

前茬季节稻草还田时间对稻田 CH₄ 排放的影响

徐 华¹, 蔡祖聪¹, 贾仲君¹, 鹤田治雄²

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2. 日本国立农业环境技术研究所)

摘 要:通过盆栽试验研究了前茬季节稻草还田时间对稻田 CH₄ 排放的影响。与前茬季节前施用稻草(稻草早)相比,水稻移栽前施用稻草(稻草晚)的处理 CH₄ 排放量增加了 3.04(1996 年)和 7.12(1997 年)倍。稻草还田时间还明显影响 CH₄ 排放和土壤 Eh 的季节变化。稻草晚处理土壤 Eh 在整个水稻生长期皆处于适宜 CH₄ 产生的水平,所以整个水稻生长期皆有 CH₄ 排放(经历烤田后例外),而稻草早处理水稻移栽 42 d 后土壤 Eh 才降为负值,在此期间几乎没有 CH₄ 排放。

关键词: CH₄; 排放; 稻田; 前茬; 稻草还田时间

中图分类号: S131.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2001)05-0289-04

Effect of Rice Straw Application Time in Previous Crop Season on CH₄ Emission from Rice Paddy Field

XU Hua¹, CAI Zu-cong¹, JIA Zhong-jun¹, H. Tsuruta²

(1. Institute of soil science, Academia Sinica, Nanjing, 210008 China; 2. National Institute of Agro - Environmental Sciences, Tsukuba 305, Japan)

Abstract: A pot experiment was carried out to investigate the effect of rice straw application time in the previous crop season on CH₄ emissions from rice field. Applying rice straw just before soil is flooded for rice transplanting (DFL) significantly enhanced CH₄ flux by 3.04 times in 1996 and 7.12 times in 1997 compared with rice straw application just before the previous crop season (DFE). Seasonal variation of soil Eh and CH₄ fluxes were also affected by rice straw application time in the previous crop season. Soil Eh of DFL treatment was in the active range of methanogenic bacteria during the whole rice - growing period, so CH₄ emission occurred during the corresponding period (except being imposed by soil drying). While it took 42 days after rice transplanting when soil Eh of DFE treatment dropped to negative value and CH₄ emission was very low during the period.

Keywords: CH₄ emission; rice field; previous crop season; rice straw application time

CH₄ 是一种重要的温室气体,水稻田是大气 CH₄ 的主要来源^[1]。过去的十几年里,在世界上主要水稻种植国家观察了稻田 CH₄ 排放通量,并且深入研究了影响稻田 CH₄ 排放的各种农业环境因素,如土壤性质、水稻生长、耕作措施及气候因子等^[2-5]。遗憾的是这些研究的试验处理多侧重于水稻生长期,而非水稻生长期的处理对稻田 CH₄ 排放的影响目前研究较少。因此,研究非水稻生长期的处理对稻田 CH₄ 排放的影响可为寻求减少稻田 CH₄ 排放的措施提供更多或更有效的选择。我国稻草还田的时间为冬作季节前或水稻移栽前,非水稻生长期稻草还田时间对后作稻田 CH₄ 排放的影响迄今还未见研究。为此,我们通过盆栽试验研究了前茬季节稻草还田时间对稻田 CH₄

排放的影响,并将初步结果作一简要报道。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

供试土壤于 1995 年 9 月 22 日采自江苏省句容农业学校农场水稻田,母质为下蜀黄土,土壤有机质含量 17.02 g · kg⁻¹,全氮为 1.18 g · kg⁻¹,pH(H₂O)为 6.3。土壤采集后经风干、碾碎、过 5mm 孔径筛备用。

1.2 试验设计

试验为盆栽试验,盆钵为圆柱形,外径、内径和高分别为 22 cm、20 cm 及 30 cm,1995 年 10 月 28 日每盆钵装供试土壤 6 kg。试验按前茬季节稻草还田时间共有 2 个处理:供试土壤前茬季节休闲且前茬季节前(1995 年及 1996 年 10 月 28 日)施用稻草(稻草早)及休闲但土壤泡水(1996 年及 1997 年 6 月 1 日)移栽水稻前施用稻草(稻草晚)。每处理 3 个重复,共

收稿日期:2000-12-23

基金项目:国家自然科学基金(49771073)及中国科学院红壤农业生态试验站基金资助项目

作者简介:徐 华(1966—),男,博士,副研究员。

6 个钵钵,呈随机分布。1995 年—1996 年及 1996 年—1997 年试验年度稻草施用量分别为 30 g 和 35 g, 其含碳量两试验年度分别为 413 g · kg⁻¹ 及 451 g · kg⁻¹, 稻草切成约 1 cm 的长度后均匀施入上层占总土重约三分之一的土中。

