第 27卷第 3期 环 境 科 学 学 报 Vol 27, No 3
2007年 3月 Acta Scientiae Circumstantiae Mar, 2007

项虹艳, 朱波, 况福虹, 等. 2007. 氮肥施用对紫色土–玉米根系系统 N_2O排放的影响 [J]. 环境科学学报, 27(3): 413– 420
XiangH Y, Zhu B, Kuang F H, *et al*. 2007. Effects of nitrogen fertilizer application on N_2O emission in a purple soil and maize root system [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 27(3): 413– 420

氮肥施用对紫色土–玉米根系系统 N_2O排放的影响

项虹艳[1,2], 朱波[1,*], 况福虹[1], 李侃[3], 王玉英[1], 郑循华[4]

1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039
3. 四川农业大学资源与环境学院, 雅安 625014
4. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

收稿日期: 2006–04–20 修回日期: 2006–11–30 录用日期: 2006–12–31

摘要: 通过不同施氮水平与不同氮肥品种 2个田间试验, 结合静态箱–气相色谱法研究了川中丘陵区 2005年 5~ 9月石灰性紫色土–玉米根系系统的 N_2O排放变化. 结果表明: 1)施用氮肥显著地增加了 N_2O排放, 在 3个施氮水平下 (0, 150和 250 kg·hm^{-2}), N_2O排放总量分别为 0.88, 2.19和 2.52 kg·hm^{-2}; 施氮量越高, N_2O排放量也越高. 当施氮量超过一定水平后, 施肥量高低对 N_2O排放总量的影响并不显著. 由氮肥施用引起的 N_2O排放量占施氮量的 0.87% (150 kg·hm^{-2})和 0.66% (250 kg·hm^{-2}). 2)氮肥品种显著影响 N_2O排放, 尿素 (酰胺态氮肥)和硫酸铵 (铵态氮肥)处理的 N_2O排放量分别为 2.09和 1.80 kg·hm^{-2}, 显著高于硝酸钾 (硝态氮肥)处理 (1.27 kg·hm^{-2}), 三者排放量分别占施氮量的 0.80%、0.60%和 0.27%. 3)降雨是玉米生长季 N_2O排放的主要影响因子, 而无机氮则是影响 N_2O排放的主要限制因子.

关键词: 石灰性紫色土; 土壤–玉米根系系统; N_2O排放; 施氮水平; 氮肥品种

文章编号: 0253–2468(2007)03–0413–08 中图分类号: X171 文献标识码: A

Effects of nitrogen fertilizer application on N_2O emission in a purple soil and maize root system

XIANG Hongyan[1,2], ZHU Bo[1*], KUANG Fuhong[1], LI Kan[3], WANG Yuying[1], ZHENG Xunhua[4]

1. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039
3. College of Resource and Environment of Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014
4. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Received 20 April 2006; **received** in revised form 30 November 2006; **accepted** 31 December 2006

Abstract The static chamber-gas chromatograph method was used to measure the N_2O flux under the calcareous purple soil and maize root system treated with different nitrogen fertilizer rates and types in the hilly land of central Sichuan Basin from March to September in 2005. The results showed: 1) Nitrogen fertilizer application enhanced the N_2O emission significantly. The total N_2O emission was 0.80, 2.19 and 2.52 kg·hm^{-2} from the three application rates (0, 150 and 250 kg·hm^{-2}), respectively. The higher the fertilizer applied, the more the N_2O emitted. But when it exceeded to a critical rate, fertilizer application rate had no significant effects on the N_2O emission. The total N losses derived from N applied accounted for 0.87% and 0.66% when application rate were 150 kg·hm^{-2} and 250 kg·hm^{-2}, respectively. 2) Nitrogen fertilizer types influenced N_2O emissions significantly. The higher N_2O emission occurred in $CO(NH_2)_2$ and $(NH_4)_2SO_4$, which amounted to 2.09 kg·hm^{-2} and 1.80 kg·hm^{-2}, respectively. Both were markedly higher than that of KNO_3 (1.27 kg·hm^{-2}). The total N losses derived from N applied accounted for 0.80%, 0.60% and 0.27% from the $CO(NH_2)_2$, $(NH_4)_2SO_4$, KNO_3, respectively. 3) Precipitation was the main influencing factor while inorganic nitrogen was main limited factor on N_2O emission.

Keywords purple soil; soil and maize root system; N_2O emission; nitrogen rate; nitrogen type

1 引言 (Introduction)

氧化亚氮 (N_2O)是一种痕量的长寿命温室气体, 它的温室效应是 CO_2的 296倍, 且能在大气中存在 114 a之久 (IPCC, 2001). N_2O的存在也破坏了大气臭氧层, 使更多紫外线到达地球, 对地球上的生

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 40571093)和国家重点基础研究发展计划 (973) (No. 2005CB121108)联合资助
Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40571093) and the National Basic Research Program of China (No. 2005CB121108)

作者简介: 项虹艳 (1976—), 女, 博士研究生, E-mail: xhyan1025@163.com; * 通讯作者 (责任作者): E-mail: bzhu@inde.ac.cn
Biography: XIANG Hongyan (1976—), female, Ph.D. candidate, E-mail: xhyan1025@163.com; * **Corresponding author**: E-mail: bzhu@inde.ac.cn

