

# 菜地系统土壤氧化亚氮排放的日变化

邱炜红 刘金山 胡承孝 孙学成 谭启玲

华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070

**摘要** 采用原状土柱试验,研究了武汉市菜地连作系统不同时期土壤 N<sub>2</sub>O 释放日变化特征及其与土壤温度和水分的关系。结果表明:当土壤水分日变化较小时,土壤 N<sub>2</sub>O 排放速率随土壤温度的升高而增大,随着温度的降低而减小,在温度最高时达到峰值;而当土壤水分日变化较大时,N<sub>2</sub>O 排放速率峰值出现在适宜的水分且较高的温度时,而非温度最高时。这说明土壤 N<sub>2</sub>O 排放速率受土壤温度和土壤水分共同影响。同时,氮肥施用量也是影响 N<sub>2</sub>O 日排放的重要因子。

**关键词** N<sub>2</sub>O; 温室气体; 菜地系统; 原状土柱

**中图分类号** S 154.4; S 155.4<sup>+</sup>1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)02-0210-04

氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)是一种温室气体,它既有产生温室效应的作用,又可以破坏平流层臭氧。最新研究表明,N<sub>2</sub>O 是臭氧层破坏的最重要因子并且被认为是 21 世纪最大的影响因子<sup>[1]</sup>。2005 年大气中 N<sub>2</sub>O 体积分数为 319 nL/L,比工业革命前的 270 nL/L 增长了 16%<sup>[2]</sup>,并且 N<sub>2</sub>O 以每年大约 0.3% 的速率增长<sup>[3]</sup>。Xu 等<sup>[4]</sup> 研究表明,每年有 13.31 Tg 氮以 N<sub>2</sub>O 的形式释放到大气当中,其中直接从农田生态系统中释放的 N<sub>2</sub>O 大约占了 50%。因此,由农田生态系统释放的 N<sub>2</sub>O 已经受到全世界的关注。研究表明,影响土壤 N<sub>2</sub>O 排放的因素很多,主要因素有施肥<sup>[5-6]</sup>、环境因子(温度、水分和降雨量等)、农业活动和土壤性状等<sup>[7-9]</sup>。菜地土壤是重要的农田生态系统之一,而有关菜地土壤尤其是华中亚热带菜地生态系统地区(湖北省武汉市)N<sub>2</sub>O 的排放和 N<sub>2</sub>O 释放日变化特征研究较少。基于此,本试验采用大型原状土柱研究菜地土壤 N<sub>2</sub>O 排放速率的日变化特征,探讨其排放速率的变化及其与土壤温度、水分等的关系,旨在为研究土壤 N<sub>2</sub>O 排放速率提供依据。

院盆栽场建造 15 个大型原状土柱(直径 590 mm、高 650 mm、面积 0.27 m<sup>2</sup>)。土柱系统中所用土壤类型为黄棕壤,采集地点为华中农业大学校园内菜地(114°21'8.34"E,30°28'5.87"N)。土壤的基本理化性状为:总碳 8.60 g/kg,总氮 0.28 g/kg,速效钾 49.82 mg/kg,速效磷 2.96 mg/kg,pH 5.12( $m_{水} : m_{土} = 5 : 1$ )。

试验设置 4 个氮水平(N0、N1、N2、N3)处理,每个处理 3 个重复,随机排列。试验时间为 2007 年 4—12 月。施肥量及作物轮作如表 1 所示。试验期间种植的蔬菜为辣椒(*Capsicum annuum* L.)、苋菜(*Amaranthus mangostanus* L.)和萝卜(*Raphanus sativus* L.)。磷钾肥作物基肥一次性施用,氮肥分基肥和追肥(比例 50%,25%,25%)。其他管理措施按照当地常规方法进行。

表 1 试验期间蔬菜施肥量

Table 1 Fertilizer application rates for the vegetables

		during the experimental period		kg/hm <sup>2</sup>
处理	辣椒	菠菜	萝卜	
Treatment	Pepper	Amaranth	Radish	
N0	0	0	0	
N1	90	60	60	
N2	270	180	180	
N3	360	240	240	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	120	50	40	
K <sub>2</sub> O	250	60	70	

