

苗期玉米、大豆在土壤-植物系统 N_2O 排放中的贡献

李玥莹^{1,2}, 陈冠雄^{1*}, 徐慧¹, 张颖¹, 张旭东¹ (1. 中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态过程重点实验室, 沈阳 110016; 2. 沈阳师范大学生物系, 沈阳 110034)

摘要:为区分植物在土壤-植物系统 N_2O 排放中的贡献, 用封闭式箱法对在温室内砂培和土培的玉米、大豆幼苗及砂土、砂-植物系统、土壤-植物系统的 N_2O 排放进行了测定, 同时对植物 N_2O 排放与植物叶片中的硝酸还原酶(NR)活性及 $NO_3^- - N$ 、 $NO_2^- - N$ 含量的关系进行了分析. 结果表明: 在53d的观测期内, 玉米、大豆幼苗本身均可排放 N_2O , 且在土壤(砂)-植物系统的 N_2O 排放中占有很大份额(79.18%~100%); 植物 N_2O 的排放与植物叶片的硝酸还原酶活性和 $NO_3^- - N$ 、 $NO_2^- - N$ 的含量显著正相关($R^2 \geq 0.97$, $n=6$).

关键词: N_2O 排放通量; 玉米; 大豆; 土壤-植物系统

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)06-05-0038

The Contribution of Maize and Soybean to N_2O Emission from the Soil-Plant System During Seedling Stage

Li Yueying^{1,2}, Chen Guanxiong^{1*}, Xu Hui¹, Zhang Ying¹, Zhang Xudong¹ (1. The Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Department of biology of Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China)

Abstract: To fractionate the contribution of plant to N_2O emission from soil-plant system, the N_2O emissions from soybean seedling, maize seedling, sand, soil, sand-plant system and soil-plant system were measured by closed chamber method in greenhouse. At the same time the correlation of plant N_2O emission with nitrate reductase activity, nitrate content and nitrite content of the plant leaves was also analyzed. The results clearly indicated that N_2O could be a by-product of plant metabolism. The emissions of N_2O from maize and soybean accounted for 93%~100% of the total N_2O emissions in the sand-plant systems, and 79.18%~92% in the soil-plant systems. The flux of plant N_2O emission was significantly correlated($R^2 \geq 0.97$, $n=6$) with the nitrate reductase activities, nitrate content and nitrite content of the maize and soybean leaves.

Keywords: N_2O emission; maize; soybean; soil-plant system

N_2O 是一种重要的温室气体, 其单分子的增温潜势是 CO_2 的 200~300 多倍^[1]. N_2O 不仅具有“温室效应”, 而且还能与平流层的 O_3 分子发生光化学反应而使平流层的 O_3 层受到破坏^[2]. 大气 N_2O 的浓度已经由工业化前的 $0.275 \mu L \cdot L^{-1}$ 上升到现在的 $0.312 \mu L \cdot L^{-1}$, 并以年均增长 0.25% 的速度增加^[3]. 据政府间气候变化委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的多年评估报告^[4~7], 全球 N_2O 源汇之间不平衡, 在每年向大气排放的 N_2O 中约有 40%~50% 来源不明, 说明或者对

某些已知源的强度估计偏低, 或者有重要的源未被发现. 因此, 为减小全球 N_2O 源汇估算的不确定性, 发现新的排放源, 重新评估已知源的强度很有必要. 1999 年在日本筑波举行的“ N_2O 源汇现状分析国际研讨会”认为, 陆地生态系统 N_2O 排放强度可能被低估了. 国内外对陆地生态系统, 包括农田、森林、湿地和草地土壤的

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30270131); 中国科学院“百人计划”项目

作者简介: 李玥莹(1966~), 女, 博士后, 副教授, 主要从事植物生理及温室气体的产生排放机理及调控研究.