物造成伤害 (Cicerone, 1987). 目前, N_2O 正以每年 0.25% 的速度增加 (IPCC, 2001). 人为活动大大地增加了 N_2O 排放量. 据估计, 在由人为活动引起的全球性 N_2O 排放中, 超过 50% 以上是由农业土壤中释放出来的 (Kroeze *et al*, 1999). 人为活动引起的 N_2O 排放增加又主要是由氮的输入增加引起 (Mosier *et al*, 1998; Claire *et al*, 2005). 土壤中 N_2O主要是由依靠矿质态氮 (铵态氮及硝态氮) 进行的微生物过程引起的硝化作用和反硝化作用共同产生的. N_2O 排放量的高低则由温度、pH、水分含量 (WFPS) (Aulakh *et al*, 1992)、灌溉措施、O_2浓度、碳和无机氮的有效性以及肥料施用量 (Freney, 1997)、施用类型以及施用时间 (Eichner, 1990; Harrison and Webb, 2006)等控制.

由于土地利用方式、种植制度、耕作措施、气候条件等情况存在的差异, 不同地区不同土壤类型的 N_2O排放量存在明显差别, 且因氮肥施用而造成的 N_2O排放量也不尽相同. 国内目前在东北 (黄国宏, 1998; 郑靖, 2005)、华北 (叶欣, 2005; 董玉红, 2005)、华东 (杨军, 1996; 陈玉芬, 1999)等地开展了不同生态系统、不同作物系统下的 N_2O 排放通量变化的观测等研究, 而在西南地区 (尤其是四川盆地) 的工作开展较少, 有关 N_2O 排放量的报道也比较少 (张中杰等, 2005). 本研究对四川盆地中部丘陵区 (川中丘陵区) 玉米生长季中不同施氮水平和不同施氮品种下玉米根系–土壤系统 N_2O 排放通量进行原位观测, 分析了 N_2O 排放及其影响因素, 为确定紫色土 N_2O排放量、查明紫色土 N_2O 排放对全球温室气体的贡献提供科学数据.

2 材料与方法 (Materials and methods)

2.1 供试土壤

试验地选择在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站 (105°27′ E, 31°16′ N). 试验土壤为发育于侏罗系蓬莱镇组紫色砂页岩的石灰性紫色土, 质地为粘土, 其基础理化性质见表 1.

表 1 试验地土壤基础理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soils

试验地	pH	有机质 /(g·kg^{-1})	全 N /(g·kg^{-1})	碱解氮 /(mg·kg^{-1})	有效磷 /(mg·kg^{-1})	速效钾 /(mg·kg^{-1})
氮肥水平试验地	8.3	12.0	0.87	32.7	8.8	87.9
氮肥品种试验地	7.7	14.3	0.80	101.8	15.5	99.5

2.2 试验设计

氮肥施用水平试验设 3个处理, 不施氮肥 (CK: 0 kg·hm^{-2}); 中等施氮 (MN: 150 kg·hm^{-2}); 高氮 (HN: 250 kg·hm^{-2}).

氮肥品种试验设 4个处理, 以尿素–酰胺态氮肥 (UN, Urea)、硫酸铵–铵态氮肥 (AN, Ammonium Sulphate) 及硝酸钾–硝态氮肥 (NN, Potassium Nitrate)等作为氮肥供给来源, 以不施氮肥作为对照 (CK). 氮肥施用量为 150 kg·hm^{-2}.

以上 2个试验皆为完全随机区组设计, 每处理 3个重复, 小区面积为 20 m^2, 行距 50 cm, 株距为 40 cm.

氮肥施用量和氮肥品种 2个试验的基肥分别于 5月 25日和 5月 27日施入, 施用量为总氮量的 60%. 磷钾肥充分满足 (维持土壤肥力), 一次性施入到土中, 施用方法为撒施. 氮肥施肥方法为穴施, 于施肥当日将玉米种子放入穴施点 2 cm 处 (以防烧种), 然后在每穴处浇水覆土. 出苗后间苗, 保留 1株. 在玉米拔节初期施追肥, 肥料量为总氮量的 40%, 氮肥施用水平试验的追肥时间为 7月 4日 (降雨 1d后穴施到离玉米植株约 5 cm 处, 未覆土), 氮肥施用品种试验的追肥时为 7月 10日 (土壤较干, 氮肥施用与前相同, 但进行了覆土处理). 玉米整个生育期内未进行灌溉. 收获日期为 9月 14日.

2.3 N_2O排放通量的测定

玉米种下后第 2天开始采集气体, 采样频率为每周 2次, 分别在周一、周四上午的 9:00~11:00之间进行. 运用特制采样箱 (长 ×宽 ×高 = 50cm × 40cm × 20cm)进行气体采集 (图 1), 气体样品为玉米根系–土壤系统排放的气体 (不包括植株地上部分排放). 图 1中俯视示意图中间圆形部分 (直径为 10cm)为玉米植株茎杆出露处, 采样时用软塞和橡皮泥密封. 采样箱内壁上安装小风扇、温度计和采样管. 采气时将采样箱扣在预先埋入地里的不锈钢底座上 (长 ×宽 ×高 = 50cm × 40cm × 10cm), 将采样箱各部分连接好后检查气密性, 若不漏气, 则开始抽气, 同时记下采气时间. 观测时间为 30 min, 每 10 min取样 1次, 在盖箱后的 0、10、20、30 min内采 4次样. 采样完后移开采样箱, 并将气体样品带回试

验室, 在 10h内将样品分析完.