试验土壤前茬季节不接受降雨外的任何灌水。1996 年及 1997 年水稻分别于 6 月 14 日及 6 月 17 日移栽,10 月 12 日及 10 月 7 日收获,1996 年水稻收获后,其根茬留在土中,水稻品种为武育粳。

1.3 水稻生长期水分管理

1996 年各钵钵水稻生长期维持 2 cm 的水层,1997 年水分管理与 1996 年大致相同,但在水稻生长的中期和后期烤田两次。中期烤田 7 月 28 日开始,7 月 30 日重新灌水;后期烤田时间为 9 月 2 日至 5 日。

1.4 气体样品的采集与测定

采集气样时,首先将钵钵放置在一特殊设计的木架上,然后将尺寸为 50 cm × 50 cm × 100 cm 的有机玻璃采气箱的下边卡进木架上宽 2 cm、深 1 cm 的水槽,启动安装于箱顶的 12V 电扇以混匀箱内气体。最后,通过插进密封采样垫的两通针,用 18 mL 真空气瓶采集箱内气体,每隔 10 min 采一次样,共 4 次。气样 CH₄ 浓度用带有氢离子火焰检测器的气相色谱(岛津 GC-12A)分析。根据瓶内 CH₄ 浓度与时间的关系曲线计算 CH₄ 排放通量。

2 结果与讨论

2.1 CH₄ 排放通量的季节变化

图 1、2 分别为 1996 年及 1997 年水稻生长期 CH₄ 排放通量的季节变化。图 1、2 表明,稻草还田时间对 CH₄ 排放通量的季节变化有明显的影 响。稻草晚处理水稻整个生长期先后出现 3 个 CH₄ 排放峰。这 3 个排放峰出现在水稻移栽后 8、45、93 d(1996 年)及 11、39、74 d(1997 年),分别对应于水稻生长的返青、分蘖及成熟期。与稻草晚处理不同,稻草早处理直到水稻移栽后 42 d(1996 年)及 34 d(1997 年)才稍有 CH₄ 排放,在随后直至水稻收获期间,CH₄ 排放也较少。

一般来讲,水稻生长期 CH₄ 排放具有 3 个典型排放峰,分别出现在水稻生长的返青、分蘖和成熟期^[6]。水稻生长期第 1 个 CH₄ 排放峰可能与水稻移栽前施入稻草有关。由于稻草分解,第 1 个峰值通常较大。第 2 个峰出现在水稻分蘖盛期,气温也较高,植物体通气组织已比较发达,传输 CH₄ 的净效应(CH₄ 传输率

图 1 水稻生长期 CH₄ 排放通量的季节变化(1996 年)
Figure 1 Seasonal Variations of CH₄ fluxes during rice growth period in 1996

图 2 水稻生长期 CH₄ 排放通量的季节变化(1997 年)
Figure 2 Seasonal Variations of CH₄ fluxes during rice growth period in 1997

减去 CH₄ 氧化率)比较大。第 3 个峰出现在成熟期,水稻根系的腐败物质给土壤提供较多的产 CH₄ 基质可能是出现第 3 个峰值的主要原因^[7]。由于直到水稻生长的中后期才有少量 CH₄ 排放,稻草早处理水稻生长期内没有明显的排放峰。

烤田明显影响稻田 CH₄ 排放。水稻生长中期烤田后,CH₄ 排放迅速降至零,重新淹水后,CH₄ 排放又恢复至一定的水平;CH₄ 排放在水稻生长后期烤田后也迅速降低至零,重新淹水后至水稻收获,CH₄ 排放仍处于极低的水平(图 2)。

2.2 土壤 Eh 的季节变化

稻草还田时间不仅影响 CH₄ 排放的季节变化,而且还影响土壤 Eh 的季节变化(图 3)。稻草晚处理整

图 3 水稻生长期土壤 Eh 的季节变化(1996 年)
Figure 3 Seasonal Variations of soil Eh during rice growth period in 1996

个水稻生长期土壤 Eh 都处于很低的适宜产生 CH₄ 的水平,而稻草早处理则在水稻移栽后的相当一段时间里,土壤 Eh 处于很高或较高的抑制土壤中 CH₄ 产生的水平,水稻移栽 42 d 后才降至负值,52 d 后才接近或达到稻草晚处理土壤 Eh 的水平。