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

参考文献[10],在华中农业大学资源与环境学

收稿日期: 2010-03-25

基金项目: 农业部“948”项目(2003-Z54,2008-Z25)

邱炜红,博士研究生,研究方向:氧化亚氮温室气体研究. E-mail: angel12@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 胡承孝,博士,教授,研究方向:养分管理与高效利用、施肥与生态环境、农产品品质安全. E-mail: hucox@mail.hzau.edu.cn

### 1.2 N<sub>2</sub>O 气体采集与分析

N<sub>2</sub>O 气体采用静态箱法采集<sup>[1]</sup>。静态箱呈圆柱状,直径为 350 mm,高为 300 mm,材料为 0.5 mm 的不锈钢板。收集气体时,收集装置垂直插入土中 2~3 cm,周围用土填实防止漏气。对于长势较高的辣椒,则增加 1 个采样底座,采样底座材料为 PVC,高度为 600 mm。采样容器为 20 mL 医用塑料注射器和 16 mL 真空玻璃瓶(江苏省南通市海门家豪实验仪器公司)。利用三通阀原理采集 N<sub>2</sub>O 气体样品,采样时,先将 100 mL 注射器来回抽取气体 5 次以上,以混匀箱内气体,减少采样误差,然后用 10 mL 注射器抽取气样注入玻璃收集瓶,带回实验室进行分析。采样持续时间为 20 min,分别在 0、10、20 min 时采集气体。N<sub>2</sub>O 气体 1 d 采集 4 次,分别在 06:00、10:00、14:00、18:00 采样。

N<sub>2</sub>O 气体采用改装后的 GC3800 气相色谱仪(美国 Varian)测定。色谱柱为 1 m×2 mm (内径)不锈钢柱,内含 0.16~0.20 mm Porapak Q 的填充柱。测定条件为柱温 55 °C,检测器(ECD)温度 330 °C,采用十通进样反吹阀和四通切换阀进样,保留时间 4.30 min,载气为高纯氮气(>99.999%),流速为 30 mL/min。高浓度样品用高纯氮气稀释后测定。

N<sub>2</sub>O 排放速率的计算由公式  $F = \rho \times h \times \frac{\Delta C}{\Delta t} \times$

$\frac{273}{T}$  计算,其中, $F$  为排放速率, $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;  $\Delta t$  为测定时间; $h$  为箱内有效空间的高; $\rho$  为标准状况下 N<sub>2</sub>O 气体的密度, $1.25 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;  $\Delta c/\Delta t$  为箱内气体浓度随时间的变化率; $T$  为采气箱内温度(热力学温度)。

采用土壤温度计测定土壤温度(5 cm 深度),采用快速便携式土壤水分测试仪(中国农业大学研制)测定土壤水分(10 cm 深度)。采用降雨降尘自动采样器(武汉天虹智能仪表厂,APS-2B)测定降雨量。

## 2 结果与分析

### 2.1 N<sub>2</sub>O 排放与土壤温度、水分的关系

图 1-a 可以看出,2007-04-11 采样的 4 个时间点中,各施氮水平的土壤-蔬菜系统 N<sub>2</sub>O 排放速率在第 3 个采样时间点(13:30)最大(如 N3 为 146  $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ),第 1 个采样时间点(06:30)的 N<sub>2</sub>O 排放速率最小(如 N3 为 70  $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ),仅为最高排放速率的 50%。从图 1-a 可看出,在 06:30—13:30 期间,土壤-蔬菜系统 N<sub>2</sub>O 排放速率是随着土壤温度的升高而增加的,而在 16:30 温度下降后,土壤 N<sub>2</sub>O 的排放速率也随之减小。2007-05-26 的土壤-蔬菜系统 N<sub>2</sub>O 的释放特性(图 1-b)与 2007-04-11 一致。N3 处理的最大 N<sub>2</sub>O 排放速率为 382  $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  (14:00),最小为 230  $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (18:00)。

