

玉米地土壤反硝化速率与 N_2O 排放通量的动态变化*

张玉铭 董文旭 曾江海

陈德立

(中国科学院石家庄农业现代化研究所 石家庄 050021) (澳大利亚墨尔本大学土地和食品资源研究所 维多利亚 3052)

摘要 应用乙炔抑制原状土柱培育法测定了4种施肥处理的玉米地N素反硝化损失速率和氧化亚氮(N_2O)排放通量,并分析了它们与土壤湿度、土壤温度以及硝态氮(NO_3^--N)含量之间的关系,计算了因反硝化和 N_2O 排放造成的N肥损失率。结果表明,玉米生育期内土壤N素的反硝化损失量为 $0.67\sim 3.85\text{kg}/\text{hm}^2$,N肥的反硝化损失率为 $0.5\%\sim 1.5\%$;土壤 N_2O 排放总量为 $0.55\sim 1.42\text{kg}/\text{hm}^2$,N肥的 N_2O 排放系数为 $0.2\%\sim 0.5\%$ 。

关键词 土壤N素 反硝化速率 N_2O 排放通量

Dynamic of denitrification rate and N_2O flux in maize field. ZHANG Yu-Ming, DONG Wen-Xu, ZENG Jiang-Hai (Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021), CHEN De-Li (Institute of Land and Food Resources, Melbourne University, Parkville 3052). *CJEA*, 2001, 9(4): 70~72

Abstract Denitrification rates and N_2O fluxes are measured by using the acetylene inhibition method on intact soil cores in different N-fertilized maize plots. The relationships among denitrification rate and N_2O flux with soil moisture, soil temperature and NO_3^--N concentration in soil are analyzed, and losses of N-fertilizer caused by denitrification and N_2O emission are calculated. The results show that denitrification loss from soil is $0.67\sim 3.85\text{kg}/\text{hm}^2$ during the growing period of maize, percentage of denitrification loss from N-fertilizer is $0.5\%\sim 1.5\%$, the total N_2O emission is $0.55\sim 1.42\text{kg}/\text{hm}^2$, and N_2O emission coefficient of N-fertilizer is $0.2\%\sim 0.5\%$.

Key words Soil nitrogen, Denitrification rate, N_2O flux

随着全球农业生产的发展,N肥施用量越来越大,但施入农田后损失严重,直接影响其增产效果和人类生存的环境质量。硝化、反硝化作用是自然界中N素循环的重要环节,是土壤脱N的重要途径,不仅影响N肥的利用效率,还是大气中温室效应气体 N_2O 的重要来源^[1,6~8]。农田土壤中施N肥引起的 N_2O 排放是大气 N_2O 浓度不断增加的重要因素,因此很有必要开展农田土壤 N_2O 减排措施的研究。国内关于此方面的研究工作多在室内进行,或利用N素平衡法间接推算。本试验应用乙炔抑制原状土柱培育法,田间原位动态监测玉米生育期间不同施肥处理农田土壤反硝化速率和 N_2O 自然排放通量的变化规律。并对土壤N素反硝化损失和 N_2O 排放总量进行估算,研究了土壤反硝化作用的强弱及其与土壤环境因子的关系,为合理的水肥管理措施,减轻氮氧化合物对环境的危害提供基本参数。

1 试验材料与方法

试验在中国科学院栾城农业生态系统试验站($\text{N}37^\circ53'$, $\text{E}114^\circ41'$)的养分平衡试验场内进行,种植制度为小麦-玉米轮作,每季作物秸秆直接还田。耕层土壤有机质含量为 $12\sim 13\text{g}/\text{kg}$,全N $0.8\sim 0.9\text{g}/\text{kg}$,碱解氮 $58\sim 60\text{mg}/\text{kg}$, P_2O_5 $20\text{mg}/\text{kg}$, K_2O $100\sim 120\text{mg}/\text{kg}$,pH为8.5,土壤容重 $1.402\text{g}/\text{cm}^3$ 。反硝化速率和 N_2O 排放通量的测定在4个不同N肥处理小区进行,分别为不施肥(对照,CK)、玉米季施入尿素折合纯N $100\text{kg}/\text{hm}^2$ (N_1)、 $200\text{kg}/\text{hm}^2$ (N_2)、 $300\text{kg}/\text{hm}^2$ (N_3)处理,各处理年纯P施用量均为 $65\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

采用乙炔抑制原状土柱培育法^[9],田间原位测定土壤和肥料的反硝化损失,不通入乙炔培育测 N_2O 排放量。盛放原状土柱的培育桶由直径为150mm、高150mm的PVC塑料管制成,下封底,盖与桶口之间封1个密封圈,盖的中心和桶侧面靠近底板处各有1个带橡皮塞的小圆孔。每个培育桶置放12根随机采自试验小区的直径15mm、长15mm的原状土柱,采好土柱后立即封盖固定紧密,通入1:9的乙炔-空气混合气体