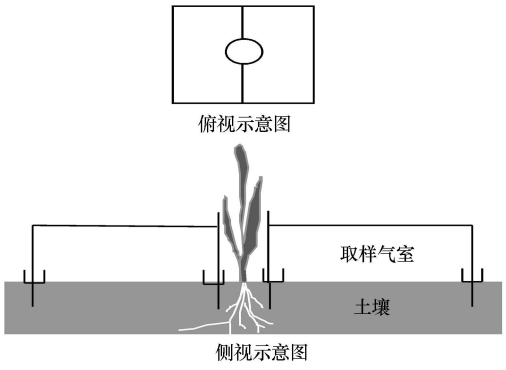


图 **1**　特制采样箱示意图

Fig. 1　Sketch map of sampling box

N_2O 气体用气相色谱仪 (HP 5890 Ⅱ)测定. 气体样品由进样器进入分析通道. N_2O 检测器为 ECD. 检测器温度、色谱柱温度以及进样口温度分别为 330℃、55℃以及 375℃. 载气为高纯氮气.

2.4　环境因子的观测

采集气体样品的同时, 同步观测相关环境因子. 用 MPM-160测定土壤含水量 (体积分数), 然后根据土壤容重将其换算为土壤充水孔隙率 (WFPS: water-filled pore space). 空气温度 (距地表 20 cm)、地表温度、地下 5 cm 处温度用便携式温度计 (JM624 Digital Thermometer)测定. 降水量、大气压等资料利用试验站内的气象站获得 (离试验点 100 m). 每 2周 1次或 2次取新鲜土样测定 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量. 土样采集方法: 分别在离玉米植株 0~10cm 圆内和 10~25cm 圆外 2个地方用土钻多点采样, 分袋装样, 带回试验室分析. 在分析无机氮与 N_2O平均排放通量的关系时, 无机氮的值取 2个样点的平均值.

2.5　数据处理

方差分析以及相关分析等利用 SPSS 11.5软件完成, 处理间差异采用 Duncan′s多重比较方法.

3　结果 (Results)

3.1　不同施氮水平下 N_2O 排放

3.1.1　N_2O 排放通量季节变化　氮肥施用水平试验在整个生育期内出现了 4次较明显的排放峰, 2次由施肥引起, 另2次则由降雨引起 (图2a). 施肥

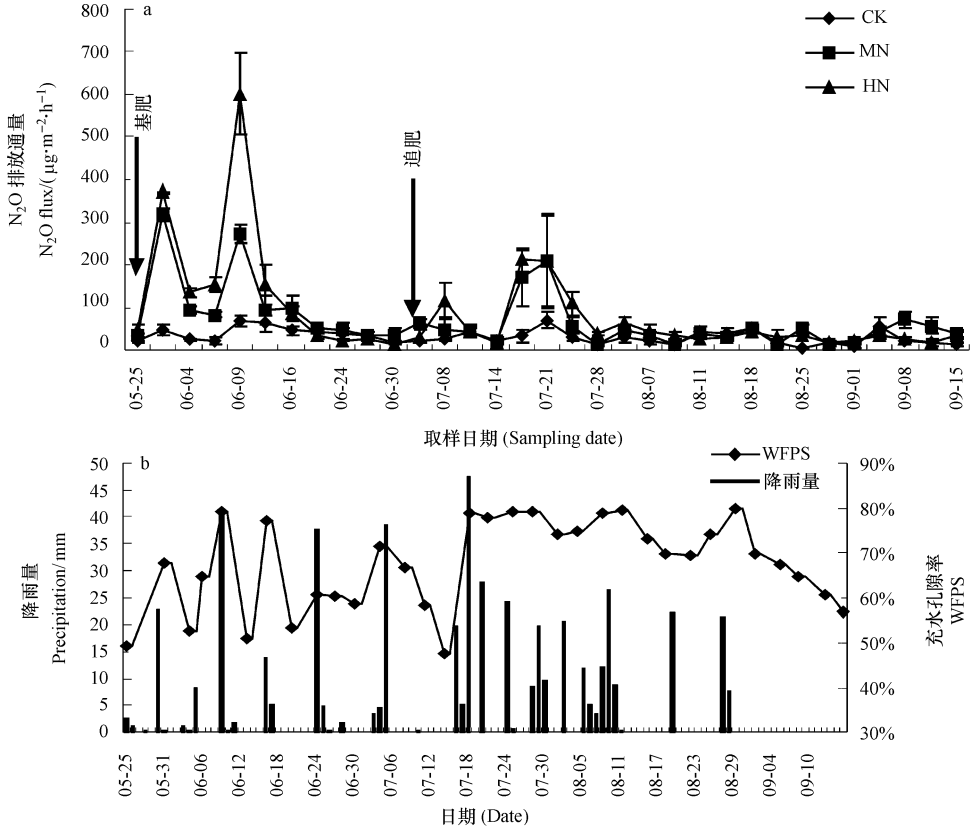


图 **2**　不同施氮水平下 **N_2O**排放通量 (平均值 ±标准误差)和土壤水分含量的季节变化规律(a 排放通量, b 降雨量和水分含量)

