

烤田对种稻土壤甲烷排放的影响*

徐 华 蔡祖聪 李小平

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 本文通过温室盆栽试验研究了烤田对种稻土壤甲烷排放的影响。在水稻移栽后的第 43 天和 102 天各烤田一次, 持续时间分别为 28 和 113 小时。结果表明种稻土壤在开始烤田后前 16 和 42 小时内有大量甲烷排放, 且在烤田后不久土壤呈微干松软状态时出现甲烷排放高峰。随着烤田的延续, 至土壤呈干裂状态时甲烷排放通量降为零。烤田能促进土壤闭蓄态甲烷的排放, 烤田期间甲烷排放量占水稻生长期甲烷排放总量的 5.96%~10.05%。虽然烤田期间烤田使土壤甲烷排放量增加了 9.68%~145.94%, 但重新淹水后经历烤田土壤较持续淹水土壤甲烷排放量减少了 21.59%~54.45%。综合考虑烤田及重新淹水期间甲烷排放量, 烤田使种稻土壤甲烷排放量减少了 17.70%~43.91%。

关键词 烤田, 种稻土壤, 甲烷排放通量

中图分类号 S156

甲烷是仅次于二氧化碳的最重要的温室气体之一^[1]。自工业革命以来, 大气中甲烷浓度不断增加, 尽管本世纪八十年代至九十年代初, 大气中甲烷浓度的年增长率有所降低, 1992 年大气甲烷浓度更是停止了增长, 但随后大气甲烷浓度的年增长率又开始增加, 至 1994 年达到了 $8 \times 10^{-9} \text{L/L} \cdot \text{a}$ ^[2~4]。大气中甲烷浓度的增加是各种人为和自然因素共同造成的, 其中水稻种植面积不断增加可能是重要原因之一, IPCC 估算水稻田排放的甲烷量大约占全球人为因素引起的甲烷排放总量的 $(17.5 \pm 12.5)\%$ ^[5]。所以正确评估特别是设法减少稻田土壤甲烷排放量是摆在农业环境科学家面前的一大课题。

甲烷是极端还原条件下产甲烷菌活动的产物, 与土壤还原条件关系密切的土壤水分状况是影响水稻田甲烷排放量的最重要的因素之一, 人们寄希望于寻求合适的水分管理措施来减少水稻田甲烷排放量。研究表明烤田能明显减少水稻田土壤甲烷排放量^[6, 7], 但这些研究对烤田期间甲烷排放情况未作详细说明。由于烤田促进了水稻田土壤大量闭蓄态甲烷的排放^[8], 所以只有研究烤田期间甲烷排放规律并比较经历烤田和持续淹水土壤在烤田及烤田后重新淹水期间甲烷排放总量, 才能对烤田是否能减少水稻田甲烷排放量及减少效率作出科学准确的判断。为此, 我们通过温室盆栽试验研究了烤田期间种稻土壤甲烷排放的规律及烤田对种稻土壤甲烷排放的影响。现将初步结果报道如下。

* 国家自然科学基金项目, 批准号为 49771073

收稿日期: 1998-08-03; 收到修改稿日期: 1998-12-30

1 材料与amp;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 17.02g/kg,全氮为 0.118%,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

试验为温室盆栽试验,盆钵为圆柱形,外径、内径和高分别为 22cm、20cm、及 30cm。试验按冬作季节不同的水分管理、种植状况及稻草施用时间共分为 5 个处理(表 1)。每处理三个重复,共 15 个盆钵,呈随机分布。各盆钵装供试土壤 6kg,稻草均匀施入上层占总土重约三分之一 的土中,施用量为 30g(全碳含量 413g/kg)。紫云英于 1995 年 10 月 29 日播种,1996 年 5 月 4 日收割;冬小麦于 1995 年 11 月 2 日播种,1996 年 5 月 30 日收割。所有盆钵 6 月 1 日翻土泡水,紫云英早处理各盆钵泡水前施入 22 克已收获的风干紫云英(有机碳含量 378g/kg)。从泡水至 6 月 14 日水稻移栽,各盆钵始终维持 2cm 左右水层。水稻于 10 月 12 日收获,水稻品种为武育梗。

