

下辽河平原大豆田 CO₂ 和 N₂O 排放通量及相关影响因素研究

王重阳¹, 郑靖¹, 顾江新², 史奕¹, 陈欣¹

(1 中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态系统生态过程开放实验室, 沈阳 110016;

2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要: 采用静态箱/气相色谱 (GC) 法测定了 2004 年及 2005 年大豆田 CO₂ 和 N₂O 排放通量。结果表明: 在 2 年的观测期内, 大豆田的 CO₂ 和 N₂O 排放均具有明显的季节变化规律。在 2 个生长季的观测中, CO₂ 和 N₂O 的排放通量分别呈现出相似的变化趋势。大豆田在休闲期内基本没有 CO₂ 排放, 冻融期有少量的 N₂O 排放。分析相关影响因素得知, 土壤温度和土壤水分是影响大豆田释放 CO₂ 和 N₂O 的重要因素。大豆植株对于 N₂O 的排放具有不可忽视的作用。2 年观测中常规处理的 N₂O 通量总量分别是无作物处理的 2.28 倍和 1.80 倍。

关键词: 大豆; CO₂; N₂O; 影响因素

中图分类号: X16

大气中温室气体浓度增高及由此可能带来的全球变暖等环境问题已经越来越受到人们的关注^[1]。IPCC^[2] 根据最新的气候模型预测, 由于大气中 CO₂ 及其他温室气体浓度的不断升高, 到 2100 年地表温度将平均上升 1.4 ~ 5.8℃, 大气温度的升温幅度大约为 1 ~ 7℃。CO₂ 是重要的温室气体之一, 在主要温室气体中, CO₂ 的浓度最大, 在大气中存留的时间最长。N₂O 在大气中浓度虽不及 CO₂, 但其单分子增温潜势是 CO₂ 的 150 ~ 200 倍^[3], 平均寿命约为 150 年^[4]。目前两种气体的年增长率分别为 0.4% 和 0.25%。由此可能带来的各种环境问题正日益成为研究热点。

已有的研究表明土壤是大气 CO₂ 重要的源, 全球流通量每年达 68×10^{15} g C^[5], 农田土壤也是全球 N₂O 的主要来源^[6]。本研究选取东北地区种植面积较大的旱田作物 (大豆) 作为研究对象, 首次在该地区进行了连续 2 年的温室气体排放观测, 旨在通过分析 CO₂ 和 N₂O 的排放通量变化得出该地区 2 种气体排放的季节变化规律, 并探求同步观测的环境因子 (温度、土壤湿度等) 对 2 种气体排放通量变化的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

田间试验在中国科学院沈阳生态实验站 (41°31'N, 123°22'E) 进行。该站处于下辽河平原中部偏东, 属暖温带半湿润大陆性季风气候, 四季分明, 雨热同季, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥, 年平均气温 7.0 ~ 8.0℃, ≥10℃ 活动积温 3300 ~ 3400℃, 年总辐射量为 5392.2 ~ 5643.0 KJ/cm², 无霜期 147 ~ 164 天, 年降水量在 650 ~ 700 mm 之间。土壤类型为潮棕壤, 其基本性质如下: 有机质含量 16.47 g/kg, 全 N 含量 0.86 g/kg, 全 P 0.67 g/kg, 速效 P 11.2 mg/kg, 速效 K 90.1 mg/kg, pH 6.7, 有效态 N (NH₄⁺-N、NO₃⁻-N) 为 (7.0 mg/kg、6.1 mg/kg)。

1.2 供试材料和试验设计

大豆的品种为铁丰 29, 按当地正常农业措施种植与管理。作物生长季节为: 2004 年 4 月 22 日至 10 月 10 日; 2005 年 5 月 5 日至 9 月 24 日。

