

# 原位条件下不同土壤中 $N_2O$ 的通量

李良谟 伍期途 李振高 潘映华

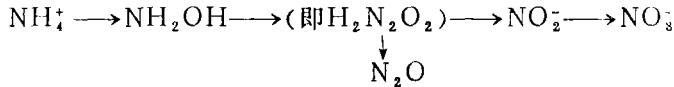
(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

本文研究了原位条件下3种土壤中氧化亚氮的通量。结果表明,湖积物发育的潜育性水稻土施用硝酸铵时,水稻苗期土壤释放氧化亚氮的通量为5.71微克N/平方米·秒;第四纪红色粘土发育的红壤性水稻土(潜育性)和黄泛沉积物发育的淹育性水稻土(石灰性)施用硝酸钾时,水稻苗期土壤释放氧化亚氮的通量分别为9.57和1.53微克N/平方米·秒。湿润条件下,石灰性水稻土硝化过程释放氧化亚氮的通量为1.75微克N/平方米·秒。

土壤中氧化亚氮的形成,不仅造成肥料氮素的损失,而且还会增加同温层中该气体的浓度,破坏臭氧层,从而降低其对紫外线辐射的阻挡,危害作物和人类健康;对地热平衡也有一定的影响<sup>[1, 2]</sup>。由于氧化亚氮对人类的危害较大,因而引起研究者的极大重视,对其形成机制和不同生态系中氧化亚氮的释放量,尤其是关于土壤原位条件下氧化亚氮的释放量及其生态效应问题<sup>[3]</sup>,进行了广泛研究。

反硝化过程是产生氧化亚氮的主要原因这已是众所周知的事了。70年代人们又证实了铵在氧化过程中亦形成氧化亚氮,其反应式为<sup>[4]</sup>:



近年来在这方面的研究较为活跃<sup>[5]</sup>。

本工作在盆栽条件下原位研究了儿种土壤在淹水种稻和旱地不种作物时,氧化亚氮的释放量及其影响因素。

## 一、材料和方法

(一)供试土壤 供试土壤系采自江苏省丹阳县国营练湖农场的湖积物发育的潜育性水稻土;中国科学院江西鹰潭红壤生态实验站的红壤性水稻土(潜育性)和中国科学院河南封丘农业生态实验站的石灰性水稻土。

(二)原位条件下收集土壤气体的装置和方法 采用密闭体系<sup>[6]</sup>。

(三)水稻盆栽试验 将供试土壤风干、敲碎后,称取6公斤与1.9克 $KH_2PO_4$ 充分拌匀,将其装入已置于盆钵中的有机玻璃圆筒内,土面距筒口15厘米,淹水,浸泡1—2天后插秧,每盆4穴,每穴3株,重复6盆。秧苗返青后表施 $NH_4NO_3$ (或 $KNO_3$ ),用量为2.5克氮/6公斤土,立即搅拌表层土壤,使肥料与土壤混合。施肥后2天开始逐日采集气体样品,测定 $N_2O$ 的释放量。试验过程按常规管理盆栽试验。

(四)旱地盆栽试验 将处理过的8公斤石灰性水稻土装入已置于盆钵中的有机玻璃圆筒内、外,按土壤最大持水量的60%加入自来水,注意使筒外土壤紧贴筒壁,以防筒内气体沿

筒外壁逸出。再将另外5公斤土壤与1.9克磷酸二氢钾和15.3克硫酸铵(相当于1.5克氮/6公斤土)充分混合,然后倒入圆筒内,亦按其最大持水量的60%调节含水量,待平衡后,插入负压计,试验过程中随时补充损失的水分,使负压计维持在33.3—53.3kPa。定期采取气体样品测定 $N_2O$ 的通量。