为了研究烤田对种稻土壤甲烷排放的影响,所有 5 个处理各有 1 个盆钵分别在 7 月 28 日至 29 日和 9 月 25 日至 30 日烤田两次,这些盆钵水稻生长期其它时间及所有其它盆钵整个水稻生长期处于持续淹水状态。

表 1 各处理冬作季节水分管理、种植状况及稻草施用时间

Table 1 Water management, planting status and rice straw application time of different treatment in winter crop season

处理 Treatments	水分状况 Water management	稻草施用时间 Rice straw application time	种植状况 Planting status
1 干休早	自然干湿 ¹⁾	1995年10月28日	休闲
2 小麦早	生长所需湿度	1995年10月28日	冬小麦
3 紫云英早	生长所需湿度	1995年10月28日	紫云英
4 湿休早	淹水 ²⁾	1995年10月28日	休闲
5 干休晚	自然干湿	1996年6月1日	休闲

1) 除雨水外,不接受任何其他外加水,土壤大部分时间呈干燥状态

2) 整个休闲期用自来水维持 2~5cm 水层

1.3 气体样品的采集与测定

采集气样时,首先将盆钵放置在一特殊设计的木架上,然后将尺寸为 50cm×50cm×100cm 的有机玻璃采气箱的下边卡进木架上宽 2cm,深 1cm 的水槽,启动安装于箱顶的 12 伏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 18ml 真空气瓶采集箱内气体,每隔 10 分钟采一次样,共四次。

气样甲烷浓度用带有氢离子火焰检测器的气相色谱(岛津 GC-12A)分析。根据瓶内甲烷浓度与时间的关系曲线计算甲烷排放通量。

2 结果与讨论

2.1 烤田期间种稻土壤甲烷排放规律

图 1 表示水稻移栽后第 43 至 44 天烤田时各处理甲烷排放通量随时间的变化。烤田是从下午 2:30 分开始的,由于气温高达 39.6℃,烤田两小时后,土壤表面即由无水层潮湿状态变为松软微干状态,烤田 16 小时,土壤表面已显得相当干燥,土面四周可见细小的缝隙,紫云英早、小麦早及干休早处理烤田 20 小时,另两处理烤田 24 小时后,土壤已呈完全坚硬状态,土面四周细小的缝隙这时已变得宽约 6~8mm,土面也显多条细小的裂痕。

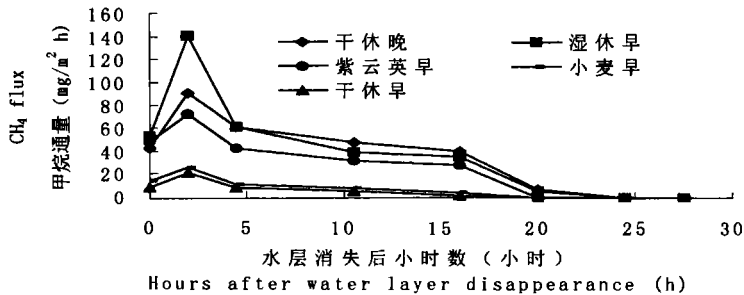


图1 水稻生长中期烤田时甲烷排放通量随时间的变化(7月28日至7月29日)

Fig.1 Temporal variations of CH₄ fluxes from rice paddy soils during soil drying performed in the middle stage of rice growth

从图 1 可知,各处理在开始烤田后前 16 小时内有相当数量的甲烷排放,特别是湿休早处理,烤田 2 小时后出现明显的甲烷排放高峰,烤田 16 小时后,各处理甲烷排放迅速减少,至烤田 24.5 小时后降为零。

在水稻移栽后第 102 至 106 天再一次观察了各处理烤田时甲烷排放通量随时间的变化(图 2)。由于气温不太高(最高时才 28.9℃),直到烤田 21 小时后,土壤表面才呈微干松软状态,烤田 49 至 72 小时,土面四周才见明显裂缝,土壤呈干硬状态。图 2 表明各处理烤田期间的前 16 小时甲烷排放通量基本维持烤田前的水平,至烤田 21 小时才出现甲烷的峰

