

南极菲尔德斯半岛植被土壤 N_2O 排放特征

孙立广¹, 朱仁斌¹, 谢周清¹, 赵俊琳², 邢光熹³, 施书莲³, 杜丽娟³ (1. 中国科技大学极地环境研究室, 合肥 230026; 2. 北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875; 3. 中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环开放研究实验室, 南京 210008)

摘要:应用密闭箱法首次测定了南极菲尔德斯半岛苔藓、地衣植被土壤 N_2O 的排放通量, 并估算了该半岛植被区土壤在夏季 2 个月内 N_2O 的排放总量。结果表明: 在晴天和雨天, 苔藓土壤 N_2O 的排放通量与温度有较好的响应关系, 呈现单峰型变化趋势; 但在雪天, 与温度的变化不一致; 苔藓、地衣这 2 种不同的植被土壤 N_2O 排放通量日变化基本一致; 温度是影响苔藓土壤 N_2O 的排放通量季节变化的主要因子, 同时还受降水的影响, 干湿交替有利于 N_2O 的排放; 苔藓土壤 N_2O 的排放总量为 3.7152kg; 地衣土壤 N_2O 的排放总量为 2.5344kg。由此可见, 南极菲尔德斯半岛苔藓、地衣植被土壤 N_2O 排放量虽然很小, 但仍起着大气 N_2O 源的作用。

关键词: 南极菲尔德斯半岛; 植被土壤; N_2O ; 排放通量

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)04-05-0001

Characteristics of N_2O Emissions from Vegetal Soils on Fildes Peninsula, Antarctica

Sun Liguang¹, Zhu Renbin¹, Xie Zhouqing¹, Zhao Junlin², Xing Guangxi³, Shi Shulian³, Du Lijuan³ (1. Institute of Polar Environment, University of Science and Technology of China, Anhui Hefei 230026, China; 2. Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Laboratory of Material Cycling in Pedosphere, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: The N_2O fluxes from the vegetal soils were first measured on the Fildes peninsula, Antarctica, and the total N_2O emission was also estimated in the summer 2 months. The daily variations of N_2O fluxes appeared single-peak trend under the sunshine or rainy weather conditions but they were irregular under the snow weather conditions and inconsistent with the atmospheric temperatures. The seasonal variations of the N_2O fluxes were affected by the temperature and rainfall. The conditions during the transitions between dry and wet seasons improved the N_2O emission. The total N_2O emissions from moss and lichen soils were 3.7152kg and 2.5344kg, respectively. It follows that the vegetal soils are the sources for the atmospheric N_2O on the Fildes peninsula, Antarctica.

Key words: Fildes peninsula; Antarctica; vegetal soils; N_2O ; flux

N_2O 作为一种重要的温室气体, 其浓度在大气中持续增加已引起世界范围普遍关注^[1,2]。土壤的硝化和反硝化过程以及其它工业排放是大气 N_2O 的主要来源。近几十年来, 土壤与环境学家对土壤中 N_2O 产生机理以及从土壤中排放状况及其影响因素研究较多^[3-7], 其中大部分工作集中于农田土壤。

在南极生态系统中, 苔藓、地衣和藻类等低等植物覆盖的土壤由于长期处在冰冻条件下,

透水性差, 易形成无氧环境, 有利于 N_2O 等还原性气体的产生。迄今, 对于南极植被土壤 N_2O 排放状况及其影响因素尚未发现有研究报道。笔者从 1999-01-21 ~ 03-23 在南极中国长

基金项目: 国家“九五”科技攻关项目(98-927-01-04); 中国科技大学资源与环境科学基地基金资助项目(49525192)

作者简介: 孙立广(1945-), 男, 教授, 主要从事极地环境与资源科学研究。

收稿日期: 2000-09-26

城站附近,分别在苔藓、地衣植被分布区设立观测点,对 N_2O ^[8]和 CH_4 的浓度以及土壤 N_2O 、 CH_4 的排放同时进行了定期、定时观测.研究了苔藓、地衣植被分布区,温度、降水等气候因子对土壤 N_2O 、 CH_4 排放和吸收的影响.