Fig. 2　Seasonal variations of N_2O flux (means ± SE) and soil water content under different application rates of N-fertilizer(a N_2O flux, b Precipitation and WFPS)

后短时间内 N_2O有明显的排放, 施用基肥的排放量比施用追肥大; 施肥后排放通量变化范围在 319. 32 ~ 473. 1$\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$之间, 由施肥引起的 N_2O排放持续时间大约为 10d左右. 降雨造成的排放通量比施肥后的排放通量要大. 降雨引起的 2次排放高峰都出现在雨后 2~ 5d内, 排放高峰与降水时间不一致, 而是滞后. 这是因为降水后, 随着水分不断充满土壤孔隙, 土壤水分逐渐达到饱和, 厌氧条件促进反硝化作用, 在硝化和反硝化作用的共同参与下, N_2O大量产生并从土壤中扩散出来. 7月下旬后, 频繁的降雨使土壤基本上都处于通体饱和状态 (图 2b), 不利于 N_2O从土壤中扩散出来; 另一方面, 土壤处于反硝化作用的有利条件下, 硝化作用受到抑制, 也降低了 N_2O的排放, 因此, 玉米进入吐穗抽雄期后, N_2O未出现明显的排放峰.

3. 1. 2 N_2O排放差异 与不施氮肥相比较, 中氮和高氮处理的排放通量在整个生育期内都比较高, 在施肥或降雨后的短时间内这种现象更为明显. 二者 N_2O平均排放通量分别为 71. 3$\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$和 87. 2 $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, 比不施肥处理增加了 128%和 179%; 相应地, 中氮处理和高氮处理的排放总量显著高于不施肥处理, 排放总量分别为 2. 19 $kg \cdot hm^{-2}$和 2. 52 $kg \cdot hm^{-2}$ (表 2). 高氮与中氮处理的排放差异主要表现在苗期 (图 2a), 但二者排放总量无显著差异, 表明施肥量超过一定水平后, N_2O排放总量并不会随施氮量的增加而呈线性地增加.

表 2 不同施氮水平的 N_2O排放速率和排放总量

Table 2 N_2O fluxes and total emissions in different nitrogen application rates

处理	N_2O排放速率 /($\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	N_2O排放总量 /($kg \cdot hm^{-2}$)	以 N_2O形式排放占施入氮肥的百分率
CK	31. 3	0. 88^{B}	–
MN	71. 3	2. 19^{A}	0. 87%
HN	87. 2	2. 52^{A}	0. 66%

注: 相同字母表示各处理间差异不显著, 不同字母表示各处理间差异显著, $p < 0.01$

Notes: The same letter stands for no difference between treatments, and different letters stand for no significant difference between treatments, $p < 0.01$

3. 2 不同氮肥品种下 N_2O排放

3. 2. 1 N_2O排放通量季节变化 不同施氮品种下 N_2O排放通量变化规律与施氮水平结果相似, 但也有所不同 (图 3a). 由施肥引起的排放高峰也有 2个. 追肥后排放高峰并未在施肥后的 3~ 5d内出现, 反而在 1周后伴随着降雨的发生而出现. 在 7月 18、19日的排放高峰中仅尿素、硫酸铵 2个处理的峰值明显, 尤以硫酸铵处理最为明显, 而硝酸钾处理并未出现明显的排放. 7月 10日施追肥时土壤水分含量很低, 充水孔隙率 (WFPS) 不到 40% (含水量仅为 16%左右) (图 3b), 所施入的肥料不可能快速水解; 同时, 覆土处理也使氮肥不可能大部分挥发损失, 因而雨后土壤中含有较高的铵态氮, 有利于土壤进行硝化和反硝化作用, 从而尿素、硫酸铵处理出现了排放高峰. 施用硝酸钾处理由于缺少反应底物 NH_4^+, 由硝化作用产生的 N_2O较少. 在 8月 18 ~ 25日之间, 出现 2个排放高峰夹 1个排放低谷的情况. 前一个排放高峰是由于下雨导致土壤环境有利于土壤硝化和反硝化作用同时进行产生较多的 N_2O; 由于降雨时间长且强度大, 此地块排水又较差, 雨后仍有大量地下水返还到地表, 整个土体水分含量仍然很高, 土壤反硝化作用大大增强, 而硝化作用极弱, N_2O排放量减少, 从而出现中间的排放低谷; 随后由于天气晴朗, 地面蒸发快, 水分含量降低, 土壤环境又有利于硝化和反硝化作用共同发生, 产生大量的 N_2O并扩散到空气中, 因此出现了后一排放高峰.

3. 2. 2 N_2O排放差异 由图 3a可知, 除个别峰值低于其它处理外, 酰胺态氮肥处理的 N_2O排放通量都高于其它 2种氮肥; 硝态氮肥处理在苗期前的排放量较高, 但进入 7月中旬后的 1个月内, 其排放通量一直维持在极低的水平上, 而这个时期内降雨频繁, 土壤水分含量高, 更有利于反硝化作用的进行; 由于无铵态氮来源, 土壤本身以硝化过程产生的 N_2O很少, 这二者使得硝态氮肥处理的 N_2O排放通量较其它 2种处理都低. 处理间排放总量有显著差异 ($P < 0.01$) (表 3), 以酰胺态氮或铵态氮形式作为氮肥供给来源时, N_2O排放量分别占施肥量的 0. 80%和 0. 60%, 显著高于硝态氮肥处理 (0. 26%).

