

贵州省旱田土壤 N_2O 释放及其环境影响因素*

徐文彬^{1,2}, 洪业汤², 陈旭晖³, 王羽² (1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 浙江大学环境与资源化学研究所, 杭州 310027 E-mail: xuwenbin@163.net; 3. 贵州省农业科学院土壤肥料研究所, 贵阳 550006)

摘要: 以贵州省的玉米-油菜轮作田、大豆-冬小麦轮作和休耕地为研究对象, 采用密闭箱-气相色谱法, 对整个轮作期的土壤 N_2O 释放进行观测, 初步研究我国亚热带旱田的 N_2O 释放特征. 实验研究结果表明, 3 试验田 N_2O 释放通量具有相同的规律性日变化形式, 秋收作物达通量极大值的时间比越冬作物滞后 2h~3h, 气温是控制 N_2O 通量日变化的主要环境因子; 3 试验田 N_2O 释放通量(以 N_2O 中的 N 计)分别在 9.81~433.11, 4.00~180.41 和 9.74~282.00 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, 高于我国水田和北方旱田的 N_2O 释放通量; 进一步分析表明, 3 试验田 N_2O 释放通量具有相同的季节变化模式, N_2O 释放峰受降雨事件的直接影响, N_2O 通量与降雨量和土壤湿度间有显著的正相关性, 而与温度的关系不明显.

关键词: N_2O , 释放通量, 旱田土壤, 影响因素.

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)01-0007-05

N_2O Emission from Upland Soils in Guizhou and Its Environmental Controlling Factors*

Xu Wenbin^{1,2}, Hong Yetang², Chen Xuhu³, Wang Yu² (1. State Key Lab. of Environ. Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Institute of Environmental and Resources Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China E-mail: xuwenbin@163.net; 3. Soil and Fertilizer Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

Abstract: Three fields including a corn-rape rotation field, a soybean-winter wheat rotation field and a fallow land were chosen as study plots to measure N_2O flux from soils using close chamber-GC method during crop rotation, the purpose of this research was to study the characteristics of N_2O flux. The results indicated the shapes of N_2O diurnal variation were similar between above three fields, the time which N_2O flux reached the highest was 2 or 3 hours later from corn and soybean fields than from rape and winter-wheat fields, and air temperature was the key factor influencing the diurnal variation of N_2O flux. The ranges of N_2O flux (as N in N_2O) from above three fields were 9.81~433.11, 4.00~180.41 and 9.74~282.00 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ respectively, they were higher than fluxes from upland soils in North China. Furthermore, the seasonal variation characteristics of N_2O flux from above three fields were homologous, N_2O flux pulses were produced and driven by rainfall events directly, the relativity between N_2O flux and precipitation and soil's moisture were positive remarkably, but the relativity was not important between N_2O flux and temperature.

Keywords: N_2O , flux, upland soils, controlling factors.

当前, 国内外对温带旱田和水田生态系统已有些 N_2O 释放研究报道^[1~10], 对极可能是重要 N_2O 释放源的我国南方亚热带旱田农业生态系统还鲜有报道. 本工作从1995年开始对我国南方亚热带代表性旱田农业生态系统——贵州省旱田土壤进行长期的 N_2O 释放通量田间原位测量研究, 以初步确定我国亚热带旱田生态系统

N_2O 释放特征及其影响因素, 为准确估算我国南方农业土壤 N_2O 释放量提供重要资料.

* 国家自然科学基金资助项目, 编号: 49873034 (Project Supported by the National Natural Science Foundation of China, numbered: 49873034)

作者简介: 徐文彬(1969~), 男, 理学博士, 主要从事全球环境变化研究和环境污染化学.

收稿日期: 1999-09-26

1 实验研究方法

1.1 研究对象

选贵州省农科院土肥所试验站(106°66'E, 26°50'N, 海拔1140m)的玉米-油菜轮作田、大豆-冬小麦轮作田和休耕地为试验地。玉米-油菜轮作和休耕地测量时间从1995-05-28(玉米播前整地)~1996-05-27(油菜收割),大豆-冬小麦轮作田测量时间从1995-03-20(大豆播前整地)~1996-05-15(小麦收割),观察期包括了上述4种旱作的生长期。越冬期土壤未上冻。试验田耕种和施肥措施与当地农民大田相同,上述4种旱作的N肥均为尿素,用N量分别为138kg/hm²、104kg/hm²、31kg/hm²和123kg/hm²,其中玉米、油菜和冬小麦分基肥和追肥施用,大豆仅作追肥。同时,油菜、大豆和冬小麦有机肥(作基肥)施用量(C)分别为2470kg/hm²、1240kg/hm²和2500kg/hm²,玉米地未施有机肥。休耕地的前季作物为油菜。试验田土壤均为黄壤, pH 7.5, TN 0.71%左右,玉米-油菜田和休耕地土壤有机质含量12.0g/kg,容重1.14g/cm³,物理性粘粒(<2μm)25.6%;大豆-冬小麦田土壤有机质含量10.6g/kg,容重1.24g/cm³,物理性粘粒(<2μm)30.0%。