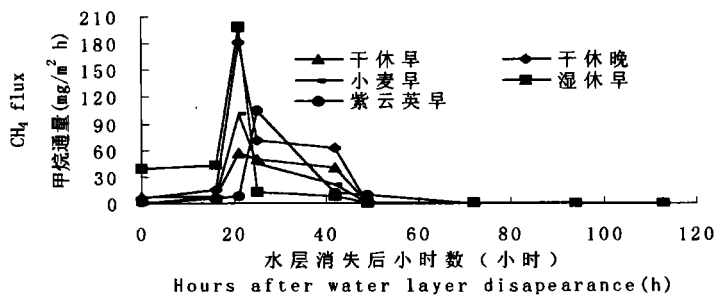


图2 水稻生长后期烤田时甲烷排放通量随时间的变化(9月25日至9月30日)

Fig.2 Temporal variations of CH₄ fluxes from rice paddy soils during soil drying performed in the late stage of rice growth

值排放,以后各处理甲烷排放逐渐降低,烤田 49 至 72 小时后降为零。

两次烤田时甲烷排放通量的观察说明,烤田时土壤甲烷的峰值排放出现在土壤呈微干松软状态时,具体出现的时间取决于烤田时的气温。烤田至土壤干裂时,甲烷排放通量才降为零。这与 Denier 等观察的结果一致^[8]。烤田后随着土壤水分含量的逐渐降低和大气氧向土壤的扩散,土壤 Eh 不断升高(图 3、图 4)。实验室研究表明当土壤 Eh 低于 -150mV 时才有甲烷产生^[9]。对照图 1、2 和图 3、4 可以看出,烤田时即使土壤 Eh 处于限制土壤甲烷产生的范围,土壤仍有一定数量甚至是大量的甲烷排放,这说明烤田期间土壤排放的甲烷包含了土壤中早先产生但未及时排放的闭蓄态甲烷。土壤因烤田而呈微干松软状态时出现甲烷排放峰值。这可能是因为土面微干松软时,部分土壤微区土壤 Eh 还没高到抑制甲烷产生的水平,土壤仍有一定的甲烷产生量,并且这时相当一部分土壤微孔被空气充满,这大大增加了甲烷由土壤向大气传输的速率。但另一方面,土壤微孔中的空气能导致土壤甲烷的氧化,所以这时土壤甲烷排放通量取决于甲烷由土壤向大气传输速率的大幅度增加和土壤甲烷氧化量的增加哪一个占主导地位。我们的观察结果说明土壤中产生和闭蓄的甲烷的相当一部分在由土壤向大气的传输过程中避免了土壤的氧化。Denier 等观察了菲律宾稻田烤田时甲烷的排放通量,同时测量了烤田前土壤闭蓄的甲烷总量,发现 64% 的土壤闭蓄态甲烷在烤田期间排向大气(避免了土壤氧化)^[8]。随着烤田的时行,土壤 Eh 越来越高,土壤甲烷

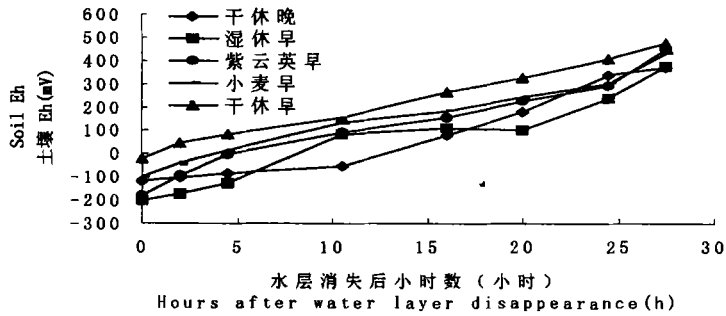


图3 水稻生长中期烤田时土壤Eh随时间的变化(7月28日至7月29日)

Fig.3 Temporal variations of soil Eh during soil drying performed in the middle stage of rice growth

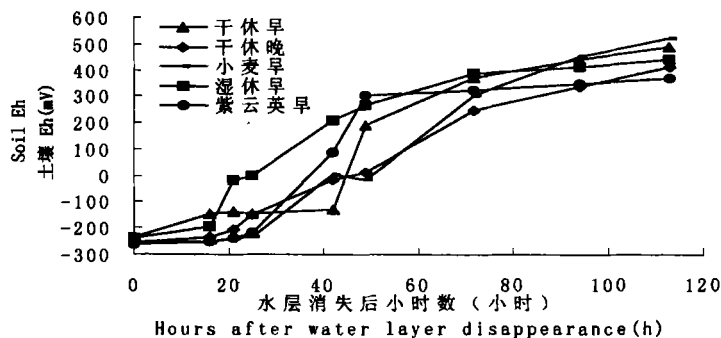


图4 各处理水稻生长后期烤田时土壤Eh随时间的变化(9月25日至9月30日)