(五)培育试验 是上述盆栽试验的补充,借以研究:1.不同土壤的硝酸还原酶活性<sup>[7]</sup>;2.碳源对石灰性水稻土中硝酸还原酶活性的影响<sup>[7]</sup>,试验分加葡萄糖(1%)和不加两种处理;3.比较不同土壤在硝化过程中 $N_2O$ 形成量。称取10克2毫米筛的土样于血清瓶中,加入硫酸铵溶液,用量为25毫克氮/100克土,调节土壤含水量至最大持水量的60%,瓶口塞以双重橡皮塞,置恒温室培养,定期测定血清瓶内气相中 $N_2O$ 的浓度。每次测定后注入1毫升空气,以补充氧气;4.乙炔对硝化过程形成 $N_2O$ 的抑制作用。方法同3,试验分加乙炔(1% V/V)和不加两种处理。

### (六)氧化亚氮的测定<sup>[7]</sup>

前述(二)、(三)、(四)、(五)项中有关原位条件下气体收集和测定 $N_2O$ 方法 详见参考文献<sup>[6]</sup>和<sup>[7]</sup>。

## 二、结果与讨论

### (一)淹水种稻条件下 $N_2O$ 的释放量

在湖积物发育的潜育性水稻土上施用 $NH_4NO_3$ ,水稻苗期进行的原位取样测定结果表明,密闭室中 $N_2O$ 的浓度随密闭时间延长而渐增(图1)。根据密闭不同时间密闭室中 $N_2O$ 浓度的变化,计算此期间其通量的变化列于表1。测定数值的变幅为1.40—11.1微克 $N_2O-N$ /平方米·秒,平均通量为 $5.71 \pm 1.75$ 微克 $N_2O-N$ /平方米·秒( $n=198$ )。其通量似有随密闭时间而下降的趋势,这可能与一定时间内密闭室中气体扩散流动趋于平衡有关;亦或许由于本试验没有通入乙炔,在淹水条件下,一边生成 $N_2O$ ,又一边还原为 $N_2$ 的缘故。在Hauck的综合中亦曾论及应用密闭体系测定 $N_2O$ 时,随密闭时间的延续而改变了 $N_2O/N_2$ 的比例<sup>[8]</sup>。因为本试验所用仪器的灵敏度低,缩短密闭时间, $N_2O$ 累积的浓度过低,仪器无法反应。若改用灵敏度高的气相色谱仪,以密闭较短时间为宜。

据报道,氮肥混施作基肥者,其氮素损失几乎全部发生在施肥后的9天之内<sup>[9]</sup>,故本试验在连续11天(6月7日——6月18日)取样测定后,即施肥13天后不再继续测定。本试验土壤面积约0.038平方米,施氮量相当于65.8克N/平方米。按上述 $N_2O$ 通量进行计算,则11天逸出的 $N_2O-N$ 占施入氮量的8.6%。本试验所得 $N_2O$ 通量大于已报道的淹水条件下的最大通量<sup>[10]</sup>,可能由于是在盆栽原位条件下的测定值。

在红壤性水稻土上施用 $KNO_3$ ,水稻苗期进行的原位取样测定结果是, $N_2O$ 通量的变幅为0.2—27微克N/平方米·秒,平均值为 $9.57 \pm 7.70$ 微克N/平方米·秒。据此计算,11天内以 $N_2O$ 损失的氮素占加入氮量(6.58克N/平方米)的13.8%,其量大于湖积物发育的潜育性水稻土。其

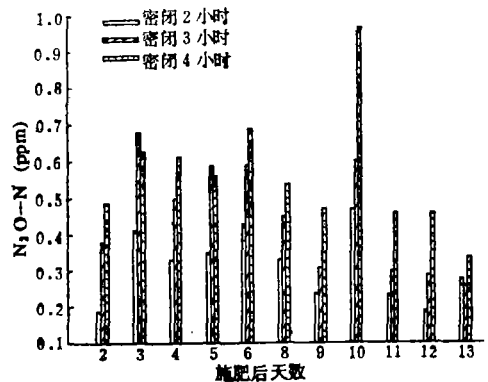


图1 密闭时间对密闭室中 $N_2O-N$ 浓度的影响

原因除了与土壤性质不同有关外,与供试肥料种类也很有关系,湖积物发育的潜育性水稻土施用的是  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,红壤性水稻土用的则是  $\text{KNO}_3$ ,在等氮量情况下,后者提供了较多的电子受体,在能源充足时,更有利于反硝化作用的进行。