1.2 田间 N₂O 气样采集方法

采用密闭箱-气相色谱法测量田间土壤 N₂O 释放通量。箱体材料、通气管道、微型气泵和气样容器(镀铝内膜气体采样袋)经条件试验对 N₂O 是惰性的,也不存在对 N₂O 浓度的“记忆效应”^[10]。自行设计的田间 N₂O 通量测量装置能有效消除采样后箱内气压变化、箱内气体混合情况和安置箱体时土壤扰动等对土壤 N₂O 释放通量的人为影响^[11]。每一释放通量均采用4个气样浓度值由线性回归计算,气样取样时间确定为关箱后的0、5、10、20 min,条件实验结果得出,在关箱后的30 min 内3试验田箱内 N₂O 浓度均呈线性积累。每次采样开始于下午3时,每块试验田采用两箱体平行采样。每隔3~4d 对3试验田测量1次 N₂O 释放通量,遇强降雨、施肥和翻耕,以6h 为间隔测量释放通量,持

续1d,以增加通量观察密度。

1.3 气样 N₂O 浓度测量方法

田间气样的 N₂O 浓度用 GC-ECD 法测量(岛津16A 气相色谱仪, ⁶³Ni 电子捕获检测器, 5.5mL 定量进样管进样,检测器温度320℃)。内填充80~100目 Porapak Q 的不锈钢色谱柱用作分析柱(规格4m×3mm,柱温55℃)。载气为高纯氮气(99.999%,载气流速30mL/min)。日常使用二级标气定量(含 N₂O 约500ppbv 的稀释氮气),二级标气采用进口一级标气标定。N₂O 气样在取样后的3d 内用 GC-ECD 法完成浓度测量,条件实验得出在该贮存期内,气样中的 N₂O 浓度无任何变化^[10]。

2 结果分析与讨论

2.1 N₂O 释放通量日变化及其控制因素

观测结果表明,N₂O 释放通量日变化表现为随机性和规律性2种形式。当土壤水分、养分等状况日变化较显著或遇降雨、冷空气过境时,N₂O 释放通量无规律性日变化。通量规律性日变化(如图1所示)通常发生在当土壤水分、养分等状况都相对稳定,且天气情况比较正常,气温日差较大时,表现为 N₂O 日释放通量基本上与气温和表层土温呈同步变化关系,存在下午释放极大值。这是由于在较短的时间尺度内,当土壤条件、气候因素和植物体维持相对恒定时,土壤中 N₂O 的产生速率在土壤环境温度范围内与土壤温度有正相关性。上述关系表明,在其它因素相对稳定的条件下,温度是造成试验田 N₂O 释放通量规律性日变化的最主要驱动因素。

进一步分析表明,秋收作物(玉米、大豆)和越冬作物(油菜和冬小麦)N₂O 释放通量出现最大值的时间分别比气温和表层土温滞后3~5h 和1~2h,秋收作物存在的时间相位差大于越冬作物(如图1所示)。前人在我国华北和东北大豆和玉米地也曾观察到类似的存在傍晚通量极大值的现象^[2,5]。由于作物植株本身对 N₂O 释放的影响效应远不及水稻对 CH₄那样显著,因此实验过程中未观察到类似 CH₄那样的夜间

释放极大值. 越冬作物 N_2O 日释放通量极大值比气温和表层土温延后1~2h 的现象在我国其它地区也曾观察到^[7]. 同时, 研究结果还表明对越冬作物, 在气温最低的1月和2月中, N_2O 释放通量日变化幅度十分微弱.

在校正了上述各作物 N_2O 日通量极大值与气温峰值间存在的时间位差后, 得到试验田土壤 N_2O 释放通量日变化与气温和表层土温间的相关系数 R 达0.80~0.95.

