

中国稻田甲烷排放研究进展^①

蔡 祖 聪

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 本文简要地介绍了我国稻田甲烷排放研究的最近进展。分析稻田甲烷排放观察结果表明,在我国冬季排水良好的稻田中,冬季降水量与稻田甲烷排放量存在极显著的指数关系。将我国稻田划分成冬季排水良好与冬季灌水二类,并分别估计其甲烷排放量为 4.21 和 3.39Tg CH₄。面积占 12% 的冬灌田排放的甲烷占总排放量(7.60TgCH₄)的 45%。文章提出了今后我国稻田甲烷排放研究应加强的几个方面。

关键词 稻田; 甲烷排放; 排放估计

我国稻田甲烷排放的观察研究开始于 80 年代末。最初的观察在浙江杭州和四川乐山的稻田进行^[1,2]。巧合的是这二地测定的排放量,及稍后在北京和南京稻田测定的排放量^[3]均明显高出世界上已有的稻田甲烷排放量观察结果,因而,引起了国际上有关环境组织和科学家们的极大关注,也极大地促进了我国稻田甲烷排放的观察研究。至今已经先后在广东广州,浙江杭州、富阳,江苏吴县、南京,江西鹰潭,湖南桃园、长沙,四川乐山,重庆,天津,北京,沈阳等地进行了稻田甲烷排放的观察研究。目前,我国是世界上甲烷排放观察数据积累较多的几个国家之一。在此,主要根据我们自己的工作,简要介绍我国稻田甲烷排放研究的进展。

1 影响我国稻田甲烷排放的主要因素

稻田甲烷排放量是稻田甲烷生成量和氧化量的综合结果,与稻田甲烷生成、氧化和排放有关的因素都对稻田甲烷排放量产生影响。生成甲烷的反应处于土壤氧化还原系列的还原端,土壤悬液试验结果表明只有当土壤氧化还原电位低于-100 到-150mv 时才有甲烷的生成^[4]。因此,土壤还原是生成甲烷的前提。凡是影响氧化还原条件的土壤和环境因素都会不同程度地影响甲烷的生成量,这些因素包括淹水时间、有机物质、硝酸根、硫酸根、易还原性铁锰含量、土壤的渗漏性、水稻根际分泌物等。土壤中生成的甲烷只有一小部分(平均约为 20%)通过扩散、气泡和水稻植株排放到大气中,绝大部分(平均约为 80%)在排放到大气之前被甲烷氧化菌所氧化。因此,影响甲烷氧化菌活性的因素,如水稻根系的泌氧能力、无机氮素形态、光照等均能影响稻田的甲烷排放量。稻田土壤中的甲烷主要通过水稻植株排放到大气中(平均约占排放量的 80%),水稻种植密度、水稻通气组织的发育程度和土壤质地等因素均可通过影响甲烷的排放速率而影响稻田甲烷排放量。

我国水稻种植地域辽阔,各种因素对稻田甲烷排放的影响程度不同。对我国现有公开发表的稻田甲烷排放量观察结果,按土壤的水分类型和施肥进行分类,结果如表 1。从中可以看出,水稻生长期间进行烤田的稻田,甲烷排放量最低,水稻生长期不间断淹水的稻田次

① 国家自然科学基金资助项目(49771073)。

之,终年淹水的稻田最高。是否施用有机肥和有机肥的施用量是影响稻田甲烷排放量另一个重要因素。

不仅是水稻生长期间的水分状况,水稻收获后的土壤水分状况对第二年稻田的甲烷排放量有更大的影响。从表1可以看出,终年淹水稻田的甲烷排放量明显高于其它水分状况的稻田。温室试验结果表明,水稻生长期的甲烷排放量,冬季淹水处理显著高于冬季种植小麦或者排水休闲的处理(表2)。排除冬季淹水稻田和有机肥施用量远超过现实施用量的田间观察结果,我们发现我国现有的稻田甲烷排放量观察结果与冬季降水量呈极显著的指数关系(图1)。图1的决定系数表明,5年(1991~1995)平均冬季降水量可以说明我国从南到北稻田甲烷排放量82%的空间变异。以下因素可能是我国稻田甲烷排放量与冬季降水量有显著关系的内在基础。1、除排水困难的稻田外,我国稻田在水稻生长期的水分管理基本相同,烤田是夺取高产的重要手段之一。水稻生长期水分状况的空间变异较小,因此,对稻田甲烷排放量空间变异的作用也较小;2、冬季降水量是决定排水良好的稻田冬季土壤含水量的主要因素。这一时期的土壤含水量影响土壤的氧化还原状况和微生物活性,从而影响土壤淹水后开始排放甲烷的时间和强度;3、我国从南到北,冬季降水量差异很大,因而这一因素对稻田甲烷排放量空间变异的影响较大。

表1 水分状况和施肥对我国稻田甲烷平均排放通量($\text{CH}_4, \text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$)的影响^[5]