Fig.4 Temporal variations of soil Eh during soil drying performed in the late stage of rice growth

产生率越来越低直至为零。当土壤早先产生的闭蓄态甲烷全部排向大气后,土壤甲烷排放通量就变为零,这时土壤已出现明显的干裂。

2.2 开始烤田前土壤甲烷排放通量及烤田开始时间对烤田期间甲烷排放量的影响

图 5、6 为开始烤田前土壤甲烷排放通量与烤田期间甲烷排放量的关系。图 5、6 表明开始烤田前土壤甲烷排放通量与烤田期间甲烷排放量呈极显著相关,相关系数 r 分别为 0.990(第一次烤田)和 0.976(第二次烤田)。由于水稻生长及环境条件相同,开始烤田前土壤甲烷排放通量主要受土壤甲烷产生率的影响,这进一步证明烤田期间土壤排放的甲烷包含了土壤中早先产生但未及时排放的闭蓄态甲烷。

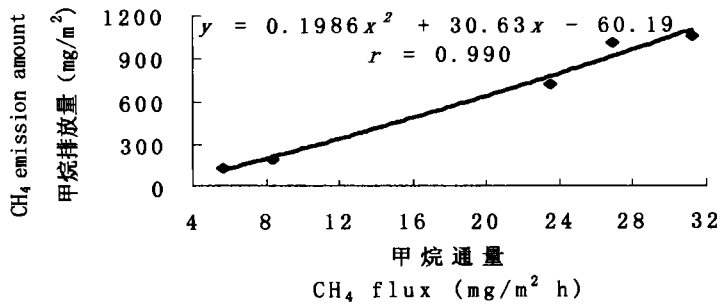


图5 水稻生长中期开始烤田前土壤甲烷排放通量与烤田期间甲烷排放量的关系

Fig. 5 Relationship between CH₄ fluxes before soil drying and the amounts of CH₄ released during soil drying in the middle stage of rice growth

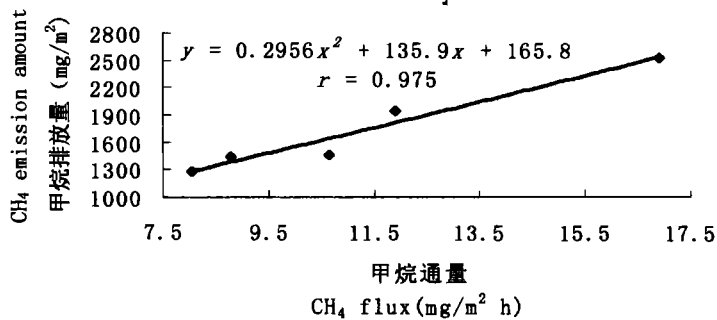


图6 水稻生长后期开始烤田前土壤甲烷排放通量与烤田期间甲烷排放量的关系

Fig. 6 Relationship between CH₄ fluxes before soil drying and the amounts of CH₄ released during soil drying in the late stage of rice growth

比较图 1 和图 2 可看出,第二次烤田比同一处理第一次烤田时甲烷排放量要高出很多。第一次烤田前正值水稻分蘖旺期,土壤甲烷向大气的传输效率高^[10],土壤中产生的甲烷已通过高效率的传输途径大量排向大气,干休晚、湿休早及紫云英早处理甲烷排放通量较高,分别为 26.91、31.27 及 23.53 mg CH₄/m² · h,小麦早及干休早处理即使土壤 Eh 还处于较高的不适宜甲烷产生的水平(分别为 21 和 -32mv),甲烷排放通量也分别达到 8.34 和 5.66 mg CH₄/m² · h,这样土壤闭蓄的甲烷量就不太多,所以烤田时排放的甲烷量较少。

第二次烤田前已是水稻生长晚期,土壤产甲烷率高,但排放不畅^[10],干休晚、湿休早、紫云英、小麦早及干休早各处理甲烷排放通量皆较低,分别只有 16.91、11.89、10.65、8.04 及 8.78mg CH₄/m²·h,所以土壤闭蓄的甲烷量很多,造成烤田时土壤甲烷的大量排放。