2.2 N_2O 释放通量季节变化

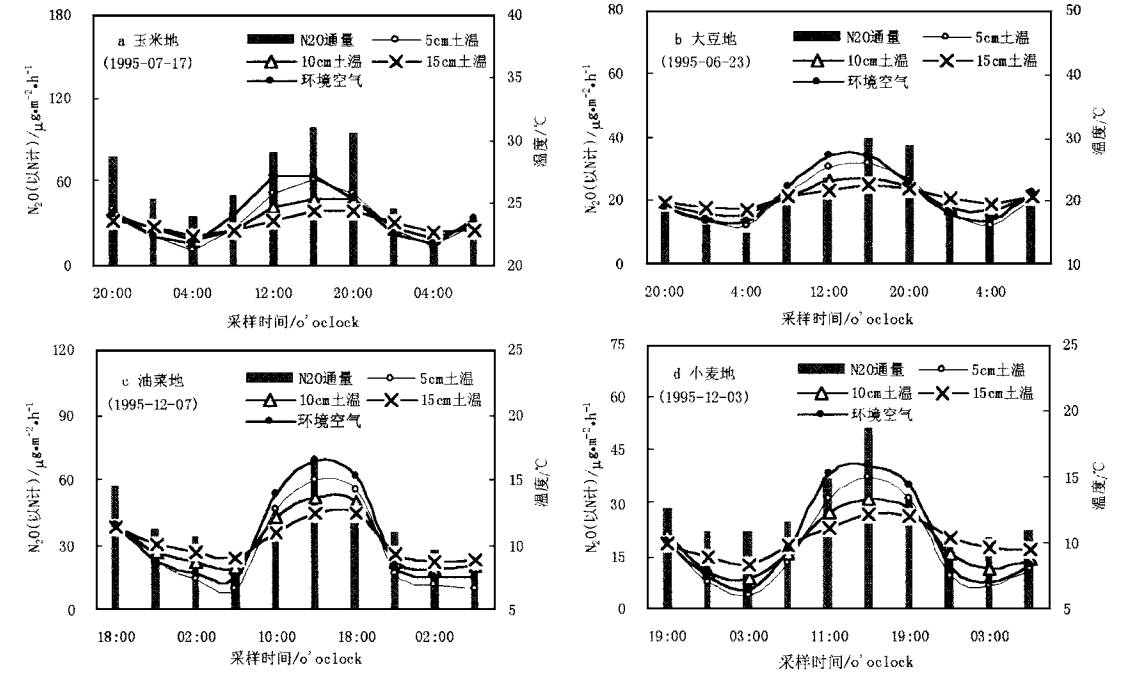


图1 N_2O 释放通量和温度的规律性日变化

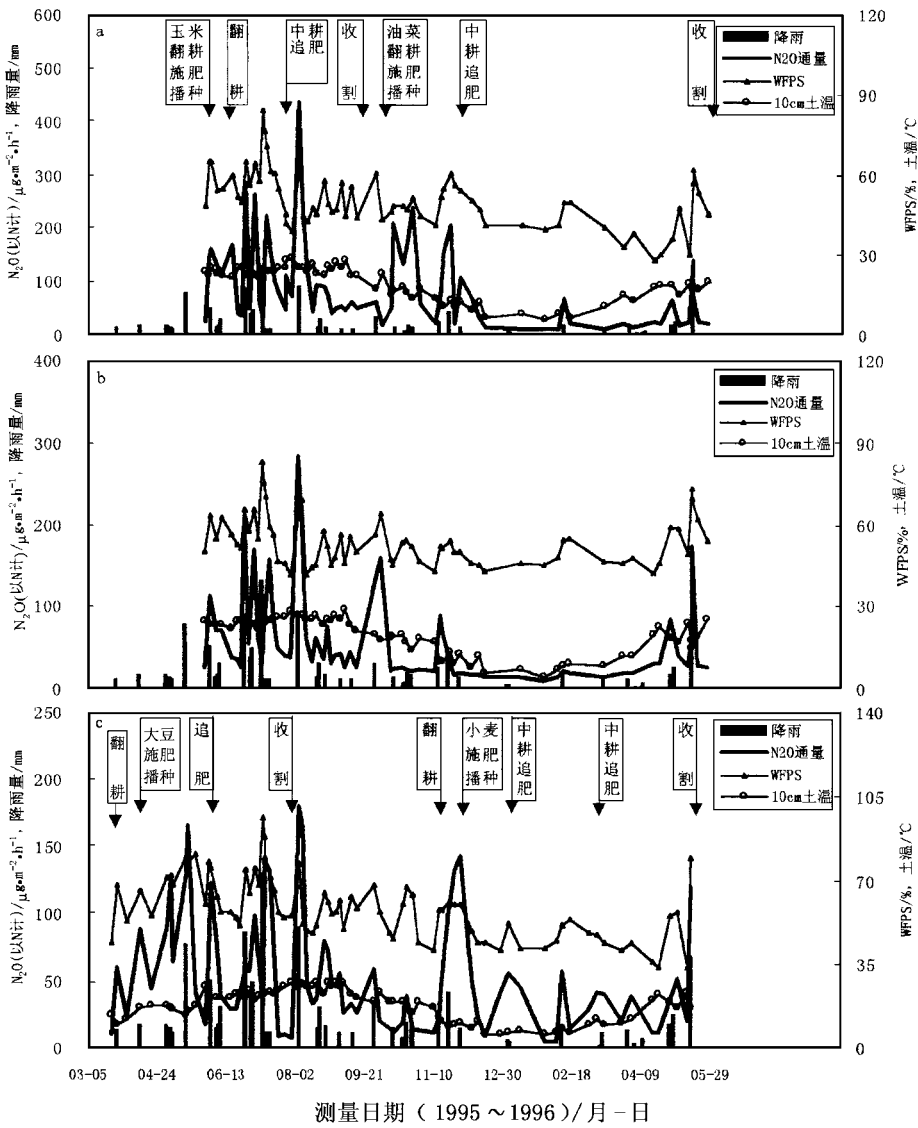
图2表明试验田释放 N_2O 不存在明显的高释放通量平台, 释放过程表现为不断产生脉冲释放的过程, 季节变化由一系列的脉冲释放峰来体现. 实验过程中未检测到 N_2O 通量负值. 3 试验田 N_2O 总体通量(以 N_2O 中的 N 计, 下同) 范围在 $4.00 \sim 433.11 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 平均 $66.25 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. 3 试验田 N_2O 通量测量数据呈明显的偏正态分布($n=213$), 统计结果表明, 3 试验田 N_2O 释放峰区样本数占全部通量观察样本数的 39.44%, 对释放总量的贡献率达 72.86%.

3 试验田 N_2O 释放通量观测结果与国内已有的旱田生态系统观察结果相比, 玉米地和冬小麦地的通量值范围和平均值均高于华北平原冬小麦-玉米轮作期的 N_2O 通量值^[3,4](冬小麦地 $22.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 玉米地 $25.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$);