1 采样点环境背景与样品采集

1.1 环境背景

长城站位于西南极乔治王岛的菲尔德斯半岛,植被土壤气体采样点设置在长城站区西北山头,距站区约 500 m.菲尔德斯半岛属亚南极海洋性气候,本区受极地气旋影响明显,盛行西风和西北风.1985~1995 年长城站区年平均气温为 $-2.5\text{ }^\circ\text{C}$,最高气温 $11.7\text{ }^\circ\text{C}$,最低气温 $-26.6\text{ }^\circ\text{C}$,每年风速超过 17 m/s 的天数为 133 天,平均气压 $0.9893 \times 10^5\text{ Pa}$,平均湿度 89% (以上数据由中国国家海洋局极地办提供).本区年降雨量约 630 mm,季节分配均匀,以降雪为主.12 月中旬地表积雪开始融化,土壤亦随之解冻,至 3 月下旬季节融深达极值,多数土壤融深在 $40\sim 70\text{ cm}$ ^[8].

采样点海拔高度为 41.6 m,地势平坦,西侧茂密地生长着假三棱藓 (*Bryum pseudotriquetrum*),东侧地衣类植物松萝属 (*Usnea* sp) 繁盛,其下掩盖着真藓科马氏藓 (*Bryum mueltchenbeckii*),植被覆盖度 100%.苔藓地衣下的土壤层厚度约 $10\sim 15\text{ cm}$,土壤颗粒极细,为有机粘土质.土壤与底部玄武岩风化岩块之间无过渡层次可见.因此,可以排除原地风化壳.土壤来源于冻融作用和植物根土的生物地球化学作用.底部土壤的 ^{14}C 年龄为 $880 \pm 60\text{ yBP}$ (中国科学院湖泊地理所测定),这表明采样点至少在大约 880 年前已经有植被存在.苔藓下土壤的 pH 值(水提)为 6.03,有机质含量为 15.48%,全 N 为 0.701%,地衣下土壤的 pH 值(水提)为 6.00,有机质含量为 5.48%,全 N 为 0.219%.二者之间存在一个宽约 1.5 m 的无植被间隔带,其中主要为冻融土,其 pH 值(水提)为 6.50,有机质含量为 1.58%,全 N 为 0.073%.采样点位于站区西

北侧,受站区环境影响微弱^[8].

1.2 大气样品采集

根据南极的气候条件,设计制造了密闭气体采集箱,箱底面积 $49\text{ cm} \times 49\text{ cm}$,高 20 cm,箱顶安置水银温度计插入箱内,采集箱底面开口,分别扣押在相邻的植被之上.箱体周边用细土和碎冰雪封闭.为了保证气体样品采集的可靠性,在苔藓区平行设置 A、B 2 点同时采气,用于比较它们之间采样分析结果的差别,并取平均值以保证分析结果的可靠和准确.在不同的时间段,在地衣分布区设采气点 D,并同时采集 A 点的气体,此时的 A 点设为 C,用以比较 C、D 的分析结果之间的异同.

密闭室封闭后,用日本国立农业环境所提供的真空瓶(容积为 17.5 ml),定时向瓶内转移气体,并同步记录即时温度.1 天采集 4 个时段,分别为 00:00~01:00,06:00~07:00,12:00~13:00,18:00~19:00(均为智利时间),每隔 3 天或 6 天作为一个采气周期,以探讨浓度的季节变化.为了解排放通量的日变化,选择不同气候条件下加密采气.每天 4 个时段中,以 20 min 为间隔,每小时采气 4 次,第一次采集的气体为背景浓度.

从 1999-01-21~03-23 共采集气体 423 瓶.另保存 8 个真空瓶以检验气样瓶的真空度,经检测从抽真空起到气体分析时为止,真空瓶内的真空度保持为 $-1.0 \times 10^5\text{ Pa}$.

2 N_2O 测定

2.1 测定方法

使用 HP5890GC-ECD 气相色谱分析.GC-ECD 装配了十通阀反吹系统,在 N_2O 峰通过前置柱后立即反吹,使其后的物质不进入分离柱.前置柱和分离柱分别为长 2 m 和 4 m 的不锈钢填充柱(Porapak Q).采用 $\text{Ar}-\text{CH}_4$ (95:5) 气作载气,流经 5 \AA 分子筛和除氧剂净化,流速 $30\text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$,柱温 $85\text{ }^\circ\text{C}$,检测器温度 $330\text{ }^\circ\text{C}$,反吹时间 2.80 min.进样管体积 1.7 ml,用可调压的气密性注射器进样,进样体积 3 ml.但由于进样管的两端是与空气连通的,多余的气体会自动排

除,实际进入色谱柱的气体是准确的 1.7 ml. 标准气为德国马普学会化学研究所提供.