表 3 不同氮肥种类的 N_2O排放速率和排放总量

Table 3 N_2O fluxes and total emissions in different nitrogen forms

处理	N_2O排放速率 /($\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	N_2O排放总量 /($kg \cdot hm^{-2}$)	以 N_2O形式排放占施入氮肥的百分率
CK	32. 8	0. 90^{C}	–
UN	86. 6	2. 09^{A}	0. 80%
AN	69. 4	1. 80^{AB}	0. 60%
NN	56. 2	1. 27^{BC}	0. 26%

注: 相同字母表示各处理间差异不显著, 不同字母表示各处理间差异显著, $p < 0.01$

Notes: The same letter stands for no difference between treatments, and different letters stand for no significant difference between treatments, $p < 0.01$

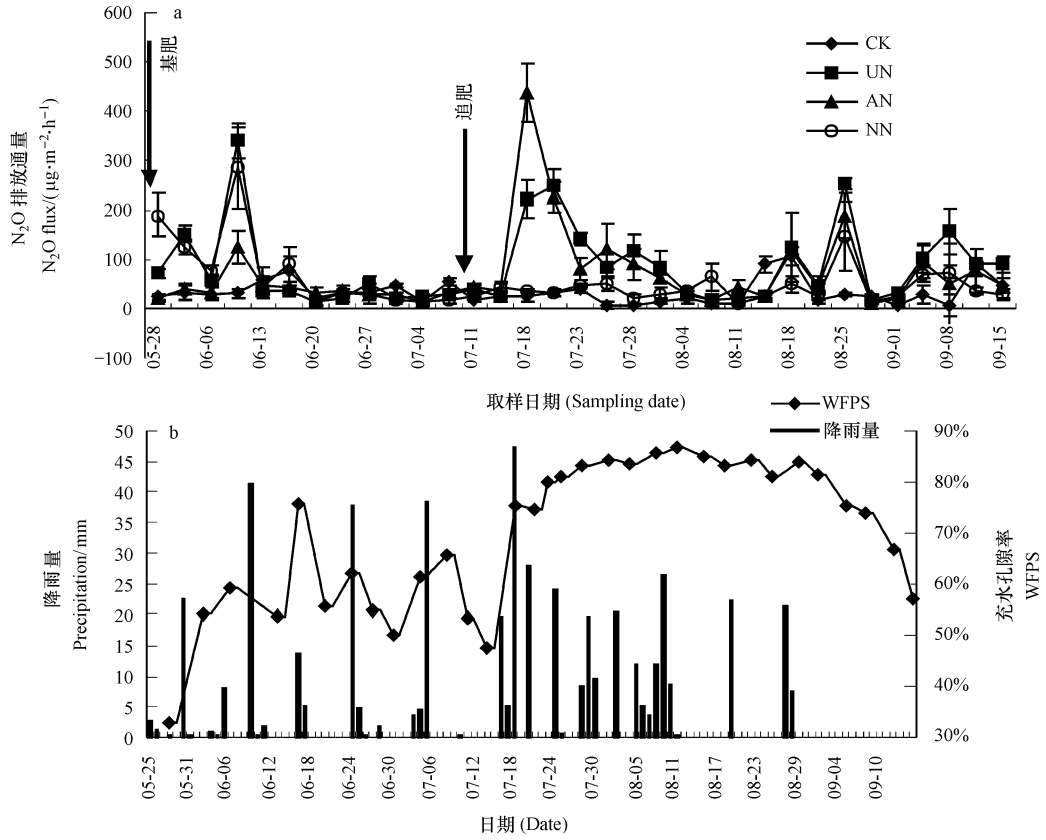


图 **3**　不同氮肥品种处理下 **N_2O**排放通量 (平均值 ±标准误差)和水分含量的季节变化规律 (a 排放通量, b 降雨量和水分含量)

Fig 3　Seasonal variations of N_2O flux(means ± SE) and soil water content under different types of N-fertilizer(a　N_2O flux, b. Precipitation and WFPS)

3 3　环境因子与 N_2O排放的关系

土壤-作物系统中 N_2O 的排放受诸多因子的共同影响, 如土壤水分、温度、无机氮含量等. 多数研究认为, 大田条件下多种环境因子对 N_2O 排放起共同作用, 单因子对 N_2O 排放不起决定作用. 充水孔隙率与 N_2O排放量相关分析 (Pearson)表明, 二者间不相关 (图 4). 不同施氮水平和氮肥品种下无机氮含量变化与 N_2O 排放通量变化是一致的 (图 5a与图 2; 图 5b与图 3). 无机氮含量 (以干土计)与 N_2O 排放测定结果的相关分析表明 (图 6), 二者呈显著的正相关关系, 说明无机氮含量越高, N_2O 排放通量

