

稻田温室气体排放的时空差异性与精准施肥

鲁春霞,吕耀,谢高地,丁贤忠,安凯,陈文辉

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要:文中试图以不同施氮处理下稻田温室气体排放的时空差异性为依据,为精准施肥提供环境方面的信息。通过实验观测,研究了不同施氮处理条件下,稻田温室气体 CH_4 和 N_2O 日排放的差异性。施氮量不同的小区, CH_4 排放强度有很大差异,最大差值为 $15.8\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, CH_4 排放强度随着施氮量的增加而减少($R=0.88$)。甲烷排放的日变化幅度也较大,在 1~6.6 倍左右。在不同施氮水平下, N_2O 则随着施氮量的增加,排放通量逐渐减少。如果以观测的温室气体排放强度变化为基础,同时考虑粮食产量的变化规律,施氮量为 $270\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,温室气体排放量较低。实际上,精准施肥需要考虑诸多因素如土壤的理化性质、水稻不同生长季节的养分需求等等。

关键词:温室气体排放;精准施肥;稻田

中图分类号:S157.4⁺1;S51 文献标识码:B 文章编号:1007-7588(2002)06-0086-05

DIFFERENT CHARACTERISTICS OF GREENHOUSE GAS EMISSION FROM RICE PADDY FIELD AND PRECISION FERTILIZATION

LU Chun-xia, L ü Yao, XIE Gao-di, DING Xian-zhong, CHENG Wen-hui

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 10101, China)

Abstract: Main concern of this paper is devoted to exploring the relationship between different characteristics of greenhouse gas emission from rice paddy field and precision fertilization. The field experiment results showed that CH_4 and N_2O emission flux differed significantly by different fertilization treatment ($0\text{kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$, $90\text{kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$, $180\text{kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$, $270\text{kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$, $360\text{kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$). The methane emission flux in different treatment plot had obviously difference and the maximum gap reached $15.8\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$. In general, methane emission rate decreased with the increase of nitrogen fertilizer volume ($R=0.88$). The methane emission flux in a day changed from 1 to 6.6 times. N_2O emission flux decreases with the growth of fertilization volume. Based on different characters of greenhouse gas emission from rice paddy field, taking grain yield into consideration, it will provide a threshold for nitrogen fertilizing amount, the fitting fertilization volume was $270\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. To present precision fertilization, it is no doubt that many factors, such as physical and chemical feature and nutrient demand of rice plant and so on, should be taken into account. Therefore, the research of different characteristics of greenhouse gas emission from paddy field is expected to provide environmental information for precision fertilization.

Key words: Greenhouse gas emission; Precision fertilization; Paddy field

近年来,国内对不同地区稻田甲烷的排放规律进行了许多实际观测研究,其中,对稻田甲烷排放的影响因子也进行了不少探索^[1~3]。研究

结果显示,施用化肥对稻田甲烷排放有重要的作用,大量施用氮肥是全球大气 N_2O 浓度增加的一个重要因素^[4,5]。我国水稻生长季水田 N_2O

收稿日期:2002-06-10;修订日期:2002-07-28

基金项目:中国科学院知识创新工程“精准种植研究—上海精准种植技术集成示范”(K2CX2-412)资助。

作者简介:鲁春霞(1965~),女,汉,博士,主要从事资源与环境领域的研究。

的排放量为 $356 \times 10^8 \text{ g}$, 约占农田总排放量的 9%, 而化学氮肥消耗量的增加是中国农田 N_2O 排放量增加的主要因素^[6]。据联合国粮农组织统计, 目前化肥对粮食的贡献率约占 40%, 显然, 化肥是保证世界粮食产量的重要因素, 因此, 科学地施用化肥对提高粮食产量, 有效地控制温室气体排放具有重要的作用和意义。