2.2 N₂O 排放通量的计算

$$P = \rho \times H \times dc/dt \times 273/(273 + t)$$

式中, P 为排放通量, 单位(以 N₂O-N 计)为 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, ρ 为标准状态下 N₂O 气体密度, 为 $1.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; H 为箱高, 单位为 m ; dc/dt 为单位时间密闭箱内气体浓度的变化量, 单位为 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$, t 为密闭箱内温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$.

2.3 夏季苔藓、地衣土壤向大气中排放 N₂O 总量的计算

$$M = P_{\text{平均}} \times T \times S$$

其中, M 为排放总量, $P_{\text{平均}}$ 为 N₂O 平均排放通量, T 为夏季 1~3 月份的总小时数, 这里 $T = 60 \times 24 (\text{h})$, S 为苔藓或地衣的总面积.

3 结果与讨论

3.1 不同天气型下苔藓与地衣土壤 N₂O 排放

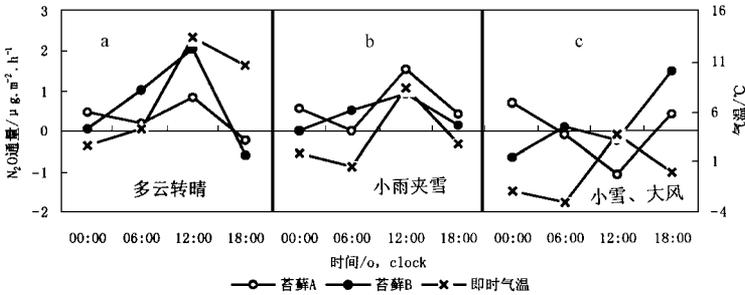


图 1 不同天气型下苔藓土壤 N₂O 排放通量日变化

Fig. 1 Daily variations of N₂O fluxes from moss soil under different weather conditions

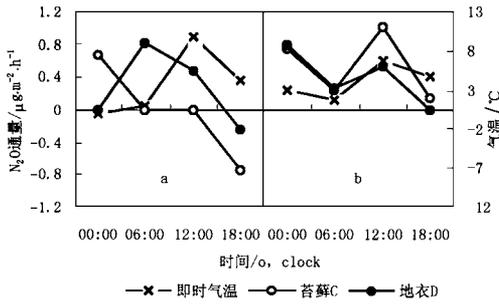
图 2 是雪天和雨天 2 种天气型下苔藓、地衣土壤 N₂O 排放通量日变化对比图. 由图 2 中可以看出, 在 2 种天气条件下, 这 2 种不同的植被土壤 N₂O 排放通量日变化趋势基本一致. 在雪天苔藓、地衣土壤 N₂O 排放通量均与温度的变化不一致(图 2a), 与图 1c 的情况类似. 在雨天, 苔藓、地衣土壤均在夜间 00:00 和中午 12:00 N₂O 排放通量出现极大值, 与温度的变化完全一致, 表明温度是影响这 2 种植物土壤 N₂O 排放通量日变化的主要因子.

通量日变化

图 1 是在南极 3 种不同天气条件下, 每隔 6h 观测的苔藓土壤 A、B 2 点 N₂O 排放通量日变化图. 从图中可以看出, 在同样天气条件下, A、B 2 平行样点 N₂O 排放通量日变化趋势基本相同, 二者均与气温有一定的响应关系; N₂O 排放通量极大值多出现在高温处. 这是由于在高温条件下, 土壤中微生物的活动旺盛, 有利于硝化与反硝化作用的进行所致. 尤其值得注意的是在雪天、低温的条件下, 苔藓土壤对 N₂O 表现为微弱的吸收特性. 在天气状况较好的情况下, 苔藓 A、B 土壤 N₂O 排放通量日变化与温度的变化几乎一致, 在中午 12:00 N₂O 排放通量出现极大值, 呈现出单峰型变化趋势(图 1a); 在小雨天气条件下, 苔藓 A、B 土壤 N₂O 排放通量日变化与前者完全一致(图 1b); 但在雪天、大风的天气条件下, N₂O 排放通量日变化与温度的变化不一致, 说明在雪天影响 N₂O 排放因素的复杂性(图 1c).