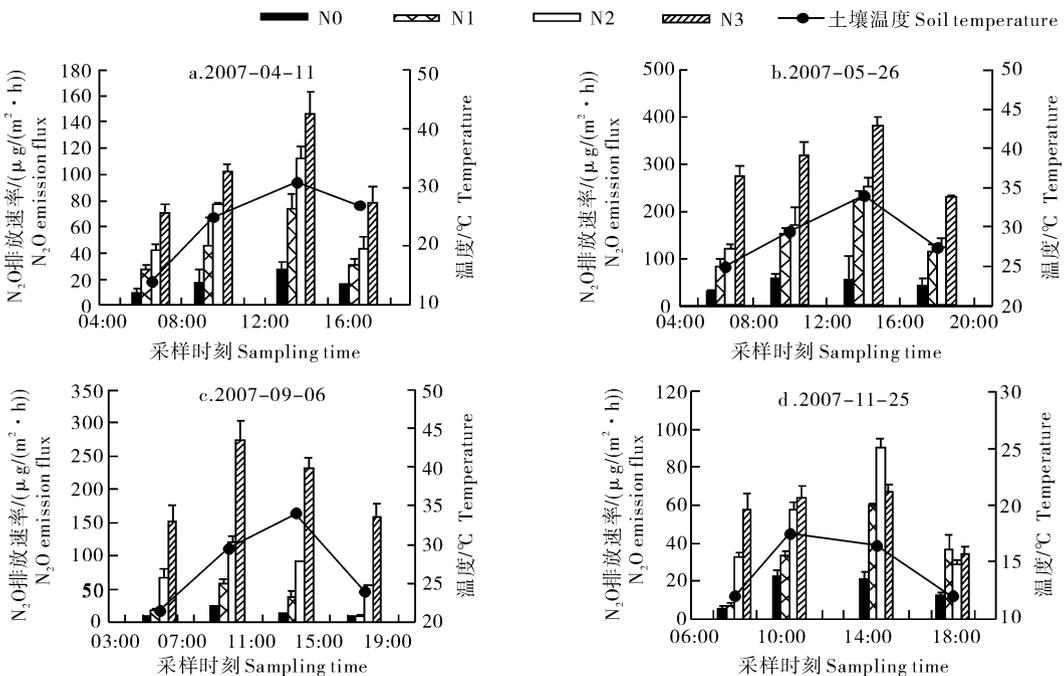


图 1 不同施氮水平下土壤 N<sub>2</sub>O 排放速率日变化和土壤(10 cm)温度变化

Fig. 1 The daily variations of N<sub>2</sub>O emissions under different nitrogen fertilizer rates and the variations of soil temperature(10 cm)

而2009-09-06的 $N_2O$ 释放特性(图1-c)与前2个采样时间点并不一致。 $N_2O$ 释放最大速率发生在10:00点(如N3为 $273 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ),最小发生在06:00(如N3为 $151 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ), $N_2O$ 的排放速率在10:00时达最高后逐渐减小,而最高的土壤温度则发生在14:00时。说明在此种环境条件下, $N_2O$ 释放并不随着土壤温度的升高而增加。

由图2可以看出,4次采样时间点土壤水分均呈逐步减小的趋势,但是只有在第3次采样时,土壤充水孔隙度(water-filled pore space,WFPS)变化最剧烈,WFPS从70%(6:00)减少到34%(18:00),这可能是 $N_2O$ 排放速率在14:00反而比在10:00小的主要原因。2007-11-25土壤-蔬菜系统 $N_2O$ 排放速率(图1-d)均较小,N3处理 $N_2O$ 排放速率最大值为 $67 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , $N_2O$ 排放速率最小值为 $34 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

## 2.2 $N_2O$ 排放与施氮水平的关系

4个采样时间中,除了2007-11-25的2个采样时间点(14:00和18:00)外,土壤-蔬菜系统 $N_2O$ 的排放速率均随着施氮水平的增加而增加(图1),如在第1个采样时间(2007-04-11),N3的 $N_2O$ 日排放速率最大为 $146 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,而N2、N1和N0的分别为112、73和 $27 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。另外,同一个施氮水平,在不同采样时间,土壤-蔬菜系统 $N_2O$ 日排放速率差异较大,如N3水平处理在2007-05-26的 $N_2O$ 释放最大速率为 $382 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,而在2007-04-11的 $N_2O$ 最大排放速率只有为 $146 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