常规的施肥处理把一定区域内的农田当作肥力、质地均一的状况来对待, 进行等量施肥, 这样会造成氮肥的过剩或不足, 容易产生环境污染诸如温室气体排放和水质的非点源污染, 并增加农业成本。事实上, 土壤的质地、理化性质和肥力等存在着一定的空间差异, 精准施肥就是根据农田小区作物产量和影响作物生长的环境因素(如土壤结构、地形、植物营养、含水量等)实际存在的空间和时间差异性信息, 区别对待, 按时空需求变量施肥。由于减少了不必要的化肥投入, 也就减少了由此造成的土壤、地下水及空气污染, 起到保护环境与保证农业可持续发展的作用。

在中国还处于探索阶段的精准施肥仍然以提高粮食产量为主要目标, 如果能够深入认识因施肥带来的环境污染在时间和空间的差异性, 综合考虑提高生产力和诸如温室气体排放等环境问题, 然后制定处方施肥方案, 必将取得最佳的经济效益和环境效益。

国内对稻田甲烷排放的研究主要以时间差异性为主线, 探讨稻田甲烷的排放规律^[7-10], 而从对稻田 CH_4 、 N_2O 排放的空间差异性与精准施肥的关注较少。精准施肥的目标是提高土地生产力, 减少环境污染, 对稻田温室气体排放时空差异性特征和规律的研究, 将从控制污染的角度提供减少污染的施肥信息和对策。为此, 我们在上海五四农场中国科学院上海精准种植园区的稻田内初步进行了不同施氮水平处理下温室气体排放的日变化时空差异性分析, 以便为后续的全生育期观测和将来的精准施肥提供温室气体排放方面的基础信息。

1 观测实验方法

试验小区位于上海市奉贤区五四农场稻田区内。稻田按当地的常规进行管理。为了获得不同施肥处理下各小区温室气体排放的差异性, 在水稻抽穗灌浆期进行了连续的 24h 观测采样。观测期稻田淹水层厚度在 10cm 左右。我们将同样的中等肥力稻田, 划分为 5 个小区, 小区面积为 $5\text{m} \times 5\text{m}$, 相应地采用 5 个不同的施氮处理。即施氮量分别为 0 、 $90\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $180\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $270\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $360\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 每个处理设 3 个重复。

气体样品采用静置箱法采集, 在每个试验小区内设置气体采集箱, 即使用可控制箱盖开闭的有机玻璃静态封闭箱采集样品。采集箱规格为 $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 100\text{cm}$ 。 CH_4 和 N_2O 样品利用惠普 5890 型气相色谱仪分析; CO_2 浓度利用 LI-COR6252 型 CO_2 红外分析仪测定。

2 不同施氮水平下稻田温室气体排放的差异性

2.1 不同施氮水平条件下稻田 CH_4 排放的变异特征

对稻田甲烷的观测表明, 在不同施氮水平下, 各小区稻田甲烷排放变化如图 1 所示。从图 1 中可以看出, 无论施氮与否, 各小区均处于 CH_4 净排放状态, 日排放的变化幅度在 1~6.6 倍左右, 排放高峰出现在下午 14 时左右。由于稻田甲烷排放有较强的日变化, 很难用 1d 的观测数据反映稻田的日平均排放强度。但是, 根据前人对稻田甲烷排放规律的研究观测^[2,11], 上午 9 时~11 时或晚上 9 时左右稻田甲烷排放率的观测值与整个季节甲烷日排放平均值非常接近。因此, 我们选择在这一时段测定值作为不同处理下温室气体日排放的平均值。对平均 CH_4 排放通量的计算显示, 施氮与未施氮小区的排放强度显著不同(表 1), 未施氮小区的 CH_4 排放强度最高, 达 $18.62 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 随着施氮量的增加, 甲烷排放强度逐渐减少, 这一结果与报道的观测结果^[1,2]是一致的。当施氮水平为 $270\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 甲烷排放强度最低。当施氮量增加到 $360\text{kg} \cdot$

hm^{-2} 时, CH_4 排放通量稍有增加。对不同施氮处理条件下, CH_4 排放通量数据组进行的成对数据 t 检验表明, 除施氮量为 $180\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的情况外, 其余处理的数据组之间具有显著性差异 ($p = 0.05$)。由此说明, 氮肥施用对 CH_4 排放强度的变化具有直接的作用。