大豆田设置了 2 种田间处理: 常规处理和无作物处理。常规处理在采样框内种植大豆, 施底肥 (N 肥用量为 50 kg/hm², P、K 肥与 N 肥用量按 1:1:1 的比例一次性施入), 在生长期中未追肥。无作物处理不种植作物, 施肥量及方法与“常规处理”相同。每个处理均为 3 个重复, 呈“品”字形排列。重复间架设木桥, 减少人为干扰。两个处理随时拔去杂草。

在 2004 年和 2005 年对大豆田 2 种处理的 N₂O 及无作物处理的 CO₂ 通量变化进行了连续 2 年观测。

①基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40331014)、院创新专题 (KZ-CX-SW-01-01B-13) 和中国科学院沈阳生态实验站基金项目 (SYZ0302) 资助。

作者简介: 王重阳 (1979—), 男, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要从事农田生态系统温室气体排放研究。E-mail: victor_wcy@yahoo.com.cn

1.3 采样系统和测定方法

采样系统由采样箱及多种附件组成, 主要包括采样箱体、基座、温度测定系统、气体收集和存储系统^[7]。采样箱为 50 cm × 50 cm × 50 cm 的四面和顶部封闭的不锈钢箱, 外部用棉制材料包裹(目的是为了隔绝光线, 保持箱内温度, 防止其上升过快)。顶部有 2 个小电扇、1 个采气孔和 1 个温度感应器。底部开口罩在底座上, 底座用不锈钢制成, 插入地下 30 cm, 底座四周均有水槽, 取样时水槽注水密封。

每周采样 2 次。采样当天上午 9 时将箱子放在底座上, 密封后 0、6、12、18 min 用注射器将箱子内的气体取出并带回实验室分析。试验过程中同时记录气温、地表温度、地下 5 cm 土温及箱内温度。采用便携式测墒仪测定土壤湿度。

测定系统采用改装的 Agilent 4890D 气相色谱仪 (GC)^[7]。柱温 55℃, 转化器温度 375℃。载气为高纯氮气, 标气 (CH₄、CO₂、N₂O 混合气体) 由国家标准物质研究中心提供。

1.4 通量的计算

在单位面积和单位时间内, 被测气体排放通量 F 可表示为:

$$F = \rho \times H \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \times dC_t / dt$$

式中, ρ 为标准状态下的被测气体密度, H 为采样箱的高度, P_0 和 P 分别为标准状态下空气和采样时的气压, T_0 和 T 分别为标准状态下空气和采样时的绝对温度, C_t 为 t 时刻箱内被测气体的体积混合比浓度, t 为时间。

1.5 数据处理

应用 Excel 和 SPSS 进行数据统计分析及作图。

2 结果与讨论

2.1 大豆田 CO₂ 和 N₂O 通量的季节变化规律

由图 1 可见, 2004 和 2005 年大豆田无作物处理 CO₂ 排放通量体现了一定的变化规律, 观测中, 2004 年 5 月下旬出现排放高峰, 而后逐渐降低, 到 8 月下旬和 9 月下旬再次出现排放高峰。此后 CO₂ 排放逐渐降低至基本无排放。在 2004 年 11 月至 2005 年 3 月期间, 基本无 CO₂ 排放。2005 年 3 月下旬出现的排放高峰可能是由于处于冻融期, 冬季封闭在土壤中的 CO₂ 释放出来的缘故。2005 年 5 月至 8 月间 CO₂ 排放一直呈递增趋势, 与 2004 年类似, 在 8 月下旬出现排放高峰。但 2005 年观测到的 CO₂, 其排放变化较 2004 年要剧烈得多, 2 年中降水量的差异导致的土壤湿度的变化不同是造成这一情况出现的主要原因。2004 年和 2005 年 CO₂ 通量变化范围和平均通量见表 1。