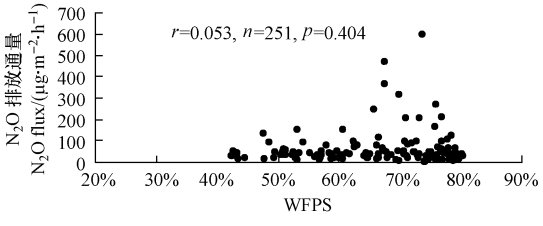


图 **4**　**N_2O**排放通量和土壤充水孔隙率关系

Fig 4　Relationship between N_2O flux and WFPS

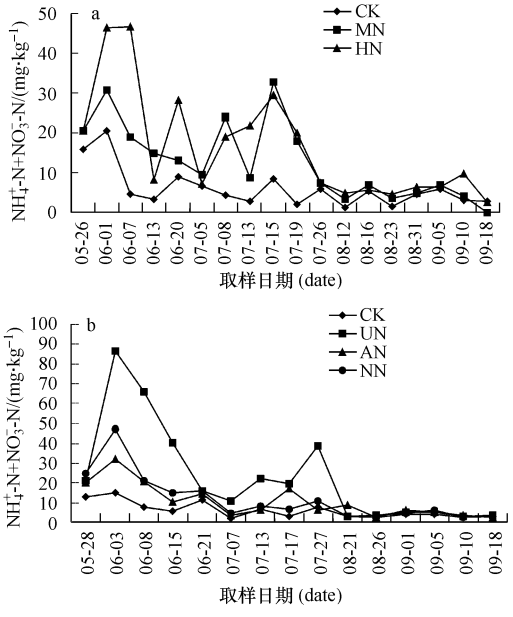


图 **5**　无机氮含量季节变化规律 (a 施氮水平, b. 施氮品种)

Fig 5　Seasonal variations of inorganic nitrogen content (a N-fertilizer rate; b. N-fertilizer form)

也就越高. 本区玉米生育期内, 5cm处土壤平均温度为 26.2℃(在 20℃ ~ 32℃范围内波动), 有利于土壤 N_2O的产生; 与土壤湿度、无机氮含量相比, 温度不是主要影响因素.

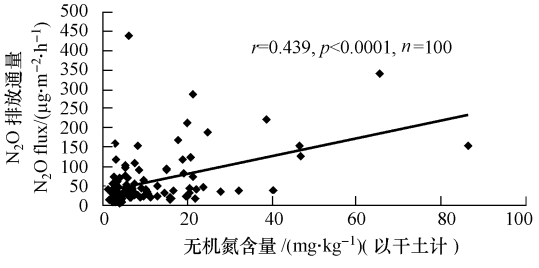


图 6 N_2O排放通量与无机氮含量之间的关系

Fig. 6 Relationship between N_2O flux and inorganic nitrogen content

4 讨论 (Discussion)

众所周知, 施肥对 N_2O 排放有明显促进作用, 在一定的施氮水平下, N_2O 排放量随施肥量的增加而线性增加. 在本试验中, 与不施氮肥相比较, 中氮与高氮处理的 N_2O排放量分别是不施氮处理的 2.5倍和 2.9倍(表 2), 说明 N_2O排放量随氮肥用量的增加而增加. 在施氮量为 150 kg·hm^{-2}和 250 kg·hm^{-2}水平下, N_2O排放量分别为 2.19 kg·hm^{-2}和 2.52 kg·hm^{-2}, 差异并不显著($p>0.05$). 梁东丽(2002)等的研究结果也表明, 在一定施肥量范围内, 土壤表层 N_2O的排放通量随施肥量的增加而增加; 施氮量为 150 kg·hm^{-2}和 300 kg·hm^{-2}的 N_2O通量几乎相等; 当施氮量达到 450 kg·hm^{-2}时, N_2O的通量反而下降.

氮肥品种不同, N_2O排放量也有差异, 这方面许多研究者均有报道, 但结果并不一致. Hirose(1996)等、Mørtgart(1997)等以及 Hiroko Akiyama(2002)等的研究表明, 在丘陵地区的土壤上施用硝态氮肥引起的 N_2O排放量低于铵态氮肥. Granli(1994)等认为, 在通气良好的土壤中, 硝态氮处理的 N_2O排放量低于铵态氮肥, 而在湿的粘土中则相反. Vermoesen(1996)等报道, 在粘土中, 施用铵态氮和硝态氮肥的 N_2O排放量大致相等; 在重粘土中, 铵态氮肥引起的 N_2O排放量高于硝态氮肥. Hénault等(1998)也报道, 虽然在施肥后短时期内铵态氮肥处理的 N_2O排放量高于硝态氮肥, 但氮肥种类对 N_2O年排放量影响较小. 这些研究结果均表明, N_2O排放与土壤类型关系很大. 在本试验中, 硝态氮肥处理的 N_2O排放量仅为 1.27 kg·hm^{-2}, 显著低于铵态氮肥和酰胺态氮肥处理. 这说明, 在土壤质地粘重、降雨量大且降雨频繁的情况下, 硝态氮肥施入土壤后更容易发生反硝化作用, 导致 N_2O排放量降低, 有利于减轻 N_2O对大气环境的污染.

已有研究结果表明, 土壤中无机氮含量、土壤水分含量和土壤温度是影响 N_2O排放的主要因子. Conen(2000)等认为, 无机氮(铵态氮与硝态氮之和)含量在 10 mg·kg^{-1}(以干土计)以下时, N_2O排放通量较低; 在此水平以上, 则无机氮含量不是 N_2O排放的限制因子. 本研究表明(图 6), 无机氮含量与 N_2O排放通量之间呈显著的正相关关系; 当无机氮含量在 10 mg·kg^{-1}(以干土计)以下时, N_2O排放量极低, 不足 50 μg·m^{-2}·h^{-1}, 表明在本区玉米生长季中, 无机氮含量是 N_2O排放的重要限制因子.