2.3 烤田对种稻土壤甲烷排放的影响

表 2 为各处理经历烤田与未经历烤田土壤烤田期间、烤田后重新淹水时甲烷排放量及烤田期间和重新淹水期间甲烷总排放量。从表 2 可知烤田期间土壤具有相当高的排放量,干休晚、湿休早、紫云英早、小麦早及干休早处理两次烤田期间甲烷的排放量分别为 3.54、3.01、2.19、1.47 及 1.57g/m²,占相应处理水稻生长期甲烷总排放量的 9.01%、6.62%、5.96%、10.05% 和 9.10%。以本实验为例,观察水稻生长期甲烷排放通量时如果没有包括烤田时的排放量,水稻生长季节甲烷总排放量将会被低估 5.96%~10.05%。Byrnes 等^[11]通过温室盆栽试验发现烤田时甲烷的总排放量占水稻生长期总排放量的 7%~8.5%,与我们的观察结果基本一致。

表 2 经历烤田与持续淹水土壤烤田期间、烤田后重新淹水期间甲烷排放量

Table 2 CH₄ emissions from soils imposed by soil drying and soils continuously flooded during soil drying and during flooded after soil drying

处理 Treatment	甲烷排放量 (g/m ²) Methane emission		
	烤田期间 Soil drying period	重新淹水期间 The period flooded after drying	总排放量 ³⁾ Total emission
	干休早1 ¹⁾	1.574	5.247
干休早2 ²⁾	0.640	11.52	12.16
小麦早1	1.472	5.824	7.296
小麦早2	0.737	11.78	12.52
干休晚1	3.546	15.79	19.34
干休晚2	1.616	28.33	29.95
湿休早1	3.014	30.79	33.80
湿休早2	2.748	51.03	53.78
紫云英早1	2.189	20.41	22.60
紫云英早2	1.434	26.03	27.46

1) 经历烤田; 2) 持续淹水; 3) 烤田期间与重新淹水期间甲烷排放量和

很多研究表明合适的水分管理是减少稻田甲烷排放量的有效措施,经历几次烤田的稻田土壤甲烷排放量最少^[6,7]。尽管如此,由于烤田促进了稻田土壤大量闭蓄态甲烷的排放,在评价烤田作为减少稻田甲烷排放措施的效率时,必须考虑烤田期间甲烷的排放量。表 2 结果表明,尽管烤田期间经历烤田土壤比持续淹水土壤甲烷排放量增加了 9.68%~145.94%,但重新淹水后经历烤田土壤比持续淹水土壤甲烷排放量减少了 21.59%~54.45%,综合考虑烤田及重新淹水期间土壤甲烷排放总量,烤田土壤比持续淹水土壤减少了 17.70%~43.91%(表 2)。这说明,即使促进了大量闭蓄态甲烷的排放,烤田仍能降低稻田土壤甲烷排放量,并具有相当高的效率。

图 7 以湿休早处理为例形象地说明了经历烤田土壤烤田期间甲烷排放量的增加和重

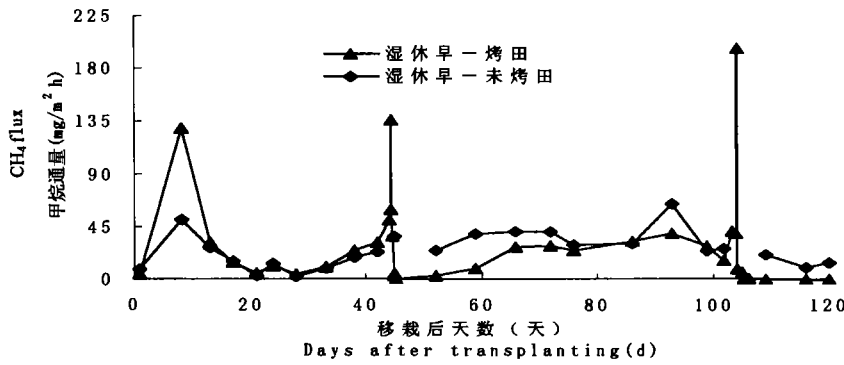


图 7 湿休早处理经历烤田与持续淹水土壤水稻生长期甲烷排放通量的季节变化

Fig.7 Seasonal variations of CH_4 fluxes from soil imposed by soil drying and soil continuously flooded in the rice growth period