不同施氮量对稻田 CH_4 排放强度的影响说明, 在同样肥力的稻田施用的化肥量不同, 可以导致稻田 CH_4 排放的空间差异。这就为精准施肥提供了实践依据, 即采用变量施肥, 可以有效地把稻田甲烷排放控制在一定的阈值之内。

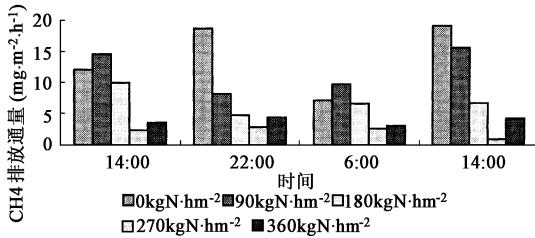


图1 不同施氮处理条件下 CH_4 排放通量的日变化趋势

Fig. 1 Daily change of CH_4 emission flux under different fertilization treatment

表1 不同施氮水平下各小区甲烷日排放通量

Table 1 Daily CH_4 emission flux under different fertilization treatment ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)		
(小区) 处理代号	施氮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	CH_4 日排放强度 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)
0 - SH	0	18.62
1 - SH	90	8.15
2 - SH	180	4.72
3 - SH	270	2.82
4 - SH	360	4.38

2.2 不同施氮水平下 N_2O 排放的变化特征

不同施氮处理下, 淹水稻田各小区 N_2O 日排放没有显著的时间变化规律(图2), 显然稻田 N_2O 日排放变化状况有待于进一步观测。但随着施氮量的增大, 稻田 N_2O 日平均排放量呈现减少趋势, 当施氮量为 $180\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, N_2O 排放量最低, 其后随施氮量增大, N_2O 排放量亦增加

(表2)。该结果与郑循华等人^[10]对华东地区稻田 CH_4 和 N_2O 排放研究的结论一致, 即在淹水时期, 即使施用氮肥, 引起的 N_2O 也极为微弱。这与旱地农田施氮后 N_2O 排放通量增大^[12] 显然不同。根据侯爱新等人^[13]的观测, 我国北方稻田的 CH_4 和 N_2O 排放之间存在互为消长的关系, 而且, 在稻田整个淹水期间, 虽然土壤中硝化、反硝化细菌数量并没有减少, 但几乎没有 N_2O 的净排放^[14]。在本研究的不同施氮量处理条件下, CH_4 和 N_2O 的日排放不存在这种互为消长的关系, 可能是由于淹水造成的厌氧环境不利于硝化和反硝化作用, 最终代谢产物以 N_2 形式排入大气中。

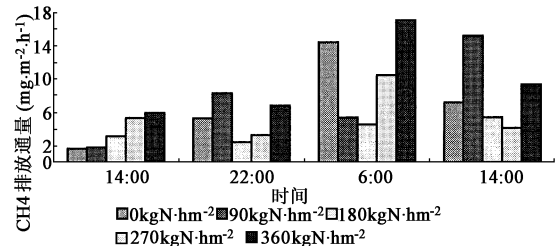


图2 不同施氮处理条件下稻田 N_2O 排放通量的日变化

Fig. 2 Daily change of N_2O emission flux in paddy field under different fertilization treatment

表2 不同施氮水平下稻田平均 N_2O 排放通量

Table 2 Average N_2O emission flux in paddy field under different fertilization treatment ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)		
(小区) 处理代号	施氮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	N_2O 日排放强度 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)
0 - SH	0	5.31
1 - SH	90	4.41
2 - SH	180	2.43
3 - SH	270	3.28
4 - SH	360	6.79