由于受田间众多因素的共同影响, 本研究中土壤水分含量与 N_2O排放量之间无相关性(图 4), 但此结果也表明了较大的 N_2O排放量(100 μg·m^{-2}·h^{-1}以上)产生在 WFPS为 55% ~ 85%之间, 最大排放量产生在 WFPS为 75%时. Simojoki等(2000)测得农业土壤中 N_2O较高的排放量发生在 WFPS为 60% ~ 90%之间; Dobbie等(1999)测定农业土壤和施肥草地上 N_2O高排放量发生在 WFPS为 70% ~ 90%之间; Sehy等(2003)测定的结果则是 WFPS为 55% ~ 90%. 本结果与多数研究结果是一致的, 说明降雨是影响本区 N_2O排放的一个重要因素.

5 结论 (Conclusions)

1)不同施氮水平下 N_2O排放量有显著差异. 施氮水平越高, N_2O排放总量也越高. 不施氮、中氮和高氮处理的 N_2O排放总量分别为 0.88、2.19和 2.52 kg·hm^{-2}; 中氮和高氮处理下 N_2O排放损失率占施氮量的 0.87%和 0.66%.

2)不同氮肥品种处理下 N_2O排放量也有显著差异. 以铵态氮肥、硝态氮肥作氮肥供给来源时, N_2O排放总量分别为 1.80和 1.27 kg·hm^{-2}, 显著低于施用酰胺态氮肥处理, 二者 N_2O排放损失率分别占肥料氮施用量的 0.60%和 0.26%; 而酰胺态氮处理的 N_2O排放总量达到了 2.09 kg·hm^{-2}, 占施氮量的 0.80%.

3)本区玉米生长季中, 无机氮含量是 N_2O排放

的重要限制因子, 而降雨是影响 N_2O 排放的一个主要因素.

通讯作者简介: 朱波, 博士生导师、研究员. 主要从事土壤学、环境地球化学、农业生态学等方向的科学研究, 已发表论文80多篇. E-mail: bzhu@imde.ac.cn

References

Aulakh M S, Doran J W, Mosier A R. 1992. Soil denitrification-significance, measurement, and effects of management[J]. Adv Soil Sci, 18: 1—57

Chen Y F, Yang J, Gu W L, *et al*. 1999. Relation between nitrous oxide emission flux and fertilization and irrigation of the late rice paddy-fields in Guangzhou area[J]. J South China Agric Univ, 20(2): 80—84 (in Chinese)

Cicerone R J. 1987. Changes in stratospheric ozone[J]. Science, 237: 35—42

Claire P, Swiney M C, Robertson G P. 2005. Nonlinear response of N_2O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (Zea mays L.) cropping system [J]. Global Change Biology, 11: 1712—1719

Conen F, Dobbie K E, Smith K A. 2000. Predicting N_2O emissions from agricultural land through related soil parameters[J]. Global Change Biology, 6: 417—426

Dobbie K E, McTaggart I P, Smith K A. 1999. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors[J]. J Geophys Res, 104: 26891—26899

Dong Y H, Ouyang Z, Li Y S, *et al*. 2005. Influence of fertilization and environmental factors on CO_2 and N_2O fluxes from agricultural soil [J]. Journal of Agro-Environment Science, 24(5): 913—918 (in Chinese)

Eichner M J. 1990. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data[J]. J Environ Qual, 19: 272—280

Freney J R. 1997. Emision of nitrous oxide from soils used for agriculture [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 49: 1—6

Granli T, Bockman O C. 1994. Nitrogen oxide from agriculture[J]. Norwegian Journal of Agricultural Sciences (Supplement), 12: 1—128

Harrison R, Webb J. 2001. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions[J]. Advances in Agronomy, 73: 65—108

Hénault C, Devis X, Lucas J L, *et al*. 1998. Influence of different agricultural practices (type of crop, form of N-fertilizer) on soil nitrous oxide emissions[J]. Biol Fertil Soils, 27: 299—306

Hiroko Akiyama, Haruo Tsuruta. 2002. Effect of chemical fertilizer form on N_2O, NO and NO_2 fluxes from Andisol field [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 63: 219—230

Hirose T, Tsuruta H. 1996. Measurement of NO and N_2O fluxes from the soils with the application of ammonium- and nitrate fertilizers: Division of Environmental planning research report[J]. National Institute Agro-Environmental Sciences, (12): 113—118

Huang G H, Chen G X, Zhang Z M, *et al*. 1998. N_2O emission in maize field and its mitigateion[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 18(4): 344—349 (in Chinese)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. New York: Cambridge Univ Press, 944

Kroeze C, Mosier A, Bouwman L. 1999. Closing the global N_2O budget: a retrospective analysis 1500-1994[J]. Glob Biogeochem Cycl, 13: 1—8

Liang D L, Tong Y A, Ove Emteryd, *et al*. 2002. N_2O losses from vegetable field of applying different amounts of NO_3^--N[J]. Jour of Northwest Sci-Tech Univ of Agri and For (Nat Sci Ed), (2): 73—77 (in Chinese)