大豆田 N₂O 排放有较明显的季节变化, 观测表明 N₂O 排放主要发生在大豆的生长季节。常规处理比无作物处理的 N₂O 排放通量要高 (图 1)。2004 年常规处理有 2 个排放高峰, 一个在 6 月下旬, 此峰的出现与底肥有直接的关系。另一个在 8 月下旬, 此峰与大豆自身生理代谢有关。大豆生长过程中未追肥, 而此时正处于大豆生长旺盛期, 固 N 能力较强, 有利于 N₂O 的排放。2005 年排放规律与 2004 年类似。但由于土壤湿度和气温的变化使得 2 种处

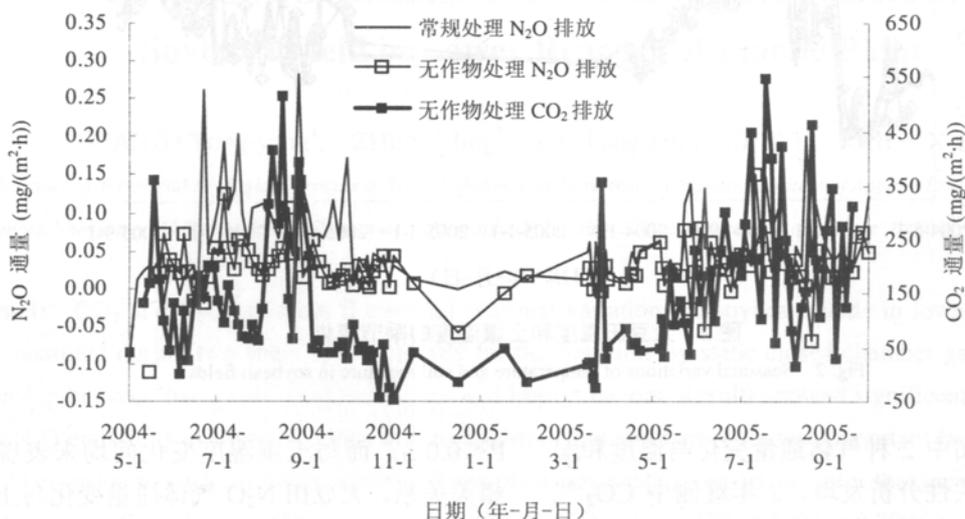


图 1 大豆田 CO₂ 和 N₂O 通量的季节变化

Fig. 1 Seasonal variations of CO₂ and N₂O fluxes in soybean fields

表 1 大豆田 CO₂ 和 N₂O 排放通量表Table 1 CO₂ and N₂O emission fluxes in soybean fields

年份/气体/处理	通量变化范围 (mg/(m ² ·h))	平均通量 (mg/(m ² ·h))
2004 CO ₂ 无作物处理	-43.0 ~ 515.7	129.6
2005 CO ₂ 无作物处理	-46.3 ~ 545.7	195.6
2004 N ₂ O 常规处理	(-96.8 ~ 281.0) × 10 ⁻³	66.0 × 10 ⁻³
无作物处理	(-111.0 ~ 140.9) × 10 ⁻³	28.9 × 10 ⁻³
2005 N ₂ O 常规处理	(-35.2 ~ 201.3) × 10 ⁻³	58.1 × 10 ⁻³
无作物处理	(-68.8 ~ 150.4) × 10 ⁻³	32.3 × 10 ⁻³

理与 2004 年的 N₂O 排放趋势并不一致, 无作物处

理时常表现为汇的作用。观测表明, 冻融期的水分条件和北方地区冬季没有种植作物导致了土壤中有较多的 N 素积累, 是此时期有明显的 N₂O 排放的主要原因^[7]。生长季常规处理的 N₂O 通量总量分别是无作物处理的 2.28 倍和 1.80 倍 (表 1)。

2.2 土壤温度和湿度的季节变化及其对大豆田 CO₂ 和 N₂O 排放的影响

2 年的观测中, 温度基本保持相同的变化趋势 (图 2), 而土壤湿度则差异比较明显, 这可能是造成 2 年观测中 CO₂、N₂O 通量变化有明显差异的原因之一。