收稿日期: 2003-02-20; 修订日期: 2003-06-05

* 联系人

N_2O 排放已有大量报道,但对于陆地生态系统的另一重要组分——植物在 N_2O 排放中的作用,除对水稻进行过较多的研究,明确可以传输土壤产生的 N_2O 外^[8,9],其他植物还少有研究。陈冠雄等(1990)^[10]首次报道了植物本身可释放 N_2O 。随后,李楠、陈冠雄^[11]用田间整株小麦做实验发现 N 肥的增加可使小麦释放 N_2O 增强;于克伟等^[12,13]对几种旱地农作物在农田 N_2O 释放中的作用及环境因素的影响进行了研究;陈欣^[14]利用交叉培养法对玉米、大豆、高粱幼苗的 N_2O 释放量进行了研究;张秀君^[15]、徐慧^[16,17]等对树木在自然状态下 N_2O 的排放作了报道,但有关植物在土壤-植物系统 N_2O 排放中的贡献并未有系统的报道。

本文利用砂培及土培的方法对温室内砂培和土培的玉米、大豆幼苗及砂、砂-植物系统、土-土壤-植物系统的 N_2O 排放进行了测定,以区分在苗期这 2 种作物在土壤-植物系统 N_2O 排放中的贡献,同时对 N_2O 的排放通量与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的含量和硝酸还原酶(Nitrate Reductase, NR)活性的关系进行了分析,对植物排放 N_2O 的机理进行初步探讨。

1 材料与方法

1.1 供试材料

大豆品种辽豆 11、玉米品种辽单 36,由辽宁省农科院提供。

1.2 实验方法

(1) 砂培幼苗 将河砂过 1 mm 筛,经酸洗后反复冲洗至 $\text{pH} > 6.5$,烘干(100℃),每盆(内径 15 cm,高 17 cm)装河砂 4 kg,播种前浇灌 700 mL 灭过菌的 Hogland 营养液^[18],每盆育 10 株幼苗,玉米及大豆各育苗 10 盆,同时有 3 盆不种种子,用做空白对照。营养液每 3 d 灭菌 1 次,每 5 d 每盆浇 50 mL 营养液 1 次。待幼苗长到 2 叶 1 心期时,测定幼苗、砂、砂-植物系统 N_2O 的排放通量,测定频度每周 1 次。

(2) 土培幼苗 土壤(草甸棕壤)取自中国科学院沈阳生态站,过 2 mm 筛后装盆,每盆(内径 15 cm,高 17 cm)装土 3.7 kg,每盆育 10 株幼

苗,玉米及大豆各育苗 10 盆,同时有 3 盆不种种子,用做空白对照。播种前浇灌 500 mL 灭过菌的 Hogland 营养液,营养液每 3 d 灭菌 1 次,每 5 d 每盆浇 50 mL 营养液 1 次。待幼苗长到 2 叶 1 心期时,开始测定幼苗、土壤-土壤-植物系统 N_2O 的通量,测定频度每周 1 次。

(3) 幼苗 N_2O 排放通量测定的处理 测定前将幼苗从盆钵中取出,注意勿伤根系。用蒸馏水冲洗根部,置于无菌 Hogland 营养液中培养 12 h,以排除可能积存在植物体内的 N_2O ,然后测定 N_2O 的排放通量。

(4) N_2O 通量的测定 采用封闭式箱法(closed chamber method)。箱体用透明有机玻璃制作,封闭 40 min 后采气体样品,分别在封闭 20 min、30 min、40 min、50 min、60 min 后采气体样品进行测定, N_2O 浓度在 40 min 之前随着测定时间的增加而线性增加,50 min 后 N_2O 的浓度随测定时间的增加反而下降,故此实验时测定时间选用 40 min。气样中的 N_2O 浓度用配有电子捕获检测器(ECD)的岛津 GC-14A 气相色谱分析仪进行测定。检测器、分离柱和进样口温度分别为 300、60 和 100℃,分离柱的填充料为 Porapak Q,载气为 90% 氩气和 10% 甲烷的混合气。 N_2O 浓度用国家标准物质中心提供的标气标定。

按公式 $F = \Delta m / A \times \Delta t = \rho \times V \times \Delta c / A \times \Delta t = \rho \times h \times \Delta c / \Delta t$ 计算 N_2O 排放通量。式中, F 是气体通量, ρ 是气体密度, Δm 和 Δc 分别是 Δt 时间内采集箱内增加的气体质量和混合比浓度, h 、 A 和 V 分别是采集箱内有效空间的高、底面积和体积。

(5) 硝酸还原酶活性的测定采用比色法^[18]