McTaggart I P, Tsuruta H. 1997. Eco-Frontier Fellowship in 1996[J]. Environment Agency, Japan, 235—247

Mosier A, Kroeze C, Nevison C, *et al*. 1998. Closing the global N_2O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle-OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 52: 225—248

Sehy U, Ruser R, Munch J C. 2003. Nitrous oxide fluxes from maize fields: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 99: 97—111

Simojoki A, Jaakkola A. 2000. Effect of nitrogen fertilization, cropping and irrigation on soil air composition and nitrous oxide emission in a loamy clay[J]. Eur J Soil Sci, 51: 413—424

Vermoesen A, Groot C J, Nollet L, *et al*. 1996. Effect of ammonium and nitrate application on the NO and N_2O emission out of different soils [J]. Plant Soil, 181: 153—162

Yang J, Chen Y F, Hu F, *et al*. 1996. Preliminary report on effects of different fertilizers upon N_2O emission from early rice fields in the Guangzhou area[J]. J South China Agric Univ, 17(4): 52—57 (in Chinese)

Ye X, Li J, Wang Y H, *et al*. 2005. Characterization of emissions of nitrous oxide from soils of typical crop fields in North China Plain [J]. Journal of Agro-Environment Science, 24(6): 1186—1191 (in Chinese)

Zhang Z J, Zhu B, Jiang C S, *et al*. 2005. CO_2, N_2O and CH_4 emission from dry-land wheat ecosystem in hilly area of central Sichuan Basin[J]. Chinese Journal of Ecology, 24(2): 131—135 (in Chinese)

Zheng J, Wang C Y, Wang Y H, *et al*. 2005. Nitrous oxide and methane emissions from different agricultural fields during freezing and thawing periods in the lower reaches of Liaohe Plain[J]. Chinese Journal of Ecology, 24(9): 999—1003 (in Chinese)

中文参考文献:

陈玉芬, 杨军, 顾尉蓝, 等. 1999 广州地区晚造稻田氧化亚氮排放量与施肥灌溉关系的研究[J]. 华南农业大学学报, 20(2): 80—84

董玉红, 欧阳竹, 李运生, 等. 2005 肥料施用及环境因子对农田土壤 CO_2和 N_2O 排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 24(5): 913—918

黄国宏, 陈冠雄, 张志明, 等. 1998 玉米田 N_2O 排放及减排措施研究[J]. 环境科学学报, 18(4): 344—349

梁东丽, 同延安, Ove Emteryd, 等. 2002 菜地不同施氮量下 N_2O 逸出量的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 273—77

杨军, 陈玉芬, 胡飞. 1996 广州地区早稻田施肥对 N_2O 排放影响的初步研究[J]. 华南农业大学学报, 17(4): 52—57

叶欣, 李俊, 王迎红, 等. 2005 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, 24(6): 1186—1191

张中杰, 朱波, 江长胜, 等. 2005. 川中丘陵区旱地小麦生态系统 CO_2、N_2O 和 CH_4排放特征[J]. 生态学杂志, 24(2): 131—135

郑靖, 王重阳, 王迎红, 等. 2005. 下辽河平原典型农田融化期氧化亚氮和甲烷排放通量研究[J]. 生态学杂志, 24(9): 999—1003

投 稿 须 知

本刊是环境科学类学术月刊, 由中国科学院生态环境研究中心主办、科学出版社出版。本刊力求及时报导国内环境科学与工程领域新近取得的创新性研究成果, 跟踪最新学术进展, 推动我国环境科学事业的蓬勃发展。

本刊采取主编约稿和作者自由投稿 2种方式组稿。本刊要求自由投稿的研究论文所报导的必须是原创性研究成果, 有关理论或技术的综述 /评述 /进展类的自由投稿, 本刊不予受理。

本刊稿件录用原则是: 1)要求来稿选题新颖, 具有开拓性或创新性, 属于国内或国际环境科学与工程领域基础理论 /应用基础 /应用研究方面的前沿课题; 2)所报道的研究成果具有重要的科学意义或工程开发应用价值, 能够引起本学科同行的广泛关注; 3)所报告的实验方法 /技术路线合理, 数据可靠, 推理严谨, 结论明确; 4)论文写作规范, 无政治思想错误, 无国界、国名等错误, 不涉及保密问题, 无抄袭或一稿多投问题。

为执行出版领域相关国家标准, 贯彻国家新闻出版署、科技部和中国科学院有关期刊编辑出版的标准和规范, 本刊制定了具体的稿件格式要求。若来稿不符合本刊格式要求, 则不予送审。请作者投稿前认真查阅本刊现刊, 或登录本刊主页查询《稿件格式要求》。

投稿方式: 请作者登录本刊主页后, 在左侧的作者登录区内按提示进行用户注册和投稿; 自 2006年 5月 1日起, 本刊不再接受电子邮件投稿及打印件邮寄投稿。

本刊声明事项: 欢迎作者投稿前登录本刊主页查询投稿要求。如仍有疑问, 亦可直接打电话或发 E-mail直接向本刊编辑部咨询。

邮政地址: 100085 北京 2871信箱;

咨询电话: (010) 6294 1073;

电子邮箱: hjkxxb@ rcees. ac. cn;

网页地址: http: / / www. actasc. cn。