大豆地、玉米地和冬小麦地的平均通量也分别高于东北地区对应旱作土壤的 N_2O 平均释放通量^[5,6](大豆地 $33 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 玉米地 $50 \sim 75 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 小麦地 $9.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). 与国内稻田相比, 本研究对应月份的通量值也高于稻田的 N_2O 释放通量^[8,9]. 由此可见, 南方亚热带旱田生态系统是我国一重要的 N_2O 释放源. 我国南北方气温、降雨、耕种方式和土壤理化性状的地域差异是造成上述旱田 N_2O 释放通量地域差异的主要因素, 尤其是气温和降雨量差异.

2.3 土壤 N_2O 释放通量季节变化与降雨间的驱动-响应关系

图2所示, 在叠加了降雨后, 除06-16和07-26玉米地因翻耕产生的2个弱 N_2O 释放峰外, 3 试验田其余44个 N_2O 释放峰均出现在降雨之



(a: 玉米-油菜轮作田; b: 休耕地; c: 大豆-冬小麦轮作田)
图2 轮作期 N_2O 释放通量及土温和土壤 WFPS 季节变化

后, 二项分布统计表明, 降雨量大于5mm 的降雨事件与土壤出现 N_2O 释放峰间的耦合关系达100%, 降雨事件与 N_2O 释放峰间存在明显的驱动-响应关系. 但 N_2O 释放峰出现的时间与降雨事件间存在1~ 2d 的时间相位差, 释放峰滞后, 这是由于尽管降雨后土壤湿度的提高有利于土壤以硝化作用为主转为以反硝化作用为主, 但土壤湿度升高无疑也减缓了 N_2O 在土

壤中的扩散迁移速率. 在校正了1~ 2d 的时间相位差后, 降雨量与玉米-油菜轮作田、大豆-冬小麦轮作田和休耕地 N_2O 释放通量间的相关系数 R 分别为0.71、0.63和0.53. 相关系数显著性 t 检验, P 均小于0.05, 相关显著. 降雨事件和降雨量是通过影响土壤湿度来对土壤释放 N_2O 过程起控制作用的. 为便于与国际上的同类研究结果对比, 文中采用土壤含水