3.2 苔藓土壤 N₂O 排放通量的季节变化

图 3~4 给出了 1999 年夏季苔藓生长期间土壤 N₂O 排放通量的季节变化情况. 由 2 图可以看出, 除个别点有较大波动外, A、B 2 平行样点 N₂O 排放通量随日期的变化趋势基本相同, 其季节变化与温度和降水等气候因子有关. 由图 3 可知, N₂O 排放通量与气温之间有一定的响应关系. N₂O 平均排放通量与气温的变化基本一致, 表明温度是影响 N₂O 排放通量季节变化的控制因子. 降水对 N₂O 排放通量也产生



a 小雪到中雪 b 小雨到中雨, 风大
图 2 不同天气型下苔藓、地衣土壤 N₂O 排放通量日变化对比

Fig. 2 Contrast of N₂O emission fluxes between moss and lichen soils under different weather conditions

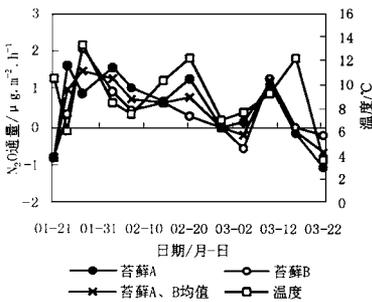


图 3 苔藓土壤 N₂O 排放通量随日期和温度的变化
Fig. 3 Seasonal variations of N₂O fluxes from moss soil and the air temperature

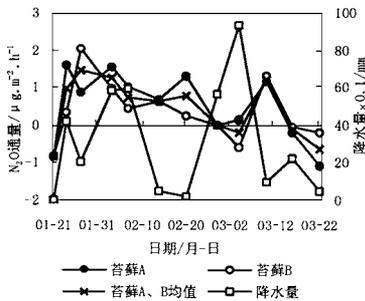


图 4 苔藓土壤 N₂O 排放通量随日期和降水量的变化
Fig. 4 Seasonal variations of N₂O fluxes from moss soil and the precipitation

较大影响,由图 4 可知,干湿交替能激发 N₂O

排放,在每次降水之后总出现 N₂O 排放通量不同幅度的升高现象,但降水量过大(如 03-04), N₂O 的排放反而受到抑制,甚至通量值出现负值.其原因可能是土壤含水过多,土壤空隙受阻, N₂O 扩散速率降低,同时土壤呈高度还原状态, N₂O 还原为 N₂,故 N₂O 排放减少.

由所有观测数据可得出苔藓土壤 N₂O 排放通量变化范围在 -1.1 ~ 2.1 μg/(m²·h).其中在 01-21 ~ 02-23,苔藓土壤对 N₂O 的排放量较大;而在 02-23 以后 N₂O 的排放量较小,甚至出现微弱的吸收现象. Ryden^[9]对草地土壤 N₂O 排放的研究结果表明:在土壤中硝态氮含量低于 1 μg/g,土壤含水量 > 20%,土壤温度在 5 °C ~ 8 °C 以上的低温条件下, N₂O 排放通量出现负值.本研究与 Ryden 的结果出现了类似的情况,其原因一方面可能与苔藓植物对土壤氮素的吸收与保持特性有关^[11].据 Li 等人^[10]利用稳定同位素¹⁵N 对以藓类为建群种的沼泽之氮素动态研究表明,无论在富养沼泽或雨养沼泽中,藓类是施入氮的主要吸收及持有者.这些藓类植物在氮被施入系统 2 年之后仍持有施入氮量的 80% 左右,而作为优势种的灌木则仅含施入量的 1%.同时,施入的氮虽然提高了系统的生产力,但是对物质分解速度却有负的影响.因此苔藓植物是生态系统的重要养分库,它们可通过持有大量的养分而极缓慢的养分释放速度来影响、控制整个生态系统的 N 素循环.由于条件的限制,笔者未能对苔藓土壤硝态氮含量进行现场测定,但根据上述苔藓植物氮素代谢特性,苔藓植物主要吸收的是土壤矿化形成的无机氮,而这部分氮正是硝化作用与反硝化作用形成 N₂O 的主要反应基质.因此,有理由认为 N₂O 排放通量出现负值,可能与土壤中无机氮的含量很低有关.另一方面,由图 3、4 可以看出, N₂O 排放通量出现负值的时间均是在南极夏、冬季转变过程中,此时气温低,降水量大可能是导致出现负值的另一个原因.

3.3 相同天气条件下,苔藓和地衣土壤 N₂O 排放通量对比

在相同的天气条件下,对相距 1.5 m 的苔

藓 C 和地衣 D 土壤 N_2O 排放通量进行同时观测. 由图 5 可以看出, 在 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温条件下, 二者排放通量存在明显的消长关系. 说明在低温条件下, 温度对这 2 类不同植物土壤 N_2O 排放通量的影响程度是完全不同的; 但温度在 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时, 苔藓 C 和地衣 D 土壤 N_2O 排放通量随温度的变化趋势基本一致.

