

# 东北黑土中 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的排放量

丁 洪<sup>1,2</sup>, 王跃思<sup>2</sup>, 王德禄<sup>3</sup>

(1. 福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福建 福州 350013; 2. 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室(LAPC), 北京 100029; 3. 中国科学院海伦生态实验站, 黑龙江 海伦 152300)

**摘要:** 采用田间实验方法, 研究了东北黑土中 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的排放规律。田间测定结果表明, 在东北黑土中有较大的 CO<sub>2</sub> 排放量, 而且不同作物系统间的排放量有显著差异 ( $P < 0.05$ )。玉米在整个生长期土壤 CO<sub>2</sub> 排放总量为 5 258.1 ~ 6 025.3 kg · hm<sup>-2</sup>, 大豆整个生长期排放总量为 6 513.1 ~ 7 484.7 kg · hm<sup>-2</sup>, 土壤是大气中 CO<sub>2</sub> 的主要源之一。作物 - 土壤系统中 CO<sub>2</sub> 排放通量与气温有显著的正相关关系 ( $P < 0.05$ ), 与土壤水分之间无明显的相关性。CO<sub>2</sub> 主要排放期出现在温度较高的 6—8 月份, 温度是该地区 CO<sub>2</sub> 排放的主要限制因子。土壤 - 旱作系统中也产生 CH<sub>4</sub> 排放, 不同作物系统中的排放量有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 玉米地和大豆地中 CH<sub>4</sub> 的排放总量分别为 1.13 ~ 2.14 kg · hm<sup>-2</sup> 和 0.62 ~ 0.71 kg · hm<sup>-2</sup>, 总排放量不大, 农田旱作系统可能不是甲烷的主要源。CH<sub>4</sub> 的排放通量与温度和水分无明显的相关性。

**关键词:** 黑土; 二氧化碳; 甲烷; 排放量

中图分类号: S151.93 文献标识码: A 文章编号: 1672 - 2043(2003)06 - 0720 - 04

## Emission of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from Black Soil in North - East China

DING Hong<sup>1,2</sup>, WANG Yue-si<sup>2</sup>, WANG De-lu<sup>3</sup>

(1. Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350013, China; 2. LAPC, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China; 3. Hailun Agro - ecological Experimental Station, CAS, Hailun 152300, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted to measure emission amount of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from maize and soybean - black soil systems in North - east China. The research results showed that emission amounts of CO<sub>2</sub> were 5 258.1 ~ 6 025.3 kg · hm<sup>-2</sup> from maize - black soil system, 6 513.1 ~ 7 484.7 kg · hm<sup>-2</sup> from soybean - black soil system, respectively. A significant difference of emission appeared between maize and soybean systems ( $P < 0.05$ ), and soil was one of main CO<sub>2</sub> source. CO<sub>2</sub> flux had a significant correlation with atmospheric temperature ( $P < 0.05$ ), but did not correlate with soil water content. The greater CO<sub>2</sub> flux period appeared in June ~ August, and temperature was a main limited factor to influence CO<sub>2</sub> emission in black soil region in North - east China. We also discovered that CH<sub>4</sub> production from dryland soil - crop systems. The CH<sub>4</sub> emission amounts were 1.13 ~ 2.14 kg · hm<sup>-2</sup> and 0.62 ~ 0.71 kg · hm<sup>-2</sup> from maize - soil system and soybean - soil system, respectively, and the amounts were lower, but their differences were significant ( $P < 0.05$ ). It may be suggested that dryland - crop system not be a main source of CH<sub>4</sub> production. CH<sub>4</sub> flux correlated with neither atmospheric temperature nor soil water content in the field experiment.

**Keywords:** black soil; carbon; methane; emission

“温室效应”是当前世界性的重要环境问题之一。大量研究表明, 农田生态系统也是温室气体的一个主要源, 土壤产生的温室气体主要有 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和

N<sub>2</sub>O 等。据宋文质等<sup>[1]</sup>计算, 1990 年我国农田生态系统排放的 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 量分别为 260Tg、17.5Tg 和 0.096Tg, 它们占我国相应这些气体排放量的 8%、50% 和 10%。多年来, 国内外对温室气体排放和减排措施开展了大量研究<sup>[2-4]</sup>。但对农田旱作系统中 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的排放研究还较少, 特别是对同一地区不同作物系统中温室气体排放的差异鲜有报道。本文在东北黑土上开展这一研究, 旨在为评价农田温室气体排放以及减排提供科学依据。