3 结论与讨论

国内外在稻田的许多实验观测已经证明, 施肥对稻田温室气体排放具有显著的影响作用^[2,4,9,11]。本项实验结果也表明, 施肥可能是导

致稻田温室气体排放具有时空差异的重要因素。

在同样肥力的不同小区,由于施氮量不同, CH_4 、 N_2O 的排放量也存在着较大差异。施氮量不同的小区,同一种温室气体的排放通量完全不同。未施氮条件下的小区比施氮处理小区的 CH_4 排放强度要高,最大差值为 $15.8\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。施氮量愈高,甲烷排放通量愈低。从总体来看,甲烷排放与施氮量之间呈线性负相关关系($R^2 = 0.88$)。但当施氮量达到 $360\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, CH_4 排放强度略呈增加趋势,这可能表明,当施氮量超过一定阈值时,对甲烷排放的抑制作用会减小,当然这只是笔者的推测,还有待于进一步研究证实。寻求 CH_4 排放强度最小的施氮量正是精准施肥所需要的环境信息数据。

根据观测结果,在稻田淹水期,不同施氮处理的小区的 N_2O 日排放强度有很大差异。但从总体来看,淹水期施氮量的增加并没有导致 N_2O 排放强度的增大,相反在一定施氮水平内 N_2O 排放呈现减少趋势。但该现象在研究区是否属于规律性的变化还有待于进一步证实。

事实上,影响稻田 CH_4 、 N_2O 排放的因子很多,包括土壤类型、栽培措施等。施肥无疑是影响稻田温室气体排放的重要因素之一,已经有许多研究证实了这一点。

如果不考虑其他因素的影响,仅从施肥对稻田温室气体的排放影响来看,本研究观测表明,同样肥力的稻田施用不同的氮量,导致温室气体排放通量存在着很大的时空差异。因此,以不同施氮水平下稻田温室气体排放的差异性特征作为精准施肥的环境信息的重要组成部分是很有必要的。因为稻田是全球变暖的主要温室气体贡献者。

如果仅仅以本次的观测结果为依据,选择温室气体排放少而且粮食产量高的施氮量,从图3可以看出,当施氮量为 $270\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, CH_4 排放量最低,而且粮食产量最高,而此时, N_2O 的排放量也很低。所以最佳的施肥量应在 $270\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右。

需要说明的是,本研究只是对稻田温室气体

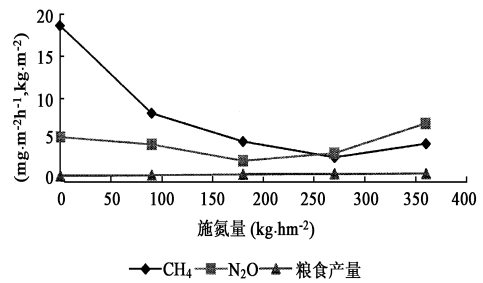


图3 不同施氮水平下的粮食产量和 CH_4 、 N_2O 排放通量

Fig. 3 Grain output and CH_4 , N_2O emission flux under different fertilization treatment

排放与精准施肥之间关系的一个初步探索,旨在从温室气体减排角度为精准施肥提供环境信息。实际上,稻田精准施肥涉及诸多因素,如土壤的理化性质、水稻不同生长阶段的养分需求、土壤水分条件等等。因此,需要进行连续地、长期地观测和分析不同阶段的主导因素,通过研究稻田温室气体排放的时空差异特征和规律确定施氮量,为精准施肥提供更准确的环境信息。

参考文献 (References):