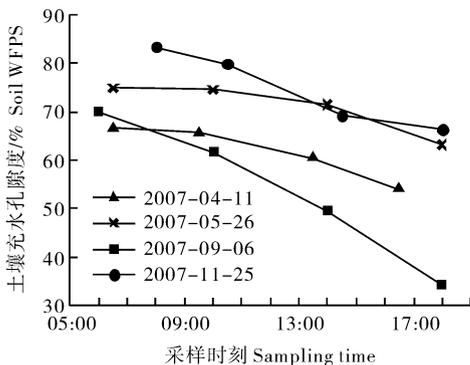


图2 土壤(10 cm)充水孔隙度变化

Fig. 2 The variation of soil(10 cm) WFPS

## 3 讨论

环境因子,如土壤温度和水分,是影响土壤 $N_2O$ 排放的主要原因<sup>[12-14]</sup>。本研究结果表明,在土

壤水分日变化相对较小时,菜地-土壤系统 $N_2O$ 日排放速率是随着土壤温度的变化而变化的。这与董云社等<sup>[12]</sup>研究的 $N_2O$ 排放日通量变化与温度呈正相关关系的结果一致。而在土壤水分日变化较大时(图2), $N_2O$ 排放速率日变化时并不完全随着土壤温度的变化而变化(图1-c),其 $N_2O$ 排放速率是在土壤水分和土壤温度相对较高时最大(第3次采样),而不是在土壤温度最高时。这说明土壤水分也是影响土壤 $N_2O$ 排放的重要因素。也有研究者<sup>[15-18]</sup>发现,土壤水分是影响 $N_2O$ 释放的主要环境因子之一。此外,通过相关分析发现,同一施氮水平下土壤 $N_2O$ 排放速率与土壤温度和水分均无相关关系。这说明,在土壤氮含量相同的条件下,土壤 $N_2O$ 排放速率是受土壤温度和水分共同影响的。但是,在不同氮水平处理(N0、N1、N2、N3)时,土壤 $N_2O$ 排放速率均是随着氮水平的增加而增加的(图1)。这说明施氮量也是影响土壤 $N_2O$ 排放的重要因素之一<sup>[6,19]</sup>。这与郑循华等<sup>[20]</sup>的研究一致,他们认为当土壤湿度适宜、养分供应充足、气温较高且日较差比较大时, $N_2O$ 排放日变化表现出显著特征,即与温度正相关。相反,当水分、养分等因子对 $N_2O$ 排放的作用大于温度日变化的影响时, $N_2O$ 排放的日变化随机性较大。

对土壤 $N_2O$ 排放速率研究最理想的方法是自动观测系统,但自动观测系统也存在一定缺陷,如耗资巨大、系统操作复杂,且箱子长期笼罩观测对象,会带来温度升高、植物死亡等问题。因而,国内外大多数的观测还是采用手动不连续观测(静态箱法),即用1次测量结果来代表1d或几天的排放状况,或用几个月的观测结果来估算1a的排放状况。目前已有研究<sup>[11,20]</sup>指出, $N_2O$ 气体采集夏季一般在08:00-10:00进行,冬季在14:00-15:00进行。本研究通过土柱试验显示,不同采样时段的菜地 $N_2O$ 排放速率差异较大,但不能表明某个时段的采样能代表 $N_2O$ 日排放的平均值,这还需要做进一步的研究,即通过试验找到恰当的采样时段和采样频率,只有这样才能使测量值接近 $N_2O$ 排放速率的真实值,从而提高研究土壤 $N_2O$ 排放速率的准确性。

## 参 考 文 献

- [1] RAVISHANKARA A, DANIEL J, PORTMANN R. Nitrous oxide ( $N_2O$ ): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century [J]. Science, 2009, 326(5949): 123-125.