新淹水后甲烷排放量的降低。从图 7 可知, 尽管经历烤田土壤烤田期间短时间内出现极高的甲烷排放通量, 但烤田后重新淹水期间其甲烷排放通量明显低于持续淹水土壤, 又由于经历烤田土壤烤田期间维持很高甲烷排放通量的时间很短, 而烤田后重新淹水期间其甲烷排放通量明显低于持续淹水土壤的时间却较长, 所以经历烤田土壤烤田和重新淹水期间总甲烷排放量低于持续淹水土壤。烤田后土壤甲烷排放量的大幅度减少可能是因为土壤经历烤田干涸到一定程度后, 裸露在空气中, 土壤 Eh 大幅度升高, 即使重新淹水土壤 Eh 也不可能在短期内降低到适宜甲烷产生的水平, 因此土壤甲烷产生率减小, 甲烷氧化率增加, 从而减少甲烷排放。

参 考 文 献

1. Bouwman A F. Introduction. In: Bouwman. AF. ed. Soils and the Greenhouse Effect. John Wiley and Sons, Chichester, 1990. 25~32
2. Blake D R, Rowland F S. Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987. Science, 1988, 239:1129~1131
3. Dlugokencky E, Lang P, Masarie K. Flask measurement of methane. In: Peterson J and R Rossen R. (eds.) CMDL No. 22 Summary Report 1993. U.S. Department of Commerce/NOAA/ERL, 1994. 22~24
4. Dlugokencky E J, Masarie K A, Lang P M, Tans P P, Steele L P, Nisbet E G. A dramatic decrease in the growth rate of atmospheric methane in the Northern Hemisphere during 1992. Geophys. Res., 1994, 99: 17021~17043
5. IPCC. Greenhouse Gas Inventory Workbook. 1995
6. Kazuyuki Yagi, Haruo Tsuruta, Ken-ichi Kanda, Katsuyuki Minami. Effect of water management on methane emission from a Japanese rice paddy field: Automated methane monitoring. Global Biogeochemical Cycles, 1996, 10(2):255~267
7. Sass R L, Fisher F M, Wang Y B, Turner F T, Jund M F. Methane emission from rice fields: The effect of floodwater management. Global Biogeochem. Cycles, 1992, 6:249~262
8. Denier van der Gon H A C, Van Breemen N, Neue H U, Lantin R S, Aduna J B, Aaberto M C R, Wassmann R. Release of entrapped methane from wetland rice fields upon soil drying. Global Biogeochem. Cycles, 1996, 10:1~9

9. Wang Z P, Delaune R D, Masscheleyn P H, Patrick W H Jr. Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1993, 57:382~385
10. 上官行健, 王明星, 陈德章, 沈壬兴. 稻田 CH₄ 的传输. *地球科学进展*, 1993, 8(5):13~21
11. Bynes B H, Austin E R, Tays B K. Methane emissions from flooded rice soils and plants under controlled conditions. *Soil Biol. Biochem.*, 1995, 27:331~339

EFFECT OF SOIL DRYING ON CH₄ FLUX FROM RICE PADDY SOIL

Xu Hua Cai Zu-cong Li Xiao-ping

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Summary

A pot experiment in greenhouse was carried out to study the effect of soil drying on CH₄ flux from rice paddy soil. The soil drying practice was performed two times from 43 and 102 days respectively after rice transplanting, and the soil drying periods were 28 and 113 hours respectively. The results showed that a large amount of methane emitted to the atmosphere during 16 and 42 hours after the soils fell dry, and an emission peak occurred quickly after the soils fell dry when the soils was dry and soft. As soil drying continued, the soils began to crack and CH₄ emissions decreased to nil. Soil drying accelerated the release of soil-entrapped methane. CH₄ emissions during soil drying accounted for 5.96%~10.05% of the total seasonal emissions. Although soil drying increased CH₄ emissions by 9.68%~145.94% during soil drying, CH₄ emissions from the soils once imposed by soil drying decreased by 21.59%~54.45% during the period flooded after soil drying, compared with that from the soils flooded continuously. Considering overall CH₄ emissions during soil drying and the period flooded again, soil drying reduced CH₄ emissions by 17.7~43.91 per cent.

Key words Soil drying, Rice paddy soil, CH₄ flux