收稿日期: 2003 - 05 - 11

基金项目: 国家自然科学基金(49901010); 中科院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室开放课题(LAPC - KF - 2002 - 09)

作者简介: 丁 洪(1965—), 男, 研究员, 博士后, 主要研究方向为新型肥料和氮素生物地球化学循环。

E - mail: hongding@china.com

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试作物玉米品种为海玉6号,大豆品种为合丰25;试验土壤为草甸型中厚层黑土,有机质含量4.82%、全氮0.26%、速效磷 $64.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $228.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH 6.3。试验点定于中国科学院海伦农业生态实验站,经纬度是 $47^{\circ}27'N$ , $126^{\circ}55'W$ 。

### 1.2 试验设计

玉米和大豆作物按当地习惯作垄后播种,垄宽70 cm,玉米每垄单行播种,行距70 cm,株距30 cm;大豆每垄双行播种,两行距离12 cm,株距10 cm。小区面积均为 $42 \text{ m}^2$ ,设施肥和不施肥两个处理,3次重复,肥料品种、施肥量和施肥方式均按当地农民的习惯。大豆5月11日播种,肥料作基肥一次施入,施肥量为磷二铵 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、硫酸钾 $54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。玉米5月10日播种,肥料分基肥和两次追肥施用,基肥施磷二铵 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和尿素 $16 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;第一次追肥6月15日,尿素 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,第二次追肥7月5日,尿素 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

### 1.3 田间气样采集与分析

试验采用原状土柱培养法,该方法主要应用于旱地土壤,已较好地用于测定土壤反硝化和 $\text{N}_2\text{O}$ 的排放<sup>[5]</sup>。具体做法为,采用PVC材料制作成 $12.5 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 的圆形培养桶,底部密封,桶盖上一取气孔,用橡皮塞塞住,桶与盖之间垫上一密封圈,用不锈钢螺丝使桶与盖密封。每个桶中放入8个用内径3.2 cm的不锈钢土钻取出15 cm长的原状土柱,密封后埋在地里培养24 h。然后用注射器抽取20 mL气体注入18 mL的真空玻璃瓶中,带回室内用气相色谱分析。

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 玉米和大豆地中 $\text{CO}_2$ 排放通量的变化

玉米地和大豆地中有较高的 $\text{CO}_2$ 排放通量,而且都有明显的时间变化(见图1和图2)。不施肥条件下玉米地和大豆地 $\text{CO}_2$ 排放通量变幅分别为 $14.2 \sim 72.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $11.7 \sim 135.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;施肥条件下变幅分别为 $0 \sim 76.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $11.5 \sim 88.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。玉米地中5月29日后 $\text{CO}_2$ 排放通量开始大大增高,6月25日左右排放通量最高,然后逐渐下降,至10月15日后排放量很低。施肥与不施肥处理的 $\text{CO}_2$ 排放通量变化趋势一致,而且差异不太明显。大豆地中 $\text{CO}_2$ 排放通量变化趋势图与

玉米地有所不同,6月2日以后排放通量明显增高,7月7日出现第一个排放高峰,8月15日出现第二个排放高峰,然后逐渐下降,9月21日以后排放量很低。同样施肥与不施肥处理 $\text{CO}_2$ 排放变化趋势一致,但施肥处理的排放通量比不施肥处理的峰值要低。