* 澳大利亚 ACIAR 资助项目(LWR/96/164)、国家重大基础研究(973)规划项目(G1999011803)、“九五”中国科学院特别支持项目(KZ95T-04-01)和中国科学院重大项目(K951-A1-301)共同资助

收稿日期:2000-08-10 改回日期:2001-02-26

2min,乙炔气体通入培育桶之前先通过浓硫酸以除去丙酮和其他杂质。测定 N_2O 排放通量的则不通乙炔。之后将培育桶埋入实验地150mm深的土坑中并在桶上覆盖1层薄土培育24h,从桶中采集12mL气样贮存在10mL气密性真空瓶中。气样用气相色谱-电子捕获检测器测定 N_2O 浓度,色谱分离柱4m×4mm,填充PorapakQ(80~100目),柱温70℃,检测器温度300℃,高纯 $N(99.999\%)$ 为载气,流速20ml/min,气体进样量2mL。研究土壤 $NO_3^- - N$ 用酚二磺酸比色法测定,土壤含水量105℃烘干测定,土壤温度采用距试验地100m的气象观测场观测的0cm、5cm、10cm、15cm土层地温平均值。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理土壤 N_2O 排放通量变化规律

农田土壤排放的 N_2O 源于土壤N素的硝化($NH_4^+ \rightarrow NH_2OH \rightarrow N_2O \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$)和反硝化($NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$)过程^[3,4,7],农田土壤 N_2O 排放量等于硝化和反硝化过程排放的 N_2O 之和。本试验中

表1 不同施肥处理 N_2O 排放通量及反硝化速率 未充乙炔处理所测得的 N_2O 量代表 N_2O 自然排放量。图1a给出了玉米生育期内土壤 N_2O 排放通量的变化趋势,玉米生育期

处 理 Treatments	N_2O 排放通量/ $g \cdot hm^{-2} \cdot d^{-1}$ N_2O flux		反硝化速率/ $g \cdot hm^{-2} \cdot d^{-1}$ Denitrification rate	
	范围 Ranges	平均值 Average	范围 Ranges	平均值 Average
CK	1.5~66.5	7.07	1.5~52.0	9.373
N_1	2.0~119.2	10.29	3.2~136.0	35.829
N_2	2.3~143.3	8.24	1.5~150.5	18.811
N_3	1.7~171.5	15.51	2.0~287.8	44.500

内仅出现了1次 N_2O 排放高峰期,峰值范围66.5~171.5 $g/hm^2 \cdot d$,且峰值随施肥量的增加而渐增,施肥量最高的 N_3 处理峰值最高,为171.5 $g/hm^2 \cdot d$ 。施入土壤中N肥造成的 N_2O 排放期可维持14d左右,这一结果与Mahmood等的研究结果相似^[6]。由表1可知,玉米整个生育期内不同施肥处理 N_2O 排放通量平均值分别为对照7.07 $g/hm^2 \cdot d$ 、 N_1 10.29 $g/hm^2 \cdot d$ 、 N_2 8.24 $g/hm^2 \cdot d$ 和 N_3 15.51 $g/hm^2 \cdot d$ 。 N_2O 排放最高峰出现在拔节期施肥灌水后的第3~4d,施肥为硝化、反硝化过程提供了物质基础;浇水使土壤含水量迅速增加(达到土壤饱和含水量的97%),构成了嫌气状态的土壤微环境,促进了反硝化过程的进行,因而提高了 N_2O 排放通量。即使是未施肥的对照处理由于土壤含水量的迅速增加,也极大地促进了其反硝化损失和 N_2O 的排放。