在石灰性水稻土上施用  $\text{KNO}_3$ ,测得  $\text{N}_2\text{O}$  通量的平均值只有  $1.53 \pm 0.44$  微克  $\text{N}/\text{平方米} \cdot \text{秒}$ ,其量远低于红壤性水稻土,原因之一在于石灰性水稻土的硝酸还原酶活性小于后者(表2);原因之二可能与石灰性水稻土缺乏有机质(特别是可利用的碳源)有关。前述两种土壤中有有机质含量(C%)分别为1.50%和1.14%,石灰性水稻土中有有机质含量只有0.43%。经培育试验证明,石灰性水稻土加入可利用的碳源(葡萄糖)后,反硝化活性明显增加(表3)。

### (二)土壤硝化过程释放的 $\text{N}_2\text{O}$

培育试验表明,在土壤含水量为最大持水量的60%时,施入土壤中的硫酸铵经硝化作用产生了  $\text{N}_2\text{O}$ ,其量因土壤性质而异,由图2看出,红壤性水稻土在培育过程中不形成  $\text{N}_2\text{O}$ ,这与该土壤硝化活性弱的结果相一致[11]。石灰性水稻土在培育的第2天即出现  $\text{N}_2\text{O}$ ,没有滞后期,在培育1周后,  $\text{N}_2\text{O}$  的产生量即趋恒定。湖积物发育的潜育性水稻土则培育至第5天时,方出现  $\text{N}_2\text{O}$ ,有明显的滞后期,5天以后,随培养时间的延长,硝

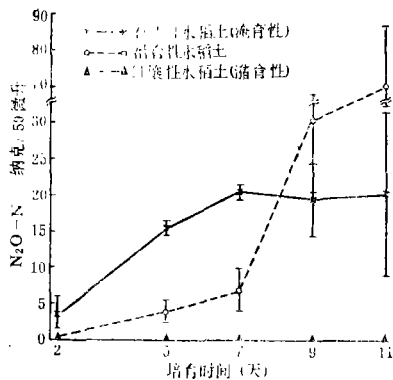


图2 不同土壤硝化过程形成的  $\text{N}_2\text{O}$

表1 密闭时间对通量的影响  
(微克  $\text{N}_2\text{O}-\text{N}/\text{平方米} \cdot \text{秒}$ )

施肥后 天数	密闭时间		
	2小时	3小时	4小时
2	$3.62 \pm 2.04$	$1.31 \pm 1.53$	$1.50 \pm 1.56$
3	$7.78 \pm 1.72$	$9.75 \pm 0.92$	$5.88 \pm 1.80$
4	$6.33 \pm 1.85$	$6.05 \pm 4.71$	$5.78 \pm 2.98$
5	$6.55 \pm 2.34$	$7.22 \pm 3.15$	$5.77 \pm 3.01$
6	$8.23 \pm 1.74$	$7.43 \pm 2.62$	$6.83 \pm 2.25$
8	$6.43 \pm 1.14$	$5.76 \pm 1.79$	$5.43 \pm 2.25$
9	$4.67 \pm 0.72$	$3.86 \pm 1.12$	$1.63 \pm 1.57$
10	$9.25 \pm 1.41$	$7.57 \pm 2.25$	$9.04 \pm 2.47$
11	$4.67 \pm 1.14$	$3.90 \pm 1.59$	$1.10 \pm 1.51$
12	$3.47 \pm 1.12$	$3.63 \pm 1.11$	$4.57 \pm 1.14$
13	$5.27 \pm 4.81$	$2.93 \pm 1.05$	$3.40 \pm 0.77$

注:  $n=6$

表2 两种土壤的硝酸还原酶活性比较  
(释放的  $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$  占加入  $\text{N}\%$ )

土壤	培育天数		
	2天	5天	7天
石灰性水稻土	12.2A	19.8A	30.3A
红壤性水稻土	26.8B	52.4B	85.6B

注:用新复级差法统计,处理间差异显著( $P < 0.01$ ),下同。

表3 葡萄糖对石灰性水稻土  
反硝化活性的影响  
(释放的  $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$  占加入  $\text{N}\%$ )