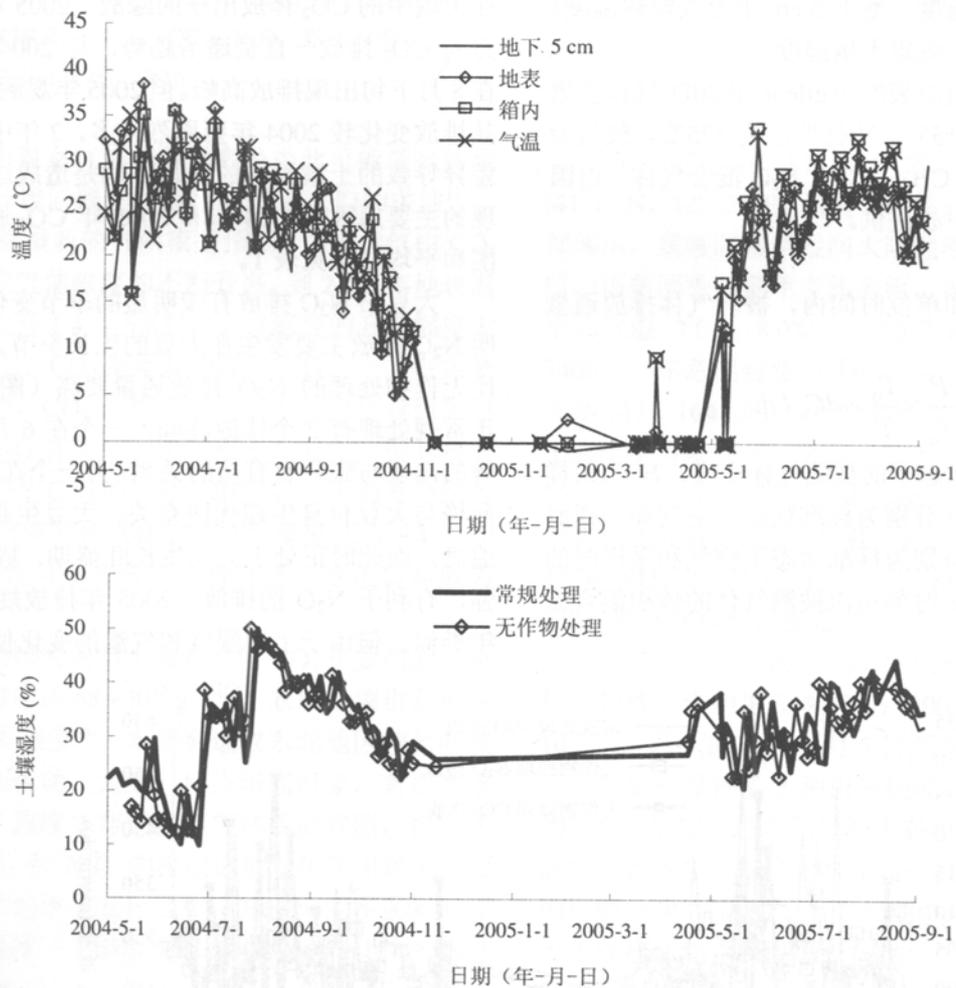


图 2 大豆田温度和土壤湿度的季节变化

Fig. 2 Seasonal variations of temperature and soil moisture in soybean fields

通过对大豆田中 2 种气体通量变化与温度和湿度变化进行的相关性分析发现, 2 年观测中 CO₂ 气体通量变化与土壤温度变化间体现出了显著的相关关系 (2004 年为 0.458, $P < 0.01$; 2005 年为 0.472,

$P < 0.01$), 而与土壤湿度变化间均未表现出明显的相关关系。大豆田 N₂O 气体通量变化与土壤温度和土壤湿度间未体现出明显的相关关系, 但仅对 6—8 月份的数据分析表明 N₂O 气体通量变化与温、湿度