(6) 植株 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量的测定采用比色法^[19]。

2 结果与讨论

2.1 砂培幼苗在砂-植物系统中的贡献

自 2 叶 1 心期起,每隔 1 星期测定 N_2O 的排放量,结果见表 1。

从表 1 可见大豆、玉米 2 种植物在苗期 N_2O 的释放速率的变化具有相似的规律性:幼

表 1 砂培玉米、大豆幼苗 N₂O 排放量在砂-植物系统中的贡献¹⁾

Table 1 The contribution of maize and soybean seedling to N₂O emission from the sand-plant system

生长阶段 Growing stage	N ₂ O 释放速率/ $\mu\text{g}\cdot(\text{盆}\cdot\text{h})^{-1}$ N ₂ O emission rates/ $\mu\text{g}\cdot(\text{pot}\cdot\text{h})^{-1}$					贡献率/% the rate of contribution/%		
	砂 sand	玉米 maize	玉米-砂 系统 maize sand system	大豆 soybean	大豆-砂系统 soybean sand system	砂在砂-玉米 (大豆)系统 中的贡献 the contribution of sand in sand- maize (soybean) system	玉米在砂- 植物系统 中的贡献 the contribution of maize in sand- maize system	大豆在砂- 植物系统中 的贡献 the contribution of soybean in sand- soybean system
18 d (2 叶 1 心期)	0	0.152	0.157	0.161	0.168	0(0)	96.82	95.83
25 d (3 叶 1 心期)	0.001	0.241	0.239	0.278	0.268	0.41(0.37)	100	100
32 d (4 叶 1 心期)	0.0015	0.275	0.297	0.286	0.292	0.51(0.51)	92.59	97.94
39 d (4 叶 1 心期)	0.0013	0.344	0.349	0.352	0.384	0.38(0.34)	98.56	91.67
46 d (5 叶 1 心期)	0.0016	0.421	0.437	0.498	0.492	0.37(0.33)	96.34	100
53 d (5 叶 1 心期)	0.0019	0.542	0.564	0.578	0.586	0.34(0.33)	96.10	98.63

1) 表中数据为 3 次测定的平均值

苗生长 18 d(2 叶 1 心期)时, N₂O 的释放速率较小,随着植物的生长发育而呈上升趋势,到 4 叶 1 心期 N₂O 的排放速率达到一个释放高峰,而后趋于略有上升的平稳状态,而到了苗龄 53 d 5 叶 1 心期), N₂O 的释放速率达到最高. N₂O 的释放速率表现的这种规律可能与植物的生长发育及对 N 素的吸收特点有关.幼苗生长早期阶段,植株幼小,生长缓慢,对 N 素的吸收量较少, N₂O 的释放量较小,随着植物营养体的生长, N 素的吸收也不断增加, N₂O 的释放速率逐渐增大,到了 5 叶 1 心期,出现一个排放高峰.

表 1 结果还表明:灭过菌的砂子在实验期内没有或有极少量的 N₂O 排放,植物本身与植物-砂系统所释放的 N₂O 量基本相同.这表明砂培植物 N₂O 的排放主要来源于植物而非其他过程.本研究再一次充分证明植物在正常条件下能释放 N₂O.

2.2 土培幼苗在土壤-植物系统 N₂O 排放中的贡献

表 2 的结果显示,土培的玉米及大豆苗期的 N₂O 排放与上面提到的变化规律相似.同砂培一样,这组实验中所用的土壤并未施任何肥料,营养的主要来源是每隔 5 d 浇 1 次灭过菌的营养液.表 2 结果表明土壤 N₂O 的释放量占土

壤植物系统 N₂O 释放量的 11.25 % ~ 48.73 %,植物本身 N₂O 的排放量占土壤-植物系统 N₂O 释放量的 79.10 % ~ 92.64 %.土壤-植物系统 N₂O 释放量并不是土壤自身与植物自身 N₂O 释放量的简单加和.具体来源还有待于今后进一步研究.