处理	培育天数		
	2天	4天	6天
土壤 + $\text{KNO}_3$	11.8a	19.1A	27.3A
土壤 + $\text{KNO}_3$ + 1%葡萄糖	18.8b	40.4B	79.6B

化过程形成的  $\text{N}_2\text{O}$  量渐增,至11天时  $\text{N}_2\text{O}$  形成量远大于石灰性水稻土。由此看来,湖积物发育的潜育性水稻土在种稻和旱地情况下,经硝化和反硝化作用都产生数量不小的  $\text{N}_2\text{O}$ ,值得进一步研究。

与此同时,在相同条件下用石灰性水稻土进行了加乙炔与否的另一组培育试验,以检验测得的  $\text{N}_2\text{O}$  是否由硝化过程所形成。表4表明,加乙炔的处理各次测定均不见形成  $\text{N}_2\text{O}$ ,再次证明乙炔抑制硝化作用;因此,不加乙炔的处理所产生的  $\text{N}_2\text{O}$ ,来源于铵的氧

化过程。

在石灰性水稻土上施用硫酸铵，进行旱地盆栽试验，原位测定的结果表明， $N_2O$ 通量的变幅在0.3—2.7微克/平方米·秒之间，平均值为 $1.75 \pm 0.90$ 微克N/平方米·秒。结合前述水稻试验结果来看，石灰性水稻土在种水稻时的 $N_2O$ 通量与旱地不种植物时的相近。由于该种土壤质地轻，硝化作用强<sup>[12]</sup>，一方面形成的 $NO_3^-$ -N易于淋失；另一方面硝化过程中产生相当数量的 $N_2O$ ；还有氨的挥发损失。因此，从定量上研究这种土壤中氮素损失途径的相对重要性和影响因素，具有明确的生态学意义和实际意义，需要综合研究。

表 4 乙炔对硝化过程产生 $N_2O$ 的抑制作用  
(释放的 $N_2O$ -纳克/50微升)

处 理	培 育 天 数		
	4 天	6 天	8 天
土 + 硫酸铵 + 乙炔	0	0	0
土 + 硫酸铵	$10.8 \pm 5.09$	$16.0 \pm 0.98$	$17.2 \pm 9.10$

### 参 考 文 献

- [1] Crutzen, P. J. and Ehhalt, D., *Ambio*, 6: 112-117, 1977.
- [2] Yung, Y. L., Wang, W. C. and Lacin, A. A., *Geophys. Res. Lett.*, 3:619-621, 1976.
- [3] Goodroad, L. C. and Keeney, D. R., *J. Environ. Qual.*, 13: 448-452, 1984.
- [4] Bremner, J. M. and Blackmer, A. M., *Science*, 199(4326): 295-296, 1978.
- [5] Cates, R. L. and Keeney, D. R., *J. Environ. Qual.*, 16: 443-447, 1987.
- [6] 李良谟、伍期途、李振高、潘映华，原位土壤中 $N_2O$ 释放量的测定方法。土壤学报，第26卷，第3期，305—308页，1989。
- [7] 李良谟、伍期途、周秀如、李振高、潘映华，气相色谱测定 $N_2O$ 的方法及其应用。(程光伟、朱厚础、周方主编，分析微生物学专辑)。170—172页，科学出版社，1988。
- [8] Hauck, R. D., Field measurement of denitrification—An Overview. In "Field measurement of Dinitrogen fixation and Denitrification", Edited by R. D. Hauck and R. W. Weaver, Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, U. S. A. 1986.
- [9] 蔡贵信、朱兆良、朱宗武, A. C. F. Trevitt, J. R. Freney and J. R. Simpson. 水稻田中碳铵和尿素的氮素损失的研究。土壤，第17卷5期，225—229页，1985。
- [10] Knowels, R., Denitrification, *Microbiological Reviews*, 46: 43-70, 1982.
- [11] 潘映华、李良谟、伍期途、李振高，不同利用方式下红壤的硝化和反硝化活性研究。土壤，第23卷第4期，184—187页，1988。
- [12] 李良谟、藏双、周秀如、潘映华，西吡对硝化过程的抑制及其对微生物活性的影响。土壤学报，第18卷1期，58—70页，1981。