之间还是表现出了一定的相关关系。这可能是由于此时期处于大豆生长旺盛期, 气温逐渐升高而土壤呼吸加剧, 而且土壤微生物活性增强导致 2 种气体释放量也随之增加。由于影响 2 种气体排放与吸收的因素很多, 仅分析温度、湿度的变化不能全面揭示 2 种气体通量变化的规律, 有待于今后研究中增加其他影响因子的分析, 进而为大豆田温室气体排放情况做出比较全面的分析和机理阐述。

3 结论

(1) 大豆田 CO₂ 和 N₂O 排放均具有明显的季节变化规律。2 种气体的排放量基本随着大豆植株的生长而增加。

(2) 土壤温度和土壤水分是影响大豆田释放 CO₂ 和 N₂O 的重要因素。2 年观测中 CO₂ 气体通量变化与土壤温度变化间体现出了显著的相关关系(2004 年为 0.458, $P < 0.01$; 2005 年为 0.472, $P < 0.01$), 而与土壤湿度变化间未表现出明显的相关关系。大豆生长旺盛期, N₂O 排放通量与土壤温度、湿度间体现出了较好的相关关系。

(3) 种植大豆对增加土壤-植物系统的 N₂O 排放起到了关键作用。2 年观测中常规处理的 N₂O 通量总量分别是无作物处理的 2.28 倍和 1.80 倍

参考文献:

[1] Prather M, Derwent R, Ehhalt D, Fraser P, Sanhuea E, Zhou X. Other trace gases and atmospheric chemistry, in

Rediative Forcing of Climate Change // Houghton JT, Filho LGM, Bruce J, Lee H, Callander BA, Haites E, Harris N, Maskell K. Climate Change 1994. Cambridge: Cambridge University Press, 1995:72-126

[2] IPCC. Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001: 881

[3] Rodhe H. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. Science, 1990, 248: 1217-1219

[4] Prinn RG, Cunnold DM, Rasmussen R, Simmond PG, Alyea FN, Crawford A, Fraser PJ, Rosen R. Atmospheric emissions and trends of nitrous oxide deduced from 10 years of ALE-GAGE data. Geophysical Research, 1990, 95:18369-18385

[5] Raich JW, Schelesinger WH. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellu, 1992, 44B: 81-99

[6] Bouwman AF. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere // Bouwman AF. Soils and the Greenhouse Effect. Chichester: Wiley & Sons Ltd., 1990: 61-127

[7] 王跃思, 郑循华, 王明星, 龚邦, 白建辉. 气相色谱法检测大气中 N₂O 浓度. 分析测试技术与仪器, 1994 (6): 19-24

[8] 黄国宏, 陈冠雄, 吴杰, 黄斌, 于克伟. 东北典型旱作农田 N₂O 和 CH₄ 排放通量研究. 应用生态学报, 1995, 6 (4): 383-386

CO₂ and N₂O Emission Fluxes and Impact Factors of Soybean Field in Lower Reaches of Liaohe Plain

WANG Chong-yang¹, ZHENG Jing¹, GU Jiang-xin², SHI Yi¹, CHEN Xin¹

(¹ Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process of Trace Substance in Terrestrial Ecosystem, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ² Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academic of Science, Beijing 100029, China)

Abstract: CO₂ and N₂O emission fluxes and seasonal variations of soybean fields in lower reaches of Liaohe Plain were measured during two years synchronously for the first time by static closed chamber-gas chromatograph to find relationship between two gases' emission fluxes and impact factors. Results showed significant seasonal variations of CO₂ and N₂O emissions in soybean fields; Soil temperature and moisture were two important factors that influenced CO₂ and N₂O emission in soybean fields, while soybean plant was another important factor that increased N₂O emission fluxes; N₂O emission flux of normal treatment were 2.28 and 1.80 times of CK in 2004 and 2005, respectively.

Key words: Soybean, Carbon dioxide, Nitrous oxide, Impact factor