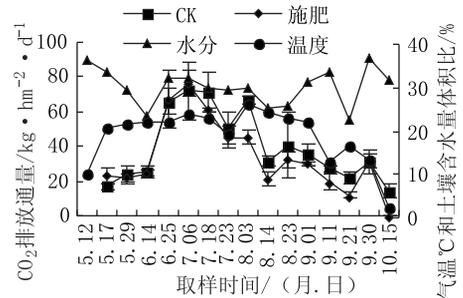


图1 玉米地 $\text{CO}_2$ 排放通量的动态变化

Figure 1 Temporal variation of  $\text{CO}_2$  flux from maize field

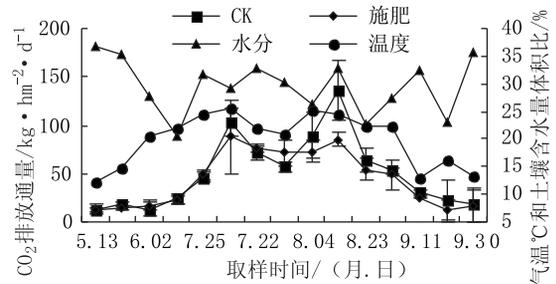


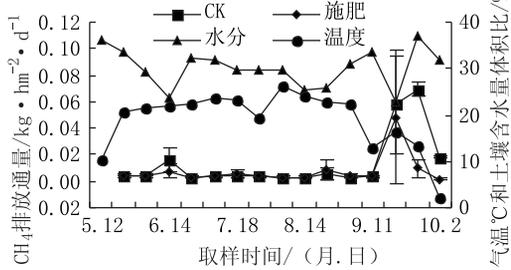
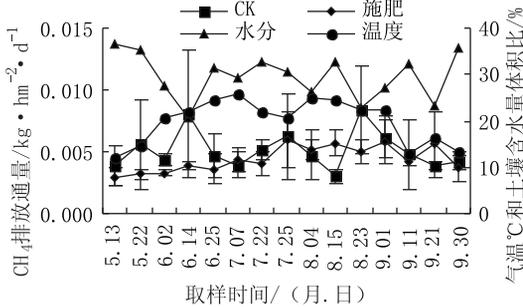
图2 大豆地 $\text{CO}_2$ 排放通量的动态变化

Figure 2 Temporal variation of  $\text{CO}_2$  flux from soybean field

从时间上看,在两种作物地中 $\text{CO}_2$ 排放通量都在6—8月份较高;从作物间差异上看,大豆地中的排放通量峰值明显高于玉米地。有研究表明,森林、草地、果园、农田旱作和水田生态系统之间的 $\text{CO}_2$ 排放有很大差异<sup>[6,7]</sup>。本试验表明,同一区域土壤上不同作物地中 $\text{CO}_2$ 的排放也有差异。

### 2.2 玉米和大豆地中 $\text{CH}_4$ 排放通量变化

玉米地和大豆地中都有 $\text{CH}_4$ 排放,但排放通量很低,而且有时间变化,见图3和图4。玉米地在施肥和不施肥时排放通量变幅为 $0.003 \sim 0.048 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $0.002 \sim 0.069 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,在9月21日有一个明显的排放峰,其他时间虽出现两个排放峰,但差别不大;施肥处理与不施肥处理变化趋势一致。大豆地中甲烷排放通量变幅为 $0.003 \sim 0.006 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $0.003 \sim 0.0084 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,整个作物生育期无明显的排放规律,而且施肥处理与不施肥处理时变化趋势不一致。总的来说,不同作物间甲烷排放通量有差异,大豆的排放峰比玉米地低;施肥处理的排放通量又比不施肥

图 3 玉米地 CH<sub>4</sub> 排放通量的动态变化Figure 3 Temporal variation of CH<sub>4</sub> flux from maize field图 4 大豆地 CH<sub>4</sub> 排放通量的动态变化Figure 4 Temporal variation of CH<sub>4</sub> flux from soybean field

处理略低。齐玉春等<sup>[8]</sup>测定华北农田不同施肥处理夏玉米和冬小麦生长季节土壤甲烷的通量却有相反结果,各处理农田土壤甲烷排放通量均为负值,土壤为大气甲烷的吸收“汇”。这是否与土壤有机质含量和土壤质地(通气性)有关,有待于进一步探讨。

### 2.3 玉米和大豆地中 CO<sub>2</sub> 与 CH<sub>4</sub> 排放通量与温度和水分的关系

从表 1 中可见,不论是施肥条件下还是不施肥条件下,玉米和大豆地中 CO<sub>2</sub> 排放通量都与气温有显著的正相关关系 ( $P < 0.05$ ),这与其他研究结果一致<sup>[7,9]</sup>。在东北地区温度是主要限制因子,气温高可能有利于植物根系和微生物活动增加,呼吸强度加大,有利于土壤有机质降解,因而大大增加 CO<sub>2</sub> 产生和排

表 1 玉米和大豆地中 CO<sub>2</sub> 与 CH<sub>4</sub> 排放通量与温度和水分的关系Table 1 The Correlation between CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and air temperature and soil water contents in maize and soybean fields

