜势 GWP Global warming potential		单位产量的 GWP GWP yield per unit	
		20a	500a	20a	500a
CK	3436	23733	2679	6.91	0.78
NP	4218	19226	2170	4.56	0.51
NK	4197	24749	2794	5.90	0.67
NPK	5506	32442	3662	5.89	0.67
OM	5661	55678	6286	9.84	1.11
JF	5224	46647	5266	8.93	1.01

考虑稻田 CH₄ 排放温室效应的同时,综合考虑其经济产量是十分必要的。在保证一定经济产量的同时,有效减少 CH₄ 累积排放量。农田“单位产量的 GWP”这一指标能较好把两者统一起来^[18],适用于评价各种施

肥制度对 CH₄的排放影响。无论在 20a 还是 500a 的时间尺度上,各处理“单位产量的 GWP”中,施用秸秆的 OM 和 JF 处理都大于单施化肥的处理,在单施化肥各处理中,无肥区的 CK 处理的“单位产量的 GWP”大于其它各处理,而 NPK 和 NK 处理的“单位产量的 GWP”几乎是一样的,其数值大于 NP 处理而小于 CK 处理(见表 5)。

本研究在长期不同施肥条件下,秸秆还田增加了 CH₄温室效应,但和秸秆还田的量有一定的关系,JF 对温室效应的作用小于 OM 处理。单施化肥处理根据施用养分的不同情况略有不同,全量养分大于缺素处理,缺素处理中 NK 大于 NP,NP 处理对温室效应的影响要小于 CK,说明适当减少某养分的施用量或缺施某种养分可能有助于 CH₄排放量的减少,具体原因与措施还有待进一步的研究。考虑到既要提高产量又要减少温室气体的排放,在华中双季稻区,建议少量秸秆还田,配合施用化肥,考虑到不同化肥配比或缺失状况对 CH₄排放量会造成的影响,合理配比施肥用量将有助于减少 CH₄的排放量。

References:

- [1] Bouwman A F. Soils and the greenhouse Effect. Chichester: John Wiley and Sons, 1990. 25—32.
- [2] IPCC, 1992. Climate Change 1992, The supplementary report to the IPCC Scientific assessment. Houghton, J. T. *et al.* eds. Published for the IPCC, Cambridge University Press, 1992; 35—37.
- [3] Shen R X, Lu J X. Methane emission from rice fields in Guangzhou region and the spatial variation of methane emission in China. *Advance in Earth Sciences*, 1995, 4 (10): 270.
- [4] Qing X B, Li X B, Li Y E, *et al.* The effect of lone-term fertilization treatment on methane emission from rice fields in Hunan. *Agricultural Meteorology*, 2006, 27(1): 19—22.
- [5] Lv Q, Ming H, Chen Z Y. Effect of long-term fertilization on the methane oxidization and the methane emission in paddy soil. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2004, 10(6): 608—612.
- [6] Shanguan X J, Wang M X. A study on the influencing factors for Methane emission from rice fields. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1993, 14 (4): 48—53.
- [7] Cicerone R J, Shetter J D, Delwiche C C. Seasonal variation of methane flux from a California rice paddy. *J. Geophys. Res*, 1983, 88: 11022—11024.
- [8] Sun W T, Xiao Q M, Lou C R, *et al.* Study on the formation, emission and effect of methane of soil. *Rain Fed Crops*, 2000, 20 (5): 44—47.
- [9] Jiang J Y, Huang Y, Zong L G. Influence of paddy soil properties on CH₄ emission. *Soil and Environment Sciences*, 2001, 10(1): 27—29.
- [10] Li S P, Wang J K. Research progress in relation between greenhouse emission and soil properties. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2003, 34(2): 155—159.
- [11] Jiang J Y, Huang Y, Zong L G. Influence of water controlling and straw application on CH₄ and N₂O emissions from rice field. *China Environmental Science*, 2003, 23(5): 552—556.
- [12] Li L, Hu L F, Chen F, *et al.* Effects of different long-term fertilization on emission of CH₄ and N₂O from paddy soil. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25 (Supplement): 707—710.
- [13] Chen Z Y, Min H, Wu W X. Effect of mineral nutrition ions on the activity of methane oxidation in paddy soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(2): 219—223.
- [14] Min H, Chen Z Y, Wu W X, *et al.* Effect of carbon and nitrogen sources on the activity of methane oxidization in a paddy rice soil. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, 22(1): 70—76.
- [15] Chen Z Y, Min H, Chen M C, *et al.* Studies on relationships among methane emission and methane-oxidizing and methanogenic bacteria in three types of rice-field soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1499—1506.
- [16] Xu H, Cai Z C, Li X P. Study on regularity CH₄ emission from paddy soil. *Soil and Environment Sciences*, 1999, 8(3): 193—197.
- [17] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis, Summary for Policymakers. New York: Cambridge University Press, 2001.
- [18] Zhou J W, Huang Y, Zong L G, *et al.* Integrated effect of incorporation with different organic manures on CH₄ and N₂O emission from rice paddy. *Environment Science*, 2003, 24(4): 7—12.

参考文献:

- [3] 沈壬兴,上官行健. 广州地区稻田甲烷排放及中国稻田甲烷排放的空间变化. 地球科学进展,1995,4(10):270.
- [4] 秦晓波,李玉娥,刘克樱,等. 长期施肥对湖南稻田甲烷排放的影响. 中国农业气象,2006,27(1):19~22.
- [5] 吕琴,闵航,陈中云. 长期定位试验对水稻田土壤甲烷氧化活性和甲烷排放通量的影响. 植物营养与肥料学报,2004,10(6):608~612.
- [6] 上官行健,王明星. 稻田甲烷排放影响因子的研究进展. 中国农业气象,1993,14(4):48~53.
- [8] 孙文涛,肖千明,娄春荣,等. 土壤中甲烷的形成、排放及影响因素. 杂粮作物,2000,20(5):44~47.
- [9] 蒋静艳,黄耀,宗良纲. 稻田土壤理化特性对 CH_4 排放的影响. 土壤与环境,2001,10(1):27~29.
- [10] 李世朋,汪景宽. 温室气体排放与土壤理化性质的关系研究进展. 沈阳农业大学学报,2003,34(2):155~159.
- [11] 蒋静艳,黄耀,宗良纲. 水分管理与秸秆施用对稻田 CH_4 和 N_2O 排放的影响. 中国环境科学,2003,23(5):552~556.
- [12] 李琳,胡立峰,陈阜,等. 长期不同施肥类型对稻田甲烷和氧化亚氮排放速率的影响. 农业环境科学学报,2006,25(增刊):707~710.
- [13] 陈中云,闵航,吴伟祥. 不同离子对水稻田甲烷氧化活性影响的研究. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):219~223.
- [14] 闵航,陈中云,吴伟祥,等. 碳、氮物质对水稻田土壤甲烷氧化活性影响的研究. 环境科学学报,2002,22(1):70~76.
- [15] 陈中云,闵航,陈美慈,等. 不同水稻土甲烷氧化菌、产甲烷菌数量与甲烷排放量之间相关性的研究. 生态学报,2001,21(9):1499~1506.
- [16] 徐华,蔡祖聪,李小平. 种稻土壤 CH_4 排放规律的研究. 土壤与环境,1999,8(3):193~197.
- [18] 邹建文,黄耀,宗良纲,等. 不同种类有机肥施用对稻田 CH_4 和 N_2O 排放的综合影响. 环境科学,2003,24(4):7~12.