- [1] 蔡祖聪,沈光裕,颜晓元,等. 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 ~ 153. CAI Zr-cun, SHEN Guang-yu, YAN Xiao-yuan, Effects of soil texture, temperature and Eh on methane emission from paddy field[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(2): 145 ~ 153.
- [2] 陶战,杜道灯,周毅,等. 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. TAO Zhan, TU Dao-deng, ZHOU yi. Effects of different agricultural measures on methane emission from paddy field[J]. *Agric environment Protection*. 1995, 14(3): 101 ~ 104.
- [3] 徐华,蔡祖聪,李小平. 冬作季节土地管理对水稻土 CH_4 排放季节变化的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 215 ~ 218. XU Hua, CAI Zr-cun, LI Xiaoping, Effect of land management in winter season on seasonal change of methane emission from rice paddy field. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2000, 11(2): 215 ~ 218.
- [4] Møller A, Kroeze C, Nevison C. et al. Closing the global N_2O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle: OECD/ IPCC/ IEA phase development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 52: 255 ~ 248.
- [5] FAO and IAEA. Measurement of methane and nitrous oxide

- emissions from agriculture. A joint Undertaking by the Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Atomic Energy Agency, International Atomic Agency, Vienna, 1992. 5 ~ 6.
- [6] 邢光熹, 颜晓元. 中国农田 N_2O 排放的分析估算与减缓对策[J]. 农村生态环境, 2000, 16(4) : 1 ~ 6. XING Guang-xi, YAN Xiao-yuan. Estimate of nitrous oxide emissions and its reducing measures in China[J]. *Rural Eco-environment*, 2000, 16(4) : 1 ~ 6.
- [7] 陈德章, 王明星. 我国西南地区的稻田甲烷排放[J]. 地球科学进展, 1993, 8(5) : 47 ~ 54. CHEN De-zhang, WANG Ming-xing, Methane emission from rice fields in Southwest China [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1993, 8(5) : 47 ~ 54.
- [8] 丁爱菊, 王明星. 稻田甲烷排放的初级模式[J]. 大气科学, 1995, 19(6) : 733 ~ 740. DING Ai-ju, WANG Ming-xing, Methane emission model from rice paddy field[J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1995, 19(6) : 733 ~ 740.
- [9] 上官行健, 王明星. 稻田甲烷的排放规律[J]. 地球科学进展, 1993, 8(5) : 23 ~ 35. Shangguan Xingjian, WANG Ming-xing, The laws of methane emission from rice paddy field [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1993, 8(5) : 23 ~ 35.
- [10] 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 ~ 611. WANG Ming-xing, LI Jing, ZHENG Xun-hua, the mechanism of methane production, emission, transform and transmission from paddy field [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1998, 22(4) : 600 ~ 611.
- [11] 李晶, 王明星, 陈德章. 稻田甲烷排放非连续测量中采样时间的选择[J]. 中国科学院研究生院学报, 1998, 15(1) : 24 ~ 29. LI Jing, WANG Ming-xin, CHEN De-zhang. Time selection for non-continuous measurements of methane emission from rice fields[J]. *Journal of Graduate School, Academia Sinica*. 1998, 15(1) : 24 ~ 29.
- [12] 郑循华, 王明星, 王跃思, 等. 华东稻田 CH_4 和 N_2O 排放[J]. 大气科学, 1997, 21(2) : 231 ~ 237. ZHENG Xun-hua, WANG Ming-xing, WANG Yue-si, et al. CH_4 and N_2O emission from rice fields in Southeast China[J]. *Scientia Atmospherica Sinica*. 1997, 21(2) : 231 ~ 237.
- [13] 宋文质, 王少彬, 苏维瀚, 等. 我国农田土壤的主要温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放研究[J]. 环境科学, 1996, 17(1) : 85 ~ 88. SONG Wen-zhi, WANG Shao-bing, SU Weihan, et al. Agricultural activities and emissions of greenhouse gases in China region[J]. *Environmental Sciences*. 1996, 17(1) : 85 ~ 88.
- [14] 侯爱新, 陈冠雄, 吴杰. 稻田 CH_4 和 N_2O 排放关系及其微生物学机理和一些影响因子[J]. 应用生态学报, 1997, 8(3) : 270 ~ 274. HOU Ai-xin, CHEN Guan-xiong and WU Jie. Relationship between CH_4 and N_2O emission from rice field and its microbiological mechanism and impacting factors[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 1997, 8(3) : 270 ~ 274.