作物	处理	CO <sub>2</sub> 排放通量 ( $P < 0.05$ )		CH <sub>4</sub> 排放通量 ( $P < 0.05$ )	
		温度	水分	温度	水分
玉米	CK	0.563*	0.130	-0.441	-0.046
	施肥	0.590*	0.230	-0.118	-0.039
大豆	CK	0.731*	-0.046	0.162	-0.552*
	施肥	0.781*	-0.039	0.419	-0.417

放量。但 CO<sub>2</sub> 排放通量与土壤水分之间无明显的相关性。CH<sub>4</sub> 的排放通量与温度无明显的相关性, CH<sub>4</sub> 的排放通量与水分的关系,除在大豆地未施肥条件下与水分显著负相关外,其他情况下相关性不显著。负相关的原因可能是水分含量低有利于 CH<sub>4</sub> 释放,土壤水分含量高应该有利于 CH<sub>4</sub> 的产生,但在旱作条件下两者之间并无相关性,这可能受其他因素影响,比如有利于 N<sub>2</sub>O 的产生,而 N<sub>2</sub>O 与 CH<sub>4</sub> 的产生与排放是彼此消涨的关系<sup>[10]</sup>。

### 2.4 玉米和大豆地中 CO<sub>2</sub> 与 CH<sub>4</sub> 排放总量及其差异

不同生态系统中温室气体的排放量是有很大的差异的,但不同农作物系统 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 排放量是否有显著差异研究尚少。表 2 数据显示,施肥和未施肥条件下大豆整个生长期土壤的 CO<sub>2</sub> 排放总量显著高于玉米生长期的排放总量 ( $P < 0.05$ ),两种作物地土壤的 CO<sub>2</sub> 排放总量都较大,分别达 6 513.1 ~ 7 484.7 kg·hm<sup>-2</sup> 和 5 258.1 ~ 6 025.3 kg·hm<sup>-2</sup>。这表明不同农作物系统 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 排放量是有显著差异的。但玉米和大豆地施肥和未施肥处理的 CO<sub>2</sub> 排放总量均无显著差异。土壤是 CO<sub>2</sub> 的主要源之一。

表 2 玉米和大豆地中 CO<sub>2</sub> 与 CH<sub>4</sub> 排放总量Table 2 Emission amounts of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from soils of maize and soybean fields

作物	处理	CO <sub>2</sub> 排放量/kg·hm <sup>-2</sup>	CH <sub>4</sub> 排放量/kg·hm <sup>-2</sup>
玉米	CK	6 025.3aA	2.14aA
	施肥	5 258.1aA	1.13bA
大豆	CK	7 484.7aA	0.71aA
	施肥	6 513.1aA	0.62aA

注:数值上标注的字母 a、b 为显著差异 ( $P < 0.05$ ),字母 A、B 为极显著差异 ( $P < 0.01$ )。

有关农田 CH<sub>4</sub> 排放的研究主要集中在稻田,稻田中 CH<sub>4</sub> 排放量较高。对于旱作系统 CH<sub>4</sub> 排放研究较少。本试验中玉米地和大豆地 CH<sub>4</sub> 的排放总量分别为 1.13 ~ 2.14 kg·hm<sup>-2</sup> 和 0.62 ~ 0.71 kg·hm<sup>-2</sup>,排放量很低,农田旱作系统可能不是甲烷的主要源。不同作物间排放量的差异表现为,在未施肥条件下玉米地中甲烷排放量极显著高于大豆地 ( $P < 0.01$ );在施肥条件下玉米地仍高于大豆地,但差异不显著。同一作物在施肥与未施肥条件下比较,玉米地未施肥处理排放量显著高于施肥处理 ( $P < 0.05$ );大豆地未施肥处理也高于施肥处理,但差异不显著。这可能是施用氮肥后增加了 N<sub>2</sub>O 排放,有研究表明,N<sub>2</sub>O 排放量与 CH<sub>4</sub> 排放量有负相关关系<sup>[11]</sup>。

### 3 结论

(1) 在东北黑土中有较大的 CO<sub>2</sub> 排放量, 而且不同作物系统间的排放量有显著差异。玉米整个生长期 CO<sub>2</sub> 排放总量为 5 258.1 ~ 6 025.3 kg · hm<sup>-2</sup>, 大豆整个生长期排放总量为 6 513.1 ~ 7 484.7 kg · hm<sup>-2</sup>。土壤是温室气体 CO<sub>2</sub> 的主要源之一。有关作物 - 土壤系统的 CO<sub>2</sub> 净排放量有待于系统研究。