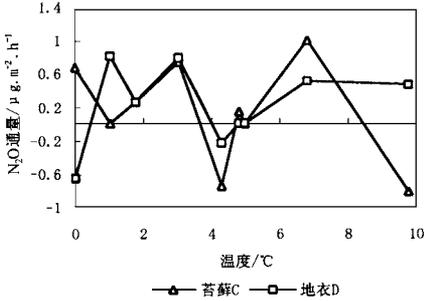


图 5 相同温度条件下苔藓 C 和地衣 D 土壤 N_2O 排放通量的相互关系

Fig. 5 The relationships between N_2O

fluxes from moss C and lichen D soils under the same weather conditions

3.4 菲尔德斯半岛苔藓、地衣土壤 N_2O 排放总量的估算

目前, 人们根据已有的成果, 估算出全球大气中 N_2O 源的排放总量 (N) 为 $14 \pm 7 \text{ Tg/a}^{[1]}$, 则全球 N_2O 源的月平均排放通量为 $2.29 \times 10^{-9} \pm 1.14 \times 10^{-9} \text{ Tg}/(\text{km}^2 \cdot \text{m})$. 对所有 N_2O 排放通量求平均值, 得出苔藓土壤 N_2O 平均排放通量为 $3.1169 \times 10^{-10} \text{ Tg}/(\text{km}^2 \cdot \text{m})$, 地衣土壤为 $1.5854 \times 10^{-10} \text{ Tg}/(\text{km}^2 \cdot \text{m})$, 与全球 N_2O 源的平均排放通量相比虽然很小, 但足以说明南极土壤在其低温的自然环境下也存在 N_2O 的排放.

根据菲尔德斯半岛苔藓分布面积约为 6 km^2 , 地衣分布面积约为 8 km^2 , 可估算出在夏季 2 个月内, 菲尔德斯半岛苔藓、地衣土壤 N_2O 排放总量分别为 3.7152 kg 和 2.5344 kg . 可见, 苔藓、地衣土壤是南极地区 N_2O 主要排放源之一.

4 结论

(1) 在南极低温的自然环境条件下, 苔藓、地衣植被土壤也存在 N_2O 的排放且是南极大气中 N_2O 的主要排放源之一.

(2) 由于南极天气多变, 排放通量日变化较大. 在晴天与雨天 N_2O 通量日变化呈现单峰型变化趋势, 且与温度日变化相一致, 但在雪天变化无规则.

(3) 南极植被土壤 N_2O 排放通量季节变化主要受温度、降水的影响, 干湿交替有利于 N_2O 的排放.

致谢 感谢国家海洋局极地办及 15 次南极科考队队友的大力支持和协助.

参考文献:

- 1 IPCC. Climate change 1995. Houghton J T, Meira Filho L G, Callander B A et al. In The Science of Climate Change. Cambridge, UK, Cambridge University Press: 1996. 31 ~ 127.
- 2 Crutzen P T. Estimates of possible variations in total ozone due to natural causes and human activities. *Ambio*, 1974, 3: 201 ~ 210.
- 3 Bouwman A F. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: Bouwman A G. Soil and the Greenhouse Effect. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1990. 61 ~ 128.
- 4 Mulvaney R L, Khan S A, Mulvaney C S. Nitrogen fertilizers promote denitrification. *Biol Fertil Soil*, 1997, 24: 211 ~ 220.
- 5 Smith C J, Brandan M, Patrick W H Jr. Nitrous oxide emission following area nitrogen fertilization of wetland rice. *Soil Sci Plant Nutr*, 1982, 28: 161 ~ 171.
- 6 Xing G X. N_2O emission from cropland in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 52: 249 ~ 254.
- 7 Reddy K R, Patrick W H Jr. Rate of fertilizer nitrogen in the rice root zone. *Soil Sci Soc Am J*, 1986, 50: 1352 ~ 1397.
- 8 孙立广, 谢周清, 赵俊琳等. 南极菲尔德斯半岛 N_2O 浓度的监测. *科学通报*, 2000, 45(11): 1195 ~ 1198.
- 9 Ryden J C. N_2O exchange between a grassland soil and the atmosphere. *Nature*, 1981, 292: 235 ~ 237.
- 10 Li Y, Vitt D H. Responses of boreal peatlands to aerial nitrogen deposition. *Can J. Soil. Sci.*, 1996, 21: 313 ~ 321.
- 11 吴鹏程. 苔藓植物生物学. 北京: 科学出版社, 1998. 245 ~ 249.