- [2] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate change 2007; the physical science basis; contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3] WMO. Scientific assessment of ozone depletion; 2002[R]. Geneva: World Meteorological Organization, 2003: 498.
- [4] XU X, TIAN H, HUI D. Convergence in the relationship of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O exchanges between soil and atmosphere within terrestrial ecosystems [J]. *Global Change Biology*, 2008, 14(7): 1651-1660.
- [5] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate change 2001, the scientific basis. Chap 4: atmospheric chemistry and greenhouse gases[M]. Bracknell: IPCC, 2001.
- [6] GREGORICH E, ROCHETTE P, VANDEN-BYGAART A, et al. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada [J]. *Soil & Tillage Research*, 2005, 83(1): 53-72.
- [7] DOBBIE K E, MC-TAGGART I P, SMITH K A. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors [J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 1999, 104(D21): 26891-26899.
- [8] FLYNN H C, SMITH J, SMITH K A, et al. Climate-and crop-responsive emission factors significantly alter estimates of current and future nitrous oxide emissions from fertilizer use [J]. *Global Change Biology*, 2005, 11(9): 1522-1536.
- [9] CIARLO E, CONTI M, BARTOLONI N, et al. The effect of moisture on nitrous oxide emissions from soil and the N<sub>2</sub>O/(N<sub>2</sub>O+N<sub>2</sub>) ratio under laboratory conditions [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43(6): 675-681.
- [10] 赵长盛. 武汉城郊菜地土壤氮素的转化与淋失研究[D]. 武汉: 华中农业大学资源与环境学院, 2009.
- [11] 王跃思. 大气中痕量化学成分的分析方法研究及实际应用[D]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 1998.
- [12] 董云社, 陈佐忠. 内蒙古典型草地 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 通量的同时观测及其日变化[J]. *科学通报*, 2000, 45(3): 318-322.
- [13] 孙向阳, 徐化成. 北京低山区两种人工林土壤中 N<sub>2</sub>O 排放速率的研究[J]. *林业科学*, 2001, 37(5): 57-63.
- [14] 张中杰, 朱波, 江长胜, 等. 川中丘陵区旱地小麦生态系统 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub> 排放特征 [J]. *生态学杂志*, 2005, 24(2): 131-135.
- [15] INUBUSHI K, BARAHONA M, YAMAKAWA K. Effects of salts and moisture content on N<sub>2</sub>O emission and nitrogen dynamics in yellow soil and andosol in model experiments [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(4): 401-407.
- [16] ZHANG H, HE P, SHAO L. Ammonia volatilization, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from landfill leachate-irrigated soils [J]. *Waste Management*, 2009, 30(1): 119-124.
- [17] DOBBIE K, SMITH K. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N<sub>2</sub>O emissions from an imperfectly drained gleysol [J]. *European Journal of Soil Science*, 2001, 52(4): 667-673.
- [18] 叶欣, 李俊, 王迎红, 等. 华北平原典型农田土壤氧化亚氮的排放特征 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1186-1191.
- [19] 黄丽华, 沈根祥, 顾海蓉, 等. 肥水管理方式对蔬菜田 N<sub>2</sub>O 释放影响的模拟研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(6): 1319-1324.
- [20] 郑循华, 金继生. 华东稻麦轮作生态系统的 N<sub>2</sub>O 排放研究 [J]. *应用生态学报*, 1997, 8(5): 495-499.

## Daily change of nitrous oxide emission from vegetable system

QIU Wei-hong LIU Jin-shan HU Cheng-xiao SUN Xue-cheng TAN Qi-ling  
*College of Resources and Environmental Sciences,*  
*Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** Undisturbed soil monolith lysimeters were conducted to study daily nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission and its relationship with soil temperature and water content in a continuous vegetable cropping system in Wuhan. Results showed that N<sub>2</sub>O daily emission increased with the increase of soil temperature and the peak emission occurred at the highest temperature when soil moisture was relatively stable. However, when soil moisture changed rapidly in one day, the peak emission of N<sub>2</sub>O occurred at appropriate soil moisture and relatively high soil temperature, meaning that both soil moisture and temperature affected the daily change of N<sub>2</sub>O emission in this vegetable system. Nitrogen fertilizer was found to be another important factor in affecting daily N<sub>2</sub>O emission.

**Key words** N<sub>2</sub>O; greenhouse gas; vegetable cropping system; monolith lysimeter

(责任编辑:张志钰)