2.2 不同施肥处理反硝化速率的动态变化

在土壤中充入乙炔可抑制硝化过程中 N_2O 的产生和反硝化过程中 N_2O 还原成 N_2 ^[10],因此土壤中充入乙炔所测得的 N_2O 量等于反硝化过程中所形成的 N_2O 量与 N_2 量之和,代表反硝化所造成的N素损失量。如图1b、表1所示,监测期间反硝化速率范围对照为1.5~52.0 $g/hm^2 \cdot d$ 、 N_1 为3.2~136.0 $g/hm^2 \cdot d$ 、 N_2 为1.5~50.5 $g/hm^2 \cdot d$ 和 N_3 为3.2~287.8 $g/hm^2 \cdot d$,由于施肥、灌水和降雨导致了2次反硝化损失高峰期,第1次出现在施肥灌水后的第3~4d,与土壤 N_2O 排放高峰期同步,峰值范围52.0~287.8 $g/hm^2 \cdot d$,且峰值随施肥量的增加而增加,反硝化速率最高峰出现在施肥量最高的 N_3 处理,其值为287.8 $g/hm^2 \cdot d$ 。第2次高峰期出现在降雨频繁的8月中旬,从第2个反硝化高峰期看出,降雨对无肥区反硝化过程影响不大,对施肥处理尤其是施肥量最高的 N_3 处理影响最大,这说明土壤湿度和 NO_3^- 含量均为影响反硝化过程的重要因子。在本试验中无N区 $NO_3^- - N$ 含量范围内只有当土壤含水量相当高(97%饱和含水量)时才会促进反硝化进程;而各施肥处理的 $NO_3^- - N$ 含量范围内土壤含水量仅达20% (相当于饱和含水量的65%)以上时即可对反硝化速率产生影响。

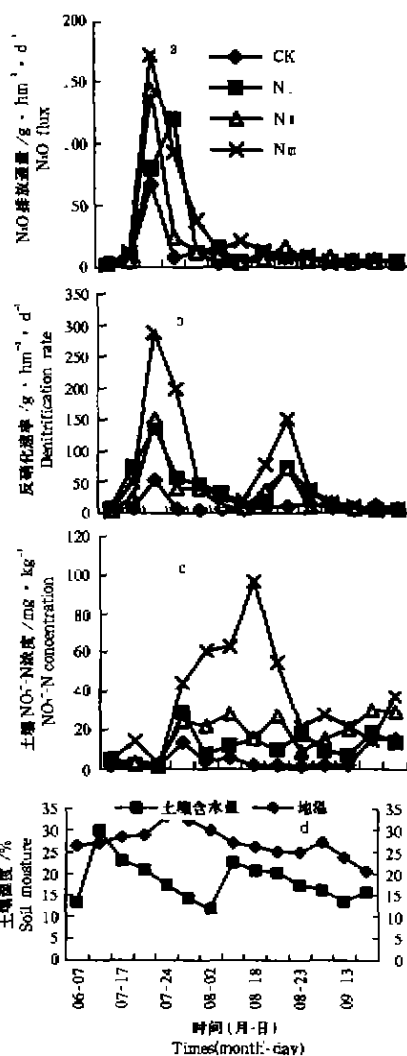


图1 土壤反硝化速率、 N_2O 排放通量与环境因素的关系(1999)

Fig.1 Relationship among denitrification rate, N_2O emission and environmental facts

2.3 环境因子对反硝化速率与 N_2O 排放通量的影响

对土壤含水量的影响研究表明,玉米生育期内灌水和降雨极大地促进了土壤反硝化过程和 N_2O 向大气的排放(见图 1a~d),灌水或降雨后第 3~8d 土壤反硝化速率达到最高峰,即每个反硝化高峰的出现与灌水或降雨之间存在一个滞后期^[5,10],这是由于建立一个适于反硝化微生物活性的最佳土壤微环境需要一定时间所致。研究结果表明,随施肥量的增加,灌水或降雨对土壤反硝化过程的影响加强。本试验土壤 NO_3^- -N 含量范围内土壤含水量越高,越有利于土壤 N 素反硝化作用的进行,但土壤含水量与反硝化速率、 N_2O 排放通量之间不存在线性相关关系。图 1a~c 表明,本试验土壤 NO_3^- -N 含量范围内 NO_3^- -N 含量的动态变化趋势与反硝化速率、 N_2O 排放通量的变化趋势并不一致,土壤 NO_3^- -N 含量越高越有利于土壤反硝化过程的进行和 N_2O 向大气的排放,而施肥处理中 NO_3^- -N 含量不是反硝化过程及 N_2O 排放的主要限制因子。许多报道认为反硝化速率在一定范围内与土壤中 NO_3^- -N 含量无关;但也有报道认为随土壤中氮化合物浓度的增加,N 素的反硝化损失量也增加;有的认为 NO_3^- -N 浓度只取决于土壤的反硝化潜力,而土壤反硝化的实际活性只在有利的生态环境中,即在有充足有效碳和低氧分压下才取决于 NO_3^- -N 的浓度^[6]。对土壤温度的影响研究结果(见图 1d)表明,观测期间正值高温多雨季节,土壤温度较高且变化缓慢,处于微生物生存的适宜范围,与土壤湿度比较,温度尚不是主要影响因素,这与衣纯真等^[7]试验结果较一致。