孔隙率(water-filled pore space, WFPS)来表示土壤湿度,该值是土壤含水密积与土壤孔隙总密积之比^[1].图2明显反映出,剔除极少数因翻耕引起的弱 N₂O 释放峰后,玉米-油菜轮作田、大豆-冬小麦轮作田和休耕地 N₂O 通量的峰谷变化与各自0~15cm 土层 WFPS 的峰谷变化完全同步,上述3试验田 N₂O 通量与 WFPS 间的相关系数 R 分别达0.70、0.58和0.61,进一步表明了降雨与土壤释放 N₂O 间的驱动-响应关系.

进一步分析表明,3试验田 N₂O 释放通量季节变化与气温或土温的逐日变化间相关性微弱甚至不相关,但在剔除因降雨、翻耕和施肥等因素引发的 N₂O 释放峰后,3试验田 N₂O 通量季节背景变化与温度间的相关系数 R 达0.85~0.90, *t* 检验表明相关性极显著.温度对 N₂O 释放的刺激作用仅是短期效应,在较短的时间尺度内,当影响土壤 N₂O 释放的其它因子如土壤湿度、作物生长等都处于定常状态时,温度变化被认为是影响 N₂O 释放的唯一重要因子.随着时间的延长,其它因素的作用就会体现出来,并掩盖了温度的影响效应.

华北地区小麦-玉米轮作土壤的观测结果显示 N₂O 释放通量季节变化同温度呈正相关,与降雨量和土壤湿度关系不明显^[4].太湖地区水田越冬旱作土壤的测量结果则显示,只在温度适宜的条件下, N₂O 释放通量才与降雨量和土壤湿度呈正相关^[7].以上研究结果表明,影响我国各地土壤 N₂O 释放通量季节变化的主要环境因子可能不同.因此,准确估算我国农业土壤 N₂O 年释放量应采用能准确反映不同时空尺度 N₂O 释放通量季节变化的释放机理模型,而不对南北方农田生态系统采用相同的

N₂O 释放通量与降雨量的温度间的经验模式进行估算.

参考文献

- 1 Williams E J, Hutchinson G L and Fehsenfeld F C. NO_x and N₂O emission from soil. *Global Biogeochem. Cycles*, 1992, **6**(4): 351~388
- 2 王少彬,宋文质,苏维瀚.中国大气中氧化亚氮浓度及土壤排放通量的测定.见:王庚辰,温玉璞编.温室气体浓度和排放监测及相关过程.北京:环境科学出版社,1996. 327~332
- 3 王少彬,宋文质,苏维瀚等.冬小麦田氧化亚氮的排放.见:王庚辰,温玉璞编.温室气体浓度和排放监测及相关过程.北京:环境科学出版社,1996. 339~342
- 4 曾江海,王智平,张玉铭等.小麦-玉米轮作期土壤排放 N₂O 通量及其总量估算. *环境科学*, 1995, **16**(1): 32~35
- 5 黄国宏,陈冠雄,黄斌等.东北旱田生态系统 N₂O 排放通量测定及总量估算.见:王庚辰,温玉璞编.温室气体浓度和排放监测及相关过程.北京:环境科学出版社,1996. 351~357
- 6 黄国宏,陈冠雄,张志明等.玉米田 N₂O 排放及减排措施研究. *环境科学学报*, 1998, **18**(4): 344~349
- 7 郑循华,王明星,王跃思等.温度对农田 N₂O 产生与排放的影响. *环境科学*, 1997, **18**(5): 1~5
- 8 陈冠雄,黄斌,黄国宏等.稻田 N₂O 和 CH₄通量测定及总量估算.见:王庚辰,温玉璞编.温室气体浓度和排放监测及相关过程.北京:环境科学出版社,1996. 343~350
- 9 徐华,邢光熹,张汉辉等.太湖地区水田土壤 N₂O 排放通量及其影响因素. *土壤学报(增刊)*, 1995, **32**: 144~149
- 10 徐文彬.箱技术测量土壤痕量气体释放通量中的误差因素——以 N₂O 为例. *地质地球化学*, 1999, **27**(3): 111~117
- 11 Roux X L, Abbadié L, Lensi R et al. Emission of nitrogen monoxide from African tropical ecosystem: Control of emission by soil characteristics in humid and dry savannas of West Africa. *J. Geophys. Res.*, 1995, **100**(D11): 23133~23142