施肥	水分状况			
	烤田	水稻生长期淹水	终年淹水	平均
矿质肥料	2.691.85	8.03±5.80	17.03	4.66±4.51
有机肥<15t/ha	7.19±3.15	9.25±0.75	ND	7.60±2.96
秸秆<15t/ha	18.74±10.08	ND	38.54±10.17	24.02±13.7
有机肥>15t/ha	13.81±4.47	15.56±14.95	66.96±11.01	25.85±24.27
平均	9.67±8.89	11.74±11.56	52.75±17.33	

注:ND,无数据。

表2 冬季土壤利用对次年甲烷排放量($\text{CH}_4, \text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$)的影响^[6]

处理	每一小区的平均排放通量			平均
排放冬闲	4.53	5.04	3.98	4.52B
淹水冬闲	23.85	27.55	26.38	25.93A
冬小麦	4.84	3.34	7.09	5.09B
冬绿肥	25.00	23.54	15.79	21.44A

A, B, 不同字母表示差异显著($P < 0.01$)

我们在广州的田间观察表明,水稻种植前连续种植旱作的季数也显著地影响水稻生长期间的甲烷排放量。虽然水稻生长期间的水分管理相同,水稻种植前连续种植3季旱作的处理,水稻移栽后,甲烷排放量的增加速率很小,连续种植2季旱作的次之,只种植1季旱作的增加最快(图2)。整个生长期的甲烷平均排放随着水稻种植前旱作连续种植季数的增加而显著减少。

上述结果充分说明,水稻种植前的土壤水分状况及保持这一水分状况的时间是导致我

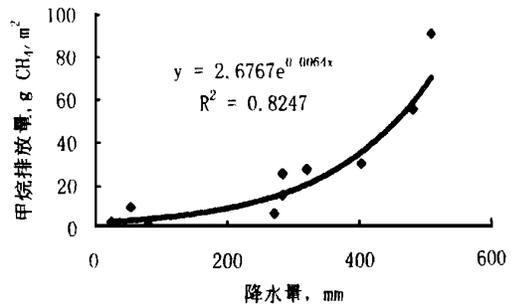


图1 我国5年(1991~1995)平均冬季降水量与稻田甲烷排放量之间的关系

国稻田甲烷排放量空间变异的主要因素。

2 我国稻田甲烷排放量估计

对全球稻田甲烷排放量作出精确估计是稻田甲烷排放研究的主要目的之一。稻田甲烷排放量估计有多种方法：1、根据田间直接测定结果和该测定值代表的稻田面积计算；2、通过水稻的初级生产量估算(折算系数一般为 5%)；3、根据投入到土壤的有机碳量折算(换算系数为 0.3)或根据土壤有机质碳折算；4、模型计算。由于最初报道的我国稻田甲烷排放量的观察值均很大，且我国又是世界上最大的水稻生产国，所以，环境科学工作者对我国稻田甲烷排放总量的估计尤为关注。对我国稻田甲烷排放量的现有估计结果变幅很大，年排放量的估计值从 6.67 到 41.4 Tg^[8]。根据现有资料，田间直接测定的我国稻田甲烷排放量的变动范围从 0.3 到 205CH₄g /m² /年。显然，用单一的换算系数估算我国稻田甲烷排放量的不确定性将是很大的。

在我国，终年淹水的稻田是一类特殊的稻田，其甲烷排放量远高于同一地区冬季排水的稻田，必须单独进行估计。根据中国农业年鉴的统计结果计算，我国 1995 年稻田土壤面积为 22.356 百万公顷^[9]。根据李庆逵主编的《中国水稻土》一书^[10]，估计我国现有各类冬季淹水的稻田面积约为 2.73 百万公顷，约占稻田总面积的 12%，主要分布在西南地区。冬季排水良好稻田的甲烷排放量可以用图 1 中的回归方程估算。根据我国各省冬季 5 年平均降水量计算单位面积稻田的甲烷排放量，从而估算出这类稻田的甲烷总排放量为 4.21Tg。由于这类稻田冬季排水，故冬季的甲烷排放量可以忽略不计(表 3)。

冬季淹水稻田甲烷排放量的观察数据相对较少。根据现有的报道结果，冬季淹水稻田水稻生长期的甲烷排放量与冬季降水量也有很高的相关性，可以用方程 $y = 31.45e^{0.029x}$ ($R^2 = 0.9004$, $n = 4$, $p < 0.006$)描述，式中 y 为冬季淹水稻田水稻生长期甲烷排放量，单位： g / m^2 /年； x 为 5 年(1991~1995)平均冬季降水量，单位： mm 。虽然这二者之间何以有很高相关性的内存机理并不清楚，但从回归方程的决定系数可以看出，用该回归方程可以获得较精确的甲烷排放量估算结果。用各省 5 年平均冬季降水量估算冬季淹水稻田甲烷排放量，进而估算出这类稻田水稻生长期的甲烷排放量为 2.41Tg。由于处于淹水状态，因而这类稻田冬季仍有甲烷排放。但是目前仅有我们对重庆冬季淹水稻田非水稻生长期甲烷排放的观察结果，其甲烷排放量为 36.2g /m²。用这一单一观察结果估计的冬季淹水稻田在非水稻生长期的甲烷排放量为 0.98Tg。冬季淹水稻田全年的甲烷排放量合计为 3.39Tg。全国稻田年排放的甲烷总量为 7.6Tg(表 3)，其中 45%来自于占稻田总面积 12%的冬季淹稻田。