2.3 玉米及大豆 N₂O 排放速率与叶片硝酸还原酶活性的关系

硝酸还原酶 (NR) 是植物 N 代谢中十分重要的酶.从图 1 可见,大豆及玉米幼苗 N₂O 的释放速率同 NR 的活性呈正相关关系(R² > 0.96).随着 NR 活性的增加, N₂O 的释放速率

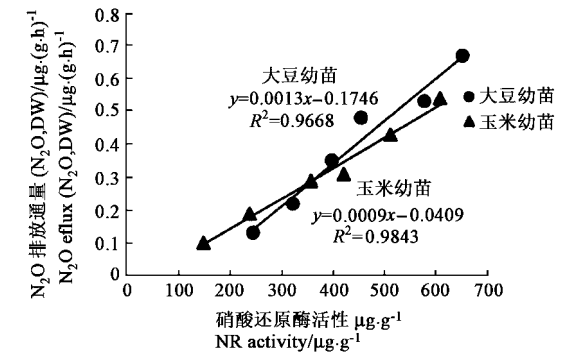


图 1 玉米、大豆 N₂O 的排放通量与叶片硝酸还原酶活性的关系

Fig. 1 Correlation between N₂O emission and NR activity in the leaves of maize and soybean seedlings

表 2 土培玉米大豆幼苗 N₂O 的排在土壤-植物系统中的贡献¹⁾

Table 2 The contribution of maize and soybean seedling to N₂O e emission from the soil-plant system

生长阶段 Growing stage	N ₂ O 释放速率/μg·(盆·h) ⁻¹ N ₂ O e emission rates/μg·(pot·h) ⁻¹					贡献率 / % the rate of contribution / %		
	土壤 soil	玉米 maize	玉米-土壤系统 maize-soil system	大豆 soybean	大豆-土壤系统 soybean-soil system	土壤在土壤-玉米(大豆)系统中的贡献 the contribution of soil in soil-plant system	玉米在土壤-植物系统中的贡献 the contribution of maize in soil-maize system	大豆在土壤-植物系统中的贡献 the contribution of soybean in soil-soybean system
18 d (2 叶 1 心期)	0.096	0.156	0.197	0.164	0.192	48.73(50.00)	79.18	85.42
25 d (3 叶 1 心期)	0.083	0.261	0.321	0.237	0.262	25.86(31.68)	81.31	90.46
32 d (4 叶 1 心期)	0.091	0.311	0.355	0.267	0.299	25.64(30.43)	87.61	89.30
39 d (4 叶 1 心期)	0.079	0.358	0.516	0.354	0.392	15.31(20.15)	69.37	90.31
46 d (5 叶 1 心期)	0.084	0.453	0.489	0.448	0.506	17.18(16.60)	92.64	88.54
53 d (5 叶 1 心期)	0.068	0.518	0.604	0.501	0.584	11.25(11.64)	85.76	85.78

1) 表中数据为 3 次测定的平均值

也增加.其原因是 NR 活性高,吸收的无机 N 增多,从而促进 N₂O 的释放.

2.4 玉米及大豆 N₂O 释放速率与植物叶片 NO₃⁻-N 及 NO₂⁻-N 的关系

图 2、图 3 显示了在相同的 N 供给水平条件下,2 种植物叶片 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 变化情况与 N₂O 排放量的关系.植物叶片 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 浓度变化均与其 N₂O 释放强度呈正相关关系,R² 均在 0.97 以上,达到显著或极显著水平.由此可以证明作物释放 N₂O 的强度与体内 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 的积累有密切关系.

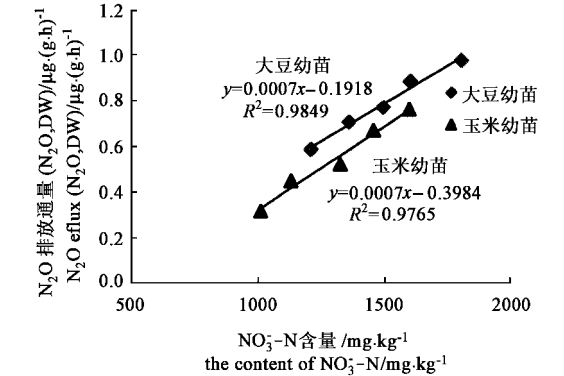


图 2 玉米 大豆幼苗 N₂O 排放通量与植物叶片 NO₃⁻-N 含量的关系

Fig. 2 Correlation between N₂O e emission and the NO₃⁻-N content in the leaves of maize and soybean seedlings