土壤氧化还原状况及其变异趋势受土壤中电子供体和电子受体的相对丰度控制。在氧气缺乏的情况下,土壤中主要的电子受体是 NO₃⁻、Mn⁴⁺、Fe³⁺ 和 SO₄²⁻,而电子供体则主要是易分解有机碳^[9]。虽然稻草晚处理土壤和稻草早处理土壤一样在前茬季节处于高度氧化状态,但由于稻草晚处理泡水准备移栽水稻前施用稻草,给土壤提供了大量额外的电子受体、能量及碳源,从而泡水后土壤 Eh 迅速降低,至水稻移栽时已降至较低的水平。由于前茬季节前所施稻草经过整个前茬季节的好气分解,其易分解有机碳含量已大大降低,所以稻草早处理土壤淹水种稻后,随着土壤中氧的减少,大量氧化态物质依 NO₃⁻、Mn⁴⁺、Fe³⁺ 和 SO₄²⁻ 的次序先后被缓慢地还原,它们将较长时间消耗相当数量的电子,从而延缓土壤 Eh 的下降。

2.3 CH₄ 排放通量与土壤 Eh 的关系

比较图 1 和图 3 可知,由于稻草晚处理整个水稻生长期土壤 Eh 处于较低的适宜 CH₄ 产生的水平,所以该处理整个水稻生长期都有一定的 CH₄ 排放;而稻草早处理土壤 Eh 直到水稻移栽 42 d 后才降到较低的水平,因而该处理相应地到水稻移栽 42 d 后才开始有 CH₄ 排放。可见稻草早和稻草晚处理水稻生长期土壤 Eh 季节变化的差异是造成该两处理 CH₄ 排放通量季节变化差异的主要原因。CH₄ 是极端厌氧条件下产 CH₄ 菌作用于产 CH₄ 基质的结果,土壤 Eh 无疑是影响土壤 CH₄ 排放量的最重要的因素之一。实验室研究表明,当土壤 Eh 低于 -150 mV 时才有 CH₄ 产生,并且当土壤 Eh 在 -150 到 -250 mV 间下降时,土壤 CH₄ 产生率呈指数增加^[4]。回归分析表明,稻草早处理水稻生长期 CH₄ 排放通量和同时测定的土壤 Eh 显著负相关,多项式拟合的相关系数为 0.87,达到 1% 的显著水平(图 4),而对稻草晚处理来说,CH₄ 排放通量和同时测定的土壤 Eh 间没有显著相关性,多项式拟合的相关系数只有 0.25。

大量研究表明稻田 CH₄ 排放量受众多农业环境因素,如土壤性质、水稻生长、耕作措施及气候因子等的综合影响^[3]。对稻草晚处理来说,水稻生长期的大部分时间内土壤 Eh 处于很低或较低的水平,稻田土壤在相应的时间皆有相对较高的 CH₄ 排放,但 CH₄

图 4 稻草早处理水稻生长期 CH₄ 排放通量与土壤 Eh 的关系
Figure 4 Relationship between CH₄ flux and soil Eh during rice growth period for treatment with rice straw applied before the previous crop season

排放通量的绝对高低则取决于基质的供应、排放途径的通畅与否及土壤温度等。这时,土壤 Eh 已不是 CH₄ 排放通量高低的决定因素;稻草早处理水稻生长期相当时间内土壤 Eh 处于很高或较高的限制 CH₄ 产生的水平,即使这时土壤产 CH₄ 的其它条件具备,土壤 CH₄ 排放量也很低,这时土壤 Eh 更可能成为土壤 CH₄ 产生及排放的决定因素。

2.4 前茬季节稻草还田时间对稻田 CH₄ 排放的影响

表 1 为稻草晚和稻草早处理水稻生长期平均 CH₄ 排放通量和土壤 Eh。表 1 结果表明,水稻移栽前施用稻草处理水稻生长期平均 CH₄ 排放通量显著高于前茬季节前施用稻草处理,前者较后者增加了 3.04 倍(1996 年)和 7.12 倍(1997 年)。稻草早处理 1996 年水稻生长期平均土壤 Eh 显著高于稻草晚处理(表 1),这表明土壤 Eh 可能是控制水稻生长期 CH₄ 排放的重要因子。

表 1 稻草早和稻草晚处理水稻生长期平均 CH₄ 排放通量(mg · m⁻² · h⁻¹)和土壤 Eh(mV)

Table 1 Mean CH₄ fluxes (mg · m⁻² · h⁻¹) and soil Eh (mV) during rice - growing period of treatments with rice straw applied before previous crop season and rice transplanting

处理	CH ₄ 通量		土壤 Eh
	1996	1997	1996
稻草早*	4.52 ± 0.63	3.52 ± 0.74	-13.47 ± 23.02
稻草晚**	18.28 ± 2.58	28.57 ± 5.54	-171.95 ± 35.79