(2) 土壤旱作系统中也产生 CH<sub>4</sub> 排放, 但总排放量不大, 不同作物系统中的排放量有显著差异。玉米地和大豆地中 CH<sub>4</sub> 的排放总量分别为 1.13 ~ 2.14 kg · hm<sup>-2</sup> 和 0.62 ~ 0.71 kg · hm<sup>-2</sup>, 农田旱作系统可能不是 CH<sub>4</sub> 的主要源。

(3) 东北黑土区作物 - 土壤系统中 CO<sub>2</sub> 排放通量与气温有显著的正相关关系 ( $P < 0.05$ ), 主要排放期出现在温度较高的 6—8 月份。温度是该地区 CO<sub>2</sub> 排放的主要限制因子。CO<sub>2</sub> 排放通量与土壤水分之间无明显的相关性。CH<sub>4</sub> 的排放通量与温度无明显相关性, CH<sub>4</sub> 的排放通量与水分的相关性也不显著。

#### 参考文献:

[1] 宋文质, 曾江海. 我国农田土壤的主要温室气体 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O

排放研究[J]. 环境科学, 1996, 17(1): 85 - 88.

[2] 王明星. 中国稻田甲烷排放[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[3] 李克让. 土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳排放[M]. 北京: 气象出版社, 2002.

[4] Minami K, Mosier A, Sass R. CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O global emission and control from rice fields and other agricultural and industrial sources (Niaes series 2)[M]. Tokyo: Yokendo publishers, 1994.

[5] 丁洪, 蔡贵信, 王跃思, 等. 华北平原不同作物 - 潮土系统中 N<sub>2</sub>O 排放量的测定[J]. 农业环境保护, 2001, 20(1): 7 - 9, 30.

[6] 周志田, 成升魁. 中国亚热带红壤丘陵区不同土地利用方式下土壤 CO<sub>2</sub> 排放规律初探[J]. 资源科学, 2002, 24(2): 83 - 87.

[7] 刘允芬. 西藏高原农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放研究初报[J]. 自然资源学报, 1998, 13(2): 181 - 185.

[8] 齐玉春, 董云社, 等. 华北平原典型农业区土壤甲烷通量研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(3): 56 - 58, 60.

[9] 李玉娥, 林而达. 天然草地利用方式改变对土壤排放 CO<sub>2</sub> 和吸收 CH<sub>4</sub> 的影响[J]. 农村生态环境, 2000, 16(2): 14 - 16, 44.

[10] 郑循华, 王明星, 王跃思, 等. 华东稻田 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放[J]. 大气科学, 1997, 21(2): 231 - 237.

[11] 田光明, 何云峰, 李勇先. 水肥管理对稻田土壤甲烷和氧化亚氮排放的影响[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 294 - 298.

致谢: 田间试验样品采集得到赵全同志的帮助, 项虹艳同志在数据处理上给予协助, 在此一并致谢。

## 欢迎订阅 2004 年《农业环境与发展》

《农业环境与发展》是由中国农业生态环境保护协会、农业部环境保护科研监测所和全国农业环境保护科技信息网联合主办的国家级综合指导类科技期刊。该刊积极宣传我国农业生态环境保护有关政策, 及时报道生态农业建设与无公害农产品生产的发展, 在农业生态环境保护工作中发挥宣传指导作用。该刊主要刊登我国农业生态环境保护的方针政策、管理经验, 监测与评价方法, 生态农业建设理论与实践以及无公害农产品生产技术, 农业环境信息、动态等。同时, 《农业环境与发展》在重要版面上宣传各地农业环境保护成就并承办各类相关广告业务。

《农业环境与发展》为双月刊, 48 页, 大 16 开, 逢双月 25 日出版, 刊号 ISSN 1005 - 4944, CN12 - 1233/S, 全国发行, 各地邮电局(所)均可订阅, 邮发代号 6 - 40, 每本定价 6.00 元, 全年 36.00 元。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。本刊现有 1999—2000 年度合订本, 定价 60.00 元/册(含邮资), 2001 年合订本每册 50 元(含邮资)、2002 年合订本每册 65 元(含邮资)。需订购者请直接从邮局汇款至编辑部订阅(务请在汇款单上注明订户详细地址及需订内容)。

编辑部地址: 天津市南开区复康路 31 号 邮政编码: 300191 电话: 022 - 23674336

传 真: 022 - 23367139 E-mail: caed@public.tpt.tj.cn