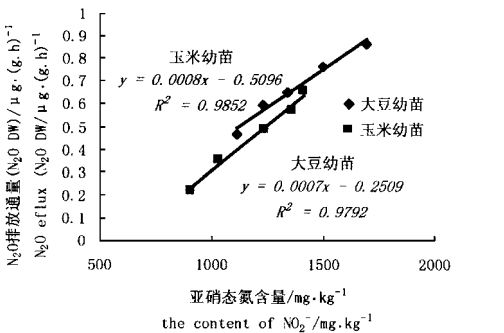


图 3 玉米 大豆幼苗 N₂O 排放通量与植物叶片 NO₂⁻-N 含量的关系

Fig. 3 Correlation between N₂O e emission and the NO₂⁻-N content in the leaves of maize and soybean seedlings

3 结论

(1)在自然状态下,大豆、玉米幼苗本身的 N₂O 排放量在土壤-植物系统中占有很大的份额(79.18 % ~ 100 %),说明植物可能是大气 N₂O 的一个不可忽视的排放源,以往可能低估了陆地生态系统的 N₂O 排放强度.

(2)玉米、大豆幼苗的 N₂O 的排放速率与叶片内的硝酸还原酶活性及 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量呈显著正相关关系,说明 N₂O 的排放是在体内正常代谢的过程中产生的,其详细代谢机理需进一步进行研究.

参考文献:

- 1 IPCC. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. New York: Cambridge University Press, 1996.
- 2 Knowles R. Denitrification. Microbiol. Rev., 1982, 6(1): 47 ~ 47.
- 3 IPCC. Climate change 2001-Synthesis Report: Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2001.
- 4 IPCC. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Edited by J Penman, D Kruger, I Galbally, T Hiraishi, B Nyenzi, S Emmanuel, L Buendia, R Hoppaus, T Martinsen, J Meijer, K Miwa and K Tanabe. The Institute for Global Environmental Strategies, Japan. 2000.
- 5 IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Paris: The Organ. Eco. Coop. Dev., 1997.
- 6 IPCC. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. London: Cambridge University Press, 1996.
- 7 IPCC. Climate Change: The IPCC scientific assessment. Edited by J T Hopkins, G J Jendins & J J Ephraum. Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/ UNEP, Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- 8 Mosier A R, Mohanty S K, Bhadrachalan A, Chakravorti S P. Evolution of dinitrogen and nitrous oxide from the soil to the atmosphere through rice plants. Bio. Fertil. Soils., 1990, 9(1): 61 ~ 67.
- 9 Yu K W, Wang Z P, Chen G X. Nitrous oxide and methane transport through rice plants. Biol. Fertil. Soils., 1997, 24: 341 ~ 343.
- 10 陈冠雄, 商曙辉, 于克伟等. 植物释放氧化亚氮的研究. 应用生态学报, 1990, 1(1): 94 ~ 96.
- 11 李楠, 陈冠雄. 植物释放 N_2O 速率及施肥的影响. 应用生态学报, 1993, 4(3): 295 ~ 298.
- 12 于克伟, 陈冠雄, 杨思河等. 几种旱地农作物在农田 N_2O 释放中的作用及环境因素影响. 应用生态学报, 1995, 6(4): 387 ~ 384.
- 13 于克伟, 黄斌, 陈冠雄等. 田间大豆植株 N_2O 通量的测定及光照的影响. 应用生态学报, 1997, 8(2): 171 ~ 176.
- 14 陈欣, 沈善敏, 张璐, 吴杰. 交叉培养法研究养分对作物幼苗释放 N_2O 的影响. 应用生态学报, 1997, 8(2): 177 ~ 180.
- 15 张秀君, 徐慧, 陈冠雄. 树木 N_2O 排放速率的测定. 植物生态学报, 2002, 26(5): 538 ~ 524.
- 16 徐慧, 张秀君, 韩士杰, 王营, 陈冠雄. 自然状态下树木排放 N_2O 的研究. 环境科学, 2001, 22(5): 7 ~ 11.
- 17 Hui Xu, Bin Huang, XiuJun Zhang, Shijie Han, Guohong Huang, Guanxiong Chen. Above-ground vertical concentration profiles of nitrous oxide within coniferous-deciduous mixed forests. Chemosphere- Global Change Science 3, 2001, 145 ~ 146.
- 18 张宪政, 陈凤玉, 王荣富等. 植物生理学实验技术. 沈阳. 辽宁科学技术出版社, 1994. 60 ~ 62.
- 19 中华人民共和国国家标准. GB/ T 1540 ~ 94.