表 3 我国不同类型稻田甲烷排放量的估计(Tg)

稻田类型	面积(× 10 ³ 公顷)	水稻生长期	非水稻生长期	小计
冬季排水	19625	4.21	—	4.21
冬季淹水	2730	2.41	0.98	3.39
合计	22356	6.62	0.98	7.60

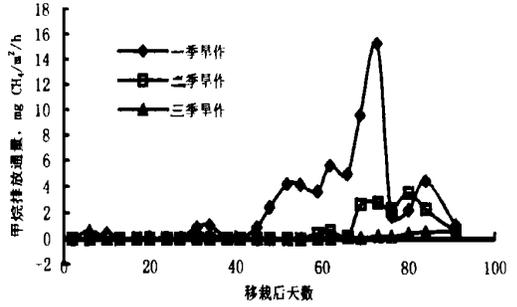


图 2 水稻移栽前早作连续种植季数对后续水稻生长期甲烷排放通量的影响^[7]

3 今后研究重点

最近几年,国内外对稻田甲烷排放进行了大量的研究,对稻田甲烷的生成、氧化和排放机理有了比较深入的了解。但是对全球稻田甲烷排放量的估计仍存在很大的不确定性。针对我国水稻生产实际,今后似应加强以下几方面的研究。

1. 加强冬季淹水稻田甲烷排放和控制对策的研究。冬季淹水稻田的甲烷排放量显著高于冬季排水良好的稻田。但这类稻田或者地下水位过高;或者灌排水设施较差,若冬季排干,第二年水稻移栽前如无足够的降雨就难以及时移栽水稻;或者地势低洼,受侧渗水的影响排水困难,实施冬季排水减少甲烷排放量受到很大的限制。提出减少这类稻田甲烷排放量的措施应该作为今后研究的重点。冬季淹水稻田非水稻生长期甲烷排放量在国外尚无报道,我国也仅有在重庆的实测结果。增加冬季淹水稻田非水稻生长期甲烷排放量的田间观察,有助于提高我国稻田甲烷排放量的估计精度。

2. 冬季土壤水分含量影响水稻生长期甲烷排放量的机理研究。统计上揭示的我国冬季排水良好的稻田甲烷排放量与冬季降水量之间的显著相关性,对于精确估计我国稻田甲烷排放量是很有意义的,也是我国稻田甲烷排放研究的特色之一。从理论上阐明这一关系存在的土壤物理、化学和生物学基础,对于确立我国在国际稻田甲烷排放研究的地位具有重要意义。

3. 加强土壤和环境因素与稻田甲烷排放量关系的定量研究。由于稻田甲烷排放受众多因素的影响,而这些因素都存在时间和空间变异性,且相互影响。全球稻田甲烷排放量的精确估计有赖于这些因素与稻田甲烷排放量之间定量关系的建立。

4. 重视稻田甲烷氧化机理及影响因素的研究。稻田土壤的甲烷氧化量平均占生成量的80%,但目前对稻田甲烷氧化的机理及影响因素还知之甚少。稻田甲烷氧化是在专一的甲烷氧化菌和铵氧化菌(即硝化细菌)的参与下完成的,甲烷氧化菌也参与铵氧化。铵氧化是稻田氮素反硝化损失的基本过程。因此,研究稻田土壤的甲烷氧化机理,不仅有助于揭示稻田甲烷排放规律,也可能有助于揭示稻田氮素损失机理。

参 考 文 献

- 1 Wang, M. X., M. A. K. Khalil, R. A. Rasmussen. *Chinese Science Bulletin*, 1988, 33:942~947
- 2 Wassmann, R., H. Schutz, H. Papen, et al. *Biogeochem.*, 1993, 20:83~101
- 3 Chen, Z., D. Li, K. Shao and B. Wang. *Chemosphere* 1993, 26:1239~1245
- 4 Wang Z. P., R. D. DeLaune, P.H. Masschelegn and W.H. Patrick Jr. *Soil. Soc. Am. J.*, 1993, 57:382~385
- 5 Cai, Z.C. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 49:171~179
- 6 Cai, Z.C. and H. Xu. In: L. Pawlowski, M. A. Gonzales, M. R. Dudzinska, and W. J. Lacy (eds) *Chemistry for the Protection of the Environment. Environmental Science Research*, 1998, 55 (3):43~49
- 7 蔡祖聪,徐华,卢维盛,廖宗文,张建国,魏朝富,谢德体. 冬季水分管理方式对稻田CH₄排放量的影响, *应用生态学报*, 1998, 9(2):171~175
- 8 Kem, J. S., Z. T. Gong, G. L. Zhang, et al., *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 49:181~195
- 9 中国农业年鉴编委会. *中国农业年鉴 1996* 农业出版社, 1996
- 10 李庆远主编. *中国水稻土*, 科学出版社, 1992