* 早表示前茬季节前稻草还田; ** 晚表示泡水移栽水稻前稻草还田。

稻草晚处理由于泡水移栽水稻前大量新鲜稻草的加入,为微生物活动提供了大量的碳源和能源,促进了微生物的生长,使土壤氧消耗加速,土壤 Eh 迅速下降,至水稻移栽前土壤 Eh 已降至适宜 CH₄ 产生的水平。另外,大量碳源的存在还为产甲烷菌提供了充足的基质。所以稻草晚处理有较高的 CH₄ 排放通量。

稻草早处理土壤泡水准备移栽前呈强氧化状态,泡水后由于没有新鲜有机肥料的加入,土壤中大量氧化态物质依次被缓慢地还原,土壤 Eh 直到水稻移栽后 52 d 才降至较低的水平,因此稻草早处理 CH₄ 排放量很低。

农作物的秸秆是重要的有机肥源之一,秸秆还田是物质循环和再利用的良好形式。各个国家和地区利用秸秆的方式不同,但传统的利用方式多是利用秸秆垫圈,制成厩肥、沤肥、堆肥或直接烧成草木灰。自 20 世纪 40 年代以来,在美国出现免耕或少耕法之后,秸秆覆盖地面或直接翻入土壤中以保持水土和培肥土壤的秸秆还田受到许多国家的重视。日本南方约 60% 的稻草直接还田,中国北方多利用大豆、玉米、高粱和小麦的根茬(或秸秆)直接还田,南方则以稻草直接还田为主^[13]。秸秆具有大量有机碳和各种营养物质,秸秆还田不仅可直接为作物提供养分,增加土壤中 K、Si、S 和微量元素的含量,有利于提高土壤有机质含量,促进微生物活动,改善土壤理化性状,还可节省大量运输和堆制费用。

本试验结果表明,稻草施用于土壤后如有一个较长时间的好气分解过程,再淹水后,其促进稻田 CH₄ 排放的效应将大幅度降低。虽然前茬季节稻草的好气分解会产生另一种温室气体(CO₂)排向大气,但由于单个 CO₂ 分子对温室效应的贡献只有 CH₄ 的三十二分之一^[11],所以总的来讲,土壤冬作季节前施用稻草对温室效应的贡献大大小于水稻移栽前施用稻草。综合考虑稻草还田的优越性和其环境效应,在水旱轮作地区推广旱作时稻草还田是既能提高土壤肥力和可持续利用性又能降低其对环境危害的良好举措。

参考文献:

- [1] Bouwman A F. Introduction[A]. In: A F Bouwman(ed). Soils and the greenhouse effect[C]. John Wiley and Sons, Chichester. 1990. 25 - 32.
- [2] Schutz H, A Holzapfel - Pschorn, R Conrad, H Rennenberg, and W Seiler. A three - year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from a Italian rice paddy[J]. *J Geophys Res*, 1989, 94: 16 405 - 16 416.
- [3] Yagi K And K Minami. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields[J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1990, 36: 599 - 610.
- [4] Sass R L, F M Fisher, Y B Wang, F T Turner, and M F Jund. Methane emission from rice fields: the effect of flood water management[J]. *Global Biogeochem*. 1992, 6: 249 - 262.
- [5] Cai Zucong, Xu Hua, Zhang Hanhui and Jin Jisheng. Estimate of methane emission from rice paddy fields in Taihu region[J]. *China Pedosphere*, 1994, 4(4): . 297 - 306.
- [6] Sass R L, Fisher F M. CH₄ emission from paddy fields in the United States Gulf Coast area. In CH₄ and N₂O, edited by Minami K, Mosier A, and Sass R. NIAES, Tsukuba, Japan. 1994. 65 - 77.
- [7] 上官行健,王明星,沈壬兴. 稻田 CH₄ 的排放规律[J]. 地球科学进展, 1993, 8(5): ,23 - 36.
- [8] G Trollandier, G Trollandier. Methanogenesis during rice growth as related to the water regime between crop seasons[J]. *Biol Fertil Soils*, 1995, 19: 84 - 86.
- [9] Yagi K, Tsuruta H, Minami K, Chairaj P, Cholitul W. Methane emission from Japanese and Thai paddy fields. In CH₄ and N₂O, edited by Minami K, Mosier A, and Sass R. NIAES, Tsukuba, Japan. 1994. 41 - 53.
- [10] Wang Z P, R D Delaune, P H Masschelegn and W H Patrick Jr. Soil redox and pH effects on methane production in flooded rice soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, 57: 382 - 385.
- [11] Singh N T. Green manures as sources of nutrients in rice production , in Organic Matter and Rice[M]. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 1984. 217 - 228.
- [12] H A C Denier van Der Gon and H U Neue. Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field[J]. *Global Biogeochem*, 1995, 9: 11 - 22.
- [13] 中国农业百科全书农业化学卷. 北京:农业出版社,1996. 161.