2.4 土壤 N 素反硝化损失量、 N_2O 排放量与施肥关系

农田土壤施 N 肥后可极大地促进 N 素的反硝化损失和农田 N_2O 排放,用数值积分法估算玉米生育期内土壤反硝化作用 N 素损失量及 N_2O 排放量,未施肥处理 N 素反硝化损失量为 $0.78\text{kg}/\text{hm}^2$,施 N 肥处理为 $2.0\sim 4.7\text{kg}/\text{hm}^2$;未施肥处理 N_2O 排放量为 $0.75\text{kg}/\text{hm}^2$,施 N 肥处理为 $0.88\sim 1.66\text{kg}/\text{hm}^2$,N 肥的反硝化损失和 N_2O 排放量随施肥量不同而有所差异。某一时期内因施肥造成的土壤 N 素反硝化损失量或 N_2O 排放量与未施肥处理比较增加的部分占施肥量的百分比为 N 肥反硝化损失率或 N 肥 N_2O 排放系数,本试验 N 肥反硝化损失率为 $0.6\%\sim 2.4\%$, N_2O 排放系数为 $0.06\%\sim 0.34\%$ 。硝化、反硝化过程造成的 N 素损失在 N 素肥料损失中所占比例较低,

不是 N 肥损失的主要途径,但它对环境造成的危害不容忽视。由表 2 可知,N 肥施用量对反硝化损失率和 N_2O 排放系数影响较大,试验结果表明,玉米生长期施尿素折合纯 N 量为 $200\text{kg}/\text{hm}^2$ 的处理通过硝化、反硝化造成的 N 素损失最低。

表 2 玉米生育期反硝化损失与 N_2O 排放总量

Tab. 2 Denitrification loss and N_2O emission during growing period of maize

处 理 Treatments	N_2O 排放量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ N_2O emission	反硝化损失量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ Denitrification loss	肥料损失量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ Nitrogen loss from fertilizer		肥料损失率/% Loss ratio of fertilizer	
			N_2O	N_2+N_2O	N_2O	N_2+N_2O
CK	0.75	0.78	—	—	—	—
N_1	1.10	3.19	0.34	2.41	0.34	2.41
N_2	0.88	2.01	0.12	1.24	0.06	0.62
N_3	1.66	4.76	0.90	3.98	0.30	1.33

3 小 结

本试验施肥处理土壤 NO_3^- -N 含量范围内影响农田 N 素反硝化损失和 N_2O 排放的环境因素中土壤湿度是主要因素,农事活动中主要影响因素是 N 肥施用量、施用方式和灌溉等。不同施肥处理 N 素硝化、反硝化损失以及 N_2O 排放量以 N_1 处理最高,这与土壤中有足够的 N 源有关,玉米生育期内反硝化损失和 N_2O 排放通量的测定结果表明,反硝化损失速率变化范围为 $9.93\sim 65.19\text{g}/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$,且随施肥量的变化而变化,土壤 N 素反硝化损失总量为 $0.67\sim 3.85\text{kg}/\text{hm}^2$,N 肥反硝化损失率为 $0.5\%\sim 1.5\%$, N_2O 排放通量变化范围为 $9.32\sim 27.86\text{g}/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$, N_2O 排放总量为 $0.55\sim 1.42\text{kg}/\text{hm}^2$,N 肥 N_2O 排放系数为 $0.2\%\sim 0.5\%$ 。

参 考 文 献

- 1 李亚星等.麦田土壤反硝化量与土壤含水量、温度、 NO_3^- -N 含量的关系.土壤水和养分的有效利用.北京:北京农业大学出版社,1994
- 2 衣纯真等.麦田反硝化速率变化研究.土壤水和养分的有效利用.北京:北京农业大学出版社,1994.126~132
- 3 王少彬等.玉米地氮肥释放 N_2O 的研究.农村生态环境,1994,10(4):12~14
- 4 曾江海等.小麦-玉米轮作期土壤 N_2O 排放通量及总量估算.环境科学,1994,16(1):32~35
- 5 齐玉春等.农业微环境对土壤温室气体排放的影响.生态农业研究,2000,8(1):45~48
- 6 Bouwman A. F. Soil and the greenhouse effects. Chichester: John Wiley and Sons, 1990. 60~120
- 7 James M. Tiedje. Denitrification. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties-Agronomy Monograph, 1982,9(2):1011~1025
- 8 Mosier A. R. *et al.* Field denitrification estimation by nitrogen-15 and acetylene inhibition techniques. Soil. Sci. Soc. AmJ. 1985,50:831~833
- 9 Mahmood T. *et al.* Comparison of two versions of the acetylene inhibition/soil core method for measuring denitrification loss from an irrigated wheat field. Soil Fertil Soils, 1999, 29: 328~331
- 10 Mosier A. R. Acetylene inhibition of ammonium oxidation in soil. Soil Biochem, 1980, 12: 443